



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ  
ΜΙΚΡΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Παιδαγωγική κατάστρωση εργαστηριακών ασκήσεων σε  
πανεπιστημιακό περιβάλλον για μετρήσεις  
σε ηλεκτρικά κυκλώματα**

**Γεώργιος Κ. Τσουκαλάς**

**Επιβλέπων: Δρ. Αλέξανδρος Πίνο, ΕΔΙΠ, Τμήμα Πληροφορικής &  
Τηλεπικοινωνιών ΕΚΠΑ**

**ΑΘΗΝΑ**

**07/2024**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Παιδαγωγική κατάστρωση εργαστηριακών ασκήσεων σε πανεπιστημιακό περιβάλλον  
για μετρήσεις σε ηλεκτρικά κυκλώματα

**Γεώργιος Κ. Τσουκαλάς**

**A.M.: MM300**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:** **Δρ. Αλέξανδρος Πίνο**, ΕΔΙΠ, Τμήμα Πληροφορικής &  
Τηλεπικοινωνιών ΕΚΠΑ

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ  
ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

**Δρ. Γεώργιος Κουρουπέτρογλου**, Ομότιμος Καθηγητής,  
Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών ΕΚΠΑ

**Δρ. Δημήτριος Συβρίδης**, Καθηγητής, Τμήμα Πληροφορικής  
& Τηλεπικοινωνιών ΕΚΠΑ

7/2024

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, κατά τον εκσυγχρονισμό του Εργαστηρίου Κυκλωμάτων και Συστημάτων του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών με νέο εργαστηριακό εξοπλισμό, συγγράφηκε εκπαιδευτικό υλικό προσαρμοσμένο στα νέα εργαστηριακά όργανα, υπό την μορφή εργαστηριακών ασκήσεων. Για την ανάπτυξη και διαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού απαιτήθηκαν δύο εξάμηνα (ακαδημαϊκό έτος 2019-2020 και 2021-2022 αντίστοιχα). Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν ασκήσεις για μετρήσεις τάσεων και ρευμάτων με χρήση ψηφιακού πολύμετρου, μετρήσεις με τον παλμογράφο και απεικόνιση χρονικά μεταβαλλόμενων σημάτων, καθώς και κύκλωμα ολοκλήρωσης RC - Φίλτρα. Παράλληλα, συγγράφηκε και το θεωρητικό μέρος των εργαστηριακών ασκήσεων που απαιτείται ως υπόβαθρο, καθώς και εγχειρίδια χρήσης του νέου εξοπλισμού.

Η βάση της παιδαγωγικής προσέγγισης για την ανάπτυξη του νέου εκπαιδευτικού υλικού ήταν η Διερευνητική Μάθηση, ενσωματώνοντας επιλεγμένα στοιχεία από τον Καθολικό Σχεδιασμό για τη Μάθηση και επιλεγμένες αρχές της Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευσης. Συμπεριλαμβάνει την δράση, τον πειραματισμό, την έρευνα-αναζήτηση, την επιχειρηματολογία και νοηματοδότηση, την συνεργασία, τη χρήση εναλλακτικών μορφών και πηγών εκπαιδευτικού υλικού, καθώς και τον μοντέρνο και λειτουργικό γραφιστικό σχεδιασμό του. Το προτεινόμενο εκπαιδευτικό υλικό δοκιμάστηκε υπό πραγματικές συνθήκες στα πλαίσια της εκπαιδευτικής διαδικασίας!

Οι φοιτητές αφού μελέτησαν και χρησιμοποίησαν το εκπαιδευτικό υλικό, τόσο το παλαιό, όσο και το νέο σε δύο διαφορετικά ακαδημαϊκά έτη, κλήθηκαν μέσω ερωτηματολογίων να το αξιολογήσουν. Μέσα από την ανάλυση των ερωτηματολογίων, φάνηκε η σαφής προτίμηση των φοιτητών στο νέο εκπαιδευτικό υλικό, καθώς και η συμβολή του στην καλύτερη κατανόηση των εργαστηριακών ασκήσεων και των θεωρητικών εννοιών του μαθήματος. Το 75% των φοιτητών συμφώνησε ότι το νέο εκπαιδευτικό υλικό ήταν περισσότερο κατανοητό, σαφές και επεξηγηματικό σε σχέση με το παλαιό. Επίσης, το 82% συμφώνησε ότι τα παραρτήματα που περιείχε το νέο υλικό ήταν περισσότερο κατανοητά και πλήρη σε σχέση με εκείνα που περιείχε ο προηγούμενος εργαστηριακός οδηγός.

**ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ:** Παιδαγωγική στην Ανώτατη Εκπαίδευση, Ηλεκτρικά Κυκλώματα και Συστήματα

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** πανεπιστημιακή παιδαγωγική, ηλεκτρικά κυκλώματα, Tektronix, εργαστηριακές ασκήσεις, διερευνητική μέθοδος, προσέγγιση UDL, αρχές εξ αποστάσεως εκπαίδευσης

## **ABSTRACT**

In the context of this thesis, during the modernization of the Circuits and Systems Laboratory of the Department of Computer Science and Telecommunications of the National and Kapodistrian University of Athens with new laboratory equipment, educational material adapted to the new laboratory instruments was written in the form of laboratory exercises. Two semesters (academic year 2019-2020 and 2021-2022 respectively) were required for the development and formulation of the educational material. In particular, there were created exercises for voltage and current measurements using a digital multimeter, measurements with the oscilloscope and visualization of time-varying signals, as well as RC integration circuit - Filters. At the same time, the theoretical part of the laboratory exercises required as background was written, as well as manuals for the use of the new equipment.

The basis of the pedagogical approach for the development of the new educational material was the Exploratory Learning, incorporating selected elements from the Universal Design for Learning and selected principles of Distance Education. It includes action, experimentation, research and inquiry, argumentation and meaning-making, collaboration, the use of alternative forms and sources of educational material, as well as a modern and functional graphic design. The proposed educational material was tested under real conditions in the context of the educational process!

After studying and using the educational material, both old and new, in two different academic years, students were asked to evaluate it through questionnaires. Through the analysis of the questionnaires, the students' clear preference for the new educational material and its contribution to a better understanding of the laboratory exercises and the theoretical concepts of the course was evident. 75% of the students agreed that the new teaching material was more understandable, clear and explanatory than the old one. Also, 82% agreed that the appendices contained in the new material were more understandable and complete than those contained in the previous laboratory guide.

**SUBJECT AREA:** Pedagogy in Higher Education, Laboratory Instruction and Development

**KEYWORDS:** university pedagogy, electrical circuits, Tektronix, laboratory exercises, inquiry method, UDL approach, principles of distant learning

*Η διπλωματική εργασία είναι αφιερωμένη στους  
Κιαχίδη Δ. & Σουφλή Ν., χάρη στους οποίους κατάφερα  
να ολοκληρώσω τις μεταπτυχιακές μου σπουδές.*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Αλέξανδρο Πίνο για την αμέριστη στήριξη και την πολύπλευρη συμπαράστασή του σε κάθε στάδιο αυτού του εγχειρήματος καθώς και για τον χρόνο που μου αφιέρωσε, την υπομονή και την κατανόηση με την οποία διαχειρίστηκε κάθε μου απορία ή σκέψη. Τον ευχαριστώ θερμά για τη διαρκή επιστημονική καθοδήγησή του, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αλλά και την ευκαιρία που μου πρόσφερε για να υλοποιήσω την παρούσα διπλωματική. Βεβαίως οφείλω ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου για την έμπρακτη συμπαράστασή τους.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
<b>1. Εισαγωγή.....</b>	<b>9</b>
1.1 Σκοπός.....	9
1.2 Δομή εργασίας.....	9
<b>2. Πανεπιστημιακή Παιδαγωγική .....</b>	<b>11</b>
2.1 Δομή τριτοβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα .....	11
2.2 Η Αναγκαιότητα μετασχηματισμού του σημερινού μοντέλου του Πανεπιστημίου .....	14
2.3 Αφού λοιπόν είναι αναγκαίος ο μετασχηματισμός της σημερινής εκπαίδευσης, τότε τί πρέπει να διδάσκουμε και πώς;.....	17
2.4 Αναγκαιότητα Παιδαγωγικής κατάρτισης πανεπιστημιακών δασκάλων.....	22
<b>3. Εκπαιδευτικό υλικό εργαστηρίου Κυκλωμάτων και Συστημάτων.....</b>	<b>29</b>
3.1 Παιδαγωγική προσέγγιση.....	33
<b>4. Διδασκαλία και Αξιολόγηση φοιτητή σε εργαστηριακό περιβάλλον.....</b>	<b>36</b>
4.1 Δόμηση διδασκαλίας .....	36
4.2 Μέθοδοι και τεχνικές διδασκαλίας.....	39
4.3 Το πλαίσιο της Τεχνολογικής Παιδαγωγικής Γνώσης Περιεχομένου (TPACK).....	45
4.4 Προσεγγίσεις ανάπτυξης Εκπαιδευτικού υλικού .....	48
4.5 Αξιολόγηση .....	51
4.6 Σχεδίαση μαθησιακής δραστηριότητας με ψηφιακές τεχνολογίες (Σενάριο).....	55
4.7 Τεχνητή νοημοσύνη στην Εκπαίδευση .....	79
<b>5. Έρευνα αποτελεσματικότητας παιδαγωγικού υλικού .....</b>	<b>82</b>

5.1	Μεθοδολογία.....	82
5.2	Αποτελέσματα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων.....	82
5.2.1	Έμμεση διερεύνηση συμβολής εργαστηριακών ασκήσεων στην κατανόηση του θεωρητικού μέρους του μαθήματος.....	82
5.2.2	Σύγκριση παλαιών και νέων παραρτημάτων του εργαστηριακού οδηγού .....	85
5.2.3	Αξιολόγηση της ποιότητας του εκπαιδευτικού υλικού του εργαστηρίου .....	87
5.3	Περιορισμοί της Έρευνας.....	90
5.4	Συμπεράσματα .....	91
<b>6.</b>	<b>TekSmartLab .....</b>	<b>92</b>
6.1	Το ψηφιακό μέλλον των εργαστηρίων διδασκαλίας.....	92
6.2	Ανάλυση του TekSmartLab .....	95
6.3	Δυνατότητες που προσφέρει το TekSmartLab .....	99
6.4	Μελλοντική αξιοποίηση και επέκταση .....	108
	<b>Επίλογος .....</b>	<b>110</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι .....</b>	<b>112</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ .....</b>	<b>142</b>
	<b>ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....</b>	<b>425</b>



## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Σκοπός

Ο Σκοπός της παρούσας διπλωματικής ήταν διττός. Από την μια πλευρά επιχειρήθηκε να αξιοποιηθεί στην διδασκαλία του εργαστηριακού μαθήματος Κυκλωμάτων και Συστημάτων του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του ΕΚΠΑ, ο νέος εργαστηριακός εξοπλισμός της Tektronix που περιλαμβάνει Γεννήτρια Συχνοτήτων, Ψηφιακό Παλμογράφο και Ψηφιακό Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης. Από την άλλη πλευρά, να αναπτυχθεί και να διαμορφωθεί παιδαγωγικά το μαθησιακό περιεχόμενο του εργαστηριακού και θεωρητικού μέρους του μαθήματος. Ταυτόχρονα, στο εργαστηριακό μέρος του μαθήματος, αναπτύχθηκαν τόσο ασκήσεις που περιλαμβάνουν την χρήση των νέων οργάνων της Tektronix όσο και στοχευμένοι οδηγοί χρήσης τους (manual) στη βάση της δομής και ροής των ασκήσεων αυτών. Στο πλαίσιο ανάπτυξης του υλικού αυτού συμμετείχα στην διεξαγωγή των εργαστηριακών μαθημάτων Γ' Εξαμήνου τις ακαδημαϊκές χρονιές 2019-2020 και 2021-2022. Να επισημανθεί, πως την ακαδημαϊκή χρονιά 2020-2021 λόγω της πανδημίας COVID-19 το εργαστήριο υλοποιήθηκε εξ αποστάσεως, χωρίς την δυνατότητα χρήσης του εξοπλισμού από τους φοιτητές. Την πρώτη χρονιά ο στόχος μου ήταν να καταγράψω την έως τότε ροή του μαθήματος, χωροχρονικές πτυχές του εργαστηριακού περιβάλλοντος, τον τρόπο διεξαγωγής των εργαστηριακών ασκήσεων, την διδακτική διαχείριση, τις δυσκολίες που αντιμετώπιζαν οι φοιτητές και τον τρόπο παρέμβασης του διδάσκοντα ή τον εργαστηριακών βοηθών, ποια μαθησιακά περιεχόμενα ή βήματα υλοποίησης ασκήσεων τους δυσκόλευαν ή τους συγχέαν. Την δεύτερη χρονιά, αφού πλέον είχε αναπτυχθεί το υλικό στην βάση των παραπάνω καταγραφών, εφαρμόστηκε στην διδασκαλία του εργαστηρίου ενώ και πάλι, καθ' όλη την διάρκεια του εξαμήνου κατέγραφα παρατηρήσεις ή τυχών τμήματα του υλικού που απαιτούσαν διορθώσεις ώστε να καταλήξω στην τελική μορφή του. Και τις δύο ακαδημαϊκές χρονιές λάμβανα ανατροφοδότηση από τους φοιτητές μέσω ηλεκτρονικών ερωτηματολογίων. Ταυτόχρονα, επιχειρήθηκε τόσο να παρουσιαστεί η αναγκαιότητα της παιδαγωγικής κατάρτισης των πανεπιστημιακών δασκάλων, όσο και η αναγκαιότητα μετασχηματισμού της σημερινής μορφής του πανεπιστημίου και του τρόπου που προετοιμάζει τους φοιτητές του ώστε να ανταπεξέλθουν σε ένα απρόβλεπτο, μεταβαλλόμενο και ραγδαία μετασχηματιζόμενο κόσμο.

### 1.2 Δομή εργασίας

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο, γίνεται μια προσπάθεια παρουσίασης της ανάγκης μετασχηματισμού της σημερινής μορφής του Πανεπιστημίου, της τάσης αυτής σε ευρωπαϊκό επίπεδο, καθώς και την αναγκαιότητα της παιδαγωγικής κατάρτισης των πανεπιστημιακών δασκάλων του, με σκοπό τόσο την βελτίωση της ποιότητας παρεχόμενης εκπαίδευσής όσο και της ανάγκης προετοιμασίας των φοιτητών του με τις απαραίτητες ικανότητες και δεξιότητες που θα τους προσφέρουν την ικανότητα προσαρμογής τους στο «άγνωστο-αβέβαιο-ευμετάβλητο» μέλλον.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο, παρουσιάζεται το μαθησιακό περιεχόμενο (θεωρητικό και εργαστηριακό μέρος) του μαθήματος όπως αναπτύχθηκε και διαμορφώθηκε παιδαγωγικά.

Σκοπός του 4<sup>ου</sup> κεφαλαίου είναι η εισαγωγή στις βασικές παιδαγωγικές έννοιες, στον τρόπο προσέγγισης ενός διδασκόμενου μαθησιακού περιεχομένου, στα βασικά δομικά στοιχεία που πρέπει να βασιστεί η διδασκαλία του καθώς και στις σύγχρονες μορφές αξιολόγησης. Ακόμη παρουσιάζεται ένα εκπαιδευτικό σενάριο διδασκαλίας το οποίο αποσκοπεί στο να αποτελέσει έναυσμα σκέψης για τον πανεπιστημιακό δάσκαλο ώστε να στοχαστεί μακριά από τους περιορισμούς της νόρμας διδασκαλίας στο περιβάλλον της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τις έρευνας διάρκειας δύο εξαμήνων, που πραγματοποιήθηκε στους φοιτητές του εργαστηρίου Κυκλωμάτων και Συστημάτων του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του ΕΚΠΑ με σκοπό να διερευνηθεί τόσο η πιθανή συμβολή του νέου διδακτικού υλικού όσο και στο αν προέκυψε βελτίωση της μαθησιακής διαδικασίας.

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στις προκλήσεις που καλείτε να αντιμετωπίσει η τριτοβάθμια εκπαίδευση κατά την διδασκαλία των εργαστηριακών μαθημάτων καθώς και την ανάγκη ψηφιακού μετασχηματισμού τους. Επίσης, αν και δεν υλοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, για λόγους πληρότητας αλλά και βάση μελλοντικής ψηφιακής επέκτασης των δυνατοτήτων των οργάνων Tektronix παρουσιάζεται το πρώτο του είδους του σύστημα διαχείρισης εργαστηριακών οργάνων βασισμένο στην δικτύωση με Cloud πλατφόρμα. Τέλος, γίνεται αναφορά σε μελλοντικές επεκτάσεις του, όπως στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση, ή στον συνδυασμό του με την τεχνητή νοημοσύνη.

## 2. Πανεπιστημιακή Παιδαγωγική

### 2.1 Δομή τριτοβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, η τελευταία βαθμίδα του τυπικού εκπαιδευτικού συστήματος είναι η Ανώτατη Εκπαίδευση ( Τριτοβάθμια- Α.Ε.Ι.). Η εισαγωγή των φοιτητών στην βαθμίδα αυτή γίνεται μέσω των εθνικών εξετάσεων (Πανελλαδικές), οι οποίες διοργανώνονται ετησίως από το Υπουργείο Παιδείας. Η βαθμίδα αυτή δεν είναι υποχρεωτική, ενώ δεν υπάρχει μέριμνα γενικού προγράμματος εκπαίδευσης πολιτών που δεν επιθυμούν να συνεχίσουν στην πανεπιστημιακή εκπαίδευση. Η εποπτεία των πανεπιστημίων ασκείται από τον Υπουργό Εθνικής Παιδείας, ωστόσο το κάθε ίδρυμα είναι αυτοδιοίκητο και αυτόνομο με καθολικά ελεύθερη ακαδημαϊκή διδασκαλία και διακίνηση ιδεών μιας και απαγορεύεται η οποιαδήποτε επιβολή ορισμένων μόνο επιστημονικών γνώμων ή ιδεών. Σύμφωνα με το Νόμο 4957/2022 (ΦΕΚ Τεύχος Α 141/21.07.2022) τα Α.Ε.Ι. έχουν ως αποστολή (μεταξύ άλλων)<sup>1</sup>:

- I. να προσφέρουν υψηλής ποιότητας ανώτατη εκπαίδευση, δίχως διακρίσεις και αποκλεισμούς, να παράγουν και να μεταδίδουν τη γνώση μέσω της διδασκαλίας και της έρευνας, να προετοιμάζουν τους φοιτητές για την εφαρμογή της στο επαγγελματικό και κοινωνικό πεδίο και να καλλιεργούν και να προάγουν τις επιστήμες, τις τέχνες, τα γράμματα και τον πολιτισμό.
- II. να οργανώνουν και να παρέχουν προγράμματα σπουδών τυπικής εκπαίδευσης πρώτου, δεύτερου και τρίτου κύκλου, προγράμματα σπουδών σύντομης διάρκειας και διά βίου μάθησης. (Αξίζει να τονισθεί, πως το κάθε πρόγραμμα σπουδών περιέχει τα μαθησιακά αποτελέσματα και το περιεχόμενό του καταρτίζεται από ειδική επιτροπή, η οποία αποτελείται από τουλάχιστον 5 καθηγητές του οικείου γνωστικού πεδίου, οι οποίοι το εισηγούνται στην κοσμητεία και έπειτα εγκρίνεται από τον πρύτανη.)
- III. να εφαρμόζουν σύγχρονες μεθόδους διδασκαλίας με έμφαση στη διεπιστημονικότητα και την καινοτόμο έρευνα στο ανώτερο επίπεδο ποιότητας κατά τα διεθνώς αναγνωρισμένα κριτήρια, περιλαμβανομένης και της εξ αποστάσεως διδασκαλίας.
- IV. να αναπτύσσουν τις ικανότητες και τις δεξιότητες των φοιτητών με κριτική σκέψη, να μεριμνούν για την επαγγελματική ένταξη των αποφοίτων παρέχοντάς τους τις απαραίτητες γνώσεις και εφόδια για την επιστημονική και επαγγελματική τους σταδιοδρομία, να διαμορφώνουν τις απαραίτητες συνθήκες για την ανάδειξη νέων ερευνητών και την προσέλκυση νέων επιστημόνων, καθώς και να ανταποκρίνονται στις ανάγκες της κοινωνίας, της αγοράς εργασίας και των επαγγελματικών πεδίων.

Για την εκπλήρωση της αποστολής τους, τα Α.Ε.Ι. οργανώνονται και λειτουργούν με κανόνες και πρακτικές που διασφαλίζουν την τήρηση και προάσπιση ιδίως των αρχών

---

<sup>1</sup> Υπάρχουν κι άλλες διατάξεις στον νόμο που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί, κάτι που θεωρώ σκόπιμο να επισημανθεί για τυπικούς λόγους

της ελευθερίας στην έρευνα και τη διδασκαλία της ερευνητικής και επιστημονικής δεοντολογίας, της ποιότητας της εκπαίδευσης και των υπηρεσιών τους.

Όσον αφορά το εκπαιδευτικό προσωπικό, αυτό διακρίνεται σε:

- Διδακτικό Ερευνητικό Προσωπικό (ΔΕΠ)
- Ειδικού Εκπαιδευτικού Προσωπικού (Ε.Ε.Π.)
- Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό (ΕΔΙΠ)

Οι αρμοδιότητες του εκπαιδευτικού προσωπικού κατανέμονται στο διδακτικό, ερευνητικό και διοικητικό έργο. Στην πράξη, αν λάβουμε υπόψη τον φόρτο εργασίας της κάθε αρμοδιότητας, γίνεται εύκολα αντιληπτό πως για έναν ακαδημαϊκό είναι χρονικά αδύνατο να εμπλακεί και να ανταποκριθεί τόσο ποιοτικά όσο και αποτελεσματικά στα παραπάνω. Βέβαια, απαιτείται έρευνα ώστε αφενός μεν να τεκμηριωθεί, αφετέρου δε να αναδειχθούν προβλήματα, κυρίως στο κομμάτι της ποιότητας της παρεχόμενης εκπαίδευσης από την επιφόρτιση τόσων αρμοδιοτήτων, με σκοπό την εύρεση λύσεων. Ο λόγος που αναφέρθηκα στο κομμάτι των αρμοδιοτήτων είναι διότι επηρεάζει άμεσα την ποιότητα της παρεχόμενης εκπαίδευσης και εν τέλει στο σκοπό του πανεπιστημίου.

Όσον αφορά το διδακτικό έργο του εκπαιδευτικού προσωπικού, αυτό περιλαμβάνει την διδασκαλία προπτυχιακών και μεταπτυχιακών μαθημάτων συμπεριλαμβανομένης της οργάνωσης και επίβλεψης εργαστηριακών και φροντιστηριακών μαθημάτων. Αναλαμβάνουν ακόμη, την συγγραφή διδακτικών σημειώσεων ή βοηθημάτων, την αξιολόγηση φοιτητών, καθώς και τα εποπτικά καθήκοντα κατά την εξεταστική διαδικασία. Από την άλλη πλευρά, το ερευνητικό έργο περιλαμβάνει την εφαρμοσμένη έρευνα στην επιστήμη του εκπαιδευτικού προσωπικού, την επίβλεψη διπλωματικών και διδακτορικών εργασιών καθώς και την συμμετοχή σε ερευνητικά συνέδρια. Τέλος, όσον αφορά το διοικητικό έργο, αυτό περιλαμβάνει την συμμετοχή σε διάφορα όργανα διοίκησης όπως συμβούλια τμημάτων, καθηγητών κ.α.

Τα προσόντα που απαιτούνται για την εκλογή ενός καθηγητή, σύμφωνα με τον Νόμο 4009-2011 (Άρθρο 17) είναι:

- 1) Η κατοχή διδακτορικού διπλώματος και η συνάφεια με το γνωστικό αντικείμενο της προς πλήρωση θέσης είτε του αντικειμένου της διδακτορικής διατριβής είτε του ερευνητικού ή επιστημονικού εν γένει έργου του υποψηφίου.
- 2) Η προϋπόθεση κατοχής διδακτορικού διπλώματος για κατάληψη θέσης καθηγητή δεν ισχύει προκειμένου περί γνωστικών αντικειμένων εξαιρετικής και αδιαμφισβήτητης ιδιαιτερότητας, για τα οποία δεν είναι δυνατή ή συνήθης η εκπόνηση διδακτορικής διατριβής, όπως ειδικότερα ορίζεται στον Οργανισμό του ιδρύματος. Στις περιπτώσεις αυτές ο Οργανισμός του Ιδρύματος προβλέπει τους ειδικότερους τρόπους αναγνώρισης των υποψηφίων, όπως ιδίως βραβεύσεις σε εθνικούς και διεθνείς διαγωνισμούς, συμμετοχή σε διεθνείς εκθέσεις και διεθνή αναγνώριση καλλιτεχνικού έργου.
- 3) Οι πρόσθετες προϋποθέσεις και τα προσόντα για την κατάληψη θέσης καθηγητή, συμπεριλαμβανομένης και της διδακτικής ικανότητας, καθορίζονται, ανάλογα με τη

βαθμίδα, το γνωστικό αντικείμενο της θέσης και τις διδακτικές και ερευνητικές ανάγκες της σχολής, από τον Οργανισμό κάθε ιδρύματος.

Ανατρέχοντας κανείς σε μια τυπική εισηγητική έκθεση αξιολόγησης για την πλήρωση θέσης εκπαιδευτικού, τα προσόντα που απαιτούνται επί το πλείστον σε ένα ακαδημαϊκό ίδρυμα περιλαμβάνουν:

- 1) Βιογραφικό και σπουδές υποψηφίου/ας.
- 2) Διδακτικό έργο και επίβλεψη διατριβών.
- 3) Συμμετοχή σε διεθνή ερευνητικά προγράμματα.
- 4) Συγγραφικό έργο - Δημοσιεύσεις - Μελέτες - Κρίσεις επιστημονικών άρθρων.
- 5) Βαθμός ανταπόκρισης του υποψηφίου στα απαιτούμενα τυπικά προσόντα.
- 6) Διοικητικό έργο.

Σταθείτε στο σημείο αυτό, παρατηρήστε και αναλογιστείτε. Σε κανένα σημείο, αλλά ούτε και νόμο του κράτους δεν αναφέρεται ως απαραίτητο στοιχείο ή προϋπόθεση η παιδαγωγική και διδακτική επάρκεια του υποψηφίου ακαδημαϊκού εκπαιδευτικού. Και αν αναρωτιέστε γιατί ένα τέτοιο προσόν μπορεί να είναι απαραίτητο σε μια τέτοια βαθμίδα θα πρέπει σύντομα να αναθεωρήσετε.

Το 2013, η Ευρωπαϊκή Κομισιόν προχώρησε στη δημοσίευση των πορισμάτων μιας ειδικής επιτροπής, την οποία σύστησε σε πρότερο χρόνο, της επονομαζόμενης Ομάδας Υψηλού Επιπέδου [1]. Στόχος της είναι ο εκσυγχρονισμός της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης σχετικά με τη βελτίωση της ποιότητας της διδασκαλίας και της μάθησης στα πανεπιστήμια όλων των κρατών - μελών της.

Μάλιστα, η Ομάδα Υψηλού Επιπέδου κατά την εισαγωγή της στην παρουσίαση της έκθεσής της, αναφέρει: « Η διδασκαλία είναι τόσο σημαντική όσο και η έρευνα. Πρέπει να θέσουμε στο επίκεντρο την ποιότητα της διδασκαλίας και της μάθησης.» Σε άλλο σημείο της, τονίζει πως ο κανόνας των ιδρυμάτων της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης ανά την Ευρωπαϊκή Ένωση, είναι να δίνουν (περισσότερη) έμφαση και ιδιαίτερη βαρύτητα στην έρευνα παρά στην διδασκαλία, η οποία ωστόσο θα έπρεπε να αποτελεί εξίσου θεμελιώδη αποστολή της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Μάλιστα, στο τέλος της σελίδας 13 της έκθεσης αυτής, επισημαίνει:

«Η διδασκαλία αποτελεί βασική αποστολή και, ως εκ τούτου, βασική υποχρέωση. Η ποιοτική της διδασκαλία είναι θεμελιώδης προϋπόθεση για μια ποιοτική κουλτούρα μάθησης. Αυτή η αποστολή της διδασκαλίας θα πρέπει να αποτελεί ύψιστη προτεραιότητα σε κάθε ίδρυμα που εμπλέκεται στην παροχή της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης - μια καθημερινά βιωμένη προτεραιότητα και όχι απλώς βαρύγδουπες λέξεις ενός κειμένου της»

Φυσικά η ποιοτική διδασκαλία είναι αλληλένδετη με την παιδαγωγική κατάρτιση του εκπαιδευτικού. Η ομάδα αυτή λοιπόν, μέσα από την έκθεσή της, διατυπώνει πληθώρα συστάσεων για την βελτίωση της ποιότητας της διδασκαλίας και της μάθησης τονίζοντας πως θα πρέπει η διδασκαλία και η μάθηση να αποτελούν θεμελιώδεις αποστολές του πανεπιστημίου, με την ενεργό συμμετοχή των φοιτητών σε όλες τις πτυχές του, όπως για παράδειγμα στη διαμόρφωση του προγράμματος σπουδών. Επιπρόσθετα, επισημαίνει

την αναγκαιότητα να εξασφαλίσουν τα πανεπιστημιακά ιδρύματα πως το ακαδημαϊκό προσωπικό τους θα διαθέτει την κατάλληλη παιδαγωγική κατάρτιση και τα κατάλληλα προσόντα ώστε να εφαρμόζει τις βέλτιστες παιδαγωγικές πρακτικές κατά την διδασκαλία. Πρακτικά το ακαδημαϊκό προσωπικό θα πρέπει να λειτουργεί ως επαγγελματίας εκπαιδευτικός και όχι απλώς ως ένας εξειδικευμένος μηχανικός στο γνωστικό αντικείμενο της επιστήμης του. Παράλληλα, βασική ευθύνη των ιδρυμάτων θα πρέπει να είναι η διασφάλιση της ισορροπίας έρευνας - διδασκαλίας ώστε να μην υποβαθμίζεται η δεύτερη όπως επικρατεί στις μέρες μας. Μάλιστα υπογραμμίζει πως θα πρέπει όλα τα μέλη του διδακτικού προσωπικού στα ιδρύματα της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης να διαθέτουν πιστοποιημένη παιδαγωγική κατάρτιση έως το 2020, στόχος που δυστυχώς δεν επετεύχθη. Στην έκθεση αυτή, αναδεικνύεται ακόμα η ανάγκη για την συνεχή παιδαγωγική επιμόρφωση των Πανεπιστημιακών δασκάλων καθ' όλη την διάρκεια της ακαδημαϊκής τους σταδιοδρομίας, δίνοντάς τους συνεχώς κίνητρα, και ανταμείβοντας τους με βραβεία - υποτροφίες αν συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση της ποιότητας της διδασκαλίας και της εκμάθησης του αντικειμένου τους.

Στο ελληνικό τοπίο με βάση το Νόμο 4597/2022 (ΦΕΚ Α' 141) Άρθρο 129, ιδρύονται Κέντρα υποστήριξης διδασκαλίας και μάθησης στα ΑΕΙ. Αποστολή των Κέντρων Υποστήριξης Διδασκαλίας και Μάθησης (ΚεΔιΜα) είναι η από κοινού αντιμετώπιση ζητημάτων λειτουργίας των ΚεΔιΜα των κατά τόπους ΑΕΙ της χώρας, η διάχυση τεχνογνωσίας και καλών πρακτικών στη διδασκαλία και τη μάθηση στα ΑΕΙ, η προώθηση σχετικών νομοθετικών ρυθμίσεων, η πληροφόρηση, η ανατροφοδότηση και η παροχή τεχνογνωσίας. Στοχεύουν στην προώθηση της Πανεπιστημιακής Παιδαγωγικής μέσω δράσεων για να δημιουργήσουν κοινότητες μάθησης, καινοτομίας, υποστήριξης και συνεχούς βελτίωσης του διδακτικού έργου των Πανεπιστημιακών Δασκάλων. Ταυτόχρονα καλλιεργεί μια πανεπιστημιακή κουλτούρα, που να δίνει έμφαση στην αναβάθμιση της διδασκαλίας με βάση την ενεργό μάθηση, και τέλος αποσκοπούν στην παιδαγωγική επιμόρφωση των πανεπιστημιακών δασκάλων σε μεθόδους και εργαλεία διδασκαλίας για την βελτίωση της ποιότητάς αυτής.

## **2.2 Η Αναγκαιότητα μετασχηματισμού του σημερινού μοντέλου του Πανεπιστημίου**

Για να αναδειχθεί η αναγκαιότητα του μετασχηματισμού του σημερινού μοντέλου του πανεπιστημίου, θα αποπειραθώ να κάνω μια προβολή του περιβάλλοντος της μελλοντικής εκπαίδευσης και των προκλήσεων που θα κληθεί αυτή να αντιμετωπίσει. Βέβαια, θα προσπαθήσω να περιοριστώ σε λογικά επιχειρήματα αξιοποιώντας σημερινές ενδείξεις, μιας και δεν υπάρχουν έρευνες για να στηριχθώ. Μέσα από την προβολή αυτή, θεωρώ πως θα είναι ξεκάθαρη η αναγκαιότητα του μετασχηματισμού του σημερινού μοντέλου διδασκαλίας στα πανεπιστήμια, η οποία ταυτόχρονα θα αποτελεί απόρροια της παιδαγωγικής επιμόρφωσης των ακαδημαϊκών δασκάλων, όπως θα αναλύσω αργότερα. Βρισκόμαστε στις απαρχές της 4<sup>ης</sup> βιομηχανικής επανάστασης, και όσο και αν ακούγεται φουτουριστική γενίκευση, δεν έχουμε απολύτως καμιά ιδέα για το πώς θα είναι η αγορά εργασίας σε λιγότερο από μόλις 20 χρόνια. Μάλιστα σύμφωνα με έρευνα που

παρουσιάστηκε στο παγκόσμιο οικονομικό φόρουμ το 2016 [2] το 65% των μαθητών που ξεκινούν σήμερα το δημοτικό, θα ασκούν επαγγέλματα που δεν έχουμε εφεύρει!

Μπορεί κάποιος στο σημείο αυτό να αντιπείνει ότι και τον 19ο αιώνα με την βιομηχανική επανάσταση βρισκόμασταν στην ίδια ακριβώς αβεβαιότητα για το μέλλον, όμως αν αναλογιστούμε πως οι μηχανές τότε αντικατέστησαν την σωματική ικανότητα του ανθρώπου, ενώ τώρα, με τον ερχομό της τεχνητής νοημοσύνης θα αντικαταστήσουν τις γνωσιακές-νοητικές ικανότητες του.

Πώς όμως όλα αυτά συνδέονται με την πανεπιστημιακή εκπαίδευση και την παιδαγωγική επιμόρφωση των ακαδημαϊκών δασκάλων;

Η απάντηση είναι πιο απλή από ότι θα περίμενε κανείς. Καθώς βιώνουμε και θα βιώσουμε απίστευτες αλλαγές λόγω της τεχνολογίας και της ανάπτυξης των επιστημών, οι οποίες με την σειρά τους θα επιφέρουν τόσο μεταβολές στον κόσμο που ξέρουμε σήμερα, όσο και αβεβαιότητα, οφείλουμε να προετοιμάσουμε τους εκπαιδευόμενους κάθε βαθμίδας εκπαίδευσης για το άγνωστο μέλλον εφοδιάζοντας τους με τις κατάλληλες ικανότητες και δεξιότητες (κριτική σκέψη, δημιουργικότητα, συνεργασία, επικοινωνία, υπολογιστική σκέψη, πολιτικό αλφαριθμητισμό, πληροφοριακή παιδεία κ.α.) ώστε αφενός μεν να προσαρμοστούν αφετέρου δε να ανταπεξέλθουν. Η προετοιμασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο μέσα από μια ποιοτική εκπαίδευση και φυσικά για να γίνει αυτό, οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να διαθέτουν τα κατάλληλα εφόδια και εργαλεία, την επιμόρφωση και τις ικανότητες. Τις προϋποθέσεις αυτές, τις εξασφαλίζει με την σειρά της η παιδαγωγική κατάρτιση, επάρκεια και δια βίου επιμόρφωση των εκπαιδευτικών. Είναι αδιανόητο τον 21ο αιώνα το εκπαιδευτικό σύστημα να είναι προσανατολισμένο στην συσσώρευση πληροφοριών, το πανεπιστήμιο στην βαθιά εξειδίκευση και οι εκπαιδευτικοί να αδυνατούν να αναπτύξουν το κατάλληλο διδακτικό και μαθησιακό περιβάλλον καθώς και ποικίλες μορφές διδασκαλίας και μάθησης για να προετοιμάσουν τους μαθητεύμενους τους αλλά και να τους καλλιεργήσουν τις απαραίτητες δεξιότητες. Θα πρέπει να τονίσω πως, κατά την γνώμη μου, η αντιμετώπιση του προβλήματος δεν επαφίεται στην ατομική ευθύνη του εκπαιδευτικού, αλλά αποκλειστικά στην πολιτεία που είναι υπεύθυνη για την χάραξη ολοκληρωμένης εκπαιδευτικής πολιτικής, επενδύοντας σοβαρά σε αυτή, τόσο υλικά όσο και στο ανθρώπινο δυναμικό της.

Στις μέρες μας λοιπόν, το τελευταίο πράγμα που πρέπει να δώσει ένας εκπαιδευτικός στους εκπαιδευόμενους είναι πληροφορίες ή εξειδικευμένες στείρες γνώσεις, (μιας και αυτές βρίσκονται ένα tap μακριά, χάρη στην οθόνη του Smartphone τους). Επιπρόσθετα, η βαθιά εξειδίκευση, οι προκαθορισμένες-ημιτελείς δεξιότητες και η εκπαίδευση αυστηρά σε συγκεκριμένα επαγγελματικά, βιομηχανικά ή ερευνητικά εργαλεία, στα οποία είναι προσανατολισμένη η πανεπιστημιακή εκπαίδευση των τελευταίων δεκαετιών σύντομα θα οδηγήσουν σε αδιέξοδο. Πλέον ένας φοιτητής ή και εργαζόμενος, μπορεί να εξειδικευτεί για παράδειγμα σε μια γλώσσα προγραμματισμού ή σε ένα βιομηχανικό εργαλείο σχεδίασης ολοκληρωμένων κυκλωμάτων κάνοντας απλώς κλικ σε μια πλατφόρμα μαζικών ανοικτών διαδικτυακών μαθημάτων (massive open online courses). Μάλιστα, τις περισσότερες φορές δεν απαιτείται κάποιο επιστημονικό

background. Αν σε όλα αυτά συμπεριλάβουμε την έλευση μιας τεχνητής νοημοσύνης με εξατομικευμένα courses προσαρμοσμένα στον μαθητευόμενο που έχουν απέναντί τους, τότε κανείς δεν θα είναι σε θέση να προσδιορίσει το αντίκτυπό της σε διάφορα επαγγέλματα στηριζόμενα στην βαθιά εξειδίκευση ή την πανεπιστημιακή εκπαίδευση που κάποτε απαιτούσαν. Αν αυτά σας φαντάζουν μακρινά σενάρια, αναλογιστείτε πως ήδη στον Καναδά, η εξωδικαστική επίλυση διαφορών μπορεί να πραγματοποιηθεί από πρόγραμμα Τεχνητής Νοημοσύνης, συγκεκριμένα το ODR Settlement ONE[3], εργασία που απαιτούσε σπουδές ετών στην νομική. Από την άλλη, στον τομέα της πληροφορικής έχουν αναπτυχθεί συστήματα που παράγουν τον δικό τους κώδικα (DeepCoder) ή μπορούν να μετατρέπουν κώδικα από μια γλώσσα προγραμματισμού σε άλλη (Codex) με την βοήθεια τεχνητής νοημοσύνης. Μάλιστα η εταιρία Fujian NetDragon Websoft που ασχολείται με την ανάπτυξη τεχνολογιών και εικονικού περιβάλλοντος για το metaverse, διοικείται πλέον από CEO τεχνητής νοημοσύνης, το/τον επονομαζόμενο «Ms Tang Yu»[4].

Τα πανεπιστήμια της Αυστραλίας ήδη αλλάζουν τον τρόπο διεξαγωγής των εξετάσεων και του τρόπου αξιολόγησης των φοιτητών, μιας και το λογισμικό ChatGPT μπορεί πέρα από το να παράξει πρωτότυπες απαντήσεις σε ασκήσεις κάθε επιστημονικού πεδίου (λ.χ. scripts κώδικα), μπορεί να ξεγελάσει ακόμη και λογισμικά που έχουν σχεδιαστεί για να εντοπίζουν περιπτώσεις λογοκλοπής[5]

Εύλογα λοιπόν μπορούμε να φανταστούμε πόσο παρωχημένο και άσκοπο είναι το να εξειδικεύονται βαθιά οι φοιτητές, λόγου χάρη σε μια γλώσσα προγραμματισμού ή το να στηριχθεί ολόκληρο το μαθησιακό περιεχόμενο και η διδασκαλία του σε μερικά εργαλεία της σημερινής βιομηχανίας. Δυστυχώς παρατηρείται έντονα το φαινόμενο αυτό στις μέρες μας, ιδιαίτερος δε σε τμήματα μηχανικών. Και παρά την εμφανή αβεβαιότητα για το μέλλον που θα κληθούμε να αντιμετωπίσουμε, πολλοί καθηγητές εμμένουν να στηρίζουν ολόκληρο το μαθησιακό περιεχόμενο του διδασκόμενου μαθήματός τους σε ένα τόσο στενό πλαίσιο. Ουσιαστικά, προσπαθούν μέσα από ένα πρόσκαιρο εργαλείο που χρησιμοποιεί η σημερινή βιομηχανία, με επακόλουθα φυσικά τα όρια που θέτει, να αναλύσουν και να παρουσιάσουν τις γνώσεις του διδασκόμενου αντικείμενου. Είναι νομίζω εμφανές το πόσο ανούσιο και αναποτελεσματικό είναι να προσφέρεις μια τόσο βαθιά και προσωρινή εξειδίκευση σε έναν φοιτητή που θα κληθεί να αντιμετωπίσει τόσες άγνωστες προκλήσεις μετά τις σπουδές του. Τυπικά λοιπόν, δεν καλλιεργείται η κριτική σκέψη, η δημιουργικότητα και εκείνες οι δεξιότητες γενικού σκοπού που θα προσφέρουν σε έναν μελλοντικό μηχανικό τα εφόδια που χρειάζεται για να αντιμετωπίσει τις όποιες μελλοντικές αλλαγές. Δεν του προσφέρεται η ικανότητα της προσαρμογής. Είναι άλλο πράγμα να παρουσιαστούν διάφορα εργαλεία που σχετίζονται με την επιστήμη των διδασκόμενων, έρευνες, μοντέλα, εφαρμογές της σημερινής βιομηχανίας, και άλλο πράγμα να στηρίζεται ολόκληρο το μαθησιακό περιεχόμενο και η διδασκαλία ενός εξαμηνιαίου μαθήματος αποκλειστικά σε αυτά. Πώς λοιπόν ο φοιτητής θα εκπαιδευτεί να συνδυάζει γνώσεις τόσο από το δικό του επιστημονικό πεδίο, όσο και από διάφορα άλλα; Πώς θα αναπτύξει την ικανότητα να επινοεί νέες ιδέες αν περιοριστεί στις



προκαθορισμένες δεξιότητες που προσφέρουν τα εργαλεία αυτά; Είναι τελικά αυτός ο σκοπός και η αποστολή του πανεπιστημίου;

Από την άλλη, η ικανότητα της τεχνητής νοημοσύνης δεν θα αργήσει να μεταπηδήσει στην εκπαίδευση με αλγορίθμους- ψηφιακούς δασκάλους που θα διδάσκουν εξατομικευμένα, διάφορα μαθήματα ενώ θα έχουν την ικανότητα να προσαρμόζουν το προσφερόμενο μαθησιακό περιεχόμενο βάσει των ιδιαιτεροτήτων του μαθητεύοντος. Άρα μήπως πλέον δεν θα είναι αρκετή μόνο η γνώση του αντικείμενου της επιστήμης του που θα διαθέτει ο εκπαιδευτικός; Και γιατί εν τέλει κάποιος να επιλέξει την πανεπιστημιακή εκπαίδευσή όταν θα μπορεί όχι μόνο στο δικό του χρόνο, χώρο, ρυθμό, αλλά και εξατομικευμένα-διαδραστικά και με άμεση ανατροφοδότηση να εξειδικευτεί σε ένα αντικείμενο;

### **2.3 Αφού λοιπόν είναι αναγκαίος ο μετασχηματισμός της σημερινής εκπαίδευσης, τότε τί πρέπει να διδάσκουμε και πώς;**

Αν και θα αναλυθεί εκτενώς παρακάτω, η βάση της επιστημονικής εκπαίδευσης όλων των τμημάτων Μηχανικής, θα πρέπει, κατά την γνώμη μου, να αποτελείται από μια μίξη ανθρωπιστικών σπουδών (*Art Studies*) σε συνδυασμό με τα μαθήματα της επιστήμης τους (*Science and technology studies*), πάνω στην οποία θα πρέπει οπωσδήποτε να καλλιεργηθεί η διεπιστημονική προσέγγιση τους. Επιδίωξη της προσέγγισης αυτής θα είναι η καλλιέργεια κριτικής σκέψης, δημιουργικότητας, συνεργασίας, επικοινωνίας, ψηφιακού- τεχνολογικού αλφαριθμητισμού, ευελιξίας, ηγεσίας, πρωτοβουλίας, παραγωγικότητας και κοινωνικών δεξιοτήτων. Για παράδειγμα, η προσέγγιση ενός μαθήματος προγραμματισμού μπορεί να γίνει όχι μόνο από την σκοπιά της αλγοριθμικής επιστήμης δεδομένων αλλά και από την σκοπιά της κοινωνιολογίας, ξεφεύγοντας παράλληλα από το πρίσμα και τους περιορισμούς που θέτει η κατεύθυνση της βαθιάς εξειδίκευσης ή της μονόπλευρης προσέγγισης. Μπορεί κανείς να καλλιεργήσει την υπολογιστική σκέψη, μια από τις σημαντικότερες δεξιότητες του 21<sup>ου</sup> αιώνα, διδάσκοντας φιλοσοφία και φυσικά χωρίς να χρησιμοποιήσει ούτε ένα ψηφιακό μέσο ή εργαλείο!

Και αν σκεφτήκατε «Μα, είναι δυνατόν ένας μηχανικός να έχει ανάγκη από φιλοσοφία ή μαθήματα κλασικών/ανθρωπιστικών σπουδών; Σε τι θα του είναι χρήσιμη η κοινωνιολογία ή η φιλοσοφική προσέγγιση της ηθικής στην επιστήμη του;», θα απαντήσω σε δύο σκέλη.

Πρώτον πρέπει να τονισθεί πως ο σκοπός του πανεπιστημίου τόσο από το σύνταγμα της χώρας μας, όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο είναι η εκπαίδευση του πολίτη, η οποία έχει ως αποστολή την διαμόρφωση ολοκληρωμένων προσώπων, που μέσα από την παιδεία και την δια βίου μάθηση θα μπορούν να ανταποκριθούν σε ένα αδιάκοπα μεταβαλλόμενο κόσμο.

Για να γίνω συγκεκριμένος:

- Στο σύνταγμα (Άρθρο 16, Παρ 2) αναφέρεται: «Η παιδεία αποτελεί βασική αποστολή του κράτους και έχει σκοπό την ηθική, πνευματική, επαγγελματική και

φυσική αγωγή των Ελλήνων [...], [...] και τη **διάπλασή τους σε ελεύθερους και υπεύθυνους πολίτες.**

- Στο νόμο 4009 "Δομή, λειτουργία, διασφάλιση της ποιότητας των σπουδών και διεθνοποίηση των ανωτάτων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων" (Αρ. Φύλλου 195/ 2011) αναφέρεται:
  - στ) να συμβάλουν στη διαμόρφωση υπεύθυνων πολιτών, ικανών να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις όλων των πεδίων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων με επιστημονική, επαγγελματική και πολιτιστική επάρκεια και υπευθυνότητα και με σεβασμό στις αξίες της δικαιοσύνης, της ελευθερίας, της δημοκρατίας και της κοινωνικής αλληλεγγύης
- Στο Ψήφισμα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου της 28ης Απριλίου 2015 σχετικά με τη συνέχεια που πρέπει να δοθεί για την εφαρμογή της διαδικασίας της Μπολόνια [6] αναφέρεται:

« [...] τα προγράμματα σπουδών **πρέπει να εστιάζονται στις μακροπρόθεσμες απαιτήσεις της αγοράς**: υπογραμμίζει επίσης ότι απασχολησιμότητα σημαίνει ότι οι φοιτητές θα πρέπει να κατέχουν ευρύ φάσμα διαφόρων ικανοτήτων που τους προετοιμάζει για την αγορά εργασίας και τους εξοπλίζει για τη δια βίου μάθηση [...], [...] στη συμβολή σε μια κοινωνία που βασίζεται στη γνώση και, ως εκ τούτου, να παρέχει ευκαιρίες για αμοιβαία οφέλη με την ευρύτερα κοινωνική έννοια: **ενθαρρύνει τα ιδρύματα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης να παραμένουν ανοιχτά σε διεπιστημονικές σπουδές [...]**»

- Ενώ στην Ανακοίνωση Της Επιτροπής Προς Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, Το Συμβούλιο, Την Ευρωπαϊκή Οικονομική Και Κοινωνική Επιτροπή Και Την Επιτροπή Των Περιφερειών με θέμα "Ένα νέο ευρωπαϊκό θεματολόγιο για την τριτοβάθμια εκπαίδευση" [7] αναφέρεται:

«[...] Ταυτόχρονα, **υπάρχει ένας πολύ μεγάλος αριθμός φοιτητών που αποφοιτούν με πολύ περιορισμένες βασικές δεξιότητες (γραμματισμού, αριθμητισμού, ψηφιακού γραμματισμού) και χωρίς το φάσμα των εγκάρσιων δεξιοτήτων (επίλυση προβλημάτων, επικοινωνία, κλπ.) που χρειάζονται για την ανθεκτικότητα σε έναν μεταβαλλόμενο κόσμο.**» Δεξιότητες που προσφέρουν και οι ανθρωπιστικές σπουδές.

Σύμφωνα με τον W. von Humboldt, (1767– 1835) η επιστημονική γνώση έχει αξία από μόνη της και επομένως τα Πανεπιστήμια θα πρέπει να ασχολούνται με την επιστήμη χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τους τη χρησιμότητα της. Επίσης, σύμφωνα με τον ίδιο, η παιδεία του ανθρώπου θα πρέπει να τον καθιστά έτοιμο για την απόκτηση της ελευθερίας του και αυτό γίνεται εφικτό όταν θέτει ως αυτοσκοπό την ενασχόλησή του με την επιστήμη. Γι' αυτό και η απόκτηση οποιασδήποτε τεχνικής [8] δεξιότητας θα πρέπει να συνδυάζεται με την απόκτηση και σφαιρικής μόρφωσης (Παυλίδης, 2006). Σύμφωνα με τον ίδιο, η λειτουργία του Πανεπιστημίου θα πρέπει να κατευθύνεται, όχι μόνο προς την

επαγγελματική εκπαίδευση και την έρευνα, αλλά και προς την σφαιρική μόρφωση του ανθρώπου [9].

Θεωρώ πως από το πρώτο κίελο της απάντησης γίνεται άμεσα αντιληπτή η χρησιμότητα της προσθήκης μαθημάτων ανθρωπιστικών σπουδών στα προγράμματα σπουδών των μηχανικών. Όσον αφορά το δεύτερο σκέλο, θεωρώ πως τα μαθήματα ανθρωπιστικών σπουδών συμβάλλουν στην δημιουργικότητα του ατόμου, οξύνουν τις ικανότητες παρατήρησης, οδηγούν στις καινοτόμες ερμηνείες των υπαρχουσών γνώσεων, αναγκάζουν τον φοιτητή να δει την επιστήμη του μέσα από άλλες επιστήμες. Πέρα από αυτό και μέσα από ιστορικές, κοινωνικές και πολιτικές προσεγγίσεις μπορεί να κατανοήσει τις αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν από τις αρχές της επιστήμης του έως το σήμερα, τις συνέπιες και τις αλλαγές που επήλθαν στον άνθρωπο αλλά και στην ίδια την επιστήμη. Έτσι θα αναπτύξει ακόμη ικανότητες διάκρισης της κατάρτισής του σε σχέση με το μέλλον του. Ως συνειδητοποιημένος πια επιστήμονας, θα κατανοήσει και θα βιώσει την ανάγκη της δια βίου μάθησης, και θα καταλήξει στο ότι τελικά ο σκοπός του δεν είναι να αποτελέσει έναν εξειδικευμένο επιστήμονα του τώρα, των καιρών του δηλαδή, αλλά του βραχέος αύριο με όλες τις αλλαγές και μεταβολές που θα εμφανιστούν σε κάθε πτυχή της ζωής του. Η επιστήμη λοιπόν δεν είναι απλά γνώση, απαιτούνται ικανότητες ευελιξίας, κριτικής σκέψης, καινοτομίας, πρωτοβουλίας, δημιουργικότητας, στοχασμού, επιμονής και κινήτρου. Όλα τα παραπάνω προσφέρουν οι ανθρωπιστικές σπουδές, ενώ ταυτόχρονα συμβάλλουν στην ανάπτυξη της ικανότητας τεκμηρίωσης της γνώμης του ατόμου, μιας και του επιβάλλουν να θέτει ερωτήματα πρωτίστως στον ίδιο του τον εαυτό, και έπειτα να τα ερμηνεύει, να τα παρατηρεί και να τα αιτιολογεί. Όλα αυτά τα εφόδια, αν συνδυαστούν με την διεπιστημονική προσέγγιση και άλλων επιστημών θεωρώ πως θα μετασχηματίσουν την υπάρχουσα γνώση σε μια καινοτόμα ερμηνεία της, που με την σειρά της θα παραγάγει νέα καινοτόμα έρευνα.

Αν και διαφαίνεται η χρησιμότητα της ένταξης μαθημάτων ανθρωπιστικών σπουδών στα τμήματα μηχανικών, έχει τελικά ανάγκη η αγορά εργασίας από τέτοιου είδους αποφοίτους;

Προσωπικά, θεωρώ πως αποτελεί υποβάθμιση του ίδιου του πανεπιστημίου και του ρόλου του η όποια οπτική της διασύνδεσής του με την περιβόητη αγορά εργασίας, μιας και η ιδέα της υπαγωγής του στις ανάγκες της παραγωγής ουσιαστικά αποτελεί την υποταγή του στους σκοπούς της αγοράς. Ας επιστρέψω όμως στο προηγούμενο ερώτημα. Για να απαντήσω, θα αναφέρω πως ήδη υπάρχουν εταιρίες που προσλαμβάνουν αποφοίτους τμημάτων φιλοσοφίας σε θέσεις μηχανικών data scientist, θέσεις που πρακτικά απαιτούν βαθιά εξειδίκευση του κλάδου της πληροφορικής (όπως η μηχανική μάθηση και η εξόρυξη δεδομένων). Φυσικά πριν χρόνια θα έλεγε κανείς πως είναι αδύνατο να συμβεί κάτι τέτοιο μιας και η αγορά εργασίας επιτάσσει καταρτισμένους και βαθιά εξειδικευμένους μηχανικούς πληροφορικής. Και όμως, φαίνεται πως καταρρίπτεται αυτή η προσέγγιση από την ίδια την αγορά εργασίας. Συγκεκριμένα, ο Mike Gregoire, διευθύνων σύμβουλος της CA Technologies σε συνέντευξή του στο CNBC [10] δήλωσε:

«Η παραδοχή ότι μόνο οι πτυχιούχοι πληροφορικής έχουν θέση στη νέα οικονομία είναι μια πολύ ρηχή άποψη [..], [..] Αν ρίξετε μια ματιά στη συντριπτική πλειοψηφία των ανθρώπων που ασχολούνται με το επάγγελμα του data scientist - προέρχονται από την κλασική επιστήμη της πληροφορικής. Υπάρχει όμως ένας μεγάλος αριθμός ατόμων που προέρχεται από τα μαθηματικά, ιδίως τη στατιστική ανάλυση, και υπάρχει επίσης μια μεγάλη ομάδα που προέρχεται από σπουδές φιλοσοφίας». Παράλληλα, τονίζει πως το προτέρημα των αποφοίτων φιλοσοφίας είναι η ικανότητά τους να καταλαβαίνουν πώς να σκέφτονται πολύ λογικά, με αποτέλεσμα να μπορούν εύκολα στη βάση αυτή να εξειδικευτούν αλλά και να μάθουν άγνωστα σε αυτούς γνωστικά αντικείμενα. Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν την ευελιξία των αποφοίτων αυτών να μεταβαίνουν και να εξειδικεύονται σε μια επιστήμη που δεν σπούδασαν, καθώς και τα εφόδια με τα οποία τους εξόπλισαν οι ανθρωπιστικές σπουδές. Οι διαπιστώσεις αυτές θεωρώ πως μπορούν να αλλάξουν ριζικά την σημερινή παγιωμένη προσέγγιση.

Η IBM και Google επίσης στρέφονται σε αποφοίτους τέτοιων τμημάτων. Ο Randy Bruno-Riverger [11] απόφοιτος τμήματος φιλοσοφίας αλλά και τμήματος επιστήμης υπολογιστών δέχθηκε και από τις δύο εταιρίες προσφορά εργασίας, και δήλωσε: «Οι φοιτητές δεν συνειδητοποιούν πάντα τη σύνδεση μεταξύ σχολών ανθρωπιστικών σπουδών, της φιλοσοφίας για παράδειγμα, και των επιστημών που προέκυψαν ως αποτέλεσμα αυτού του φιλοσοφικού στοχασμού (αναφερόμενος σε αυτές των μηχανικών). Αρχικά, τα εν λόγω δύο στρατόπεδα φαίνονται αντίθετα, αλλά στην πραγματικότητα η φιλοσοφία βρίσκεται στον πυρήνα της κατανόησης πολλών επιστημονικών αρχών. Δεν είναι τυχαίο ότι δεκάδες σπουδαία μυαλά στην ιστορία - ο Ντεκάρτ, ο Γαλιλαίος, ο Νεύτωνας, ο Αϊνστάιν και άλλοι - αναγνωρίζονται τόσο ως φιλόσοφοι όσο και ως επιστήμονες.» Ο Bruno-Riverger δήλωσε ότι οι δύο διαφορετικές διαδρομές του πτυχίου του στην πραγματικότητα αλληλεπικαλύπτονται και συμπληρώνονται μεταξύ τους.

Η Karine Scelles Αντιπρόεδρος Ανθρώπινου Δυναμικού της Asia-Pacific Otis Elevator Co επίσης, κατά το άνοιγμα συνέδριου για τη χρήση των Big Data στο HR [12], έθεσε το ερώτημα του εάν οι εταιρείες θα πρέπει να προσλαμβάνουν αποφοίτους τμημάτων φιλοσοφίας. Όπως ανέφερε, οι απόφοιτοι τμημάτων φιλοσοφίας είναι πολύ ευπροσάρμοστοι στην αγορά εργασίας και μάλιστα πως βρίσκουν θέσεις εργασίας, όχι μόνο στον τομέα του πολιτισμού όπως θα περίμενε κανείς, αλλά και στα χρηματοοικονομικά, στις θετικές επιστήμες, στην ιατρική, στις επιστήμες πληροφορικής κ..α. Μάλιστα τόνισε το πλεονέκτημα του να εκτεθεί κάποιος σε τέτοιου είδους σπουδές. Ειδικότερα αναφέρει:

- Οι φοιτητές εκπαιδεύονται στο να ακούν και να επικοινωνούν πολύπλοκες ιδέες με σαφή και ακριβή τρόπο, επειδή η φιλοσοφία για παράδειγμα βασίζεται στον διάλογο τόσο με τους άλλους όσο και με τον εαυτό τους και έτσι ουσιαστικά οικοδομούν την επιχειρηματολογία, μαθαίνουν να εντοπίζουν αντιρρήσεις στα δικά τους επιχειρήματα.

- Επιπλέον οι φοιτητές τέτοιων τμημάτων προσαρμόζονται γρήγορα σε άγνωστα και νέα περιβάλλοντα αφού έχουν την ικανότητα να τα αναλύουν, να εντοπίζουν τις συνδέσεις και να το μοντελοποιούν ώστε να είναι σε θέση να κατανοήσουν γρήγορα πώς λειτουργεί βρίσκοντας έτσι τάχιστα λύσεις.
- Είναι εκπαιδευμένοι να αμφισβητούν υποθέσεις, να σπάνε τα προβλήματα σε μικρά λογικά κομμάτια να επιλύουν το καθένα, επιλύοντας εν τέλει γρηγορότερα το συνολικό πρόβλημα.
- Επίσης οι φοιτητές διδάσκονται πώς να σκέφτονται και όχι τι να σκέφτονται χρησιμοποιώντας την αμφιβολία και την αμφισβήτηση ως μέσο.

Επισημαίνει δε ότι οι σπουδές σε *Art Studies* είναι και ο λόγος επιτυχίας για πολλούς επιτυχημένους επιχειρηματίες. Τέτοιο υπόβαθρο έχουν επιχειρηματίες όπως ο Reid Hoffman (LinkedIn), ο Peter Thiel (Pay-Pal), ο Stewart Butterfield (Flickr).

Πρόσφατα, στο παγκόσμιο οικονομικό φόρουμ [13], ορίστηκαν οι 10 απαραίτητες δεξιότητες που θα πρέπει να διαθέτει ένας εργαζόμενος ώστε να καταφέρει να προσαρμόζεται σε ένα ασταθές περιβάλλον μετασχηματιζόμενων θέσεων εργασίας:

- Γνωστική ευελιξία
- Διαπραγματευτικές ικανότητες
- Ικανότητα προσανατολισμού στις υπηρεσίες
- Ικανότητα κρίσης και λήψης αποφάσεων
- Ικανότητα συνεργασίας
- Ικανότητα διαχείρισης ανθρώπων
- Δημιουργικότητα
- Κριτική σκέψη
- Συναισθηματική νοημοσύνη
- Επίλυση σύνθετων προβλημάτων

Τα παραπάνω συντελούν στην διαπίστωση της επιτακτικότητας του μετασχηματισμού του πανεπιστημίου, και ιδιαίτερα των προγραμμάτων σπουδών των τμημάτων μηχανικών. Από προγράμματα σπουδών βαθιάς εξειδίκευσης σε προγράμματα σπουδών που θα περιέχουν παράλληλα μια πληθώρα μαθημάτων ανθρωπιστικών σπουδών. Όχι μόνο για να επιτελείται το ουσιαστικό έργο του πανεπιστημίου, αλλά και για να προετοιμάσει και να εξοπλίσει τους αποφοίτους του με μια πληθώρα ικανοτήτων και δεξιοτήτων που θα τους εξασφαλίσουν τόσο την προσαρμογή τους σε ένα αβέβαιο μέλλον όσο και την δυνατότητα απασχόλησής τους σε τομείς και εργασίες που θα εφευρεθούν, καλλιεργώντας στον εσώτατο πυρήνα της διεπιστημονικής σκέψης τους την δια βίου μάθηση και αυτοαγωγή.

Για όλους αυτούς τους λόγους λοιπόν, απαιτούνται εκπαιδευτικοί με παιδαγωγική κατάρτιση η οποία θα τους δώσει τα εργαλεία και τις δυνατότητες να καλλιεργήσουν πέρα από τις γνώσεις του αντικειμένου τους και τις απαραίτητες δεξιότητες που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Στη διαπίστωση της ανάγκης μετασχηματισμού του πανεπιστημίου καταλήγει ο Κ. Σοφούλης μέσα από το βιβλίο του «Το πανεπιστήμιο ως σχολείο.»[14]. Αποτέλεσε έναν από τους πρωτοπόρους καθηγητές που ασχολήθηκαν με το Ελληνικό Τριτοβάθμιο Εκπαιδευτικό Σύστημα, ως Εκπαιδευτικό Σύστημα. Στο κεφάλαιο «Πρόγραμμα Γενικής παιδείας για το πανεπιστήμιο του 21<sup>ου</sup> αιώνα» συμπεραίνει:

«Η υπερειδίκευση παράγει άτομα με τόσο στενό ορίζοντα γνώσης και αξιών, ώστε, αν την αφήσουμε άφραγη, σύντομα η κοινωνία θα θυμίζει περισσότερο το γνωστό εργοστάσιο του 20<sup>ου</sup> αι. που τόσο χαρακτηριστικά απέδωσε ο Charlie Chaplin στην εμβληματική κινηματογραφική του ταινία.»

Αναφέρει παράλληλα πως για να αναδειχθεί η παιδαγωγική λειτουργία του Πανεπιστημίου ως θεσμού που διαπλάθει ολοκληρωμένες προσωπικότητες δημοκρατικών πολιτών, επιβάλλεται η επαναφορά του προγράμματος γενικής παιδείας. Αυτό θα οδηγούσε αλυσιδωτά σε μια συνολική μεταρρύθμιση της ανώτατης εκπαίδευσης εκ των ένδον και θα καθόριζε εν τέλει ρεαλιστικά και την απαιτούμενη μορφή του διοικητικού συστήματος των Πανεπιστημίων μας, που σήμερα σφαλερά έχει αναχθεί σε αυτόνομο ζήτημα»

#### **2.4 Αναγκαιότητα Παιδαγωγικής κατάρτισης πανεπιστημιακών δασκάλων**

Γιατί όμως αναφέρθηκα σε όλα τα παραπάνω; Πώς σχετίζεται η παιδαγωγική κατάρτιση των πανεπιστημιακών δασκάλων; Έχει τελικά θέση στο πανεπιστήμιο και τι μπορεί να προσφέρει;

Θεωρώ χρήσιμο σε αυτό το σημείο και πριν προχωρήσω στην απάντηση/ σε απαντήσεις επικαλούμενος κάποιες πρώτες έρευνες, να αναφερθώ στους βασικούς παιδαγωγικούς όρους:

**Αγωγή (Παιδαγωγική)**, αποτελούν όλες οι σκόπιμες και μεθοδευμένες ενέργειες του παιδαγωγού που επιδρούν και επιφέρουν αλλαγές και μεταβολές (κυρίως με σκοπό την μάθηση) στον άνθρωπο ανεξαρτήτως ηλικίας. Ο σκοπός της **σύγχρονης παιδαγωγικής** είναι η βελτίωση της ζωής του ατόμου και ως επακόλουθο η καλύτερευση της κοινωνίας μέσω της εκπαίδευσής του, ανεξάρτητα από τη βαθμίδα (δηλαδή από πρωτοβάθμια έως τριτοβάθμια).

**Παιδαγωγός** (αν και τέτοιοι όροι εμφανίζονται συχνά στο αρσενικό γένος, αντιστοιχούν σε άτομα ανεξαρτήτως βιολογικού ή κοινωνικού φύλου), είναι ο θεωρητικός της αγωγής που διδάσκει παιδαγωγικά μαθήματα και παράλληλα ερευνά παιδαγωγικά θέματα, ενώ **εκπαιδευτικός** από την άλλη είναι το άτομο που καλείται να μετατρέψει την διδακτέα ύλη της επιστήμης του (λ.χ. Πληροφορική) σε διδάξιμη μέσα από εργαλεία, θεωρίες, μεθοδολογίες και αρχές των επιστημών αγωγής.

**Διδασκαλία** είναι το σύστημα των οργανωμένων και συστηματικών ενεργειών (μέσα σε ένα αυστηρά καθοδηγητικό πλαίσιο) του εκπαιδευτικού που αποσκοπούν στην καλλιέργεια δεξιοτήτων καθώς και στο να επιφέρουν την μάθηση μέσα από την οικειοποίηση γνώσεων από τον παιδαγωγούμενο.

**Μάθηση** είναι η διαδικασία απόκτησης γνώσεων, ικανοτήτων, και δεξιοτήτων κατά την διδασκαλία του εκπαιδευόμενου από τον εκπαιδευτικό.

Ο όρος **πανεπιστημιακή παιδαγωγική** παραπέμπει στην ακαδημαϊκή διάσταση της έννοιας της παιδαγωγικής για να χαρακτηρίσει, αφενός διάφορες επιστημονικές θεωρίες και μελέτες που αφορούν διαδικασίες επηρεασμού και μόρφωσης σε επίπεδο ατόμου, ομάδας, κοινότητας και κοινωνίας σε διαφορετικά περιβάλλοντα, και αφετέρου συγκεκριμένες διδακτικές πρακτικές και προσεγγίσεις των διδασκόντων κατά τον σχεδιασμό, την υλοποίηση και την αξιολόγηση των μαθησιακών διαδικασιών που ενεργοποιούν στο πλαίσιο της επαγγελματικής αποστολής τους. [15]

Η Πανεπιστημιακή Παιδαγωγική απαντά στο ερώτημα: Τι είδους γνώσεις, δεξιότητες και ικανότητες χρειάζεται ο πανεπιστημιακός δάσκαλος ώστε να βοηθήσει αποτελεσματικά τους φοιτητές να μάθουν και να καλλιεργηθούν; Προφανώς, ο Πανεπιστημιακός δάσκαλος πρέπει να διαθέτει επαγγελματικά εφόδια που αφορούν τις επιστημονικές γνώσεις της ειδικότητάς του, καθώς και τα θεωρητικά/επιστημολογικά μοντέλα και τα εννοιολογικά εργαλεία ανάλυσης. Όλα αυτά είναι απαραίτητα για να μελετήσει τα φαινόμενα του ερευνητικού πεδίου του, να είναι ικανός να σχεδιάσει και να «τρέξει» πειράματα, να συλλέξει και να αναλύσει δεδομένα, να περιγράψει, να κατανοήσει και να εξηγήσει φαινόμενα [16].

Είναι, όμως, εξίσου σημαντικό να μπορεί ο πανεπιστημιακός δάσκαλος, λειτουργώντας ως «μηχανικός της εκπαίδευσης», αφενός να κατανοεί σε βάθος τις πολυδιάστατες διαδικασίες μάθησης ([16] Κόκκος, 2016), και αφετέρου, να μπορεί να σχεδιάζει και να πραγματοποιεί τα μαθήματά του με τρόπο που να αποτελούν βιώματα μύησης των φοιτητών στην επιστήμη του ( [16] Γουγουλάκης & Οικονόμου, 2016).

Μάλιστα, στην έρευνά τους οι προαναφερόμενοι διαπιστώνουν πως στην Ελλάδα απουσιάζει παντελώς η Πανεπιστημιακή Παιδαγωγική. Τονίζουν παράλληλα το γεγονός πως αν και όλα τα Πανεπιστήμια της χώρας μας έχουν Παιδαγωγικές Σχολές, εντούτοις δεν έχουν μέχρι σήμερα λάβει πρόνοια για την παιδαγωγική και διδακτική υποστήριξη του εκπαιδευτικού και λοιπού προσωπικού τους.

Δυστυχώς το τριτοβάθμιο εκπαιδευτικό σύστημα, τείνει να διαχωρίζεται από το περιβάλλον της εκπαίδευσης, στρέφεται στην έρευνα ως αυτοσκοπό και αυτοπροσδιορίζεται μέσα από τον καθρέπτη του status quo και της ερευνητικής καριέρας των λειτουργών του. Το πανεπιστημιακό περιβάλλον εκπαίδευσης θα πρέπει το συντομότερο δυνατό να πάψει να αντιμετωπίζεται και να αποτελεί *Sui generis* του εκπαιδευτικού συστήματος μιας και αποτελεί μέρος του.

Αυτό αναδεικνύεται μάλιστα και από το εισαγωγικό κείμενο του Συμποσίου για την Πανεπιστημιακή Παιδαγωγική [16]. Στην Ελλάδα τα περισσότερα μέλη ΔΕΠ δεν ενημερώνονται σε θέματα σχετικά με διδακτικές μεθόδους, είτε γιατί δεν διαθέτουν ανάλογα κίνητρα, είτε γιατί θεωρούν πιο σημαντικό για την εξέλιξη και την επαγγελματική σταδιοδρομία τους, το να επικεντρωθούν στην έρευνα.

Την διαπίστωση έρχεται να επιβεβαιώσει η έρευνα για την «πανεπιστημιακή παιδαγωγική στην Ελλάδα - μια ποιοτική προσέγγιση», [16] (Μπελετριώτη, Οικονόμου -

2019). Ένας συνεντευξιαζόμενος αναφέρει χαρακτηριστικά ότι ο όρος Α.Ε.Ι. σημαίνει Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα και όχι Ανώτατο Ερευνητικό Ίδρυμα: «το κύριο μέλημα μας να είναι ή εκπαίδευση, ένα μεγάλο μέρος της δραστηριότητας να κινείται και σε έρευνα σε θέματα της τάξης μας... και όχι μόνο μια ξερή αξιολόγηση που γίνεται κάθε εξάμηνο... να δημοσιεύουμε, να μελετούμε, να συνεργαζόμαστε με ειδικούς παιδαγωγούς...υπάρχει το ερευνητικό κομμάτι, υπάρχει το επιστημονικό κομμάτι και κάπου υπάρχει και η διδασκαλία», αναφέρει χαρακτηριστικά.

Στην παραπάνω έρευνα, διαπιστώνεται επίσης, πως οι εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι δεν μπορούν να κάνουν απλά μάθημα χωρίς να υπάρχει η έρευνα, γιατί θα έφταναν σε ένα σημείο να διδάσκουν παρωχημένα θέματα, όπως και, από την άλλη, δεν μπορούν να κάνουν μόνον έρευνα χωρίς να μπορούν να μεταδώσουν τις νέες ιδέες στους φοιτητές. Επικρατεί, λοιπόν, η άποψη ότι ναι μεν η διδασκαλία είναι απαραίτητη για να δημιουργηθεί το νέο εκπαιδευτικό προσωπικό, εξίσου σημαντική όμως είναι και η έρευνα ώστε να έχει νόημα αυτή η διδασκαλία. Καταλήγουν δε, στο ότι η έρευνα και η διδασκαλία βασίζονται σε μια αμφίδρομη σχέση και καμιά έννοια από τις δυο δεν θα είχε νόημα χωρίς την ύπαρξη της άλλης. Παρόλα αυτά όμως συνειδητοποιούν ότι η ελληνική πραγματικότητα διαφέρει (από το προσδοκώμενο/ από τη θεωρία) και ότι η διδασκαλία δεν έχει τη θέση που θα έπρεπε στα Ελληνικά Ανώτατα Ιδρύματα: «δυστυχώς δεν είμαστε εκπαιδευτικό ίδρυμα... πολλοί συνάδελφοι μισούν να κάνουν μάθημα... τους ενδιαφέρει μόνο η έρευνα... ή αυθεντία του καθηγητή δεν έχει φύγει από πάνω μας», «είναι το σύστημα έτσι που επιβραβεύει περισσότερο την έρευνα».

Ουσιαστικά επιβεβαιώνεται για άλλη μια φορά πως η διδακτική κατάρτιση των μελών ΔΕΠ στη Χώρα μας θεωρείται δευτερευούσης σημασίας και δεν συνιστά πεδίο θεωρητικού προβληματισμού και πρακτικής εξάσκησης. Επιπλέον, η διδακτική και παιδαγωγική επάρκεια, πιστοποιημένη από έναν εγκεκριμένο φορέα, ενός εκπαιδευτικού που προορίζεται για εισαγωγή σε κάποιο Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (ΑΕΙ ) δεν θεωρείται απαραίτητο προσόν [17].

Σκοπός της Πανεπιστημιακής Παίδευσης δεν μπορεί να είναι άλλος από το να καλλιεργήσει την ικανότητα όσων συμμετέχουν σ' αυτήν να σκέφτονται γύρω από πολύπλοκα φαινόμενα, να τα διερευνούν και να τα αξιολογούν, με σεβασμό στα εμπειρικά δεδομένα και την επιστημονική γνώση και δεοντολογία, πάντα στο πλαίσιο του κριτικού ορθολογικού διαλόγου. Η Τριτοβάθμια Εκπαίδευση – και γιατί όχι όλες οι βαθμίδες της Εκπαίδευσης – θα πρέπει να βοηθά τους σπουδαστές "να βλέπουν ό, τι δεν μπορούν να δουν, όταν βλέπουν". Βέβαια, για να συμβούν όλα αυτά απαιτούνται πόροι, υποστήριξη από τους καθ' ύλην αρμόδιους φορείς και τις Διοικήσεις των ΑΕΙ, καθώς φυσικά και από την ίδια την ακαδημαϊκή κοινότητα (φοιτητές και διδάσκοντες), να προσδιορίσουν, το περιεχόμενο, τον χαρακτήρα, τις μορφές και την έκταση της Πανεπιστημιακής παιδαγωγικής κατάρτισης [15].

Η παιδαγωγική κατάρτιση των Καθηγητών μπορεί να τους προσφέρει μια νέα προοπτική σύνδεσης και σχέσης με τους φοιτητές τους, να τους βοηθήσει στην αναζήτηση της ταυτότητάς τους, να τους ανοίξει ένα παράθυρο σε ένα νέο κόσμο



μάθησης, να τους βοηθήσει να ανταπεξέλθουν σε δύσκολες στιγμές μέσα στην αίθουσα διδασκαλίας, να τους υποστηρίξει στο να αποφύγουν μια άκαρπη αναπαραγωγή γνώσεων για την οποία συχνά κατηγορούνται, αλλά και να τους εξοπλίσει με τεχνικές και νέες μεθόδους διδασκαλίας ([16] Postareff et al., Bevins et al.).

Η «καλή» διδασκαλία δεν είναι αρκετή για το περιβάλλον ενός σύγχρονου Πανεπιστημίου. Σταδιακά, όλο και περισσότερο ζητείται από τους Καθηγητές να σχεδιάσουν και να μετρήσουν τα μαθησιακά αποτελέσματα των φοιτητών τους. Οι φωνές που ζητάνε λογοδοσία στα Α.Ε.Ι. σχετικά με την παιδαγωγική αποτελεσματικότητα όλο και πληθαίνουν. Σύμφωνα με τους Hutchings, et al. [16] η επαρκής προετοιμασία των φοιτητών για τη ζωή, την εργασία και την συμμετοχή τους ως πολίτες του 21ου αιώνα, απαιτεί από τα Πανεπιστήμια να δώσουν μεγαλύτερη προσοχή στην καρδιά της Πανεπιστημιακής πρακτικής, που είναι η ενασχόληση με τη μάθηση και τη διδασκαλία. Η εξειδίκευση σε ένα γνωστικό πεδίο δεν είναι αρκετή για να εξασφαλίσει την ακαδημαϊκή ολοκλήρωση των Πανεπιστημιακών δασκάλων. Αυτοί οφείλουν να δεσμεύονται ενεργά στην αποτελεσματική διάχυση των γνώσεων τους στους φοιτητές τους (Romainville, 1996).

Στην έρευνα της Ασωνίτου [16] επισημαίνεται πως η εξειδίκευση των ακαδημαϊκών δεν εγγυάται ότι αυτοί μπορούν και να μεταφέρουν αυτή τη γνώση στους φοιτητές τους. Η έλλειψη παιδαγωγικής κατάρτισης οδηγεί τους Καθηγητές να διδάσκουν με τον τρόπο που είχαν διδαχθεί οι ίδιοι. Οι παλαιότερες μέθοδοι διδασκαλίας όμως είναι πιθανόν να μην είναι πλέον αποτελεσματικές σε μια πολυπολιτισμική και παγκοσμιοποιημένη κοινωνία. Οι ακαδημαϊκοί δάσκαλοι θα πρέπει να ενημερωθούν για τις προσεγγίσεις στη μάθηση, τα θεωρητικά μοντέλα εκπαίδευσης και τη σχετική βιβλιογραφία, ειδικά αυτή που σχετίζεται με την επιστήμη τους. Η διαδικασία μάθησης των φοιτητών οφείλει να ενδιαφέρει τους Πανεπιστημιακούς δασκάλους ανεξάρτητα από το γνωστικό τους πεδίο. Διότι οι παιδαγωγικές γνώσεις θα τους διευκολύνουν στη δημιουργία ενός προγράμματος σπουδών που επικεντρώνεται στη διαδικασία μάθησης και όχι μόνο στο να δίνει απαντήσεις και να παρέχει πληροφορίες. Πολλές φορές έχουμε ακούσει φοιτητές να λένε ότι «αντιπάθησαν ένα μάθημα επειδή ο καθηγητής / η καθηγήτρια που το δίδασκε δεν ήταν καλός/ καλή». Ένας «ενημερωμένος παιδαγωγικά» καθηγητής ίσως δεν μπορεί να δημιουργήσει κατάλληλο κίνητρο στον φοιτητή που δεν το έχει, σίγουρα όμως δεν θα δημιουργήσει «αντικίνητρο» σε όσους φοιτητές το έχουν από μόνοι τους. Η συνεχής παιδαγωγική κατάρτιση των καθηγητών θα τους υποστηρίξει στην προσπάθειά τους να διαπιστώσουν την αποτελεσματικότητά τους ως δάσκαλοι (Freudenberg, 2012) αλλά και να βελτιώσουν τη μαθησιακή εμπειρία των φοιτητών τους (Trigwell et al., 2000)

Αναδιφώντας στη βιβλιογραφία τη σχετική με το ιδανικό προφίλ του δασκάλου και τις γνώσεις που το στοιχειοθετούν, καταλήγει κανείς ότι ο επαγγελματικά καταρτισμένος εκπαιδευτικός είναι εξοικειωμένος με τις αρχές πάνω στις οποίες στηρίζεται η μαθησιακή και, γενικότερα, εκπαιδευτική διαδικασία, έχει αυτογνωσία, γνωρίζει τους σπουδαστές του, κατέχει το γνωστικό του αντικείμενο και διαθέτει ένα ρεπερτόριο μεθόδων και τεχνικών διδασκαλίας [15]

Ο Tough [18] υποστηρίζει ότι ο ιδανικός εκπαιδευτής (ενηλίκων) πρέπει να:

- είναι ζεστός, μπορεί να αγαπάει, πιστεύει στην ικανότητα του εκπαιδευόμενου
- είναι πάντα έτοιμος να μπει σε πραγματικό διάλογο με τον εκπαιδευόμενο,
- έχει ισχυρό κίνητρο για να προσφέρει βοήθεια
- είναι μια ανοικτή και αναπτυσσόμενη προσωπικότητα

Σύμφωνα με τους Mosker, Noble [18], οι 24 ικανότητες που καταγράφουν για έναν εκπαιδευτή ενηλίκων θα πρέπει να είναι:

- 1) επικοινωνεί αποτελεσματικά με τους εκπαιδευόμενους,
- 2) αναπτύσσει αποτελεσματικές σχέσεις εργασίας με τους εκπαιδευόμενους,
- 3) ενδυναμώνει τις θετικές τους διαθέσεις,
- 4) δημιουργεί κλίμα που ενθαρρύνει τη συμμετοχή τους,
- 5) δημιουργεί θεμέλια αμοιβαίου σεβασμού,
- 6) προσαρμόζει το ρυθμό της μάθησης στις δυνατότητες των εκπαιδευομένων,
- 7) προσαρμόζει τη διδασκαλία στα χαρακτηριστικά του κάθε εκπαιδευόμενου ξεχωριστά (εξατομικευμένη μάθηση) και στα χαρακτηριστικά της ομάδας,
- 8) αντιλαμβάνεται τη διαφορά ανάμεσα στην εκπαίδευση των παιδιών και στην εκπαίδευση ενηλίκων,
- 9) οργανώνει συνθήκες εκπαίδευσης που να αναπτύσσουν την εμπιστοσύνη των εκπαιδευομένων,
- 10) ενισχύει το ενδιαφέρον τους για τις εκπαιδευτικές δραστηριότητες,
- 11) προσαρμόζει το πρόγραμμα στις μεταβαλλόμενες ανάγκες τους,
- 12) διαμορφώνει την αίθουσα διδασκαλίας έτσι, ώστε να δημιουργείται άνετο μαθησιακό περιβάλλον,
- 13) αναγνωρίζει τις αναπτυξιακές δυνατότητες των εκπαιδευομένων,
- 14) προσαρμόζει τη μάθηση στο επίπεδό τους,
- 15) συνοψίζει και ανακεφαλαιώνει τα βασικά σημεία κάθε μαθήματος,
- 16) συμμετέχει σε διαδικασίες αυτοαξιολόγησης της αποτελεσματικότητας του έργου του,
- 17) δίνει στους εκπαιδευόμενους συνεχή ανατροφοδότηση σχετικά με την πρόοδό τους,
- 18) επικεντρώνεται στις θεματικές περιοχές που είναι πιο κοντά στα ενδιαφέροντα των εκπαιδευομένων,
- 19) συντονίζει και επιβλέπει τις εκπαιδευτικές δραστηριότητες,
- 20) γνωρίζει και εφαρμόζει τις αρχές μάθησης ενηλίκων,
- 21) δείχνει έμπρακτα τη διάθεσή του για καινοτομία και πειραματισμό, προσεγγίζοντας με νέους τρόπους τα αντικείμενα,
- 22) παρακινεί τους εκπαιδευόμενους να μελετούν μόνοι τους,
- 23) αξιοποιεί τις γνώσεις και το εκπαιδευτικό υλικό που έχουν διαμορφώσει άλλοι εκπαιδευτές,
- 24) συνδέει τη μαθησιακή διαδικασία με τις εμπειρίες και τη προηγούμενη γνώση των εκπαιδευομένων.

Η παιδαγωγική κατάρτιση λοιπόν είναι άμεσα συνυφασμένη με την ποιότητα της διδασκαλίας και το μετασχηματισμό του πανεπιστημίου του μέλλοντος. Για τον σκοπό αυτό θα πρέπει να πάψει η διδασκαλία να αποτελεί ατομική υπόθεση κάποιων λίγων πανεπιστημιακών διδασκόντων, αλλά να είναι θεσμικός στόχος. Αποτέλεσμα αυτού θα είναι η καθοριστική για την ακαδημαϊκή πορεία πρόοδος των φοιτητών, οι επιδόσεις, οι ευκαιρίες, οι επιλογές τους είτε κατά τη διάρκεια των σπουδών τους, είτε στην αγορά εργασίας είτε για το υπόλοιπο της ζωής τους καθώς και η ανάπτυξη των δεξιοτήτων και ικανοτήτων που απαιτούνται για να προσαρμοστούν και να ανταπεξέλθουν στο άγνωστο μέλλον που θα βρεθούν.

Επακόλουθο της μη ποιοτικής εκπαίδευσης είναι η αδιαφορία των φοιτητών. Ο Σοφούλης [14] αναφέρει χαρακτηριστικά: «Την αγάπη τους προς τον πανεπιστημιακό θεσμό χάνουν σιγά σιγά και οι σπουδαστές, διότι το σύγχρονο Πανεπιστήμιο φαίνεται να δίνει έμφαση στις μεταπτυχιακές σπουδές και την έρευνα, παρά στην εκπαίδευση των φοιτητών του. Συχνό είναι το φαινόμενο την διδασκαλία των προπτυχιακών μαθημάτων να την αναλαμβάνουν οι καθηγητές χαμηλότερων βαθμίδων ή και οι βοηθοί καθηγητών, καθώς οι καθηγητές των μαθημάτων είναι πλήρως απορροφημένοι με τα ερευνητικά προγράμματα τους.»

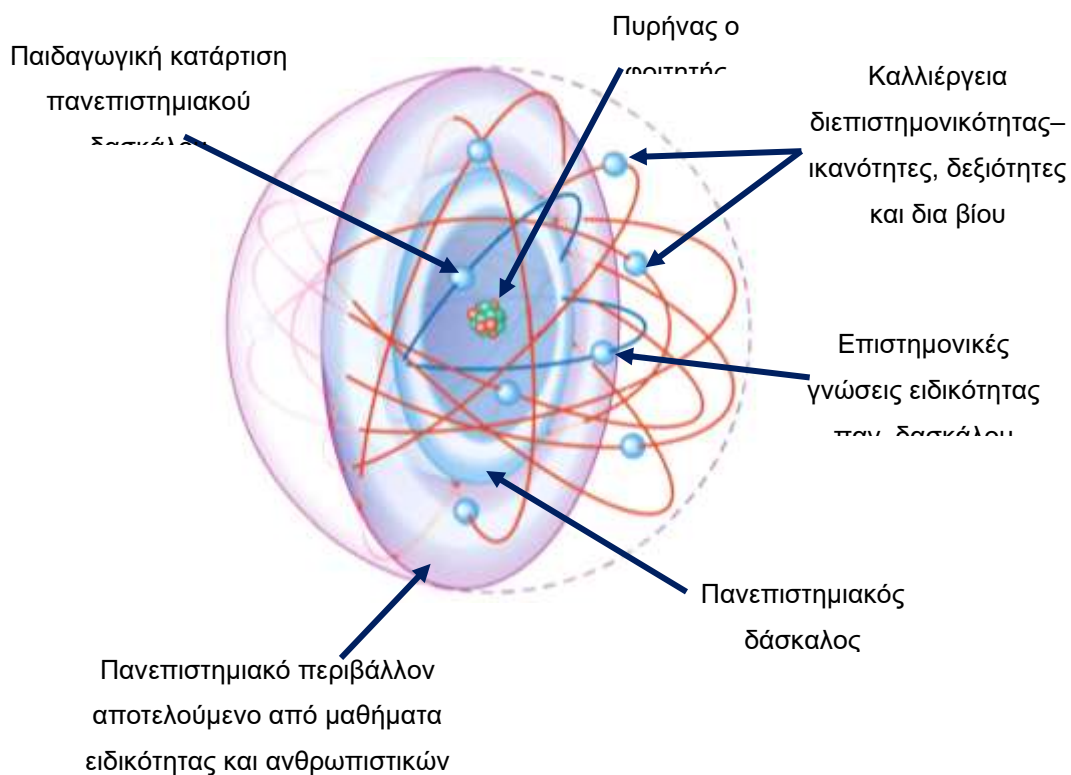
Οι Γουγουλάκης και Οικονόμου [17] κλείνουν προτείνοντας:

«Πρέπει να δοθούν κίνητρα και μεγαλύτερη αυτονομία δράσης στις κοινότητες ΔΕΠ της χώρας μας να προβούν στις αλλαγές που επιβάλλεται να γίνουν στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Μόνον μια κινητοποίηση από τα «κάτω» έχει, κατά τη γνώμη μας, προϋποθέσεις να εκσυγχρονίσει το Ελληνικό Πανεπιστήμιο με βήματα λελογισμένα, ρεαλιστικά και κοστολογημένα. Καιρός να αφήσουμε το στάδιο των προθέσεων και διαθέσεων, εκεί όπου όλα ευημερούν! Η συζήτηση με αφορμή το ποιόν της Πανεπιστημιακής Παιδαγωγικής δεν αποτελεί πολυτέλεια, αλλά το έναυσμα για ένα Νέο Πανεπιστήμιο σε μια περίοδο κρίσης, αναστοχασμού και αναπροσανατολισμού. «Any Teacher That Can Be Replaced By A Computer Should (And Deserves To) Be». »

Αν και τέθηκαν πολλά ζητήματα, το καθένα από τα οποία θεωρώ πως αποτελούν ξεχωριστό πεδίο έρευνας και είναι αδύνατο να επεκταθούν σε μερικές ενότητες ενός κεφαλαίου, θεωρώ πως έστω και σε μικρό βαθμό ο αναγνώστης θα κατανοήσει την αναγκαιότητα μετασχηματισμού του πανεπιστημιακού περιβάλλοντος και της παιδαγωγικής κατάρτισης των δασκάλων του.

Θεωρώ πως και το τμήμα μας, έχει ανάγκη από την ίδρυση ενός Παιδαγωγικού Τομέα που θα προσφέρει στο εκπαιδευτικό προσωπικό του συνεχή παιδαγωγική επιμόρφωση όπως ήδη διατυπώθηκε στο σουηδικό κανονισμό λειτουργίας των ΑΕΙ [17] ήδη από το 1992 «καλύτερη παιδαγωγική εκπαίδευση και διδακτική κατάρτιση των πανεπιστημιακών δασκάλων, ώστε με μεγαλύτερη μαεστρία να αντιμετωπίζουν τα όποια προβλήματα προκύπτουν στη διάρκεια της εκτέλεσης των διδακτικών τους καθηκόντων.» Στο πλαίσιο της προσέγγισης αυτής ας μου επιτραπεί να δανειστώ το ατομικό μοντέλο του Bohr (τροποποιημένη εικόνα [19], Σχήμα 1) ώστε να αναπαραστήσω το πως θα πρέπει, κατά την γνώμη μου, να διαμορφωθεί η δομή του σύγχρονου εκδημοκρατισμένου

πανεπιστημίου. Στον πυρήνα του θα πρέπει να βρίσκεται ο φοιτητής, γύρω του ως στιβάδα ο πανεπιστημιακός δάσκαλος, στην περιοχή κίνησης του οποίου περιλαμβάνεται τόσο η παιδαγωγική κατάρτιση του, ώστε να είναι σε θέση να μεταδώσει το μαθησιακό περιεχόμενο με το βέλτιστο δυνατό τρόπο, όσο και η γνώση του επιστημονικού αντικειμένου του. Τόσο ο εκπαιδευτικός όσο και ο φοιτητής περικλείονται από την στιβάδα του περιβάλλοντος του πανεπιστημίου. Το περιβάλλον του πανεπιστημίου, μαζί με το πρόγραμμα σπουδών και τους διδάσκοντες θα πρέπει να παρέχει τόσο μαθήματα της ειδικότητας του φοιτητή όσο και ανθρωπιστικών σπουδών, ενώ θα πρέπει να μεριμνά για την διεπιστημονική σκέψη και προσέγγιση των διδασκόμενων μαθησιακών περιεχομένων, αναπτύσσοντας ταυτόχρονα τις απαραίτητες δεξιότητες και ικανότητές που προαναφέρθηκαν παραπάνω. Φυσικά ως πυρήνας ο φοιτητής, θα έχει λόγο στην διαμόρφωση του προγράμματος σπουδών του, αλλά και της κατεύθυνσής του.

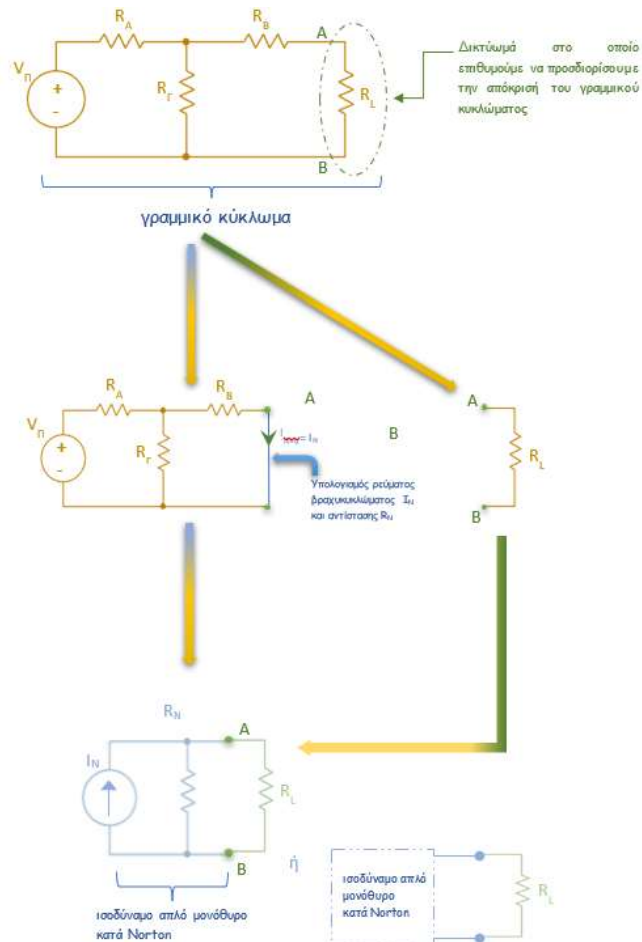


Σχήμα 1 , Προσέγγιση δομής πανεπιστημίου για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του μέλλοντος

### 3. Εκπαιδευτικό υλικό εργαστηρίου Κυκλωμάτων και Συστημάτων

Ένα από τα σημαντικότερα κομμάτια της παρούσας διπλωματικής, αλλά και πρόκληση για εμένα, αποτέλεσε η συγγραφή σημειώσεων και εργαστηριακών ασκήσεων για το εργαστήριο «Κυκλωμάτων και Συστημάτων» το οποίο διδάσκεται στο 3<sup>ο</sup> εξάμηνο του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Σκοπός ήταν η παιδαγωγική προσέγγιση και έπειτα η παρουσίαση του μαθησιακού περιεχομένου του, στους φοιτητές. Το υλικό βρίσκεται στο παράρτημα Α της παρούσας διπλωματικής.

Όλο το μαθησιακό περιεχόμενο αναπτύχθηκε και παρουσιάστηκε κλιμακωτά ως προς την δυσκολία του, ενώ ταυτόχρονα προστέθηκαν εποπτικά σχήματα (Σχήμα 2) με έμφαση στην επεξήγηση δυσνόητων ή μη ξεκάθαρων εκ πρώτης όψεως εννοιών.

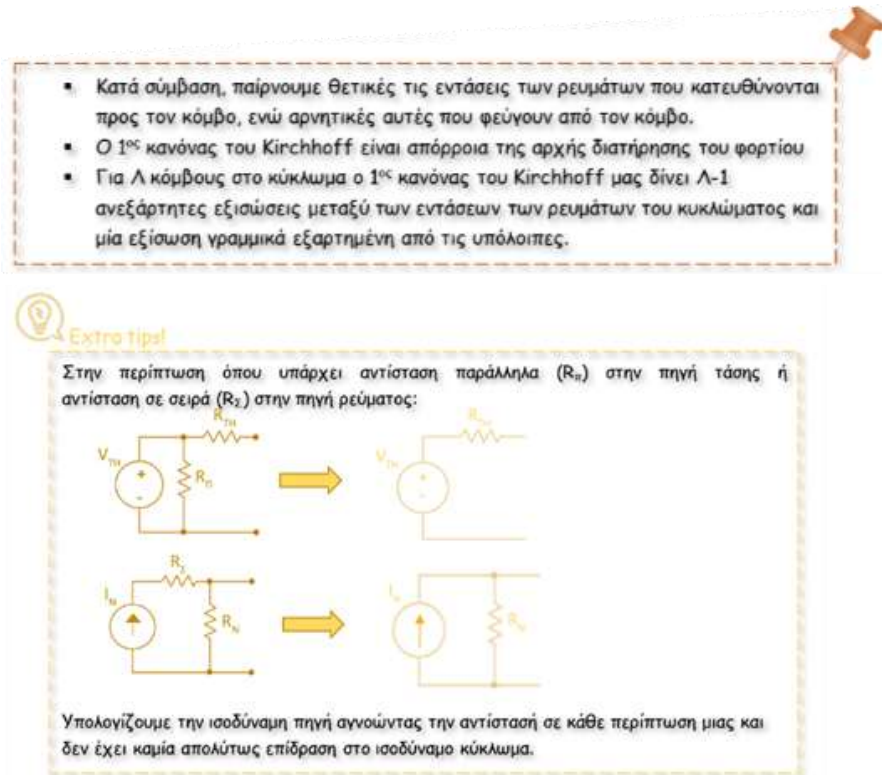


Σχήμα 2 , Παράδειγμα εποπτικής επεξήγησης μεθοδολογίας επίλυσης κυκλωμάτων

Ο σκοπός της προσέγγισης αυτής ήταν διττός, αφενός μεν, να παρουσιάσει με κατανοητό τρόπο όλες τις απαραίτητες και βασικές έννοιες του μαθήματος στους φοιτητές, αφετέρου δε να αποτελέσει οδηγό αυτομάθησης ελαχιστοποιώντας την εμπλοκή του εκπαιδευτικού. Έτσι, οι φοιτητές, κατακτώντας μια καλή και όσο το δυνατόν πλήρη και επεξηγηματική βάση του μαθησιακού περιεχομένου του μαθήματος, θα είναι έπειτα σε θέση μέσω της βαθιάς κατανόησης των εννοιών, να μπορούν να εμβαθύνουν (μόνοι τους) σε

συνθετότερα ζητήματα, ανατρέχοντας είτε στην βιβλιογραφία είτε σε κάποιο ακαδημαϊκό σύγγραμμα χωρίς να απαιτείται απαραίτητα η υποστήριξη του διδάσκοντα.

Ακόμα, σημεία που χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής από τον φοιτητή, κρίσιμες επεξηγήσεις ή έννοιες απαραίτητες για την μετέπειτα κατανόηση περιεχομένων, προστέθηκαν σε γραφικά πλαίσια ώστε να τους αποδοθεί έμφαση (παράδειγμα Σχήμα 3).



Σχήμα 3 , Παραδείγματα θεωρητικών σημείων που χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής τοποθετημένα σε πλαίσια

Από την άλλη, λέξεις κλειδιά, έννοιες που αναφέρθηκαν σε προηγούμενα σημεία, ή έννοιες που θα μπορούσαν να αναζητήσουν οι ίδιοι οι φοιτητές, με σκοπό να δουν άμεσα τρέχουσες εφαρμογές στην επιστήμη τους, έχουν προστεθεί υπό μορφή hashtag (#έννοια). Την ιδέα των hashtags (Σχήμα 4) δανείστηκα τόσο από την έννοια μεταδιδόμενα, όσο από και την εξοικείωση των φοιτητών με τις νέες τεχνολογίες με σκοπό να τους προκαλέσω αυτό που αποκαλούμε παιδαγωγικά engagement.

Για την σχεδίαση της χαρακτηριστικής καμπύλης μπορείτε να χρησιμοποιήσετε  
#LibreOffice\_Calc #Origin #QtiPlot #Excel κ.α.

Μπορείτε να αναζητήσετε  
#χαρακτηριστικά\_αντιστάσεων #μη\_γραμμικές\_αντιστάσεις

#αωστή\_αύνδεση\_βολτόμετρου\_αμπερόμετρου  
#αωστή\_επιλογή\_εισόδων\_πολύμετρου

Σχήμα 4, Παραδείγματα λέξεων κλειδιών υπό μορφή hashtag

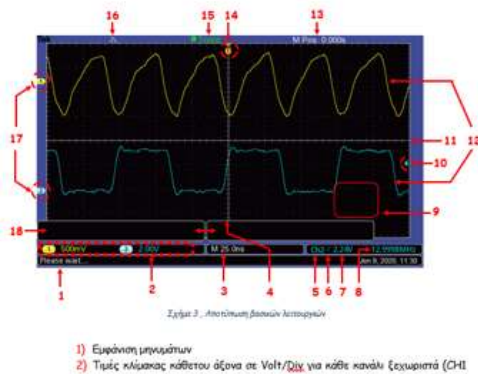
Επιπλέον, κάθε θεωρητική ενότητα περιλαμβάνει αναλυτικά παραδείγματα και ασκήσεις. Μάλιστα, πολλές ίδιες ασκήσεις έχουν λυθεί με διαφορετική προσέγγιση, διαφορετικά εργαλεία (κυκλωματικά ή μαθηματικά) και θεωρήματα ώστε ο φοιτητής να κατανοήσει

αφενός μεν ότι η λύση σε ένα πρόβλημα δύναται να έχει διαφορετική οπτική και προσέγγιση, αφετέρου δε ότι το ίδιο εργαλείο μπορεί να προσαρμοστεί για να οδηγήσει στην ίδια λύση-αποτέλεσμα. Σε πολλά σημεία ακόμα, προστέθηκαν διάφορα εποπτικά μέσα, σε ψηφιακή μορφή με QR-Code (Σχήμα 5) ώστε ο φοιτητής να αποκτά άμεση πρόσβαση σε αυτά.



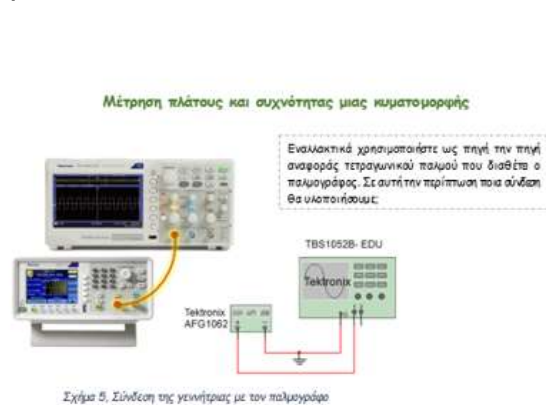
**Σχήμα 5, Παράδειγμα QR-Code που οδηγεί σε εποπτικό μέσο**

Από την άλλη πλευρά, τόσο οι εργαστηριακές ασκήσεις όσο και οι οδηγοί χρήσης των οργάνων ακολούθησαν την προηγούμενη προσέγγιση. Ειδικότερα, οι οδηγοί χρήσης των οργάνων πέρα από την σχηματική αναπαράσταση και την αναλυτική γραφική περιγραφή του συνόλου των λειτουργιών που θα κληθούν να χρησιμοποιήσουν οι φοιτητές στα πλαίσια των πειραμάτων (Σχήμα 6), περιέχουν και βασικά παραδείγματα βήμα-βήμα ώστε μελετώντας τα να κατανοήσουν ευκολότερα όλες τις λειτουργίες τους, ελαχιστοποιώντας παράλληλα την εμπλοκή του διδάσκοντα.



**Σχήμα 6, Παράδειγμα εποπτικής περιγραφής χρήσεις παλμογράφου**

Όσον αφορά τις εργαστηριακές ασκήσεις, στην αρχή τους περιέχουν την αναφορά των προαπαιτούμενων ενοτήτων που θα πρέπει να έχει ήδη μελετήσει ο φοιτητής πριν από την πειραματική διαδικασία, ενώ κάθε πείραμα περιέχει το σκοπό του (Σχήμα 7) , ώστε να διατυπωθεί ξεκάθαρα η κατεύθυνση του μαθησιακού αποτελέσματος στο οποίο θα οδηγηθεί ο φοιτητής με το πέρας του πειράματος.



**1** Μετρήσεις τάσεων και ρευμάτων με χρήση ψηφιακού πολύμετρου

**Προετοιμασία:** Για την υλοποίηση της άσκησης κρίνεται αναγκαία η μελέτη του παραρτήματος του χρωματικού κώδικα αντιστάτων, του πολύμετρου, του breadboard και του τροφοδικτύου. Από το θεωρητικό μέρος μελετήστε την ενότητα του αντιστάτη, του διαφρέτη τάσης και του διαφρέτη ρεύματος.

---

**Εργασία 2**

**Νόμος του Ohm**

**Σκοπός** της παρούσας εργασίας είναι η εξοικείωσή σας με τη σύνδεση του πολύμετρου ως βολτόμετρο-αμπερόμετρο, ενώ μετρώντας την τάση και το ρεύμα που διαρρέει έναν αντιστάτη θα προσδιορίσετε την τιμή του από την αντίστοιχη χαρακτηριστική καμπύλη έντασης-τάσης.

**Πειραματικό μέρος**

**Όργανα-Υλικά:** δύο πολύμετρα, μια αντίσταση 220 Ω, τροφοδικτύο.

### Σχήμα 7 , Παράδειγμα αναφοράς σκοπού και προετοιμασίας εργαστηριακής άσκησης

Οι συνδεσμολογίες των κυκλωμάτων σταδιακά αλλάζουν μορφή, από την εποπτική - προσομοίωσης στην καθαρά σχηματική, ενώ ζητείται σε πολλά σημεία και η σχεδίαση της τελευταίας, ώστε ο φοιτητής να είναι σε θέση τόσο να καταλάβει τις διάφορες μορφές σχηματικής αναπαράστασης ενός κυκλώματος όσο και να αναπτύξει την ικανότητα πρακτικής υλοποίησης της συνδεσμολογίας από αυτές.

Σημεία τα οποία απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή, τα οποία αποτελούν προαναφερθείσες γνώσεις ή στα οποία πρέπει να δοθεί έμφαση όσον αφορά βασικά εργαστηριακά βήματα, έχουν προστεθεί υπό την μορφή hashtag. Επιπρόσθετα, κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων ο φοιτητής αποκτά στοχευμένα άμεση πρόσβαση σε μαθησιακό περιεχόμενο που σχετίζεται με το σημείο στο οποίο βρίσκεται ή υποστηρικτικό υλικό, μέσω QR-Code. Τέλος η ροή των ασκήσεων διαμορφώθηκε με τρόπο τέτοιο, ώστε ο φοιτητής, να μην ακολουθεί άκριτα βήματα, χωρίς δηλαδή να κατανοεί εν τέλει την αναγκαιότητά ή τον σκοπό τους, αλλά να νοηματοδοτεί και να αναστοχάζεται, αφού κατά την διάρκεια αυτών, παρατηρεί, σχολιάζει, συγκρίνει, συνδέει, καταγράφει και αιτιολογεί (Σχήμα 8).



- 5) Η φωτεινότητα ενός λαμπτήρα σε συνεχή (DC) τάση είναι σταθερή αφού το ρεύμα που τον διαρρέει είναι πάντοτε το ίδιο. Στην περίπτωση όμως της εναλλασσόμενης (AC) τάσης η φωτεινότητα ενός οικιακού λαμπτήρα μοιάζει να είναι σταθερή ενώ στην πραγματικότητα μεταβάλλεται στο χρόνο όπως μεταβάλλεται και το ρεύμα. Γιατί λοιπόν εξακολουθούμε να βλέπουμε την φωτεινότητα του οικιακού λαμπτήρα σταθερή;

Απάντηση:.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Σχήμα 8 , Παράδειγμα ερώτησης αναστοχασμού και σύνδεσης μαθησιακού περιεχομένου με την καθημερινότητα

### 3.1 Παιδαγωγική προσέγγιση

Βάση για την ανάπτυξη του μαθησιακού περιεχομένου, αποτέλεσαν οι στρατηγικές αποτελεσματικής διδασκαλίας, οι στρατηγικές κατευθυνόμενης διερεύνησης [20], η διερευνητική μέθοδος [21], οι υποδεξιότητες των δεξιοτήτων κριτικής σκέψης, καθώς και της συνεργατικής μάθησης.

Τόσο στο θεωρητικό μέρος του μαθήματος όσο και στο εργαστηριακό, η προσπάθεια επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη του περιεχομένου με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εύκολα κατανοητό. Η κατανόηση του μαθησιακού περιεχομένου από τον εκπαιδευόμενο, αποτελεί το κλειδί για την εμβάθυνση σε συνθετότερες έννοιες και θεωρίες, διατηρεί την εμπλοκή του και ταυτόχρονα τον καθιστά ικανό να αναπτύσσει αποτελεσματικές προσέγγισης στην λύση ενός προβλήματος. Στο πλαίσιο αυτό, οι ασκήσεις του θεωρητικού μέρους του μαθήματος, οι οποίες συμβάλουν τόσο στην κατανόηση θεωρητικών εννοιών όσο και στο εργαστηριακό μέρος, όπου είναι εφικτό λύνονται με διαφορετικούς τρόπους.

Αξίζει να σημειωθεί πως όλες οι ασκήσεις του εργαστηριακού μέρους αναπτύχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να λαμβάνουν υπόψη την χρονική αδυναμία του εκπαιδευτικού (στα πλαίσια δύο διδακτικών ορών) να υποστηρίξει καθολικά κατά μέσο όρο έναν αριθμό 30 φοιτητών. Έτσι, ενώ βάση της δομής και του τρόπου ανάπτυξής τους μειώνουν την εμπλοκή του εκπαιδευτικού, από την άλλη πλευρά καλλιεργούν στους φοιτητές υποδεξιότητες κριτικής σκέψης όπως:

- **Ανάλυση:** Στις εργαστηριακές ασκήσεις οι φοιτητές καλούνται να προσδιορίσουν και να εκφράσουν σχέσεις διαφόρων τύπων αναπαράστασης της πληροφορίας μέσα από περιγραφές ή κάνοντας χρήση θεωρητικών εννοιών.
- **Συμπερασμός:** Σε διάφορα βήματα των εργαστηριακών ασκήσεων εξετάζουν σχετικές πληροφορίες που τους παρέχονται για να διατυπώσουν-καταγράψουν και

εξάγουν συμπεράσματα και αλληλοσυσχετίσεις.

- **Επεξήγηση:** Με την ολοκλήρωση εργαστηριακών διαδικασιών καλούνται να παραθέσουν και να επεξηγήσουν τα αποτελέσματα και το συλλογισμό που τους οδήγησε σε αυτά μέσω παράθεσης αποτελεσμάτων ή γραφικών αναπαραστάσεων ή επικαλούμενοι θεωρητικές μεθοδολογίες ή έννοιες.

Οι εργαστηριακές ασκήσεις, σχεδιάστηκαν ώστε να εκτελούνται σε συλλογικότητες των 3-4 ατόμων. Στην αρχή κάθε εργαστηριακής άσκησης, τους δίνονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες που αφορούν την άσκηση, το περιεχόμενο, τον σκοπό, τα βήματα και τον τρόπο εκτέλεσης αλλά δεν γνωρίζουν άμεσα την απάντηση του υπό διερεύνηση ερωτήματος. Με άλλα λόγια, υποκαθίσταται τόσο η γνωστοποίηση των διδακτικών διαδικασιών από τον εκπαιδευτικό, μέσα από μια λεπτομερή ανασκόπηση των απαραίτητων μαθησιακών περιεχομένων που θα πρέπει να έχουν μελετήσει οι φοιτητές πριν την υλοποίηση της άσκησης, όσο και η διατύπωση του διδακτικού στόχου μέσα από τον σκοπό που υπάρχει σε κάθε άσκηση.

Διενεργούν αυτόνομα την διερεύνηση μέσα από τον πειραματισμό και την παρατήρηση, χρησιμοποιούν τις κατάλληλες πηγές και μεθόδους λήψης μετρήσεων και συλλογής δεδομένων που τους παρέχονται μέσω QR-Code ή Hashtag (καλλιέργεια άντλησης επιστημονικών πληροφοριών από αξιόπιστες πηγές) και έπειτα, μέσα από τα προκαθορισμένα βήματα οδηγούνται σε συμπεράσματα επεξηγώντας τα ευρήματά τους ή δίνοντας απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα. Ουσιαστικά, το νέο μαθησιακό περιεχόμενο επεξεργάζεται από τον φοιτητή μέσα από τα βήματα που καλείτε να ακολουθήσει για την υλοποίηση της άσκησης.

Οι ερωτήσεις που καλούνται να απαντήσουν ή να ερμηνεύσουν οι φοιτητές απαιτούν σε πολλά σημεία των εργαστηριακών ασκήσεων τον συνδυασμό των πειραματικών δεδομένων και τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων. Παράλληλα, καθώς εκτελούν τα πειράματα, επαναλαμβάνουν μετρήσεις για την εξασφάλιση της ακρίβειάς ή ελέγχουν την αξιοπιστία των οργάνων με σκοπό την ορθή συλλογή και καταγραφή των πειραματικών δεδομένων με σκοπό να καλλιεργηθεί η συστηματική παρατήρηση και ανάλυση των δεδομένων.

Συμμετέχοντας σε ομάδες, αναπόφευκτα, συγκρίνουν τα ευρήματά και συμπεράσματά τους με αυτά των συμμαθητών τους. Ταυτόχρονα στο πλαίσιο της διερευνητικής μεθόδου, οι φοιτητές σε συλλογικότητες αναγκάζονται να επεξηγούν και να αιτιολογούν τον τρόπο σκέψης τους διαπραγματευόμενοι ερμηνείες ή προτείνοντας λύσεις σε ένα πρόβλημα. Μέσω της διαδικασίας αυτής επιχειρείτε να ενδυναμωθεί η ανταλλαγή απόψεων και να ενισχυθούν ή να τεθούν υπό αμφισβήτηση συνδέσεις που έχουν κάνει οι φοιτητές με την υπάρχουσα γνώση ή τις ερμηνείες που έχουν δομήσει, ενώ με αυτό τον τρόπο καλλιεργείτε η ικανότητα να εντοπίζουν σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος και διατυπώνουν αποκρυσταλλωμένα συμπεράσματα.

Συνοψίζοντας, όλο το μαθησιακό περιεχόμενο αναπτύχθηκε ώστε να συμπεριλαμβάνει:

- **Την Δράση**, η μάθηση του φοιτητή προέρχεται από την δραστηριότητα με την οποία

εμπλέκεται «learning by doing»

- **Τον Πειραματισμό**, μέσα από τον οποίο οι φοιτητές καθώς εκτελούν το πείραμα παρατηρούν, διατυπώνουν και καταγράφουν προσωπικά συμπεράσματα και επαληθεύουν ή απορρίπτουν εικασίες, καλλιεργώντας την συμπεριφορά επιστημονικής προσέγγισης – αντιμετώπισης πραγμάτων.
- **Την Δημιουργία-μαστόρεμα** [22], η μάθηση προκύπτει μέσα από την κατασκευή, οι φοιτητές καλούνται να χρησιμοποιήσουν έννοιες του γνωστικού τους αντικειμένου ως εργαλεία κατασκευής.
- **Την Επιχειρηματολογία**, μέσω της εξάσκησης στην ικανότητα επιστημονικού διαλόγου, επιχειρηματολογίας– τεκμηρίωσης και εξαγωγής συμπερασμάτων οι φοιτητές διευκολύνονται στην εμβάθυνση και την διευκρίνιση δυσνόητων εννοιών.

Ο πυρήνας ανάπτυξης, συγγραφής και αναπαράστασης του μαθησιακού περιεχομένου υιοθέτησε αρκετά από τα χαρακτηριστικά του Εκπαιδευτικού Υλικού για ΕαΑ (Εξ Αποστάσεως εκπαίδευση) καθώς και του Καθολικού Σχεδιασμού για τη Μάθηση (UDL) (κεφάλαιο 4, ενότητα 4.4 Προσεγγίσεις ανάπτυξης Εκπαιδευτικού υλικού).

Μια μελλοντική επέκταση του παιδαγωγικού μέρους και της προσέγγισης θα μπορούσε να αποτελέσει η ανάπτυξη Σχεδίων διδασκαλίας και Σεναρίων βασιζόμενων στο παιδαγωγικό υλικό που αναπτύχθηκε συμπεριλαμβάνοντας οπωσδήποτε τις ψηφιακές δυνατότητες των οργάνων με τρόπο τέτοιο που θα προκύπτει πρόσθετη παιδαγωγική αξία. (Παράδειγμα ενός τέτοιου σεναρίου συμπεριλήφθηκε στην ενότητα 4.6 Σχεδίαση μαθησιακής δραστηριότητας με ψηφιακές τεχνολογίες).

## 4. Διδασκαλία και Αξιολόγηση φοιτητή σε εργαστηριακό περιβάλλον

### 4.1 Δόμηση διδασκαλίας

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει απόπειρα να δοθεί η βασική προσέγγιση της Διδασκαλίας και της Αξιολόγησης του φοιτητή στο εργαστηριακό πανεπιστημιακό περιβάλλον. Ωστόσο, θα πρέπει να επισημανθεί πως λόγω του ότι η παιδαγωγική επιστήμη εξελίσσεται και μετασχηματίζεται διαρκώς, ενώ ταυτόχρονα έχουν αναπτυχθεί διάφορες σχολές, θεωρίες, μέσα και εργαλεία, οι τρόποι οργάνωσης, προσέγγισης και εφαρμογής των παιδαγωγικών αυτών θεμάτων ποικίλουν. Από την άλλη πλευρά, τόσο η διδασκαλία, όσο και η αξιολόγηση αποτελούν ξεχωριστούς κλάδους της παιδαγωγικής επιστήμης και είναι αδύνατο να χωρέσουν σε μερικές σελίδες. Συνεπώς, λαμβάνοντας τα παραπάνω ως δεδομένα και αναγνωρίζοντας τις διδακτικές ιδιαιτερότητες κάθε διδασκόμενου μαθήματος (θεωρητικού ή εργαστηριακού), κάποιες αναπόφευκτες ατέλειες ή παλινδρομήσεις καθώς και την μοναδικότητα του καθενός, θα προσπαθήσω να παρουσιάσω τις βασικές έννοιες οι οποίες θα μπορούσαν δυνητικά να αποτελέσουν μια γενική κατεύθυνση, βάση- προσέγγιση.

Σκοπός της διδασκαλίας είναι η μετάδοση γνώσεων, η βελτιστοποίηση της επεξεργασίας πληροφοριών, η εκδίπλωση των ικανοτήτων του εκπαιδευόμενου, η καλλιέργεια της κριτικής ικανότητας του, των δεξιοτήτων και της ευρύτερης μόρφωσής του. Για την επίτευξη μιας αποτελεσματικής διδασκαλίας απαιτείται η παιδαγωγική κατάρτιση του εκπαιδευτικού στην διδακτική μεθοδολογία, η οποία μελετά τις μεθόδους, τα μέσα, τους τρόπους και τις αρχές που πρέπει να συμπεριλαμβάνει η διδασκαλία.

Τα δομικά στοιχεία στα οποία πρέπει να στηριχθεί η διδασκαλία σύμφωνα με τον Heimann [23] είναι:

- Με ποια παιδαγωγική σκοπιμότητα κάνω κάτι; (**Πρόθεση**)
- Τι προσκομίζω στον γνωστικό ορίζοντα του εκπαιδευόμενου; (**Θέμα**)
- Πως θα το καταφέρω αυτό; (**Παιδαγωγική μέθοδος**)
- Με ποια μέσα θα εργαστώ; (**Μέσα**)
- Σε ποιόν θα δράσω ως μεσολαβητής; (**ανθρωπογενείς προϋποθέσεις**)
- Σε ποιο ευρύτερο πλαίσιο θα λειτουργήσω; (**κοινωνικο-πολιτισμικές προϋποθέσεις**)

Ο σκοπός της διδασκαλίας, ο σχεδιασμός και η δομή της θα πρέπει φυσικά να συνδέονται με προϋπάρχουσες γνώσεις των φοιτητών.

Ο Schultz [23] τονίζει πως η διδασκαλία έχει χρέος να μεριμνά ώστε να παρέχεται βοήθεια στην αυτοδιάθεση/χειραφέτηση του εκπαιδευόμενου, την οποία αποκαλεί

«Emanzipationshilfe»<sup>2</sup> Το μοντέλο Διδακτικής της Διδασκαλίας που προτείνει, αναφέρεται στα ακόλουθα διδακτικά πεδία:

- Σκοποί διδασκαλίας (**Θέματα-Προθέσεις-Στόχοι**)
- Περιεχόμενο διδασκαλίας (**Σύσταση γνωστικού πλαισίου**)
- Μεταβλητές διαμεσολάβησης (**Μέθοδοι, Μέσα**)
- Σημείο εκκίνησης (**Προϋποθέσεις σχετικά με τους εκπαιδευτικούς και τους εκπαιδευόμενους**)
- Έλεγχος επιτυχίας (**Αυτοαξιολόγηση – Ετεροαξιολόγηση**)

Όλα τα παραπάνω, συντελούν στην δόμηση ενός πλαισίου στο οποίο θα κινηθεί η διδασκαλία. Μέσα από το πλαίσιο αυτό, ο εκπαιδευτικός πρακτικά καλείται να απαντήσει σε θεμελιώδη ερωτήματα, τα οποία ταυτόχρονα αποτελούν τον πυρήνα ανάπτυξης της διδασκαλίας του. Τα ερωτήματα αυτά είναι:

### 1) Τι Διδάσκω;

Το ερώτημα αυτό οριοθετεί ουσιαστικά το εννοιολογικό πλαίσιο αναφοράς στο οποίο θα στηριχθεί η διδασκαλία. Πρακτικά θα πρέπει να προετοιμαστεί μια διδακτική παρέμβαση εστιασμένη είτε σε έννοιες, οι οποίες και αποτελούν το θεωρητικό πλαίσιο της διδασκαλίας, είτε σε εφαρμογές που θα καλύψουν πειραματικές-επιστημονικές μεθοδολογίες είτε σε συνδυασμό των παραπάνω. Έπειτα, αναγνωρίζοντας τις έννοιες-κλειδιά και τις βασικές μεθοδολογίες, εντάσσεται η νέα γνώση στο προϋπάρχον γνωστικό πλαίσιο των φοιτητών.

### 2) Γιατί Διδάσκω;

Η απάντηση στην ερώτηση αυτή, δίνεται μέσα από τους στόχους της διδασκαλίας. Οι στόχοι αυτοί διατυπώνουν ποιες γνώσεις, ικανότητες, και δεξιότητες απέκτησε ο φοιτητής με το πέρας της διδασκαλίας. Οι στόχοι που τίθενται από τον εκπαιδευτικό θα πρέπει να ακολουθούν αυστηρά την μεθοδολογία S.M.A.R.T. Θα πρέπει, δηλαδή, να είναι:

- A. Συγκεκριμένοι (Specific): δηλαδή να προσδιορίζονται με σαφήνεια και ακρίβεια ώστε να είναι πρωτίστως κατανοητοί από τον φοιτητή
- B. Μετρήσιμοι (Measurable): δηλαδή να προσδιορίζονται τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά μέσα από τα αποτελέσματα επίτευξής τους.

---

<sup>2</sup> Η γερμανική σύνθετη λέξη Emanzipationshilfe προέρχεται από τις λέξεις Emanzipation (χειραφέτηση) και Hilfe (βοήθεια).

- C. Εφικτοί (Acceptable): δηλαδή να είναι πραγματοποιήσιμοι με τα μέσα, τους πόρους, τις δυνατότητες και την υλικοτεχνική υποδομή που έχει στη διάθεσή του ο εκπαιδευτικός
- D. Ρεαλιστικοί (Realistic): δηλαδή να μπορεί να αποτυπωθεί το επίπεδο επίτευξής τους, και να προσδιοριστεί το πώς αυτό μπορεί να υλοποιηθεί.
- E. Χρονικά Περιοριστικοί (time-framed): δηλαδή να μπορεί να προσδιοριστεί η χρονική περίοδος που απαιτείται για την ολοκλήρωση καθενός εξ αυτών.

Μέσα από τους στόχους του, κάθε εκπαιδευτικός προσπαθεί να υλοποιήσει τους εκπαιδευτικούς σκοπούς του, οι οποίοι με την σειρά τους βασίζονται σε συγκεκριμένο μαθησιακό περιεχόμενο, είναι γενικοί, διαχρονικοί, μη μετρήσιμοι, και αντικατοπτρίζουν την υλοποίηση της εκάστοτε εκπαιδευτικής πολιτικής.

### 3) Πως θα διδάξω;

Αποτελεί ένα από τα κρισιμότερα ερωτήματα στα οποία καλείται να απαντήσει ο εκπαιδευτικός. Ο σωστός τρόπος διδασκαλίας καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την κατανόηση του μαθησιακού περιεχομένου και τον αποτελεσματικό μετασχηματισμό της επιστημονικής γνώσης σε διδαχθείσα γνώση. Με βάση, λοιπόν, το μαθησιακό περιεχόμενο, καθώς και τα αντίστοιχα μέσα που απαιτούνται, ο εκπαιδευτικός καλείται να επιλέξει την καταλληλότερη διδακτική μέθοδο διδασκαλίας καθώς και την αντίστοιχη τεχνική που θα την πλαισιώσει. Η επιλογή της διδασκαλίας είναι το κρισιμότερο στάδιο, μιας και προσδιορίζει επακριβώς την δομή και την εξέλιξη του μαθήματος, συντελώντας άρδην στην γνωστική εδραίωση του εντεθέντος μαθησιακού περιεχομένου από τον φοιτητή. Κάποιες από τις σύγχρονες μεθόδους διδασκαλίας που μπορούν να αξιοποιηθούν είναι:

- Διερευνητική μέθοδος
- Ομαδοσυνεργατική μέθοδος
- Μέθοδος κατάκτησης εννοιών

Αυτές οι μέθοδοι μπορούν στη σύγχρονη παιδαγωγική να πλαισιωθούν με πολλαπλές τεχνικές:

- Προσομοίωση: Οι μαθητές συμμετέχουν σε δραστηριότητες που ανταποκρίνονται στην ανασύσταση πραγματικών καταστάσεων.
- Δημιουργία ομάδων
- Καταιγισμός ιδεών (Brain storming)
- Διάλεξη, διάλογος, συζήτηση, επίδειξη

### 4) Πως θα ξέρω αν τελικά πέτυχα;

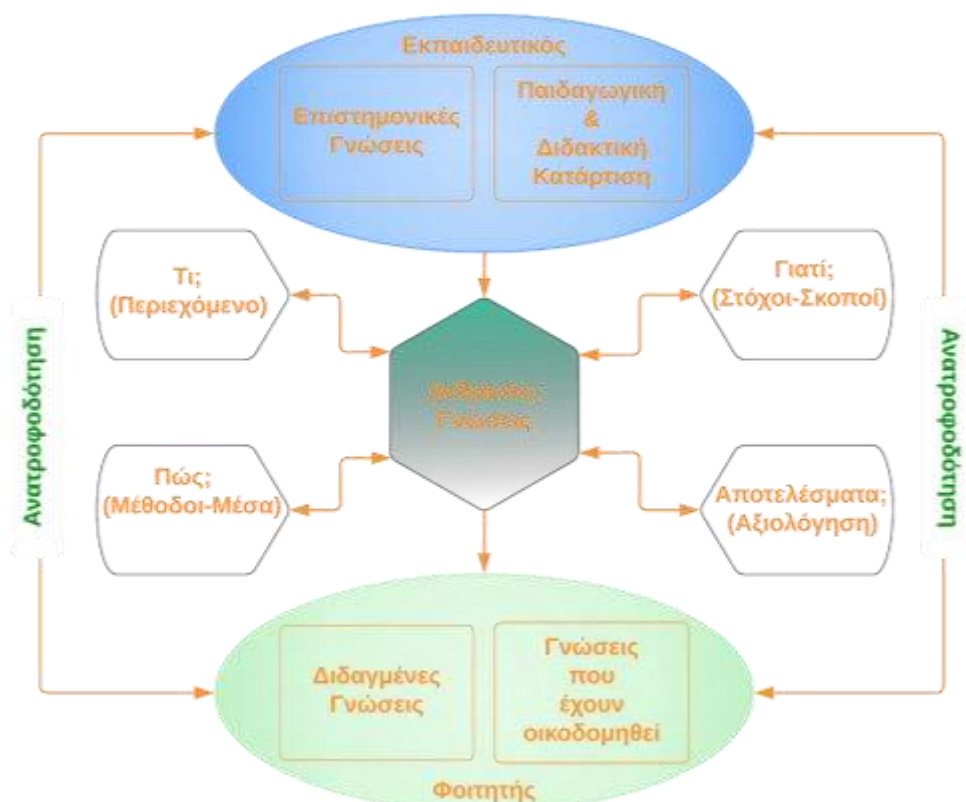
Για να δοθεί η απάντηση στην ερώτηση αυτή, θα πρέπει ο εκπαιδευτικός να αξιοποιήσει κάποιες από τις Τεχνικές Αξιολόγησης που καλύπτουν τους στόχους του. Αν και θα γίνει ξεκάθαρο αργότερα, η αξιολόγηση αφορά πρωτίστως τον εκπαιδευτικό, και την επίτευξη των μαθησιακών-παιδαγωγικών στόχων του, και

δευτερευόντως τον διδασκόμενο. Κάποιες τεχνικές αξιολόγησης (Αξιοποιείται κυρίως ο συνδυασμός αυτών) μπορεί να είναι:

- Ερωτήσεις αντικειμενικού τύπου, ερωτήσεις ανάπτυξης
- Συνθετικές δημιουργικές - διερευνητικές εργασίες
- Συστηματική παρατήρηση
- Αυτοαξιολόγηση του φοιτητή
- Ετεροαξιολόγηση του φοιτητή

Τα παραπάνω ερωτήματα συνεχώς μεταβάλλονται (όπως και οφείλουν) μέσω της διαρκούς ανατροφοδότησης και αλληλεπίδρασης εκπαιδευτικού και φοιτητή.

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 9) συνοψίζεται η Διδακτική και η Μεθοδολογία της.



Σχήμα 9 , Διασυνδέσεις διδακτικής

#### 4.2 Μέθοδοι και τεχνικές διδασκαλίας

Στην ενότητα αυτή, θα προσπαθήσω να παρουσιάσω συνοπτικά κάποιες από τις μεθόδους- τεχνικές διδασκαλίας που κατά την γνώμη μου έχουν εφαρμογή σε ένα πανεπιστημιακό εργαστηριακό περιβάλλον και σχετίζονται άμεσα με το θέμα της παρούσας διπλωματικής. Θεωρώ πως οι καταλληλότερες, είναι οι διερευνητικές μέθοδοι διδασκαλίας σε συνδυασμό με τον οικοδομισμό (ή κονστρουκτιβισμό[24]).

##### • Διερευνητικές μέθοδοι διδασκαλίας

Το επίκεντρο των μεθόδων αυτών είναι το μαθησιακό περιεχόμενο το οποίο τίθεται από τον εκπαιδευτικό υπό την μορφή ερωτήματος-προβλήματος που χρήζει απάντησης-επίλυσης. Μέσω της διερεύνησης- διεξαγωγής έρευνας από την μεριά των

εκπαιδευόμενων επιδιώκεται να δοθεί απάντηση στο ερώτημα αυτό χρησιμοποιώντας κανόνες της επιστήμης και επαληθεύοντας έπειτα έννοιες.

Ο Ραγιαδάκος [25] περιγράφει το μοντέλο της καθοδηγούμενης έρευνας μέσα από 5 φάσεις:

**Φάση 1<sup>η</sup>:** Μετασχηματισμός του μαθησιακού περιεχομένου σε πρόβλημα και παρουσίαση αυτού από τον εκπαιδευτικό μέσω συζήτησης.

**Φάση 2<sup>η</sup>:** Καταγραφή υποθέσεων και προτάσεων επιστημονικής προσέγγισης και επίλυσης του προβλήματος από τους εκπαιδευόμενους

**Φάση 3<sup>η</sup>:** Εφαρμογή των προτάσεων μέσω υλοποίησης πειράματος από τους εκπαιδευόμενους, με συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη από τον εκπαιδευτικό.

**Φάση 4<sup>η</sup>:** Συζήτηση (εκπαιδευτικού-εκπαιδευόμενων) και σύγκριση των ευρημάτων που προέκυψαν από τις πειραματικές δραστηριότητες, με τις αρχικές υποθέσεις που καταγράφηκαν. Θεωρητική προσέγγιση και σύνδεση των αποτελεσμάτων με τις έννοιες του μαθησιακού περιεχομένου.

**Φάση 5<sup>η</sup>:** Παγίωση της διδαχθείσας γνώσης με ερωτήσεις, και εκθέσεις.

Η μέθοδος αυτή ξεκίνησε ως μαθησιακή πρακτική το 1984 από τον John Dewey [26] στο «Σχολείο Εργασίας» γνωστή και ως μέθοδος «λύση προβλήματος». Οι εκπαιδευόμενοι ομαδικά, μέσω των υποθέσεων, δοκιμάζουν, οδηγούνται σε λάθη, παρατηρούν, διαμορφώνουν και δοκιμάζουν εκ νέου μέχρι την επίλυση του προβλήματος. Σε συνδυασμό με την πειραματική-εργαστηριακή μέθοδο δημιουργούνται συνθήκες διερευνητικής, κριτικής, αμφισβητούμενης και συμμετοχικής μάθησης αλλά και σκέψης, ικανές να μετριάσουν την άκριτη εφαρμογή οδηγιών και βημάτων. Το κλειδί της διδασκαλίας σε ένα εργαστηριακό περιβάλλον είναι, κατά την γνώμη μου, η ομοδοσυνεργατική διδασκαλία. Η διδασκαλία σε ομάδες συμβάλλει καθοριστικά στην ανακαλυπτική μάθηση, ενώ ταυτόχρονα εξαλείφεται η δασκαλοκεντρική διδασκαλία. Ο εκπαιδευτικός σταδιακά εκχωρεί στις ομάδες το κοινό έργο και τους ρόλους. Πλέον οι εκπαιδευόμενοι μέσω της αμοιβαίας ανατροφοδότησης, αλληλοεπικοινωνίας και ομαδοσυνεργατικής επεξεργασίας εννοιών και πληροφοριών (υπό την διαρκή καθοδήγηση, παρότρυνση και υπόδειξη του εκπαιδευτικού) οδηγούνται στην κατάκτηση του μαθησιακού περιεχομένου.

Καίριο ρόλο διαδραματίζει και η «Συζήτηση». Με το πέρας της διδασκαλίας θα πρέπει ο εκπαιδευτικός να φέρνει αντιμέτωπους τους εκπαιδευόμενους με τις παρατηρήσεις, τα συμπεράσματα και τις διδαχθείσες έννοιες. Για το σκοπό αυτό αναπτύσσει τόσο τον «ελεύθερο διάλογο» ο οποίος χαρακτηρίζεται από την ισότιμη συμμετοχή όλων, όσο και από το «πάνελ» που χαρακτηρίζεται από την κριτική παρουσίαση μερών του μαθησιακού περιεχομένου από την κάθε ομάδα. Φυσικά, ο εκπαιδευτικός θα πρέπει να υποβοηθά την «Συζήτηση», χωρίς να την καθοδηγεί, μέσω της διαλογικής μεθόδου «Καταιγισμού ιδεών». Σκοπός της είναι να καλλιεργεί τις ικανότητες κατάταξης των εννοιών και συστηματοποίησης του συσχετισμού τυχόν ανοργάνωτων εντυπώσεων. Η παγίωση της διδαχθείσας γνώσης δεν σταματά στο χώρο του εργαστηρίου. Ο εκπαιδευτικός αναθέτει την συγγραφή έκθεσης-αναφοράς,



μέσα από την οποία οι διδασκόμενοι ανατρέχουν σε βιβλιογραφικές αναφορές, μελετούν, συγκρίνουν και αναλύουν τα δεδομένα τα οποία οι ίδιοι κατέγραψαν κατά την πειραματική διαδικασία ενώ παράλληλα αξιολογούν , προβληματίζονται αυτο-αξιολογούνται. Με τον τρόπο αυτό η γνώση οικοδομείται επαγωγικά και απαγωγικά.

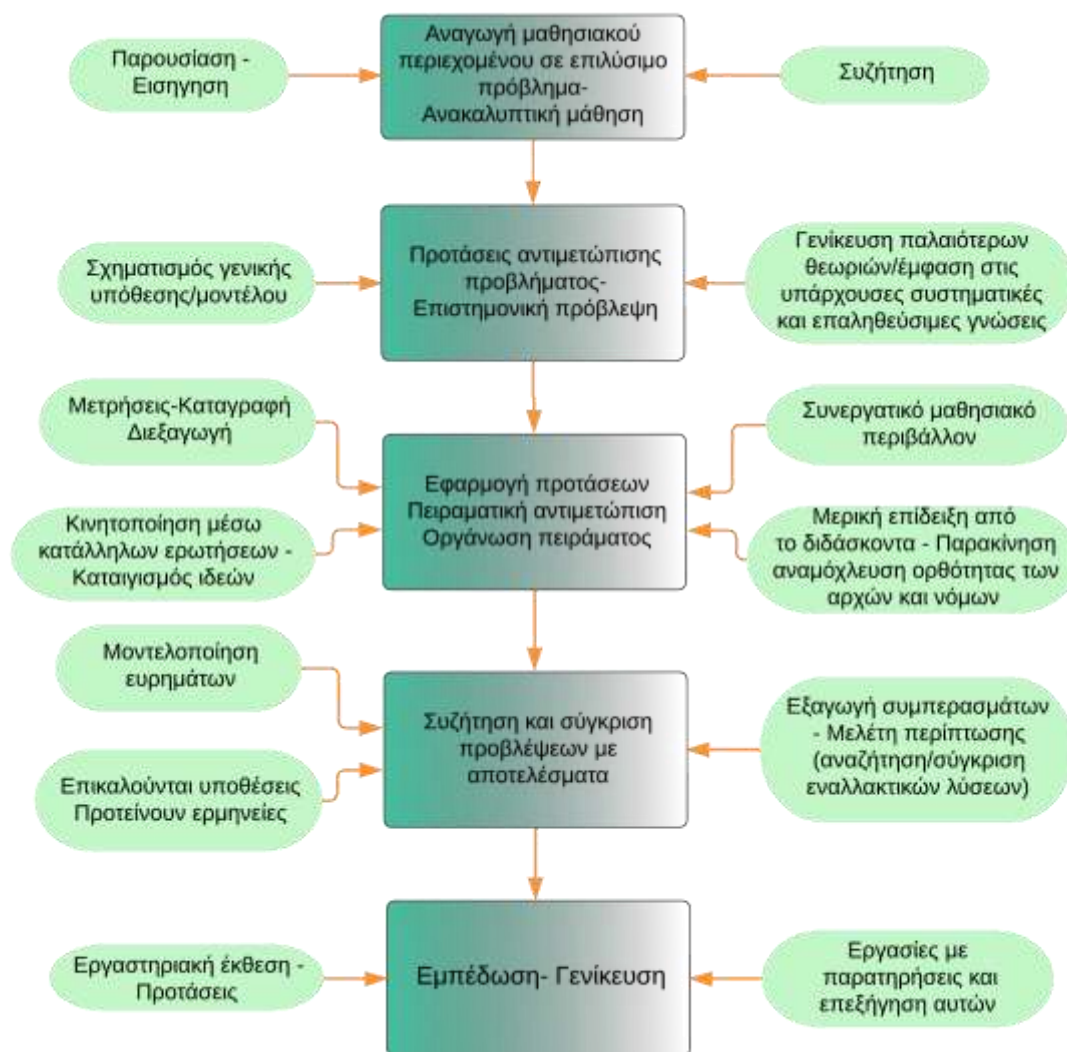
- **Κονστρουκτιβισμός ή (επ)οικοδομητισμός**

Το επίκεντρο της θεωρίας αυτής είναι ο μαθητής (μαθητοκεντρική διδασκαλία). Κεντρικός ισχυρισμός της θεωρίας είναι ότι η μάθηση είναι μια διαδικασία δόμησης στην οποία το άτομο οικοδομεί την γνώση στηριζόμενο στις δικές του προϋπάρχουσες γνώσεις ή αναστοχαζόμενο εμπειρίες, βιώματα και παρατηρήσεις. Αν και υπάρχουν αρκετές σχολές (Piaget, Papert, Vygotsky), όλες συγκλίνουν στο ότι οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να δημιουργούν περιβάλλοντα τα οποία θα διευκολύνουν την δόμηση της νέας γνώσης επάνω στην ήδη υπάρχουσα γνώση. Με άλλα λόγια, η γνώση δεν αποτελεί μετάδοση/ κωδικοποίηση/ διατήρηση πληροφοριών αλλά ένα σύνολο εμπειριών που δομείται από γνωστικά εργαλεία του ίδιου του ατόμου. Τα εργαλεία αυτά προκύπτουν από την εξελισσόμενη διαδραστική και δυναμική αλληλεπίδραση του ατόμου με το περιβάλλον και τον εαυτό του. Στον οικοδομητισμό το ίδιο το άτομο είναι ο ενεργός δημιουργός της γνώσης του, παρόλο που επηρεάζεται εξίσου μέσω της αλληλεπίδρασής του με το περιβάλλον. Όταν λοιπόν το άτομο έρχεται αντιμέτωπο με ένα νέο μαθησιακό αντικείμενο, το προσαρμόζει με τις προηγούμενες εμπειρίες και ιδέες του, μεταβάλλοντας μέσω του αναστοχασμού την αντίληψή του για όσα ήδη πιστεύει για τη συγκεκριμένη περιοχή γνώσης. Με τον τρόπο αυτό, αναγκάζεται να δομήσει τις δικές του γνώσεις μέσω των προσωπικών εμπειριών και πραγματικών γεγονότων. Αν το άτομο λειτουργεί σε ομάδα (κοινωνικός κονστρουκτιβισμός) τότε υπεισέρχονται στην διαδικασία της μάθησης οι κοινωνικοί παράγοντες υποστήριξης. Εκεί πρακτικά η εσωτερική δόμηση των γνώσεων ενισχύεται από όσες γεννήθηκαν μέσω συζητήσεων, ανταλλαγής απόψεων, ερωταποκρίσεων και αλληλοβοήθειας με τους πιο ανεπτυγμένους γνωστικά ή ικανότερους άλλους (Συμφοιτητές, Εκπαιδευτικούς). Σύμφωνα με τον Vygotsky η καλή μάθηση είναι εκείνη κατά την οποία ο εκπαιδευτικός προσφέρει στους εκπαιδευόμενους υποστήριξη βασισμένη στη ζώνη επικείμενης ανάπτυξης (απόσταση από το προϋπάρχον γνωστικό επίπεδο στο δυνητικά γνωστικό επίπεδο μέσω της καθοδήγησης των “σημαντικών άλλων” ) ώστε να περάσουν από την υποβοηθούμενη στην αυτόνομη μάθηση. Η διδασκαλία του εκπαιδευτικού θα πρέπει να βασίζεται σε τεχνικές ενεργητικής μάθησης όπως πειράματα και επίλυση προβλημάτων, ώστε ο εκπαιδευόμενος να βρίσκεται συνεχώς από την μια πλευρά σε εξερεύνηση και αξιολόγηση του τί γνωρίζει και από την άλλη σε συνεχή αναστοχασμό, ώστε να επιτευχθεί η δόμηση της νέας γνώσης. Η γνώση θεωρείται δυναμική και συνεχώς μεταβαλλόμενη από τις εμπειρίες μας, ενώ κλειδί για τη μάθηση είναι οι πρόσκαιρες-στιγμιαίες αποτυχίες. Για αυτόν τον λόγο θα πρέπει να παρέχεται στους εκπαιδευόμενους από την μια το περιβάλλον που θα τους επιτρέπει να εξετάσουν και να επανεκτιμήσουν την επάρκεια της τρέχουσας κατανόησής τους και από την άλλη το περιβάλλον που οξύνει τις όποιες ασυνέπειες μεταξύ προϋπάρχουσας κατανόησης και νέων εμπειριών.

Οι Brooks [27] ανέπτυξαν πέντε βασικές αρχές βάσει των οποίων μπορεί ο οικοδομητισμός να εφαρμοστεί σε ένα εκπαιδευτικό περιβάλλον:

- 1) Έκθεση των εκπαιδευόμενων σε προβλήματα που χαρακτηρίζονται από θεματική εγγύτητα ως προς τις προηγούμενες γνώσεις τους (σε συνδυασμό φυσικά με ερωτήσεις), ώστε να ωθηθούν σε επανεξέταση και αναστοχασμό των αντιλήψεων και σκέψεων τους.
- 2) Η νέα γνώση θα πρέπει να οικοδομείται επάνω σε κύριες-βασικές έννοιες ή ιδέες.
- 3) Εμπλοκή των εκπαιδευόμενων μέσω διαλόγου από τον εκπαιδευτικό. Στόχος: Η αναζωπύρωση του συλλογισμού και της σκέψης των εκπαιδευόμενων
- 4) Προσαρμογή των διδακτικών στόχων στα ενδιαφέροντα των εκπαιδευόμενων
- 5) Αξιολόγηση της μάθησης, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της ίδιας της διδασκαλίας σε ένα πλαίσιο αλληλεπίδρασης εκπαιδευτικού- εκπαιδευόμενου και εκπαιδευόμενου – εκπαιδευόμενου.

Μια εφαρμογή του, σε εργαστηριακό περιβάλλον, θα ήταν ο εκπαιδευτικός να παρουσιάσει ένα ημιτελές μαθησιακό περιεχόμενο (π.χ. ένα κύκλωμα, στο οποίο σκόπιμα υπάρχουν λειτουργικά σφάλματα ή ατέλειες), ώστε οι εκπαιδευόμενοι να στηριχθούν στις προϋπάρχουσες γνώσεις τους. Τότε, θα κληθούν να το επιδιορθώσουν και να συναγάγουν συμπεράσματα και νοήματα, ενώ αλλά και ταυτόχρονα θα διδαχθεί μέσα από αυτή την διαδικασία και το νέο μαθησιακό περιεχόμενο. Φυσικά, ο εκπαιδευτικός μπορεί να εκμεταλλευτεί την εργασία των φοιτητών σε ομάδες, οι οποίες μπορούν δυναμικά να αποτελέσουν συλλογικότητες αλληλομάθησης. Κάτι τέτοιο είναι δυνατό να συμβεί μέσα από την παρουσίαση του τρόπου προσέγγισης του θέματος, των βημάτων που ακολούθησαν και της λύσης του προβλήματος. Φυσικά, ο εκπαιδευτικός, εκμεταλλευόμενος την εργασία των φοιτητών σε ομάδες, αυτές θα μπορούσαν να αποτελέσουν συλλογικότητες αλληλομάθησης μέσα από την παρουσίαση του τρόπου που προσέγγισαν το θέμα, τα βήματα που ακολούθησαν και την λύση του προβλήματος. Αποφεύγοντας να πλατειάσω, από όλα τα παραπάνω μπορούμε να εξάγουμε σχηματικά ένα βασικό πλάνο ροής (Σχήμα 2), πάνω στο οποίο μπορεί να στηριχθεί ο εκπαιδευτικός για την δόμηση της διδασκαλίας του.



**Σχήμα 2 , Διάγραμμα δόμησης διδασκαλίας**

Για την επίτευξη μιας αποτελεσματικής διδασκαλίας, ο εκπαιδευτικός οφείλει να αναπτύξει σχέδιο μαθήματος. Το σχέδιο μαθήματος αποτελεί αναλυτική περιγραφή της διδασκαλίας και συμβάλλει στην οργάνωση και τον σαφή προγραμματισμό της. Περιλαμβάνει το επιστημονικό περιεχόμενο του μαθήματος, τον διδακτικό μετασχηματισμό της επιστημονικής γνώσης σε εκπαιδευτική γνώση, την διδακτική μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για την διδασκαλία της γνώσης αυτής, τον τύπο του εκπαιδευτικού υλικού, τα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν και τον τρόπο αξιολόγησης των φοιτητών. Ο εκπαιδευτικός θα πρέπει να το αναπτύσσει και να το συμπληρώνει για κάθε μάθημά του, μιας και θα αποτελεί τον οδηγό του. Ένα τυπικό περίγραμμα μαθήματος παρουσιάζεται παρακάτω, υπό τη μορφή ενός πίνακα (Πίνακας 1).

Περιεχόμενο μαθήματος:	Αφορά το επιστημονικό περιεχόμενο του μαθήματος. Για παράδειγμα, βασικές θεωρητικές ή εργαστηριακές έννοιες της επιστήμης των κυκλωμάτων, βασικά εργαλεία-νόμοι αναλύσεις, μαθηματικές προσεγγίσεις κ.α. (π.χ. η μελέτη της απόκρισης ενός Φίλτρου διέλευσης)
------------------------	---

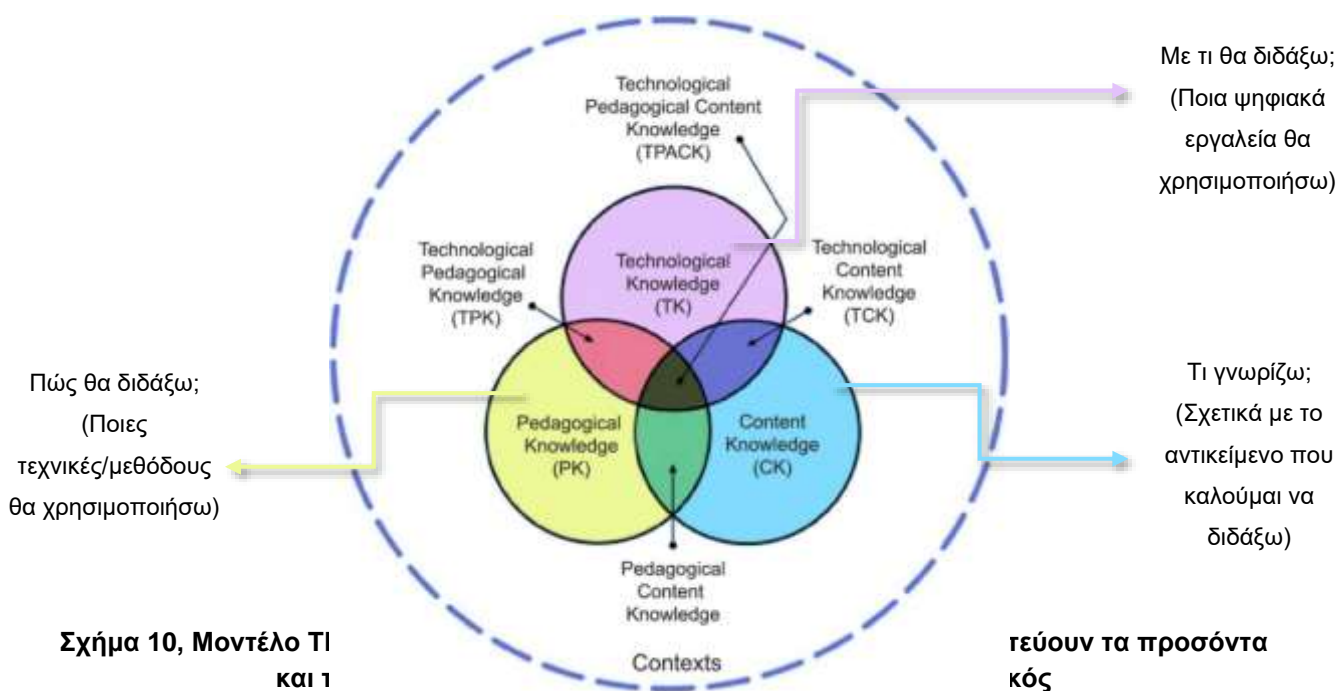
	χαμηλών συχνοτήτων σε ένα εύρος συχνοτήτων, μελέτη της συνάρτησης μεταφοράς καθώς και της διαφοράς φάσης εισόδου και εξόδου του χρησιμοποιώντας τα σχήματα Lissajous, κ.α)
Χρονική διάρκεια μαθήματος:	Θα πρέπει να υπακούει στη μεθοδολογία S.M.A.R.T .
Μαθησιακά αποτελέσματα- Στόχοι διδασκαλίας:	Αφορά συγκεκριμένες γνώσεις, δεξιότητες και ικανότητες που θα αποκτήσουν οι φοιτητές με την ολοκλήρωση του μαθήματος. (Για παράδειγμα, με την ολοκλήρωση του μαθήματος θα έχουν αποκτήσει καλή κατανόηση και γνώση του τρόπου χρήσης των σχημάτων Lissajous για τη μελέτη της διαφοράς φάσης μεταξύ εισόδου-εξόδου ενός φίλτρου, θα κατανοούν τη βασική συνδεσμολογία του, θα προσδιορίζουν τη συνάρτηση μεταφοράς του από αυτή, θα κατανοούν και θα εμβαθύνουν σε θέματα χρήσης τέτοιων φίλτρων. Θα αποκτήσουν την ικανότητα εργασίας σε διεπιστημονικό περιβάλλον, θα μπορούν να εργάζονται τόσο αυτόνομα όσο και ομαδικά, ικανότητα λήψης αποφάσεων, ανάλυσης και σύνθεσης δεδομένων, κ.α.)
Δόμηση διδασκαλίας:	Απάντηση στα "τι", "γιατί", "πώς", του μαθήματος. Επιλογή των μεθόδων και τεχνικών διδασκαλίας που θα χρησιμοποιηθούν στο συγκεκριμένο μάθημα.
Διδακτικά μέσα- Υλικοτεχνική υποδομή:	Αφορά τη χρήση εργαστηριακού εξοπλισμού, φυλλαδίων, παρουσιάσεων, πρόσβαση σε διαδικτυακό υλικό μέσω QR -Code, κ.λ.π. που θα συνεισφέρουν στην διδασκαλία του συγκεκριμένου μαθησιακού περιεχομένου.
Οργάνωση διδασκαλίας:	Λεπτομερής περιγραφή της πορείας της διδασκαλίας καθώς και προσδιορισμός των σημείων που θα χρησιμοποιηθούν οι μέθοδοι οι τεχνικές, και πως. Για παράδειγμα διαλέξεις με ασκήσεις και ερωταπαντήσεις-καταιγισμό ιδεών, συγγραφή εργασίας, εργαστηριακές ασκήσεις, μελέτη περιπτώσεων, κ.α.
Αξιολόγηση φοιτητών:	Κριτήρια αξιολόγησης με κατάλληλα βάρη τα οποία συνεισφέρουν και συντελούν στην τελική αξιολόγηση, για παράδειγμα γραπτή εξέταση προόδου στο πλαίσιο του μαθήματος, επίλυση προβλήματος, συμπλήρωση εργαστηριακού φύλλου, κ.α.
Συνιστώμενη βιβλιογραφία:	Η συνιστώμενη βιβλιογραφία θα πρέπει να δίνεται και στους φοιτητές.
Παρατηρήσεις από τη διδασκαλία και Αυτό-αξιολόγηση:	Απάντηση στο ερώτημα "Πώς ξέρω τελικά αν πέτυχα;", σχόλια ανατροφοδότησης, επανασχεδιασμός ή βελτίωση διαδικασιών, κ.α.

**Πίνακας 1, Σχέδιο μαθήματος**

### 4.3 Το πλαίσιο της Τεχνολογικής Παιδαγωγικής Γνώσης Περιεχομένου (TPACK)

Η Τεχνολογική Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου (TPCK), εισήχθη επισήμως στην εκπαιδευτική αρθρογραφία το 2003, και στη συνέχεια αναδείχθηκε ως πλαίσιο που περιγράφει τη γνώση του να διδάσκει κάποιος, ενσωματώνοντας ταυτόχρονα την τεχνολογία [28]. Το πλαίσιο αυτό, γνωστό ως TPACK, αναπτύχθηκε από τους Mishra και Koehler [29], και αποτελεί ένα πρότυπο για την κατανόηση της γνώσης που απαιτείται για την αποτελεσματική ενσωμάτωση της τεχνολογίας στη διδασκαλία. Αυτό το πλαίσιο υπογραμμίζει τρία βασικά στοιχεία γνώσης - την τεχνολογική, την παιδαγωγική και τη γνώση του περιεχομένου - τα οποία πρέπει να εκλαμβάνονται ως ένα ολοκληρωμένο σύνολο για την αποτελεσματική ενσωμάτωση της τεχνολογίας στην εκπαιδευτική διαδικασία, με σκοπό τη βελτίωση της μάθησης των εκπαιδευομένων.

Παρά τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου (PCK) να αναγνωριστεί ως ένα ξεχωριστό πλαίσιο εκπαιδευτικής γνώσης, η οποία συνήθως θεωρείται ως συνδυασμός περιεχομένου και παιδαγωγικής γνώσης, οι Koehler και Mishra πρόσθεσαν την τεχνολογία ως μια επιπλέον βασική συνιστώσα, δημιουργώντας έτσι την Τεχνολογική Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου (TPACK). Το πλαίσιο TPACK, ως επέκταση της παραπάνω ιδέας του Shulman, προσπαθεί να κατανοήσει τις βασικές ιδιότητες της γνώσης των εκπαιδευτικών που απαιτούνται για την αποτελεσματική ενσωμάτωση της τεχνολογίας στη διδασκαλία. Το TPACK εστιάζει στην κατανόηση των σχέσεων μεταξύ του περιεχομένου, της παιδαγωγικής γνώσης και της τεχνολογίας, και της μεταμόρφωσης που συμβαίνει με το συνδυασμό τους. Η ανάπτυξη του TPACK θεωρείται κρίσιμη για την αποτελεσματική χρήση της τεχνολογίας στη διδασκαλία και θεωρείται αναπόσπαστο μέρος της επαγγελματικής κατάρτισης των εκπαιδευτικών στην εποχή της τεχνολογίας των πληροφοριών.



Η γνώση του περιεχομένου περιγράφει τη γνώση των βασικών στοιχείων ενός επιστημονικού τομέα και των αρχών που τον διέπουν. Αναφέρεται δηλαδή στις απαραίτητες γνώσεις του πεδίου που διδάσκει ο εκπαιδευτικός. Η παιδαγωγική γνώση του περιεχομένου εστιάζει στις πτυχές του περιεχομένου που είναι σημαντικότερες για την εκμάθηση, συμπεριλαμβανομένων εναλλακτικών τρόπων παρουσίασης του, καθώς και την επιλογή των κατάλληλων τεχνικών και μεθόδων που πρέπει να ενσωματωθούν. Είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των σωστών στρατηγικών για την αποτελεσματική διαχείριση των εκπαιδευομένων και του μαθησιακού περιβάλλοντος. Τέλος, η τεχνολογική γνώση περιλαμβάνει την ενσωμάτωση όλων εκείνων των ψηφιακών

εργαλείων και εφαρμογών που μπορούν να ενισχύσουν τη μαθησιακή διαδικασία, ώστε να προκύψει πρόσθετη παιδαγωγική αξία.

Η σημαντικότητα της κατοχής των προσόντων και των ικανοτήτων του Τεχνολογικού Παιδαγωγικού Γνωστικού Περιεχομένου (TPACK) για έναν πανεπιστημιακό δάσκαλο αναδεικνύεται με τον Διδακτικό Μετασχηματισμό. Η σύγχρονη εκπαίδευση απαιτεί ένα ευρύ φάσμα γνώσεων, το οποίο περιλαμβάνει την κατανόηση της επιστημονικής γνώσης, την παιδαγωγική γνώση περιεχομένου και την τεχνολογική γνώση περιεχομένου. Ο Διδακτικός Μετασχηματισμός αφορά τη μετατροπή της επιστημονικής γνώσης σε διδαχθείσα γνώση. Επομένως, ο πανεπιστημιακός δάσκαλος πρέπει να κατέχει το TPACK για να μπορεί να πραγματοποιήσει τον Διδακτικό Μετασχηματισμό με επιτυχία. Ο Διδακτικός Μετασχηματισμός αποτελεί μια σύνθετη και ουσιαστική διαδικασία που εστιάζει στην μετατροπή της επιστημονικής γνώσης σε μορφή κατάλληλη για διδασκαλία. Σε γενικό επίπεδο, ο Διδακτικός Μετασχηματισμός πραγματεύεται τη μετάβαση από ένα "αντικείμενο επιστημονικής γνώσης" σε ένα "αντικείμενο διδασκαλίας". Αυτό σημαίνει ότι η βαθιά κατανόηση ενός επιστημονικού πεδίου μετασχηματίζεται σε μια μορφή που είναι προσβάσιμη και κατανοητή από τους εκπαιδευόμενους, λαμβάνοντας υπόψη το γνωστικό τους επίπεδο και τις ιδιαιτερότητες της εκπαιδευτικής τους εμπειρίας και των βιωμάτων τους. Σε ειδικότερο επίπεδο, ο Διδακτικός Μετασχηματισμός εστιάζει στην περιγραφή των μηχανισμών που διέπουν αυτή τη μετατροπή (πέραςμα από το "αντικείμενο επιστημονικής γνώσης" στο "αντικείμενο διδασκαλίας"), με άλλα λόγια, πώς οι επιστημονικές έννοιες, θεωρίες και δομές γνώσης μετασχηματίζονται σε διδακτικό υλικό, μεθοδολογίες και εκπαιδευτικές δραστηριότητες. Η κατανόηση αυτών των μηχανισμών επιτρέπει στους εκπαιδευτικούς να σχεδιάζουν αποτελεσματικές μαθησιακές εμπειρίες, προσαρμοσμένες στις ανάγκες των μαθητευομένων. Βασικό στοιχείο του Διδακτικού Μετασχηματισμού είναι η διάκριση ανάμεσα στην "επιστημονική γνώση" και στη "διδαχθείσα γνώση". Η επιστημονική γνώση, όπως παράγεται από την έρευνα, διαφέρει σημαντικά από τον τρόπο με τον οποίο αυτή η γνώση μεταδίδεται και αφομοιώνεται στο μαθησιακό περιβάλλον. Ο Διδακτικός Μετασχηματισμός μελετά τις διαδικασίες που γειφυρώνουν αυτό το χάσμα, μετασχηματίζοντας την περίπλοκη επιστημονική γνώση σε μορφή εύληπτη και διδακτικά αξιοποιήσιμη. Εν κατακλείδι, ο Διδακτικός Μετασχηματισμός αποτελεί θεμελιώδη έννοια στην εκπαίδευση, καθώς συμβάλλει στην ουσιαστική κατανόηση και αφομοίωση της γνώσης από τους εκπαιδευόμενους. Η κατανόηση των μηχανισμών και των διαδικασιών που διέπουν τον Διδακτικό Μετασχηματισμό είναι απαραίτητη για τους εκπαιδευτικούς, ώστε να σχεδιάζουν και να υλοποιούν αποτελεσματικές μαθησιακές εμπειρίες, προάγοντας την κριτική σκέψη και καλλιεργώντας τις απαραίτητες δεξιότητες.

Ο Διδακτικός Μετασχηματισμός δεν λειτουργεί μεμονωμένα, αλλά αλληλεπιδρά με τα τρία βασικά πεδία του TPACK. Η αλληλεπίδραση αυτών των πεδίων στον Διδακτικό Μετασχηματισμό οδηγεί σε:

- Διερευνητική και ενεργή μάθηση: Οι εκπαιδευόμενοι συμμετέχουν ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία, κατανοώντας βαθύτερα το περιεχόμενο και οικοδομώντας αποτελεσματικότερα την γνώση του μαθησιακού περιεχομένου.
- Κριτική σκέψη και επίλυση προβλημάτων: Αναπτύσσουν δεξιότητες κριτικής σκέψης και επίλυσης προβλημάτων, απαραίτητες για την αντιμετώπιση σύνθετων καταστάσεων.
- Αποτελεσματική χρήση της τεχνολογίας: Εξοικειώνονται με ψηφιακά εργαλεία και τεχνολογίες, αξιοποιώντας τα για την μάθηση και την αυτο-έκφραση.

Ο Διδακτικός Μετασχηματισμός αποτελεί μια ουσιαστική διαδικασία που έχει ως στόχο να μετασχηματίσει την επιστημονική γνώση σε μορφή κατάλληλη για διδασκαλία και μάθηση. Το πέρασμα από την επιστημονική γνώση στη διδαχθείσα γνώση δεν είναι ποτέ άμεσο. Ο καθορισμός μιας επιστημονικής γνώσης σε αντικείμενο διδασκαλίας τροποποιεί σε μεγάλο βαθμό τη φύση της γνώσης αυτής αφού αφενός αλλάζουν τα ερωτήματα που μπορούν να απαντηθούν μέσω αυτής της γνώσης αλλά και οι σχέσεις που η ίδια διατηρεί με άλλες έννοιες [30].

#### **4.4 Προσεγγίσεις ανάπτυξης Εκπαιδευτικού υλικού**

Το εκπαιδευτικό υλικό δεν μπορεί να αποτελεί απλώς ένα επιστημονικό κείμενο που παρουσιάζει το γνωστικό αντικείμενο, έστω και εάν αυτό το κείμενο έχει την προσδοκώμενη αρτιότητα. Χρειάζεται να διαθέτει μια σειρά από παιδαγωγικά και τεχνικά χαρακτηριστικά, που στόχο έχουν να διευκολύνουν και να εμψυχώνουν τους εκπαιδευόμενους στη μελέτη τους [31].

Δύο βασικές προσεγγίσεις που υιοθετήθηκαν στην ανάπτυξη του εκπαιδευτικού υλικού της παρούσας διπλωματικής είναι:

##### **Βασικά χαρακτηριστικά Εκπαιδευτικού Υλικού για ΕαΑ (Εξ Αποστάσεως εκπαίδευση)**

Το εκπαιδευτικό υλικό πρέπει να είναι σχεδιασμένο με σκοπό να προσφέρει διάφορες διδακτικές λειτουργίες που ενισχύουν τη μάθηση του εκπαιδευόμενου. Αυτές οι λειτουργίες περιλαμβάνουν την καθοδήγηση του εκπαιδευόμενου στη μελέτη, την προώθηση της αλληλεπίδρασής του με το μαθησιακό υλικό μέσω ασκήσεων και εργασιών, την επεξήγηση δύσκολων σημείων και εννοιών, την αξιολόγηση και ενημέρωση του εκπαιδευόμενου σχετικά με την πρόοδό του, καθώς και την ενθάρρυνση του να συνεχίσει τις σπουδές του.

Οι εκπαιδευόμενοι στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση εξαρτώνται σημαντικά περισσότερο από το εκπαιδευτικό υλικό σε σύγκριση με τους εκπαιδευόμενους που παρακολουθούν μαθήματα σε παραδοσιακό πλαίσιο, λόγω της περιορισμένης επικοινωνίας με τον διδάσκοντα. Το εκπαιδευτικό υλικό πρέπει να σχεδιάζεται με γνώμονα την ανάγκη να υποκαθιστά τον διδάσκοντα όσο το δυνατόν περισσότερο και να εκτελεί τις διάφορες διδακτικές λειτουργίες που συνήθως αναλαμβάνει αυτός, όπως η υποστήριξη, η ενθάρρυνση και ο χρονοπρογραμματισμός. Μέσω αυτού του τρόπου, το



εκπαιδευτικό υλικό διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διαδικασία μάθησης των εκπαιδευομένων εξ αποστάσεως.

Χαρακτηριστικά του Εκπαιδευτικού Υλικού στην ΕαΑ

- Χρήση εναλλακτικών μορφών του υλικού όπου κρίνεται σκόπιμο
- Πολλά παραδείγματα και μελέτες περίπτωσης
- Δραστηριότητες αυτοαξιολόγησης συνοδευόμενες από τις σωστές απαντήσεις και συζήτηση για πιθανές δυσκολίες και λάθη
- Σαφώς καθορισμένοι στόχοι, προσδοκώμενα αποτελέσματα και έννοιες-κλειδιά για κάθε ενότητα
- Χρήση πλαισίων όπου επεξηγούνται σημαντικά σημεία και έννοιες
- Απεικονίσεις που μπορούν να αντικαταστήσουν καλύτερα ένα εκτενές κείμενο
- Σύνοψη στο τέλος κάθε κεφαλαίου
- Σαφώς διατυπωμένη επίγνωση των δυσκολιών που πιθανότατα θα αντιμετωπίσει ο εκπαιδευόμενος
- Συχνές αναφορές στην εμπειρία του εκπαιδευόμενου
- Κατάλογοι βιβλιογραφικών αναφορών, προτάσεις για περαιτέρω μελέτη
- Δραστηριότητες με στόχο τον περαιτέρω προβληματισμό, εμβάθυνση και αυτοαξιολόγηση
- Κατατηρημένη παρουσίαση της ύλης (μικρά σε έκταση κεφάλαια και ενότητες, λιγότερες λέξεις κλειδιά ανά σελίδα)
- Απλή διατύπωση
- Φιλικό ύφος προς τον εκπαιδευόμενο
- Επεξηγηματικοί τίτλοι και υπότιτλοι
- Συμβουλές μελέτης του υλικού & χρονοπρογραμματισμός
- Κατατοπιστικές οδηγίες για τη σύνδεση της ύλης όταν αυτή παρουσιάζεται με διαφορετικά μέσα

### **Καθολικός Σχεδιασμός για τη Μάθηση (UDL)**

Ο Καθολικός Σχεδιασμός για τη Μάθηση αντιπροσωπεύει μια εκπαιδευτική προσέγγιση που έχει ως στόχο τον σχεδιασμό της διδασκτέας ύλης και του περιεχομένου της με τέτοιο τρόπο ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες ατόμων με διαφορετικά μαθησιακά προφίλ. Ανάμεσα στα χαρακτηριστικά του, περιλαμβάνει τη διαφοροποιημένη διδασκαλία, τη διαθεματική προσέγγιση και τη μαθητοκεντρική, συνεργατική μάθηση. Το ξεχωριστό του χαρακτηριστικό είναι η ικανότητά του να δομείται από την αρχή με τρόπο που λαμβάνει υπόψη τη διαφορετικότητα, ενισχύοντας έτσι την αποτελεσματικότητά του και αποφεύγοντας την ανάγκη για εκ των υστέρων τροποποιήσεις. Ο Καθολικός Σχεδιασμός για τη Μάθηση ξεχωρίζει λόγω της ικανότητάς του να προσαρμόζεται στη διαφορετικότητα και να εξυπηρετεί αποτελεσματικά μεγαλύτερο αριθμό ατόμων, καθώς επισημαίνει η έρευνα του Erlandson [32].

## Κατευθυντήριες Γραμμές του Καθολικού Σχεδιασμού για τη Μάθηση[33]:

### 1. Παροχή Πολλαπλών Μέσων Αναπαράστασης

- Παροχή εναλλακτικών επιλογών για την αντίληψη
  - Προσφορά τρόπων για την προσαρμογή της εμφάνισης των πληροφοριών
  - Προσφορά εναλλακτικών επιλογών για ακουστικές πληροφορίες
  - Προσφορά εναλλακτικών επιλογών για οπτικές πληροφορίες
- Παροχή εναλλακτικών επιλογών για τη γλώσσα, τις μαθηματικές εκφράσεις και τα σύμβολα
  - Αποσαφήνιση λεξιλογίου και συμβόλων
  - Αποσαφήνιση συντακτικού και δομής
  - Υποστήριξη αποκωδικοποίησης κειμένου, μαθηματικής σημειογραφίας και συμβόλων
  - Προώθηση της κατανόησης μεταξύ γλωσσών
  - Παρουσίαση με χρήση πολλαπλών μέσων
- Παροχή εναλλακτικών επιλογών για την κατανόηση
  - Ενεργοποίηση ή εφοδιασμός γνωστικού υποβάθρου
  - Επισήμανση μοτίβων, καίριων χαρακτηριστικών, σημαντικών ιδεών και σχέσεων
  - Καθοδήγηση στην επεξεργασία των πληροφοριών, την οπτικοποίηση και το χειρισμό
  - Μεγιστοποίηση της μεταφοράς και της γενίκευσης της μάθησης

### **Αποτέλεσμα: Επινοητικοί, με βαθιές γνώσεις μαθητές**

### 2. Παροχή Πολλαπλών Μέσων Δράσης και Έκφρασης

- Παροχή εναλλακτικών επιλογών για σωματική δράση
  - Ποικιλία στις μεθόδους απόκρισης και πλοήγησης
  - Βελτιστοποίηση της πρόσβασης σε εργαλεία και υποστηρικτικές τεχνολογίες
- Παροχή εναλλακτικών επιλογών για έκφραση και επικοινωνία
  - Χρήση πολλαπλών μέσων για επικοινωνία
  - Χρήση πολλαπλών εργαλείων για τη δόμηση και τη σύνθεση της μάθησης
  - Δόμηση ευχέρειας με διαβαθμισμένη υποστήριξη για πρακτική εξάσκηση και απόδοση
- Παροχή εναλλακτικών επιλογών για εκτελεστικές λειτουργίες
  - Καθοδήγηση αποτελεσματικής στοχοθεσίας
  - Υποστήριξη του προγραμματισμού και της ανάπτυξης στρατηγικών

- Διευκόλυνση της διαχείρισης πληροφοριών και πηγών
- Ενίσχυση της ικανότητας παρακολούθησης της προόδου

### **Αποτέλεσμα: Στοχο-κατευθυνόμενοι, «στρατηγικοί» μαθητές**

#### **3. Παροχή Πολλαπλών Μέσων Εμπλοκής**

- Παροχή εναλλακτικών επιλογών για την προσέλκυση του ενδιαφέροντος
  - Βελτιστοποίηση ευκαιριών για ατομική επιλογή και αυτονομία
  - Βελτιστοποίηση της συνάφειας, της αξίας και της αυθεντικότητας
  - Ελαχιστοποίηση απειλών και περισπασμών
- Παροχή εναλλακτικών επιλογών για τη διατήρηση της προσπάθειας και της επιμονής
  - Ανάδειξη της σπουδαιότητας των σκοπών και των στόχων
  - Ποικιλία στις απαιτήσεις και τις πηγές για τη βελτιστοποίηση της πρόκλησης
  - Ενίσχυση της συνεργασίας και της κοινότητας
  - Αύξηση της ανατροφοδότησης με στόχο την αρτιότητα της γνώσης και την κατάκτηση της μάθησης
- Παροχή εναλλακτικών επιλογών για την αυτορρύθμιση
  - Προαγωγή των προσδοκιών και των αντιλήψεων που βελτιστοποιούν την παρώθηση
  - Διευκόλυνση ατομικών δεξιοτήτων και στρατηγικών υπέρβασης δυσκολιών
  - Ανάπτυξη της αυτοαξιολόγησης και του αναστοχασμού

### **Αποτέλεσμα: Αποφασιστικοί, κινητοποιημένοι μαθητή**

#### **4.5 Αξιολόγηση**

Σε όλα τα εκπαιδευτικά συστήματα και τις βαθμίδες αυτών, εμπεριέχεται η αξιολόγηση του εκπαιδευόμενου. Οι μορφές της αξιολόγησης ποικίλουν, και έχουν αναπτυχθεί διάφορες σχολές, εργαλεία και προσεγγίσεις. Στην παιδαγωγική επιστήμη υπάρχουν διάφορα ρεύματα που ασχολούνται με την αξιολόγηση και την συμβολή της στην μαθησιακή διαδικασία. Τα νεότερα εξ αυτών ασκούν δριμεία κριτική στον παγιωμένο τρόπο προσέγγισής της (γραπτές εξετάσεις, τεστ κ.α.). Παράλληλα, υπογραμμίζουν τον επιφανειακό, ανούσιο και αναποτελεσματικό χαρακτήρα αυτών, μιας και εν τέλει η αξιολόγηση του εκπαιδευόμενου είναι πολυπαραγοντική, εξαρτώμενη από την μοναδικότητα του καθενός και με μεταβλητές που τις περισσότερες φορές είναι ποιοτικές και όχι ποσοτικές.

Ως Αξιολόγηση ορίζουμε μια συστηματική και συνεχή διαδικασία προσδιορισμού/εκτίμησης με συγκεκριμένα, προκαθορισμένα και σαφή κριτήρια επιτυχίας του εκπαιδευόμενου. Στην πράξη όμως, είναι μια πολύπλοκη διαδικασία η οποία εμπεριέχει διάφορα στοιχεία μέτρησης και εκτίμησης, τόσο αντικειμενικά, όσο και υποκειμενικά. Όλες

οι εκπαιδευτικές βαθμίδες την εμπειριέχουν ως αναπόσπαστο κομμάτι της. Ωστόσο, κατά την προσωπική μου άποψη θα πρέπει ένας εκπαιδευτικός να την χρησιμοποιεί ως ένα διπλό διαγνωστικό εργαλείο: Από την μια να του δίνει άμεση ανατροφοδότηση για το αποκτηθέν μαθησιακό περιεχόμενο των εκπαιδευόμενων, να εντοπίζει αίτια και να υποβοηθά για την βελτίωση της πορείας τους, και από την άλλη ως διαμορφωτική πηγή της ίδιας της διδασκαλίας του (μέθοδοι, μέσα κ.α.). Επομένως, ένας εκπαιδευτικός, ο οποίος αναπόφευκτα λειτουργεί στο δεδομένο εκπαιδευτικό σύστημα, το οποίο τοποθετεί την αξιολόγηση στο προσκήνιο, θα πρέπει, εξ αρχής να θέτει και να γνωστοποιεί τα κριτήρια αξιολόγησης στον εκπαιδευόμενο. Έπειτα, θα έπρεπε να απομακρύνεται από αυτό το πλαίσιο, αξιοποιώντας την αξιολόγηση τελικά ως διπλό διαγνωστικό εργαλείο.

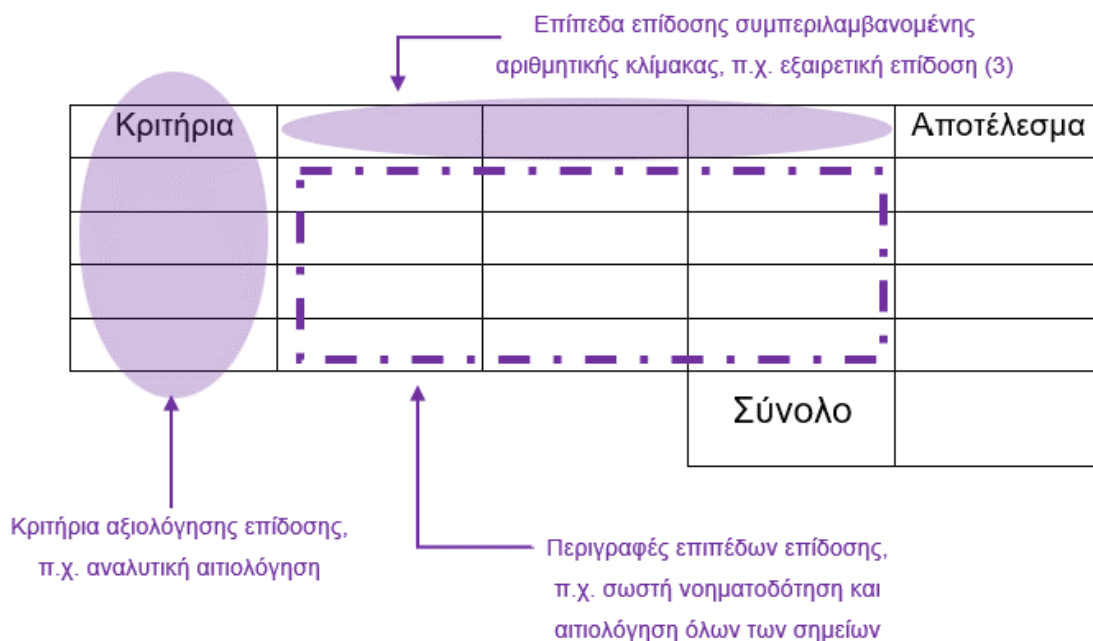
Τα κριτήρια αξιολόγησης κατηγοριοποιούνται σε δύο βασικές κατηγορίες. Η πρώτη αφορά την αντικειμενικότητα της κρίσης, και περιλαμβάνει τα εσωτερικά και εξωτερικά. Τα εσωτερικά είναι υποκειμενικά διότι επαφίνονται στην προσωπική και υποκειμενική αντίληψη του εκπαιδευτικού, ενώ τα εξωτερικά είναι εκείνα στα οποία δεν μπορεί να υπεισέλθει η άποψη του εκπαιδευτικού και είναι γνωστά και προκαθορισμένα στους εκπαιδευόμενους.

Η δεύτερη κατηγορία αφορά την μορφή της κρίσης, και περιλαμβάνει τα ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια. Τα ποιοτικά κριτήρια αποτυπώνονται με (γραπτή,) περιγραφική μορφή, ενώ τα ποσοτικά με αριθμητική περιγραφή.

Οι τεχνικές αξιολόγησης διακρίνονται στις παραδοσιακές και τις σύγχρονες. Οι παραδοσιακές περιλαμβάνουν γραπτές εξετάσεις, εργασίες κ.α. Στις σύγχρονες, υπάρχουν οι εξής κατηγορίες:

1) **Οι ρουμπρικές αξιολόγησης (Σχήμα 9)** ή κλίμακες διαβαθμισμένων κριτηρίων αποτελούν πίνακες στους οποίους αποτυπώνονται περιγραφικά και αριθμητικά η βαθμολογία του διδασκόμενου βάσει των δομικών στοιχείων τους. Αποτελούνται από τέσσερα δομικά στοιχεία:

- Κριτήρια αξιολόγησης της επίδοσης: δηλαδή οι καθορισμένες προδιαγραφές που πρέπει να πληροί ένα έργο είτε ατομικό είτε ομαδικό.
- Επίπεδα ποιότητας έργου: δηλαδή μια ποιοτική περιγραφική διαβάθμιση του επιπέδου ποιότητας του παραγόμενου έργου (εξαιρετική, πολύ καλή κ.α).
- Διακριτή περιγραφή των επιπέδων της επίδοσης σύμφωνα με τα αντίστοιχα κριτήρια αξιολόγησης.
- Αριθμητική κλίμακα βαθμολογίας σύμφωνα με τα επίπεδα επίδοσης.



Σχήμα 11, Ρουμπρίκα

- 2) **Ο φάκελος εργασιών** (ατομικός ή ομαδικός) αποτελεί μια συστηματική συλλογή των επιτελεσθέντων έργων και δραστηριοτήτων του εκπαιδευόμενου ή μιας ομάδας που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο μιας μαθησιακής διαδικασίας. Η αξιολόγηση τους θα πρέπει να βασίζεται σε προκαθορισμένα κριτήρια και συγκεκριμένους μαθησιακούς στόχους που πρέπει να επιτευχθούν, όπως η εφαρμογή γνώσεων, ανάπτυξη δεξιοτήτων, εκτέλεση διαδικασιών κ.α. Τα δύο σημαντικότερα στάδια των φακέλων είναι αυτό της παρουσίασης-διαμοiraσμού και αυτό του αναστοχασμού. Στο στάδιο της παρουσίασης-διαμοiraσμού ο εκπαιδευτικός συζητά με τον εκπαιδευόμενο ή την ομάδα με σκοπό την επικοινωνιακή κριτική και ανατροφοδότηση. Στο στάδιο του αναστοχασμού, ο εκπαιδευόμενος ή η ομάδα προβληματίζονται, ασκούν οι ίδιοι κριτική και αυτοαξιολογούν το έργο τους καθώς και τις διεργασίες που τους οδήγησαν στις επιλογές τους, βάσει φυσικά των γνωστοποιημένων διδαχτικών στόχων και κριτηρίων αξιολόγησης από τον εκπαιδευτικό.
- 3) **Οι σύνθετες ερευνητικές εργασίες (project)** αποτελεί μια ολοκληρωμένη μαθησιακή δραστηριότητα μέσα από την οποία γίνεται η αξιολόγηση και δίνεται στον εκπαιδευτικό ένα όσο το δυνατό ευρύτερο πλαίσιο για την ερμηνεία της πορείας μάθησης. Το project υλοποιείται σε στάδια:
- 1) Προβληματισμός: Στο στάδιο αυτό ο εκπαιδευτικός παρουσιάζει υπό την μορφή προβλήματος το μαθησιακό περιεχόμενο, και συζητά με τους εκπαιδευόμενους υποθέσεις, προσεγγίσεις και ερευνητικά ερωτήματα.
  - 2) Προγραμματισμός δράσης: Στο στάδιο αυτό καθορίζονται οι προς επίτευξη στόχοι και οι δραστηριότητες που θα ακολουθηθούν
  - 3) Διεξαγωγή δραστηριότητας: Στο στάδιο αυτό οι εκπαιδευόμενοι επεξεργάζονται, δομούν αναπτύσσουν, διατυπώνουν, συσχετίζουν,

αξιολογούν δεδομένα και εφαρμόζουν τεχνικές και προσεγγίσεις με σκοπό την διερεύνηση και λύση του προβλήματος.

- ο 4) Παρουσίαση: Στο στάδιο αυτό συνήθως γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων μεταξύ εκπαιδευόμενων και εκπαιδευτικού με σκοπό την ανατροφοδότηση και τον συλλογικό αναστοχασμό.
- ο 5) Αξιολόγηση: Στο στάδιο αυτό γίνεται αποτίμηση (με δυνατότητα συνδυασμού αυτοαξιολόγησης και ετεροαξιολόγησης) των αποτελεσμάτων, των διαδικασιών που ακολουθήθηκαν καθώς και της επίτευξης των διδακτικών στόχων.

4) **Λοιπές μορφές αξιολόγησης:** Υπάρχουν και άλλες μορφές αξιολόγησης όπως η συνεργατική αξιολόγηση, τα τεστ αυτοαξιολόγησης ή ετεροαξιολόγησης, η περιγραφική αξιολόγηση κ.α.

Για μια δικαιότερη λοιπόν και αντικειμενικότερη αξιολόγηση καλό θα ήταν ο εκπαιδευτικός να χρησιμοποιήσει μια πληθώρα κριτηρίων και τεχνικών. Φυσικά, επιβάλλεται ο εκπαιδευτικός να προσδιορίζει και να γνωστοποιεί πάντοτε πριν την έναρξη της μαθησιακής διαδικασίας στους εκπαιδευόμενους, με σαφή κατανοητό και λεπτομερή τρόπο την δομή και τα κριτήρια αξιολόγησης του. Ταυτόχρονα δεν θα πρέπει ο εκπαιδευτικός να αρκείται στην αξιολόγηση του εκπαιδευόμενου στο τέλος του εξαμήνου, αλλά καθ' όλη τη διάρκεια αυτού, να του την παρουσιάζει και να τη συζητά μαζί του με σκοπό την εποικοδομητική κριτική και την ανατροφοδότηση. Θεωρώ πως σε ένα πανεπιστημιακό περιβάλλον εργαστηρίου, είναι πολύ εύκολο να του δοθεί αυτή δυνατότητα. Για παράδειγμα, παραν και η τυπική και συνήθης αξιολόγηση περιορίζεται στην τελική γραπτή εξέταση ή σε κάποιο project, μια ενδεικτική εναλλακτική μορφή που θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε ένα σημερινό πανεπιστημιακό εργαστηριακό περιβάλλον είναι η παρακάτω:

- 1) Σε κάθε εργαστηριακή άσκηση, να υπάρχει φυλλάδιο του μαθησιακού περιεχομένου πάνω στο οποίο ο φοιτητής θα παρατηρεί, σχολιάζει, καταγράφει, αιτιολογεί, εφαρμόζει έννοιες και νοηματοδοτεί. Τα φυλλάδια αυτά θα πρέπει να αποτελέσουν/ συστήσουν τον φάκελο εργασιών των φοιτητών.
  - Σε κάθε επόμενο εργαστήριο θα πρέπει να γίνεται παρουσίαση, συζήτηση και εποικοδομητική κριτική της επίτευξης των μαθησιακών στόχων, με σκοπό την βελτίωση και την ανατροφοδότηση.
  - Για κάθε εργαστηριακή άσκηση, με το πέρας της, ο εκπαιδευτικός μπορεί να δομήσει και να μοιράσει τεστ ομαδικής αξιολόγησης, στόχος των οποίων θα είναι η παρακίνηση εμπλοκής όλων των μελών στην πειραματική εργασία. Ταυτόχρονα θα αποτελούν εργαλείο για να αξιολογήσει τις συσχετίσεις και τις αλληλεπιδράσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των μελών της ομάδας κατά τη διάρκεια της μαθησιακής διαδικασίας.
- 2) Μερικές εργαστηριακές εκθέσεις κατά την διάρκεια του εξαμήνου ή παρουσιάσεις υπό την μορφή PowerPoint μέσα από τις οποίες οι εκπαιδευόμενοι θα εκθέτουν παρατηρήσεις, μεθοδολογίες που οδηγούν σε αποτελέσματα, εφαρμογές νόμων και

κανόνων, εφαρμογές της διδαχθείσας γνώσης ή σύνδεσή τους με θεωρητικές έννοιες κ.α. Σημαντικό εργαλείο αξιολόγησης θα αποτελούσαν οι κλίμακες διαβαθμισμένων κριτηρίων. Σε συνδυασμό με τεχνολογικά εργαλεία LMS (λ.χ. eclass) μπορεί να δοθεί άμεσα ανατροφοδότηση για αναστοχασμό στους εκπαιδευόμενους.

3) Σύνθετη ερευνητική εργασία στην οποία οι φοιτητές θα προσεγγίζουν ένα παρόμοιο γνωστικό περιεχόμενο με τα διδαχθέντα, εφαρμόζοντας εργαλεία, τεχνικές και έννοιες από προηγούμενες εργαστηριακές ασκήσεις.

➤ Παράδειγμα αποτελεί η άσκηση 4 του εργαστηριακού μέρους (κεφάλαιο 3).

4) Στο τέλος του εξαμήνου, αντικατάσταση της γραπτής εξέτασης, με ένα σύντομο τεστ, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει ένα μικρό κομμάτι θεωρητικών εννοιών ή διαδικασιών κλπ, και ένα μικρό σύντομο κομμάτι πρακτικής εφαρμογής και λήψης/καταγραφής/ερμηνείας μετρήσεων εφαρμόζοντας διδαχθείσες γνώσεις.

➤ Για παράδειγμα μπορεί να δοθεί ένα σύντομο τεστ όπου:

Στο πρώτο μέρος θα περιλαμβάνει θεωρητικό προσδιορισμό δύο τιμών αντιστάσεων από παράλληλη συνδεσμολογία τεσσάρων.

Στο δεύτερο μέρος, θα καλείται ο φοιτητής να υλοποιήσει το κύκλωμα στο breadboard και έπειτα να λάβει και να καταγράψει μετρήσεις (AC ή DC) χρησιμοποιώντας αντίστοιχα όργανα και εφαρμόζοντας διδαχθείσες τεχνικές.

Η τελική αξιολόγηση του φοιτητή μπορεί έπειτα να εξαχθεί από το σύνολο των παραπάνω τεχνικών, με βάση τα αντίστοιχα βάρη, τα οποία τους έχει γνωστοποιήσει ωστόσο από την αρχή του εξαμήνου ο εκπαιδευτικός.

#### **4.6 Σχεδίαση μαθησιακής δραστηριότητας με ψηφιακές τεχνολογίες (Σενάριο)**

Τα σύγχρονα Διδακτικά Σενάρια [34] αποτελούν μια σειρά εννοηστρομένων δράσεων που εστιάζουν σε ένα ή περισσότερα γνωστικά αντικείμενα, χρησιμοποιώντας εργαλεία ΤΠΕ με σκοπό την καλλιέργεια δεξιοτήτων που αναφέρονται πολλές φορές ως «Απαραίτητες δεξιότητες του 21<sup>ου</sup> αιώνα». Αναπτύσσονται από εκπαιδευτικούς, απευθύνονται σε εκπαιδευτικούς και αξιοποιούν ψηφιακές τεχνολογίες που αποσκοπούν στο να προκύψει πρόσθετη παιδαγωγική αξία. Κάθε σενάριο ανάλογα με τους μαθησιακούς στόχους που θέτει, υποστηρίζεται από μια θεωρία και οργανώνεται στη βάση μιας μεθόδου, η οποία με τη σειρά της καθορίζει τη ροή των δραστηριοτήτων, τα γνωστικά εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν αλλά και το ρόλο των εκπαιδευτικών και των φοιτητών. Οι δραστηριότητές του είναι διατυπωμένες με τρόπο που ενώ δίνουν την ελευθερία στον εκπαιδευτικό να τις ενσωματώσει στην διδασκαλία του ταυτόχρονα το απαιτούν.

#### **Ταυτότητα του σεναρίου**

Χάρη στην ανάπτυξη του προτύπου ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) το 1993 καταφέραμε να μεταδώσουμε με μεγάλες ταχύτητες δεδομένα πάνω στο απλό τηλεφωνικό δίκτυο (POTS) το οποίο και εν τέλει συντέλεσε στην σημερινή δυνατότητα

μας για άμεση και γρήγορη πρόσβαση στο διαδίκτυο. Μια παράμετρος που οδήγησε στην ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής ήταν η εκμετάλλευση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων η απόκριση των οποίων εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος εισόδου τους (Φίλτρα). Στα πλαίσια της δραστηριότητας αυτής οι φοιτητές θα εξοικειωθούν με τα κυκλώματα αυτά, θα μελετήσουν, θα πειραματιστούν και θα κάνουν πρακτική εξάσκηση στην συμπεριφορά τους σχετικά με την εξάρτηση του σήματος εξόδου από αυτό της εισόδου τους (Συνάρτηση Μεταφοράς-Μιγαδική απολαβή τάσης). Έπειτα, στηριζόμενοι στις γνώσεις και εμπειρίες τους θα αναλάβουν τον ρόλο του μηχανικού σχεδίασης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων με σκοπό την ανάπτυξη και υλοποίηση ενός φίλτρου που θα επιλύει το πρόβλημα λήψης συχνοτικών δεδομένων σε μια γραμμή που προορίζεται για συχνοτήτες φωνής. Η σχεδίαση και υλοποίηση τους προϋποθέτει την κατανόηση της συμπεριφοράς των παθητικών ηλεκτρονικών στοιχείων (L, C) σε διάφορα συχνοτικά σήματα καθώς και την εφαρμογή θεωρητικών εννοιών - τεχνικών, εργαλείων και προσεγγίσεων των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

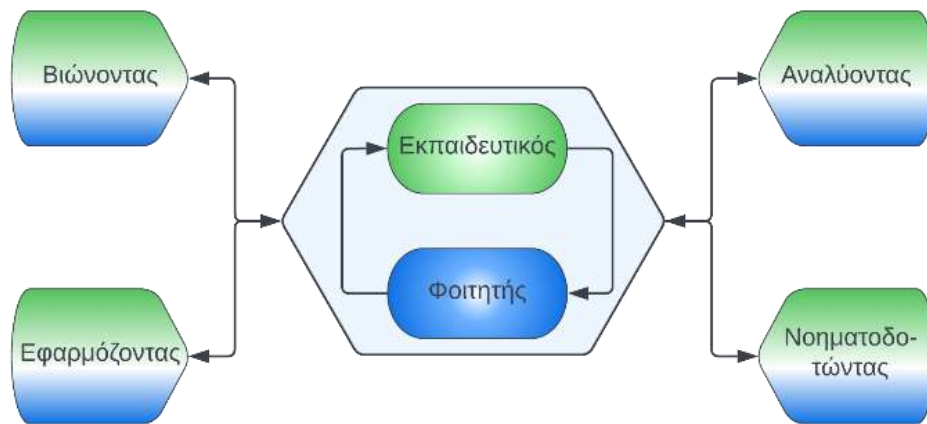
- **Γνωστική περιοχή:** Κυκλώματα και Συστήματα
- **Θέματα:**
  - ▶ Κυκλωματικά στοιχεία αποθήκευσης Ενέργειας (L, C)
  - ▶ Συνάρτηση Μεταφοράς (Απόκριση στο Πεδίο Συχνότητας, Διάγραμμα Bode)
  - ▶ Ενίσχυση – Φάση ηλεκτρικού σήματος
  - ▶ Φίλτρο - Συχνότητα Αποκοπής

### **Σκεπτικό της δραστηριότητας**

Τα φίλτρα, αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία τόσο της επιστήμης των τηλεπικοινωνιών όσο και της ηλεκτρονικής και της πληροφορικής. Η ανάπτυξή τους βασίζεται στην σύμπραξη μηχανικών από διαφορετικές επιστήμες (εφαρμοσμένων μαθηματικών, φυσικής, χημείας, ηλεκτρονικής κ.α) και αποτελούν βασικό διδασκόμενο μάθημα σε όλα τα πανεπιστημιακά τμήματα της επιστήμης των υπολογιστών. Ακόμη, υπάρχει έντονο ενδιαφέρον τόσο σε ερευνητικό επίπεδο για την ανάπτυξη νέων τύπων φίλτρων (λ.χ τεχνολογίες 5G), όσο και σε βιομηχανικό λόγω της ραγδαίας απαίτησης δικτύωσης κάθε ηλεκτρονικής συσκευής (IoT κλπ.), με την δραστηριότητα αυτή, να μελετά τα φίλτρα από την σκοπιά των τηλεπικοινωνιών. Εκμεταλλεύεται τον ρόλο του μηχανικού σχεδίασης ως ένα από τα στοιχεία ανάπτυξης του ενδιαφέροντος και εμπλοκής των φοιτητών με το μαθησιακό περιεχόμενο μιας και με τον τρόπο αυτό το συνδέει τόσο με την αγορά εργασίας όσο και με την έρευνα. Ακόμη, μέσω του πειραματισμού, του βιώματος, του μαστορέματος, του ελέγχου μηχανών βοηθά στην νοηματοδότηση και βαθύτερη κατανόηση του μαθησιακού περιεχομένου από τον εκπαιδευόμενο, το οποίο εν τέλει αποτελεί το κλειδί για την εμπάθунση σε πιο σύνθετες έννοιες και θεωρίες, διατηρεί την εμπλοκή του και ταυτόχρονα τον καθιστά ικανό να αναπτύσσει αποτελεσματικές μεθόδους προσέγγισης στην λύση ενός προβλήματος. Ο πυρήνας του σχεδιασμού και της ανάπτυξης του σεναρίου στηρίζεται στις τέσσερις βασικές γνωσιακές διαδικασίες (**Σφάλμα! Το αρχείο π**



ροέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.), την εμπειρία-βίωμα, την ανάλυση, την εφαρμογή και την νοηματοδότηση.



Σχήμα 12, Γνωσιακές διαδικασίες κατά την μάθηση

### Καινοτομίες:

Το παρόν εκπαιδευτικό σενάριο είναι προσανατολισμένο στα πανεπιστημιακά εργαστηριακά μαθήματα τμημάτων μηχανικής. Τα εργαστηριακά μαθήματα αποτελούν αναπόσπαστο μέρος των προγραμμάτων σπουδών στα τμήματα αυτά, διότι συμβάλλουν καθολικά στην κατανόηση των θεωρητικών εννοιών που διδάσκονται στις διαλέξεις οι φοιτητές τους. Ωστόσο, η ροή εργασίας και εκπαίδευσης στο εργαστηριακό περιβάλλον παραμένει ίδια. Ο διδάσκων μοιράζει στην αρχή του μαθήματος τις βασικές οδηγίες μαζί με τα εργαστηριακά φύλλα εργασίας και έπειτα ο φοιτητής καλείται να ακολουθήσει άκριτα συγκεκριμένα βήματα: να παραμετροποιήσει κατάλληλα τα όργανα, να πραγματοποιήσει και να καταγράψει μετρήσεις, να σχεδιάσει κυματομορφές, να τις ερμηνεύσει και τέλος να παραδώσει τα αποτελέσματα (επι των οποίων θα αξιολογηθεί) στον διδάσκοντα. Ως επί το πλείστον, δεν λαμβάνει άμεση ανατροφοδότηση από την δράση του, δεν πειραματίζεται ή ερευνά ελεύθερα, δεν επιδιώκεται η καλλιέργεια διαλόγου και επιχειρηματολογίας είτε ατομικά είτε μέσα από την ενεργή συμμετοχή του σε συλλογικότητες. Στο σενάριο αυτό θα γίνει απόπειρα να δοθεί μια εναλλακτική προσέγγιση της Διδασκαλίας στο εργαστηριακό Πανεπιστημιακό περιβάλλον εκπαίδευσης.

Ειδικότερα, η μάθηση στο σενάριο αυτό θα στηριχθεί στις δύο κύριες κοστρουκτιβιστικές σχολές:

- ▶ Αυτή του Papert και Piaget «Η μάθηση ως διαδικασία δημιουργίας της γνώσης» όπου οι εκπαιδευόμενοι κατασκευάζουν ενεργά την δική τους γνώση (δημιουργία νοήματος) μέσω της ενσωμάτωσης ή τροποποίησης προηγούμενων ιδεών καθώς συναντούν νέες πληροφορίες και βιώνουν νέες εμπειρίες και προσπαθούν να τις κατανοήσουν.
- ▶ Αυτή του Vygotsky «Η μάθηση ως αποτέλεσμα συμμετοχής σε ομάδες» όπου οι εκπαιδευόμενοι κατασκευάζουν την γνώση τους μέσω κοινωνικής συνεργασίας-διαπραγμάτευσης-αλληλεπίδρασης και έκθεσής τους σε

νοήματα, εμπειρίες και απόψεις των υπολοίπων συμμετεχόντων με σκοπό τον αναστοχασμό και την ανατροφοδότηση.

Η μάθηση υπό το πρίσμα αυτών των κονστρουκτιβιστικών σχολών θα ενσωματωθεί χρησιμοποιώντας πλατφόρμα VoIP ανταλλαγής μηνυμάτων και ψηφιακής διανομής πολυμέσων σχεδιασμένη για τη δημιουργία κοινοτήτων (Discord) καθώς και τα συνεργατικά έγγραφα (παρουσιάσεις). Το Discord χρησιμοποιείται κατά κόρον μεταξύ των gamers ως κοινωνικό δίκτυο (Generation Millennial & Z) και δεδομένου ότι πολλοί φοιτητές πανεπιστημίων είναι και οι ίδιοι gamers αποτελεί έναυσμα ενθάρρυνσης για ενεργή κοινωνική και μαθησιακή εμπλοκή με σκοπό τόσο οι φοιτητές όσο και ο εκπαιδευτικός να μπορούν να συζητούν και να αλληλοεπιδρούν ισότιμα ως μέλη συλλογικότητας. Μέσω της αλληλεπίδρασης, και της κοινής συμμετοχής ο εκπαιδευτικός αλλά και ο κάθε φοιτητής προσφέρει στους υπόλοιπους φοιτητές συνεχή πρόσβαση σε "πρότυπα" και διαφόρων τύπων υλικό ή αναπαραστάσεις αυτού, δημιουργώντας ένα "πλαίσιο στήριξης" για τον κάθε ένα ξεχωριστά (Ζώνη Επικείμενης Ανάπτυξης) διαμεσολαβώντας έτσι στο να προχωρήσει πέρα από τις κατακτημένες ικανότητές του στην δυναμική ανάπτυξή του.

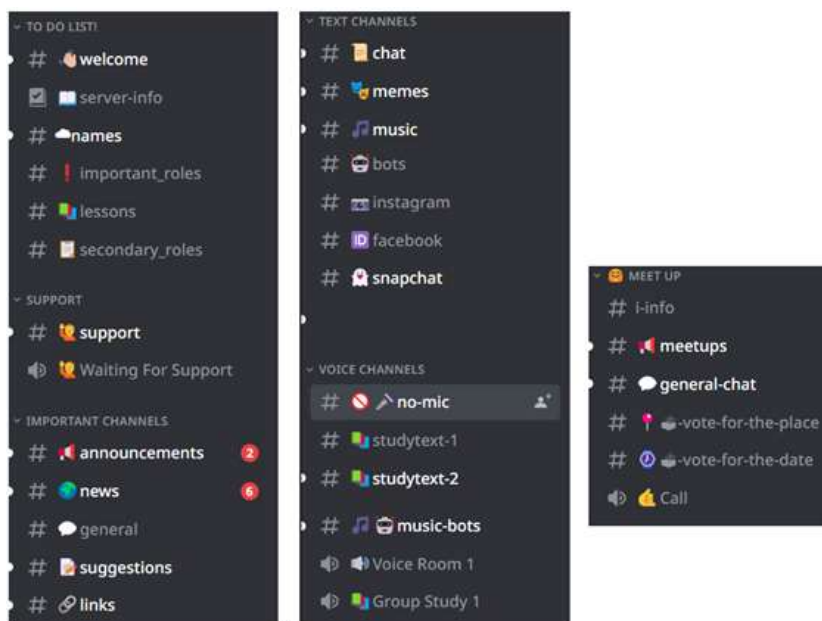
Επομένως, το σενάριο αυτό αποσκοπεί στο να εκθρονίσει τον πανεπιστημιακό δάσκαλο από το επίκεντρο της μαθησιακής διαδικασίας αποτελώντας ψαθυρή θραύση της νόρμας διδασκαλίας στο εργαστηριακό πανεπιστημιακό περιβάλλον. Θα επιχειρηθεί μια ενεργή συνεργατική εμπλοκή των φοιτητών σε συλλογικότητα μέσα από την οποία θα παράγουν και θα διαχειρίζονται την νοηματοδότηση τους. Οι φοιτητές πλέον, ως πρωταγωνιστές της μαθησιακής διαδικασίας θα εμπλακούν σε ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων δημιουργίας νοήματος, από την συζήτηση με άλλους (με δυνατότητα και εκτός του περιβάλλοντος του εργαστηρίου) μέχρι την τοποθέτηση της μάθησης σε ένα συλλογικό πλαίσιο επίλυσης προβλήματος, με ταυτόχρονη εφαρμογή των εμπειριών τους για την επίτευξη συγκεκριμένων μαθησιακών στόχων. Με άλλα λόγια, το σενάριο αποπειράται να μεταθέσει την μαθησιακή πορεία στα χεριά των φοιτητών, δίνοντάς τους την ευκαιρία να ανακαλύψουν το μαθησιακό περιεχόμενο, να ανταλλάξουν τις ιδέες τους, να εμπλακούν σε εποικοδομητικό διάλογο, να ερευνήσουν και να αναστοχαστούν μέσα από ένα πλαίσιο κοινωνικής σύνδεσης και εφαρμογής των εμπειριών τους. Μετασχηματίζει τον ρόλο του εκπαιδευτικού, από αυθεντία και μακρινό παρατηρητή σε παράγοντα υποστήριξης που θα υποβοηθά τους φοιτητές στη διαμόρφωση δράσεων και στην γνωσιακή οικοδόμηση, εμπλέκοντας τους παράλληλα σε δραστηριότητες μάθησης βασισμένες σε προκλήσεις.

- **Προστιθέμενη αξία:**

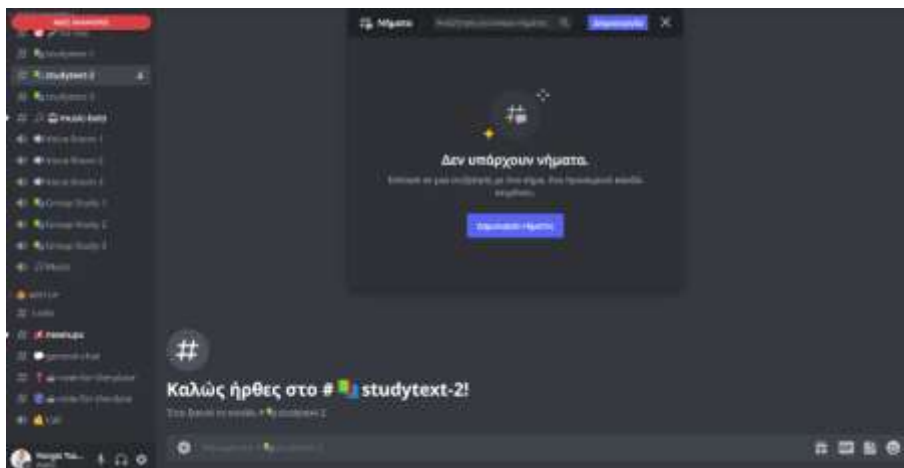
Τα τελευταία χρόνια, αν και παρατηρείτε ολοένα και περισσότερο η ενσωμάτωση τεχνολογιών στην εκπαίδευση (λ.χ. ηλεκτρονικοί υπολογιστές για προβολή βίντεο-παρουσιάσεων, λογισμικά προσομοιώσεων κ.α.) η προσπάθεια αυτή τις περισσότερες φορές δεν ενέχει μια προσέγγιση μέσα από την οποία θα αλλάξει ο παραδοσιακός τρόπος με τον οποίο μαθαίνουν οι φοιτητές (παθητικός δέκτης), ούτε αξιοποιείται με τρόπο τέτοιο ώστε να προκύψει το κάτι παραπάνω που θα μπορούσε να προσφέρει η τεχνολογία αυτή.

Η πρόσθετη παιδαγωγική αξία, που διαχέεται στο συγκεκριμένο εκπαιδευτικό σενάριο και στις δραστηριότητες που προτείνονται, βρίσκεται κυρίως στην νοηματοδότηση μέσω της επικοινωνίας σε συλλογικότητες (συνεργατική μάθηση) πέρα από τα πλαίσια του χώρου του εργαστηρίου, του τρόπου διαχείρισης των πληροφοριών (ποικιλομορφία καταχώρησης και αναπαράστασης τους) καθώς και του πειραματισμού με μοντέλα (προσομοίωση) για την διαμόρφωση προσωπικών εμπειριών και βιωμάτων των φοιτητών. Για τον σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθούν τα παρακάτω ψηφιακά εργαλεία:

🖱️ **Discord** (Χρήση: Γραπτή έκφραση-Επικοινωνία-Διαχείριση πληροφοριών): Ο λόγος επιλογής του εργαλείου αυτού είναι εξαιτίας του πλεονεκτήματος του να συνδυάζει πολλά από τα χαρακτηριστικά των υπολοίπων social media. Συγκεκριμένα επιτρέπει την ρύθμιση ρόλων των χρηστών, ρύθμιση δικαιωμάτων πρόσβασης για διαφορετικά κανάλια επικοινωνίας (φωνή, κείμενο), ζωντανές μεταδώσεις και Screen Sharing, καρφίτσωμα σημαντικών μηνυμάτων ανά κανάλι επικοινωνίας, δημιουργία γκρουπ μελέτης, δημιουργία γκρουπ διαμοιρασμού υλικού -links, γκρουπ αναζήτησης βοήθειας ή επίλυσης αποριών (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**), καταχώρηση και ταξινόμηση πληροφοριών-αρχείων μέσω νημάτων (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) με ρύθμιση δικαιωμάτων πρόσβασης σε αυτά, κ.α.



Σχήμα 13, Διάφορα κανάλια στον Discord Server

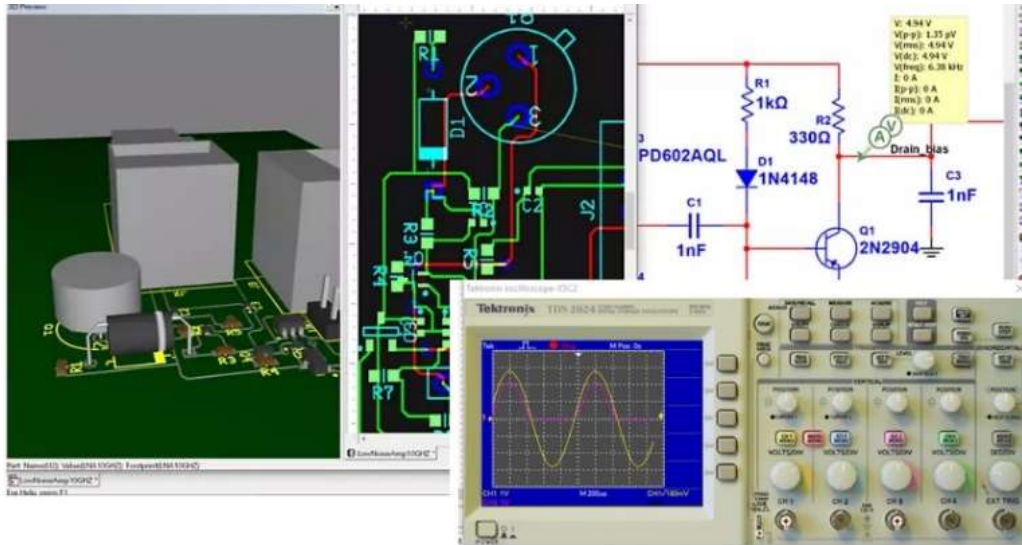


**Σχήμα 14, Δημιουργία Νήματος**

Με την ενσωμάτωση της εφαρμογής στις μαθησιακές δραστηριότητες δίνεται η δυνατότητα συλλογής και καταγραφή ιδεών σε κοινό κανάλι όπου θα έχουν πρόσβαση ανά πάσα στιγμή όλα τα μέλη της ομάδας. Μπορούν να μεταφορτώνουν φωτογραφίες από την υλοποίηση των κυκλωμάτων, αποτυπώσεις κυματομορφών από τις οθόνες των οργάνων και μετρήσεων καθόλη την πορεία των εργαστηριακών ασκήσεων για συζήτηση και έλεγχο ακόμη και μετά την ολοκλήρωση του πειραματικού μέρους. Ταυτόχρονα το κάθε σχόλιό τους (μεταφόρτωση) θα μπορεί να αντιστοιχηθεί με ένα συγκεκριμένο νήμα λ.χ. #μέτρηση\_γεννήτριας\_συχνοτήτων, ώστε να ανατρέχουν στοχευμένα οποιαδήποτε στιγμή χρειαστεί. Η αναδρομή αυτή μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση της μαθησιακής πορείας τους, αφού ο φοιτητής μπορεί να συγκρίνει την προσέγγιση της μελέτης ενός θέματος με τις προηγούμενες γνώσεις, και τις τωρινές, λαμβάνοντας, αυτό-αξιολόγηση με σκοπό την βαθύτερη κατανόηση και την δόμηση της σκέψης του. Φυσικά, μπορούν να συζητούν και να συνεργάζονται εκτός των ωρών του μαθήματος ή του χώρου του εργαστηρίου χρησιμοποιώντας κανάλια voice/ανταλλαγής άμεσων μηνυμάτων/διαμοιρασμού της οθόνης τους, αλληλο-καθοδηγώντας ο ένας τον άλλον, καταγράφοντας συλλογικά νέες ιδέες ή προβληματισμούς με άμεση ανατροφοδότηση (σχόλια-reactions). Ο εκπαιδευτικός πλέον δεν είναι ο μόνος που καθοδηγεί την μαθησιακή πορεία, ενώ οι φοιτητές εμπλέκονται σε έναν συνεχή κύκλο δημιουργίας περιεχομένου, εύρεσης και ανταλλαγής πληροφοριών μέσω επικοινωνιακού διαλόγου. Μπορούν να αναζητούν βοήθεια από τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας τους, να διερευνούν απορίες παραθέτοντας τα πραγματικά δεδομένα των εργαστηριακών ασκήσεων, να συγκρίνουν θεωρητικές έννοιες των διαλέξεων με τα εργαστηριακά αποτελέσματα, να επιχειρηματολογούν και ταυτόχρονα να καταγράφουν εναλλακτικές λύσεις ή προσεγγίσεις δημιουργώντας νοήματα μέσω της αμφίδρομης επικοινωνίας ως συλλογικότητα. Από την άλλη πλευρά, ο εκπαιδευτικός μπορεί να έχει ταυτόχρονη πρόσβαση σε κάθε ομάδα, να εντοπίζει έννοιες ή μαθησιακό περιεχόμενο που δυσκολεύει τους φοιτητές παρέχοντάς τους είτε εξατομικευμένη υποστήριξη είτε συλλογική. Επίσης μπορεί να διαμεσολαβεί ξεχωριστά σε κάθε ομάδα, δημοσιεύοντας ή πινάροντας υλικό το οποίο θα συμβάλει στο να προχωρήσουν πέρα από τις κατακτημένες

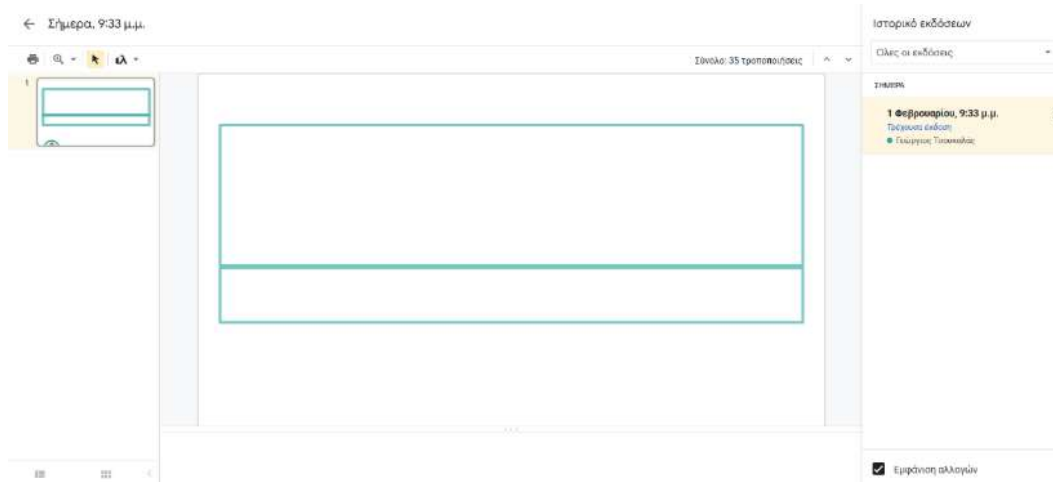
ικανότητες και γνώσεις τους. Όλα τα παραπάνω θα ήταν αδύνατο να υλοποιηθούν χωρίς την ενσωμάτωση του συγκεκριμένου λογισμικού. Οι φοιτητές αν και σε ομάδες θα μπορούσαν να συζητήσουν, να συγκρίνουν αποτελέσματα μετρήσεων ή κυματομορφές μόνο κατά την διάρκεια του εργαστηριακού μαθήματος, χωρίς να έχουν ταυτόχρονα πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα των εργαστηριακών φυλλαδίων. Επίσης χωρίς την δυνατότητα αποτύπωσης και αποθήκευσης των οθονών των οργάνων θα μπορούσαν είτε να σχεδιάσουν λάθος τις κυματομορφές στις προσωπικές τους σημειώσεις είτε να μην προλάβουν να καταγράψουν το σύνολο των μετρήσεών τους. Τέλος για έναν εκπαιδευτικό, θα ήταν αδύνατο να υποστηρίξει ή να ελέγξει την πορεία της κάθε ομάδας κατά την εκτέλεση των εργαστηριακών ασκήσεων με σκοπό να της παρέχει ανατροφοδότηση.

☞ **Multisim** (Χρήση: Πειραματισμός με μοντέλα): Το εργαλείο αυτό, δίνει την δυνατότητα προσομοίωσης κυκλωμάτων και συνδεσμολογίας ενώ διαθέτει εικονικά όργανα για μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών. Πέρα από την καλλιέργεια του πειραματισμού και της επιστημονικής δράσης, οι φοιτητές πρακτικά αποκτούν την δυνατότητα να χρησιμοποιούν εκτός του χώρου του εργαστηρίου μια ρεαλιστική αναπαράσταση βιομηχανικού τύπου εξοπλισμό. Θα μπορούσαμε να πούμε πως αυτό το ψηφιακό εργαλείο πλέον δεν φέρνει τον φοιτητή πιο κοντά στο εργαστήριο, αλλά το ίδιο το εργαστήριο πιο κοντά στο φοιτητή. Με την ενσωμάτωση της εφαρμογής στις μαθησιακές δραστηριότητες δίνεται η δυνατότητα στους φοιτητές να πραγματοποιούν μετρήσεις και πειράματα εφαρμόζοντας τις θεωρητικές έννοιες που μαθαίνουν με άμεση εφαρμογή και εμπειρική παρατήρηση. Από την άλλη θα συμβάλει στην εξοικείωση τους με τον πραγματικό εργαστηριακό εξοπλισμό μιας και η λειτουργία-παραμετροποίηση τους είναι ίδια με αυτή του πραγματικού εργαστηρίου. Τέλος αυξάνει την εμπλοκή τους αφού πέρα από τον ελεύθερο πειραματισμό χωρίς φόβο πρόκλησης βλάβης (αλλεπάλληλες δοκιμές – παρατήρηση λαθών) μπορούν να διεξάγουν πειράματα της επιλογής τους, ώστε να επικεντρωθούν και στους τομείς ενδιαφερόντων τους. Είναι φανερό ότι χωρίς την χρήση αυτού του λογισμικού οι φοιτητές θα ήταν αδύνατο να αποκτήσουν πρόσβαση σε τέτοιο είδους εξοπλισμό εκτός του πραγματικού εργαστηρίου (και στον δικό τους χρόνο) αλλά και να μπορούν ταυτόχρονα να πειραματιστούν – διεξάγουν πειράματα με απόλυτη ελευθερία.



Σχήμα 15, Προσομοίωση κυκλώματος και χρήση παλμογράφου στο Multisim

☞ **Συνεργατικές παρουσιάσεις** (Χρήση: Γραπτή έκφραση): Το εργαλείο αυτό, δίνει την δυνατότητα Cloud επεξεργασίας μιας παρουσίασης σε πραγματικό χρόνο από μια ομάδα χρηστών. Συμπεριλαμβάνει την σήμανση των χρηστών που πραγματοποιούν αλλαγές καθώς και το ιστορικό αναθεωρήσεων. Με την ενσωμάτωση της υπηρεσίας αυτής στις μαθησιακές δραστηριότητες (λ.χ. Google Slides, **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) δίνεται στους φοιτητές η δυνατότητα δόμησης της σκέψης τους μέσω της συλλογικής συγγραφής εργαστηριακής τεχνικής παρουσίασης. Πέρα από την δυνατότητα της γραπτής έκφρασης, οι φοιτητές θα βρεθούν σε ένα κρίσιμο σημείο νοηματοδότησης πέρα από το οποίο θα επέλθει επέκταση των ορίων μάθησής του. Δηλαδή, μέσω ενός εκούσιου καταιγισμού ιδεών, διαβούλευσης, αμφισβήτησης, επιχειρηματολογίας και τεκμηρίωσης θα κληθούν από κοινού, να καταλήξουν στην διατύπωση της μεθοδολογίας, της ερμηνείας αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας και των προσεγγίσεων που επέλεξαν εφαρμόζοντας τις γνώσεις τους για την επίλυση του προβλήματος. Αυτό απαιτεί αναστοχασμό τόσο των δικών τους εμπειριών (τι συνέβη, πώς συνέβη και τι έμαθα) όσο και επίγνωση των διαφορετικών οπτικών και του διαφορετικού τρόπου βιώματος της κοινής εμπειρίας από τα υπόλοιπα μέλη. Η διαδικασία έκφρασης των ιδεών στους άλλους αποτελεί καταλύτη γνωστικής οικοδόμησης αφού πέρα από την βαθύτερη σύνδεση-κατανόηση των εμπειριών θα υπάρχουν στιγμές απομάκρυνσης από αυτή για περισυλλογή – επανεξέταση.



Σχήμα 16, Περιβάλλον συνεργατικών παρουσιάσεων

### Πλαίσιο εφαρμογής.

- Σε ποιους απευθύνεται: Προπτυχιακούς φοιτητές τμημάτων μηχανικών Υπολογιστών/Πληροφορικής/Ηλεκτρονικών/Τηλεπικοινωνιών
  - Χρόνος υλοποίησης: 8 διδακτικές ώρες δια ζώσης/1 ώρα εξ αποστάσεως. Συστήνονται 2 διδακτικές ώρες ανά εβδομάδα.
  - Χώρος υλοποίησης: Εργαστήριο Κυκλωμάτων και Συστημάτων/Ηλεκτρονικής , Εξ αποστάσεως
- **Προαπαιτούμενες γνώσεις των φοιτητών:** Αναπαράσταση εναλλασσόμενων μεγεθών (περιστρεφόμενα διανύσματα-phasor), Μιγαδικοί αριθμοί, Διαφορικές εξισώσεις 1<sup>ης</sup> τάξης (Ομογενείς -Μη ομογενείς), Συμπεριφορά στοιχείων αποθήκευσης ενέργειας (L , C & Μεταβατική απόκρισή τους ), Εμπέδιση, decibel, Διάγραμμα Bode, Μέθοδος Lissajous, Κατασκευή κυκλωμάτων σε Breadboard, Παραμετροποίηση λειτουργιών βασικών οργάνων εργαστηρίου (πολύμετρο, παλμογράφος, γεννήτρια συχνοτήτων), Θεωρίες–τεχνικές–νόμοι και προσεγγίσεις επίλυσης ηλεκτρικών κυκλωμάτων, Σχεδίαση κυκλωμάτων σε επαγγελματικό σχεδιαστικό λογισμικό (Multisim, Tina ή παρόμοιο).
  - **Απαιτούμενα βοηθητικά υλικά και εργαλεία:** Φυλλάδια εργαστηριακής άσκησης (Παράρτημα Α), Διαθέσιμα ηλεκτρονικά εξαρτήματα R, L, C διαφόρων τιμών (τροποποιείτε αντίστοιχα τις τιμές τους στο Παράρτημα Α), Smartphone (Android ή iOS ), Η/Υ (Windows 7 ή νεότερη), Επιστημονική αριθμομηχανή (ή Mobile app), μολύβι, γόμα,
    - **Χώρος:** Εργαστηριακοί πάγκοι (σταθμοί εργασίας) αποτελούμενοι κάτ. ελάχιστο από Παλμογράφο, Γεννήτρια συχνοτήτων, Πολύμετρο, Breadboard, Δυνατότητα ασύρματης ευρυζωνικής δικτύωσης,

Προτζέκτορα (εάν δεν διατίθεται η υποδομή τότε υποκαθίσταται με screenleap.com<sup>3</sup> ή παρόμοια υπηρεσία )

- **Λογισμικά:** Discord, Multisim<sup>4</sup>
- **Ιστοσελίδες:** kallipos.gr, tme.eu/

- **Κοινωνική ενορχήστρωση της τάξης:** Οι φοιτητές θα συμμετάσχουν στις μαθησιακές δραστηριότητες σε ομάδες μέγιστου πλήθους 4 μελών (ανά σταθμό εργασίας). Προτείνονται τμήματα μέγιστου πλήθους 28 ατόμων. Ακριβέστερα:
  - Σε κάθε φάση όπου διεξάγεται πειραματική διαδικασία οι ρόλοι τους θα πρέπει να εναλλάσσονται:
    - Στον φοιτητή που χειρίζεται και παραμετροποιεί τα όργανα
    - Στον φοιτητή που λαμβάνει και καταγράφει μετρήσεις
    - Στον φοιτητή που υλοποιεί την κυκλωματική συνδεσμολογία
  - Στην φάση 2 θα δημιουργηθούν δύο κύριες ομάδες με διαφορετικό μαθησιακό περιεχόμενο προς μελέτη. Οι δύο αυτές μεγάλες ομάδες θα περιλαμβάνουν υποομάδες των 4 μελών.
  - Στην φάση 3 θα αναδημιουργηθούν ομάδες (4 μελών) οι οποίες θα περιλαμβάνουν δύο τυχαία μέλη από την κάθε κύρια ομάδα.

Η δημιουργία των ομάδων παρουσιάζεται εποπτικά στο **Σφάλμα! Το αρχείο π ροέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε..**

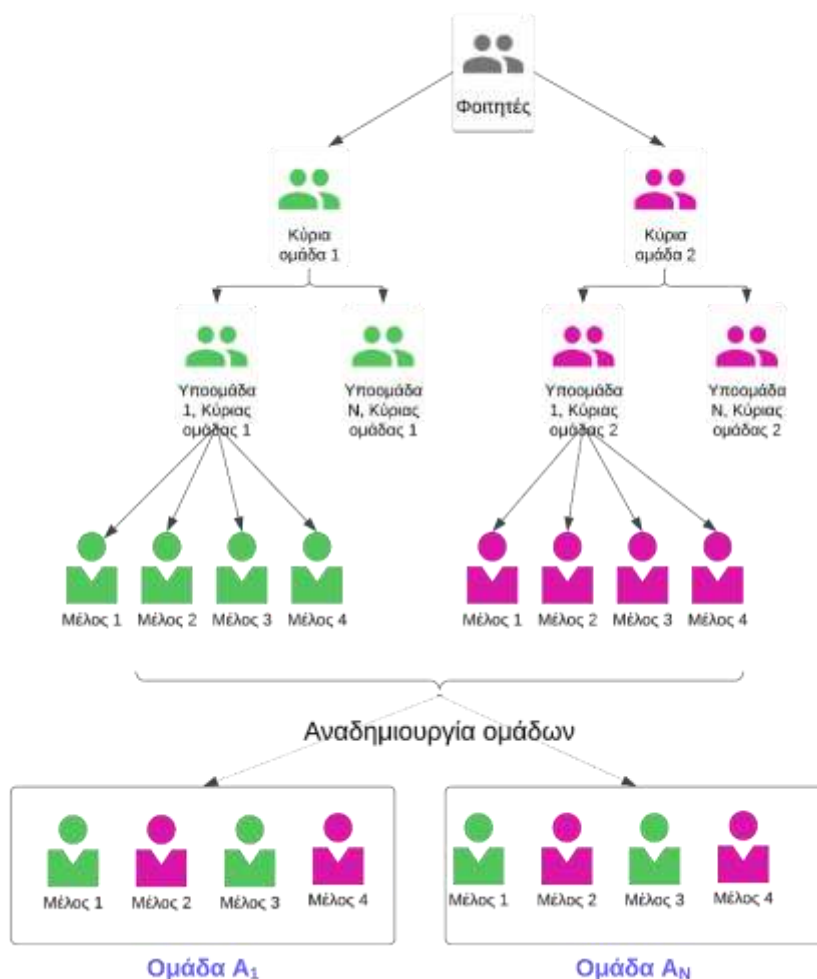
Σε κάθε φάση της μαθησιακής διαδικασίας φροντίζουμε (είτε στο χώρο του εργαστηρίου είτε μέσω του discord ) οι φοιτητές να εμπλέκονται ενεργά στους ρόλους των ομάδων τους, υποβοηθούμε με σχόλια ή εποικοδομητικές παρατηρήσεις που θα αποσκοπούν στην ανάπτυξη διαλόγου, συζητήσεων, προβληματισμού ή αναστοχασμού. Αναμοχλεύουμε όπου είναι δυνατό εμπειρίες τους με σκοπό την έναρξη συνεργατικής δημιουργίας νοημάτων με απώτερο στόχο την αυτό-ανακάλυψη/αναστοχασμό.

---

<sup>3</sup> Διαδικτυακή υπηρεσία διαμοιρασμού οθόνης υπολογιστή σε οποιαδήποτε συσκευή, χωρίς εγκατάσταση λογισμικού

<sup>4</sup> Δωρεάν (education) έκδοση (εναλλακτικά πρόσβαση χωρίς εγκατάσταση από οποιαδήποτε συσκευή στο multisim.com/create/)





Σχήμα 17, Δημιουργία ομάδων ανάλογα με την φάση της δραστηριότητας

Σκοπός του σκεπτικού του συγκεκριμένου τρόπου σύστασης και ανασύστασης των ομάδων, είναι να προκύψει μια αλυσιδωτή αντίδραση μάθησης και ανάπτυξης εξαιτίας της δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των μελών τους, που σκόπιμα προσμιγνύονται με αναπτυγμένους γνωστικά ή ικανότερους “σημαντικούς άλλους” αποσκοπώντας στην επιτάχυνση και ενίσχυση της αυτο-κατευθυνόμενης μάθησης. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως ο κάθε φοιτητής (εκτιθέμενος σε διαφορετικό μαθησιακό περιεχόμενο) αποτελεί αναπόσπαστο και απαραίτητο κομμάτι ενός πάζλ (κομμάτι συλλογικής νοηματισμού) το οποίο μεταφέρει και εκθέτει εμπειρίες και βιώματα του, τα οποία έπειτα επεξεργάζονται και επανεξετάζονται ατομικά και συλλογικά μέσω της κοινωνικής δράσης και του αναστοχασμού συντελώντας οικοδόμηση της γνώσης.

- **Στόχοι της δραστηριότητας:**
  - ↳ **Ως προς το γνωστικό αντικείμενο:**

1. Να είναι σε θέση να προσδιορίζουν την Συνάρτηση Μεταφοράς των βασικών αναλογικών φίλτρων 1<sup>ου</sup> βαθμού και να αναγνωρίζουν τον τύπο τους από αυτή.
  2. Να είναι σε θέση να επιλύουν την Συνάρτηση Μεταφοράς του φίλτρου, τόσο εξάγοντας την Συχνότητα Αποκοπής του (αριθμητικά), όσο και απεικονίζοντάς την (Διάγραμμα bode).
  3. Να είναι σε θέση, βάση δοθέντων προδιαγραφών (ή υπό μορφή προβλήματος), να επιλέγουν τις κατάλληλες αριθμητικές τιμές των ηλεκτρονικών στοιχείων R-L-C και έπειτα να κατασκευάζουν το κύκλωμα ενός εκ των βασικών τύπων φίλτρων.
- ↳ **Ως προς την μαθησιακή διαδικασία:**
1. Να είναι σε θέση να εμπλέκονται ομαδικά σε όλες τις φάσεις της πειραματικής διαδικασίας μέσω της παρατήρησης, διατύπωσης και ελέγχου υποθέσεων, συσχετίζοντας - αξιολογώντας δεδομένα-νοήματα, εφαρμόζοντας κυκλωματικές τεχνικές, κανόνες και θεωρητικές προσεγγίσεις με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την επίδραση των κυκλωματικών στοιχείων R-L-C στην Συνάρτηση Μεταφοράς και την Συχνότητα Αποκοπής των φίλτρων.
  2. Να είναι σε θέση να εργάζονται ομαδικά ώστε μέσω του διαβουλευτικού διαλόγου και στηριζόμενοι στις εμπειρίες τους (επιχειρηματολογία – κριτική- αναστοχασμό) να προσδιορίζουν από κοινού (συμβιβασμός) τους παράγοντες που τους οδήγησαν στην υλοποίηση ενός φίλτρου για την επίλυση ενός προβλήματος και παρουσιάζοντάς τους μέσω τεχνικής έκθεσης.
- ↳ **Ως προς την χρήση νέων τεχνολογιών:**
1. Να είναι σε θέση να προσομοιώνουν την σχεδίαση ενός αναλογικού φίλτρου στηριζόμενοι σε πραγματικά δεδομένα, και μέσω του πειραματισμού να εντοπίζουν και να κατανοούν πιθανούς περιορισμούς που θα προέκυπταν στον φυσικό κόσμο αντλώντας συμπεράσματα βάση της καλύτερης δυνατής υλοποίησης.

## **Ανάλυση της δραστηριότητας.**

### **Φάση 1<sup>η</sup>:**

Στην αρχή της φάσης αυτής πραγματοποιούμε στους φοιτητές μια παρουσίαση-εισαγωγή (με χρήση προτζέκτορα) του τρόπου με τον οποίο θα εργαστούμε καθώς και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιήσουμε:

❖ Δίνουμε οδηγίες εγκατάστασης και δημιουργίας λογαριασμού στο Discord.

- ↳ Όσοι φοιτητές δεν επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν τον προσωπικό τους λογαριασμό, τους παροτρύνουμε να χρησιμοποιήσουν το ακαδημαϊκό email για την εγγραφή.

- ↳ Παρουσιάζουμε τις λειτουργίες του, τον τρόπο συμμετοχής σε κανάλια φωνής και κειμένου καθώς και τον διαμοιρασμό αρχείων.
- ❖ Παρουσιάζουμε τις δυνατότητες των Google Slides.
  - ↳ Δίνουμε έμφαση στην δυνατότητα παρακολούθησης των χρηστών που επεξεργάζονται το έγγραφο καθώς και του τρόπου σχολιασμού εντός του εγγράφου.
  - ↳ Βεβαιωνόμαστε πως όλοι είναι σε θέση να εισάγουν δεδομένα διαφόρων τύπων στο έγγραφο.
- ❖ Υπενθυμίζουμε τις βασικές λειτουργίες του σχεδιαστικού λογισμικού Multisim
  - ↳ Παρουσιάζουμε την βιβλιοθήκη των εικονικών εργαστηριακών οργάνων και αντιπαραβάλλουμε την ομοιότητα παραμετροποίησής τους σε σχέση με τα όργανα του εργαστηρίου.

Έπειτα οι φοιτητές χωρίζονται σε ομάδες των 4 ατόμων και προστίθενται στα αντίστοιχα κανάλια του Discord server. Το καθένα από τα κανάλια αυτά είναι κλειστά, και μόνο τα μέλη της ομάδας έχουν πρόσβαση. Ταυτόχρονα, όλοι οι φοιτητές προστίθενται στα κοινά κανάλια general (#text), support(#text), waiting for support (#voice) στα οποία μπορούν όλοι να συζητούν μεταξύ τους ανεξαρτήτως ομάδας, να εκφράζουν απορίες ή να ζητούν βοήθεια (είτε από συμφοιτητές είτε από εμάς).

Στη συνέχεια μέσω διαλόγου και καταιγισμού ιδεών προσπαθούμε να συνδέσουμε την τάση με το ρεύμα και την φάση με διάφορες εφαρμογές. Χρησιμοποιούμε τις ιδέες των φοιτητών ως βάση για να καλύψουμε ένα ευρύ πλαίσιο εφαρμογών. Από την παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, τους κινητήρες και τις γεννήτριες (ηλεκτρικά οχήματα) μέχρι ιατρικές εφαρμογές (ηλεκτρικά σήματα για τη διέγερση μυών ή νευρώνων, ηλεκτροεγκεφαλογράφημα) μέχρι τις ασύρματες επικοινωνίες (κωδικοποίηση -μετάδοση δεδομένων - τεχνικές διαμόρφωσης πλάτους, φάσης). Σκοπός μας είναι η κατανόηση της συμβολής των ηλεκτρικών σημάτων στην καθημερινή ζωή αλλά και στην ανάπτυξη νέων τεχνολογικών επιτευγμάτων.

Μοιράζουμε το εργαστηριακό φυλλάδιο «Κυκλώματα RC»(εργαστηριακό μέρος, Παράρτημα II) σε κάθε ομάδα. Μέσω συζήτησης θέτουμε θεωρητικά ερωτήματα και προσπαθούμε να οδηγήσουμε τους φοιτητές σε ερευνητικές υποθέσεις όπως «πως αναμένουμε να συμπεριφερθεί ο πυκνωτής στο εναλλασσόμενο ρεύμα;», «Η τάση και το ρεύμα ( $i-v$ ) στα άκρα του θα έχουν την ίδια μορφή με αυτών της αντίστασης;», «τι αναμένουμε από την εφαρμογή των κανόνων του Kirchoff;». Καταγράφουμε τις υποθέσεις τους.

Με την εποπτεία μας, ξεκινούν την πειραματική διαδικασία. Κατά την διάρκειά της, προσπαθούμε να παρακινήσουμε τους φοιτητές προς τον ελεύθερο πειραματισμό *(τηρώντας τους κανόνες ασφαλείας και ελέγχοντας προσωπικά το κύκλωμά τους πριν την τροφοδοσία του)*. Δηλαδή, δεν αρκούμαστε στο να ακολουθήσουν απλώς άκριτα τα βήματα εκτέλεσης του πειράματος, αλλά με ερωτήσεις όπως «τι θα συμβεί αν δοκιμάσετε να αντικαταστήσετε τα στοιχεία RC με άλλα διαφορετικών τιμών;», «επηρεάζεται το πλάτος και η φάση του σήματος αν αλλάξετε την σειρά σύνδεσης των στοιχείων RC;»

τους παροτρύνουμε να πειραματιστούν. Τους υποβοηθούμε όπου κρίνεται απαραίτητο, ενώ εκμεταλλευόμαστε τυχόν λάθη (συνδεσμολογίας κ.α.) για εποικοδομητική ανατροφοδότηση.

Μέσα από τους παραπάνω πειραματισμούς οι φοιτητές:

- Προσδιορίζουν και συνειδητοποιούν την διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος που προκαλεί ένα παθητικό κυκλωματικό στοιχείο
- Συμπεραίνουν και γενικεύουν την επίδραση της διαφοράς φάσης μέσω της χρήσης όχι μόνο του τυπικού ημιτονικού παλμού ως είθισται, αλλά χρησιμοποιώντας και τετραγωνικούς παλμούς

Αφού ολοκληρωθεί η πειραματική διαδικασία, προσπαθούμε μέσω της συζήτησης να προκαλέσουμε τον αναστοχασμό. Ρωτάμε σε τι συμπεράσματα οδηγήθηκαν και να συγκρίνουν με τις αρχικές ερευνητικές υποθέσεις ή ερωτήματα όπως «Τι παρατηρήσατε από την σχέση  $i-v$  στο κύκλωμα, το οποίο περιλαμβάνει στοιχείο αποθήκευσης ενέργειας;».

Στο διάστημα που μεσολαβεί έως την επόμενη φάση, εκμεταλλευόμαστε το Discord ώστε:

- ↳ Να ελέγξουμε τις απαντήσεις που έδωσαν οι φοιτητές με σκοπό να ανιχνεύσουμε δυσκολίες ή το επίπεδο κατανόησής τους. Στόχος μας είναι να αναπροσαρμόσουμε και να ενισχύσουμε στοχευμένα την επόμενη διδασκαλία μας, με την προετοιμασία ενός μαθησιακού περιβάλλοντος και την κατάλληλη διδακτική διαχείριση που θα οδηγήσει σε αμφισβήτηση, διάψευση και επαναπροσδιορισμό/επαναδιαπραγμάτευση της υπάρχουσας νοηματοδότηση τους.
- ↳ Σε κάθε κανάλι των ομάδων, μέσω δημοσίευσης μας, τους ζητάμε ως ομάδα, αφού πρώτα δουν τα αποτελέσματα που είχαν καταγράψει (φωτογραφίες, απαντήσεις κλπ.) να αναφέρουν σε τι συμπέρασμα οδηγούνται παρατηρώντας την επίδραση της συχνότητας του σήματος εισόδου στο σήμα εξόδου του κυκλώματος. Ο σκοπός μας είναι διττός, αφενός να καλλιεργήσουμε την περαιτέρω συζήτηση και βελτίωση της κατανόησής τους, αφετέρου, έμμεσα να τους εισάγουμε στην έννοια των φίλτρων. Ταυτόχρονα η διαπραγμάτευση της νέας γνώσης γίνεται πριν από το μάθημα, και θέτονται ισχυρές βάσεις οικοδόμησης της νέας γνώσης στην υπάρχουσα.

Μέσα από την πορεία αυτής της μαθησιακής διαδικασίας (πειραματισμός & συζήτηση) αποσκοπείται να βοηθηθούν γνωστικά οι φοιτητές:

- Μετασχηματίζοντας σε βίωμα τις πρότερες γνώσεις τους (θεωρία σύνδεσης εξαρτημάτων σε σειρά και παράλληλα κ.α.) και κατανοώντας την σύνδεση της θεωρίας με την πράξη (κανόνες Kirchoff κ.α).

- ο Εφαρμόζοντας την νέα γνώση με ελεύθερο πειραματισμό (αλλαγή τιμής εξαρτημάτων κ.α.) και παρατηρώντας τις συνέπειες που προκύπτουν (αλλαγή πλάτους σήματος εξόδου) αναζητώντας παράλληλα την κατανόηση μέσω της επαλήθευσης ή διάψευσης των εικασιών τους.
- ο Εξωτερικεύοντας στην ομάδα τις εμπειρίες τους, ανατροφοδοτώντας και αξιολογώντας ο ένας τις ιδέες του άλλου, τροποποιώντας ή απορρίπτοντας τις προσωπικές σκέψεις τους μέσω της αλληλεπίδρασης και εν τέλει νοηματοδοτώντας από "έξω προς τα μέσα".

*Χρειάζεται τέλος να σημειωθεί πως σε κάθε επόμενο στάδιο, παρέχουμε στους φοιτητές μας εμπειρίες με σταδιακά μειούμενη υποστήριξη (από την πλήρως καθοδηγούμενη διερεύνηση) υποβοηθώντας τους με το ελάχιστο δυνατό ώστε μόνοι τους πλέον να καταλήγουν σε συμπεράσματα (ελεύθερη διερεύνηση).*

### **Φάση 2<sup>η</sup>:**

Ξεκινώντας, αναπτύσσουμε ένα διάλογο με ερωτο-απαντήσεις προσπαθώντας να καταγράψουμε διάφορα προβλήματα στα οποία ήρθαμε αντιμέτωποι γύρω από την μετάδοση ή την λήψη σημάτων. Μπορούμε να αναφερθούμε σε εφαρμογές όπως:

- Περιορισμό ανεπιθύμητου θορύβου στα ραδιοφωνικά και τηλεοπτικά σήματα
- Ταυτόχρονη μετάδοση δεδομένων και φωνής χρησιμοποιώντας το ίδιο κανάλι επικοινωνίας
- Διαχωρισμός και λήψη συγκεκριμένων μόνο ηλεκτρικών σημάτων από το ανθρώπινο σώμα για ιατρικές εφαρμογές(ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, ηλεκτροκαρδιογράφημα, ηλεκτρομυογράφημα)
- Δορυφορικές επικοινωνίες χωρίς την επίδραση παρεμβολών κοσμικής ακτινοβολίας

Ο διάλογος αυτός αποβλέπει στο να αντιληφθεί ο φοιτητής την ανάγκη έρευνας γύρω από την λήψη και επεξεργασία σημάτων που οδήγησε στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των φίλτρων

Παράλληλα, συνδέουμε έννοιες και βιώματα του προηγούμενου εργαστηριακού μαθήματος με τα φίλτρα, όπως «Διαπιστώσατε κάποια επίδραση της συχνότητας του σήματος τροφοδοσίας στην απόκριση εξόδου του κυκλώματος;».

Αφού καταγράψουμε τις απαντήσεις τους, παρουσιάζουμε ως επανάληψη (με χρήση προτζέκτορα) τις βασικές θεωρητικές έννοιες και κυκλωματικές τεχνικές προσδιορισμού της συνάρτησης μεταφοράς ενός κυκλώματος. Δίνοντας έμφαση στον μαθηματικό προσδιορισμό του μέτρου και της φάσης της. Περιγράφουμε την συνάρτηση μεταφοράς ως προς την ενίσχυση της (συμπεριλαμβανομένου του διαγράμματος της απόκρισης συχνότητας) και παράλληλα πως υπολογίζουμε το συνολικό κέρδος ισχύος σε decibel. Συσχετίζουμε τα παραπάνω (πρότερη γνώση φοιτητών) με τα φίλτρα (νέο μαθησιακό περιεχόμενο).

Έπειτα ομαδοποιούμε τις ομάδες των φοιτητών της προηγούμενης φάσης (χωρίς να αλλάζουμε την σύστασή τους) σε δύο κύριες ομάδες, κάθε μια από τις οποίες θα

μελετήσουν διαφορετικό μαθησιακό περιεχόμενο. Έστω πως επιλέγουμε η κύρια ομάδα 1 να μελετήσει ένα φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων ενώ η κύρια ομάδα 2 ένα φίλτρο υψηλών συχνοτήτων(**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**). Είναι απαραίτητο να επισημανθεί πως **δεν τους γνωστοποιούμε το είδος του φίλτρου που θα μελετήσουν.**

Για το σκοπό αυτό δημιουργούμε δύο ξεχωριστά κανάλια στο Discord server (Group study 1 και Group study 2 , **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) στα οποία προστίθενται οι υποομάδες:

- Τα μέλη των υποομάδων, θα έχουν πρόσβαση και δυνατότητα επεξεργασίας μόνο εντός του καναλιού στο οποίο ανήκουν.
- Στην κάθε κύρια ομάδα θα αναρτάται η απάντηση στα ερωτήματα του εργαστηριακού φυλλαδίου μόνο από ένα μέλος της κάθε υποομάδας.

Μολαταύτα, στο χώρο του εργαστηρίου, θα εξακολουθούν να εργάζονται στις ομάδες τους, αποτελούμενες από 4 άτομα ανά σταθμό εργασίας όπως αυτή συστάθηκε στην πρώτη φάση.

Έπειτα, μοιράζουμε σε κάθε υποομάδα της κύριας ομάδας 1 την άσκηση «Φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων»(εργαστηριακό μέρος, Παράρτημα II) και σε κάθε υποομάδα της κύριας ομάδας 2 την άσκηση «Φίλτρο υψηλών συχνοτήτων» (εργαστηριακό μέρος, Παράρτημα II). Προτείνεται εφόσον είναι εφικτό, να δοθούν σε κάθε πάγκο εργασίας εξαρτήματα διαφορετικών τιμών (τροποποιήστε αντίστοιχα τις ασκήσεις 2 και 3).

Με την εποπτεία μας, ξεκινούν την πειραματική διαδικασία. Και στην φάση αυτή, προσπαθούμε να παρακινήσουμε τους φοιτητές προς τον ελεύθερο πειραματισμό ή τους υποβοηθήσουμε όπου κρίνεται απαραίτητο, ωστόσο προσπαθούμε να εμπλακούμε όσο το δυνατό λιγότερο, δίνοντας έμφαση κυρίως στην συνεργασία, την εναλλαγή των ρόλων και την συζήτηση μεταξύ των μελών, ώστε από κοινού να καταγράψουν τις απαντήσεις στο εργαστηριακό φυλλάδιο και έπειτα να τις ανεβάσουν στον Discord server. Λ.χ. «Έχετε επαληθεύσει από κοινού την ακρίβεια μέτρησης των οργάνων;», «Συγκρίνατε τις μετρήσεις σας για να ελαχιστοποιήσετε τα σφάλματα; Μήπως παρατήρησε κάποιος κάτι διαφορετικό;».

Με την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας προσπαθούμε μέσω της συζήτησης να αναδείξουμε την συχνότητα αποκοπής του φίλτρου που εντόπισε η κάθε υποομάδα καθώς και πώς αυτή σχετίζεται με το εύρος συχνοτήτων του. Αναθέτουμε δύο ομαδικές εργασίες παρουσίασης των αποτελεσμάτων, μία για κάθε κύρια ομάδα. Για την διευκόλυνση της μεταξύ τους επικοινωνίας και της υλοποίησης της ομαδικής εργασίας:

- ενεργοποιούμε ένα κανάλι φωνής και ένα κειμένου ανά κύρια ομάδα στον Discord server ( Voice & Text Group study 1 και 2 αντίστοιχα) ώστε να μπορούν συλλογικά να διαμοιράζονται την οθόνη και να επικοινωνούν σε πραγματικό χρόνο
- τους υπενθυμίζουμε τον τρόπο παράλληλης εργασίας εντός των συνεργατικών παρουσιάσεων, καθώς και το πώς μπορούν να τα χρησιμοποιήσουν παράλληλα με το voice channel του Discord για την συγγραφή της ομαδικής εργασίας

- τους υπενθυμίζουμε το κοινά κανάλια general (#text), support(#text), waiting for support (#voice) στα οποία μπορούν να αναζητήσουν βοήθεια από τους υπόλοιπους φοιτητές ή εμάς.

Εκθέτουμε το περίγραμμα της εργαστηριακής παρουσίασης (**Σφάλμα! Το αρχείο π ροέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**, το οποίο θα ανεβάσουμε στο κανάλι της κάθε ομάδας) και λύνουμε πιθανές απορίες τους επι αυτού.

Στο διάστημα που μεσολαβεί έως την επόμενη φάση όπου και θα παρουσιαστούν οι εργασίες, χρησιμοποιούμε το Discord ώστε:

- ↳ Να δημοσιεύσουμε υποστηρικτικό υλικό που περιέχει την ανάλυση αναλογικών φίλτρων (λ.χ. <https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/8969/1/111-VOLOS-Electric-Circuits-ch11.pdf> )
- ↳ Να προκαλέσουμε από την μια το διάλογο και διευκόλυνση της συζήτησης εντός των ομάδων δημοσιεύοντας ερωτήσεις (προσφέρουμε εποικοδομητική ανατροφοδότηση) όπως «Ποιο ήταν το εύρος των συχνοτήτων αποκοπής για την ομάδα σας», «Παρατηρήσατε κάποια σχέση μεταξύ συχνοτήτων αποκοπής και της τιμής των εξαρτημάτων;» και από την άλλη να εμπλακούν στην διαδικασία συγγραφής της εργασίας (επίτευξη στόχων της ομάδας).
- ↳ Να ορίσουμε τουλάχιστον μια σύντομη συνάντηση στο κανάλι φωνής waiting for support (#voice) ώστε να διαπιστώσουμε την πορεία εργασιών τους, να τους παρακινήσουμε, ανατροφοδοτήσουμε αλλά και ενθαρρύνουμε.

Μέσα από τους πειραματισμούς οι φοιτητές:

- Χρησιμοποιούν τις μετρήσεις που λαμβάνουν για να εφαρμόσουν την μέθοδο Lissajous, έπειτα να απεικονίσουν την διαφορά φάσης του σήματος εισόδου και εξόδου, διακρίνοντας άμεσα την επίδραση της συχνότητας στην φάση.
- Προσδιορίζουν την συχνότητα αποκοπής (αριθμητικά και γραφικά) και συνειδητοποιούν την επίδρασή της στο πλάτος του σήματος εξόδου
- Συμπεραίνουν, μέσω της άμεσης παρατήρησης την επίδραση ενός εύρους συχνοτήτων που εισάγουν, την ενίσχυση ή εξασθένιση του σήματος τροφοδοσίας παρατηρώντας το σήμα εξόδου στην οθόνη του παλμογράφου

Μέσα από την χρήση του Discord και των Συνεργατικών Παρουσιάσεων οι φοιτητές:

- Εκφράζουν και διαπραγματεύονται τις προσωπικές απόψεις και τις ιδέες τους. Τις επανεξετάζουν μέσα από την έκθεσή τους στη συλλογικότητα (απόψεις & ιδέες υπολοίπων), καταγράφουν νέες ιδέες και τις ενσωματώνουν στο τρέχον γνωστικό τους πλαίσιο.
- Οικοδομούν την νέα γνώση καθώς προσπαθούν να κατανοήσουν τις εμπειρίες τους, αναστοχάζονται ή προβληματίζονται γύρω από το μαθησιακό περιεχόμενο και παράλληλα αναζητώντας βοήθεια από τους άλλους.
- Συμμετέχουν ομαδικά στην παραγωγή της γνώσης αφού δημιουργούν συνεργατικά το περιεχόμενο, μπαίνουν σε έναν συνεχή κύκλο προβληματισμού,

επανεξετάζουν και διαχειρίζονται συλλογικά την νοηματοδότηση και την κατασκευή νοήματος μέσω της αλληλεπίδρασης και της επικοινωνίας

- Συλλογίζονται σχετικά με τον εαυτό τους τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας, τον ρόλο τους, αξιολογούν απόψεις και ιδέες, ανατροφοδοτούν ιδέες των άλλων για την ολοκλήρωση της εργασίας.
- Κατανοούν την δική τους μαθησιακή πορεία σε σχέση με τους άλλους, μέσω της αλληλεπίδρασης, συζήτησης και ανατροφοδότησης από likes και comments.
- Αναγκάζονται να επεξεργαστούν το περιεχόμενο της εργασίας συλλογικά και στην συνέχεια να το εκφράσουν μέσα από διαφορετικές οπτικές και προσεγγίσεις (περιεχόμενο, ύφος-δομή), καλλιεργώντας νέους τρόπους έκφρασης, δομώντας τις σκέψεις τους και αναπτύσσοντας την κριτική σκέψη.

*Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρξει έντονη αλληλεπίδραση των φοιτητών, προτείνεται η συμμετοχή μας με σκοπό την υποδαύλιση της, είτε με ερωτήσεις στις ομάδες, είτε δημοσιεύοντας επιστημονικά άρθρα (ή τρέχουσες τεχνολογικές εξελίξεις) μέσα από τα οποία αναδεικνύεται η χρήση των φίλτρων ζητώντας τους σχολιασμό ή σύνδεση με το μάθημά μας/ερευνητικές εφαρμογές/χρήση στην βιομηχανία κ.α.*

### **Φάση 3<sup>η</sup>:**

Αρχικά ξεκινάμε μια συζήτηση με τους φοιτητές, επίκεντρο της η πειραματική διαδικασία της προηγούμενης φάσης. Σκοπός μας είναι να φέρουμε στην επιφάνεια υποθέσεις και συμπεράσματα που θα χρησιμοποιήσουμε μετέπειτα, στη διάρκεια της παρουσίασης, ώστε μέσω του διαλόγου, της επιχειρηματολογίας και της επιστημονικής τεκμηρίωσης (**συλλογικά**) είτε να τα επαληθεύσουμε είτε να τα απορρίψουμε.

Στην συνέχεια επιλέγουμε διαδοχικά την εργασία της καθεμιάς ομάδας, την προβάλλουμε, και με ανάπτυξη συζήτησης μέσω ερωτήσεων (σε κάθε διαφάνεια) δίνουμε λόγο σε όσο το δυνατόν περισσότερα μέλη της. Η παρουσίαση των εργασιών γίνεται από τους φοιτητές και μέσα από τις ερωτήσεις μας θα πρέπει να αναδυθούν:

- Ο τρόπος προσδιορισμού της Συνάρτησης Μεταφοράς.
- Η αναγνώριση του τύπου του φίλτρου από την Συνάρτηση Μεταφοράς.
- Ο Τρόπος σχεδίασης του διαγράμματος Bode.
- Η Επίδραση των τιμών των εξαρτημάτων στην Συχνότητα Αποκοπής του φίλτρου.
- Δυσκολίες που αντιμετώπισαν, τυχών ασάφειες ή προβλήματα κατά την πειραματική διαδικασία και προσωπικές εμπειρίες τους.
- Ο Τρόπος με τον οποίο συνεργάστηκαν και πώς οδηγήθηκαν στην παρουσίαση κοινών συμπερασμάτων.

Θα πρέπει η προσπάθειά μας να λειτουργήσει ως καταλύτης αναστοχασμού για όλη την έως τώρα δραστηριότητα, τις πειραματικές διαδικασίες, τα επιμέρους στοιχεία, τις παρατηρήσεις, τα αποτελέσματα, τα συμπεράσματα ή τους κανόνες στους οποίους κατέληξαν. Ταυτόχρονα, το πώς οι νέες έννοιες συνδέονται με την θεωρία ή την πρότερη



γνώση τους, ώστε τελικά οι φοιτητές να υποβοηθηθούν στην επεξεργασία και ενοποίηση των εμπειριών τους και την οικοδόμηση γνωστικών σταθερών – βαθύτερη κατανόηση εννοιών.

Η συζήτηση μέσα από τις παρουσιάσεις θα βοηθήσει τους φοιτητές να αντιληφθούν:

- τους διαφορετικούς τύπους φίλτρων και πώς αυτοί καθορίζονται από την δομή των εξαρτημάτων
- τον τρόπο με τον οποίο η επιλογή μιας τιμής στοιχείου επηρεάζει την συχνότητα αποκοπής και την συνολική απόκριση του κυκλώματος
- το πώς η συνδεσμολογία των εξαρτημάτων επηρεάζει την Συνάρτηση Μεταφοράς
- το πώς μεταβάλλεται η κλίση στο διάγραμμα Bode ακόμη και για ίδια φίλτρα (μεταξύ των ομάδων) από αστάθμητους παράγοντες όπως τυχαία σφάλματα ή σφάλματα των οργάνων ή του παρατηρητή

Με την ολοκλήρωση των παρουσιάσεων προχωράμε στο μετασχηματισμό του μαθησιακού περιεχομένου σε πρόβλημα προς λύση και παρουσίαση του μέσω συζήτησης (Άσκηση 2, Θεωρητικό μέρος, 5 κυκλώματα με στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας). Καταγράφουμε υποθέσεις και προτάσεις επιστημονικής προσέγγισης και επίλυσης του προβλήματος από τους φοιτητές. Η δραστηριότητα αυτή, αποσκοπεί στην ώθηση των γνώσεων τους σε ένα ανώτερο γνωστικό επίπεδο, στηριζόμενο επάνω στις πρότερες βασικές έννοιες ή ιδέες και αποτελείται από δύο μέρη. Ειδικότερα, στο πρώτο μέρος οι φοιτητές θα κληθούν (σε ομάδες) να σχεδιάσουν ένα δικό τους φίλτρο σε λογισμικό προσομοίωσης (προσδιορισμός συνάρτησης μεταφοράς, συχνότητας αποκοπής, διαγράμματος bode), και μέσω του πειραματισμού, του μαστορέματος και της έρευνας θα πρέπει να το προσαρμόσουν ώστε να διαχωρίζει τις συχνότητες της φωνής, που κυμαίνονται μεταξύ 0 - 4kHz, από τις υψηλότερες συχνότητες των DSL σημάτων. Αποτελεί πραγματικό πρόβλημα ασύμμετρης ψηφιακής συνδρομητικής γραμμής (ADSL) και χαρακτηρίζεται από τη θεματική εγγύτητα ως προς τις προηγούμενες γνώσεις τους που αποσκοπεί στο να τους ωθήσει σε επανεξέταση και αναστοχασμό των αντιλήψεων και σκέψεων τους. Ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας το ρόλο του μηχανικού σχεδίασης θα αναπτύξουμε το ενδιαφέρον και την εμπλοκή των φοιτητών με το μαθησιακό περιεχόμενο, μιας και με τον τρόπο αυτό το συνδέει τόσο με την αγορά εργασίας όσο και με την έρευνα. Για τον σκοπό αυτό προτείνεται να παρουσιάσουμε το τρόπο με τον οποίο εργάζονται, οργανώνονται και επιμερίζονται οι αρμοδιότητες και οι ρόλοι σε ομάδα μηχανικών είτε στην βιομηχανία είτε στην έρευνα για την υλοποίηση μιας παρόμοιας εφαρμογής. Καλό θα ήταν να γίνει σύνδεση και με άλλα στάδια υλοποίησης τέτοιων εφαρμογών όπως αυτό της επιστήμης τεχνολογίας υλικών, ή του σταδίου των διεργασιών κ.α. Στο δεύτερο μέρος, *το οποίο θα τους το γνωστοποιήσουμε μετέπειτα*, θα πρέπει να ερευνήσουν εάν η υλοποίηση και σχεδίαση του φίλτρου τους στο περιβάλλον της προσομοίωσης μπορεί να κατασκευαστεί και στον πραγματικό κόσμο. Θα πρέπει λοιπόν να αναζητήσουν εάν τα εικονικά εξαρτήματα που επέλεξαν υπάρχουν/κατασκευάζονται στον φυσικό κόσμο (προτείνεται το ηλεκτρονικό κατάστημα [tme.eu](http://tme.eu)). Εάν όχι, τότε θα πρέπει να υλοποιήσουν το φίλτρο τους με τις κοντινότερες δυνατές διαθέσιμες τιμές εξαρτημάτων και να

αναφέρουν την απόκλιση της υλοποίησής τους από αυτή που θεωρητικά απαιτείται βάση των προδιαγραφών του προβλήματος.

Για την υλοποίηση του φίλτρου θα χρησιμοποιήσουν το σχεδιαστικό λογισμικό προσομοίωσης Multisim. Αφιερώνουμε λίγο χρόνο ώστε να υπενθυμίσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά του, τον τρόπο υλοποίησης κυκλωμάτων, την χρήση των βιβλιοθηκών εξαρτημάτων και δίνουμε ιδιαίτερη έμφαση στον τρόπο παραμετροποίησης και λήψης μετρήσεων χρησιμοποιώντας τα εικονικά όργανα.

Έπειτα, χρησιμοποιώντας δύο μέλη από κάθε υποομάδα των δύο κύριων ομάδων (πχ. δύο μέλη από μια υποομάδα που μελέτησε το φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων και δύο μέλη από υποομάδα που μελέτησε το φίλτρο υψηλών συχνοτήτων) αναδημιουργούμε ομάδες των 4 μελών (Ομάδα A1, ..., Ομάδα An). Η δομή των ομάδων έχει στόχο οι περισσότεροι ικανοί φοιτητές, οι οποίοι ξέρουν καλά το ένα είδος φίλτρου, να το διδάξουν στους λιγότερο ικανούς φοιτητές οι οποίοι δεν το έχουν μελετήσει και δεν έχουν βιώματά του, και το αντίστροφο.

Έπειτα τους προσθέτουμε σε ένα κανάλι φωνής και ένα κανάλι κειμένου στον Discord server ( Mix\_Voice & Mix\_Text Group study A έως N αντίστοιχα) ώστε να μπορούν συλλογικά να διαμοιράζονται την οθόνη και να επικοινωνούν τόσο σε πραγματικό χρόνο όσο και μέσω chat, και τέλος τους ανεβάζουμε το αρχείο της άσκησης (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**).

Μετά την λύση του προβλήματος και την κατασκευή του κυκλώματος, θα πρέπει να παρουσιάσει η κάθε ομαδικά υπό μορφή εργαστηριακής τεχνικής παρουσίασης (χρήση Google Slides) την μεθοδολογία, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα.

Στο διάστημα που μεσολαβεί έως την επόμενη φάση όπου και θα παρουσιαστούν οι εργασίες, χρησιμοποιούμε το Discord ώστε:

- ↳ Ορίζουμε και πάλι, τουλάχιστον μια σύντομη συνάντηση στο κανάλι φωνής waiting for support (#voice) με κάθε ομάδα για να διαπιστώσουμε την πορεία εργασιών τους, να τους παρακινήσουμε, ανατροφοδοτήσουμε αλλά και ενθαρρύνουμε.
- ↳ Περίπου στο μισό χρόνο από την δια ζώσης συνάντηση της επόμενης φάσης, ορίζουμε μια συνάντηση στο κανάλι φωνής με όλες τις ομάδες ταυτόχρονα όπου τους γνωστοποιούμε το δεύτερο μέρος όπου καλούνται να ερευνήσουν εάν η υλοποίηση και σχεδίαση στην οποία έχουν καταλήξει μπορεί να υλοποιηθεί και κατασκευαστεί στον πραγματικό κόσμο.
  - Βεβαιωνόμαστε πως έχουν κατανοήσει το δεύτερο μέρος της εργασίας καθώς και το πώς μπορούν να αναζητήσουν αν ένα εικονικό εξάρτημα υπάρχει και στον πραγματικό κόσμο χρησιμοποιώντας την προτεινόμενη ιστοσελίδα (ή κάποια της επιλογής τους αρκεί να την παραθέσουν στην παρουσίασή τους).

Είναι χρήσιμο να τονιστεί πως θα πρέπει να εμπλακούμε όσο το δυνατόν λιγότερο μιας και στόχος των προηγούμενων φάσεων ήταν οι φοιτητές να καταφέρνουν να αναλαμβάνουν πρωτοβουλίες, να διαγνώσουν τις μαθησιακές τους ανάγκες, να διαμορφώσουν τους μαθησιακούς τους στόχους, να προσδιορίσουν τις πηγές μάθησης

τους, να επιλέξουν και να εφαρμόσουν στρατηγικές μάθησης και παράλληλα να αξιολογήσουν τα μαθησιακά τους αποτελέσματα.

Μέσα από το λογισμικό προσομοίωσης οι φοιτητές:

- θα πειραματιστούν και θα δοκιμάσουν πολλαπλές κυκλωματικές υλοποιήσεις (ασφαλές και ελεγχόμενο περιβάλλον χωρίς επιτήρηση του καθηγητή) με σκοπό να προσδιορίσουν και αναγνωρίσουν πώς τα διαφορετικά εξαρτήματα που επιλέγουν επηρεάζουν την Συνάρτηση Μεταφοράς και την συχνότητα αποκοπής του Φίλτρου.
- θα πειραματιστούν με απόλυτη ελευθερία (αυξάνοντας την ποικιλομορφία των εμπειριών τους) και χωρίς τον παραμικρό περιορισμό διαθέσιμων εξαρτημάτων, αξιοποιώντας ελεύθερα οποιαδήποτε προσέγγιση, σκέψη για εφαρμογή θεωρητικών εργαλείων, εναλλακτικών λύσεων και τρόπου σύνδεσης των εξαρτημάτων στο κύκλωμα, παρατηρώντας άμεσα τα αποτελέσματα των ενεργειών τους και λαμβάνοντας άμεση ανατροφοδότηση από αυτές.
- θα μπορέσουν να ενισχύσουν το υπάρχον γνωστικό επίπεδό τους μέσα από παρατήρησή, αναπαράστασή και την επαναληπτική φύση της προσομοίωσης, ενώ ταυτόχρονα θα αναγνωρίσουν και θα κρίνουν την μαθησιακή τους πορεία
- θα μπορέσουν να εκτιμούν και αναγνωρίζουν με ευκολία προβλήματα που χρήζουν αντιμετώπισης, μιας και η προσομοίωση (αντικατοπτρίζει πραγματικές καταστάσεις με υψηλό βαθμό ακρίβειας) μπορεί να βοηθήσει τους φοιτητές να τα εντοπίσουν και να τα διαγνώσουν σε σχέδια κυκλωμάτων, βελτιώνοντας τις δεξιότητές στην επίλυση τους.
- εμπλακούν σε εποικοδομητικό αναστοχασμό μέσω της αξιοποίησης της ευκολίας αλλαγών ηλεκτρικών εξαρτημάτων και ανασύνθεσης των κυκλωματικών-υλοποιήσεών τους (πρακτική εφαρμογή ιδεών για σκέψη/πρόβλεψη) αποσκοπώντας στην βελτίωσή του, λειτουργώντας τόσο ως σύστημα παραγωγής ιδεών και αμφισβήτησης όσο και ως αντικείμενα σκέψης τα οποία αποκτούν υπόσταση και ο φοιτητής τα ενσωματώνει με ευκολία στα βιώματά του (ενισχυτής παραγωγής νοήματος).

#### **Φάση 4<sup>η</sup>:**

Ξεκινάμε μια ανασκόπηση για όλες τις δραστηριότητες - πειραματισμούς, τα επιμέρους στοιχεία, τα συμπεράσματα/ αποτελέσματα και με ταυτόχρονη συζήτηση με τους φοιτητές προσπαθούμε να προκαλέσουμε τον αναστοχασμό και την ενοποίηση τους.

Έπειτα η κάθε ομάδα διαδοχικά παρουσιάζει τις εργασίες της. Μέσα από ερωτήσεις μας, πρέπει οι φοιτητές να αιτιολογήσουν την προσέγγισή που υιοθέτησαν για την λύση του προβλήματος, τυχόν αδυναμίες υλοποίησης της ενώ μπορούμε ταυτόχρονα να αντιληφθούμε το βάθος κατανόησης του μαθησιακού περιεχομένου αλλά και να συμβάλουμε στην ανατροφοδότηση και την περαιτέρω νοηματοδότηση τους. Ταυτόχρονα, να φέρουμε στην επιφάνεια, σημεία που αμφισβητήθηκαν, που χρειάστηκε

να επανεξεταστούν ή να αλλάξουν δομή. Μπορούμε ενδεικτικά να ρωτήσουμε «γιατί επιλέξατε να υλοποιήσετε φίλτρο RC έναντι RL;», «Αντιμετωπίσατε κάποιο περιορισμό κατά την υλοποίηση του κυκλώματος;», «Με βάση τις τιμές των εξαρτημάτων που επιλέξατε, απείχε τελικά η απόκριση του κυκλώματος/συχνότητα αποκοπής του φίλτρου από τους θεωρητικούς υπολογισμούς σας», «Τα εικονικά εξαρτήματα που επιλέξατε για τον καθορισμό της συχνότητας αποκοπής ήταν διαθέσιμα στον πραγματικό κόσμο ή τελικά αναγκαστήκατε να αλλάξετε την αρχική δομή του φίλτρου από RC σε RL και το αντίστροφο;», «αν ναι, ποιο το εύρος απόκλισης από την θεωρητική ζητούμενη τιμή;», «Ποιος παράγοντας σας οδήγησε στην υλοποίηση του RL έναντι του RC φίλτρου; (και το αντίστροφο)». Ακόμη, με την ολοκλήρωση των παρουσιάσεων θα πρέπει να παρακινήσουμε σε κάθε ομάδα την έκφραση και επιχειρηματολογία μέσα από την παρατήρηση των εναλλακτικών προσεγγίσεων έναντι των υπολοίπων ομάδων ώστε να αναδυθούν περιστάσεις συνεργατικής μάθησης και το πώς αυτές συντέλεσαν στην συλλογική νοηματοδότηση μέσα από τα διαφορετικά επίπεδα εμπειριών και βιωμάτων τους. λ.χ. «Πώς καταναίματε τα καθήκοντα μεταξύ σας για την υλοποίηση του έργου;», «Αντιμετωπίσατε κάποια πρόκληση, δυσκολία ή πρόβλημα (διαφωνία, αντιπαράθεση κ.α) κατά την εργασία σας στην ομάδα και πώς τα επιλύσατε;», «Πώς αξιοποιήσατε τα δυνατά σημεία του καθενός και από την άλλη πώς υποστηρίξατε ο ένας τις αδυναμίες του άλλου;», «Πώς διασφαλίσατε ότι όλοι στην ομάδα συνεισέφεραν ισότιμα;», «Θεωρείτε πως ως μέλος μιας ομάδας, η δυναμική της επηρέασε θετικά ή αρνητικά την ικανότητά σας στο να ολοκληρώσετε το έργο με επιτυχία;».

Μέσα από την ομαδική παρουσίαση (και την προετοιμασία της) οι φοιτητές:

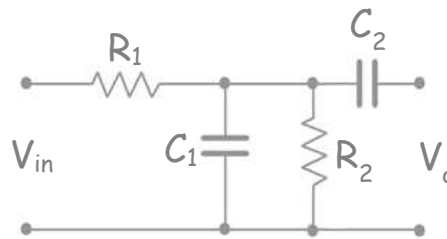
- θα μετασχηματίσουν σε «τι, πώς γιατί» τις εμπειρίες, τα βιώματά τους και όλα όσα έχουν μάθει τόσο σε ατομικό επίπεδο όσο και συλλογικά, οργανώνοντας και εκφράζοντας ή αναπαριστώντας αποτελεσματικά τις ιδέες και τις απόψεις τους με σαφήνεια και συνοχή ο ένας στον άλλον.
- Θα καλλιεργήσουν την κριτική, αφαιρετική σκέψη, την επικοινωνία τον αναστοχασμό και την ικανότητα ηγεσίας ώστε από κοινού να καταλήξουν στην δομή και το τελικό περιεχόμενο που θα συμπεριλάβουν στην παρουσίαση
- θα συμμετάσχουν σε διαβουλευτικό διάλογο, και μέσω της συνεργασίας, επανεξέτασης, και του αναστοχασμού θα κάνουν συνδέσεις μεταξύ των νέων και προηγούμενων γνώσεων τους, αναλαμβάνοντας ταυτόχρονα την ευθύνη της μαθησιακής πορείας τους. Παράλληλα θα εκτεθούν στις ιδέες και τα βιώματα/εμπειρίες των υπολοίπων μελών της συλλογικότητας (εναλλακτικές προοπτικές) κατασκευάζοντας τη δική τους γνώση.
- μέσω της αλληλεπίδρασης με τους άλλους και της έκθεσής τους σε μια ποικιλομορφία απόψεων, θα προβληματιστούν σχετικά με την δική τους κατανόηση και νοηματοδότηση το οποίο θα συντελέσει στην αυτό-αξιολόγηση και αμφισβήτηση των έως τώρα υποθέσεων.

- Ακόμη και με το πέρας της παρουσίασης, οι φοιτητές θα προβληματιστούν σχετικά με τον τρόπο που προσέγγισαν το μαθησιακό περιεχόμενο και τι θα μπορούσαν να είχαν κάνει διαφορετικά εξετάζοντας τις νέες πληροφορίες υπό το πρίσμα του τρέχοντος πλαισίου γνώσεων τους, αξιολογώντας κριτικά και αμφισβητώντας εν τέλει τις δικές τους πεποιθήσεις και υποθέσεις.

Κλείνοντας, προτείνεται να γίνει σύνδεση του μαθησιακού περιεχομένου με τρέχουσες ερευνητικές εξελίξεις ή προκλήσεις καθώς και με βιομηχανικές εφαρμογές για την ενδυνάμωση της εμπλοκής και της καλλιέργειας ενδιαφέροντος για περαιτέρω μελέτη – εμβάθυνση.

- **Επέκταση της δραστηριότητας**

Το παρόν εκπαιδευτικό σενάριο, μπορεί να επεκταθεί ώστε να συμπεριλάβει την διδασκαλία των υπολοίπων δύο βασικών τύπων φίλτρων, αυτό του φίλτρο ζώνης διέλευσης και του φίλτρου ζώνης αποκοπής. Το καθένα από τα δύο αυτά φίλτρα αποτελούν τον κατάλληλο εν σειρά συνδυασμό ενός φίλτρου υψηλών συχνοτήτων και ενός φίλτρου χαμηλών συχνοτήτων με ηλεκτρικά στοιχεία είτε RC είτε RL είτε συνδυασμό αυτών (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**).



**Σχήμα 18, Φίλτρο ζώνης διέλευσης**

Στο πλαίσιο μιας ενεργητικής διαδικασίας οικοδόμησης νέων μορφών γνώσης βασιζόμενη στις ήδη υπάρχουσες μπορούμε να δημιουργήσουμε μια συλλογική δραστηριότητα χρησιμοποιώντας το λογισμικό προσομοίωσης multisim, η οποία θα προσφέρει ένα ημιτελές φίλτρο ζώνης διέλευσης ή ζώνης αποκοπής στο οποίο θα λείπει το ένα εκ των δύο παθητικών ηλεκτρικών στοιχείων (λ.χ. ο πυκνωτής ή το πηνίο). Παρατηρώντας στο πρόγραμμα προσομοίωσης την απόκριση και τον συνδυασμό δύο συχνοτήτων αποκοπής θα κληθούν να το ολοκληρώσουν πραγματοποιώντας αλλαγές προσθαφαιρώντας στοιχεία (στην θέση αυτού που λείπει) και τροποποιήσεις της δομής του, εξετάζοντας τις συνέπειες των ενεργειών τους στην απόκριση εξόδου. Θα πρέπει ταυτόχρονα να αναγνωρίσουν το βασικό μοτίβο στο οποίο στηρίζεται η λειτουργία του, αφού το ένα τμήμα της συμπεριφοράς του περιλαμβάνει φίλτρο χαμηλών ή υψηλών συχνοτήτων. Μέσα από ένα οικείο πλαίσιο και μια δραστηριότητα που τους προκαλεί πειραματισμό, δοκιμές τροποποιήσεις και ταυτόχρονα αμφισβήτηση ή επανεξέταση προηγούμενων βιωμάτων και εμπειριών θα κληθούν να εξερευνήσουν νέες εμπειρίες και βιώματα επεκτείνοντας έτσι το υπάρχων γνωστικό επίπεδο σε ένα ανώτερο με πυρήνα την αυτό-ανακάλυψη με απόλυτο έλεγχο της μαθησιακής τους πορείας. Και εδώ θα πρέπει να συνδυαστεί η δραστηριότητα με την επίλυση ενός προβλήματος, αυτή την φορά προσδιοριζόμενοι από τους φοιτητές. Συγκεκριμένα μπορεί να τους ζητηθεί να ερευνήσουν και να προτείνουν οι ίδιοι μια εφαρμογή των φίλτρων αυτών (π.χ. τηλεοπτικό σήμα) και έπειτα να υλοποιήσουν την πρόταση τους κυκλωματικά, βασιζόμενοι στην προσέγγιση της σχεδίασης-υλοποίησης φίλτρου ασύμμετρης ψηφιακής συνδρομητικής γραμμής (ADSL) μέσω σχεδιαστικού προγράμματος προσομοίωσης.

#### 4.7 Τεχνητή νοημοσύνη στην Εκπαίδευση

Η τεχνητή νοημοσύνη ως έννοια ξεκίνησε από τον μαθηματικό Allan Turing την δεκαετία του '50. Μέσα από το άρθρο του *Computing Machinery and Intelligence*, ο Turing διατύπωσε τον προβληματισμό του σχετικά με την τεχνητή νοημοσύνη, αλλά και μια προσέγγιση βάσει της οποίας θα μπορούσαν να αναπτυχθούν έξυπνες μηχανές, δηλαδή μηχανές με νοημοσύνη, και πιθανούς τρόπους ελέγχου τους. Έκτοτε έχουν αναπτυχθεί διάφοροι ορισμοί, οι οποίοι θα έλεγε κανείς πως διαχωρίζονται σε δύο κύριες διαστάσεις. Η μια αφορά τις διαδικασίες σκέψης και την συλλογιστική (συστήματα ενεργούντα ορθολογιστικά) και η άλλη αφορά την συμπεριφορά (συστήματα ενεργούντα ως άνθρωποι). Σύμφωνα με τον Nilsson [35], η τεχνητή νοημοσύνη ασχολείται με την ευφυή συμπεριφορά των τεχνουργημάτων, ενώ σύμφωνα με τον Kurzweil [36], η τεχνητή νοημοσύνη αποτελεί τέχνη δημιουργίας μηχανών οι οποίες πραγματοποιούν λειτουργίες που απαιτούν νοημοσύνη όταν πραγματοποιούνται από ανθρώπους.

Μέσα από το Turing Test το οποίο προτάθηκε από τον ίδιο, για να αποκτήσει ένας υπολογιστής τεχνητή νοημοσύνη θα πρέπει να έχει τις παρακάτω ικανότητες:

- Επεξεργασίας φυσικής γλώσσας, δηλαδή να μπορεί να επικοινωνεί ικανοποιητικά σε μια ανθρώπινη γλώσσα.
- Αναπαράστασης γνώσης, δηλαδή να μπορεί να αποθηκεύσει αυτά που γνωρίζει ή ακούει.
- Αυτοματοποιημένης συλλογιστικής, δηλαδή να μπορεί να χρησιμοποιεί τις αποθηκευμένες πληροφορίες για την παραγωγή συμπερασμάτων και απαντήσεων.
- Μηχανικής μάθησης, δηλαδή να χρησιμοποιεί αυτά που γνωρίζει ώστε να προσαρμόζεται σε νέες περιστάσεις ή να εντοπίζει – συμπεραίνει πρότυπα.

Η ειδοποιός διαφορά που διαχωρίζει την τεχνητή νοημοσύνη με τα απλά προγράμματα υπολογιστή έγκειται σε ένα σύνολο ικανοτήτων. Ανάμεσα σε αυτές ανήκουν η ικανότητα αντίληψης του περιβάλλοντος, η ικανότητα προσαρμογής στις αλλαγές καθώς και η ικανότητα ανάληψης των στόχων κάποιου. Η προσέγγιση αυτή, οδήγησε στον ορισμό του πράκτορα (Agent), ο οποίος ενεργεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο αποτέλεσμα ή τελικά το καλύτερο αναμενόμενο αποτέλεσμα, δίνοντας έμφαση στην σωστή συναγωγή συμπερασμάτων. Οι ερευνητές λοιπόν έστρεψαν την προσοχή τους στην ανάπτυξη ενός «ολοκληρωμένου πράκτορα» ο οποίος αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του (αισθητήρες, μηχανισμοί δράσεις) παράγοντας αντίστοιχες ενέργειες. Όπως γίνεται αντιληπτό, η τεχνητή νοημοσύνη, πέρα από την επιστήμη των υπολογιστών, αποτελεί συνονθύλευμα πολλών επιστημών. Εκμεταλλεύεται εργαλεία, ιδέες και προσεγγίσεις από διάφορους τομείς όπως αυτούς της ψυχολογίας, της νευροεπιστήμης, των μαθηματικών και της φιλοσοφίας που στόχο έχουν την ανάπτυξη ευφυούς συμπεριφοράς (συλλογιστικής), μάθησης και προσαρμογής σε ένα περιβάλλον. Όσον αφορά την εμπλοκή της τεχνητής νοημοσύνης στην επιστήμη της εκπαίδευσης, αυτή ξεκίνησε περίπου 30 χρόνια πριν και συνδέει την επιστήμη της τεχνητής νοημοσύνης με τις επιστήμες της μάθησης. Σκοπός είναι η ανάπτυξη *ευφυών συστημάτων διδασκαλίας*

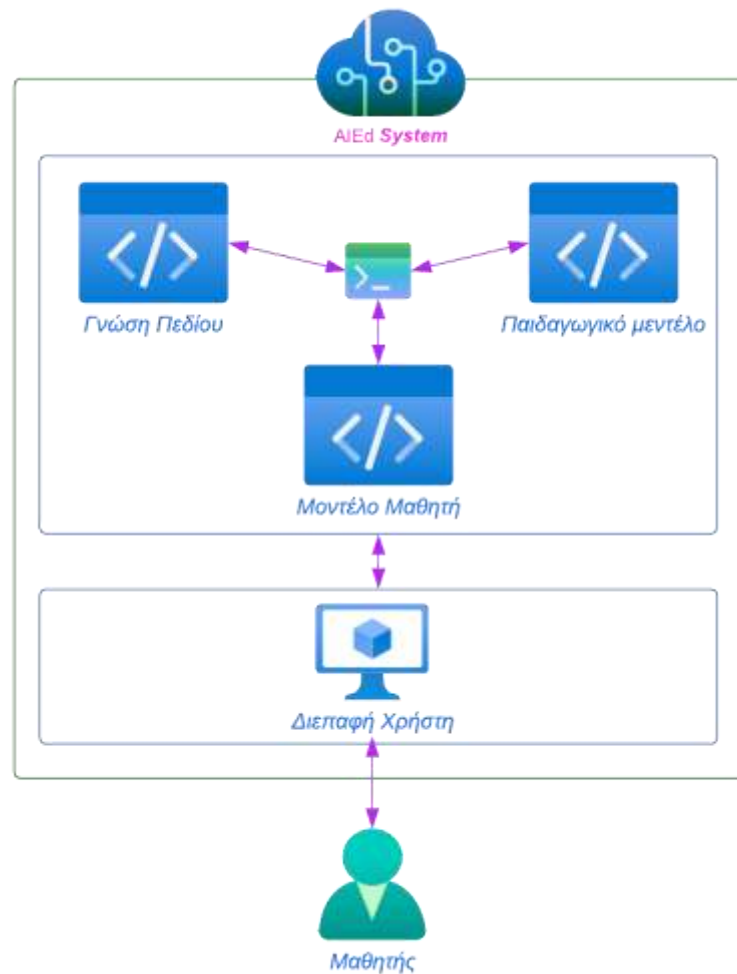
τα οποία θα είναι σε θέση να προσφέρουν μαθησιακό περιεχόμενο, δραστηριότητες και έννοιες ενός επιστημονικού πεδίου μέσα από παιδαγωγικές τεχνικές και εργαλεία. Ταυτόχρονα, λαμβάνοντας υπόψη την συμπεριφορά των μαθητευόμενων και το δεδομένο γνωστικό επίπεδό τους, θα είναι σε θέση να τους παρέχουν εξατομικευμένη/στοχευμένη υποστήριξη που θα έχει προσαρμοστεί στις δεδομένες γνωστικές ανάγκες τους, με σκοπό την μετέπειτα βελτίωσή τους.

Η τεχνητή νοημοσύνη στην εκπαίδευση (AIEd) μπορεί να προσφέρει προσωπικό εκπαιδευτή για κάθε εκπαιδευόμενο, ευφυή υποστήριξη για συνεργατική μάθηση και ευφυή εικονική πραγματικότητα [37]. Μάλιστα, οι Luckin, Wayne, Griffiths, & Forcier αναφέρουν πως ο πυρήνας ενός τέτοιου συστήματος στηρίζεται σε τρία βασικά μοντέλα:

- Παιδαγωγικό μοντέλο (Pedagogical model), το οποίο αφορά την διαμόρφωση της γνώσης και την εμπειρία της διδασκαλίας μέσω του οποίου επιτυγχάνονται αποτελεσματικές προσεγγίσεις σε αυτή.
- Μοντέλο τομέα (Domain model), το οποίο αντιπροσωπεύει τον τρόπο παρουσίασης του μαθησιακού περιεχομένου βάσει των προτιμήσεων, του γνωστικού επιπέδου και της αλληλεπίδρασης του μαθητή με το σύστημα
- Μοντέλο μαθητευόμενου (Learner model), το οποίο αντιπροσωπεύει το γνωστικό επίπεδο του εκπαιδευόμενου και άλλα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του όπως οι ικανότητες του, οι δεξιότητες κ.α.

Τέλος, σημαντικό χαρακτηριστικό του συστήματος αυτού αποτελεί η διεπαφή χρήστη (user interface) η οποία συμβάλλει καθοριστικά σε μια αποτελεσματική και αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ συστήματος και χρήστη και καθορίζει την επιτυχία του τελευταίου. Η δομή ενός ευφυούς συστήματος διδασκαλίας παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 19).





Σχήμα 19, Δομή ευφυούς συστήματος διδασκαλίας

Για την επίτευξη δε μιας εξατομικευμένης μάθησης, σύμφωνα με τους Johns και Wolking [38] θα πρέπει αυτή να περιλαμβάνει:

- Ευέλικτα περιεχόμενα και εργαλεία.
- Αναστοχασμό των μαθητών για την απόκτηση της γνώσης.
- Στοχευμένες οδηγίες.
- Αποφάσεις με βάση τα δεδομένα.

Ωστόσο, αν αναλογιστεί κανείς τις δυνατότητες της τεχνητής νοημοσύνης (ιδιαίτερα μάλιστα την δυνατότητα διαμορφωτικής παρέμβασης της, στην ανάπτυξη της προσωπικότητας του ατόμου στο πλαίσιο μιας εκπαιδευτικής διαδικασίας), θα πρέπει να ξεκινήσει μια μεγάλη συζήτηση περί ηθικής και φιλοσοφικής προσέγγισης τέτοιου συστήματος στη διαμόρφωση και στην ελευθερία της σκέψης. Κατά την άποψή μου θα πρέπει να υπάρξει μια συλλογική παρέμβαση διαμόρφωσης του τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) με σκοπό την κατοχύρωσή της ως κοινωνικό αγαθό, με δομή "whitebox" (διαφάνειας)- ανοικτού κώδικα.

## **5. Έρευνα αποτελεσματικότητας παιδαγωγικού υλικού**

### **5.1 Μεθοδολογία**

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας που σχετίζεται, με την αξιολόγηση του νέου εκπαιδευτικού υλικού καθώς και με τη διερεύνηση πιθανής συμβολής του στην βελτίωση της μαθησιακής διαδικασίας. Τα ερωτηματολόγια δόθηκαν στους φοιτητές σε ψηφιακή μορφή, ήταν ανώνυμα και η στατιστική ανάλυση και επεξεργασίας των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την σουίτα στατιστικού λογισμικού ανοιχτού κώδικα jamovi.

Ειδικότερα, η αξιολόγηση του νέου εκπαιδευτικού υλικού υλοποιήθηκε σε δύο ακαδημαϊκά έτη, με τη συμπλήρωση σχετικών ερωτηματολογίων από φοιτητές και φοιτήτριες του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του ΕΚΠΑ που διένυαν το Γ εξάμηνο σπουδών τους, στο μάθημα “Εργαστήριο Κυκλωμάτων και Συστημάτων”. Την πρώτη ακαδημαϊκή χρονιά (Α΄, 2019-2020) οι φοιτητές χρησιμοποίησαν και αξιολόγησαν το παλιό εκπαιδευτικό υλικό, ενώ την δεύτερη ακαδημαϊκή χρονιά (Β΄, 2021-2022) οι φοιτητές χρησιμοποίησαν και αξιολόγησαν το νέο εκπαιδευτικό υλικό. Συγκεκριμένα, στην πρώτη ακαδημαϊκή χρονιά, οι φοιτητές ερωτήθηκαν στο τέλος κάθε εργαστηριακής άσκησης, ενώ στην δεύτερη συμπλήρωσαν μόνο ένα ερωτηματολόγιο στο τέλος του έτους. Και στις δύο ακαδημαϊκές χρονιές, εξαιρουμένης της ακαδημαϊκής χρονιάς 2020-2021, όπου λόγω της πανδημίας COVID19 το εργαστήριο πραγματοποιήθηκε εξ αποστάσεως (αδυναμία χρήσης εξοπλισμού εργαστηρίου από τους φοιτητές), συμμετείχα (ο ίδιος) σε αυτά, καταγράφοντας τις διαδικασίες που ακολουθούσαν οι φοιτητές, την ροή των ασκήσεων—και τα σχόλια ή τις παρατηρήσεις που προέκυπταν. Παράλληλα, μελετούσα την στάση ή τους προβληματισμούς τους κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων καθώς και την παρέμβαση του διδάσκοντα ή των εργαστηριακών βοηθών για την καθοδήγηση ή την υποστήριξη τους. Συνολικά, κατά το πρώτο έτος, υπήρχαν 36 απαντήσεις στο ερωτηματολόγιο της 1<sup>ης</sup> άσκησης, 24 στις 2<sup>ης</sup> και 20 στις 3<sup>ης</sup>, ενώ 16 άτομα συμπλήρωσαν το τελικό ερωτηματολόγιο του δεύτερου έτους. Μέσα από τα ερωτηματολόγια των δύο αυτών ετών και την σύγκρισή τους, μου δόθηκε η δυνατότητα λεπτομερούς εξέτασης της ενασχόλησης των φοιτητών με το μάθημα, της ικανοποίησής τους από τον τρόπο διεξαγωγής του, καθώς και της ποιότητας του προσφερόμενου εκπαιδευτικού υλικού.

*Χρειάζεται τέλος να σημειωθεί, πως η στρογγυλοποίηση των ποσοστών των απαντήσεων έχει γίνει στο δεύτερο δεκαδικό μέρος, με αποτέλεσμα το άθροισμά τους σε μερικές ερωτήσεις να είναι 101%, ενώ το jamovi επί του παρόντος αδυνατεί να αναπαραστήσει στον κάθετο άξονα των διαγραμμάτων τιμές ποσοστών.*

### **5.2 Αποτελέσματα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων**

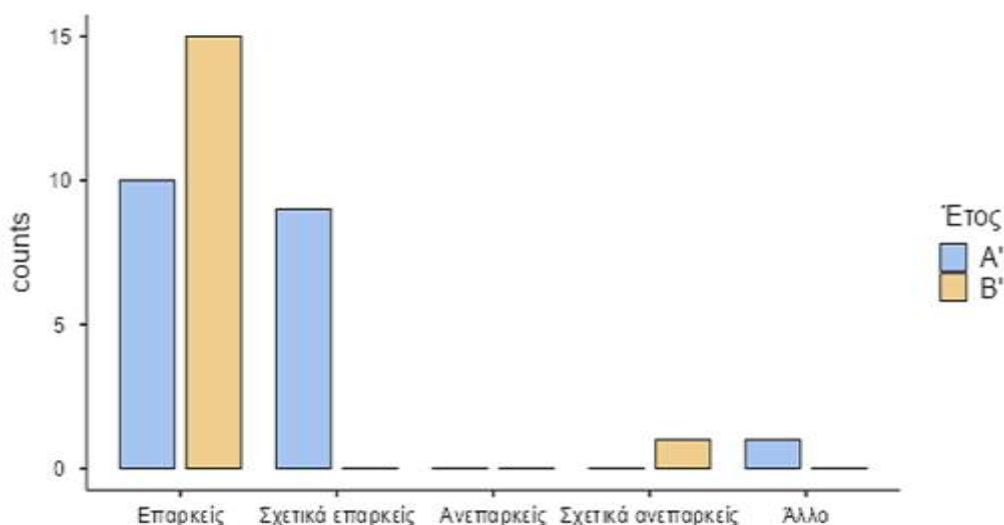
#### **5.2.1 Έμμεση διερεύνηση συμβολής εργαστηριακών ασκήσεων στην κατανόηση του θεωρητικού μέρους του μαθήματος**

Στο στάδιο αυτό, προσπάθησα έμμεσα να διερευνήσω το κατά πόσο η παιδαγωγική προσέγγιση, ανάπτυξη και παρουσίαση του εργαστηριακού μέρους του μαθήματος

μπορεί να συμβάλει στην βαθύτερη κατανόηση των θεωρητικών εννοιών του (θεωρητικό μέρος), ακόμα και αν αυτό δεν είχε διαμορφωθεί παιδαγωγικά ακόμη.

Για τον σκοπό αυτό, οι φοιτητές ερωτήθηκαν και στις δύο ακαδημαϊκές χρονιές σχετικά με την επάρκεια των παρουσιάσεων των διαλέξεων, καθώς και για το αν τους περιείχαν αρκετό και πλούσιο υλικό για την κατανόηση των πειραματικών πορειών – διαδικασιών. Μπορούσαν να χαρακτηρίσουν τις παρουσιάσεις ως επαρκείς, σχετικά επαρκείς, σχετικά ανεπαρκείς ή ανεπαρκείς. Ως σχετικά επαρκής θα μπορούσε να κριθεί μια παρουσίαση όταν ήταν τουλάχιστον ικανοποιητική, αλλά θα μπορούσε να εμπλουτιστεί με βίντεο, εικόνες, αναλυτικότερα παραδείγματα κ.α.

Έτσι, μολονότι στις δύο ακαδημαϊκές χρονιές το θεωρητικό περιεχόμενο του μαθήματος, οι διαλέξεις από τον διδάσκοντα, οι παρουσιάσεις (μορφή ppt), το σύγγραμμα και οι θεωρητικές ασκήσεις ήταν ακριβώς οι ίδιες, την δεύτερη χρονιά οι φοιτητές πραγματοποίησαν το εργαστηριακό μέρος του μαθήματος με το νέο υλικό. Μετά από στατιστική εξέταση των απαντήσεων των δύο ετών (Α', Β'), παρατηρούμε (Σχήμα 20) πως πριν την ανανέωση του υλικού του εργαστηρίου, το 50% (10 άτομα) χαρακτήρισαν τις παρουσιάσεις (θεωρητικό μέρος μαθήματος) επαρκείς, σε αντίθεση με το 45% που τις θεώρησαν σχετικά επαρκείς. Μετά την ανανέωση του εργαστηριακού υλικού, το ποσοστό αυτό ανήλθε στο 94% (15 άτομα) των συμμετεχόντων, ενώ 1 άτομο (6%) θεωρεί τις παρουσιάσεις σχετικά ανεπαρκείς.

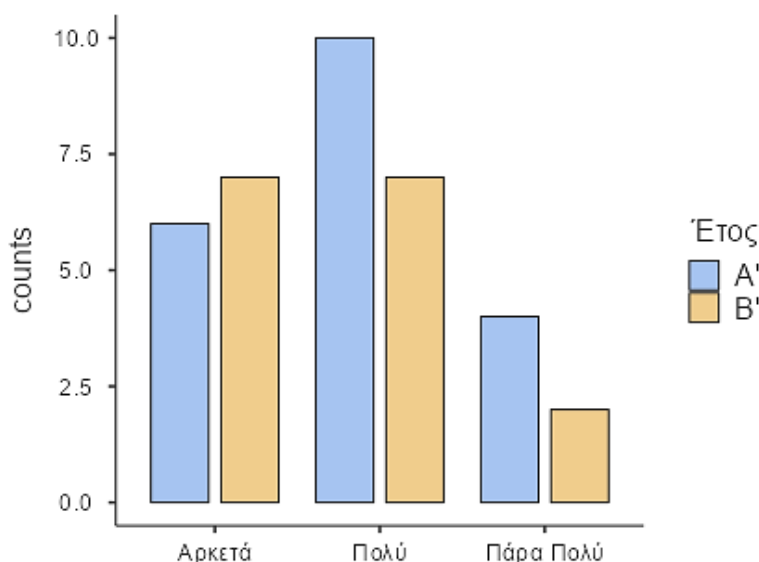


**Σχήμα 20** , Αξιολόγηση παρουσιάσεων διαλέξεων, χωρίς την παιδαγωγική ανανέωση του εργαστηριακού υλικού (Α' Έτος, γαλάζια ράβδος) και με την παιδαγωγική συγγραφή του εργαστηριακού υλικού (Β' Έτος, κίτρινη ράβδος)

Είναι σαφής η προτίμηση των φοιτητών προς τις παρουσιάσεις του Β' Έτους, παρόλο που αυτές είναι ίδιες, καθώς η πλειοψηφία (94%) χαρακτηρίζει τις παρουσιάσεις ως "επαρκείς", με ένα άτομο (6%) να τις χαρακτηρίζει "σχετικά ανεπαρκείς". Επομένως, στο πλαίσιο αυτό μπορούμε να συμπεράνουμε πως η παιδαγωγική συγγραφή του εργαστηριακού μέρους του μαθήματος δείχνει μια θετική τάση προς την κατανόηση του αντίστοιχου θεωρητικού μέρους.

**5.2.1.1 Διερεύνηση της στάσης των φοιτητών σχετικά με την κατανόηση των εργαστηριακών ασκήσεων και της θεωρίας του μαθήματος μέσω των ασκήσεων**

Από την άλλη πλευρά, όταν ερωτήθηκαν σχετικά με την κατανόηση κάθε εργαστηριακής άσκησης μετά την περάτωσή της, αξιολογώντας τη σε μια διαβαθμισμένη κλίμακα «Καθόλου – Λίγο – Αρκετά – Πολύ – Πάρα Πολύ», τα άτομα που παρακολούθησαν το εργαστήριο την πρώτη χρονιά έδειξαν περισσότερη σιγουριά στο ότι είχαν κατανοήσει τις ασκήσεις. Πιο συγκεκριμένα, την πρώτη χρονιά, το 30% (6 άτομα) δήλωσε ότι κατανόησε «αρκετά» τις ασκήσεις, το 50% (10 άτομα) «πολύ» και το 20% (4 άτομα) «πάρα πολύ», ενώ τη δεύτερη χρονιά ίσο ποσοστό (44% - 7 άτομα) φοιτητών θεωρεί ότι κατανόησε «αρκετά» ή «πολύ» τις ασκήσεις και 13% (2 άτομα) τις κατανόησαν «πάρα πολύ». Και στις δύο χρονιές, κανένα άτομο δε θεωρεί ότι κατανόησε «λίγο» ή «καθόλου» το αντικείμενο των ασκήσεων. *Σημειώνεται εδώ ότι οι απαντήσεις από το Α' έτος αντιστοιχούν στο ερωτηματολόγιο που αφορούσε την τρίτη εργαστηριακή άσκηση, ενώ οι απαντήσεις του Β' έτους αφορούν το εργαστήριο συνολικά.*



**Σχήμα 21, Χαρακτηρισμός κατανόησης ασκήσεων μετά την περάτωσή τους για κάθε έτος**

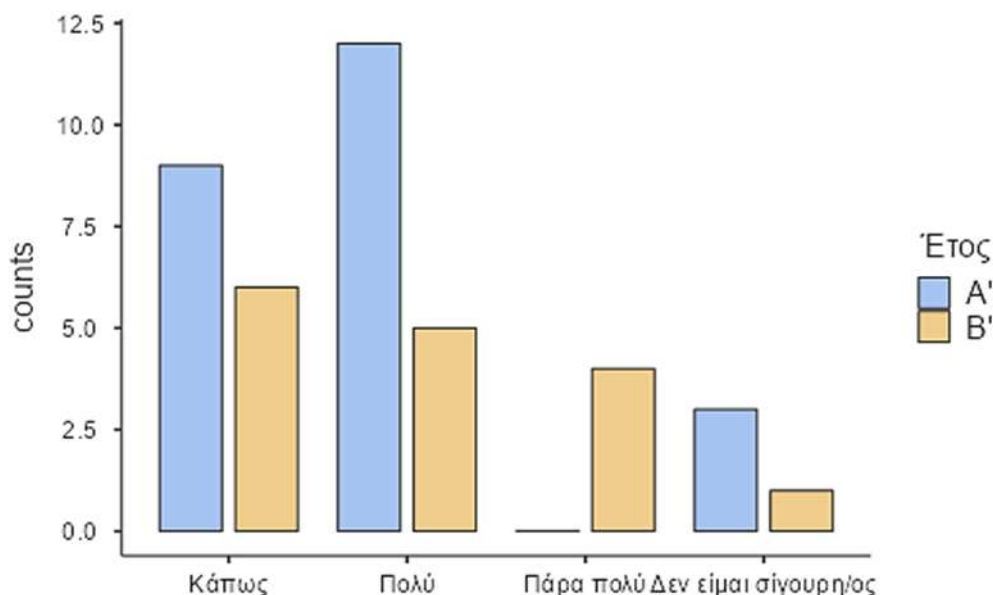
Επικουρικά στα παραπάνω δεδομένα λειτουργούν και οι απαντήσεις στην ερώτηση "Πόσο σας βοήθησαν οι εργαστηριακές ασκήσεις στην κατανόηση των εννοιών της θεωρίας;" με τη χρήση μιας κλίμακας "Πολύ – Κάπως – Καθόλου – Δεν είμαι σίγουρος/η" (Πίνακας 2). Το 50% των ατόμων (12) δηλώνει ότι οι ασκήσεις βοήθησαν "πολύ", το 37,5% "κάπως", ενώ το 12,5% "δεν είναι σίγουρος/η". Παρατηρούμε ότι το ποσοστό ατόμων που πιστεύουν ότι οι ασκήσεις βοήθησαν πολύ ή έστω σε κάποιο βαθμό στην κατανόηση της θεωρίας είναι παρόμοιο με εκείνο που κατανόησε τις εργαστηριακές ασκήσεις σε αντίστοιχο βαθμό (Σχήμα 22).

Ποσοστό που θεωρεί ότι οι ασκήσεις βοήθησαν στην κατανόηση της θεωρίας					
Έτος	Καθόλου	Κάπως	Πολύ	Πάρα πολύ	Δεν είμαι σίγουρη/ος
Α'	0	0	10	4	0
Β'	0	7	7	2	0

A'	0	38	50	0	12
B'	0	38	31	25	6

Πίνακας 2, Πίνακας συχνοτήτων ανά έτος και βαθμίδα της κλίμακας αξιολόγησης

Σημειώνεται εδώ, ότι οι απαντήσεις από το A' έτος αντιστοιχούν στο ερωτηματολόγιο που αφορούσε τη δεύτερη εργαστηριακή άσκηση, ενώ οι απαντήσεις του B' έτους αφορούν το εργαστήριο συνολικά.

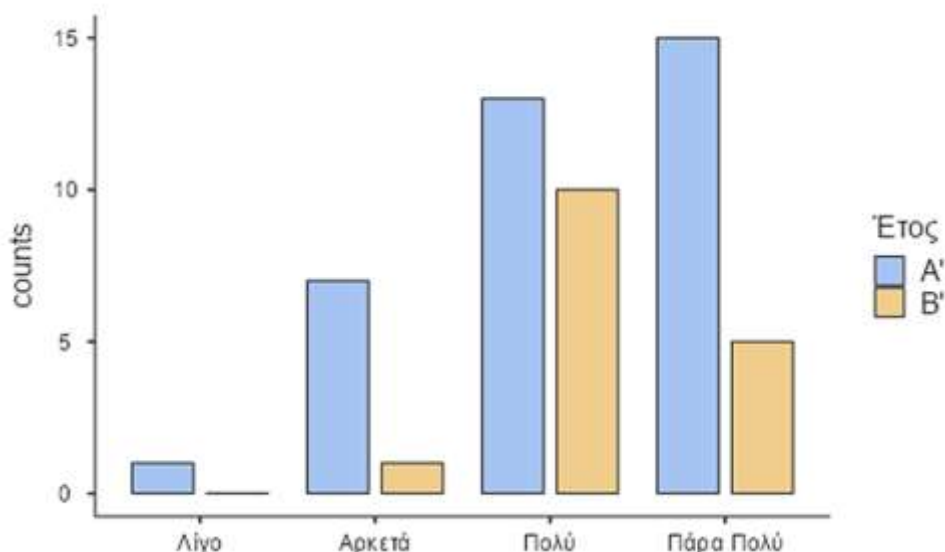


Σχήμα 22, Ποσοστό ατόμων ανά έτος που θεωρεί ότι οι ασκήσεις βοήθησαν στην κατανόηση της θεωρίας

### 5.2.2 Σύγκριση παλαιών και νέων παραρτημάτων του εργαστηριακού οδηγού

#### 5.2.2.1 Σχηματική αναπαράσταση κυκλωμάτων και συνδεσμολογίας οργάνων (1<sup>η</sup> εργαστηριακή άσκηση)

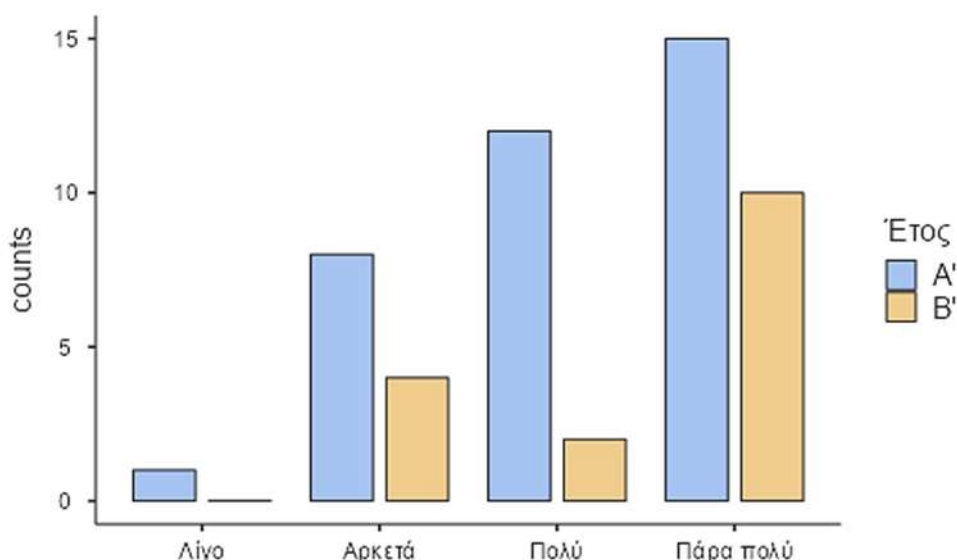
Οι φοιτητές και οι φοιτήτριες ερωτήθηκαν σχετικά με την επάρκεια της σχηματικής αναπαράστασης των κυκλωμάτων και της των οργάνων για να υλοποιήσουν την 1<sup>η</sup> εργαστηριακή άσκηση χρησιμοποιώντας την κλίμακα "Καθόλου – Λίγο – Αρκετά – Πολύ – Πάρα πολύ". Παρατηρούμε (Σχήμα 23) ότι την πρώτη χρονιά υπήρχε μεγαλύτερο εύρος απαντήσεων εντός του τμήματος, όμως τη δεύτερη χρονιά μειώθηκε το ποσοστό των απαντήσεων "Πάρα πολύ" στο 31% των απαντήσεων (από 42% την προηγούμενη χρονιά), ενώ οι περισσότερες απαντήσεις ήταν "Πολύ" (63%). Το ποσοστό των φοιτητών και φοιτητριών που χαρακτήρισε τα παραρτήματα αυτά "Πολύ" ή "Πάρα Πολύ" επαρκή για την κατανόηση και υλοποίηση της άσκησης ήταν 78% την πρώτη χρονιά και 94% τη δεύτερη.



**Σχήμα 23, Χαρακτηρισμός επάρκειας παραρτημάτων , κυκλωμάτων – συνδεσμολογίας**

**5.2.2.2 Παράρτημα του χρωματικού κώδικα των αντιστάσεων– Εγχειρίδιο οδηγιών (manual) του πολυμέτρου (2η εργαστηριακή άσκηση)**

Αντίστοιχα με την προηγούμενη ερώτηση, οι φοιτητές αξιολόγησαν τα παραρτήματα του χρωματικού κώδικα των αντιστάσεων καθώς και το εγχειρίδιο οδηγιών (manual) του πολυμέτρου ως προς την επεξηγηματικότητα και τη σαφήνεια ως προς την ολοκλήρωση της άσκησης. Όπως και πριν χρησιμοποίησαν την κλίμακα “Καθόλου – Λίγο – Αρκετιά – Πολύ – Πάρα πολύ”, στην οποία είχε προστεθεί η επιλογή “Δε γνωρίζω/δεν τα χρησιμοποίησα”, την οποία τελικά δεν επέλεξε κανένα άτομο σε κανένα έτος. Εδώ, το ποσοστό των φοιτητών που θεωρούν αυτά τα παραρτήματα “Πολύ” ή “Πάρα πολύ” σαφή είναι το ίδιο (75%) σε κάθε έτος, όμως τη δεύτερη χρονιά το ποσοστό των απαντήσεων “Πάρα πολύ” είναι το 63% έναντι του 42% της προηγούμενης χρονιάς (Σχήμα 24).



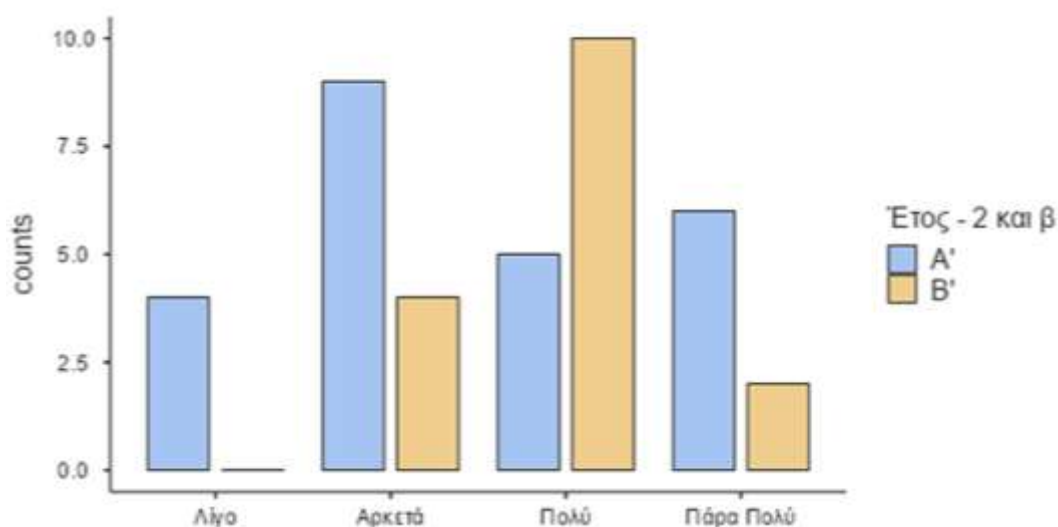
**Σχήμα 24, Σαφήνεια παραρτήματος αντιστάσεων – manual πολυμέτρου**

### 5.2.2.3 Παραρτήματα παλμογράφου και γεννήτριας (2η εργαστηριακή άσκηση)

Τα παραρτήματα του παλμογράφου και της γεννήτριας σημάτων αφορούν συγκεκριμένα τη δεύτερη εργαστηριακή άσκηση. Με στοχευμένη ερώτηση ζητήθηκε από τους φοιτητές να αξιολογήσουν την επεξηγηματικότητα και τη σαφήνειά τους χρησιμοποιώντας την κλίμακα "Καθόλου – Λίγο – Αρκετά – Πολύ – Πάρα πολύ", όπως και για την αξιολόγηση των παραρτημάτων στην άσκηση1. Συγκρίνοντας τις απαντήσεις των φοιτητών (Πίνακας 3 ,Σχήμα 25), παρατηρούμε ότι μεγαλύτερο ποσοστό τα χαρακτηρίζει "πολύ" ή "πάρα πολύ" κατανοητά (76%) σε σχέση με τα παλαιά (46%). Τη δεύτερη χρονιά παρατηρείται επίσης υψηλότερη συγκέντρωση απαντήσεων στο χαρακτηρισμό "πολύ επεξηγηματικά" (63%), ενώ στην πρώτη χρονιά η πιο συχνά εμφανιζόμενη τιμή είναι η "αρκετά επεξηγηματικά" (38%).

Έτος	Ποσοστό φοιτητών που θεωρούν ότι τα παραρτήματα ήταν επεξηγηματικά				
	Καθόλου	Λίγο	Αρκετά	Πολύ	Πάρα πολύ
<b>A'</b>	0	17	38	21	25
<b>B'</b>	0	0	25	63	13

Πίνακας 3, Πίνακας συχνότητων ανά έτος και βαθμίδα της κλίμακας αξιολόγησης



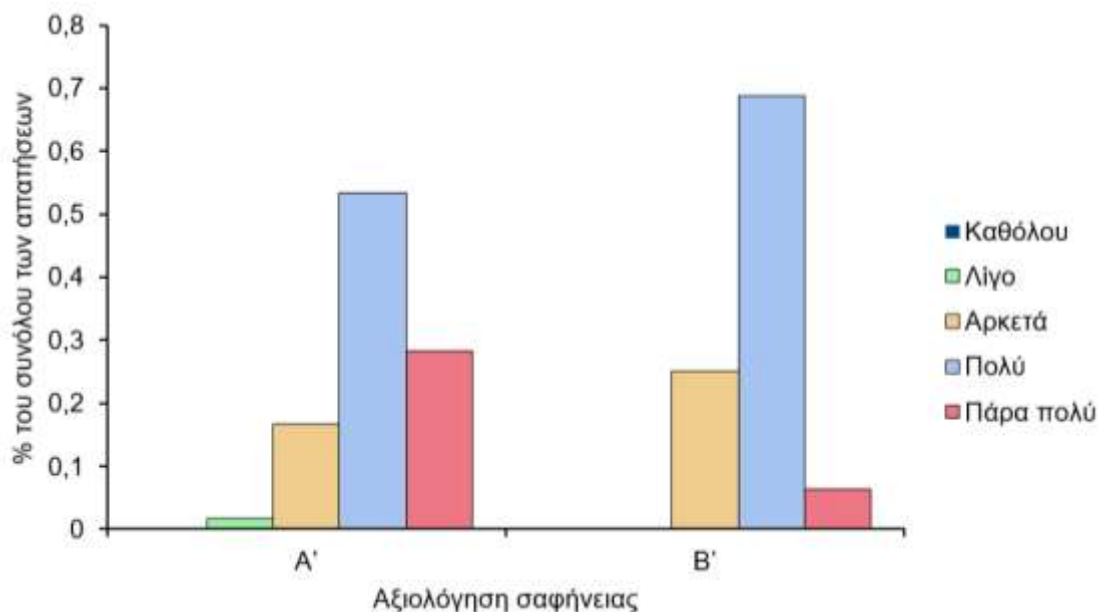
Σχήμα 25, Επεξηγηματικότητα παραρτημάτων γεννήτριας και παλμογράφου

### 5.2.3 Αξιολόγηση της ποιότητας του εκπαιδευτικού υλικού του εργαστηρίου

#### 5.2.3.1 Έμμεση αξιολόγηση μέσω της σαφήνειας και ακρίβειας των εργαστηριακών οδηγιών

Για την αξιολόγηση της σαφήνειας της ροής, των οδηγιών και των βημάτων των εργαστηριακών ασκήσεων, ζητήθηκε από τους φοιτητές να εκφράσουν τις απόψεις τους μέσω μιας κλίμακας "Καθόλου – Λίγο – Αρκετά – Πολύ – Πάρα πολύ". Η ερώτηση αυτή τέθηκε τόσο στο τελικό ερωτηματολόγιο της δεύτερης χρονιάς όσο και στις δύο πρώτες ασκήσεις της πρώτης χρονιάς. Παρατηρούμε (Σχήμα 26) ότι το 81% των φοιτητών την

πρώτη χρονιά και το 75% των φοιτητών τη δεύτερη θεωρεί τις πειραματικές πορείες "Πολύ" ή "Πάρα πολύ" σαφείς και οργανωμένες.



Σχήμα 26, Σαφήνεια ροής, οδηγιών και βημάτων των ασκήσεων

#### 5.2.3.2 Ικανοποίηση από το πειραματικό σκέλος του εργαστηρίου

Σε καθένα από τα δύο έτη οι φοιτητές αξιολόγησαν την ικανοποίησή τους από το πειραματικό μέρος του μαθήματος, λαμβάνοντας υπόψη την οργάνωση των ασκήσεων, σε μια κλίμακα από το 1 (Ελάχιστα ικανοποιημένη/ος) έως το 5 (Μέγιστα ικανοποιημένη/ος).

Ερευνητικά Ερωτήματα:

Πώς επηρεάζει η εισαγωγή νέου εκπαιδευτικού υλικού την ικανοποίηση των φοιτητών από το πειραματικό σκέλος του μαθήματος;

Ερευνητικές Υποθέσεις:

Μηδενική Υπόθεση (H<sub>0</sub>): Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην ικανοποίηση των φοιτητών από το πειραματικό σκέλος του μαθήματος μεταξύ των ετών A' και B'.

Εναλλακτική Υπόθεση (H<sub>1</sub>): Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην ικανοποίηση των φοιτητών από το πειραματικό σκέλος του μαθήματος μεταξύ των ετών A' και B'.

- Το συγκεκριμένο t-test που χρησιμοποιήθηκε είναι το independent samples t-test, το οποίο συγκρίνει τους δύο μέσους των δύο ομάδων για να δει αν οι διαφορές μεταξύ τους είναι σημαντικές.



Independent Samples T-Test		Statistic	df	p
Ικανοποίηση από το πειραματικό σκέλος	Student's t	-2.96	34.0	0.006

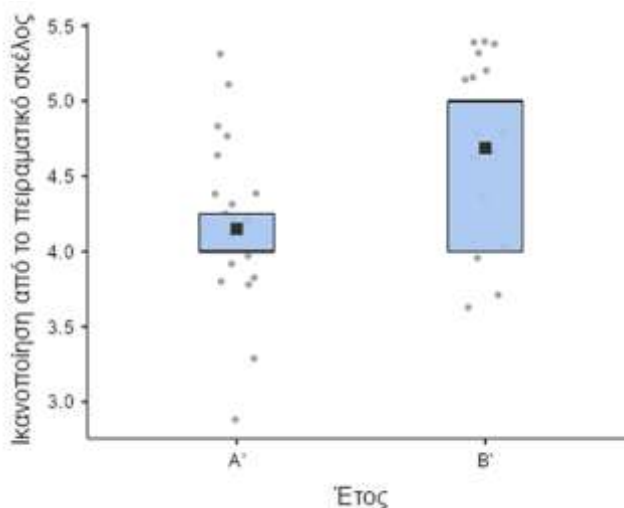
Note.  $H_0: \mu_{A'} = \mu_{B'}$

- Η p-value είναι 0.006 δηλαδή μικρότερη από το επίπεδο σημαντικότητας 0.05, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούμε να απορρίψουμε τη μηδενική υπόθεση.
- Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην ικανοποίηση των φοιτητών από το πειραματικό σκέλος του μαθήματος μεταξύ των δύο ετών (A' και B').
- Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η εισαγωγή του νέου εκπαιδευτικού υλικού έχει αυξήσει την ικανοποίηση των φοιτητών.

Σε καθένα από τα δύο έτη, οι φοιτητές αξιολόγησαν την ικανοποίησή τους από το πειραματικό μέρος του μαθήματος, λαμβάνοντας υπόψη την οργάνωση των ασκήσεων, σε μια κλίμακα από το 1 (Ελάχιστα ικανοποιημένος/η) έως το 5 (Μέγιστα ικανοποιημένος/η).

Στο παρακάτω διάγραμμα (boxplot), είναι εμφανής η αυξημένη ικανοποίηση των φοιτητών από το νέο εκπαιδευτικό υλικό, καθώς στις απαντήσεις παρατηρούνται υψηλότερες τιμές ικανοποίησης.

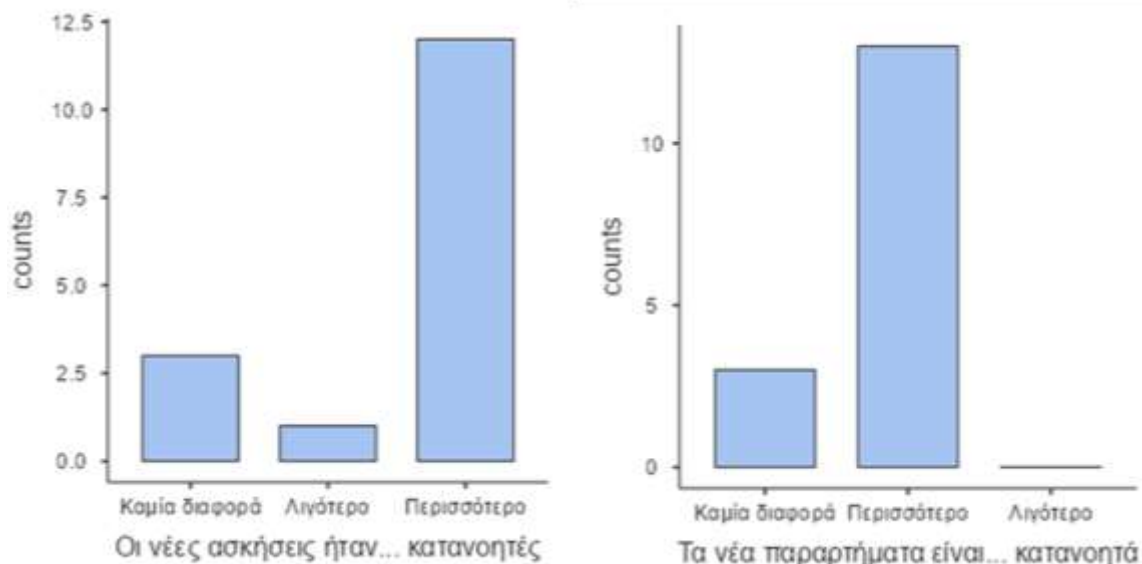
Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 27) είναι εμφανής η αυξημένη ικανοποίηση των φοιτητών από το νέο εκπαιδευτικό υλικό, καθώς στις απαντήσεις παρατηρούνται σε υψηλότερες τιμές ικανοποίησης. Τα αποτελέσματα θεωρούνται στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5% (P-value=0,006).



Σχήμα 27, Ικανοποίηση φοιτητών από το πειραματικό σκέλος του μαθήματος

### 5.2.3.3 Άμεση αξιολόγηση των εργαστηριακών οδηγιών

Στο τέλος, ζητήθηκε ευθέως από τους φοιτητές και τις φοιτήτριες να συγκρίνουν το παλαιό με το νέο εκπαιδευτικό υλικό όσον αφορά τις εργαστηριακές ασκήσεις και τα παραρτήματα, με την πλειοψηφία να συμφωνεί ότι το νέο υλικό ανταποκρινόταν καλύτερα στις ανάγκες τους, σε σχέση με το παλαιότερο.



Σχήμα 28, Διαγράμματα ποσοστού φοιτητών που θεωρούν τις νέες ασκήσεις περισσότερο κατανοητές (αριστερά), τα νέα παραρτήματα περισσότερο επεξηγηματικά (δεξιά)

Σε σύνολο 16 ατόμων, το 75% (12 άτομα) συμφωνεί ότι το νέο εκπαιδευτικό υλικό ήταν περισσότερο κατανοητό, σαφές και επεξηγηματικό σε σχέση με το παλαιό. Μόνο 1 άτομο θεωρεί ότι το παλαιό είναι πιο κατανοητό, ενώ 3 άτομα (19%) δε διαπίστωσαν καμία διαφορά στην επεξηγηματικότητα.

Συγκρίνοντας τα νέα παραρτήματα με τα παλαιά, το 82% (14 άτομα) συμφωνεί ότι τα παραρτήματα που περιείχε το νέο υλικό ήταν περισσότερο κατανοητά και πλήρη σε σχέση με εκείνα που περιείχε ο προηγούμενος εργαστηριακός οδηγός. Κανένα άτομο δε θεωρεί ότι είναι λιγότερο επεξηγηματικά, ενώ 2 άτομα (18%) θεωρούν ότι δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές.

### 5.3 Περιορισμοί της Έρευνας

- Μικρό Δείγμα Συμμετεχόντων: Ένας σημαντικός περιορισμός της έρευνας είναι το μικρό δείγμα συμμετεχόντων. Το μέγεθος του δείγματος μπορεί να επηρεάσει την γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων και να περιορίσει την ισχύ των στατιστικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν.
- Διαφορετικοί Συμμετέχοντες για τη Σύγκριση Υλικού: Ένας δεύτερος περιορισμός αφορά τη σύγκριση του παλιού υλικού με το νέο. Η σύγκριση αυτή δεν πραγματοποιήθηκε από τους ίδιους φοιτητές την δεύτερη ακαδημαϊκή χρονιά (δεν διδάχθηκαν το παλαιό υλικό), γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα λόγω διαφορών στις αντιλήψεις και τις εμπειρίες μεταξύ των διαφορετικών ομάδων φοιτητών.

#### **5.4 Συμπεράσματα**

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, είναι εύκολο να συναχθούν συμπεράσματα σχετικά με τις αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στον εργαστηριακό οδηγό. Είναι εμφανές πως η ανανέωση του παρουσιάζει θετικά αποτελέσματα στον τρόπο με τον οποίο διδάσκονται οι εργαστηριακές ασκήσεις του μαθήματος. Φαίνεται ότι η νέα του μορφή είναι πιο σαφής, κατανοητή και επεξηγηματική, ενώ ενισχύει την ικανοποίησή των φοιτητών από την εκπαιδευτική διαδικασία. Τα άτομα που μελέτησαν τόσο το παλαιό όσο και το καινούργιο εκπαιδευτικό υλικό δείχνουν σαφή προτίμηση προς τον καινούργιο τρόπο παρουσίασης των ασκήσεων και των παρατηρήμάτων.

## 6. TekSmartLab

### 6.1 Το ψηφιακό μέλλον των εργαστηρίων διδασκαλίας

Μέσα στους αιώνες, η επιστήμη έχει προσφέρει πολλά νέα εργαλεία τα οποία έχουν βελτιώσει τις ζωές μας σε διάφορες πτυχές τους. Φυσικά η επιστήμη της εκπαίδευσης και το εκπαιδευτικό σύστημα δεν έμειναν έξω από αυτές τις πτυχές. Μάλιστα, με την βελτίωση της εκπαίδευσης του ανθρώπου (χάρη σε κοινωνικοπολιτικές και οικονομικές εξελίξεις) και την άμεση πρόσβαση στην γνώση, περισσότεροι άνθρωποι εισάγονταν στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να αναπτυχθεί η έρευνα που με την σειρά της οδήγησε στην σημερινή τεχνολογική επανάσταση. Ωστόσο, με μια επιφανειακή ματιά σε πολλά από τα σημερινά εκπαιδευτικά συστήματα, διακρίνει κανείς την εφαρμογή τόσο απαρχαιωμένων μεθόδων διδασκαλίας, όσο και υλικοτεχνικών υποδομών που αδυνατούν να ακολουθήσουν τον αφύσικα γρήγορο ρυθμό της τεχνολογικής εξέλιξης και του ψηφιακού μετασχηματισμού. Αυτό έχει αρνητικό αντίκτυπο στην έρευνα και την ανάπτυξη μιας νέας τεχνολογίας η οποία θα προέκυπτε αν μπορούσε να ακολουθηθεί ο ρυθμός εξέλιξης της τεχνολογίας. Οι λόγοι είναι πολλοί και ξεφεύγουν από τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ωστόσο, κατά την άποψή μου, θα πρέπει να συμφωνήσουμε σε ένα πράγμα για να βελτιωθεί η εκπαίδευση και να ξεφύγει από την κατάσταση στασιμότητας. Θα πρέπει να αλλάξουμε τα σχολεία και τα πανεπιστήμια εμπλουτίζοντάς τα ταυτόχρονα με πρωτοποριακά εργαλεία τεχνολογίας, μέσα από τα οποία θα προκύπτει τόσο προσθετή παιδαγωγική αξία όσο και ταυτόχρονη καλλιέργεια ικανοτήτων και δεξιοτήτων των εκπαιδευομένων.

Λαμβάνοντας τα παραπάνω ως δεδομένα, θα επικεντρωθούμε τώρα στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, την οποία πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία και συγκεκριμένα στα εργαστήρια των τμημάτων Μηχανικών που σχετίζονται με την επιστήμη των υπολογιστών ευρύτερα. Μια επίσκεψη αρκεί, ώστε να διαπιστώσει κανείς πως τα περισσότερα εργαστήρια των πανεπιστημίων στους τομείς αυτούς, δεν έχουν αλλάξει και πολύ τα τελευταία χρόνια, κάτι που φυσικά δεν αποτελεί αποκλειστικότητα της χώρας μας. Κατά κανόνα στις περισσότερες χώρες, παρατηρείται όμοια δομή και υλικοτεχνική υποδομή παλαιότερη της δεκαετίας. Δηλαδή, αποτελούνται από πάγκους-σταθμούς μετρήσεων, οι οποίοι περιλαμβάνουν τέσσερα βασικά όργανα: το ψηφιακό πολύμετρο, την γεννήτρια συχνοτήτων, τον παλμογράφο και το τροφοδοτικό.

Το εργαστηριακό μάθημα αποτελεί αναπόσπαστο μέρος των προγραμμάτων σπουδών της Μηχανικής, διότι συμβάλλει καθολικά στην κατανόηση των θεωρητικών εννοιών που διδάσκονται στις διαλέξεις. Η ροή εργασίας στο εργαστηριακό περιβάλλον παραμένει η ίδια. Ο διδάσκων μοιράζει στην αρχή του μαθήματος τις βασικές οδηγίες μαζί με τα εργαστηριακά φύλλα εργασίας και έπειτα ο φοιτητής καλείται να ακολουθήσει συγκεκριμένα βήματα: Να παραμετροποιήσει κατάλληλα τα όργανα, να πραγματοποιήσει και να καταγράψει μετρήσεις, να σχεδιάσει κυματομορφές και τέλος να παραδώσει τα αποτελέσματα στον διδάσκοντα. Εκ πρώτης όψεως, μπορεί να μην προκύπτει κάποιο όφελος από την βελτίωση της παραπάνω ροής εργασίας. Θα πρέπει ωστόσο να σταθούμε για λίγο και να αναλογιστούμε καλύτερα κάποιους σημαντικούς παράγοντες:

Τη μείωση του χρόνου διεξαγωγής των πειραμάτων και την αξιοποίησή του υπέρ του μαθησιακού περιεχομένου και της ποιότητάς του.

Έτσι, από την μια ο εκπαιδευόμενος θα έχει την ευκαιρία να διερευνήσει, να κατανοήσει σε βάθος, ή και να επεκτείνει τις θεωρητικές διδασκόμενες έννοιες, εφαρμόζοντάς τες στο εργαστηριακό περιβάλλον. Από την άλλη, ο διδάσκων θα έχει τον χρόνο να προσφέρει διεισθημονικές προσεγγίσεις του μαθησιακού περιεχομένου αλλά και ταυτόχρονα ποιοτικότερη υποστήριξη με άμεση ανατροφοδότηση επί το σύνολο των φοιτητών.

Επομένως, ένας τομέας αναβάθμισης της πανεπιστημιακής εκπαίδευσης, είναι η βελτιστοποίηση των σημερινών εργαστηρίων ώστε να είναι αποτελεσματικότερα και να αξιοποιούν όλα τα εργαλεία της σημερινής εποχής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον επανασχεδιασμό τόσο των εργαστηρίων όσο και της διδασκαλίας σε αυτά, αξιοποιώντας πλήρως ψηφιακά συστήματα διαχείρισης εργαστηριακών οργάνων (Virtual Laboratory Information Management Systems , VLIMS) βασισμένα στην δικτύωση, την διασύνδεση τους με άλλες συσκευές, τον απομακρυσμένο έλεγχο τους, την αυτοματοποίηση διαδικασιών κ.α. Κάποια πανεπιστήμια έχουν ξεκινήσει να εισάγουν ορισμένα τέτοιου είδους συστήματα στην εκπαίδευση, όπως το Morgan State University στη Βαλτιμόρη [1]. Ειδικότερα, τα ψηφιακά αυτά συστήματα, επιτρέπουν στους φοιτητές να καταγράφουν μετρήσεις και απεικονίσεις σημάτων σε εξωτερικές μονάδες αποθήκευσης (usb) ή στο smartphone τους για ευκολότερη και ταχύτερη δημιουργία αναφορών στο Word ή το Excel. Επίσης, τα VLIMS έχουν την δυνατότητα της αποθήκευσης οδηγών εργαστηριακών πειραμάτων και μπορούν να καθοδηγούν βήμα-βήμα τον εκπαιδευόμενο μέχρι την ολοκλήρωση της εργασίας, την αποθήκευση των αποτελεσμάτων σε μια αναφορά και στη συνέχεια την άμεση επαναπροώθησή τους στον εκπαιδευτικό. Ακόμα, κάθε όργανο του συστήματος αυτού είναι συνδεδεμένο σε έναν κεντρικό υπολογιστή (διακομιστή), δίνοντας την δυνατότητα στον εκπαιδευτικό να δημιουργήσει εργαστηριακές οδηγίες και να τις προωθήσει άμεσα σε κάθε σταθμό. Βέβαια, η δυνατότητες ενός VLIMS δεν σταματούν εκεί, μιας και ο εκπαιδευτικός μπορεί να ελέγχει, να ενημερώνει ή να παραμετροποιεί γρήγορα τα όργανα του εργαστηρίου από τον υπολογιστή του, παρέχοντας άμεση , ατομική υποστήριξη και ανατροφοδότηση στους φοιτητές, δυνατότητα που δεν προσφέρεται/ Κάτι που είναι αδύνατο χωρίς αυτά τα ψηφιακά εργαλεία.

Αυτή η αλλαγή στον τρόπο διδασκαλίας των εργαστηριακών μαθημάτων, κατά την γνώμη μου, θα σηματοδοτήσει την απαρχή της μετάβασης του εκπαιδευτικού περιβάλλοντος στην Virtual Reality (VR) εκπαίδευση και μετέπειτα στην εισαγωγή της τεχνητή νοημοσύνης (TN) η οποία θα μετασχηματίσει τόσο τον πυρήνα της παιδαγωγικής επιστήμης όσο και τον ίδιο τον ρόλο του εκπαιδευτικού και της μορφής του σημερινού πανεπιστημίου.

Αν και τα πλεονεκτήματα σε συνδυασμό με την πρόσθετη παιδαγωγική αξία αποτελούν ισχυρό κίνητρο χρήσης τέτοιων τεχνολογιών, δεν κατέστη δυνατή η ευρεία υιοθέτησή τους. Εκείνο που τελικά οδήγησε επιτακτικά στην αξιοποίηση αυτών των

εργαλείων και την επανασχεδίαση των εργαστηρίων σε κάποια λίγα πανεπιστήμια που διέθεταν άμεσα πόρους, ήταν η πανδημία COVID-19, και ιδιαίτερα κατά τον πρώτο χρόνο εξάπλωσής της.

Με τα ελάχιστα εργαλεία και γνώσεις που διαθέταμε για την αντιμετώπισή της, πολλές χώρες οδηγήθηκαν σε Lockdown, τα οποία με τη σειρά τους οδήγησαν στο κλείσιμο των πανεπιστημίων.

Αν και οι θεωρητικές διαλέξεις ή τα μαθησιακά περιεχόμενα που σχετίζονταν με την επιστήμη του λογισμικού μεταφέρθηκαν άμεσα σε ένα σύγχρονο περιβάλλον τηλεκπαίδευσης, δεν συνέβη το ίδιο και με τα εργαστήρια των μαθημάτων που απαιτούσαν εξοπλισμό βιομηχανικού τύπου.

Τα εργαστήρια των τμημάτων Μηχανικής είναι ζωτικής σημασίας για την εκπαίδευση των φοιτητών τους, αφού συμβάλουν καθοριστικά στην εφαρμογή και την κατανόηση θεωρητικών εννοιών, αλλά και στην απόκτηση εργαστηριακής εμπειρίας που θα τους βοηθήσει να εμβαθύνουν σε πιο σύνθετα θέματα της επιστήμης τους ή και στην επέκτασή αυτών.

Όσα από τα πανεπιστήμια εκείνη την περίοδο διέθεταν εκπαιδευτικά εργαστηριακά kit και το μαθησιακό περιεχόμενο φυσικά επέτρεπε την χρήση τους, άρχισαν να τα παρέχουν στους φοιτητές τους. Ξεκίνησαν λοιπόν να διδάσκουν εξ αποστάσεως τα εργαστήρια προπτυχιακών κυρίως μαθημάτων, ή μαθημάτων που δεν απαιτούσαν βιομηχανικού τύπου εξοπλισμό. Εντούτοις, ακόμη και αυτή η λύση δεν άργησε να αποδειχθεί ανεπαρκής, αφού τόσο οι εκπαιδευτικοί όσο και οι εκπαιδευόμενοι ήρθαν αντιμέτωποι με πληθώρα προβλημάτων. Για παράδειγμα, δεν υπήρχε άμεση καθοδήγηση και επίβλεψη όλων των φοιτητών, επαρκής αριθμός kit για την κάλυψη του συνόλου των φοιτητών, σε περίπτωση προβλήματος δεν υπήρχε δυνατότητα άμεσης παρέμβασης και βοήθειάς τους από τον εκπαιδευτικό, ούτε δυνατότητα διόρθωσης λαθών, αλληλεπίδρασης ή ανατροφοδότησης. Οι φοιτητές στην ουσία δεν ερχόντουσαν σε επαφή με την εμπειρία ενός πραγματικού εργαστηριακού περιβάλλοντος, το οποίο θα τους διευκόλυνε να κατανοήσουν τα «τί» και «πώς» της εφαρμογής των θεωρητικών εννοιών. Άλλωστε, τα kit αυτά είχαν από την φύση τους περιορισμένες δυνατότητες.

Τα πανεπιστήμια αυτά στράφηκαν στην λύση των εικονικών ψηφιακών συστημάτων διαχείρισης εργαστηριακών οργάνων της εταιρίας Tektronix, το TekSmartLab[39]. Το TekSmartLab ουσιαστικά αποτελεί το πρώτο τέτοιου είδους σύστημα βασισμένο στην δικτύωση με cloud πλατφόρμα διαχείρισής του και θα αναλυθεί λεπτομερώς στην επόμενη ενότητα. Μέσα από την cloud πλατφόρμα του VLIMS της Tektronix οι φοιτητές είχαν πλήρη εξ αποστάσεως πρόσβαση στον παλμογράφο, το τροφοδοτικό, το πολύμετρο και την γεννήτρια του εργαστηρίου. Παρακολουθούσαν τις οδηγίες του διδάσκοντα, εκτελούσαν τις εργαστηριακές ασκήσεις που ήταν σε ψηφιακή μορφή στην πλατφόρμα του συστήματος αυτού, μπορούσαν να χειριστούν τον εργαστηριακό εξοπλισμό με τον ίδιο τρόπο που θα τον χειριζόντουσαν σε περίπτωση δια ζώσης διδασκαλίας, κατέγραφαν απευθείας τις μετρήσεις, τα αποτελέσματα και τις απεικονίσεις των οργάνων απευθείας στο σύστημα αυτό μέσα από τις αντίστοιχες δυνατότητες που

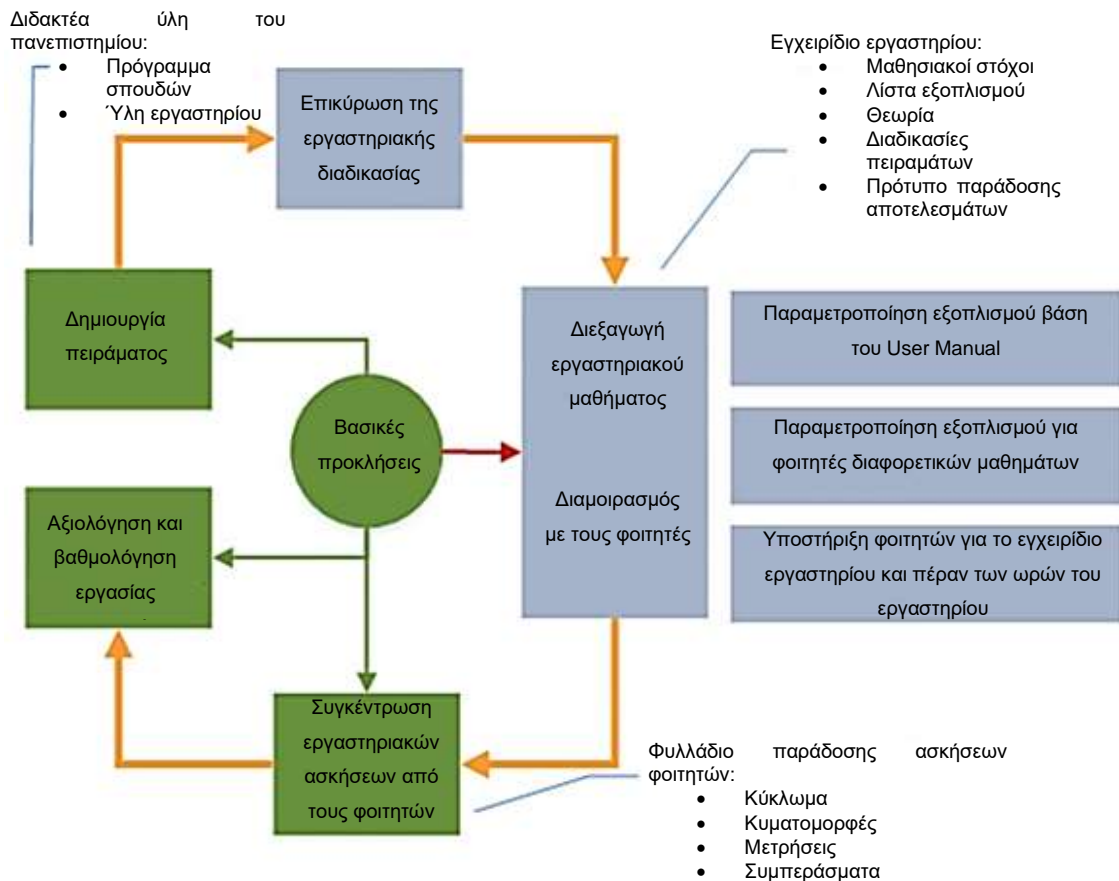
τους παρείχε.

Ο διδάσκων από την άλλη μπορούσε σε πραγματικό χρόνο να παρακολουθεί από τον κεντρικό υπολογιστή τους φοιτητές, είτε ομαδικά είτε ατομικά και να τους καθοδηγήσει ή να τους βοηθήσει παραμετροποιώντας τα όργανα σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας άμεση ανατροφοδότηση και στοχευμένη υποστήριξη καθ' όλη την διάρκεια της εκπαιδευτικής διαδικασίας.

Γίνεται επομένως αντιληπτό, πως τέτοιου είδους εργαλεία μπορούν να μετασχηματίσουν την παραδοσιακή διδασκαλία, να αλλάξουν τα παραδοσιακά μοντέλα διδασκαλίας, ακόμα και σε υβριδικά, και να προσφέρουν πολλά οφέλη, δυνατότητες και πληθώρα εφαρμογών τόσο στην παιδαγωγική επιστήμη όσο και στην τριτοβάθμια εκπαίδευση ευρύτερα αλλάζοντας ριζικά την σημερινή μορφή της.

## **6.2 Ανάλυση του TekSmartLab**

Το TekSmartLab αποτελεί την πρώτη λύση διαδικτυακής διαχείρισης εργαστηριακών οργάνων με σκοπό την εύκολη εγκατάσταση και την άμεση, αποτελεσματική διαχείρισή τους σε πραγματικό χρόνο. Έχει σχεδιαστεί εξ ολοκλήρου για εκπαιδευτική χρήση σε εργαστήρια πανεπιστημιακών τμημάτων Μηχανικών. Το γεγονός ότι η σχεδίαση αυτού του ολοκληρωμένου συστήματος έγινε υπό το εκπαιδευτικό πρίσμα είναι αναμφίβολα πολύ σημαντικό, διότι έχει προσπαθήσει να συμπεριλάβει και να προσφέρει διάφορα εργαλεία και δυνατότητες που χρειάζεται ένας εκπαιδευτικός για να βελτιστοποιήσει όσο την εκπαιδευτική διαδικασία όσο και το περιεχόμενό της. Η τυπική ροή της εργαστηριακής εκπαίδευσης στην οποία βασίστηκε η υλοποίηση του TekSmartLab παρουσιάζεται στο Σχήμα 1 .



**Σχήμα 1 , Ροή εργασιών σχεδίασης εργαστηριακών μαθημάτων για φοιτητές Μηχανικούς**

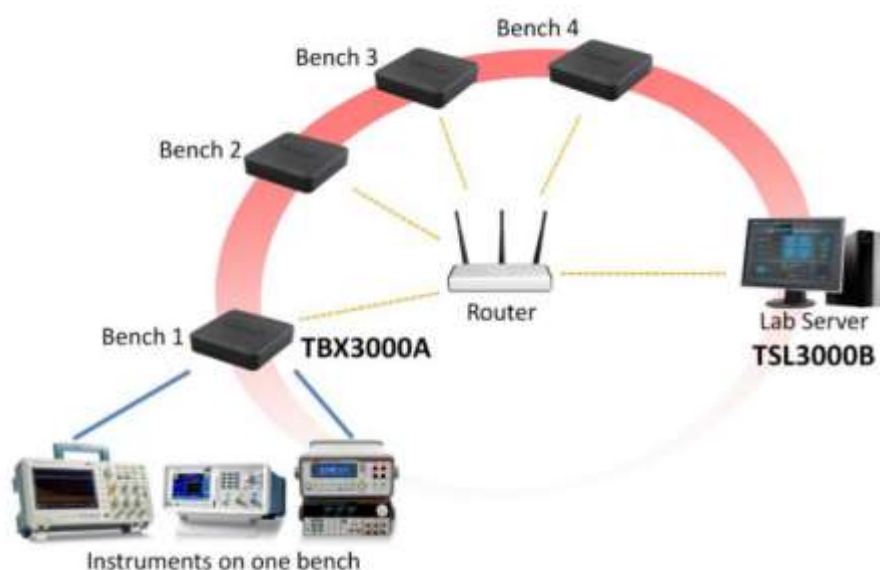
Ο εκπαιδευτικός κατά την διδασκαλία του εργαστηριακού μαθήματος, έρχεται αντιμέτωπος με πληθώρα προκλήσεων, που είτε έχουν να κάνουν με τον εξοπλισμό, είτε με τον φοιτητή και το μαθησιακό περιεχόμενο, είτε με την αλληλεπίδραση των τριών αυτών παραγόντων. Σύμφωνα με την Tektronix οι κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι εκπαιδευτικοί σε ένα εργαστήριο και στις οποίες στηρίχθηκε η υλοποίηση του TekSmartLab ιεραρχούνται στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 2):





**Σχήμα 2 , Σχετική κατάταξη προκλήσεων που αντιμετωπίζουν οι εκπαιδευτικοί και οι φοιτητές στα εργαστηριακά μαθήματα Μηχανικής**

Από τα παραπάνω, αντιλαμβανόμαστε πως το TekSmartLab «VLIMS» της Tektronix αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την παιδαγωγική επιστήμη και την τριτοβάθμια εκπαίδευση. Μάλιστα, αν το σύστημα αυτό αξιοποιηθεί κατάλληλα μπορεί να συμβάλει στην βελτιστοποίηση της εκπαιδευτικής διαδικασίας τόσο των εργαστηρίων Μηχανικών όσο και άλλων επιστημών μέσα από την γενίκευση, προσαρμογή/τροποποίηση ή και εξέλιξη κάποιων δυνατοτήτων του. Η βασική δομή του TekSmartLab παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.

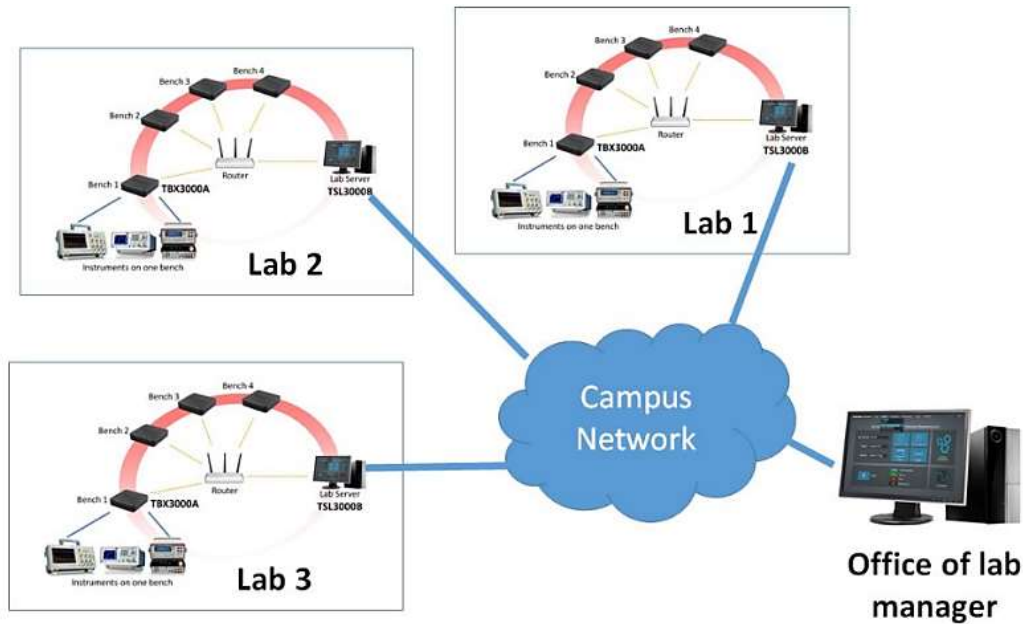


### Σχήμα 3 , Διάγραμμα δικτύωσης του TekSmartLab

Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά εργαστήρια, όπου το κάθε όργανο αποτελούσε μια ξεχωριστή και απομονωμένη οντότητα, εδώ το κάθε όργανο αποτελεί ένα ενεργό κομμάτι του συνόλου προσφέροντας αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο. Συγκεκριμένα, τα όργανα του κάθε πάγκου-σταθμού του εργαστηρίου συνδέονται μέσω USB στο διακομιστή TBX3000A (Bench). Σε κάθε TBX3000A (και άρα πάγκο) μπορούν να συνδέονται έως έξι όργανα ταυτόχρονα. Έπειτα, το υλικό του διακομιστή αυτού αναλαμβάνει την επικοινωνία με τον server του εργαστηρίου του TekSmartLab (Labserver - TSL3000B) είτε ασύρματα μέσω τοποθέτησης *Wireless USB* αντάππορα (USB-WIFI dongle) είτε καλωδιακά μέσω Ethernetports (RJ45). Σαφέστατα, η οικονομικότερη, απλούστερη και γρηγορότερη λύση διασύνδεσης είναι η ασύρματη (WIFI) εφόσον δεν υπάρχουν προ-εγκατεστημένες καλωδιακές υποδομές Lan δικτύου στους πάγκους. Στην περίπτωση, ωστόσο, της αξιοπιστίας και αδιάλειπτης λειτουργίας, προτείνεται η ταυτόχρονη σύνδεση και με τους δύο τρόπους.

Το TBX3000A αποτελεί την καρδιά του συστήματος TekSmartLab αφού ο σκοπός του είναι διπτός. Από την μια συνδέει και ελέγχει τα όργανα μέσω καλωδίων και από την άλλη παρέχει την επικοινωνία με τον server του εργαστηρίου στον οποίο και έχει εγκατασταθεί το λογισμικό του συστήματος διαχείρισης οργάνων TekSmartLab. Κάθε Labserver - TSL3000B υποστηρίζει την σύνδεση έως 100 TBX3000A Benches.

Λόγω της δικτυακής διασυνδεδετικής ευελιξίας του, το σύστημα TekSmartLab μπορεί να επεκταθεί και σε ένα ευρύτερο δίκτυο διαχείρισης εργαστηρίων σε επίπεδο πανεπιστήμιου. Ειδικότερα, αν διάφορα εργαστήρια έχουν εγκαταστημένο το TekSmartLab, τότε ο κάθε server τους μπορεί μέσω του πανεπιστημιακού δικτύου να συνδεθεί σε έναν κεντρικό server– υπολογιστή (Σχήμα 4 , Διάγραμμα δια-εργαστηριακής δικτύωσης του TekSmartLab). Με την σειρά του–ο διδάσκων, μπορεί από τον κεντρικό server να έχει πρόσβαση σε οποιονδήποτε εργαστηριακό server, διαφορετικών εργαστηρίων (ή και αντικειμένου διδασκαλίας), μέσω του οποίου μπορεί να παρακολουθεί και να ελέγχει εξ αποστάσεως τα όργανα του οποιαδήποτε στιγμή. Αυτή η δυνατότητα δικτύωσης μπορεί να επεκταθεί, δημιουργώντας με την σειρά της ένα cloud εργαστήριο και να δώσει πρόσβαση στους φοιτητές να συμμετάσχουν εξ αποστάσεως (λ.χ. μέσω vnc με τον κεντρικό πανεπιστημιακό server) σε ένα εργαστήριο, σε συγκεκριμένο πάγκο και να ελέγχουν όλα τα όργανα όπως θα έκαναν με την φυσική τους παρουσία.



Σχήμα 4 , Διάγραμμα δια-εργαστηριακής δικτύωσης του TekSmartLab

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το σύστημα αυτό αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την παιδαγωγική επιστήμη, το οποίο αν αξιοποιηθεί σωστά μπορεί να επεκταθεί και να μετασχηματιστεί, βελτιστοποιώντας και εκσυγχρονίζοντας σε τεράστιο βαθμό την εκπαιδευτική και μαθησιακή διαδικασία και την ποιότητά τους. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να δημιουργήσει πλήρως εικονικά πανεπιστημιακά εργαστήρια αξιοποιώντας/συνδυάζοντας παράλληλα πλατφόρμες VoIP ανταλλαγής μηνυμάτων και ψηφιακής διανομής που έχουν σχεδιαστεί για τη δημιουργία κοινοτήτων όπως το Discord. Έτσι, τόσο οι εκπαιδευόμενοι όσο και οι εκπαιδευτικοί, θα μπορούσαν να δημιουργήσουν ομάδες εργαστηρίων, που μπορούν να επικοινωνήσουν με φωνητικές κλήσεις (κάναλια ομιλίας), βιντεοκλήσεις, μηνύματα κειμένου (κάναλια κειμένου), πολυμέσα και αρχεία σε ιδιωτικές συνομιλίες ή και σε ομαδικές. Με αυτό τον τρόπο, θα μπορούν να αλληλεπιδρούν πλήρως μεταξύ τους, αλλά και ανεξάρτητα, συμμετέχοντας σε ένα αμιγώς εικονικό περιβάλλον.

### 6.3 Δυνατότητες που προσφέρει το TekSmartLab

Με την ολοκλήρωση εγκατάστασης της δικτυακής υποδομής διασύνδεσης των οργάνων με το TBX3000A και μετά την εγκατάσταση του Server (Microsoft SQL Server) του εργαστηρίου μέσα από έναν αναλυτικό οδηγό (και για τις δύο εργασίες) που παρέχει η Tektronix, έχει ουσιαστικά ολοκληρωθεί η εγκατάσταση του TekSmartLab. Στην πράξη, το TekSmartLab παρέχει από την μια ένα πλήρες γραφικό περιβάλλον διεπαφής για τον εκπαιδευτικό (Σχήμα 5) και από την άλλη τοπικές ιστοσελίδες ανά bench πάγκου που δίνουν σε κάθε φοιτητή άμεση πρόσβαση σε διάφορες λειτουργίες και δυνατότητες του TekSmartLab (τις οποίες θα έχει ορίσει ο εκπαιδευτικός) απλά σαρώνοντας ένα QR code (Σχήμα6) μέσω smartphone.



Σχήμα 5 , κεντρική σελίδα διαχείρισης TekSmartLab



Σχήμα6 , QR code και webaddress για πρόσβαση του φοιτητή στο TekSmartLab (TBX3000A) του πάγκου του

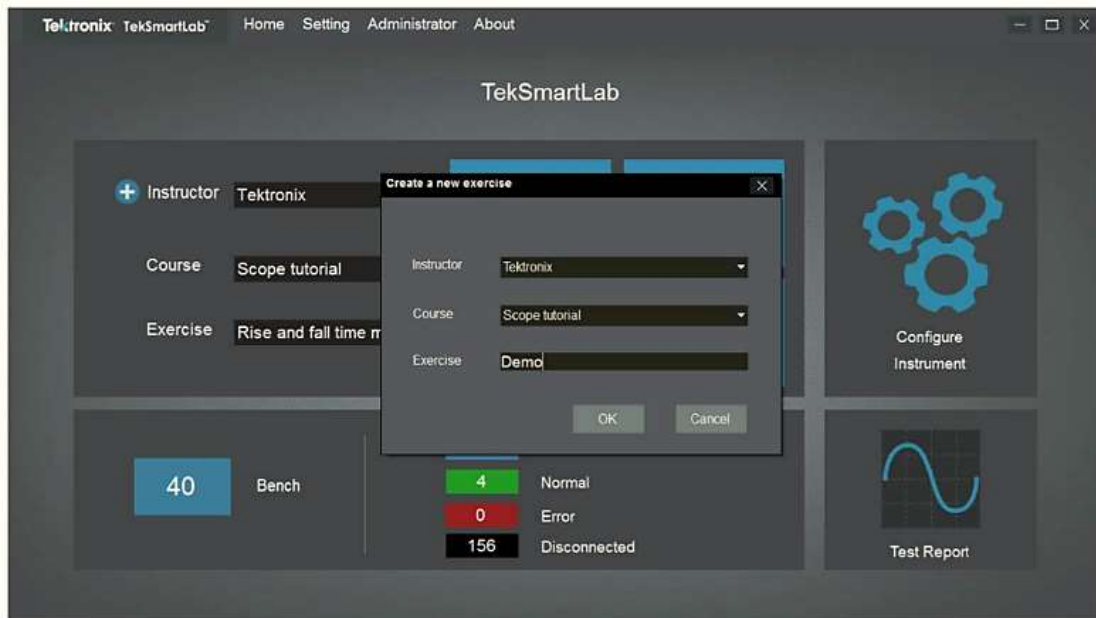
Με άλλα λόγια το κάθε bench (TBX3000A) έχει την δική του τοπική σελίδα, η διεύθυνση της οποίας μπορεί να εξαχθεί και να τυπωθεί ως QRcode από τον εκπαιδευτικό χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη επιλογή που δίνει το TekSmartLab. Έτσι, ο κάθε πάγκος μέσα από την σελίδα αυτή διασυνδέεται με την κεντρική σελίδα του TekSmartLab και υλοποιεί την αλληλεπίδραση φοιτητή-εκπαιδευτικού από οποιαδήποτε συσκευή έχει πρόσβαση στο τοπικό δίκτυο.

Οι βασικές δυνατότητες που προσφέρει το περιβάλλον του TekSmartLab στον εκπαιδευτικό είναι:

- **Εφαρμογές διαχείρισης/δημιουργίας μαθημάτων και ασκήσεων**

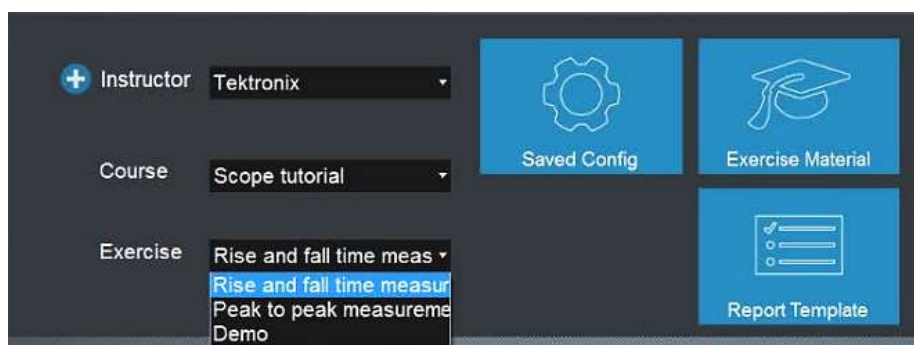
Ο εκπαιδευτικός μέσω της κεντρικής σελίδας διαχείρισης του TekSmartLab (Σχήμα 6)

μπορεί να δημιουργήσει διαφορετικά μαθήματα, καθένα από τα οποία μπορεί να περιέχει το δικό του υλικό. Το κάθε μάθημα συνδέεται με το μοναδικό id του εκπαιδευτικού και επομένως ο κάθε εκπαιδευτικός που χρησιμοποιεί το εργαστήριο, μπορεί να έχει πρόσβαση στις δικές του ασκήσεις - υλικό.



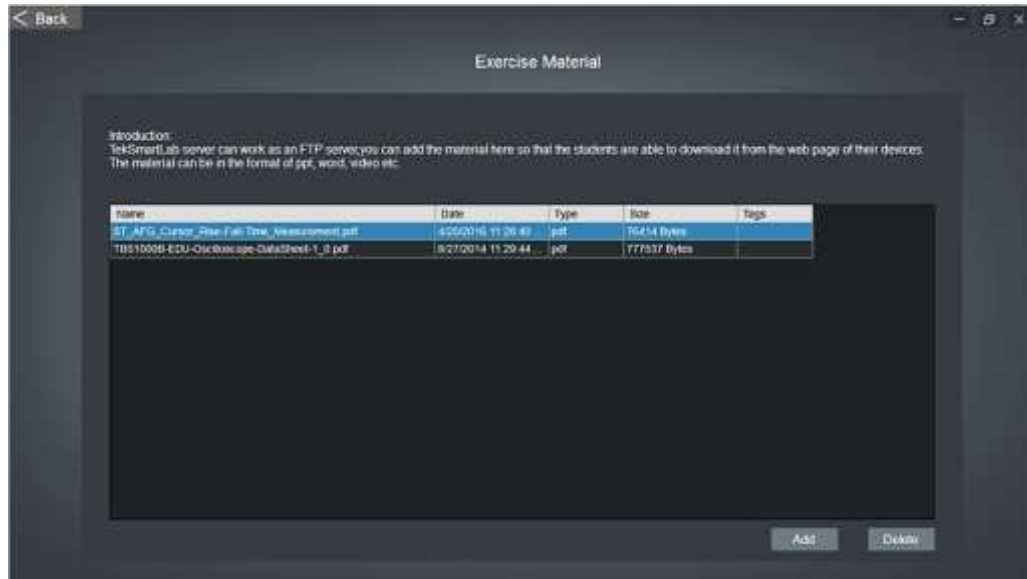
Σχήμα 6 , Σελίδα δημιουργίας άσκησης

Η κάθε άσκηση ξεχωριστά, μπορεί να περιέχει τις δικές της παραμετροποιήσεις οργάνων, το δικό της υλικό και φυσικά το δικό της πρότυπο παράδοσης εργαστηριακής αναφοράς (Σχήμα 7).



Σχήμα 7 , Διαφορετικές εφαρμογές βάσει επιλεγθέντος μαθήματος

Ένα πλεονέκτημα του TekSmartLab είναι η ενσωμάτωση του Πρωτοκόλλου Μεταφοράς Αρχείων FTP (Σχήμα 8) το οποίο δίνει την δυνατότητα στον εκπαιδευτικό να μεταφορτώνει οποιουδήποτε τύπου αρχείο (PDF, PowerPoint, βίντεο κ.α.) και να το διαμοιράζει σε πραγματικό χρόνο στους φοιτητές του.



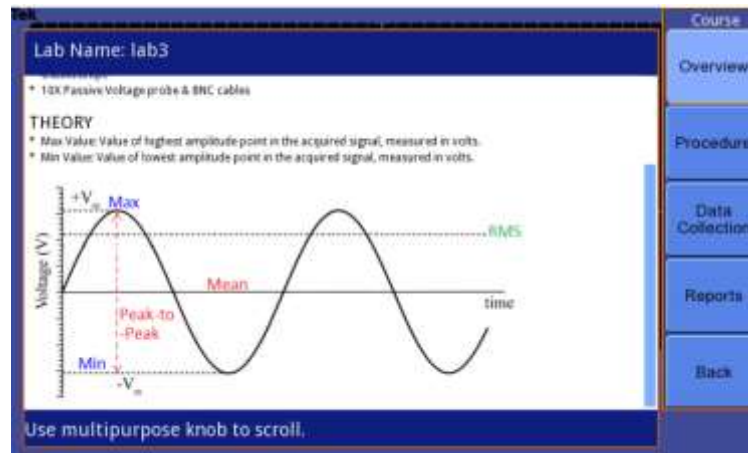
Σχήμα 8 , Προσθήκη ή διαγραφή υλικού μαθήματος

- **Λογισμικό για τη δημιουργία courses**

Ένα ακόμη σημαντικό εργαλείο που προσφέρει η TekSmartLab, είναι το λογισμικό courseware management (Σχήμα10) το οποίο δίνει την δυνατότητα στον εκπαιδευτικό:

1. Μέσα από το πρόγραμμα «PC Courseware EditorTool» για Windows, να δημιουργήσει με τα εργαλεία που προσφέρει, τα δικά του tutorial αυτοκαθοδηγούμενης μάθησης. Τα tutorial αυτά, είτε μπορούν να μεταφερθούν και να προβληθούν άμεσα από τους παλμογράφους TBS1000B που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο του TekSmartLab είτε να αποθηκευτούν σε εξωτερική συσκευή αποθήκευσης και στην συνέχεια να φορτωθούν στον παλμογράφο (Σχήμα 9). Έπειτα, αφού προβληθούν στον παλμογράφο, μέσα από το ειδικό μενού που περιέχει, καθοδηγούν με λεπτομερή βήματα τον φοιτητή, ώστε να εκτελέσει πειράματα, να λάβει και να καταγράψει μετρήσεις ενώ στον ίδιο χρόνο

του παρουσιάζονται καίριες θεωρητικές έννοιες.



Σχήμα 9 , tutorialστην οθόνη του παλμογράφου

Το εργαλείο αυτό, αποτελεί ισχυρό παιδαγωγικό εργαλείο μιας και ο εκπαιδευτικός του εργαστηρίου θα μπορούσε να φτιάξει tutorial που διαφέρουν ως προς το στόχο, το χρόνο, το βαθμό δυσκολίας, το περιεχόμενο, το είδος των πειραμάτων, τα υλικά, και τον τρόπο της λήψης μετρήσεων (π.χ. απενεργοποιώντας την δυνατότητα του παλμογράφου για αυτόματη μέτρηση του σήματος και αναγκάζοντας τον φοιτητή στην χειροκίνητη παραμετροποίηση του). Επιπρόσθετα, εξατομικεύει την μάθηση στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, αφού με τον τρόπο αυτό λαμβάνει υπόψη τις ατομικές ανάγκες των φοιτητών. Η αυτοκαθοδηγούμενη μάθηση αποτελεί σύνθετη διεργασία μάθησης βασισμένη στην κριτική σκέψη και την επεξεργασία πληροφοριών, γι'αυτό θα πρέπει να αποτελεί βασική επιλογή στο πανεπιστημιακό περιβάλλον εκπαίδευσης.

2. Μέσα από την διαδικτυακή κοινότητα «Courseware Resource Cente» ανταλλαγής εργαστηριακού μαθησιακού υλικού (κυρίως πανεπιστημιακού για το TekSmartLab, ο εκπαιδευτικός μπορεί να κατεβάσει, να παραμετροποιήσει και να προσαρμόσει ασκήσεις για χρήση στο δικό του μάθημα.



Σχήμα10 , courseware management solution τηςTektronix

- Κεντρική εποπτεία και άμεση απομακρυσμένη βοήθεια των φοιτητών**  
 Το TekSmartLab, διαθέτει ένα εύχρηστο γραφικό περιβάλλον μέσα από το οποίο μπορεί να προσομοιωθεί ακόμη και η φυσική διάταξη των πάγκων και των οργάνων του εργαστηρίου (Σχήμα 11).



Σχήμα 11 , Προσομοίωση διάταξης φυσικού εργαστηρίου στο TekSmartLab

Ο εκπαιδευτικός μπορεί με ευκολία να παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση όλων των οργάνων του εργαστηρίου (π.χ. πράσινο χρώμα: σωστή λειτουργία οργάνου, κόκκινο χρώμα: σφάλμα , γκρι χρώμα: αποσυνδεδεμένο όργανο). Έπειτα, κάνοντας απλώς ένα κλικ επάνω σε ένα από τα εικονίδια των πάγκων μπορεί να δει τα συνδεδεμένα όργανα σε αυτόν (Σχήμα 12) και επιλέγοντας το επιθυμητό, μπορεί είτε να προβεί στην ρύθμιση και παραμετροποίησή του, είτε στην εξατομικευμένη υποστήριξη



Παιδαγωγική κατάσταση εργαστηριακών ασκήσεων σε πανεπιστημιακό περιβάλλον για μετρήσεις σε ηλεκτρικά κυκλώματα

των φοιτητών (Σχήμα 13). Επιπρόσθετα, έχει την δυνατότητα να προβαίνει στην ρύθμιση και τη διαμόρφωση ενός οργάνου και αν κριθεί απαραίτητο να διανέμει τις ρυθμίσεις αυτές μαζικά στα υπόλοιπα όργανα.

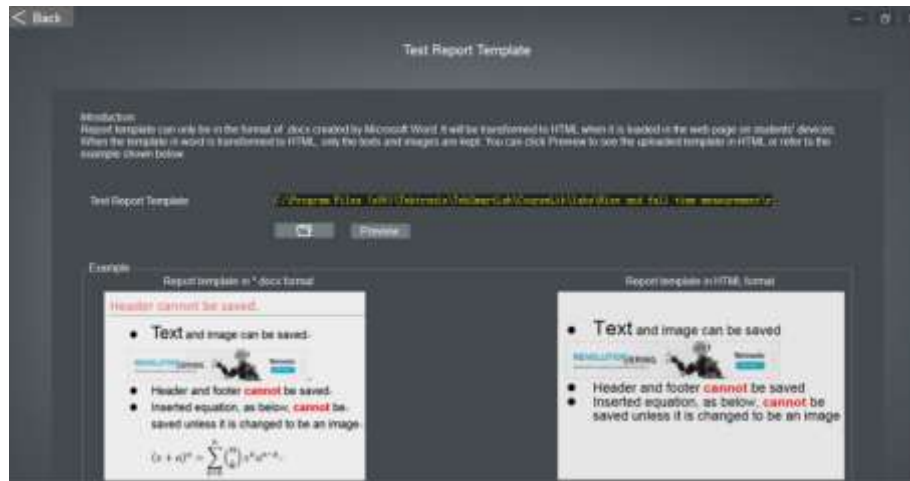


Σχήμα 12, Συνδεδεμένα όργανα σε επιλεγμένο Bench



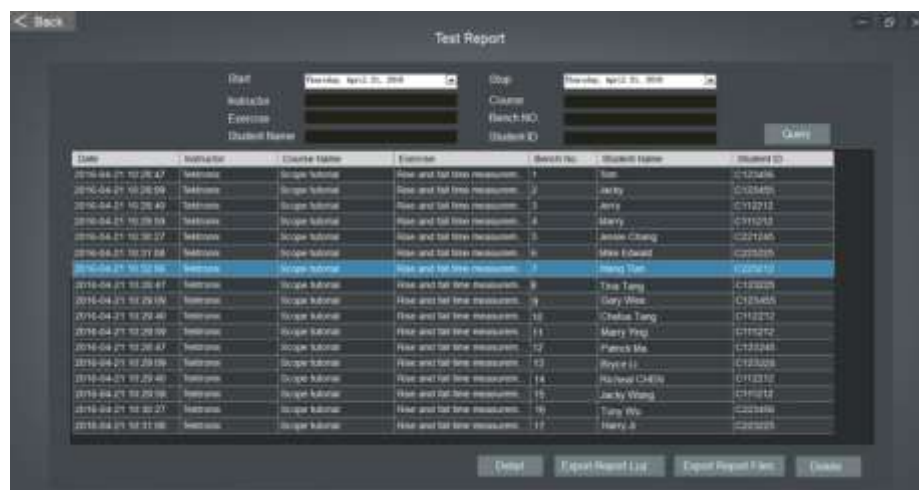
Σχήμα 13, Ρύθμιση επιλεγμένου οργάνου ενός Bench

- **Δημιουργία προτύπου υποβολής, εργαστηριακής αναφοράς ή εξέτασης**  
Μέσα από το περιβάλλον του Teksmartlab, ο εκπαιδευτικός μπορεί από την μια να δημιουργήσει και να ορίσει συγκεκριμένα πρότυπα υποβολής εργαστηριακών αναφορών (Σχήμα 14), στα οποία οι φοιτητές μπορούν άμεσα να μεταφορτώνουν μετρήσεις, απεικονίσεις κ.α, και από την άλλη, να λάβει σε ψηφιακή μορφή την πλήρη εργαστηριακή αναφορά των φοιτητών του (Σχήμα 15).



Σχήμα 14 , Δημιουργία προτύπου αναφοράς

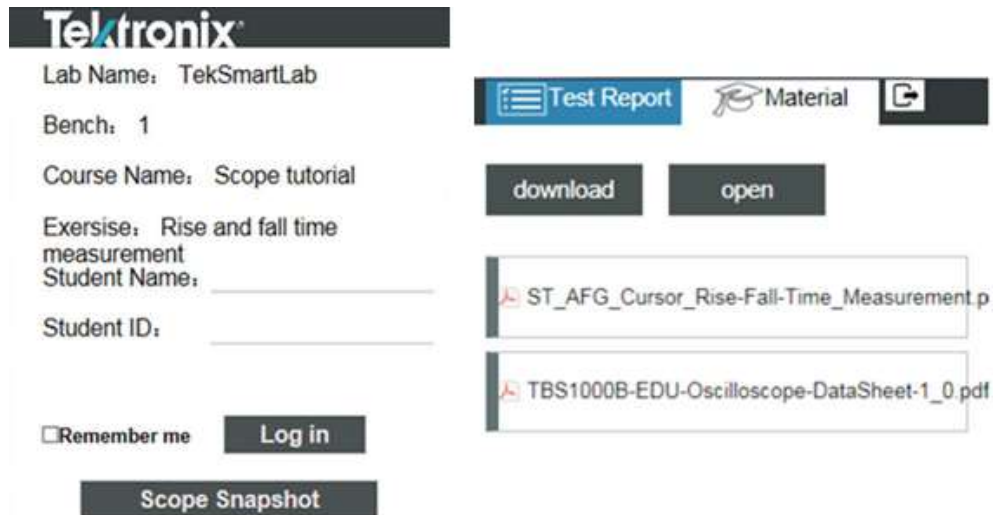
Εκμεταλλεύομενος και στηριζόμενος στα πρότυπα εργαστηριακών αναφορών, ο εκπαιδευτικός μπορεί να αυτοματοποιήσει τις εξετάσεις του εργαστηρίου, δημιουργώντας τα αντίστοιχα πρότυπα για το σκοπό αυτό.



Σχήμα 15 , λήψη εργαστηριακής αναφοράς φοιτητή

Οι βασικές δυνατότητες που προσφέρει το περιβάλλον του TekSmartLab στον εκπαιδευόμενο είναι:

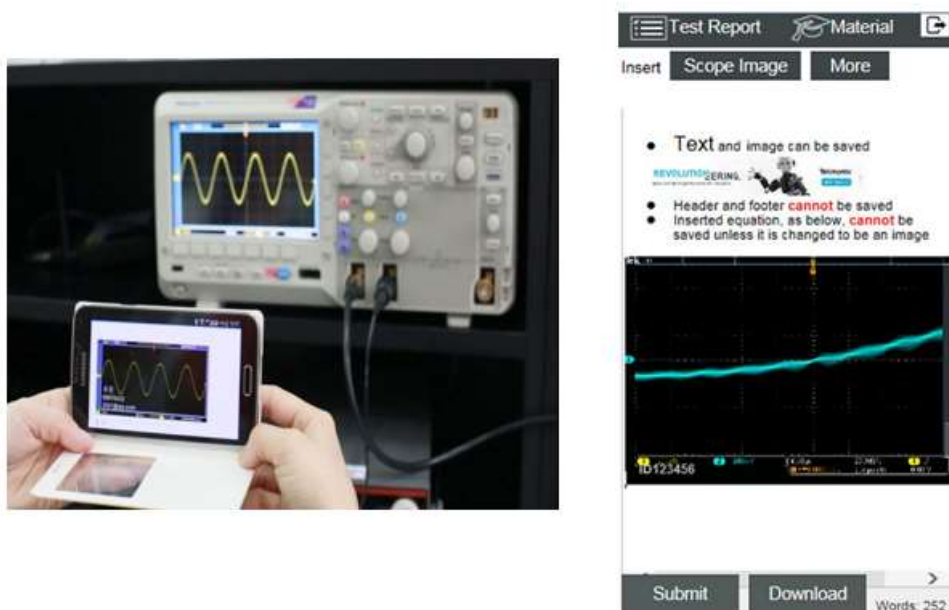
- **Άμεση πρόσβαση στο υλικό των μαθημάτων και των ασκήσεων**  
Οι φοιτητές αποκτούν πρόσβαση στο πλήρες υλικό τόσο του μαθήματος όσο και των εργαστηριακών ασκήσεων σαρώνοντας το QR code ή εισάγοντας την διεύθυνση IP της σελίδας του bench. Ο κάθε φοιτητής συνδέεται με το προσωπικό του student id (Σχήμα 16).



Σχήμα 16 , Σύνδεση φοιτητών στην ιστοσελίδα του TekSmartLab και πρόσβαση στα αρχεία του μαθήματος

- **Ασύρματη πρόσβαση στις εργαστηριακές αναφορές**

Οι φοιτητές επίσης, μπορούν να υποβάλουν την εργαστηριακή αναφορά, τις μετρήσεις, και τις απεικονίσεις των οργάνων σύμφωνα με το πρότυπο που έχει ορίσει ο διδάσκων, απευθείας στην σελίδα του Bench (Σχήμα 17) στο οποίο έχουν συνδεθεί.



Σχήμα 17 , Εισαγωγή και υποβολή (από τον φοιτητή) στιγμιότυπου κυματομορφής στο πρότυπο αναφοράς

Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα να λάβουν άμεσα τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναφορών ή εξετάσεων του εργαστηρίου ασύρματα μέσω Wi-Fi στο smartphone τους.

#### 6.4 Μελλοντική αξιοποίηση και επέκταση

Από τα παραπάνω είναι εμφανές πως το TekSmartLab αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο, το οποίο μπορεί να βελτιώσει άρδην την ποιότητα της διδασκαλίας και της μάθησης. Η πληθώρα δυνατοτήτων του, μας δίνει την ευκαιρία αξιοποίησής του σε μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών που εμπλέκονται στην εκπαιδευτική διαδικασία. Μια μελλοντική εφαρμογή του συστήματος αυτού, θα μπορούσε να είναι η ενσωμάτωση των εργαστηριακών αναφορών και οδηγιών που συγγράφηκαν στην παρούσα διπλωματική, στην σελίδα του server TekSmartLab (θα παρουσιαστούν στο κεφάλαιο 3). Επίσης, αξιοποιώντας το Courseware Editor Tool και το υλικό χρήσης του παλμογράφου (manual, παράρτημα εργαστηριακού μέρους) θα μπορούσαν να δημιουργηθούν αρκετά courses που σχετίζονται με την λήψη μετρήσεων, και χειρισμού. Έπειτα αυτά θα μπορούσαν να φορτωθούν στον παλμογράφο, για την βελτιστοποίηση της εξοικείωσης των φοιτητών με τον χειρισμό του, για εξάσκηση και εκπαίδευση μεθοδολογιών, προσφέροντας παράλληλα καθοδηγούμενη και αυτόνομη εκπαίδευση με άμεση ανατροφοδότηση. Ακόμα, με βάση τα πρότυπα εργαστηριακών αναφορών, θα μπορούσαν να αυτοματοποιηθούν οι εξετάσεις του Teksmartlab, ενώ συνδυάζοντάς τες με τα courses (τα οποία μπορούν να φορτωθούν στον παλμογράφο), θα δινόταν η δυνατότητα σφαιρικής αξιολόγησης του φοιτητή, λαμβάνοντας υπόψη πλέον κριτήρια, τα οποία θα ήταν αδύνατο να μετρηθούν χωρίς το TekSmartLab. Για παράδειγμα, τις περισσότερες φορές, μια τυπική εξέταση σε ένα εργαστηριακό περιβάλλον, περιλαμβάνει απλώς την τελική καταγραφή ενός αποτελέσματος ή μιας μέτρησης σε ένα φύλλο εργασίας χωρίς την δυνατότητα να ληφθούν υπόψη οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν, ή οι προσεγγίσεις μέσα από την λήψη στιγμιότυπων αποτύπωσης της οθόνης των οργάνων. Επίσης, ενισχύοντας το TekSmartLab με τις κατάλληλες υποδομές, μπορεί να αποτελέσει ένα Cloud εργαστήριο, το οποίο θα επιτρέπει σε έναν απομακρυσμένο χρήστη που βρίσκεται οπουδήποτε, να εκτελέσει απομακρυσμένα ένα πείραμα, έχοντας σε πραγματικό χρόνο πρόσβαση σε μια φυσική πειραματική διάταξη ενός φυσικού εργαστηρίου. Θα μπορούσαμε να πούμε πως αυτό το σύστημα πλέον δεν φέρνει τον φοιτητή πιο κοντά στο εργαστήριο, αλλά το ίδιο το εργαστήριο πιο κοντά στο φοιτητή. Κάποια από τα πλεονεκτήματα που θα προκύψουν από την υλοποίηση αυτού του έργου είναι:

- Δυνατότητα διεξαγωγής OnLine πειραμάτων οποιαδήποτε ώρα της ημέρας, μηδενίζοντας το διακύβευμα περιορισμού χώρου.
- Αύξηση της ενασχόλησης των φοιτητών λόγω της δυνατότητας διεξαγωγής πειραμάτων της επιλογής τους, ώστε να επικεντρωθούν στους τομείς ενδιαφερόντων τους.
- Δυνατότητά σε κάθε φοιτητή να έχει πρόσβαση στο εργαστήριο και να πραγματοποιεί μετρήσεις από τον υπολογιστή του, εφαρμόζοντας (τις) θεωρητικές έννοιες που μαθαίνει με άμεση εφαρμογή και εμπειρική παρατήρηση.

Συμπερασματικά, συνδυάζοντας το TekSmartLab με την τεχνητή νοημοσύνη, μέσα από ένα σύστημα ευφυούς διδασκαλίας (AI Edu) θα δοθεί η δυνατότητα παροχής εξατομικευμένης μάθησης σε μεγάλο πλήθος φοιτητών, κάτι το οποίο θα ήταν αδύνατο

να προσφέρει από μόνος του ο διδάσκων. Φυσικά, ένα τέτοιο σύστημα θα μπορεί να παρέχει άμεση ανατροφοδότηση κατά την διάρκεια αλληλεπίδρασής του με τον φοιτητή αλλά και προσαρμοσμένη μάθηση βάσει του γνωστικού του επιπέδου, συμβάλλοντας τόσο στην βελτίωσή του, όσο και στην καλλιέργεια αυτόνομης ατομικής (ή ομαδικής) μάθησης. Τέλος, μπορεί να δώσει την δυνατότητα της αμιγούς ή μικτής (υβριδικής) εξ αποστάσεως συμμετοχής στο εργαστήριο φοιτητών, οι οποίοι θα μπορούν να έχουν άμεσα διαθέσιμο έναν βοηθό που θα τους προσφέρει στοχευμένη και στοχοθετημένη καθοδήγηση και ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο ή εξ αποστάσεως πρόσβαση σε εργαστηριακό περιβάλλον για εξάσκηση στο δικό τους χρόνο.

## Επίλογος

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία, προσπάθησα να παρουσιάσω έναν από τους βασικούς πυλώνες που θα μπορούσαν να συμβάλουν στον μετασχηματισμό του πανεπιστημίου, από το "πανεπιστήμιο του τότε" στο "πανεπιστήμιο του αύριο", τον πυλώνα της παιδαγωγικής και την εδραίωσής της ως προϋπόθεση. Αν και απέχουμε πολύ από τον 20ο αιώνα στον οποίο προέκυψε η δομή του πανεπιστημίου, αυτή εν τέλει δεν άλλαξε και πολύ μέχρι σήμερα. Αυτή η αμεταβλητότητά του σε ένα ραγδαία μεταβαλλόμενο κόσμο οφείλεται αφενός μεν στην πεποίθηση πως το πανεπιστήμιο αποτελεί «αυθεντία», ως μοναδικός κομιστής – τοτέμ της γνώσης, αφετέρου δε στην εμμονή για διαφοροποίηση του πανεπιστημίου από το υπόλοιπο εκπαιδευτικό σύστημα. Ο διαχωρισμός αυτός λειτουργεί ως πρόσκομμα στην διαμορφωτική συνέχεια της εκπαίδευσης ως δια βίου μάθηση. Η μάθηση των ενηλίκων δεν είναι διαφορετική από αυτή των παιδιών, ούτε πρέπει να εκλαμβάνεται. Δεν υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ ηλικίας και εκπαίδευσης. Για τον λόγο αυτό, το πανεπιστήμιο θα πρέπει να συμβάλει άμεσα στην πολιτισμική αλλαγή που απαιτείται για να αντιμετωπίσουμε τις προκλήσεις του μέλλοντος, προετοιμάζοντας τους πολίτες του αύριο και θεμελιώνοντας την δια βίου μάθηση και εκπαίδευση.

Γιατί υπάρχει αυτή η ανάγκη; Πλέον ένας φοιτητής έχει άμεση πρόσβαση σε courses είτε άλλων πανεπιστημίων είτε σε Massive Open Online Courses (MOOCs), τα οποία του προσφέρουν εποπτικότητα, πληθώρα αναλυτικών παραδειγμάτων, εξατομίκευση και μάθηση στον δικό του χρόνο. Γιατί λοιπόν να επιλέξει ένα πανεπιστημιακό ίδρυμα; Γιατί να μην εξειδικευτεί σε ένα συγκεκριμένο αντικείμενο που είναι περιζήτητο την δεδομένη στιγμή στην αγορά εργασίας, απλά λαμβάνοντας μια πιστοποίηση; Νομίζω διαφαίνεται ένα αδιέξοδο στο οποίο σύντομα θα βρεθεί το πανεπιστήμιο ως οντότητα. Αυτό που απαιτείται, είναι αφενός μεν να ξαναβρεί την ταυτότητά του ως εκπαιδευτικό ίδρυμα, αφετέρου δε να προσφέρει μια διεπιστημονική εκπαίδευση, καλλιεργώντας την κριτική σκέψη αλλά και την σφαιρική μόρφωση-καλλιέργεια. Μοναδικός, ίσως, τρόπος για να συμβεί αυτό είναι ο συνδυασμός των προγραμμάτων σπουδών Μηχανικών με αυτά των ανθρωπιστικών σπουδών, αποτάσσοντας με αυτό τον τρόπο την φορμαλιστική προσέγγιση της επιστημονικής εξειδίκευσης ως αυτοσκοπό. Έτσι, θα εφοδιάζει τον άνθρωπο του «αύριο» με όλες τις ικανότητες και δεξιότητες που θα του εξασφαλίσουν την προσαρμογή του στο αβέβαιο μέλλον. Ήδη σε ευρωπαϊκό επίπεδο έχει ξεκινήσει η συζήτηση για την βελτίωση της ποιότητας του πανεπιστημίου. Ένας από τους άξονες που θα συμβάλουν στην βελτίωσή του, είναι η παιδαγωγική κατάρτιση των πανεπιστημιακών δασκάλων, μιας και αυτή καθορίζει άρδην την ποιότητα της διδασκαλίας και της μάθησης.

Με αφετηρία την προσέγγιση αυτή, προσπάθησα να διαμορφώσω παιδαγωγικά το υλικό της διδασκαλίας του εργαστηρίου Σημάτων και Κυκλωμάτων του ΕΚΠΑ (Τμήμα Πληροφορικής), αξιοποιώντας ταυτόχρονα σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία που συντελούν στην αποτελεσματικότερη διδασκαλία και μάθηση. Αυτή η πρώτη προσπάθεια, πιθανώς να ενέχει λάθη και αστοχίες. Ωστόσο δίνει την δυνατότητα μελλοντικής έρευνας και μελέτης τόσο στην ένταξη της παιδαγωγικής επιστήμης στην

Παιδαγωγική κατάστρωση εργαστηριακών ασκήσεων σε πανεπιστημιακό περιβάλλον για μετρήσεις σε ηλεκτρικά κυκλώματα

διδασκαλία των πανεπιστημιακών μαθημάτων (παιδαγωγική προσφορά του μαθησιακού περιεχομένου), όσο και στην-αξιοποίηση νέων τεχνολογιών που θα την διευκολύνουν.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι**



# Ερωματολόγιο 1ης εργαστηριακής άσκησης

Η συμμετοχή σας είναι ανώνυμη, προαιρετική και πολύ σημαντική για την διεξαγωγή της συγκεκριμένης έρευνας. Ιδιαίτερη αξία έχουν σχόλια ή παρατηρήσεις που θα προκύψουν κατά την διάρκεια του εξαμήνου και μέχρι την ολοκλήρωση του μαθήματος, ενώ μπορούν να συμπεριληφθούν οποτεδήποτε στο παρακάτω link (ανώνυμα): [bit.ly/csl\\_di](https://bit.ly/csl_di)  
**Σας ευχαριστώ για την πολύτιμη βοήθειά σας!**

**1. Διαβάσατε το εργαστηριακό φυλλάδιο της άσκησης 1 πριν το εργαστήριο;**

- Ναι
- Όχι

**2. Διαβάσατε την προτεινόμενη θεωρία και τα παραρτήματα του 1ου εργαστηριακού φυλλαδίου;**

- Ναι, έχω διαβάσει και τα δύο
- Όχι, έχω διαβάσει μόνο την θεωρία
- Όχι, έχω διαβάσει μόνο τα παραρτήματα
- Όχι, Δεν έχω διαβάσει κανένα από τα δύο

**3. Λύσατε τις ασκήσεις των προτεινόμενων κεφαλαίων της θεωρίας;**

- Όχι
- Μερικές
- Όλες

**4. Βαθμός δυσκολίας ασκήσεων;**

1 πολύ εύκολες/ εύκολες/ δύσκολες/ πολύ δύσκολες 4

**5. Για την λύση των ασκήσεων συμβουλευτήκατε:**

- Το εργαστηριακό υλικό
- Το προτεινόμενο σύγγραμμα

Άλλη πηγή (ίντερνετ κλπ)

**6. Η έως τώρα θεωρία, σας βοήθησε στην κατανόηση της εργαστηριακής άσκησης;**

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα Πολύ

**7. Θα συμφωνούσατε πως το μάθημα της Σύγχρονης Φυσικής με τη σχετική θεωρία και τις ασκήσεις(βασική ανάλυση κυκλωμάτων) αποτέλεσε βάση ενώ ταυτόχρονα σας βοήθησε στην κατανόηση των εννοιών του φετινού εργαστηρίου;**

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα πολύ

**8. Η ροή της εργαστηριακής άσκησης, οι οδηγίες και τα βήματα που έπρεπε να ακολουθήσετε ήταν σαφή/ξεκάθαρα για την υλοποίηση και ολοκλήρωσή της;**

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα Πολύ

**9. Η σχηματική αναπαράσταση των κυκλωμάτων του φυλλαδίου (συμπεριλαμβανομένης της συνδεσμολογίας των οργάνων), ήταν επαρκής για την υλοποίηση τους και την λήψη των μετρήσεων;**

- Καθόλου
- Λίγο

- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα Πολύ

**10. Θεωρείτε πως το παράρτημα του χρωματικού κώδικα των αντιστάσεων καθώς και το manual του πολύμετρου ήταν επεξηγηματικό, ξεκάθαρο και σας βοήθησε στην ολοκλήρωση της άσκησης;**

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα πολύ
- Δεν γνωρίζω/Δεν τα χρησιμοποίησα

## Δεύτερο ερωτηματολόγιο εργαστηρίου

Η συμμετοχή σας είναι ανώνυμη, προαιρετική και πολύ σημαντική για την διεξαγωγή της συγκεκριμένης έρευνας. Ιδιαίτερη αξία έχουν σχόλια/προτάσεις ή παρατηρήσεις που μπορούν να συμπεριληφθούν οποτεδήποτε στο παρακάτω link (ανώνυμο): [bit.ly/csl\\_di](https://bit.ly/csl_di)

**Σας ευχαριστώ για την πολύτιμη βοήθειά σας!**

**\* 1. Συνολικά θεωρείτε πως η ροή των εργαστηριακών ασκήσεων, οι οδηγίες και τα βήματα που έπρεπε να ακολουθήσετε ήταν σαφή/συγκεκριμένα/ξεκάθαρα για την υλοποίηση και ολοκλήρωσή τους;**

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα Πολύ
- Άλλο (διευκρινίστε)

**\* 2. Θεωρείτε πως τα παραρτήματα, τόσο του παλμογράφου όσο και της γεννήτριας σημάτων, ήταν επεξηγηματικά/ξεκάθαρα/καλοδιατυπωμένα και σας βοήθησαν στην κατανόηση της λειτουργίας τους, που ήταν απαραίτητη για τις ασκήσεις;**

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα Πολύ

**\* 3. Αν στηριζόσασταν αποκλειστικά στα παραρτήματα του παλμογράφου και της γεννήτριας (χωρίς τις επεξηγήσεις/οδηγίες του διδάσκοντα για αυτά) θεωρείτε πως θα σας παρείχαν την απαιτούμενη βοήθεια/κατανόηση λειτουργίας τους για την ολοκλήρωση των ασκήσεων;**

\*(Καθόλου ->1 έως Πολύ Πιθανό->4)

1 5

**\* 4. Τα θεωρητικά μαθήματα που προηγήθηκαν των εργαστηρίων, θεωρείτε πως συνέβαλαν στην βαθύτερη κατανόηση των εργαστηριακών ασκήσεων;**

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα Πολύ

**\* 5. Οι εργαστηριακές ασκήσεις σας βοήθησαν να κατανοήσετε/ξεκαθαρίσετε ευκολότερα έννοιες της θεωρίας;**

- Πολύ
- Κάπως
- Δεν είμαι σίγουρη/ος
- Καθόλου

**\* 6. Είστε ικανοποιημένοι από την υποστήριξη που σας παρείχαν οι εργαστηριακοί βοηθοί κατά την διάρκεια των ασκήσεων(παρατηρήσεις, οδηγίες);**

- Πάρα πολύ ικανοποιημένη/ος
- Πολύ ικανοποιημένη/ος
- Κάπως ικανοποιημένη/ος
- Δεν είμαι τόσο ικανοποιημένη/ος
- Καθόλου ικανοποιημένη/ος
- Άλλο (διευκρινίστε)

**\* 7. Θα χαρακτηρίζατε τους εργαστηριακούς βοηθούς προσιτούς, ευγενικούς και πρόθυμους;**

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα Πολύ

**8. Θα χαρακτηρίζατε τον διδάσκοντα προσιτό, ευγενικό, πρόθυμο ενώ ανταποκρινόταν στα ερωτήματά σας (συμπεριλαμβανομένων email) ;**

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα πολύ

**\* 9. Από τις εργαστηριακές άσκηση σας δυσκόλεψε περισσότερο:**

*\*Δυνατότητα πολλαπλής απάντησης*

- 1η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 1/ Νόμος Ohm
- 1η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 2-3/ Διαίρετης τάσης και ρεύματος
- 1η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 4/ Μέτρηση πολικής τάσης-τάσης υπο φορτίο AC πηγής
- 1η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 5-6/ Διαίρετης τάσης και ρεύματος στο AC
- 1η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 7/ Μέτρηση αντιστάσεων
- 1η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 8/ Ποτενσιόμετρο
- 2η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 1/ Μέτρηση DC τάσης με παλμογράφο

- 2η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 2/ Μετρήσεις εναλλασσόμενης τάσης
- 2η εργαστηριακή άσκηση-- Εργασία 3/ Μετρήσεις εναλλασσόμενης τάσης με DC συνιστώσα
- 2η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 4/ Παραγωγή οπτικού και ακουστικού σήματος
- 3η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 1/ Κύκλωμα ολοκλήρωσης RC
- 3η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 2/ Φίλτρο διέλευσης Χαμηλών συχνοτήτων RC
- 3η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 3/ Φίλτρο διέλευσης Υψηλών συχνοτήτων RC
- Καμιά, ήταν όλες εύκολες
- Άλλο (διευκρινίστε)

**10. Για την μελέτη της θεωρίας του μαθήματος και των εργαστηριακών ασκήσεων αφιερώσατε:**

- Λιγότερο από 1 ώρα την εβδομάδα
- 1-2 ώρες την εβδομάδα
- Περισσότερο από 2 ώρες την εβδομάδα
- Συμμετείχα μόνο στα εργαστήρια, χωρίς μελέτη θεωρίας/προετοιμασία των ασκήσεων
- Άλλο (διευκρινίστε)

## Τρίτο ερωτηματολόγιο εργαστηρίου

Η συμμετοχή σας είναι ανώνυμη, προαιρετική και πολύ σημαντική για την διεξαγωγή της συγκεκριμένης έρευνας. Ιδιαίτερη αξία έχουν σχόλια, προτάσεις ή παρατηρήσεις που μπορούν να υποβληθούν οποτεδήποτε στο παρακάτω link (**ανώνυμο**): [bit.ly/csl\\_di](https://bit.ly/csl_di)

**Σας ευχαριστώ για την πολύτιμη βοήθειά σας!**

**\* 1. Θα προτείνατε την παρακολούθηση του εργαστηρίου σε συμφοιτητές σας με γνώμονα ότι αυτό συμβάλλει στην κατανόηση βασικών αρχών και προσφέρει εργαλεία τα οποία είναι χρήσιμα σε όσους ακολουθήσουν την Β' κατεύθυνση;**

- Όχι δεν θα το πρότεινα
- Θα το πρότεινα μόνο αν δεν υπήρχε κάποια καλύτερη επιλογή

- Θα το πρότεινα οπωσδήποτε

**\* 2. Νιώθετε ικανοποιημένος/η από τη σειρά εναλλαγής του θεωρητικού και εργαστηριακού μέρους των μαθημάτων;**

- Καθόλου, δεν βοήθησε στην συνοχή και την σύνδεση εννοιών/ένιωσα να συγχέω έννοιες  
 Λίγο, θα έπρεπε πρώτα να γίνει ολόκληρο το θεωρητικό μέρος και έπειτα να ακολουθήσει ολόκληρο το εργαστηριακό  
 Πολύ, υπήρχε άμεση σύνδεση των θεωρητικών εννοιών με το εργαστήριο και συνέβαλε στην βαθύτερη κατανόησή τους  
 Άλλο (διευκρινίστε)

**\* 3. Διαπιστώσατε κάποια έλλειψη στον εξοπλισμό του εργαστηρίου και αν ναι, ποια ήταν αυτή;**

- Όχι  
 Ναι (διευκρινίστε)

**\* 4. Συνολικά θα αξιολογούσατε τις παρουσιάσεις ως:**

- Ανεπαρκείς με λίγες επεξηγήσεις/εικόνες/παραδείγματα/ασκήσεις, δυσνόητα τμήματα κλπ  
 Σχετικά ανεπαρκείς, πρέπει να εμπλουτιστεί (εικόνες, βίντεο, ασκήσεις κ.α)  
 Σχετικά επαρκείς, δύναται να εμπλουτιστεί (εικόνες, βίντεο, ασκήσεις κ.α)  
 Επαρκείς  
 Άλλο (διευκρινίστε)

**\* 5. Πόσο κατανοήσατε την κάθε εργαστηριακή άσκηση μετά την περάτωσή της;**

- Καθόλου  
 Λίγο  
 Αρκετά  
 Πολύ

- Πάρα Πολύ
- Άλλο (διευκρινίστε)

**6. Πόσο σας ικανοποίησε το πειραματικό σκέλος των ασκήσεων και η οργάνωσή τους;**

1 (ελάχιστος βαθμός) – 5 (μέγιστος βαθμός)

1 -- -- 5

**\* 7. Είχατε επαρκή υποστήριξη για την ορθή χρήση και λειτουργία των οργάνων και συσκευών του εργαστηρίου;**

- Ναι, τόσο από τον εργαστηριακό οδηγό όσο και από τον διδάσκοντα/εργαστηριακούς βοηθούς
- Ναι, αλλά μόνο από τον διδάσκοντα/εργαστηριακούς βοηθούς
- Ναι, αλλά μόνο από τον εργαστηριακό οδηγό
- Όχι, δεν είχα επαρκή υποστήριξη
- Άλλο (διευκρινίστε)

**\* 8. Πόσο βαθμολογείτε την επάρκεια/πληρότητα γνώσεων του διδάσκοντα στο αντικείμενο του εργαστηρίου;**

1 (ελάχιστος βαθμός) – 5 (μέγιστος βαθμός)

1 5

**\* 9. Πόσο βαθμολογείτε την επάρκεια/πληρότητα γνώσεων των εργαστηριακών βοηθών στο αντικείμενο του εργαστηρίου;**

1 (ελάχιστος βαθμός) – 5 (Μέγιστος βαθμός)

1 5

**10. Πώς θα χαρακτηρίζατε την εξέταση του εργαστηρίου ως προς το βαθμό δυσκολίας;**

1-πολύ δύσκολη, 5-πολύ εύκολη



Άλλο (διευκρινίστε)

## Ερωτηματολόγιο εργαστηρίου

Η συμμετοχή σας είναι **ανώνυμη**, προαιρετική και πολύ σημαντική για την διεξαγωγή της συγκεκριμένης έρευνας.

Ο αστερίσκος στο τέλος κάθε ερώτησης δηλώνει πως η απάντηση είναι υποχρεωτική. Σας ευχαριστώ για την συμμετοχή σας!1. Διαβάζατε την προτεινόμενη θεωρία και τα παραρτήματα του εργαστηριακού φυλλαδίου πριν την υλοποίηση της κάθε άσκησης ; \*

- Ναι, και τα δύο
- Όχι, διάβαζα μόνο την θεωρία
- Όχι, διάβαζα μόνο τα παραρτήματα
- Όχι, Δεν διάβαζα κανένα από τα δύο

2. Λύσατε τις ασκήσεις των προτεινόμενων κεφαλαίων της θεωρίας (προτεινόμενο βιβλίο και σημειώσεις εργαστηρίου); \*

- Όχι
- Μερικές
- Όλες

3. Βαθμός δυσκολίας ασκήσεων; \*

- πολύ εύκολες
- εύκολες
- δύσκολες
- πολύ δύσκολες

4. Για την λύση των ασκήσεων συμβουλευτήκατε; \*

- Το εργαστηριακό υλικό
- Το προτεινόμενο σύγγραμμα
- Άλλη πηγή (ίντερνετ κλπ)

5. Η έως τώρα θεωρία, σας βοήθησε στην κατανόηση της εργαστηριακής άσκησης; \*

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά

- Πολύ
- Πάρα Πολύ

6. Θα συμφωνούσατε πως το μάθημα "Ηλεκτρομαγνητισμός, Οπτική Σύγχρονη Φυσική" μαζί με τη σχετική θεωρία και τις ασκήσεις (βασική ανάλυση κυκλωμάτων), αποτέλεσε βάση ενώ ταυτόχρονα σας βοήθησε στην κατανόηση των εννοιών του φετινού εργαστηρίου; \*

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα πολύ

7. Η ροή της εργαστηριακής άσκησης, οι οδηγίες και τα βήματα που έπρεπε να ακολουθήσετε ήταν σαφή/ξεκάθαρα για την υλοποίηση και ολοκλήρωσή της; \*

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα Πολύ

8. Η σχηματική αναπαράσταση των κυκλωμάτων του φυλλαδίου (συμπεριλαμβανομένης της συνδεσμολογίας των οργάνων), ήταν επαρκής για την υλοποίησή τους και την λήψη των μετρήσεων; \*

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα Πολύ

9. Θεωρείτε πως το παράρτημα του χρωματικού κώδικα των αντιστάσεων καθώς και τα manual των οργάνων ήταν εξεζητημένα, ξεκάθαρα και σας βοήθησαν στην ολοκλήρωση των ασκήσεων; \*

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα πολύ
- Δεν γνωρίζω/Δεν τα χρησιμοποίησα

10. Θα προτείνατε την παρακολούθηση του εργαστηρίου σε συμφοιτητές σας με γνώμονα ότι αυτό συμβάλλει στην κατανόηση βασικών αρχών και προσφέρει εργαλεία τα οποία είναι χρήσιμα σε όσους ακολουθήσουν την Β' κατεύθυνση; \*

- Όχι δεν θα το πρότεινα
- Θα το πρότεινα μόνο αν δεν υπήρχε κάποια καλύτερη επιλογή
- Θα το πρότεινα οπωσδήποτε

11. Νιώθετε ικανοποιημένος/η από τη σειρά εναλλαγής του θεωρητικού και εργαστηριακού μέρους των μαθημάτων; \*

- Καθόλου, δεν βοήθησε στην συνοχή και την σύνδεση εννοιών/ένιωσα να συγγέω έννοιες
- Λίγο, θα έπρεπε πρώτα να γίνει ολόκληρο το θεωρητικό μέρος και έπειτα να ακολουθήσει ολόκληρο το εργαστηριακό
- Πολύ, υπήρχε άμεση σύνδεση των θεωρητικών εννοιών με το εργαστήριο και συνέβαλε στην βαθύτερη κατανόησή τους

12. Διαπιστώσατε κάποια έλλειψη στον εξοπλισμό του εργαστηρίου και αν ναι, ποια ήταν αυτή; \*

- Όχι
- Ναι (διευκρινίστε στα comment και πιέστε Continue)

Comments:

13. Συνολικά θα αξιολογούσατε τις παρουσιάσεις ως: \*

- Ανεπαρκείς με λίγες επεξηγήσεις/εικόνες/παραδείγματα/ασκήσεις, δυσνόητα τμήματα κλπ
- Σχετικά ανεπαρκείς, πρέπει να εμπλουτιστεί (εικόνες, βίντεο, ασκήσεις κ.α)
- Σχετικά ανεπαρκείς, πρέπει να εμπλουτιστεί (εικόνες, βίντεο, ασκήσεις κ.α)
- Επαρκείς

14. Πόσο κατανοήσατε την κάθε εργαστηριακή άσκηση μετά την περάτωσή της; \*

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα Πολύ

15. Πόσο σας ικανοποίησε το πειραματικό σκέλος των ασκήσεων και η οργάνωσή τους; 1 (ελάχιστος βαθμός) -- 5 (μέγιστος βαθμός), απαντήστε και πιέστε Continue για να συνεχίσετε \*

1  2  3  4  5

16. Πόσο βαθμολογείτε την επάρκεια/πληρότητα γνώσεων του διδάσκοντα στο αντικείμενο του εργαστηρίου; 1 (ελάχιστος βαθμός) -- 5 (μέγιστος βαθμός), απαντήστε και πιέστε Continue για να συνεχίσετε \*

1  2  3  4  5

17. Πώς θα χαρακτηρίζατε την εξέταση του εργαστηρίου ως προς το βαθμό δυσκολίας; 1-πολύ δύσκολη, 5-πολύ εύκολη, απαντήστε και πιέστε Continue για να συνεχίσετε \*

1  2  3  4  5

18. Συνολικά θεωρείτε πως η ροή των εργαστηριακών ασκήσεων, οι οδηγίες και τα βήματα που έπρεπε να ακολουθήσετε ήταν σαφή/συγκεκριμένα/ξεκάθαρα για την υλοποίηση και ολοκλήρωσή τους; \*

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα Πολύ

19. Θεωρείτε πως τα παραρτήματα, τόσο του παλμογράφου όσο και της γεννήτριας σημάτων, ήταν επεξηγηματικά/ξεκάθαρα/καλοδιατυπωμένα και σας βοήθησαν στην κατανόηση της λειτουργίας τους, που ήταν απαραίτητη για τις ασκήσεις; \*

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα Πολύ

20. Αν στηριζόσασταν αποκλειστικά στα παραρτήματα του παλμογράφου και της γεννήτριας (χωρίς τις επεξηγήσεις/οδηγίες του διδάσκοντα για αυτά) θεωρείτε πως θα σας παρείχαν την απαιτούμενη βοήθεια/κατανόηση λειτουργίας τους για την ολοκλήρωση των ασκήσεων; \*(Καθόλου ->1 έως Πολύ Πιθανό->4) \*

- 1
- 2
- 3
- 4

21. Τα θεωρητικά μαθήματα που προηγήθηκαν των εργαστηρίων, θεωρείτε πως συνέβαλαν στην βαθύτερη κατανόηση των εργαστηριακών ασκήσεων; \*

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα Πολύ

22. Οι εργαστηριακές ασκήσεις σας βοήθησαν να κατανοήσετε/ξεκαθαρίσετε ευκολότερα έννοιες της θεωρίας; \*

- Πάρα πολύ
- Πολύ
- Κάπως
- Δεν είμαι σίγουρη/ος
- Καθόλου

23. Θα χαρακτηρίζατε τον διδάσκοντα προσιτό, ευγενικό, πρόθυμο ενώ ανταποκρινόταν στα ερωτήματά σας (συμπεριλαμβανομένων email); \*

- Καθόλου
- Λίγο
- Αρκετά
- Πολύ
- Πάρα πολύ

24. Από τις εργαστηριακές άσκηση σας δυσκόλεψε περισσότερο: \* Δυνατότητα πολλαπλής απάντησης \*

- 1η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 1/ Νόμος Ohm
- 1η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 2-3/ Διαιρέτης τάσης και ρεύματος
- 1η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 4/ Μέτρηση πολικής τάσης-τάσης υπο φορτίο AC πηγής
- 1η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 5-6/ Διαιρέτης τάσης και ρεύματος στο AC
- 1η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 7/ Μέτρηση αντιστάσεων
- 1η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 8/ Ποτενσιόμετρο
- 2η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 1/ Μέτρηση DC τάσης με παλμογράφο
- 2η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 2/ Μετρήσεις εναλλασσόμενης τάσης
- 2η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 3/ Μετρήσεις εναλλασσόμενης τάσης με DC συνιστώσα
- 2η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 4/ Παραγωγή οπτικού και ακουστικού σήματος
- 3η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 1/ Κύκλωμα ολοκλήρωσης RC
- 3η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 2/ Φίλτρο διέλευσης Χαμηλών συχνοτήτων RC
- 3η εργαστηριακή άσκηση -- Εργασία 3/ Φίλτρο διέλευσης Υψηλών συχνοτήτων RC
- Καμιά, ήταν όλες εύκολες

25. Για την μελέτη της θεωρίας του μαθήματος και των εργαστηριακών ασκήσεων αφιερώσατε: \*

- Λιγότερο από 1 ώρα την εβδομάδα
- 1-2 ώρες την εβδομάδα
- Περισσότερο από 2 ώρες την εβδομάδα
- Συμμετείχα μόνο στα εργαστήρια, χωρίς μελέτη θεωρίας/προετοιμασία των ασκήσεων

26. Συγκρίνοντας τις εργαστηριακές ασκήσεις που περιλαμβάνονται στο έντυπο πακέτο σημειώσεων που λάβατε (σελ 3 έως 25) με εκείνες που αναρτήθηκαν στο eclass, θεωρείτε πως οι νέες εργαστηριακές ασκήσεις του eclass είναι: \*

- Περισσότερο κατανοητές, σαφής με ξεκάθαρα βήματα
- Λιγότερο κατανοητές, μη σαφής και πολλές φορές με μη ξεκάθαρα βήματα
- Δεν διαπίστωσα κάποια διαφορά

27. Συγκρίνοντας τα παραρτήματα που περιλαμβάνονται στο έντυπο πακέτο σημειώσεων που λάβατε (ακολουθεί μετά την 59 σελ) με εκείνα που αναρτήθηκαν στο eclass, θεωρείτε πως τα νέα παραρτήματα του eclass είναι: \*

- Περισσότερο κατανοητά, με μεγαλύτερη πληρότητα και ευκολότερη κατανόηση
- Λιγότερο κατανοητά, με κάποιες ελλείψεις και με κάποιες ασάφειες που δυσχέραιναν την κατανόηση
- Δεν διαπίστωσα κάποια διαφορά

## ResultsScatterplot Descriptives

Descriptives

---

Συνολικά αξιολογείτε τις παρουσιάσεις ως...	
N	36
Missing	1
Mean Median	
Standard deviation	
Minimum Maximum	

---

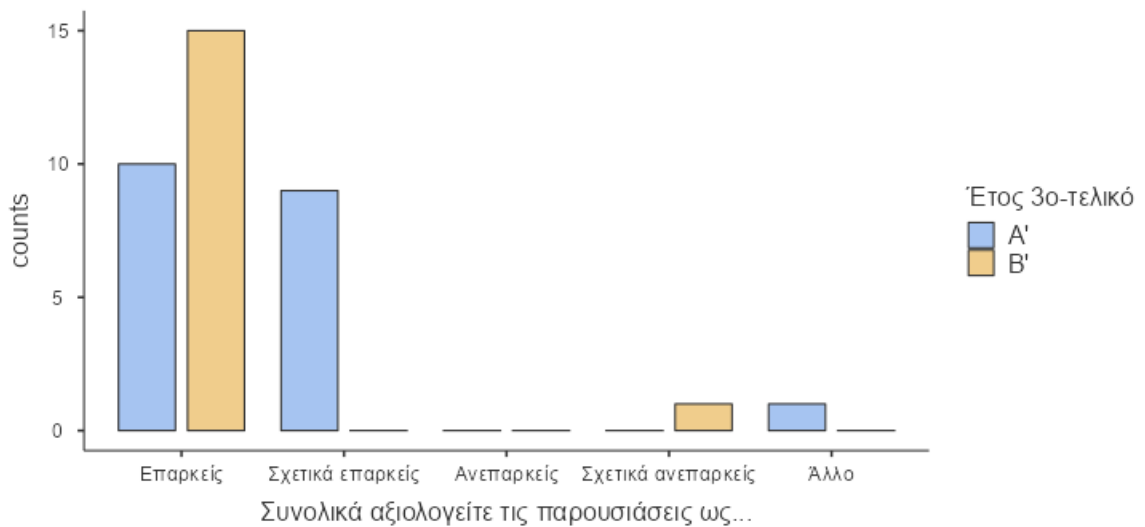
## Descriptives

Descriptives

	Έτος 3ο-τελικό	Συνολικά αξιολογείτε τις παρουσιάσεις ως...
N	A'	20
	B'	16
Missing	A'	0
	B'	0
Mean	A'	
	B'	
Median	A'	
	B'	
Standard deviation	A'	
	B'	
Minimum	A'	
	B'	
Maximum	A'	
	B'	

## Plots

Συνολικά αξιολογείτε τις παρουσιάσεις ως...



## Descriptives

Descriptives

	Έτος 3ο-τελικό	Κατανόηση άσκησης μετά την περάτωση της
N	A'	20
	B'	16
Missing	A'	0
	B'	0
Mean	A'	
	B'	
Median	A'	
	B'	
Standard deviation	A'	
	B'	
Minimum	A'	
	B'	
Maximum	A'	
	B'	

## Frequencies

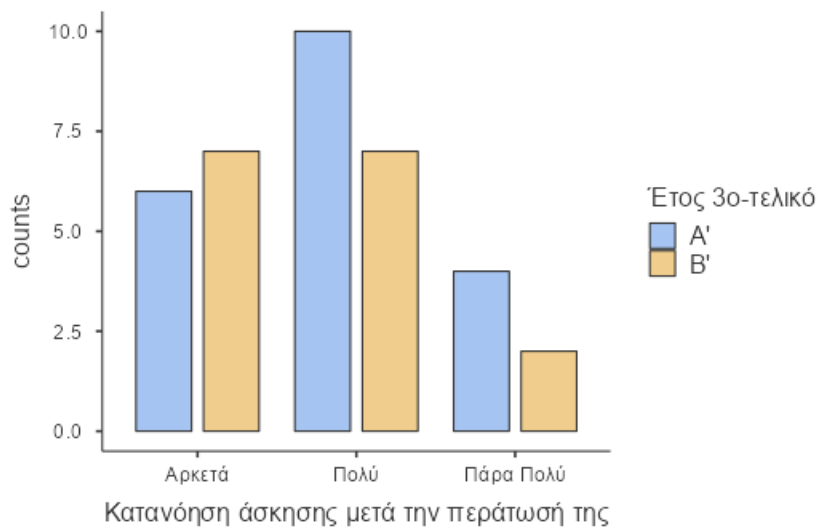
Frequencies of Κατανόηση άσκησης μετά την περάτωση της

Κατανόηση άσκησης μετά την περάτωση της	Έτος 3ο-τελικό	Counts	% of Total	Cumulative %
Αρκετά	A'	6	16.67 %	16.67 %
	B'	7	19.44 %	36.11 %
Πολύ	A'	10	27.78 %	63.89 %
	B'	7	19.44 %	83.33 %
Πάρα Πολύ	A'	4	11.11 %	94.44 %
	B'	2	5.56 %	100.00 %



## Plots

Κατανόηση άσκησης μετά την περάτωσή της



## Descriptives

Descriptives

---

Κατανόηση θεωρίας μέσω ασκήσεων	
N	40
Missing	36
Mean	
Median	
Standard deviation	
Minimum	
Maximum	

---

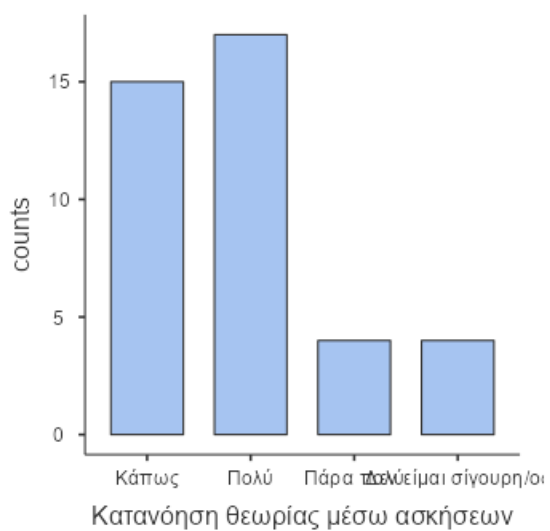
## Frequencies

Frequencies of Κατανόηση θεωρίας μέσω ασκήσεων

Κατανόηση θεωρίας μέσω ασκήσεων	Counts	% of Total	Cumulative %
Κάπως	15	37.50 %	37.50 %
Πολύ	17	42.50 %	80.00 %
Πάρα πολύ	4	10.00 %	90.00 %
Δεν είμαι σίγουρη/ος	4	10.00 %	100.00 %

## Plots

Κατανόηση θεωρίας μέσω ασκήσεων



## Descriptives

Descriptives

	Έτος εφαρμογής	Σαφήνεια ροής, οδηγίων και βημάτων
N	A'	60
	B'	16
Missing	A'	0
	B'	0
Mean	A'	
	B'	
Median	A'	
	B'	
Standard deviation	A'	
	B'	
Minimum	A'	
	B'	
Maximum	A'	
	B'	

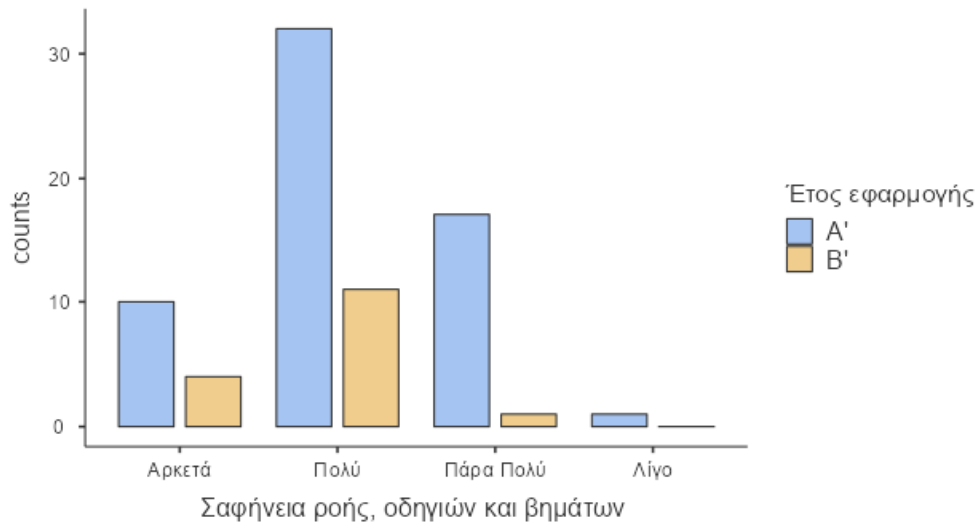
## Frequencies

Frequencies of Σαφήνεια ροής, οδηγίων και βημάτων

Σαφήνεια ροής, οδηγίων και βημάτων	Έτος εφαρμογής	Counts	% of Total	Cumulative %
Αρκετά	A'	10	13.16 %	13.16 %
	B'	4	5.26 %	18.42 %
Πολύ	A'	32	42.11 %	60.53 %
	B'	11	14.47 %	75.00 %
Πάρα Πολύ	A'	17	22.37 %	97.37 %
	B'	1	1.32 %	98.68 %
Λίγο	A'	1	1.32 %	100.00 %
	B'	0	0.00 %	100.00 %

## Plots

### Σαφήνεια ροής, οδηγιών και βημάτων



## Descriptives

### Descriptives

	Έτος - 2 και β	Επεξηγηματικότητα παρατηρήσεων γεννήτριας και παλμογράφου
N	A'	24
	B'	16
Missing	A'	0
	B'	0
Mean	A'	
	B'	
Median	A'	
	B'	
Standard deviation	A'	
	B'	
Minimum	A'	
	B'	
Maximum	A'	
	B'	

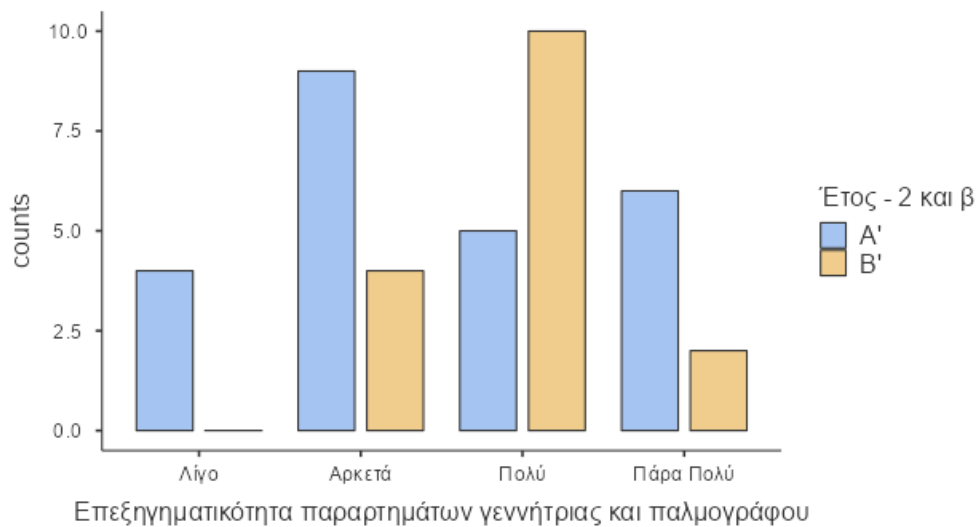
## Frequencies

Frequencies of Επεξηγηματικότητα παραρτημάτων γεννήτριας και παλμογράφου

Επεξηγηματικότητα παραρτημάτων γεννήτριας και παλμογράφου of Total	Έτος - 2 και β	Counts	%	Cumulative %
Λίγο	A'	4	10.00 %	10.00
	B'	0	0.00 %	10.00
Αρκετά	A'	9	22.50 %	32.50
	B'	4	10.00 %	42.50
Πολύ	A'	5	12.50 %	55.00
	B'	10	25.00 %	80.00
Πάρα Πολύ	A'	6	15.00 %	95.00
	B'	2	5.00 %	100.00

## Plots

Επεξηγηματικότητα παραρτημάτων γεννήτριας και παλμογράφου



## Descriptives

	Έτος - 2 και β	Κατανόηση θεωρίας μέσω ασκήσεων
N	A'	24
	B'	16
Missing	A'	0
	B'	0
Mean	A'	
	B'	
Median	A'	
	B'	
Standard deviation	A'	
	B'	
Minimum	A'	
	B'	
Maximum	A'	
	B'	

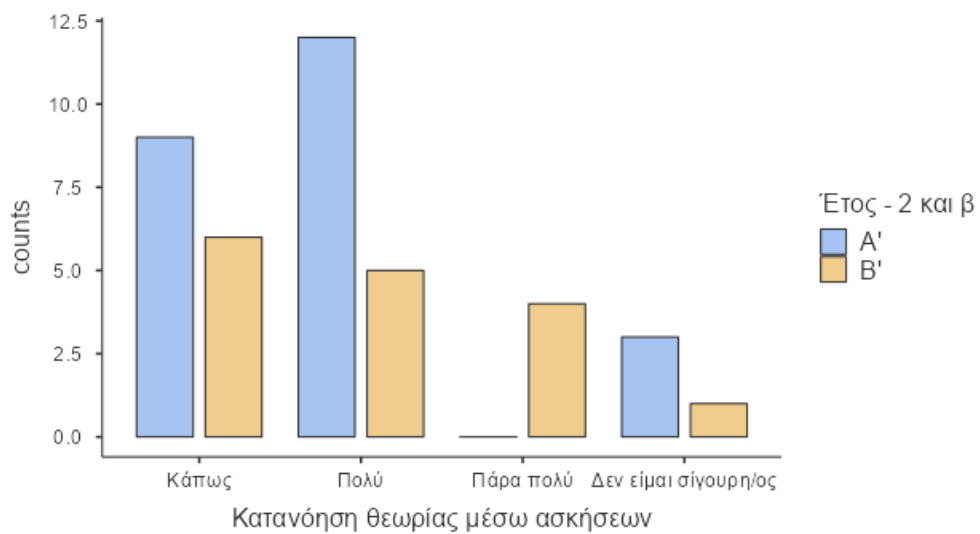
## Frequencies

Frequencies of Κατανόηση θεωρίας μέσω ασκήσεων

Κατανόηση θεωρίας μέσω ασκήσεων	Έτος - 2 και β	Counts	% of Total	Cumulative %
Κάπως	A'	9	22.50 %	22.50 %
	B'	6	15.00 %	37.50 %
Πολύ	A'	12	30.00 %	67.50 %
	B'	5	12.50 %	80.00 %
Πάρα πολύ	A'	0	0.00 %	80.00 %
	B'	4	10.00 %	90.00 %
Δεν είμαι σίγουρη/ος	A'	3	7.50 %	97.50 %
	B'	1	2.50 %	100.00 %

## Plots

### Κατανόηση θεωρίας μέσω ασκήσεων



## Descriptives

### Descriptives

	Έτος 3ο-τελικό	Ικανοποίηση από το πειραματικό σκέλος
N	A'	20
	B'	16
Missing	A'	0
	B'	0
Mean	A'	4,150
	B'	4,688
Median	A'	4,000
	B'	5,000
Standard deviation	A'	0,5871
	B'	0,4787
Minimum	A'	3
	B'	4
Maximum	A'	5
	B'	5

## Descriptives

		Έτος 3ο-τελικό	Ικανοποίηση από το πειραματικό σκέλος
N	A'		20
	B'		16
Missing	A'		0
	B'		0
Mean	A'		4.150
	B'		4.688
Median	A'		4.000
	B'		5.000
Standard deviation	A'		0.5871
	B'		0.4787
Minimum	A'		3
	B'		4
Maximum	A'		5
	B'		5

## Frequencies

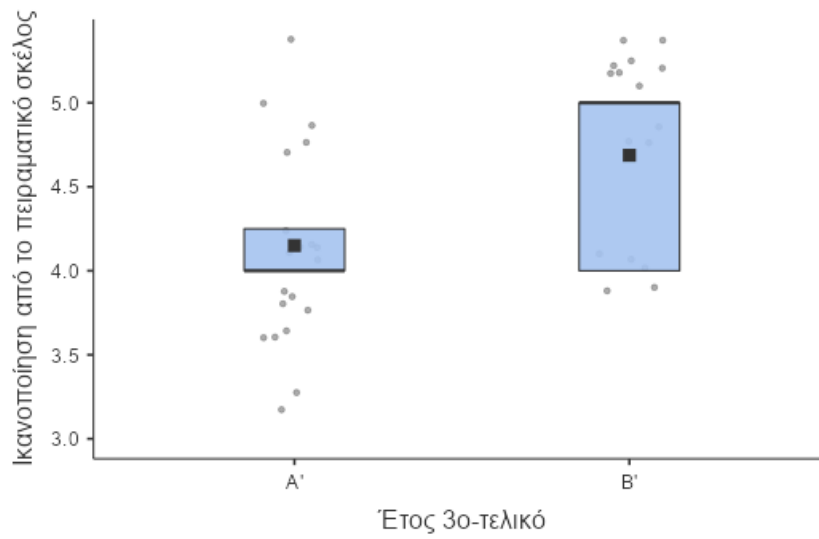
Frequencies of Ικανοποίηση από το πειραματικό σκέλος

Ικανοποίηση από το πειραματικό σκέλος	Έτος 3ο-τελικό	Counts	% of Total	Cumulative %
1	A'	0	0.00 %	0.00 %
	B'	0	0.00 %	0.00 %
2	A'	0	0.00 %	0.00 %
	B'	0	0.00 %	0.00 %
3	A'	2	5.56 %	5.56 %
	B'	0	0.00 %	5.56 %
4	A'	13	36.11 %	41.67 %
	B'	5	13.89 %	55.56 %
5	A'	5	13.89 %	69.44 %
	B'	11	30.56 %	100.00 %



## Plots

Ικανοποίηση από το πειραματικό σκέλος



## Independent Samples T-Test

Independent Samples T-Test

		Statistic	df	p
Ικανοποίηση από το πειραματικό σκέλος	Student's t	-2.957	34.00	0.0056

## Descriptives

Descriptives

	Έτος	Επάρκεια παραρτημάτων κυκλωμάτων - συνδεσμολογίας
N	A'	36
	B'	16
Missing	A'	0
	B'	0
Mean	A'	
	B'	
Median	A'	
	B'	
Standard deviation	A'	
	B'	
Minimum	A'	
	B'	
Maximum	A'	
	B'	

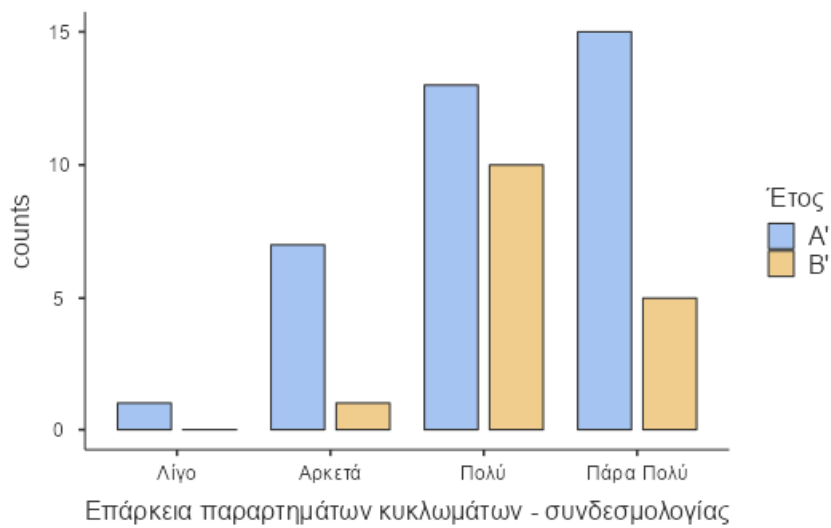
## Frequencies

Frequencies of Επάρκεια παραρτημάτων κυκλωμάτων - συνδεσμολογίας

Επάρκεια παραρτημάτων κυκλωμάτων - συνδεσμολογίας	Έτος	Counts	%	of	Total
		Cumulative %			
Λίγο	A'	1	1,92 %		1,92 %
	B'	0	0,00 %		1,92 %
Αρκετά	A'	7	13,46 %		15,38 %
	B'	1	1,92 %		17,31 %
Πολύ	A'	13	25,00 %		42,31 %
	B'	10	19,23 %		61,54 %
Πάρα Πολύ	A'	15	28,85 %		90,38 %
	B'	5	9,62 %		100,00 %

## Plots

### Επάρκεια παραρτημάτων κυκλωμάτων - συνδεσμολογίας



## Descriptives

Descriptives

	Έτος	Σαφήνεια παραρτήματος αντιστάσεων - manual πολυμέτρου
N	A'	36
	B'	16
Missing	A'	0
	B'	0
Mean	A'	
	B'	
Median	A'	
	B'	
Standard deviation	A'	
	B'	
Minimum	A'	
	B'	
Maximum	A'	
	B'	

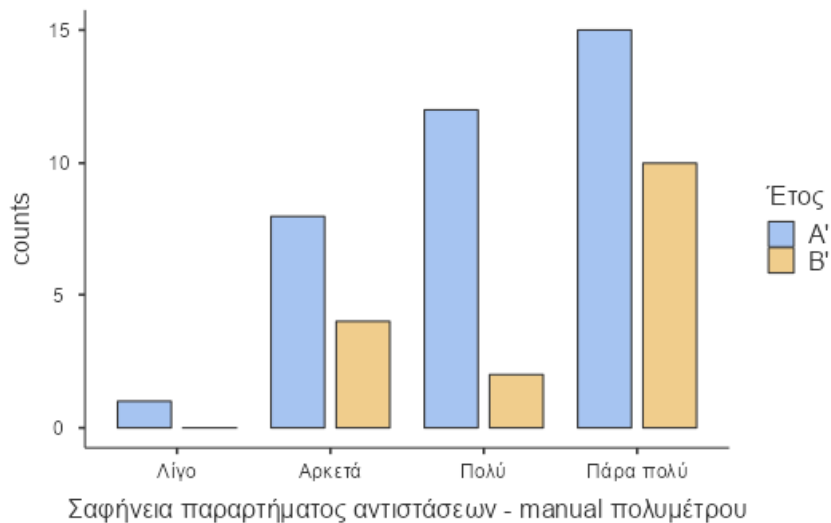
## Frequencies

Frequencies of Σαφήνεια παραρτήματος αντιστάσεων - manual πολυμέτρου

Σαφήνεια παραρτήματος αντιστάσεων - manual πολυμέτρου	Έτος	Counts	% of Total	
			%	Cumulative %
Λίγο	A'	1	1.92%	1.92%
	B'	0	0.00%	1.92%
Αρκετά	A'	8	15.38%	17.31%
	B'	4	7.69%	25.00%
Πολύ	A'	12	23.08%	48.08%
	B'	2	3.85%	51.92%
Πάρα πολύ	A'	15	28.85%	80.77%
	B'	10	19.23%	100.00%

## Plots

Σαφήνεια παραρτήματος αντιστάσεων - manual πολυμέτρου



## References

[1] The jamovi project (2022). *jamovi*. (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.

[2] R Core Team (2021). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org> (R packages retrieved from MRAN snapshot 2022-01-01).

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ**



# Εργαστήριο Κυκλωμάτων και Συστημάτων «Θεωρητικό μέρος»

## 1

## Θεμελιώδεις Έννοιες

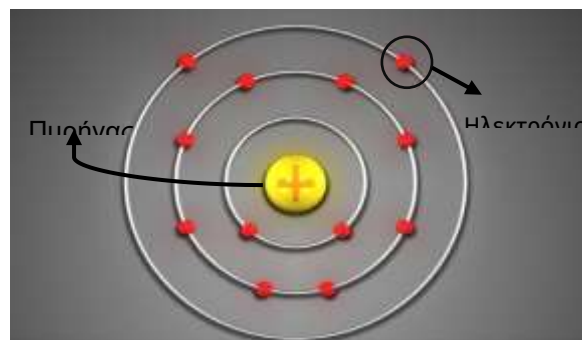
## 1.1 Δομή του ατόμου

Ξεκινώντας από την μικροσκοπική δομή της ύλης, όλα τα στερεά και υγρά αποτελούνται από άτομα. Με άλλα λόγια, η ύλη και τα υλικά αποτελούνται από εξαιρετικά μικρά σωματίδια (διαμέτρου  $\sim 1/10000\mu\text{m}$ ), τα **άτομα**. Τα άτομα, επιπλέον, συνδυάζονται μεταξύ τους για τον σχηματισμό μορίων. Η διαφορετικότητα των ατόμων (σύσταση, αναλογία, διάταξη) στα μόρια οδηγεί τελικά σε υλικά με διαφορετικές ιδιότητες. Θα αποτελούσε σοβαρή παράλειψη να μην τονίζαμε πως τα άτομα δεν καταστρέφονται ούτε αλλοιώνονται.

Για την περιγραφή της συμπεριφοράς των ατόμων χρησιμοποιήθηκαν διάφορα θεωρητικά μοντέλα, με επικρατέστερο και απλούστερο αυτό των Rutherford-Bohr. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, το κάθε άτομο αποτελείται από τον πυρήνα και το περίβλημά του (Σχήμα 29). Ο πυρήνας του ατόμου περιέχει πρωτόνια και νετρόνια, ενώ γύρω από αυτόν περιστρέφονται με μεγάλη ταχύτητα τα ηλεκτρόνια τα οποία στην ουσία αποτελούν και το περίβλημά του.

Ο πυρήνας έχει διάμετρο 100.000 φορές μικρότερη του περιβλήματος, περίπου μερικά χιλιοστά του pm ( $1\text{ pm} = 10^{-12}\text{m}$ ). Από την άλλη μεριά, η μάζα του ηλεκτρονίου είναι 1840 φορές μικρότερη από αυτή του πρωτονίου. Ελάχιστη μεγαλύτερη είναι η μάζα του νετρονίου σε σχέση με του πρωτονίου.

Τα **πρωτόνια** αποτελούν στοιχειώδη σωματίδια του πυρήνα και φέρουν θετικό φορτίο, μάλιστα το πιο μικρό ηλεκτρικό φορτίο-στοιχειώδες φορτίο,  $e^+=1,602\cdot 10^{-19}\text{ Coulomb}$ . Το φορτίο αυτό είναι ίσο με αυτό του ηλεκτρονίου αλλά αντίθετα φορτισμένο (ίσα ως προς το φορτίο και όχι ως προς την μάζα που αναφερθήκαμε προηγουμένως). Ο αριθμός των πρωτονίων καθορίζει το θετικό φορτίο του ατόμου. Τα **νετρόνια** είναι πυρηνικά σωματίδια που δεν φέρουν φορτίο και συγκρατούν τον πυρήνα. Τα **ηλεκτρόνια** αποτελούν αρνητικά φορτισμένα σωματίδια του περιβλήματος του ατόμου. Επομένως, γίνεται εύκολα αντιληπτό πως μεταξύ του πυρήνα (θετικά φορτισμένα σωματίδια) και των ηλεκτρονίων αναπτύσσονται και ασκούνται ελκτικές δυνάμεις Coulomb. Τα ηλεκτρόνια μπορούν να κινούνται μόνο σε συγκεκριμένες περιοχές γύρω από τον πυρήνα τις οποίες ονομάζουμε στοιβάδες. Ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων που μπορεί να βρίσκονται σε κάθε στοιβάδα δίνεται από την σχέση  $N=2n^2$  όπου  $n=1,2,3\dots$



Σχήμα 29, Δομή του ατόμου



Τα ηλεκτρόνια που εντοπίζονται στην τελευταία στοιβάδα (εξωτερική) ονομάζονται ηλεκτρόνια σθένους και είναι εκείνα που συμμετέχουν στον σχηματισμό χημικών δεσμών και άρα χημικών ενώσεων.

Κάθε ένα άτομο έχει διαφορετικό πυρηνικό φορτίο. Το φορτίο είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της τιμής φορτίου του πρωτονίου και χαρακτηρίζεται από αυτόν τον ακέραιο αριθμό ο οποίος ονομάζεται ατομικός αριθμός. Συμβολίζεται συνήθως με  $Z$  και είναι χαρακτηριστικός για κάθε άτομο. Χρειάζεται επίσης να τονισθεί πως τα άτομα προς το περιβάλλον τους θεωρούνται ηλεκτρικά ουδέτερα εφόσον περιέχουν τον ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων και πρωτονίων ώστε τα μεταξύ τους φορτία να αλληλοεξουδετερώνονται.

Τέλος, αν το άτομο έχει μεγαλύτερο αριθμό ηλεκτρονίων στο περίβλημά του από τον αριθμό των πρωτονίων στον πυρήνα του, παρουσιάζει περίσσεια ηλεκτρονίων (αρνητικά φορτισμένο) και το χαρακτηρίζουμε ως **αρνητικό ιόν**, αντίθετα αν έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων, είναι θετικά φορτισμένο και αποτελεί **θετικό ιόν**. Για να προκύψει θετικό ιόν θα πρέπει να δοθεί ενέργεια σε ένα από τα ηλεκτρόνια σθένους του ατόμου ώστε να αποσπαστεί από αυτό και να το εγκαταλείψει. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται **ενέργεια ιονισμού**.

## 1.2 Στερεά κατάσταση

Μέχρι τώρα ασχοληθήκαμε μεμονωμένα με το άτομο. Καθώς τα άτομα (ή μόρια, ιόντα) αποκτούν στενή επαφή μεταξύ τους καταλαμβάνοντας σταθερές θέσεις δημιουργούν ένα καλώς οριοθετημένο σχήμα που ουσιαστικά αποτελεί ένα στερεό. Οι δομικές μονάδες (άτομα, μόρια ή ιόντα) έλκονται μεταξύ τους αρκετά ισχυρά ώστε εν τέλει να δίνουν μια άκαμπτη ουσία. Το είδος έλξης τους (π.χ. διαμοριακές δυνάμεις, χημικοί δεσμοί κ.α.) καθορίζει τον τύπο του στερεού. Διακρίνουμε τέσσερις βασικούς τύπους στερεών (Σχήμα 30, αν και στα πλαίσια του παρόντος μαθήματος δεν απαιτείται εμβάθυνση):

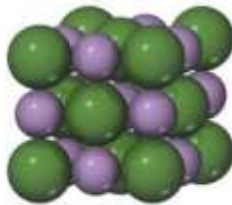
- ☒ **Μοριακό στερεό:** Αποτελείται από άτομα ή μόρια συγκροτούμενα από διαμοριακές δυνάμεις. Χρησιμοποιούνται ως μονωτές.
- ☒ **Μεταλλικό στερεό:** Αποτελείται από θετικά ιόντα συγκροτούμενα από μια θάλασσα ηλεκτρονίων που τα περιβάλλει (μεταλλικός δεσμός). Χρησιμοποιούνται κυρίως ως αγωγοί.
- ☒ **Ιοντικό στερεό:** Αποτελείται από κατιόντα και ανιόντα που συγκροτούνται από την ηλεκτρική έλξη των αντίθετων φορτίων (ιοντικοί δεσμοί). Χρησιμοποιούνται ως μονωτές.
- ☒ **Στερεό ομοιοπολικού πλέγματος:** Αποτελείται από άτομα τα οποία συγκροτούνται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς μέσα σε μεγάλα πλέγματα ή αλυσίδες. Χρησιμοποιούνται κυρίως ως μονωτές ή ημιαγωγοί

Αποτελεί κοινό τόπο πως πολλές από τις ιδιότητες των μετάλλων μπορούν να εξηγηθούν εφόσον δεχθούμε πως μερικά ηλεκτρόνια των ατόμων κινούνται σαν ένα ελεύθερο νέφος μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι από το σύνολο των ηλεκτρονίων ενός ατόμου,

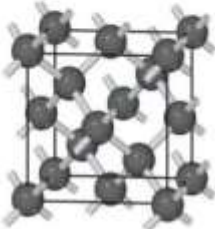
εκείνα που μπορούν να αποσπαστούν ευκολότερα από το άτομο είναι τα ηλεκτρόνια σθένους. Δεδομένης της απόστασης τους από τον πυρήνα, μιας και συνδέονται ασθενέστερα με αυτόν, μπορούν να απομακρυνθούν και να εγκαταλείψουν το άτομο στο οποίο ανήκουν. Υπο την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου, τα ηλεκτρόνια σθένους προσανατολίζουν την κίνησή τους κατά την διεύθυνση του πεδίου με αποτέλεσμα το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των μετάλλων οφείλεται στην κίνηση ηλεκτρονίων υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου.



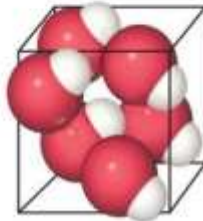
Μεταλλικό στερεό  
π.χ. χαλκός (Cu)



Ιοντικά στερεά  
π.χ. χλωριούχο νάτριο (NaCl)



Ομοιοπολικά στερεά  
π.χ. πυρίτιο (Si)



Μοριακά στερεά  
π.χ. νερό (H<sub>2</sub>O)

Σχήμα 30, Τύποι στερεών

### 1.3 Η αγωγιμότητα στα υλικά

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των υλικών τα κατηγοριοποιεί σε:

- ☑ Αγωγούς
- ☑ Μονωτές (ή διηλεκτρικά υλικά)
- ☑ Ημιαγωγούς (ενδιάμεση κατηγορία των δύο προηγούμενων)

Στους αγωγούς ανήκουν κυρίως τα μέταλλα, στα άτομα των οποίων μεταξύ των ηλεκτρονίων σθένους και του πυρήνα ασκούνται ασθενείς ελκτικές δυνάμεις Coulomb, με άλλα λόγια παρουσιάζουν μικρή ενέργεια ιοντισμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια (σθένους) να διασπώνται εύκολα από το άτομο στο οποίο ανήκουν και να περιφέρονται ελεύθερα μέσα στο εσωτερικό του μετάλλου. Βέβαια αυτό συμβαίνει μόνο για τα ηλεκτρόνια σθένους του ατόμου, καθώς τα υπόλοιπα (των εσωτερικότερων στοιβάδων) παραμένουν "αιχμάλωτα" του πυρήνα. Η κίνηση των ελευθέρων ηλεκτρονίων στο μέταλλο (Σχήμα 31) είναι απρόβλεπτη εξαιτίας των εκτροπών που υφίστανται τόσο από την αλληλεπίδρασή τους με άλλα φορτία όσο και από αλληλοσυγκρούσεις των ίδιων των ατόμων που εκτελούν άτακτες θερμικές ταλαντώσεις γύρω από τη θέση ισορροπίας τους. Μακροσκοπικά το σύνολο των ελεύθερων ηλεκτρονίων του μετάλλου δίνουν την αίσθηση ενός νέφους γύρω από τα ιονισμένα άτομα που συχνά καλείται ηλεκτρονιακό νέφος. Το νέφος αυτό προσδίδει υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα και ως εκ τούτου τα μέταλλα θεωρούνται πολύ καλοί **αγωγοί**.

Οι δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ αυτού του ηλεκτρονιακού νέφους και των ιονισμένων ατόμων είναι πολύ ισχυρές και σχηματίζουν αυτό που ονομάζουμε μεταλλικό δεσμό.

Δε συμβαίνει όμως το ίδιο με την πλειοψηφία των στερεών μοριακής κατασκευής μιας και τα ηλεκτρόνια είναι ισχυρά συνδεδεμένα με τον πυρήνα. Τα υλικά αυτά αποτελούν τους **μονωτές**. Μολαταύτα και στους μονωτές εντοπίζονται ελεύθερα ηλεκτρόνια αλλά ο πληθυσμός τους είναι εξαιρετικά μικρός.

Η τελευταία κατηγορία υλικών είναι η ενδιάμεση αγωγού -μονωτή και ονομάζονται **ημιαγωγοί**. Στους ημιαγωγούς στηρίχθηκε ολόκληρη η επιστήμη της ηλεκτρονικής και θα εμβαθύνετε σε αυτή στο αντίστοιχο μάθημα μεγαλύτερου εξαμήνου.



Στα υλικά αυτά η αγωγιμότητα ελέγχεται μέσω προσμίξεων που ενσωματώνουμε στο υλικό. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται τα στοιχεία (μέταλλα, μεταλλοειδή) των περιόδων 3,5 - 6,2 του περιοδικού πίνακα, με

γνωστότερο όλων το πυρίτιο (Si). Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που μετακινούνται εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Ως εκ τούτου σε χαμηλές θερμοκρασίες συμπεριφέρεται ως μονωτής ενώ σε υψηλές ως καλός αγωγός.

#### 1.4 Ηλεκτρικό ρεύμα στα μέταλλα

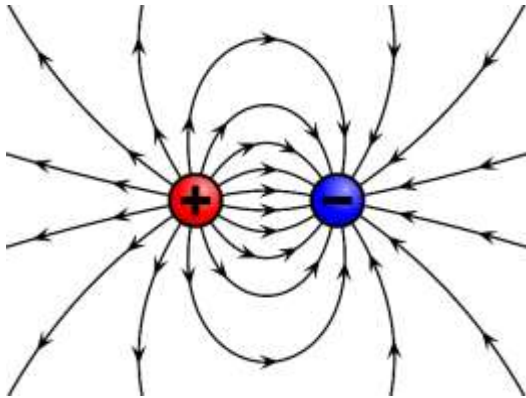
Η αιτία για όλες τις ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις στον κόσμο γύρω μας είναι το **ηλεκτρικό φορτίο**. Αποτελεί θεμελιώδη φυσική ποσότητα, την οποία αν και δεν είμαστε σε θέση να περιγράψουμε, αποτελεί τον θεμέλιο λίθο του Ηλεκτρομαγνητισμού. Η ύπαρξη του φυσικού αυτού μεγέθους είναι ευρέως αποδεκτή, αφού καταφέραμε να ερμηνεύσουμε όλα τα ηλεκτρικά φαινόμενα. Θυμηθείτε από τα μαθητικά σας χρόνια ακόμη το πείραμα τριβής του γυαλιού με μεταξωτό ύφασμα. Παρατηρήσατε αλλά και διαπιστώσατε πως με την τριβή το γυαλί αποκτά ηλεκτρικό φορτίο, δηλαδή την ικανότητα να έλκει μικρά τεμάχια χαρτιού ή να απωθεί μια δεύτερη ράβδο γυαλιού η οποία είχε αποκτήσει ηλεκτρικό φορτίο και η ίδια μέσω της τριβής. Ο Αμερικανός φυσικός Benjamin Franklin (1706-1790), όρισε για πρώτη φορά τις δύο διαφορετικές φύσεις του ηλεκτρικού φορτίου, ονομάζοντας τες **θετικό και αρνητικό** φορτίο αντίστοιχα.

Βασική αρχή του ηλεκτρισμού που ισχύει πάντα, είναι ότι τα ετερόνυμα φορτία έλκονται, δηλαδή αναπτύσσεται μεταξύ τους μια ελκτική δύναμη που τείνει να φέρει το ένα πιο κοντά στο άλλο.

Αντιθέτως, τα ομώνυμα φορτία απωθούνται, δηλαδή αναπτύσσεται μεταξύ τους μια απωστική δύναμη, η οποία τείνει να απομακρύνει το ένα από το άλλο.

Κοντά σ' αυτό, ας σημειωθεί ακόμη η **αρχή διατήρησης του φορτίου** σύμφωνα με την οποία το ηλεκτρικό φορτίο οποιουδήποτε απομονωμένου συστήματος είναι σταθερό. Βασικό συμπέρασμα της θεμελιώδους αυτής αρχής του ηλεκτρισμού είναι πως το φορτίο μπορεί να μεταφέρεται από ένα σημείο ενός συστήματος σε ένα άλλο ή από ένα σώμα σε ένα άλλο σώμα, όμως ποτέ δεν καταστρέφεται ούτε δημιουργείται.

Με αφετηρία τη διαπίστωση αυτή, έχει παρατηρηθεί πως σε κάποιο σημείο του χώρου όπου ήδη υπάρχει κάποιο φορτίο (ή φορτία) και έχει τοποθετηθεί και κάποιο άλλο, τότε στο νέο φορτίο ασκείται δύναμη μέσω ενός ανυσματικού πεδίου δυνάμεων. Η περιοχή του χώρου αυτού εντός του οποίου ασκείται δύναμη σε ηλεκτρικά φορτία ονομάζεται **ηλεκτρικό πεδίο**. Ως ένταση  $E$  του ηλεκτρικού πεδίου σ' ένα σημείο του, ορίζεται ως η δύναμη που εξασκείται στη μονάδα του θετικού φορτίου  $q$  που βρίσκεται στο σημείο  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ . Η μονάδα έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σύστημα SI είναι το Newton/C ή το Volt/m.



Πέρα από τον μαθηματικό προσδιορισμό του ηλεκτρικού πεδίου μπορούμε να το οπτικοποιήσουμε χρησιμοποιώντας νοητές γραμμές (Σχήμα 32) οι οποίες μας δίνουν πληροφορίες σχετικά με την διεύθυνση, τη φορά και το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου, ενώ η πυκνότητά τους αντιστοιχεί στην ισχύροτητα του πεδίου.

Αν τώρα δεν χρησιμοποιήσουμε το άνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που ασκείται σε ένα

φορτίο αλλά ένα βαθμωτό μέγεθος σχετιζόμενο με την ενέργεια, τότε προκύπτει το ηλεκτρικό δυναμικό  $u$ . Ακριβέστερα, η ενέργεια ανά μονάδα φορτίου που απαιτείται για να μεταφερθεί το φορτίο στο θεωρούμενο σημείο από κάποιο άλλο σημείο μηδενικού δυναμικού ονομάζεται δυναμικό. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ δυο σημείων του παραπάνω χώρου δείχνει την ενέργεια που η μονάδα του φορτίου αποκτά ή χάνει, κατά τη μετακίνησή της από το ένα σημείο στο άλλο.

Ορίζεται ως  $u_{AB} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$  και η μονάδα μέτρησης του δυναμικού στο σύστημα SI είναι το V (Volt) που ισούται με Joule/Coulomb.

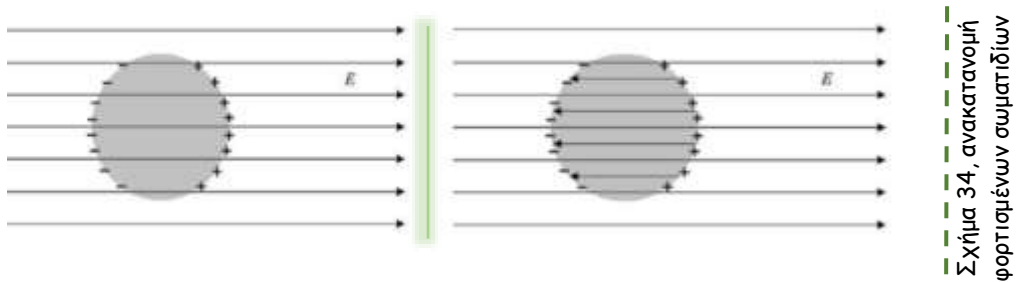
Κλείνοντας την σύντομη εισαγωγή στις παραπάνω έννοιες, ας στρέψουμε τώρα την προσοχή μας στα μέταλλα. Με σημείο αναφοράς την ενότητα της στερεάς κατάστασης, μπορούμε να πούμε πως ένα μέταλλο ουσιαστικά συγκροτείται από δύο στοιχεία: Από ένα πλέγμα θετικών ιόντων τα οποία καταλαμβάνουν μια σταθερή θέση στο χώρο και ταυτόχρονα από έναν αντίστοιχο αριθμό ελεύθερων κινούμενων ηλεκτρονίων ώστε τα θετικά και αρνητικά φορτία να αλληλοεξουδετερώνονται.

Ας εξετάσουμε, λοιπόν, τι θα συμβεί αν εκθέσουμε έναν μεταλλικό αγωγό μέσα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο. Αρχικά θεωρούμε μια περιοχή του χώρου στην οποία υπάρχει ένα ομοιόμορφο ηλεκτρικό

πεδίο (Σχήμα 33). Ας υποθέσουμε τώρα πως τοποθετούμε μέσα σε αυτό έναν ιδανικό μεταλλικό σφαιρικό αγωγό.

Τα σωματίδια του αγωγού (ελεύθερα ηλεκτρόνια) ενώ αρχικά βρίσκονται σε ηρεμία-ισορροπία, με την τοποθέτηση αυτού μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο, εξαναγκάζονται σε κίνηση

εξαιτίας την δύναμης που τους ασκείται από το ηλεκτρικό πεδίο. Έτσι κινούνται προς τα αριστερά, αφήνοντας δεξιά ένα ισόποσο πλεόνασμα θετικού φορτίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανακατανομή των φορτισμένων σωματιδίων (Σχήμα 34). Κατόπιν, τα φορτισμένα σωματίδια λόγω της ανακατανομής τους δημιουργούν το δικό τους ηλεκτρικό πεδίο (κινούμενα δεξιά προς αριστερά) στο εσωτερικό του αγωγού το οποίο και αντισταθμίζει το εξωτερικό πεδίο.

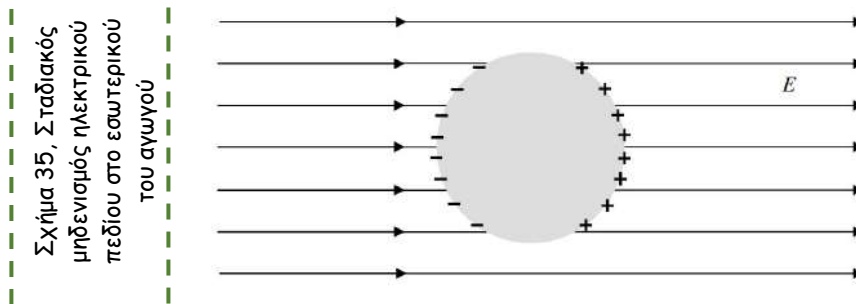


Καθώς εξελίσσεται ο διαχωρισμός των θετικών από τα αρνητικά φορτία, τόσο αυξάνει και η ένταση του εσωτερικού πεδίου. Επομένως το συνολικό ηλεκτρικό πεδίο σε κάθε σημείο του μεταλλικού αγωγού, είναι το διανυσματικό άθροισμα του αρχικού ηλεκτρικού πεδίου και του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργήθηκε εξ αιτίας της ανακατανομής. Βέβαια, λόγω της αντίθετης κατεύθυνσης των δύο αυτών πεδίων έχουμε την αλληλεξουδετέρωσή τους. Με άλλα λόγια, οι δύο συνεισφορές του ηλεκτρικού πεδίου σε κάθε σημείο του μεταλλικού αγωγού εξαλείφουν η μία την άλλη, οι δύο εντάσεις είναι ίσες και πλέον επέρχεται ισορροπία.

Εύκολα λοιπόν μπορούμε να συλλογιστούμε πως αν δεν συνέβαινε αυτή η αλληλεξουδετέρωση, τότε τα ελεύθερα κινούμενα φορτία στον μεταλλικό αγωγό θα εξαναγκάζονταν σε κίνηση μόνο από τις δυνάμεις που τους ασκεί το εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο. Οι δυνάμεις λοιπόν που ασκούνται στα φορτία είναι πάντα σε μια κατεύθυνση που προκαλούν τα φορτία να αναδιανεμηθούν σε νέες θέσεις στις οποίες και θα δημιουργήσουν εν τέλει το δικό τους ηλεκτρικό πεδίο, ηλεκτρικό πεδίο το οποίο από την άλλη προσπαθεί να εξουδετερώσει το ηλεκτρικό πεδίο που του προκάλεσε την κίνηση.

Πρέπει να σημειωθεί πως κάθε φορτίο δεν θα σταματήσει να αντιδρά στο ηλεκτρικό πεδίο, μέχρις ότου το καθαρό ηλεκτρικό πεδίο σε κάθε σημείο, εντός του μεταλλικού αγωγού μηδενισθεί. Τελικά το ηλεκτρικό πεδίο σε κάθε σημείο στο εσωτερικό του αγωγού τείνει στο μηδέν και το ολικό

φορτίο μηδενίζεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την τελική ανακατανομή του φορτίου όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 35).



Σχήμα 35, Σταδιακός μηδενισμός ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του αγωγού

Καθώς λοιπόν περιγράψαμε διεξοδικά την έκθεση ενός μεταλλικού αγωγού σε ένα ομογενές ηλεκτρικό πεδίο και την επίδραση αυτού στα φορτία του αγωγού, ταυτόχρονα χωρίς να το συνειδητοποιούμε περιγράψαμε το ηλεκτρικό ρεύμα.

Αν και η χρονική διάρκεια από την είσοδο και έκθεση του μεταλλικού αγωγού στο ηλεκτρικό πεδίο, μέχρι την αποκατάσταση της τελικής ισορροπίας είναι απειροελάχιστη, σε αυτή την τόσο σύντομη χρονική στιγμή η εξαναγκασμένη κατευθυνόμενη κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων από την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου, παράγει στιγμιαία ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Αν με κάποιο τρόπο καταφέρναμε να διατηρήσουμε την κατάσταση μη ισορροπίας των φορέων, τότε θα συντηρούσαμε το ηλεκτρικό ρεύμα. Για να το πετύχουμε αυτό χρησιμοποιούμε έναν αντλητικό μηχανισμό ο οποίος συλλέγει τα ηλεκτρόνια από τα αριστερά και τα επανατοποθετεί στα δεξιά. Ο μηχανισμός αυτός είναι γνωστός ως ηλεκτρική πηγή. Με τον τρόπο αυτό έχουμε στα άκρα του μεταλλικού αγωγού μια σταθερή διαφορά δυναμικού και στο εσωτερικό του την εμφάνιση ενός ηλεκτρικού πεδίου.

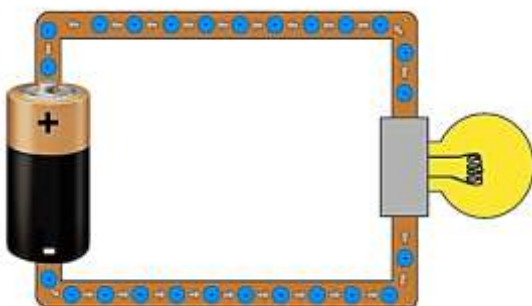
Έστω το πιο απλό κύκλωμα, ένας λαμπτήρας, καλώδιο και μία πηγή (Σχήμα 36). Υλοποιώντας την σύνδεση, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μετάλλου, σχεδόν ταυτόχρονα σε ολόκληρο το κύκλωμα τίθενται σε κίνηση με την ίδια φορά, μιας και ο αρνητικός πόλος της πηγής από την μια, απωθεί τα ηλεκτρόνια να προχωρήσουν προς το κύκλωμα ενώ ο θετικός από την άλλη τα ελκύει,

αφαιρώντας τα από το κύκλωμα. Αν από μια διατομή του αγωγού διέρχεται σε ένα χρόνο  $dt$  (second) φορτίο  $dq$  (coulomb), τότε ο ρυθμός μεταβολής του φορτίου είναι  $dq/dt$ . Συνεπώς, το ρεύμα ισούται με  $i = dq/dt$  και η έντασή του είναι συνεχώς αυξανόμενη όσο περισσότερα ηλεκτρόνια διαπερνούν ανά δευτερόλεπτο την διατομή του αγωγού. Η μονάδα του  $i$  είναι το A (Ampere), που ορίζεται ως το φορτίο ενός Coulomb που διέρχεται

από μια διατομή σε χρόνο ενός sec.

Από τα παραπάνω είναι εμφανές πως η φορά της κίνησης των ηλεκτρονίων είναι από τον αρνητικό πόλο της πηγής προς τον θετικό. Η φορά αυτή αποτελεί την **πραγματική φορά του ρεύματος**,

Σχήμα 36, Κύκλωμα πηγής - λαμπτήρα



ωστόσο έχει καθιερωθεί (σε μια εποχή που δεν είχαμε ακόμη γνώση για την κίνηση των φορέων) ως φορά η αντίθετη, δηλαδή από το θετικό πόλο της πηγής προς τον αρνητικό (**συμβατική φορά**). Ως φορά λοιπόν του ηλεκτρικού ρεύματος στους μεταλλικούς αγωγούς θα θεωρούμε την αντίθετη από τη φορά κίνησης των ελεύθερων ηλεκτρονίων (**συμβατική φορά**).

## 1.5 Βασικές ηλεκτρικές ποσότητες

### Ρεύμα (current)

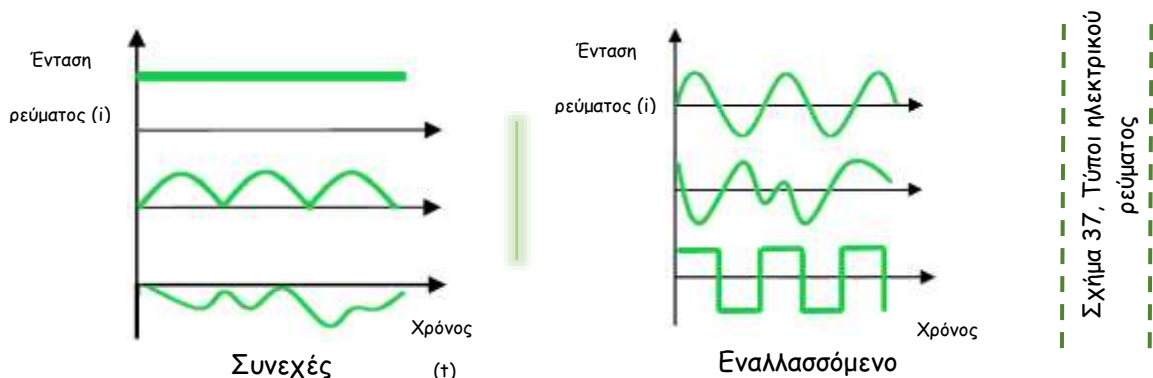
Την προσανατολισμένη κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων την ονομάσαμε **ηλεκτρικό ρεύμα**. Το ηλεκτρικό ρεύμα  $i$  ρέει σε έναν αγωγό όταν το ηλεκτρικό φορτίο  $q$  μεταφέρεται από ένα σημείο σε ένα άλλο μέσα σε αυτόν τον αγωγό και ορίζεται με δύο χαρακτηριστικές ιδιότητες, την ένταση και την φορά του. Ορίζοντας μια διατομή σε αυτό τον αγωγό τότε μπορούμε να πούμε πως ρεύμα έντασης  $i$  είναι το όριο του λόγου του καθαρού θετικού<sup>1</sup> φορτίου  $\Delta q$  που διέρχεται από αυτή την διατομή, διαιρούμενο με την αντίστοιχη χρονική διάρκεια  $\Delta t$ , καθώς το  $\Delta t$  τείνει στο μηδέν. Το αποτέλεσμα είναι να θεωρήσουμε το ρεύμα σαν ταχύτητα μεταβολής του ηλεκτρικού φορτίου.

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

Μονάδα του ηλεκτρικού ρεύματος είναι το Ampere ( $1A = 1 \frac{Cb}{s}$ )

Ανάλογα με την εξάρτηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος από τον χρόνο διακρίνουμε το ηλεκτρικό ρεύμα σε διάφορα είδη (Σχήμα 37).

Αν το ρεύμα μένει πάντοτε θετικό ή πάντοτε αρνητικό σε σχέση με τον χρόνο (σταθερή πολικότητα) τότε ονομάζεται **συνεχές ρεύμα**. Αντίθετα, όταν το ρεύμα επαναλαμβάνεται περιοδικά και η καμπύλη του περικλείει με τον οριζόντιο άξονα θετικές και αρνητικές τιμές (μεταβαλλόμενη πολικότητα) τότε ονομάζεται **εναλλασσόμενο**.



Τάση

### (voltage)

Ως διαφορά δυναμικού ή τάση, καλείται το έργο (1 joule) που απαιτείται για την μετακίνηση ενός φορτίου  $q$  από ένα σημείο A (-) σε ένα σημείο B (+) του ηλεκτρικού πεδίου προς το φορτίο  $q$ . Αν

δύο σημεία ενός κυκλώματος παρουσιάζουν διαφορά δυναμικού  $v$  με ένα φορτίο  $q$  να μεταφέρεται μεταξύ των δύο σημείων τότε παράγεται έργο  $qv$ . Συγκεκριμένα:

$$\Delta v = v_A - v_B = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q} \text{ δηλαδή} \quad v_{AB} = \frac{dw}{dq} = -v_{BA}$$

Μονάδα της τάσης είναι το Volt ( $1V = 1 \frac{J}{Cb}$ )

Η τάση αποτελεί μέγεθος προσημασμένο εξαρτώμενο από την πολικότητα που έχει επιλεγεί. Θα το αναλύσουμε σε επόμενο κεφάλαιο.

Συσκευές όπως μία μπαταρία προκαλούν διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων ενός κυκλώματος και ονομάζονται "πηγές ηλεκτρεγερτικής δύναμης" (ΗΕΔ). Εάν τα φορτία, καθώς περνούν από τον ακροδέκτη μιας πηγής με χαμηλότερο δυναμικό, προς τον ακροδέκτη με υψηλότερο δυναμικό απορροφούν ηλεκτρική ενέργεια από αυτή, δηλαδή τους παρέχει έργο, λέμε πως η πηγή παρουσιάζει ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ). Όταν η πηγή τάσης δεν τροφοδοτεί με ρεύμα κάποιο εξωτερικό κύκλωμα η ΗΕΔ της ισούται με την διαφορά δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών της και είναι η μέγιστη δυνατή τάση που μπορεί να παρέχει η μπαταρία μεταξύ των πόλων της (πολική τάση). Ο όρος ΗΕΔ δεν υποδηλώνει κάποια ασκούμενη δύναμη, αλλά την ενέργεια που παρέχει η μπαταρία και είναι αναγκαία για την κίνηση των φορτίων.

### Ισχύς (power)

Η ηλεκτρική ισχύς αποτελεί το γινόμενο της εφαρμοζόμενης τάσης σε κάποιο στοιχείο επί το ρεύμα που οφείλεται σε αυτή.

$$p = \frac{dw}{dq} = V_{AB} \frac{dq}{dt} = V_{AB} \cdot i$$

Παρατηρούμε πως αποτελεί το γινόμενο της τάσης μεταξύ δύο σημείων (ενός κυκλωματικού στοιχείου) πολλαπλασιαζόμενο με το ρεύμα που το διαρρέει.

Μονάδα ισχύος είναι το Watt ( $1W=1V \cdot 1A$ )

Συμπληρωματικά, εάν η ισχύς είναι περιοδική συνάρτηση του χρόνου  $t$  με περίοδο  $T$  τότε ορίζουμε την μέση ισχύ:

$$P = V(t) \cdot i(t) = \frac{1}{T} \int_0^T p dt$$

### Ενέργεια (energy)

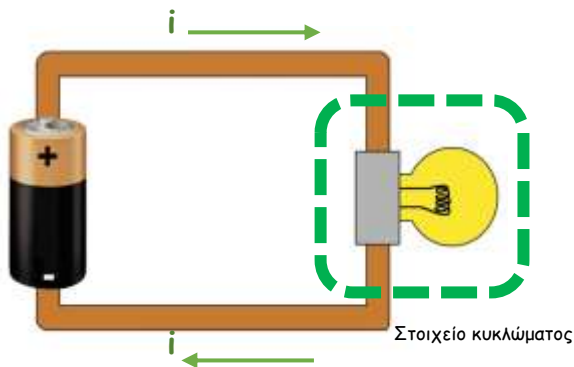
Η ενέργεια αντιπροσωπεύει την δυνατότητα παραγωγής έργου. Ουσιαστικά η ισχύς αποτελεί την ανά μονάδα χρόνου μεταφερόμενη ή καταναλισκόμενη ενέργεια  $p = \frac{dw}{dt}$ , και αν ορίσουμε ένα χρονικό διάστημα  $[t_1, t_2]$  μέσα στο οποίο μεταφέρεται ή καταναλώνεται η ενέργεια αυτή τότε θα είναι:

$$w = \int_{t_1}^{t_2} p dt$$

Μονάδα ενέργειας είναι το Joule ( $1J=1V \cdot 1Cb$ )



Αν η ενέργεια είναι θετική, σημαίνει πως η ενέργεια προστέθηκε στο στοιχείο ενώ αν είναι αρνητική πως αφαιρέθηκε από αυτό. Είδαμε πως η απλούστερη μορφή κυκλώματος, είναι ένας λαμπτήρας συνδεδεμένος με μια πηγή. Ο λαμπτήρας αποτελεί στοιχείο του κυκλώματος.



Θυμηθείτε επίσης πώς ορίσαμε προηγουμένως την διεύθυνση του ρεύματος ως την διεύθυνση ροής θετικών φορτίων. Με αφετηρία την παραδοχή αυτή, μπορούμε να πούμε πως ένα στοιχείο κυκλώματος μπορεί να απορροφά ή να αποδίδει ενέργεια στο υπόλοιπο κύκλωμα. Θεωρούμε λοιπόν πως η ενέργεια ή η ισχύς στο στοιχείο αυτό είναι θετική, αν απορροφά από το κύκλωμα, δηλαδή το ρεύμα στο στοιχείο αυτό

έχει διεύθυνση από τον θετικό προς τον αρνητικό πόλο της πηγής (διεύθυνση προς μειούμενο δυναμικό), ενώ είναι αρνητική όταν αποδίδεται στο υπόλοιπο κύκλωμα και το ρεύμα του έχει κατεύθυνση από το αρνητικό προς το θετικό (διεύθυνση προς αυξανόμενο δυναμικό).

## 2

## Ορισμοί και παράμετροι κυκλωμάτων

### 2.1 Βασικοί ορισμοί

**Κύκλωμα:** Αποτελεί σύνολο στοιχείων (πηγές τάσης, ρεύματος, αντιστάσεις) που έχουν συνδεθεί μεταξύ τους και διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα.

**Δίκτυο:** Συνήθως αποτελεί ένα πολύπλοκο κύκλωμα ή σύνθετα κυκλώματα διασυνδεδεμένα μεταξύ τους.

**Δικτύωμα:** Συνδυασμός πηγών με διάφορα στοιχεία, εκ των οποίων τουλάχιστον ένα δεν διαπερνάται από ρεύμα, δηλαδή δεν ανήκει σε κλειστό ηλεκτρικό δρόμο.

**Διέγερση:** Αποτελεί πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (πηγή τάσης ή ρεύματος) που τροφοδοτεί το κύκλωμα

**Απόκριση:** οποιοδήποτε τμήμα ενός αγωγού, άκρα ενός στοιχείου ή μεταξύ δυο σημείων ενός κυκλώματος στα οποία παρατηρείται τάση ή ρεύμα και τα οποία είναι αποτέλεσμα διέγερσης

**Ανάλυση:** αποτελεί τον προσδιορισμό όλων των τάσεων και ρευμάτων σε κάθε στοιχείο του κυκλώματος με δεδομένη κάποια από τις διεγέρσεις.

**Σύνθεση:** η διαδικασία του προσδιορισμού (με δοθείσες την διέγερση και την απόκριση) των στοιχείων ενός κυκλώματος καθώς και του μεταξύ τους τρόπου συνδεσμολογίας.

### 2.2 Κατηγοριοποίηση στοιχείων

Αν σε κάποιο στοιχείο ενός κυκλώματος διοχετεύσουμε ηλεκτρική ενέργεια τότε αυτό ανταποκρίνεται είτε καταναλώνοντάς την, είτε αποθηκεύοντας την είτε με συνδυασμό των παραπάνω. Με δεδομένα τα παραπάνω, αν όλη η ενέργεια καταναλώνεται σε ένα στοιχείο ( ή μετατρέπεται π.χ σε θερμική) λέμε πως το στοιχείο αυτό συμπεριφέρεται ως **καθαρός αντιστάτης**. Από την άλλη μεριά, αν η ενέργεια αυτή αποθηκεύεται σε μορφή μαγνητικού πεδίου τότε λέμε πως το στοιχείο αυτό συμπεριφέρεται ως **καθαρός επαγωγέας**. Τέλος, αν η ενέργειά του αποθηκεύεται σε μορφή ηλεκτρικού πεδίου τότε το στοιχείο αυτό αποτελεί **καθαρό πυκνωτή**. Ας σημειωθεί ακόμη ότι ένα στοιχείο του κυκλώματος μπορεί να παρουσιάζει ένα συνδυασμό των

παραπάνω ιδιοτήτων. Για παράδειγμα το πηνίο, ενώ τα τυλίγματά του παρουσιάζουν επαγωγή, μπορεί το σύρμα να έχει και κάποια αντίσταση.

Τα στοιχεία ενός κυκλώματος από ενεργειακή σκοπιά διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

**Στα ενεργητικά:** στοιχεία τα οποία παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια. Τέτοια στοιχεία αποτελούν οι πηγές τάσης και ρεύματος.

**Στα παθητικά:** τα οποία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Εκείνα τα οποία δεν παρέχουν ενέργεια αλλά μόνο καταναλώνουν, και σε εκείνα που αποθηκεύουν ενέργεια, την οποία δύνανται να αποδώσουν. Τέτοια στοιχεία αποτελούν ο πυκνωτής, η αντίσταση και το πηνίο.

Για την πληρότητα, αξίζει επιπλέον να αναφερθούμε στα **αμφίπλευρα στοιχεία**, στοιχεία τα οποία για ορισμένη δεχόμενη διέγερση λαμβάνουμε ως αποτέλεσμα ορισμένη απόκριση, ειδικότερα για ίση και αντίθετη διέγερση έχουμε ίση και αντίθετη απόκριση από το στοιχείο αυτό. Οφείλουμε επίσης να αναφέρουμε τα **γραμμικά στοιχεία**, στοιχεία στα οποία το ρεύμα που διέρχεται από αυτά είναι ίσο με την τάση που το προκάλεσε ή και το αντίστροφο. Ένα γραμμικό στοιχείο είναι αναγκαστικά αμφίπλευρο ενώ το αντίστροφο δεν ισχύει πάντα, δηλαδή ένα αμφίπλευρο δεν είναι αναγκαστικά και γραμμικό. Παράδειγμα αμφίπλευρου στοιχείου είναι η ωμική αντίσταση που η τιμή της εξαρτάται από την θερμοκρασία αλλά και από το ρεύμα που την διαρρέει μιας και προκαλεί την θέρμανση της. Υπο το πρίσμα αυτό δεν αποτελεί γραμμικό στοιχείο, ωστόσο με όποια πολικότητα τάσης και να την τροφοδοτήσουμε θα πάρουμε ίδιας έντασης ρεύμα, όμως και θα μεταβάλλεται μόνο η φορά του σε κάθε περίπτωση.

Παρακάτω θα αναλύσουμε λεπτομερώς το κάθε στοιχείο του κυκλώματος που αναφέραμε προηγουμένως.

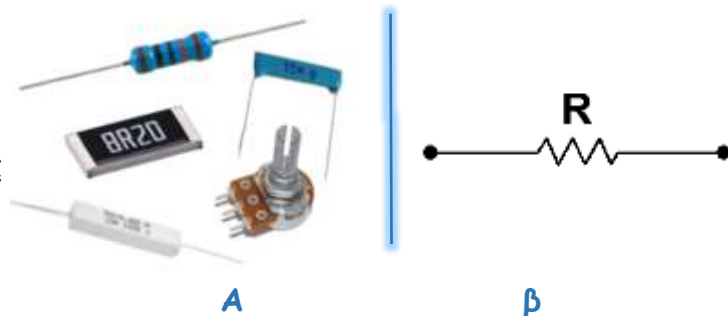
### 2.3 Ανάλυση παραμέτρων κυκλωμάτων

#### Αντίσταση R

Οι αντιστάσεις είναι κυκλωματικά στοιχεία διαφόρων μετάλλων όπως ο χαλκός που εμφανίζουν δυσκολία (αντίσταση - resistance) στην ροή του ηλεκτρικού φορτίου μέσα από αυτές. Η ιδιότητα αυτή μετράται σε Ohm και ονομάζεται τιμή αντίστασης. Καθώς οι φορείς ρέουν στο εσωτερικό του μετάλλου παράγεται θερμική ενέργεια.

Το κυκλωματικό στοιχείο που χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει την συμπεριφορά αυτή καλείται αντιστάτης ή απλά αντίσταση. Το κυκλωματικό σύμβολο του αντιστάτη και η πραγματική μορφή του παρουσιάζονται στο Σχήμα 38.

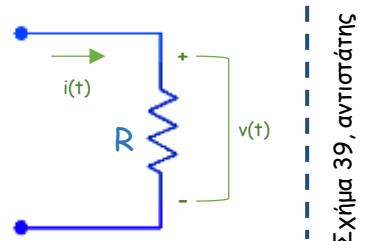
Σχήμα 38, Διάφοροι τύποι αντιστάσεων (α), κυκλωματικό σύμβολο (β)



Από κυκλωματικής άποψης ο αντιστάτης (Σχήμα 39) εκφράζει την διαφορά δυναμικού  $v(t)$  στα άκρα του, η οποία και είναι ανάλογη του ρεύματος  $i(t)$  που τον διαρρέει. Η σταθερά  $R$  της αναλογίας αυτής ονομάζεται αντίσταση του αντιστάτη και εκφράζεται σε volt/ampere ή ohm ( $\Omega$ ).

Ειδικότερα:

$$v(t) = R \cdot i(t) \text{ και } R = \frac{v(t)}{i(t)} \quad (\text{Σχέση 1})$$



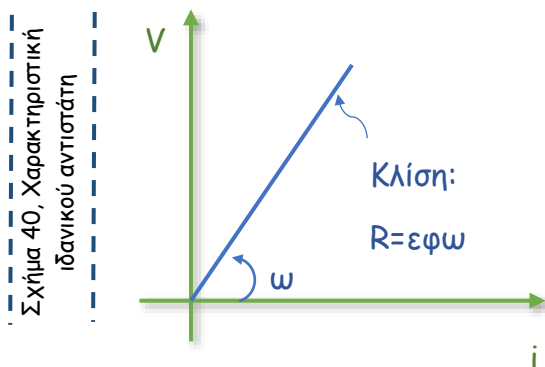
Η παραπάνω σχέση αποτελεί στιγμιαία σχέση τάσης-ρεύματος και φυσικά τόσο το  $i(t)$  όσο και το  $v(t)$  μπορούν να είναι είτε σταθερά ως προς το χρόνο είτε κάποιας μορφής συναρτήσεων του (λ.χ. ημιτονοειδούς).

Το αντίστροφο του αντιστάτη είναι η αγωγιμότητα (conductance) η οποία συμβολίζεται με  $G$  και εκφράζεται σε ampere/volt ή siemens ( $\text{Ohm}^{-1}$ ). Επομένως, μπορούμε ισοδύναμα να εκφράσουμε την (Σχέση 1 ως:

$$i(t) = G \cdot v(t) \text{ όπου } G = 1/R \quad (\text{Σχέση 2})$$

Θα αποτελούσε σοβαρή παράλειψη να μην τονίσουμε πως μιλάμε για ιδανικούς αντιστάτες, δηλαδή για χρονικά και γραμμικά αμετάβλητους.

Η χαρακτηριστική ενός ιδανικού αντιστάτη (Σχήμα 40) είναι ευθεία γραμμή που διέρχεται από την αρχή των αξόνων.

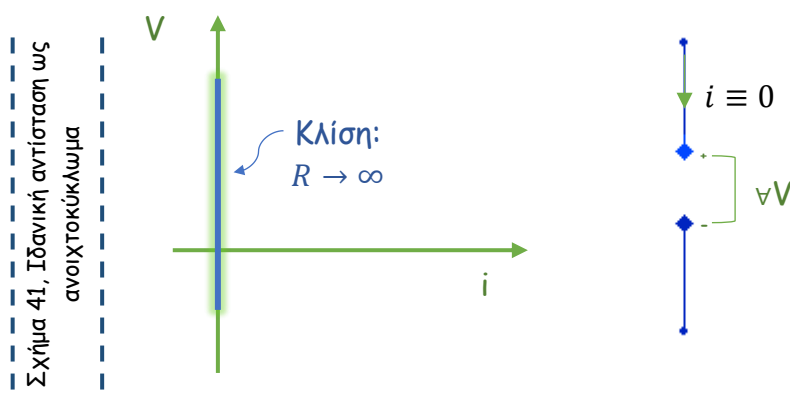


Για τον υπολογισμό της κλίσης περισσότερες πληροφορίες μπορείτε να βρείτε στο QR -CODE της άσκησης 1 - εργασία 2<sup>n</sup>

**Ειδικές Περιπτώσεις**

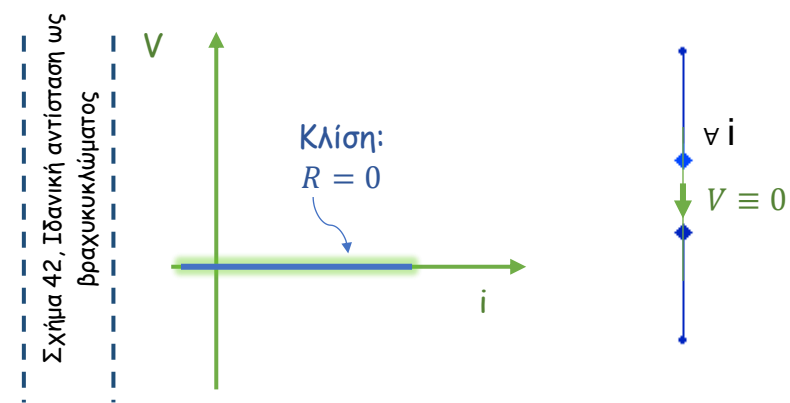
Ιδιαίτερα σημαντικοί θεωρούνται δύο ειδικοί τύποι ιδανικών αντιστάσεων. Το βραχυκύκλωμα και το ανοιχτοκύκλωμα.

**Ανοιχτοκύκλωμα (open circuit):** αποτελεί ένα "στοιχείο" δύο ακροδεκτών στο οποίο ανεξαρτήτως της τάσης στα άκρα του, δεν το διαρρέει ρεύμα ( $I=0$ ) δηλαδή  $R \rightarrow \infty, G = 0$ . Η χαρακτηριστική I-V ενός ανοιχτοκυκλώματος καθώς και το σύμβολό του φαίνονται στο Σχήμα 41.



**Βραχυκύκλωμα (short circuit):** αποτελεί ένα

"στοιχείο" δύο ακροδεκτών στο οποίο ανεξαρτήτως του διερχόμενου ρεύματος, η τάση είναι μηδέν ( $V=0$ ), δηλαδή  $R = 0, R \rightarrow \infty$ . Η χαρακτηριστική I-V ενός βραχυκυκλώματος καθώς και το σύμβολό του φαίνονται στο Σχήμα 42.



**Ειδική αντίσταση**

Η ωμική αντίσταση  $R$  ενός αγωγού σταθερής διατομής, εξαρτάται τόσο από τις διαστάσεις του, όσο και από το ίδιο το υλικό και προσδιορίζεται από την σχέση:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (\text{Σχέση 3})$$

όπου  $l$  το μήκος του αγωγού και  $s$  η διατομή του. Ο συντελεστής  $\rho$  ονομάζεται ειδική αντίσταση του υλικού και εξαρτάται κυρίως από το υλικό αλλά και από παραμέτρους όπως η θερμοκρασία. Γι' αυτόν τον λόγο, η τιμή της προσδιορίζεται συνήθως σε μια σταθερή

Θερμοκρασία 25 °C . Η μονάδα μέτρησης του  $\rho$  είναι το  $ohm \cdot metre$  ή υποπολλαπλάσια του μέτρου όπως το  $cm (\Omega \cdot Cm)$ .

Για παράδειγμα, ο χαλκός έχει ειδική αντίσταση  $1.7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$  και το πυρίτιο  $2.3 \cdot 10^3 \Omega \cdot m$ .

Το αντίστροφο της ειδικής αντίστασης ονομάζεται ειδική αγωγιμότητα  $\gamma = 1/\rho$  με μονάδα το *Siemens/metre*.

Μπορείτε να αναζητήσετε:

#χαρακτηριστικά\_αντιστάσεων

#μη\_γραμμικές\_αντιστάσεις

## Πηνίο L

Τα πηνία είναι κυκλωματικά στοιχεία αποτελούμενα από ένα μεταλλικό αγωγίμο σύρμα το οποίο περιτυλίγεται σε σπείρες, συνήθως γύρω από έναν ενισχυτικό πυρήνα ο οποίος μπορεί να αποτελείται από υλικά μαγνητικά ή μη. Καθώς λοιπόν το αγωγίμο μεταλλικό σύρμα διαρρέεται από ρεύμα αναπτύσσεται γύρω του μαγνητικό πεδίο και μάλιστα λόγω του πλήθους των σπειρών του αγωγού μπορούν να αναπτυχθούν έντονα μαγνητικά πεδία. Ουσιαστικά αποθηκεύει ενέργεια υπό την μορφή μαγνητικού πεδίου. Η μεταβολή της ροής του ρεύματος προκαλεί μεταβολή στην μαγνητική ροή με αποτέλεσμα την επαγωγή στο στοιχείο αυτό μιας ΗΕΔ  $v$ . Αν λοιπόν είναι σταθερή η ένταση της μαγνητικής επαγωγής προς την ένταση του μαγνητικού πεδίου σε κάθε σημείο του αγωγού, τότε η επαγόμενη ΗΕΔ  $v$  είναι ανάλογη προς την ταχύτητα μεταβολής του ρεύματος. Η σταθερά αυτής της αναλογίας καλείται **συντελεστής αυτεπαγωγής** ή **απλά αυτεπαγωγή** και είναι το βασικό χαρακτηριστικό του πηνίου. Μονάδα της αυτεπαγωγής είναι το Henry ( $v \cdot sec/ampere$ ) και το πηνίο αποθηκεύει ενέργεια στο μαγνητικό του πεδίο. Το πηνίο παρουσιάζει μικρή αντίσταση στο συνεχές ρεύμα εξαιτίας της ωμικής αντίστασης του αγωγού, ενώ η αντίσταση αυτή αυξάνεται στο εναλλασσόμενο.

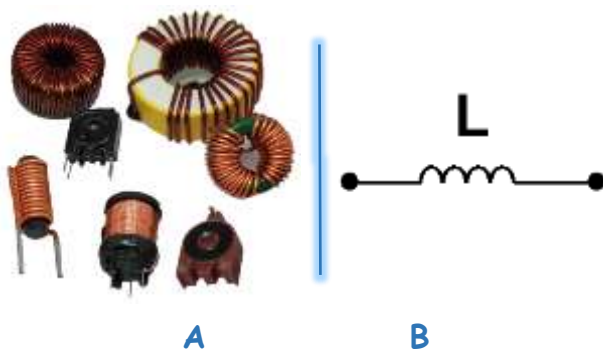
Η κάθε σπείρα του, λόγω της διέλευσης του ρεύματος σε αυτή, αναπτύσσει μαγνητικό πεδίο χαρακτηριζόμενο από την μαγνητική ροή  $\varphi$ . Έτσι η συνολική μαγνητική ροή ( $\lambda$ ) είναι εξαρτώμενη από το πλήθος των σπειρών N (περιελίξεων):

$$\lambda = N \cdot \varphi$$

Το κυκλωματικό σύμβολο του Πηνίου (inductor) και η πραγματική μορφή του παρουσιάζονται στο Σχήμα 43.

$$\lambda = N \cdot \varphi$$

Σχήμα 43, Διάφοροι τύποι Πηνίων (α), κυκλωματικό σύμβολο (β)



Το πηνίο παριστάνει τον λόγο της μαγνητικής ροής  $\Phi$  σε αυτό, προς το ρεύμα  $i$  που το διαρρέει, δηλαδή  $\Phi/i$ . Μάλιστα, η μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή κάθε σπείρας δημιουργεί τάση ανάλογη της παραγώγου της ροής (N. Faraday):

$$v = N \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d\lambda}{dt}$$

Επειδή τώρα η συνολική ροή είναι ανάλογη του ρεύματος, δηλαδή  $\lambda = L \cdot i$  η σχέση της τάσης με το ρεύμα (Σχήμα 44) σε αυτό είναι:

$$\frac{di}{dt} = \frac{v}{L} \quad (\text{Σχέση 4})$$

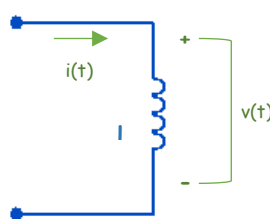
Η σταθερά  $L$  καλείται συντελεστής αυτεπαγωγής ή απλά αυτεπαγωγή. Η αυτεπαγωγή εξαρτάται από τον αριθμό των σπειρών, την διατομή του πυρήνα, του μήκους αυτού καθώς και της διαμέτρου του.

Αν τώρα παραγωγίσουμε την σχέση αυτή (Σχέση 4) ως προς τον χρόνο θα καταλήξουμε στην σχέση της τάσης:

$$v(t) = L \cdot \frac{di}{dt} \quad (\text{Σχέση 5})$$

και του ρεύματος:

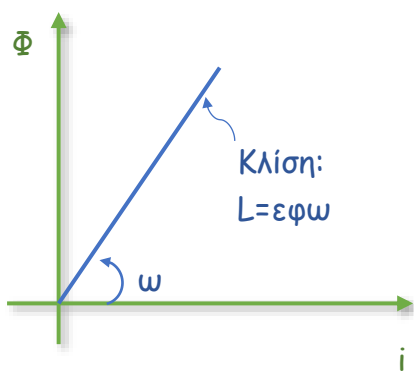
$$i(t) \quad (\text{Σχέση 6})$$



Σχήμα 44, Τάση και ρεύμα σε Πηνίο

Η χαρακτηριστική ενός ιδανικού πηνίου (Σχήμα 45) είναι ευθεία γραμμή που διέρχεται από την αρχή των αξόνων  $i-\Phi$  όπως φαίνεται παρακάτω:

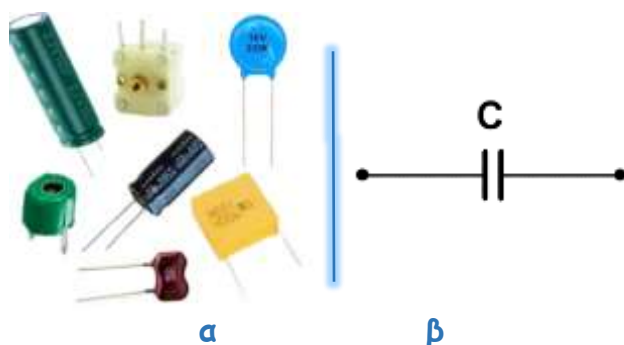
Σχήμα 45, Κλίση χαρακτηριστικής Πηνίου



## Πυκνωτής C

Ο πυκνωτής αποτελεί κυκλωματικό στοιχείο αποτελούμενο από δύο αγώγιμες επιφάνειες, σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους που ονομάζονται οπλισμοί, ενώ μεταξύ τους τοποθετείται διηλεκτρικό υλικό. Ο κάθε οπλισμός καταλήγει στον αντίστοιχο ακροδέκτη του πυκνωτή. Η λειτουργία του βασίζεται σε φαινόμενα σχετιζόμενα με ηλεκτρικά πεδία τα οποία προκύπτουν από διαχωρισμό ηλεκτρικών φορτίων, δηλαδή τάση. Ο πυκνωτής μπορεί να αποθηκεύσει ηλεκτρική ενέργεια εξαιτίας των φορτίων που συγκεντρώνονται στους αγώγιμους οπλισμούς του και έπειτα να την απελευθερώνει. Ειδικότερα, ο ένας οπλισμός του έχει θετικό φορτίο, και ο άλλος αρνητικό φορτίο. Η ενέργεια λοιπόν που απαιτείται για την μετατόπιση ενός φορτίου από τον αρνητικό οπλισμό του προς τον θετικό, παρέχεται από το κύκλωμα, ενώ για την αντίθετη μετατόπιση του φορτίου, η ενέργεια παρέχεται στο κύκλωμα. Χρειάζεται επίσης να σημειωθεί η διαφορετική συμπεριφορά του πυκνωτή στην συνεχή και εναλλασσόμενη τάση, κάτι που ωστόσο θα αναλύσουμε στην ενότητα των μεταβατικών φαινομένων. Το κυκλωματικό σύμβολο του Πυκνωτή (capacitor) και η πραγματική μορφή του παρουσιάζονται στο Σχήμα 46.

Σχήμα 46, Διάφοροι τύποι Πυκνωτών (α), κυκλωματικό σύμβολο (β)



Υπάρχουν διάφοροι τύποι πυκνωτών, ανάλογα με το διηλεκτρικό που τοποθετείτε μεταξύ των οπλισμών του.

Η διαφορά δυναμικού  $v$  στα άκρα των οπλισμών του πυκνωτή είναι ανάλογη προς το φορτίο που φέρει. Ειδικότερα,  $q(t) = C \cdot v(t)$ , όπου  $C$  η χωρητικότητα του Πυκνωτή.

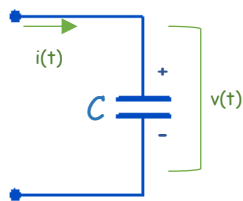
Για να έχουμε μια σχέση μεταξύ της τάσης στα άκρα του και του ρεύματος που τον διαρρέει γράφουμε την σχέση  $C = \frac{dq}{dv}$  και αφού  $i = \frac{dq}{dt}$  προκύπτει:

$$C = \frac{dq}{dv} = \frac{idt}{dv} \Rightarrow$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{C} i \Rightarrow \text{παραγωγίζουμε και ολοκληρώνουμε}$$

$$v(t) = \frac{1}{C} \int i dt$$



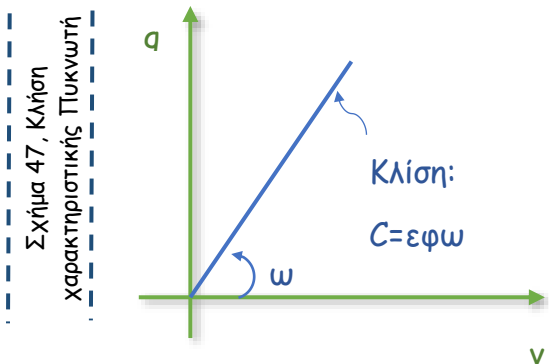


Μονάδα χωρητικότητας (C) είναι το Farad,  $Farad = Coulomb/Volt$ , και εξαρτάτε από την γεωμετρία και το διηλεκτρικό του. Δίνεται από την σχέση:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

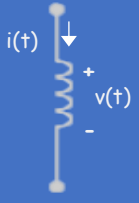
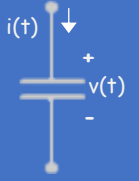
όπου  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} F/m$  η διηλεκτρική σταθερά του κενού,  $\epsilon_r$  η διηλεκτρική σταθερά του υλικού (π.χ βακελίτης=2), A η επιφάνεια των οπλισμών και d το μεταξύ τους διάκενο. Βέβαια το Farad είναι εξαιρετικά μεγάλη ποσότητα (χρήση σε βιομηχανικές εφαρμογές κ.α.) και έτσι τυπικές τιμές πυκνωτών είναι υποπολλαπλάσιά του όπως  $\mu F=10^{-6}$ ,  $nF=10^{-9}$  κ.λ.π.

Η χαρακτηριστική ενός ιδανικού πυκνωτή ( ) είναι ευθεία γραμμή που διέρχεται από την αρχή των αξόνων q-v.



Στον παρακάτω πίνακα δίνονται συγκεντρωτικά οι αντίστοιχες σχέσεις τάσης ρεύματος και ισχύος για κάθε παθητικό στοιχείο.

Κυκλωματικό στοιχείο	Μονάδες	Τάση	Ρεύμα	Ισχύς	Συμπεριφορά
	Ohms ( $\Omega$ )	$v = R \cdot i$	$i = \frac{v}{R}$	$p = v \cdot i = i^2 \cdot R$	$P > 0$ : απορροφά πάντα ισχύ

	Henries (H)	$v = L \cdot \frac{di}{dt}$	$i = \frac{1}{L} \int v dt$	$p = v \cdot i = L \cdot i \frac{di}{dt}$	$P > 0$ : αποθήκευση μαγνητικής ενέργειας στο πηνίο $P < 0$ : απελευθέρωση μαγνητικής ενέργειας από το πηνίο
	Farads (F)	$v = \frac{1}{C} \int i dt$	$i = C \frac{dv}{dt}$	$p = v \cdot i = C \cdot v \frac{dv}{dt}$	$P > 0$ : αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στον πυκνωτή $P < 0$ : απελευθέρωση ηλεκτρικής ενέργειας από τον πυκνωτή

#Αναζητήστε\_στην\_βιβλιογραφία\_την\_σχέση\_της\_ενέργειας\_για\_καθένα\_στοιχείο

Τα παραπάνω τρία παθητικά στοιχεία είναι γραμμικά διότι τα  $R, L, C$  θεωρούνται σταθερά υπο ορισμένες συνθήκες και προϋποθέσεις και ως εκ τούτου δεν μεταβάλλονται με το χρόνο. Λόγω της προσέγγισης αυτής είναι δυνατό να εφαρμόσουμε την αρχή της επαλληλίας, την οποία και θα αναλύσουμε μεταγενέστερα.

## 2.4 Ηλεκτρικές Πηγές

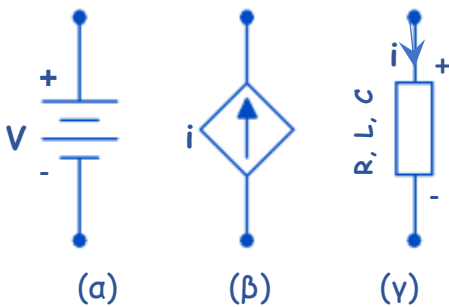
Όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, μια πηγή λ.χ. μπαταρία, παρουσιάζει ΗΕΔ εάν παρέχει έργο στα φορτία που την διαπερνούν. Αν η πηγή δεν δίνει ρεύμα σε εξωτερικό κύκλωμα τότε η ΗΕΔ της είναι ίση με την διαφορά δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών της. Με άλλα λόγια η τάση στους ακροδέκτες της είναι καθορισμένη ενώ το ρεύμα που την διαρρέει εξαρτάται από το κύκλωμα στο οποίο έχει συνδεθεί.

Στα ηλεκτρικά κυκλώματα χρησιμοποιούνται δύο ειδών πηγές, οι πηγές τάσης και οι πηγές ρεύματος.

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση των πηγών (ιδανικές και πραγματικές), χρειάζεται επίσης να σημειωθεί η σύμβαση της πολικότητας. Για να περιγράψουμε πλήρως λοιπόν μία πηγή τάσης ή ρεύματος (Σχήμα 48, α-β) θα πρέπει να συνοδεύονται αντίστοιχα από τη συνάρτηση τάσης-πολικότητας και την συνάρτηση ρεύματος-φοράς του. Ειδικότερα, μια πηγή τάσης θα πρέπει να συνοδεύεται από τα σύμβολα πολικότητας + και - τα οποία φανερώνουν πως ο ακροδέκτης με το + βρίσκεται σε υψηλότερο δυναμικό σε σχέση με τον ακροδέκτη με το -. Ομοίως, για μια πηγή ρεύματος απαιτείται το βέλος της φοράς του  $\uparrow$  το οποίο καθορίζει τη φορά του ρεύματος που παράγει η πηγή.

Για τα παθητικά στοιχεία  $R, L, C$  (Σχήμα 48, γ) ο ακροδέκτης από τον οποίο εισέρχεται το ρεύμα θεωρείται εν γένει θετικός ως προς αυτόν από τον οποίο εξέρχεται το ρεύμα.

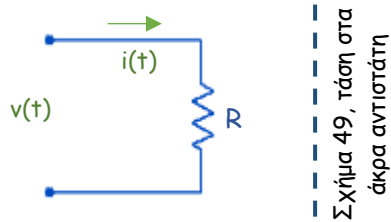
Σχήμα 48, Πηγή τάσης (α),  
πηγή ρεύματος (β), παθητικό  
στοιχείο (γ)



### 2.4.1 Νόμος του Ohm

Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm ο οποίος έχει διαπιστωθεί πειραματικά, η τάση στα άκρα ενός αντιστάτη (Σχήμα 49) είναι ανάλογη της έντασης του ρεύματος που τον διαρρέει, δηλαδή:

$$V = I \cdot R \quad (\text{Σχέση 7})$$



Σχήμα 49, τάση στα  
άκρα αντιστάτη

Με άλλα λόγια η ένταση του ρεύματος είναι ανάλογη της τάσης και αντιστρόφως ανάλογη της αντίστασης.

Η σχέση μεταξύ της έντασης του ρεύματος, της τάσης και της αντίστασης καλείτε Νόμος του Ohm.

Η γραφική παράσταση του νόμου του Ohm αποτελεί ταυτόχρονα και την χαρακτηριστική ενός αντιστάτη.

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις της ισχύος  $P = V \cdot I$ , της ενέργειας  $W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$  (Κεφ. 1, Θεμελιώδεις έννοιες) και του νόμου του Ohm (Σχέση 7) καταλήγουμε στις νέες σχέσεις της ισχύος και της ενέργειας, ειδικότερα:

$$P = I^2 \cdot R = V^2 / R \quad (\text{Σχέση 8})$$

$$W = I^2 \cdot R \cdot t = V^2 \cdot t / R \quad (\text{Σχέση 9})$$

## Παράδειγμα

Λαμπτήρας λειτουργεί με τάση 220 V, και διαρρέεται από ρεύμα έντασης 0,7 A. Χρησιμοποιώντας την σχέση της ισχύος να υπολογίσετε την αντίστασή του.

## Λύση

Απο την σχέση της ισχύος και γνωρίζοντας την τάση και ένταση του ρεύματος θα έχουμε:

$$P = V \cdot I = 220 \text{ V} \cdot 0.7 \text{ A} = 154 \text{ W}$$

Ύστερα, λύνοντας την (Σχέση 8) ως προς R υπολογίζουμε την τιμή της αντίστασης, δηλαδή:

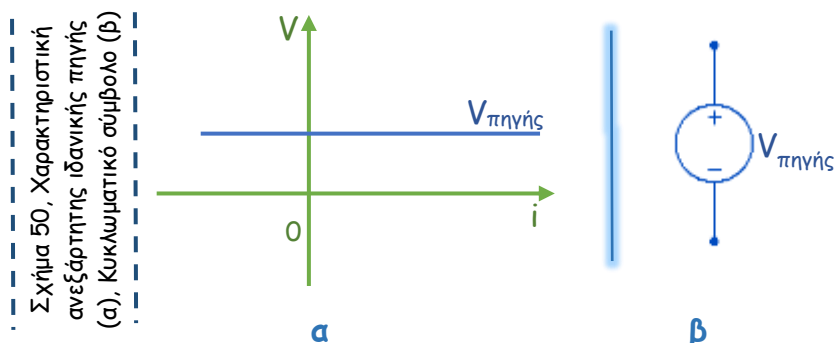
$$R = V^2 / P \Rightarrow R = (220 \text{ V})^2 / 154 \text{ W} \Rightarrow R = 314.28 \Omega$$

### 2.4.2 Ιδανική και Πραγματική πηγή τάσης

**Ιδανική πηγή τάσης:** Οι ιδανικές πηγές τάσης αποτελούν μοντελοποίηση των πραγματικών πηγών τάσης και στην πράξη δεν μπορούν να κατασκευαστούν διότι σε μια τέτοια περίπτωση θα είχαμε υλοποιήσει μια συσκευή στην οποία καθώς το ρεύμα της θα έτεινε στο άπειρο, η ενέργεια και η ισχύς της θα έτειναν επίσης προς το άπειρο! Μια ιδανική πηγή τάσης ουσιαστικά χαρακτηρίζεται από την τάση που επικρατεί στους ακροδέκτες της (πόλους της) ασχέτως του ρεύματος που παρέχει.

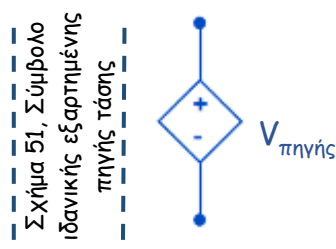
Οι ιδανικές πηγές τάσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

**Ιδανικές ανεξάρτητες πηγές τάσης:** αποτελούν κυκλωματικά στοιχεία που έχουν την ικανότητα να διατηρούν μια συγκεκριμένη τάση στους πόλους τους ανεξαρτήτως της τιμής του ρεύματός τους. Αυτό σημαίνει πως η τάση τους (σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή) είναι ανεξάρτητη της φύσης ή του πλήθους των στοιχείων που θα συνδεθούν στους πόλους τους και μόνο το ρεύμα εξαρτάται από αυτά. Η μορφή της χαρακτηριστικής μιας ανεξάρτητης ιδανικής πηγής τάσης και το σύμβολό της αναπαρίστανται στο Σχήμα 50.



**Ιδανικές εξαρτημένες πηγές τάσης:** αποτελούν κυκλωματικά στοιχεία στα οποία η τάση των πόλων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με κάποια τάση ή ρεύμα σε μια άλλη θέση του κυκλώματος. Ακριβέστερα, μια τέτοια πηγή μπορεί να είναι ελεγχόμενη είτε από τάση είτε από ρεύμα.

Το κυκλωματικό σύμβολο (Σχήμα 51) μιας ιδανικής εξαρτημένης πηγής τάσης φαίνεται παρακάτω.



Αν η τάση της πηγής ( $V_{πηγής}$ ) είναι ελεγχόμενη από κάποια άλλη τάση ( $V_X$ ) σε ένα σημείο του κυκλώματος τότε ισχύει:

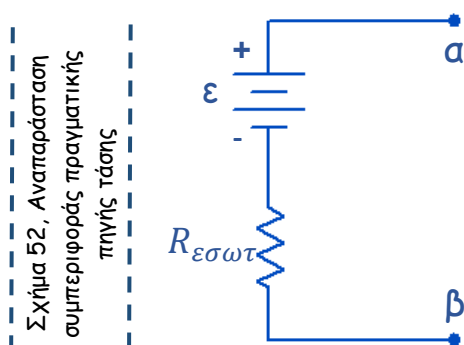
$$V_{πηγής} = V_X \cdot K, \text{ όπου } K \text{ ένας σταθερός αδιάστατος συντελεστής.}$$

Αντίθετα, αν η τάση της πηγής ( $V_{πηγής}$ ) είναι ελεγχόμενη από κάποιο ρεύμα  $i_X$  σε ένα σημείο του κυκλώματος τότε ισχύει:

$$V_{πηγής} = i_X \cdot N, \text{ όπου } N \text{ ένας σταθερός συντελεστής διαστάσεων } V/A.$$

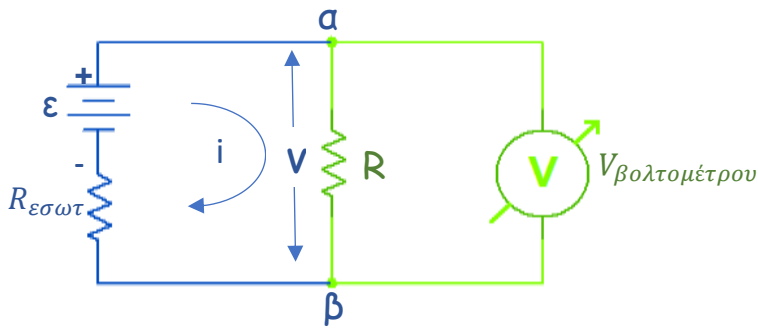
Είναι απαραίτητο να επισημανθεί πως, αν το μόνο που γνωρίζουμε για μια πηγή τάσης (εξαρτημένης ή ανεξάρτητης) είναι η τάση στους πόλους της, τότε δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε το ρεύμα που διαρρέει την πηγή και είναι αδύνατο να το εκφράσουμε συνάρτηση της τάσης των ακροδεκτών της

**Πραγματικές πηγές τάσης:** Οι πραγματικές πηγές τάσης πρακτικά συμπεριφέρονται σαν να είχαμε μία ιδανική πηγή τάσης σε σειρά με μία μικρή αντίσταση (εσωτερικό φορτίο  $R_{εσωτ}$ ) και επομένως η τάση στα άκρα τους μεταβάλλεται συναρτήσει του φορτίου. Οι πραγματικές πηγές τάσης μπορούν να δώσουν ένα συγκεκριμένο μέγιστο ρεύμα. Με αφετηρία τον παραπάνω συλλογισμό, μπορούμε να αναπαραστήσουμε την πραγματική πηγή τάσης (Σχήμα 52) με μια ΗΕΔ ίση με  $\varepsilon$  και μια εσωτερική αντίσταση ίση με  $R_{εσωτ}$ .



Για να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε την τάση  $V$  στους πόλους της πηγής ( $\alpha-\beta$ ), θα συνδέσουμε σε αυτούς μια αντίσταση  $R$  (Σχήμα 53) και παράλληλα με την αντίσταση ένα **βολτόμετρο** (δείτε επίσης από το παράρτημα του εργαστηρίου, πολύμετρο, μέτρηση τάσης), ώστε να υπολογίσουμε την τάση αυτή με ευκολία. Συγκεκριμένα:

Σχήμα 53, Παράλληλη σύνδεση στην πηγή τάσης αντίστασης - βολτομέτρου



Ακόμη δεν έχουμε αναφερθεί στις συνδεσμολογίες ηλεκτρικών εξαρτημάτων (παράλληλα-σε σειρά), ούτε έχουμε αναλύσει τρόπους-θεωρήματα υπολογισμού τάσης ή ρεύματος σε ένα συγκεκριμένο στοιχείο του κυκλώματος. Ως εκ τούτου, δεχθείτε σε πρώτο χρόνο τις σχέσεις υπολογισμού χωρίς περεταίρω ανάλυση και αφού προχωρήσετε στα επόμενα κεφάλαια όπου θα αναλυθούν διεξοδικά όλα τα παραπάνω, επιστρέψτε ώστε να μελετήσετε το παρόν ολιστικά.

Η τάση που θα μετρά το βολτόμετρο ( $V_{\beta\omicron\lambda\omicron\tau\omicron\mu\epsilon\tau\rho\upsilon}$ ) ισούται με την τάση στους πόλους της πηγής (α-β) όταν συνδεθεί σε αυτούς το φορτίο R.

Δηλαδή  $V_{\beta\omicron\lambda\omicron\tau\omicron\mu\epsilon\tau\rho\upsilon} = V$ , το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα είναι κοινό, δεν διακλαδίζεται, μιας και η αντίσταση του βολτομέτρου είναι πολύ μεγάλη (θεωρούμε  $R_{\beta\omicron\lambda\omicron\tau\omicron\mu\epsilon\tau\rho\upsilon} \rightarrow \infty$  άρα  $I_{\beta\omicron\lambda\omicron\tau\omicron\mu\epsilon\tau\rho\upsilon} \rightarrow 0$ ) επομένως:

$$V_{\beta\omicron\lambda\omicron\tau\omicron\mu\epsilon\tau\rho\upsilon} = V = \varepsilon - i \cdot R_{\varepsilon\sigma\omega\tau} \quad (\text{Σχέση 10})$$

Στο σημείο αυτό χρησιμοποιούμε τον νόμο του

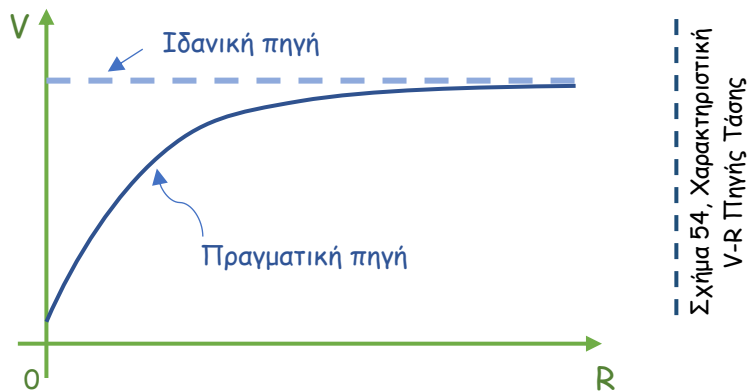
ohm ((Σχέση 7), ως προς i):

$i = \frac{\varepsilon}{R_{\omicron\lambda}}$ , όπου  $R_{\omicron\lambda} = R_{\varepsilon\sigma\omega\tau} + R$  και αντικαθιστώντας στην (Σχέση 10):

$$V = \varepsilon - i \cdot R_{\varepsilon\sigma\omega\tau} \Rightarrow V = \varepsilon - \frac{\varepsilon}{R_{\omicron\lambda}} \cdot R_{\varepsilon\sigma\omega\tau} \Rightarrow V = \varepsilon - \frac{\varepsilon}{R_{\varepsilon\sigma\omega\tau} + R} \cdot R_{\varepsilon\sigma\omega\tau} \Rightarrow$$

$$V = \varepsilon - \varepsilon \cdot \frac{R_{\varepsilon\sigma\omega\tau}}{R_{\varepsilon\sigma\omega\tau} + R} \quad (\text{Σχέση 11})$$

Διαπιστώνουμε λοιπόν πως η τάση στους πόλους της πηγής είναι συνάρτηση του φορτίου R. Αν λάβουμε υπόψη τις δύο ακραίες τιμές της R, δηλαδή  $R=0$  βραχυκυκλωμένοι πόλοι της πηγής  $V=0$  (σαν να αντικαταστήσαμε την αντίσταση R με έναν αγωγό) και  $R = \infty$  (σαν ανοιχτοκύκλωμα - ανοιχτό διακόπτη) δηλαδή  $i=0$  και  $V = \varepsilon$  πάρουμε διάφορες ενδιάμεσες τιμές μπορούμε να σχεδιάσουμε την καμπύλη μεταβολής (Σχήμα 54, Χαρακτηριστική V-R Πηγής Τάσης) της τάσης V συνάρτησε του φορτίου R (θεωρώντας  $\varepsilon$  και  $R_{\varepsilon\sigma\omega\tau}$  σταθερά).



### 2.4.3 Ιδανική και Πραγματική πηγή ρεύματος

**Ιδανική πηγή ρεύματος:** όπως οι ιδανικές πηγές τάσης, έτσι και οι ιδανικές πηγές ρεύματος αποτελούν μοντελοποίηση των πραγματικών πηγών και στην πράξη δεν μπορούν να κατασκευαστούν για τους ίδιους λόγους που αναφέραμε και στις ιδανικές πηγές τάσης. Μια ιδανική πηγή ρεύματος χαρακτηρίζεται από την παροχή σταθερού ρεύματος ανεξαρτήτως της τάσης που επικρατεί στους ακροδέκτες της.

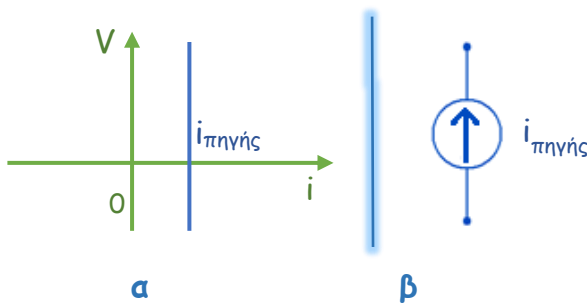


Η αναγκαιότητα χρήσης των εξαρτημένων πηγών προέκυψε κατά κύριο λόγο από τη ραγδαία ανάπτυξη της ηλεκτρονικής, στην οποία ορισμένα στοιχεία μπορούμε να τα προσεγγίσουμε μόνο με εξαρτημένες πηγές. Ως πηγές ρεύματος θα μπορούσαν για παράδειγμα να θεωρηθούν τα τρανζίστορ, ημιαγωγικές διατάξεις που αποτελούν κομμάτι του μαθήματος της ηλεκτρονικής μεγαλύτερου εξαμήνου.

Οι ιδανικές πηγές τάσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

**Ιδανικές ανεξάρτητες πηγές ρεύματος:** αποτελούν κυκλωματικά στοιχεία που διατηρούν συγκεκριμένη τιμή ρεύματος στους ακροδέκτες τους ανεξάρτητα από την τιμή της τάσης τους. Ως εκ τούτου, το ρεύμα τέτοιων πηγών στους ακροδέκτες τους, για κάθε χρονική στιγμή, παραμένει σταθερό και ανεξάρτητο από άλλα στοιχεία κυκλώματος που μπορεί να συνδεθούν σε αυτές (Σχήμα 55, Χαρακτηριστική ανεξάρτητης ιδανικής πηγής (α), Κυκλωματικό σύμβολο).





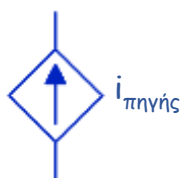
Σχήμα 55, Χαρακτηριστική ανεξάρτητης ιδανικής πηγής (α), Κυκλωματικό σύμβολο

**Ιδανικές εξαρτημένες πηγές ρεύματος:** αποτελούν κυκλωματικά στοιχεία των οποίων το ρεύμα τους καθορίζεται από ένα ρεύμα ή μια τάση σε κάποια άλλη θέση του κυκλώματος στο οποίο έχουν συνδεθεί.

Πράγματι, όπως και στις εξαρτημένες πηγές τάσης, μια τέτοια πηγή μπορεί να είναι ελεγχόμενη είτε από τάση είτε από ρεύμα.

Το κυκλωματικό σύμβολο μιας ιδανικής εξαρτημένης πηγής ρεύματος φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.

Σχήμα 56, Κυκλωματικό σύμβολο εξαρτημένης πηγής ρεύματος



Αν ονοματοδοτήσουμε το ρεύμα και την τάση (που βρίσκονται σε ένα άλλο σημείο του κυκλώματος) ως  $i_x$  και  $v_x$ , μπορούμε να προσδιορίσουμε το ρεύμα  $i$  της εξαρτημένης πηγής ρεύματος ως εξής:

☛ Πηγή ελεγχόμενη από ρεύμα  $i_x$  :

$$i_{\text{πηγής}} = \mu \cdot i_x$$

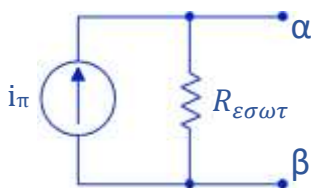
☛ Πηγή ελεγχόμενη από τάση  $v_x$  :

$$i_{\text{πηγής}} = \nu \cdot v_x$$

Όπου  $\mu, \nu$  αποτελούν αριθμητικές σταθερές

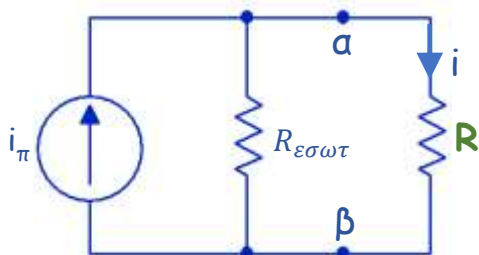
**Πραγματικές πηγές ρεύματος:** Οι πραγματικές πηγές ρεύματος πρακτικά συμπεριφέρονται σαν να είχαμε μία ιδανική πηγή ρεύματος παράλληλα με μια αντίσταση (Σχήμα 57, εσωτερικό φορτίο  $R_{\text{εσωτ}}$ ).

Σχήμα 57, Κυκλωματική αναπαράσταση πηγής ρεύματος



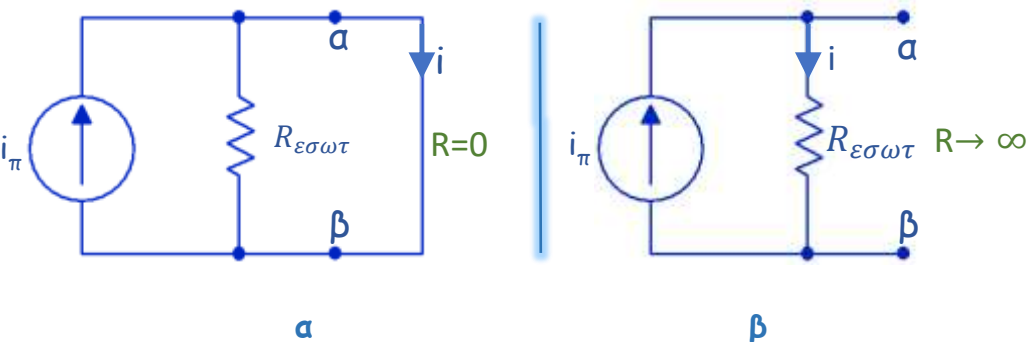
Για να υπολογίσουμε το ρεύμα που παρέχουν, συνδέουμε στους ακροδέκτες τους (α, β) ένα φορτίο  $R$  (Σχήμα 59).

Σχήμα 58, Παράλληλη σύνδεση φορτίου στην πραγματική πηγή ρεύματος



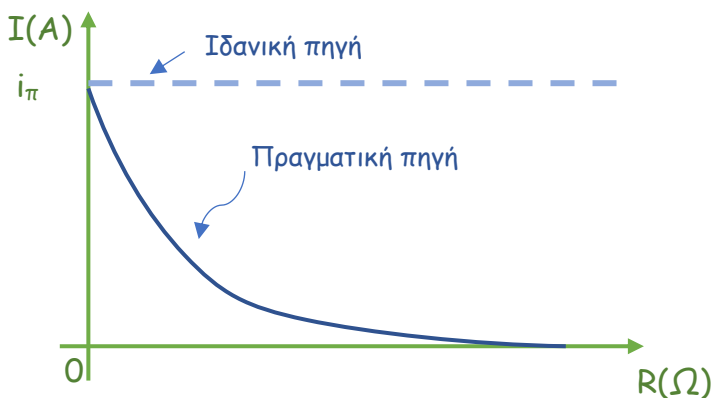
Διακρίνουμε λοιπόν, δύο ακραίες τιμές του  $i$  που διαρρέουν το φορτίο, ειδικότερα  $i$  μέγιστο και ίσο με  $i_\pi$  όταν οι πόλοι της πηγής είναι βραχυκυκλωμένοι ( $R=0$ , Σχήμα 60 - α) και  $i$  ελάχιστο ή τείνει στο μηδέν όταν δεν έχουμε συνδέσει φορτίο ( $R = \infty$ , Σχήμα 60 -β).

Σχήμα 59, Βραχυκυκλωμένοι πόλοι πηγής (α), ανοιχτοκυκλωμένοι πόλοι πηγής (β)



Παρακάτω βλέπουμε την γραφική σχέση του  $i$  και της  $R$ .

Σχήμα 60, Χαρακτηριστική I-R Πηγής ρεύματος



## 3

## Εισαγωγή στα ηλεκτρικά κυκλώματα

## 3.1 Βασικές τοπολογικές έννοιες

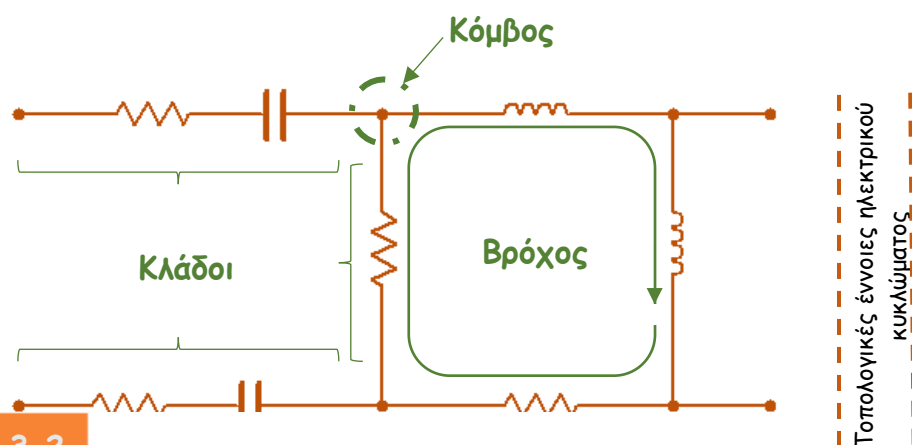
**Κλάδος:** αποτελεί

τμήμα του κυκλώματος το οποίο περιέχει διάφορα ηλεκτρικά στοιχεία (π.χ. αντιστάσεις) τα οποία διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα.

**Κόμβος:** αποτελεί το κοινό σημείο σύνδεσης (επαφής) τουλάχιστον δύο κλάδων ή ηλεκτρικών στοιχείων.

**Βρόχος:** αποτελεί κλειστή διαδρομή αλληλουχίας κλάδων στους οποίους δεν μπορούμε να περάσουμε πάνω από οποιοδήποτε σημείο δύο φορές.

#διαφορα\_ηλεκτρικού\_από\_ηλεκτρονικού\_κυκλώματος



## 3.2 Κανόνες (νόμοι) του Kirchhoff

Οι κανόνες του Kirchhoff απορρέουν από την απλοποίηση των νόμων του ηλεκτρισμού και αποτελούν θεμελιώδες εργαλείο επίλυσης γραμμικών κυκλωμάτων. Μια διευκρίνιση στο σημείο αυτό είναι απαραίτητη. Οι κανόνες του Kirchhoff μπορούν να εφαρμοστούν σε κυκλώματα που καλούνται συγκεντρωμένα, δηλαδή το μήκος κύματος του σήματος εισόδου τους θα πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερο από τις διαστάσεις του κυκλώματος, ενώ σε διαφορετική περίπτωση η επίλυση πραγματοποιείται με την χρήση των εξισώσεων Maxwell (Θα έρθετε σε επαφή με αυτές τις έννοιες στο μάθημα μεγαλύτερου εξαμήνου «Κύματα, κυματοδηγοί, κεραίες»).

#Συγκεντρωμένο\_κατανεμημένο\_κύκλωμα

- **1<sup>ος</sup> κανόνας (των ρευμάτων) του Kirchhoff:** Σε κάθε κόμβο κυκλώματος, το αλγεβρικό άθροισμα των εντάσεων των ρευμάτων που διαρρέουν τους κλάδους που καταλήγουν στον κόμβο, ισούται με το μηδέν σε κάθε χρονική στιγμή, δηλαδή:

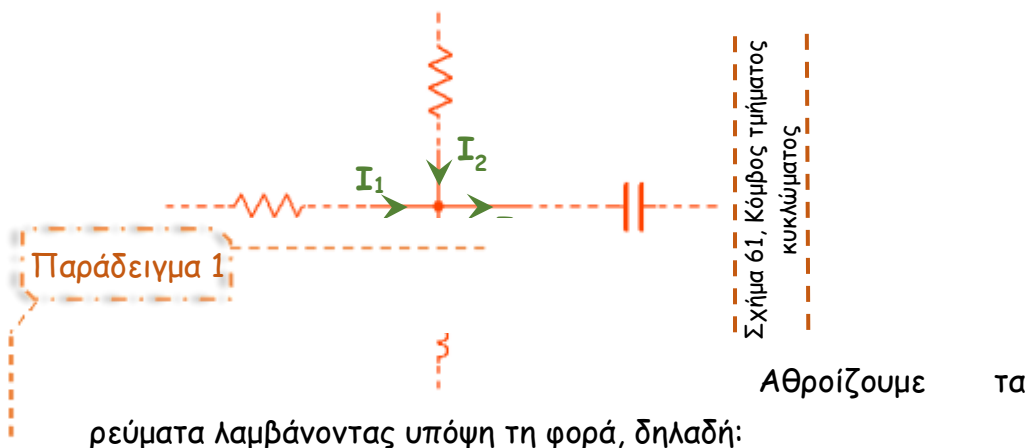
$$\sum_{n=1}^N i_n = 0$$

Μέσα από τον κανόνα αυτό, γίνεται εμφανές πως σε έναν κόμβο δεν είναι εφικτό ούτε να δημιουργηθεί αλλά ούτε και να εξαφανισθεί φορτίο, αλλά όσο φορτίο προσέρχεται σε

- Κατά σύμβαση, παίρνουμε θετικές τις εντάσεις των ρευμάτων που κατευθύνονται προς τον κόμβο, ενώ αρνητικές αυτές που φεύγουν από τον κόμβο.
- Ο 1<sup>ος</sup> κανόνας του Kirchhoff είναι απόρροια της αρχής διατήρησης του φορτίου
- Για  $\Lambda$  κόμβους στο κύκλωμα ο 1<sup>ος</sup> κανόνας του Kirchhoff μας δίνει  $\Lambda-1$  ανεξάρτητες εξισώσεις μεταξύ των εντάσεων των ρευμάτων του κυκλώματος και μία εξίσωση γραμμικά εξαρτημένη από τις υπόλοιπες.

αυτόν θα πρέπει και να απέρχεται ανά μονάδα χρόνου.

Θα εφαρμόσουμε τον 1<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff στο παρακάτω κόμβο:



ρεύματα λαμβάνοντας υπόψη τη φορά, δηλαδή:

$$I_1 + I_2 - I_3 + I_4 = 0 \Rightarrow I_1 + I_2 + I_4 = I_3$$

- **2<sup>ος</sup> κανόνας (των τάσεων) του Kirchhoff:** Σε ένα βρόχο κυκλώματος, το αλγεβρικό άθροισμα των διαφορών δυναμικού και των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων των πηγών, κατά μήκος του, ισούται με το μηδέν, δηλαδή:

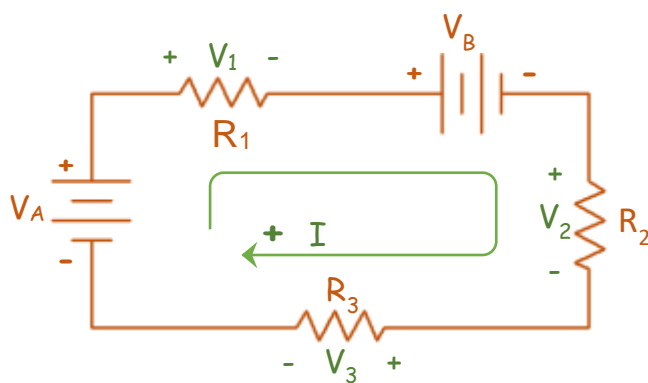
$$\sum_{n=1}^N v_n = 0$$

Έτσι ο κόμβος έχει το ίδιο δυναμικό ανεξαρτήτως της φοράς που ακολουθούμε στο κύκλωμα.

- Με βάση την φορά του ρεύματος, παίρνουμε θετικές τις διαφορές δυναμικού ή των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων των πηγών αν το βέλος της φοράς του ρεύματος συναντά το «συν» τους, ενώ στην αντίστροφη περίπτωση τις θεωρούμε αρνητικές
- Θεωρούμε θετικές τις εντάσεις των ρευμάτων που κατευθύνονται προς τον κόμβο, ενώ αρνητικές αυτές που φεύγουν από τον κόμβο.
- Ο 2<sup>ος</sup> κανόνας του Kirchhoff είναι απόρροια της αρχής διατήρησης της ενέργειας
- Ο κανόνας εφαρμόζεται είτε το κύκλωμα περιέχει DC πηγές τάσης, είτε χρονικά μεταβαλλόμενες πηγές.
- Στην περίπτωση που ένας βρόχος δεν περιέχει καμιά πηγή, ο 2<sup>ος</sup> του Kirchhoff εφαρμόζεται κανονικά

### Παράδειγμα

Θα εφαρμόσουμε τον 2<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff στο παρακάτω κύκλωμα (Σχήμα 62):



Σχήμα 62, Κύκλωμα πηγών τάσης και αντιστάσεων συνδεδεμένων σε σειρά

Ορίζουμε την φορά του ρεύματος του βρόχου, έστω δεξιόστροφη θετική φορά διαγραφής (+), και ακολουθώντας την αθροίζουμε τις τάσεις σύμφωνα με τον 2<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff, συγκεκριμένα:

$$\begin{aligned} -V_A + V_1 + V_B + V_2 + V_3 &= 0 \Rightarrow \\ -V_A + I \cdot R_1 + V_B + I \cdot R_2 + I \cdot R_3 &= 0 \Rightarrow \\ -V_A + V_B - I \cdot (R_1 + R_2 + R_3) &= 0 \Rightarrow \\ V_A - V_B &= I \cdot (R_1 + R_2 + R_3) \end{aligned}$$

### 3.2.1 Στρατηγική εφαρμογής κανόνων του Kirchhoff για επίλυση σύνθετου κυκλώματος

1. Εντοπίζουμε και ονοματίζουμε τους κόμβους του κυκλώματος
  - Αν ο αριθμός των κόμβων είναι λ, γράφουμε τον 1<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff για λ-1 κόμβους
2. Εντοπίζουμε και ονοματίζουμε τους διάφορους κλάδους του κυκλώματος προκειμένου στην συνέχεια να εφαρμόσουμε τον 1<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff
  - Αφού εξαρχής είναι άγνωστη η φορά των ρευμάτων, την θέτουμε αυθαίρετα
3. Βρίσκουμε τους κύριους βρόχους του κυκλώματος. Κύριος βρόχος είναι αυτός που δεν μπορεί να υποδιαιρεθεί σε άλλους πιο απλούς βρόχους, με άλλα λόγια δεν περιέχει εσωτερικά του άλλον/ους βρόχο/ους.
4. Για κάθε κύριο βρόχο επιλέγουμε αυθαίρετα μία φορά διαγραφής του, συνήθως θετική (φορά ρολογιού) και διατρέχοντας τον γράφουμε τον 2<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff, λαμβάνοντας υπόψη ότι:
  - Αν κατά την διαγραφή του βρόχου συναντάμε πρώτα τον θετικό πόλο μιας πηγής ή το «+» της διαφοράς δυναμικού ενός στοιχείου τότε γράφουμε την ποσότητα αυτή με θετικό πρόσημο στην εξίσωση, αντίθετα αν συναντάμε πρώτα τον αρνητικό πόλο μιας πηγής ή το «-» της διαφορά δυναμικού ενός στοιχείου τότε γράφουμε με αρνητικό πρόσημο την ποσότητα αυτή.
5. Μετά την επίλυση του συστήματος των εξισώσεων, αν προκύψουν αρνητικές εντάσεις ρεύματος, σημαίνει πως η φορά τους είναι αντίθετη από αυτή που εμείς αρχικά υποθέσαμε και ορίσαμε. Ωστόσο δεν χρειάζεται να προβούμε σε κάποια τροποποίηση στο σχήμα.



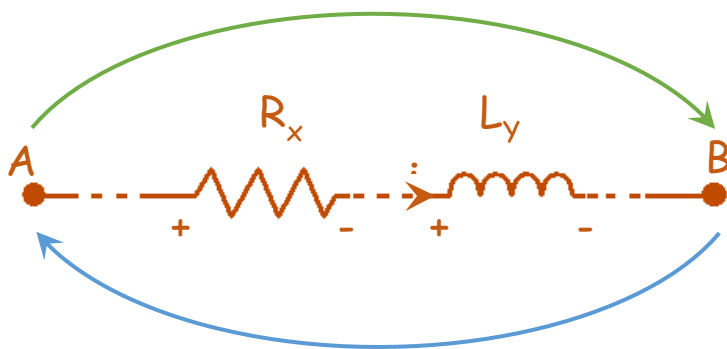
## Extra tips!

- Ο αριθμός των άγνωστων εντάσεων σε ένα κύκλωμα θα είναι ίσος με τον αριθμό των κλάδων του. Μαθηματοποιώντας την σκέψη αυτή, μπορούμε να επαληθεύσουμε μέσω μιας πρωτοβάθμιας εξίσωσης την ορθότητά της. Ειδικότερα:  

$$\lambda - 1 + \mu = \nu$$
 όπου  $\lambda - 1$  οι εξισώσεις των κόμβων,  $\mu$  οι εξισώσεις των κύριων βρόχων και  $\nu$  ο αριθμός των κλάδων.
- Αν σε κάποιο κλάδο του προς ανάλυση κυκλώματος υπάρχει πυκνωτής, τότε αυτός δεν διαρρέεται από ρεύμα διότι στο συνεχές ρεύμα ο πυκνωτής ισοδυναμεί με ανοιχτό διακόπτη. Επιπρόσθετα, αν ο πυκνωτής είναι αφόρτιστος (μηδενικό φορτίο) τότε η διαφορά δυναμικού μεταξύ των σπλισμών του θεωρείται μηδέν.
- Αν στο κύκλωμα υπάρχει μία γείωση (ανατρέξτε και μελετήστε παράλληλα το παράρτημα του εργαστηρίου «Γείωση»), ο κλάδος στον οποίο ανήκει η γείωση δεν διαρρέεται από ρεύμα ανεξάρτητα από τα στοιχεία που μπορεί αυτός να περιέχει. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση που περιέχει πηγή δεδομένου ότι δεν υπάρχει "δρόμος" επιστροφής του ρεύματος στο κύκλωμα.
- Αν στο κύκλωμα υπάρχουν δύο ή και περισσότερες γειώσεις, οι κλάδοι που περιέχουν τις γειώσεις διαρρέονται από ρεύμα διότι "κλείνει" κύκλωμα μέσω της γης.

### 3.2.2 Διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων κυκλώματος

Για να υπολογίσουμε την διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων ενός κυκλώματος ξεκινάμε από το ένα σημείο και ακολουθώντας την αγώγιμη διαδρομή καταλήγουμε στο άλλο. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων λέγεται και πτώση τάσης ή απλά τάση των δύο σημείων. Θα πρέπει να τονισθεί πως είναι πολύ σημαντική η αυθαίρετη επιλογή του πρώτου σημείου διότι θα αποτελέσει τον τρόπο καθορισμού φοράς αναφοράς για τις τάσεις και τα ρεύματα ως προς το δεύτερο σημείο. Η αναφορά αυτή γίνεται με τη χρήση γραμμάτων (ή αριθμών) - δεικτών όπου το πρώτο γράμμα (ή αριθμός) του δείκτη αναφέρεται και στο πρώτο σημείο. Ειδικότερα, υποθέτοντας δύο σημεία ενός κυκλώματος  $A, B$  (Σχήμα 63)



Σχήμα 63, Διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων A-B

Κινούμενοι από το A στο B ορίζουμε την διαφορά δυναμικού στο σημείο A ως προς το σημείο B, δηλαδή:

$$V_{AB} = V_A - V_B = \sum i \cdot R_X + \sum i \cdot L_Y + \dots$$

Κινούμενοι από το B στο A ορίζουμε την διαφορά δυναμικού στο σημείο B ως προς το σημείο A, δηλαδή:

$$V_{BA} = V_B - V_A = - \sum i \cdot R_X - \sum i \cdot L_Y + \dots$$

και επομένως, γίνεται εύκολα αντιληπτό πως  $V_{AB} = -V_{BA}$

Με άλλα λόγια, αν με την ολοκλήρωση των υπολογισμών και του προσδιορισμού της τάσης, μας προκύψει αρνητική τιμή, σημαίνει πως η πραγματική της πολικότητα είναι αντίστροφη της επιλεχθείσας.

Ως επί το πλείστον, ορίζουμε ένα σημείο αναφοράς τιμής δυναμικού μηδέν, το οποίο θα αναπαριστά την γείωση του κυκλώματος. Η διαφορά δυναμικού επομένως μεταξύ ενός σημείου A και της γείωσης θα είναι  $V_{A0} = V_A$ . Για να γίνει κατανοητή η έννοια της γείωσης ως σημείο αναφοράς, θα θεωρήσουμε πως μεταξύ του σημείου A και της γείωσης υπάρχει ένα ενδιάμεσο σημείο B. Η διαφορά δυναμικού τότε θα είναι:

$$\begin{aligned} V_{A0} &= V_{AB} + V_{B0} \Rightarrow \\ V_{AB} &= V_{A0} - V_{B0} = V_A - V_B \end{aligned}$$

Άρα η διαφορά δυναμικού μεταξύ A,B είναι η διαφορά δυναμικού του σημείου A μείον του σημείου B.

Τέλος, αν με  $i_{AB}$  αναπαραστήσουμε το θετικό ρεύμα ( ροή θετικών φορτίων ) μεταξύ των σημείων A και B τότε θα ισχύει  $i_{AB} = -i_{BA}$

Παράδειγμα



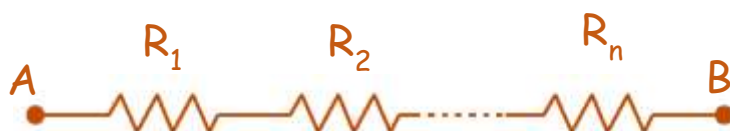
tap or scan



### 3.3 Κυκλωματικά στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα

#### 3.3.1 Αντιστάσεις στη σειρά και παράλληλα

- **Σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά:** Δύο ή και περισσότερες αντιστάσεις, είναι συνδεδεμένες σε σειρά όταν το τέλος της μιας συνδέεται στην αρχή της άλλης (Σχήμα 64) ενώ μεταξύ τους δεν υπάρχει κάποιος κόμβος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι αντιστάσεις να διαρρέονται από ίδιας έντασης ρεύμα ενώ εμφανίζουν διαφορετική πτώση τάσης η κάθε μια.



Σχήμα 64,  
Αντιστάσεις  
συνδεδεμένες σε σειρά

Μπορούμε να υπολογίσουμε και να αντικαταστήσουμε το σύνολο των εν σειρά αντιστάσεων με μια ισοδύναμη αντίσταση  $R_{ολική}$  ως εξής:

$$R_{ολική} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (\text{Σχέση 12})$$

- Η ισοδύναμη αντίσταση  $R_{ολική}$  θα είναι μεγαλύτερη σε τιμή της μεγαλύτερης από τις εν σειρά αντιστάσεις
- Αν οι αντιστάσεις είναι ίσες σε τιμή τότε η ισοδύναμη ολική ισούται με  $R_{ολική} = n \cdot R$  (όπου  $n$  το πλήθος των ίσων αντιστάσεων)

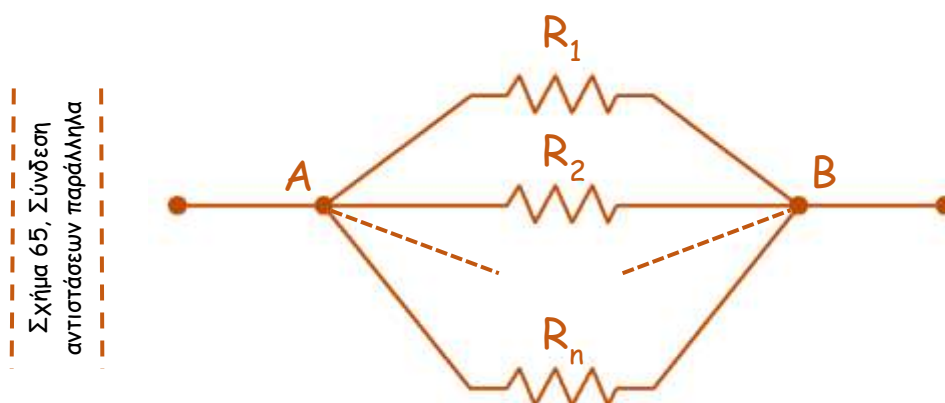
- **Σύνδεση αντιστάσεων παράλληλα:** Δύο ή και περισσότερες αντιστάσεις, είναι συνδεδεμένες παράλληλα όταν όλες έχουν δύο κοινά σημεία σύνδεσης (Σχήμα 65). Με άλλα λόγια, είναι συνδεδεμένες παράλληλα όταν όλα τα άκρα της μιας πλευράς τους καταλήγουν σε έναν κοινό κόμβο (έστω  $A$ ) ενώ τα άκρα της άλλης πλευράς τους σε έναν

άλλο κόμβο (έστω Β). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι αντιστάσεις να διαρρέονται από διαφορετικής έντασης ρεύματα ενώ εμφανίζουν ίδια πτώση τάσης η κάθε μια.

Μπορούμε να υπολογίσουμε και να αντικαταστήσουμε το σύνολο των παραλλήλων αντιστάσεων με μια ισοδύναμη αντίσταση  $R_{ολική}$  ως εξής:

$$\frac{1}{R_{ολική}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

(Σχέση 13)



- Η ισοδύναμη αντίσταση  $R_{ολική}$  θα είναι μικρότερη σε τιμή της μικρότερης από τις παράλληλες αντιστάσεις
- Αν οι αντιστάσεις είναι ίσες σε τιμή τότε η ισοδύναμη ολική ισούται με  $R_{ολική} = \frac{R}{n}$  (όπου n το πλήθος των ίσων αντιστάσεων)
- Εάν έχουμε δύο παράλληλες αντιστάσεις τότε υπολογίζουμε την ισοδύναμη αντίσταση  $R_{ολική}$  ως εξής  $R_{ολική} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

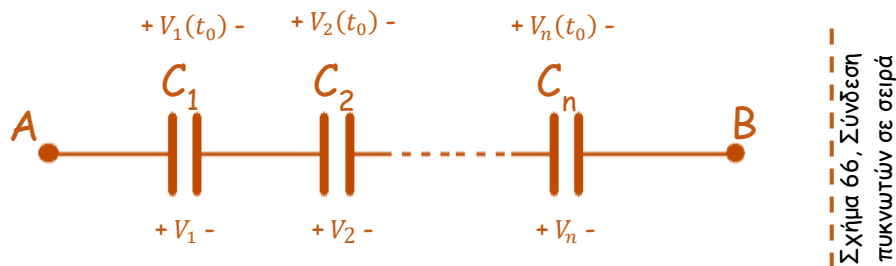
Όταν συνυπάρχουν οι δύο προηγούμενες περιπτώσεις η **συνδεσμολογία** καλείται **μικτή**, και για τον υπολογισμό της  $R_{ολική}$  εφαρμόζουμε διαδοχικά τους παραπάνω κανόνες ανάλογα με την σειρά που επιβάλλει το προς μελέτη κύκλωμα.

- Απόδειξη των σχέσεων (Σχέση 12 και Σχέση 13)
- Αν και έχουμε αναφέρει πως η συνδεσμολογία των αντιστάσεων μπορεί να είναι είτε σε σειρά είτε παράλληλα, ή και μεικτή (σύνδυσμος αυτών), πολλές φορές μπορεί οι αντιστάσεις να μην είναι συνδεδεμένες ούτε σε σειρά, ούτε παράλληλα!
  - Στα πλαίσια του μαθήματος δεν θα εξετάσουμε αυτές τις περιπτώσεις, μπορείτε ωστόσο να αναζητήσετε στο διαδίκτυο για κυκλώματα [#Electrical\\_Bridge\\_Networks](#) ώστε να δείτε μια τέτοια περίπτωση. Η επίλυση γίνεται με το [#θεώρημα\\_Kenelly](#), [#θεώρημα\\_Rose](#) κ.α).



### 3.3.2 Πυκνωτές στη σειρά και παράλληλα

- **Σύνδεση πυκνωτών σε σειρά:** Δύο ή και περισσότεροι πυκνωτές, είναι συνδεδεμένοι σε σειρά όταν το τέλος του ενός συνδέεται στην αρχή του άλλου (Σχήμα 66, Σύνδεση πυκνωτών σε σειρά) ενώ μεταξύ τους δεν υπάρχει κάποιος κόμβος. Όλοι οι πυκνωτές σε αυτή την περίπτωση διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα, με αποτέλεσμα εν τέλει να έχουν και το ίδιο φορτίο. Ο κάθε πυκνωτής επιπρόσθετα μπορεί να έχει (από πριν) διαφορετική αρχική τάση  $V_n(t_0)$  στη χρονική στιγμή  $t_0$ .

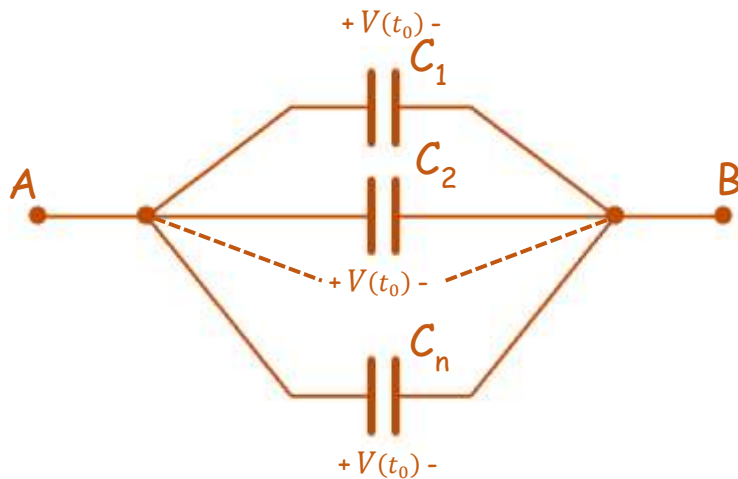


Μπορούμε να υπολογίσουμε και να αντικαταστήσουμε το σύνολο των εν σειρά πικνωτών με έναν ισοδύναμο πικνωτή  $C_{ολικο}$  ως εξής:

$$\frac{1}{C_{ολικό}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (\text{Σχέση 14})$$

- Ο ισοδύναμος πικνωτής  $C_{ολικό}$ ; Θα είναι μικρότερος σε τιμή του μικρότερου από τους σε σειρά πικνωτές
- Αν οι πικνωτές είναι ίσοι σε τιμή τότε ο ισοδύναμος ολικός ισούται με  $C_{ολικός} = \frac{C}{n}$  (όπου  $n$  το πλήθος των ίσων πικνωτών)
- Εάν έχουμε δύο σε σειρά πικνωτές τότε υπολογίζουμε τον ισοδύναμο  $C_{ολικό}$  ως εξής  $C_{ολικό} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$

- **Σύνδεση πικνωτών παράλληλα:** Δύο ή και περισσότεροι πικνωτές, είναι συνδεδεμένοι παράλληλα (Σχήμα 67) όταν όλα τα άκρα της μιας πλευράς τους καταλήγουν σε έναν κοινό κόμβο (έστω A) ενώ τα άκρα της άλλης πλευράς τους σε έναν άλλο κόμβο (έστω B). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι πικνωτές να έχουν ίδια πτώση τάσης στα άκρα τους ενώ διαρρέονται από διαφορετικά ρεύματα ο καθένας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έχουν διαφορετικά φορτία ο καθένας αλλά ίδια αρχική τάση  $V(t_0)$ .



Σχήμα 67, Παράλληλη σύνδεση πυκνωτών

Μπορούμε να υπολογίσουμε και να αντικαταστήσουμε το σύνολο των εν σειρά πυκνωτών με έναν ισοδύναμο  $C_{ολικό}$  ως εξής:

$$C_{ολικός} = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (\text{Σχέση 15})$$

- Ο ισοδύναμος πυκνωτής  $C_{ολικός}$  θα είναι μεγαλύτερος σε τιμή του μεγαλύτερου από τους εν σειρά πυκνωτές
- Αν οι πυκνωτές είναι ίσοι σε τιμή τότε ο ισοδύναμος υπολογίζεται ως:  $C_{ολικός} = n \cdot C$  (όπου  $n$  το πλήθος των ίσων πυκνωτών)

Ας σημειωθεί ακόμη πως και στους πυκνωτές έχουμε μικτή συνδεσμολογία καθώς και στα πηνία που θα δούμε παρακάτω. Σε κάθε περίπτωση εφαρμόζουμε τους αντίστοιχους κανόνες για τον υπολογισμό της ολικής ποσότητας του ηλεκτρικού στοιχείου σύμφωνα με την σειρά που επιβάλλει το εκάστοτε ηλεκτρικό κύκλωμα.

Απόδειξη των σχέσεων (Σχέση 14 και (Σχέση 15

tap or scan



### 3.3.3 Πηνία στη σειρά και παράλληλα

Όπως και με τις αντιστάσεις έτσι και με τα πηνία ακολουθούμε την ίδια μεθοδολογία υπολογισμού του ισοδύναμου ολικού πηνίου.

- **Σύνδεση Πηνίων σε σειρά:** Δύο ή και περισσότερα πηνία, είναι συνδεδεμένα σε σειρά όταν το τέλος του ενός συνδέεται στην αρχή του άλλου (Σχήμα 68) ενώ μεταξύ τους δεν υπάρχει κάποιος κόμβος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα πηνία να διαρρέονται από ίδιας έντασης ρεύμα ενώ εμφανίζουν διαφορετική πτώση τάσης στα άκρα τους.

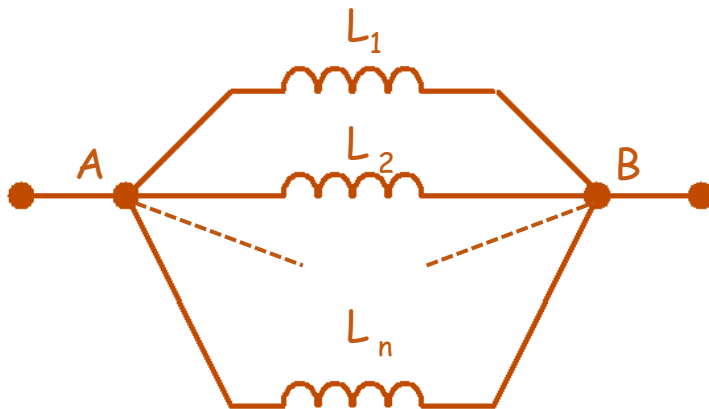


Μπορούμε να υπολογίσουμε και να αντικαταστήσουμε το σύνολο των εν σειρά πηνίων με ένα ισοδύναμο πηνίο  $L_{ολικό}$  ως εξής:

$$L_{ολικό} = L_1 + L_2 + \dots + L_n \quad (\text{Σχέση 16})$$

- Το ισοδύναμο πηνίο  $L_{ολικό}$  θα είναι μεγαλύτερο σε τιμή του μεγαλύτερου από τα εν σειρά πηνία
- Αν τα πηνία είναι ίσα σε τιμή τότε το ισοδύναμο ολικό ισούται με  $L_{ολικό} = n \cdot L$  (όπου  $n$  το πλήθος των ίσων πηνίων)

- **Σύνδεση πηνίων παράλληλα:** Δύο ή και περισσότερα πηνία, είναι συνδεδεμένα παράλληλα όταν όλα έχουν δύο κοινά σημεία σύνδεσης (Σχήμα 69). Με άλλα λόγια, είναι συνδεδεμένα παράλληλα όταν όλα τα άκρα της μιας πλευράς τους καταλήγουν σε έναν κοινό κόμβο (έστω A) τα άκρα της άλλης πλευράς τους σε έναν άλλο κόμβο (έστω B). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα πηνία να διαρρέονται από διαφορετικής έντασης ρεύματα ενώ εμφανίζουν ίδια πτώση τάσης το κάθε ένα.



Σχήμα 69, Παράλληλη σύνδεση πηνίων

Μπορούμε να υπολογίσουμε και να αντικαταστήσουμε το σύνολο των παραλλήλων πηνίων με ένα ισοδύναμο πηνίο  $L_{ολικό}$  ως εξής:

$$\frac{1}{L_{ολικό}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n} \quad (\text{Σχέση 17})$$

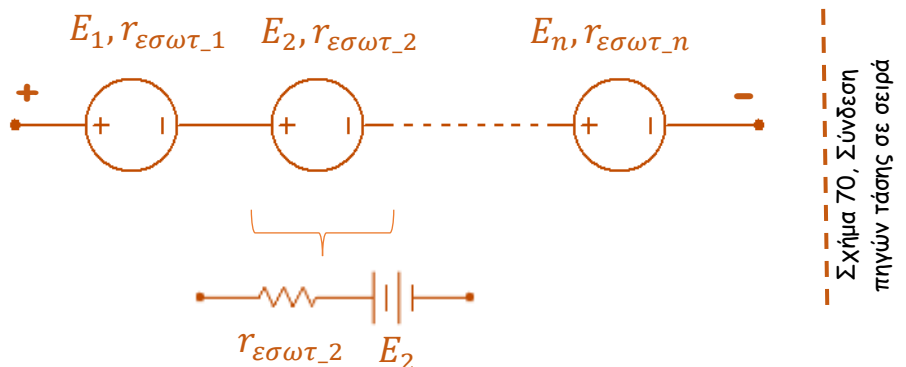
- Το ισοδύναμο πηνίο  $L_{ολικό}$  θα είναι μικρότερο σε τιμή του μικρότερου από τα παράλληλα πηνία
- Αν τα πηνία είναι ίσα σε τιμή τότε το ισοδύναμο ολικό ισούται με  $L_{ολικό} = \frac{L}{n}$  (όπου n το πλήθος των ίσων πηνίων)
- Εάν έχουμε δύο παράλληλα πηνία τότε υπολογίζουμε το ισοδύναμο πηνίο  $L_{ολικό}$  ως εξής  $L_{ολικό} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$

#αποδείξτε\_τις\_σχέσεις\_5\_και\_6

### 3.3.4 Πηγές τάσης σε σειρά και παράλληλα

Οι πηγές τάσης μας δίνουν ένα ρεύμα το οποίο δεν μπορεί να ξεπεράσει κάποια οριακή τιμή, πολλές φορές όμως προκύπτουν ανάγκες για μεγαλύτερη τάση ή ρεύμα, ή συνδυασμός και των δύο. Για να μπορέσουμε λοιπόν να καλύψουμε τις ανάγκες αυτές συνδέουμε μαζί είτε σε σειρά, είτε παράλληλα, είτε μεικτά, πηγές τάσης ανάλογα με τον επιδιωκόμενο σκοπό. Χρειάζεται επίσης να σημειωθεί πως με τον όρο «πηγή τάσης» αναφερόμαστε σε πραγματικές πηγές οι οποίες χαρακτηρίζονται από ΗΕΔ ( $E$ ) και μια εσωτερική αντίσταση  $r_{εσωτ}$ .

- **Σύνδεση πηγών τάσης σε σειρά:** Δύο ή και περισσότερες πηγές τάσης είναι συνδεδεμένες σε σειρά (Σχήμα 69) όταν ο θετικός πόλος της μιας συνδέεται με τον αρνητικό πόλο της επομένης (κ.ο.κ) ώστε να σχηματίζονται δύο συνολικά ακροδέκτες (+,-) από τον θετικό πόλο της πρώτης και τον αρνητικό πόλο της δεύτερης.



Στην παραπάνω συνδεσμολογία οι πηγές μπορούν να έχουν διαφορετική τιμή η κάθε μια, ωστόσο θα πρέπει να είναι πηγές ίδιου τύπου (πχ όλες ηλεκτρικοί συσσωρευτές).

Το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος αααα αντικαθίσταται από μια πηγή τιμής  $E_{ολ}$  και μια αντίσταση σε σειρά  $r_{ολ}$ , δηλαδή:

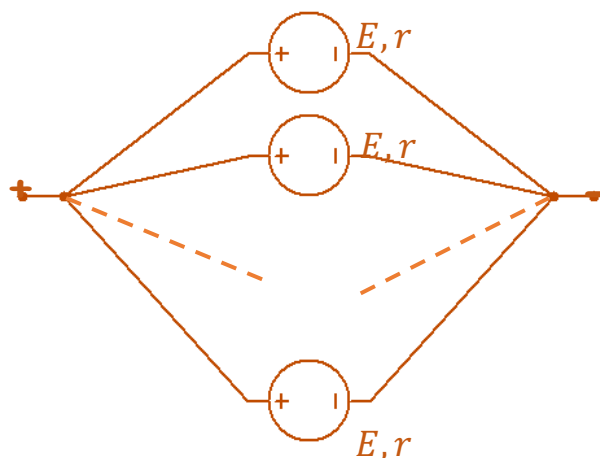
$$E_{ολ} = E_1 + E_2 + \dots + E_n \quad (\text{Σχέση 18})$$

$$r_{ολ} = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

Διαπιστώνουμε ότι μπορούμε να πάρουμε μεγάλη τάση αν έχουμε σύνδεση πηγών τάσης σε σειρά. Αν όμως στην σύνδεση αυτή, αντιστραφούν οι πόλοι κάποιας πηγής, τότε η πηγή αυτή είναι συνδεδεμένη κατά αντίθεση με τις υπόλοιπες και στην (Σχέση 18 γράφεται με αρνητικό πρόσημο).



**Σύνδεση πηγών τάσης παράλληλα:** Δύο ή και περισσότερες πηγές τάσης είναι συνδεδεμένες παράλληλα, οι θετικοί πόλοι τους καταλήγουν σε ένα κοινό κόμβο, ενώ όλοι οι αρνητικοί πόλοι τους σε έναν άλλο κοινό κόμβο (Σχήμα 71).



Σχήμα 71, Παράλληλη σύνδεση πηγών



Στην παραπάνω συνδεσμολογία οι πηγές επιβάλλετε να είναι ίδιες τόσο στην τιμή τους όσο και στην εσωτερική αντίστασή τους διότι σε διαφορετική περίπτωση οι πηγές με την μεγαλύτερη ΗΕΔ θα στέλνουν ρεύματα στις πηγές με την μικρότερη ΗΕΔ οδηγώντας τις έτσι στην εξάντληση.

Το ισοδύναμο κύκλωμα του Σχήμα 71 αντικαθίσταται από μια πηγή τιμής  $E_{ολ}$  και μια αντίσταση σε σειρά  $r_{ολ}$ , δηλαδή:

$$E_{ολ} = E$$

$$r_{ολ} = \frac{r}{n} \quad \text{όπου } n \text{ το πλήθος των ίδιων πηγών}$$

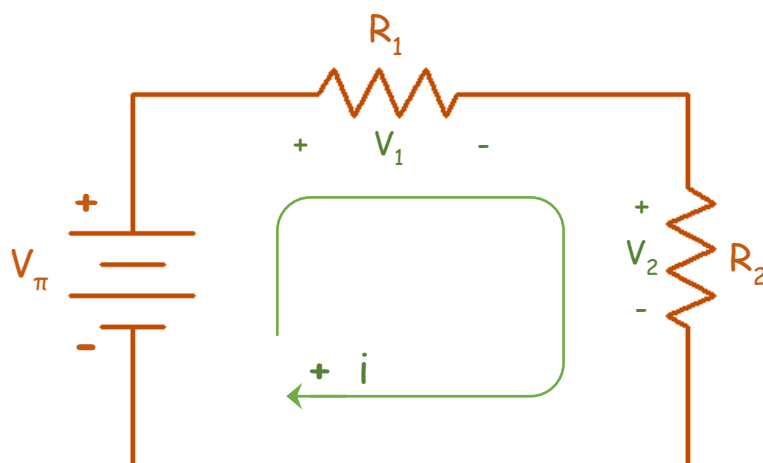
$$i_{ολ} = n \cdot i \quad \text{όπου } i \text{ το ρεύμα της μιας από τις όμοιες πηγές}$$

Διαπιστώνουμε πως μπορούμε να πάρουμε μεγάλη ένταση ρεύματος όταν έχουμε σύνδεση πηγών τάσης συνδεδεμένες παράλληλα.

Χρειάζεται επίσης να σημειωθεί πως στην #μικτή\_συνδεσμολογία\_πηγών\_τάσης μπορούμε να πάρουμε μεγάλη τάση και μεγάλο ρεύμα.

### 3.4 Διαιρέτης Τάσης και Ρεύματος

- **Διαιρέτης Τάσης:** Ένα από τα θεμελιώδη κυκλώματα καταμερισμού της τάσης σε δύο ή και περισσότερες αντιστάσεις αποτελεί ο διαιρέτης τάσης. Ο διαιρέτης τάσης αποτελείται από αντιστάσεις συνδεδεμένες σε σειρά (Σχήμα 72).



Σχήμα 72. Απλούστερο κύκλωμα διαιρέτη τάσης

Ο **διαιρέτης τάσης** λοιπόν, είναι χρήσιμος στις περιπτώσεις όπου επιθυμούμε να λάβουμε μια **τάση υποπολλαπλάσια από αυτή της πηγής**.

Για τον προσδιορισμό της πτώσης τάσης κάθε αντίστασης θα χρησιμοποιήσουμε τον 2<sup>ος</sup> κανόνα (των τάσεων) του Kirchhoff - Ν.Τ.Κ. Να θυμίσουμε πως το κύκλωμα τροφοδοτείται από τάση  $V_\pi$  ενώ διαρρέεται από το ρεύμα  $i$  το οποίο είναι κοινό και για τις δύο εν σειρά αντιστάσεις.

$$V_\pi = i \cdot R_1 + i \cdot R_2 \Rightarrow$$

$$V_\pi = i \cdot (R_1 + R_2) \Rightarrow \text{λύνουμε ως προς το } i$$

$$i = \frac{V_\pi}{R_1 + R_2} \quad (\text{Σχέση 19})$$

Χρησιμοποιώντας τέλος τον νόμο του ohm ( $V = i \cdot R$ ) και την (Σχέση 19) θα οδηγηθούμε στην πτώση τάσης της κάθε αντίστασης:

$$V_1 = i \cdot R_1 \Rightarrow V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_\pi \quad (\text{Σχέση 20})$$

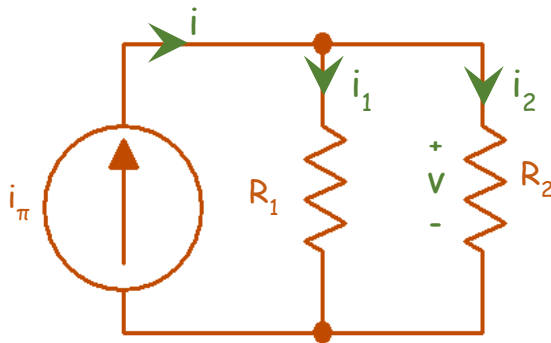
$$V_2 = i \cdot R_2 \Rightarrow V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_\pi \quad (\text{Σχέση 21})$$

Γενικεύοντας τις σχέσεις (Σχέση 20 και (Σχέση 21 για τον προσδιορισμό της πτώσης τάσης στην  $n$  αντίσταση σε σειρά θα έχουμε:

$$V_n = \frac{R_n}{\sum_1^k R_k} \cdot V_\pi \quad \text{όπου } k=1,2,\dots,n$$

- **Διαιρέτης Ρεύματος:** Για τον καταμερισμό του ρεύματος από την άλλη, σε δύο ή και περισσότερες αντιστάσεις, χρησιμοποιούνται κυκλώματα που καλούνται διαιρέτες

ρεύματος. Ο διαιρέτης ρεύματος αποτελείται από αντιστάσεις συνδεδεμένες παράλληλα (Σχήμα 73).



Σχήμα 73, Απλούστερο κύκλωμα διαιρέτη ρεύματος

Για τον προσδιορισμό του ρεύματος που διαρρέει την κάθε αντίσταση θα χρησιμοποιήσουμε τον 1<sup>ο</sup> κανόνα (των ρευμάτων) του Kirchhoff - Ν.Ρ.Κ. Να θυμίσουμε πως το κύκλωμα τροφοδοτείται από τάση  $V_{\pi}$  ενώ το ρεύμα  $i$  διακλαδίζεται στις δυο παράλληλες αντιστάσεις που βρίσκονται υπο κοινή πτώση τάσης ( $v$  ίση με  $V_{\pi}$ ).

Εφαρμόζουμε Ν.Ρ.Κ :

$$i = i_1 + i_2 \Rightarrow$$

$$i = \frac{v}{R_1} + \frac{v}{R_2} = v \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \Rightarrow \text{λύνουμε ως προς το } v$$

$$v = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot i \quad (\text{Σχέση 22})$$

Χρησιμοποιώντας τον νόμο του ohm ( $i = v/R$ ) και την (Σχέση 22) θα οδηγηθούμε στον υπολογισμό του ρεύματος που διαρρέει την κάθε αντίσταση, δηλαδή:

$$i_1 = \frac{v}{R_1} \Rightarrow i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot i \quad (\text{Σχέση 23})$$

$$i_2 = \frac{v}{R_2} \Rightarrow i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot i \quad (\text{Σχέση 24})$$

Γενικεύοντας τις σχέσεις (Σχέση 23 και (Σχέση 24) για τον προσδιορισμό των ρευμάτων θα έχουμε:

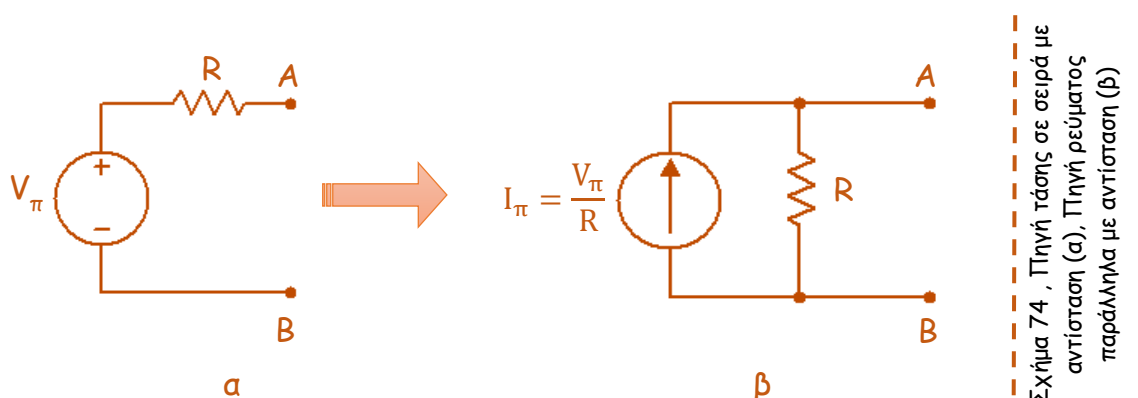
$$i_n = \frac{R_{\text{ολικό παράλληλων αντιστάσεων}}}{R_n} \cdot i_{\pi}$$

### 3.5 Μετασχηματισμός Πηγών Τάσης και Ρεύματος

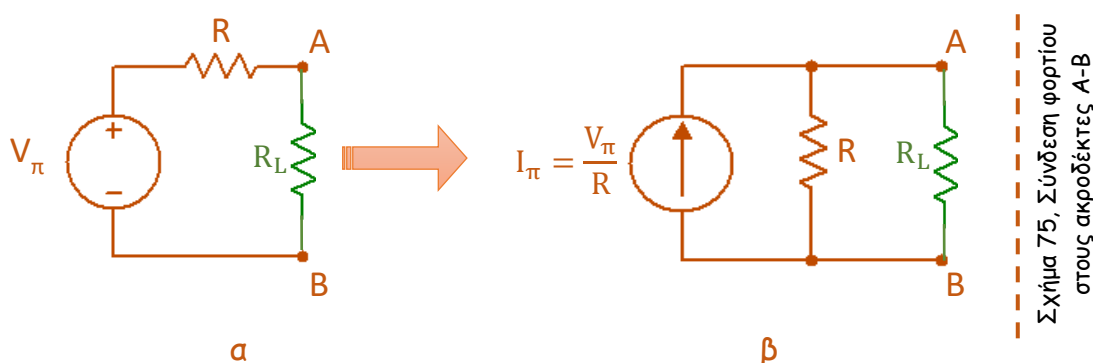
Κάποιες φορές αναλύοντας ένα κύκλωμα διευκολυνόμαστε σημαντικά μετασχηματίζοντας πηγές τάσης σε πηγές ρεύματος ή και το αντίστροφο, ενώ απλοποιούμε σημαντικά την εύρεση και τον προσδιορισμό των ζητούμενων της ανάλυσης. Για το λόγο αυτό, είναι σημαντικό να μπορούμε να προβούμε στους μετασχηματισμούς των πηγών.

Δύο πηγές θεωρούνται ισοδύναμες όταν παρέχουν την ίδια τάση, το ίδιο ρεύμα και την ίδια ισχύ σε ένα ηλεκτρικό φορτίο.

- **Μετασχηματισμός Πηγής Τάσης σε Πηγή Ρεύματος:** Μια πηγή τάσης  $V_\pi$  σε σειρά με μια αντίσταση μετασχηματίζεται (Σχήμα 74, α) ισοδύναμα σε μια πηγή ρεύματος  $i_\pi$  παράλληλά με μια αντίσταση όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 74, β)



Για να αποδείξουμε την ισοδυναμία των δύο κυκλωμάτων υπολογίζουμε το ρεύμα, την τάση και την ισχύ σε ένα φορτίο  $R_L$  το οποίο συνδέουμε στους ακροδέκτες A-B του κάθε κυκλώματος.



Για το αριστερό κύκλωμα (Σχήμα 75, α):

- Η πτώση τάσης στο φορτίο  $R_L$  προσδιορίζεται από την σχέση του διαιρέτη τάσης:

$$V_L = \frac{R_L}{R + R_L} \cdot V_\pi \quad (\text{Σχέση 25})$$

- Το ρεύμα που διαρρέει το φορτίο  $R_L$  προσδιορίζεται από τον νόμο του Ohm:

$$i_L = \frac{V_\pi}{R + R_L} \quad (\text{Σχέση 26})$$

- Η ισχύς στο φορτίο  $R_L$  προσδιορίζεται από την σχέση  $p_L = i_L^2 \cdot R_L$  άρα:

$$p_L = \left(\frac{V_\pi}{R+R_L}\right)^2 \cdot R_L \quad (\text{Σχέση 27})$$

Για το δεξιό κύκλωμα (Σχήμα 75, β):

- Το ρεύμα που διαρρέει το φορτίο  $R_L$  προσδιορίζεται από την σχέση του διαιρέτη ρεύματος:

$$i_L = \frac{R}{R+R_L} \cdot i_\pi = \frac{R}{R+R_L} \cdot \frac{V_\pi}{R} = \frac{V_\pi}{R+R_L} \quad (\text{Σχέση 28})$$

- Η πτώση τάσης στο φορτίο  $R_L$  προσδιορίζεται από τον νόμο του Ohm:

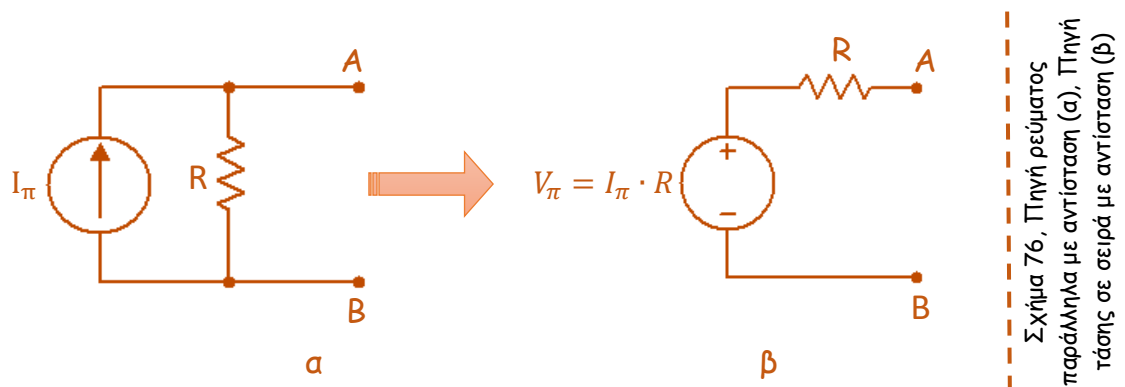
$$V_L = i_L \cdot R_L = \frac{V_\pi}{R + R_L} \cdot R_L = \frac{R_L}{R + R_L} \cdot V_\pi \quad (\text{Σχέση 29})$$

- Η ισχύς στο φορτίο  $R_L$  προσδιορίζεται από την σχέση  $p_L = i_L^2 \cdot R_L$  άρα:

$$p_L = \left(\frac{V_\pi}{R + R_L}\right)^2 \cdot R_L \quad (\text{Σχέση 30})$$

Συνεπώς, παρατηρούμε πως η (Σχέση 25) είναι ίδια με την (Σχέση 29), η (Σχέση 26) ίδια με την (Σχέση 28) και η (Σχέση 27) ίδια με την (Σχέση 30) αποδεικνύοντας επομένως την ισοδυναμία των δύο κυκλωμάτων.

- **Μετασχηματισμός Πηγής Ρεύματος σε Πηγή Τάσης:** Μια πηγή ρεύματος  $i_\pi$  παράλληλα με μια αντίσταση μετασχηματίζεται ισοδύναμα σε μια πηγή τάσης  $V_\pi$  σε σειρά με μια αντίσταση όπως φαίνεται στο Σχήμα 76.



Αναντίρρητα, αναλύοντας τα δύο κυκλώματα (Σχήμα 76, α-β) με όμοιο τρόπο όπως και προηγουμένως (Σχήμα 74, α-β) μπορούμε να αποδείξουμε την ισοδυναμία των δύο κυκλωμάτων υπολογίζοντας, την τάση, το ρεύμα και την ισχύ σε ένα φορτίο  $R_L$  το οποίο και θα συνδέσουμε στους ακροδέκτες A-B.

### 3.6 Μεταβλητές αντιστάσεις

Οι μεταβλητές αντιστάσεις πρακτικά αποτελούν κυκλωματικά στοιχεία των οποίων η τιμή μπορεί να μεταβληθεί από τον χρήστη μέσα σε ένα εύρος τιμών που έχει καθορίσει ο κατασκευαστής. Οι μεταβλητές αντιστάσεις είναι δύο τύπων:

- **Ρυθμιζόμενες αντιστάσεις (Σχήμα 77, α-β αριστερά):** αποτελούν αντιστάσεις συνήθως σύρματος, η τιμή των οποίων ρυθμίζεται μέσω ενός ακροδέκτη σταθερής ή μεταβλητής θέσης, ο οποίος και μας επιτρέπει να επιλέξουμε τμήμα ή τμήματα της όλης αντίστασης.
- **Μεταβλητής τιμής (Ποτενσιόμετρο-Ροοστάτης, Σχήμα 77, α-β δεξιά):** αποτελούν αντιστάσεις οι οποίες παρασκευάζονται με τις συνήθεις διεργασίες ενώ πάνω στο σώμα της αντίστασης υπάρχει ένα τρίτο άκρο υπο μορφή δρομέα. Το άκρο αυτό το οποίο περιστρέφεται επιτρέποντάς μας να πάρουμε από την ελάχιστη τιμή της αντίστασης έως την μέγιστη που έχει καθορίσει ο κατασκευαστής. *Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των*

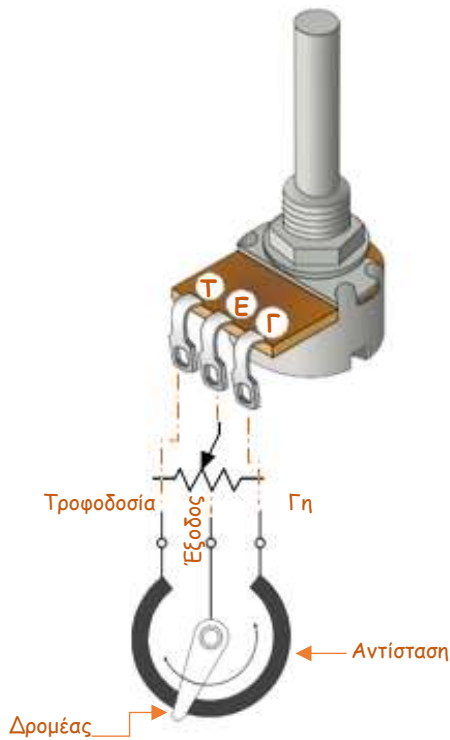
Σχήμα 77, Πραγματική μορφή ρυθμιζόμενων αντιστάσεων και μεταβλητής τιμής (α), Κυκλωματική αναπαράσταση (β)



αντιστάσεων αυτών, διακρίνονται σε ποτενσιόμετρα ή ροοστάτες και θα αναλυθούν παρακάτω.

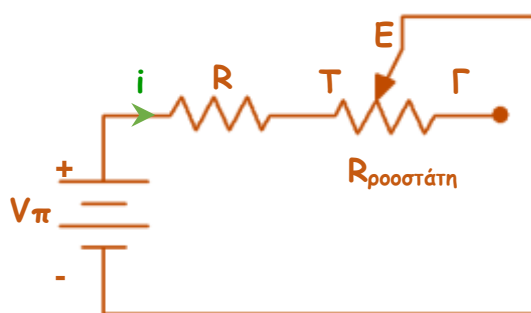
### 3.6.1 Ροοστάτης

Για να ρυθμίσουμε την ένταση του ρεύματος σε ένα κύκλωμα χρησιμοποιούμε έναν αντιστάτη μεταβλητής τιμής όμοιο με αυτόν του Σχήμα 78.



Σχήμα 78, Αναπαράσταση ενός ροοστάτη και των ακροδεκτών του

Ο τρόπος σύνδεσής του για τον σκοπό αυτό καλείται ροοστάτης. Ένας ροοστάτης λοιπόν έχει δύο ακροδέκτες (Τ, Γ) και μια ενδιάμεση λήψη (Ε) όπως φαίνεται στο Σχήμα 79, ωστόσο χρησιμοποιούμε μόνο τον ακροδέκτη της Τροφοδοσίας (Τ) και της Εξόδου (Ε).



Σχήμα 79, Τρόπος σύνδεσης ροοστάτη

Η ολική αντίσταση του ροοστάτη είναι  $R_{\text{ροοστάτη}}=R_{\text{ΤΤ}}$ . Μεταβάλλοντας την θέση του δρομέα (E) μεταβάλλουμε την αντίσταση του ροοστάτη με συνέπεια να μεταβάλλεται η συνολική αντίσταση του κυκλώματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της έντασης του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.



Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα θα είναι:

$$i = \frac{V_{\pi}}{R + R_{TE}} \quad (\text{Σχέση 31})$$

και εξαρτάται από την θέση του δρομέα (E). Για να γίνει πιο σαφές, η ελάχιστη τιμή της αντίστασης του ροοστάτη λαμβάνεται με την θέση του δρομέα στην θέση T ενώ η μέγιστη στην θέση Γ. Κατά συνέπεια η περιοχή τιμών του ρεύματος εξαρτάται από τις δύο ακραίες αυτές θέσεις (T, Γ). Αναλυτικότερα:

- Αν ο δρομέας βρίσκεται στην θέση T ( $E \equiv T$ ) τότε η αντίσταση θα είναι η ελάχιστη και θα έχουμε το μέγιστο ρεύμα:

$$i_{max} = \frac{V_{\pi}}{R + R_{TE}} = \frac{V_{\pi}}{R + R_T}$$

- Αντίθετα, αν ο δρομέας βρίσκεται στην θέση Γ ( $E \equiv \Gamma$ ) τότε η αντίσταση θα είναι η μέγιστη και θα έχουμε το ελάχιστο ρεύμα:

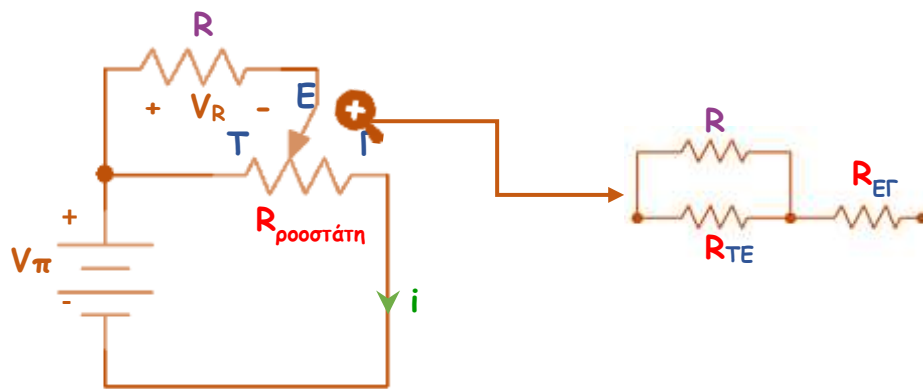
$$i_{min} = \frac{V_{\pi}}{R + R_{TE}} = \frac{V_{\pi}}{R + R_{\Gamma}}$$

Είναι φανερό πως η περιοχή τιμών για το ρεύμα είναι:

$$\frac{V_{\pi}}{R + R_T} \leq i \leq \frac{V_{\pi}}{R + R_{\Gamma}}$$

### 3.6.2 Ποτενσιόμετρο

Για να ρυθμίσουμε την τάση  $V_R$  σε έναν αντιστάτη  $R$ , συνδέουμε παράλληλα σε αυτόν έναν αντιστάτη μεταβλητής τιμής  $R_{\text{ροοστάτη}}$ . Ο τρόπος σύνδεσής του για τον σκοπό αυτό καλείται ποτενσιόμετρο. Ένα ποτενσιόμετρο έχει δύο ακροδέκτες (T, Γ) και μια ενδιάμεση λήψη (E) όπως φαίνεται στην εικόνα 2χχχχχχ.



Σχήμα 80, Τρόπος σύνδεσης ποτενσιόμετρου

Η ολική αντίσταση του ροοστάτη είναι  $R_{\text{ροοστάτη}}=R_{\text{TΓ}}$ . Μεταβάλλοντας την θέση του δρομέα (E) μεταβάλλουμε την αντίσταση του ροοστάτη με συνέπεια να μεταβάλλεται η συνολική αντίσταση του κυκλώματος  $R//R_{\text{TE}} + R_{\text{EΓ}}$ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της τάσης στα άκρα των παράλληλων αντιστάσεων.

Η τάση στα άκρα της αντίστασης R θα είναι:

$$V_R = \frac{R//R_{\text{TE}}}{R//R_{\text{TE}} + R_{\text{EΓ}}} \cdot V_{\pi} \text{ και εξαρτάται από την θέση του δρομέα (E).}$$

Όπως και στον ροοστάτη, έτσι και στο ποτενσιόμετρο, λόγω του εύρους μεταβολής της αντίστασης η περιοχή τιμών της τάσης ορίζεται από τις δύο ακραίες θέσεις (Τ,Γ). Συγκεκριμένα:

- Αν ο δρομέας βρίσκεται στην θέση Τ ( $E \equiv T$ ) τότε η αντίσταση θα είναι η ελάχιστη ( $R_{\text{TE}} \rightarrow 0$  και άρα  $R//R_{\text{TE}} = 0$ ) και θα έχουμε μηδενική πτώση τάσης:

$$V_R = V_{\text{min}} = 0$$

Η πτώση τάσης δηλαδή θα βρίσκεται συγκεντρωμένη στην  $R_{\text{EΓ}}$  ( $V_{R_{\text{EΓ}}} = V_{\pi}$ )

- Από την άλλη πλευρά, αν ο δρομέας βρίσκεται στην θέση Γ ( $E \equiv \Gamma$ ) τότε η αντίσταση θα είναι η μέγιστη και θα έχουμε την μέγιστη πτώση τάσης:

$$V_R = V_{\text{max}} = V_{\pi}$$

Η πτώση τάσης δηλαδή θα βρίσκεται συγκεντρωμένη στους παράλληλους αντιστάτες  $R//R_{\text{TE}}$  (αφού  $R_{\text{EΓ}} \rightarrow 0$ )

Είναι φανερό πως η περιοχή τιμών για την πτώση τάσης είναι:

$$0 \leq V_R \leq V_{\pi}$$

### 3.7 Μέτρηση αντιστάσεων με την χρήση βολτομέτρου και αμπερομέτρου

Για τον προσδιορισμό διαφόρων ηλεκτρικών μεγεθών πραγματοποιούμε ηλεκτρικές μετρήσεις χρησιμοποιώντας κατάλληλες μεθόδους και όργανα. Τα όργανα ωστόσο δεν μας δίνουν με απόλυτη ακρίβεια την πραγματική τιμή του μετρούμενου ηλεκτρικού μεγέθους. Αυτό οφείλεται κυρίως στα σφάλματα που εισάγονται στις ηλεκτρικές μετρήσεις τόσο από τα όργανα όσο και από τις μεθόδους μέτρησης. Αυτό μπορούμε να το επιβεβαιώσουμε κάνοντας πολλαπλές μετρήσεις είτε με το ίδιο όργανο, είτε με διαφορετικό, είτε ακόμα και με διαφορετικές μεθόδους.

Τα σφάλματα των οργάνων μέτρησης οφείλονται σε διάφορες αιτίες που κατηγοριοποιούνται σε:

1. Αλλαγή της κατάστασης του κυκλώματος από την σύνδεση του οργάνου
2. Εσωτερικές αιτίες: μηχανικά σφάλματα (πχ λόγω ποιότητας οργάνου), σφάλματα βαθμονόμησης του οργάνου

3. Εξωτερικές αιτίες: σφάλματα λόγω συχνότητας ή επίδρασης μαγνητικών πεδίων, σφάλματα από την επίδραση της θερμοκρασίας
4. Υποκειμενικές αιτίες: σφάλματα από την προσέγγιση των υπολογισμών, από την μέθοδο μέτρησης

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, το αποτέλεσμα της μέτρησης, σαν τιμή  $M$  μιας ποσότητας ενός φυσικού μεγέθους δεν αποτελεί την πραγματική τιμή  $M_0$  αυτής της ποσότητας. Παρόλο που την πραγματική τιμή  $M_0$  δεν την γνωρίζουμε (αλλιώς δεν θα κάναμε την μέτρηση). γνωρίζουμε πως κατά την μέτρηση κάνουμε σφάλμα επομένως  $M \neq M_0$ . Η διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής  $M_0$  ενός μεγέθους και της μετρούμενης τιμής αυτού  $M$  καλείται **απόλυτο σφάλμα** ( $\Delta M$ ) της μέτρησης δηλαδή:  $\Delta M = M - M_0$

Το απόλυτο σφάλμα δεν χαρακτηρίζει την ποιότητα μιας μέτρησης.

Αν τώρα αναγάγουμε το απόλυτο σφάλμα  $\Delta M$  στην πραγματική τιμή  $M_0$  προκύπτει το **σχετικό σφάλμα** ( $\sigma$ ) της μέτρησης (εκφρασμένο επι τοις %). Με άλλα λόγια το σχετικό σφάλμα ορίζεται ως το πηλίκο του απόλυτου σφάλματος ( $\Delta M$ ) και της πραγματικής τιμής του μεγέθους ( $M_0$ ):

$$\sigma = 100 \cdot \left( \frac{\Delta M}{M_0} \right) \%$$



Στην πράξη το σχετικό σφάλμα μας κατατοπίζει καλύτερα για την ακρίβεια μιας μέτρησης σε σχέση με το απόλυτο, όμως στα πλαίσια του μαθήματος δεν θα εμβαθύνουμε στην θεωρία των μετρήσεων

Έχει καταστεί σαφές λοιπόν, πως το αποτέλεσμα που λαμβάνουμε από μια μέτρηση δεν συμπίπτει ακριβώς με την πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους εξαιτίας των σφαλμάτων των μετρήσεων. Τα σφάλματα ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται σε **συστηματικά** και **τυχαία**.

Τα **συστηματικά σφάλματα** οφείλονται κατά κύριο λόγο σε ατέλειες των οργάνων (ποιότητα κατασκευής, γήρανση εξαρτημάτων) ή άλλες γνωστές αιτίες (συνθήκες περιβάλλοντος). Για να εκτιμήσουμε τα σφάλματα αυτά καταφεύγουμε στο manual του κατασκευαστή, παρ' όλα αυτά είναι μια δύσκολη εργασία η εκτίμηση τέτοιων σφαλμάτων.

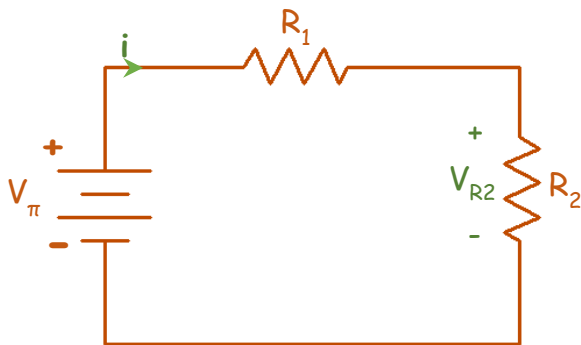
Τα **τυχαία σφάλματα** από την άλλη πλευρά, οφείλονται σε άγνωστες αιτίες, λ.χ. κατά την ανάγνωση της ένδειξης υπεισέρχεται ένα τυχαίο σφάλμα που μπορεί άλλοτε να αυξάνει και άλλοτε να μειώνει την τιμή του μετρούμενου μεγέθους, σε μια συμπτωματική ανωμαλία του οργάνου κ.α. Στο πλαίσιο αυτό, για να υπολογίσουμε τα τυχαία σφάλματα εκμεταλλευόμαστε τους κανόνες της στατιστικής. Γι' αυτό λοιπόν τα τυχαία σφάλματα περιορίζονται εκτελώντας πολλές μετρήσεις και θεωρούμε σαν πραγματική τιμή την μέση τιμή των πολλαπλών αυτών μετρήσεων. Δηλαδή:

$$\bar{M} = \sum_{i=1}^n \bar{M}_i / n \text{ όπου } \bar{M} \text{ η Μέση τιμή (Πραγματική τιμή), } \bar{M}_i: \text{ αριθμός μέτρησης, } n: \text{ πλήθος μετρήσεων}$$

Ας δούμε ένα παράδειγμα για να κατανοήσουμε καλύτερα την επίδραση των οργάνων στις μετρήσεις.

## Παράδειγμα

Έστω το κύκλωμα δύο εν σειρά αντιστάτων τιμής  $R_1=R_2= 50 \Omega$  (Σχήμα 81), το οποίο τροφοδοτείται από μια ιδανική πηγή (δεν λαμβάνουμε υπόψη την εσωτερική της αντίσταση) συνεχούς τάσης  $100V$ . Θέλουμε να προσδιορίσουμε την πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης  $R_2$ .



Σχήμα 81, Κύκλωμα εν σειρά αντιστάσεων με πηγή συνεχούς τάσης

## Λύση

Αρχικά θα υπολογίσουμε την τάση αυτή ( $V_{R2}$ ). Αφού οι αντιστάσεις είναι σε σειρά το ρεύμα που τις διαρρέει είναι κοινό:

$$i = \frac{V_{\pi}}{R_{ολ}} = \frac{V_{\pi}}{R_1 + R_2} \Rightarrow i = \frac{100 (V)}{50 + 50 (K\Omega)} \Rightarrow i = 1 mA$$

Η πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης  $V_{R2}$  είναι:

$$V_{R2} = i \cdot R_2 \Rightarrow V_{R2} = 1 mA \cdot 50 K\Omega = 1 \cdot 10^{-3} A \cdot 50 \cdot 10^3 \Omega \Rightarrow V_{R2} = 50V$$

Αναντίρρητα, εφόσον οι δύο εν σειρά αντιστάσεις είναι ίσες περιμένουμε η τάση της πηγής να ισομοιράζεται σε αυτές:

$$V_{R1} = i \cdot R_1 \Rightarrow V_{R1} = 50V$$

Στο σημείο αυτό καλό θα ήταν να μελετήσετε παράλληλα το παράρτημα του εργαστηρίου "Πολύμετρο".

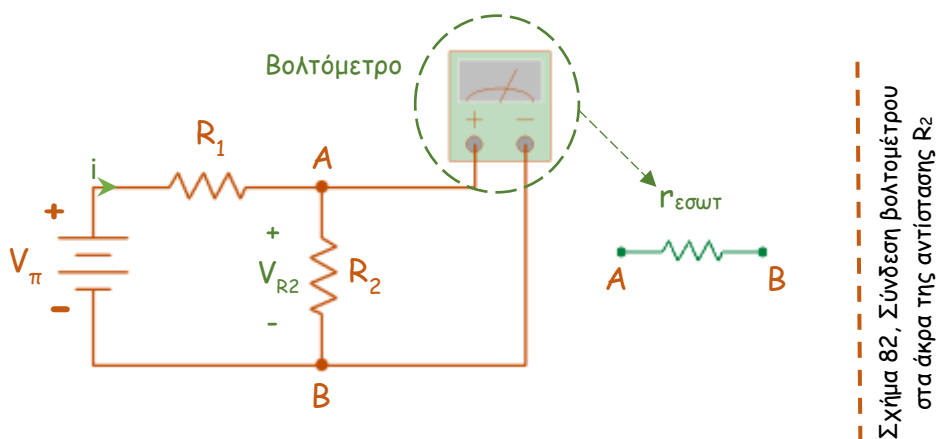
Το βολτόμετρο ιδανικά συμπεριφέρεται περίπου ως ανοιχτό κύκλωμα (άπειρη αντίσταση), στην πράξη ωστόσο περιέχει πολύ μεγάλη εσωτερική αντίσταση  $r_{\epsilon\sigma\omega\tau}$ .

Ο λόγος της συνολικής εσωτερικής αντίστασης του βολτομέτρου προς την τάση μέτρησης (V) καλείτε ευαισθησία του βολτομέτρου (S) και ορίζεται ως:

$$S = r_{\epsilon\sigma\omega\tau} / V$$

Επειδή λοιπόν το βολτόμετρο συνδέεται παράλληλα με τον αντιστάτη για την μέτρηση της πτώσης τάσης σε αυτόν, δημιουργείτε ένας κόμβος διακλάδωσης του ρεύματος που θα διέρρει τον αντιστάτη, και αυτό έχει ως επακόλουθο την μείωση της πραγματικής τάσης που επικρατεί στα σημεία που συνδέεται το βολτόμετρο.

Ας συνδέσουμε τώρα στην  $R_2$  (κόμβοι A,B) ένα βολτόμετρο (Σχήμα 82) και ας θεωρήσουμε πως η εσωτερική αντίσταση του βολτομέτρου είναι  $r_{\epsilon\sigma\omega\tau} = 25 \text{ K}\Omega$ .



Όπως παρατηρούμε η αντίσταση  $R_2$  παραλληλίζεται με την εσωτερική αντίσταση του βολτομέτρου  $r_{\epsilon\sigma\omega\tau}$  επομένως η νέα συνολική αντίσταση ( $R_{o\lambda'}$ ) που θα προκύψει στον κλάδο A-B είναι:

$$R_{2//r_{\epsilon\sigma\omega\tau}} = \frac{R_2 \cdot r_{\epsilon\sigma\omega\tau}}{R_2 + r_{\epsilon\sigma\omega\tau}} \Rightarrow R_{2//r_{\epsilon\sigma\omega\tau}} = \frac{50 \text{ K}\Omega \cdot 25 \text{ K}\Omega}{50 + 25 \text{ K}\Omega} \Rightarrow R_{2//r_{\epsilon\sigma\omega\tau}} = 16,67 \text{ K}\Omega$$

Καθώς επιθυμούμε να υπολογίσουμε την τάση που μετρά το βολτόμετρο ( $V'_{R_2}$ ) στα σημεία A-B, θα υπολογίσουμε το νέο ρεύμα ( $i'$ ) που διαρρέει το κύκλωμα, καθώς με την σύνδεση του βολτομέτρου μεταβλήθηκε η συνολική αντίσταση. Βέβαια θυμηθείτε πως δεν λαμβάνουμε υπόψη την εσωτερική αντίσταση της πηγής!

$$R_{o\lambda'} = R_1 + R_{2//r_{\epsilon\sigma\omega\tau}} \Rightarrow R_{o\lambda'} = 50 \text{ K}\Omega + 16,67 \text{ K}\Omega \Rightarrow R_{o\lambda'} = 66,67 \text{ K}\Omega$$

$$i' = \frac{V_{\pi}}{R_{\sigma\lambda}'} \Rightarrow i' = \frac{100 \text{ V}}{66,67 \text{ K}\Omega} \Rightarrow i' = 1,49 \text{ mA}$$

Παράλληλα υπολογίζουμε την νέα τάση στα άκρα της R1:

$$V'_{R1} = i' \cdot R_1 \Rightarrow V'_{R1} = 1,49 \text{ mA} \cdot 50 \text{ K}\Omega \Rightarrow V'_{R1} = 74,5 \text{ V}$$

Και την τάση στα άκρα της  $R_2//r_{\varepsilon\sigma\omega\tau}$  (πρακτικά την τάση που μετρά το πολύμετρο):

$$V'_{R2} = i' \cdot R_2//r_{\varepsilon\sigma\omega\tau} \Rightarrow V'_{R2} = 1,49 \text{ mA} \cdot 16,67 \text{ K}\Omega \Rightarrow V'_{R2} = 24,83 \text{ V}$$

Παρατηρήστε, το βολτόμετρο θα μας δείξει 24,83V αντί για 50V.

Ας προσδιορίσουμε το σχετικό σφάλμα:

$$\sigma = 100 \cdot \left( \frac{50 - 24,83 \text{ V}}{50 \text{ V}} \right) \% \Rightarrow \sigma = 50,34\%$$

Αν τώρα συνδέσουμε βολτόμετρο με εσωτερική αντίσταση  $r_{\varepsilon\sigma\omega\tau}=2,5 \text{ M}\Omega$  και επαναλάβουμε την παραπάνω διαδικασία:

$$R_2//r_{\varepsilon\sigma\omega\tau}' = 49,01 \text{ K}\Omega$$

$$R_{\sigma\lambda}'' = 99,01 \text{ K}\Omega$$

$$i'' = 1,009 \text{ mA}$$

$$V'_{R1} = 50,45 \text{ V}$$

$$V'_{R2} = 49,45 \text{ V}$$

Ας προσδιορίσουμε το νέο σχετικό σφάλμα:

$$\sigma' = 100 \cdot \left( \frac{50 - 49,45 \text{ V}}{50 \text{ V}} \right) \% \Rightarrow \sigma' = 1,1\%$$

Είναι φανερό πως καθώς αυξάνεται η εσωτερική αντίσταση του βολτομέτρου μειώνεται το σχετικό σφάλμα και γι' αυτό τον λόγο τα βολτόμετρα κατασκευάζονται με πολύ μεγάλη εσωτερική αντίσταση. Από την άλλη πλευρά, αν συνδέσουμε ένα αμπερόμετρο σε σειρά με έναν αντιστάτη και υπολογίσουμε το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα χωρίς την εσωτερική του αντίσταση αλλά και με αυτή, θα διαπιστώσουμε ότι το σχετικό σφάλμα στα αμπερόμετρα μικραίνει καθώς η εσωτερική τους αντίσταση μικραίνει. Γι' αυτό και τα αμπερόμετρα κατασκευάζονται με πολύ μικρή εσωτερική αντίσταση.

Στο σημείο αυτό, να τονίσουμε πως σκοπός της ενότητας αυτής δεν είναι να εμβαθύνουμε στην θεωρία σφαλμάτων των ηλεκτρικών μετρήσεων, αλλά να κατανοήσουμε διάφορους παράγοντες που υπεισέρχονται κατά την μέτρηση (όπως τα σφάλματα) και την επηρεάζουν. Φυσικά μπορείτε να αναζητήσετε βιβλιογραφία σχετική με την [#μέτρηση\\_αντιστάσεων\\_με\\_βολτόμετρο\\_και\\_αμπερόμετρο](#). Το [#σφάλμα](#) που προκύπτει στις δύο αυτές περιπτώσεις είναι διαφορετικό, και υπάρχουν δύο τρόποι σύνδεσης τους οι οποίοι ελαττώνουν το σφάλμα μέτρησης, ανάλογα με την τιμή του μετρούμενου αντιστάτη (Σχήμα 83).

Τιμή αντιστάτη R προς μέτρηση

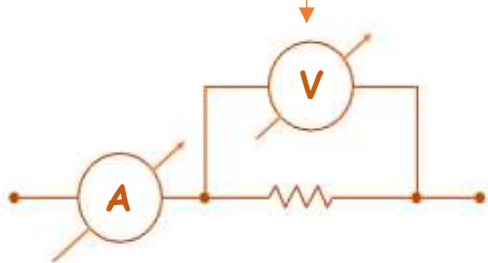
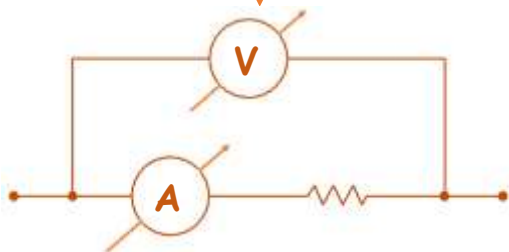


Υψηλή

Χαμηλή

Βέλτιστη σύνδεση για μείωση σφάλματος

Βέλτιστη σύνδεση για μείωση σφάλματος



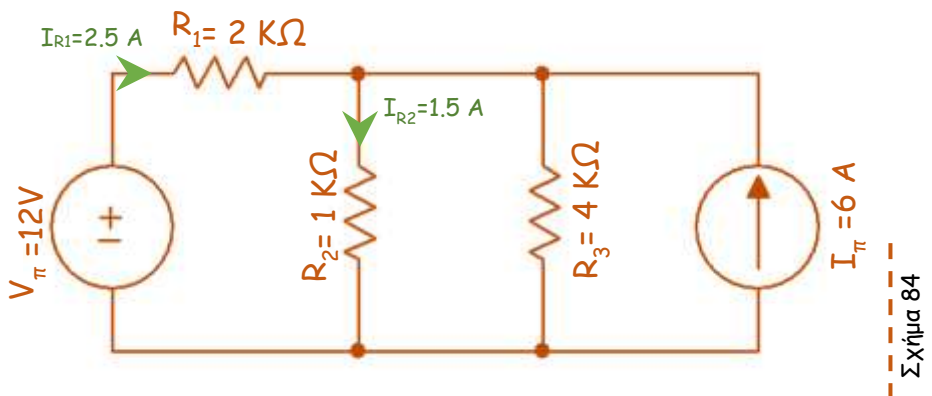
Σχήμα 83, Βέλτιστος τρόπος σύνδεσης οργάνου για ελαχιστοποίηση σφάλματος κατά την μέτρηση αντίστασης



## 3.8 Ασκήσεις

## Άσκηση 1

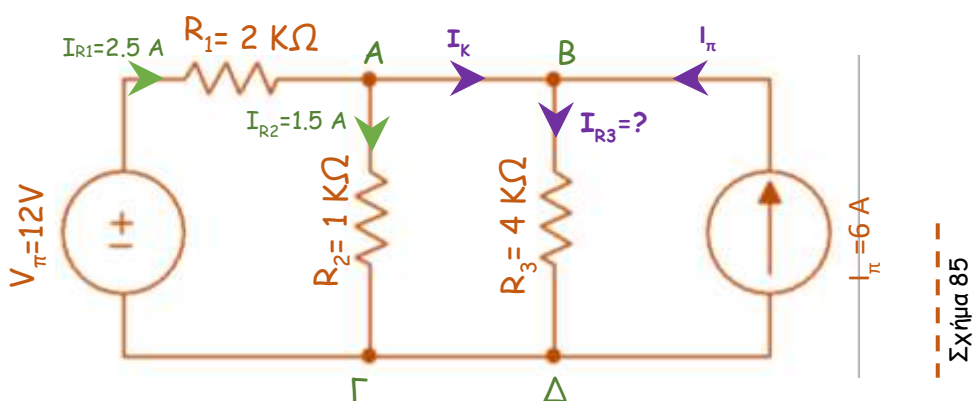
Στο κύκλωμα του Σχήμα 84, γνωρίζουμε πως η αντίσταση  $R_1$  διαρρέεται από ρεύμα έντασης 2.5 A ενώ η αντίσταση  $R_2$  από ρεύμα 1.5 A. Υπολογίστε το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση  $R_3$ .



Σχήμα 84

## Λύση

Θα εφαρμόσουμε τον 1<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff (Σχήμα 85) τοποθετώντας αυθαίρετα στους υπόλοιπους κλάδους την φορά των ρευμάτων



Σχήμα 85

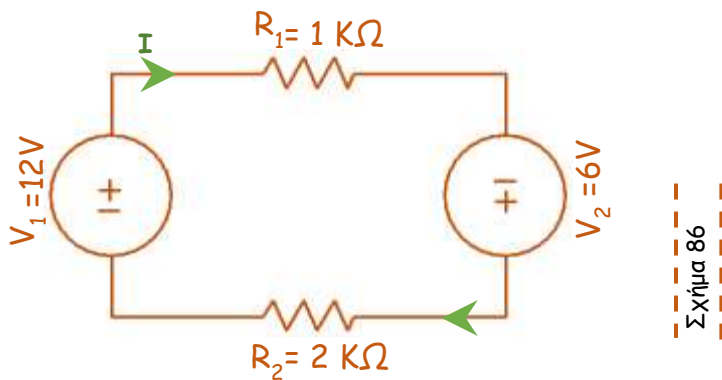
Στον κόμβο A, εισέρχεται το ρεύμα  $I_{R1}$  και εξέρχεται το  $I_{R2}$  και  $I_k$ .

Στον κόμβο B, εισέρχονται τα ρεύματα  $I_k$  και  $I_\pi$  και εξέρχεται το  $I_{R3}$ .

Εύκολα λοιπόν, εφαρμόζοντας τον 1<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff στον κόμβο A ( $I_{R1} - I_{R2} - I_K = 0$ ), μπορούμε να προσδιορίσουμε το  $I_K$  το οποίο είναι  $I_K = I_{R1} - I_{R2} \Rightarrow I_K = 2.5 \text{ A} - 1.5 \text{ A} \Rightarrow I_K = 1 \text{ A}$ . Συνεχίζουμε όμοια για τον προσδιορισμό του  $I_{R3}$ ,  $I_K + I_{R3} = I_{R2} \Rightarrow I_{R3} = 7 \text{ A}$

### Άσκηση 2

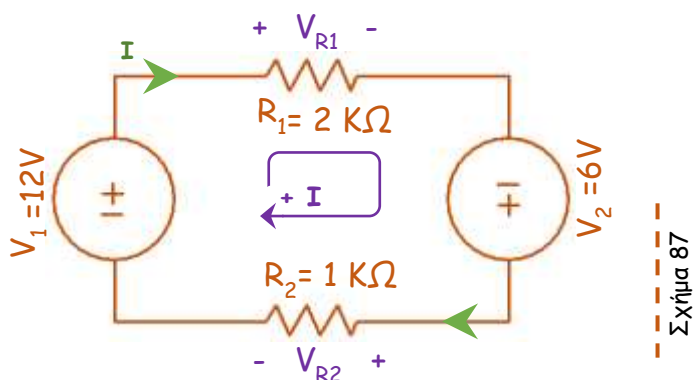
Υπολογίστε την πτώση τάσης σε κάθε αντιστάτη στο κύκλωμα (Σχήμα 86) που ακολουθεί.



Σχήμα 86

### Λύση

Στο κύκλωμα έχουμε ένα βρόχο, με κοινό ρεύμα  $I$ . Αρχικά θα εφαρμόσουμε (Σχήμα 87) τον 2<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff:



Σχήμα 87

$$-V_1 + V_{R1} - V_2 + V_{R2} = 0 \quad (\text{Σχέση 32})$$

Για να προσδιορίσουμε τους δύο αγνώστους θα εκμεταλλευτούμε τον νόμο του Ohm:

$$V_{R1} = IR_1 \text{ και } V_{R2} = IR_2 \quad (\text{Σχέση 33})$$

$$V_{R1} = I \cdot 2K\Omega \text{ και } V_{R2} = I \cdot 1K\Omega$$

Αντικαθιστούμε λοιπόν τα  $V_{R1}$  και  $V_{R2}$  στην (Σχέση 32):

$$-12V + IV_{R1} - 6V + IV_{R2} = 0 \Rightarrow$$

$$-12 + I \cdot 2K\Omega - 6 + I \cdot 1K\Omega = 0 \Rightarrow$$

Λύνουμε ως προς I:

$$I = 6 \text{ mA}$$

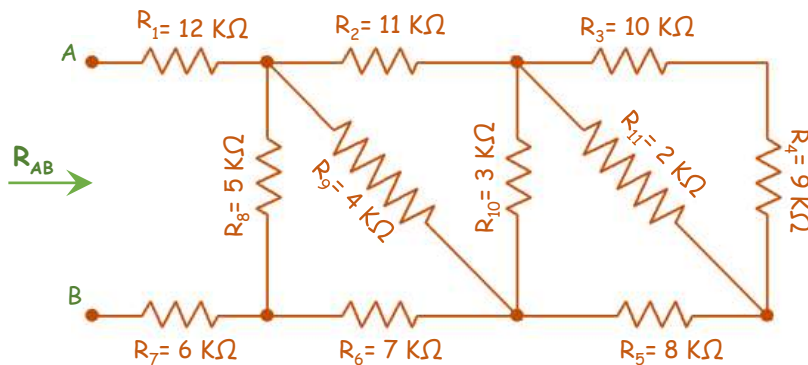
Εύκολα λοιπόν υπολογίζουμε την καθεμιά πτώση τάσης:

$$V_{R1} = 6 \text{ mA} \cdot 2K\Omega \Rightarrow V_{R1} = 12 \text{ V}$$

$$V_{R2} = 6 \text{ mA} \cdot 1K\Omega \Rightarrow V_{R2} = 6 \text{ V}$$

### Άσκηση 3

Υπολογίστε την ισοδύναμη αντίσταση  $R_{AB}$  στο κύκλωμα του Σχήμα 87.



Σχήμα 87

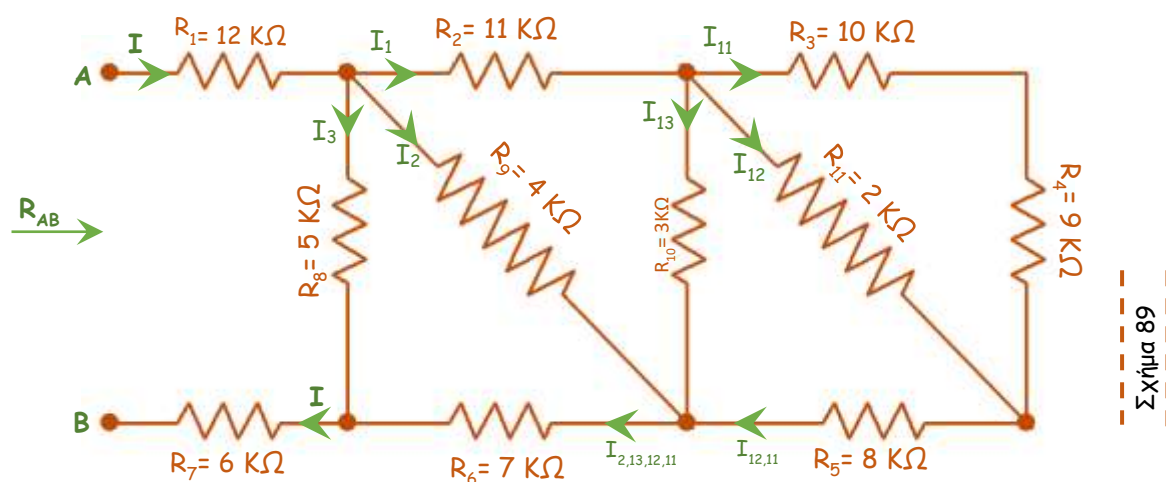
### Λύση

Όπως παρατηρούμε στο παραπάνω κύκλωμα η συνδεσμολογία των αντιστάσεων είναι μικτή. Για να υπολογίσουμε την ισοδύναμη αντίσταση μεταξύ των σημείων A-B θα πρέπει να προσδιορίσουμε την σχέση μεταξύ των αντιστάσεων. Με άλλα λόγια, ποιες αντιστάσεις είναι συνδεδεμένες σε σειρά, ποιες παράλληλα, ώστε με τις κατάλληλες σχέσεις, διαδοχικά να οδηγηθούμε στην ολική αντίσταση.

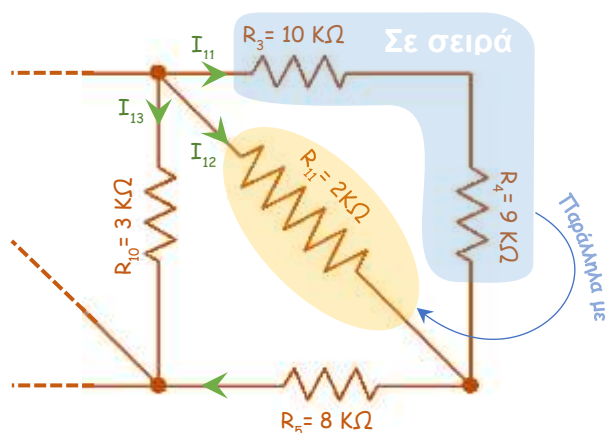
Σε τέτοιες περιπτώσεις, καλό είναι να προσδιορίσουμε ένα σημείο ως την "αρχή" του κυκλώματος και ένα σημείο ως το "τέλος" του, και έπειτα, να διατρέξουμε το κύκλωμα με ένα νοητό ρεύμα το οποίο εισέρχεται στο σημείο "αρχή" και εξέρχεται από το σημείο "τέλος". Με αυτό τον τρόπο, το ρεύμα μας βοηθά άμεσα και με εύκολο τρόπο να προσδιορίσουμε ποιες αντιστάσεις είναι συνδεδεμένες σε σειρά και ποιες παράλληλα.

Θεωρούμε λοιπόν ως αρχή του κυκλώματος του Σχήμα 89 το σημείο A και ως τέλος το σημείο B, και διατρέχουμε το κύκλωμα με ένα ρεύμα I. Σε κάθε κόμβο το ρεύμα αυτό διακλαδίζεται ακολουθώντας διαφορετική διαδρομή.

Άρα οι αντιστάσεις που βρίσκονται στον ίδιο κλάδο είναι μεταξύ τους συνδεδεμένες σε σειρά ενώ οι αντιστάσεις όσων κλάδων καταλήγουν σε κοινό κόμβο είναι συνδεδεμένες παράλληλα.

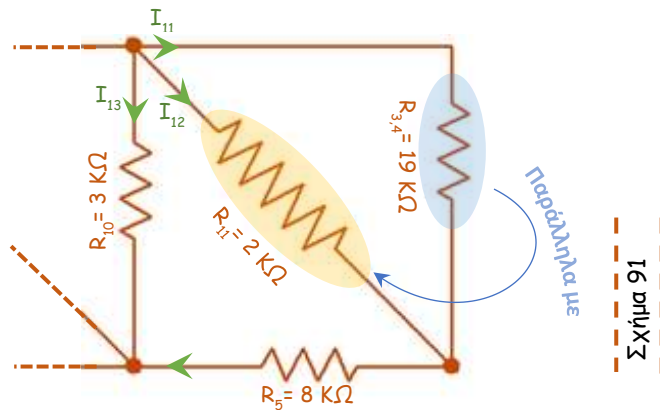


Παρατηρείστε πόσο ξεκάθαρες έχουν γίνει οι σχέσεις μεταξύ των αντιστάσεων. Οι αντιστάσεις  $R_3$  και  $R_4$  (Σχήμα 90) διαρρέονται από κοινό ρεύμα και ως εκ τούτου είναι συνδεδεμένες σε σειρά ενώ ταυτόχρονα καταλήγουν σε κοινό κόμβο με την  $R_{11}$  με την οποία είναι συνδεδεμένες παράλληλα.



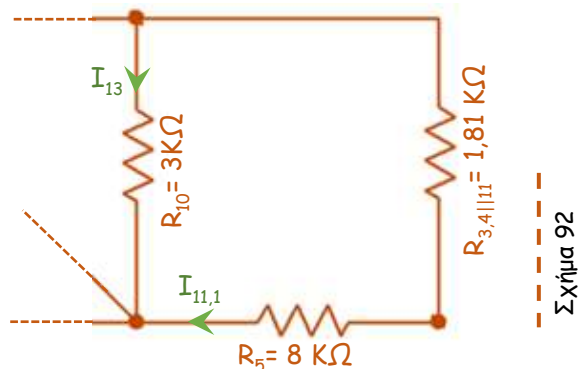
Υπολογίζουμε την συνολική αντίσταση των εν σειρά  $R_3$  και  $R_4$ :

$$R_{3,4} = R_3 + R_4 \Rightarrow R_{3,4} = 19 \text{ K}\Omega \text{ (Σχήμα 91)}$$



Έπειτα υπολογίζουμε την συνολική αντίσταση των παράλληλων  $R_{3,4} - R_{11}$  (Σχήμα 91):

$$R_{3,4} \parallel R_{11} = \frac{R_{3,4} \cdot R_{11}}{R_{3,4} + R_{11}} \Rightarrow R_{3,4} \parallel R_{11} = 1,81 \text{ K}\Omega \text{ (Σχήμα 92)}$$

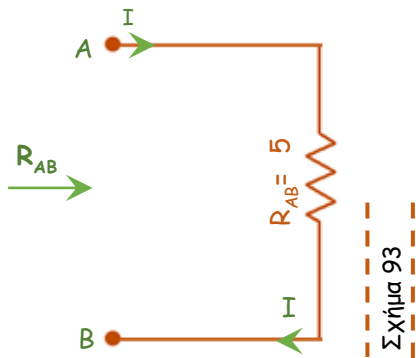


Όμοια λοιπόν εργαζόμαστε και με τις υπόλοιπες αντιστάσεις:

- ◆  $1,81 \text{ K}\Omega + 8 \text{ K}\Omega = 9,81 \text{ K}\Omega$
- ◆  $9,81 \text{ K}\Omega \parallel 3 \text{ K}\Omega = 2,30 \text{ K}\Omega$
- ◆  $2,3 \text{ K}\Omega + 11 \text{ K}\Omega = 13,3 \text{ K}\Omega$
- ◆  $13,3 \text{ K}\Omega \parallel 4 \text{ K}\Omega = 3,07 \text{ K}\Omega$
- ◆  $3,07 \text{ K}\Omega + 7 \text{ K}\Omega = 10,07 \text{ K}\Omega$
- ◆  $10,07 \text{ K}\Omega \parallel 5 \text{ K}\Omega = 3,35 \text{ K}\Omega$
- ◆  $12 \text{ K}\Omega + 6 \text{ K}\Omega + 3,35 \text{ K}\Omega = \mathbf{21,07 \text{ K}\Omega}$

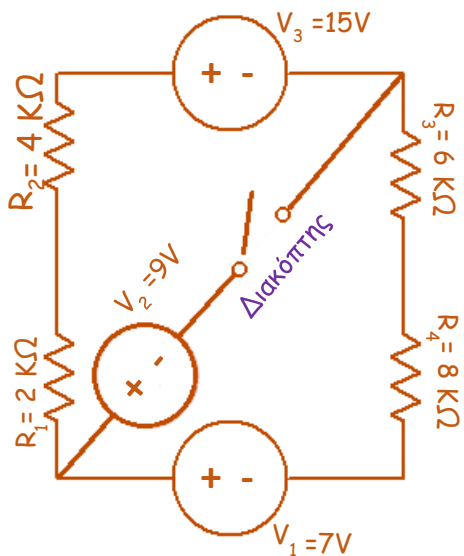
Επομένως η συνολική αντίσταση (στα άκρα AB, Σχήμα 93) με την οποία μπορούμε να αντικαταστήσουμε ολόκληρο το κύκλωμα είναι:

$$R_{AB} = \mathbf{21,07 \text{ K}\Omega}$$



Άσκηση 4

Αποδείξτε ότι το ρεύμα που διαρρέει τις αντιστάσεις  $R_1 - R_2$  (Σχήμα 94) είναι ίδιας τιμής τόσο με ανοιχτό το διακόπτη του μεσαίου κλάδου του κυκλώματος, όσο και με κλειστό.

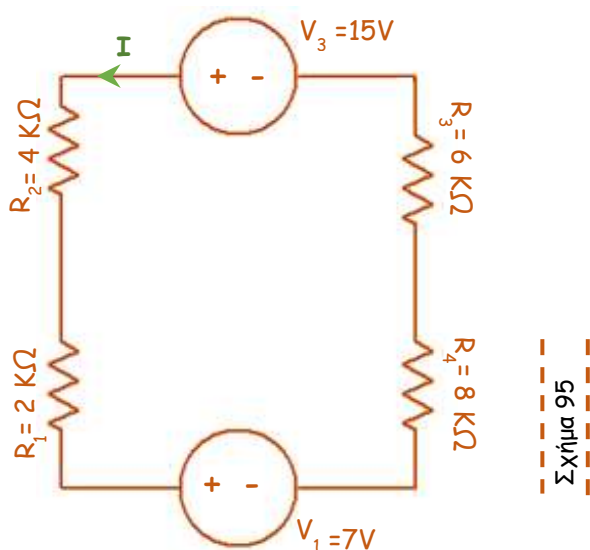


Σχήμα 94

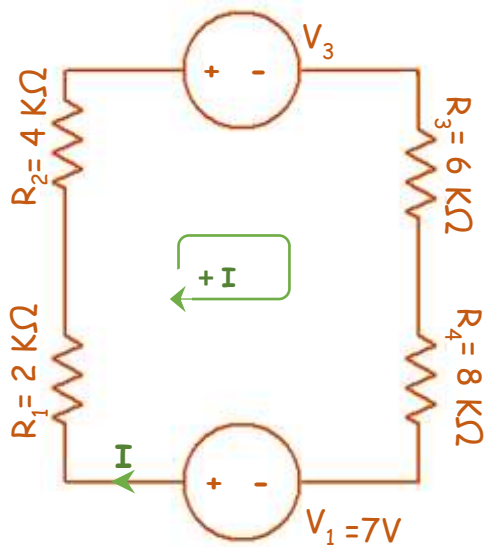
46 σελίχΣ

## Λύση

- Με ανοικτό διακόπτη: Όταν ο διακόπτης είναι ανοικτός, έχουμε ηλεκτρική ασυνέχεια στον μεσαίο κλάδο και επομένως δεν διαρρέετε από ρεύμα. Επομένως το κύκλωμα του Σχήμα 94 είναι σα να έχει την παρακάτω μορφή(Σχήμα 95):



Το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα είναι κοινό και εφαρμόζοντας τον 2<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff (Σχήμα 96) μπορούμε να το προσδιορίσουμε.



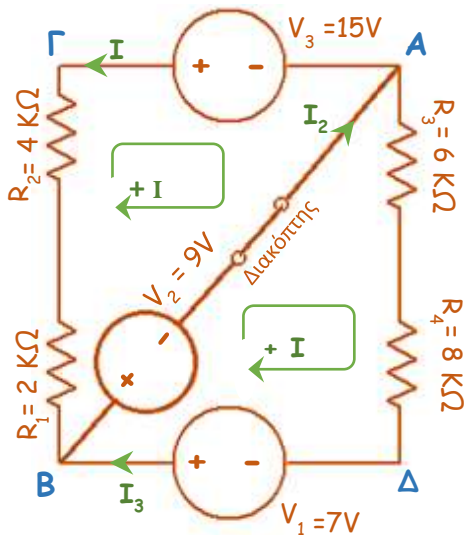
Σχήμα 96

$$IR_1 + IR_2 + 15V - IR_3 - IR_4 - 7V = 0 \Rightarrow$$

$$I \cdot 2 \text{ K}\Omega + I \cdot 4 \text{ K}\Omega + 15V - I \cdot 6 \text{ K}\Omega - I \cdot 8 \text{ K}\Omega - 7V = 0 \Rightarrow$$

$$I = 1\text{mA}$$

- Με κλειστό διακόπτη: Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός ( $\circ$ ), έχουμε την δημιουργία βρόχων, δύο κόμβων (A, B) και την εμφάνιση τριών ρευμάτων, ένα σε κάθε κλάδο:



Σχήμα 97

Ωστόσο επειδή δεν υπάρχει φορτίο στον κλάδο A-B μπορούμε με ευκολία να προσδιορίσουμε το ρεύμα που διαρρέει τις αντιστάσεις  $R_1 - R_2$  εφαρμόζοντας τον 2<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff στον επάνω αριστερά βρόχο (A-Γ-B-A).

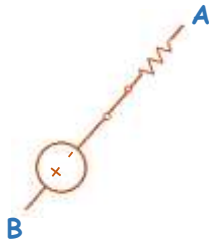
$$-9V - 2\text{K}\Omega \cdot I_1 - 4\text{K}\Omega \cdot I_1 + 15V = 0 \Rightarrow$$



$I_1 = 1mA$

**Παραλλαγή**

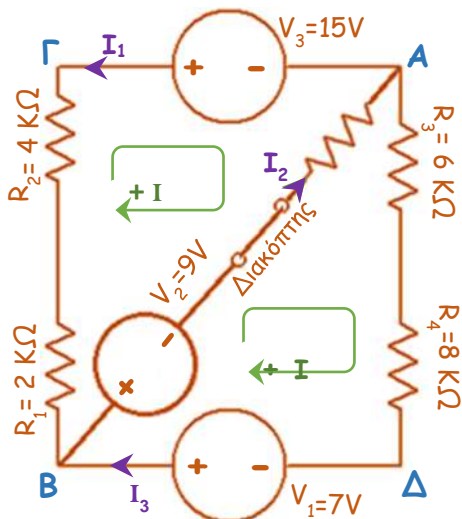
Τι θα συμβεί αν στον κλάδο A-B του Σχήμα 97 προστεθεί μια αντίσταση  $1K\Omega$ ;



- Λύση παραλλαγής (Με ανοικτό διακόπτη):

Η προσέγγισή είναι ίδια και το ρεύμα είναι  $I = 1mA$

- Λύση παραλλαγής (Με κλειστό τον διακόπτη): Έχουμε την δημιουργία βρόχων, δύο κόμβων (A,B) και την εμφάνιση τριών ρευμάτων, ένα σε κάθε κλάδο (Σχήμα 98).



Σχήμα 98

Θα εφαρμόσουμε τον 1<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff στον κόμβο B, ώστε να εξάγουμε την πρώτη εξίσωση με βάση τα ρεύματα (εισερχόμενα ή εξερχόμενα). Ειδικότερα:

$$I_1 + I_3 - I_2 = 0 \quad (1^{\text{η}} \text{ εξίσωση})$$

Παρατηρούμε πως προκύπτουν 3 άγνωστοι και ως εκ τούτου χρειαζόμαστε άλλες δύο εξισώσεις για τον προσδιορισμό των τριών ρευμάτων.

Θα εφαρμόσουμε λοιπόν τον 2<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff στον επάνω αριστερά βρόχο (A-Γ-B-A) καθώς και στον κάτω δεξιά (A-Δ-B-A):

$$-9V - I_1 \cdot 2K\Omega - I_1 \cdot 4K\Omega + 15V - I_2 \cdot 1K\Omega = 0 \quad (2^{\text{η}} \text{ εξίσωση, A-Γ-B-A})$$

$$-7V + 9V + I_2 \cdot 1K\Omega + I_3 \cdot 6K\Omega + I_3 \cdot 8K\Omega = 0 \quad (3^{\text{η}} \text{ εξίσωση, A-Δ-B-A})$$

Πράγματι οδηγούμαστε σε 3<sup>η</sup>ς εξισώσεις με 3<sup>η</sup>ς αγνώστους και συγκεντρωτικά έχουμε:

$$I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad (1^{\text{η}} \text{ εξίσωση})$$

$$-I_1 \cdot 6K\Omega - I_2 \cdot 1K\Omega = -6V \quad (2^{\text{η}} \text{ εξίσωση})$$

$$I_2 \cdot 1K\Omega + I_3 \cdot 13K\Omega = -2V \quad (3^{\text{η}} \text{ εξίσωση})$$

Για την επίλυση του συστήματος, αρχικά πολλαπλασιάζουμε την 1<sup>η</sup> εξίσωση με 6 και έπειτα το αποτέλεσμα το προσθέτουμε αλγεβρικά στην δεύτερη εξίσωση:

$$\begin{array}{r} \cancel{I_1 \cdot 6K\Omega} - I_2 \cdot 6K\Omega + I_3 \cdot 6K\Omega = 0 \quad (1^{\text{η}} \text{ εξίσωση}) \\ -I_1 \cdot 6K\Omega - I_2 \cdot 1K\Omega = -6V \quad (2^{\text{η}} \text{ εξίσωση}) \\ \hline \end{array} \quad +$$

Έπειτα πολλαπλασιάζουμε την 4<sup>η</sup> εξίσωση με  $\frac{1}{7}$  και το αποτέλεσμα αυτό το προσθέτουμε αλγεβρικά στην 3<sup>η</sup> εξίσωση:

$$\begin{array}{r} -1K\Omega \cdot I_2 + \frac{6}{7}K\Omega \cdot I_3 = -\frac{6}{7}V \quad (4^{\text{η}} \text{ εξίσωση}) \\ I_2 \cdot 1K\Omega + I_3 \cdot 13K\Omega = -2V \quad (3^{\text{η}} \text{ εξίσωση}) \\ \hline \end{array} \quad +$$

$$\frac{97}{7}K\Omega \cdot I_3 = -\frac{20}{7}V \quad (5^{\text{η}} \text{ εξίσωση}) \Rightarrow$$

$$I_3 = -\frac{20V}{97K\Omega} \Rightarrow I_3 = -0,206 \text{ mA}$$

Αντικαθιστούμε την τιμή του  $I_3$  στην 4<sup>η</sup> εξίσωση για τον προσδιορισμό του  $I_2$ :

$$-7K\Omega \cdot I_2 + 6K\Omega \cdot (-0,206 \text{ mA}) \Rightarrow I_2 = 0,680 \text{ mA}$$

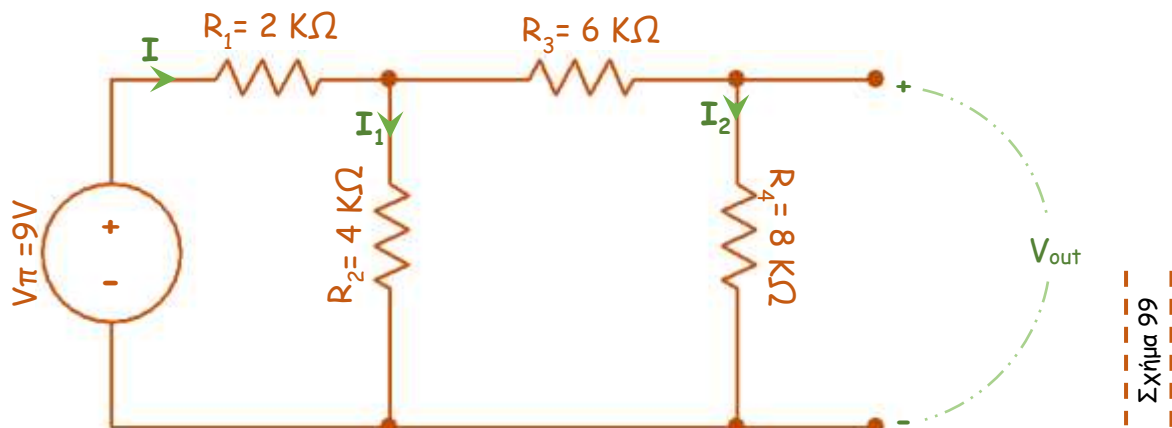
Τέλος αντικαθιστούμε τις τιμές  $I_3$  και  $I_2$  στην 1<sup>η</sup> εξίσωση και εξαγάγουμε το  $I_1$ :

$$I_1 = 0,886 \text{ mA}$$

Οι εξισώσεις που προκύπτουν από την ανάλυση κυκλωμάτων μπορούν με εύκολο τρόπο να προσδιοριστούν είτε με την απαλοιφή Gauss είτε με την μέθοδο Cramer. Ανατρέξτε στο παράρτημα της θεωρίας, μελετήστε τα δύο παραπάνω εργαλεία και έπειτα λύστε εκ νέου την άσκηση.

## Άσκηση 5

Για το κύκλωμα του Σχήμα 99 υπολογίστε την τιμή του ρεύματος  $I_1$  και την τάση  $V_{out}$ .

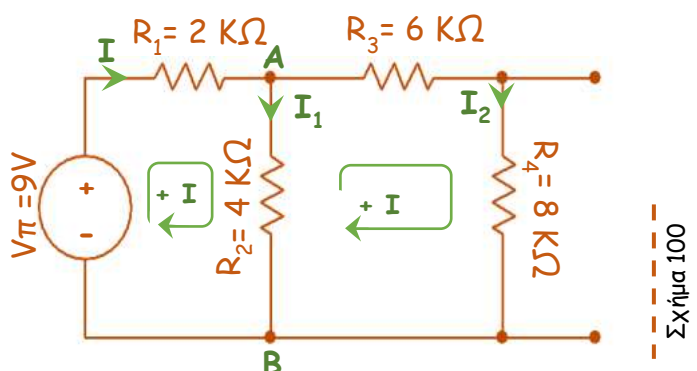


## Λύση

Πολλές φορές, καθώς εξοικειωνόμαστε με τεχνικές, θεωρήματα ή προσεγγίσεις για την επίλυση των κυκλωμάτων, φτάνουμε σε ένα σημείο όπου αναρωτιόμαστε ποια είναι η βέλτιστη επιλογή για την ανάλυση και επίλυση. Δεν μπορεί να δοθεί μια απάντηση, καθώς η εμπειρία επιτελεί τον οδηγό μας. Γι' αυτό, θα επιλύσουμε την παρούσα άσκηση με διαφορετικούς τρόπους.

- Ά Τρόπος - Εφαρμογή των κανόνων του Kirchhoff:

Για να προσδιορίσουμε το ρεύμα  $I_1$  (χρήση 2<sup>ου</sup> κανόνα του Kirchhoff, Σχήμα 100) πρέπει πρώτα να προσδιορίσουμε το  $I$  (1<sup>ου</sup> κανόνα του Kirchhoff). Θα οδηγηθούμε πρακτικά σε ένα σύστημα τριών εξισώσεων.



Από τον 1<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff (Κόμβος A) έχουμε:

$$I = I_1 + I_2$$

Από τον 2<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff έχουμε:

$$I \cdot R_1 + I_1 \cdot R_2 = V_\pi$$

$$I \cdot 2K\Omega + I_1 \cdot 4K\Omega = 9V$$

$$I_2(R_3 + R_4) - I_1 \cdot R_2 = 0$$

$$I_2 \cdot 16K\Omega - I_1 \cdot 4K\Omega = 0$$

και επιλύουμε το σύστημα με την μέθοδο Cramer εξάγοντας τις τιμές των ρευμάτων:

$$I = 1,73 \text{ mA} , \quad I_1 = 1,38 \text{ mA} , \quad I_2 = 0,35 \text{ mA}$$

Τέλος για το  $V_{out}$  χρησιμοποιούμε τον νόμο του Ohm:

$$V_{out} = V_{R_4} = I_2 \cdot R_4 \Rightarrow V_{out} = 2,8 \text{ V}$$

- Β' Τρόπος - Αντικατάσταση αντιστάσεων από ισοδύναμο κατάλληλο συνδυασμό τους, χρήση του διαιρέτη ρεύματος:

Για να κάνουμε χρήση του διαιρέτη ρεύματος θα πρέπει να μετασχηματίσουμε το κύκλωμα στην κατάλληλη μορφή αφενός μεν, και αφετέρου δε να προσδιορίσουμε την τιμή του ολικού ρεύματος. Επομένως θα προσδιορίσουμε την ολική ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος και με την χρήση του νόμου του Ohm θα προσδιορίσουμε την τιμή του ολικού ρεύματος.

$$R_{ολ} = R_1 + R_2 // (R_3 + R_4)$$

$$R_{ολ} = 5,12 \text{ K}\Omega$$

$$I = \frac{V_\pi}{R_{ολ}} \Rightarrow I = \frac{9 \text{ V}}{5,12 \text{ K}\Omega} \Rightarrow I = 1,75 \text{ mA}$$

Για το κύκλωμα του Σχήμα 100 εφαρμόζουμε τον διαιρέτη ρεύματος:

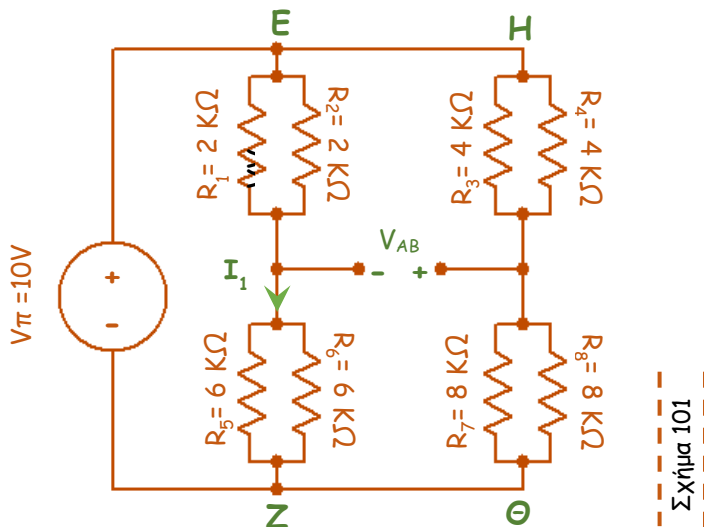
$$I_1 = \frac{R_3 + R_4}{R_2 + R_3 + R_4} \cdot I \Rightarrow I_1 = 1,36 \text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{R_2}{R_2 + R_3 + R_4} \cdot I \Rightarrow I_2 = 0,38 \text{ mA} \quad (\text{ή εναλλακτικά } I_2 = I - I_1)$$

$$V_{out} = V_{R_4} = I_2 \cdot R_4 \Rightarrow V_{out} = 3,04 \text{ V}$$

## Άσκηση 6

Για το κύκλωμα του Σχήμα 101 υπολογίστε την τιμή του ρεύματος  $I_1$  και την τάση  $V_{out}$ .

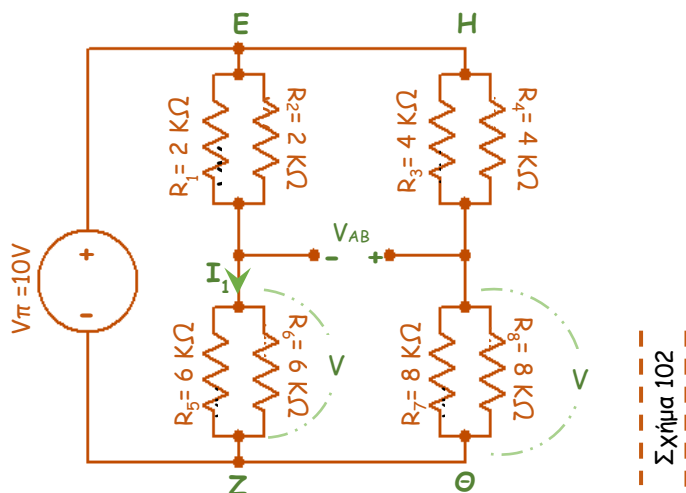


Σχήμα 101

## Λύση

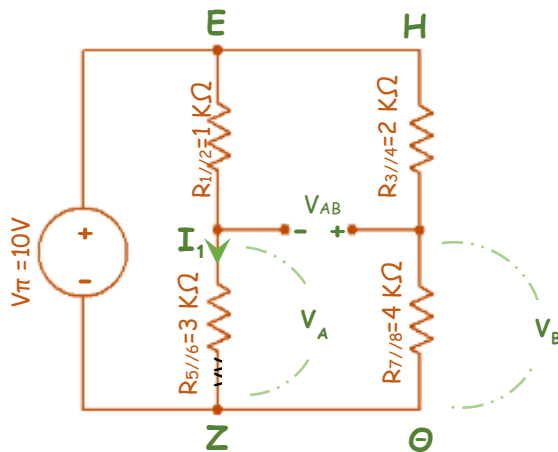
Παρατηρούμε πως οι κλάδοι EZ και ΗΘ είναι συνδεδεμένοι παράλληλα μεταξύ τους, αλλά και ως προς την πηγή, ως εκ τούτου η πτώση τάσης στον καθένα είναι ίση με την τάση της πηγής.

Για τον προσδιορισμό της τάσης  $V_{AB}$  θα πρέπει να προσδιορίσουμε την τάση στο σημείο A και την τάση στο σημείο B (Σχήμα 102).



Σχήμα 102

Αφού γνωρίζουμε την τάση σε καθένα κλάδο  $V_{\Pi} = V_{EZ} = V_{H\Theta}$  μπορούμε να εφαρμόσουμε τον κανόνα του διαιρέτη τάσης. Ωστόσο για να διευκολυνθούμε, θα μετατρέψουμε το κάθε τμήμα των παράλληλων αντιστάσεων στις ισοδύναμες αντιστάσεις μιας και λόγω της παραλληλίας τους έχουμε κοινή πτώση τάσης στα άκρα τους. Ειδικότερα:



$$R_{1//2} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow R_{1//2} = 1 \text{ K}\Omega$$

$$R_{3//4} = 2 \text{ K}\Omega$$

$$R_{5//6} = 3 \text{ K}\Omega$$

$$R_{7//8} = 4 \text{ K}\Omega$$

Με ευκολία λοιπόν εφαρμόζουμε το διαιρέτη τάσης:

$$V_A = \frac{R_{5//6}}{R_{5//6} + R_{1//2}} \cdot V_{EZ} \Rightarrow V_A = \frac{3 \text{ K}\Omega}{3 \text{ K}\Omega + 1 \text{ K}\Omega} \cdot 10 \text{ V} \Rightarrow V_A = 7,5 \text{ V}$$

$$V_B = \frac{4 \text{ K}\Omega}{4 \text{ K}\Omega + 2 \text{ K}\Omega} \cdot 10 \text{ V} \Rightarrow V_B = 6,67 \text{ V}$$

Στο σημείο αυτό, απαιτείτε προσοχή, μας ζητείται η διαφορά δυναμικού  $V_{AB}$  με το "+" να ορίζεται στο  $V_B$  και το "-" να ορίζεται στο  $V_A$  (Σχήμα 102) επομένως θα έχουμε:

$$V_{AB} = V_B - V_A \Rightarrow V_{AB} = 6,67 \text{ V} - 7,5 \text{ V} \Rightarrow V_{AB} = 0,83455 \text{ V} \text{ ή } 834,55 \text{ mV}$$

Τέλος για τον προσδιορισμό της τιμής του ρεύματος:

$$I_1 = \frac{V_{EZ}}{R_{1//2} + R_{5//6}} \Rightarrow I_1 = \frac{10 \text{ V}}{4 \text{ K}\Omega} \Rightarrow I_1 = 2,5 \text{ mA}$$



## 4

## ΒΑΣΙΚΑ ΘΕΩΡΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

## 4.1 Θεώρημα της Επαλληλίας (Υπέρθεση)

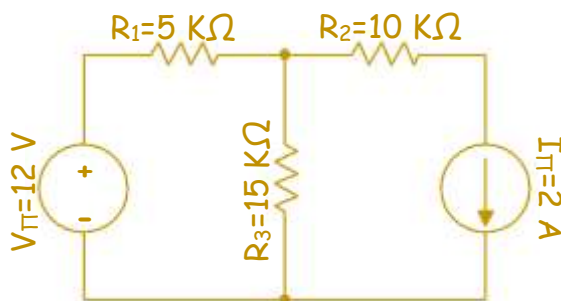
Σύμφωνα με το θεώρημα της υπέρθεσης, σε ένα γραμμικό ωμικό κύκλωμα, το οποίο διεγείρεται από τουλάχιστον δύο **ανεξάρτητες πηγές** (τάσης ή ρεύματος), για τον προσδιορισμό της ολικής απόκρισης (τάση ή ρεύμα) σε μια αντίσταση του κυκλώματος, θα πρέπει να προσδιορίσουμε και να αθροίσουμε τις επιμέρους διεγέρσεις που προκύπτουν σε αυτή, όταν η κάθε πηγή ενεργεί μόνη

Στην περίπτωση ύπαρξης εξαρτημένων πηγών, ακολουθούμε τα προηγούμενα βήματα, με την διαφορά πως το άθροισμα των αποκρίσεων σε ένα φορτίο προκύπτει από την διέγερση της κάθε ανεξάρτητης πηγής όταν ενεργεί μόνη της στο κύκλωμα, παρουσία όμως πάντα των εξαρτημένων πηγών οι οποίες δεν μηδενίζονται!

της στο κύκλωμα. Αυτό προϋποθέτει να είναι ενεργοποιημένη μόνο μία πηγή την φορά, ενώ οι υπόλοιπες να μηδενίζονται. Ο μηδενισμός θεωρητικά είναι το βραχυκύκλωμα των πηγών τάσης και το ανοιχτοκύκλωμα των πηγών ρεύματος.

## Παράδειγμα

Έστω το κύκλωμα του Σχήμα 103, στο οποίο θέλουμε να προσδιορίσουμε το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση  $R_3$ .



Σχήμα 103

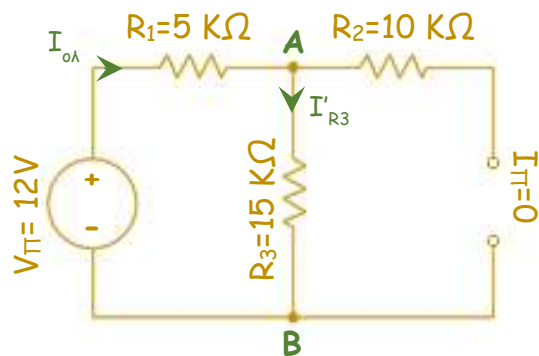
Λύση



Παρατηρούμε την ύπαρξη δύο ανεξάρτητων πηγών, μιας πηγής τάσης ( $V_{\Pi}$ ) και μιας πηγής ρεύματος ( $I_{\Pi}$ ). Εφαρμόζοντας το θεώρημα της υπέρθεσης, θα υπολογίσουμε το ρεύμα που διαρρέει ( $I_{R3}$ ) την αντίσταση  $R_3$  σε δύο στάδια. Στο πρώτο, ανοιχτοκυκλώνοντας την πηγή ρεύματος και αφήνοντας την πηγή τάσης μόνο ενεργή (Σχήμα 104), θα υπολογίσουμε το ρεύμα (απόκριση) που διαρρέει την αντίσταση  $R_3$  (δηλαδή το  $I_{R3}'$ ). Έπειτα, στο δεύτερο στάδιο, θα υπολογίσουμε το ρεύμα (απόκριση) που διαρρέει την αντίσταση  $R_3$  (δηλαδή το  $I_{R3}''$ ) αυτή την φορά, βραχυκυκλώνοντας την πηγή τάσης (Σχήμα 105) και αφήνοντας την πηγή ρεύματος μόνο ενεργή. Τέλος θα αθροίσουμε τις δύο αυτές διεγέρσεις. Στο πλαίσιο αυτό, μπορούμε να μαθηματικοποιήσουμε την προσέγγιση αυτή ως εξής:

$$I_{R3} = I_{R3}' \Big|_{I_{\Pi} = 0} + I_{R3}'' \Big|_{V_{\Pi} = 0}$$

### 1<sup>ο</sup> Στάδιο:



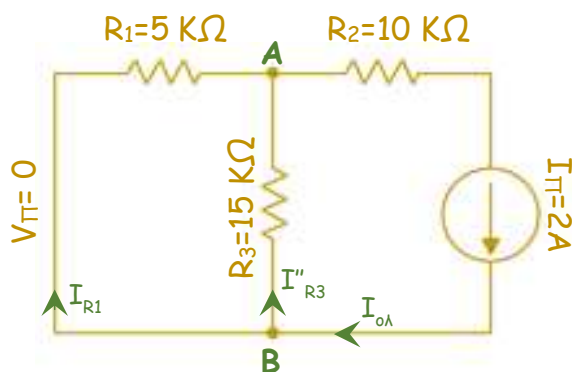
Σχήμα 104

Διαπιστώνουμε πως λόγω της ανοιχτοκύκλωσης της πηγής ρεύματος το ρεύμα δεν διακλαδίζεται, και ως εκ τούτου το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση  $R_3$  ισούται με το ολικό ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα ( $I_{R3} = I_{ολ}$ ).

Από τον νόμο του Ohm έχουμε:

$$I_{R3}' = \frac{V_{\Pi}}{R_1 + R_3} \Rightarrow I_{R3}' = \frac{12\text{ V}}{20\text{ K}\Omega} \Rightarrow I_{R3}' = 0,6\text{ mA}$$

### 2<sup>ο</sup> Στάδιο:



Σχήμα 105

Με την βραχυκύκλωση της πηγής τάσης το ρεύμα διαιρείτε ( $I_{\Pi} = I_{ολ}$ ) σε αυτό που διαρρέει την αντίσταση  $R_1$  ( $I_{R1}$ ) και σε

αυτό που διαρρέει την αντίσταση  $R_3$  ( $I''_{R3}$ ). Όπως είναι εμφανές αποτελεί έναν διαιρέτη ρεύματος, και μπορούμε με ευκολία να προσδιορίσουμε την τιμή του  $I''_{R3}$ , συγκεκριμένα:

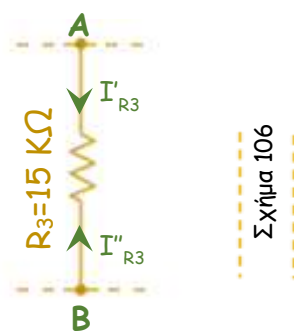
$$I''_{R3} = \frac{R_1}{R_1 + R_3} I_{\Pi} \Rightarrow I''_{R3} = 0,5 \text{ A}$$

Επομένως το ρεύμα στην αντίσταση  $R_3$  θα είναι:

$$I_{R3} = I'_{R3} \Big|_{I_{\Pi} = 0} + I''_{R3} \Big|_{V_{\Pi} = 0} \Rightarrow I_{R3} = 0,6 \text{ mA} - 0,5 \text{ A} \Rightarrow I_{R3} = -499,4 \text{ mA}$$

**Γιατί όμως αφαιρέσαμε τις δύο αποκρίσεις ενώ είπαμε πως η συνολική απόκριση αποτελεί το άθροισμα των επιμέρους;**

Παρατηρήστε την φορά του ρεύματος στους κόμβους A-B, για κάθε ξεχωριστή απόκριση, εκεί βρίσκεται η λύση της παραπάνω διερωτήσεως. Στο 1<sup>ο</sup> Στάδιο, το ρεύμα διαρρέει την αντίσταση με φορά από το A στο B, ενώ στο 2<sup>ο</sup> Στάδιο το ρεύμα διαρρέει την αντίσταση με φορά από το B στο A. Αφού η φορά τους είναι αντίθετη, η ολική απόκριση θα προκύπτει από την αφαίρεσή τους!

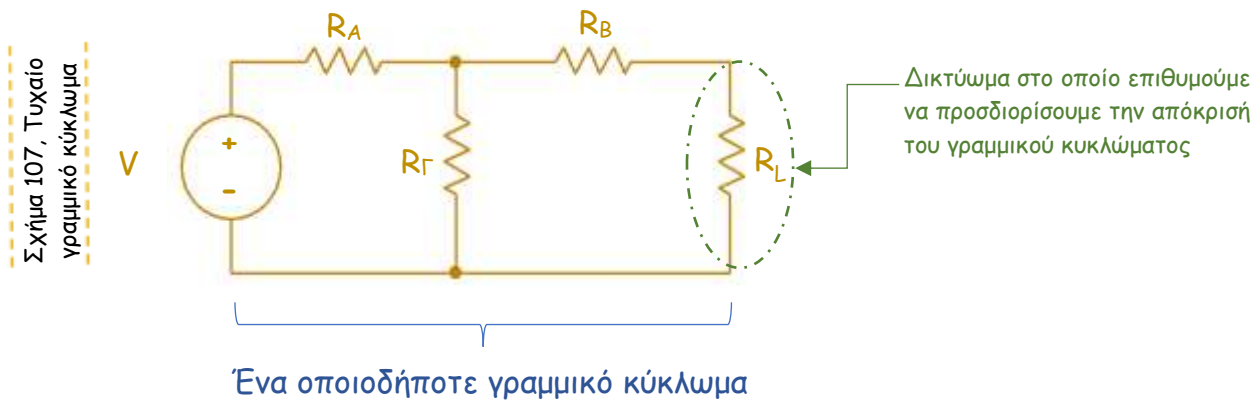


## 4.2 Θεώρημα Thevenin και Norton

Αν έχουμε ένα πολύπλοκο γραμμικό κύκλωμα (δικτύωμα) το οποίο αποτελείται από ηλεκτρικές πηγές και αντιστάσεις (γενικότερα από ενεργά και παθητικά στοιχεία) και επιθυμούμε να προσδιορίσουμε την απόκριση του σε έναν άλλο φόρτο ή δικτύωμα, τότε μπορούμε να αντικαταστήσουμε ολόκληρο το αρχικό κύκλωμα με μια πηγή τάσης και μια αντίσταση (Θεώρημα Thevenin) ή με μια πηγή ρεύματος και μια αντίσταση (Θεώρημα Norton). Ουσιαστικά, μετασχηματίζουμε ολόκληρο το γραμμικό κύκλωμα με μια ιδανική πηγή τάσης σε σειρά με μια αντίσταση ή με μια ιδανική πηγή ρεύματος παράλληλα με μια αντίσταση με σκοπό να τροφοδοτήσει το υπο εξέταση φορτίο (ή δικτύωμα) μελετώντας την συμπεριφορά του σε αυτό.

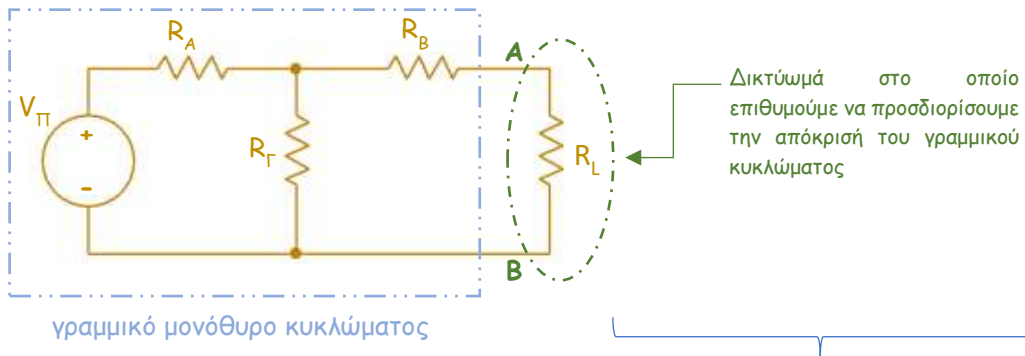
### 4.2.1 Θεώρημα

Σύμφωνα με το θεώρημα Thevenin, αν έχουμε ένα γραμμικό κύκλωμα αποτελούμενο από ενεργητικά ή και παθητικά στοιχεία, και επιθυμούμε να προσδιορίσουμε την απόκρισή του σε ένα δικτύωμά του (πχ φόρτο  $R_L$ , Σχήμα 107), τότε μπορούμε να αντικαταστήσουμε ολόκληρο το κύκλωμα με ένα ισοδύναμο απλό μονόθυρο κύκλωμα αποτελούμενο από μια ιδανική πηγή τάσης  $V_{TH}$  σε σειρά με μια αντίσταση (σύνθετη)  $R_{TH}$ . Η τάση  $V_{TH}$  αποτελεί την τάση ανοιχτού κυκλώματος (έχοντας απομακρύνει δηλαδή τον φόρτο στον οποίο επιθυμούμε να προσδιορίσουμε την απόκριση του κυκλώματος σε αυτόν), ενώ η αντίσταση  $R_{TH}$  προκύπτει από τον υπολογισμό της συνολικής αντίστασης του κυκλώματος με το βραχυκύκλωμα των πηγών τάσης του

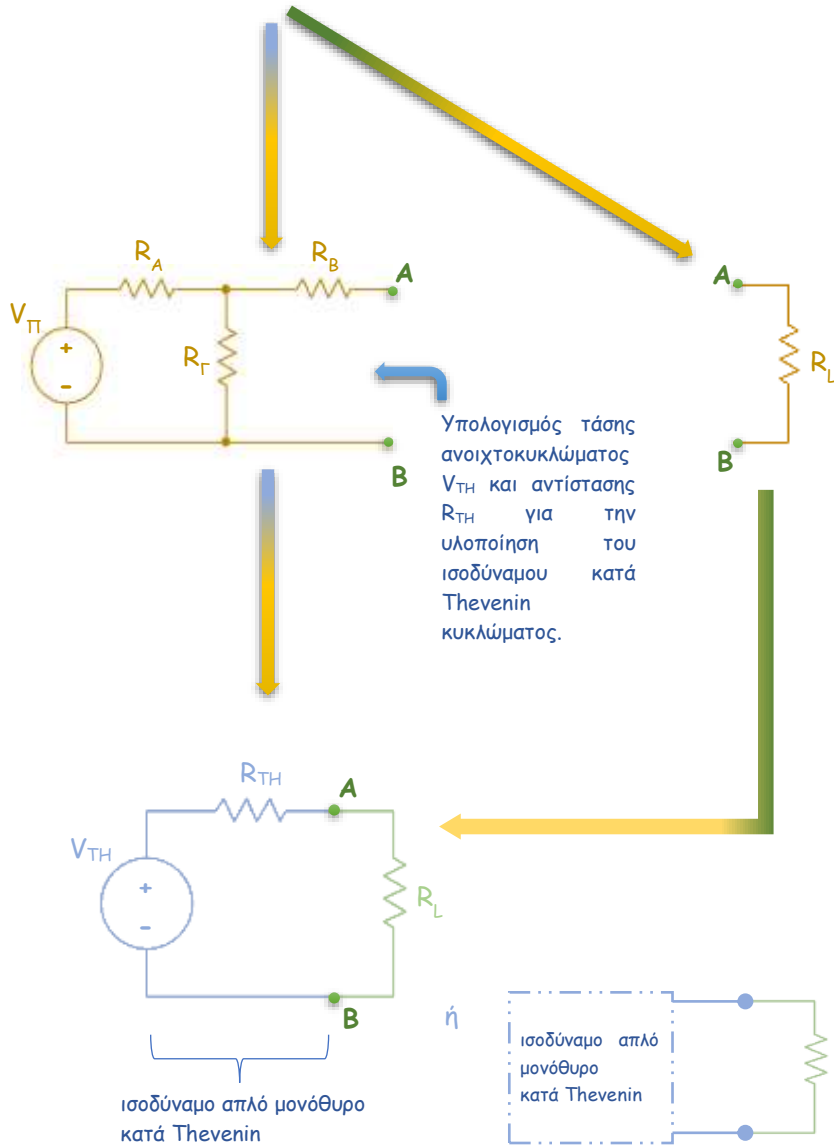


αρχικού κυκλώματος, και το ανοιχτοκύκλωμα των πηγών ρεύματος.

Η παραπάνω διαδικασία παρουσιάζεται εποπτικά στο Σχήμα 108 που ακολουθεί.



Σχήμα 108, Οπτικοποίηση προσδιορισμού απόκρισης κυκλώματος σε φόρτο  $R_L$  με την χρήση του θεωρήματος Thevenin



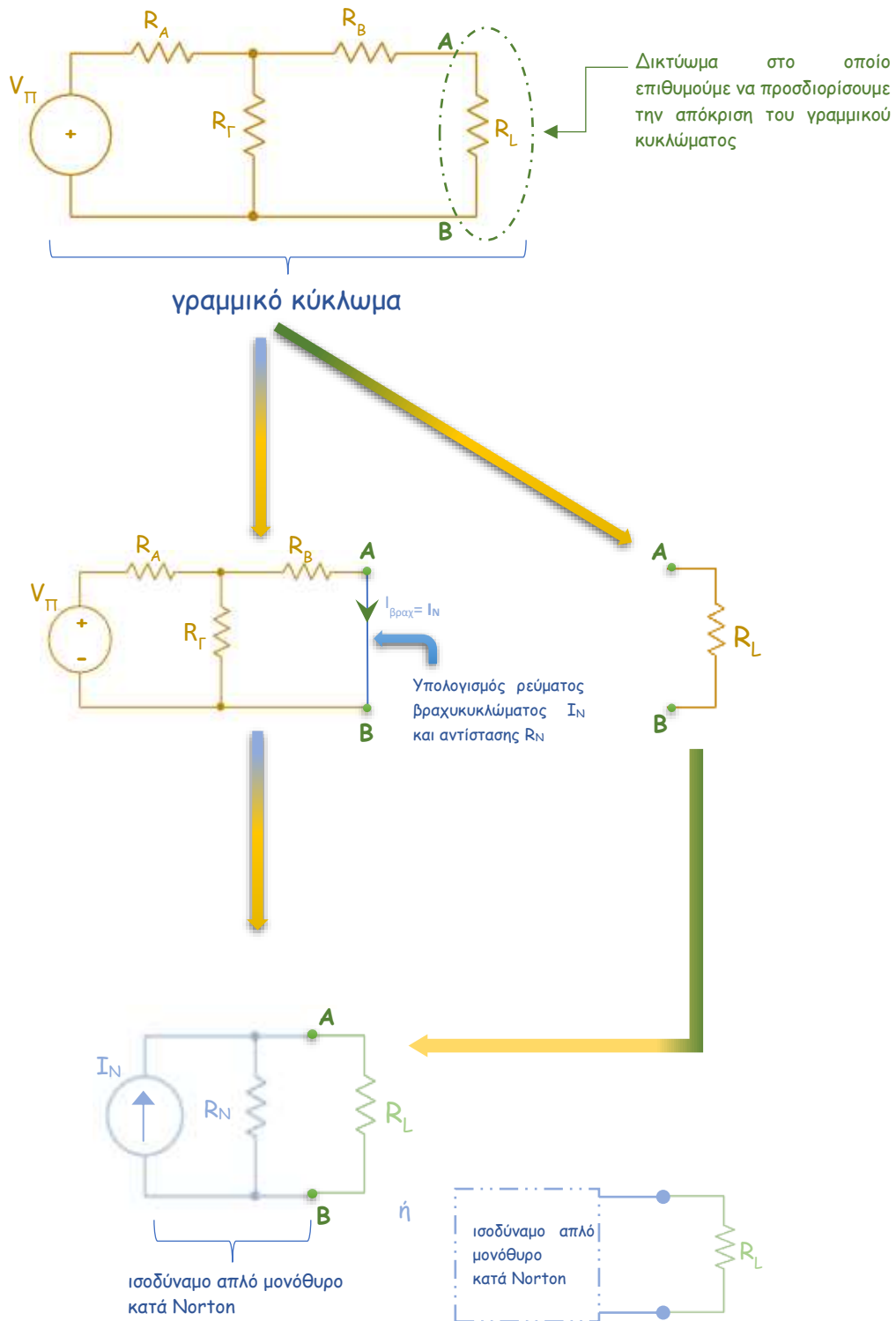
Ο υπολογισμός της τάσης ανοιχτοκυκλώματος πραγματοποιείται με όσες τεχνικές, θεωρήματα και κανόνες έχουμε μάθει μέχρι τώρα και φυσικά επιλέγουμε την καταλληλότερη βάση της δομής του κυκλώματος (λ.χ διαιρέτη τάσης κ.α)

Παρατηρήστε, πόσο έχει απλοποιηθεί ο προσδιορισμός της απόκρισης ολόκληρου του κυκλώματος στον φόρτο  $R_L$ . Φυσικά θα καταστεί σαφές με παράδειγμα που θα ακολουθήσει μετέπειτα. Με το Θεώρημα Thevenin πλέον μπορούμε με ευκολία να μετασχηματίζουμε σύνθετα κυκλώματα σε απλούστερα ισοδύναμα κυκλώματα του ενός βρόχου.

#### 4.2.2 Θεώρημα Norton

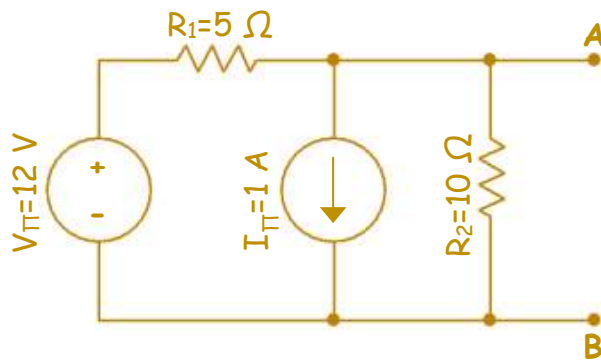
Το Θεώρημα Norton, όπως θα δούμε παρακάτω αποτελεί μια απλή μετατροπή του θεωρήματος Thevenin. Η διαφορά του είναι πως για τον προσδιορισμό της απόκρισής του κυκλώματος σε ένα φόρτο  $R_L$  (Σχήμα 107) του, αντικαθιστούμε ολόκληρο το κύκλωμα με ένα ισοδύναμο απλό μονόθυρο κύκλωμα αποτελούμενο από μια ιδανική πηγή ρεύματος  $I_N$  παράλληλα με μια αντίσταση (σύνθετη)  $R_N$ . Το ρεύμα  $I_N$  αποτελεί το ρεύμα βραχυκυκλώματος στο σημείο απ' όπου αφαιρούμε το φορτίο  $R_L$  ενώ η αντίσταση  $R_N$  υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο που αναφέρθηκε στο Θεώρημα Thevenin. Η παραπάνω διαδικασία παρουσιάζεται εποπτικά στο Σχήμα 109 που ακολουθεί.

Σχήμα 109, Οπτικοποίηση προσδιορισμού απόκρισης κυκλώματος σε φόρτο  $R_L$  με την χρήση του



## Παράδειγμα

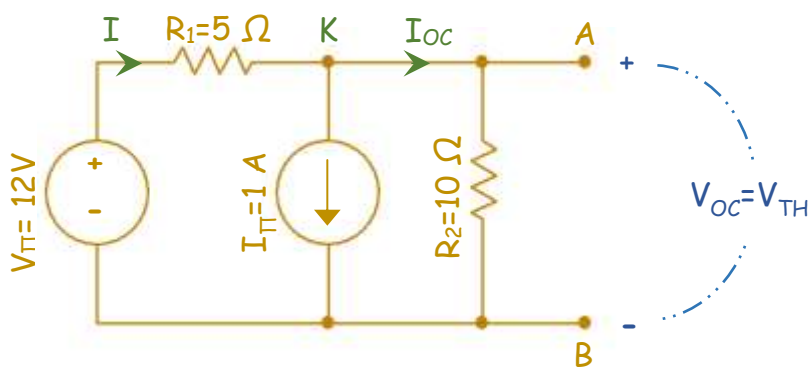
Για το κύκλωμα του Σχ. ΑΒΓ, προσδιορίστε το ισοδύναμό του κατά Thevenin και Norton (ως προς τους ακροδέκτες Α-Β)



Σχήμα 110

## Λύση

- Προσδιορισμός της τάσης  $V_{TH}$  ( $V_{OC}$  ή  $V_{AB}$ , Σχήμα 111)



Σχήμα 111

Κάνοντας χρήση του 1<sup>ου</sup> κανόνα του Kirchhoff στον κόμβο Κ θα εξαγάγουμε μέσω του νόμου Ohm την τάση  $V_{TH}$  ( $V_{OC}$ ):

$$I = I_{\Pi} + I_{OC} \Rightarrow$$

$$I_{OC} = I - I_{\Pi} \Rightarrow$$

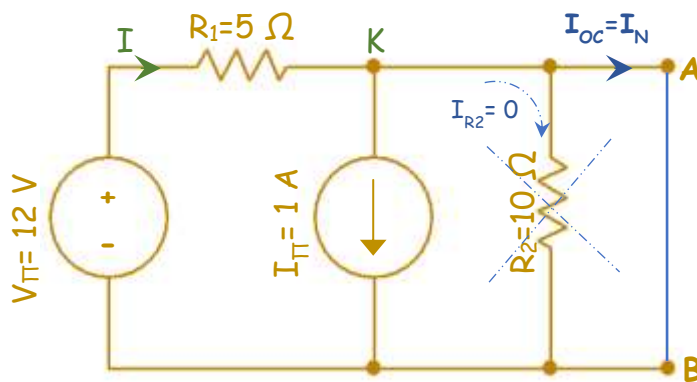
$$\frac{V_{OC}}{R_2} = \frac{V_{\Pi} - V_{OC}}{R_1} - I_{\Pi} \Rightarrow$$

$$\frac{V_{OC}}{10 \Omega} = \frac{12 V - V_{OC}}{5 \Omega} - 1 A \Rightarrow$$

$$V_{OC} = V_{TH} = 7,34 V$$

- Προσδιορισμός του ρεύματος  $I_N$  ( $I_{OC}$  ή  $I_{AB}$ )

Για τον προσδιορισμό του ρεύματος ανοιχτού κυκλώματος ( $I_{OC}$ ) θα πρέπει να βραχυκυκλώσουμε τους ακροδέκτες A-B (Σχήμα 112). Αυτό, έχει ως συνέπεια, το ολόκληρο το ρεύμα να οδηγηθεί στο βραχυκύκλωμα ( $I_{R2}=0$ ) ενώ η αντίσταση να μην διαρρέεται από αυτό.



Σχήμα 112

Κάνοντας χρήση του 1<sup>ου</sup> κανόνα του Kirchhoff στον

κόμβο K θα εξάγουμε το  $I_N$  ( $I_{OC}$  ή  $I_{AB}$ ) με την βοήθεια του νόμου του Ohm:

$$I = I_{\Pi} + I_{OC} \Rightarrow$$

$$I_{OC} = I - I_{\Pi} - I_{R2} \Rightarrow$$

$$I_{OC} = \frac{V_{\Pi}}{R_1} - I_{\Pi} - I_{R2} \Rightarrow$$

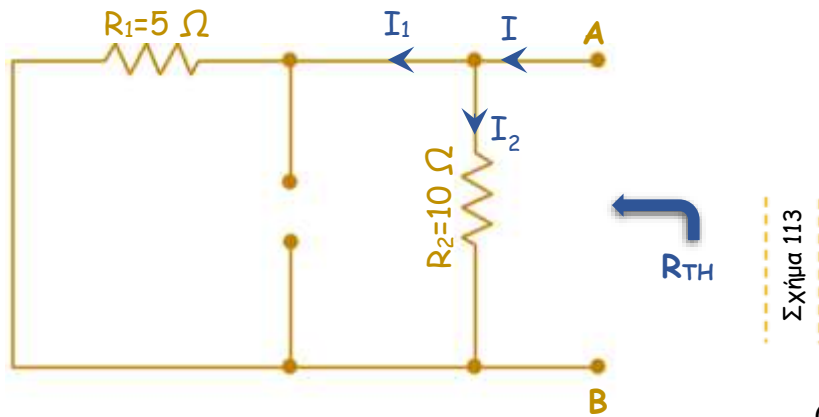
$$I_{OC} = \frac{12 V}{5 \Omega} - 1 A - 0 A \Rightarrow$$

$$I_{OC} = I_N = 1.4 A$$

- Προσδιορισμός της συνολικής αντίστασης του κυκλώματος  $R_N$  (ή  $R_{TH}$ ).

Για τον προσδιορισμό της συνολικής αντίστασης του κυκλώματος βραχυκυκλώνουμε την πηγή τάσης και ανοιχτοκυκλώνουμε την πηγή ρεύματος (Σχήμα 113):





Σχήμα 113

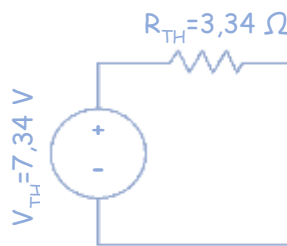
Οι δύο αντιστάσεις είναι παράλληλες και επομένως:

$$R_{TH} = R_1 \parallel R_2 \Rightarrow$$

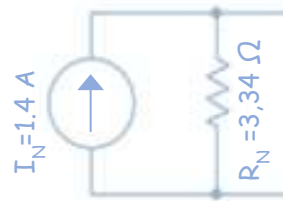
$$R_{TH} = 10 \Omega \parallel 5 \Omega \Rightarrow$$

$$R_{TH} = 3,34 \Omega$$

Ισοδύναμο κατά Thevenin

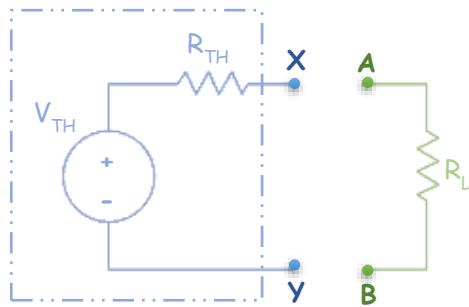


Ισοδύναμο κατά Norton

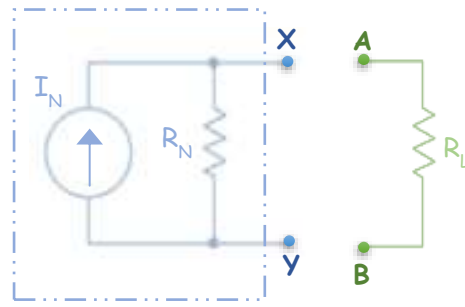


### 4.2.3 Σχέση μεταξύ των Θεωρημάτων

Εφαρμόζοντας στο ίδιο κύκλωμα τα θεωρήματα Thevenin και Norton διαδοχικά, θα οδηγηθούμε στο ίδιο αποτέλεσμα. Πρακτικά τα δύο θεωρήματα είναι ισοδύναμα μεταξύ τους (αφού αφορούν το ίδιο κύκλωμα) και ως εκ τούτου μπορούμε να μεταβούμε από το ένα ισοδύναμο στο άλλο. Ειδικότερα, η  $R_L$  είναι ο φόρτος εκείνος του αρχικού κυκλώματος στον οποίο επιθυμούμε να υπολογίσουμε την απόκριση του κυκλώματος. Ακολουθώντας το θεώρημα Thevenin θα οδηγηθούμε στο ισοδύναμο της πηγής τάσης σε σειρά με την αντίσταση  $R_{TH}$  (Σχήμα 114, α), ενώ ακολουθώντας το θεώρημα Norton θα οδηγηθούμε στο ισοδύναμο της πηγής ρεύματος παράλληλα με την αντίσταση  $R_N$  (Σχήμα 114, β).



Ισοδύναμο απλό μονόθυρο κατά Thevenin (α)



Ισοδύναμο απλό μονόθυρο

Η σύνθετη αντίσταση και στις δύο περιπτώσεις είναι ίδια και ίση ( $R_{TH} = R_N$ ). Αν βραχυκυκλώσουμε τώρα το κάθε κύκλωμα στους ακροδέκτες X-Y, για το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin, το βραχυκυκλωμένο ρεύμα θα είναι  $V_{TH}/R_{TH}$ , ενώ για ισοδύναμο κύκλωμα Norton, το βραχυκυκλωμένο ρεύμα θα είναι  $I_N$ . Προφανώς, τα δύο ρεύματα είναι ίσα, άρα προκύπτει η σχέση  $I_N = V_{TH}/R_{TH}$ . Αυτό ισχύει και στην περίπτωση που θεωρήσουμε την τάση ανοιχτοκύκλωσης μεταξύ των ακροδεκτών X-Y για τα δύο ισοδύναμα. Πράγματι, η τάση ανοιχτοκύκλωσης για το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin είναι  $V_{TH}$  ενώ για το ισοδύναμο κύκλωμα Norton είναι  $I_N \cdot R_{TH}$ , και άρα  $V_{TH} = I_N \cdot R_N$ .

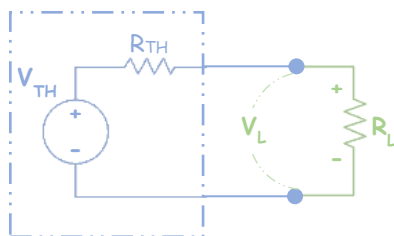
### 4.3 Πραγματικές πηγές τάσης και ρεύματος

Κατά κανόνα, μια ηλεκτρική πηγή ενέργειας αποτελείται από δύο ακροδέκτες με τους οποίους τροφοδοτεί ένα κύκλωμα. Στο πλαίσιο αυτό, μπορούμε να θεωρήσουμε την ηλεκτρική πηγή ενέργειας ως ένα μονόθυρο δικτύωμα (Σχήμα 115, α), οι ακροδέκτες του οποίου είναι οι ακροδέκτες της πηγής, ενώ ολόκληρο το προς τροφοδότηση κύκλωμα μπορεί να θεωρηθεί ως ένας φόρτος  $R_L$ . Αβίαστα, λοιπόν, συνάγεται το συμπέρασμα πως μια τέτοια πηγή μπορεί να αναπαρασταθεί είτε με το ισοδύναμο κατά Thevenin (Σχήμα 115, β), είτε με το ισοδύναμο κατά Norton (Σχήμα 115, γ) που μελετήσαμε προηγουμένως στο Σχήμα 114.

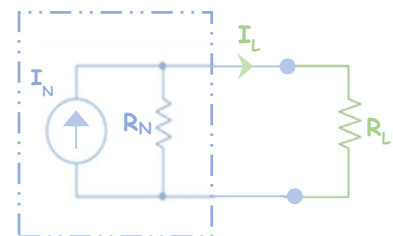
Σχήμα 115, Ηλεκτρική πηγή ως μονόθυρο (α), ισοδυναμία του κατά Thevenin (β) και κατά Norton (γ)



α



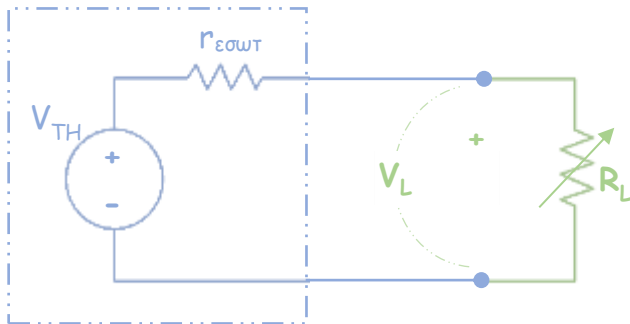
β



γ

Στην περίπτωση αυτή, οι αντιστάσεις  $R_{TH}$  και  $R_N$  πρακτικά αντιπροσωπεύουν την εσωτερική αντίσταση της πηγής  $r_{εσωτ}$  και επομένως  $r_{εσωτ} = R_{TH} = R_N$ ,  $V_{TH}$  η πολική τάση της πηγής και  $V_L$  η τάση κλειστού κυκλώματος.

Έστω λοιπόν πως εκμεταλλευόμενοι μια τέτοια πηγή επιθυμούμε να **οδηγήσουμε με σταθερή τάση** έναν μεταβλητό φόρτο  $R_L'$  (σχ. xxx)



Σχήμα 116

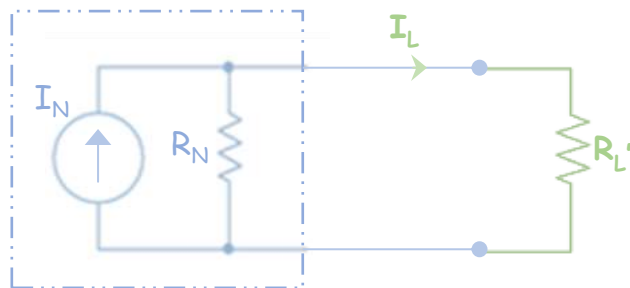
από το ισοδύναμο κατά Thevenin θα

έχουμε:

$$V_L = \frac{R_L'}{r_{εσωτ} + R_L'} V_{TH}$$

Παρατηρούμε λοιπόν πως η τάση  $V_L$  στον φόρτο  $R_L'$  εξαρτάται αποκλειστικά από την τιμή αυτού, και αν  $r_{εσωτ} \ll R_L$  μπορούμε να πούμε πως  $V_L \approx V_{TH}$ . Κατά συνέπεια τότε θα λέγαμε πως η τάση είναι ανεξάρτητη του φόρτου και επομένως η πηγή συμπεριφέρεται ως **ιδανική πηγή τάσης**.

Από την άλλη, αν επιθυμούμε να **οδηγήσουμε με σταθερό ρεύμα** έναν μεταβλητό φόρτο  $R_L'$  (Σχήμα 117).



Σχήμα 117

Όπου  $I_{TH}$  η ένταση της πηγής ρεύματος

και  $I_L$  το ρεύμα κλειστού κυκλώματος.

Από το ισοδύναμο κατά Norton θα έχουμε:

$$I_L = \frac{r_{εσωτ}}{r_{εσωτ} + R_L'} I_N$$

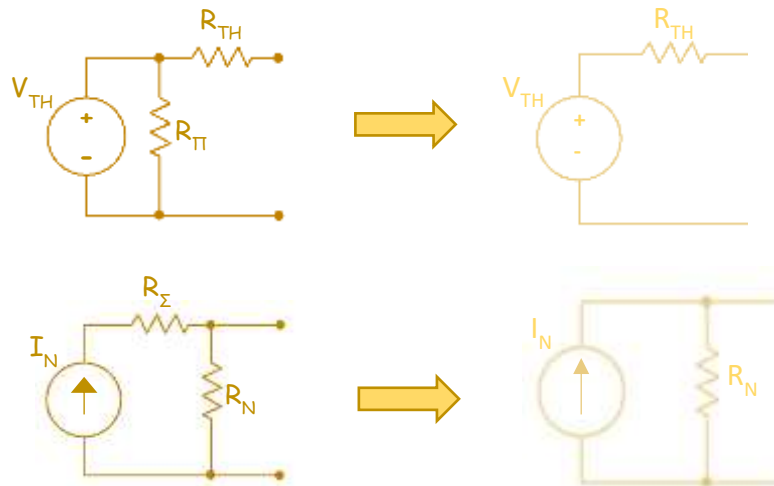
Παρατηρούμε λοιπόν πως το ρεύμα  $I_L$  στον φόρτο  $R_L'$  εξαρτάται αποκλειστικά από την τιμή αυτού, και αν  $r_{εσωτ} \gg R_L$  μπορούμε να πούμε πως  $I_L \approx I_N$ . Κατά συνέπεια τότε θα λέγαμε πως το ρεύμα είναι ανεξάρτητο του φόρτου και επομένως η πηγή συμπεριφέρεται ως **ιδανική πηγή ρεύματος**.

Οδηγούμαστε στο συμπέρασμα επομένως πως ανάλογα με την σχέση που υπάρχει μεταξύ της αντίστασης φόρτου και της εσωτερικής πηγής τάσης, η ίδια η πηγή μπορεί να συμπεριφερθεί είτε ως πηγή τάσης, είτε ως πηγή ρεύματος.



### Extra tips!

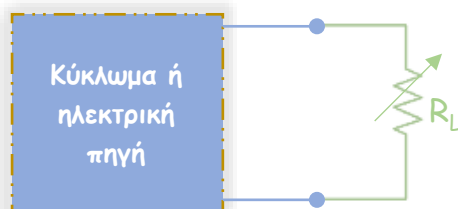
Στην περίπτωση όπου υπάρχει αντίσταση παράλληλα ( $R_{\pi}$ ) στην πηγή τάσης ή αντίσταση σε σειρά ( $R_{\Sigma}$ ) στην πηγή ρεύματος:



Υπολογίζουμε την ισοδύναμη πηγή αγνοώντας την αντίσταση σε κάθε περίπτωση μιας και δεν έχει καμία απολύτως επίδραση στο ισοδύναμο κύκλωμα.

## 4.4 Θεώρημα Μέγιστης Μεταφοράς Ισχύος

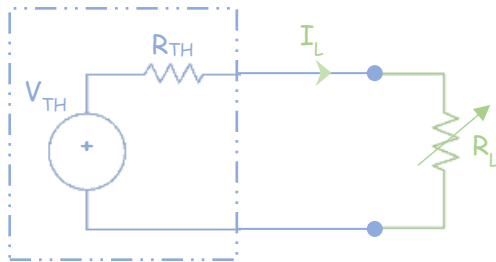
Σε πολλές εφαρμογές (λ.χ κύκλωμα πομπού ή δέκτη) είναι επιτακτική η ανάγκη της μεταφοράς (κατανάλωσης) της μέγιστης δυνατής ενέργειας (ισχύς) από ένα κύκλωμα ή μια πηγή σε ένα ωμικό φορτίο (μεταβλητή  $R_L$ , Σχήμα 118).



Σχήμα 118

Το Θεώρημα της Μέγιστης Μεταφοράς Ισχύος μας βοηθά στον προσδιορισμό της κατάλληλης τιμής του μεταβλητού φορτίου  $R_L$  ώστε να μεταφέρεται σε αυτό η μέγιστη δυνατή ισχύς. Όπως παρατηρούμε και από το παραπάνω σχήμα, για τον προσδιορισμό του φορτίου αυτού μπορούμε να εκμεταλλευτούμε το Θεώρημα Thevenin για τον προσδιορισμό της τιμής της  $R_L$  σαν συνάρτηση

της τάσης ανοιχτού κυκλώματος  $V_{TH}$  και της αντίστασης  $R_{TH}$ . Ειδικότερα, στην περίπτωση όπου έχουμε μια πηγή η οποία οδηγεί ένα φορτίο  $R_L$ , παίρνοντας το ισοδύναμο κατά Thevenin έχουμε:



Η ισχύς που αποδίδεται στο φορτίο είναι:

$$P_L = I_L^2 \cdot R_L \Rightarrow P_L = \left( \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_L} \right)^2 \cdot R_L$$

Δεδομένου ότι οι ποσότητες  $V_{TH}$  και  $R_{TH}$  είναι σταθερές, η μόνη μεταβλητή ποσότητα είναι η  $R_L$ , μπορούμε να υπολογίσουμε την μεγιστοποίηση της ισχύος  $P_L$  παραγωγίζοντας της ως προς την  $R_L$ :

$$\frac{dP_L}{dR_L} = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{dP_L}{dR_L} = \frac{(R_{TH} + R_L)^2 \cdot V_{TH}^2 - (V_{TH}^2 \cdot R_L)^2 \cdot (R_{TH} + R_L)}{(R_{TH} + R_L)^4} = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{dP_L}{dR_L} = V_{TH}^2 \cdot \frac{(R_{TH} + R_L)^2 - 2R_L \cdot (R_{TH} + R_L)}{(R_{TH} + R_L)^4} = 0 \Rightarrow$$

Η παράγωγος μηδενίζεται όταν  $(R_{TH} + R_L)^2 - 2R_L \cdot (R_{TH} + R_L) = 0$ .

Με άλλα λόγια μηδενίζοντας την 1<sup>η</sup> παράγωγο (για  $R_L = R_{TH}$ ) προκύπτει είτε ένα μέγιστο είτε ένα ελάχιστο, και για να διαπιστώσουμε τι από τα δύο ισχύει την παραγωγίζουμε ξανά (παίρνουμε την 2<sup>η</sup> παράγωγο).

Αν λοιπόν η 2<sup>η</sup> παράγωγος είναι αρνητική τότε έχουμε την μέγιστη ισχύ ενώ αν είναι θετική έχουμε την ελάχιστη ισχύ. Αναλυτικότερα:

1<sup>η</sup> παράγωγος

$$\frac{dP_L}{dR_L} = V_{TH}^2 \cdot \frac{1}{(R_{TH} + R_L)^2} - V_{TH}^2 \cdot \frac{2R_L}{(R_{TH} + R_L)^3} = 0$$

2<sup>η</sup> παράγωγος

$$\frac{d^2P_L}{dR_L^2} = V_{TH}^2 \cdot \frac{-2(R_{TH} + R_L)}{(R_{TH} + R_L)^4} - V_{TH}^2 \cdot \frac{(R_{TH} + R_L)^3 - 6R_L(R_{TH} + R_L)^2}{(R_{TH} + R_L)^6} = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{d^2P_L}{dR_L^2} = V_{TH}^2 \cdot \frac{(-4R_{TH} + 2R_L)}{(R_{TH} + R_L)^4}$$

Θέτουμε  $R_L = R_{TH}$  και οδηγούμαστε:

$$\frac{d^2 P_L}{dR_L^2} = V_{TH}^2 \cdot \frac{(-4R_{TH} + 2R_{TH})}{(R_{TH} + R_{TH})^4} \Rightarrow$$

$$\frac{d^2 P_L}{dR_L^2} = \frac{-2V_{TH}R_{TH}}{(2R_{TH})^4}$$

Αφού λοιπόν πάντα  $V_{TH}^2 > 0$  και  $R_L > 0$ , όταν η τιμή της αντίστασης φόρτου  $R_L$  ισούται με την τιμή της αντίστασης  $R_{TH}$ , η 2<sup>η</sup> παράγωγος θα είναι πάντα αρνητική και άρα η ισχύς θα είναι η μέγιστη:

$$P_{LMAX} = \frac{V_{TH}^2 R_{TH}}{(2R_{TH})^2} = \frac{V_{TH}^2}{4R_{TH}}$$

Η ισχύς από την άλλη, μηδενίζεται όσο η αντίσταση του φορτίου  $R_L$  φτάνει στο άπειρο και διακόπτεται η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος. Παρατηρήστε την σχέση της ισχύος στο φορτίο  $R_L$  συναρτήσει της τιμής του φορτίου  $R_{TH}$  (Σχήμα 120). Καθώς η τιμή του πλησιάζει, φτάνει την τιμή της  $R_{TH}$  και έπειτα την ξεπερνά.

Άρα η μέγιστη ισχύς που αποδίδεται στο φορτίο  $R_L$  είναι:

$$P_{LMAX} = I_L \cdot R_L$$

Ενώ η συνολική ισχύς που μεταφέρεται από την πηγή είναι  $R_L$ :

$P_{total} = I_L(R_L + R_{TH})$  βασιζόμενοι στη μέγιστη μεταφορά ισχύος  $R_L = R_{TH}$  η σχέση γράφεται:

$$P_{total} = I_L(R_L + R_L) \Rightarrow$$

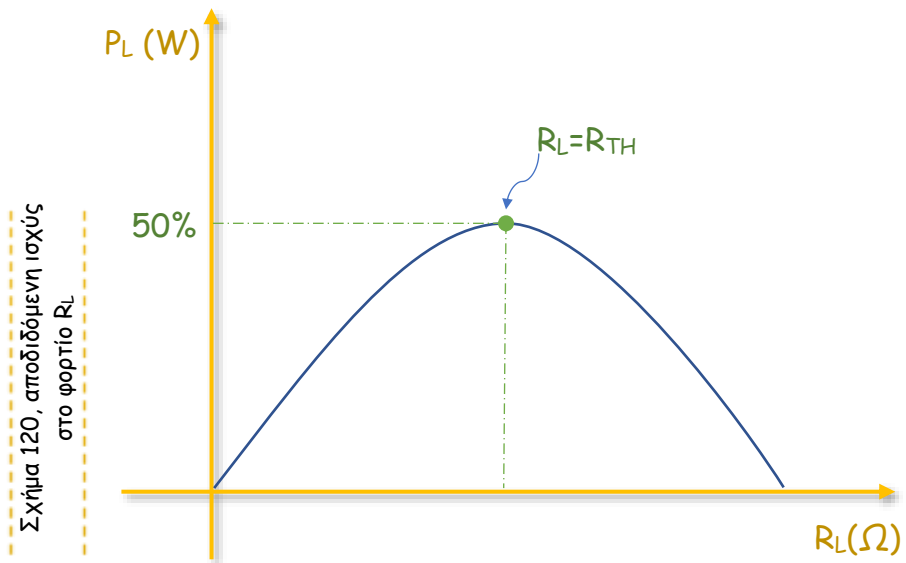
$$P_{total} = 2I_L^2 R_L \Rightarrow$$

Θα ορίσουμε τώρα τον συντελεστή απόδοσης  $n$  ως λόγο:

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \% \text{ και άρα η σχέση αυτή θα γραφεί}$$

$$n = \frac{P_{LMAX}}{P_{total}} \% \Rightarrow \frac{I_L \cdot R_L}{2I_L^2 R_L} \% \Rightarrow n = 50\%$$

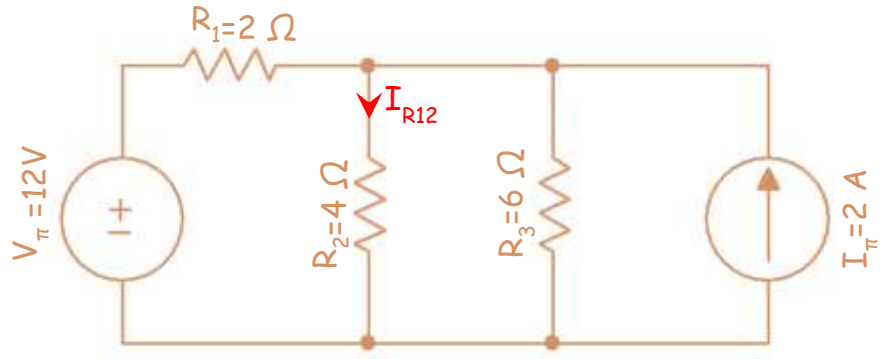
Συνεπώς, στη συνθήκη μέγιστης μεταφοράς ισχύος ο βαθμός απόδοσης είναι 50%. Με άλλα λόγια, σε συνθήκες μέγιστης μεταφοράς ισχύος, η πηγή παρέχει το 50 % της παραγόμενης ισχύος στο φορτίο, ενώ σε άλλες περιπτώσεις η πηγή παρέχει μικρότερο ποσοστό της ισχύος στο φορτίο.



4.5 Ασκήσεις

Άσκηση 1

Για το κύκλωμα του Σχήμα 121, υπολογίστε το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση  $R_2$ .



Σχήμα 121

Λύση

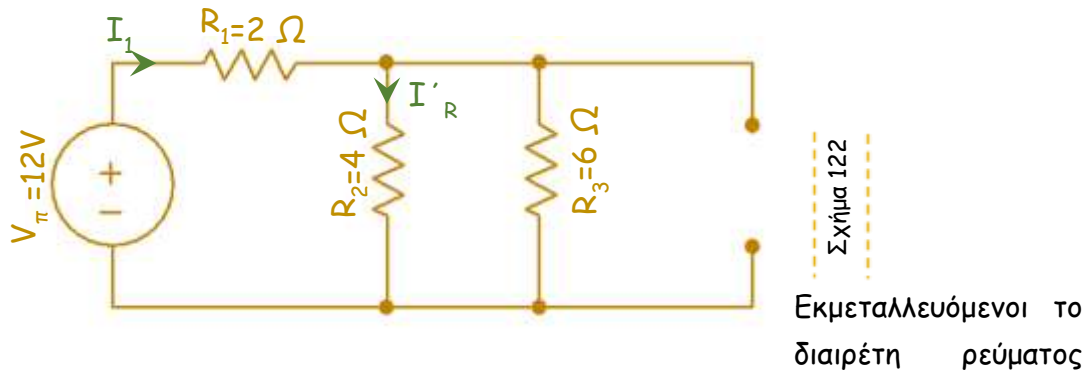
Για τον υπολογισμό του ρεύματος που διαρρέει την αντίσταση  $R_2$ , θα χρησιμοποιήσουμε διαδοχικά, όσα εργαλεία έχουμε συναντήσει (Kirchhoff, Ohm, Θ. Επαλληλίας, Norton κ.α.). Σκοπός είναι να γίνει κατανοητό και ξεκάθαρο, πως για τον προσδιορισμό ενός μεγέθους του κυκλώματος, ανεξάρτητα από την προσέγγιση που θα επιλέξουμε, θα οδηγηθούμε στο ίδιο αποτέλεσμα. Ωστόσο, με την εμπειρία σταδιακά θα είμαστε σε θέση να επιλέξουμε το βέλτιστο ώστε να αποφύγουμε μακροσκελείς πράξεις και να εξοικονομήσουμε χρόνο!

1<sup>η</sup> Προσέγγιση:

Αρχικά, χρησιμοποιούμε το θεώρημα της Επαλληλίας:

$$\mathbf{I}_{R2} = \mathbf{I}'_{R2} \Big|_{\mathbf{I}_{\Pi} = 0} + \mathbf{I}''_{R2} \Big|_{\mathbf{V}_{\Pi=0}}$$

Υπολογίζουμε το  $\mathbf{I}'_{R2}$  (ανοιχτοκυκλώνουμε την πηγή ρεύματος, Σχήμα 122):



μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή του  $\mathbf{I}'_{R2}$ :

$$\mathbf{I}'_{R2} = \mathbf{I}_1 \cdot \frac{G_2}{G_2 + G_3} \quad (\text{θυμηθείτε πως η αγωγιμότητα είναι } G=1/R)$$

Από την παραπάνω εξίσωση θα προσδιορίσουμε με την χρήση του Ν. Ohm το  $\mathbf{I}_1$ :

$$\mathbf{I}_1 = \frac{V_{\Pi}}{R_{o\lambda}}$$

από όπου η συνολική αντίσταση  $R_{o\lambda}$  θα είναι:

$$R_{o\lambda} = R_1 + R_2 \parallel R_3 \Rightarrow$$

$$R_{o\lambda} = 2 \Omega + \frac{4 \cdot 6}{4 + 6} \Omega \Rightarrow \mathbf{R_{o\lambda} = 4.4 \Omega}$$

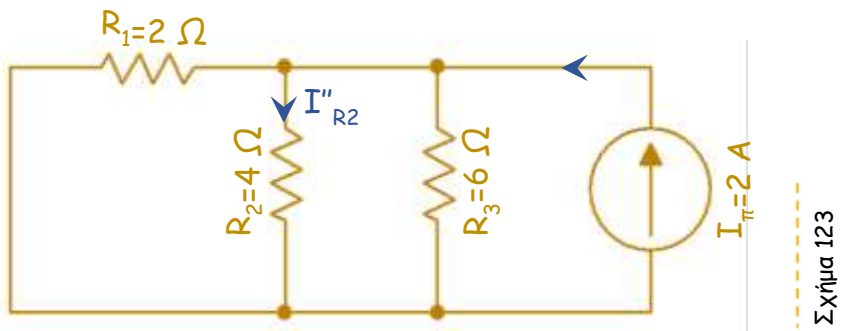
και επομένως  $\mathbf{I}_1 = \frac{V_{\Pi}}{R_{o\lambda}} \Rightarrow \mathbf{I}_1 = \frac{12V}{4.4\Omega} \Rightarrow \mathbf{I}_1 = 2.72 A$

εύκολα υπολογίζουμε το  $\mathbf{I}'_{R2}$ :

$$\mathbf{I}'_{R2} = 2.72 A \cdot \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{4} + \frac{1}{6}} \Omega^{-1} \Rightarrow \mathbf{I}'_{R2} = 1.63 A$$

Υπολογίζουμε το  $\mathbf{I}''_{R2}$  (βραχυκυκλώνουμε την πηγή τάσης):





Κινούμαστε στο ίδιο σκεπτικό με προηγουμένως:

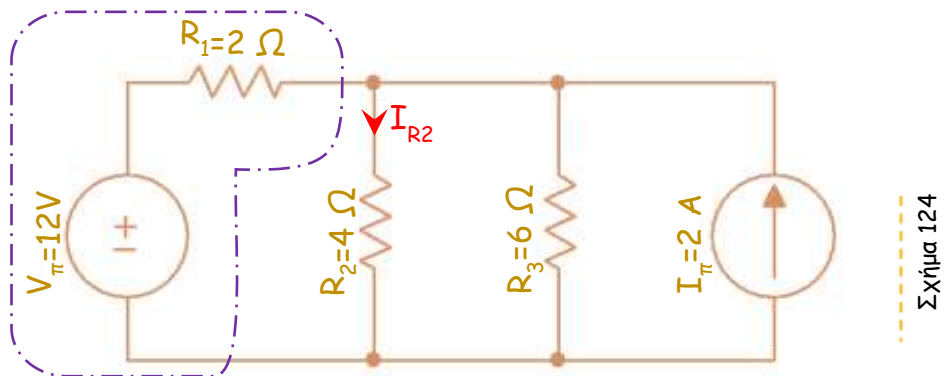
$$I''_{R2} = I_{\pi} \cdot \frac{G_2}{G_1 + G_2 + G_3} \Rightarrow I''_{R2} = 2 \text{ A} \cdot \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6}} \Omega^{-1} \Rightarrow I''_{R2} = 0.54$$

Άρα τελικώς:

$$I_{R2} = 1,63 \text{ A} + 0.54 \Rightarrow I_{R2} = 2,17 \text{ A}$$

### 2<sup>η</sup> Προσέγγιση:

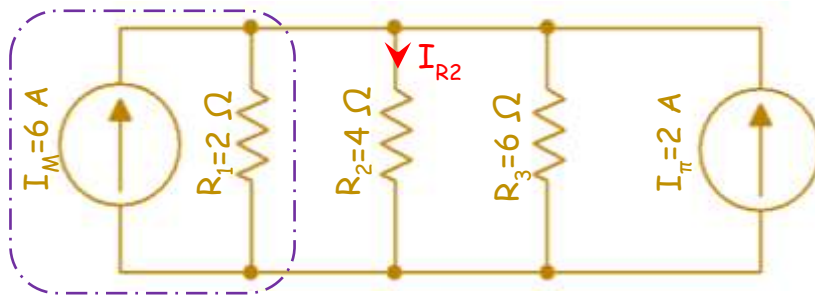
Θα μετασχηματίσουμε την πηγή τάσης σε πηγή ρεύματος (Σχήμα 124):



#πηγή\_ρεύματος\_παράλληλα\_με\_αντίσταση

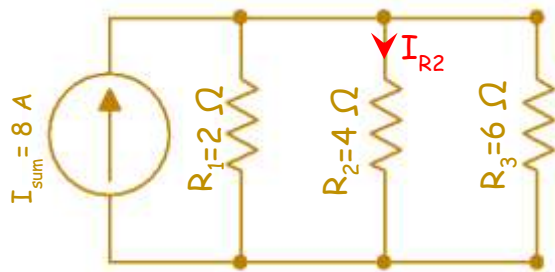
$$I_M = \frac{V_{\pi}}{R_1} \Rightarrow I_M = \frac{12 \text{ V}}{2 \Omega} \Rightarrow I_M = 6 \text{ A}$$

Το κύκλωμα αποκτά την μορφή του Σχήμα 125:



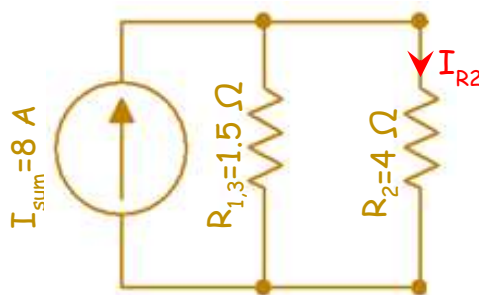
Σχήμα 125

Παρατηρούμε πως οι δύο πηγές ρεύματος είναι ομόρροπες μεταξύ τους (ίδια φορά), και επομένως προστίθενται ( $I_M + I_π$ ). Επομένως από την άθροισή τους προκύπτει μια πηγή ρεύματος  $I_{sum}$  τιμής 8 A (Σχήμα 126).



Σχήμα 126

Όλες οι αντιστάσεις είναι παράλληλες, επομένως μπορούμε να υπολογίσουμε τον παράλληλο συνδυασμό των  $R_1$  και  $R_3$  ώστε κάνοντας χρήση του διαιρέτη ρεύματος να υπολογίσουμε την τιμή του  $I_{R2}$  που διαρρέει την  $R_2$ .  
 $R_{1,3} = R_1 \parallel R_3 \Rightarrow R_{1,3} = 1.5 \Omega$  (Σχήμα 127)

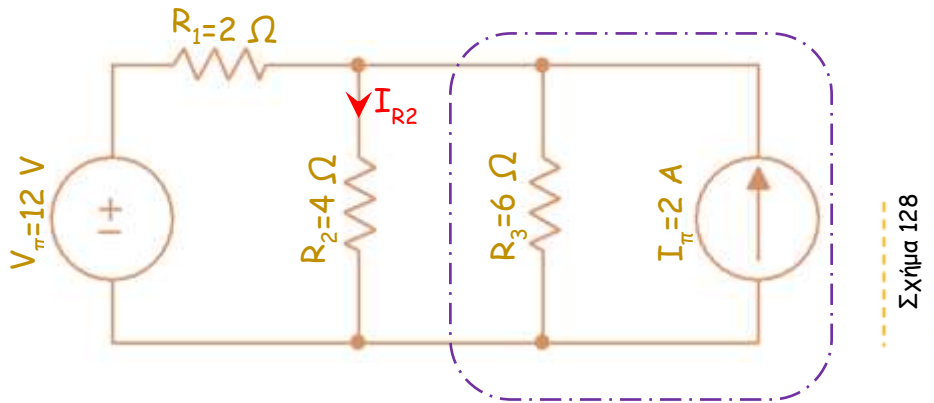


Σχήμα 127

$$I_{R2} = 8 \text{ A} \cdot \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{1.5} + \frac{1}{4}} \Omega^{-1} \Rightarrow I_{R2} = 2,17 \text{ A}$$

**3<sup>η</sup> Προσέγγιση:**

Θα μετασχηματίσουμε την πηγή ρεύματος σε πηγή τάσης (Σχήμα 128):

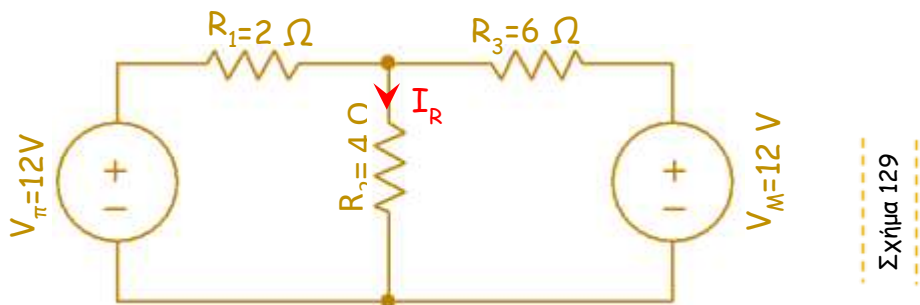


Σχήμα 128

#πηγή\_τάσης\_σε\_σειρά\_με\_αντίσταση

$$V_M = I_\pi \cdot R_3 \Rightarrow V_M = 2 \text{ A} \cdot 6 \Omega \Rightarrow V_M = 12 \text{ V}$$

Το κύκλωμα αποκτά την παρακάτω μορφή (Σχήμα 129):



Σχήμα 129

Θα

χρησιμοποιήσουμε ξανά το Θεώρημα της Επαλληλίας:

$$I_{R2} = I'_{R2} \Big|_{V_M = 0} + I''_{R2} \Big|_{V_\pi = 0}$$

Υπολογίζουμε το  $I'_{R2}$  βραχυκυκλώνοντας την πηγή τάσης  $V_M$  (θα επενεργεί μόνο η  $V_\pi$ ) και το  $I''_{R2}$  βραχυκυκλώνοντας την πηγή τάσης  $V_\pi$  (θα επενεργεί μόνο η  $V_M$ ).

Προχωρώντας στα κατάλληλα βήματα και κάνοντας τις αντίστοιχες πράξεις μπορείτε να επαληθεύσετε την τιμή του  $I_{R2}$ :

$$I_{R2} = I'_{R2} \Big|_{V_M = 0} + I''_{R2} \Big|_{V_\pi = 0} \Rightarrow I_{R2} = 1.625 + 0,545 \Rightarrow I_{R2} = 2.17$$

Μια άλλη προσέγγιση που θα μπορούσε να εφαρμοσθεί για την μορφή που απέκτησε το κύκλωμα έπειτα από τον μετασχηματισμό της πηγής ρεύματος σε πηγή τάσης (Σχήμα 128) είναι αυτή του **Θεωρήματος Millman**. Επειδή όμως δεν έχουμε αναφερθεί, μπορείτε προαιρετικά να εμβαθύνετε και να δείτε την λύση σκανάροντας παρακάτω (ή αναζητήστε πληροφορίες σε πανεπιστημιακές πηγές).

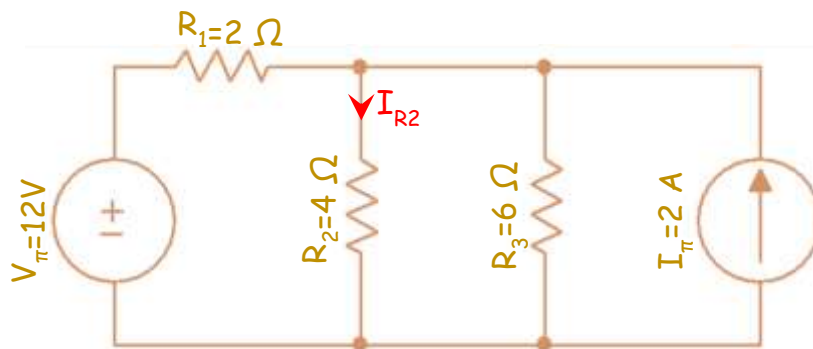
Millman



tap or scan

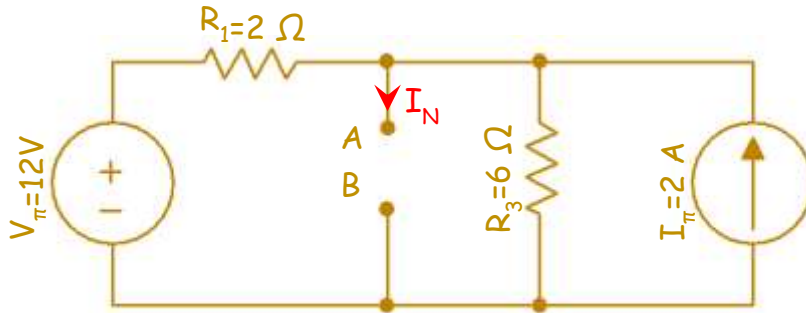
#### 4<sup>η</sup> Προσέγγιση:

Χρήση Θεωρήματος Norton, στο κύκλωμα του Σχήμα 130:



Σχήμα 130

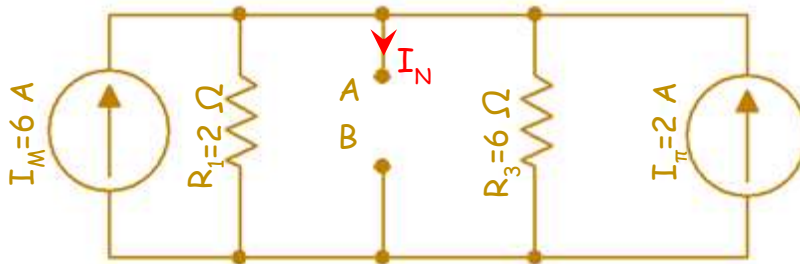
Αποσυνδέουμε το φορτίο  $R_2$  (Σχήμα 131) στο οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε το ρεύμα που το διαρρέει, μιας και επιθυμούμε πρακτικά τον προσδιορισμό της απόκρισης του κυκλώματος σε αυτό.



Σχήμα 131

Έπειτα

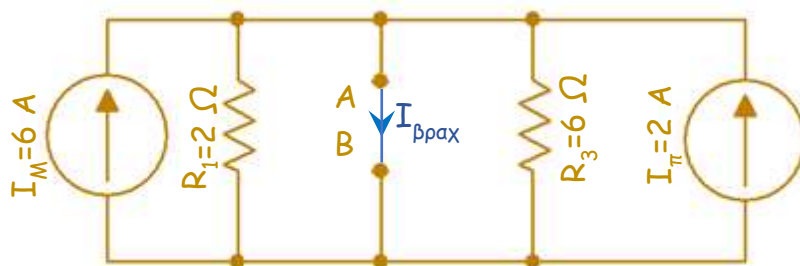
μετασχηματίζουμε την πηγή τάση  $V_\pi$  σε πηγή ρεύματος:



Σχήμα 132

και

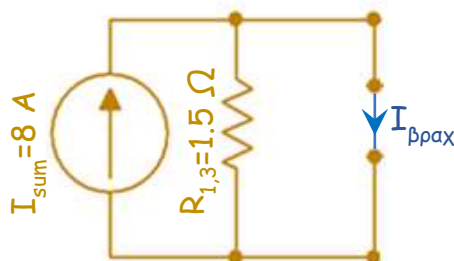
βραχυκυκλώνουμε τους ακροδέκτες A-B για να υπολογίσουμε το ρεύμα  $I_N$  που αποτελεί το ρεύμα βραχυκύκλωσης ( $I_{\beta\rho\alpha\chi} = I_N$ ).



Σχήμα 133

Οι πηγές ρεύματος

είναι ομόρροπες και ως εκ τούτου προστίθενται ενώ οι αντιστάσεις είναι συνδεδεμένες παράλληλα. Επομένως το κύκλωμα θα έχει την παρακάτω μορφή:

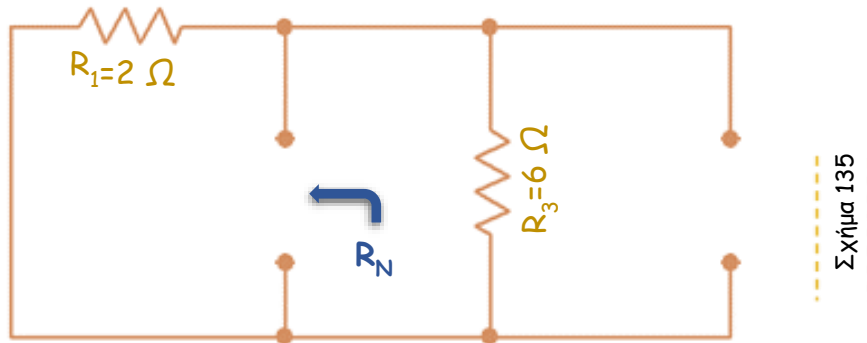


Σχήμα 134

Επειδή η αντίσταση είναι παράλληλη με το βραχυκύκλωμα, προφανώς και το ρεύμα βραχυκυκλώματος ισούται με την τιμή της πηγής ρεύματος:

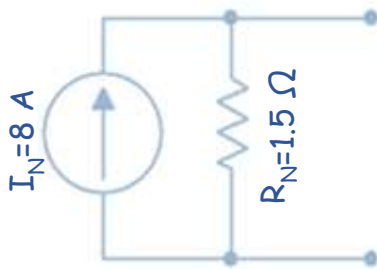
$$I_N = I_{\beta\alpha\chi} \Rightarrow I_N = 8 \text{ A}$$

Κατόπιν, υπολογίζουμε την συνολική αντίστασης του κυκλώματος  $R_N$ , βραχυκυκλώνοντας την πηγή τάσης και ανοιχτοκυκλώνοντας την πηγή ρεύματος (ΣΧ. ΑΒΓ):

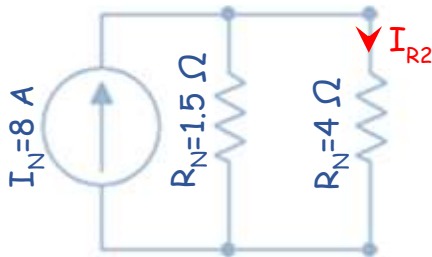


$$R_N = R_{1,3} = R_1 \parallel R_3 \Rightarrow R_N = 1.5 \text{ } \Omega$$

Συνεπώς το ισοδύναμο κατά Norton είναι:



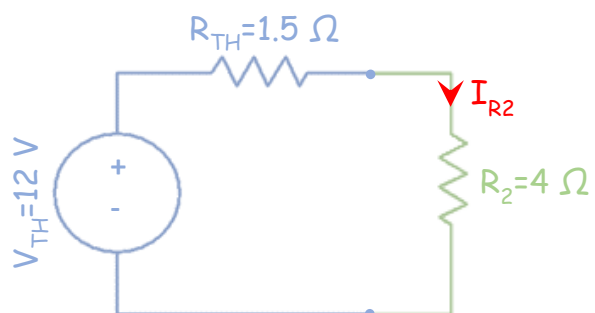
Συνδέουμε το φορτίο  $R_N$  για να υπολογίσουμε το ρεύμα που το διαρρέει:



$$I_{R2} = 8 \text{ A} \cdot \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{1.5} + \frac{1}{4}} \Omega^{-1} \Rightarrow I_{R2} = 2.17 \text{ A}$$

Τέλος, μπορούμε να μετατρέψουμε το ισοδύναμο κύκλωμα Norton στο ισοδύναμο Thevenin:

$$V_{TH} = I_N \cdot R_N \Rightarrow V_{TH} = 8 \text{ A} \cdot 1.5 \text{ } \Omega \Rightarrow V_{TH} = 12 \text{ V}$$

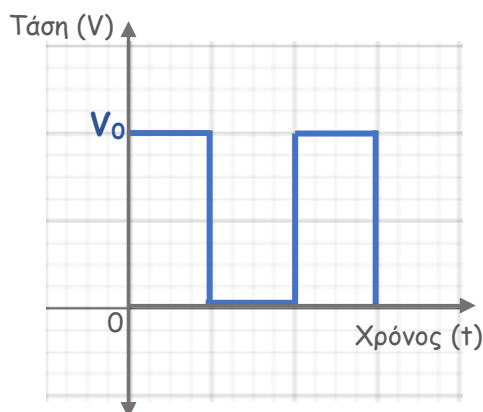


$$I_{R2} = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_2} \Rightarrow I_{R2} = \frac{12\text{ V}}{1.5\ \Omega + 4\ \Omega} \Rightarrow \mathbf{I_{R2} = 2.17\text{ A}}$$

## 5.1 Βασικές έννοιες ηλεκτρικών σημάτων

**Ηλεκτρικό σήμα:** αποτελεί συνάρτηση μιας ή και περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών (πλάτος, συχνότητα), οι οποίες μεταφέρουν πληροφορίες σχετικά με την συμπεριφορά ή την φύση ενός φαινομένου (τάση, ρεύμα) σε ένα κύκλωμα. Οι συναρτήσεις αυτές (σήματα) συνήθως μεταβάλλονται συναρτήσει του χρόνου και μεταφέρουν πληροφορία είτε σε αναλογική μορφή, είτε σε ψηφιακή (διακριτή). Με άλλα λόγια διακρίνονται σε **αναλογικά** και **ψηφιακά σήματα**.

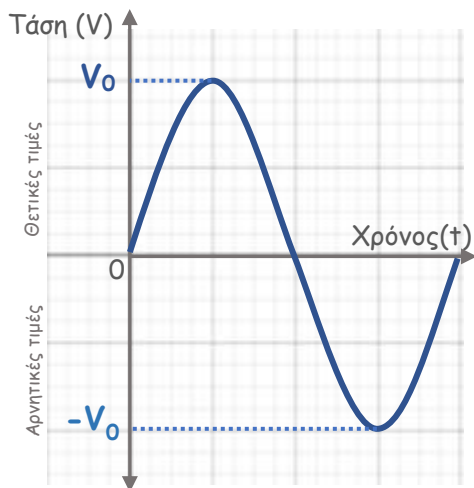
**Ψηφιακό σήμα:** αποτελεί σήμα, η μορφή του οποίου μεταβάλλεται εντός μιας ομάδας διακριτών επιπέδων (στάθμες). Το συνηθέστερο ψηφιακό σήμα τάσης είναι ο τετραγωνικός παλμός (Σχήμα 136), του οποίου οι τιμές αντιστοιχούν σε διακριτές στάθμες 0 και  $V_0$ .



Σχήμα 136, Τετραγωνικός Παλμός

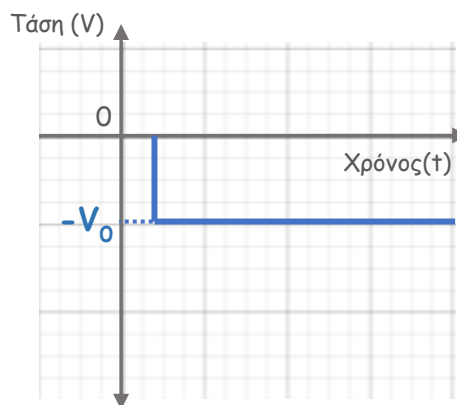
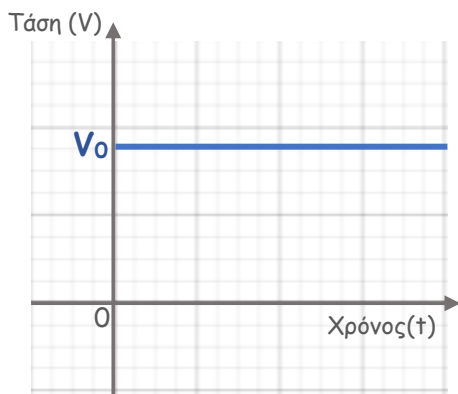
**Αναλογικό σήμα:** αποτελεί σήμα, του οποίου οι τιμές είναι συνεχείς εντός του συνόλου των πραγματικών αριθμών, με άλλα λόγια μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή μέσα σε ένα ευρύ πεδίο συνεχών τιμών. Το συνηθέστερο αναλογικό σήμα τάσης είναι το ημιτονικό (Σχήμα 137), του οποίου η εκάστοτε στιγμιαία τιμή  $V$  δίνεται από την σχέση  $V_0 \sin(\omega t)$ .



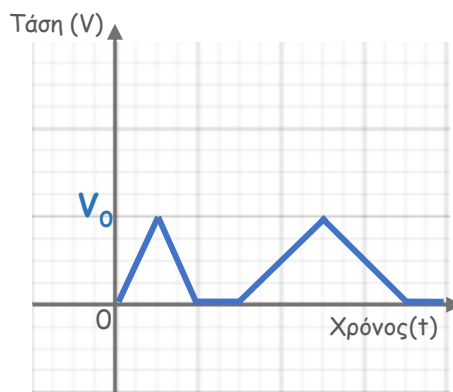


Σχήμα 137, Ημιτονικό σήμα

**Συνεχές σήμα (DC):** αποτελεί σήμα, του οποίου το ρεύμα ρέει προς μια κατεύθυνση, ενώ η τιμή του μπορεί να παραμένει σταθερή, να μηδενίζεται ή και να μεταβάλλεται ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Η τάση του ωστόσο, λαμβάνει



Σχήμα 138, Διάφορα συνεχή σήματα

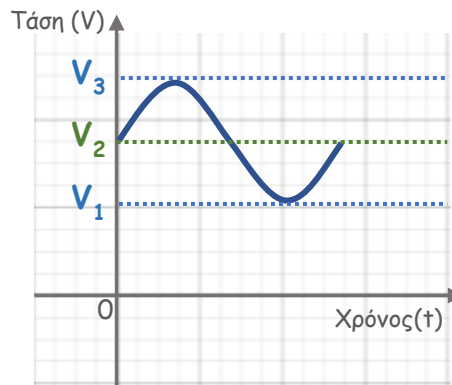


κάθε φορά μόνο θετικές ή μόνο αρνητικές τιμές και ποτέ ταυτόχρονα και τις δύο (Σχήμα 138).

- **Συνεχές μεταβαλλόμενο:** αποτελεί σήμα, το οποίο περιέχει μια συνεχή συνιστώσα ( $V_2$ , Σχήμα 139) και μια μεταβαλλόμενη γύρω από αυτή (από  $V_1$  έως  $V_3$ ). Και σε αυτή την περίπτωση ωστόσο, πρέπει να τονιστεί πως η τάση

λαμβάνει κάθε φορά μόνο θετικές ή μόνο αρνητικές τιμές και ποτέ ταυτόχρονα και τις δύο.

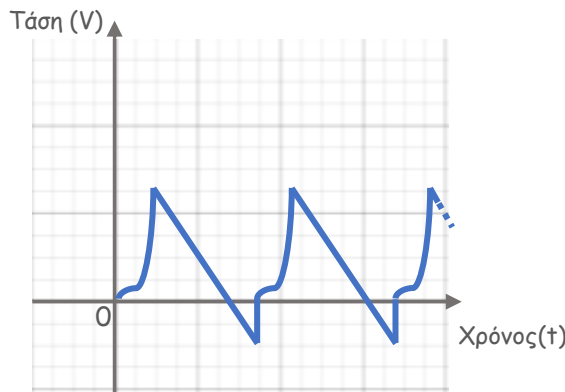
Σχήμα 139, Συνεχές  
σήμα με DC συνιστώσα



Εναλλασσόμενα  
σήματα, των

**σήματα (AC):** αποτελούν  
οποίων η τιμή και η πολικότητα εναλλάσσονται περιοδικά, μεταξύ θετικών και αρνητικών τιμών κατά την πάροδο του χρόνου.

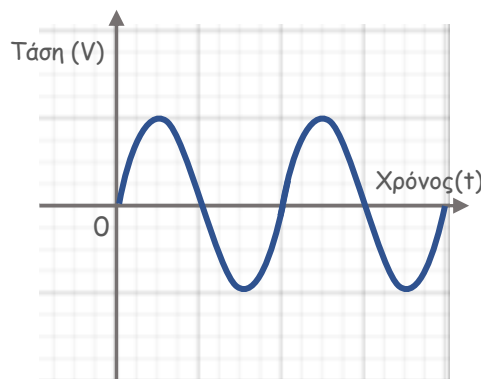
Σχήμα 140, Τυχαίο  
εναλλασσόμενο σήμα



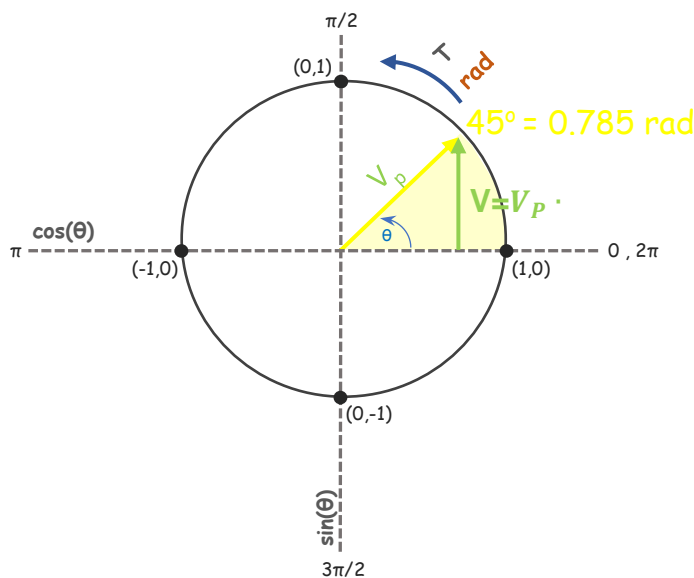
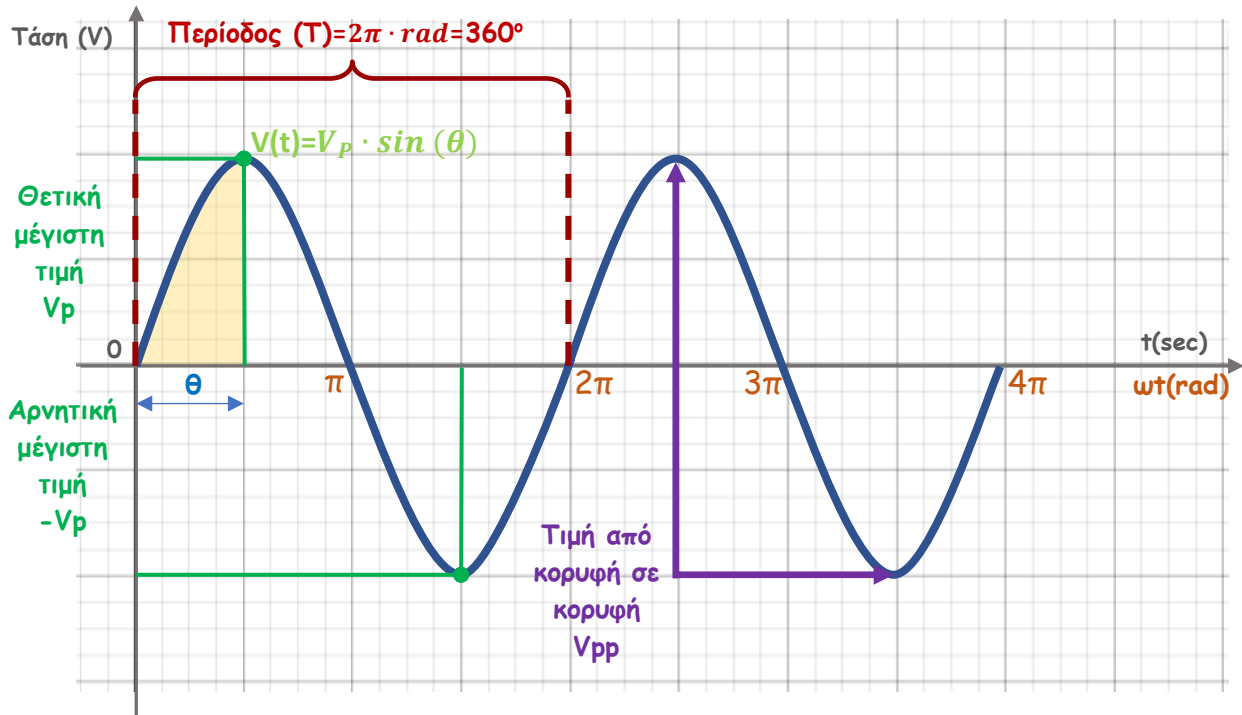
➤ Ημιτονοειδή ή  
αρμονικά εναλλασσόμενα

**σήματα:** αποτελούν σήματα των οποίων η στιγμιαία τιμή αποτελεί ημιτονοειδή συνάρτηση του χρόνου. Το απλούστερο και θεμελιώδες ηλεκτρικό σήμα της μορφής αυτής είναι το ημιτονικό ρεύμα ή η ημιτονική τάση (Σχήμα 141).

Σχήμα 141, Ημιτονοειδής  
εναλλασσόμενο σήμα



Μιας και αποτελεί θεμελιώδες ηλεκτρικό σήμα, και μάλιστα κάθε άλλης μορφής αρμονικό εναλλασσόμενο σήμα μπορεί να θεωρηθεί ως αποτέλεσμα επαλληλίας του ημιτονικού σήματος θα εμβαθύνουμε περισσότερο αναλύοντάς το στο Σχήμα 142.



Σχήμα 142, Ανάλυση χαρακτηριστικών ημιτονικού σήματος

Η μαθηματική περιγραφή του ημιτονικού σήματος ( ξεκινά σε χρόνο  $t=0$  ) είναι:

$V = V_p \cdot \sin(\theta)$  για τάση, και  $I = I_p \cdot \sin(\theta)$  για το ρεύμα αντίστοιχα.

Όπου:

$V, I$ : Στιγμιαίες τιμές

$V_p, I_p$ : Τιμές κορυφής

$\sin(\theta)$ : Ημίτονο γωνίας στροφής  $\theta$

Η γωνία στροφής του περιστρεφόμενου διανύσματος  $V_p$  (μέτρο τόξου, συμβολίζεται πολλές φορές ως  $\widehat{V}_p$ ) μετράτε σε ακτίνια. Το ακτίνιο μιας γωνίας  $\theta$  (μονάδα το rad) αποτελεί το μήκος του κυκλικού τόξου με ακτίνα κύκλου  $r=1$  (μοναδιαίος).

Ο λόγος της γωνίας στροφής σε ακτίνια ( $\theta_{\text{ακτ}}$ ) στον μοναδιαίο κύκλο και της πλήρους γωνίας του κύκλου ( $2\pi \cdot \text{rad}$ ) είναι ανάλογος του λόγου της γωνίας στροφής ( $\theta_{\text{μοιρ}}$ ) προς την πλήρη γωνία του κύκλου ( $360^\circ$ ), δηλαδή:

$$\frac{\theta_{\text{ακτ}}}{2\pi \cdot \text{rad}} = \frac{\theta_{\text{μοιρ}}}{360^\circ}$$

Μπορούμε να εξάγουμε την γωνία στροφής σε ακτίνια αν γνωρίζουμε το μέτρο της γωνίας σε μοίρες και το αντίστροφο.

Η γωνία (σε rad) που διανύει το περιστρεφόμενο διάνυσμα σε χρόνο ενός δευτερολέπτου καλείται **κυκλική (γωνιακή) συχνότητα**  $\omega$ . Φυσικά, όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα της ημιτονικής ταλάντωσης τόσο μικρότερη είναι η διάρκεια της περιόδου και άρα τόσο ταχύτερη γίνεται η περιστροφή του διανύσματος.

$\omega = \frac{\text{διανυόμενη γωνία στον μοναδιαίο κύκλο}}{\text{χρονική διάρκεια}} = \frac{\theta_{\text{ακτ}}}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f$  (μονάδα  $1/\text{sec}$ ) και  $f$  η συχνότητα σε Hertz.

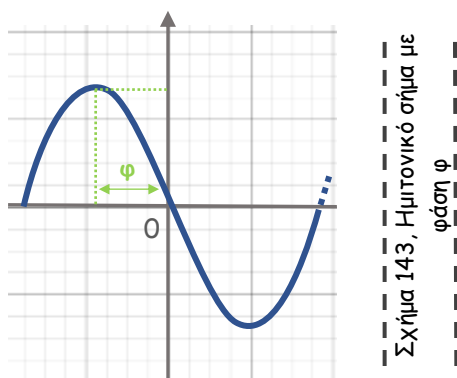
Άρα τελικά η σχέση της στιγμιαίας ημιτονικής τάσης υπολογίζεται:

$$V(t) = V_p \cdot \sin(\omega t) \quad (\text{Σχέση 34})$$

Όπου  $V_p = V_{\text{max}} = \frac{V_{p-p}}{2}$  η μέγιστη τιμή τάσης (κορυφής).

Βέβαια, αν το ημιτονικό σήμα τάσης ή ρεύματος, δεν ξεκινά σε χρόνο  $t=0$  (Σχήμα 143), λέμε ότι έχουν αρχική φάση  $\varphi$  (rad), και η (Σχέση 34) παίρνει την μορφή:

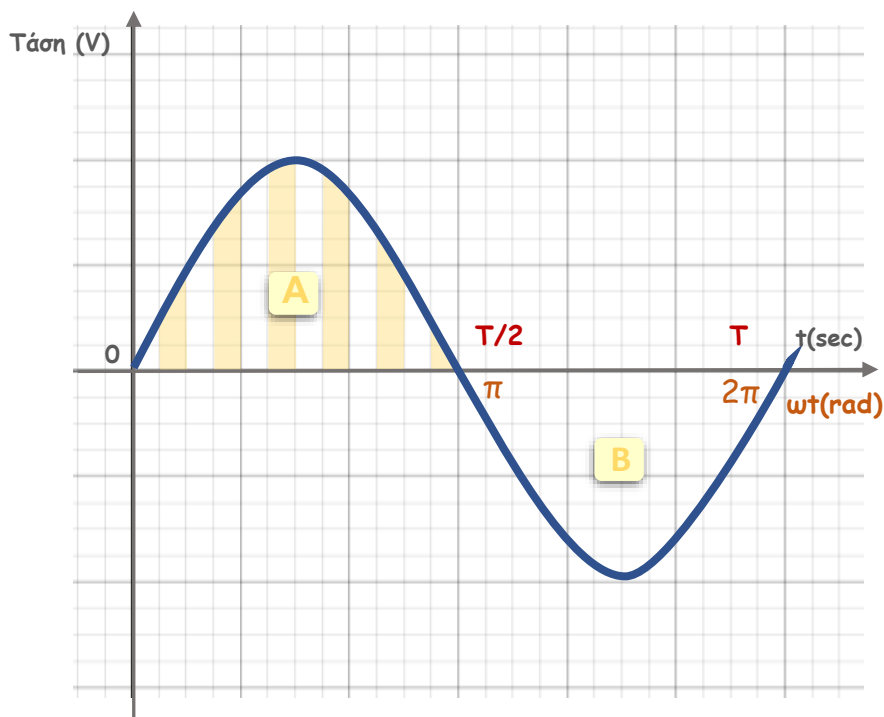
$$V(t) = V_p \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$



### 5.1.1 Μέση τιμή τάσης (ή ρεύματος) ημιτονικού σήματος

Κάθε

μεταβαλλόμενο μέγεθος, έχει μια μέση τιμή, η οποία καλείται τιμή συνεχούς στάθμης. Σε ένα ημιτονικό σήμα (Σχήμα 144), η μέση τιμή τάσης (ή ρεύματος) σε μια περίοδο είναι μηδέν, διότι το εμβαδό Α της θετικής ημιπεριόδου είναι ίσο και αντίθετο με το εμβαδό Β της αρνητικής ημιπεριόδου.



Σχήμα 144

Προσεγγίζοντας τα εμβαδά των ορθογωνίων κάτω από την ημιτονική καμπύλη, μπορούμε να πάρουμε μια γενική ιδέα του πραγματικού εμβαδού του καθενός και έπειτα αθροίζοντας τα μπορούμε να προσδιορίσουμε τη μέση τιμή. Φυσικά, όσο μεγαλύτερος ο αριθμός τους, τόσο πιο ακριβές θα ήταν το τελικό αποτέλεσμα.

Το εμβαδό ( $\varepsilon$ ) της θετικής ημιπεριόδου (μισή περίοδος,  $0 - \pi$ ) του σήματος  $V(t) = V_P \cdot \sin(\omega t)$

μπορεί να υπολογιστεί αν ολοκληρώσουμε την περιοχή αυτή:

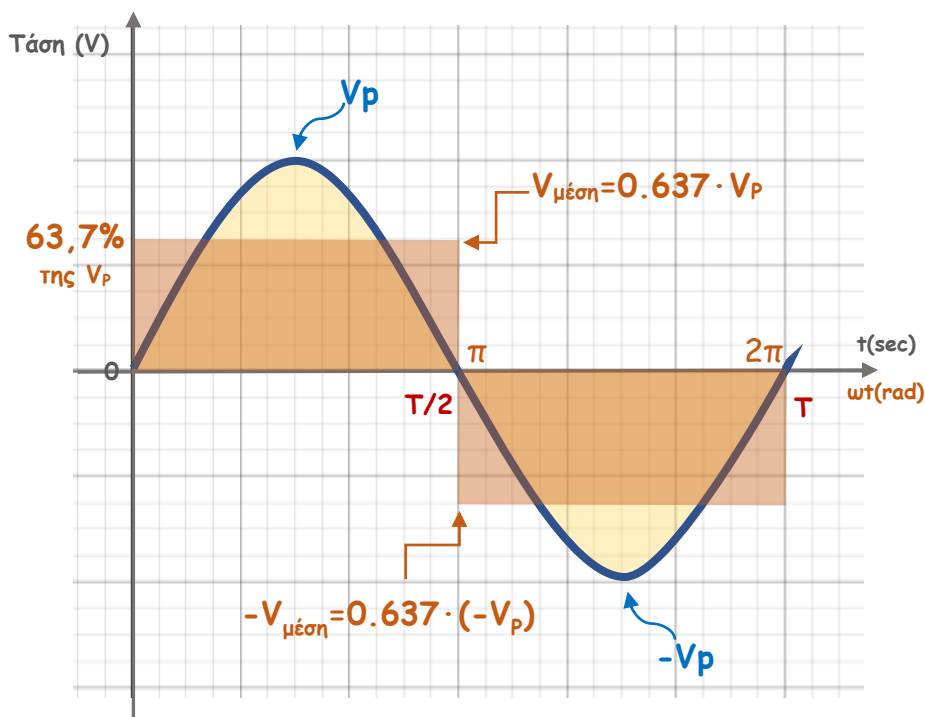
$$\varepsilon = \int_0^{\pi} V_P \cdot \sin(\omega t) dt \Rightarrow \varepsilon = -V_P [\cos \omega t]_0^{\pi} \Rightarrow$$

$$\varepsilon = -V_P \cos \pi - (-V_P) \cos 0 \Rightarrow \varepsilon = 2V_P$$

Αφού λοιπόν έχουμε προσδιορίσει το εμβαδό της θετικής ημιπεριόδου, το οποίο όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό ισούται με αυτό της αρνητικής ημιπεριόδου, μπορούμε πλέον εύκολα να προσδιορίσουμε τη **μέση τιμή** της θετικής (ή αρνητικής) ημιπεριόδου ( $V_{\text{μέση}} = V_{\text{DC}}$ ) ολοκληρώνοντάς την σε διάρκεια μισού κύκλου και διαιρώντας με τη μισή περίοδο. Συγκεκριμένα:

$$V_{\text{μέση}} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_P \cdot \sin(\omega t) dt \Rightarrow V_{\text{μέση}} = \frac{2V_P}{\pi} = 0.637 \cdot V_P$$

Η μέση τάση μιας ημιτονοειδούς κυματομορφής ( $V_{\text{μέση}}=V_{\text{DC}}$ ) προσδιορίζεται πολλαπλασιάζοντας την μέγιστη τιμή κορυφής της θετικής (ή αρνητικής) ημιπεριόδου με τη σταθερά 0,637 (ο πολλαπλασιασμός ισχύει μόνο για ημιτονοειδείς κυματομορφές). Εξαρτάται αποκλειστικά από το μέγεθος της κυματομορφής και είναι ανεξάρτητη της συχνότητας ή της γωνίας φάσης της κυματομορφής. Στο πλαίσιο αυτό, η μέση τιμή μπορεί να παρουσιαστεί και ως μια ισοδύναμη τιμή DC εμβαδού-χρόνου (Σχήμα 145).



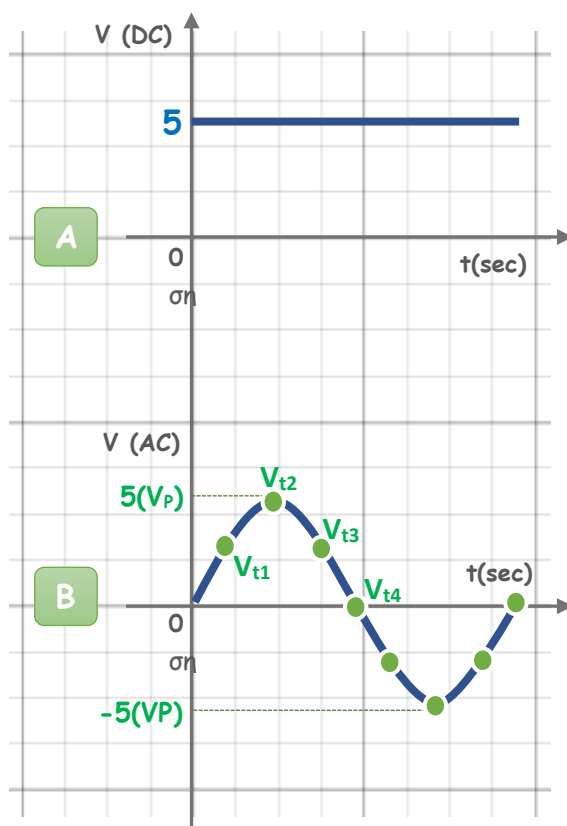
απαραίτητο να επισημανθεί πως η μέση τιμή είναι μηδενική σε έναν πλήρη κύκλο, καθώς η θετική μέση τιμή της ημιπεριόδου θα ακυρωθεί από την αρνητική μέση τιμή της ημιπεριόδου ( $V_{\text{μέση}} + (-V_{\text{μέση}})$ ) με αποτέλεσμα να προκύπτει μηδενική μέση τάση σε μια περίοδο. Γ' αυτόν τον λόγο η μέση τιμή λαμβάνεται για την μισή περίοδο ενός ημιτονικού σήματος.

### 5.1.2 Ενεργός τιμή (RMS) τάσης (ή ρεύματος) ημιτονικού σήματος

Είδαμε πως η μέση τιμή ενός περιοδικού κύματος είναι ο μέσος όρος όλων των στιγμιαίων περιοχών που λαμβάνονται κάτω από την καμπύλη κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης περιόδου της κυματομορφής. Ειδικά στην περίπτωση μιας ημιτονοειδούς ποσότητας, ως (τέτοια) η περίοδος λαμβάνεται το ήμισυ του κύκλου του κύματος (είτε ο θετικός είτε ο αρνητικός). Ποια είναι όμως η πραγματική τιμή της κυματομορφής αυτής;

Για να οδηγηθούμε στην απάντηση αυτής της ερώτησης, ας υποθέσουμε πως θέλουμε να υπολογίσουμε την ισχύ σε μια αντίσταση. Έστω λοιπόν ότι τροφοδοτούμε την αντίσταση αυτή με συνεχή τάση 5 V (DC, Σχήμα 146-α), που προφανώς τόσο αυτή όσο και το ρεύμα, είναι σταθερά και δεν αλλάζουν κατεύθυνση. Εύκολα, όπως και εσείς θα σκεφτήκατε υπολογίζουμε την ισχύ που απορροφά ο αντιστάτης πολλαπλασιάζοντας απλώς την τάση με το ρεύμα,  $P=V \cdot I$ . Η τιμή αυτή θα παραμείνει σταθερή και δεν θα αλλάξει.

Τώρα, ας αντικαταστήσουμε την DC τάση τροφοδοσία της αντίστασης με μια AC τάση. Η τάση και το ρεύμα δεν είναι πλέον σταθερά αλλά μεταβάλλονται συνεχώς (Σχήμα 146-β).



Σχήμα 146

Στην αρχή, η τάση θα έχει μηδενική τιμή, έπειτα σταδιακά θα αυξηθεί και θα φτάσει στα 5 V,

μετά θα μειωθεί μέχρι τον μηδενισμό της, θα συνεχίσει λαμβάνοντας αρνητικές τιμές μέχρι το μηδενισμό της και αυτό θα επαναλαμβάνεται σε κάθε κύκλο. Ποια τιμή λοιπόν της μεταβαλλόμενης τιμής πρέπει να λάβουμε υπόψη για τον υπολογισμό της ισχύος; Ακόμα και αν επιλέγαμε την  $V_p$  ή την  $V_{p-p}$ , θα οδηγούμασταν σε λάθος απάντηση. Επομένως, χρειαζόμαστε έναν όρο, ο οποίος θα μας δώσει την πραγματική τιμή των μεγεθών (τάση ή ρεύμα) του εναλλασσόμενου σήματος. Για τον σκοπό αυτό εκμεταλλευόμαστε την τυπική απόκλιση από τη στατιστική επιστήμη, ώστε να λάβουμε ένα μέτρο, του πόσο κατά μέσο όρο διαφέρουν οι μεταβαλλόμενες τιμές από το μέσο όρο τους. Ουσιαστικά, η τυπική απόκλιση έρχεται να συμπληρώσει την πληροφορία που

μας δίνει αρχικά το εύρος των μεταβαλλόμενων τιμών του σήματος λαμβάνοντας υπόψη όλες τις τιμές της κατανομής (διασπορά τιμών γύρω από το μέσο όρο). Η τυπική απόκλιση είναι η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης των τιμών του σήματος (Σχήμα 146, β). Η τιμή που λαμβάνουμε από αυτή τη μέθοδο είναι γνωστή ως "τιμή **RMS**", η οποία πρακτικά αποτελεί την σταθερή τιμή του ρεύματος (DC) και προκαλεί την ίδια κατανάλωση ισχύος σε μια αντίσταση (R) με ένα εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) ίδιας τιμής. Ορίζεται ως:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_{ti}^2}{n}}$$

και σύμφωνα με το Σχήμα 146-β, ο τύπος θα ήταν  $V_{RMS} = \sqrt{\frac{V_{t1}^2 + V_{t2}^2 + V_{t3}^2 + V_{t4}^2}{4}}$

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της μέσης τετραγωνικής ρίζας μιας ημιτονοειδούς τάσης  $V(t) = V_P \cdot \sin(\omega t)$  ολοκληρώνοντας τη σε μια περίοδο ως εξής:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (V_P \cdot \sin(\omega t))^2 dt} \Rightarrow$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{V_P^2}{T} \int_0^T \frac{(1 - \cos(2\omega t))}{2} dt} \Rightarrow$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{V_P^2}{2T} \int_0^T (1 - \cos(2\omega t)) dt} \Rightarrow$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{V_P^2}{2T} \left[ t - \frac{\cos 2\omega t}{2\omega} \right]_0^T} \Rightarrow \quad (\text{όπου } \omega = 2\pi/T)$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{V_P^2}{2T} T} \Rightarrow$$

$$V_{RMS} = \frac{V_P}{\sqrt{2}} = V_P \cdot 0,7071 \quad (\text{όπου } \sqrt{2} \text{ ο συντελεστής κορυφής})$$

Για παράδειγμα, η οικιακή ηλεκτρική παροχή των 220V (RMS) αντιστοιχεί σε τάση πλάτους 310V ( $220 \cdot \sqrt{2}$ ).

Η ισχύς επομένως υπολογίζεται ως:

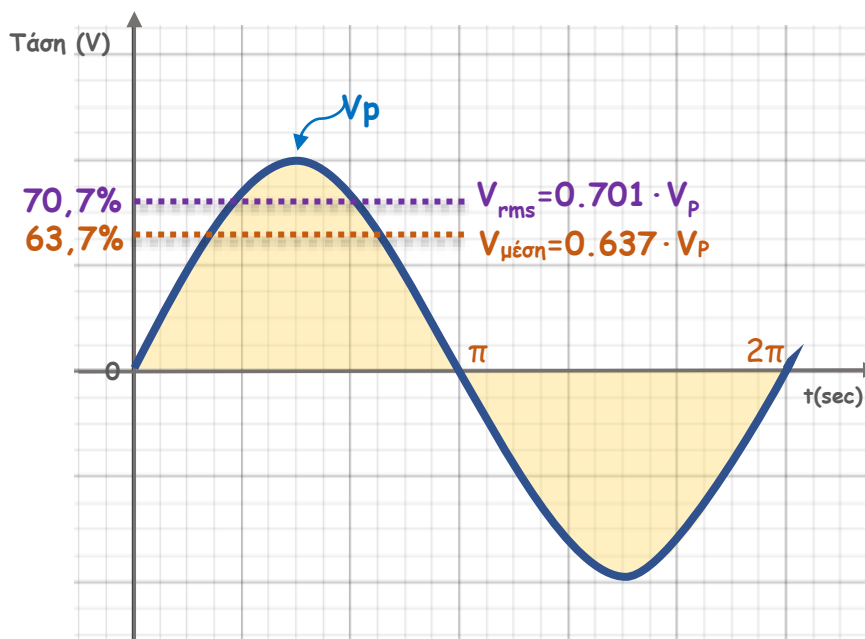
$$P = \frac{V_{RMS}^2}{R} \text{ και η μέση ισχύς ως: } P_{rms} = \frac{U_P I_P}{2} = U_{RMS} I_{RMS}$$

Όταν χρησιμοποιούμε πολύμετρο για την μέτρηση της εναλλασσόμενης τάσης, πρακτικά παίρνουμε ως ένδειξη την ενεργό τιμή της (περίπου το 70% της  $V_P$ , Σχήμα



147). Προσοχή, ο πολλαπλασιασμός της μέγιστης τιμής με τη σταθερά 0,7071 ισχύει μόνο για ημιτονοειδείς κυματομορφές.

Συνοψίζοντας, **ενεργός ένταση ( $I_{RMS}$ )** εναλλασσόμενου ρεύματος, ονομάζεται η σταθερή ένταση συνεχούς ρεύματος που προκαλεί την ίδια θερμότητα με το εναλλασσόμενο ρεύμα, όταν διαρρέει την ίδια αντίσταση στο ίδιο χρονικό διάστημα  $I_{RMS} = I_P / \sqrt{2}$ . **Ενεργός τάση ( $V_{RMS}$ )** εναλλασσόμενου ρεύματος, ονομάζεται η σταθερή τάση συνεχούς ρεύματος, που εφαρμόζοντάς την σε μια αντίσταση, στην οποία εφαρμόστηκε και η εναλλασσόμενη τάση, προκαλεί συνεχές ρεύμα το οποίο ισούται κατ'ένταση με την ενεργό τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος  $V_{RMS} = V_P / \sqrt{2}$ .



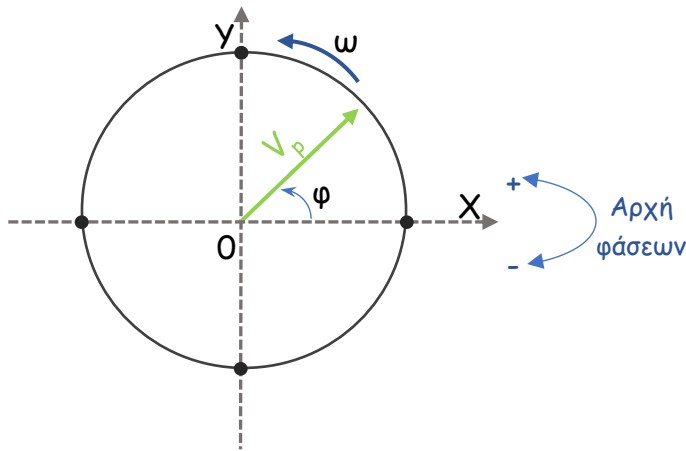
Σχήμα 147, Απεικόνιση ενεργού τιμής εναλλασσόμενης τάσης

### 5.1.3 Αναπαράσταση εναλλασσόμενων μεγεθών

Στην ανάλυση κυκλωμάτων με ημιτονοειδή εναλλασσόμενα μεγέθη (AC) ο χειρισμός των μεγεθών, είναι αρκετά περίπλοκος, ανάλογα με την πολυπλοκότητα και την σύνθεση των κυκλωμάτων. Ως εκ τούτου καταφεύγουμε σε τρεις βασικούς τρόπους περιγραφή τους. Ο πρώτος είναι ο ημιτονοειδής που είδαμε προηγουμένως, ο δεύτερος αφορά περιστρεφόμενα διανύσματα, και ο τρίτος στηρίζεται στους μιγαδικούς αριθμούς.

Στην ανάλυση απλών κυκλωμάτων με ημιτονοειδή εναλλασσόμενα μεγέθη, χρησιμοποιούμε κατά κανόνα **περιστρεφόμενα διανύσματα** (Σχήμα 148), λόγω της ευκολίας που μας προσφέρουν. Τα εναλλασσόμενα μεγέθη μπορούν να αναπαρασταθούν στο επίπεδο  $xOy$ , με ένα διάνυσμα που έχει μέτρο ίσο με το πλάτος

του εναλλασσόμενου μεγέθους ( $V_p$ ) το οποίο περιστρέφεται αριστερόστροφα με γωνιακή ταχύτητα  $\omega$ .

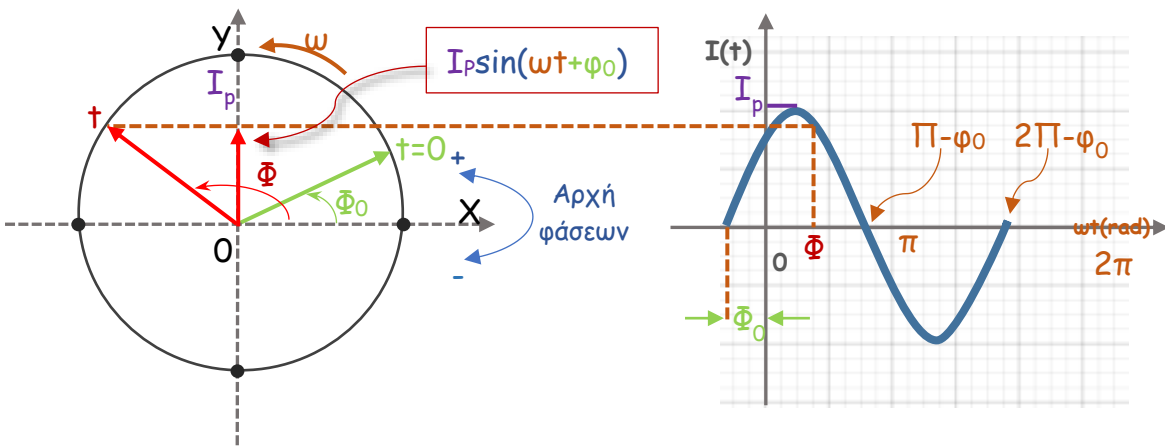


Σχήμα 148, Απεικόνιση ημιτονοειδούς εναλλασσόμενου μεγέθους ως περιστρεφόμενο διάνυσμα  
 Πρακτικά, με την παραπάνω μέθοδο, ένα

ημιτονικό σήμα της μορφής  $V(t) = V_p \cdot \sin(\omega t)$  αναλύεται με τη χρήση νόμων συνημίτονου για την εύρεση του πλάτους και ημιτόνου για την εύρεση της φάσης.

Αν λοιπόν ο άξονας X, αποτελεί την αφετηρία για την μέτρηση των φασικών γωνιών, τότε, κινούμενοι αριστερά, λαμβάνουμε τις γωνίες θετικές, και εφόσον την χρονική στιγμή  $t=0$  το διάνυσμα ξεκίνησε από τον άξονα x, οι προβολές του διανύσματος ( $x, y$ ) δίνονται από τις σχέσεις:  $x=V_p \cos(\varphi)$  και  $y=V_p \sin(\varphi)$ ,  $\varphi=\omega t$ .

Φυσικά, δεν είναι αναγκαίο να παρουσιάζεται ολόκληρη η χρονική εξέλιξη των μεγεθών μιας και αν όλα τα μεγέθη περιστρέφονται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα, σε κάθε χρονική στιγμή  $t$ , θα έχουν μεταξύ τους την ίδια διαφορά φάσης με αυτή που είχαν στην χρονική στιγμή  $t=0$ . Ένα ημιτονικό σήμα της μορφής  $I(t) = I_p \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$  αναλύεται στο Σχήμα 149 ως:



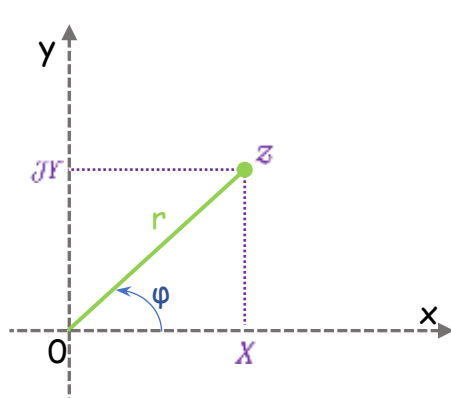
Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως την χρονική στιγμή  $t=0$  το διάνυσμα σχημάτιζε γωνία  $\varphi_0$  με τον άξονα x, και οι προβολές του διανύσματος ( $x, y$ ) δίνονται από τις σχέσεις:  $x=V_p \cos(\varphi)$  και  $y=V_p \sin(\varphi)$ ,  $\varphi=\omega t + \varphi_0$

Σχήμα 149, Αντιστοιχίες τιμών μεταξύ ημιτονοειδούς εναλλασσόμενου σήματος και περιστρεφόμενου διανύσματος

Βέβαια, σε πολύπλοκα κυκλώματα, τόσο η γραφική αναπαράσταση όσο και η μαθηματική ανάλυση και ο προσδιορισμός των ημιτονοειδών εναλλασσόμενων μεγεθών μπορεί να καταστούν ιδιαίτερα περίπλοκα, με αποτέλεσμα να καταφεύγουμε στην **μιγαδική παράσταση** τους.

(Συνίσταται, στο σημείο αυτό, να ανατρέξετε στο παράρτημα της θεωρίας που αφορά τους μιγαδικούς αριθμούς, και όταν ολοκληρώσετε την μελέτη τους, να επιστρέψετε και να συνεχίσετε παρακάτω, δηλαδή στην εφαρμογή τους στα εναλλαγμένα ημιτονικά μεγέθη.).

Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα συντεταγμένων  $(X,Y)$ , όπου  $X$  τα σημεία πραγματικών αριθμών στον οριζόντιο άξονα, και  $JY$  τα αντίστοιχα σημεία φανταστικών αριθμών στον κατακόρυφο άξονα (όπου  $J = \sqrt{-1}, Y \in \mathcal{R}$ ), τότε κάθε σημείο στο επίπεδο αυτό θα έχει στον άξονα  $X$  προβολή πραγματικού αριθμού και στον άξονα  $Y$  προβολή φανταστικού αριθμού. Κατά συνέπεια, το κάθε σημείο στο επίπεδο αυτό θα δίνεται από τις συντεταγμένες  $(X,Y)$  και θα αντιστοιχεί σε έναν μιγαδικό αριθμό με μορφή  $z = X + JY$  (Σχήμα 150).



Σχήμα 150, Αναπαράσταση μιγαδικού αριθμού σε καρτεσιανή μορφή

Η μορφή του μιγαδικού αριθμού  $z = X + JY$  ονομάζεται καρτεσιανή μορφή,  $r = \sqrt{x^2 + Y^2}$  το μέτρο του, και  $\varphi = \tan^{-1} \frac{Y}{X}$  το όρισμά του, το οποίο δεν είναι μοναδικό αφού για κάθε γωνία  $\varphi + 2k\pi$  (όπου  $k \in \mathbb{Z}$ ) αντιστοιχεί στο ίδιο σημείο.

Το εργαλείο που θα χρησιμοποιήσουμε για να δημιουργήσουμε μια σχέση μεταξύ των χρονικά μεταβαλλόμενων ημιτονοειδών συναρτήσεων και των μιγαδικών αριθμών είναι η εξίσωση του Euler, η οποία γράφεται ως:

$$e^{\pm J\varphi} = \cos \varphi \pm J \sin \varphi \quad (\text{Σχέση 35})$$

από την οποία μπορούμε να θεωρήσουμε την συνημιτονική συνάρτηση ως το πραγματικό μέρος της εκθετικής συνάρτησης και την ημιτονική συνάρτηση ως το φανταστικό της μέρος, δηλαδή:

$$\cos \varphi = \Re\{e^{J\varphi}\} \text{ και } \sin \varphi = \Im\{e^{J\varphi}\}$$

Στο σημείο αυτό, θεωρούμε μια γενικότερη μορφή του ημιτονοειδούς η οποία θα περιλαμβάνει και μια γωνία φάσης  $\varphi_0$  στο όρισμά της:

$$e^{\pm j\varphi} = \cos \varphi \pm j \sin \varphi \quad (\text{Σχέση 36})$$

Η οποία σύμφωνα με την σχέση 2, παίρνει την μορφή:

$$\begin{aligned} \mathbf{V}(t) &= V_P \mathbb{R}\{e^{j(\omega t + \varphi_0)}\} \Rightarrow \\ \mathbf{V}(t) &= V_P \mathbb{R}\{e^{j\omega t} e^{j\varphi_0}\} \end{aligned}$$

Η ποσότητα  $V_P \cdot e^{j\varphi_0}$  αποτελεί έναν μιγαδικό αριθμό ( $\mathcal{V}$ ) ο οποίος φέρει το πλάτος (μέτρο) και την γωνία φάσης της συγκεκριμένης ημιτονοειδούς συνάρτησης (Σχέση 3). Αυτός ο μιγαδικός αριθμός αποτελεί εξ ορισμού τον φασιθέτη-**phasor** της συνάρτησης ή τον φασικό μετασχηματισμό της, δηλαδή:

$$\mathcal{V} = V(j\omega) = V_P \cdot e^{j\varphi_0} = V_P \angle \varphi_0 \quad (\text{πολική μορφή})$$

Έτσι, ο μετασχηματισμός φάσης μεταφέρει την ημιτονοειδή συνάρτηση από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο των μιγαδικών αριθμών, το οποίο ονομάζεται και πεδίο συχνότητας, δεδομένου ότι η απόκριση εξαρτάται, γενικά, από το  $\omega$ .

Είναι απαραίτητο να επισημανθεί πως η χρήση **phasor** απαιτεί όλοι οι όροι να είναι είτε μόνο ημιτονικοί, είτε μόνο συνημιτονικοί. Στην περίπτωση που έχουμε ταυτόχρονα ημιτονικούς και συνημιτονικούς, τότε μετατρέπονται σε συνημιτονικούς σύμφωνα με την τριγωνομετρική σχέση:

$$\mp \sin \varphi_0 = \cos(\varphi_0 \pm 90^\circ)$$

Συνοπτικά:

Πεδίο Χρόνου	Πεδίο Συχνότητας
$V_p \cos(\omega t \pm \varphi_0)$	$V_p \angle \pm \varphi_0$
$V_p \sin(\omega t \pm \varphi_0)$	$V_p \angle (\pm \varphi_0 - 90^\circ)$

Η χρήση τους απλοποιεί τις πράξεις μιας και στο πεδίο του χρόνου η συνάρτηση  $V(t)$  θα απαιτούσε μακροσκελείς και χρονοβόρες πράξεις. Ωστόσο, μπορούμε με ευκολία να μεταβούμε στο Πεδίο της Συχνότητας (από αυτό του χρόνου), να κάνουμε τις πράξεις μεταξύ των μιγαδικών και έπειτα να επιστρέψουμε ξανά στο πεδίο του χρόνου μέσω της κοινής κυκλικής συχνότητας των όρων.

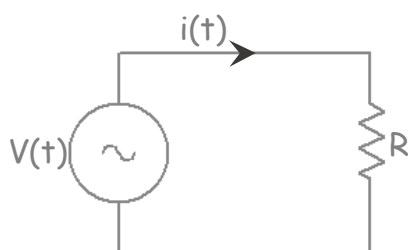
## 5.2 Κυκλωματικά στοιχεία στο εναλλασσόμενο

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, μελετήσαμε την ανάλυση των ωμικών κυκλωμάτων, από την οποία προέκυπταν αλγεβρικές εξισώσεις. Με την προσθήκη στοιχείων αποθήκευσης ενέργειας ( $C$ ,  $L$ ) προκύπτουν διαφορικές εξισώσεις μιας και η σχέση  $V$ - $I$  είναι πλέον διαφορική. Παρακάτω θα μελετήσουμε την συμπεριφορά τέτοιων κυκλωμάτων, καθώς και την μετάβασή τους από μια σταθερή κατάσταση σε μια άλλη σταθερή κατάσταση. Παράλληλα, θα καθορίσουμε τις φασικές σχέσεις μεταξύ τάσης και ρεύματος για τα τρία παθητικά στοιχεία  $R$ ,  $L$  και  $C$  στην ημιτονική μόνιμη κατάσταση.

### 5.2.1 Συμπεριφορά R-L-C στο εναλλασσόμενο

#### Κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος με αντιστάτη:

Από το νόμο του Ohm, αν το ρεύμα σε έναν αντιστάτη μεταβάλλεται ημιτονοειδώς με το χρόνο  $i(t) = I_p \cdot \cos(\omega t + \varphi_i)$ , η τάση στους ακροδέκτες του αντιστάτη (Σχήμα 151), είναι:



Σχήμα 151

$$v_R(t) = R \cdot i(t) \Rightarrow$$

$$v_R(t) = R \cdot [I_p \cdot \cos(\omega t + \varphi_i)] \Rightarrow$$

$$v_R(t) = R \cdot I_p [\cos(\omega t + \varphi_i)] \Rightarrow$$

Η οποία μπορεί να γραφεί σε πολική μορφή ως:

$\mathcal{V}_R = R \cdot I_p e^{j\varphi_i} = R \cdot I_p \angle \varphi_i$ , όπου το  $I_p \angle \varphi_i$  αποτελεί την φασική αναπαράσταση του ημιτονοειδούς ρεύματος  $I$  και επομένως μπορούμε να γράψουμε την  $\mathcal{V}_R$  ως:

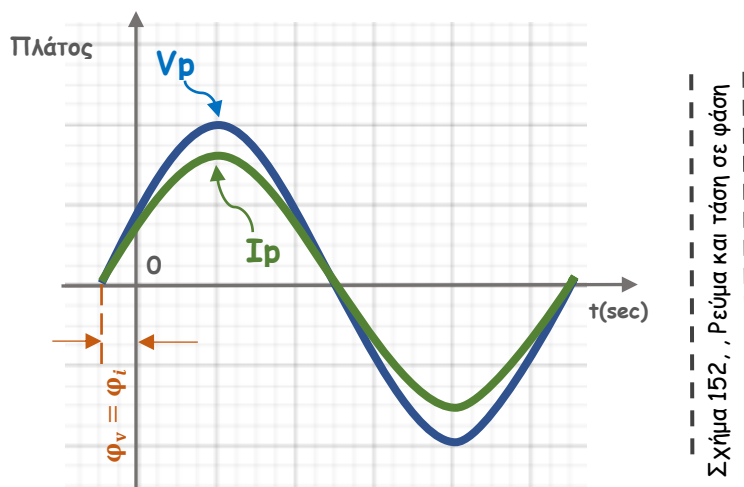
$$\mathcal{V}_R = R \cdot \mathbf{I} \quad (\text{Σχέση 37})$$

Η (Σχέση 37) αποτελεί την σχέση της φασικής τάσης και του φασικού ρεύματος σε έναν αντιστάτη. Όπως είναι αντιληπτό, εφαρμόζοντας μια τάση της μορφής  $V_p e^{j(\omega t + \varphi_v)}$  σε έναν αντιστάτη, το αποτέλεσμα είναι ένα ρεύμα επίσης της μορφής  $I_p e^{j(\omega t + \varphi_i)}$ . Συγκεκριμένα:

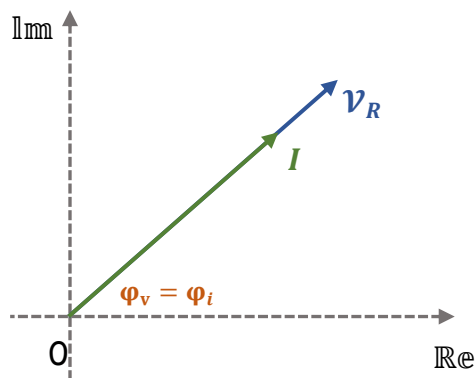
$$V_p e^{j(\omega t + \varphi_v)} = I_p e^{j(\omega t + \varphi_i)} \Rightarrow$$

$$V_p e^{j\varphi_v} = I_p e^{j\varphi_i} \quad (\text{Σχέση 38})$$

Παρατηρούμε (Σχέση 38) πως τόσο η γωνία φάσης της τάσης όσο και η γωνία φάσης του ρεύματος είναι ίσες  $\varphi_v = \varphi_i$  στην αντίσταση. Επομένως, λέμε ότι βρίσκονται σε φάση (ή εναλλακτικά η διαφορά φάσης τους είναι μηδέν). Αυτό πρακτικά σημαίνει πως οι κυματομορφές τους φτάνουν στις αντίστοιχες μέγιστες τιμές τους στην ίδια χρονική στιγμή (Σχήμα 152).



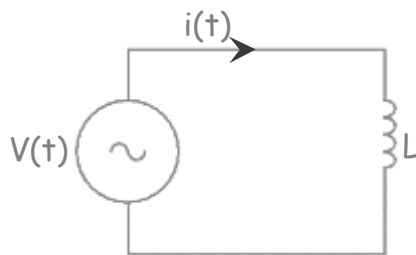
Αν απεικονίσουμε τους φασιθέτες του κάθε μεγέθους στο ίδιο διάγραμμα (Σχήμα 153), τότε παίρνουμε άμεσα πληροφορίες σχετικά με την θέση του ενός σε σχέση με τον άλλο, την γωνία μεταξύ τους, ποιο προπορεύεται, ποιο έπεται κ.λπ.



Σχήμα 153, Απεικόνιση  
φασθεταιών ρεύματος και τάσης

### Κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος με Πηνίο:

Αν το ρεύμα που διαρρέει ένα πηνίο (Σχήμα 154) μεταβάλλεται ημιτονοειδώς με το χρόνο  $i(t) = I_p \cdot \cos(\omega t + \varphi_i)$ , η τάση στους ακροδέκτες του θα είναι:



Σχήμα 154

$$v_L(t) = L \cdot \frac{d}{dt} i(t) \Rightarrow$$

$$v_L(t) = -\omega \cdot L \cdot I_p \cdot [\sin(\omega t + \varphi_i)] \Rightarrow \text{επιστρέφουμε σε συνημιτονικό όρο}$$

$$v_L(t) = -\omega L I_p \cdot [\cos(\omega t + \varphi_i - 90^\circ)] \Rightarrow \text{μεταπηδούμε στο πεδίο της συχνότητας}$$

$$V_L = -\omega L I_p \cdot e^{j(\varphi_i - 90^\circ)} \Rightarrow$$

$$V_L = -\omega L I_p \cdot e^{j\varphi_i} \cdot e^{-j90^\circ} \Rightarrow (\text{Euler: } e^{-j90^\circ} = \cos(90^\circ) - j\sin(90^\circ) = -j)$$

$$V_L = j\omega L \cdot I_p \cdot e^{j\varphi_i} \quad (\text{Σχέση 39})$$

$$V_L = j\omega L \cdot I$$

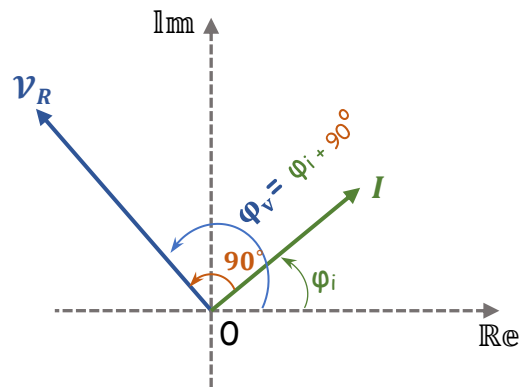
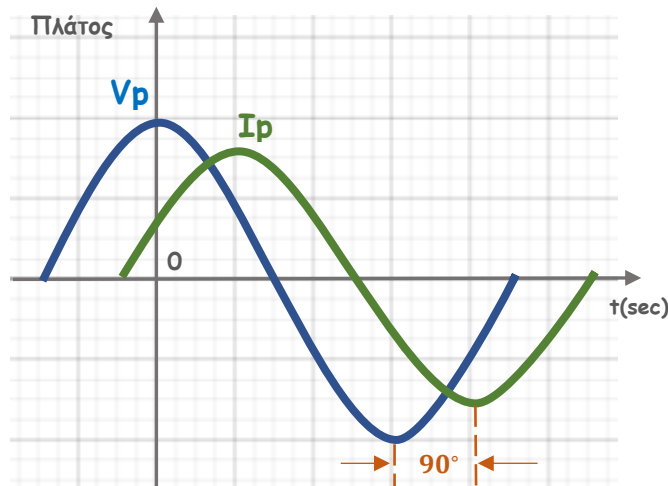
Η (Σχέση 39) μπορεί να γραφεί και:

$$V_L = \angle 90^\circ \cdot \omega L \cdot I_p \cdot \angle \varphi_i \Rightarrow$$

$$V_L = \omega L I_p \cdot \angle(\varphi_i + 90^\circ)$$

Όπως προκύπτει, η τάση και το ρεύμα έχουν διαφορά φάσης  $90^\circ$ . Συγκεκριμένα, η τάση προηγείται του ρεύματος κατά  $90^\circ$ , ή, ισοδύναμα, το ρεύμα έπεται της τάσης κατά  $90^\circ$  (Σχήμα 155).

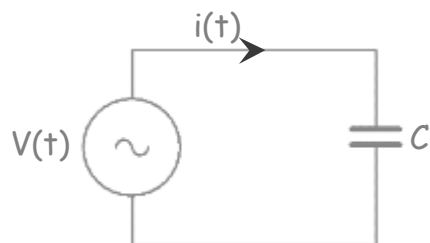
Σχήμα 155, Απεικόνιση τάσης και ρεύματος σε Πηνίο



Παρατηρήστε πως η τάση φτάνει στην αρνητική μέγιστη κορυφή της, ακριβώς 90° πριν το ρεύμα φτάσει στην δική του μέγιστη αρνητική κορυφή.

**Κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος με Πυκνωτή:**

Αν τροφοδοτήσουμε έναν πυκνωτή με ημιτονοειδή τάση της μορφής  $v(t) = V_p \cdot \cos(\omega t + \phi_i)$ , τότε το ρεύμα που τον διαρρέει (Σχήμα 152), θα είναι:



Σχήμα 156

$$i(t) = C \cdot \frac{d}{dt} V_c(t) \Rightarrow$$

εργαζόμαστε

μαθηματικώς όμοια με το πηνίο

$$I = j\omega C \cdot V_L \quad (\text{Σχέση 40})$$

Επιλύοντας την σχέση 7 ως προς  $V_L$  εξάγουμε την τάση στα άκρα του πυκνωτή:

$$V_C = \frac{I}{j\omega C} \Rightarrow$$

Η οποία μπορεί να γραφεί και:

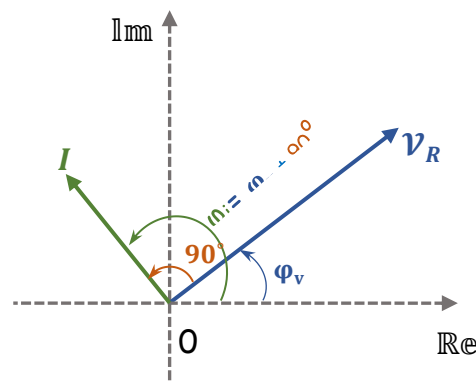
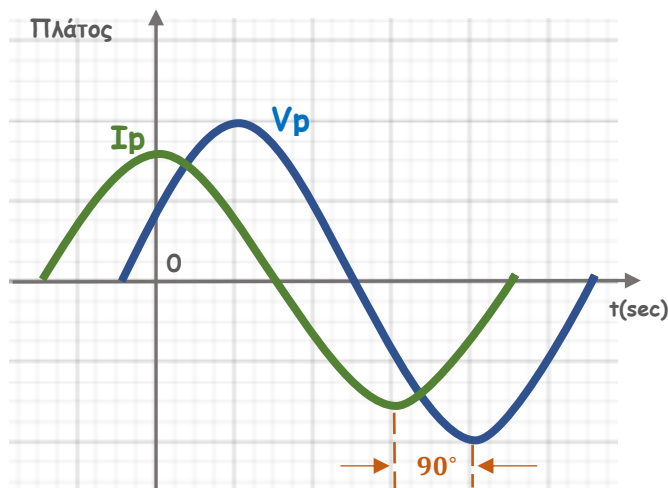
$$V_C = \frac{I_P \cdot \angle \phi_i}{\omega C \cdot \angle 90^\circ} \Rightarrow$$

$$V_C = \frac{I_P}{\omega C} \cdot \angle (\phi_i - 90^\circ) \quad (\text{Σχέση 41})$$



Παρατηρήστε ότι η τάση ((Σχέση 40) και το ρεύμα (Σχέση 41) έχουν διαφορά φάσης  $90^\circ$ . Συγκεκριμένα το ρεύμα προπορεύεται της τάσης κατά  $90^\circ$  ή με άλλα λόγια η τάση έπεται του ρεύματος κατά  $90^\circ$  (Σχήμα 152).

Σχήμα 157, Απεικόνιση τάσης και ρεύματος σε Πυκνωτή



Όπως διαπιστώσαμε, για ημιτονοειδείς συναρτήσεις τάσης και ρεύματος σε  $L - C$ , οι γραφικές παραστάσεις, στην ίδια χρονική κλίμακα παρουσιάζουν μετατόπιση μεταξύ τους. Η μετατόπιση αυτή αποτελεί την φασική γωνία και ορίζεται ως η διαφορά της φάσης της τάσης μείον την διαφορά της φάσης του ρεύματος. Η φάση αποτελεί την γωνία (όρισμα) της ημιτονοειδούς συνάρτησης κυμαινόμενη από  $-90^\circ$  έως  $90^\circ$  και κατά κανόνα παίρνουμε την απόλυτη τιμή της. Επομένως, αν η φασική γωνία είναι αρνητική λέμε ότι το ρεύμα προπορεύεται της τάσης ή αν είναι θετική, τότε, ότι έπεται της τάσης.

### 5.2.2 Εμπέδηση

Όταν έχουμε ένα κύκλωμα εναλλασσόμενης τάσης που περιέχει συνδεδεμένα σε σειρά, αντιστάτη, ή πηνίο, ή πυκνωτή ή συνδυασμό αυτών, για να χαρακτηρίσουμε πλέον την δυσκολία που συναντούν τα ηλεκτρόνια κατά την κίνησή τους στα στοιχεία αυτά, ορίζουμε ένα καινούριο φυσικό μέγεθος, την **Εμπέδηση  $Z$**  ( Σχέση 9, σε  $\Omega$  ). Ως Εμπέδηση  $Z$  (ή σύνθετη αντίσταση) λοιπόν ενός κυκλώματος εναλλασσόμενου ρεύματος, ορίζουμε το πηλίκο του πλάτους  $V_p$  της εναλλασσόμενης τάσης που τροφοδοτεί το κύκλωμα (ή κάποιο στοιχείο του), προς το πλάτος  $I_p$  της εναλλασσόμενης έντασης του ρεύματος του κυκλώματος (ή κάποιου στοιχείο του), δηλαδή:

$$Z = \frac{V_P}{I_P} \quad (\text{Σχέση 42})$$

Από την παραπάνω σχέση μπορούμε να εξάγουμε τον νόμο του Ohm για εναλλασσόμενα μεγέθη χρησιμοποιώντας τις ενεργές τιμές και πλάτη:

$$Z = \frac{V_{\varepsilon v} \cdot \sqrt{2}}{I_{\varepsilon v} \cdot \sqrt{2}} \Rightarrow I_{\varepsilon v} = \frac{V_{\varepsilon v}}{Z}$$

Δε συμβαίνει όμως το ίδιο για τις #στιγμιαίες\_τιμές\_τάσης και τις #στιγμιαίες\_τιμές\_έντασης όπου ο νόμος του Ohm για ωμική αντίσταση παραμένει  $I=V/R$ .

Κατά συνέπεια, η Εμπέδηση  $Z$  μπορεί να οριστεί στο πεδίο της συχνότητας ως ο λόγος της φασικής τάσης προς το φασικό ρεύμα, δηλαδή:

$$Z = \frac{\mathcal{V}}{\mathcal{I}} \Rightarrow$$

$$Z = \frac{v_p \cdot \angle \Phi_v}{i_p \cdot \angle \Phi_i} = \frac{V_p}{I_p} \cdot \angle (\Phi_v - \Phi_i) = Z \cdot \angle \Phi_Z \quad (\text{Σχέση 43})$$

Η παραπάνω σχέση, μπορεί να γραφεί σε καρτεσιανή μορφή ως:

$$Z(\omega) = R + jX \text{ όπου}$$

- $R = \text{Re}(Z)$ : Αναπαριστά την ωμική αντίσταση του κυκλώματος (πάντα Θετική)
- $X = \text{Im}(Z)$ : Ορίζεται ως άεργη αντίσταση (ή αντίδραση), φυσικά μπορείτε να αναζητήσετε πηγές σε πανεπιστημιακή βιβλιογραφία. Διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις:

- Αν  $X > 0$  η Εμπέδηση έχει **επαγωγική συμπεριφορά** (συμπεριφέρεται ως πηνίο), δηλαδή η τάση προπορεύεται του ρεύματος κατά γωνία  $\varphi$ .
- Αν  $X < 0$  η Εμπέδηση έχει **χωρητική συμπεριφορά** (συμπεριφέρεται ως πυκνωτής), δηλαδή η τάση έπεται του ρεύματος κατά γωνία  $\varphi$ .
- Αν  $X = 0$  η Εμπέδηση έχει **ωμική συμπεριφορά** (συμπεριφέρεται ως αντιστάτης), δηλαδή η τάση και το ρεύμα κατά είναι συμφασικά.

Έστω τώρα ότι εφαρμόζουμε σε καθένα από τα βασικά παθητικά στοιχεία των κυκλωμάτων μια ημιτονική τάση της μορφής:

$$v(t) = V_p \cdot \cos(\omega t) \text{ ή σε μιγαδική μορφή } v(j\omega) = \mathcal{V} = V_p \cdot e^{j0^\circ} = V_p \angle 0^\circ \quad (\text{Σχέση 44})$$

Η σύνθετη αντίσταση ( Εμπέδηση  $Z$  ) έχει ως εξής:

1) Για τον αντιστάτη R:

Το ρεύμα που διαρρέει τον αντιστάτη, από τον νόμο του Ohm υπολογίζεται

$$i_R(t) = \frac{v(t)}{R} = \frac{V_P}{R} \cdot \cos(\omega t) \Rightarrow \text{γράφουμε την σχέση σε μηγαδική μορφή}$$

$$\mathbf{I} = i_R(\mathbf{J}\omega) = \frac{V_P}{R} \angle 0^\circ \quad (\text{Σχέση 45})$$

Η σύνθετη αντίσταση, υπολογίζεται από τις (Σχέση 44)(Σχέση 45 ως:

$$\mathbf{Z} = \frac{v(\mathbf{J}\omega)}{i_R(\mathbf{J}\omega)} = R$$

Παρατηρούμε λοιπόν πως η σύνθετη αντίσταση ταυτίζεται με την ωμική.

2) Για το Πηνίο (L)θα είναι:

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int v(t) dt \Rightarrow$$

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \cdot \int V_P \cdot \cos(\omega t) dt = \frac{V_P}{\omega L} \sin(\omega t) = \frac{V_P}{\omega L} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \Rightarrow \text{γράφουμε την σχέση σε μηγαδική μορφή}$$

$$\mathbf{I} = i_L(\mathbf{J}\omega) = \frac{V_P}{\omega L} \angle \left(-\frac{\pi}{2}\right)$$

Η σύνθετη αντίσταση θα είναι:

$$\mathbf{Z} = \frac{v(\mathbf{J}\omega)}{i_L(\mathbf{J}\omega)} = \omega L \angle \frac{\pi}{2} = \mathbf{J}\omega L$$

3) Για τον Πυκνωτή (C) θα είναι:

$$i_C(t) = C \frac{dv(t)}{dt} \Rightarrow$$

$$i_C(t) = C \frac{dV_P \cdot \cos(\omega t)}{dt} = -C(V_P \cdot \sin(\omega t)) = \omega C V_P \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \Rightarrow \text{γράφουμε την σχέση σε μηγαδική μορφή}$$

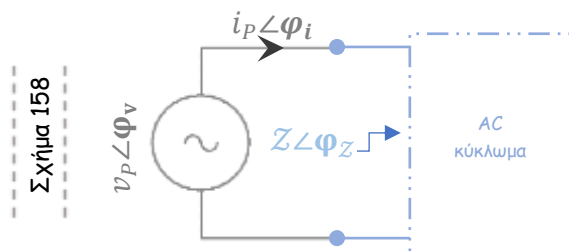
$$\mathbf{I} = i_C(\mathbf{J}\omega) = \omega C V_P \angle \frac{\pi}{2}$$

Η σύνθετη αντίσταση θα είναι:

$$\mathbf{Z} = \frac{v(\mathbf{J}\omega)}{i_C(\mathbf{J}\omega)} = \frac{1}{\omega C} \angle \left(-\frac{\pi}{2}\right) = -\frac{\mathbf{J}}{\omega C} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{J}\omega C}$$

Όταν σε ένα κύκλωμα με ημιτονοειδή ρεύματα και τάσεις εφαρμόσουμε τους νόμους του Ohm, προκύπτουν εξισώσεις που εμπεριέχουν ολοκληρώματα και παραγώγους. Η επίλυση αυτών των εξισώσεων προκύπτει μέσω διαφορικών εξισώσεων οι οποίες

εν τέλει δίνουν δύο όρους. Ο ένας όρος αφορά και περιγράφει το μεταβατικό φαινόμενο, η διάρκεια του οποίου είναι κλάσματα του δευτερολέπτου, ενώ ο άλλος αφορά την μόνιμη κατάσταση η οποία θα διαρκεί όσο δεν θα επιδρά κάποια άλλη εξωτερική διέγερση. Η πλήρης απόκριση επομένως, είναι το άθροισμα της μεταβατικής κατάστασης με την μόνιμη κατάσταση. Παραπάνω είδαμε την διέγερση κυκλωμάτων από εναλλασσόμενες τάσεις ή ρεύματα.



Η απόκριση των κυκλωμάτων αυτών επικεντρώθηκε μόνο στην μόνιμη κατάσταση η οποία καλείται και **Ημιτονική Μόνιμη Κατάσταση (Η.Μ.Κ)**. Στην επόμενη ενότητα θα εξετάσουμε το μεταβατικό φαινόμενο.

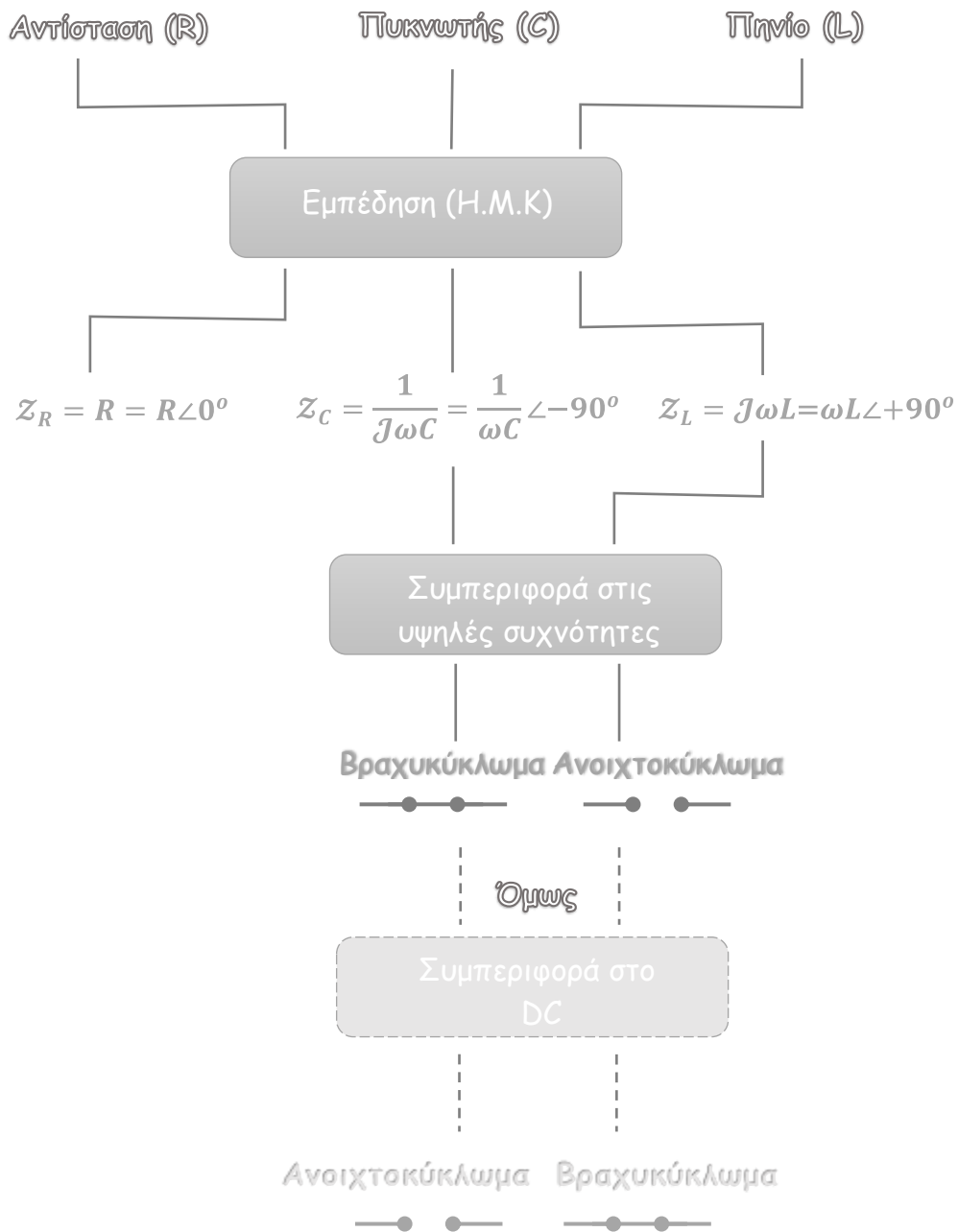
Αφού λοιπόν η Εμπέδηση στην Ημιτονική Μόνιμη Κατάσταση είναι:

$$\text{Για το πηνίο } Z_L = j\omega L$$

$$\text{Για τον πυκνωτή θα } Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

Αντιλαμβανόμαστε με ευκολία πως η σύνθετη αντίσταση είναι ανάλογη ή αντιστρόφως ανάλογη της συχνότητας. Για να γίνει πιο συγκεκριμένο, παρατηρήστε ότι καθώς θα αυξάνετε η συχνότητα διέγερσης του κυκλώματος (συχνότητα ημιτονικής τάσης) η Εμπέδηση του Πηνίου θα αυξάνεται και πρακτικά θα αντιδρά ως ανοιχτόκύκλωμα για τις υψηλές συχνότητες ( $\omega$ ), ενώ η Εμπέδηση του Πυκνωτή θα μειώνεται και πρακτικά θα αντιδρά ως βραχυκύκλωμα (Σχήμα 159) στις υψηλές συχνότητες ( $\omega$ ).

Σχήμα 159



### 5.3 Μεταβατική απόκριση

Αν σε ένα κύκλωμα υπάρξει μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας του ή των στοιχείων του τότε εμφανίζεται μια μεταβατική περίοδος των τάσεων και των ρευμάτων του. Με άλλα λόγια, το κύκλωμα μετάγεται από μια κατάσταση σε μια άλλη. Μέσα στην χρονική διάρκεια της μετάβασης τα ρεύματα των κλάδων και οι πτώσεις τάσεως μεταβάλλονται από τις προηγούμενες τιμές τους στις νέες. Με την πάροδο του μεταβατικού διαστήματος. Το κύκλωμα τελικά θα «επανέλθει» σε μόνιμη κατάσταση.

Εφαρμόζοντας, λοιπόν, τους κανόνες του Kirchhoff σε κυκλώματα με μεταβατικά φαινόμενα, προκύπτουν διαφορικές εξισώσεις. Στο σημείο αυτό, καλό είναι να κάνετε μια σύντομη επανάληψη των διαφορικών εξισώσεων (δ.ε.) πριν προχωρήσετε παρακάτω στην μελέτη της παρούσας ενότητας. Ενδεικτική βιβλιογραφία μπορείτε να βρείτε είτε στον σύνδεσμο [https://bit.ly/diaforikes\\_e](https://bit.ly/diaforikes_e) (κεφάλαιο 2, σελ 15), είτε πραγματοποιώντας αναζήτηση πανεπιστημιακού υλικού στο διαδίκτυο. Η λύση της διαφορικής εξίσωσης (ομογενείς στα πλαίσια του μαθήματος) αποτελείται από δύο μέρη. Το ένα αποτελεί την γενική λύση της, ενώ το άλλο την μερική λύση της προκύπτουσας διαφορικής λύσης. Όσον αφορά την ερμηνεία των διαφορικών εξισώσεων υπό το πρίσμα των κυκλωμάτων, η γενική λύση της δ.ε. μηδενίζεται σε σύντομο χρονικό διάστημα και αποτελεί πρακτικά την μαθηματικοποιημένη περιγραφή του μεταβατικού φαινομένου, ενώ η μερική λύση της, αφορά την μόνιμη κατάσταση, που εξετάσαμε προηγουμένως στην παραπάνω ενότητα.

Χρειάζεται επίσης να σημειωθεί, πως στα μεταβατικά φαινόμενα, έχουμε δύο βασικές κατηγορίες τάξης (βαθμού) κυκλωμάτων, τα κυκλώματα  $1^{ns}$  τάξης και τα κυκλώματα  $2^{ns}$  τάξης. Τα κυκλώματα  $1^{ns}$  τάξης αποτελούνται από έναν αντιστάτη σε συνδυασμό είτε με έναν πυκνωτή (RC) είτε με ένα πηνίο (RL), με αποτέλεσμα η διαφορική εξίσωση που προκύπτει για κάποια τάση ή ρεύμα με εφαρμογή των κανόνων του Kirchhoff να είναι δ.ε.  $1^{ns}$  τάξης με σταθερούς συντελεστές. Από την άλλη πλευρά, τα κυκλώματα  $2^{ns}$  τάξης αποτελούνται από έναν αντιστάτη σε συνδυασμό



#### Συνοπτική γενική λύση γραμμικής δ.ε. $1^{ns}$ τάξης

Η γενική μορφή μιας δ.ε.  $1^{ns}$  τάξης είναι:

$$y' + P(x)y = R(x)$$

Αν ο συντελεστής της πρώτης παραγώγου δεν είναι μονάδα, κάνουμε τις κατάλληλες διαιρέσεις ώστε να το πετύχουμε.

Χρησιμοποιούμε την σχέση:

$$y_0(x) = e^{-P(x)dx}$$

Υπολογίζουμε την ολική λύση από την σχέση:

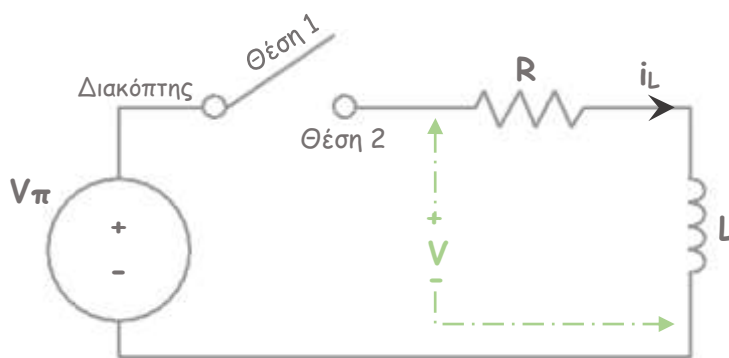
$$y = C \cdot y_0(x) + y_0(x) \int_0^x \frac{R}{y_0(x)} dx, \text{ όπου η σταθερά } C \text{ υπολογίζεται από τις αρχικές συνθήκες}$$

είτε με ένα πηνίο και ένα πυκνωτή (RLC), είτε με δύο πυκνωτές (RCC) είτε με δύο πηνία (RLL). Η διαφορική εξίσωση που προκύπτει από τα κυκλώματα 2<sup>ης</sup> τάξης είναι δ.ε. 2<sup>ης</sup> τάξης με σταθερούς συντελεστές.

### 5.3.1 Μεταβατική απόκριση κυκλώματος RL στο DC

Αρχικά,

υποθέτουμε ότι το πηνίο του κυκλώματος (Σχήμα 160) δεν διαρρέεται από ρεύμα, δηλαδή ο διακόπτης είναι ανοιχτός (Θέση 1) και επομένως  $i(0)_L = 0$



Εάν κλείσουμε το διακόπτη (Θέση 2) την

χρονική στιγμή  $t=0$ , το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα και έχει σταθερή τάση  $V\pi$ . Εφαρμόζοντας τον νόμο τάσεων του Kirchhoff προκύπτει η εξίσωση:

$$V_R + V_L = V_{\Pi} \Rightarrow$$

- Για  $t \leq 0$  : Όλα τα ρεύματα και οι τάσεις είναι μηδέν
- Για  $t > 0$  :  $V_{\Pi} = V$

*#Το ρεύμα που διαπερνά το πηνίο δεν μπορεί να αλλάξει στιγμιαία*

$$V_R + V_L = V \Rightarrow$$

$$i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt} = V \quad (\text{Σχέση 46, διαφορική εξίσωση})$$

Ξαναγράφουμε την δ.ε. στην μορφή:

$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \frac{V}{L} \quad (\text{Σχέση 47})$$

Η

(Σχέση 47 αποτελεί την γενική μορφή μιας γραμμικής διαφορικής εξίσωσης 1<sup>ης</sup> τάξης

$\frac{dy}{dx} - \mathcal{P}y = \mathcal{R}$  όπου ο συντελεστής της 1<sup>ης</sup> παραγώγου έχει γίνει μονάδα, και ο μη ομογενής όρος έχει μεταφερθεί στο δεύτερο μέλος (αποτελεί την διέγερση του κυκλώματος). Η γενική μαθηματική λύση της δ.ε. ( $y$ ),

(Σχέση 47) θα είναι το άθροισμα της γενικής λύσης της ομογενούς ( $y_{ομ}$ ) με την μερική λύση της ( $y_{μ}$ ), δηλαδή:

$$y = y_{o\mu} + y_{\mu} \quad (\text{Σχέση 48})$$

Όπου:

- $y_{o\mu}$ : Προκύπτει από το «ιδιαιτερο ολοκλήρωμα» λύνοντας την διαφορική εξίσωση στην "σταθερή κατάσταση", δηλαδή η παράγωγος έχει μηδενιστεί.
- $y_{\mu}$ : Προκύπτει από την συμπληρωματική συνάρτηση, μηδενίζοντας την διέγερση.

Η τελική μορφή της γενικής μαθηματικής λύσης θα είναι:

$$\Rightarrow y = y_{o\mu} + y_{\mu} = ce^{Px} + e^{Px} \int e^{-Px} \mathcal{R} dx, \text{ με } c \text{ μια αυθαίρετη σταθερά που υπολογίζεται από τις αρχικές συνθήκες.}$$

Για εμάς, η συνάρτηση που θα προκύψει από την δ.ε. (

(Σχέση 47), θα είναι του ρεύματος, επομένως η γενική λύση της δ.ε. ((Σχέση 48) θα γραφεί ως:

$$i = i_1 + i_2$$

#### Λύση της ομογενούς

Λύνοντας την δ.ε

(Σχέση 47) στην σταθερή κατάσταση (δεν θα υπάρχουν χρονικά μεταβαλλόμενα σήματα), πρακτικά η παράγωγός της θα είναι μηδέν άρα θα έχουμε:

$$0 + \frac{R}{L} i_1 = \frac{V}{L} \Rightarrow i_1 = \frac{V}{R}$$

#### Λύση της μερικής

Λύνοντας την δ.ε

(Σχέση 47) για τον προσδιορισμό της συμπληρωματικής συνάρτησης, απενεργοποιούμε την διέγερση, και ως εκ τούτου θα έχουμε:

$$\frac{di_2}{dt} + \frac{R}{L} i_2 = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{di_2}{dt} = -\frac{R}{L} i_2 \Rightarrow \text{(ολοκληρώνουμε και τα δύο μέλη)}$$

$$\int \frac{di_2}{i_2} dt = -\int \frac{R}{L} dt \Rightarrow \int \frac{1}{i_2} di_2 = -\frac{R}{L} \int dt \Rightarrow$$

$$\ln i_2 = -\frac{R}{L} t + c_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln(i_2) = -\frac{R}{L} t + c_1 \text{ όπου } c_1 \text{ μια σταθερά, η οποία μπορεί να γραφεί ως } c_1 = \ln(C)$$

$$\Rightarrow \ln(i_2) - \ln(C) = -\frac{R}{L} t$$



$$\Rightarrow e^{\ln(i_2)} - e^{\ln(C)} = e^{-\frac{R}{L}t}$$

$$\Rightarrow i_2 = Ce^{-\frac{R}{L}t}$$

Τελικά η γενική λύση της δ.ε θα γραφεί ως:

$$i = i_1 + i_2 \Rightarrow$$

$$i = \frac{V}{R} + Ce^{-\frac{R}{L}t} \quad (\text{Σχέση 49})$$

Για να προσδιορίσουμε την σταθερά  $C$ , θα χρησιμοποιήσουμε αρχικές συνθήκες. Ειδικότερα, το ρεύμα μόλις κλείσει ο διακόπτης δηλαδή  $t = 0$  θα είναι  $i(t) = i_L(t)$ . Γνωρίζουμε ότι το ρεύμα και η τάση για την αυτεπαγωγή είναι:

$$v_L = L \cdot \frac{di_L}{dt} \quad \text{και} \quad i_L = \frac{1}{L} \int v_L dt.$$

Γίνεται εύκολα αντιληπτό, πως για οποιαδήποτε τιμή της τάσης της αυτεπαγωγής  $v_L$ , το ρεύμα  $i_L$  στο πηνίο θα είναι μια συνεχής συνάρτηση του χρόνου, επομένως αφού το  $i_L$  ήταν 0 για  $t \leq 0$ , θα είναι επίσης 0 και για  $t > 0$ . Αντικαθιστώντας την αρχική συνθήκη  $t_0 = 0$   $i(t_0) = 0$

στην (Σχέση 49, θα έχουμε:

$$i = i_L = 0 = \frac{V}{R} + Ce^{-\frac{R}{L}0} \Rightarrow C = -\frac{V}{R}$$

Η τελική συνάρτηση του ρεύματος που προκύπτει από την ολική λύση της δ.ε. είναι:

$$i = \frac{V}{R} - \frac{V}{R} e^{-\frac{R}{L}t} \Rightarrow$$

$$i = \frac{V}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \quad (\text{Σχέση 50})$$

Η συνάρτηση αυτή (Σχέση 50) αυξάνεται εκθετικά (μεταβατική περίοδος) από την αρχική μηδενική τιμή του ρεύματος, έως την μέγιστη τιμή του, ίση με  $\frac{V}{R}$  (μόνιμη κατάσταση). Ακόμη, παρατηρήστε πως για να γίνει ο εκθέτης του  $e$  ίσος με την μονάδα, απαιτείται ο χρόνος  $t$  να γίνει  $\tau = \frac{L}{R}$ . Ο χρόνος αυτός καλείται **σταθερά χρόνου** της συνάρτησης. Αβίαστα, λοιπόν, συνάγεται το συμπέρασμα πως για ένα κύκλωμα RL η σταθερά χρόνου του είναι  $\tau = \frac{L}{R}$ .

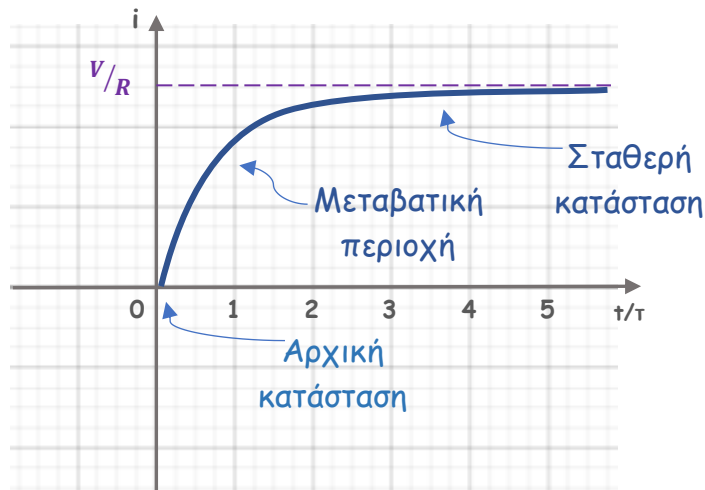
Πράγματι, για χρόνο:

- $1\tau$  έχουμε  $i = \frac{V}{R} (1 - e^{-1}) = \frac{V}{R} \cdot 0,632$ , που σημαίνει πως το ρεύμα έχει τιμή την δεδομένη στιγμή 63,2% της τελικής τιμής του.
- $2\tau$  έχουμε  $\frac{V}{R} \cdot 0,864$  δηλαδή το 86,4% της τελικής τιμής του
- $3\tau$  έχουμε  $\frac{V}{R} \cdot 0,950$  δηλαδή το 95% της τελικής τιμής του

- $4\tau$  έχουμε  $\frac{V}{R} 0,981$  δηλαδή το 98,1% της τελικής τιμής του
- $5\tau$  έχουμε  $\frac{V}{R} 0,993$  δηλαδή το 99,3% της τελικής τιμής του

Στην πράξη θεωρούμε πάντοτε πως το μεταβατικό φαινόμενο για χρόνο μεγαλύτερο από  $5\tau$  έχει ολοκληρωθεί. Η συνάρτηση αυτή αυξάνεται εκθετικά (Σχήμα 161), με το ρεύμα να ξεκινά από την αρχική τιμή του μηδενός ( $i(0) = 0$ ) και να φτάνει έως την τελική τιμή:

$$V/R (i(t \rightarrow \infty) = V/R).$$



Σχήμα 161, Αναπαράσταση εξέλιξης μεταβατικού φαινομένου στο Πηνίο

Καθώς μελετήσαμε το ρεύμα που διαρρέει τα

στοιχεία RC, αξίζει επιπλέον ν' αναφερθούμε και στις τάσεις στα άκρα τους, κυρίως κατά την μεταβατική περίοδο. Οι τάσεις λοιπόν κατά την μεταβατική περίοδο στα άκρα των στοιχείων RC μπορούν να υπολογιστούν με ευκολία από το ρεύμα, ειδικότερα:

Η τάση στα άκρα της αντίστασης θα είναι:

$$V_R = R \cdot i = R \cdot \frac{V}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) \Rightarrow V_R = V \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

Η τάση στα άκρα του πηνίου θα είναι:

$$V_L = L \cdot \frac{di}{dt} = L \cdot \frac{d}{dt} \left[ \frac{V}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) \right] \Rightarrow V_L = V e^{-\frac{R}{L}t}$$

Από τις παραπάνω συναρτήσεις, συνάγεται συμπέρασμα πως η μεταβατική τάση στην αντίσταση θα είναι αύξουσα εκθετική συνάρτηση με σταθερά χρόνου όμοια με του ρεύματος, ενώ από την άλλη πλευρά, η τάση στην αυτεπαγωγή θα είναι φθίνουσα εκθετική συνάρτηση αλλά με την ίδια σταθερά χρόνου (Σχήμα 162). Οπωσδήποτε, δεν θα πρέπει να λησμονούμε πως το άθροισμα των τάσεων αυτών θα πρέπει να ικανοποιεί καθ' όλη την μεταβατική περίοδο τον νόμο του Kirchhoff, δηλαδή:

$$V = V_R + V_L \Rightarrow$$

$$V \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) + V e^{-\frac{R}{L}t} = V$$

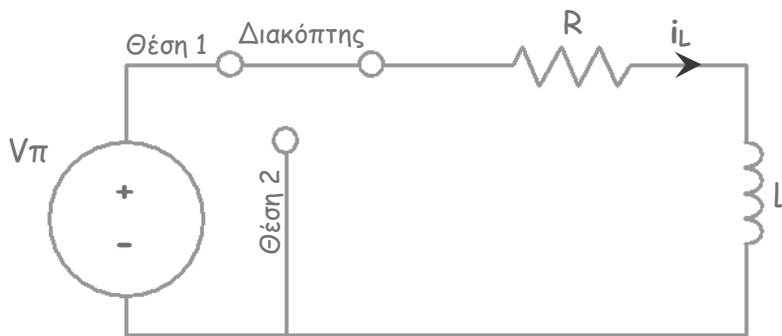


Σχήμα 162, Μεταβατική τάση στα άκρα της αντίστασης και του πηνίου

Παρατηρούμε λοιπόν, στην μόνιμη

πως κατάσταση ( $V_L(t \rightarrow \infty) = 0$ ) για DC τάση τα Πηνία συμπεριφέρονται σαν βραχυκύκλωμα.

Έστω τώρα, ότι το κύκλωμα του Σχήμα 160 παίρνει την παρακάτω μορφή (Σχήμα 163):



Σχήμα 163

Αρχικά ο διακόπτης βρίσκεται στη Θέση 1 (όπως μελετήσαμε προηγουμένως για κλειστό διακόπτη στο Σχήμα 160), και το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα είναι:

$$i = \frac{V}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$

Σε χρόνο  $t = 0$ , στρέφουμε τον διακόπτη από την Θέση 1 στην Θέση 2, έτσι αποσυνδέουμε την πηγή από το κύκλωμα και βραχυκυκλώνουμε την αντίσταση με το πηνίο.

Θυμηθείτε ωστόσο πως το Πηνίο ή ο Πυκνωτής αποτελούν στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας.

Εφαρμόζοντας τον νόμο του Kirchhoff στο κύκλωμα που προκύπτει χωρίς πηγή τάσης, μας δίνει την εξίσωση:

$$V_R + V_L = 0 \Rightarrow$$

$$i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt} = 0 \quad (\text{Σχέση 51})$$

Λύνουμε την διαφορική εξίσωση (Σχέση 51):

$$L \cdot \frac{di}{dt} = -i \cdot R \Rightarrow \text{δαιρούμε με } L \text{ και } di$$

$$\frac{di}{i} = -\frac{R \cdot dt}{L} \Rightarrow \text{ολοκληρώνουμε τα δύο μέλη}$$

$$\int \frac{di}{i} = \int -\frac{R \cdot dt}{L} \Rightarrow$$

$$\ln(i) = -\frac{R \cdot t}{L} + C \Rightarrow$$

$$i = e^{C - \frac{R \cdot t}{L}}$$

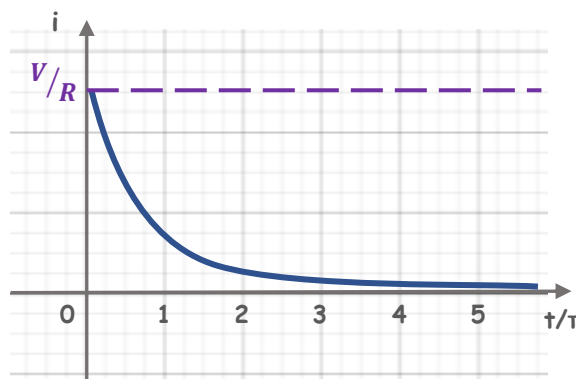
Υπολογίζουμε την σταθερά  $C$ :

Για  $t = 0$  το αρχικό ρεύμα θα είναι  $i = V/R$  επομένως η αρχική μας συνθήκη είναι  $t_0 = 0$   
 $i(t_0) = V/R$  και επομένως η υπολογισθείσα τιμή της σταθεράς θα είναι  $C = V/R$

Η τελική συνάρτηση του ρεύματος που προκύπτει από την ολική λύση της δ.ε. είναι:

$$i = \frac{V}{R} e^{-\frac{R}{L}t} \quad (\text{Σχέση 52})$$

Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν πως η (Σχέση 52 αποτελεί μια εκθετική φθίνουσα συνάρτηση της μορφής του Σχήμα 164.



Σχήμα 164

Φυσικά, οι τάσεις κατά την μεταβατική περίοδο στα άκρα των στοιχείων RC μπορούν να υπολογιστούν από το ρεύμα, ειδικότερα:

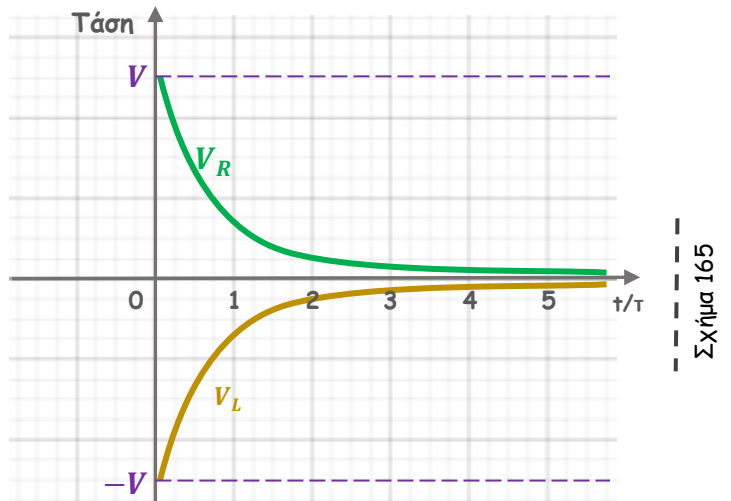
- Η τάση στα άκρα της αντίστασης θα είναι:

$$V_R = R \cdot i \Rightarrow V_R = V e^{-\frac{R}{L}t}$$

- Η τάση στα άκρα του πηνίου θα είναι:

$$V_L = L \cdot \frac{di}{dt} \Rightarrow V_L = -V e^{-\frac{R}{L}t}$$

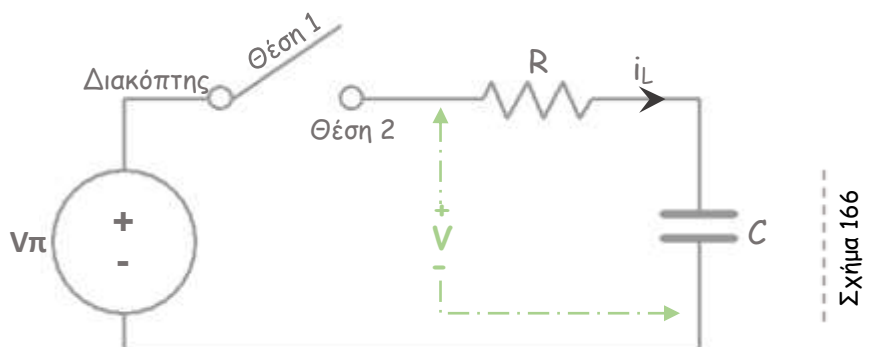
Το άθροισμα των τάσεων αυτών διαμορφώνεται ως  $V_R + V_L = 0$  αφού έχουμε αποσυνδέσει την πηγή τάσης με την μετακίνηση του διακόπτη από την θέση 1 στην θέση 2. Στο σημείο αυτό, αξίζει να παρατηρήσουμε την γραφική αναπαράσταση (Σχήμα 165) των τάσεων αυτών.



Παρατηρήστε, όταν ο διακόπτης βρίσκεται στην θέση δυο, κατά την εξέλιξη του μεταβατικού φαινομένου, η τάση που απελευθερώνεται είναι εκείνη που είχε αποθηκευτεί στο πηνίο υπό την μορφή του μαγνητικού πεδίου, όπου και τελικά μεταφέρεται στην αντίσταση και καταναλώνεται από αυτή.

### 5.3.2 Μεταβατική απόκριση κυκλώματος RC στο DC

Αρχικά, υποθέτουμε ότι ο πυκνωτής του κυκλώματος (Σχήμα 166) δεν διαρρέεται από ρεύμα, δηλαδή ο διακόπτης είναι ανοιχτός (θέση 1) και επομένως  $i(0)_C = 0$



Εάν κλείσουμε το διακόπτη (θέση 2) την χρονική στιγμή  $t=0$ , το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα και έχει σταθερή τάση  $V\pi$ . Εφαρμόζοντας τον νόμο τάσεων του Kirchhoff προκύπτει η εξίσωση:

$$V_R + V_C = V_H \Rightarrow$$

Για  $t \leq 0$  : Όλα τα ρεύματα και οι τάσεις είναι μηδέν

$$\text{Για } t > 0 : V_H = V$$

#Το ρεύμα που διαπερνά τον πυκνωτή δεν μπορεί να αλλάξει στιγμιαία

$$V_R + V_C = V \Rightarrow$$

$$i \cdot R + \frac{1}{C} \int i dt = V \quad (\text{Σχέση 53})$$

Παραγωγίζουμε την (Σχέση 53) ώστε να προκύψει η διαφορική εξίσωση:

$$R \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = 0 \quad (\text{Σχέση 54})$$

Ξαναγράφουμε την δ.ε. στην μορφή:

$$\frac{di}{dt} + \frac{1}{RC} i = 0$$

Αποτελεί ομογενή δ.ε. 1<sup>ου</sup> βαθμού, η λύση της οποίας μας δίνει:

$$i = C \cdot e^{-\frac{1}{RC}t} \quad (\text{Σχέση 55})$$

Για να προσδιορίσουμε την σταθερά  $C$ , θα χρησιμοποιήσουμε αρχικές συνθήκες.

Ειδικότερα, το ρεύμα μόλις κλείσει ο διακόπτης δηλαδή  $t = 0$  θα είναι  $i(t) = i_c(t)$ .

Γνωρίζουμε ότι το ρεύμα και η τάση για τον πυκνωτή είναι:

$$i_c = C \cdot \frac{dV_c}{dt} \quad \text{και} \quad V_c = \frac{1}{C} \int i_c dt$$

Αντικαθιστώντας την αρχική συνθήκη  $t_0 = 0$   $i(t_0) = 0$  στην (Σχέση 53), θα έχουμε:

$$i_0 = V/R$$

Και επομένως εξάγουμε την σταθερά  $C$  από την (Σχέση 55):

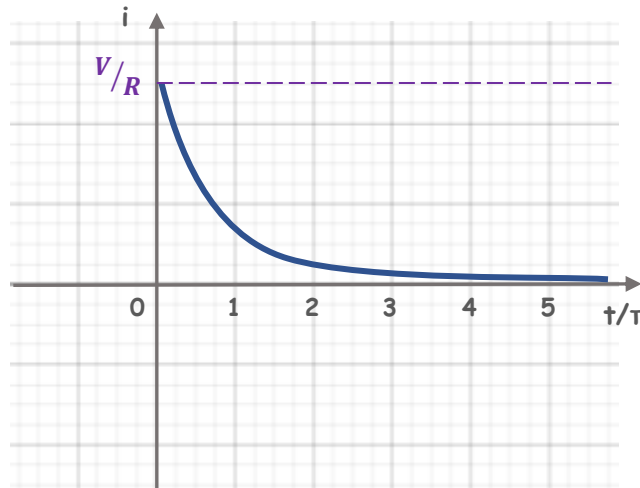
$$\frac{V}{R} = C \cdot e^{-\frac{1}{RC} \cdot 0} \Rightarrow C = \frac{V}{R}$$

Η τελική συνάρτηση του ρεύματος που προκύπτει από την λύση της δ.ε. είναι:

$$i = \frac{V}{R} \cdot e^{-\frac{1}{RC}t} \quad (\text{Σχέση 56})$$

Παρατηρήστε πως για ένα κύκλωμα RC η σταθερά χρόνου του είναι  $\tau = RC$ . Όπως και στο πηνίο, έτσι και στον πυκνωτή, πρακτικά το μεταβατικό φαινόμενο για χρόνο μεγαλύτερο του  $5\tau$  έχει ολοκληρωθεί.

Η συνάρτηση αυτή (Σχέση 56) μειώνεται εκθετικά (μεταβατική περίοδος) από την αρχική τιμή του ρεύματος ίση με  $\frac{V}{R}$ , έως την τελική μηδενική τιμή του (μόνιμη κατάσταση). Αυτό συμβαίνει διότι για χρόνο  $t = 0$  μετακινούμε το διακόπτη από την θέση 1 στην θέση 2. Αυτό έχει ως επακόλουθο την **σταδιακή φόρτιση του πυκνωτή** (θεωρούμε πως ο πυκνωτή δεν είχε αποθηκευμένη κάποια ηλεκτρική ενέργεια από πριν,  $q = 0$ ). Καθώς ο πυκνωτής αποκτά φορτίο, μειώνεται η ροή του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα, έως την πλήρη φόρτισή του και άρα το μηδενισμό του ρεύματος (Σχήμα 167).



Για να καταστεί σαφές, θα

μελετήσουμε το φορτίο του πυκνωτή κατά την μεταβατική κατάσταση.

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 2, το ρεύμα του πυκνωτή συνδέεται με το φορτίο μέσω της σχέσης  $i = \frac{dq}{dt}$ , αντικαθιστώντας λοιπόν την σχέση αυτή στην (Σχέση 53) προκύπτει:

$$\frac{dq}{dt} \cdot R + \frac{q}{C} = V \quad (\text{Σχέση 57})$$

Λύνοντας την δ.ε. προκύπτει η συνάρτηση του φορτίου:

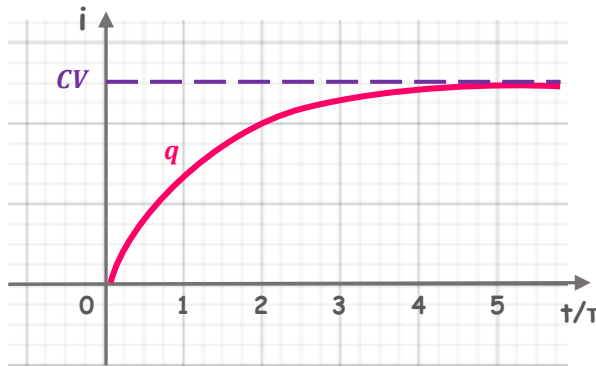
$$q = C \cdot e^{-\frac{1}{RC}t} + CV \quad (\text{Σχέση 58})$$

Για  $t = 0$  το αρχικό φορτίο θα είναι  $q_0 = 0$  άρα προκύπτει η τιμή της σταθεράς  $C = -CV$

Η τελική συνάρτηση του φορτίου (κατά την φόρτιση του πυκνωτή) είναι:

$$q = CV \cdot (1 - e^{-\frac{1}{RC}t}) \quad (\text{Σχέση 59})$$

Διαπιστώνουμε ότι το μεταβατικό φορτίο αποτελεί μια εκθετική αύξουσα συνάρτηση με τελική τιμή το γινόμενο  $CV$  (Σχ. 24).



Σχήμα 168, Χαρακτηριστική φόρτισης πυκνωτή

Όμοια με την ανάλυση του πηνίου, θα εξετάσουμε τώρα τις τάσεις στα

άκρα των κυκλωματικών στοιχείων RC. Συγκεκριμένα, κατά την μεταβατική περίοδο στα άκρα των στοιχείων RC μπορούν να υπολογιστούν με ευκολία από το ρεύμα, δηλαδή :

- Η τάση στα άκρα της αντίστασης θα είναι:

$$V_R = R \cdot i = V \cdot e^{-\frac{1}{RC}t}$$

- Η τάση στα άκρα του πυκνωτή θα είναι:

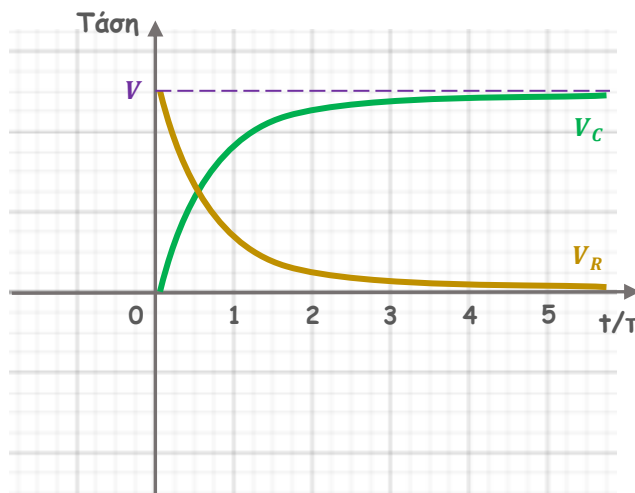
$$V_C = \frac{1}{C} \cdot \int i dt = V(1 - e^{-\frac{1}{RC}t})$$

Φυσικά το άθροισμα των τάσεων ικανοποιεί τον νόμο του Kirchhoff:

$$V = V_R + V_C \Rightarrow$$

$$V(1 - e^{-\frac{1}{RC}t}) + V \cdot e^{-\frac{1}{RC}t} = V$$

Από τις παραπάνω συναρτήσεις, προκύπτουν οι γραφικές παραστάσεις του.



Σχήμα 169, Τάση στα άκρα του πυκνωτή και της αντίστασης

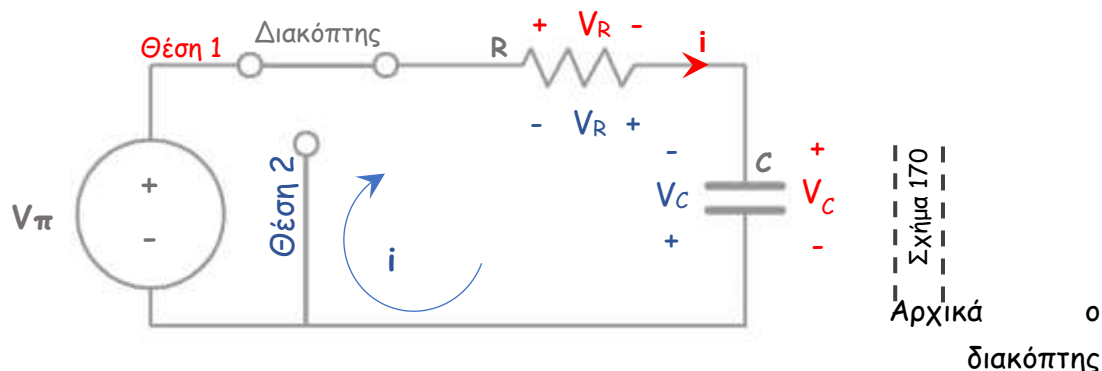
Όπως παρατηρούμε, η μεταβατική τάση στον

πυκνωτή αυξάνει εκθετικά συναρτήσει της σταθεράς χρόνου, ενώ παράλληλα στον ίδιο χρόνο αυξάνει εκθετικά και το φορτίο του (Σχήμα 168 Σχήμα 169). Από την άλλη πλευρά, καθώς αυξάνεται η αποθηκευμένη ενέργεια στον πυκνωτή, το ρεύμα που



διαρρέει τον κύκλωμα μειώνεται (Σχήμα 167 Σχήμα 168), επομένως και η πτώση τάσης στην αντίσταση μειώνεται εκθετικά μέχρι να μηδενιστεί (Σχήμα 169). Ουσιαστικά με την πάροδο χρόνου ( $5RC$ ) η πτώση τάσης στον πυκνωτή θα είναι σχεδόν ίση με την τιμή της πηγής  $V_C(t \rightarrow \infty) = V_{\Pi}$ . Επομένως για DC τάση ο πυκνωτής συμπεριφέρονται σαν ανοιχτοκύκλωμα.

Έστω τώρα, ότι το κύκλωμα του Σχήμα 166 παίρνει την παρακάτω μορφή (Σχήμα 170):



βρίσκεται στη **Θέση 1** (για χρόνο τουλάχιστον  $5RC$ ) την χρονική  $t = 0$ , το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα είναι:

$$i = \frac{V}{R} \cdot e^{-\frac{1}{RC}t} \quad (\text{ρεύμα φόρτισης})$$

Στρέφουμε τον διακόπτη από την θέση 1 στην **Θέση 2**, έτσι αποσυνδέουμε την πηγή από το κύκλωμα. Εφαρμόζοντας τον νόμο του Kirchhoff στο κύκλωμα που προκύπτει χωρίς πηγή τάσης, μας δίνει την εξίσωση:

$$V_R + V_C = 0 \Rightarrow$$

$$i \cdot R + \frac{1}{C} \int i dt = 0 \quad (\text{Σχέση 60})$$

Λύνουμε την διαφορική εξίσωση (Σχέση 60):

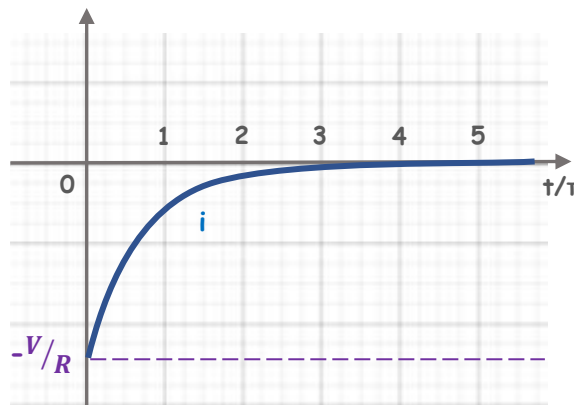
$$i = C \cdot e^{-\frac{1}{RC}t} \quad (\text{Σχέση 61, ρεύμα εκφόρτισης})$$

Για να υπολογίσουμε την σταθερά  $C$  θέτουμε  $t = 0$ . Ο πυκνωτής έχει φορτιστεί με τάση ίση με αυτή της πηγής  $V_{\Pi} = V$  όσο ο διακόπτης ήταν στην θέση 1. Ως εκ τούτου με την μετάβασή του στη θέση 2, το ρεύμα κινείται στην αντίσταση η οποία αυτή την φορά έχει αντίθετη πολικότητα από αυτή που είχε λόγω της πηγής. Η αρχική συνθήκη που προκύπτει είναι  $t_0 = 0 \quad i(t_0) = -V/R$  και αντικαθιστώντας στην (Σχέση 61, ρεύμα εκφόρτισης) υπολογίζουμε την σταθερά  $C = -V/R$ .

Η συνάρτηση του ρεύματος που προκύπτει είναι:

$$i = -\frac{V}{R} \cdot e^{-\frac{1}{RC}t} \quad (\text{Σχέση 62})$$

Η (Σχέση 62) του ρεύματος αποτελεί μια εκθετική φθίνουσα συνάρτηση της μορφής του Σχήμα 171.



Σχήμα 171

Τέλος, οι τάσεις κατά την μεταβατική περίοδο στα άκρα των στοιχείων RC μπορούν να υπολογιστούν από το ρεύμα, ειδικότερα:

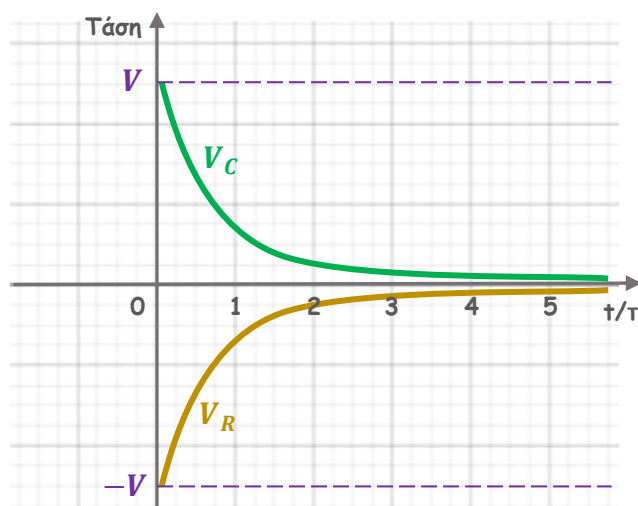
- Η τάση στα άκρα της αντίστασης θα είναι:

$$V_R = R \cdot i \Rightarrow V_R = -V e^{-\frac{1}{RC}t}$$

- Η τάση στα άκρα του πηνίου θα είναι:

$$V_C = \frac{1}{C} \int i dt \Rightarrow V_C = V e^{-\frac{1}{RC}t}$$

Το άθροισμα των τάσεων αυτών προφανώς είναι  $V_R + V_C = 0$ . Στο σημείο αυτό, αξίζει να παρατηρήσουμε την γραφική αναπαράσταση (Σχήμα 172) των τάσεων αυτών.



Σχήμα 172, Τάση στα άκρα του πυκνωτή και της αντίστασης κατά την εκφόρτισή του

Παρατηρήστε, όταν ο διακόπτης βρίσκεται στην θέση δυο, κατά

την εξέλιξη του μεταβατικού φαινομένου, η τάση που απελευθερώνεται είναι εκείνη που είχε αποθηκευτεί στον πυκνωτή υπό την μορφή φορτίου, όπου και τελικά μεταφέρεται στην αντίσταση και καταναλώνεται από αυτή.

Τι συμβαίνει με το φορτίο του πυκνωτή κατά την μεταβατική κατάσταση αφού στρέψουμε τον διακόπτη στην θέση 2;

Όπως είδαμε προηγουμένως, το ρεύμα του πυκνωτή συνδέεται με το φορτίο μέσω της σχέσης  $i = dq/dt$ , αντικαθιστώντας λοιπόν την σχέση αυτή στην σχέση  $V_R + V_C = 0$  προκύπτει η διαφορική:

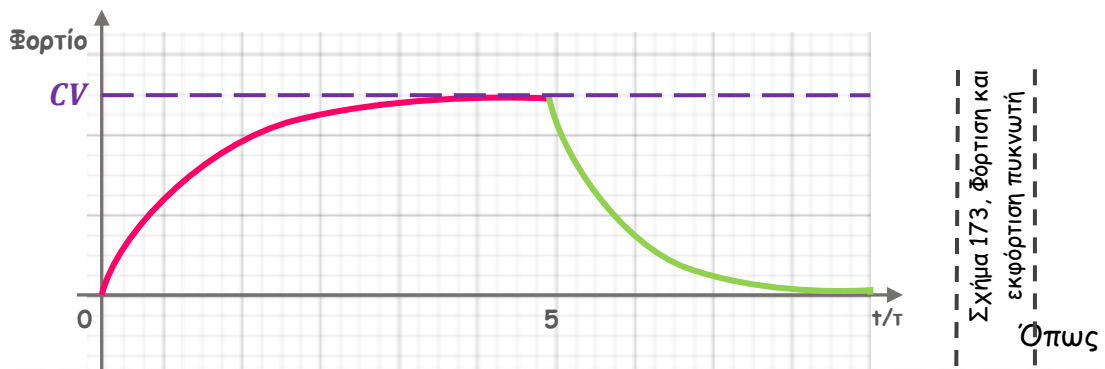
$$\frac{dq}{dt} \cdot R + \frac{q}{C} = 0$$

Λύνοντας την παραπάνω δ.ε. και υπολογίζοντας από την αρχική συνθήκη σταθερά  $C$  προκύπτει η εξίσωση (Σχέση 24) του φορτίου (κατά την εκφόρτιση του πυκνωτή):

$$q = CV \cdot e^{-\frac{1}{RC}t} \quad (\text{Σχέση 63})$$

Η οποία αποτελεί μια φθίνουσα εκθετική συνάρτηση με αρχική τιμή  $CV$ .

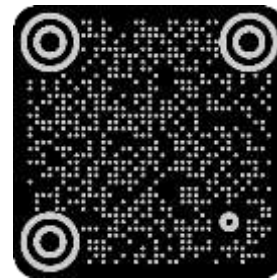
Τοποθετώντας την συνάρτηση αυτή (Σχέση 63) στο ίδιο γράφημα με την συνάρτηση του φορτίου κατά την φόρτιση του πυκνωτή (Σχέση 59) προκύπτει το παρακάτω γράφημα (Σχήμα 173):



Η επίλυση διαφορικών εξισώσεων μπορεί να αποδειχθεί αρκετές φορές χρονοβόρα ή και δύσκολη. Μια άλλη αμεσότερη μέθοδος επίλυσης των διαφορικών εξισώσεων είναι μέσω του μετασχηματισμού Laplace, ωστόσο στα πλαίσια του μαθήματος δεν θα επεκταθούμε στην ανάλυση αυτή.

παρατηρήσατε, στις δύο παραπάνω ενότητες, εξετάσαμε την μεταβατική απόκριση των κυκλωμάτων RC και RL στο DC. Βέβαια, τα κυκλώματα αυτά μπορούν να τροφοδοτηθούν με διάφορες κατηγορίες σημάτων (λ.χ. βηματική συνάρτηση) εξετάζοντας την απόκρισή τους σε αυτή. Η συχνότερη μελέτη της μεταβατικής απόκρισης των κυκλωμάτων πραγματοποιείται για ημιτονοειδής συναρτήσεις. Σκανάροντας παρακάτω μπορείτε να μελετήσετε την περίπτωση αυτή.

Ημιτονοειδής μεταβατική απόκριση



## 5.4 Απόκριση στο πεδίο της συχνότητας

### 5.4.1 Συνάρτηση μεταφοράς

Στις προηγούμενες ενότητες (5.2.1 - 5.2.2), διαπιστώσαμε πως σε έναν πυκνωτή το μέτρο της σύνθετης αντίστασης είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας του σήματος ενώ το ρεύμα προηγείται της τάσης κατά  $90^\circ$ . Από την άλλη πλευρά σε ένα πηνίο το μέτρο της σύνθετης αντίστασής του είναι ανάλογο της συχνότητας του σήματος, με το ρεύμα να έπεται της τάσης κατά  $90^\circ$ . Επομένως, γίνεται αντιληπτό πως σε ένα κύκλωμα που περιλαμβάνονται τέτοια στοιχεία θα επηρεαστεί η απόκριση του κατά συχνότητα.

Θυμίζουμε πως ως **απόκριση ενός συστήματος** (ή συνάρτηση μεταφοράς) και στην προκειμένη ενός κυκλώματος, ορίζεται ο λόγος του σήματος εξόδου του προς το σήμα εισόδου του στο πεδίο των συχνοτήτων:

$$H(j\omega) = \frac{V_{out}(j\omega)}{V_{in}(j\omega)} \quad (\text{Σχέση 64})$$

Η συνάρτηση μεταφοράς (Σχέση 64 αποτελεί μιγαδικό αριθμό, δηλαδή περιλαμβάνει φάση και μέτρο άρα μπορεί να γραφεί ως:

$$H(j\omega) = M(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}$$

όπου  $M(\omega) = |H(j\omega)|$  το μέτρο,  $\varphi(\omega) = \angle |H(j\omega)|$  η φάση

Τα στοιχεία αυτά, λόγω της «επιλεκτικής συμπεριφοράς» τους ως προς την συχνότητα μας έδωσαν την δυνατότητα να υλοποιήσουμε κυκλώματα που λειτουργούν ως **φίλτρα** συχνοτήτων, δηλαδή κυκλώματα που επιτρέπουν ή εμποδίζουν την εμφάνιση συχνοτήτων στην έξοδό τους. Τα φίλτρα αποτέλεσαν τον θεμελιώδη λίθο των τηλεπικοινωνιών.

Στον σχεδιασμό και την υλοποίηση των φίλτρων περιγράφουμε την συνάρτηση μεταφοράς ως προς την ενίσχυση. **Ενίσχυση** (ή **απολαβή**) ενός κυκλώματος, ορίζεται

ο λόγος του μέτρου της τάσης εξόδου του, ως προς την τάση εισόδου του, εκφραζόμενος σε dB:

$$A = 20 \log \left( \frac{V_{out}(j\omega)}{V_{in}(j\omega)} \right) = 20 \log |H(j\omega)|$$

$$\text{με } \begin{cases} A \geq 1, \text{ έχουμε ενίσχυση} \\ A < 1, \text{ έχουμε υποβιβασμό} \end{cases}$$

#αναζητήστε\_τον\_γραφικό\_υπολογισμό\_της\_συνάρτησης\_μεταφοράς #πόλοι #μηδενικά

### 5.4.2 deciBel

Το **deciBel (dB)** αποτελεί μια σχετική μονάδα μέτρησης, δηλαδή μονάδα χωρίς διάσταση, πολύ μεγάλων ή πολύ μικρών μεγεθών συγκριτικά με ένα μέγεθος αναφοράς ή ακόμα και μεταξύ αυτών. Δεδομένου ότι το deciBel είναι μια αναλογία χωρίς μονάδες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή διαφόρων λογαριθμικών αναλογιών, όπως τάσεις, ρεύματα κ.α. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της απώλειας σήματος σε τηλεγραφικές γραμμές και έπειτα στην ακουστική.

Όμως γιατί να χρησιμοποιήσουμε έναν λογαριθμικό λόγο; Για να κατανοήσουμε τα ντεσιμπέλ, πρέπει αρχικά να διαπιστώσουμε τι αποτελεί η λογαριθμική κλίμακα. Ας σκεφτούμε λοιπόν έναν χάρακα σε χιλιοστά με τον οποίο μετράμε δύο μολύβια. Έστω ότι ένα μολύβι έχει μήκος 80 χιλιοστά και το άλλο 90 χιλιοστά και τα οποία τοποθετούμε δίπλα-δίπλα. Τα μολύβια φαίνονται ελάχιστα διαφορετικά σε μήκος, μιας και το μολύβι των 90 χιλιοστών είναι περίπου 12,5% μακρύτερο από το άλλο μολύβι. Αυτή είναι μια γραμμική κλίμακα μέτρησης.

Ας εξετάσουμε τώρα την ένταση δύο ήχων. Ο ένας ήχος έχει ένταση 80 dB και ο άλλος 90 dB. Δεδομένου ότι τα ντεσιμπέλ είναι μια λογαριθμική κλίμακα και όχι γραμμική, ο ήχος των 90 dB είναι 10 φορές πιο έντονος από τον ήχο των 80 dB. Πρόκειται μόνο για μια διαφορά 10 dB, αλλά η ένταση είναι πολλές φορές μεγαλύτερη. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε φορά που το επίπεδο ντεσιμπέλ ενός μεγέθους, στην προκειμένη του ήχου, αυξάνεται κατά 10, η έντασή του πολλαπλασιάζεται επί 10. Επομένως, ένας ήχος 10 dB είναι 10 φορές πιο έντονος από έναν ήχο 0 dB, ένας ήχος 20 dB είναι 100 φορές πιο έντονος και ένας ήχος 30 dB είναι 1000 φορές πιο έντονος. Για να γίνει πιο σαφές, ας εξετάσουμε ένα παράδειγμα. Το κατώφλι έντασης της ανθρώπινης ακοής (το σημείο κάτω από το οποίο δεν μπορούμε να ακούσουμε) είναι σε μια συχνότητα περίπου των 1000 Hz, δηλαδή της τάξης  $P_0^2 = 1 \text{ pW/m}^2$ , για την οποία η ηχητική στάθμη, είναι 0 dB. Το "κατώφλι του πόνου" της ακοής για το ανθρώπινο αυτί στην ίδια συχνότητα είναι περίπου 120 dB δηλαδή  $P^2 = 1 \text{ W/m}^2$ . Παρατηρήστε:

$$\frac{P_0^2}{P^2} = \frac{10^{12} \text{ W/m}^2}{1 \text{ W/m}^2} = 10^{12} \Rightarrow P = 10^6$$

που αντιστοιχεί σε αύξηση της έντασης κατά  $10^{12}$  φορές ενώ από την άλλη πλευρά η πίεση

αλλάζει πολλαπλασιαζόμενη με τον συντελεστή  $10^6$ .

Ένας άλλος τρόπος είναι να λογαριθμίσουμε την τιμή που μας ενδιαφέρει σε σχέση με την τιμή αναφοράς, οπότε και ορίζουμε το bel. Δηλαδή, το αυτί νοιώθει πόνο σε ένταση  $\log 10^{12} = 12$  bel. Αν τώρα πολλαπλασιάσουμε με 10 (deci) το προηγούμενο αποτέλεσμα θα ορίσουμε το decibel που πρακτικά σημαίνει πως το decibel είναι το δεκαπλάσιο του bel και κατά συνέπεια το αυτί νοιώθει πόνο σε ένταση 120 decibel.

Υπό το πρίσμα των κυκλωμάτων τώρα, ας θεωρήσουμε την συνδεσμολογία των παρακάτω κυκλωμάτων Κ, Λ, Μ (Σχ. 26)



Όπου  $P_{in}$  είναι η ισχύς εισόδου του κυκλώματος Κ,  $P_1$  η ισχύς εξόδου του κυκλώματος Κ και ταυτόχρονα ισχύς εισόδου του κυκλώματος Λ και ούτω καθεξής.

Η απολαβή της ισχύος του κάθε κυκλώματος είναι ο λόγος της ισχύος εξόδου προς την ισχύ εισόδου του, άρα:

$$A_K = \frac{P_1}{P_{in}}, \quad A_\Lambda = \frac{P_2}{P_1}, \quad A_M = \frac{P_{out}}{P_2}$$

Η συνολική απολαβή ισχύος του συστήματος είναι απλώς το γινόμενο των επιμέρους κερδών:

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_1}{P_{in}} \cdot \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{P_{out}}{P_2} = A_K \cdot A_\Lambda \cdot A_M$$

Με τη βοήθεια του λογαρίθμου ο πολλαπλασιασμός των λόγων μετατρέπεται σε πρόσθεση, δηλαδή:

$$\log_{10} \frac{P_{out}}{P_{in}} = \log_{10} A_K + \log_{10} A_\Lambda + \log_{10} A_M$$

Ο λογάριθμος των ισχύων ονομάστηκε bel. Πρακτικά υπολογίζουμε με ευκολία το συνολικό κέρδος ισχύος απλά προσθέτοντας τα κέρδη ισχύος σε bel καθενός κυκλώματος. Εντούτοις, το bel αποτελεί μια μεγάλη ποσότητα, επομένως το ένα-δέκατο του είναι ένα πιο χρήσιμο μέτρο του κέρδους, εξ' ου και το decibel που ισούται με 10 φορές τον αριθμό των bels:

$$\text{αριθμός decibel} = 10 \log_{10} \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (\text{Σχέση 65})$$

Στο σημείο αυτό, θυμηθείτε το θεώρημα μέγιστης μεταφοράς ισχύος. Στην ενότητα 4.4, είχαμε αποδείξει (στο DC) πως όταν η τιμή της αντίστασης φόρτου  $R_L$  ισούται με την τιμή της αντίστασης  $R_{TH}$  έχουμε μέγιστη μεταφορά ισχύος. Στην περίπτωση του Σχήμα 174, η  $R_{TH}$  αποτελεί την αντίσταση εισόδου του κάθε κυκλώματος. Επομένως για μεταδοθεί η ισχύς από το κύκλωμα Κ στο κύκλωμα Λ χωρίς να χαθεί, θα πρέπει οι σύνθετες αντιστάσεις τερματισμού  $R_L$  (εξόδου για το κύκλωμα Κ και εισόδου για το κύκλωμα Λ) να είναι ίσες, ώστε να μπορούμε να αναπαραστήσουμε ένα από τα κυκλώματα αυτά με την παρακάτω μορφή:



Όταν η αντίσταση εισόδου ισούται με την αντίσταση φορτίου, μπορούμε να μετατρέψουμε το λόγο ισχύος είτε σε λόγο τάσης είτε σε λόγο ρεύματος:

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out}^2 / R_L}{V_{in}^2 / R_{in}} = \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right)^2 \quad \text{ή} \quad \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{i_{out}^2 \cdot R_L}{i_{in}^2 \cdot R_{in}} = \left( \frac{i_{out}}{i_{in}} \right)^2$$

Αντικαθιστώντας τον λόγο ισχύος τάσης ή ρεύματος στην (Σχέση 65 ο αριθμός των decibel γίνεται:

$$\text{αριθμός decibel} = 10 \log_{10} \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right)^2 = 10 \log_{10} \left( \frac{i_{out}}{i_{in}} \right)^2 \Rightarrow$$

$$\text{αριθμός decibel} = 20 \log_{10} \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad \text{ή} \quad 20 \log_{10} \frac{i_{out}}{i_{in}}$$

βασίζόμενοι στο γεγονός ότι  $R_L = R_{in}$  όπου η πηγή παρέχει την μισή ισχύ στο φορτίο (ενότητα 4.4) μπορούμε να γράψουμε τώρα:

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{1}{2} \Rightarrow$$

$$\left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right)^2 = \frac{1}{2} \Rightarrow$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Πρακτικά αποδείξαμε μαθηματικά πως η τάση του σήματος εξόδου είναι το 70,7% της τάσης του σήματος εισόδου (υποδιπλασιασμός της ενέργειας), το οποίο ορίζεται ως κρίσιμη συχνότητα αποκοπής. *Κρίσιμη συχνότητα αποκοπής* είναι η συχνότητα όπου η τάση του σήματος εξόδου είναι το 70,7% της τάσης του σήματος εισόδου ( $20 \log_{10} \frac{1}{\sqrt{2}}$ ) και σημαίνει πως το σήμα χάνει 3 dB. Ο ορισμός αυτός θα γίνει κατανοητός παρακάτω.

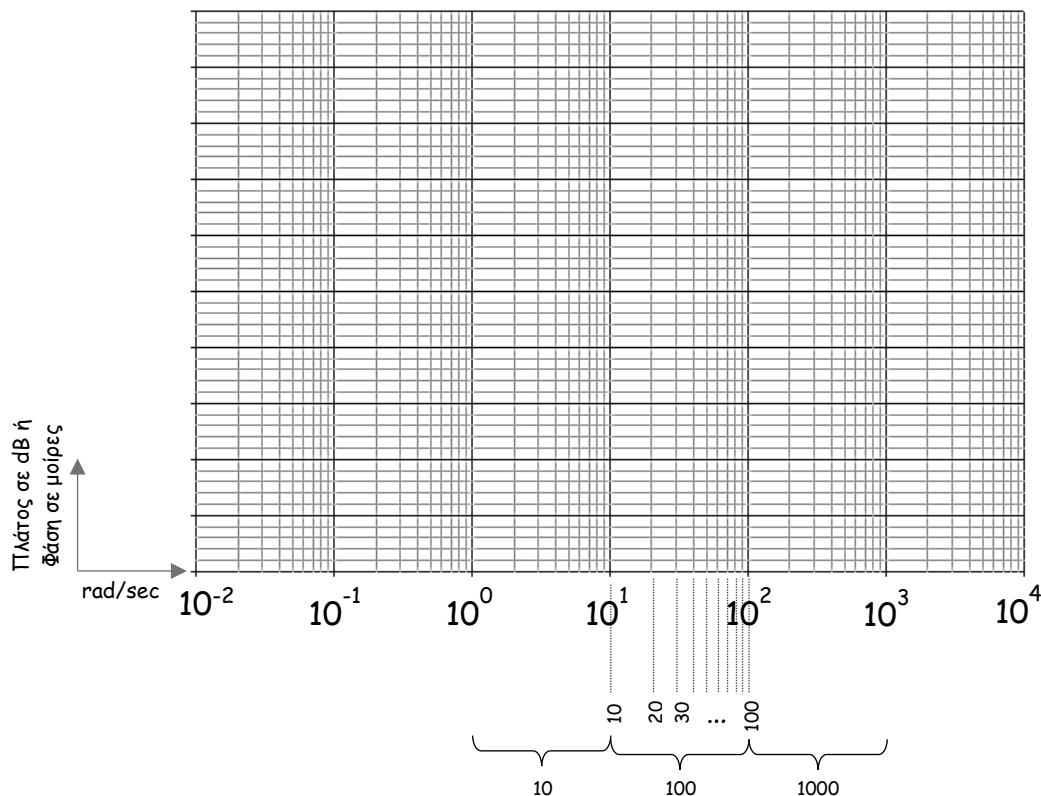
### 5.4.3 Διάγραμμα Bode

Είχαμε ορίσει πρωτύτερα τη συνάρτηση μεταφοράς ως:

$$H(j\omega) = M(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)} \quad \text{όπου } M(\omega) = |H(j\omega)| \text{ το οποίο αποτελεί το κέρδος σε dB}$$

Ένα διάγραμμα των συναρτήσεων αυτών μας δείχνει την συμπεριφορά του κυκλώματος, δηλαδή με ποιον τρόπο μεταβάλλεται η έξοδος του σε σχέση την συχνότητα του σήματος εισόδου του. Στην πράξη, εισάγουμε ένα εύρος συχνοτήτων στην είσοδο του κυκλώματος και μελετάμε την απόκρισή του στην έξοδο.

Αν απεικονίσουμε σε ημιλογαριθμική κλίμακα (γραμμική κλίμακα για τον κάθετο άξονα και λογαριθμική κλίμακα για τον οριζόντιο άξονα) τις συναρτήσεις αυτές τότε υλοποιούμε ένα διάγραμμα Bode. Το διάγραμμα Bode αποτελεί πολύ σημαντικό εργαλείο τόσο για την ανάλυση όσο και τον σχεδιασμό συστημάτων εξαρτώμενων από την συχνότητα όπως φίλτρα ή ενισχυτές κλπ. Στην ανάλυση αυτή, απεικονίζουμε είτε



Σχήμα 176. Διάγραμμα Bode



το πλάτος  $20 \log_{10}|H(j\omega)|$  επιτυγχάνοντας την αναπαράσταση στο ίδιο γράφημα τόσο των πολύ μικρών, όσο και των πολύ μεγάλων τιμών του μέτρου, χωρίς να χαθούν οι λεπτομέρειες είτε τη φάση  $\varphi(\omega)$  συναρτήσει του  $\omega$ . Στην καμπύλη φάσης ωστόσο, ο κατακόρυφος άξονας δεν λογαριθμίζεται μιας και οι τιμές της φάσης είναι πάντα περιορισμένες σε ένα πλήρη κύκλο ( $0^\circ$  έως  $360^\circ$  ή  $-180^\circ$  έως  $180^\circ$ ). Χρησιμοποιούμε λοιπόν ειδικό λογαριθμικό χαρτί (Σχήμα 176) στο οποίο εμφανίζονται οι συχνότητες ως υποπολλαπλάσια ή πολλαπλάσια του 10 (προσοχή δεν ξεκινά ποτέ από το μηδέν) ώστε να αποφύγουμε τον υπολογισμό των λογαρίθμων. Πολλές φορές, αντί για την χρήση της ίδιας συχνότητας  $\omega$ , χρησιμοποιούμε τον λόγο της συχνότητας αυτής ως προς μια χαρακτηριστική συχνότητα ώστε να έχουμε μια αδιάστατη λογαριθμική κλίμακα.

Τέλος η απόκριση συχνότητας μπορεί να αναπαραχθεί σε δύο λογαριθμικές κλίμακες:

- Δεκάδα: αποτελεί ένα εύρος συχνοτήτων για το οποίο ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη συχνότητα είναι 10. Π.χ για εύρος 30Hz-3kHz έχουμε δύο δεκάδες.
- Οκτάβα: αποτελεί ένα εύρος συχνοτήτων για το οποίο ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη συχνότητα είναι 2. Π.χ για εύρος 4kHz-32kHz έχουμε τρεις οκτάβες.

## 5.5 Φίλτρα

### 5.5.1 Εισαγωγή στα φίλτρα

Όπως αναφέραμε, λόγω της «επιλεκτικής συμπεριφοράς» ως προς την συχνότητα κάποιον στοιχείων μπορούμε τελικά να υλοποιήσουμε κυκλώματα, φίλτρα συχνοτήτων, τα οποία έχουν την ικανότητα να μειώνουν το πλάτος σημάτων σε κάποιες συχνότητες. Συγκεκριμένα, **φίλτρο** είναι ένα κύκλωμα το οποίο επιτρέπει την διέλευση ορισμένης ζώνης (εύρους) συχνοτήτων ενώ εξασθενεί τα υπόλοιπα σήματα που δεν βρίσκονται εκτός την ζώνης αυτής. Ένα φίλτρο μπορεί να είναι **αναλογικό ή ψηφιακό** ανάλογα με τον τύπο του σήματος που δέχονται. Σε αντίθεση με το αναλογικό φίλτρο, ένα ψηφιακό δέχεται στην είσοδό του μια ακολουθία αριθμών, την επεξεργάζεται και παράγει στην έξοδό του μία άλλη ακολουθία αριθμών. Ωστόσο ο σκοπός του είναι κοινός, και εν τέλει η εφαρμογή προς υλοποίηση είναι εκείνη που θα καθορίσει ποιος από τους δύο τύπους θα επιλεχθεί. Ακόμη, τα φίλτρα ανάλογα με τα κυκλωματικά στοιχεία που περιέχουν διακρίνονται σε **ενεργά και παθητικά**. Τα παθητικά φίλτρα χρησιμοποιούν παθητικά στοιχεία όπως αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία, ενώ, τα ενεργά φίλτρα

χρησιμοποιούν ενεργά στοιχεία όπως τρανζίστορ, τελεστικούς ενισχυτές κ.α, στα οποία και θα εμβαθύνετε στο εργαστήριο της ηλεκτρονικής του επόμενου εξαμήνου.

Το πλήθος των παθητικών στοιχείων που περιλαμβάνονται στο κύκλωμα που υλοποιεί ένα αναλογικό φίλτρο καθορίζει την τάξη του. Φίλτρα υψηλότερης τάξης είναι αποτελεσματικότερα και επιλεκτικότερα ως προς τις συχνότητες εν αντιθέσει με τα φίλτρα χαμηλότερης τάξης.

Ας σημειωθεί ακόμη, ότι η λειτουργία των φίλτρων σε επίπεδο κυκλωματικής ανάλυσης στηρίζεται στους δύο γνωστούς νόμους του Kirchhoff, τον νόμο των εντάσεων και τον νόμο των τάσεων.

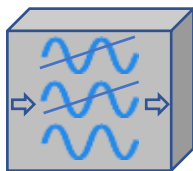
Ανάλογα με την επιτρεπόμενη ζώνη συχνοτήτων τα φίλτρα διακρίνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

- ▶ Φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων (ΦΧΣ)
- ▶ Φίλτρο υψηλών συχνοτήτων (ΦΥΣ)
- ▶ Φίλτρο ζώνης διέλευσης (ΦΖΔ)
- ▶ Φίλτρο ζώνης αποκοπής (ΦΖΑ)

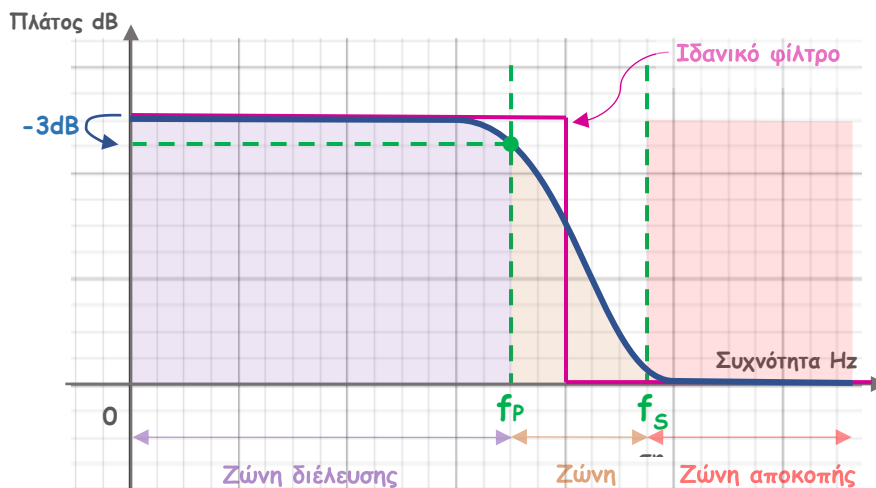
Η λειτουργία του κάθε φίλτρου καθορίζεται από κάποιες προδιαγραφές οι οποίες είναι εκείνες που καθορίζουν και τον τύπο του. Οι βασικές προδιαγραφές ενός φίλτρου είναι:

- ▶ **Ζώνη διέλευσης:** αποτελεί το εύρος συχνοτήτων στο οποίο το φίλτρο μεταφέρει το σήμα εισόδου στην έξοδό του, είτε με ενίσχυση, είτε ως έχει (ιδανικά φίλτρα-κέρδος μονάδα) είτε με απειροελάχιστη εξασθένιση.
- ▶ **Ζώνη αποκοπής:** αποτελεί το εύρος συχνοτήτων στο οποίο το σήμα που φτάνει στην έξοδο του φίλτρου έχει υποστεί ισχυρή απόσβεση και πρακτικά τείνει να μηδενιστεί το πλάτος του.

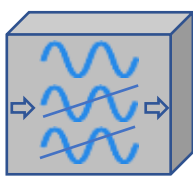
Η μετάβαση της απόκρισής τους από τη μία ζώνη στην άλλη δεν είναι τελείως απότομη αλλά εκτείνεται σε ένα μικρό πλήθος συχνοτήτων.



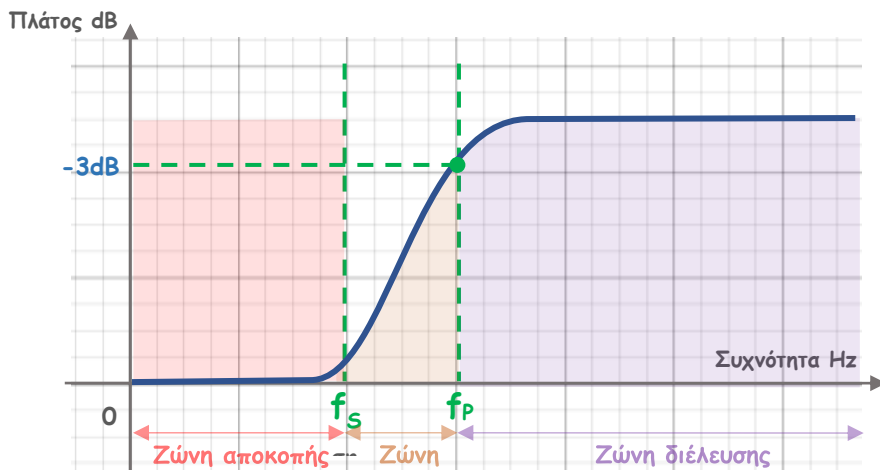
**Φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων:** επιτρέπει την διέλευση σημάτων χαμηλών συχνοτήτων ενώ αποκόπτει όσα είναι υψηλότερων συχνοτήτων. Η ζώνη διέλευσής του, ξεκινά από μηδενική συχνότητα και εκτείνεται μέχρι μια συχνότητα που καλείται συχνότητα αποκοπής ζώνης διέλευσης  $f_p$  (ή  $\omega_p$ ). Από αυτή την συχνότητα και έπειτα ξεκινά η ζώνη μετάβασης με την σταδιακή απόσβεση του πλάτους του σήματος μέχρι και την συχνότητα αποκοπής της ζώνης αποκοπής  $f_s$  (ή  $\omega_s$ ). Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση του πλάτους του σήματος μεταξύ  $f_p - f_s$  λόγω της απόσβεσης, τόσο περισσότερο πλησιάζει στο ιδανικό φίλτρο, αφού αυξάνεται η επιλεκτικότητά του ως προς την συχνότητα αποκοπής. Έπειτα το φίλτρο περνά στην ζώνη αποκοπής που εκτείνεται μέχρι το άπειρο (Σχήμα 177) με τον μηδενισμό των υψηλών συχνοτήτων.



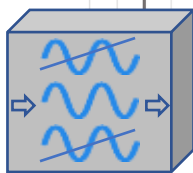
Για τα μη ιδανικά φίλτρα, τα όρια μεταξύ των ζωνών διέλευσης και αποκοπής είναι δυσδιάκριτα και δεν έχουν την εποπτική μορφή του Σχήμα 177. Πρακτικά ως συχνότητα αποκοπής  $f_0$  μεταξύ των ζωνών αυτών που σχηματίζουν τη ζώνη μετάβασης, ορίζεται η καμπή του μέτρου της συνάρτησης μεταφοράς του φίλτρου μεταξύ των δύο αυτών περιοχών. Πρόκειται για τη συχνότητα  $f_p$  εντός της περιοχής της ζώνης μετάβασης όπου η απολαβή του πλάτους του σήματος της λαμβάνει τιμή 3dB μικρότερη από την αντίστοιχη απολαβή στην ζώνη διέλευσης. Η συχνότητα αυτή ονομάζεται και συχνότητα μισής ισχύος. Το πόσο απότομη είναι η πτώση της καμπύλης απόκρισης μέσα στη ζώνη μετάβασης εξαρτάται από την τιμή του λόγου συχνοτήτων  $f_s/f_p$ . Αν η μετάβαση είναι τελείως απότομη, θα έχουμε  $f_s/f_p = 1$  ενώ αντίθετα όσο στατικότερη θα είναι η μετάβαση (μικρή κλίση), τόσο μεγαλύτερος του 1 θα είναι ο λόγος αυτός.



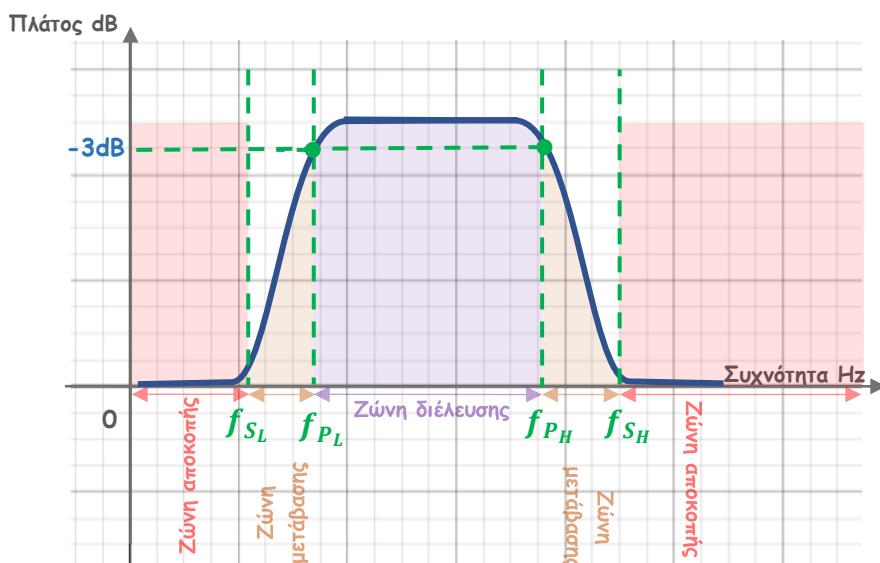
**Φίλτρο υψηλών συχνοτήτων:** επιτρέπει την διέλευση σημάτων υψηλών συχνοτήτων ενώ αποκόπτει σήματα χαμηλών συχνοτήτων. Η ζώνη αποκοπής του, ξεκινά από μηδενική συχνότητα και εκτείνεται μέχρι τη συχνότητα αποκοπής της ζώνης αποκοπής  $f_s$ . Από αυτή την συχνότητα και έπειτα ξεκινά η ζώνη μετάβασης με την σταδιακή ενίσχυση του πλάτους του σήματος μέχρι και την συχνότητα αποκοπής  $f_s$  της ζώνης διέλευσης. Πάνω από αυτήν περνάμε στην ζώνη διέλευσης, χωρίς πλέον καμιά εξασθένηση του σήματος εισόδου, η οποία και εκτείνεται μέχρι το άπειρο (Σχήμα 178, στην πραγματικότητα δεν φτάνει στο άπειρο αλλά περιορίζεται από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων εξαρτημάτων).



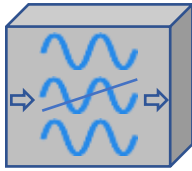
Σχήμα 178, Διάγραμμα απόκρισης ΦΥΣ



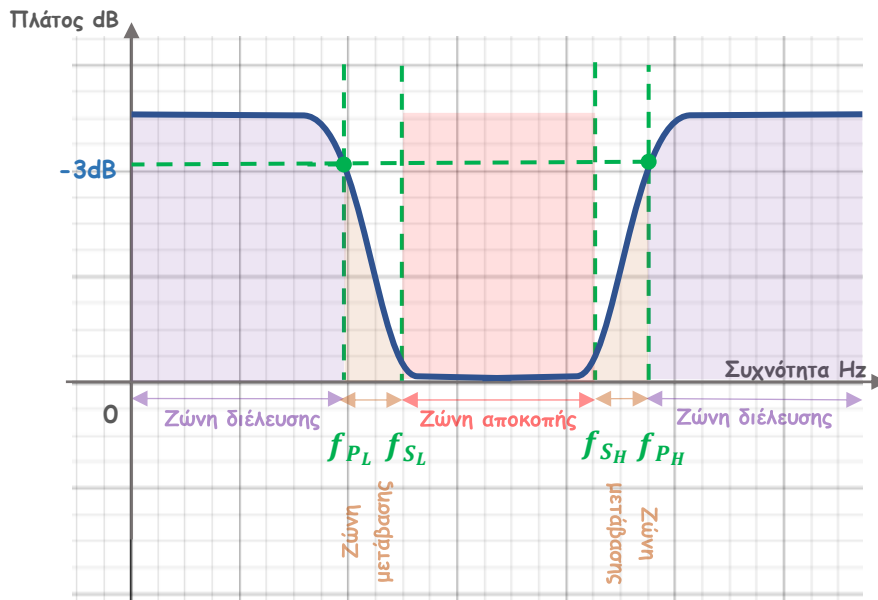
**Φίλτρο ζώνης διέλευσης:** επιτρέπει τη διέλευση σημάτων που ο συχνότητά τους βρίσκεται εντός μιας ζώνης συχνοτήτων ενώ ανακόπτει όλες τις υπόλοιπες συχνότητες έξω από την ζώνη αυτή (Σχήμα 179). Συγκεκριμένα, η ζώνη αποκοπής ξεκινά από την μηδενική συχνότητα, εκτείνεται μέχρι τη χαμηλή συχνότητα αποκοπής της ζώνης αποκοπής  $f_{S_L}$  και φτάνει μέχρι την χαμηλή συχνότητα αποκοπής της ζώνης διέλευσης  $f_{P_L}$ . Ακολουθεί η ζώνη διέλευσης η οποία εκτείνεται μέχρι την υψηλή συχνότητα αποκοπής  $f_{P_H}$  της ζώνης αυτής, η οποία με την σειρά της εκτείνεται μέχρι την υψηλή συχνότητα αποκοπής της ζώνης αποκοπής  $f_{S_H}$ . Για την σχεδίαση ενός φίλτρου ζώνης διέλευσης, συχνά καταφεύγουμε στον συνδυασμό ΦΥΣ σε σειρά με ΦΧΣ λαμβάνοντας φυσικά υπόψη τη ζώνη διέλευσης, η οποία θα πρέπει να είναι επαρκώς ευρεία. Αφού έχουμε σύνδεση φίλτρων σε σειρά, οι συναρτήσεις μεταφοράς του καθενός (άρα και οι απολαβές) πολλαπλασιάζονται μεταξύ τους.



Σχήμα 179, Διάγραμμα απόκρισης ΦΖΔ



**Φίλτρο ζώνης αποκοπής:** αποκόπτει τη διέλευση σημάτων που η συχνότητά τους βρίσκεται εντός μιας ζώνης συχνοτήτων και επιτρέπει την διέλευση όλων των υπολοίπων συχνοτήτων έξω από την ζώνη αυτή (Σχήμα 180). Συγκεκριμένα, η πρώτη ζώνη διέλευσης ξεκινά από την μηδενική συχνότητα και φτάνει μέχρι την χαμηλή συχνότητα αποκοπής  $f_{PL}$  της ζώνης διέλευσης, η οποία με την σειρά της εκτείνεται μέχρι τη χαμηλή συχνότητα αποκοπής της ζώνης αποκοπής  $f_{SL}$ . Έπειτα, ακολουθεί η ζώνη αποκοπής η οποία εκτείνεται μέχρι την υψηλή συχνότητα αποκοπής της ζώνης αποκοπής  $f_{SH}$ . Ακολουθεί η υψηλή συχνότητα αποκοπής της ζώνης διέλευσης μετά την οποία η ζώνη διέλευσης εκτείνεται μέχρι το άπειρο. Για την σχεδίαση ενός φίλτρου ζώνης αποκοπής, χρησιμοποιούμε τον παράλληλο συνδυασμό ΦΥΣ και ΦΧΣ. Αφού έχουμε σύνδεση φίλτρων παράλληλα, οι συναρτήσεις μεταφοράς τους προστίθενται.

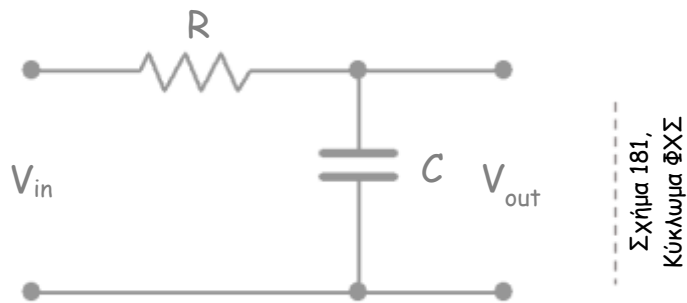


--- Σχήμα 180, Διάγραμμα  
απόκρισης ΦΖΑ ---

### 5.5.2 Υλοποιήσιμα φίλτρα RC-RL

#### Φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων RC

Μπορούμε να υλοποιήσουμε ένα φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων, συνδέοντας σε σειρά μια αντίσταση και έναν πυκνωτή, λαμβάνοντας την έξοδο του φίλτρου στα άκρα του πυκνωτή (Σχ 31).



Η τάση εξόδου μπορεί να υπολογιστεί εφαρμόζοντας τον διαιρέτη τάσης που σχηματίζουν οι σύνθετες αντιστάσεις:

$$V_{\text{out}}(j\omega) = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} \cdot V_{\text{in}}(j\omega)$$

Είναι αντιληπτό, πως η τάση εξόδου εξαρτάται από την συχνότητα. Αν η συχνότητα είναι χαμηλή τότε η αντίσταση του πυκνωτή είναι μεγάλη (συμπεριφέρεται σαν ανοιχτοκύκλωμα) και επομένως η τάση εισόδου μεταβιβάζεται σχεδόν αναλλοίωτη στην έξοδο. Αν από την άλλη πλευρά, η συχνότητα είναι υψηλή, τότε η αντίσταση του πυκνωτή είναι εξαιρετικά μικρή, (συμπεριφέρεται σαν βραχυκύκλωμα) και η έξοδος γειώνεται. Η ποιοτική προσέγγιση που μόλις κάναμε, μας βοήθη με ευκολία να διαπιστώσουμε πως όντως το κύκλωμα συμπεριφέρεται ως φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων.

Η συνάρτηση μεταφοράς του φίλτρου είναι επομένως:

$$H(j\omega) = \frac{V_{\text{out}}(j\omega)}{V_{\text{in}}(j\omega)} = \frac{Z_C}{Z_C + Z_R} \Rightarrow$$

$$H(j\omega) = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (\text{όπου } \omega = 2\pi f)$$

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j \cdot 2\pi f \cdot RC}$$

- ♦  $|1 + j| = \sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2}$
- ♦  $y = ax + b$  έχει κλίση  $\alpha$  με  $y = |H(j\omega)|$  και  $x = \log(\omega)$
- ♦  $\angle \frac{z_1}{z_2} = \angle z_1 - \angle z_2$
- ♦  $\angle(a + jb) = \tan^{-1}(b/a)$

Για να μελετήσουμε την συμπεριφορά του φίλτρου από την συνάρτηση μεταφοράς του, η οποία αποτελεί μιγαδικό αριθμό, παίρνουμε το μέτρο της (κέρδος), και άρα γράφετε ως:

$$M(\omega) = |H(j\omega)| \Rightarrow$$

$$M(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi f \cdot RC)^2}} \text{ με φάση του μιγαδικού αριθμού } \varphi(\omega) = -\tan^{-1}(2\pi f \cdot RC)$$

Για να υπολογίσουμε την κρίσιμη **συχνότητα αποκοπής**  $f_0$  στην οποία η ισχύς εξόδου αντιστοιχεί στην μισή ισχύ της εισόδου:

$$M(f_0) = \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi f_0 \cdot RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \text{λύνουμε ως προς } f_0 \text{ και προκύπτει:}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$(\omega_0 = 2\pi f_0 \text{ άρα } 2\pi f_0 RC = 1 \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{RC} \text{ και αποτελεί σταθερά του κυκλώματος})$$

Η συχνότητα αποκοπής του φίλτρου είναι αντιστρόφως ανάλογη των τιμών του πυκνωτή και της αντίστασης. Πάνω από την τιμή αυτής έχουμε σταδιακή ισχυρή απόσβεση και αποκοπή του πλάτους του σήματος εξόδου. Λύνοντας ως προς  $2\pi RC$  και αντικαθιστώντας την στην σχέση της φάσης προκύπτει:

$$\varphi(\omega) = -\tan^{-1}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$$

Ειδικότερα, για την καμπύλη απόκρισης του πλάτους και της φάσης θα έχουμε:

$$H(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega RC} = \frac{\frac{1}{RC}}{\frac{1}{RC}+j\omega} = \frac{\omega_0}{\omega_0+j\omega} = \frac{1}{1+j\frac{\omega}{\omega_0}}, \quad M(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$$

1) Για  $\frac{\omega}{\omega_0} \ll 1$  (θεωρούμε πως η συχνότητα εισόδου τείνει στο μηδέν)

- Συνάρτηση μεταφοράς:  $H(\omega) \cong 1$  και  $M(\omega) = 1$
- Ενίσχυση:  $20 \log_{10} M(\omega) = 0dB$
- Φάση:  $\varphi(\omega) \cong 0^\circ$
- Κλίση:  $20 \log_{10} \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) = 0dB/δεκάδα$

2) Για  $\frac{\omega}{\omega_0} \gg 1$  (θεωρούμε πως η συχνότητα εισόδου τείνει στο άπειρο)

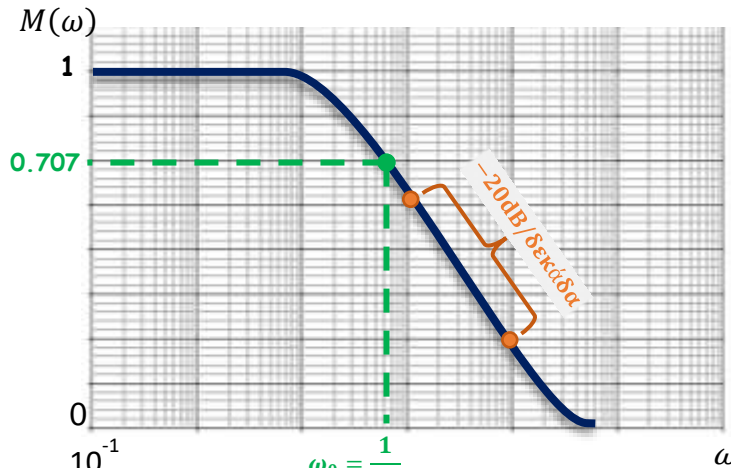
- Συνάρτηση μεταφοράς:  $H(\omega) \cong -j\omega_0$  και  $M(\omega) = \frac{\omega_0}{\omega}$
- Ενίσχυση:  $20 \log_{10} M(\omega) = 20 \log_{10} \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{-1} = -20 \log_{10} \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$
- Φάση:  $\varphi(\omega) \cong -90^\circ$
- Κλίση:
  - ♦  $\frac{\omega}{\omega_0} = 10 \Rightarrow -20 \log_{10}(10) = -20dB/δεκάδα$
  - ♦  $\frac{\omega}{\omega_0} = 2 \Rightarrow -20 \log_{10}(2) = -6dB/οκτάβα$

3) Για  $\frac{\omega}{\omega_0} = 1$  (θεωρούμε πως η συχνότητα εισόδου είναι ίση με την συχνότητα αποκοπής)

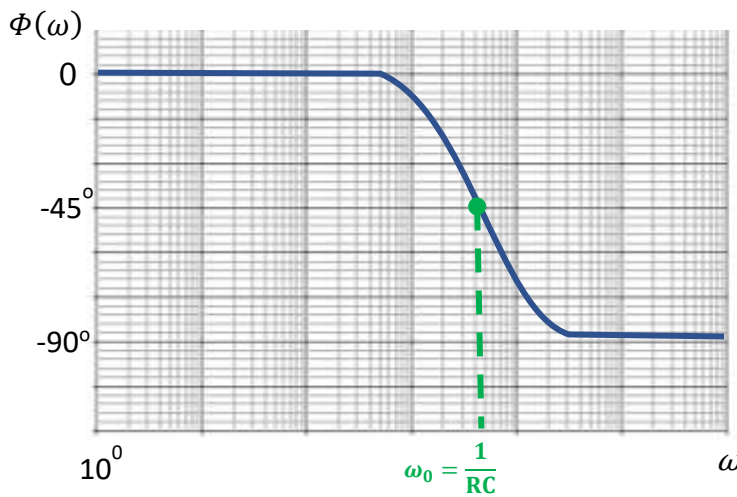
- Συνάρτηση μεταφοράς:  $H(\omega) = \frac{1}{1+j}$  και  $M(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}}$

- Ενίσχυση:  $20 \log_{10} M(\omega) = -3dB$
- Φάση:  $\varphi(\omega) \cong -\tan^{-1} 1 = -45^\circ$

Οι χαρακτηριστικές μεταφοράς του φίλτρου (Σχήμα 181) θα έχουν την παρακάτω μορφή:



Σχήμα 182, Καμπύλη απόκρισης πλάτους ΦΧΣ

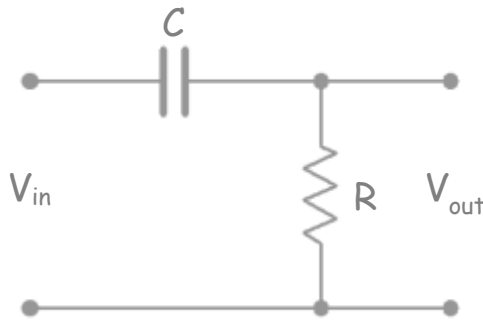


Σχήμα 183, Καμπύλη απόκρισης φάσης ΦΧΣ

Φίλτρο  
υψηλών  
συχνοτήτων RC

Τροποποιώντας το κύκλωμα του Σχήμα 181, ώστε να λάβουμε την έξοδο του κυκλώματος στα άκρα της αντίστασης υλοποιούμε ένα φίλτρο υψηλών συχνοτήτων (Σχήμα 184) συνδέοντας σε σειρά μια αντίσταση και έναν πυκνωτή, λαμβάνοντας την έξοδο του φίλτρου στα άκρα του αντιστάτη.





Σχήμα 184,  
Κύκλωμα ΦΥΣ

$$V_{out}(j\omega) = \frac{R}{R + 1/j\omega C} \cdot V_{in}(j\omega)$$

$$H(j\omega) = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} = \frac{1}{j\omega + \frac{1}{RC}}$$

$$M(\omega) = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\frac{\omega}{\omega_0})^2}} \quad \text{και} \quad \varphi(\omega) = 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

1) Για  $\frac{\omega}{\omega_0} \ll 1$  (θεωρούμε πως η συχνότητα εισόδου τείνει στο μηδέν)

- Συνάρτηση μεταφοράς:  $H(\omega) = j \frac{\omega}{\omega_0}$  και  $M(\omega) = \frac{\omega}{\omega_0}$

- Φάση:  $\varphi(\omega) \cong 90^\circ$

- Κλίση για πολύ μικρή συχνότητα:  $\frac{\omega}{\omega_0} = 0,1 \Rightarrow 20 \log_{10}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) = 20dB/δεκάδα$

2) Για  $\frac{\omega}{\omega_0} \gg 1$  (θεωρούμε πως η συχνότητα εισόδου τείνει στο άπειρο)

- Συνάρτηση μεταφοράς:  $H(\omega) = 1$  και  $M(\omega) = 1$

- Ενίσχυση:  $20 \log_{10} M(\omega) = 0dB$

- Φάση:  $\varphi(\omega) = 0^\circ$

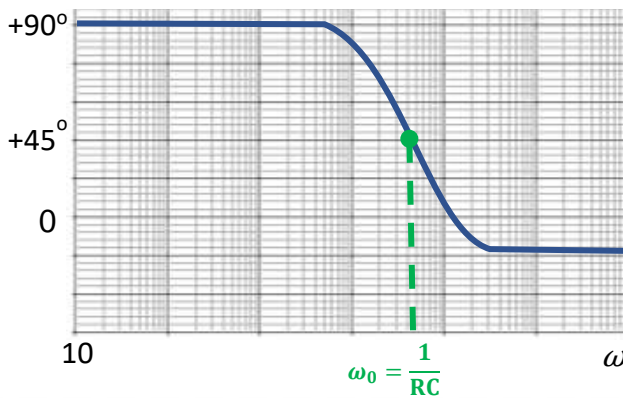
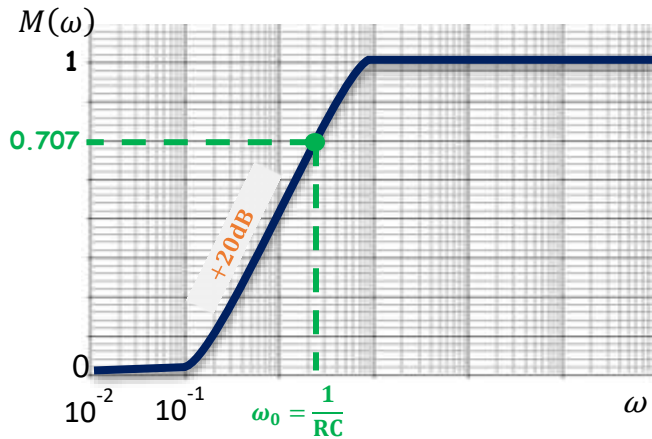
3) Για  $\frac{\omega}{\omega_0} = 1$  (θεωρούμε πως η συχνότητα εισόδου είναι ίση με την συχνότητα αποκοπής)

- Συνάρτηση μεταφοράς:  $H(\omega) = \frac{j}{1+j}$  και  $M(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}}$

- Ενίσχυση:  $20 \log_{10} M(\omega) = -3dB$

- Φάση:  $\varphi(\omega) = 90^\circ - 45^\circ$

Οι χαρακτηριστικές μεταφοράς του φίλτρου (Σχήμα 185) θα έχουν την παρακάτω μορφή:



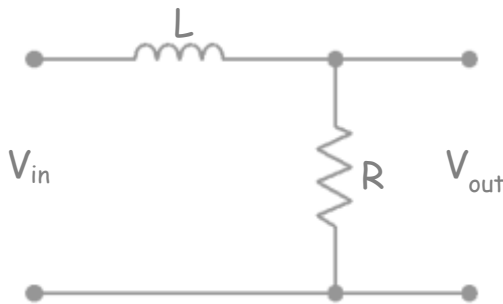
Σχήμα 185, Καμπύλη απόκρισης πλάτους (επάνω) – Καμπύλη απόκρισης φάσης (κάτω)

Αξίζει, ν' αναφερθούμε στην επίδραση της σύνθετης αντίστασης του πυκνωτή στην φάση εξόδου του σήματος του φίλτρου. Η σύνθετη αντίσταση είναι  $1/j\omega C$ , η αλλιώς  $-j/\omega C$ . Δώστε προσοχή εδώ στο  $-j$ , το οποίο ισούται με  $0 - j \cdot 1$ , δηλαδή διάνυσμα πλάτους 1 και μετατόπισης φάσης  $-90^\circ$ . Επομένως, η τάση έπεται του ρεύματος στον πυκνωτή.

Για συχνότητες υψηλότερες από τη συχνότητα αποκοπής η τάση εξόδου και η τάση εισόδου είναι σχεδόν συμφασικές αφού ο πυκνωτής είναι σχεδόν βραχυκυκλωμένος. Από την άλλη, για μια δεκάδα κάτω της συχνότητας αποκοπής του φίλτρου το μεγαλύτερο μέρος της τάσης εισόδου πέφτει στον πυκνωτή και μόνο ένα μικρό μέρος της στον αντιστάτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τάση εξόδου να είναι απλώς το ρεύμα μέσω του πυκνωτή επί την τιμή της αντίστασης και επομένως έχει την ίδια φάση με το ρεύμα του πυκνωτή. Άρα, η (μικρή) τάση εξόδου προηγείται της τάσης εισόδου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η φάση του σήματος εξόδου οδηγείτε από αυτή της εισόδου και είναι  $+45^\circ$  στην συχνότητα αποκοπής.

### 🔌 Φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων RL

Μπορούμε να υλοποιήσουμε ένα φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων, συνδέοντας ένα πηνίο σε σειρά με μια αντίσταση, λαμβάνοντας την έξοδο του φίλτρου στα άκρα του αντιστάτη (Σχήμα 186).



Σχήμα 186,  
Κύκλωμα ΦΧΣ

$$H(j\omega) = \frac{R}{R + j\omega L} = \frac{1}{1 + j\omega \frac{L}{R}}$$

$$M(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega \frac{L}{R})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{\omega}{\omega_0})^2}}$$

$$\varphi(\omega) = -\tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right)$$

$$\omega_0 = \frac{R}{L} \quad f_0 = \frac{R}{2\pi L}$$

Για πολύ χαμηλές συχνότητες (τείνουν στο μηδέν), το μέτρο της συνάρτησης μεταφοράς γίνεται ίσο με τη μονάδα (0 dB), και η διαφορά φάσης μεταξύ σήματος εισόδου και εξόδου μηδενίζεται, αυτό σημαίνει πως η τάση εξόδου είναι συμφασική (και σε μέτρο) με την τάση εισόδου. Καθώς η συχνότητα αυξάνει και ξεπερνά την

### 🔌 Φίλτρο υψηλών συχνοτήτων RL

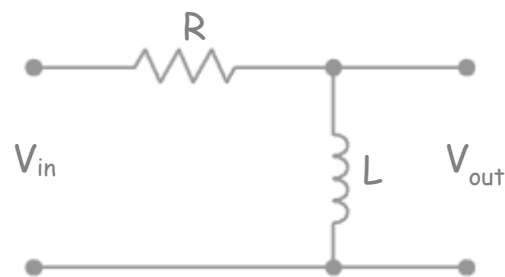
Μπορούμε να υλοποιήσουμε ένα φίλτρο υψηλών συχνοτήτων, συνδέοντας μια αντίσταση σε σειρά με ένα πηνίο και λαμβάνοντας την έξοδο στα άκρα του (ΣΧ 38).

$$H(j\omega) = \frac{j\omega L}{R + j\omega L} = \frac{j\omega}{j\omega + \frac{R}{L}} = \frac{1}{1 + \frac{R}{j\omega L}}$$

$$M(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{R}{\omega L})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (j\frac{\omega}{\omega_0})^2}}$$

$$\varphi(\omega) = -\tan^{-1}\left(\frac{R}{\omega L}\right)$$

$$\omega_0 = \frac{R}{L} \quad f_0 = \frac{R}{2\pi L}$$



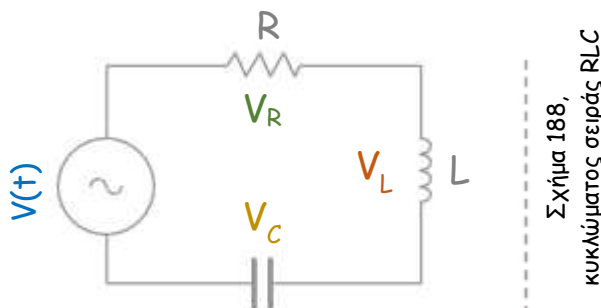
Σχήμα 187,  
Κύκλωμα ΦΥΣ

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά και συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των φίλτρων που αναλύσαμε προηγουμένως.

Συνδυασμός παθητικών στοιχείων	Τύπος Φίλτρου	Συνάρτηση μεταφοράς	Συχνότητα αποκοπής
RC	ΦΧΣ	$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC}$	$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$
RC	ΦΥΣ	$H(j\omega) = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}$	$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$
RL	ΦΧΣ	$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega \frac{L}{R}}$	$f_0 = \frac{R}{2\pi L}$
RL	ΦΥΣ	$H(j\omega) = \frac{j\omega \frac{R}{L}}{j\omega + \frac{R}{L}}$	$f_0 = \frac{R}{2\pi L}$

### 5.5.3 Συντονισμός σε κυκλώματα RLC

Όπως έχουμε αναλύσει, η εμπέδηση  $Z$  του πηνίου σε σχέση με του πυκνωτή έχουν αντίθετο πρόσημο, το κυριότερο όμως είναι, πως οι τιμές της σύνθετης αντίστασής τους εξαρτώνται από την συχνότητα του σήματος που τα τροφοδοτεί. Η διαπίστωση αυτή μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως το φανταστικό μέρος της, δηλαδή το  $\text{Im}(Z)$  μηδενίζεται σε μία τουλάχιστον τιμή της συχνότητας και άρα η  $Z = R + 0$  συμπεριφέρεται σαν μια καθαρά ωμική αντίσταση. Λέμε λοιπόν πως το κύκλωμα βρίσκεται σε συντονισμό, που σημαίνει πως η τάση και το ρεύμα είναι συμφασικά. Η συχνότητα που αλληλοεξουδετέρωσε την επαγωγική και χωρητική αντίσταση καλείται συχνότητα συντονισμού  $f_0$  ενώ το κύκλωμα βρίσκεται σε συντονισμό. Με δεδομένα τα παραπάνω, θα εμβαθύνουμε στον συντονισμό εξετάζοντας την περίπτωση του **κυκλώματος σειράς RLC** που ακολουθεί (Σχήμα 188, κυκλώματος σειράς RLC).



Το κύκλωμα βρίσκεται σε συντονισμό όταν έχουμε  $Z(\omega) = R + jX$  με  $Z_C = Z_L$  και άρα  $X = \text{Im}(Z) = 0$ . Επομένως:

$$Z = R + j(\omega L - 1/\omega C) \quad (\text{Σχέση 66})$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2} = \sqrt{R^2 + 0^2} = Z_0 = R$$

Αφού λοιπόν  $Z_C = Z_L \Rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C}$  εξάγουμε την συχνότητα συντονισμού  $f_0$ :

$$2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C} \Rightarrow$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{ή} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Παρατηρούμε λοιπόν πως όταν η κυκλική συχνότητα της πηγής  $\omega$  ισούται με την συχνότητα στη οποία η επαγωγική και χωρητική αντίσταση γίνονται ίσες  $\omega_0$  άρα η  $Z$  ελαχιστοποιείται και επειδή  $I = V/Z$  το ρεύμα μεγιστοποιείται.

Τι γίνεται όμως με τις τάσεις στα άκρα των στοιχείων κατά τον συντονισμό;

Προφανώς αφού  $Z_C = Z_L$  και οι τάσεις στα άκρα των στοιχείων γίνονται ίσες, δηλαδή:

$$V_C = V_L$$

$$\text{Η ολική τάση είναι } \mathcal{V} = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} = \sqrt{V_R^2 + 0^2} \Rightarrow \mathcal{V} = V_R$$

Από όλα τα παραπάνω γίνεται φανερό πως σε κατάσταση συντονισμού η  $|Z|$  και το  $I$  μεταβάλλονται με την μεταβολή της  $\omega$  ενώ παραμένουν σταθερά η τάση  $\mathcal{V}$  και τα στοιχεία R-L-C.

Μπορούμε να χαράξουμε τις καμπύλες συντονισμού χρησιμοποιώντας τις σχέσεις:

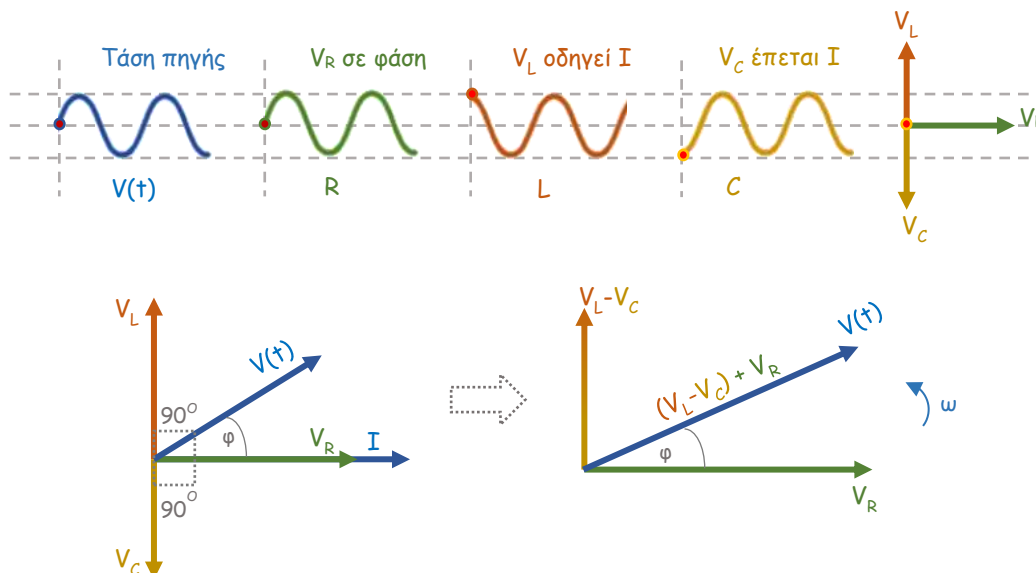
$$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} \quad (\text{Σχέση 67})$$

$$I = \frac{\mathcal{V}}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} \quad (\text{Σχέση 68})$$

Από την (Σχέση 66) προκύπτει η φάση  $\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega L - 1/\omega C}{R}\right)$

- Αν  $Z_L > Z_C$  τότε η γωνία  $\varphi$  είναι θετική, και η τάση προηγείται του ρεύματος.
- Αν  $Z_L < Z_C$  τότε η γωνία  $\varphi$  είναι αρνητική και η τάση έπεται του ρεύματος.

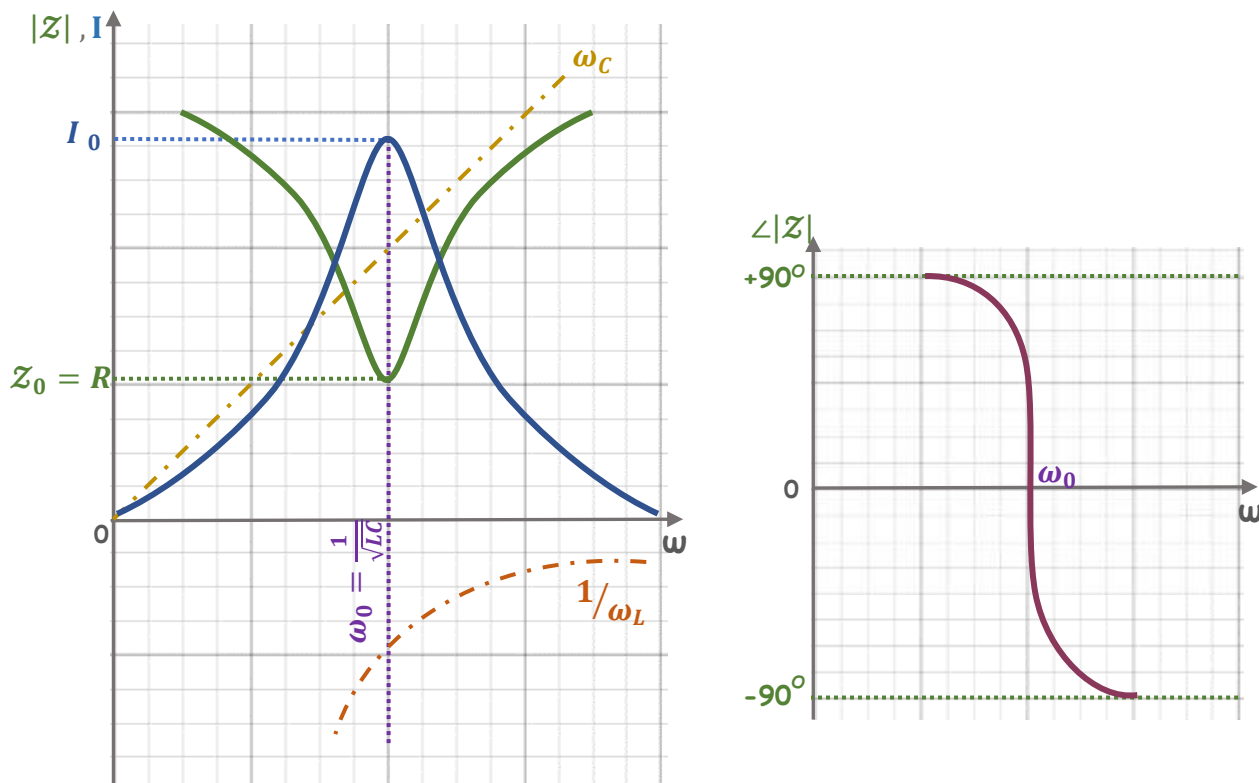
Με άλλα λόγια, για συχνότητες  $\omega \ll \omega_0$  η  $Z_C > Z_L$  και η  $Z$  παρουσιάζει αρνητική γωνία φάσης με το ρεύμα να προηγείται της τάσης. Το μέγεθος της τιμής της αντίστασης θα καθορίσει το πόσο γρήγορα θα μεταβάλλεται η γωνία με βάση την συχνότητα. Για  $\omega \rightarrow \infty$  η γωνία φάσης της  $Z$  τείνει στις  $-90^\circ$ . Για συχνότητες  $\omega \gg \omega_0$  η  $Z_C < Z_L$  και η  $Z$  παρουσιάζει θετική γωνία φάσης πλησιάζοντας τις  $+90^\circ$  με το ρεύμα να έπεται της τάσης (Σχήμα 189).



Σχήμα 189

Με βάση τις (Σχέση 67 (Σχέση 68 θα εξετάσουμε τις περιπτώσεις στις οποίες θα βρεθεί η συχνότητα και μπορούμε να σχεδιάσουμε την καμπύλη του συντονισμού(Σχήμα 190):

- Για  $\omega \rightarrow 0$ 
  - ♦  $|Z| \rightarrow \infty$  ,  $I \rightarrow 0$
- Για  $\omega = \omega_0$ 
  - ♦  $|Z| = R$  ,  $I_0 \rightarrow \frac{V}{R}$
- Για  $\omega \rightarrow \infty$ 
  - ♦  $|Z| \rightarrow \infty$  ,  $I \rightarrow 0$



Σχήμα 190

Στα κυκλώματα με στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας (L,C), ορίζεται ο συντελεστής ποιότητας Q. Αποτελεί καθαρό αριθμό, ο οποίος δηλώνει πόσες φορές η τάση στα άκρα του κάθε παθητικού στοιχείου (ή σε εν σειρά/παράλληλα στοιχεία) είναι μεγαλύτερη από αυτή της πηγής.

$$Q = 2\pi \frac{\text{μέγιστη αποθηκευμένη ενέργεια στο στοιχείο}}{\text{καταναλισκόμενη ενέργεια σε μια περίοδο}}$$

Στο κύκλωμα σειράς RLC για συντονισμό έχουμε:

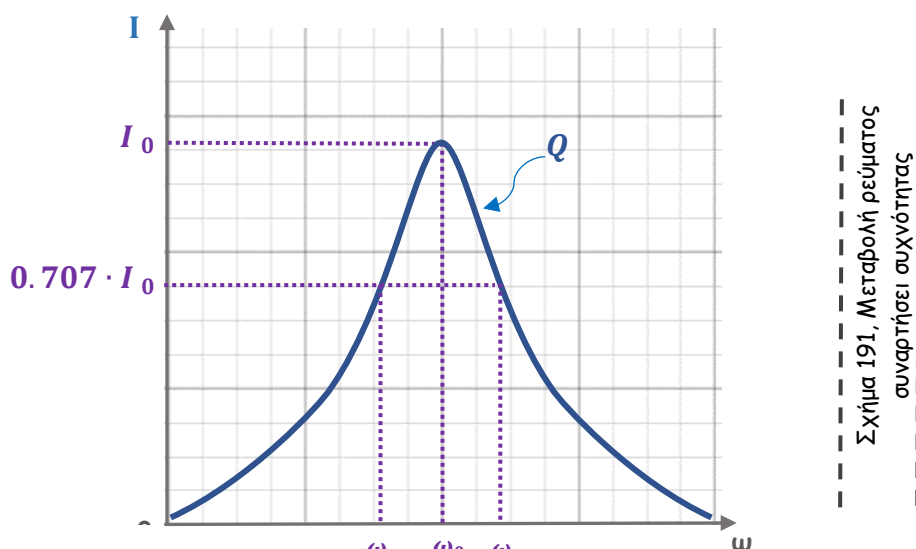
$$Q = \frac{V_C}{V} = \frac{V_L}{V} \Rightarrow$$

$$Q = \frac{Z_C}{R} = \frac{Z_L}{R} = \frac{1}{\omega_0 CR} \Rightarrow$$

$$Q = \frac{1}{2\pi f_0 CR} = \frac{1}{2\pi \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} CR} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\text{Σχέση } 69)$$

Επιπλέον, η προσφερόμενη ισχύς στο κύκλωμα κατά τον συντονισμό είναι  $P = \mathcal{V} \cdot I_0 = I^2 \cdot R$ . Λόγω της αλληλεξουδετέρωσης της επαγωγικής και χωρητικής αντίστασης το κύκλωμα απορροφά μόνο πραγματική ισχύ. Με άλλα λόγια, το κύκλωμα όταν βρίσκεται σε συντονισμό αποθηκεύει σταθερή ποσότητα ενέργειας μιας και όταν η τάση του πυκνωτή μεγιστοποιείται, το ρεύμα της αυτεπαγωγής μηδενίζεται και αντίστροφα. Επομένως  $\frac{V_{max}^2}{2} C = \frac{I_{max}^2}{2} L$  και το ρεύμα έχει γραφική παράσταση όμοια με του Σχήμα 190. Παρατηρώντας την, η τιμή του ρεύματος μεταβάλλεται συναρτήσει της συχνότητας  $\omega$ .

Μάλιστα μεγιστοποιείται όταν  $\omega = \omega_0$ , ενώ γύρω από την μέγιστη τιμή, σε δύο συχνότητες (έστω  $\omega_1, \omega_2$ ) το ρεύμα έχει τιμή  $I = 0.707I_0$  που αποτελεί την μισή ισχύ της μέγιστης τιμής. Τα σημεία αυτά καλούνται σημεία μισής ισχύος (Σχ. 42).



Από την (Σχέση 69) και παρατηρώντας της γραφική του Σχήμα 191 οδηγούμαστε σε κάποιες διαπιστώσεις: **Εύρος ζώνης (BW)**

- Διατηρώντας σταθερό τον λόγο  $L/C$  και μεταβάλλοντας την αντίσταση  $R$  μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα η τιμή του ρεύματος και του  $Q$ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μετακινείται η κορυφή της καμπύλης ( $I_0$ ) στον κάθετο άξονα, ενώ ταυτόχρονα γίνεται πιο μυτερή και στενή.
- Διατηρώντας σταθερή την  $R$  και μεταβάλλοντας τον λόγο  $L/C$  η τιμή του ρεύματος  $I_0$  παραμένει σταθερή (κορυφή της καμπύλης) και ο συντελεστής ποιότητας  $Q$  μεταβάλλεται. Αυξάνοντας τον συντελεστή ποιότητας η καμπύλη γίνεται πιο μυτερή και στενή.



Τέλος, ο συντελεστής ποιότητας (καλείται και ικανότητα επιλογής του κυκλώματος) μπορεί να εκφραστεί και ως ο λόγος της συχνότητας συντονισμού ως προς το εύρος ζώνης:

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{\omega_0}{BW}$$

Μπορείτε να μελετήσετε το κύκλωμα της παράλληλης σύνδεσης RLC σκανάροντας παρακάτω:

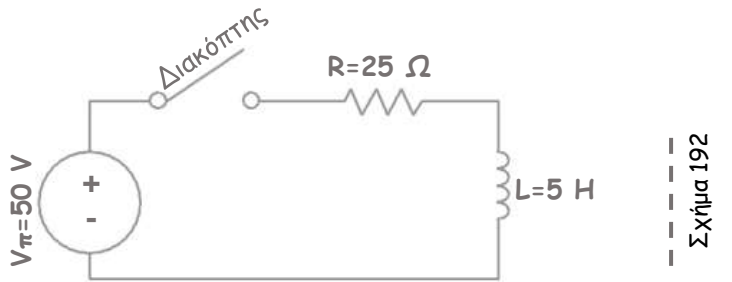


## 5.5 Ασκήσεις

### Άσκηση 1

Στο κύκλωμα του ΣΧ. 42, με κυκλωματικά στοιχεία τιμής  $R=25 \Omega$  και  $L=5 \text{ H}$ , την χρονική στιγμή  $t=0$  ο διακόπτης κλείνει, και τροφοδοτείται το κύκλωμα με συνεχή τάση  $V_{\pi}=50 \text{ V}$ .

- Προσδιορίστε τόσο την εξίσωση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα, όσο και αυτή της τάσης στα άκρα της αντίστασης.
- Ποια η τιμή του ρεύματος για  $t=1 \text{ sec}$  ;
- Πόσος χρόνος απαιτείται ώστε η πτώση τάσης στα άκρα του πηνίου να γίνει ίση με αυτή της αντίστασης;



Λύση

Η διαφορική εξίσωση που προκύπτει από τον νόμο τάσεων του Kirchhoff είναι:

$$25 \cdot i + 5 \frac{di}{dt} = 50$$

Η γενική λύση της είναι:

$$i = c \cdot e^{-\frac{R}{L}t} + \frac{V_{\pi}}{R} = c \cdot e^{-5t} + 2$$

Για τον υπολογισμό της σταθεράς  $c$ , θα χρησιμοποιήσουμε την αρχική συνθήκη  $t=0$  όπου δεν έχει προλάβει να κλείσει ο διακόπτης οπότε  $i_0 = 0$ :

$$0 = c \cdot 1 + 2 \Rightarrow c = -2$$

Επομένως η εξίσωση του ρεύματος είναι:

$$i = 2 \cdot (-e^{-5t} + 1)$$

Η τάση στα άκρα της αντίστασης είναι:

$$V_R = R \cdot i = 50 \cdot (-e^{-5t} + 1)$$

Η τάση στα άκρα του πηνίου είναι:

$$V_L = L \frac{di}{dt} = 5 \cdot (-2e^{-5t} + 2) = 50e^{-5t}$$

Για τον υπολογισμό της τιμής του ρεύματος, αφού  $t=1 \text{ sec}$  αντικαθιστούμε στην:

$$i = 2 \cdot (-e^{-5t} + 1) = 2 \cdot (-e^{-5} + 1)$$

$$\text{και άρα } i = 1.98 \text{ A}$$

Τέλος προσδιορίζουμε τον χρόνο που απαιτείται ώστε  $V_R = V_L$ . Η πηγή τάσης είναι 50V, και επειδή τα στοιχεία είναι συνδεδεμένα σε σειρά, για να έχουμε  $V_R = V_L$  η τάση στο καθένα θα είναι 25V. Επιλέγουμε λοιπόν είτε την εξίσωση της τάσης στα άκρα της αντίστασης είτε αυτή της πηγής και λύνουμε ως προς το χρόνο  $t$ :

$$V_L = 50e^{-5t} \Rightarrow$$

$$25 = 50e^{-5t} \Rightarrow \ln(0.5) = 5t \Rightarrow t = 0.138 \text{ sec}$$

## Άσκηση 2

Όταν παίρνουμε ADSL στο σπίτι μας ο τηλεπικοινωνιακός πάροχος τοποθετεί μία συσκευή στον χώρο μας (Network Interface Device - NID) η οποία διαχωρίζει τις συχνότητες της φωνής, που κυμαίνονται μεταξύ 0 - 4kHz, από τις υψηλότερες συχνότητες των DSL σημάτων (25kHz - 1,1MHz) οι οποίες ταξιδεύουν ταυτόχρονα στην τηλεφωνική γραμμή. Η συσκευή αυτή αποτελεί διαχωριστή σημάτων διαφορετικών συχνοτήτων, πρακτικά ένα φίλτρο. Σχεδιάστε το φίλτρο αυτό ώστε να επιτρέπει μόνο την διέλευση των συχνοτήτων φωνής με τις εξής προδιαγραφές:

- 🔊 Η μεταβολή από την ζώνη διέλευσης στην ζώνη μετάβασης θα πρέπει να είναι το πολύ 1dB
- 🔊 Η ζώνη αποκοπής θα πρέπει να ξεκινά τουλάχιστον στα 25 kHz

## Λύση

Από τα δεδομένα της άσκησης, εφόσον θέλουμε να επιτρέψουμε την διέλευση των χαμηλών συχνοτήτων 0 - 4kHz προκύπτει η υλοποίηση ενός φίλτρου χαμηλών συχνοτήτων. Μπορούμε να υλοποιήσουμε ΦΧΣ είτε RC είτε RL.

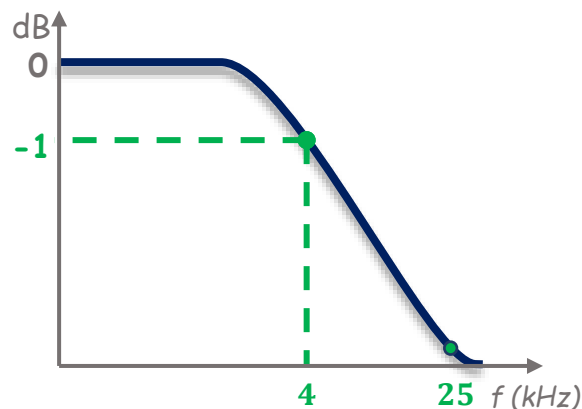
Η συχνότητα αποκοπής του φίλτρου δεν είναι δεδομένη και θα πρέπει να βρεθεί από τις προδιαγραφές. Το πόσο απότομη είναι η πτώση της καμπύλης απόκρισης μέσα στη ζώνη μετάβασης εξαρτάται από την τιμή του λόγου συχνοτήτων  $f_s/f_p$ . Ακόμη, από τις προδιαγραφές, η καμπή του μέτρου της συνάρτησης μεταφοράς του φίλτρου ορίζεται στο -1dB και το όριο της ζώνης μετάβασης στα 25 kHz. Η συνάρτηση μεταφοράς που ικανοποιεί τις παραπάνω προδιαγραφές θα πρέπει να έχει την μορφή του Σχήμα 193.

Έστω ότι επιλέγουμε ΦΧΣ RL (μπορείτε για εξάσκηση να επιλέξετε RC). Η συνάρτηση μεταφοράς του είναι:

$$H(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega\frac{L}{R}} \quad \text{και} \quad f_0 = \frac{R}{2\pi L}$$

Θα πρέπει:

$$20 \log |H(jf = 4\text{kHz})| = -1\text{dB}$$



Σχήμα 193

Μετατρέπουμε το  $-1\text{dB}$  σε καθαρό αριθμό, δηλαδή  $10^{\frac{-1}{20}} = 0.891$  και άρα:

$$|H(jf = 4\text{kHz})| = \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{f}{f_0})^2}} = 0.891 \text{ λύνουμε ως προς } \frac{f}{f_0}$$

$$(\frac{f}{f_0})^2 = 0.2610 \Rightarrow \frac{f}{f_0} = 0,510 \text{ και έπειτα ως προς } f_0$$

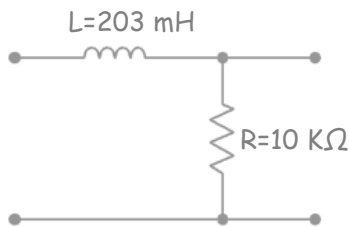
$$f_0 = \frac{f}{0,510} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{Hz}}{0,510} \Rightarrow f_0 = 7.84 \text{ kHz}$$

Για τον υπολογισμό των στοιχείων αντικαθιστούμε την σχέση  $f_0$ :

$$\frac{R}{2\pi L} = 7.84 \text{ kHz} \Rightarrow \text{επιλέγουμε μια αντίσταση ίδιας τάξης μεγέθους, έστω } R=10 \text{ K}\Omega$$

$$L = \frac{10 \text{ K}\Omega}{2\pi \cdot 7.84 \text{ KHz}} \Rightarrow L = 203 \text{ mH}$$

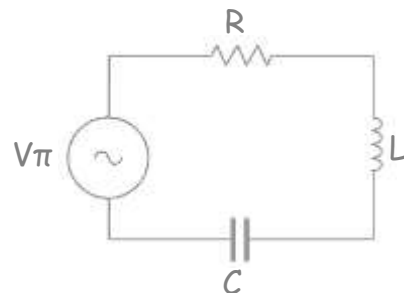
Το κύκλωμα του φίλτρου θα είναι:



### Άσκηση 3

Το κύκλωμα του σχήματος 43 τροφοδοτείται με πλάτος τάσης  $500\text{mV}$  συχνότητας  $50\text{MHz}$ . Η τιμή του πυκνωτή είναι  $10\text{pF}$  και της αντίστασης  $R=220 \Omega$ .

- ☛ Ποια πρέπει να είναι η τιμή της αυτεπαγωγής  $L$  ώστε να επιτευχθεί συντονισμός του κυκλώματος στα  $50\text{MHz}$ ;
- ☛ Ποιο θα είναι το πλάτος του ρεύματος που θα διαρρέει το κύκλωμα κατά τον συντονισμό;



Σχήμα 194

### Λύση

Για την επίτευξη του συντονισμού, θα πρέπει να ισχύει:

$$Z_C = Z_L \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ λύνουμε ως προς } L$$

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot C} = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 \cdot C} \Rightarrow$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \cdot (50 \cdot 10^{12} \text{ Hz})^2 \cdot 10 \cdot 10^{-12} \text{ F}} \Rightarrow$$

άρα η τιμή της αυτεπαγωγής για την επίτευξη συντονισμού είναι

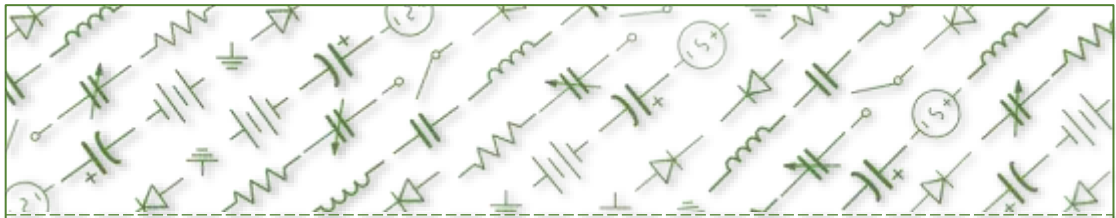
$$L = 50.67 \mu\text{H}$$

Για τον υπολογισμό του πλάτους του ρεύματος έχουμε:

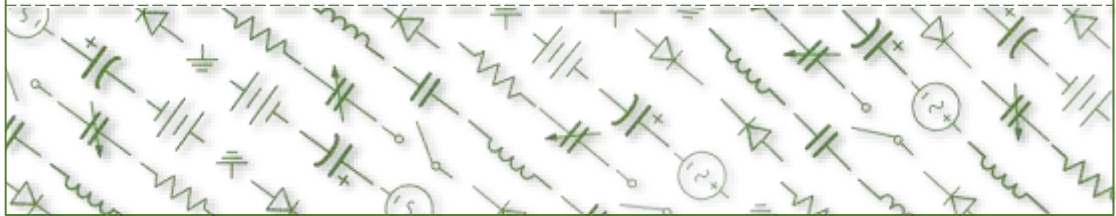
$$I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2}} \quad \text{και επειδή } Z_L = Z_C$$

$$I_0 = \frac{V_0}{R} = \frac{500 \text{ mV}}{220 \Omega} \Rightarrow I_0 = 2.27 \text{ mA}$$

#Συντονισμός\_ραδιοφώνου



# Παράρτημα Θεωρίας



## Μιγαδικοί αριθμοί

Όπως είναι είδη γνωστό, οι ρίζες μιας δευτεροβάθμιας εξίσωσης της μορφής  $ax^2 + \beta x + \gamma = 0$  ( $a \neq 0$ ,  $\alpha, \beta, \gamma \in \mathcal{R}$ ) μπορούν να προσδιοριστούν από τον τύπο:

$$\rho_{1,2} = \frac{-\beta \pm \sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}}{2a}$$

Αν λοιπόν ισχύει  $\beta^2 - 4\alpha\gamma \geq 0$  τότε οι ρίζες  $\rho_1, \rho_2$  είναι πραγματικές και μπορούν να υπολογιστούν άμεσα.

Τι γίνεται όμως στις περιπτώσεις όπου οι εξισώσεις δεν επαληθεύονται από πραγματικό αριθμό ( $\beta^2 - 4\alpha\gamma < 0$ , δεν έχουμε ρίζες στο σύνολο  $\mathcal{R}$ );

Οι μαθηματικοί εισήγαγαν την έννοια των μιγαδικών αριθμών για την επίλυση τέτοιου είδους προβλημάτων. Ειδικότερα, η τετραγωνική ρίζα ενός αρνητικού (πραγματικού) αριθμού λέγεται φανταστικός αριθμός και των ορίζουμε ως  $\mathcal{J} = \sqrt{-1}$  και επίσης ισχύει:

$$\frac{1}{\mathcal{J}} = \frac{\mathcal{J}}{-1} = -\mathcal{J}$$

$$\mathcal{J}^2 = -1$$

$$\mathcal{J}^3 = \mathcal{J}^2 \cdot \mathcal{J} = -\mathcal{J}$$

$$\mathcal{J}^4 = (\mathcal{J}^2)^2 = 1$$

$$\mathcal{J}^5 = \mathcal{J}(\mathcal{J}^4) = \mathcal{J}$$

$$\mathcal{J}^6 = -1$$

$$\mathcal{J}^7 = -\mathcal{J}$$

$$\mathcal{J}^8 = 1$$

Ένας μιγαδικός αριθμός αποτελεί ένα διάνυσμα (συνήθως συμβολίζεται με έντονη γραφή, πχ  $z$ , για λόγους ευκολίας όταν εργαζόμαστε στο χαρτί θα τον συμβολίζουμε  $i$  ή  $j$ ) και έχει την μορφή:

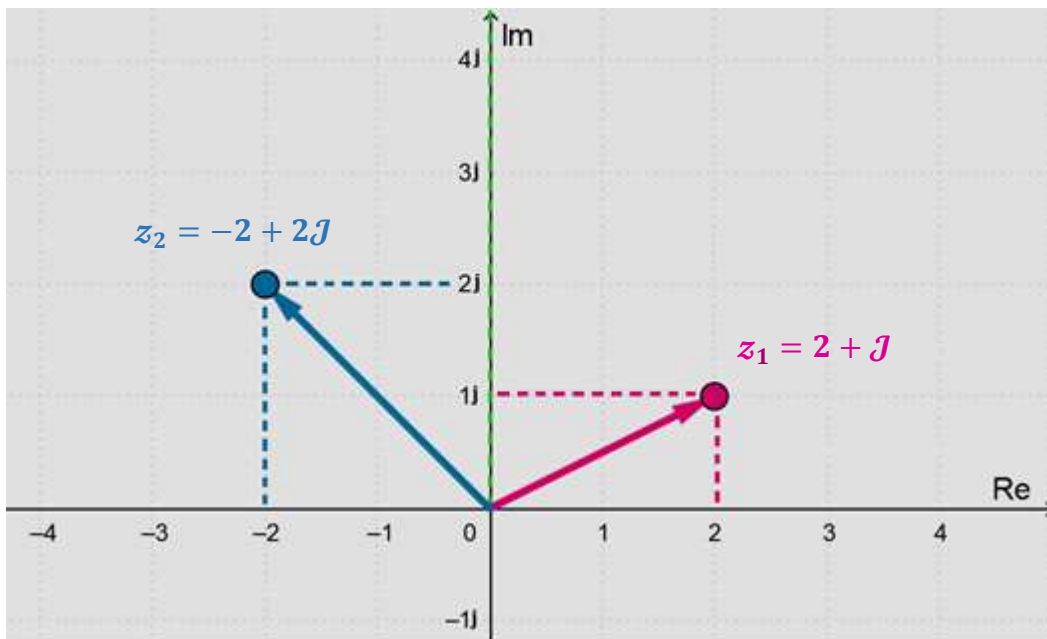
Καθάρά πραγματικοί αριθμοί

$$z = X + jY$$

Πραγματικό μέρος  $X = \text{Re}(z)$       Φανταστικό μέρος  $Y = \text{Im}(z)$

- Εφόσον  $X=0$ , ο μιγαδικός αριθμός είναι καθαρός φανταστικός και αντιστοιχεί σε ένα σημείο του άξονα των φανταστικών ( $\text{Im}$  όπως θα δούμε παρακάτω).
- Εφόσον  $Y=0$ , ο μιγαδικός αριθμός είναι πραγματικός και αντιστοιχεί σε ένα σημείο του άξονα των πραγματικών αριθμών ( $\text{Re}$ )

Αν όπως φαίνεται στο Σχήμα 195, ο άξονας των πραγματικών αριθμών είναι κάθετος στον άξονα των φανταστικών στο σημείο 0, τότε προκύπτει το μιγαδικό επίπεδο. Σε κάθε σημείο αυτού του επιπέδου αντιστοιχεί ένας και μόνο μιγαδικός αριθμός και αντίστροφα.



Σχήμα 195, αναπαράσταση μιγαδικού αριθμού στο επίπεδο  $\text{Im} - \text{Re}$

Ευρέως χρησιμοποιείτε η καρτεσιανή μορφή ενός μιγαδικού αριθμού ( $z = X + jY$ ), ωστόσο, για ευκολία στις μεταξύ τους πράξεις, εκμεταλλευόμενοι ιδιότητες όπως αυτές των δυνάμεων (θα γίνει κατανοητό παρακάτω) μπορούμε να τους εκφράσουμε σε διάφορες μορφές.

Μορφές μιγαδικων αριθμων



Επεκτείνοντας το συλλογισμό μας και προσεγγίζοντας ταυτόχρονα το Σχήμα 195 με γνώσεις βασικής τριγωνομετρίας, παρατηρούμε πως  $x = r\cos\theta$  ,  $y = r\sin\theta$  επομένως ο μιγαδικός αριθμός μπορεί να εκφραστεί:

$$z = x + jy = r(\cos\theta + j\sin\theta) = re^{j\theta} = r\angle\theta$$

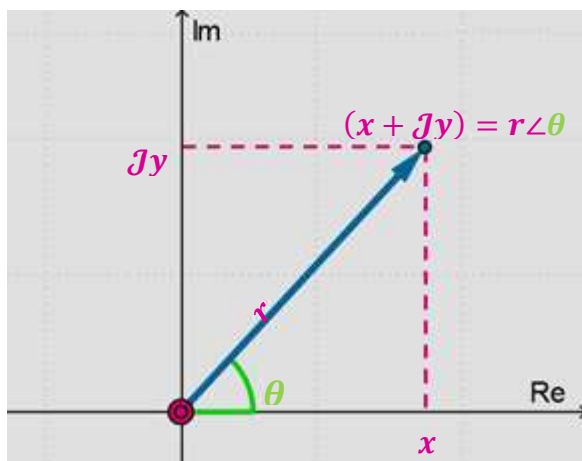
Καρτεσιανή μορφή
εκθετική μορφή
πολική μορφή

τριγωνομετρική μορφή

όπου  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  είναι το μέτρο/απόλυτη τιμή  $|z|$  ή το μήκος του διανύσματος του μιγαδικού αριθμού  $z$  και  $\theta = \tan^{-1}(y/x)$  η γωνία ή το όρισμα του.

- Αν  $\theta \in [0, 2\pi]$  με  $x = r\cos\theta$  ,  $y = r\sin\theta$  τότε η γωνία  $\theta$  λέγεται πρωτεύων όρισμα του  $z$  και συμβολίζεται  $\text{Arg}(z)$  ενώ κάθε άλλο όρισμα διαφέρει από το πρωτεύων όρισμα κατά  $2k\pi$  όπου  $k \in \mathbb{Z}$
- Ο τύπος του Euler  $e^{j\theta} = (\cos\theta + j\sin\theta)$  επιτρέπει την έκφραση του μιγαδικού αριθμού σε εκθετική μορφή.

Η Γεωμετρική αναπαράσταση του μιγαδικού αριθμού όπου φαίνεται στο Σχήμα 196, μας δείχνει το μέτρο και το όρισμα του.



Σχήμα 196 , γεωμετρική αναπαράσταση μιγαδικού αριθμού

Συνοψίζοντας

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = |z| \text{ «Μέτρο μιγαδικού»}$$

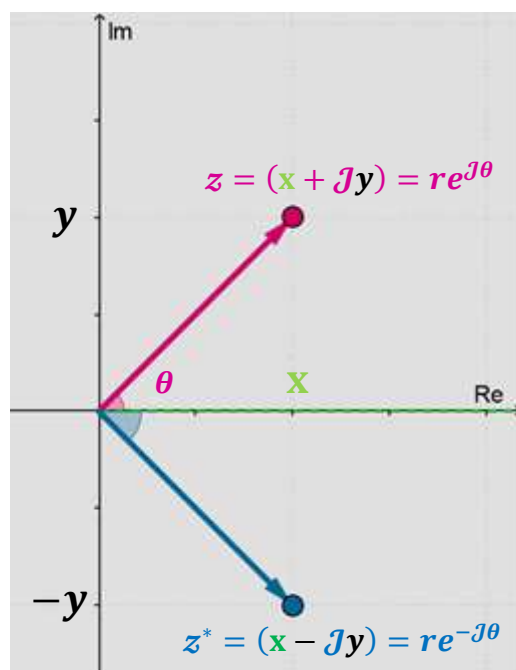
$$\theta = \tan^{-1}(y/x) = \arg z \text{ «Γωνία-όρισμα μιγαδικού»}$$

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

$$\frac{1}{e^{j\theta}} = e^{-j\theta}$$

Επίσης, κάθε μιγαδικός αριθμός έχει και έναν συζυγή αριθμό, δηλαδή έναν αριθμό με τον ίδιο πραγματικό μέρος αλλά με αντίθετο φανταστικό. Συγκεκριμένα, ο συζυγείς μιγαδικός αριθμός του  $z = x + jy$  είναι  $z^* = x - jy$  (Σχήμα 197).



Σχήμα 197 , αναπαράσταση συζυγούς αριθμού

Όπου  $\operatorname{Re}(z^*) = \operatorname{Re}(z)$  και  $\operatorname{Im}(z^*) = -\operatorname{Im}(z)$ .

Στο μιγαδικό επίπεδο ο συζυγής αριθμός ενός μιγαδικού παριστάνεται από το σημείο που είναι το συμμετρικό του  $z$  ως προς τον άξονα των πραγματικών αριθμών. Για παράδειγμα με  $z = 8 - j5$  έχουμε  $z^* = 8 + j5$ .

Σχέσεις μεταξύ μιγαδικού αριθμού και του συζυγούς του:

- Ο συζυγής του συζυγούς ενός μιγαδικού αριθμού είναι ο ίδιος ο αριθμός
 
$$(z^*)^* = z$$
- $z \cdot z^* = (x + jy)(x + jy) = x^2 + y^2 = r^2 = |z|^2$
- $z + z^* = 2x$
- $z - z^* = 2y$
- $|z| = |z^*|$
- $z = -z^*$
- $\arg(z^*) = \arg(z)$

Άρα οι τέσσερις μορφές του συζυγούς μιγαδικού αριθμού είναι:

$$z^* = x - jy \text{ «Καρτεσιανή μορφή»}$$

$$z^* = r \angle (-\theta) \text{ «πολική μορφή»}$$

$$z^* = r e^{-j\theta} \text{ «εκθετική μορφή»}$$

$$z^* = r(\cos\theta - j\sin\theta) = r(\cos(-\theta) + j\sin(-\theta)) \quad \text{«τριγωνομετρική μορφή»}$$

Ιδιότητες μέτρου:

$$|z^*| = |-z|$$

$$\frac{|z|}{|z^*|} = \frac{|z^*|}{|z|} = 1$$

$$|z|^2 = z \cdot z^*$$

Πράξεις μεταξύ μιγαδικών αριθμών

**Πρόσθεση-αφαίρεση:** για την πρόσθεση ή αφαίρεση δύο μιγαδικών αριθμών πραγματοποιούμε την αντίστοιχη πράξη στα φανταστικά και πραγματικά τους μέρη χωριστά και ως εκ τούτου είναι προτιμότερο οι μιγαδικοί αριθμοί να έχουν την καρτεσιανή μορφή τους.

Δηλαδή αν  $z_1 = x_1 + jy_1$  και  $z_2 = -x_2 - jy_2$  τότε

$$z_1 + z_2 = (x_1 - x_2) + j(-y_1 - y_2)$$

**Πολλαπλασιασμός:** αν οι μιγαδικοί βρίσκονται σε:

- **Καρτεσιανή μορφή:** πραγματοποιούμε πράξεις σαν να πρόκειται για διώνυμα, δηλαδή  $z_1 \cdot z_2 = (x_1x_2 - y_1y_2) + j(x_1y_2 + y_1x_2)$
- **Εκθετική μορφή:** Πραγματοποιούμε πράξεις βασιζόμενοι στις ιδιότητες των δυνάμεων, δηλαδή  $z_1 \cdot z_2 = r_1 e^{j\theta_1} \cdot r_2 e^{j\theta_2} = r_1 r_2 \cdot e^{j(\theta_1 + \theta_2)}$
- **Πολική μορφή:** εργαζόμαστε με ανάλογο τρόπο, δηλαδή  $z_1 \cdot z_2 = r \angle \theta_1 \cdot r \angle \theta_2 = r_1 r_2 \cdot \angle(\theta_1 + \theta_2)$

Διαίρεση, αν οι μιγαδικοί βρίσκονται σε:

- Καρτεσιανή μορφή: Πολλαπλασιάζουμε αριθμητή και παρονομαστή με τον συζυγή του παρονομαστή, δηλαδή  $\frac{z_1}{z_2} = \frac{x_1 + jy_1}{x_2 + jy_2} \cdot \frac{x_2 - jy_2}{x_2 - jy_2}$
- Εκθετική μορφή: χρησιμοποιούμε τις ιδιότητες των δυνάμεων, δηλαδή  $\frac{z_1}{z_2} = \frac{r_1 \cdot e^{j\theta_1}}{r_1 \cdot e^{j\theta_2}} = \frac{r_1}{r_2} e^{j(\theta_1 - \theta_2)}$
- Πολική μορφή: εργαζόμαστε ανάλογα  $\frac{z_1}{z_2} = \frac{r_1 \angle \theta_1}{r_2 \angle \theta_2} = \frac{r_1}{r_2} \angle (\theta_1 - \theta_2)$

## Χρησιμες εξισωσεις

$$e^{\pm j\theta} = \cos\theta \pm j\sin\theta$$

$$e^{j\theta} = \cos\theta + j\sin\theta = e^{j(\theta+2k\pi)}$$

$$|e^{j\theta}| = \sqrt{\cos^2(\theta) + \sin^2(\theta)} = 1$$

$$e^{j\pi} = -1,$$

$$j^j = e^{-\frac{\pi}{2}}$$

$$\cos\theta = \frac{e^{j\theta} + e^{-j\theta}}{2}$$

$$\sin\theta = \frac{e^{j\theta} - e^{-j\theta}}{2j}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \rightarrow \cos\theta = \frac{x}{r} \text{ και } \sin\theta = \frac{y}{r}$$

$$\cos(0) + j\sin(0) = 1$$

$$\cos(s) + j\sin(s) = t$$

$$\text{αν } s = \pi/2 \text{ τότε } t = j$$

$$s = \pi \text{ τότε } t = 1$$

$$s = 3\pi/2 \text{ τότε } t = -j$$

$$z^n = r^n [\cos(n\theta) + j\sin(n\theta)]$$

## Tips

☞ Αν η αριθμητική τιμή μιας γωνίας  $\theta$  ενός μιγαδικού αριθμού είναι πολύ μικρή ( $|\theta| \leq 5,73^\circ$ ) τότε μπορούμε να θεωρήσουμε το μέτρο  $r$  και την τιμή του πραγματικού μέρους ( $x$ ) ενός μιγαδικού αριθμού στην καρτεσιανή μορφή ίσα μεταξύ τους. Το φανταστικό μέρος  $y$  υπολογίζεται από το  $r\sin\theta$ .

☞ Αν  $84,27^\circ \leq \theta \leq 95,73^\circ$  τα  $r$  και  $y$  θεωρούνται ίσα ενώ το  $x$  υπολογίζεται από το  $r\cos\theta$

## Παραδείγματα

Παραδείγματα μετατροπής πολικής μορφής μιγαδικού αριθμού σε καρτεσιανή μορφή.

1° Παράδειγμα:  $10 \angle 3,5^\circ \rightarrow x + jy$

Γενικά ισχύει  $x=r\cos\theta$  και  $y=r\sin\theta$  επειδή όμως  $|\theta| \leq 5,73^\circ$  έχουμε

$$x=r$$

$$y= r\sin\theta=10\sin(3,5^\circ)=0,61$$

$$\text{επομένως } 10 \angle 3,5^\circ \rightarrow 10 + j0,61$$

2° Παράδειγμα:  $100\angle(-120^\circ) \rightarrow x + jy$

$$x = 100\cos(-120^\circ) = -50$$

$$y = 100\sin(-120^\circ) = -86.6$$

επομένως  $100\angle(-120^\circ) \rightarrow -50 - j86.6$

Παραδείγματα μετατροπής καρτεσιανής μορφής μιγαδικού αριθμού σε πολική μορφή.

1ο Παράδειγμα:  $4 + j3 \rightarrow r\angle\theta$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5$$

$$x = r\cos\theta \Rightarrow \cos\theta = \frac{x}{r} \Rightarrow \theta = \cos^{-1}\frac{x}{r} \text{ επομένως } \theta = \cos^{-1}\frac{4}{5} = 36.8^\circ$$

Άρα  $4 + j3 \rightarrow 5\angle 36.8^\circ$

2° Παράδειγμα:  $-10 + j20 \rightarrow r\angle\theta$

$$r = \sqrt{10^2 + 20^2} = 22.3$$

$$\theta = \cos^{-1}\frac{-10}{22.3} = 116.6^\circ$$

Άρα  $-10 + j20 \rightarrow 22.3\angle 116.6^\circ$

Παραδείγματα μετατροπής καρτεσιανής μορφής μιγαδικού αριθμού σε τριγωνομετρική μορφή.

1° Παράδειγμα:  $2 + j2 \rightarrow z = r[\cos(\theta) + j\sin(\theta)]$

$$r = |z| = \sqrt{2^2 + 2^2} = \sqrt{8} = 2\sqrt{2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{2}{2}\right) = 45^\circ \left(\frac{\pi}{4}\right)$$

Επομένως  $z = 2\sqrt{2}(\cos 45^\circ + j\sin 45^\circ)$

2° Παράδειγμα:  $1 + j\sqrt{3} \rightarrow z = r[\cos(\theta) + j\sin(\theta)]$

$$r = |z| = \sqrt{1^2 + \sqrt{3}^2} = 2$$

$$\cos\theta = \frac{x}{r} \Rightarrow \theta = \cos^{-1}\left(\frac{1}{2}\right) = 60^\circ \left(\frac{\pi}{3}\right)$$

Επομένως  $z = 2(\cos 60^\circ + j\sin 60^\circ)$

## Χρήση πινάκων στην ανάλυση κυκλωμάτων

Μπορείτε να θυμηθείτε την βασική θεωρία των Πινάκων κάνοντας κλικ στο σύνδεσμο [https://bit.ly/pinakes\\_orizouses](https://bit.ly/pinakes_orizouses) (Κεφ.1), και της επίλυσης γραμμικών συστημάτων εξισώσεων με την μέθοδο της απαλοιφής Gauss ή της μεθόδου Cramer κάνοντας κλικ στο σύνδεσμο [https://bit.ly/epilysi\\_gram\\_syst](https://bit.ly/epilysi_gram_syst) (σελ. 29-41). Εναλλακτικά, πραγματοποιώντας αναζήτηση πανεπιστημιακού υλικού στο διαδίκτυο.

Χρήση Πινάκων για την επίλυση εξισώσεων που προκύπτουν από την ανάλυση κυκλωμάτων.

Στα πλαίσια του μαθήματος, συχνά, θα προκύπτουν εξισώσεις ρευμάτων βρόχων κάνοντας χρήση του 2ου κανόνα του Kirchhoff.

Έστω λοιπόν ότι έχουμε κύκλωμα με τρεις βρόχους, από τους οποίους προκύπτουν οι παρακάτω τρεις εξισώσεις:

$$\pm R_{11} \cdot I_1 \pm R_{12} \cdot I_2 \pm R_{13} \cdot I_3 = \pm V_1$$

$$\pm R_{21} \cdot I_1 \pm R_{22} \cdot I_2 \pm R_{23} \cdot I_3 = \pm V_2$$

$$\pm R_{31} \cdot I_1 \pm R_{32} \cdot I_2 \pm R_{33} \cdot I_3 = \pm V_3$$

μπορούμε να τις γράψουμε με την χρήση πινάκων ως εξής:

$$\begin{bmatrix} \pm R_{11} & \pm R_{12} & \pm R_{13} \\ \pm R_{21} & \pm R_{22} & \pm R_{23} \\ \pm R_{31} & \pm R_{32} & \pm R_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \pm V_1 \\ \pm V_2 \\ \pm V_3 \end{bmatrix}$$

Παρατηρείστε πως πρακτικά έχουμε γράψει υπο μορφή πινάκων τον νόμο του Ohm, δηλαδή  $[\mathbf{R}][\mathbf{I}] = [\mathbf{V}]$

Για τον προσδιορισμό των ρευμάτων προχωρώ στην αριθμητική τιμή

της ορίζουσας  $\Delta_R = \begin{bmatrix} \pm R_{11} & \pm R_{12} & \pm R_{13} \\ \pm R_{21} & \pm R_{22} & \pm R_{23} \\ \pm R_{31} & \pm R_{32} & \pm R_{33} \end{bmatrix}$  και πολλαπλασιαζόμενη με το  $I_1$  έχουμε:

$$I_1 \Delta_R = \begin{bmatrix} \pm R_{11} I_1 & \pm R_{12} & \pm R_{13} \\ \pm R_{21} I_1 & \pm R_{22} & \pm R_{23} \\ \pm R_{31} I_1 & \pm R_{32} & \pm R_{33} \end{bmatrix} \Rightarrow I_1 \Delta_R = \begin{bmatrix} \pm V_1 & \pm R_{12} & \pm R_{13} \\ \pm V_2 & \pm R_{22} & \pm R_{23} \\ \pm V_3 & \pm R_{32} & \pm R_{33} \end{bmatrix}$$

άρα εξάγουμε την τιμή του ρεύματος  $I_1$ :

$$I_1 = \frac{\begin{bmatrix} \pm V_1 & \pm R_{12} & \pm R_{13} \\ \pm V_2 & \pm R_{22} & \pm R_{23} \\ \pm V_3 & \pm R_{32} & \pm R_{33} \end{bmatrix}}{\Delta_R} \quad \text{με } \Delta_R \neq 0$$

Από όλα τα παραπάνω γίνεται φανερό πως η παραπάνω διαδικασία που ακολουθήσαμε αποτελεί στην πράξη τον κανόνα του Cramer και όμοια έχουμε:

$$I_2 = \frac{\begin{bmatrix} \pm R_{11} & \pm V_1 & \pm R_{13} \\ \pm R_{21} & \pm V_2 & \pm R_{23} \\ \pm R_{31} & \pm V_3 & \pm R_{33} \end{bmatrix}}{\Delta_R}$$

$$I_3 = \frac{\begin{bmatrix} \pm R_{11} & \pm R_{12} & \pm V_1 \\ \pm R_{21} & \pm R_{22} & \pm V_2 \\ \pm R_{31} & \pm R_{32} & \pm V_3 \end{bmatrix}}{\Delta_R}$$

Αριθμητικό παράδειγμα

Έστω οι παρακάτω εξησώσεις:

$$3\Omega I_1 + 2\Omega I_2 + 1\Omega I_3 = 1V$$

$$1\Omega I_1 + 1\Omega I_2 + 1\Omega I_3 = 2V$$

$$1\Omega I_1 + 1\Omega I_3 = 5V$$

Λύση:

Προσδιορίζουμε την τιμή του πίνακα  $\Delta$

$$\Delta = \begin{bmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} = 3 \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - 2 \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} + 1 \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \Delta = 2$$

Υπολογίζουμε τις ορίζουσες  $\Delta_{I_1}, \Delta_{I_2}, \Delta_{I_3}$

$$\Delta_{I_1} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 1 \\ 5 & 0 & 1 \end{bmatrix} = 2$$



$$\Delta_{I_2} = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 5 & 1 \end{bmatrix} = -6$$

$$\Delta_{I_3} = \begin{bmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & 5 \end{bmatrix} = 8$$

και έπειτα προσδιορίζουμε την τιμή των ρευμάτων  $I_1, I_2, I_3$

$$I_1 = \frac{\Delta_{I_1}}{\Delta} \Rightarrow I_1 = \frac{2}{2} \Rightarrow I_1 = 1 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{\Delta_{I_2}}{\Delta} \Rightarrow I_2 = \frac{-6}{2} \Rightarrow I_2 = -3 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{\Delta_{I_3}}{\Delta} \Rightarrow I_3 = \frac{8}{2} \Rightarrow I_3 = 4 \text{ A}$$



# Εργαστήριο Κυκλωμάτων και Συστημάτων «Εργαστηριακό μέρος»

## Πίνακας περιεχομένων

Εργαστηριακή Άσκηση 1 - Μετρήσεις τάσεων και ρευμάτων με χρήση ψηφιακού πολύμετρου .....	166
Εργασία 1 - Μέτρηση αντίστασης .....	166
Εργασία 2 - Νόμος του Ohm .....	167
Εργασία 3 - Διαιρέτης τάσης .....	170

Εργασία 4 - Διαιρέτης Ρεύματος .....	172
Εργαστηριακή Άσκηση 2 - Μετρήσεις τάσεων και ρευμάτων με χρήση ψηφιακού πολύμετρου .....	174
Εργασία 1 – Ποτενσιόμετρο .....	174
Εργασία 2 - Μέτρηση πολικής τάσης και τάσης υπο φορτίο AC πηγής .....	176
Εργασία 3 - Διαιρέτης τάσης στο AC .....	179
Εργασία 4 - Διαιρέτης ρεύματος στο AC .....	181
Εργαστηριακή Άσκηση 3 - Μετρήσεις με τον παλμογράφο. Απεικόνιση χρονικά μεταβαλλόμενων σημάτων .....	183
Εργασία 1 – Μέτρηση DC τάσης .....	183
Εργασία 2 - Μέτρηση AC τάσης .....	185
Εργασία 3 - Μετρήσεις εναλλασσόμενης (AC) τάσης με συνεχή (DC) .....	187
Εργασία 4 - Παραγωγή οπτικού και ακουστικού σήματος .....	188
Εργαστηριακή Άσκηση 4 - Κυκλώματα RC .....	192
Εργασία 1 – Κύκλωμα ολοκλήρωσης RC .....	192
Εργασία 2 - Φίλτρο RC, διέλευσης Χαμηλών Συχνοτήτων .....	197
Εργασία 3 - Φίλτρο RC, διέλευσης Υψηλών Συχνοτήτων .....	200
Εργαστηριακή Άσκηση 5 - Μελέτη διόδου (επαφή PN) με την χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος Multisim .....	203
Εργασία 1 – Ορθή πόλωση διόδου .....	203
Εργασία 2 – Ημιανορθωτής .....	206
Παράρτημα εργαστηρίου .....	209
Χρωματικός κώδικας αντιστατών .....	210
Breadboard .....	214
Γείωση .....	219
Πολύμετρο .....	223
Τροφοδοτικό .....	233
Γεννήτρια Σήματος .....	239
Παλμογράφος .....	250



## 1

# Μετρήσεις τάσεων και ρευμάτων με χρήση ψηφιακού πολύμετρου

Προετοιμασία: Για την υλοποίηση της άσκησης κρίνεται αναγκαία η μελέτη του παραρτήματος του χρωματικού κώδικα αντιστάτων, του πολύμετρου, του breadboard και του τροφοδοτικού. Από το θεωρητικό μέρος μελετήστε την ενότητα του αντιστάτη, του διαιρέτη τάσης και του διαιρέτη ρεύματος.

Όνομα:..... Επίθετο:.....  
ΑΜ.....

## Εργασία 1



### Μέτρηση αντίστασης

Σκοπός της εργασίας είναι ο προσδιορισμός της τιμής τριών αντιστάσεων, μετρώντας τους αντιστάτες με Ωμόμετρο και χρησιμοποιώντας τον χρωματικό κώδικα.

#### Πειραματικό μέρος

Όργανα-Υλικά: ; ένα πολύμετρο, τρεις αντιστάτες

- 1) Ενεργοποιήστε το πολύμετρο, συνδέστε σε αυτό τα συνδετικά καλώδια και μετακινήστε τον περιστροφικό διακόπτη στην περιοχή μετρήσεων  $\Omega$ .
- 2) Μετρήστε τις τιμές των αντιστάσεων τοποθετώντας τους ακροδέκτες των συνδετικών καλωδίων του πολύμετρου στα άκρα του κάθε αντιστάτη. Καταγράψτε τις τιμές στον παρακάτω Πίνακα 4.
- 3) Κατόπιν, υπολογίστε την ονομαστική τιμή τους (λαμβάνοντας υπόψη την ανοχή)

	Μετρούμενη τιμή	Ονομαστική τιμή ( $\pm$ ανοχή)	Χρωματιστές λωρίδες
R1			
R2			
R3			

χρησιμοποιώντας τον χρωματικό κώδικα και καταγράψτε τις τιμές στην αντίστοιχη στήλη του Πίνακα 1.

## Πίνακας 4 , Καταγραφή τιμών αντιστάσεων

#σωστή\_επιλογή\_εισόδων\_πολύμετρου #πρόθεμα\_μονάδων #κατάλληλη\_κλίμακα\_ωμόμετρου

-----

Συμβουλευτείτε το παράρτημα του πολύμετρου και του  
χρωματικού κώδικα αντιστάτων.

-----

- 4) Συμπίπτουν οι ονομαστικές τιμές των αντιστάσεων με τις μετρούμενες; Αν εντοπίζετε απόκλιση, πού οφείλεται αυτή; •Ποια από τις δύο τιμές αποτελεί την τρέχουσα πραγματική;

Απάντηση:.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## Εργασία 2



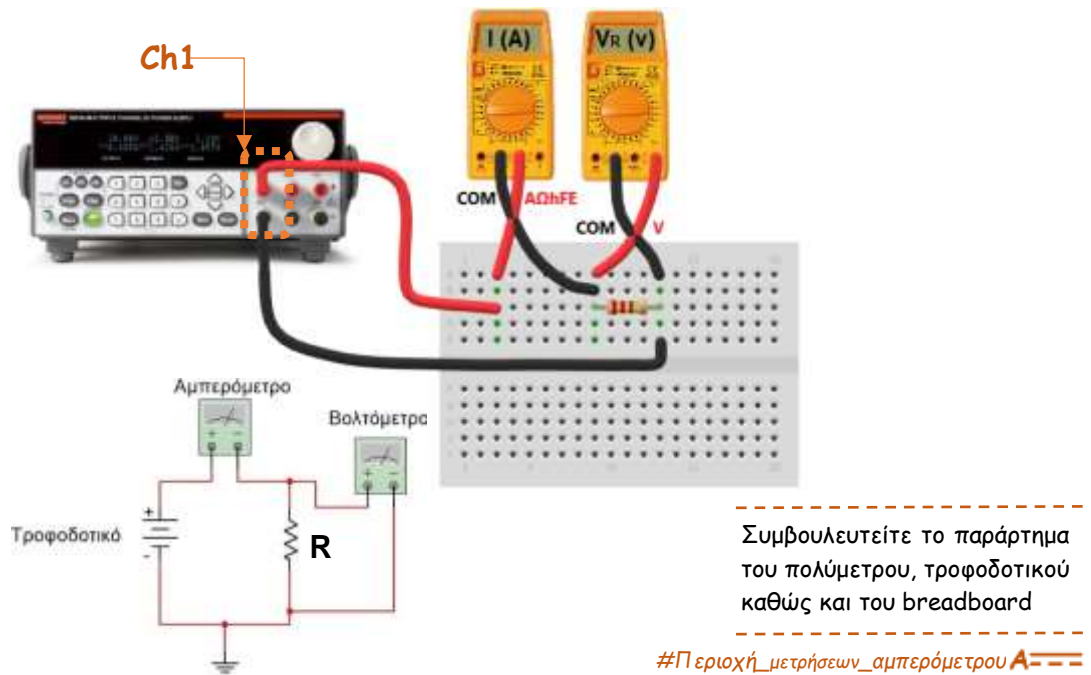
### Νόμος του Ohm

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εξοικείωσή σας με τη σύνδεση του πολύμετρου ως βολτόμετρο-αμπερόμετρο, ενώ μετρώντας την τάση και το ρεύμα που διαρρέει έναν αντιστάτη θα προσδιορίσετε την τιμή του από την αντίστοιχη χαρακτηριστική καμπύλη έντασης-τάσης.

#### Πειραματικό μέρος

**Όργανα-Υλικά:** δύο πολύμετρα, μια αντίσταση  $220 \Omega$ , τροφοδοτικό, breadboard, καλώδια οργάνων/μονόκλινα

- 1) Υλοποιήστε τη συνδεσμολογία του παρακάτω κυκλώματος (Σχήμα 198)



Σχήμα 198 , μέτρηση τάσης και ρεύματος σε ένα αντιστάτη

2) Μεταβάλλετε διαδοχικά την τάση του τροφοδοτικού μέχρι να πετύχετε αντίστοιχες ενδείξεις βολτομέτρου σύμφωνα με τις τιμές της στήλης "Ζητούμενη VR" του Πίνακα 5.

☞ Παράλληλα, καταγράψτε την επιτεύξιμη τιμή της πτώσης τάσης στα άκρα της αντίστασης ( $V_R$ , οθόνη βολτόμετρου), την τιμή του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα ( $I$ , οθόνη αμπερομέτρου), και υπολογίστε την τρέχουσα τιμή της από το νόμο του Ohm συμπληρώνοντας τις αντίστοιχες στήλες του Πίνακα 5.

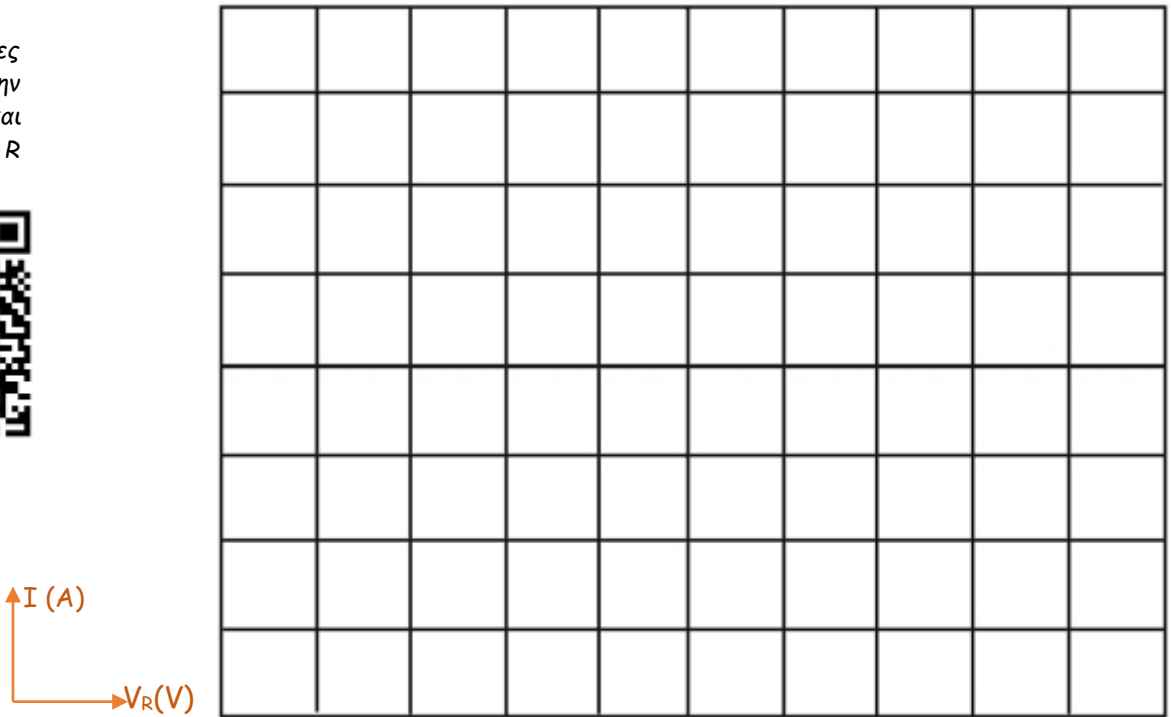
Ζητούμενη VR (V)	Επιτεύξιμη VR (V)- (μετρούμενη)	I(mA)	R= VR/I
1			
2			
3			
4			
5			

Πίνακας 5 , τιμές τάσης και ρεύματος του αντιστάτη

#σωστή\_επιλογή\_εισόδων\_πολύμετρου\_για\_χρήση\_βολτόμετρου/αμπερόμετρου  
 #σωστή\_σύνδεση\_βολτόμετρου/αμπερόμετρου #κατάλληλη\_κλίμακα\_οργάνου  
 (ακρίβεια)\_περιοχή\_μεγέθους

3) Από τις μετρήσεις που καταγράψατε στον προηγούμενο πίνακα, σχεδιάστε (Σχήμα 199) σε βαθμονομημένους άξονες την καμπύλη  $I=\sigma(V_R)$ .

Για πληροφορίες σχετικά με την καμπύλη  $I-V$  και υπολογισμού της  $R$  σκανάρετε εδώ:



Σχήμα 199 , καμπύλη  $I=\sigma (VR)$

- 4) Από την καμπύλη που σχεδιάσατε, υπολογίστε την τιμή της αντίστασης  $R$ . Μετά από αυτό, χρησιμοποιήστε τον χρωματικό κώδικα για να υπολογίσετε την ονομαστική τιμή της.

R:..... Ron:.....  
 .....

- 5) Συγκρίνοντας τις δύο παραπάνω τιμές, η τιμή που υπολογίσατε προσεγγίζει αυτήν της ονομαστικής; Τι παρατηρείτε και πού μπορεί να οφείλεται αυτό;

Απάντηση:.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....



# Εργασία 3



## Διαιρέτης τάσης

Σκοπός: της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη του διαιρέτη τάσης. Πώς δηλαδή η τάση της πηγής μπορεί να διαιρεθεί κατά βούληση πάνω στους δύο αντιστάτες (πτώση τάσης ανάλογη της τιμής τους). Ύστερα, χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες σχέσεις θα επαληθεύσουμε τον κανόνα του διαιρέτη.

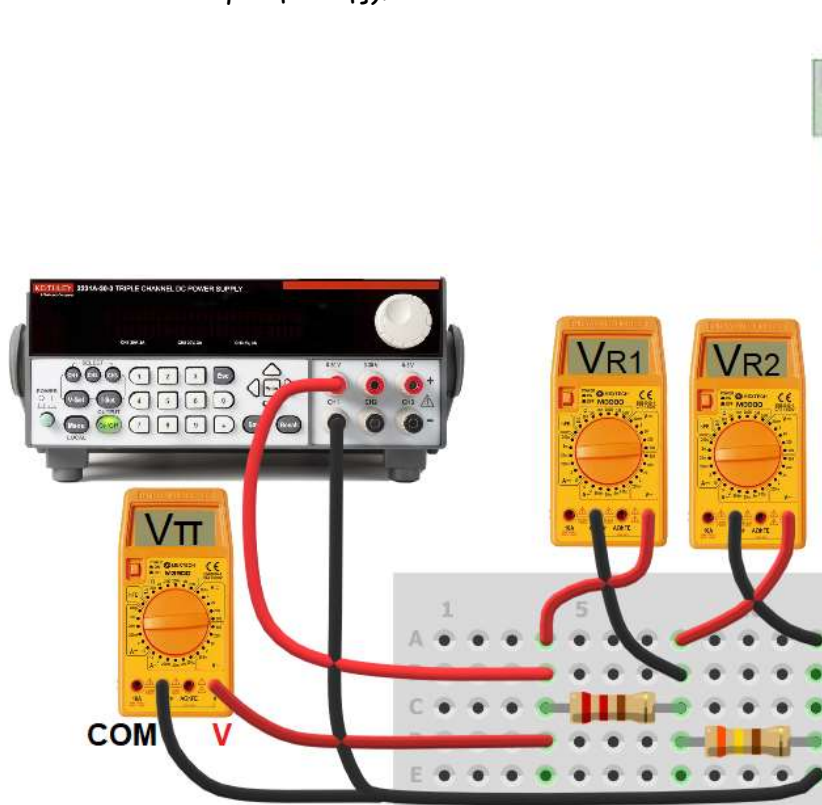
### Πειραματικό μέρος

Όργανα-Υλικά: τρία πολύμετρα, δύο αντιστάτες ( $R_1=1K\Omega$ ,  $R_2=220\Omega$ ), τροφοδοτικό, breadboard, καλώδια οργάνων/μονόκλινα

- 1) Μετρήστε και καταγράψτε τις τιμές των δύο αντιστάσεων

R<sub>1</sub>:..... R<sub>2</sub>:.....

- 2) Πραγματοποιήστε το κύκλωμα του Σχήμα 200 (της πιο απλής μορφής του διαιρέτη τάσης).



Συμβουλευτείτε το παράρτημα του πολύμετρου, τροφοδοτικού, breadboard και τη θεωρητική ενότητα του διαιρέτη τάσης.

Σχήμα 200 , κύκλωμα διαιρέτη τάσης



## Εργασία 4



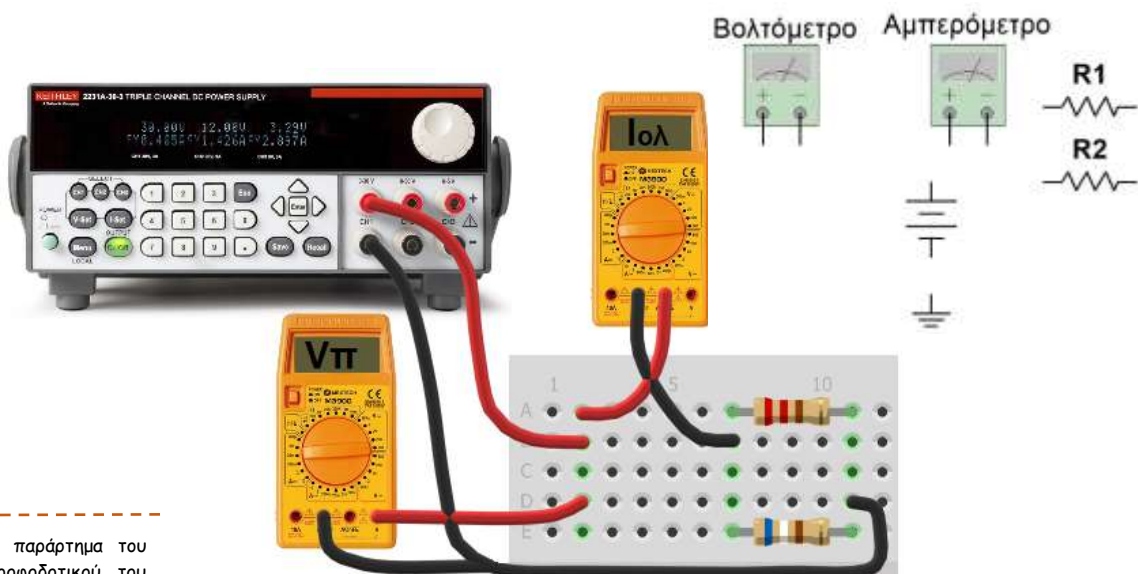
### Διαιρέτης Ρεύματος

Σκοπός: της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της πιο απλής μορφής ενός διαιρέτη ρεύματος ο οποίος συνήθως χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό του ρεύματος της πηγής σε μικρότερης τιμής ρεύματα. Τέλος, θα επαληθεύσουμε θεωρητικά τις μετρούμενες τιμές των δύο ρευμάτων.

#### Πειραματικό μέρος

**Όργανα-Υλικά:** δύο πολύμετρα, δύο αντιστάσεις ( $R_1=1K\Omega$ ,  $R_2=220\Omega$ ), τροφοδοτικό, breadboard, καλώδια οργάνων/μονόκλινα

- 1) Πραγματοποιήστε το κύκλωμα (Σχήμα 201) της πιο απλής μορφής του διαιρέτη ρεύματος και ολοκληρώστε τη συνδεσμολογία του σχεδιασμένου κυκλώματος.



Συμβουλευτείτε το παράρτημα του πολύμετρου, του τροφοδοτικού, του breadboard και τη θεωρητική ενότητα του διαιρέτη ρεύματος.

Σχήμα 201 , κύκλωμα διαιρέτη ρεύματος

*#σωστή\_σύνδεση\_βολτόμετρου/αμπερόμετρου*

- 2) Τροφοδοτήστε το κύκλωμα με συνεχή τάση περίπου 5V, καταγράψτε την τάση αυτή καθώς και την τιμή του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.

Vπ:..... I: .....

- 3) Χρησιμοποιώντας τον νόμο του Ohm υπολογίστε το ρεύμα που διαρρέει τον κάθε αντιστάτη.

$$I_{R1}: \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$$I_{R2}: \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

- 4) Εκμεταλλευόμενοι/ες την τιμή του ολικού ρεύματος που μετρήσατε προηγουμένως, υπολογίστε το ρεύμα που διαρρέει τον κάθε αντιστάτη χρησιμοποιώντας τον κανόνα του διαιρέτη ρεύματος.

$$I_{R1}: \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$$I_{R2}: \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

*#μην\_χρησιμοποιήσετε\_ονομαστικές\_τιμές\_αντιστάσεων*

- 5) Οι τιμές που υπολογίσατε χρησιμοποιώντας τον νόμο του Ohm προσεγγίζουν τις δύο παραπάνω τιμές; Τι παρατηρείτε; Δικαιολογήστε την απάντησή σας;

Απάντηση:.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

## 2

## Μετρήσεις τάσεων και ρευμάτων με χρήση ψηφιακού πολύμετρου

Προετοιμασία: Για την υλοποίηση της άσκησης κρίνεται αναγκαία η μελέτη του παραρτήματος του χρωματικού κώδικα αντιστάτων, του πολύμετρου, του breadboard και του τροφοδοτικού. Από το θεωρητικό μέρος μελετήστε την ενότητα του αντιστάτη, του διαιρέτη τάσης και του διαιρέτη ρεύματος.

Όνομα:..... Επίθετο:.....  
ΑΜ.....

### Εργασία 1



#### Ποτενσιόμετρο

Σκοπός της εργασίας είναι η εξέταση του ποτενσιόμετρου ως διαιρέτη τάσης και πιο συγκεκριμένα η ρύθμιση της τάσης εξόδου του. Γυρνώντας τον περιστροφικό επιλογέα του ποτενσιόμετρου μεταβάλλεται και η αντίσταση εξόδου. Αφού ολοκληρώσετε τη μέτρηση της τάσης μεταξύ του δρομέα του ποτενσιόμετρου (σύμβολο-βελάκι) και της γείωσης, θα χρησιμοποιήσετε τον κανόνα του διαιρέτη τάσης για να εξαγάγετε την τιμή της αντίστασης εξόδου.

#### Πειραματικό μέρος

**Όργανα-Υλικά:** δύο πολύμετρα, ένα ποτενσιόμετρο, τροφοδοτικό, breadboard, καλώδια οργάνων/μονόκλινα

1) Μετρήστε τη μέγιστη τιμή της αντίστασης του ποτενσιόμετρου

$R_1$ :.....

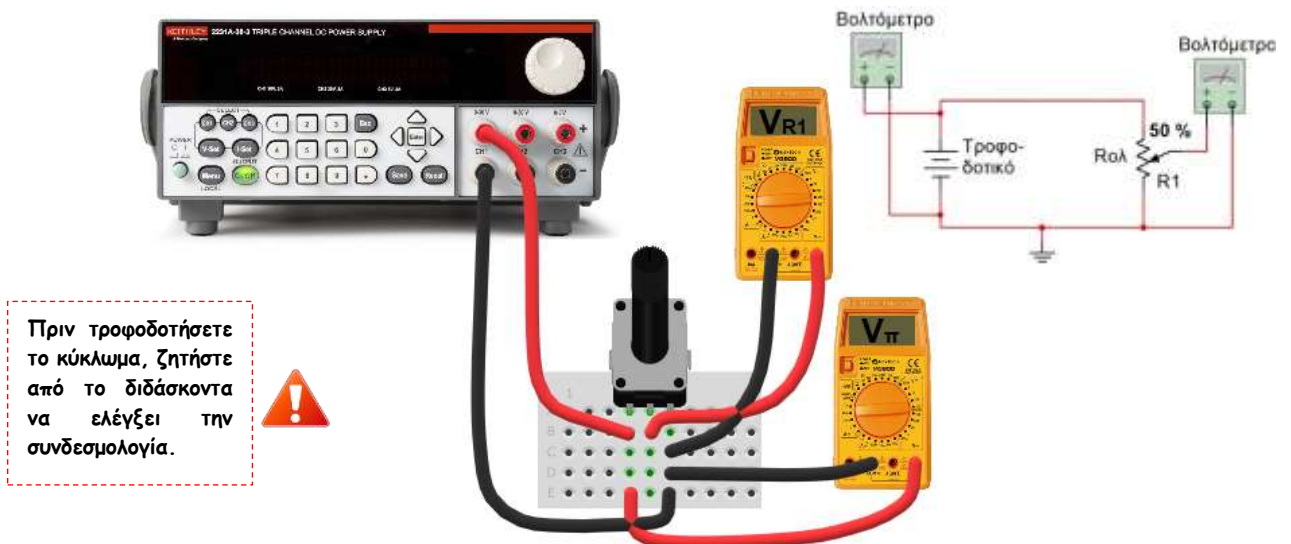
\*Επίσης η μέγιστη τιμή, αναγράφεται πάνω στο εξάρτημα, ελέγξτε το



Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το ποτενσιόμετρο σκανάρτε εδώ:



- 2) Υλοποιήστε τη συνδεσμολογία του παρακάτω κυκλώματος (Σχήμα 202)



Σχήμα 202 , συνδεσμολογία ποτενσιόμετρου

- 3) Ρυθμίστε την τάση τροφοδοσίας περίπου στα 5V (τροφοδοτικό) και τοποθετήστε τον δρομέα του ποτενσιόμετρου σε μια ενδιάμεση θέση.
- 4) Καταγράψτε τις ενδείξεις των πολυμέτρων ( $V_{\pi}$ ,  $V_{R1}$  αντίστοιχα)

$V_{\pi}$ :.....

- 5) Αν η μέγιστη τιμή της αντίστασης του ποτενσιόμετρου είναι 25K $\Omega$  (μπορεί να είναι 10K $\Omega$  ή και 22K $\Omega$  αναγράφεται πάνω στο εξάρτημα, ελέγξτε το), υπολογίστε, χρησιμοποιώντας τον κανόνα του διαιρέτη τάσης, την τιμή της R1 (μέτρηση δρομέας-νη).

R1:.....

- 6) Αποσυνδέστε την πηγή από το κύκλωμα χωρίς να μετακινήσετε το δρομέα. Χρησιμοποιήστε το ομόμετρο για να μετρήσετε την τιμή της R1. Καταγράψτε την τιμή αυτή και συγκρίνετέ την με την τιμή που υπολογίσατε προηγουμένως. Τι

παρατηρείτε; Τι συμβαίνει στην αντίσταση όταν μετακινείτε τον δρομέα σε κάθε άκρο;

$R_{1\text{μετρ}}$ :.....  
 .....  
 .....  
 .....

## Εργασία 2



### Μέτρηση πολικής τάσης και τάσης υπο φορτίο AC πηγής

Σκοπός της εργασίας είναι ο έμμεσος προσδιορισμός της εσωτερικής αντίστασης της AC πηγής εκμεταλλευόμενοι το θεώρημα Thèvenin και τον κανόνα του διαιρέτη τάσης.

#### Πειραματικό μέρος

**Όργανα-Υλικά:** ένα πολύμετρο, μια αντίσταση ( $R_L=220\Omega$ ), AC γεννήτρια, breadboard, καλώδια οργάνων/μονόκλινα

7) Μετρήστε τη τιμή της αντίστασης  $R_L$

$R_L$ :.....

8) Συνδέστε απευθείας το βολτόμετρο στην έξοδο της γεννήτριας και τροφοδοτήστε το με αρμονικά μεταβαλλόμενο και εναλλασσόμενο συνεχές σήμα (μηδενικής DC συνιστώσας) της μορφής- χαρακτηριστικών:

$$V_{\pi} = 0 + \sqrt{2} \cdot \sin(2\pi \cdot 100 \cdot t)$$

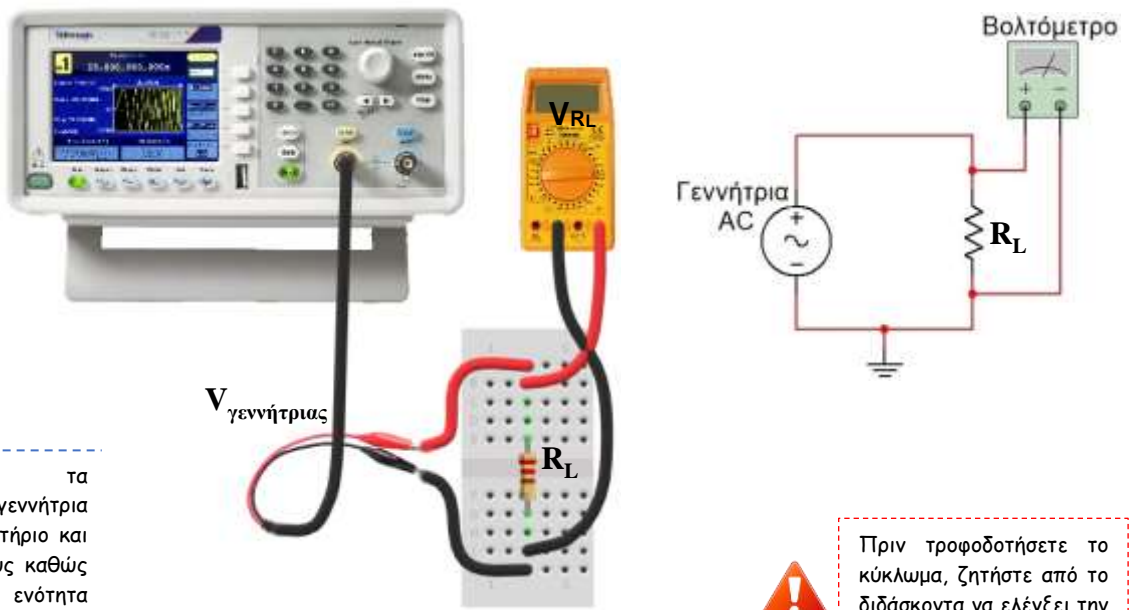
 Καταγράψτε την ένδειξη του πολύμετρου (τάση ανοιχτού κυκλώματος).

Ποιο μέγεθος της τάσης μετρά το πολύμετρο;

$V_{\pi\text{μετρ}}$ :.....  
 .....  
 .....  
 .....

9) Κατόπιν, πραγματοποιήστε την συνδεσμολογία του παρακάτω κυκλώματος (Σχήμα 203) χωρίς να μεταβάλετε τις ρυθμίσεις της γεννήτριας AC που κάνατε προηγουμένως.





Συμβουλευτείτε τα παραρτήματα: γεννήτρια AC/Σήματα στο εργαστήριο και τα χαρακτηριστικά τους καθώς και την θεωρητική ενότητα Θ.Thevenin/Norton

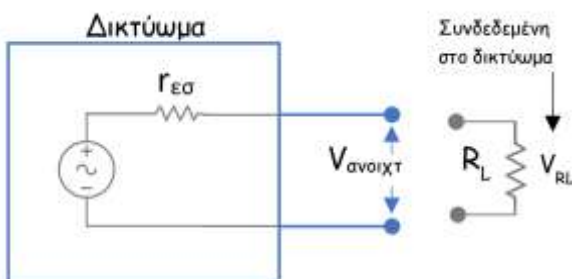
**!** Πριν τροφοδοτήσετε το κύκλωμα, ζητήστε από το διδάσκοντα να ελέγξει την συνδεσμολογία.

Σχήμα 203 , κύκλωμα έμμεσου προσδιορισμού εσωτερικής αντίστασης της πηγής

10) Καταγράψτε την ένδειξη του βολτομέτρου

$V_{RL}$ :.....

11) Χρησιμοποιώντας την τάση ανοιχτού κυκλώματος και την πτώση τάσης στα άκρα του φορτίου, υπολογίστε την τιμή της εσωτερικής αντίστασης ( $r_{εσ}$  της γεννήτριας).



.....

.....

.....

.....

.....  $r_{εσ}$  : .....

- 12) Σχεδιάστε το ισοδύναμο κατά Thévenin/Norton της γεννήτριας και καταγράψτε τις τιμές με τους αντίστοιχους υπολογισμούς των  $V_{th}$ ,  $R_{th}$ ,  $I_{nort}$ ,  $R_{nort}$ .

Ισοδύναμο κατά Thévenin

Ισοδύναμο κατά Norton

$V_{th}$ : .....  $R_{th}$ : .....

$I_{nort}$ : .....  $R_{nort}$ : .....

## Εργασία 3



### Διαιρέτης τάσης στο AC

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη του διαιρέτη τάσης στο AC και η διερεύνηση της επαλήθευσης του κανόνα.

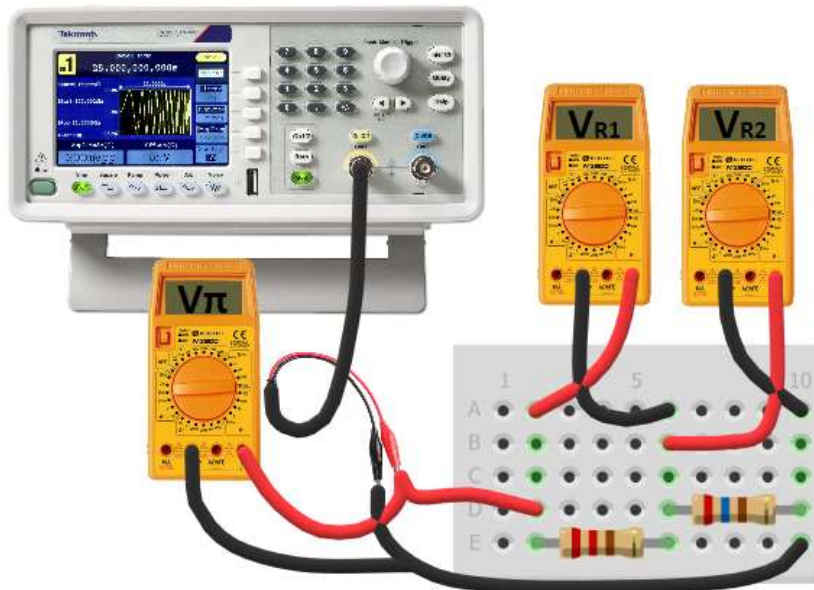
#### Πειραματικό μέρος

Όργανα-Υλικά: τρία πολύμετρα, δύο αντιστάσεις ( $R_1=1\text{K}\Omega$ ,  $R_2=220\Omega$ ), AC γεννήτρια, breadboard, καλώδια οργάνων/μονόκλιωνα

- 1) Μετρήστε τις τιμές των αντιστάσεων  $R_L$

$R_1$ :.....  $R_2$ :.....

- 2) Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του διαιρέτη AC τάσης (Σχήμα 204)



Σχήμα 204 , κύκλωμα διαιρέτη τάσης

- 3) Ενεργοποιήστε τη γεννήτρια, επιλέξτε ημιτονικό σήμα 50Hz και αυξομειώστε το πλάτος του μέχρις ότου έχετε ένδειξη στο βολτόμετρο εισόδου ( $V_{\pi}$ ) 1V. Έπειτα, καταγράψτε την πτώση τάσης στα άκρα κάθε αντίστασης.

$V_{R1}$ :.....

- 4) Χρησιμοποιώντας τον κανόνα του διαιρέτη τάσης, υπολογίστε την πτώση τάσης σε κάθε αντίσταση.

$V_{R1}$ : ..... = .....  
.....  
 $V_{R2}$ : ..... = .....

- 5) Συγκρίνετε τις τιμές των πτώσεων τάσης που υπολογίσατε προηγουμένως με εκείνες που μετρήσατε. Παρατηρείτε να επαληθεύεται ο κανόνας του διαιρέτη τάσης και στο AC; Υπάρχει κάποιος περιορισμός; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

Απάντηση: .....  
.....  
.....  
.....

#Κατανεμημένα\_Συγκεντρωμένα\_Η.Κ.

# Εργασία 4



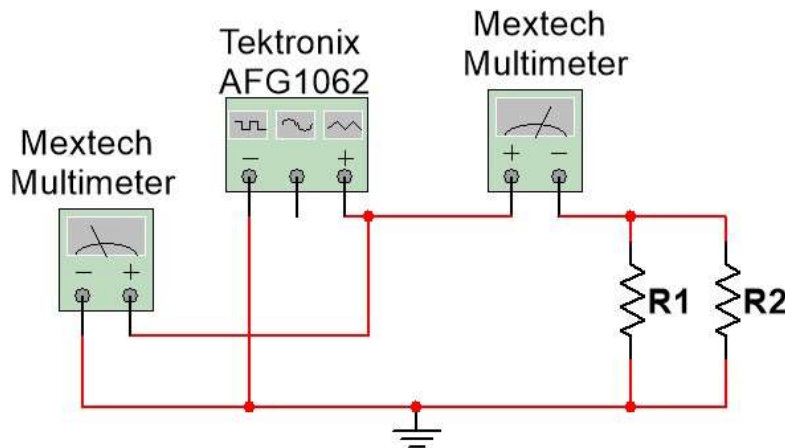
## Διαιρέτης ρεύματος στο AC

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη του διαιρέτη ρεύματος στο AC

Πειραματικό μέρος

Όργανα-Υλικά: δυο πολύμετρα, δύο αντιστάσεις ( $R_1=1K\Omega$ ,  $R_2=220\Omega$ ), AC γεννήτρια, breadboard, καλώδια οργάνων/μονόκλινα

1) Πραγματοποιήστε την συνδεσμολογία του σχηματικού που ακολουθεί (Σχήμα 205)



Πριν τροφοδοτήσετε το κύκλωμα, ζητήστε από το διδάσκοντα να ελέγξει την συνδεσμολογία.

Σχήμα 205 , κύκλωμα διαιρέτη ρεύματος

*#αωστή\_σύνδεση\_βολτόμετρου\_αμπερόμετρου #αωστή\_επιλογή\_εισόδων\_πολύμετρου*

2) Ρυθμίστε την τάση εξόδου της γεννήτριας σε περίπου 5 V. Καταγράψτε την ένδειξη του βολτομέτρου ώστε να μετρήσετε ακριβώς την τάση τροφοδοσίας του κυκλώματος. Έπειτα καταγράψτε (ένδειξη αμπερόμετρου) την τιμή του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.

$V_{\pi, \text{μετρούμενο}}$ : .....  $I_{\text{ολ}}$ : .....



## 3

## Μετρήσεις με τον παλμογράφο. Απεικόνιση χρονικά μεταβαλλόμενων σημάτων

Προετοιμασία: Για την υλοποίηση της άσκησης θα πρέπει να μελετήσετε εκτενώς το παράρτημα χρήσης του παλμογράφου καθώς και της γεννήτριας AC. Από την θεωρία μελετήστε την ενότητα των εναλλασσόμενων σημάτων.

Όνομα:..... Επίθετο:.....  
ΑΜ.....

### Εργασία 1



#### Μέτρηση DC τάσης

Σκοπός της εργασίας είναι η εξοικείωσή σας με την χρήση του παλμογράφου, τον οποίο και θα χρησιμοποιήσετε για την μέτρηση ενός σήματος συνεχούς (DC) τάσης.

#### Πειραματικό μέρος

Όργανα-Υλικά: τροφοδοτικό, παλμογράφος, καλώδια μεταξύ τους διασύνδεσης







- 1) Συνδέστε το Ch1 του τροφοδοτικού με το αντίστοιχο κανάλι του παλμογράφου (Σχήμα 206)



#σύνδεση\_γείωσης\_οργάνων

Συμβουλευτείτε το παράρτημα του παλμογράφου και του τροφοδοτικού

Σχήμα 206 , σύνδεση τροφοδοτικού με παλμογράφο

- 2) Ενεργοποιήστε το τροφοδοτικό και θέστε τάση εξόδου (Ch1) σε πλάτος περίπου 5V  
 Power ► Ch1 ► Θέτουμε τιμή τάσης (πληκτρολόγιο-enter)
- 3) Ενεργοποιήστε τον παλμογράφο με "καθαρή εκκίνηση"  
 On (Button) ► Default Setup
- 4) Ενεργοποιήστε την έξοδο του τροφοδοτικού ( OUTPUT On/Off) και περιστρέψτε το κουμπί πολλαπλών λειτουργιών για να αυξομειώσετε την τάση εξόδου του   
 Παρατηρήστε στην οθόνη του παλμογράφου το πώς μεταβάλλεται η δέσμη του
- 5) Ορίζουμε το επίπεδο αναφοράς ( δείκτης αναφοράς) σε κάποια θέση στην οθόνη του παλμογράφου το οποίο θα αντιστοιχεί στα 0V.  
 Πλήκτρο 1 (menu Ch1) x 2 φορές (να βλέπουμε και το μενού και το σήμα)  
 ► Πλήκτρο που αντιστοιχεί στο Coupling (αλλάζουμε από DC σε Ground περιστρέφοντας τον περιστροφικό επιλογέα και έπειτα πιέζοντάς τον) ► Περιστρέφουμε το Position του καναλιού επιλέγοντας την θέση του δείκτη/επιπέδου αναφοράς ► Coupling (αλλάζουμε από GND σε DC)
- 6) Θέστε τάση εξόδου (Ch1) στο τροφοδοτικό πλάτους +5V
- 7) Περιστρέψτε το Scale (Ch1) αν απαιτείται.

Η τιμή της τάσης αντιστοιχεί στην μετατόπιση της δέσμης (λειτουργία Coupling DC) από το επίπεδο αναφοράς που ορίσαμε (λειτουργία Coupling GND) Υπολογίστε (και επιβεβαιώστε) την τιμή της τάσης:

$$(\dots\dots\dots V/Div) \times (\dots\dots\dots Div) = \dots\dots\dots V \quad (V_{pp})$$

.....

.....

- 8) Λάβετε από την έξοδο του τροφοδοτικού -5V. Υπολογίστε (και επιβεβαιώστε) την τιμή της τάσης. Πώς αντιλαμβανόμαστε από την ένδειξη του παλμογράφου πως η μετρούμενη τάση είναι αρνητική;

$$(\dots\dots\dots V/Div) \times (\dots\dots\dots Div) = \dots\dots\dots V \quad (V_{pp})$$

.....

.....





## Εργασία 2



### Μέτρηση AC τάσης

Σκοπός της εργασίας είναι η παρατήρηση ενός AC σήματος σε παλμογράφο καθώς και η σωστή σχεδίασή του.

#### Πειραματικό μέρος

**Όργανα-Υλικά:** γεννήτρια, παλμογράφος, καλώδια μεταξύ τους διασύνδεσης








- 1) Συνδέστε το Ch1 της AC γεννήτριας με το αντίστοιχο κανάλι του παλμογράφου (Σχήμα 207)



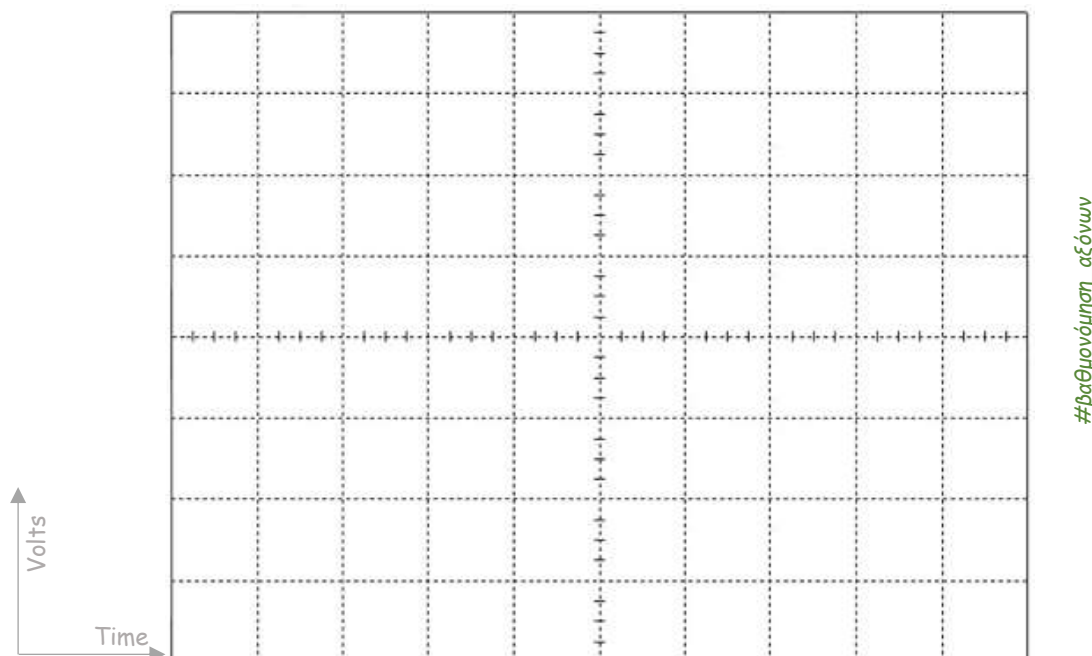
*#σύνδεση\_γείωσης\_οργάνων*

Συμβουλευτείτε το παράρτημα του παλμογράφου και της γεννήτριας`

#### Σχήμα 207 , σύνδεση γεννήτριας με παλμογράφο

- 2) Ενεργοποιήστε τον παλμογράφο με "καθαρή εκκίνηση"
- 3) Ενεργοποιήστε την γεννήτρια (διακόπτης On/Off) και ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα για την παραγωγή ημιτονικού σήματος:
  -  Πιέστε τον διακόπτη Sine (παραγωγή ημιτονικής κυματομορφής)
  -  Πιέστε τον διακόπτη Ch1/2 ώστε να εμφανιστεί στην οθόνη η ένδειξη "CH 1"
  -  Πιέστε τον διακόπτη επιλογής που αντιστοιχεί στην ένδειξη "Freq" και **θέστε συχνότητα 1KHz**
  -  Έπειτα πιέστε τον διακόπτη που αντιστοιχεί στην ένδειξη "Ampl" και **θέστε πλάτος τάσης 1V (V0)**
  -  Βεβαιωθείτε πως η λειτουργία εισαγωγής Offset είναι 0V
  -  Πιέστε τον διακόπτη Mod και στην συνέχεια τον διακόπτη επιλογής που αντιστοιχεί στην ένδειξη "Continuous"
  -  Τέλος, ενεργοποιήστε την έξοδο του καναλιού Ch1 πιέζοντας το διακόπτη On/Off

- 4) Πιέστε στον παλμογράφο το διακόπτη AUTOSET και αυξομειώστε τους περιστροφικούς διακόπτες Scale-Position (Vertical και Horizontal), ώστε να εκμεταλλευτείτε το μέγιστο δυνατό της οθόνης του παλμογράφου για την απεικόνιση του σήματος.
- ☞ Για λεπτομερέστερη ρύθμιση σε δεκαδική κλίμακα των V/Div τότε: menu (Ch1) → πιέστε το κουμπί που αντιστοιχεί στην ένδειξη Volts/Divs → μεταβάλετε την ένδειξη coarse σε fine περιστρέφοντας και έπειτα πιέζοντας τον περιστροφικό επιλογέα πολλαπλών λειτουργιών
- 5) Αποτυπώστε την κυματομορφή του σήματος από την οθόνη του παλμογράφου στο πλέγμα που ακολουθεί (Σχήμα 208) βαθμονομώντας τους άξονες και σημειώνοντας τις κλίμακες που θέσατε σε κάθε άξονα Scale (Vertical και Horizontal)



Scale (Vertical):..... V/Div

Scale (Horizontal):..... sec/Div

Σχήμα 208 , πλέγμα αποτύπωσης οθόνης παλμογράφου

- 6) Αυξομειώστε το πλάτος της τάσης και την συχνότητα του σήματος από την γεννήτρια και παρατηρήστε τις μεταβολές στην οθόνη του παλμογράφου.

## Εργασία 3









### Μετρήσεις εναλλασσόμενης (AC) τάσης με συνεχή (DC)

Σκοπός της εργασίας είναι η παρατήρηση της επίδρασης DC συνιστώσας σε σήμα AC

Πειραματικό μέρος

**Όργανα-Υλικά:** γεννήτρια, παλμογράφος, καλώδια μεταξύ τους διασύνδεσής

- 7) Διατηρήστε τόσο την προηγούμενη συνδεσμολογία (Σχ.2) όσο και τα ίδια χαρακτηριστικά του παραγόμενου σήματος της γεννήτριας ( $V_0=1V$ ,  $f=1KHz$ ) ενώ απενεργοποιήστε την έξοδό της (On/Off Ch1)
- 8) Εισαγάγετε Offset στο παραγόμενο σήμα της γεννήτριας περίπου 2V
  -  Πιέστε τον διακόπτη επιλογής που αντιστοιχεί στην ένδειξη "Offset"
    - Χρησιμοποιήστε είτε τον περιστροφικό διακόπτη αυξομείωσης είτε το πληκτρολόγιο για να θέσετε την τιμή
- 9) Ορίζουμε το επίπεδο αναφοράς ( δείκτης αναφοράς) σε κάποια θέση στην οθόνη του παλμογράφου το οποίο θα αντιστοιχεί στα 0V.
  -  Πιέζουμε το Πλήκτρο Menu 1 (Ch1) (να βλέπουμε και το μενού και το σήμα) ► Από τα πλήκτρα Menu πιέζουμε αυτό που αντιστοιχεί στην ένδειξη "Coupling" και περιστρέφουμε τον διακόπτη πολλαπλών λειτουργιών (Multiurpose) για να μεταβούμε στην ένδειξη "Ground".
  -  Αυξομειώνουμε στην συνέχεια τον περιστροφικό διακόπτη position του Ch1 (Vertical) ώστε να θέσουμε στην οθόνη του παλμογράφου το επίπεδο αναφοράς.
- 10) Ορίστε ως τύπο σύζευξης την "DC Coupling"
  -  Πιέζουμε το Πλήκτρο Menu 1 (Ch1) (να βλέπουμε και το μενού και το σήμα) ► Από τα πλήκτρα Menu πιέζουμε αυτό που αντιστοιχεί στην ένδειξη 'Coupling' και περιστρέφουμε τον διακόπτη πολλαπλών λειτουργιών (Multiurpose) για να μεταβούμε στην ένδειξη "DC"
- 11) Ενεργοποιήστε την έξοδό της γεννήτριας
  -  Αν απαιτείτε, μεταβάλετε τους περιστροφικούς διακόπτες Scale (Vertical και Horizontal) του παλμογράφου
- 12) Αυξομειώστε την τιμή του "Offset" στην γεννήτρια και παρατηρήστε την κυματομορφή στην οθόνη του παλμογράφου. Διαπιστώνετε κάποια επίδραση του Offset στην κυματομορφή;

Απάντηση:.....  
 .....  
 .....  
 .....

- 13) Επιλέξτε ένα σημείο στην κυματομορφή (λ.χ., την κορυφή του ημιτόνου) και καταγράψτε την θέση του σε σχέση το επίπεδο αναφοράς

$$Y_1 = \dots\dots\dots \text{Div}$$

- 14) **Αλλάξτε** έπειτα τον τύπο σύζευξης σε "**AC Coupling**", χωρίς να μεταβάλετε τους περιστροφικούς διακόπτες **Scale** του παλμογράφου

- 15) Καταγράψτε την νέα θέση του σημείου της κυματομορφής που επιλέξατε προηγουμένως

$$Y_2 = \dots\dots\dots \text{Div}$$

- 16) Με δεδομένα τα παραπάνω θα εξάγουμε την τιμή της DC συνιστώσας του σήματος από την σχέση:

$$V_{DC} = (Y_1 - Y_2) \times \text{Scale (V/Div)} \Rightarrow$$

$$V_{DC} = \dots\dots\dots \times \dots\dots\dots \text{V/Div} = \dots\dots\dots \text{V}$$

- 17) Σε ποια από τις δύο συζεύξεις (AC/DC Coupling) εμπεριέχεται η ημιτονική και η συνεχής συνιστώσα που εισάγει το Offset;

Απάντηση:.....

## Εργασία 4



Παραγωγή οπτικού και ακουστικού σήματος

Σκοπός της εργασίας είναι διττός, αφενός μεν η οπτική παρατήρηση της επίδρασης ενός μεταβαλλόμενου σήματος (αυξομειώνοντας τη συχνότητα) σε μια LED, αφετέρου δε η ακουστική παρατήρηση της επίδρασης ενός τέτοιου σήματος σε ένα μεγάφωνο.

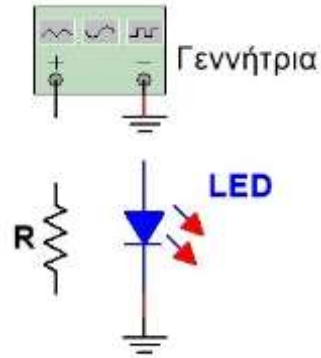
Πειραματικό μέρος

**Όργανα-Υλικά:** γεννήτρια, παλμογράφος, καλώδια διασύνδεσης, δίοδος LED, μεγάφωνο

18) Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του Σχήμα 209



Ολοκληρώστε το



Για την αποφυγή καταστροφής της LED πολλές φορές χρησιμοποιούμε σε σειρά μια αντίσταση περιορισμού, τιμής συνήθως 330Ω



Σχήμα 209 , LED σε σειρά με αντίσταση

- 19) Παράξτε ημιτονικό σήμα συχνότητας 1Hz και πλάτους 1V
- 20) Μεταβάλετε αργά την συχνότητα (μέχρι 100Hz) και το πλάτος του σήματος
- 21) Τι παρατηρείτε στο LED κατα την μεταβολή της συχνότητας στη γεννήτρια;

Απάντηση:.....

.....

.....

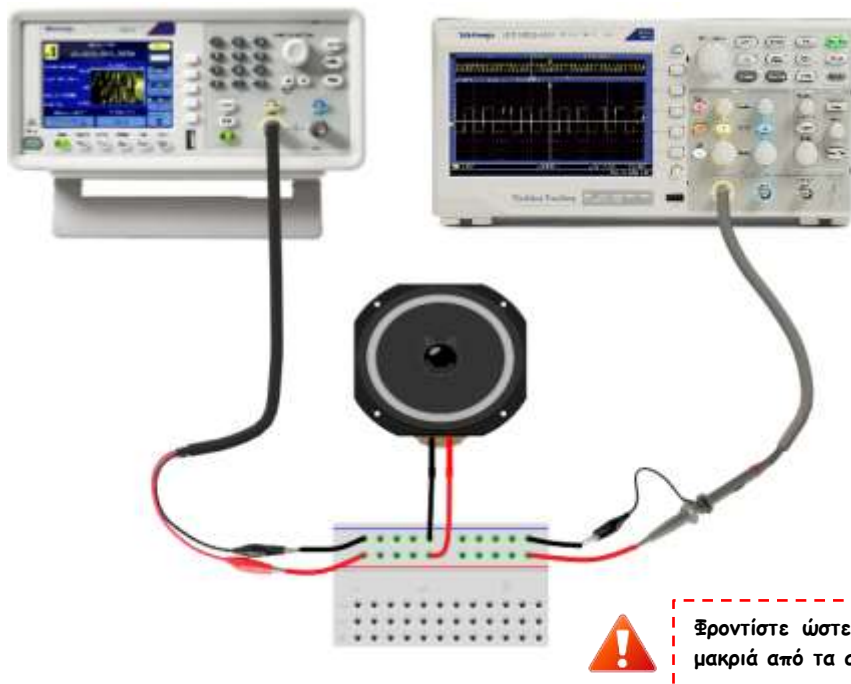
.....

.....

- 22) Η φωτεινότητα ενός λαμπτήρα σε συνεχή (DC) τάση είναι σταθερή αφού το ρεύμα που τον διαρρέει είναι πάντοτε το ίδιο. Στην περίπτωση όμως της εναλλασσόμενης (AC) τάσης η φωτεινότητα ενός οικιακού λαμπτήρα μοιάζει να είναι σταθερή ενώ στην πραγματικότητα μεταβάλλεται στο χρόνο όπως μεταβάλλεται και το ρεύμα. Γιατί λοιπόν εξακολουθούμε να βλέπουμε την φωτεινότητα του οικιακού λαμπτήρα σταθερή;

Απάντηση:.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

23) Πραγματοποιήστε την συνδεσμολογία του Σχ.5



Φροντίστε ώστε το ηχείο να παραμένει μακριά από τα αφτιά σας

- 24) Ρυθμίστε την γεννήτρια ώστε να παράγει ημιτονικό σήμα συχνότητας 50Hz και πλάτους 1V
- 25) Μεταβάλλετε σταδιακά την συχνότητα του ημιτονικού σήματος έως το 20KHz. Συγχρόνως παρατηρήστε την κυματομορφή στην οθόνη του παλμογράφου καθώς την ακούτε.
- ☞ Συγκρίνετε το ακουστικό σήμα με αυτό της αποτύπωσής του στην οθόνη του παλμογράφου. Τι επίδραση έχει η αλλαγή του πλάτους από την μια, και η αλλαγή της συχνότητας από την άλλη του ημιτονικού σήματος στο ακουστικό; Τι παρατηρείτε και γιατί;



Απάντηση:.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## 4

## Κυκλώματα RC

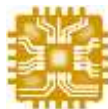
**Προετοιμασία:** Για την υλοποίηση της άσκησης θα πρέπει να έχετε μελετήσει από το θεωρητικό μέρος την ενότητα "Κυκλώματα με στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας".

Όνομα:.....

Επίθετο:.....

ΑΜ.....

## Εργασία 1



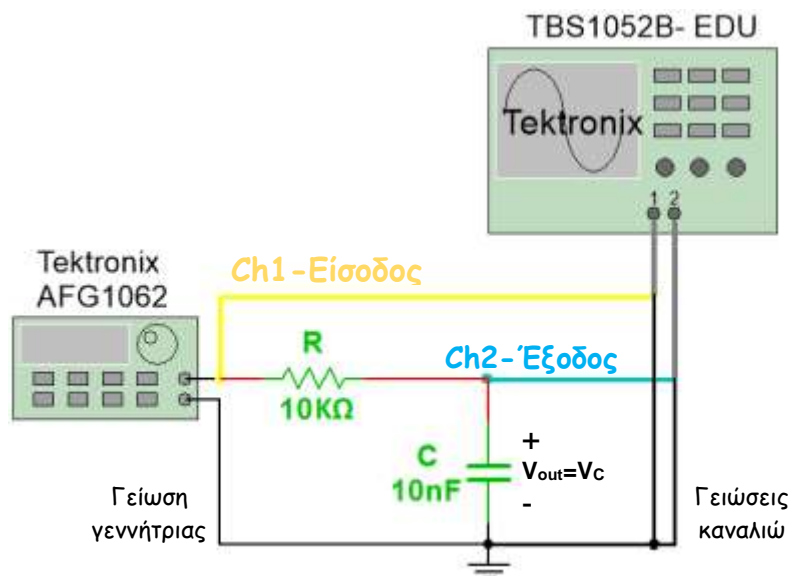
## Κύκλωμα ολοκλήρωσης RC

**Σκοπός** της εργασίας είναι η παρατήρηση της σχέσης  $i-v$  σε ένα κύκλωμα, το οποίο περιλαμβάνει στοιχείο αποθήκευσης ενέργειας.

Πειραματικό μέρος

**Όργανα-Υλικά:** Γεννήτρια σήματος, παλμογράφος, αντιστάτης ( $R = 10 \text{ K}\Omega$ ), πυκνωτής ( $C = 10 \text{ nF}$ ), καλώδια διασύνδεσης.

- 1) Πραγματοποιήστε την συνδεσμολογία του παρακάτω κυκλώματος (Σχ. 1).



Σχ. 1: Κύκλωμα ολοκλήρωσης RC



Πριν τροφοδοτήσετε το κύκλωμα, ζητήστε από το διδάσκοντα να ελέγξει την συνδεσμολογία.

#προσοχή\_στη\_σύνδεση\_των\_γειώσεων

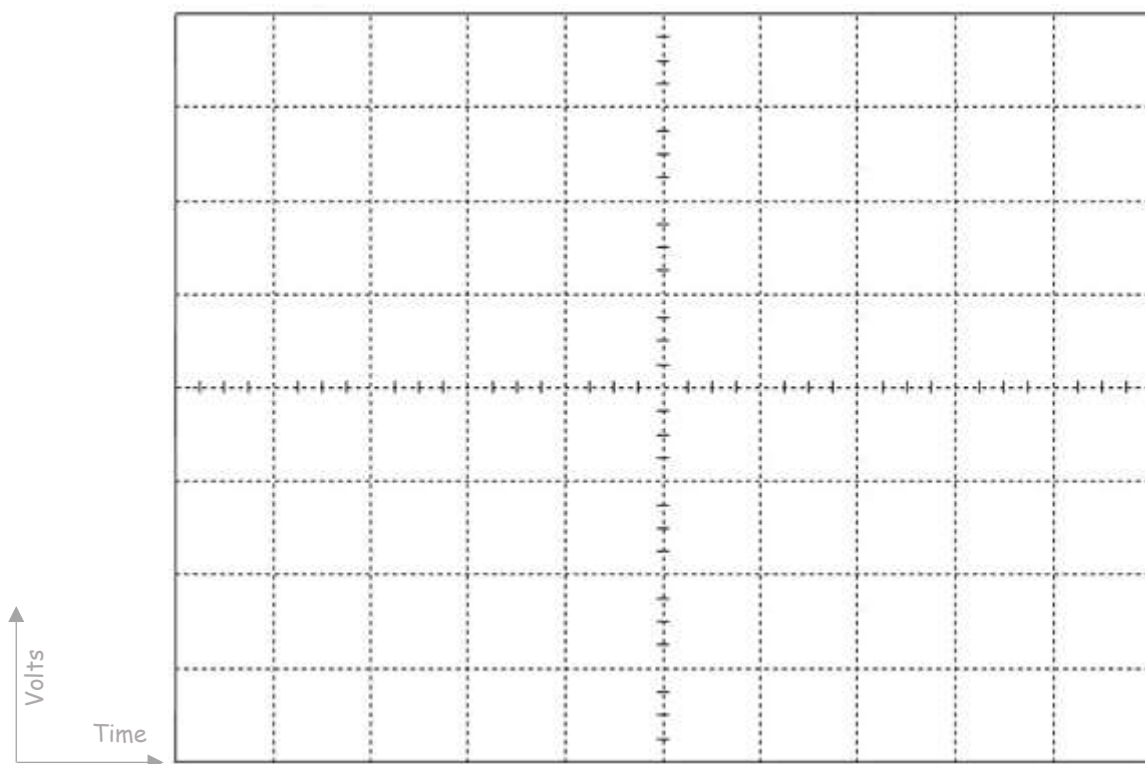
- 2) Παράξτε σήμα τετραγωνικών παλμών συχνότητας 1 KHz και πλάτους 1 V και τροφοδοτήστε το κύκλωμα του Σχ. 1.
- 3) Ρυθμίστε κατάλληλα τον παλμογράφο ώστε να απεικονίσετε ταυτόχρονα στην οθόνη του τα δύο σήματα (Ch1, Ch2). Ρυθμίστε στο ίδιο επίπεδο την τάση αναφοράς (Coupling Ground) και για τα δύο κανάλια. Ταυτόχρονα, επιλέξτε ίδια κλίμακα Vertical Scale (V/Div) των καναλιών και μεταβάλετε αν χρειαστεί την κλίμακα Horizontal Scale (Time/Div).



Χρήση πλήκτρων Menu Ch1 και Ch2 : Πιέζοντας το καθένα επαναλαμβανόμενα μπορούμε να ενεργοποιήσουμε/απενεργοποιήσουμε την εμφάνιση του σήματος του κάθε καναλιού στην οθόνη του παλμογράφου.

#DC\_Σύζευξη #Βελτίωση\_απεικόνισης #Κλίμακες\_μέτρησης\_καναλιών

- 4) Σχεδιάστε τις δύο κυματομορφές (τάση εισόδου-διέγερση Ch1 και τάση εξόδου-απόκριση Ch2) στο ίδιο διάγραμμα (Σχ. 2).



Ch1: Scale (Vertical):..... V/Div, Scale (Horizontal):..... sec/Div  
 Ch2: Scale (Vertical):..... V/Div, Scale (Horizontal):..... sec/Div

Σχ. 2: Διάγραμμα κυματομορφών εισόδου/εξόδου στο 1 KHz

- 5) Αιτιολογήστε την μορφή της κυματομορφής εξόδου λαμβάνοντας υπ' όψη τη σταθερά χρόνου του κυκλώματος. Σε πόσο χρόνο η φόρτιση του πυκνωτή ξεπερνά το 99%;

.....

.....

.....

.....

.....

- 6) Με βάση τις παραπάνω κυματομορφές μπορείτε να προβλέψετε πως θα μοιάζει η κυματομορφή της τάσης στα άκρα του αντιστάτη; Κάντε χρήση του κανόνα τάσεων του Kirchhoff και γράψτε την σχέση υπολογισμού της.

.....

.....

.....

- 7) Παρατηρήστε προσεκτικά την συνδεσμολογία του Σχ. 1: Γιατί δεν μπορούμε να συνδέσουμε απευθείας το Ch2 του παλμογράφου στα άκρα της αντίστασης ώστε να απεικονίσουμε την τάση  $V_R$ ;

.....

.....

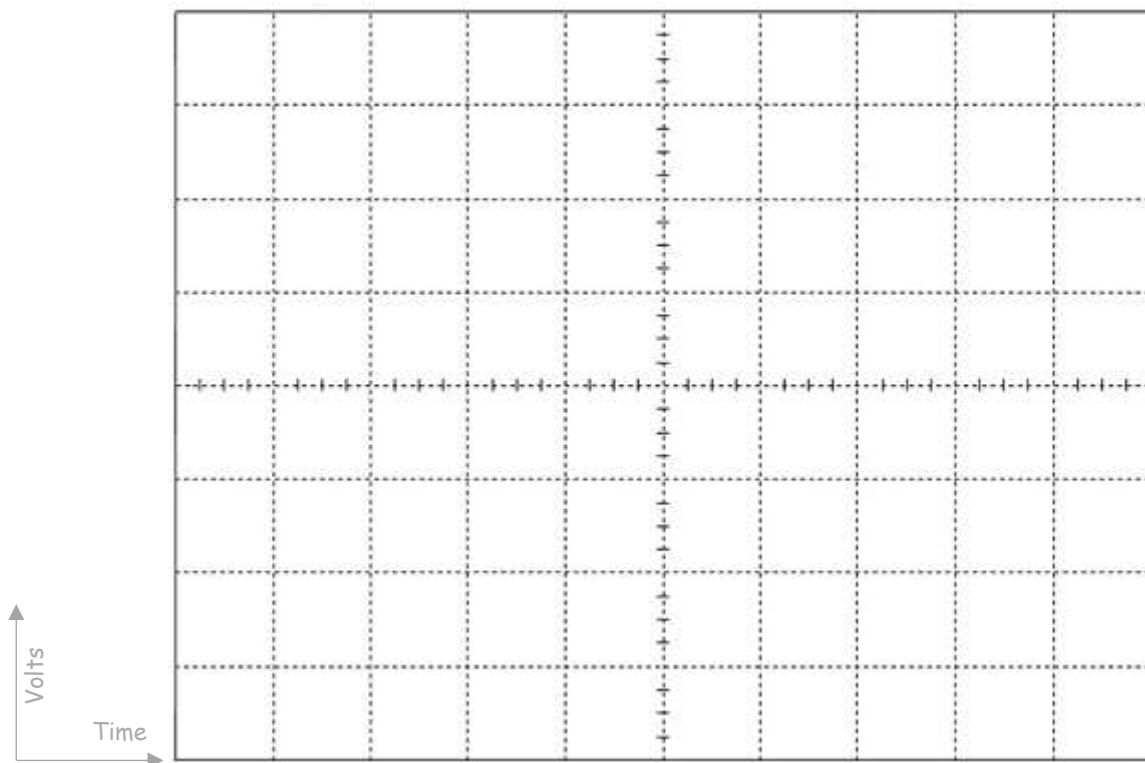
.....

.....

- 8) Παρόλο που δεν μπορούμε να απεικονίσουμε απευθείας την τάση  $V_R$  θα εκμεταλλευτούμε την λειτουργία Math του παλμογράφου για την έμμεση απεικόνιση της τάσης αυτής. Συγκεκριμένα, αφαιρούμε μεταξύ τους τις κυματομορφές των δύο καναλιών χρησιμοποιώντας την επιλογή που ονομάζεται subtraction.

- ☞ Πιέστε το πλήκτρο **M (Math)** ► Έπειτα, πιέστε το αντίστοιχο πλήκτρο menu που αντιστοιχεί στην ένδειξη "**Operation**" και περιστρέφοντας - πιέζοντας τον περιστροφικό επιλογέα πολλαπλών λειτουργιών αλλάξτε την ένδειξη σε "**-**" ► τέλος, στην επιλογή **Sources** (πιέστε επαναλαμβανόμενα το πλήκτρο) θέστε ως ένδειξη "**Ch1 - Ch2**". Το αποτέλεσμα θα είναι η τάση στα άκρα του αντιστάτη.
- ☞ Πιέστε τα πλήκτρα CH1 και CH2 Menu για να αποκρύψετε από την οθόνη του παλμογράφου τα σήματα των δύο καναλιών, ώστε να απεικονίζεται μόνο το σήμα που προκύπτει από την λειτουργία subtraction.

9) Σχεδιάστε την κυματομορφή που προέκυψε από την λειτουργία Math στο Σχ. 3:



Ch1 & Ch2: Scale (Vertical):..... V/Div, Scale (Horizontal):..... sec/Div

Σχ. 3: Διάγραμμα κυματομορφής  $V_R$

#Βελτίωση\_απεικόνισης

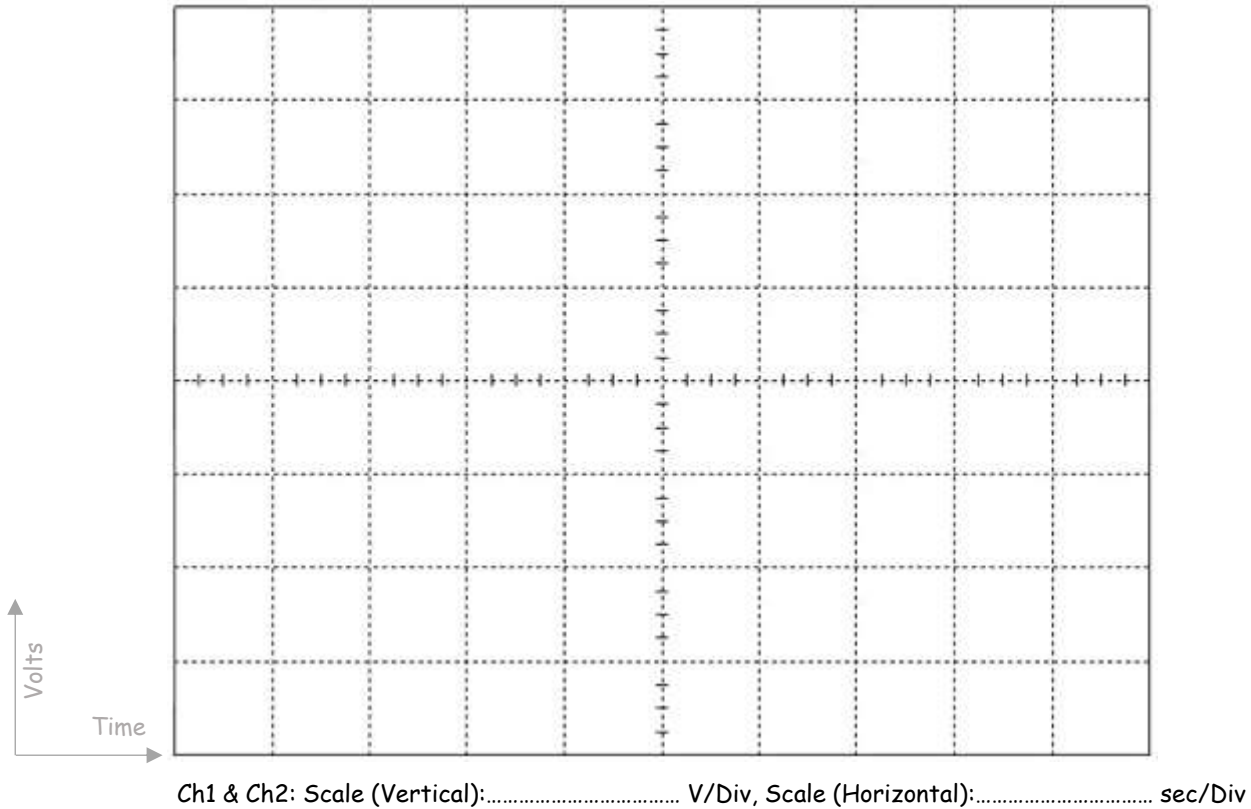
Μοιάζει η κυματομορφή αυτή με εκείνη που είχατε προβλέψει; Αιτιολογήστε την απάντησή σας. Τι συμβαίνει με το ρεύμα του κυκλώματος καθώς ο πυκνωτής φορτίζει-εκφορτίζει και πώς επηρεάζεται η πτώση τάσης στα άκρα του αντιστάτη;

.....

.....

10) Μεταβάλετε την συχνότητα του τετραγωνικού παλμού σε 10 kHz (αφού απενεργοποιήσετε την λειτουργία Math) και σχεδιάστε τις κυματομορφές εισόδου και εξόδου στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 4):

☞ Αν χρειαστεί μεταβάλλετε το Horizontal scale.



Σχ. 4: Διάγραμμα κυματομορφών εισόδου/εξόδου στα 10 KHz

#Βελτίωση\_απεικόνισης

Αιτιολογήστε την μορφή της κυματομορφής εξόδου λαμβάνοντας υπ' όψη τη σταθερά χρόνου του κυκλώματος.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

# Εργασία 2



## Φίλτρο RC διέλευσης Χαμηλών Συχνοτήτων

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της απόκρισης ενός Φίλτρου διέλευσης Χαμηλών Συχνοτήτων (ή αλλιώς χαμηλοπερατό) σε ένα εύρος συχνοτήτων.


### Πειραματικό μέρος

**Όργανα-Υλικά:** γεννήτρια σήματος, παλμογράφος, αντιστάτης ( $R = 10 \text{ K}\Omega$ ), πυκνωτής ( $C = 10 \text{ nF}$ ), καλώδια διασύνδεσης.

- 1) **Απενεργοποιήστε την έξοδο της γεννήτριας.**
- 2) Χρησιμοποιήστε τη συνδεσμολογία του κυκλώματος του **Σχ. 1**, τοποθετώντας όμως τώρα την **έξοδο** του φίλτρου στο **Ch1** του παλμογράφου και την **είσοδο** στο **Ch2**.
 

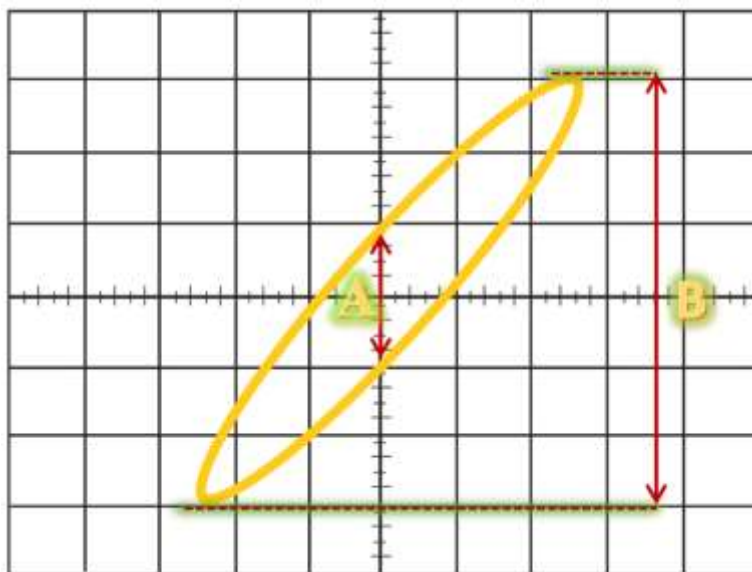
*\*Εναλλακτικά μπορείτε απλώς να αντιστρέψετε τους BNC συνδετήρες στις θύρες 1 και 2 του παλμογράφου χωρίς να πεφάξετε την συνδεσμολογία*
- 3) Παράξτε στην έξοδο της γεννήτριας **ημιτονικό σήμα** πλάτους 2 V και συχνότητας 1 KHz και τροφοδοτήστε το φίλτρο.
- 4) Παραμετροποιήστε κατάλληλα τον παλμογράφο ώστε να παρατηρήσετε ταυτόχρονα στην οθόνη του, την είσοδο του φίλτρου (Ch2) και την έξοδο (Ch1).
- 5) Διατηρώντας το πλάτος του σήματος εισόδου σταθερό (γεννήτρια συχνοτήτων):
  - A. Θέστε τιμή της συχνότητας σύμφωνα με την αντίστοιχη γραμμή του **Πίνακα 1**.
  - B. Για την τιμή της συχνότητας που θέσατε καταγράψτε την τιμή της τάσης εξόδου του φίλτρου (Ch1) στην αντίστοιχη στήλη  $V_c$  (πλάτος σε V) του πίνακα.
 

#Βελτίωση\_απεικόνισης #Ίδια\_κλίμακα\_μέτρησης\_για\_Ch1\_Ch2
  - C. Πιέστε Utility ► Display ώστε να εμφανιστεί το menu επιλογών του παλμογράφου.
    - i. Από το menu επιλογών επιλέξτε Format ► XY (αναθέτει στον άξονα X το πλάτος του καναλιού 1 και στον άξονα Y το πλάτος του καναλιού 2, καταργεί τον άξονα του χρόνου και εμφανίζει την εικόνα της έλλειψης Lissajous).
 

 Αν απαιτείται, για να εκμεταλλευτείτε μεγαλύτερο τμήμα της οθόνης του παλμογράφου και να βλέπετε συμμετρική ως προς το κέντρο των αξόνων εικόνα Lissajous, περιστρέψτε εκ νέου τους διακόπτες Vertical-Horizontal Scale και Position (Ch1 - Ch2). Αυτή η ρύθμιση να γίνει μόνο μία φορά στην πρώτη μέτρηση και να αφεθούν οι Vertical ρυθμίσεις οι ίδιες για όλες τις υπόλοιπες μετρήσεις.

#Φροντίζουμε\_να\_έχουν\_ίδια\_κλίμακα\_V/DIV
  - D. Από την εικόνα Lissajous (παρόμοια με **Σχ. 5**) στην οθόνη του παλμογράφου προσδιορίστε τις αποστάσεις A, B και συμπληρώστε τις αντίστοιχες στήλες του πίνακα. Πρόκειται για μετρήσεις καθαρών αριθμών (τετραγωνάκια ή Divs) χωρίς μονάδες.

- Ε. Επαναλάβετε τα βήματα Α-Δ μέχρι την συμπλήρωση του Πίνακα 1.
- Φ. Επαναφέρετε το Format του παλμογράφου σε ΥΤ.



Σχ. 5: Τυχαία εικόνα Lissajous

Πίνακας 6: Μετρήσεις για τη μέθοδο Lissajous του χαμηλοπερατού φίλτρου

F (Hz)	V <sub>c</sub> (V)	A	B	Sin(φ) = A/B	φ
10					
100					
300					
1K					
3K					
10K					
100K					

- 6) Σχεδιάστε στο παρακάτω ημιλογαριθμικό διάγραμμα (Σχ. 6 στην επόμενη σελίδα) την καμπύλη απόκρισης κατά συχνότητα του φίλτρου, τόσο για το πλάτος εξόδου V<sub>c</sub> όσο και για την διαφορά φάσης φ, εκμεταλλευόμενοι τις μετρήσεις του Πίνακα 1.
- 7) Τι συμβαίνει στο πλάτος του σήματος εξόδου του φίλτρου καθώς αυξάνεται η συχνότητα του σήματος εισόδου (διατηρώντας το πλάτος σταθερό);

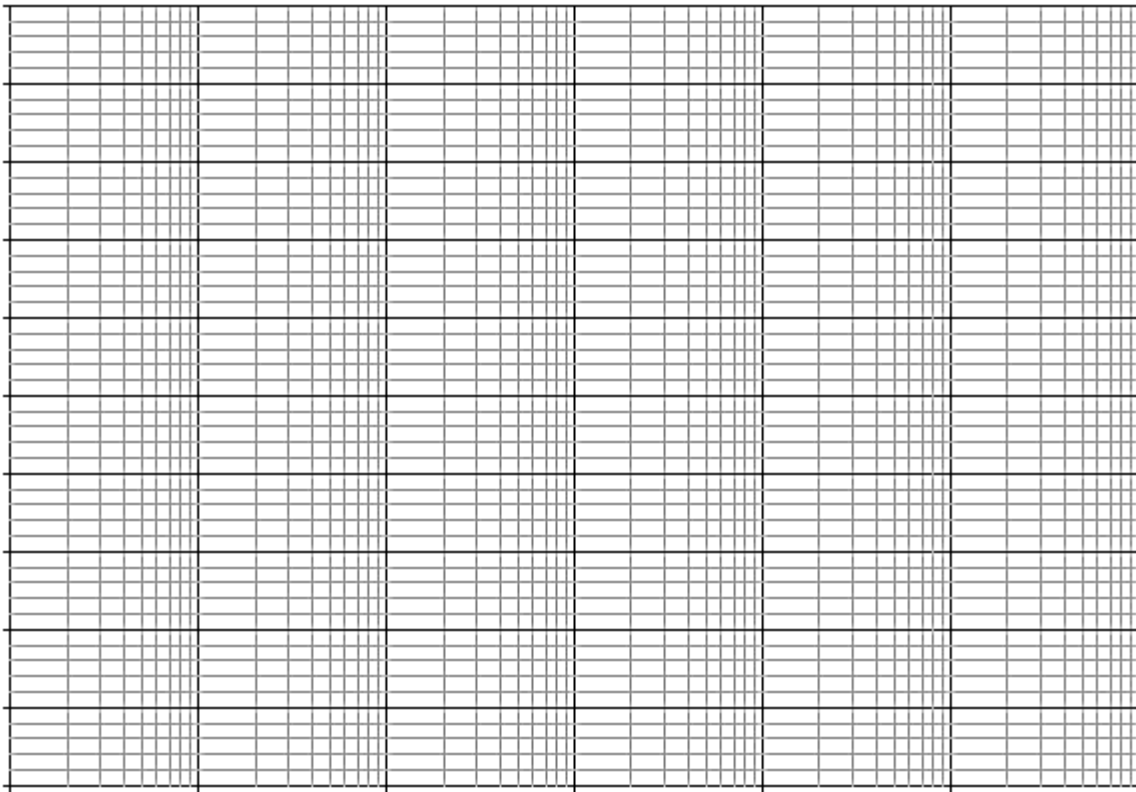
.....

.....

.....

.....





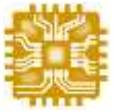
Σχ. 6: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα απόκρισης κατά συχνότητα του χαμηλοπερατού φίλτρου

- 8) Από την καμπύλη απόκρισης του φίλτρου εντοπίστε την συχνότητα αποκοπής (μετρούμενη τιμή) και συγκρίνετε με την αναμενόμενη θεωρητική τιμή με βάση τη σταθερά χρόνου του κυκλώματος.

Μετρούμενη τιμή:  $f_{3dB} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$  Hz

Θεωρητική τιμή:  $f_{3dB} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$  Hz

# Εργασία 3



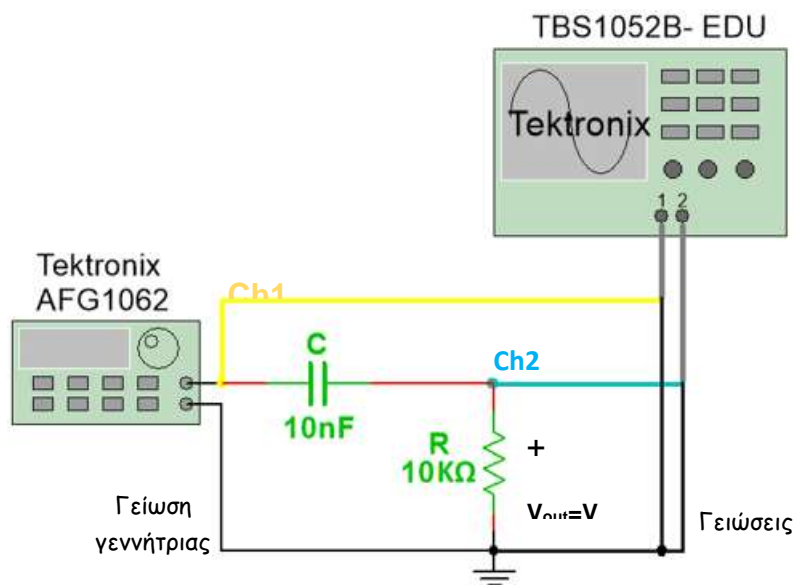
## Φίλτρο RC, διέλευσης Υψηλών Συχνοτήτων

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της απόκρισης ενός Φίλτρου διέλευσης Υψηλών Συχνοτήτων (ή αλλιώς υπιπερατό) σε ένα εύρος συχνοτήτων.

### Πειραματικό μέρος

**Όργανα-Υλικά:** γεννήτρια σήματος, παλμογράφος, αντιστάτης ( $R = 10 \text{ K}\Omega$ ), πυκνωτής ( $C = 10 \text{ nF}$ ), καλώδια διασύνδεσης.

- 1) Πραγματοποιήστε την συνδεσμολογία του παρακάτω κυκλώματος (Σχ. 7).



Σχ. 7: Κύκλωμα φίλτρου RC διέλευσης Υψηλών Συχνοτήτων



Πριν τροφοδοτήσετε το κύκλωμα, ζητήστε από το διδάσκοντα να ελέγξει την συνδεσμολογία.

[#προσοχή\\_στη\\_σύνδεση\\_των\\_γειώσεων](#)

- 2) Συνδέστε το **Ch1** του παλμογράφου στην **έξοδο** του φίλτρου και το **Ch2** στην **είσοδο** αντιστρέφοντας τους BNC συνδετήρες στις θύρες 1 και 2 του παλμογράφου.
- 3) Παράξτε στην έξοδο της γεννήτριας **ημιτονικό σήμα** πλάτους 2 V και συχνότητας 1 KHz και τροφοδοτήστε το φίλτρο.
- 4) Παραμετροποιήστε κατάλληλα τον παλμογράφο ώστε να παρατηρήσετε ταυτόχρονα στην οθόνη του, την είσοδο του φίλτρου (Ch2) και την έξοδο (Ch1).
- 5) Διατηρώντας το πλάτος του σήματος εισόδου σταθερό (γεννήτρια συχνοτήτων):

Γ. Θέστε τιμή της συχνότητάς του σύμφωνα με την αντίστοιχη γραμμή του **Πίνακα 2**.

Η. Για την τιμή της συχνότητας που θέσατε καταγράψτε την τιμή της τάσης εξόδου του φίλτρου (Ch1) στην αντίστοιχη στήλη  $V_R$  (V) του πίνακα.

I. Πιέστε Utility ► Display ώστε να εμφανιστεί το menu επιλογών:

i. Από το menu επιλογών επιλέξτε Format ► XY (Εμφάνιση εικόνας Lissajous).

☞ Για κάθε κανάλι ξεχωριστά (Ch1 - Ch2) πιέζουμε το menu του ► πιέζουμε το κουμπί που αντιστοιχεί στην ένδειξη Volts/Div ► αλλάζουμε την ένδειξη Coarse σε Fine.

☞ Αν απαιτείται, περιστρέψτε εκ νέου τους διακόπτες Vertical Scale (Ch1 - Ch2).

#φροντίζουμε\_να\_έχουν\_ίδια\_κλίμακα

☞ Για μεγαλύτερη ακρίβεια επιλέξτε Persist ► Infinite.

J. Από την εικόνα Lissajous στην οθόνη του παλμογράφου προσδιορίστε τις αποστάσεις A, B και συμπληρώστε τις αντίστοιχες στήλες του πίνακα.

K. Επαναλάβετε τα βήματα G-J μέχρι την συμπλήρωση του **Πίνακα 2**.

L. Επαναφέρετε το Format του παλμογράφου σε YT.

Πίνακας 7: Μετρήσεις για τη μέθοδο Lissajous του υπερερατού φίλτρου

F (Hz)	$V_R$ (V)	A	B	$\text{Sin}(\varphi) = A/B$	$\varphi$
10					
100					
300					
1K					
3K					
10K					
100K					

6) Μπορείτε να προβλέψετε την μορφή της καμπύλης απόκρισης συχνότητας του φίλτρου για το πλάτος εξόδου  $V_R$ ; Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις που λάβατε, σχεδιάστε τις καμπύλες απόκρισης του φίλτρου (συχνότητας/φάσης) στο παρακάτω ημιλογαριθμικό διάγραμμα (Σχ. 8 στην επόμενη σελίδα).

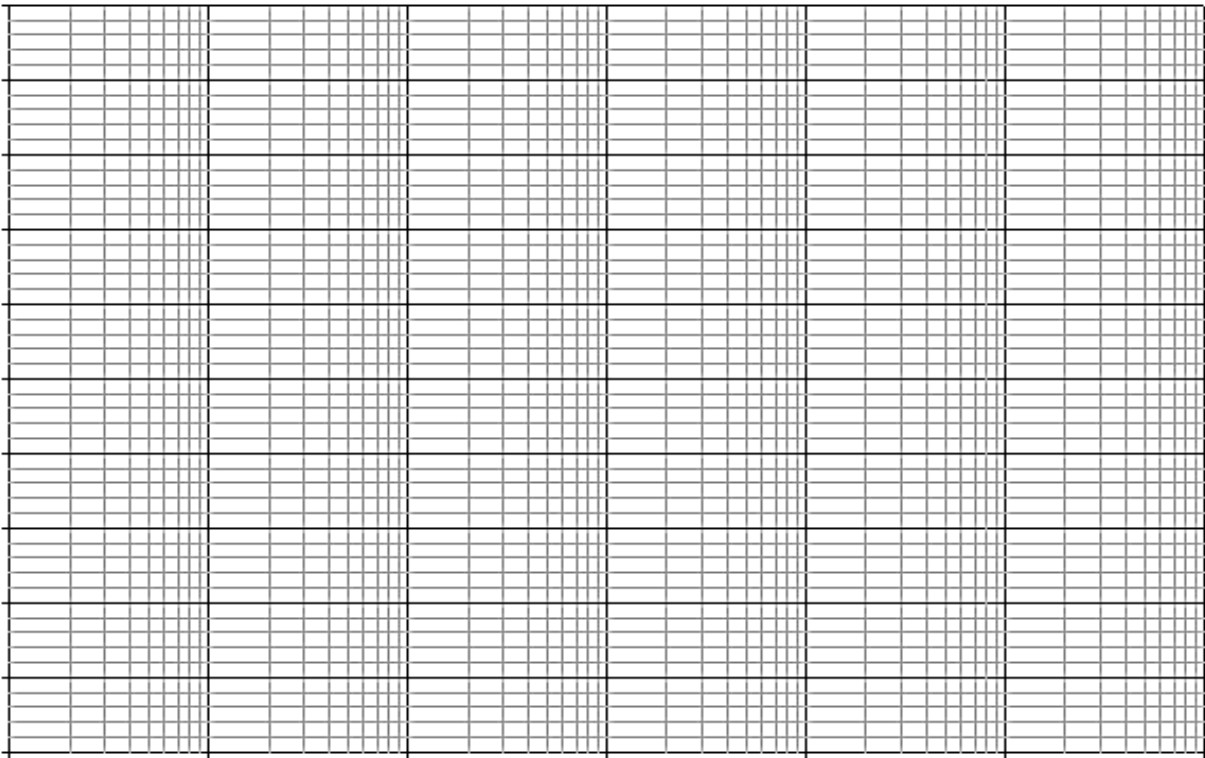
Μοιάζει η απόκριση συχνότητας με εκείνη που είχατε προβλέψει; Τι συμβαίνει στο πλάτος του σήματος εξόδου καθώς αυξάνεται η συχνότητα του σήματος εισόδου του φίλτρου;

.....

.....

.....

.....



Σχ. 8: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα απόκρισης κατά συχνότητα του υψιπερατού φίλτρου

7) Από την καμπύλη απόκρισης του φίλτρου εντοπίστε τη συχνότητα αποκοπής (μετρούμενη τιμή) και συγκρίνετε με την αναμενόμενη θεωρητική τιμή με βάση τη σταθερά χρόνου του κυκλώματος.

Μετρούμενη τιμή:  $f_{3dB} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$  Hz

Θεωρητική τιμή:  $f_{3dB} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$  Hz

Τι αναμένουμε να συμβεί αν αντικαθιστούσαμε στο κύκλωμα την αντίσταση και τον πυκνωτή με εξαρτήματα δεκαπλάσιας τιμής; Επηρεάζεται η ζώνη διέλευσής του;

.....

.....

.....

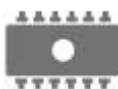
## 5

## Μελέτη διόδου (επαφή PN) με την χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος Multisim

**Προετοιμασία:** Για την υλοποίηση της άσκησης θα πρέπει να μελετήσετε τη βασική θεωρία της διόδου. Ενδεικτική βιβλιογραφία μπορείτε να βρείτε είτε στον σύνδεσμο [http://bit.ly/meleti\\_diodou](http://bit.ly/meleti_diodou) είτε πραγματοποιώντας αναζήτηση πανεπιστημιακού υλικού στο διαδίκτυο. Θα εργαστούμε στο περιβάλλον προσομοίωσης αναλογικών και ψηφιακών κυκλωμάτων Multisim, της National Instruments. Οδηγίες εγκατάστασης θα βρείτε στο σύνδεσμο [http://bit.ly/multisim\\_install](http://bit.ly/multisim_install), ενώ λεπτομερή παρουσίαση της χρήσης του στον σύνδεσμο [http://bit.ly/odigos\\_multisim](http://bit.ly/odigos_multisim). Ωστόσο μπορείτε να χρησιμοποιήσετε παρόμοια λογισμικά όπως Proteus PCB design, LTspice, Tina DesignSoft, OrCAD κ.α.

Όνομα:..... Επίθετο:.....  
ΑΜ.....

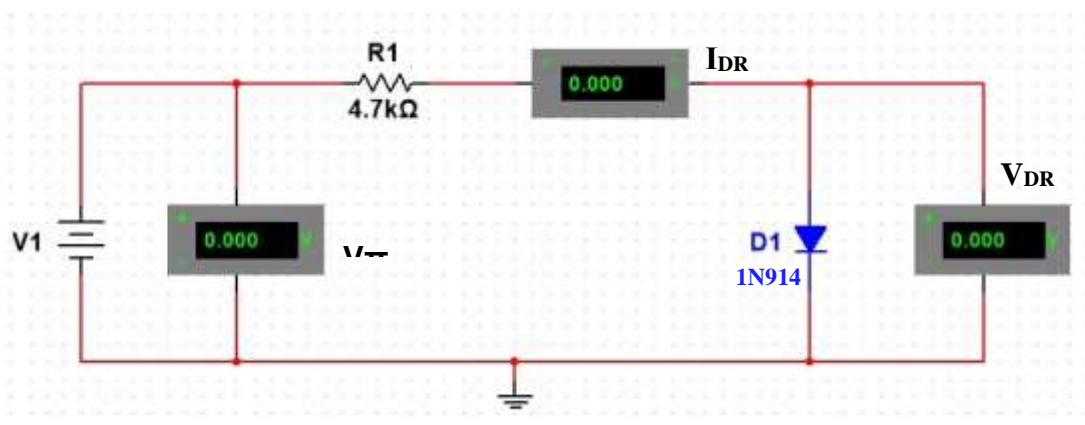
## Εργασία 1



## Ορθή πόλωση διόδου

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς μιας διόδου κατά την ορθή πόλωσή της και η σχεδίαση της χαρακτηριστικής καμπύλης της

- 1) Χρησιμοποιώντας το σχεδιαστικό πρόγραμμα Multisim (ή κάποιο παρόμοιο) υλοποιήστε το κύκλωμα του Σχήμα 210



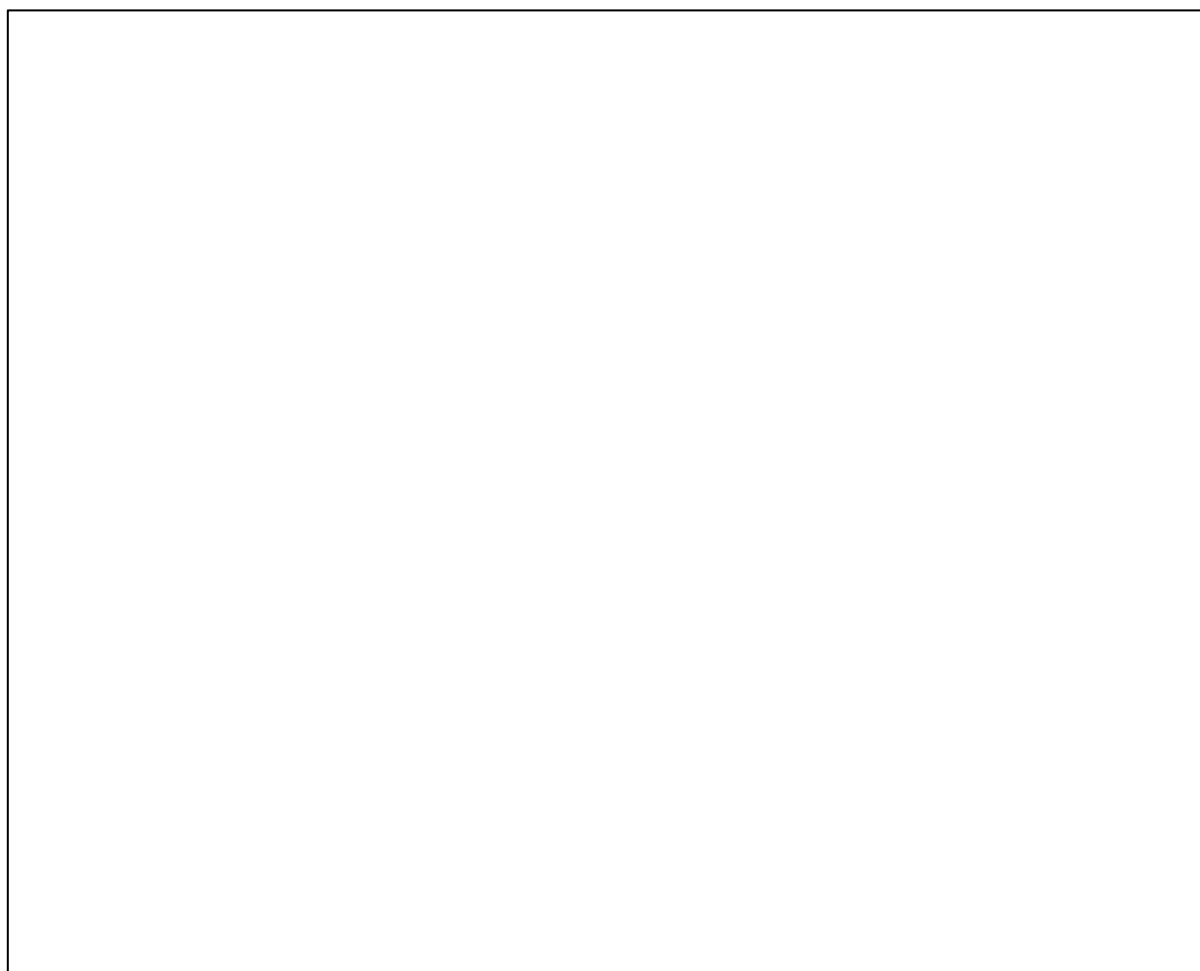
Σχήμα 210 , σύνδεση διόδου σε σειρά με αντίσταση

- 2) Μεταβάλλοντας την τάση της πηγής ( $V_1$ ) σύμφωνα με τις τιμές της αντίστοιχης στήλης του πίνακα 1, μετρήστε την τάση στα άκρα της διόδου ( $V_{DR}$ ) και το ρεύμα που την διαρρέει ( $I_{DR}$ ). Παράλληλα, συμπληρώστε τις στήλες  $V_{DR}$  και  $I_{DR}$ .

	$V_1$ πηγής (v)	0	0,1	0,3	0,6	0,9	1,5	2	4	7	9	12	15
Diode	$V_{DR}(V)$												
1N914	$I_{DR}(mA)$												

Πίνακας 8 , καταγραφή μετρήσεων τάσης και ρεύματος διόδου

- 3) Από τις τιμές που μετρήσατε και καταχωρήσατε στον Πίνακας 8, σχεδιάστε τη χαρακτηριστική καμπύλη (Σχήμα 211) της διόδου  $I_{DR}=f(V_{DR})$

Σχήμα 211 , Χαρακτηριστική καμπύλη  $I_{DR}=f(V_{DR})$ 

Για την σχεδίαση της χαρακτηριστικής καμπύλης μπορείτε να χρησιμοποιήσετε #LibreOffice\_Calc #Origin #QtiPlot #Excel κ.α.

- 4) Παρατηρήστε τη χαρακτηριστική καμπύλη και εξηγήστε τη μορφή της. Η διόδος είναι πυριτίου (Si) ή γερμανίου (Ge); Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

.....

.....

.....

#ορθά\_πολωμένη #τάση\_κατωφλίου

- 5) Αναζητήστε και εντοπίστε στο διαδίκτυο τους συνηθέστερους τύπους ειδικών διόδων. Αναφέρετε τρεις από αυτούς. Αναφέρετε συνοπτικά μία εφαρμογή της διόδου.

.....

.....

.....

#opencourses.gr #repository.kallipos.gr

- 6) Χρησιμοποιήστε τις λέξεις κλειδιά #ορθή\_πόλωση #ανάστροφη\_πόλωση #μηδέν\_αντίσταση για να περιγράψετε τη συμπεριφορά της ιδανικής διόδου.

.....

.....

.....

#πρώτη\_προσέγγιση\_διόδου

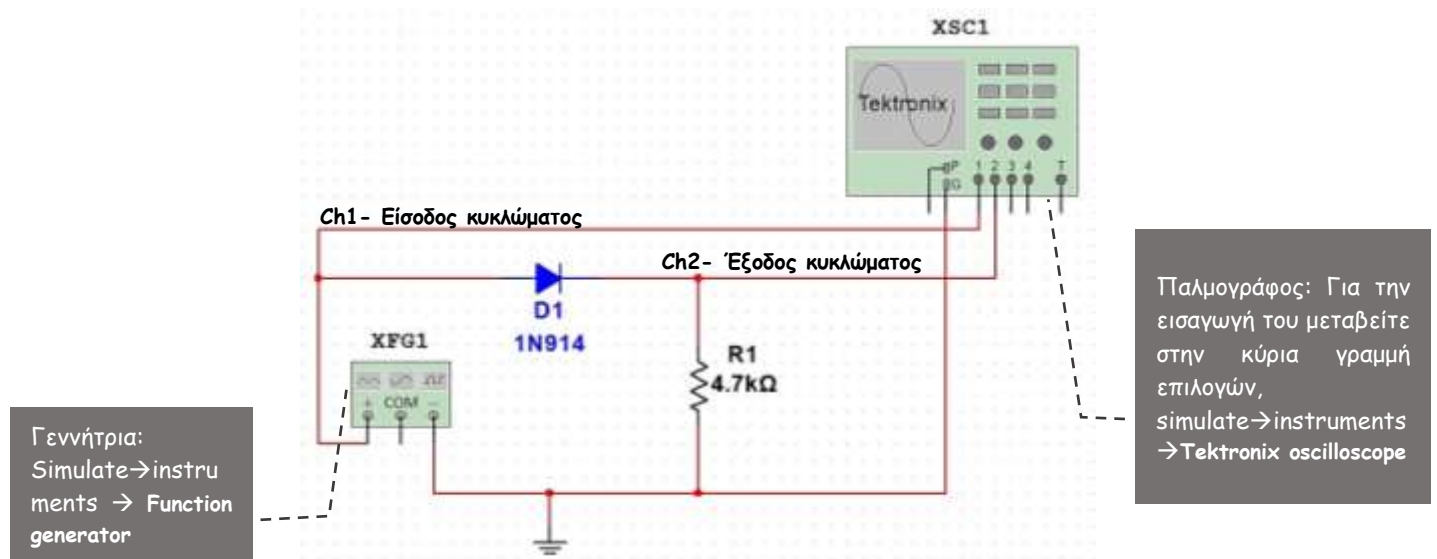
# Εργασία 2

## Ημιανορθωτής

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς μιας διόδου σε εναλλασσόμενη τάση χρησιμοποιώντας το απλούστερο κύκλωμα ενός ημιανορθωτή

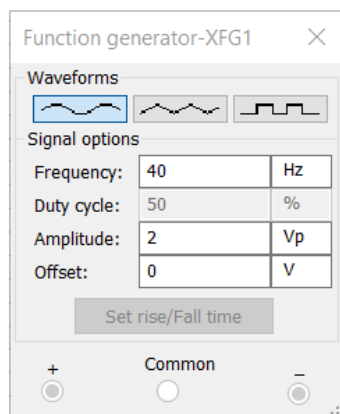
\*Ένας ημιανορθωτής χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ρεύματος φορτίου μιας κατεύθυνσης.

- 1) Υλοποιήστε στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Multisim το κύκλωμα του Σχήμα 212



Σχήμα 212 , κύκλωμα ημιανορθωτή

- 1) Πατήστε δεξί κλικ επάνω στην γεννήτρια και επιλέξτε Properties



Θέστε ημιτονικό σήμα πλάτους 2V και συχνότητας 40Hz

- 2) Πατήστε δεξί κλικ επάνω στον παλμογράφο και επιλέξτε Properties

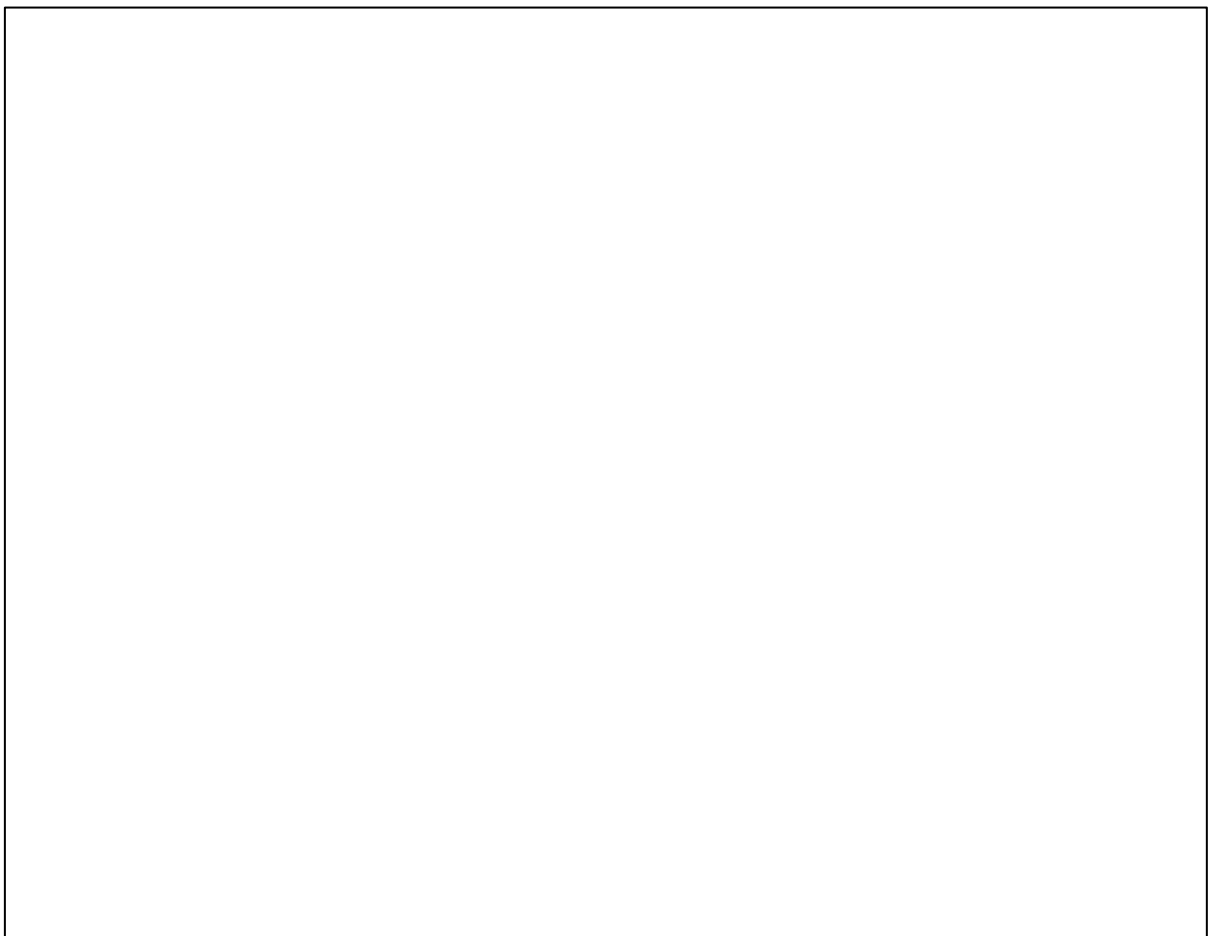




Ενεργοποιήστε τον παλμογράφο

Η λειτουργία του παλμογράφου είναι όμοια με αυτή του εργαστηρίου.

- ☞ Τρέξτε την προσομοίωση (Simulate▶Run) και θέστε την ίδια κλίμακα Volt/Div και στα δύο κανάλια του παλμογράφου ώστε να εκμεταλλευτείτε το μέγιστο δυνατό της οθόνης του. Έπειτα, θέστε την κατάλληλη κλίμακα time/Div ώστε να παρατηρήσετε τουλάχιστον μια περίοδο του σήματος.
- ☞ Πιέστε το πλήκτρο " PRINT " του παλμογράφου και αποθηκεύστε τις κυματομορφές που απεικονίζονται στην οθόνη του παλμογράφου. Εισάγετέ τες στο Σχήμα 213




Σχήμα 213 , Κυματομορφή εισόδου - εξόδου

- 2) Παρατηρήστε, η κυματομορφή εξόδου του κυκλώματος (Ch2) έχει μικρότερο πλάτος κατά  $\sim 0,6V$  σε σχέση με την κυματομορφή εισόδου (Ch1). Σε ποιο στοιχείο του κυκλώματος οφείλεται η διαφορά αυτή; Γιατί κατά τις αρνητικές ημιπεριόδους του σήματος εισόδου, το πλάτος του σήματος εξόδου είναι μηδενικό;

.....

.....

.....

The page features a decorative border at the top and bottom, consisting of a repeating pattern of various electrical circuit symbols such as resistors, capacitors, inductors, and diodes. The central text is enclosed in a white rectangular area with a thin green border.

# Παράρτημα Εργαστηρίου

## Χρωματικός κώδικας αντιστατών

Οι χρωματικοί κώδικες χρησιμοποιούνται συχνά σαν ένδειξη για κάποια από τα χαρακτηριστικά ενός ηλεκτρικού ή ηλεκτρονικού εξαρτήματος (λ.χ., αντιστάτης πυκνωτής, πηνίο). Για να προσδιορίσουμε την ονομαστική τιμή της αντίστασης ενός αντιστάτη, χρειαζόμαστε να γνωρίζουμε τον τρόπο που έχει σημειωθεί η τιμή αυτή επάνω στο εξάρτημα και τον τρόπο ανάγνωσης (αποκωδικοποίησης). Οι μεγαλύτεροι σε διαστάσεις αντιστάτες που χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα με διακριτά στοιχεία φέρουν τυπωμένη επάνω τους την τιμή τους σε Ohm και την ακρίβειά της. Οι υπόλοιποι αντιστάτες φέρουν στην επιφάνειά τους έγχρωμους δακτυλίους οι οποίοι αποτελούν έναν χρωματικό κώδικα αποτύπωσης της τιμής της αντίστασής τους, της ακρίβειάς (ανοχής) τους και σε μερικές περιπτώσεις της αξιοπιστίας τους.

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος συμβολισμού της τιμής μιας αντίστασης (συμπεριλαμβανομένων πιθανών πληροφοριών ανοχής ή και αξιοπιστίας) είναι αυτός του κώδικα χρωμάτων. Ο κατασκευαστής τυπώνει στην επιφάνεια του σώματος του αντιστάτη τρεις έως πέντε έγχρωμους δακτυλίους, το χρώμα των οποίων αντιστοιχεί σε κάποια τιμή όπως φαίνεται στο Σχήμα 214.

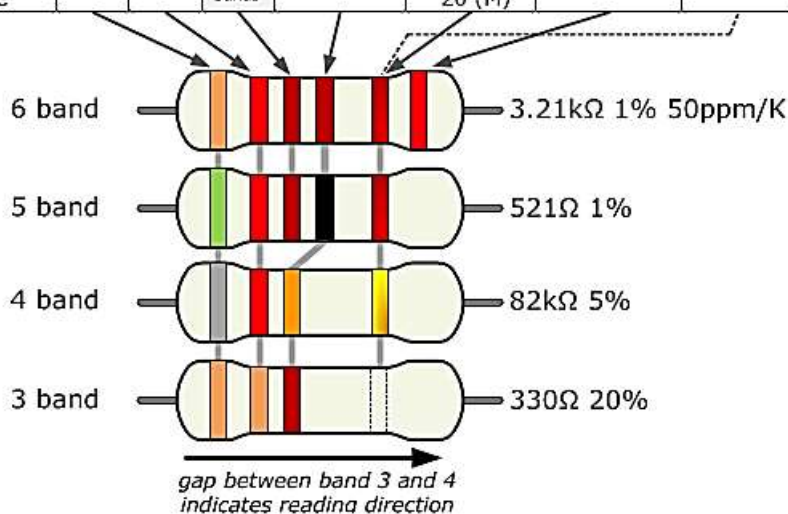
Χρώμα	A	B	C	D	Ανασθή
Μαύρο	0	0	0	$10^0$	-
Καφέ	1	1	1	$10^1$	$\pm 1\%$
Κόκκινο	2	2	2	$10^2$	$\pm 2\%$
Πορτοκάλι	3	3	3	$10^3$	$\pm 3\%$
Κίτρινο	4	4	4	$10^4$	$\pm 4\%$
Πράσινο	5	5	5	$10^5$	$\pm 0,5\%$
Μπλε	6	6	6	$10^6$	$\pm 0,25\%$
Μωβ	7	7	7	$10^7$	$\pm 0,1\%$
Γκρίζο	8	8	8	$10^8$	$\pm 0,05\%$
Λευκό	9	9	9	$10^9$	-
Χρυσάφι	-	-	-	$10^{-1}$	$\pm 5\%$
Ασημί	-	-	-	$10^{-2}$	$\pm 10\%$

Σχήμα 214, Χρωματικός κώδικας προσδιορισμού τιμής των αντιστάτων

Για παράδειγμα, σε έναν αντιστάτη με τέσσερις τυπωμένους δακτυλίους σαν τον πρώτο που φαίνεται στο Σχήμα 214, οι δύο πρώτοι δακτύλιοι αντιστοιχούν στα δύο πρώτα ψηφία της τιμής της αντίστασης (σε Ohm). Ο τρίτος δακτύλιος φανερώνει τον αριθμό των μηδενικών που ακολουθούν. Ο τέταρτος δακτύλιος αντιστοιχεί στην ακρίβεια της τιμής της αντίστασης. Ακολουθεί το Σχήμα 215 που ξεκαθαρίζει περισσότερο τον τρόπο αποκωδικοποίησης.

Πηγή: www.resistorguide.com

Color	Significant figures			Multiply	Tolerance (%)	Temp. Coeff. (ppm/K)	Fail Rate (%)
black	0	0	0	x 1		250 (U)	
brown	1	1	1	x 10	1 (F)	100 (S)	1
red	2	2	2	x 100	2 (G)	50 (R)	0.1
orange	3	3	3	x 1K		15 (P)	0.01
yellow	4	4	4	x 10K		25 (Q)	0.001
green	5	5	5	x 100K	0.5 (D)	20 (Z)	
blue	6	6	6	x 1M	0.25 (C)	10 (Z)	
violet	7	7	7	x 10M	0.1 (B)	5 (M)	
grey	8	8	8	x 100M	0.05 (A)	1(K)	
white	9	9	9	x 1G			
gold			3th digit only for 5 and 6 bands	x 0.1	5 (J)		
silver				x 0.01	10 (K)		
none					20 (M)		



Σχήμα 215, Χρωματικός κώδικας προσδιορισμού τιμής των αντιστάτων

Ας εξετάσουμε κάποια ακόμη παραδείγματα

#### Αντιστάτης με τρεις δακτυλίους:

- 1<sup>ο</sup> χρώμα (αριθμός): Κόκκινο → 2
- 2<sup>ο</sup> χρώμα (αριθμός): Μπλε → 6
- 3<sup>ο</sup> χρώμα (πολλαπλασιαστής): Καφέ →  $\times 10^1$
- Τελική τιμή: 260 Ω (ονομαστική)



Η έλλειψη τέταρτου χρώματος δηλώνει πάντα ανοχή  $\pm 20\%$

#### Αντιστάτης με τέσσερις δακτυλίους:

- 1ο χρώμα (αριθμός): Πράσινο → 5
- 2ο χρώμα (αριθμός): Κόκκινο → 2
- 3ο χρώμα (πολ/στής): Μοβ →  $\times 10^7$
- 4ο χρώμα (ανοχή): Χρυσό →  $\pm 5\%$

Τελική τιμή:  $520\text{M}\Omega \pm 5\%$  δηλαδή  $494\text{M}\Omega$ - $546\text{M}\Omega$

**Αντιστάτης με πέντε δακτυλίους:**

1ο χρώμα (αριθμός): Πορτοκαλί  $\rightarrow 3$

2ο χρώμα (αριθμός): Κίτρινο  $\rightarrow 4$

3ο χρώμα (αριθμός): Μπλε  $\rightarrow 6$

4ο χρώμα (πολ/στής): Κόκκινο  $\rightarrow \times 10^2$

5ο χρώμα: (ανοχή): Καφέ  $\rightarrow \pm 1\%$

Τελική τιμή:  $34,60\text{K}\Omega \pm 1\%$  δηλαδή  $34,254\text{K}\Omega$ - $34,946\text{K}\Omega$

Μπορείτε να κατεβάσετε μια εφαρμογή για συσκευές android που υπολογίζει την τιμή των αντιστάτων επιλέγοντας το χρώμα και τον αριθμό των δακτυλίων (επίσης συμπεριλαμβάνει τον κώδικα κεραμικών πυκνωτών) σκανάρωντας παρακάτω:



**Ανοχή**

Ο κατασκευαστής του αντιστάτη αναγράφει στο σώμα του (είτε με αριθμούς είτε με χρώματα) την τιμή της αντίστασής του. Ωστόσο, η πραγματική τιμή της (αυτή που θα μετρήσουμε), ανάλογα με τον τρόπο και το υλικό κατασκευής του αντιστάτη, μπορεί να διαφέρει από την ονομαστική αναγραφόμενη τιμή. Το μέγιστο αναμενόμενο ποσοστό απόκλισης (%) της πραγματικής (μετρούμενης) τιμής της από την θεωρητική (ονομαστική) καλείται ανοχή και εκφράζει την ακρίβεια της ονομαστικής τιμής.

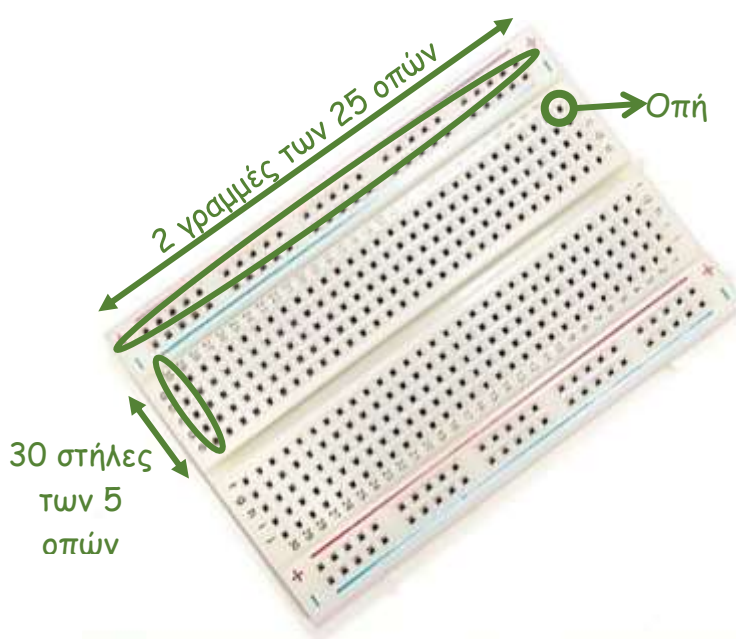
Κατά συνέπεια, ένας αντιστάτης ονομαστικής αντίστασης  $10\text{K}\Omega$  με ανοχή  $\pm 10\%$  μπορεί να έχει πραγματική τιμή από  $9$  έως  $11\text{K}\Omega$ .

Αν χρησιμοποιήσουμε λοιπόν σε υπολογισμούς μεγεθών όπως για παράδειγμα τάση ή ρεύμα την ονομαστική τιμή της αντίστασης (και όχι την μετρούμενη) θα πρέπει να συμπεριλάβουμε οπωσδήποτε την ανοχή στο αποτέλεσμα των μεγεθών αυτών. Δηλαδή χωρίς ακριβή μέτρηση, όλα τα υπολογιζόμενα από την ονομαστική τιμή ενός αντιστάτη μεγέθη θα πρέπει να προκύπτουν σε περιοχές τιμών και όχι σε συγκεκριμένη τιμή.

Αξίζει, επιπλέον, ν' αναφερθούμε στην ολίσθηση της τιμής μιας αντίστασης η οποία αποτελεί την μόνιμη μεταβολή της τιμής της λόγω μεταβολής της δομής του υλικού της. Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω της μηχανικής καταπόνησης, της θερμοκρασίας, της γήρανσης, κ.α. Για τους παραπάνω λόγους σε κυκλώματα ακριβείας πολλές φορές χρησιμοποιούνται πεπαλαιωμένα εξαρτήματα.

# Breadboard

Πολλές φορές, πριν την τελική (μόνιμη) κατασκευή ενός κυκλώματος ωφελεί ένας πειραματικός έλεγχος του, ο οποίος μπορεί να αναδείξει πιθανά σφάλματα που δεν προβλέφθηκαν. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μία πλαστική πλακέτα οπών ταξινομημένων σε γραμμές και στήλες, η οποία ονομάζεται solderless breadboard ή απλώς Breadboard (Σχήμα 216).



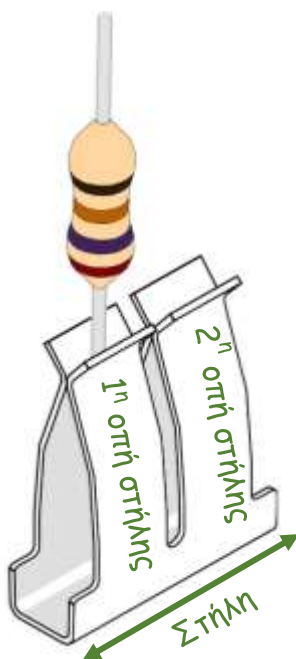
Σχήμα 216 , . Επάνω όψη ενός τυπικού Breadboard

Το κύριο πλεονέκτημα του Breadboard είναι ότι μας επιτρέπει να κατασκευάσουμε τόσο ένα απλό όσο και ένα σύνθετο ηλεκτρονικό κύκλωμα χωρίς να πραγματοποιήσουμε την παραμικρή κόλληση. Η Κόλληση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων αποτελεί διαδικασία χρονοβόρα, και απαιτεί λεπτούς χειρισμούς για την αποφυγή βλάβης των εξαρτημάτων από την θερμότητα. Έτσι το βασικό πλεονέκτημα του breadboard είναι πως αν διαπιστώσουμε ότι το κύκλωμα δεν λειτουργεί με τον αναμενόμενο τρόπο δεν έχουμε παρά να αντικαταστήσουμε εξαρτήματα, καλώδια ή και να αναδιατάξουμε ολόκληρο το κύκλωμα. Επίσης μπορούμε να αντικαταστήσουμε



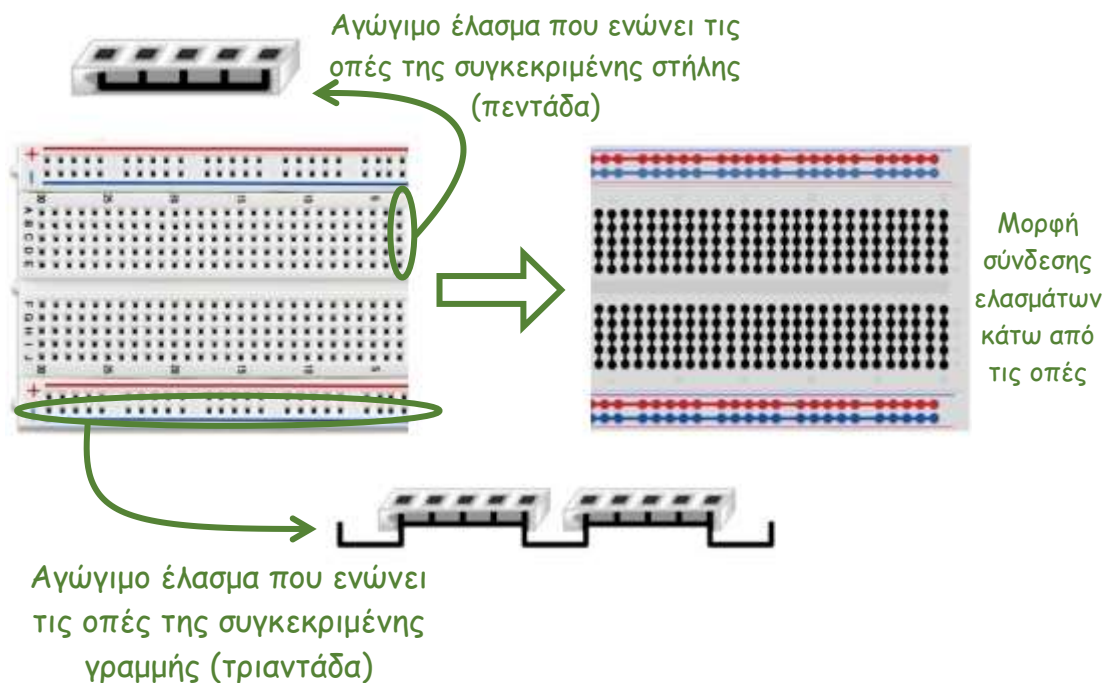
με ευκολία πολλές αντιστάτες ή πυκνωτές ώστε να ελέγχουμε την απόκριση του κυκλώματος στις διάφορες τιμές τους. Ολη αυτή η ευελιξία έγκειται στο γεγονός ότι μπορούμε να συνδέσουμε διάφορα εξαρτήματα μεταξύ τους απλά πιέζοντας-εισάγοντας τους ακροδέκτες τους μέσα στις πλαστικές οπές (οπές επαφής) της επιφάνειας του Breadboard.

Οι οπές κάτω από την επιφάνειά του, είναι ομαδοποιημένες σε οριζόντιες πεντάδες ηλεκτρικά συνδεδεμένες μεταξύ τους. Η σύνδεση αυτή κατά μήκος της κάθε πεντάδας υλοποιείται με ένα μεταλλικό μικρό έλασμα ( κοινό και για τις πέντε αυτές οπές), που συγκρατεί από την μια τα εξαρτήματα και υλοποιεί από την άλλη ηλεκτρική επαφή με τους ακροδέκτες του εξαρτήματος που τοποθετούνται μέσα σε αυτή. Με αυτόν τον τρόπο, όσοι ακροδέκτες τοποθετούνται στην ίδια πεντάδα πρακτικά είναι σαν να έχουν συνδεθεί στο ίδιο σημείο (υλοποιείται μεταξύ τους ηλεκτρική επαφή). Ειδικότερα, η κάθε οπή εσωτερικά (Σχήμα 217) περιλαμβάνει δύο αγώγιμα μεταλλικά ελάσματα-κλιπ, τα οποία έρχονται σε επαφή και συγκρατούν τους ακροδέκτες των εξαρτημάτων.



Σχήμα 217 , εσωτερικό μέρος μιας οπής του breadboard

Φυσικά, τα ελάσματα της κάθε γραμμής ή της κάθε στήλης αντίστοιχα είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους σχηματίζοντας κόμβο/κοινό σημείο σύνδεσης. Για να γίνει ξεκάθαρο και κατανοητό ας δούμε την παρακάτω εικόνα (Σχήμα 218):

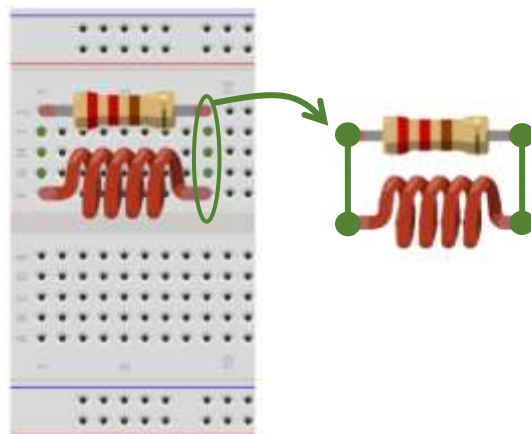


Σχήμα 218 , Περιγραφή της δομής του Breadboard (αριστερά), εσωτερικές συνδέσεις που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια των οπών (δεξιά)

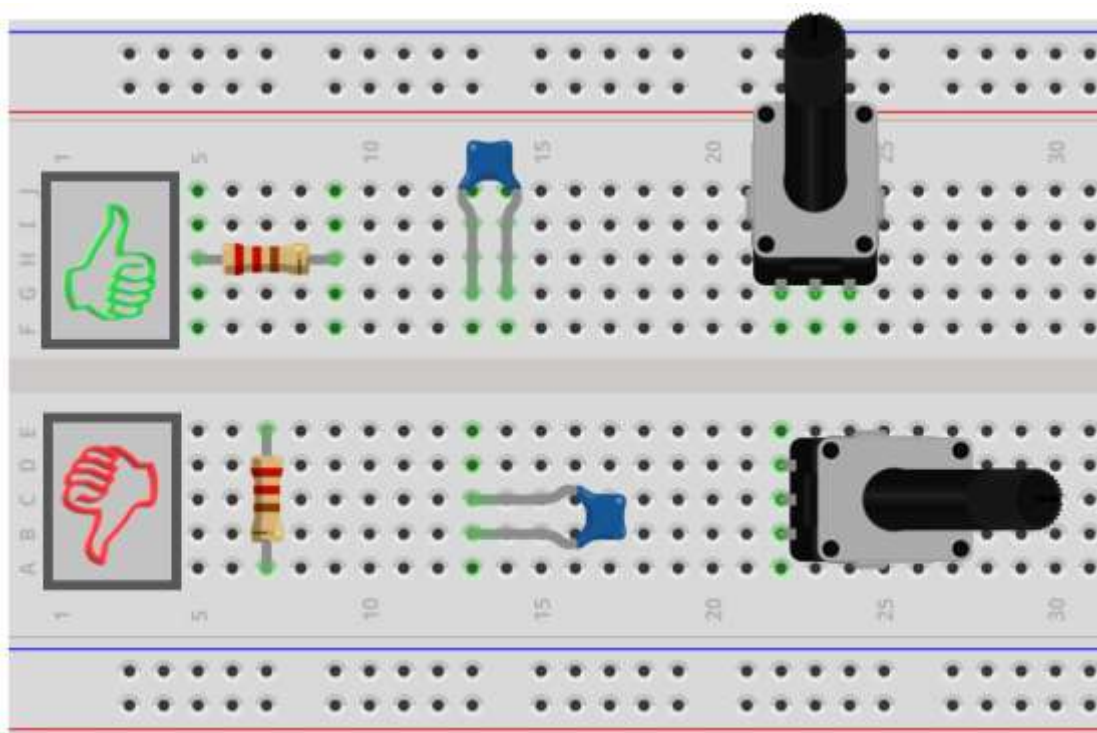
Η βαθιά κοιλότητα (εγκοπή) υποδηλώνει ασυνέχεια της μεταλλικής σύνδεσης. Αν και πρακτικά μπορούμε να κατασκευάσουμε οποιασδήποτε πολυπλοκότητας κύκλωμα σε ένα Breadboard, ο μόνος περιορισμός είναι η συχνότητα λειτουργίας του. Μπορούμε να ελέγξουμε κυκλώματα μόνο έως μερικά MHz, διότι έπειτα, αυξάνοντάς την συχνότητα αυξάνεται η χωρητικότητα μεταξύ γειτνιαζουσών γραμμών και εμφανίζονται παρασιτικές παρεμβολές-αλληλεπιδράσεις με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα στην λειτουργία των κυκλωμάτων.

Παρακάτω θα δούμε μερικά παραδείγματα σύνδεσης εξαρτημάτων σε ένα breadboard (

Σχήμα 219 , Σχήμα 220 ).



Σχήμα 219 , σύνδεση δύο εξαρτημάτων (αντίσταση, πηνίο) παράλληλα




Σχήμα 220 , σωστή σύνδεση εξαρτημάτων (επάνω) , λάθος σύνδεση (κάτω , βραχυκύκλωμα)

### Χρήσιμα Tips:

- ☞ Καλό είναι να μάθουμε να δημιουργούμε εξ αρχής εύτακτη συνδεσμολογία τοποθετώντας κοντά εξαρτήματα που σχετίζονται με ένα κύκλωμα ή μία ορισμένη συνδεσμολογία.
- ☞ Προτιμάμε να συνδέουμε (όπου είναι δυνατόν) απευθείας μεταξύ τους (ίδια ομάδα οπών-κοινό κόμβο) τα εξαρτήματα.

- i. Για να το πετύχουμε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μικρά σε μήκος μονόκλινα καλώδια. Βέβαια δεν πρέπει να το παρακάνουμε, για να αποφύγουμε λάθη συνδεσμολογίας και ταυτόχρονα να είμαστε σε θέση να τροποποιήσουμε ή να ελέγξουμε το κύκλωμα εύκολα και σε ελάχιστο χρόνο.

 Χρήση κοινού χρώματος συνδεσμολογίας καλωδίων που σχετίζονται με την θετική τροφοδοσία της πηγής και άλλου χρώματος π.χ μαύρου που σχετίζονται με τη γείωση.

# Γείωση

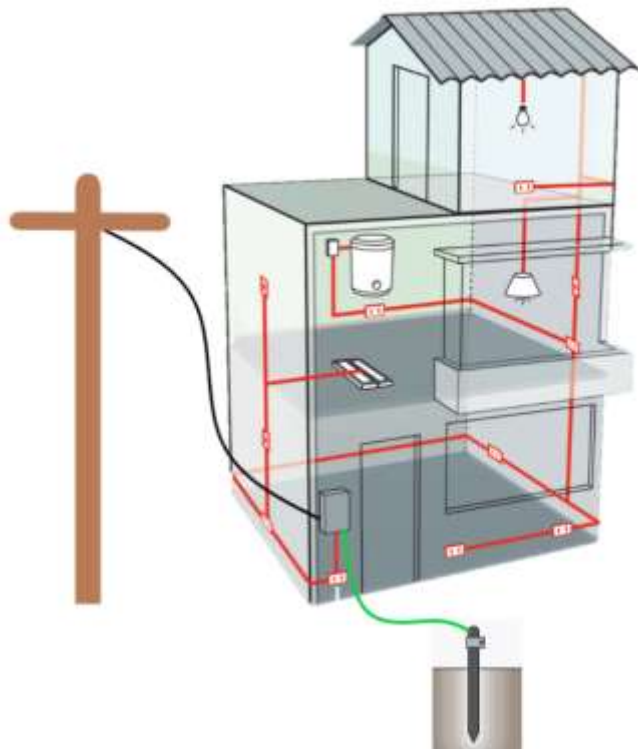
Η πραγματική γη (πλανήτης) είναι ηλεκτρικά ουδέτερη, δηλαδή το ηλεκτρικό δυναμικό της βρίσκεται στο μηδέν. Επειδή το μέγεθος της γης είναι τεράστιο, είναι αδύνατο να φορτιστεί θετικά οτιδήποτε και αν συνδέσουμε σε αυτή. Το χαρακτηριστικό της αυτό, το εκμεταλλευόμαστε για να προστατευθούμε από την ηλεκτροπληξία, τα βραχυκυκλώματα και άλλες επικίνδυνες καταστάσεις που προκύπτουν από βλάβες σε ηλεκτρικές συσκευές.

Η πιο απλή γείωση είναι ένα ηλεκτρόδιο (ή χάλκινη πλάκα) τοποθετημένη μέσα στο έδαφος (Σχήμα 221).



Σχήμα 221 , χάλκινη πλάκα (γείωση) τοποθετημένη στο έδαφος

Όλες οι συσκευές μας, που διαθέτουν γείωση, συνδέονται στην πρίζα όπου έρχεται σε επαφή η σύνδεση της γείωσης τους με την γείωση της ηλεκτρικής εγκατάστασης ολόκληρης της οικίας και έπειτα ο κεντρικός αγωγός της κοινής γείωσης όλων των συσκευών καταλήγει στο μετρητή του παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας , ο οποίος με την σειρά του τον οδηγεί στην κεντρική γείωση ολόκληρης της οικίας που είναι θαμμένη στη γη (Σχήμα 222).

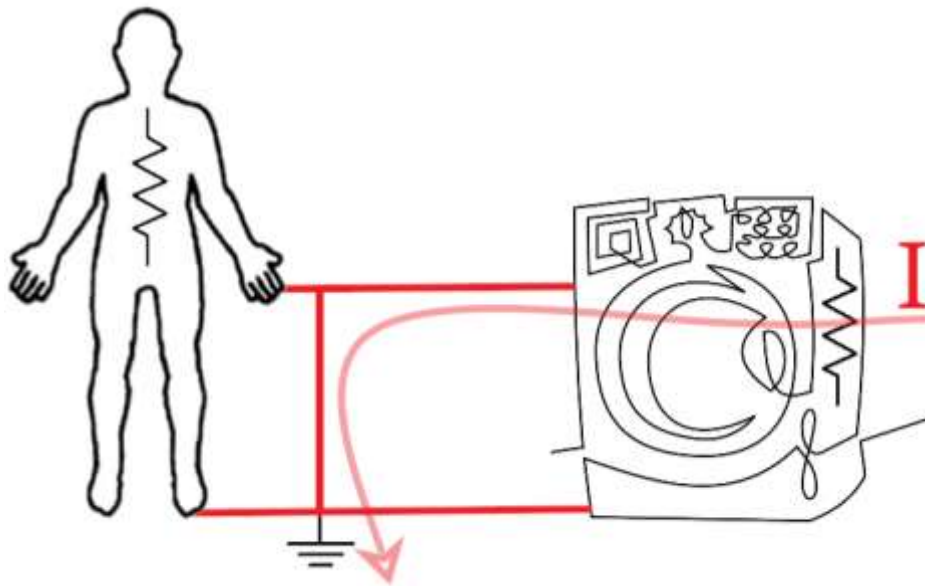


Η γη συμπεριφέρεται πρακτικά ως καταβόθρα άπειρων φορτίων εξουδετερώνοντας θετικά ή αρνητικά φορτία

Σχήμα 222 , Πορεία γείωσης οικίας από μια συσκευή της έως τη γη

#### Πρακτική προσέγγιση:

Σα μια πρακτική αρχή, στην ηλεκτρολογία γνωρίζουμε ότι το ρεύμα "επιλέγει να διαφύγει" από τον αγωγό που παρουσιάζει τη μικρότερη αντίσταση. Επομένως όταν μια συσκευή διαθέτει συνδεδεμένη γείωση, σε περίπτωση βλάβης της ,δε θα μπορεί να προκαλέσει επικίνδυνη τάση στο περίβλημά της και έτσι αγγιζοντάς τη, δεν θα πάθουμε ηλεκτροπληξία. Αυτό συμβαίνει διότι το ρεύμα θα ακολουθήσει τον ευκολότερο δρόμο (μικρότερη αντίσταση) μέσω της διάταξης της γείωσης προς την γη και όχι μέσω του ανθρώπινου σώματος, το οποίο παρουσιάζει αντίσταση κάποιων  $\Omega$  ( $\sim 1 \text{ K}\Omega$ ). Απλοϊκά μπορούμε να φανταστούμε τη διάταξη της γείωσης σαν έναν αγωγό μηδενικής αντίστασης (διέλευση άπειρου ρεύματος) συνδεδεμένο παράλληλα στο ανθρώπινο σώμα και τη συσκευή που διαρρέεται από ρεύμα (Σχήμα 223).






Σχήμα 223 , συμπεριφορά ανθρώπινου σώματος παράλληλα με τη γείωση



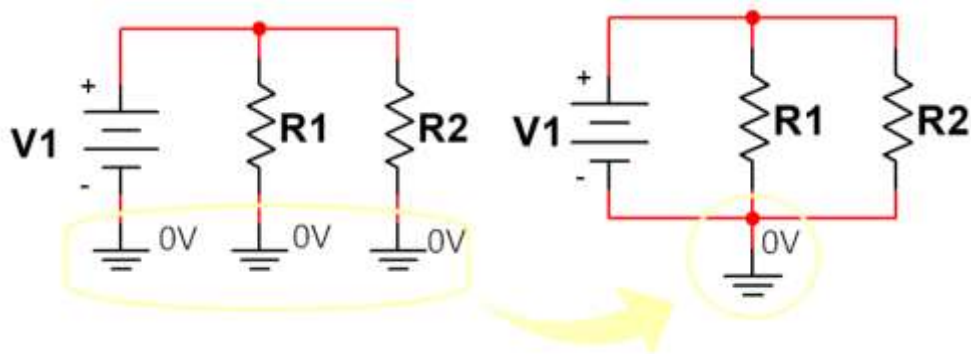
Επειδή ποτέ δεν μπορούμε να είμαστε βέβαιοι για την αξιοπιστία της γείωσης πάντα πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί, αποφεύγοντας να αγγίζουμε με γυμνά χέρια άκρα καλωδίων ή ο,τιδήποτε έχουμε την υποψία ότι διαρρέεται από ρεύμα.

#### Συμβολισμοί ακροδεκτών γείωσης

-  Σύνδεση του ακροδέκτη πίσω στην πηγή παροχής τάσης η οποία εν συνεχεία συνδέεται στη γη
-  Σύνδεση του ακροδέκτη σε μεταλλικό πάσσαλο ή πλάκα θαμμένο στην γη
-  Σύνδεση του ακροδέκτη στο μεταλλικό περίβλημα που περικλείει τη συσκευή (τεχνητή γη)

Μεταξύ των συμβόλων όπως διαπιστώνουμε υπάρχει μια λεπτή διαφορά, ωστόσο στο πλαίσιο του παρόντος εργαστηρίου θα θεωρήσουμε πως δηλώνουν 0 V, δηλαδή το σημείο αναφοράς από το οποίο θα μετράμε όλες τις άλλες τάσεις.

Όλα τα σημεία που είναι γειωμένα συμπεριφέρονται σαν να είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους μιας και το δυναμικό σε κάθε τέτοιο σημείο είναι το ίδιο (0V, Σχήμα 224).



Σχήμα 224 , κοινή γείωση

Χρησιμότητα της γείωσης στις μετρήσεις:

Η γείωση λοιπόν μας προσφέρει προστασία από πιθανή ηλεκτροπληξία, αλλά επιπλέον μας βοηθά στη μέτρηση τάσεων (διαφοράς δυναμικού) αφού αποτελεί σημείο του κυκλώματος στο οποίο αντιστοιχεί δυναμικό 0V. Συνεπώς, μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε ως σημείο αναφοράς από το οποίο θα υπολογίζουμε όλες τις άλλες τάσεις σε διάφορα σημεία του κυκλώματος.



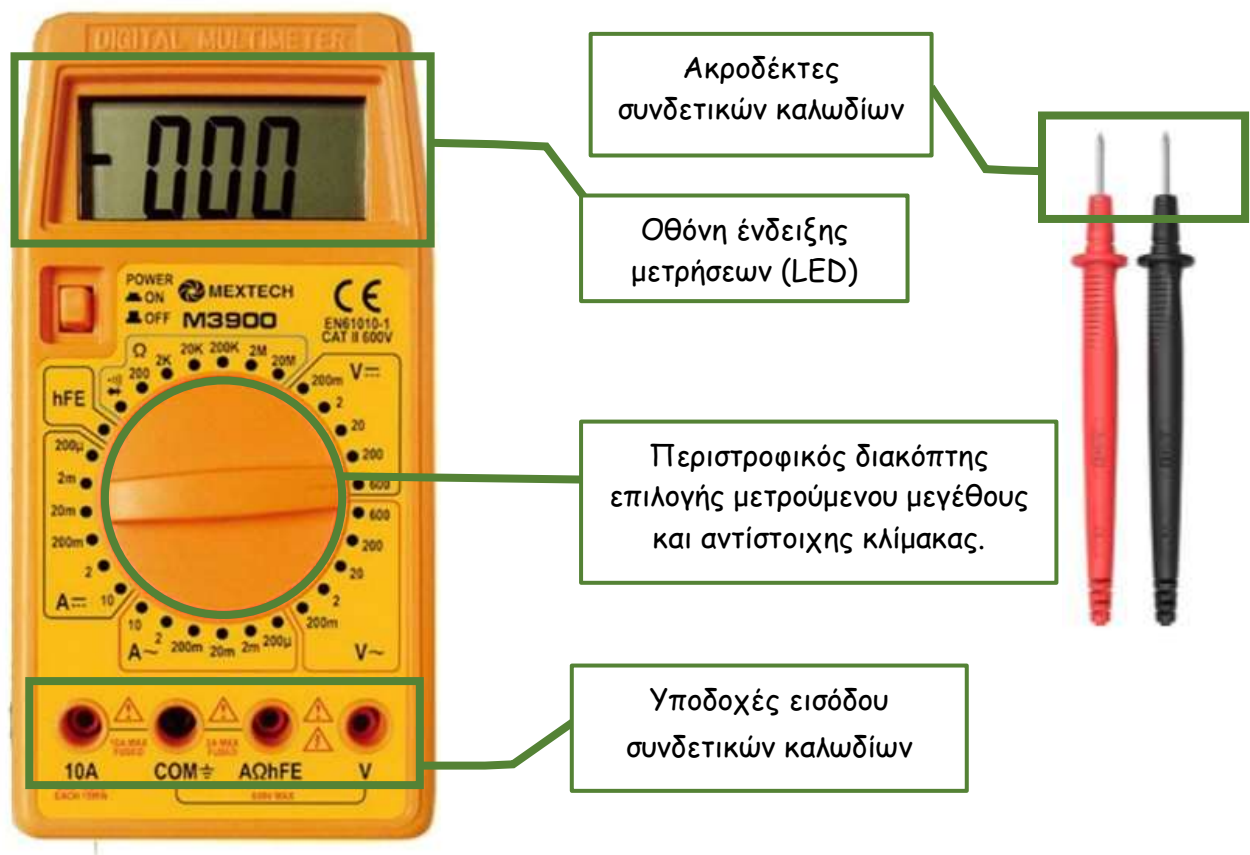
Η διαφορά δυναμικού από τη γείωση έως το προς μέτρηση σημείο του κυκλώματος αποτελεί ένα καλώς ορισμένο μέγεθος.



# Πολύμετρο

Το Πολύμετρο (ψηφιακό στις μέρες μας) αποτελεί ηλεκτρονικό πολλαπλό όργανο μέτρησης διαφόρων χαρακτηριστικών μεγεθών ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες ψηφιακών πολυμέτρων ανάλογα των δυνατοτήτων τους για μέτρηση διαφόρων χαρακτηριστικών μεγεθών. Το πιο κοινό ψηφιακό πολύμετρο μπορεί να λειτουργήσει ως βολτόμετρο, αμπερόμετρο και ωμόμετρο για την μέτρηση της τάσης (AC και DC), του ρεύματος (AC, DC) και της αντίστασης αντίστοιχα. Άλλα πολύμετρα μας προσφέρουν την δυνατότητα μέτρησης της αυτεπαγωγής, της χωρητικότητας ή ακόμα και σύνθετων μεγεθών όπως συντελεστές ενίσχυσης τρανζίστορ.

Τα κύρια μέρη του πολυμέτρου (Εικόνα 1) είναι:



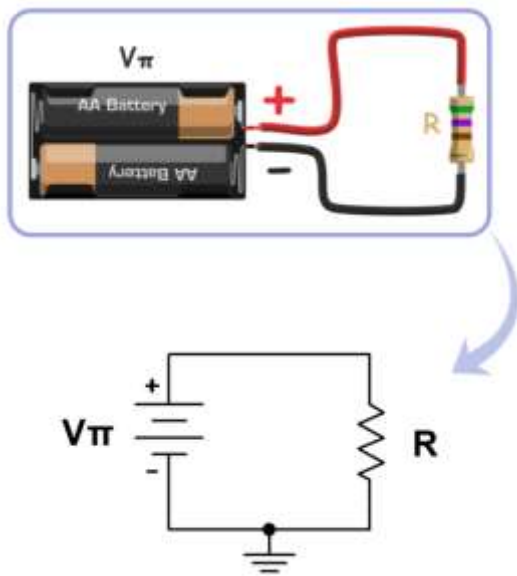
Εικόνα 1 , βασικά μέρη πολυμέτρου

## Μετρήσεις με το πολύμετρο



Πάντα πρέπει να πραγματοποιείτε μετρήσεις υπο την επίβλεψη του υπευθύνου του εργαστηρίου, ακολουθώντας πιστά τις οδηγίες του. Εάν έχετε ιδέες για μετρήσεις που θα θέλατε να δοκιμάσετε και δεν συμπεριλαμβάνονται στις εργαστηριακές ασκήσεις, ζητήστε οπωσδήποτε την συμβουλή, επίβλεψη και έπειτα την άδεια του υπευθύνου, αποφεύγοντας έτσι ηλεκτροπληξία ή άλλους τραυματισμούς.

Έστω ότι θέλουμε να πραγματοποιήσουμε μετρήσεις στο παρακάτω κύκλωμα (Σχήμα 225):



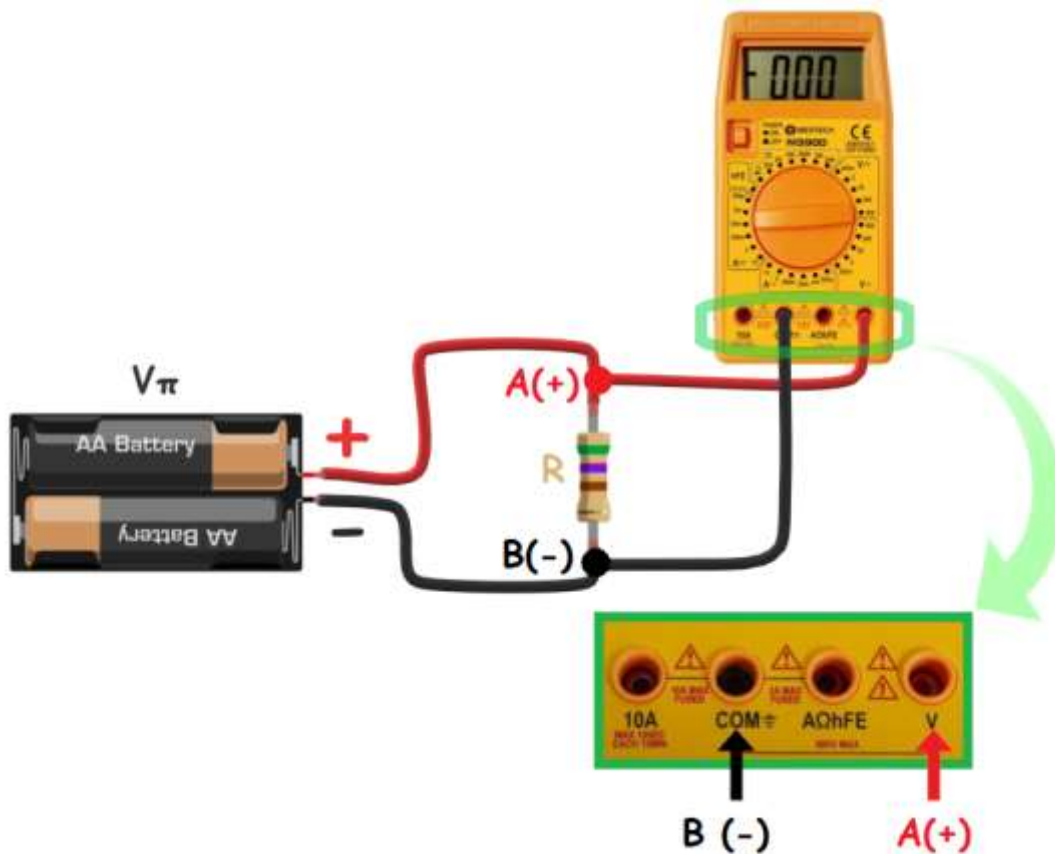
Σχήμα 225 , Αντίσταση σε σειρά με πηγή συνεχούς τάσης

### A. Μέτρηση Τάσης:



Για την μέτρηση τάσης (AC-DC) χρησιμοποιούμε το Πολύμετρο ως Βολτόμετρο. Το βολτόμετρο συνδέεται **παράλληλα στο εξάρτημα** (π.χ., αντίσταση, πυκνωτής κ.α.) στο οποίο επιθυμούμε να μετρήσουμε την πτώση τάσης (ή την διαφορά δυναμικού στα άκρα του).

Για να μετρήσουμε την διαφορά δυναμικού (τάση) στα άκρα του αντιστάτη συνδέουμε το πολύμετρο ως βολτόμετρο, παράλληλα σε αυτόν (Σχήμα 226).



Σχήμα 226, Σύνδεση βολτομέτρου στο προς μέτρηση κυκλωματικό στοιχείο

- 1) Ενεργοποιούμε το Πολύμετρο από το κουμπί ON/OFF (σε κάποια πολύμετρα αυτό γίνεται από τον περιστροφικό διακόπτη επιλογής)
- 2) Συνδέουμε το μαύρο συνδετικό καλώδιο στην είσοδο COM του πολυμέτρου και το κόκκινο στην είσοδο V
- 3) Μετακινούμε τον περιστροφικό διακόπτη στην περιοχή μετρήσεων V  $\overline{\dots}$  για μέτρηση συνεχούς τάσης DC ( ή στην περιοχή V~ για εναλλασσόμενη AC , Σχήμα 227)

Στο παρόν κύκλωμα έχουμε συνεχή τάση (DC) προερχόμενη από δύο μπαταρίες συνδεδεμένες σε σειρά

Το βολτόμετρο συμπεριφέρεται περίπου ως ανοιχτό κύκλωμα, επομένως θα πρέπει να βεβαιωθούμε πως βρισκόμαστε στις περιοχές μετρήσεων τάσης ώστε να αποφευχθεί πρόκληση βλάβης στο όργανο!



Σχήμα 227, Επιλογή περιοχής μέτρησης συνεχούς τάσης (πράσινο), και εναλλασσόμενης τάσης (μπλε)

- 4) Συνδέουμε τους ακροδέκτες δοκιμής στα άκρα του στοιχείου (εδώ στον αντιστάτη)
- 5) Διαβάζουμε την ένδειξη της τάσης στην οθόνη του πολυμέτρου



Όπως προαναφέραμε το πολύμετρο μετρά την διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων. Αυτό σημαίνει πως οι δύο ακροδέκτες του, λαμβάνουν δύο μετρήσεις σε δύο διαφορετικά σημεία και στην συνέχεια το όργανο αποτυπώνει την διαφορά τους. Η τάση που εισέρχεται στην θύρα COM αποτελεί πάντα το σημείο αναφοράς, και το πολύμετρο πραγματοποιεί την διαφορά: Τάση θύρας V - Τάση θύρας COM (αναφοράς) αποτυπώνοντας την πολικότητα της σύνδεσης μέσω πρόσημου.

Αν στην θύρα COM (τάση αναφοράς οργάνου) εισάγουμε υψηλότερη τάση από την τάση στην θύρα V θα εμφανιστεί «-» στην οθόνη του οργάνου (ανάστροφη πολικότητα). Μπορείτε εύκολα να το διαπιστώσετε αντιστρέφοντας τους ακροδέκτες του βολτομέτρου στα άκρα του στοιχείου που μετράτε.

Για την λήψη μιας αξιόπιστης και με ακρίβεια μέτρησης θα πρέπει να ρυθμίζουμε κάθε φορά τον περιστροφικό διακόπτη στην κατάλληλη κλίμακα μέτρησης (**προσοχή στις μονάδες του μετρούμενου μεγέθους**) ανάλογα με την περιοχή μετρήσεων που περιμένουμε και βέβαια ανάλογα του μεγέθους που μετράμε.

Συγκεκριμένα, όταν μετράμε τάση μεγαλύτερη της κλίμακας που έχουμε ορίσει μέσω του περιστροφικού διακόπτη, στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη " 1. ", επομένως θα πρέπει να στρέψουμε τον διακόπτη σε μεγαλύτερη κλίμακα. Αντίθετα, όταν μετράμε τάση πολύ μικρότερη από την επιλεγμένη κλίμακα, παίρνουμε ένδειξη λίγων σημαντικών ψηφίων χάνοντας σε ακρίβεια (λ.χ. 0,012V αντί για 1,234V) και ως εκ τούτου θα πρέπει να στρέψουμε τον διακόπτη επιλογής σε μικρότερη κλίμακα.

Αν η τιμή του μεγέθους που προσπαθούμε να μετρήσουμε είναι εξαρχής άγνωστη, τοποθετούμε τον διακόπτη επιλογής στην μεγαλύτερη διαθέσιμη κλίμακα και διαδοχικά μεταβαίνουμε σε χαμηλότερες μέχρις ότου πετύχουμε ένδειξη μέτρησης επαρκούς επιπέδου ακριβείας.

Η παραπάνω διαδικασία αφορά όλα τα μετρούμενα μεγέθη ενός πολυμέτρου.

Π.χ.:

Τάση προς μέτρηση 4V:

Κλίμακα 600 → ένδειξη 004 V

Κλίμακα 200 → ένδειξη 04,2 V

Κλίμακα 20 → ένδειξη 4,27 V (!) **σωστή**

Κλίμακα 2 → ένδειξη 1.

Όμοια εργαζόμαστε (βήματα 1) και όταν πρόκειται για μέτρηση εναλλασσόμενης τάσης (AC). Βέβαια για AC τάσεις δεν παίζει ρόλο η πολικότητα και οι ακροδέκτες μπορούν να τοποθετηθούν στα σημεία μέτρησης με οποιαδήποτε φορά.

Όταν μετράμε εναλλασσόμενη τάση-AC (περιοχή μετρήσεων πολυμέτρου V~) δεν πρέπει να αγγίζουμε με γυμνά χέρια τα άκρα των ακροδεκτών δοκιμής του πολυμέτρου που έρχονται σε επαφή με τα άκρα του προς μέτρηση στοιχείου διότι κατά κανόνα το διαρρέει υψηλή τιμή έντασης ρεύματος.

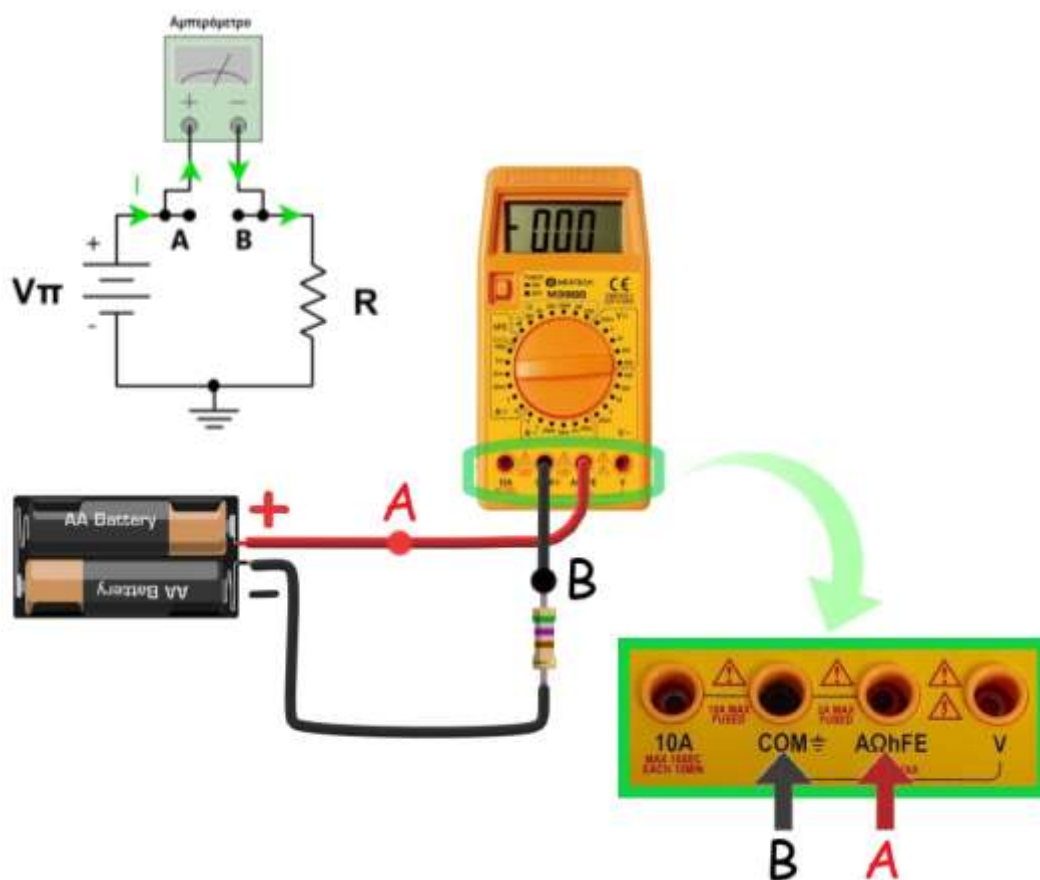
Στις **μετρήσεις AC ποσοτήτων**, το πολύμετρο μετρά την ενεργό τιμή τους, οι μετρήσεις αυτές είναι ακριβείς μόνο για ημιτονοειδή σήματα εισόδου.

## B. Μέτρηση Ρεύματος:



Για την μέτρηση ρεύματος (AC-DC) χρησιμοποιούμε το πολύμετρο ως αμπερόμετρο. Το **αμπερόμετρο** παρεμβάλλεται **σε σειρά στο σημείο του κυκλώματος**, στο οποίο επιθυμούμε να μετρήσουμε το ρεύμα.

Για να μετρήσουμε το ρεύμα που διαρρέει τον αντιστάτη συνδέουμε το πολύμετρο ως αμπερόμετρο, σε σειρά με αυτόν (δεν έχουμε κόμβο, έχουμε ένα βρόχο άρα το ρεύμα είναι κοινό, Σχήμα 228).



Σχήμα 228 , Σύνδεση αμπερομέτρου σε σειρά με αντιστάτη για την μέτρηση του ρεύματος που τον διαρρέει

- 1) Ενεργοποιούμε το Πολύμετρο από το κουμπί ON/OFF
- 2) Συνδέουμε το μαύρο συνδετικό καλώδιο στην είσοδο COM του πολυμέτρου και το κόκκινο στην είσοδο AΩhFE (ή A)
- 3) Μετακινούμε τον περιστροφικό διακόπτη στην περιοχή μετρήσεων A ∴ για μέτρηση συνεχούς ρεύματος DC ( ή στην περιοχή A~ για εναλλασσόμενο AC , Σχήμα 229 )



Σχήμα 229 , Επιλογή περιοχής μέτρησης συνεχούς ρεύματος (πράσινο), και εναλλασσόμενου (μπλε)

- 4) Παρεμβάλουμε το αμπερόμετρο στο κύκλωμα συνδέοντας τους δύο ακροδέκτες δοκιμής του αμπερομέτρου στα σημεία όπου έχουμε διακόψει την συνέχεια του κυκλώματος. Ειδικότερα, το σημείο A στην θύρα AΩhFE και το σημείο B στην θύρα COM.

Αν το δυναμικό στην θύρα AΩhFE είναι υψηλότερο από το δυναμικό στην θύρα COM τότε η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος θα εμφανιστεί στην οθόνη του πολυμέτρου ως θετική

Αν το δυναμικό στην θύρα AΩhFE είναι χαμηλότερο από το δυναμικό στην θύρα COM τότε η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος θα εμφανιστεί στην οθόνη του πολυμέτρου ως αρνητική «-»

Το **αμπερόμετρο** συμπεριφέρεται περίπου ως **βραχυκύκλωμα**, επομένως θα πρέπει να βεβαιωθούμε πως **βρισκόμαστε** στις **περιοχές μετρήσεων ρεύματος**. Η μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος ουσιαστικά προϋποθέτει την διαρροή του αμπερομέτρου από το ρεύμα αυτό επομένως απαιτείται να παρεμβάλλουμε το αμπερόμετρο στο σημείο ακριβώς όπου θέλουμε να λάβουμε μέτρηση

- 5) Διαβάζουμε την ένδειξη της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος στην οθόνη του πολυμέτρου



Δεν προβαίνουμε σε στρογγυλοποίηση της ένδειξης!  
Ιδιαίτερη προσοχή στα προθέματα μονάδων από τις κλίμακες μέτρησης που θα επιλέξουμε.

Για την **μέτρηση εναλλασσόμενου ρεύματος AC** (περιοχή μετρήσεων  $A\sim$ ) το πολύμετρο μας δίνει ως ένδειξη την ενεργό τιμή της έντασης του εναλλασσόμενου ρεύματος



Όταν μετράμε εναλλασσόμενο ρεύμα AC (περιοχή μετρήσεων πολυμέτρου  $A\sim$ ) δεν πρέπει να αγγίζουμε με γυμνά χέρια τα άκρα των ακροδεκτών δοκιμής του πολυμέτρου που έρχονται σε επαφή με αγωγούς του κυκλώματος διότι κατά κανόνα τους διαρρέει υψηλή τιμή έντασης ρεύματος

### C. Μέτρηση Αντίστασης:



Για την μέτρηση αντίστασης χρησιμοποιούμε το Πολύμετρο ως Ωμόμετρο. Το **Ωμόμετρο** συνδέεται **στα άκρα του αντιστάτη** (με οποιαδήποτε φορά των συνδετικών καλωδίων) που πρόκειται να μετρήσουμε, **χωρίς αυτός να βρίσκεται υπο τάση**.

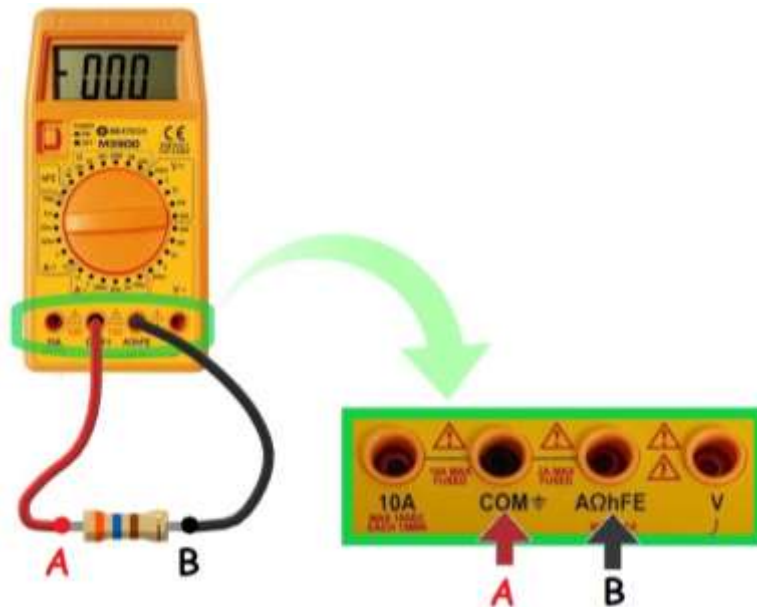
- 1) Ενεργοποιούμε το Πολύμετρο από το κουμπί ON/OFF
- 2) Συνδέουμε το μαύρο συνδετικό καλώδιο στην είσοδο COM του πολυμέτρου και το κόκκινο στην είσοδο AΩhFE (ή Ω)
- 3) Μετακινούμε τον περιστροφικό διακόπτη στην περιοχή μετρήσεων Ω (Σχήμα 230)






Σχήμα 230 , Επιλογή περιοχής μέτρησης αντίστασης

- 4) Συνδέουμε τους δύο ακροδέκτες δοκιμής του Ωμόμετρου στα άκρα του αντιστάτη. Ειδικότερα, το σημείο A στην θύρα AΩhFE και το σημείο B στην θύρα COM ή εναλλακτικά το σημείο A στην θύρα COM και το σημείο B στην θύρα AΩhFE.






Για την μέτρηση αντιστατών το Ωμόμετρο διαθέτει δική του εσωτερική πηγή τάσης (μπαταρία) επομένως η μέτρηση της αντίστασης πρέπει να γίνεται όταν έχει απομονωθεί από κάθε άλλη τροφοδοσία

- 5) Διαβάζουμε την ένδειξη της αντίστασης στην οθόνη του πολυμέτρου δίνοντας Ιδιαίτερη προσοχή στα προθέματα μονάδων

Με το Ωμόμετρο μπορούμε να ελέγξουμε επίσης και την ηλεκτρική συνέχεια ενός αγωγού.

Αν ο αγωγός παρουσιάζει μικρή αντίσταση ( $< 50 \Omega$ ) τότε συμπεραίνουμε πως είναι συνεχής ηλεκτρικά, αντίθετα αν λάβουμε ένδειξη υψηλής αντίστασης (ή 1.) ο αγωγός είναι ασυνεχής ηλεκτρικά.

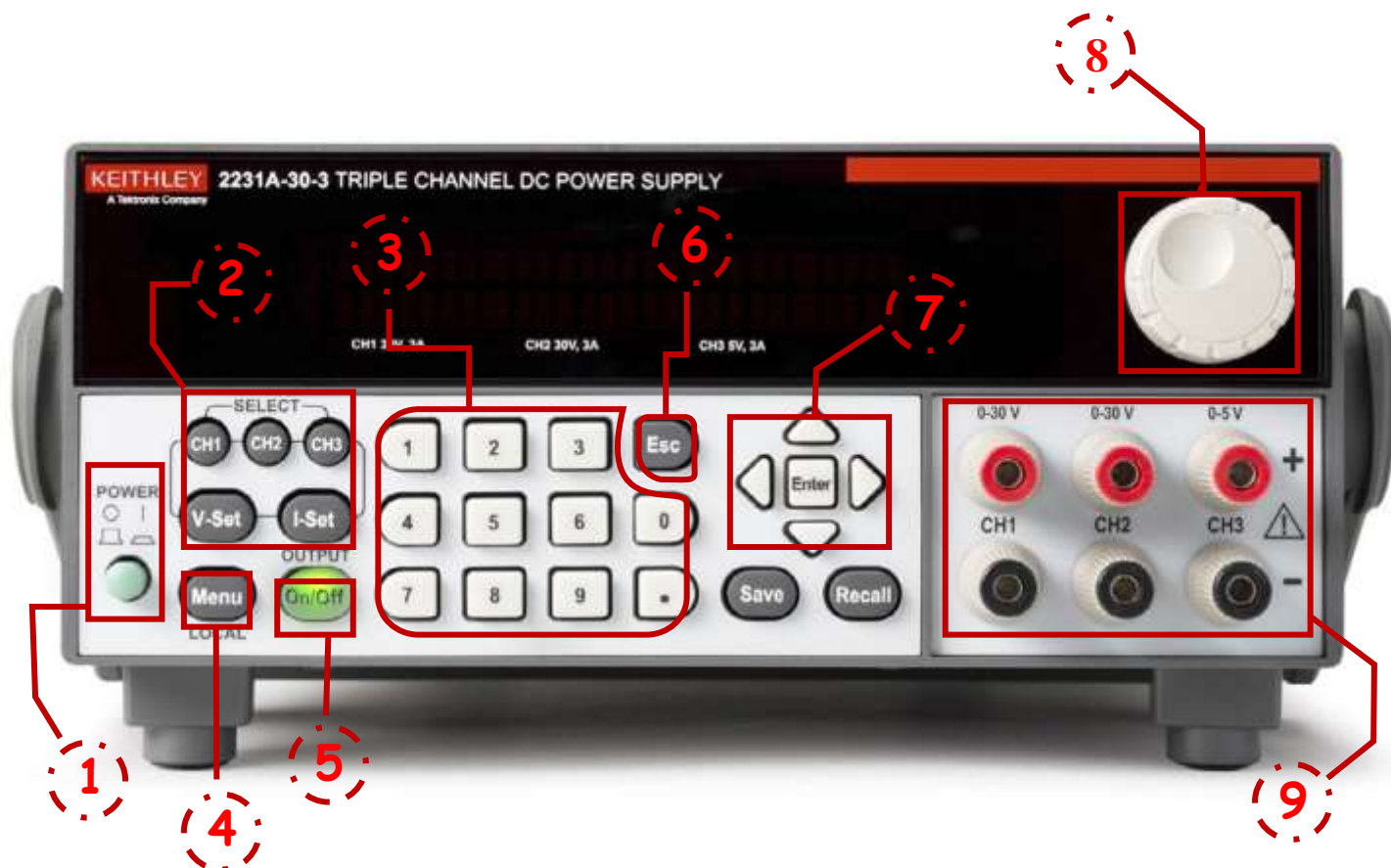
Το πολύμετρο μας δίνει την δυνατότητα γρήγορου ελέγχου ρυθμίζοντας τον περιστροφικό διακόπτη στην θέση  και τοποθετώντας τους ακροδέκτες των δοκιμαστικών καλωδίων στα άκρα ενός αγωγού εάν υπάρχει ηλεκτρική συνέχεια θα ηχήσει ο ενσωματωμένος βομβητής.

# Τροφοδοτικό

Το τροφοδοτικό (power supply) είναι μια συσκευή που μας παρέχει το απαραίτητο επίπεδο συνεχούς τάσης (DC) που χρειαζόμαστε για την τροφοδοσία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

Το τροφοδοτικό που χρησιμοποιούμε στο εργαστήριο είναι της εταιρίας Keithley (Θυγατρική της Tektronix) μοντέλο 2231A-30-3 και έχει την δυνατότητα να παρέχει τρεις ανεξάρτητες τάσεις ή ρεύματα, ενώ έχει την δυνατότητα της ταυτόχρονης ενεργοποίησης και απενεργοποίησης όλων των εξόδων του. Η κάθε έξοδος ρυθμίζεται ανεξάρτητα και αποτελείται από δύο βύσματα, το κόκκινο που είναι ο ακροδέκτης θετικού δυναμικού και το μαύρο ακροδέκτης αρνητικού δυναμικού (ή ως γείωση).

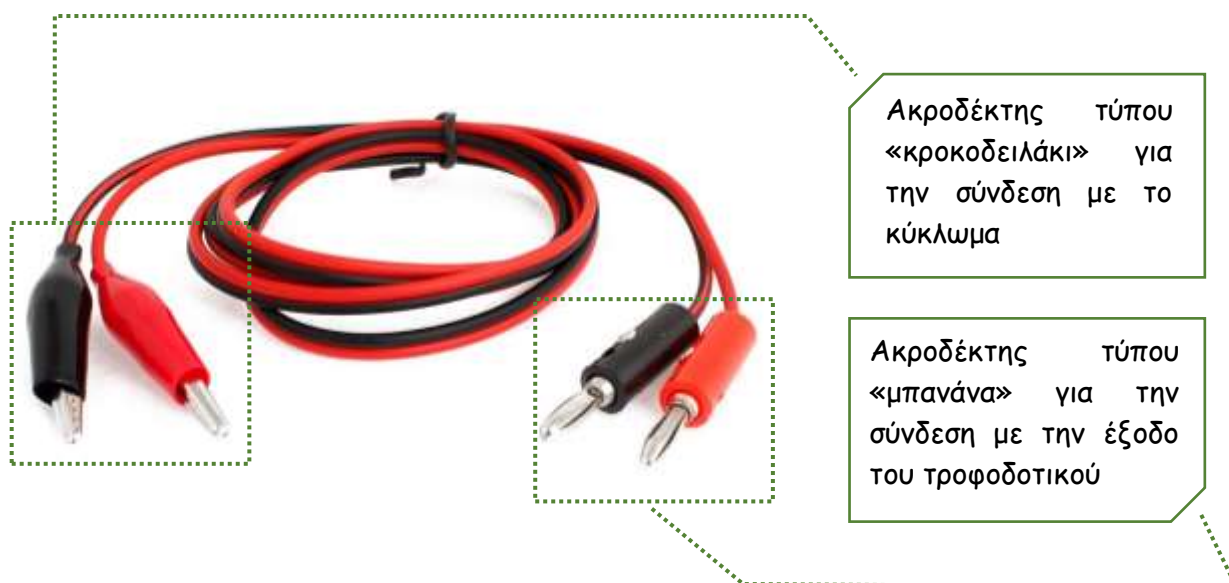
Τα **βασικά κουμπιά παραμετροποίησής** του (Σχήμα 231) είναι:



Σχήμα 231 , Όψη τροφοδοτικού και κουμπιά παραμετροποίησης λειτουργιών

- 1) Διακόπτης ενεργοποίησης Power (on/off)
- 2) Επιλογή καναλιού προς ρύθμιση από τους διακόπτες CH1,CH2,CH3 και διακόπτης παραμετροποίησης μεγέθους αντίστοιχου καναλιού (V-Set→ ρύθμιση τάσης, I-Set → ρύθμιση ρεύματος)
- 3) Πληκτρολόγιο για τον ορισμό της τιμής του μεγέθους που εμφανίζεται στην οθόνη
- 4) Διακόπτης εμφάνισης ρυθμίσεων Menu
- 5) Διακόπτης ταυτόχρονης ενεργοποίησης/απενεργοποίησης όλων των εξόδων του τροφοδοτικού
- 6) Επιστροφή από την προεπιλεγμένη λειτουργία
- 7) Διακόπτες μετάβασης (δεξιά/αριστερά, πάνω/κάτω) και διακόπτης επιλογής Enter
- 8) Περιστρεφόμενο κουμπί πολλαπλών χρήσεων. Κατά την περιστροφή του αυξάνεται ή μειώνεται η τιμή του επιλεγμένου ψηφίου ή μεταβαίνουμε μεταξύ στοιχείων μενού
- 9) Τρεις θύρες εξόδου (CH1,CH2,CH3) των δύο βυσμάτων η καθεμιά

Στην καθεμιά έξοδο συνδέονται καλώδια τύπου Banana to Alligator Cable (Σχήμα 232) ή Banana to IC Hook (Σχήμα 233)



Σχήμα 232 , Καλώδια σύνδεσης (μπανάνα σε κροκοδειλάκι)



Προσοχή στην **σωστή πολικότητα** « +/- » των εξόδων και την σωστή σύνδεσή τους με τα σημεία του κυκλώματος.

**Ενεργοποιούμε** την **έξοδο** του τροφοδοτικού από τον διακόπτη on/off **αφού** πρώτα **έχουμε ολοκληρώσει τη ρύθμιση** της επιθυμητής τιμής **τάσης**.

Αν δεν έχει προ-ρυθμιστεί και μας επιτρέπεται η ρύθμιση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος τότε θέτουμε ως μέγιστη τιμή 200 mA (**υπο την επίβλεψη του διδάσκοντα**)



Σχήμα 233 , Καλώδια σύνδεσης (μπανάνα σε γαντζάκι)

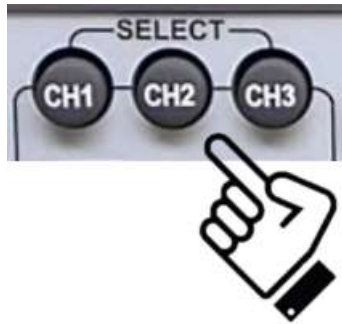
## Παραγωγή συνεχούς τάσης DC για τροφοδοσία κυκλώματος

Έστω πως θέλουμε να παράξουμε **συνεχή τάση** 100mV DC

- 1) Ενεργοποιούμε το τροφοδοτικό



- 2) Επιλέγουμε το πρώτο κανάλι (CH1) προς ρύθμιση (ή οποιαδήποτε άλλο κανάλι, δίνοντας προσοχή στα παρεχόμενα εύρη τιμών)

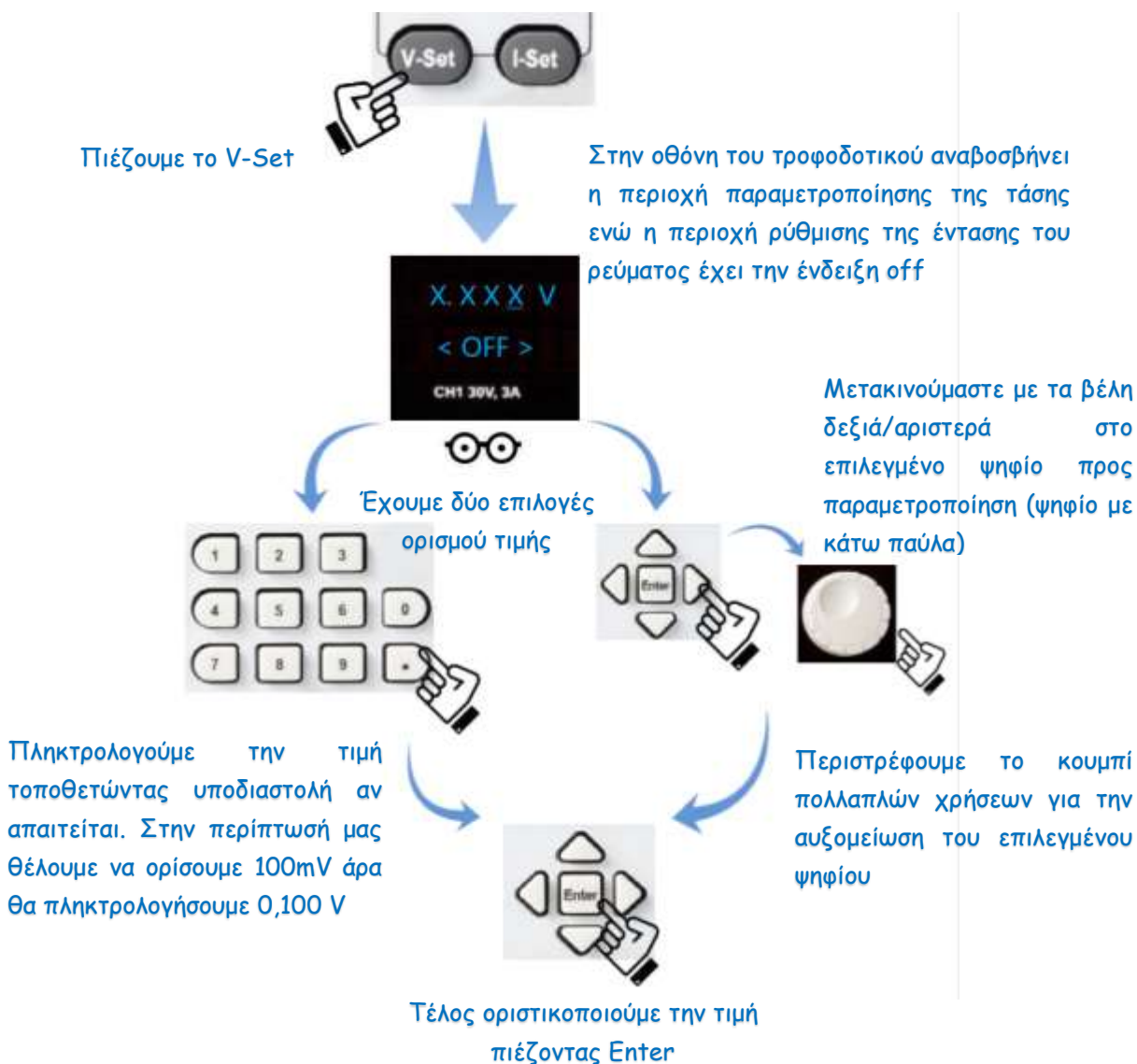


🔄 Αν η επιθυμητή τάση τροφοδοσίας του κυκλώματος δεν χρειάζεται να υπερβεί τα 5V τότε μπορούμε να επιλέξουμε το τρίτο κανάλι (CH3) του τροφοδοτικού.

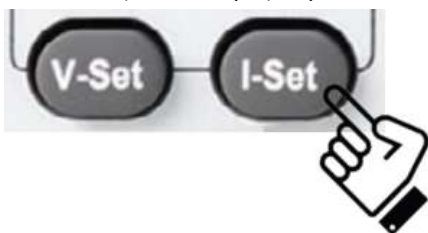
#### Εύρος τιμών εξόδων

	CH1	CH2	CH2
Τάση	0-30 V	0-30 V	0-5 V
Ρεύμα	0-3 A	0-3 A	0-3 A

- 3) Επιλέγουμε να παραμετροποιήσουμε την τιμή της τάσης (του καναλιού που επιλέξαμε στο προηγούμενο βήμα) πιέζοντας το V-Set.



- 4) Επιλέγουμε να παραμετροποιήσουμε την τιμή του ρεύματος πιέζοντας το I-Set



και στην συνέχεια ακολουθούμε την ίδια διαδικασία όπως και κατά την παραμετροποίησης της τάσης (βήμα 3)



Αν δεν μας επιτρέπεται η παραμετροποίηση της τιμής της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος τότε παραλείπουμε το βήμα αυτό μιας και έχει προκαθοριστεί - κλειδωθεί η έξοδος σε μια συγκεκριμένη τιμή.

- 5) Ενεργοποιούμε την έξοδο των καναλιών (ταυτόχρονα) πιέζοντας το OUTPUT On/Off





# Γεννήτρια Σήματος

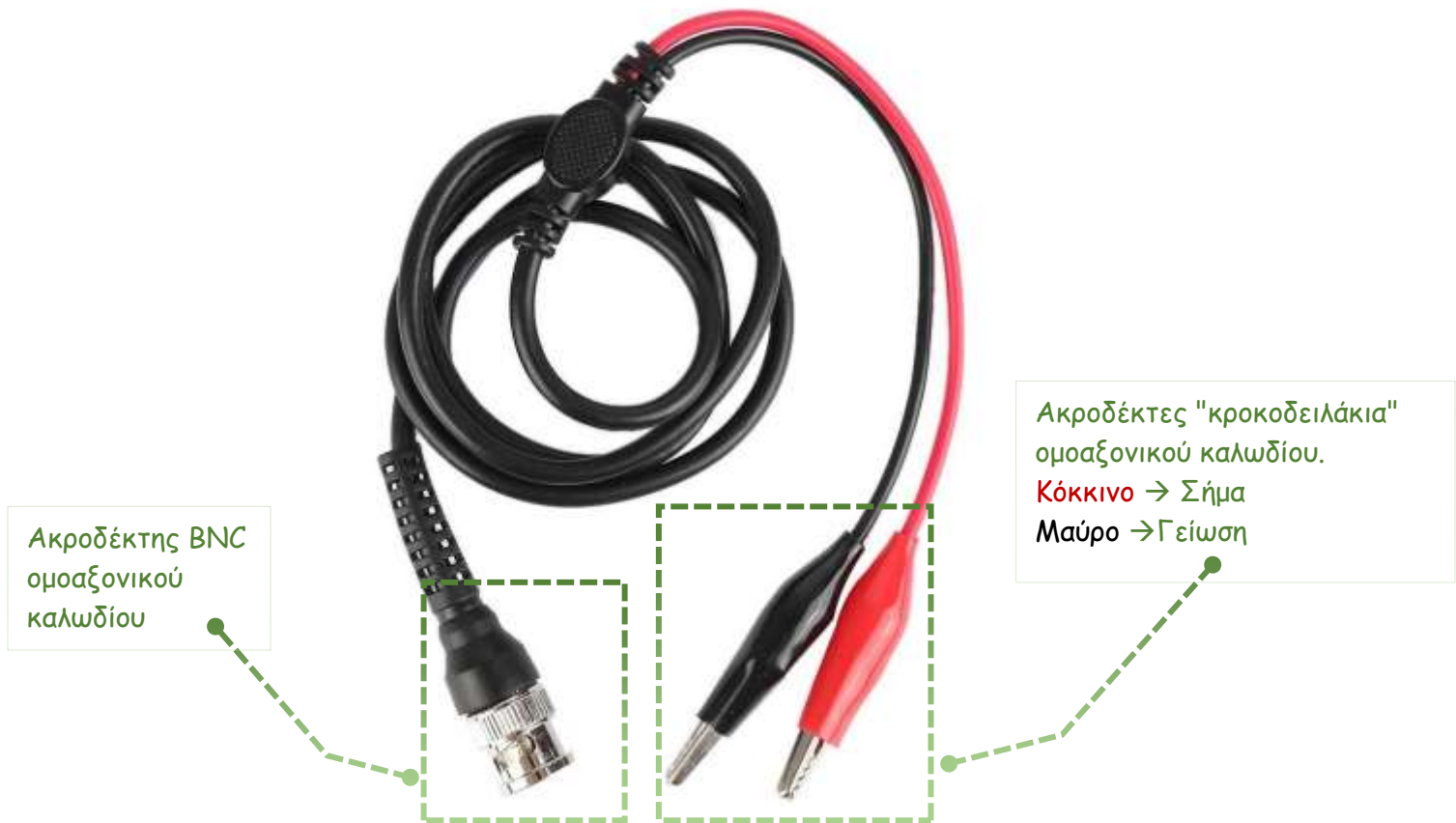
Αν και μπορούμε εύκολα να τροφοδοτήσουμε κάποιο κύκλωμα με ένα συνεχή σήμα (dc) σταθερού πλάτους (λ.χ. μέσω μιας μπαταρίας), ωστόσο πολλές φορές χρειαζόμαστε εναλλασσόμενα σήματα συγκεκριμένης μορφής, συχνότητας και πλάτους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα (γεννήτριες σημάτων) που είναι σε θέση να παράγουν τέτοιου είδους σήματα και τα συναντάμε σε κάθε εργαστήριο ηλεκτρονικών.

Γεννήτρια σήματος (Σχήμα 234) είναι το όργανο το οποίο έχει την δυνατότητα να παράγει σήματα διαφόρων τύπων (ημιτονικά, τριγωνικά κ.α.), τα χαρακτηριστικά των οποίων ελέγχονται από το χρήστη (συχνότητα, πλάτος κ.α.).



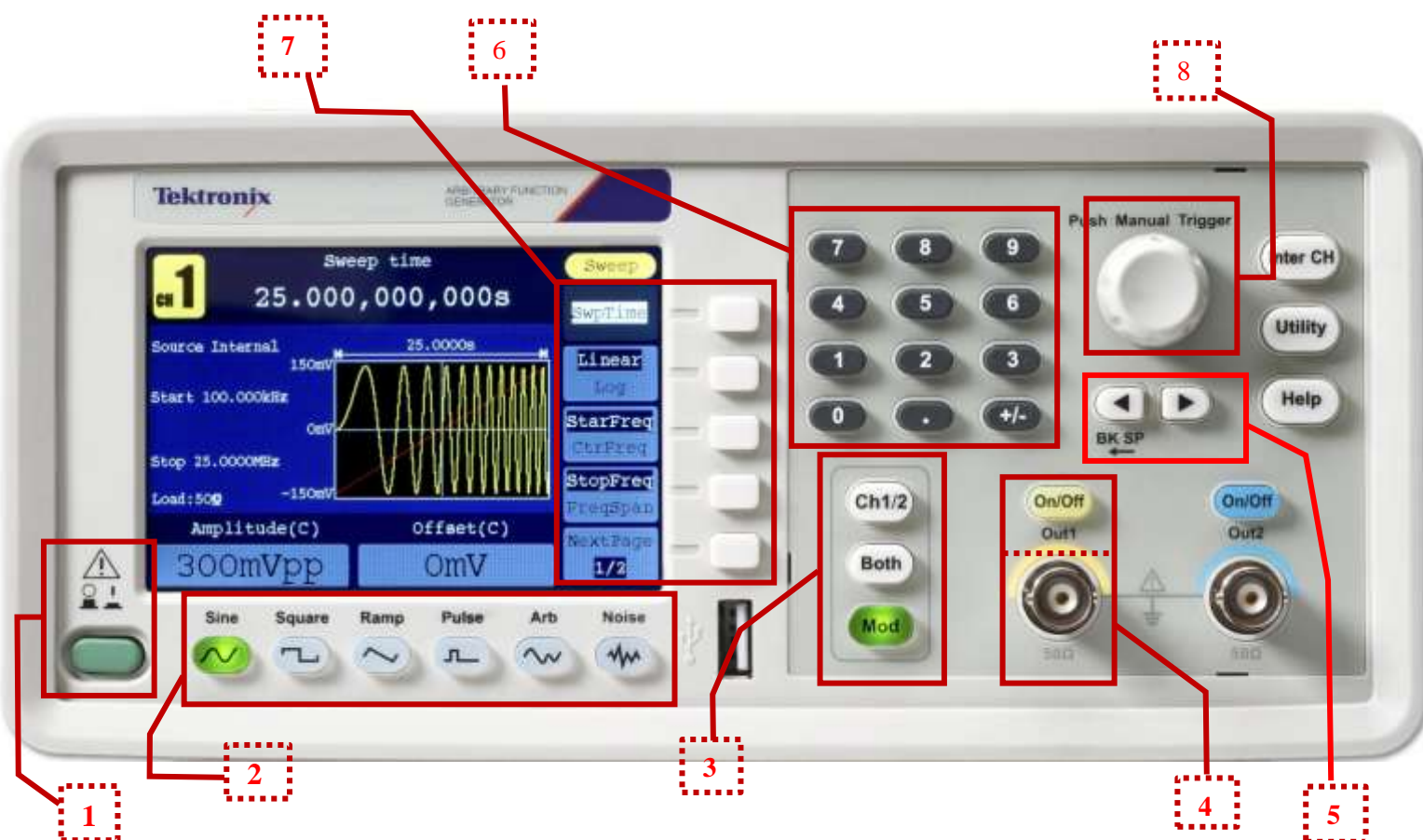
Σχήμα 234 , Γεννήτρια σήματος Tektronix AFG1062

Η σύνδεση της γεννήτριας σημάτων με το κύκλωμα επιτυγχάνεται με ομοαξονικό καλώδιο:



Σχήμα 235 , Ομοαξονικό καλώδιο γεννήτριας σήματος

## Ανάλυση λειτουργιών γεννήτριας σήματος Tektronix AFG1062



Σχήμα 236 , Όψη γεννήτριας και κουμπιά παραμετροποίησης λειτουργιών

1. Διακόπτης On/Off
2. Επιλογή του επιθυμητού τύπου παραγόμενης κυματομορφής
3. Ch1/2: Εναλλαγή μεταξύ καναλιών στην οθόνη
4. On/Off διακόπτης ενεργοποίησης/απενεργοποίησης της εξόδου της γεννήτριας (κανάλι 1) και BNC θύρα
5. Μετάβαση αριστερά ή δεξιά σε κάποιο ψηφίο του αριθμού του ρυθμιζόμενου μεγέθους (συχνότητα, πλάτος, φάση κ.α. )
6. Πληκτρολόγιο για τον ορισμό της τιμής του μεγέθους που εμφανίζεται στην οθόνη
7. Επιλογή μεγέθους προς ρύθμιση
8. Περιστροφικός διακόπτης αυξομείωσης του επιλεγμένου μεγέθους που εμφανίζεται στην οθόνη

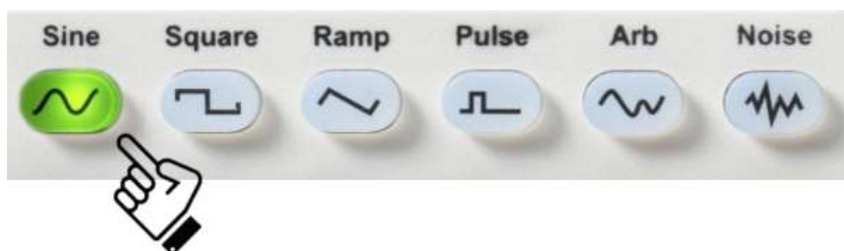
### Παραγωγή ημιτονικών σημάτων

Παραγωγή ημιτονικού σήματος συχνότητας 1KHz και πλάτους 1 V<sub>p-p</sub>

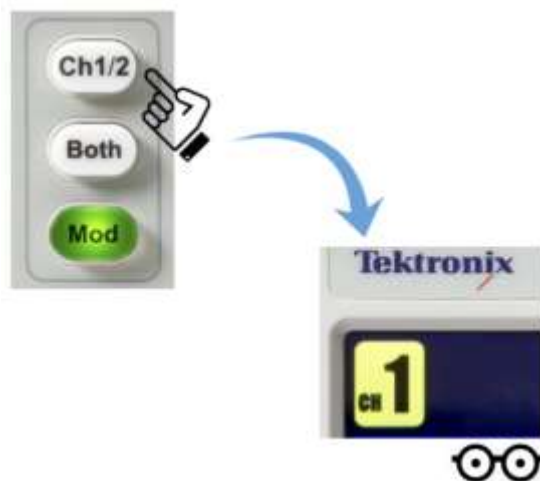
- 1) Ενεργοποιούμε την γεννήτρια



- 2) Επιλέγουμε ως τύπο κυματομορφής την ημιτονική (Sine)



- 3) Θα παραγάγουμε το ημιτονικό σήμα στο κανάλι 1 της γεννήτριας, για το σκοπό αυτό πιέζουμε τον διακόπτη ch1/2 ώστε επάνω αριστερά στην οθόνη να εμφανιστεί η ένδειξη ch1



- 4) Από τους διακόπτες επιλογής μεγεθών πιέζουμε τον πρώτο με την ένδειξη Freq



Βεβαιωνόμαστε πως στην κορυφή της οθόνης υπάρχει η ένδειξη Frequency.



Διαφορετικά πιέζουμε εκ νέου τον διακόπτη.

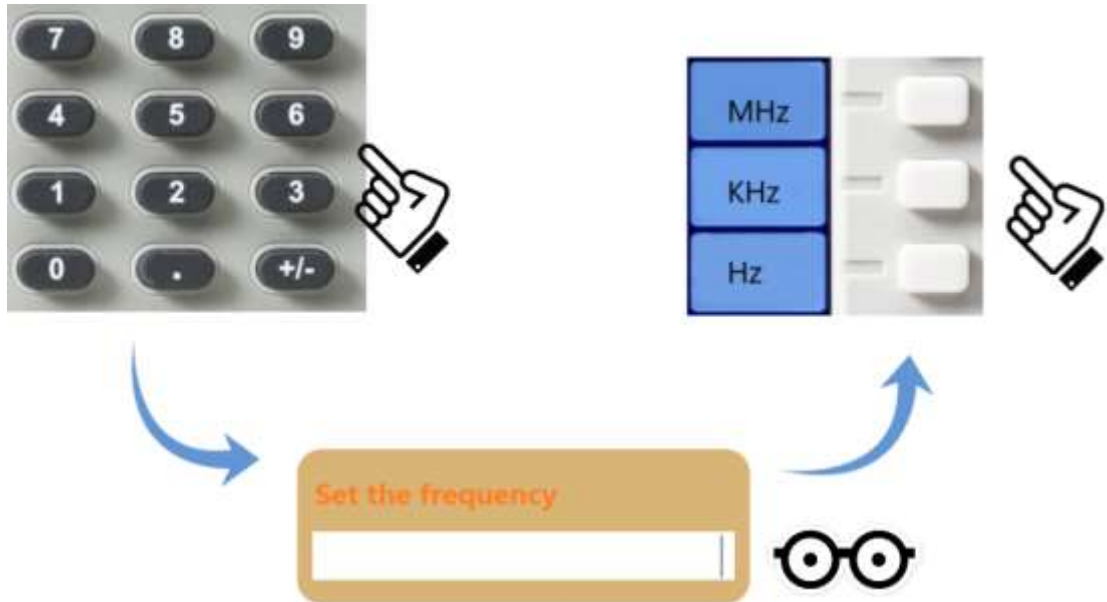
Ρυθμίζουμε την επιθυμητή τιμή συχνότητας με δύο τρόπους

- a) Αν επιθυμούμε τιμή κοντινή στην συχνότητα που εμφανίζεται στην οθόνη της γεννήτριας χρησιμοποιούμε τον περιστροφικό διακόπτη αυξομείωσης

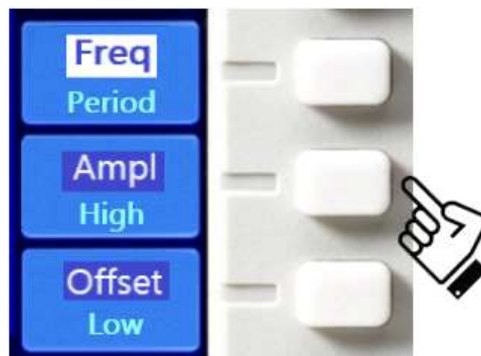


- i. Αν θέλουμε να θέσουμε δεκαδική τιμή τότε, πιέζουμε το πλήκτρο "BK SP", με το βελάκι προς τα δεξιά, επιλέγουμε το ψηφίο προς μεταβολή της τιμής του και το αλλάζουμε είτε με τον περιστροφικό διακόπτη είτε εισάγοντας τιμή από το πληκτρολόγιο.
- b) Αν επιθυμούμε να ορίσουμε τιμή σε άλλη τάξη μεγέθους από την εμφανιζόμενη τότε χρησιμοποιούμε το πληκτρολόγιο. Καθώς πληκτρολογούμε την τιμή της συχνότητας εμφανίζεται

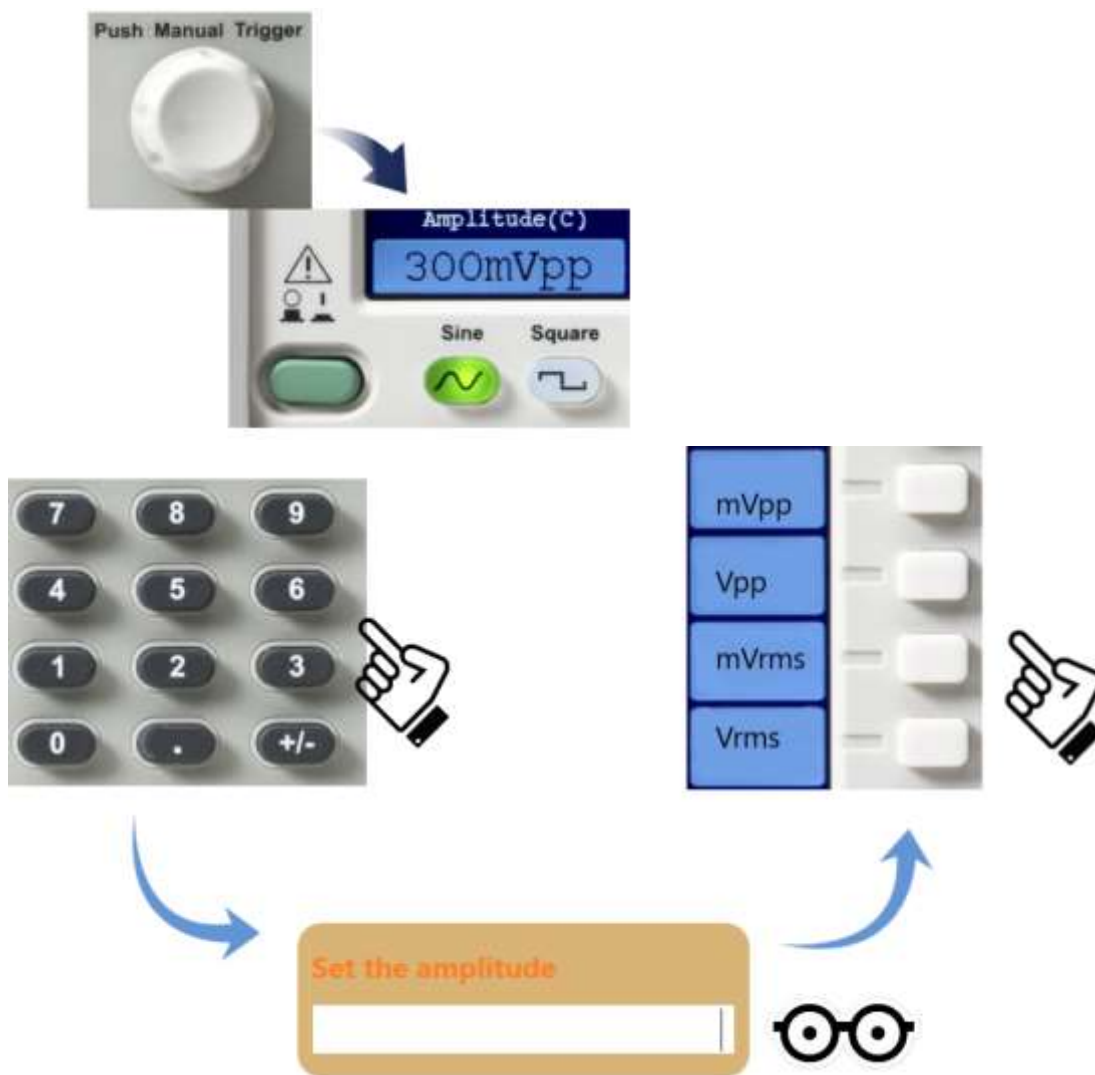
στην οθόνη το παράθυρο Set the Frequency όπου ορίζουμε την τιμή, ενώ πλέον οι διακόπτες επιλογής μεγέθους έχουν αλλάξει σε MHz, KHz και Hz.



- 5) Για να καθορίσουμε το πλάτος του σήματος πιάζουμε από τους διακόπτες επιλογής την ένδειξη Ampl



Όπως και στην συχνότητα έτσι και εδώ ρυθμίζουμε την επιθυμητή τιμή πλάτους με δύο τρόπους είτε από τον περιστροφικό διακόπτη αυξομείωσης είτε από το πληκτρολόγιο.

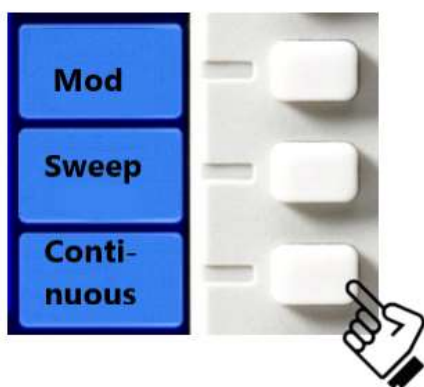


- 6) Για να εισάγουμε *Offset* πιέζουμε από τους διακόπτες επιλογής την ένδειξη *Offset* και εισάγουμε τιμή με την ίδια διαδικασία όπως στην περίπτωση της συχνότητας ή του πλάτους. Αν δεν επιθυμούμε να εισάγουμε *Offset* ορίζουμε μηδενική τιμή.

- 7) Βεβαιωνόμαστε πως η επιλογή continuous είναι επιλεγμένη (προεπιλεγμένη λειτουργία είναι η συνεχής). Πιέζουμε τον διακόπτη mod



και έπειτα από τους διακόπτες επιλογής πιέζουμε τον διακόπτη continuous



- 8) Τέλος ενεργοποιούμε το σήμα εξόδου του καναλιού 1 πιέζοντας τον διακόπτη on/off.



## Παραγωγή Τετραγωνικού Παλμού



Για την παραγωγή τετραγωνικού παλμού επιλέγουμε ως τύπο παραγόμενης κυματομορφής τον διακόπτη Square και έπειτα καθορίζουμε το πλάτος και την συχνότητα του ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με αυτή του ημιτονικού σήματος

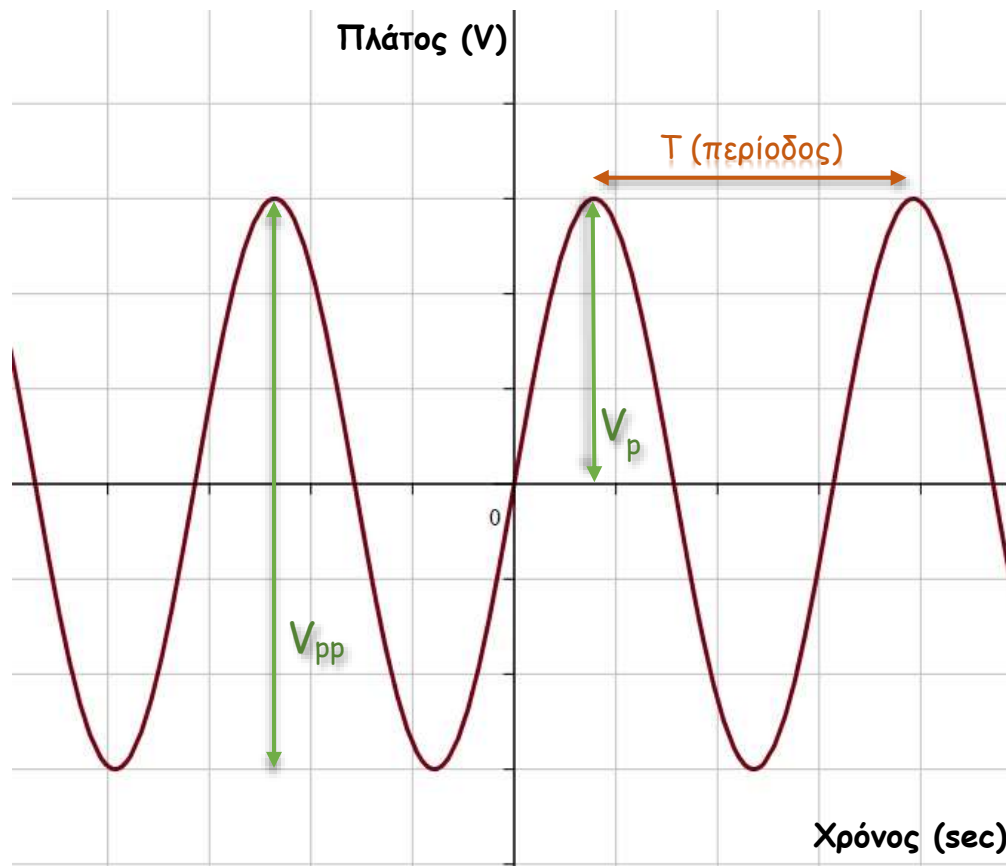


Μπορείτε οποιαδήποτε στιγμή να αναζητήσετε βοήθεια πιέζοντας τον διακόπτη Help



### Δομή-Χαρακτηριστικά παραγόμενου ημιτονικού σήματος

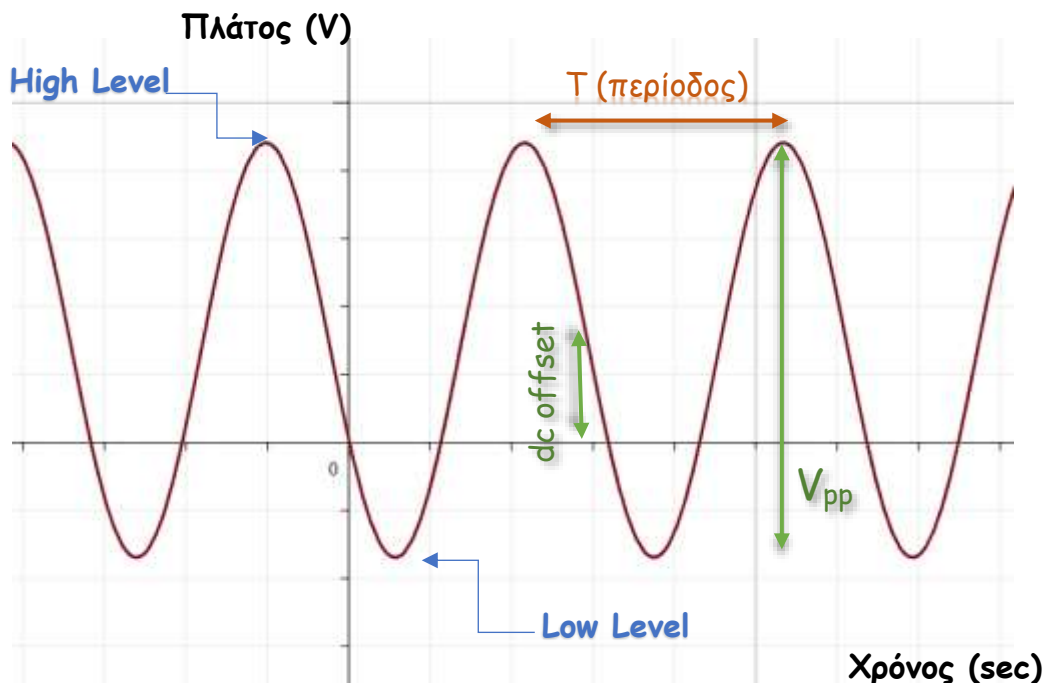
$V_{pp}$  είναι η διαφορά της μέγιστης από την ελάχιστη τιμή τάσης ενώ το  $V_p$  είναι το πλάτος του σήματος. Επομένως για ένα αρμονικό σήμα το  $V_{pp}$  είναι διπλάσιο του  $V_p$



Η συχνότητα ( $F = 1/T$ ) εκφράζει το ρυθμό επανάληψης του σήματος στη μονάδα του χρόνου που είναι το  $sec$ .

### Επίπεδο συνεχούς τάσης (DC offset)

Μια περιοδική κυματομορφή εμπεριέχει DC offset, εάν η μέση τιμή της σε μία περίοδο (ένα πλήρη κύκλο) δεν είναι μηδέν.



Το παραπάνω σήμα εμπεριέχει θετική μετατόπιση DC offset αφού η μέση τιμή του είναι μεγαλύτερη από το μηδέν. Με άλλα λόγια η τιμή High Level είναι μεγαλύτερη (περισσότερο θετική) από την αρνητική τιμή Low Level και όχι ίσες.

Χωρίς να υπεισέλθουμε σε λεπτομέρειες, δεν επιθυμούμε μετατοπίσεις DC offset σε κυκλώματα εναλλασσόμενης τάσης ή μεταφοράς ισχύος και όταν αυτή συμβαίνει αποτελεί ένδειξη σφάλματος. Η γεννήτριες σημάτων λοιπόν, με την λειτουργία Offset μας επιτρέπουν να ελέγξουμε την αντίδραση (απόκριση) των κυκλωμάτων σε μετατοπίσεις τέτοιου είδους.



Πάντα πρέπει να συνδέουμε την γείωση της γεννήτριας με την γείωση του κυκλώματος (ή τον κόμβο αναφοράς - 0V) ενώ πρέπει να προχωρούμε σε επανέλεγχο του κυκλώματος πριν τελικά ενεργοποιήσουμε το σήμα στην έξοδο της γεννήτριας.

# Παλμογράφος

Ο παλμογράφος είναι όργανο δυναμικής γραφικής αποτύπωσης της χρονικής μεταβολής ενός φυσικού μεγέθους. Οι δύο βασικές δυνατότητες του, είναι η γραφική απεικόνιση της τάσης σε σχέση με το χρόνο (λειτουργία Χ/Τ) και της τάσης σε σχέση με μια άλλη τάση (λειτουργία Χ/Υ).

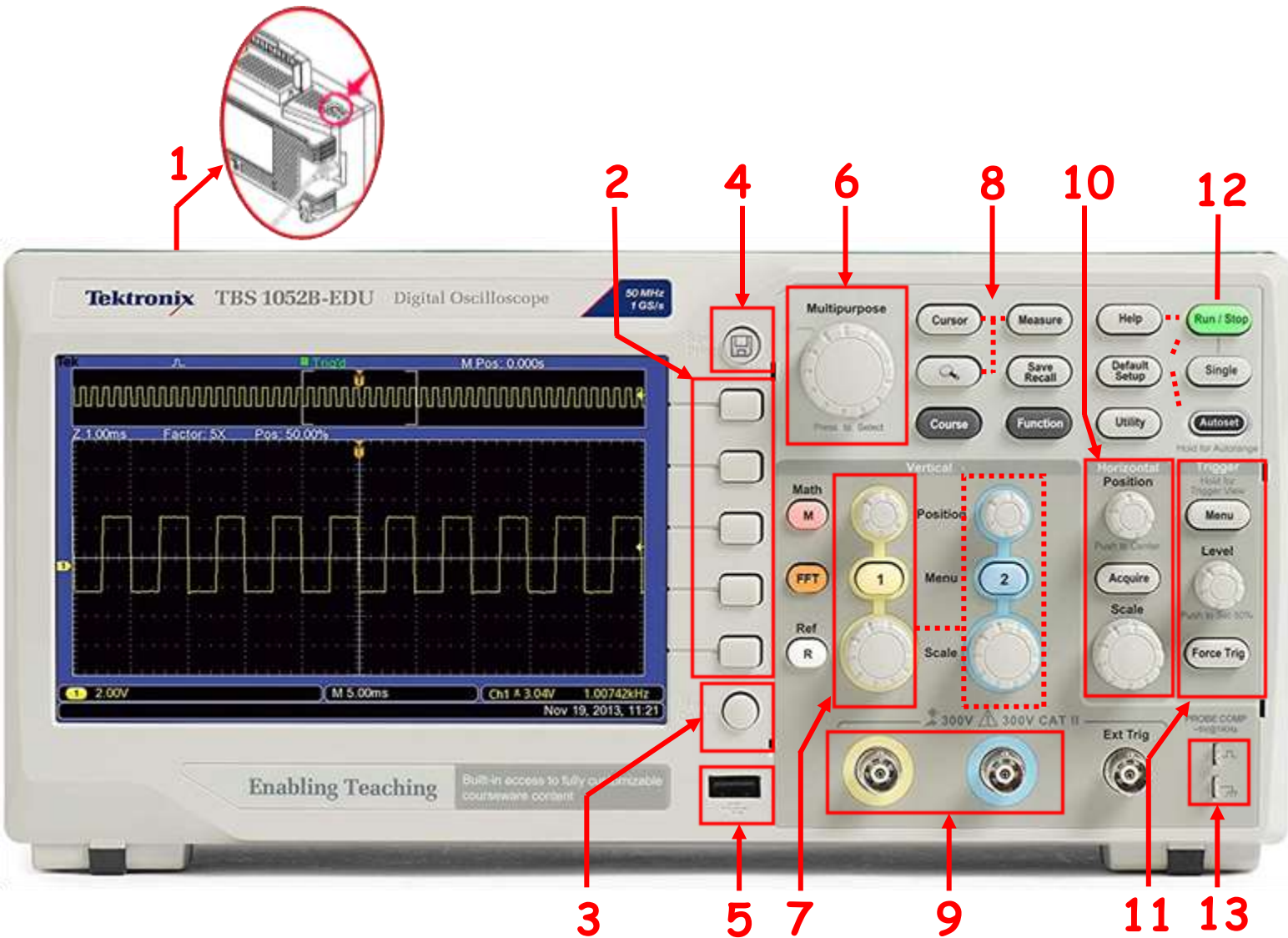
Στις μέρες μας χρησιμοποιείτε ο ψηφιακός παλμογράφος, ο οποίος προσφέρει πληθώρα λειτουργιών όπως επεξεργασία και αποθήκευση του προβαλλόμενου σήματος, ακόμα και μαθηματικούς μετασχηματισμούς. Χρειάζεται επίσης να σημειωθεί πως στους ψηφιακούς παλμογράφους σε αντίθεση με τους αναλογικούς, το σήμα εισόδου ψηφιοποιείται (Α/Δ, δειγματοληψία) και έπειτα αποτυπώνεται στην οθόνη του παλμογράφου.

Στο εργαστήριο θα χρησιμοποιήσουμε τον ψηφιακό παλμογράφο TBS1052B- EDU της Tektronix (Σχήμα 237) ο οποίος έχει δυνατότητα ταυτόχρονης απεικόνισης δύο κυματομορφών (σήματα έως 50 MHz), έγχρωμη οθόνη, συχνότητα δειγματοληψίας 1.0 GS/s, αποθήκευση δεδομένων/κυματομορφών σε μνήμη USB κ.α



Σχήμα 237 , Παλμογράφος Tektronix TBS1052B- EDU

Τα βασικά κουμπιά παραμετροποίησής του (Σχήμα 238) είναι:



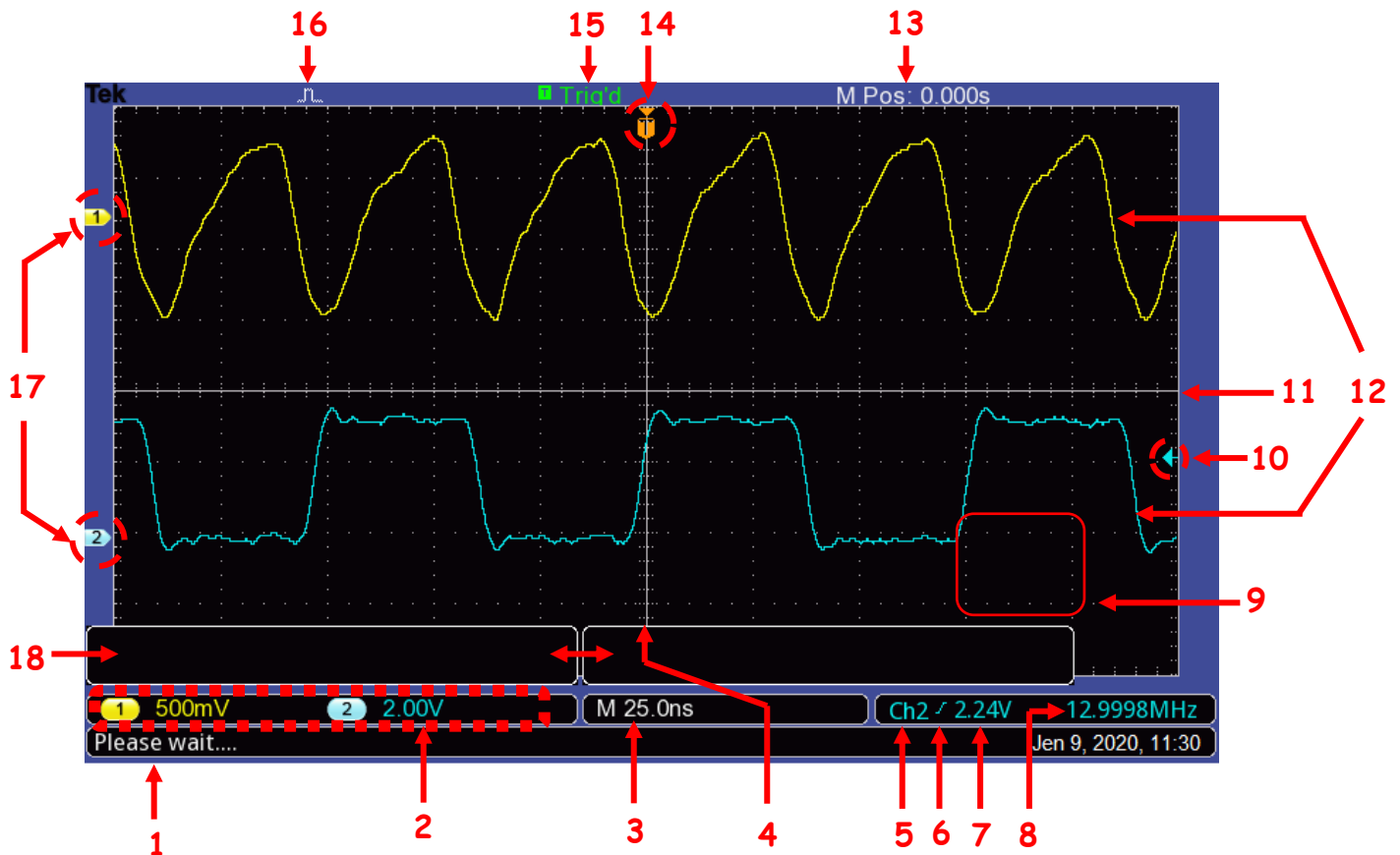
Σχήμα 238 , Όψη παλμογράφου και κουμπιά παραμετροποίησης λειτουργιών

- 1) Ενεργοποίηση/απενεργοποίηση παλμογράφου
- 2) Πλήκτρα Μενού επιλογής εμφανιζομένων λειτουργιών
- 3) Εμφάνιση/απόκρυψη γραμμής μενού στην οθόνη του παλμογράφου
- 4) Αποθήκευση εικονιζόμενης κυματομορφής(ων) σε εξωτερική μονάδα αποθήκευσης (μνήμη USB)
- 5) Θύρα USB
- 6) Περιστροφικός επιλογέας πολλαπλών λειτουργιών ενώ πιέζοντάς τον παραμετροποιούμε την επιλεγμένη λειτουργία.
- 7) Επιλογείς παραμετροποίησης κάθετου άξονα (πλάτους, CH1 και CH2 αντίστοιχα)  
 🔄 Position: Κάθετη μετατόπιση κυματομορφής προς την επιθυμητή θέση

- ☞ Scale: Ρύθμιση της τιμής κλίμακας του άξονα (volt/div)
- ☞ Menu (CH1, CH2): Μενού επιλογών κατακόρυφου άξονα ανά κανάλι
- 8) *Cursor*: εμφάνιση βοηθητικών δεικτών/cursors για την μέτρηση του εικονιζόμενου μεγέθους. *Measure*: πρόσβαση σε μενού επιλογής μεγέθους για αυτόματη μέτρησή του από τον παλμογράφο. Σύμβολο μεγεθυντικού φακού: μεγέθυνση κυματομορφής- απεικόνιση περισσότερο λεπτομερής
- 9) Θύρες εισόδου (τύπου BNC) σήματος για κάθε κανάλι (CH1-"κίτρινο", CH2-"μπλέ")
- 10) Επιλογείς παραμετροποίησης οριζόντιου άξονα (χρόνου)
  - ☞ Position: Οριζόντια μετατόπιση κυματομορφής προς την επιθυμητή θέση
  - ☞ Scale: Ρύθμιση της τιμής κλίμακας του οριζόντιου άξονα (time/div)
- 11) *Menu (Trigger)*: Μενού επιλογής συνθήκης σκανδαλισμού. *Level*: πιέζοντας τοποθετούμε το επίπεδο σκανδαλισμού στο μέσω, μεταξύ των κορυφών μιας κυματομορφής ή περιστρέφοντάς το διακόπτη το ορίζουμε στο επιθυμητό επίπεδο.
- 12) *Run/Stop*: "Παγώνει" το σήμα στην οθόνη του παλμογράφου ή το επαναφέρει στην δυναμική του κατάσταση. *Default Setup*: Αρχικοποίηση παλμογράφου στις εργοστασιακές ρυθμίσεις. *Autoset*: αυτόματη-γρήγορη απεικόνιση ενός σήματος από τον παλμογράφο. *Help*: εμφάνιση του μενού πληροφοριών βοήθειας
- 13) Πηγή αναφοράς τετραγωνικού παλμού (5V-1KHz)

### Επεξήγηση βασικών λειτουργιών που εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου

Η οθόνη του παλμογράφου περιέχει ένα πλέγμα οχτώ επί δέκα τμημάτων (divisions) τα οποία χρησιμοποιούνται ως αναφορά για την λήψη μετρήσεων. Η κάθε διαίρεση (division) αποτελεί "ένα κουτάκι"- div το οποίο διαιρείτε σε πέντε υποτμήματα (ακριβέστερη μέτρηση). Το πώς χρησιμοποιούνται τα div για την λήψη μετρήσεων θα γίνει κατανοητό παρακάτω. Προς το παρών ας δούμε τις διάφορες λειτουργίες που θα συναντήσουμε στην οθόνη του παλμογράφου (Σχήμα 239).



Σχήμα 239 , Αποτύπωση βασικών λειτουργιών

- 1) Εμφάνιση μηνυμάτων
- 2) Τιμές κλίμακας κάθετου άξονα σε Volt/Div για κάθε κανάλι ξεχωριστά (CH1 → κίτρινο χρώμα, CH2 → γαλάζιο χρώμα). Παραμετροποιείτε από τον περιστροφικό διακόπτη scale ( βλ. επεξήγηση κουμπιών 7).
- 3) Τιμή κλίμακας οριζόντιου άξονα σε Time/Div. Παραμετροποιείτε από τον περιστροφικό διακόπτη scale ( βλ. επεξήγηση κουμπιών 10).
- 4) Άξονας πλάτους (volt), συνήθως θεωρείτε ως μηδέν/αρχή του σήματος, εκτός αν μετατοπιστεί από τον περιστροφικό διακόπτη Position (βλ. επεξήγηση κουμπιών 7)
- 5) Κανάλι πηγής σκανδαλισμού
- 6) Επιλεγμένος τύπος σκανδαλισμού
- 7) Τιμή τάσης επιπέδου σκανδαλισμού
- 8) Τιμή συχνότητας σκανδαλισμού
- 9) Μια διαίρεση (1-Div)
- 10) Εικονίδιο επιπέδου (στάθμης) σκανδαλισμού. Το χρώμα καταδεικνύει την πηγή (κανάλι) σκανδαλισμού. Την τιμή της τάσης μπορούμε να την διαβάσουμε από το εικονίδιο του επιπέδου σκανδαλισμού (βλ. επεξήγηση βασικών λειτουργιών 7)

- 11) Άξονας χρόνου (time), συνήθως θεωρείτε ως μηδέν/αρχή του σήματος, εκτός αν μετατοπιστεί από τον περιστροφικό διακόπτη Position ( βλ. *επεξήγηση κουμπιών 10*)
- 12) Κυματομορφές σημάτων (CH1 →κίτρινο χρώμα, CH2 →γαλάζιο χρώμα)
- 13) Εμφανίζει την τιμή του χρόνου της θέσης του κάθετου άξονα συντεταγμένων. Μπορεί να μετατοπιστεί από τον περιστροφικό διακόπτη Position ( βλ. *επεξήγηση κουμπιών 10*)
- 14) Το βέλος/δείκτης καταδεικνύει την θέση (αρχή κυματομορφής) του άξονα σκανδαλισμού ( βλ. *επεξήγηση βασικών λειτουργιών 13*)
- 15) Ένδειξη κατάστασης σκανδαλισμού. Το σύμβολο  $\square$  Trig'd υποδηλώνει πως ο παλμογράφος έχει δεχθεί σήμα σκανδαλισμού και δειγματοληπτεί τα μετά σκανδαλισμού δεδομένα, ενώ το σύμβολο  $\square$  Auto φανερώνει πως ο παλμογράφος βρίσκεται σε Auto mode και δειγματοληπτεί κυματομορφές απουσία σημάτων σκανδαλισμού. Για τις επιπλέον καταστάσεις σκανδαλισμού μπορούμε να συμβουλευτούμε το manual του παλμογράφου.
- 16) Ένδειξη λειτουργίας ανάκτησης σήματος.
- 17) Οι δείκτες 1 (κίτρινο CH1) και 2 (γαλάζιο CH2) καταδεικνύουν τα επίπεδα αναφοράς (γείωσης) των απεικονιζόμενων κυματομορφών.
- 18) Παράθυρα αυτόματων μετρήσεων και για τα δύο κανάλια



## Probe Παλμογράφου



Σχήμα 240 , Επεξήγηση μερών ενός τυπικού Probe παλμογράφου



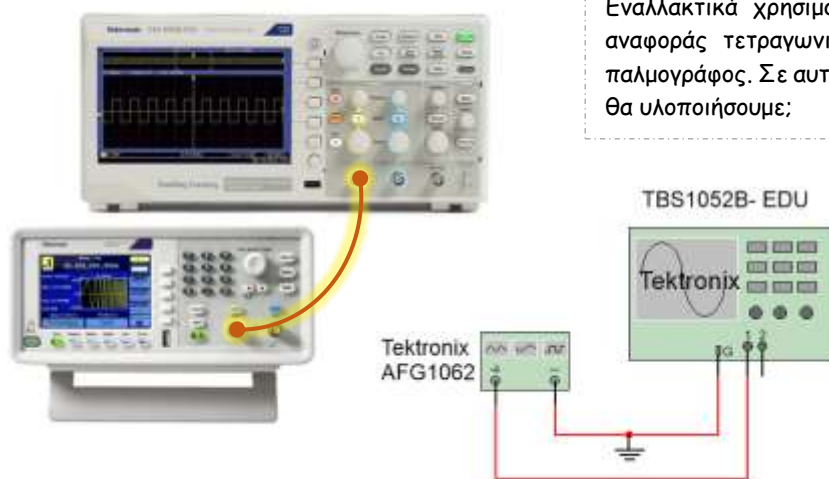
Όταν μετρούμε σήματα υψηλών συχνοτήτων (και όχι πολύ χαμηλής τάσης) χρησιμοποιούμε τον διακόπτη εξασθένησης του Probe στο x10. Είναι απαραίτητο να επισημανθεί πως ο παλμογράφος έχει προεπιλεγμένη την λειτουργία x10 attenuation για κάθε κανάλι και ως εκ τούτου αν χρησιμοποιήσουμε τον διακόπτη του Probe x1 (δεν απαιτείτε στα πλαίσια του εργαστηρίου) θα πρέπει να κάνουμε και την αντίστοιχη αλλαγή στο menu του καναλιού (Probe ► Voltage ► Attenuation).

### Μέτρηση πλάτους και συχνότητας μιας κυματομορφής



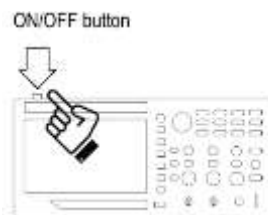
Για την μελέτη ενός σήματος τάσης (στο υπο εξέταση κύκλωμα) συνδέουμε τον παλμογράφο όπως ακριβώς θα συνδέαμε και το βολτόμετρο.

- 1) Στο παράδειγμά μας θα συνδέσουμε την έξοδο της γεννήτριας (CH1, Tektronix AFG1062) στην είσοδο του παλμογράφου (CH1 , Σχήμα 237),



Σχήμα 241, Σύνδεση της γεννήτριας με τον παλμογράφο

- Πραγματοποιούμε την σύνδεση του σχήματος Σχήμα 241( Έξοδος γεννήτριας Ch1 -Είσοδος παλμογράφου Ch1 , Συνδετήρας BNC to BNC )
- Ενεργοποιούμε την γεννήτρια και θέτουμε μία τιμή τάσης και συχνότητας. (βλ. παράρτημα γεννήτριας Tektronix AFG1062)
- Ενεργοποιούμε τον παλμογράφο



- Βεβαιωνόμαστε πως ο διακόπτης εξασθένησης του probe βρίσκεται στην θέση x10






- 2) Πιέζουμε το Default Setup



Κάθε φορά που ενεργοποιούμε τον παλμογράφο πιέζουμε το Default Setup (καθαρή εκκίνηση) για επαναφορά του στις τυπικές ρυθμίσεις, μιας και σε κάθε εκκίνησή ανακαλεί τις



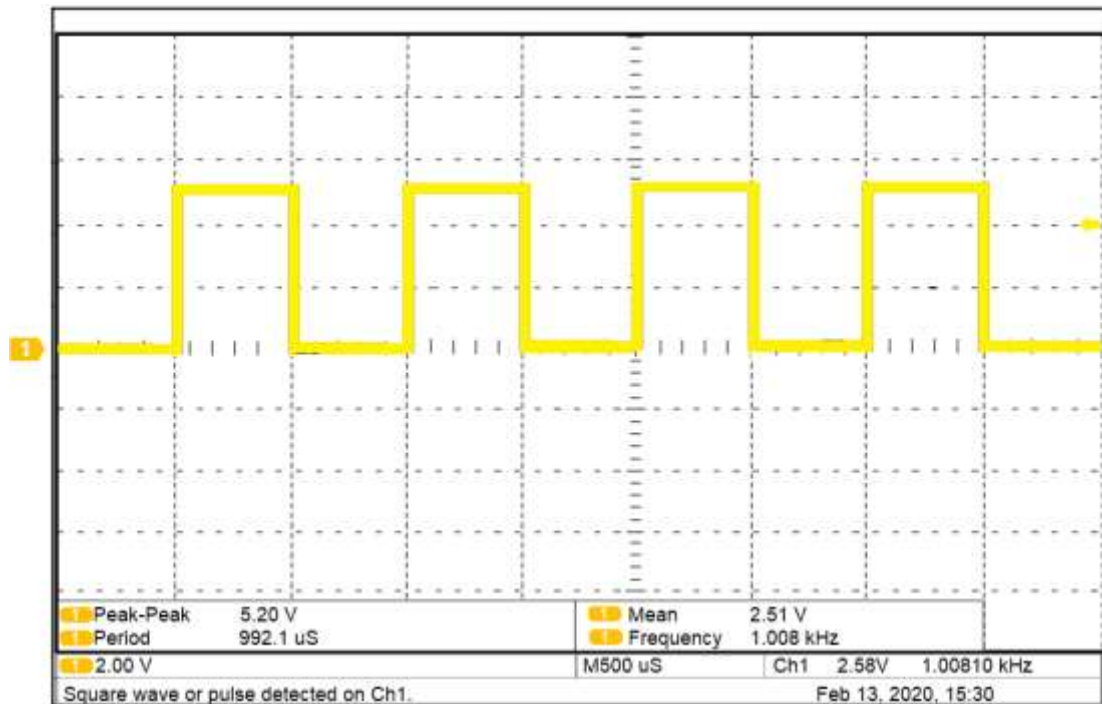
### Μετρήσεις χρησιμοποιώντας το Autoset

- 1) Ορίζουμε Attenuation 10X :
  -  Πιέζουμε το κουμπί 1 ( Ch1 Menu)
  -  Έπειτα πιέζοντας το αντίστοιχο πλήκτρο menu επιλέγουμε διαδοχικά: Probe ► Voltage ► Attenuation
  -  Είτε πιέζοντας ξανά το Attenuation, είτε χρησιμοποιώντας τον περιστροφικό διακόπτη και έπειτα πιέζοντάς τον, επιλέγουμε την ένδειξη 10X.
- 2) Πιέζουμε το AUTOSSET

Ο παλμογράφος θα ρυθμίσει αυτόματα όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται για την απεικόνιση της κυματομορφής βασιζόμενος στον τύπο του σήματος που ανίχνευσε. Επιπλέον, θα εμφανίσει αυτόματα μετρήσεις πλάτους τάσης ( $V_p-p$ ), περιόδου, συχνότητας καθώς και το μέσο εύρος.



Στην περίπτωση που στην θέση της τιμής μέτρησης λάβουμε την ένδειξη «?» θα πρέπει να αυξομειώσουμε τους περιστροφικούς διακόπτες Scale και Position (vertical → volts/division ή horizontal → time/division) διότι το σήμα βρίσκεται εκτός του εύρους μετρήσεων του παλμογράφου.

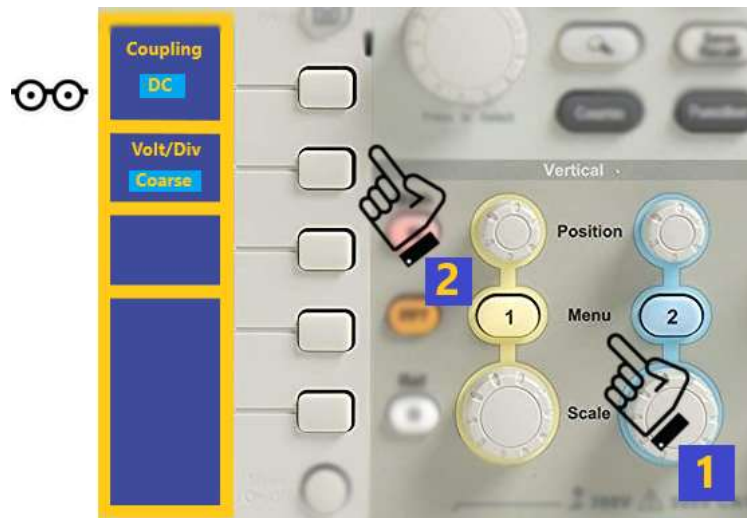


Σχήμα 242 , Απεικόνιση τυχαίου σήματος με την λειτουργία AUTOSSET του παλμογράφου

Αν επιθυμούμε να βελτιώσουμε την απεικόνιση της κυματομορφής μεταβάλλουμε χειροκίνητα τους περιστροφικούς διακόπτες Scale και Position (vertical-horizontal).

Επίσης μας δίνεται η δυνατότητα να αυξήσουμε την ακρίβεια ρύθμισης της τιμής της κλίμακας volt/div μικραίνοντας το βήμα του περιστροφικού διακόπτη scale. Αυτό επιτυγχάνεται:

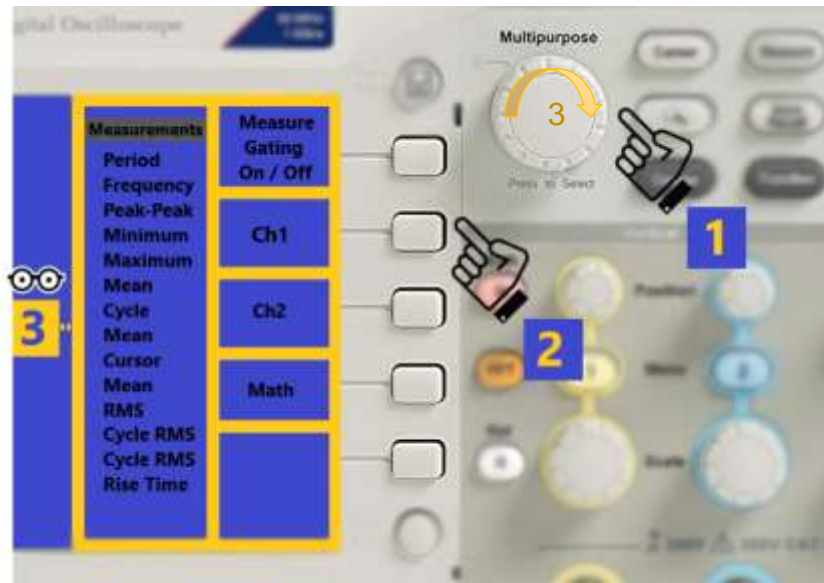
- ☞ Πιέζοντας το Πλήκτρο Menu (1 ή 2) του αντίστοιχου καναλιού
- ☞ Από τα πλήκτρα menu πιέζοντας (επαναλαμβανόμενα) την ένδειξη Volts/Div ώστε από την επιλογή Coarse να αλλάξει σε Fine



- 3) Για να λάβουμε επιπλέον αυτοματοποιημένες μετρήσεις όπως RMS τιμές, εύρος θετικού παλμού κ.α. χρησιμοποιούμε τον διακόπτη *measure*.



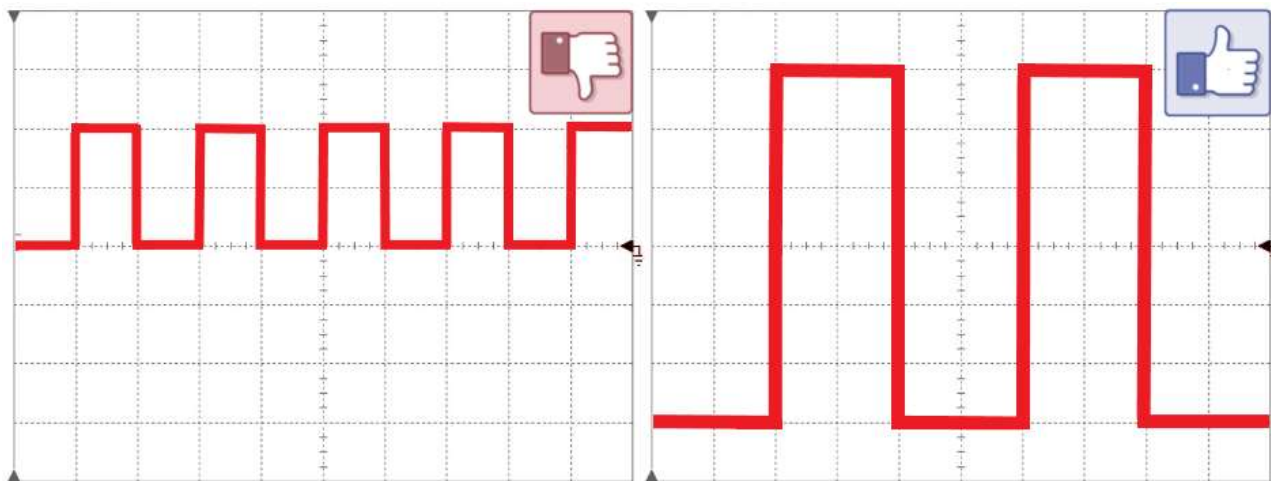
- i. Πιέζουμε το πλήκτρο μενού του αντίστοιχου καναλιού (στην περίπτωσή μας Ch1)
- ii. Στην οθόνη εμφανίζεται ένα μενού διαφόρων μετρήσεων. Μεταβαίνουμε στην κάθε μια περιστρέφοντας τον περιστροφικό επιλογήα πολλαπλών λειτουργιών. Για να επιλέξουμε την επιθυμητή μέτρηση πιέζουμε τον περιστροφικό επιλογήα.
- iii. Αν θέλουμε να προσθέσουμε επιπλέον μετρήσεις (έως 6 ταυτόχρονα) στην οθόνη ουσιαστικά επαναλαμβάνουμε τα δύο προηγούμενα βήματα (i, ii).



## Μετρήσεις χρησιμοποιώντας τις διαιρέσεις του πλέγματος (division)

Όταν χρησιμοποιούμε τα τμήματα division για τον υπολογισμό της τιμής κάποιου μεγέθους (τάση, συχνότητα) θα πρέπει η κυματομορφή του σήματος να εκμεταλλεύεται (κατά το εφικτό) το μέγιστο δυνατό του εύρους του πλέγματος (εντός των ορίων του). Με αυτό τον τρόπο μειώνουμε το σφάλμα του παρατηρητή ενώ επιτυγχάνουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στην μέτρησή μας. Για να το πετύχουμε (βελτίωση απεικόνισης κυματομορφής) μεταβάλλουμε χειροκίνητα τους περιστροφικούς διακόπτες Scale και Position (vertical-horizontal)

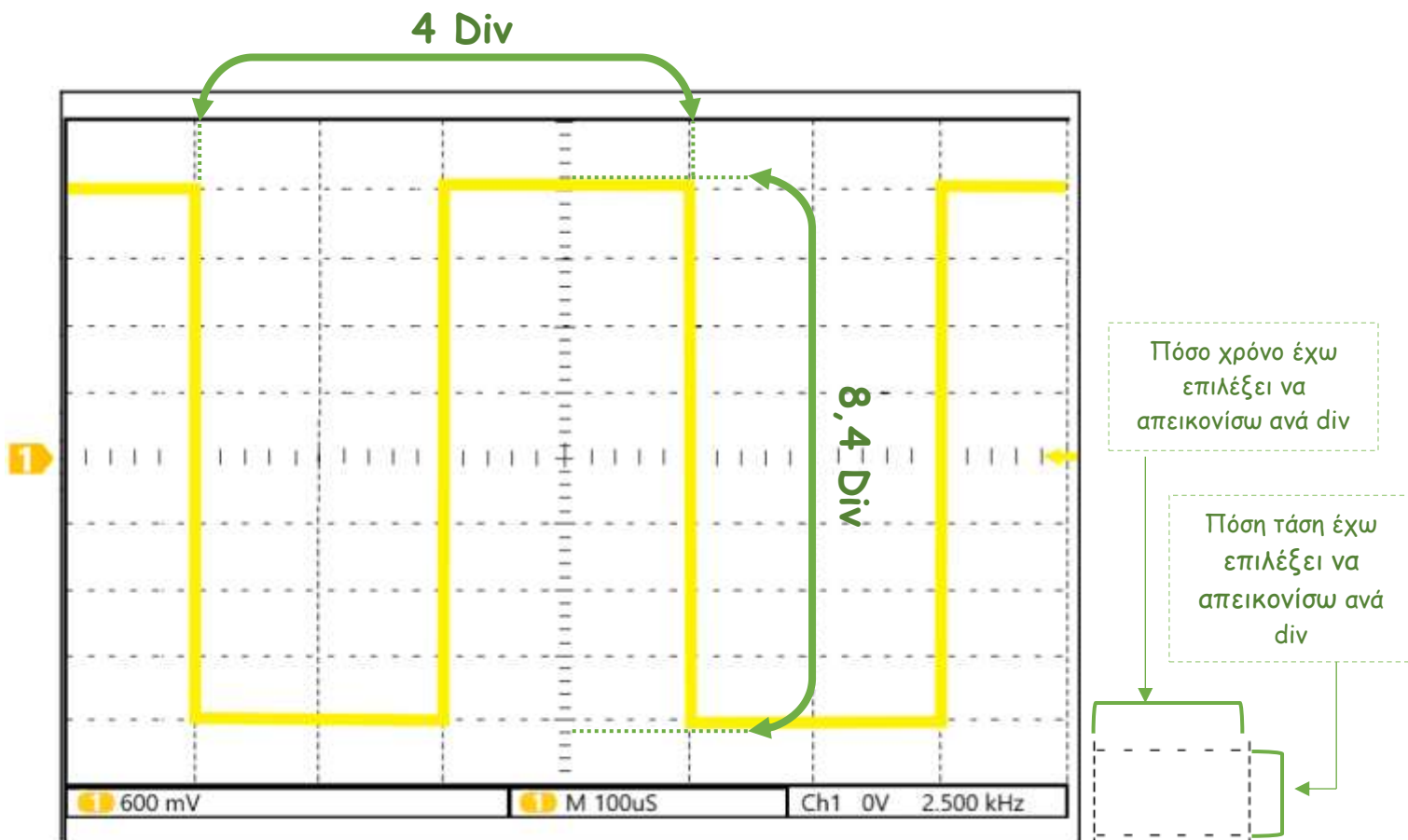
Ας δούμε δύο διαφορετικούς τρόπους απεικόνισης της ίδιας κυματομορφής ( η τάση και η συχνότητα εξακολουθούν να παραμένουν ίδιες και στις δύο περιπτώσεις , Σχήμα 243)



Σχήμα 243, Διαφορετική απεικόνιση της ίδιας κυματομορφής (βέλτιστή δεξιά)

Δεν είναι περιττό να τονιστεί για άλλη μια φορά, πως μεταβάλλοντας χειροκίνητα τους περιστροφικούς διακόπτες Scale και Position (vertical-horizontal) αλλάζουμε/βελτιώνουμε την απεικόνιση της κυματομορφής στην οθόνη του παλμογράφου (το πώς αυτός απεικονίζει το σήμα στο πλέγμα του) και όχι τα χαρακτηριστικά του σήματος (τιμή τάσης, συχνότητας κ.ά.) τα οποία μεταβάλλονται είτε από την γεννήτρια που το παράγει είτε από το κύκλωμα (αν διαθέτει κατάλληλη μονάδα).

Αφού λοιπόν έχουμε βελτιώσει την απεικόνιση της κυματομορφής θα εξάγουμε την τιμή της τάσης και της συχνότητας (Σχήμα 244):



Σχήμα 244 , Υπολογισμός division από τυχαία απεικόνιση τετραγωνικού παλμού

Τιμή τάσης ( $V_{p-p}$ ) = Πλήθος Divisions  $\times$  Τιμή κλίμακας/Division

$$8.4\text{Div} \times 600\text{mV/Div} = 5,04\text{V}$$

Τιμή συχνότητας

Περίοδος σήματος ( $T$ ) = Πλήθος Divisions  $\times$  Τιμή κλίμακας/Division

$$4\text{Div} \times 100\mu\text{S/Div} = 400\mu\text{Sec}$$

$$f=1/T \Rightarrow f=1/400\mu\text{Sec} \Rightarrow f=2,5 \text{ kHz}$$

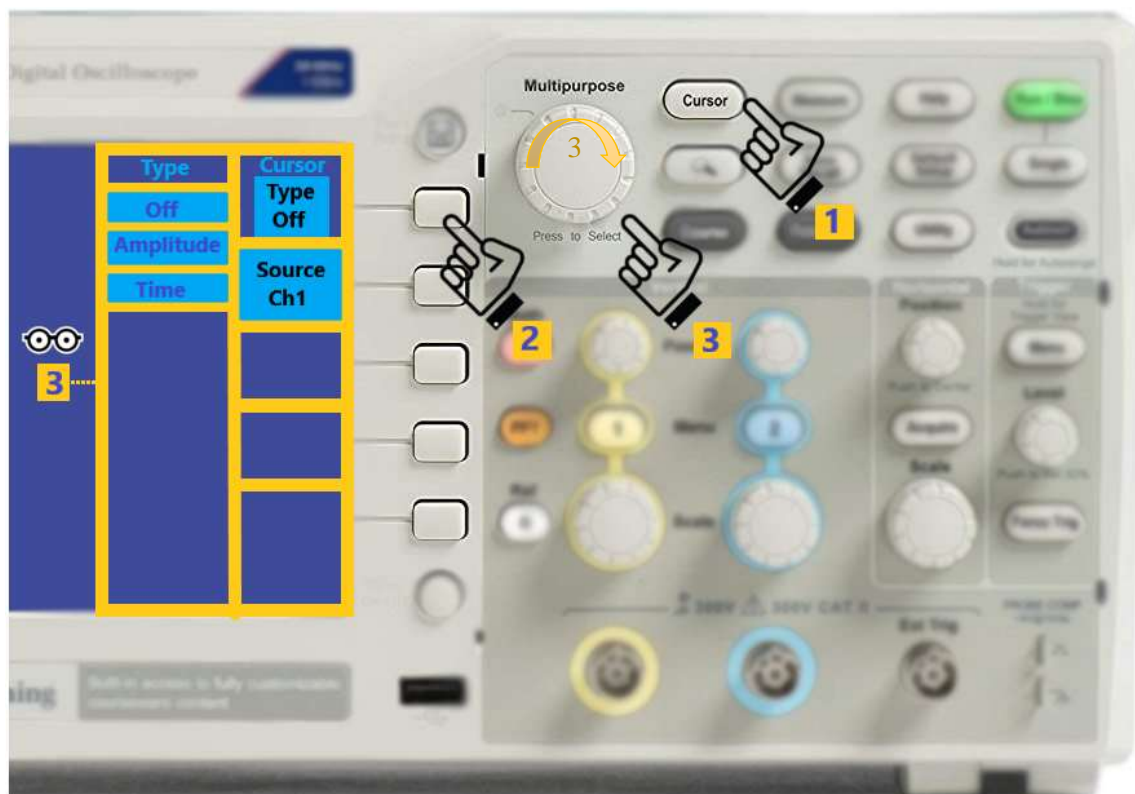
### Μετρήσεις χρησιμοποιώντας τους δρομείς (cursors)

a) Μέτρηση συχνότητας (μετρώντας μία περίοδο, Σχήμα 245) του σήματος

- i. Πιέζουμε το πλήκτρο Cursor (εμφανίζετε το Cursor Menu)
- ii. Επιλέγουμε "type" με το αντίστοιχο πλήκτρο menu
- iii. Περιστρέφουμε τον επιλογέα πολλαπλών λειτουργιών και μεταβαίνουμε στην ένδειξη Time

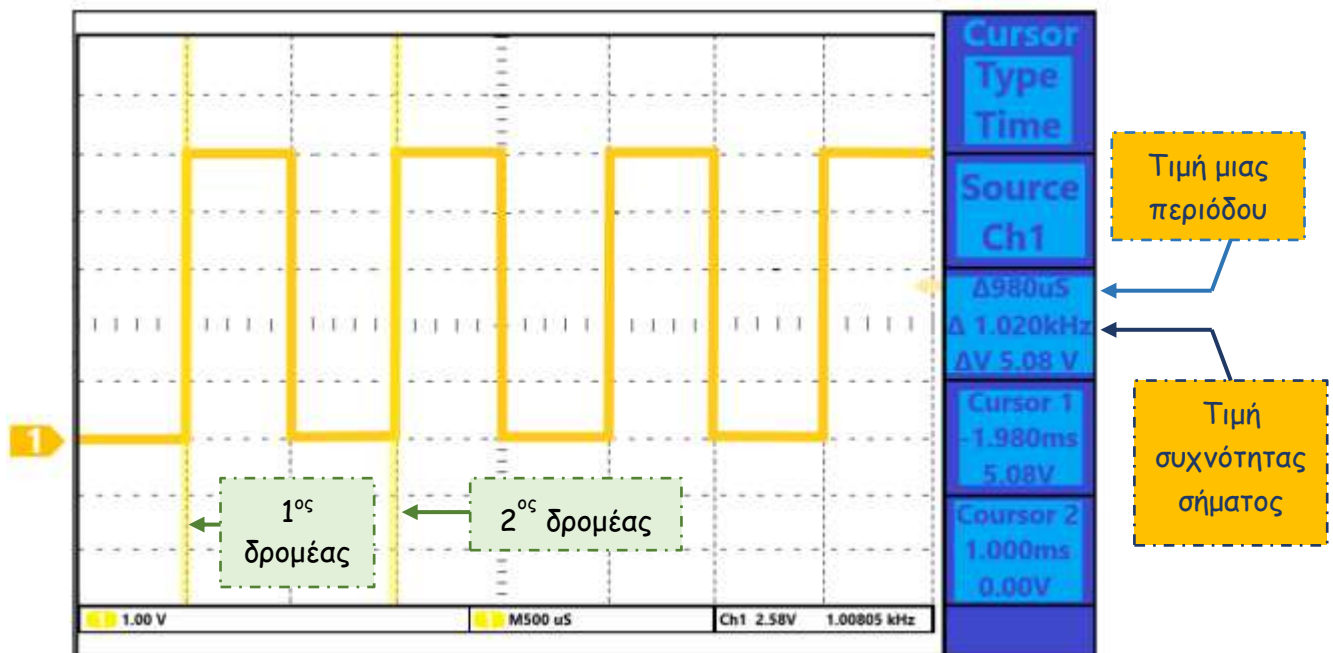


- iv. Πιέζουμε τον επιλογή πολλαπλών λειτουργιών για την επιλογή της ένδειξης Time
- v. Επιλέγουμε την ένδειξη Source πιέζοντας το αντίστοιχο πλήκτρο menu
- vi. Περιστρέφουμε τον επιλογή πολλαπλών λειτουργιών μέχρι να μεταβούμε στο Ch1, και πιέζοντας τον ολοκληρώνουμε την επιλογή του καναλιού
- vii. Επιλέγουμε την ένδειξη Cursor 1 πιέζοντας το αντίστοιχο πλήκτρο menu (στην οθόνη εμφανίζετε ο 1<sup>ος</sup> δρομέας)
- viii. Περιστρέφοντας τον επιλογή πολλαπλών λειτουργιών μετακινούμε τον δρομέα (cursor 1) στην αρχή μιας περιόδου
- ix. Επιλέγουμε την ένδειξη Cursor 2
- x. Περιστρέφοντας τον επιλογή πολλαπλών λειτουργιών μετακινούμε τον δρομέα (cursor 2) στο τέλος της περιόδου



Σχήμα 245, Λειτουργία δρομένων για την μέτρηση συχνότητας

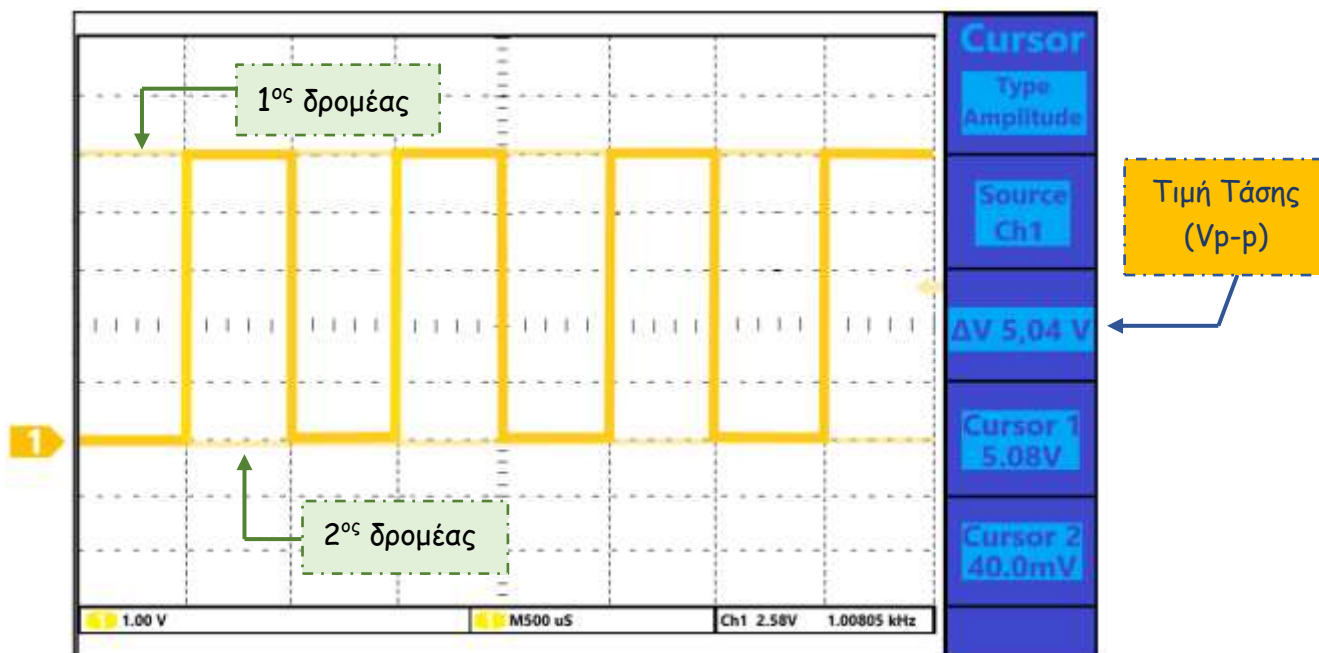
Τέλος δαβάζουμε την ένδειξη της τιμής της συχνότητας στο πεδίο 'Δ'



#### b) Μέτρηση πλάτους (τάση) του σήματος

- xι. Επιλέγουμε "type" με το αντίστοιχο πλήκτρο menu
- xii. Περιστρέφουμε τον επιλογέα πολλαπλών λειτουργιών και μεταβαίνουμε στην ένδειξη Amplitude
- xiii. Πιέζουμε τον επιλογέα πολλαπλών λειτουργιών για την επιλογή της ένδειξης Amplitude
- xiv. Επιλέγουμε την ένδειξη Source πιέζοντας το αντίστοιχο πλήκτρο menu
- xv. Περιστρέφουμε τον επιλογέα πολλαπλών λειτουργιών μέχρι να μεταβούμε στο Ch1, και πιέζοντας τον ολοκληρώνουμε την επιλογή του καναλιού
- xvi. Επιλέγουμε την ένδειξη Cursor 1 πιέζοντας το αντίστοιχο πλήκτρο menu (στην οθόνη εμφανίζετε ο 1<sup>ος</sup> δρομέας)
- xvii. Περιστρέφοντας τον επιλογέα πολλαπλών λειτουργιών μετακινούμε τον δρομέα (cursor 1) στο θετικό Peak της κυματομορφής
- xviii. Επιλέγουμε την ένδειξη Cursor 2
- xix. Περιστρέφοντας τον επιλογέα πολλαπλών λειτουργιών μετακινούμε τον δρομέα (cursor 2) στο αρνητικό Peak της κυματομορφής

Τέλος διαβάζουμε την ένδειξη της τιμής της τάσης ( $V_p-p$ ) στο πεδίο ' $\Delta V$ ' (Σχήμα 246)



Σχήμα 246 , Προσδιορισμός της τιμής τάσης με την χρήση της λειτουργίας δρομέων



Αναζητήστε στην βοήθεια του παλμογράφου ( Help, βλ. *επεξήγηση κουμπιών 12*) ή στο User manual την λειτουργία "Zoom", είναι πολύ χρήσιμη όταν θέλουμε να εξετάσουμε με μεγάλη λεπτομέρεια ένα συγκεκριμένο τμήμα της κυματομορφής χωρίς να αλλάξει η προβολή της κυματομορφής στην κύρια οθόνη.

## Σύζευξη AC, DC, GND

Όταν μετράμε σήματα πολύ καμηλών συχνοτήτων (μερικών Hz), dc σήματα, ή επιθυμούμε να μετρήσουμε την συνεχή DC συνιστώσα ενός σήματος ενεργοποιούμε την "DC Σύζευξη".

Όταν είναι ενεργοποιημένη η "AC Σύζευξη" ένα φίλτρο αποσβένει τις χαμηλές συχνότητες ενώ αποκόπτει τις DC συνιστώσες, επομένως ενδείκνυται μόνο στην μέτρηση υψηλόσυχων σημάτων.

Αξίζει, επιπλέον ν' αναφερθούμε στην "GND Σύζευξη" με την οποία εμφανίζεται στην οθόνη (από άκρη σ' άκρη) μια οριζόντια φωτεινή γραμμή η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τάση αναφοράς της γείωσης (0V). Έτσι τοποθετώντας την σε οποιαδήποτε θέση (Scale-Vertical, πρώτα ενεργοποιούμε GND Coupling, δεξ παρακάτω) του πλέγματος μπορούμε να αντιστοιχίσουμε πάνω ή κάτω από αυτή θετική ή αρνητική τάση αφού χρησιμοποιείτε πλέον ως νέα αναφορά σε σχέση με τον άξονα του πλέγματος.

Για να επιλέξουμε τον τύπο της σύζευξης:

- Πιέζουμε το Πλήκτρο Menu (1 ή 2) του αντίστοιχου καναλιού που επιθυμούμαι να εφαρμόσουμε κάποιο τύπο σύζευξης
- Από τα πλήκτρα menu πιέζοντας (επαναλαμβανόμενα) την ένδειξη Coupling μεταβαίνουμε διαδοχικά στον κάθε τύπο σύζευξης (AC, DC, GND)

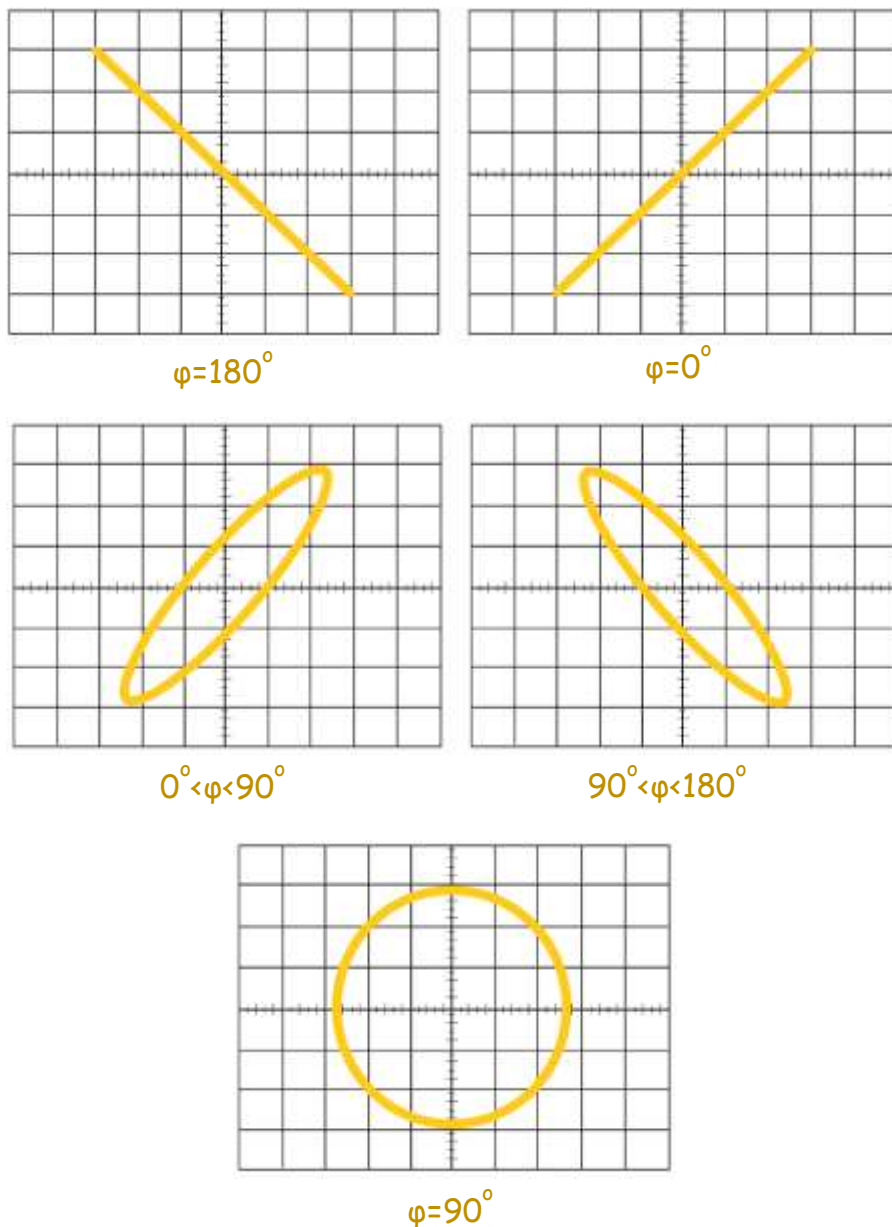


Προσοχή, οι γειώσεις και των δυο καναλιών (Ch1 και Ch2) είναι κοινές και αρκεί μία από τις δύο να είναι συνδεδεμένη στη γείωση του υπο μελέτη κυκλώματος ή στην γείωση της γεννήτριας αν συνδέσουμε απευθείας τον παλμογράφο σε αυτή. Σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του παλμογράφου.

## Μέτρηση διαφοράς φάσης (Σχήματα LISSAJOUS)

Για την μέτρηση της διαφοράς φάσης ( $\Delta\phi$ ) μεταξύ δύο ημιτονοειδών σημάτων που έχουν την ίδια συχνότητα χρησιμοποιούμε τα σχήματα Lissajous. Τα δύο υπό μελέτη σήματα εισάγονται στα δύο κανάλια του παλμογράφου και κάνοντας κάποιες παραμετροποιήσεις (όπως θα δούμε παρακάτω) εμφανίζεται στην οθόνη του, στην γενικότερη περίπτωση, είτε μια ευθεία (κλίση  $45^\circ$ ) είτε μια έλλειψη. Μετρώντας κατόπιν κάποιες αποστάσεις στο πλέγμα της οθόνης του παλμογράφου υπολογίζουμε την διαφορά φάσης των δύο σημάτων.

Οι κύριες εικόνες Lissajous (Σχήμα 247) που θα συναντήσουμε στο εργαστήριο είναι οι παρακάτω:

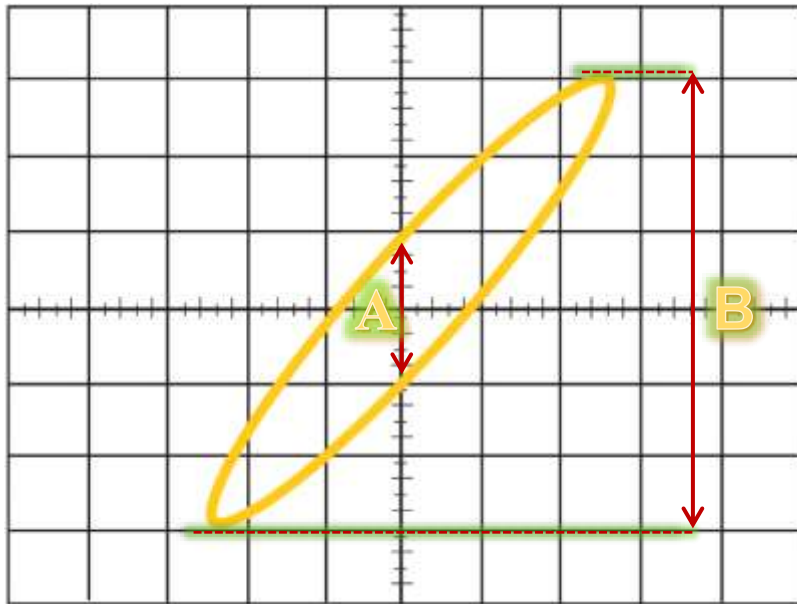


Σχήμα 247 , Συνηθέστερα σχήματα LISSAJOUS

Για ακριβή μέτρηση της διαφοράς φάσης χρησιμοποιούμε την σχέση:

$$\sin(\varphi) = \frac{A}{B} \quad \text{ενώ οι αποστάσεις } A, B \text{ εξάγονται από την μέτρηση των divisions.}$$

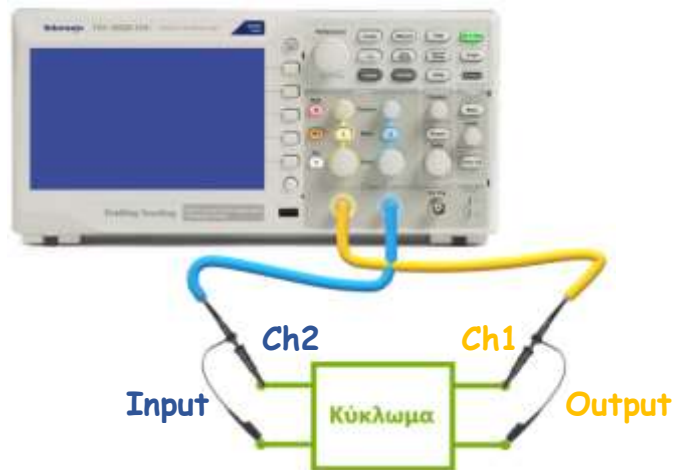
Συγκεκριμένα, υποθέτουμε την εικόνα Lissajous που ακολουθεί (Σχήμα 248).



Σχήμα 248 , ένα τυπικό σχήμα LISSAJOUS

$$\varphi = \pm \sin^{-1}\left(\frac{A}{B}\right)$$

Συνδεσμολογία για την λήψη σχημάτων Lissajous:



Παραμετροποίηση παλμογράφου:

- 1) Πιέζουμε το κουμπί 1 (Ch1 menu)
  - ☞ Επιλέγουμε από τα πλήκτρα menu, Probe ► Voltage και έπειτα ► Attenuation ► 10X
- 2) Πιέζουμε το κουμπί 2 (Ch2 menu)
  - ☞ Επιλέγουμε από τα πλήκτρα menu Probe ► Voltage ► Attenuation ► 10X



Βεβαιωνόμαστε πως ο διακόπτης εξασθένησης του probe βρίσκεται στην θέση  $\times 10$

- 3) Συνδέουμε το probe του Ch1 στην έξοδο του κυκλώματος και το probe του Ch2 στην είσοδό του



Για να μετρηθεί σωστά η διαφορά φάσης  $\Delta\phi$  με τα σχήματα "Lissajous" θα πρέπει η τάση εξόδου του κυκλώματος να συνδεθεί στο κανάλι Y του παλμογράφου (Ch1) ενώ η τάση εισόδου στο κανάλι X (Ch2). Σε αυτή τη θέση στην πραγματικότητα βλέπουμε στην οθόνη  $Y=Y(X)$ .

- 4) Πιέζουμε το πλήκτρο Autoset  
5) Περιστρέφουμε τους διακόπτες Vertical Scale (volts/division) και των δύο καναλιών ώστε το πλάτος των σημάτων να εκμεταλλευτεί το μέγιστο δυνατό του εύρους της οθόνης του παλμογράφου.




Για να έχουμε σωστή απεικόνιση και έπειτα μέτρηση μιας εικόνας Lissajous, πρέπει πάντα η τιμή της κλίμακας των δύο τάσεων (Volts/div) να είναι ακριβώς η ίδια τόσο στο Ch1 όσο και στο Ch2. Γι' αυτό όταν μεταβάλουμε τους διακόπτες Vertical Scale με σκοπό να εκμεταλλευτούμε όλο το εύρος της οθόνης, φροντίζουμε αυτοί να έχουν την ίδια κλίμακα.

- 6) Πιέζουμε Utility ► Display ώστε να εμφανιστεί το menu επιλογών

- 7) Από το menu επιλογών επιλέγουμε Format ► XY

- Εμφανίζεται η εικόνα Lissajous






 Αν απαιτείτε περιστρέφουμε εκ νέου τους διακόπτες Vertical Scale (Ch1 - Ch2)

 Για μεγαλύτερη ακρίβεια επιλέγουμε Persist ► Infinite



Αν μετά την επιλογή του XY Format πιέσουμε το πλήκτρο Autoset θα γίνει επαναφορά της προβολής στο YT Format.

**Στο XY Format δεν είναι διαθέσιμες οι παρακάτω λειτουργίες:**

-  Autorange
-  Automatic measurements
-  Cursors
-  Time base controls
-  Trigger controls

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 'Ομάδα υψηλού επιπέδου της ΕΕ: εκπαίδευση των καθηγητών στη διδασκαλία Μέλη της ομάδας υψηλού επιπέδου για τον εκσυγχρονισμό της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης', Βρυξέλλες, Ιουνίου 2013. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: [http://ec.europa.eu/education/higher-education/doc/modernisation\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/education/higher-education/doc/modernisation_en.pdf)
- [2] 'The Future of Jobs Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution', 2016. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Φεβρουάριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_Jobs.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf)
- [3] 'Dispute Resolution Reference Guide'. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Φεβρουάριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.justice.gc.ca/eng/rp-pr/csj-sjc/dprs-sprd/res/drrg-mrrc/10.html>
- [4] Camille Bello, 'Would you want a robot as CEO? Chinese firm is first to try as it bets on 'metaverse workplace' ', 20 Νοέμβριος 2022. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Φεβρουάριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.euronews.com/next/2022/11/20/would-you-want-a-robot-as-ceo-chinese-firm-is-first-to-try-as-it-bets-on-metaverse-workpla>
- [5] 'Australian universities to return to 'pen and paper' exams after students caught using AI to write essays', *theguardian.com*, 10 Ιανουάριος 2023. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Φεβρουάριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.theguardian.com/australia-news/2023/jan/10/universities-to-return-to-pen-and-paper-exams-after-students-caught-using-ai-to-write-essays>
- [6] *The implementation of the Bologna Process*. European Parliament , 2015. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Φεβρουάριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015IP0107>
- [7] EUROPEAN COMMISSION, *A renewed EU agenda for higher education*. 2017. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Φεβρουάριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=SWD%3A2017%3A164%3AFIN>
- [8] Γ. Παπαϊωάννου, 'Η παιδαγωγική αποστολή του Πανεπιστημίου'. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://hepnet.upatras.grhttp://academia.lis.upatras.gr/>
- [9] Π. Παυλίδης, 'Η Ιδέα του Πανεπιστημίου στη «μεταβιομηχανική» εμπορευματική οικονομία', στο *4ο Διεθνές Επιστημονικό Συνέδριο*



- Ιστορίας Εκπαίδευσης*, Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Φεβρουάριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://www.eriande.elemedu.upatras.gr/eriande/synedria/synedrio4/praktika1/paylidis.htm>
- [10] Sara Salinas, 'Tech has a big talent gap, and companies are hiring philosophy majors, says the CEO of CA Technologies', *cnbc.com*, 16 Νοέμβριος 2017. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Φεβρουάριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.cnbc.com/2017/11/16/tech-talent-gap-looks-to-philosophy-majors-ceo-mike-gregoire-says.html>
- [11] A. Robinson, 'Philosophy, computer science honors grad sets sights on IBM career'. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Φεβρουάριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://artsandsciences.fsu.edu/article/philosophy-computer-science-honors-grad-sets-sights-ibm-career>
- [12] K. Scelles, 'Why companies should hire philosophers'. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Φεβρουάριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.linkedin.com/pulse/why-companies-should-hire-philosophers-karine-scelles>
- [13] K. Whiting, 'These are the top 10 job skills of tomorrow – and how long it takes to learn them', *weforum.org*, Οκτωβρίου 2020. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Φεβρουάριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.weforum.org/agenda/2020/10/top-10-work-skills-of-tomorrow-how-long-it-takes-to-learn-them/>
- [14] Κ. Σοφούλης, *Το πανεπιστήμιο ως σχολείο: Αναζητώντας το παιδαγωγικό αποτύπωμα*. Gutenberg, 2013.
- [15] Α. Οικονόμου και Π. Γουγουλάκης, 'Παιδαγωγική και διδακτική κατάρτιση των πανεπιστημιακών δασκάλων', *ΝΕΟΣ ΠΑΙΔΑΓΩΓΟΣ*, σσ. 74–90, Σεπτεμβρίου 2016, Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Φεβρουάριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/319325458\\_Paidagogike\\_kai\\_didaktike\\_katartise\\_ton\\_panepistemiakon\\_daskalon](https://www.researchgate.net/publication/319325458_Paidagogike_kai_didaktike_katartise_ton_panepistemiakon_daskalon)
- [16] Κ. Κεδράκα, Επιμ., 'Πανεπιστημιακή Παιδαγωγική: Η εκπαίδευση και διδασκαλία στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, μια terra incognita?', Αλεξανδρούπολη: Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Σεπτεμβρίου 2016.
- [17] Π. Γουγουλάκης και Α. Οικονόμου, 'Πανεπιστημιακή Παιδαγωγική', *Επιστημονικό Εκπαιδευτικό Περιοδικό 'Εκπαιδευτικός Κύκλος'*, τ. 282, τχ. University Pedagogy, σσ. 9–48, 2014.

- [18] Μ. Παππά και Ι. Θανόπουλος, 'ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΑΝΤΙΛΗΨΕΩΝ ΤΩΝ ΦΟΙΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ', *ΣΠΟΥΔΑΙ*, σσ. 58–82, 2006.
- [19] 'Bohr's shell model', *britannica*. 2012.
- [20] Η. Ματσαγγούρας, *Στρατηγικές διδασκαλίας Από την πληροφόρηση στην κριτική σκέψη*. Gutenberg, 2007.
- [21] Χ. Κυνηγός, *Το μάθημα της διερεύνησης*. Ελληνικά Γράμματα, 2006.
- [22] C. Kynigos, 'Constructionism: Theory of Learning or Theory of Design?', στο *Selected Regular Lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education*, Springer International Publishing, 2015, σσ. 417–438. doi: 10.1007/978-3-319-17187-6\_24.
- [23] S. Wernke, J. WernerK, και K. Zierer, 'Heimann, Schulz, or Klafki? - A quantitative study on the assessment of the practicability of general didactical planning models', 2015, Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Φεβρουάριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/281940254\\_Heimann\\_Schulz\\_or\\_Klafki\\_-\\_A\\_quantitative\\_study\\_on\\_the\\_assessment\\_of\\_the\\_practicability\\_of\\_general\\_didactical\\_planning\\_models](https://www.researchgate.net/publication/281940254_Heimann_Schulz_or_Klafki_-_A_quantitative_study_on_the_assessment_of_the_practicability_of_general_didactical_planning_models)
- [24] E. K. Ackermann, 'CONSTRUCTING KNOWLEDGE AND TRANSFORMING THE WORLD'.
- [25] Χ. Ραγιαδάκος, 'Βασικά Χαρακτηριστικά της διερευνητικής μεθόδου στη μάθηση και τη διδασκαλία', *Παιδαγωγικό Ινστιτούτο*, Μαΐου 2011.
- [26] 'A study of the relationships among fatigue, hours of service, and safety of operations of truck and bus drivers', *Appl Ergon*, τ. 4, τχ. 4, σ. 228, Δεκεμβρίου 1973, doi: 10.1016/0003-6870(73)90259-7.
- [27] James. M. Applefield, R. Huber, και M. Moallem, 'Constructivism in Theory and Practice: Toward a Better Understanding', στο *The High School Journal*, University of North Carolina Press, Δεκεμβρίου 2001, σσ. 35–53.
- [28] C. S. K. Chai Joyce Hwee Ling; Tsai Chin-Chung, 'A Review of Technological Pedagogical Content Knowledge', *Educational Technology & Society*, σσ. 31–51, 2013.
- [29] P. Mishra και M. J. Koehler, 'Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge', *Teachers College Record: The Voice of Scholarship in Education*, τ. 108, τχ. 6, σσ. 1017–1054, 2006, doi: 10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x.

- [30] D. (Michel) Astolfi (Jean-Pierre), 'La didactique des sciences ', *Revue française de pédagogie* , σσ. 114–117, 1990.
- [31] ΚΟΚΚΟΣ ΑΛΕΞΗΣ, *ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΕΝΗΛΙΚΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΟΝΤΑΣ ΤΟ ΠΕΔΙΟ*. ΜΕΤΑΙΧΜΙΟ, 2005.
- [32] R. F. Erlandson, 'Universal and accessible design for products, services, and processes', *CRC Press*, 2007.
- [33] 'Universal Design for Learning guidelines version 2.0. Wakeeld', CAST. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://www.udlcenter.org/>
- [34] Κ. Παπανικολάου, Ε. Γουλή, και Α. Μακρή, 'Σχεδιάζοντας Εκπαιδευτικά Σενάρια'. 2013.
- [35] *Artificial Intelligence: A New Synthesis*. Elsevier, 1998. doi: 10.1016/C2009-0-27773-7.
- [36] R. Kurzweil, *The Age of Intelligent Machines* . The MIT Press, 1992.
- [37] M. Griffiths, L. B. Forcier, R. Luckin, και W. Holmes, 'Intelligence Unleashed: An argument for AI in Education', *Pearson Education*, 2016, Ημερομηνία πρόσβασης: 6 Οκτώβριος 2020. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.pearson.com/corporate/about-pearson/what-we-do/innovation/smarter-digital-tools/intelligence-unleashed.html>
- [38] J. Scott και M. Wolking, *The Core Four of Personalized Learning: The Elements You Need to Succeed*. Education Elements. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Φεβρουάριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: [https://www.edelements.com/hubfs/Core\\_Four/Education\\_Elements\\_Core\\_Four\\_White\\_Paper.pdf](https://www.edelements.com/hubfs/Core_Four/Education_Elements_Core_Four_White_Paper.pdf)
- [39] 'TekSmartLab', Tektronix. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Φεβρουάριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.tek.com/en/teksmartlab>