



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής»
«Advanced Control Systems and Robotics»

«Δομοστοιχειωτός έλεγχος κύκλου πίεσης αντιδραστήρα
παρουσία σφαλμάτων»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο «Προηγμένα Συστήματα
Ελέγχου και Ρομποτικής» του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών ως
μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στα
Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής

από τον

ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΛΚΑΝΑΣ

Ιούνιος 2022



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής»
«Advanced Control Systems and Robotics»

«Δομοστοιχειωτός έλεγχος κύκλου πίεσης αντιδραστήρα
παρουσία σφαλμάτων»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο «Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής» του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στα Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής

από τον

ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΛΚΑΝΑΣ

Δήλωση Αυθεντικότητας, ζητήματα **Copyright**

«Ο μεταπτυχιακός φοιτητής που εκπόνησε την παρούσα διπλωματική εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (μη-εμπορικός, μη-κερδοσκοπικός, αλλά εκπαιδευτικός-ερευνητικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες κ.λπ.), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή την γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου».

Ιούνιος 2022

«Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή η οποία ορίστηκε από την Συνέλευση του Γενικού Τμήματος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, σύμφωνα με το νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό Σπουδών του ΠΜΣ «Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής». Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

1. Φώτιος Ν. Κουμπουλής, Καθηγητής(Επιβλέπων)
2. Νικόλαος Δ. Κούβακας, Αναπληρωτής Καθηγητής..... (Μέλος)
3. Δημήτριος Γ. Φραγκούλης, Επίκουρος Καθηγητής..... (Μέλος)

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Γενικό Τμήμα του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα.

Σύμφωνα με τον Ν. 4589/2019 (ΦΕΚ 13/29-1-2019 τ. Α) το Π.Μ.Σ. «Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής» εντάχθηκε στο Γενικό Τμήμα του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.»

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστεί το σύστημα ενός αντιδραστήρα. Θα παρουσιαστούν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων του αντιδραστήρα, της βαλβίδας ελέγχου, του αισθητήρα πίεσης και του κουμπιού του χειριστή με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Θα αναπτυχθούν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων και ενεργοποιητών. Θα αναπτυχθεί το συνολικό μοντέλο του συστήματος με την παρουσία σφαλμάτων. Θα διερευνηθεί η δυνατότητα περιγραφής των επιθυμητών συμπεριφορών του συστήματος με τα σφάλματα σε μορφή επιθυμητών κανονικών γλωσσών. Θα διερευνηθούν οι ιδιότητες των επιθυμητών γλωσσών ως προς το συνολικό αυτόματο του συστήματος. Θα διερευνηθεί η δυνατότητα σχεδιασμού μίας δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική εποπτικού ελέγχου με ανοχή στα σφάλματα. Θα υλοποιηθεί η δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική ελέγχου σε γλώσσα Ladder για χρήση σε PLC.

Λέξεις κλειδιά: Συστήματα Διακριτών Συμβάντων, Επόπτης ελεγκτής, Δομοστοιχειωτός εποπτικός έλεγχος, Σφάλματα Ενεργοποιητών/Αισθητήρων, Έλεγχος με ανοχή σε σφάλματα

Abstract

In this diploma thesis the system of a reactor will be presented. Mathematical models of the individual subsystems of the reactor, the control valve, the pressure sensor and the button of the operator will be presented using finite deterministic automata. Mathematical models of the individual subsystems will be developed in the presence of sensor and actuator faults. The overall system model with the presence of faults will be developed. The possibility of describing the desired system behaviors with faults in the form of desired formal languages will be investigated. The properties of the desired languages regarding the overall automaton will be investigated. The possibility of designing a modular supervisory control architecture with fault tolerance will be explored. The modular control architecture will be implemented in Ladder language for use in PLC.

Keywords: Discrete Event Systems, Supervisory control, Modular supervisory control, Actuator/Sensor Faults, Fault Tolerant Control

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ	3
2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ.....	3
2.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΒΑΛΒΙΔΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	3
2.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΚΟΥΜΠΙΟΥ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗ	5
2.4 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΠΙΕΣΗΣ.....	6
2.5 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ.....	10
3.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΒΑΛΒΙΔΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ	10
3.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΚΟΥΜΠΙΟΥ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	12
3.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΠΙΕΣΗΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	14
3.4 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΓΛΩΣΣΩΝ	18
4.1 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	18
4.2 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΓΛΩΣΣΩΝ	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΕΠΟΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΑΝΟΧΗ ΣΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ.....	20
5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΕΠΟΠΤΩΝ	20
5.2 ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΤΟΣ ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	25
5.3 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΕΠΟΠΤΩΝ ΣΕ ΓΛΩΣΣΑ LADDER	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	29
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	30

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Διάγραμμα κατάστασης υποσυστήματος βαλβίδας ελέγχου.....	4
Σχήμα 2: Διάγραμμα κατάστασης υποσυστήματος βαλβίδας ελέγχου.....	6
Σχήμα 3: Διάγραμμα κατάστασης υποσυστήματος αισθητήρα πίεσης.....	7
Σχήμα 4: Διάγραμμα κατάστασης υποσυστήματος βαλβίδας ελέγχου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών.....	12
Σχήμα 5: Διάγραμμα κατάστασης υποσυστήματος κουμπιού του χειριστή με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων.....	14
Σχήμα 6: Διάγραμμα κατάστασης υποσυστήματος αισθητήρα πίεσης με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων.....	16
Σχήμα 7: Το αυτόματο του επόπτη S_1	21
Σχήμα 8: Το αυτόματο του επόπτη S_2	22
Σχήμα 9: Το αυτόματο του επόπτη S_3	23
Σχήμα 10: Το αυτόματο του επόπτη S_4	25
Σχήμα 11: Αρχικοποίηση διαγράμματος Ladder του επόπτη S_1	26
Σχήμα 12: Διάγραμμα Ladder του επόπτη S_1	27
Σχήμα 13: Αρχικοποίηση διαγράμματος Ladder του επόπτη S_2	27
Σχήμα 14: Διάγραμμα Ladder του επόπτη S_2	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστεί το σύστημα ενός αντιδραστήρα. Θα παρουσιαστούν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων του αντιδραστήρα, της βαλβίδας ελέγχου, του αισθητήρα πίεσης και του κουμπιού του χειριστή με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Θα αναπτυχθούν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων και ενεργοποιητών. Θα αναπτυχθεί το συνολικό μοντέλο του συστήματος με την παρουσία σφαλμάτων. Θα διερευνηθεί η δυνατότητα περιγραφής των επιθυμητών συμπεριφορών του συστήματος με τα σφάλματα σε μορφή επιθυμητών κανονικών γλωσσών. Θα διερευνηθούν οι ιδιότητες των επιθυμητών γλωσσών ως προς το συνολικό αυτόματο του συστήματος. Θα διερευνηθεί η δυνατότητα σχεδιασμού μίας δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική εποπτικού ελέγχου με ανοχή στα σφάλματα. Θα υλοποιηθεί η δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική ελέγχου σε γλώσσα Ladder για χρήση σε PLC.

Η αναλυτική περιγραφή της δομής της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Στο Κεφάλαιο 2 θα παρουσιαστεί η περιγραφή του συστήματος του αντιδραστήρα και η μοντελοποίηση του με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων χωρίς την παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων και ενεργοποιητών.

Στο Κεφάλαιο 3 θα παρουσιαστεί η μοντελοποίηση του συστήματος με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων με την παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων και ενεργοποιητών.

Στο Κεφάλαιο 4 θα παρουσιαστεί η επιθυμητή συμπεριφορά του συστήματος σε μορφή κανόνων και κανονικών γλωσσών με την παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων και ενεργοποιητών.

Στο Κεφάλαιο 5 θα σχεδιαστεί η δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική ελέγχου βασισμένη στις επιθυμητές γλώσσες με την παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων και ενεργοποιητών.

Η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Μια γραμμή αερίου συνδέεται με μια δεξαμενή αποθήκευσης υπό πίεση. Για την πλήρωση της δεξαμενής χρησιμοποιείται μία βαλβίδα η οποία ενεργοποιείται έως ότου επιτευχθεί μια προκαθορισμένη πίεση. Για την ενεργοποίηση της βαλβίδα, ένας χειριστής πρέπει να πατήσει το ένα αντίστοιχο κουμπί που βρίσκεται εγκατεστημένο στο σύστημα. Για λόγους ασφαλείας, εάν ο χειριστής αφήσει το κουμπί οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, η βαλβίδα πρέπει να κλείσει αμέσως ακόμη και όταν δεν έχει επιτευχθεί η επιθυμητή πίεση. Είναι επίσης επιθυμητό να εισαχθεί ένα σύστημα ασφαλείας για την επίβλεψη της κανονικής λειτουργίας του συστήματος και για την παράκαμψη των ενεργειών του χειριστή εάν προκύψουν μη ασφαλείς συνθήκες, δηλαδή εάν η πίεση υπερβεί μία επιθυμητή τιμή, κλείνοντας τη βαλβίδα ανεξάρτητα από τη θέση του κουμπιού του χειριστή. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι το σύστημα αποτελείται από τρία υποσυστήματα το μοντέλο των οποίων θα παρουσιαστεί στις επόμενες υποενότητες με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Το πρώτο υποσύστημα είναι αυτό της βαλβίδας ελέγχου, το δεύτερο υποσύστημα είναι αυτό του κουμπιού του χειριστή και το τρίτο υποσύστημα είναι αυτό του αισθητήρα πίεσης.

2.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΒΑΛΒΙΔΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Στη συνέχεια το μαθηματικό μοντέλο της βαλβίδας ελέγχου παρουσιάζεται ([1]-[3]) με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[9]).

$$\mathbf{G}_V = (\mathbb{Q}_V, \mathbb{E}_V, f_V, \mathbb{H}_V, x_{V,0}, \mathbb{Q}_{V,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων της βαλβίδας ελέγχου είναι

$$\mathbb{Q}_V = \{q_{V,1}, q_{V,2}\}$$

Η κατάσταση $q_{V,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που η βαλβίδα ελέγχου είναι κλειστή. Η κατάσταση $q_{V,2}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που η βαλβίδα ελέγχου είναι ανοικτή.

Το αλφάβητο του αυτόματου της βαλβίδας ελέγχου είναι

$$\mathbb{E}_V = \{e_{V,1}, e_{V,2}\}$$

Το συμβάν $e_{V,1}$ αντιστοιχεί στην εντολή στην βαλβίδα ελέγχου να ανοίξει. Το συμβάν $e_{V,2}$ αντιστοιχεί στην εντολή στην βαλβίδα ελέγχου να κλείσει.

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου της βαλβίδας ελέγχου είναι

$$x_{V,0} = q_{V,1}.$$

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου της βαλβίδας ελέγχου είναι

$$\mathbb{Q}_{V,m} = \{q_{V,1}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης της βαλβίδας ελέγχου είναι

$$f_V(q_{V,1}, e_{V,1}) = q_{V,2} \text{ και } f_V(q_{V,2}, e_{V,2}) = q_{V,1}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων της βαλβίδας ελέγχου είναι

$$\mathbb{H}_V(q_{V,1}) = \{e_{V,1}\} \text{ και } \mathbb{H}_V(q_{V,2}) = \{e_{V,2}\}$$

Σύμφωνα με την [1] τα ελέγξιμα συμβάντα της βαλβίδας ελέγχου είναι $\mathbb{E}_{V,c} = \{e_{V,1}, e_{V,2}\}$ συνεπώς $\mathbb{E}_{V,uc} = \emptyset$.

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο της βαλβίδας ελέγχου είναι

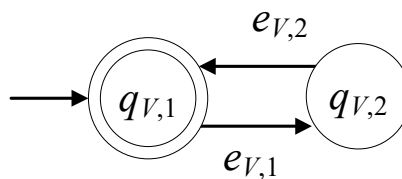
$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_V) = \overline{(e_{V,1}e_{V,2})}^*.$$

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο της βαλβίδας ελέγχου είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_V) = (e_{V,1}e_{V,2})^*$$

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς $\overline{\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_V)} = \mathbb{L}(\mathbf{G}_V)$.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος της βαλβίδας ελέγχου.



Σχήμα 1: Διάγραμμα κατάστασης υποσυστήματος βαλβίδας ελέγχου

2.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΚΟΥΜΠΙΟΥ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗ

Στη συνέχεια το μαθηματικό μοντέλο του κουμπιού του χειριστή παρουσιάζεται ([1]-[3]) με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[9]).

$$\mathbf{G}_B = (\mathbb{Q}_B, \mathbb{E}_B, f_B, \mathbb{H}_B, x_{B,0}, \mathbb{Q}_{B,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του κουμπιού του χειριστή είναι

$$\mathbb{Q}_B = \{q_{B,1}, q_{B,2}\}$$

Η κατάσταση $q_{B,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που το κουμπί του χειριστή βρίσκεται στη θέση off. Η κατάσταση $q_{B,2}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που το κουμπί του χειριστή βρίσκεται στη θέση on.

Το αλφάβητο του αυτόματου του κουμπιού του χειριστή είναι

$$\mathbb{E}_B = \{e_{B,1}, e_{B,2}\}$$

Το συμβάν $e_{B,1}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι το κουμπί του χειριστή πατήθηκε για να ενεργοποιηθεί (on). Το συμβάν $e_{B,2}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι το κουμπί του χειριστή πατήθηκε για να απενεργοποιηθεί (off).

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου του κουμπιού του χειριστή είναι

$$x_{B,0} = q_{B,1}.$$

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου του κουμπιού του χειριστή είναι

$$\mathbb{Q}_{B,m} = \{q_{B,1}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης του κουμπιού του χειριστή είναι

$$f_B(q_{B,1}, e_{B,1}) = q_{B,2} \text{ και } f_B(q_{B,2}, e_{B,2}) = q_{B,1}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων του κουμπιού του χειριστή είναι

$$\mathbb{H}_B(q_{B,1}) = \{e_{B,1}\} \text{ και } \mathbb{H}_B(q_{B,2}) = \{e_{B,2}\}$$

Σύμφωνα με την [1] τα ελέγξιμα συμβάντα του κουμπιού του χειριστή είναι $\mathbb{E}_{B,c} = \emptyset$ συνεπώς $\mathbb{E}_{B,uc} = \{e_{B,1}, e_{B,2}\}.$

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο του κουμπιού του χειριστή είναι

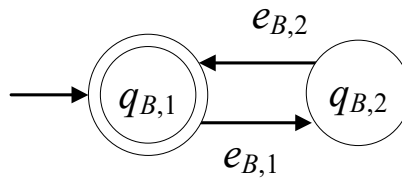
$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_B) = \overline{(e_{B,1}e_{B,2})^*}.$$

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο του κουμπιού του χειριστή είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_B) = (e_{B,1}e_{B,2})^*$$

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς $\overline{\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_B)} = \mathbb{L}(\mathbf{G}_B)$.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος του κουμπιού του χειριστή.



Σχήμα 2: Διάγραμμα κατάστασης υποσυστήματος βαλβίδας ελέγχου

2.4 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΠΙΕΣΗΣ

Στη συνέχεια το μαθηματικό μοντέλο του αισθητήρα πίεσης παρουσιάζεται ([1]-[3]) με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[9]).

$$\mathbf{G}_P = (\mathbb{Q}_P, \mathbb{E}_P, f_P, \mathbb{H}_P, x_{P,0}, \mathbb{Q}_{P,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του αισθητήρα πίεσης είναι

$$\mathbb{Q}_P = \{q_{P,1}, q_{P,2}, q_{P,3}\}$$

Η κατάσταση $q_{P,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο αισθητήρας πίεσης δείχνει χαμηλή πίεση στον αντιδραστήρα. Η κατάσταση $q_{P,2}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο αισθητήρας πίεσης δείχνει επιθυμητή πίεση στον αντιδραστήρα. Η κατάσταση $q_{P,3}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο αισθητήρας πίεσης δείχνει υψηλή πίεση στον αντιδραστήρα

Το αλφάβητο του αυτόματου του αισθητήρα πίεσης είναι

$$\mathbb{E}_P = \{e_{P,1}, e_{P,2}, e_{P,3}, e_{P,4}\}$$

Το συμβάν $e_{P,1}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι η πίεση του αντιδραστήρα ανέβηκε από χαμηλή σε επιθυμητή. Το συμβάν $e_{P,2}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι η πίεση του αντιδραστήρα ανέβηκε από επιθυμητή σε υψηλή. Το συμβάν $e_{P,3}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι η πίεση του αντιδραστήρα έπεσε

από επιθυμητή σε χαμηλή. Το συμβάν $e_{P,4}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι η πίεση του αντιδραστήρα έπεσε υψηλή σε επιθυμητή.

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου του αισθητήρα πίεσης είναι

$$x_{P,0} = q_{P,1}.$$

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου του αισθητήρα πίεσης είναι

$$\mathbb{Q}_{P,m} = \{q_{P,2}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης του αισθητήρα πίεσης είναι

$$f_P(q_{P,1}, e_{P,1}) = q_{P,2}, \quad f_P(q_{P,2}, e_{P,2}) = q_{P,3}, \\ f_P(q_{P,2}, e_{P,3}) = q_{P,1} \quad \text{και} \quad f_P(q_{P,3}, e_{P,4}) = q_{P,2}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων του αισθητήρα πίεσης είναι

$$\mathbb{H}_P(q_{P,1}) = \{e_{P,1}\}, \quad \mathbb{H}_P(q_{P,2}) = \{e_{P,2}, e_{P,3}\} \quad \text{και} \quad \mathbb{H}_P(q_{P,3}) = \{e_{P,4}\}$$

Σύμφωνα με την [1] τα ελέγξιμα συμβάντα του αισθητήρα πίεσης είναι $\mathbb{E}_{P,c} = \emptyset$ συνεπώς $\mathbb{E}_{P,uc} = \{e_{P,1}, e_{P,2}, e_{P,3}, e_{P,4}\}$.

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο του αισθητήρα πίεσης είναι

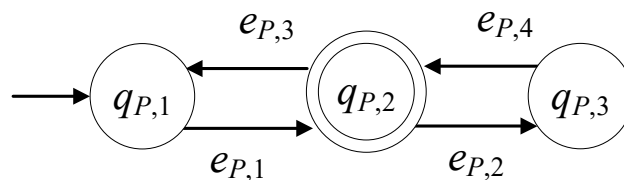
$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_P) = \overline{(e_{P,1}(e_{P,2}e_{P,4})^* e_{P,3})^*}.$$

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο του αισθητήρα πίεσης είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_P) = e_{P,1}(e_{P,2}e_{P,4} + e_{P,3}e_{P,1})^*$$

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς $\overline{\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_P)} = \mathbb{L}(\mathbf{G}_P)$.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος του αισθητήρα πίεσης.



Σχήμα 3: Διάγραμμα κατάστασης υποσυστήματος αισθητήρα πίεσης

2.5 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Για το συνολικό μοντέλο θα χρησιμοποιηθεί η πολυμελής πράξη της παράλληλης σύνδεσης ([4]). Το συνολικό σύστημα είναι

$$\mathbf{G} = \mathbf{G}_V \parallel \mathbf{G}_B \parallel \mathbf{G}_P$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συνολικού αυτόματου \mathbf{G} είναι

$$\mathbb{Q} = \mathbb{Q}_V \times \mathbb{Q}_B \times \mathbb{Q}_P$$

$$\text{δηλαδή } \mathbb{Q} = \bigcup_{i=1}^2 \left(\bigcup_{j=1}^2 \left(\bigcup_{k=1}^3 \{ (q_{V,i}, q_{B,j}, q_{P,k}) \} \right) \right)$$

Ο συνολικός αριθμός των καταστάσεων είναι 12 καταστάσεις (προσβάσιμες και μη προσβάσιμες).

Το αλφάβητο του συνολικού αυτόματου είναι

$$\mathbb{E} = \mathbb{E}_V \cup \mathbb{E}_B \cup \mathbb{E}_P$$

Η αρχική κατάσταση του συνολικού αυτόματου είναι $x_0 = (q_{V,1}, q_{B,1}, q_{P,1})$.

Το σύνολο των σημαδεμένων καταστάσεων του συνολικού αυτόματου είναι

$$\mathbb{Q}_m = \{ (q_{V,1}, q_{B,1}, q_{P,2}) \}.$$

Τα υποσυστήματα έχουν ξένα αλφάβητα επομένως όλες οι μεταβάσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν άρα

$$f((q_{V,i}, q_{B,j}, q_{P,k}), e) = \begin{cases} (f_V(q_{V,i}, e), q_{B,j}, q_{P,k}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_V \\ (q_{V,i}, f_B(q_{B,j}, e), q_{P,k}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_B \\ (q_{V,i}, q_{B,j}, f_P(q_{P,k}, e)) & \text{if } e \in \mathbb{E}_P \end{cases}$$

και

$$\mathbb{H}((q_{V,i}, q_{B,j}, q_{P,k})) = \mathbb{H}_V(q_{V,i}) \cup \mathbb{H}_B(q_{B,j}) \cup \mathbb{H}_P(q_{P,k})$$

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbf{L}(\mathbf{G}) = P_V^{-1}(\mathbf{L}(\mathbf{G}_V)) \cap P_B^{-1}(\mathbf{L}(\mathbf{G}_B)) \cap P_P^{-1}(\mathbf{L}(\mathbf{G}_P))$$

όπου P_V είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_V , P_B είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_B και P_P είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_P .

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}) = P_V^{-1}(\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_V)) \cap P_B^{-1}(\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_B)) \cap P_P^{-1}(\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_P))$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

3.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΒΑΛΒΙΔΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ

Το μαθηματικό μοντέλο της βαλβίδας ελέγχου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων θα παρουσιαστεί στη συνέχεια. Η 6-άδα του αυτόματου είναι

$$\mathbf{G}_{FV} = (\mathbb{Q}_{FV}, \mathbb{E}_{FV}, f_{FV}, \mathbb{H}_{FV}, x_{FV,0}, \mathbb{Q}_{FV,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων της βαλβίδας ελέγχου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών είναι

$$\mathbb{Q}_{FV} = \{q_{FV,1}, q_{FV,2}, q_{FV,3}\}$$

Η κατάσταση $q_{FV,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που η βαλβίδα ελέγχου είναι κλειστή. Η κατάσταση $q_{FV,2}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που η βαλβίδα ελέγχου είναι ανοικτή. Η κατάσταση $q_{FV,3}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που η βαλβίδα ελέγχου είναι σε σφάλμα.

Το αλφάβητο του αυτόματου της βαλβίδας ελέγχου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών είναι

$$\mathbb{E}_{FV} = \{e_{V,1}, e_{V,2}, e_{V,3}, e_{V,4}\}$$

Το συμβάν $e_{V,1}$ αντιστοιχεί στην εντολή στην βαλβίδα ελέγχου να ανοίξει. Το συμβάν $e_{V,2}$ αντιστοιχεί στην εντολή στην βαλβίδα ελέγχου να κλείσει. Το συμβάν $e_{V,3}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ένα σφάλμα έλαβε χώρα στη βαλβίδα ελέγχου. Το συμβάν $e_{V,4}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι το σφάλμα στη βαλβίδα ελέγχου επιδιορθώθηκε.

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου της βαλβίδας ελέγχου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών είναι

$$x_{FV,0} = q_{FV,1}.$$

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου της βαλβίδας ελέγχου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών είναι

$$\mathbb{Q}_{V,m} = \{q_{V,1}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης της βαλβίδας ελέγχου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών είναι

$$f_{FV}(q_{FV,1}, e_{V,1}) = q_{FV,2}, \quad f_{FV}(q_{FV,1}, e_{V,3}) = q_{FV,3},$$

$$f_{FV}(q_{FV,2}, e_{V,2}) = q_{FV,1},$$

$$f_{FV}(q_{FV,2}, e_{V,3}) = q_{FV,3} \text{ και } f_{FV}(q_{FV,3}, e_{V,4}) = q_{FV,1}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων της βαλβίδας ελέγχου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών είναι

$$\mathbb{H}_{FV}(q_{FV,1}) = \{e_{V,1}, e_{V,3}\}, \quad \mathbb{H}_{FV}(q_{FV,2}) = \{e_{V,2}, e_{V,3}\}$$

$$\text{και } \mathbb{H}_{FV}(q_{FV,3}) = \{e_{V,4}\}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα της βαλβίδας ελέγχου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών είναι $\mathbb{E}_{FV,c} = \{e_{V,1}, e_{V,2}\}$ συνεπώς $\mathbb{E}_{FV,uc} = \{e_{V,3}, e_{V,4}\}$.

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο της βαλβίδας ελέγχου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών είναι

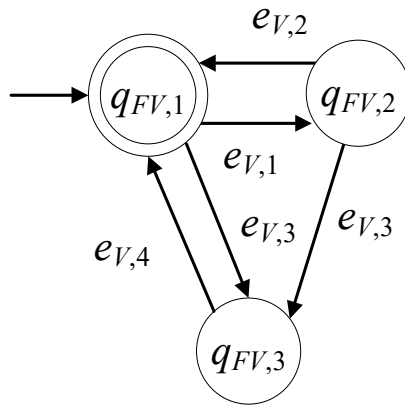
$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_{FV}) = \overline{\left((e_{V,3}e_{V,4})^* e_{V,1}(e_{V,2} + e_{V,3}e_{V,4}) \right)^*}.$$

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο της βαλβίδας ελέγχου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_{FV}) = \left((e_{V,3}e_{V,4})^* e_{V,1}(e_{V,2} + e_{V,3}e_{V,4}) \right)^*$$

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς $\overline{\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_{FV})} = \mathbb{L}(\mathbf{G}_{FV})$.

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος της βαλβίδας ελέγχου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών.



Σχήμα 4: Διάγραμμα κατάστασης υποσυστήματος βαλβίδας ελέγχου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών

3.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΚΟΥΜΠΙΟΥ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Στη συνέχεια το μαθηματικό μοντέλο του κουμπιού του χειριστή με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων παρουσιάζεται με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[9]).

$$\mathbf{G}_{FB} = (\mathbb{Q}_{FB}, \mathbb{E}_{FB}, f_{FB}, \mathbb{H}_{FB}, x_{FB,0}, \mathbb{Q}_{FB,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του κουμπιού του χειριστή με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι

$$\mathbb{Q}_{FB} = \{q_{FB,1}, q_{FB,2}, q_{FB,3}\}$$

Η κατάσταση $q_{FB,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που το κουμπί του χειριστή βρίσκεται στη θέση off. Η κατάσταση $q_{FB,2}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που το κουμπί του χειριστή βρίσκεται στη θέση on. Η κατάσταση $q_{FB,3}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που το κουμπί του χειριστή είναι σε σφάλμα.

Το αλφάβητο του αυτόματου του κουμπιού του χειριστή με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι

$$\mathbb{E}_{FB} = \{e_{B,1}, e_{B,2}, e_{B,3}, e_{B,4}\}$$

Το συμβάν $e_{B,1}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι το κουμπί του χειριστή πατήθηκε για να ενεργοποιηθεί (on). Το συμβάν $e_{B,2}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι το κουμπί του χειριστή πατήθηκε για να απενεργοποιηθεί (off). Το συμβάν $e_{B,3}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ένα σφάλμα έλαβε χώρα

στο κουμπί του χειριστή. Το συμβάν $e_{B,4}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι το σφάλμα στο κουμπί του χειριστή επιδιορθώθηκε.

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου του κουμπιού του χειριστή με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι

$$x_{FB,0} = q_{FB,1}.$$

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου του κουμπιού του χειριστή με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι

$$\mathbb{Q}_{B,m} = \{q_{FB,1}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης του κουμπιού του χειριστή με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι

$$\begin{aligned} f_{FB}(q_{FB,1}, e_{B,1}) &= q_{FB,2}, & f_{FB}(q_{FB,1}, e_{B,3}) &= q_{FB,3}, \\ f_{FB}(q_{FB,2}, e_{B,2}) &= q_{FB,1}, \\ f_{FB}(q_{FB,2}, e_{B,3}) &= q_{FB,3} & \text{και} & f_{FB}(q_{FB,3}, e_{B,4}) = q_{FB,1} \end{aligned}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων του κουμπιού του χειριστή με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι

$$\mathbb{H}_{FB}(q_{FB,1}) = \{e_{B,1}, e_{B,3}\}, \quad \mathbb{H}_{FB}(q_{FB,2}) = \{e_{B,2}, e_{B,3}\} \quad \text{και} \quad \mathbb{H}_{FB}(q_{FB,3}) = \{e_{B,4}\}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του κουμπιού του χειριστή με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι $\mathbb{E}_{FB,c} = \emptyset$ συνεπώς $\mathbb{E}_{FB,uc} = \{e_{B,1}, e_{B,2}, e_{B,3}, e_{B,4}\}$.

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο του κουμπιού του χειριστή με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι

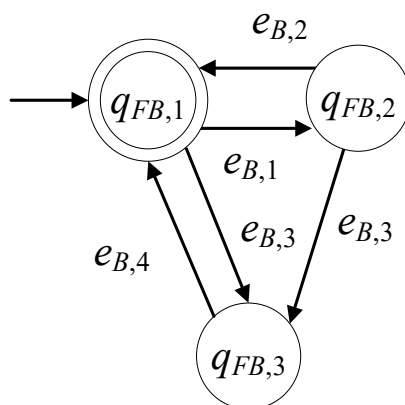
$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_{FB}) = \overline{\left((e_{B,3}e_{B,4})^* e_{B,1} (e_{B,2} + e_{B,3}e_{B,4}) \right)^*}.$$

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο του κουμπιού του χειριστή με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_{FB}) = \left((e_{B,3}e_{B,4})^* e_{B,1} (e_{B,2} + e_{B,3}e_{B,4}) \right)^*$$

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς $\overline{\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_{FB})} = \mathbb{L}(\mathbf{G}_{FB})$.

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος του κουμπιού του χειριστή με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων.



Σχήμα 5: Διάγραμμα κατάστασης υποσυστήματος κουμπιού του χειριστή με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων

3.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΠΙΕΣΗΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Στη συνέχεια το μαθηματικό μοντέλο του αισθητήρα πίεσης με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων παρουσιάζεται με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[9]).

$$\mathbf{G}_{FP} = (\mathbb{Q}_{FP}, \mathbb{E}_{FP}, f_{FP}, \mathbb{H}_{FP}, x_{FP,0}, \mathbb{Q}_{FP,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του αισθητήρα πίεσης με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι

$$\mathbb{Q}_{FP} = \{q_{FP,1}, q_{FP,2}, q_{FP,3}, q_{FP,4}\}$$

Η κατάσταση $q_{FP,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο αισθητήρας πίεσης δείχνει χαμηλή πίεση στον αντιδραστήρα. Η κατάσταση $q_{FP,2}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο αισθητήρας πίεσης δείχνει επιθυμητή πίεση στον αντιδραστήρα. Η κατάσταση $q_{FP,3}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο αισθητήρας πίεσης δείχνει υψηλή πίεση στον αντιδραστήρα. Η κατάσταση $q_{FP,4}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο αισθητήρας πίεσης είναι σε σφάλμα.

Το αλφάβητο του αυτόματου του αισθητήρα πίεσης με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι

$$\mathbb{E}_{FP} = \{e_{P,1}, e_{P,2}, e_{P,3}, e_{P,4}, e_{P,5}, e_{P,6}\}$$

Το συμβάν $e_{P,1}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι η πίεση του αντιδραστήρα ανέβηκε από χαμηλή σε επιθυμητή. Το συμβάν $e_{P,2}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι η πίεση του αντιδραστήρα ανέβηκε από επιθυμητή σε υψηλή. Το συμβάν $e_{P,3}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι η πίεση του αντιδραστήρα έπεσε από επιθυμητή σε χαμηλή. Το συμβάν $e_{P,4}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι η πίεση του αντιδραστήρα έπεσε υψηλή σε επιθυμητή. Το συμβάν $e_{P,5}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ένα σφάλμα έλαβε χώρα

στον αισθητήρα πίεση. Το συμβάν $e_{P,6}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι το σφάλμα στον αισθητήρα πίεσης επιδιορθώθηκε.

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου του αισθητήρα πίεσης με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι

$$x_{FP,0} = q_{FP,1}.$$

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου του αισθητήρα πίεσης με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι $\mathbb{Q}_{FP,m} = \{q_{FP,2}\}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης του αισθητήρα πίεσης με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι

$$\begin{aligned} f_P(q_{P,1}, e_{P,1}) &= q_{P,2}, & f_P(q_{P,1}, e_{P,5}) &= q_{P,4}, & f_P(q_{P,2}, e_{P,2}) &= q_{P,3}, \\ f_P(q_{P,2}, e_{P,5}) &= q_{P,4}, & f_P(q_{P,2}, e_{P,3}) &= q_{P,1}, \\ f_P(q_{P,3}, e_{P,4}) &= q_{P,2}, & f_P(q_{P,3}, e_{P,5}) &= q_{P,4} \\ & & \text{και } f_P(q_{P,4}, e_{P,6}) &= q_{P,1} \end{aligned}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων του αισθητήρα πίεσης με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι

$$\begin{aligned} \mathbb{H}_{FP}(q_{FP,1}) &= \{e_{P,1}, e_{P,5}\}, & \mathbb{H}_{FP}(q_{FP,2}) &= \{e_{P,2}, e_{P,3}, e_{P,5}\}, \\ \mathbb{H}_{FP}(q_{FP,3}) &= \{e_{P,4}, e_{P,5}\} & \text{και } \mathbb{H}_{FP}(q_{FP,4}) &= \{e_{P,6}\} \end{aligned}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του αισθητήρα πίεσης με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι $\mathbb{E}_{FP,c} = \emptyset$ συνεπώς $\mathbb{E}_{FP,uc} = \{e_{P,1}, e_{P,2}, e_{P,3}, e_{P,4}, e_{P,5}, e_{P,6}\}$.

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο του αισθητήρα πίεσης με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι

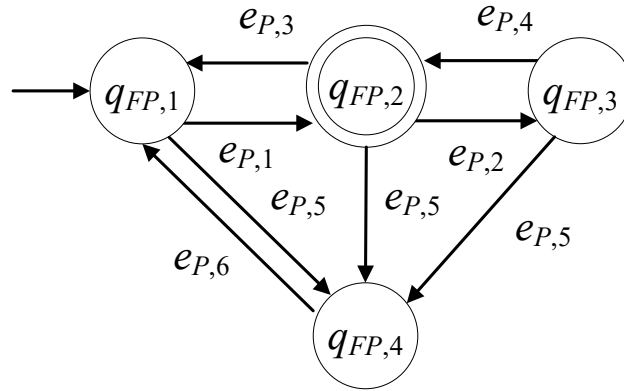
$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_{FP}) = \overline{\left((e_{P,5}e_{P,6})^* e_{P,1} \left(e_{P,5}e_{P,6} + (e_{P,2}e_{P,4})^* (e_{P,5}e_{P,6} + e_{P,3} + e_{P,2}e_{P,5}e_{P,6}) \right) \right)^*}.$$

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο του αισθητήρα πίεσης με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_{FP}) = (e_{P,5}e_{P,6})^* e_{P,1} \left(e_{P,5}e_{P,6}e_{P,1} + e_{P,2}(e_{P,4} + e_{P,5}e_{P,6}e_{P,1}) + e_{P,3}(e_{P,5}e_{P,6})^* e_{P,1} \right)^*$$

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς $\overline{\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_{FP})} = \mathbb{L}(\mathbf{G}_{FP})$.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος του αισθητήρα πίεσης με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων.



Σχήμα 6: Διάγραμμα κατάστασης υποσυστήματος αισθητήρα πίεσης με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων

3.4 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Το συνολικό σύστημα με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών και αισθητήρων είναι

$$\mathbf{G}_F = \mathbf{G}_{FV} \parallel \mathbf{G}_{FB} \parallel \mathbf{G}_{FP}$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συνολικού αυτόματου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών και αισθητήρων είναι

$$\mathcal{Q}_F = \mathcal{Q}_{FV} \times \mathcal{Q}_{FB} \times \mathcal{Q}_{FP}$$

$$\text{δηλαδή } \mathcal{Q}_F = \bigcup_{i=1}^3 \left(\bigcup_{j=1}^3 \left(\bigcup_{k=1}^4 \{ (q_{FV,i}, q_{FB,j}, q_{FP,k}) \} \right) \right).$$

Ο συνολικός αριθμός των καταστάσεων είναι 36 καταστάσεις (προσβάσιμες και μη προσβάσιμες).

Το αλφάβητο του συνολικού αυτόματου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών και αισθητήρων είναι

$$\mathbf{E}_F = \mathbf{E}_{FV} \cup \mathbf{E}_{FB} \cup \mathbf{E}_{FP}$$

Η αρχική κατάσταση του συνολικού αυτόματου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών και αισθητήρων είναι $x_{F,0} = (q_{FV,1}, q_{FB,1}, q_{FP,1})$.

Το σύνολο των σημαδεμένων καταστάσεων του συνολικού αυτόματου με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών και αισθητήρων είναι

$$\mathcal{Q}_{F,m} = \{ (q_{FV,1}, q_{FB,1}, q_{FP,2}) \}.$$

Τα υποσυστήματα έχουν ξένα αλφάβητα επομένως όλες οι μεταβάσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν άρα

$$f_F((q_{FV,i}, q_{FB,j}, q_{FP,k}), e) = \begin{cases} (f_{FV}(q_{FV,i}, e), q_{FB,j}, q_{FP,k}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_{FV} \\ (q_{FV,i}, f_{FB}(q_{FB,j}, e), q_{FP,k}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_{FB} \\ (q_{FV,i}, q_{FB,j}, f_P(q_{FP,k}, e)) & \text{if } e \in \mathbb{E}_{FP} \end{cases}$$

και

$$\mathbb{H}_F((q_{FV,i}, q_{FB,j}, q_{FP,k})) = \mathbb{H}_{FV}(q_{FV,i}) \cup \mathbb{H}_{FB}(q_{FB,j}) \cup \mathbb{H}_{FP}(q_{FP,k})$$

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών και αισθητήρων είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_F) = P_{FV}^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_{FV})) \cap P_{FB}^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_{FB})) \cap P_{FP}^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_{FP}))$$

όπου P_{FV} είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_{FV} , P_{FB} είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_{FB} και P_{FP} είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_{FP} .

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών και αισθητήρων είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_F) = P_{FV}^{-1}(\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_{FV})) \cap P_{FB}^{-1}(\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_{FB})) \cap P_{FP}^{-1}(\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_{FP}))$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΓΛΩΣΣΩΝ

4.1 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με την [1] το σύστημα πρέπει να ακολουθεί κάποιους απλούς κανόνες έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργεί με ασφάλεια και σύμφωνα με την επιθυμητή λειτουργία.

Η επιθυμητή συμπεριφορά του συστήματος μπορεί να περιγραφεί ως ακολούθως:

1. Όταν κάποιο σφάλμα λάβει χώρα στο σύστημα τότε η βαλβίδα ελέγχου μπορεί μόνο να απενεργοποιηθεί.
2. Όταν ο αισθητήρας πίεσης δείχνει χαμηλή πίεση στον αντιδραστήρα τότε η βαλβίδα ελέγχου μπορεί μόνο να ενεργοποιηθεί.
3. Όταν ο αισθητήρας πίεσης δείχνει υψηλή πίεση στον αντιδραστήρα τότε η βαλβίδα ελέγχου μπορεί μόνο να απενεργοποιηθεί.
4. Ο κύκλος πίεσης του αντιδραστήρα είναι μετά την ενεργοποίηση του κουμπιού από τον χειριστή ανοίγει η βαλβίδα ελέγχου
5. Όταν ο αισθητήρας πίεσης δείχνει επιθυμητή πίεση, κλείνει η βαλβίδα και εφόσον παραμένει εκεί η πίεση τότε ο αντιδραστήρας περιμένει τον χειριστή να απενεργοποιήσει το κουμπί και ο αισθητήρας πίεσης να δείξει χαμηλή πίεση.

4.2 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΓΛΩΣΣΩΝ

Οι κανόνες που παρουσιάστηκαν παραπάνω μπορούν να περιγραφούν στη μορφή κανονικών γλωσσών.

Ο πρώτος κανόνας αντιστοιχεί στη γλώσσα $\mathbb{K}_{D,1}$ δηλαδή ισχύει ότι

$$\mathbb{K}_{D,1} = \overline{\left((e_{V,3} + e_{B,3} + e_{P,5})(e_{V,3} + e_{B,3} + e_{P,5})^* e_{V,2} \right)^*}$$

Ο δεύτερος κανόνας αντιστοιχεί στη γλώσσα $\mathbb{K}_{D,2}$ δηλαδή ισχύει ότι

$$\mathbb{K}_{D,2} = \overline{(e_{P,3}^* e_{P,1} (e_{V,2} + e_{P,1})^* e_{P,3})^*}$$

Ο τρίτος κανόνας αντιστοιχεί στη γλώσσα $\mathbb{K}_{D,3}$ δηλαδή ισχύει ότι

$$\mathbb{K}_{D,3} = \overline{((e_{V,1} + e_{P,4})^* e_{P,2} e_{P,2}^* e_{P,4})^*}$$

Ο τέταρτος και πέμπτος κανόνας αντιστοιχεί στη γλώσσα $\mathbb{K}_{D,4}$ δηλαδή ισχύει ότι

$$\mathbb{K}_{D,4} = \overline{\overline{((e_{B,2} + e_{P,1} + e_{P,3})^* e_{B,1} (e_{B,1} + e_{B,2} + e_{P,1} + e_{P,3})^* e_{V,1} (e_{B,1} + e_{B,2} + e_{P,3})^* e_{P,1} (e_{B,1} + e_{B,2} + e_{P,1} + e_{P,3})^* e_{V,2} (e_{B,1} + e_{P,1} + e_{P,3})^* e_{B,2} (e_{B,1} + e_{B,2} + e_{P,1})^* e_{P,3})^*}}$$

Το κριτήριο της ελεγχιμότητας μίας γλώσσας \mathbb{K} ως προς μία άλλη γλώσσα είναι

$$\overline{\mathbb{K}} \mathbb{E}_{uc} \cap \mathbb{L} \subseteq \overline{\mathbb{K}}$$

και ως προς ένα αυτόματο \mathbf{G} είναι

$$\overline{\mathbb{K}} \mathbb{E}_{uc} \cap \mathbb{L}(\mathbf{G}) \subseteq \overline{\mathbb{K}}$$

Από τον έλεγχο του παραπάνω κριτηρίου προκύπτει ότι οι γλώσσες $\mathbb{K}_{D,1}$, $\mathbb{K}_{D,2}$, $\mathbb{K}_{D,3}$ και $\mathbb{K}_{D,4}$ είναι ελέγξιμες ως προς το συνολικό αυτόματο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΕΠΟΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΑΝΟΧΗ ΣΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΕΠΟΠΤΩΝ

Για την επιθυμητή γλώσσα $\mathbb{K}_{D,1}$ ο επόπτης είναι της μορφής ([3]-[4])

$$\mathbf{S}_1 = (\mathbb{Q}_{S,1}, \mathbb{E}_{S,1}, f_{S,1}, \mathbb{H}_{S,1}, x_{S,1,0}, \mathbb{Q}_{S,1,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

$$\mathbb{Q}_{S,1} = \{q_{S,1,1}, q_{S,1,2}\}$$

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$$\mathbb{E}_{S,1} = \{e_{V,2}, e_{V,3}, e_{B,3}, e_{P,5}\}$$

Η αρχική κατάσταση είναι

$$x_{S,1,0} = q_{S,1,1}.$$

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι

$$\mathbb{Q}_{S,1,m} = \mathbb{Q}_{S,1}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,1}(q_{S,1,1}, e_{V,3}) = q_{S,1,2}, f_{S,1}(q_{S,1,1}, e_{B,3}) = q_{S,1,2},$$

$$f_{S,1}(q_{S,1,1}, e_{P,5}) = q_{S,1,2}, f_{S,1}(q_{S,1,2}, e_{V,3}) = q_{S,1,2},$$

$$f_{S,1}(q_{S,1,2}, e_{B,3}) = q_{S,1,2}, f_{S,1}(q_{S,1,2}, e_{P,5}) = q_{S,1,2}$$

$$\text{και } f_{S,1}(q_{S,1,2}, e_{V,2}) = q_{S,1,1}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,1}(q_{S,1,1}) = \{e_{V,3}, e_{B,3}, e_{P,5}\} \text{ και } \mathbb{H}_{S,1}(q_{S,1,2}) = \{e_{V,2}, e_{V,3}, e_{B,3}, e_{P,5}\}$$

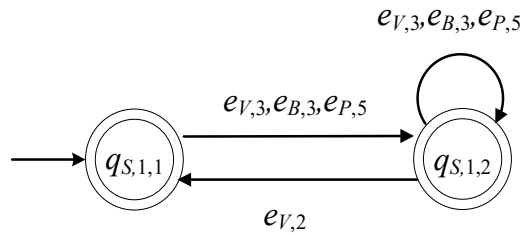
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(S_1) = \overline{(e_{V,3} + e_{B,3} + e_{P,5})(e_{V,3} + e_{B,3} + e_{P,5})^* e_{V,2}}^*$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(S_1) = \overline{(e_{V,3} + e_{B,3} + e_{P,5})(e_{V,3} + e_{B,3} + e_{P,5})^* e_{V,2}}^* = \mathbb{L}(S_1)$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.



Σχήμα 7: Το αυτόματο του επόπτη S_1

Για την επιθυμητή γλώσσα $\mathbb{K}_{D,2}$ ο επόπτης είναι της μορφής ([3]-[4])

$$S_2 = (\mathbb{Q}_{S,2}, \mathbb{E}_{S,2}, f_{S,2}, \mathbb{H}_{S,2}, x_{S,2,0}, \mathbb{Q}_{S,2,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

$$\mathbb{Q}_{S,2} = \{q_{S,2,1}, q_{S,2,2}\}$$

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$$\mathbb{E}_{S,2} = \{e_{V,2}, e_{P,1}, e_{P,3}\}$$

Η αρχική κατάσταση είναι

$$x_{S,2,0} = q_{S,2,1}$$

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι

$$\mathbb{Q}_{S,2,m} = \mathbb{Q}_{S,2}$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,2}(q_{S,2,1}, e_{P,1}) = q_{S,2,2}, f_{S,2}(q_{S,2,1}, e_{P,3}) = q_{S,2,1},$$

$$f_{S,2}(q_{S,2,2}, e_{P,1}) = q_{S,2,2}, f_{S,2}(q_{S,2,2}, e_{V,2}) = q_{S,2,2}$$

$$\text{και } f_{S,2}(q_{S,2,2}, e_{P,3}) = q_{S,2,1}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,2}(q_{S,2,1}) = \{e_{P,1}, e_{P,3}\} \text{ και } \mathbb{H}_{S,2}(q_{S,2,2}) = \{e_{V,2}, e_{P,1}, e_{P,3}\}$$

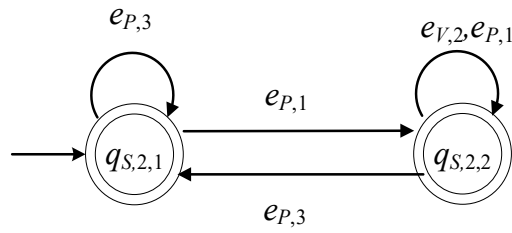
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(S_2) = \overline{(e_{P,3}^* e_{P,1} (e_{V,2} + e_{P,1})^* e_{P,3})^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(S_2) = \overline{(e_{P,3}^* e_{P,1} (e_{V,2} + e_{P,1})^* e_{P,3})^*}$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8: Το αυτόματο του επόπτη S_2

Για την επιθυμητή γλώσσα $\mathbb{K}_{D,3}$ ο επόπτης είναι της μορφής ([3]-[4])

$$S_3 = (\mathbb{Q}_{S,3}, \mathbb{E}_{S,3}, f_{S,3}, \mathbb{H}_{S,3}, x_{S,3,0}, \mathbb{Q}_{S,3,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

$$\mathbb{Q}_{S,3} = \{q_{S,3,1}, q_{S,3,2}\}$$

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$$\mathbb{E}_{S,3} = \{e_{V,1}, e_{P,2}, e_{P,4}\}$$

Η αρχική κατάσταση είναι

$$x_{S,3,0} = q_{S,3,1}.$$

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι

$$\mathbb{Q}_{S,3,m} = \mathbb{Q}_{S,3}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,3}(q_{S,3,1}, e_{P,2}) = q_{S,3,2}, \quad f_{S,3}(q_{S,3,1}, e_{V,1}) = q_{S,3,1},$$

$$f_{S,3}(q_{S,3,1}, e_{P,4}) = q_{S,3,1}, \quad f_{S,3}(q_{S,3,2}, e_{P,2}) = q_{S,3,2}$$

$$\text{και } f_{S,3}(q_{S,3,2}, e_{P,4}) = q_{S,3,1}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,3}(q_{S,3,1}) = \{e_{V,1}, e_{P,2}, e_{P,4}\} \text{ και } \mathbb{H}_{S,3}(q_{S,3,2}) = \{e_{P,2}, e_{P,4}\}$$

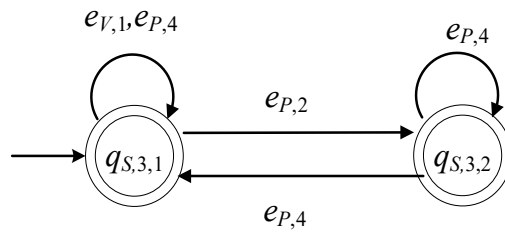
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{S}_3) = \overline{\left((e_{V,1} + e_{P,4})^* e_{P,2} e_{P,2}^* e_{P,4} \right)^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{S}_3) = \overline{\left((e_{V,1} + e_{P,4})^* e_{P,2} e_{P,2}^* e_{P,4} \right)^*} = \mathbb{L}(\mathbf{S}_3)$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.



Σχήμα 9: Το αυτόματο του επόπτη \mathbf{S}_3

Για την επιθυμητή γλώσσα $\mathbb{K}_{D,4}$ ο επόπτης είναι της μορφής

$$\mathbf{S}_4 = (\mathbb{Q}_{S,4}, \mathbb{E}_{S,4}, f_{S,4}, \mathbb{H}_{S,4}, x_{S,4,0}, \mathbb{Q}_{S,4,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

$$\mathbb{Q}_{S,4} = \{q_{S,4,1}, q_{S,4,2}, q_{S,4,3}, q_{S,4,4}, q_{S,4,5}, q_{S,4,6}\}$$

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$$\mathbb{E}_{S,4} = \{e_{V,1}, e_{V,2}, e_{B,1}, e_{B,2}, e_{P,1}, e_{P,3}\}$$

Η αρχική κατάσταση είναι $x_{S,4,0} = q_{S,4,1}$.

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι $\mathbb{Q}_{S,4,m} = \mathbb{Q}_{S,4}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,4}(q_{S,4,1}, e_{B,1}) = q_{S,4,2}, f_{S,4}(q_{S,4,1}, e_{B,2}) = q_{S,4,1},$$

$$f_{S,4}(q_{S,4,1}, e_{P,1}) = q_{S,4,1}, f_{S,4}(q_{S,4,1}, e_{P,3}) = q_{S,4,1},$$

$$f_{S,4}(q_{S,4,2}, e_{V,1}) = q_{S,4,3}, f_{S,4}(q_{S,4,2}, e_{B,1}) = q_{S,4,2},$$

$$f_{S,4}(q_{S,4,2}, e_{B,2}) = q_{S,4,2}, f_{S,4}(q_{S,4,2}, e_{P,1}) = q_{S,4,2},$$

$$f_{S,4}(q_{S,4,2}, e_{P,3}) = q_{S,4,2},$$

$$f_{S,4}(q_{S,4,3}, e_{P,1}) = q_{S,4,4}, f_{S,4}(q_{S,4,3}, e_{B,1}) = q_{S,4,3},$$

$$f_{S,4}(q_{S,4,3}, e_{B,2}) = q_{S,4,3}, f_{S,4}(q_{S,4,3}, e_{P,3}) = q_{S,4,3},$$

$$f_{S,4}(q_{S,4,4}, e_{V,2}) = q_{S,4,5}, f_{S,4}(q_{S,4,4}, e_{B,1}) = q_{S,4,4},$$

$$f_{S,4}(q_{S,4,4}, e_{B,2}) = q_{S,4,4}, f_{S,4}(q_{S,4,4}, e_{P,1}) = q_{S,4,4},$$

$$f_{S,4}(q_{S,4,4}, e_{P,3}) = q_{S,4,4},$$

$$f_{S,4}(q_{S,4,5}, e_{B,2}) = q_{S,4,6}, f_{S,4}(q_{S,4,5}, e_{B,1}) = q_{S,4,5},$$

$$f_{S,4}(q_{S,4,5}, e_{P,1}) = q_{S,4,5}, f_{S,4}(q_{S,4,5}, e_{P,3}) = q_{S,4,5},$$

$$f_{S,4}(q_{S,4,6}, e_{P,3}) = q_{S,4,1}, f_{S,4}(q_{S,4,6}, e_{B,1}) = q_{S,4,6},$$

$$f_{S,4}(q_{S,4,6}, e_{B,2}) = q_{S,4,6}, f_{S,4}(q_{S,4,6}, e_{P,1}) = q_{S,4,6}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\begin{aligned} \mathbb{H}_{S,4,1}(q_{S,4,1}) &= \{e_{B,1}, e_{B,2}, e_{P,1}, e_{P,3}\}, \quad \mathbb{H}_{S,4,1}(q_{S,4,2}) = \{e_{V,1}, e_{B,1}, e_{B,2}, e_{P,1}, e_{P,3}\}, \\ \mathbb{H}_{S,4,1}(q_{S,4,3}) &= \{e_{B,1}, e_{B,2}, e_{P,1}, e_{P,3}\}, \quad \mathbb{H}_{S,4,1}(q_{S,4,4}) = \{e_{V,2}, e_{B,1}, e_{B,2}, e_{P,1}, e_{P,3}\}, \\ \mathbb{H}_{S,4,1}(q_{S,4,5}) &= \{e_{B,1}, e_{B,2}, e_{P,1}, e_{P,3}\} \quad \text{και} \quad \mathbb{H}_{S,4,1}(q_{S,4,6}) = \{e_{B,1}, e_{B,2}, e_{P,1}, e_{P,3}\} \end{aligned}$$

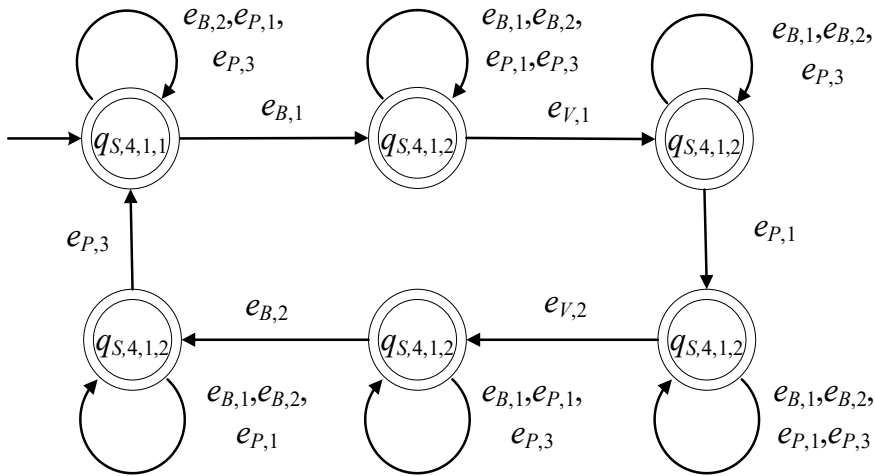
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(S_{4,1}) = \overline{\left((e_{B,2} + e_{P,1} + e_{P,3})^* e_{B,1} (e_{B,1} + e_{B,2} + e_{P,1} + e_{P,3})^* e_{V,1} (e_{B,1} + e_{B,2} + e_{P,3})^* e_{P,1} (e_{B,1} + e_{B,2} + e_{P,1} + e_{P,3})^* e_{V,2} (e_{B,1} + e_{P,1} + e_{P,3})^* e_{B,2} (e_{B,1} + e_{B,2} + e_{P,1})^* e_{P,3} \right)}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(S_{4,1}) = \overline{\left((e_{B,2} + e_{P,1} + e_{P,3})^* e_{B,1} (e_{B,1} + e_{B,2} + e_{P,1} + e_{P,3})^* e_{V,1} (e_{B,1} + e_{B,2} + e_{P,3})^* e_{P,1} (e_{B,1} + e_{B,2} + e_{P,1} + e_{P,3})^* e_{V,2} (e_{B,1} + e_{P,1} + e_{P,3})^* e_{B,2} (e_{B,1} + e_{B,2} + e_{P,1})^* e_{P,3} \right)} = \mathbb{L}(S_{4,1})$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 10.



Σχήμα 10: Το αυτόματο του επόπτη S_4

5.2 ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΤΟΣ ΕΠΙΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο συνολικός επόπτης που θα εφαρμοστεί που αποφεύγει τον εγκλωβισμό ([1]-[2]) είναι της μορφής

$$S = S_1 \parallel S_2 \parallel S_3 \parallel S_4$$

Η παραπάνω αρχιτεκτονική εξασφαλίζει ότι το ελεγχόμενο αυτόματο αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς οι γλώσσες είναι ([1]-[2]):

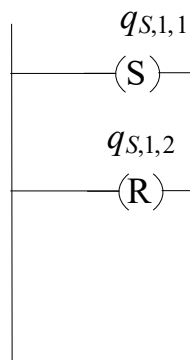
- i) Ελέγξιμες
- ii) $\mathbb{L}_m(\mathbf{G})$ - κλειστές
- iii) Μη αντικρουόμενες

Το σύστημα κλειστού βρόχου είναι

$$(S_1 / S_2 / S_3 / S_4) / G = \mathbf{G} \parallel \mathbf{S}_1 \parallel \mathbf{S}_2 \parallel \mathbf{S}_3 \parallel \mathbf{S}_4$$

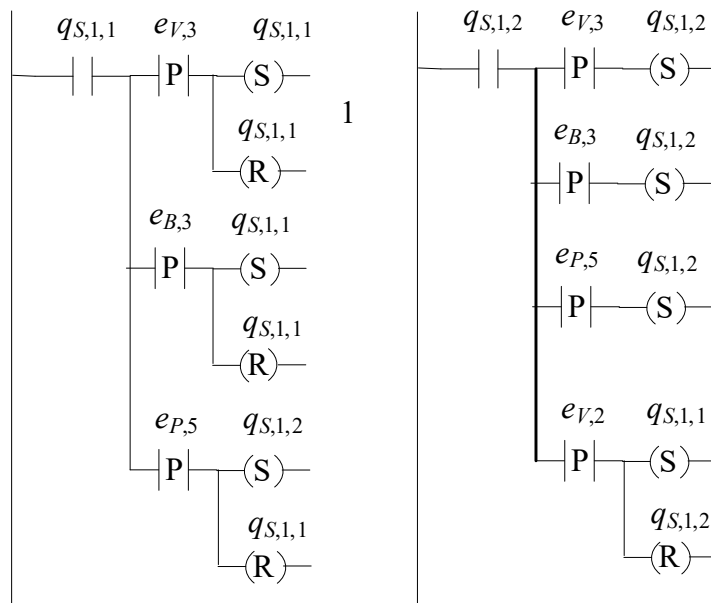
5.3 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΕΠΟΠΤΩΝ ΣΕ ΓΛΩΣΣΑ LADDER

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί το διάγραμμα Ladder για την υλοποίηση των δύο πρώτων δυναμικών εποπτών. Η υλοποίηση των υπολοίπων βασίζεται στην ίδια λογική. Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται η αρχικοποίηση του επόπτη \mathbf{S}_1 .



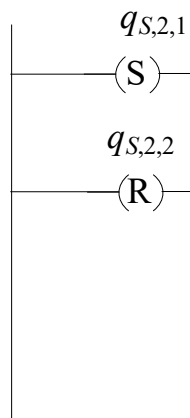
Σχήμα 11: Αρχικοποίηση διαγράμματος Ladder του επόπτη \mathbf{S}_1

Στο Σχήμα 12 παρουσιάζεται το διάγραμμα Ladder για την υλοποίηση του αυτόματου του επόπτη \mathbf{S}_1 .



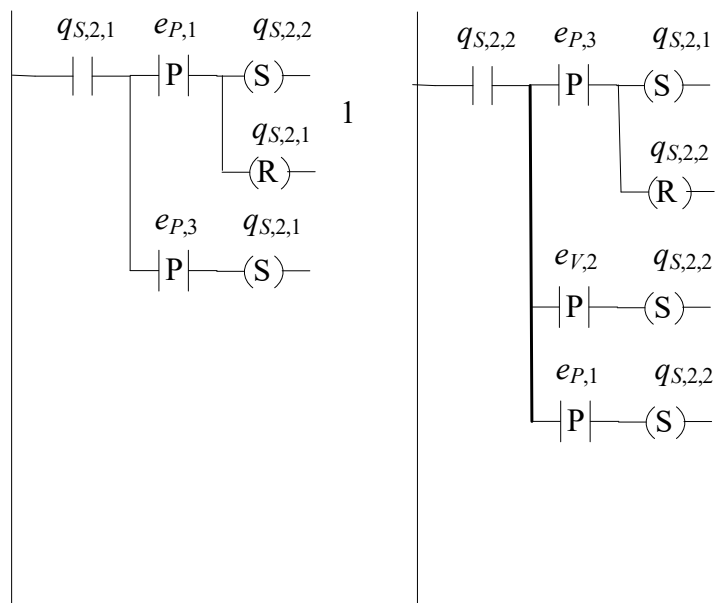
Σχήμα 12: Διάγραμμα Ladder του επόπτη S_1

Στο Σχήμα 13 παρουσιάζεται η αρχικοποίηση όλων των μεταβλητών του επόπτη S_2 .



Σχήμα 13: Αρχικοποίηση διαγράμματος Ladder του επόπτη S_2

Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται το διάγραμμα Ladder για την υλοποίηση του αυτόματου του επόπτη S_2 .



Σχήμα 14: Διάγραμμα Ladder του επόπτη S_2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε το σύστημα ενός αντιδραστήρα. Παρουσιάστηκαν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων του αντιδραστήρα, της βαλβίδας ελέγχου, του αισθητήρα πίεσης και του κουμπιού του χειριστή με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Αναπτύχθηκαν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων με παρουσία σφαλμάτων αισθητήρων και ενεργοποιητών. Αναπτύχθηκε το συνολικό μοντέλο του συστήματος με την παρουσία σφαλμάτων. Διερευνήθηκε η δυνατότητα περιγραφής των επιθυμητών συμπεριφορών του συστήματος με τα σφάλματα σε μορφή επιθυμητών κανονικών γλωσσών. Διερευνήθηκαν οι ιδιότητες των επιθυμητών γλωσσών ως προς το συνολικό αυτόματο του συστήματος. Διερευνήθηκε η δυνατότητα σχεδιασμού μίας δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική εποπτικού ελέγχου με ανοχή στα σφάλματα. Υλοποιήθηκε η δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική ελέγχου σε γλώσσα Ladder για χρήση σε PLC.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. V. Chandra, Z. Huang, and R. Kumar, “Automated control synthesis for an assembly line,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part C: Applications and Reviews*, vol. 37 (4), 2007.
2. A. Sanchez, J. G. Douriet, and Eduardo Ramirez, “Synthesis of a Class of Discrete-Event Controllers for Large Manufacturing Systems,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part C: Applications and Reviews*, vol. 37 (4), 2007.
3. A. Sanchez and J. G. Douriet, “Efficient Synthesis of a Class of Discrete-Event Controllers for Forced Actions,” *11th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM 2004)*, Salvador, Brazil, 5-7 April, 2004.
4. A. Sanchez, G. Rotstein, N. Alsop, and S. Macchietto, “Synthesis and Implementation of Procedural Controllers for Event-Driven Operations,” *AIChE Journal*, Vol. 45, No. 8, August 1999.
5. C. G. Casandras and S. Lafortune, *Introduction to Discrete Event Systems*, Kluwer Academic Publishers, 1999.
6. W. M. Wonham and C. Kai, *Supervisory control of discrete-event systems*, Springer International Publishing, 2019.
7. F. N. Koumboulis, D. G. Fragkoulis and A. N. Menexis, “Supervisory Control for Flexibility of Production Manufacturing Processes,” *IEEE 21st International Conference on Intelligent Engineering Systems 2017 (INES 2017)*, Larnaca, October, 20-23, Cyprus, 2017.
8. F. N. Koumboulis, D. G. Fragkoulis and K. A. Ioannou, “Control of Router Nodes in Production Manufacturing Processes,” *International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST)*, May 7-9, Thessaloniki, Greece, 2018.
9. F. N. Koumboulis, D. G. Fragkoulis and V. Ch. Michalainas, “Modular supervisory control for mining process elevator systems,” *International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST)*, May 4-6, Thessaloniki, Greece, 2017.
10. F. N. Koumboulis, D. G. Fragkoulis and G. K. Diveris, “Function Supervisors for Storage Systems,” *International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST)*, May 7-9, Thessaloniki, Greece, 2018.