



PROJECT ΕΥΦΥΟΥΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ 2016-2017

ΜΕΛΗ ΟΜΑΔΑΣ

1. **ΚΑΡΑΚΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ (8350)**
2. **ΠΑΠΑΚΩΣΤΑΣ ΛΑΜΠΗΣ (8467)**

«ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΜΕ ΑΣΑΦΗ ΛΟΓΙΚΗ»

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	σελ. 2
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	σελ. 5
3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ.....	σελ. 6
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	σελ. 16
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	σελ. 17
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	σελ. 18

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Σε αυτή την ενότητα θα αναπτύξουμε την θεωρία πάνω στην οποία βασίζεται η έννοια του ευφυούς ελέγχου και της ασαφούς λογικής.

ΕΥΦΥΗΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο Ευφυής Έλεγχος (Intelligent Control) αντιμετωπίζει το πρόβλημα του ελέγχου διαδικασιών με τρόπο που διαφέρει ριζικά από τον συμβατικό έλεγχο. Το κύριο χαρακτηριστικό του Ευφυούς ή Νοήμονα ελέγχου είναι ότι βασίζεται στην γνώση και την εμπειρία του ανθρώπου-χειριστή της ελεγχόμενης διαδικασίας, χωρίς να απαιτείται εξειδικευμένη γνώση της διαδικασίας αυτής. Ο κυρίαρχος στόχος ενός ευφυούς ελεγκτή είναι να λειτουργεί όπως ο άνθρωπος-χειριστής και με τους ίδιους κανόνες, αλλά χωρίς τις ελλείψεις και τις αδυναμίες του, αποφεύγοντας συγχρόνως τα στοιχεία της ασυνέπειας, αναξιοπιστίας, παροδικής αστάθειας και κόπωσης, που είναι συνυφασμένα με τις αντίξοες συνθήκες του επαγγέλματος και του εργασιακού περιβάλλοντος. Όπως και ο άνθρωπος-χειριστής, οι ευφυείς ελεγκτές μπορούν να λειτουργούν κάτω από συνθήκες ασάφειας και αβεβαιότητας τόσο της ελεγχόμενης διαδικασίας όσο και του περιβάλλοντός τους. Ένας καλά σχεδιασμένος ευφυής ελεγκτής πρέπει να μπορεί να "μιμηθεί" τον καλύτερο άνθρωπο ελεγκτή της συγκεκριμένης διαδικασίας. Είναι ικανοί να αντισταθμίσουν αποκλίσεις των μεταβλητών της διαδικασίας από τις επιθυμητές και να επαναφέρουν σταδιακά τη διαδικασία στην αρχική της κατάσταση χωρίς καμία παρέμβαση του χειριστή. Οι κύριες μέθοδοι του Ευφυούς ελέγχου συνίστανται από την Ασαφή Λογική, τα Νευρωνικά δίκτυα, τα Έμπειρα συστήματα και τα Νευρο-Ασαφή συστήματα.

ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ

Η Ασαφής Λογική (fuzzy logic) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σαν έννοια από τον καθηγητή Lotfi A. Zadeh στα μέσα της δεκαετίας του 1960. Η πρώτη εργαστηριακή εφαρμογή της Ασαφούς λογικής δημοσιεύτηκε από τον καθηγητή Ebrahim Mamdani. Η Ασαφής λογική επιτρέπει την μίμηση της ανθρώπινης διαδικασίας συλλογισμού. Η θεωρία της Ασαφούς Λογικής βασίζεται στην προϋπόθεση ότι ο περιβάλλων χώρος απαρτίζεται από στοιχεία που ανήκουν σε σύνολα με διαφορετικούς βαθμούς συμμετοχής. Η ασάφεια δημιουργεί μια πλειότιμη έννοια στο χώρο της αβεβαιότητας, παραδείγματα της οποίας είναι η αλήθεια, το ψεύδος και οι ενδιάμεσες έννοιες. Η Ασαφής Λογική είναι κατάλληλη τόσο για την αναπαράσταση της γνώσης και εμπειρίας, όσο και για τη δημιουργία μηχανισμών συμπερασμού ή συμπερασμάτων που χρησιμοποιούν τη διαθέσιμη κωδικοποιημένη γνώση και τις τρέχουσες τιμές των μεταβλητών της ελεγχόμενης διαδικασίας για να συμπεράνουν τη δράση ελέγχου που θα πρέπει να επιβληθεί στη διαδικασία.

ΑΣΑΦΗ ΣΥΝΟΛΑ

Η Ασαφής Λογική βασίζεται στην επέκταση της έννοιας του Δίτιμου Συνόλου (1), στη γενικευμένη έννοια του Ασαφούς Συνόλου (2):

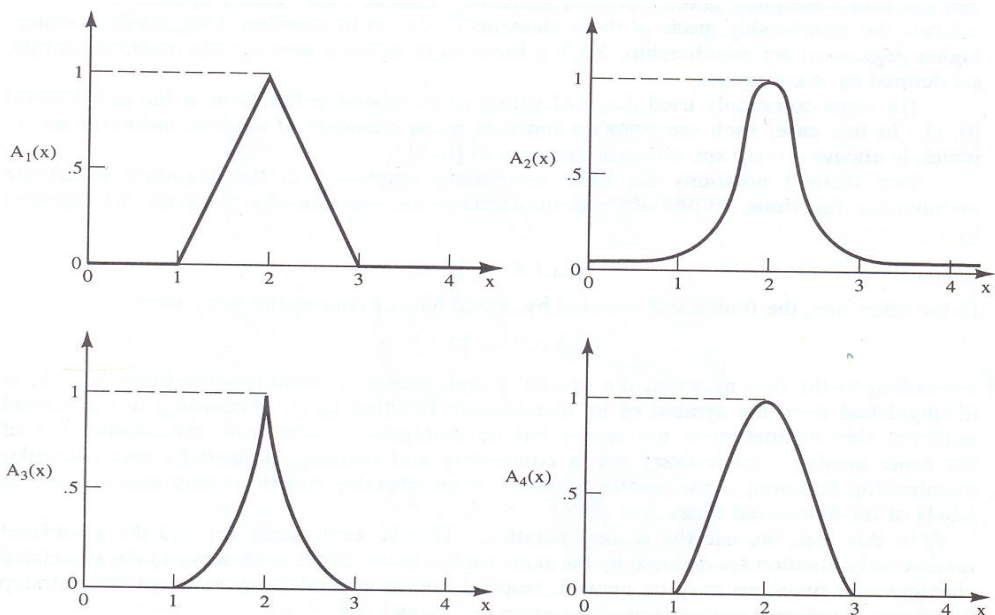
$$I_A : X \rightarrow \{0,1\}, \quad \mu\epsilon \quad I_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{αν } x \in A \\ 0, & \text{αν } x \notin A \end{cases}, \quad (1)$$

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1], \quad \mu\epsilon \quad \mu_A(x) = \alpha \in [0,1], \quad (2)$$

Ορισμός 1 Έστω X ένα μη μηδενικό σύνολο. Ένα ασαφές σύνολο A του X χαρακτηρίζεται από την συνάρτηση συμμετοχής του $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$ όπου $\mu_A(x)$ είναι ο βαθμός συμμετοχής του στοιχείου $x \in X$ στο ασαφές σύνολο A .

Η επιλογή του κατάλληλου ασαφούς συνόλου είναι γενικά υποκειμενική. Δηλαδή, τα ασαφή σύνολα μπορούν να εκφράζουν υποκειμενικές απόψεις με «αντικειμενικό-μαθηματικό» τρόπο, αφού τα όρια ενός ασαφούς συνόλου είναι ασαφή και εξαρτώνται τελικά από την κρίση του παρατηρητή.

Για παράδειγμα, τέσσερα διαφορετικά ασαφή σύνολα, που εκφράζουν την ίδια ασαφή έννοια: $A = \{x \text{ είναι περίπου } 2\}$.



Επισημαίνουμε πως η ίδια ασαφής έννοια μπορεί να εκφράζεται από πολλά και διαφορετικά ασαφή σύνολα, σε αντίθεση με τα κλασικά σύνολα.

ΠΡΑΞΕΙΣ ΜΕ ΑΣΑΦΗ ΣΥΝΟΛΑ

Οι πράξεις που κάνουμε με τα ασαφή σύνολα είναι οι παρακάτω:

I) Κενό σύνολο

Ένα ασαφές σύνολο A του X θεωρείται κενό (null) αν η συνάρτηση συμμετοχής του είναι μηδενική παντού, δηλαδή $A = \emptyset$ αν $\mu_A(x) = 0 \quad \forall x \in X$.

II) Συμπλήρωμα

Το συμπλήρωμα (complement) \bar{A} ενός ασαφούς συνόλου ορίζεται ως $\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A(x)$ $\forall x \in X$.

III) Υποσύνολο

Ένα ασαφές σύνολο B είναι υποσύνολο (subset) ενός συνόλου A αν η συνάρτηση συμμετοχής του B είναι μικρότερη ή ίση με αυτή του A παντού στο X , δηλαδή $B \subseteq A$, αν $\mu_B(x) \leq \mu_A(x) \quad \forall x \in X$.

IV) Ένωση

Η ένωση (union) δύο ασαφών συνόλων A και B στο X ορίζεται ως $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad \forall x \in X$

V) Τομή

Η τομή (intersection) δύο ασαφών συνόλων A και B στο X ορίζεται ως $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad \forall x \in X$

VI) Γινόμενο

Το γινόμενο (product) δύο ασαφών συνόλων A και B στο X ορίζεται ως: $\mu_{A \bullet B}(x) = \mu_A(x) \bullet \mu_B(x) \quad \forall x \in X$

ΑΣΑΦΕΙΣ ΣΥΝΕΠΑΓΩΓΕΣ

Υπάρχουν διάφορες ασαφείς συνεπαγωγές, όπως η συνεπαγωγή του Boole, η συνεπαγωγή του Lukasiewicz, η συνεπαγωγή του Zadeh, η συνεπαγωγή του Larsen και η συνεπαγωγή του Mamdani. Θα αναλύσουμε παρακάτω μόνο την τελευταία, καθώς με αυτή εργαστήκαμε για την υλοποίηση του ευφυή ελεγκτή μας.

Η συνεπαγωγή Mamdani χρησιμοποιεί μόνο τον τελεστή \min και ορίζεται ως εξής:

$$R_{\text{Mamdani}} = A \times B$$

$$\mu_R(x, y) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y))$$

Επίσης, ο συνδυασμός N εξαρτημένων σχέσεων γίνεται με το συνδετικό \bigvee , δηλαδή,

$$R^N = \bigvee_k R^k \quad \text{όπου } k=1, 2, \dots, N \text{ και}$$

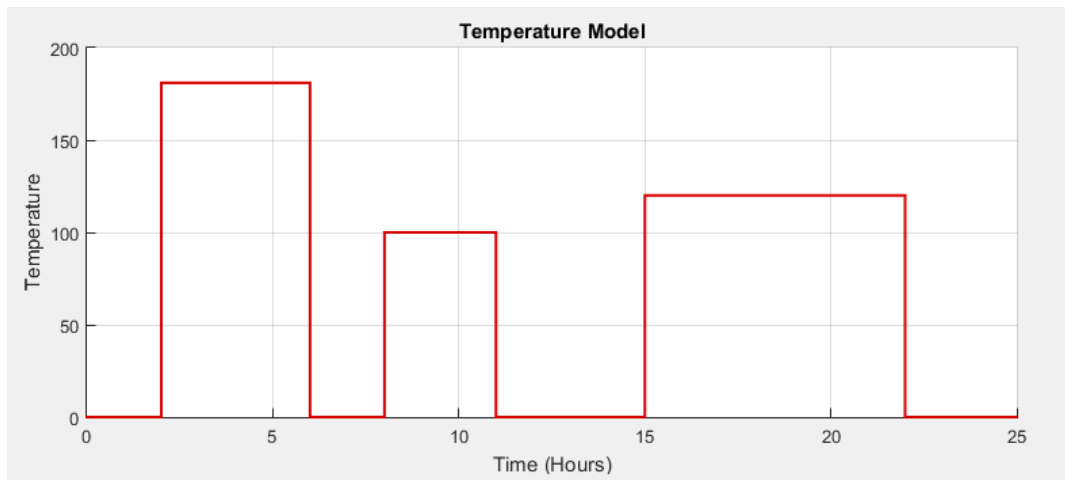
$$\mu_R^N(x, y) = \bigvee_k (\mu_A^k(x) \wedge \mu_B^k(y))$$

Το σύμβολο ' \wedge ' υποδηλώνει την έκφραση \min , δηλαδή την ελάχιστη από τις υπό σύγκριση τιμές, ενώ το σύμβολο ' \vee ' χρησιμοποιείται για τον τελεστή \max .

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η ανάγκη για έλεγχο της θερμοκρασίας παρουσιάζεται σε πολλά πεδία επιστημών όπως ιατρική, βιολογία κλπ αλλά και στην βιομηχανία. Πολλές φυσικές αλλά και χημικές αντιδράσεις είναι ευαίσθητες στις απότομες αλλαγές θερμοκρασίας, οπότε ο έλεγχος της θερμοκρασίας είναι ζωτικός για αρκετές βιομηχανικές διαδικασίες.

Το πρόβλημα που καλούμαστε να επιλύσουμε είναι ο αυτόματος έλεγχος της θερμοκρασίας ενός ηλεκτρικού φούρνου χρησιμοποιώντας ως βάση μια ρουτίνα που εκφράζει τις ανάγκες μιας παραγωγικής μονάδας. Η ρουτίνα που θα χρησιμοποιήσουμε φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Μοντέλο επιθυμητής θερμοκρασίας παραγωγικής μονάδας σε περίοδο ενός 24ώρου.

Επιζητούμε από τον ελεγκτή μας να οδηγεί την απόκριση, δηλαδή την τιμή της θερμοκρασίας του ηλεκτρικού φούρνου στις κατάλληλες τιμές για τα συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

Για να πετύχουμε το συγκεκριμένο αποτέλεσμα, κάναμε χρήση της Διαμόρφωσης Εύρους Παλμών (PWM- Pulse Width Modulation). Μια PWM κυματομορφή αποτελείται από μια περιοδική κυματομορφή με 2 τμήματα, το ON (το τμήμα που έχουμε την μέγιστη τιμή του σήματος) και το OFF (το τμήμα με μηδενική τιμή). Το ON τμήμα ή αλλιώς και duty cycle ενός παλμού είναι ο λόγος του συνολικού χρόνου που ο παλμός είναι ON ως προς την συνολική διάρκεια του παλμού και μετριέται σε ποσοστό (%) επί της περιόδου. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να ελέγξουμε το ποσό της ισχύος σε ένα φορτίο, στην συγκεκριμένη περίπτωση στον ηλεκτρικό φούρνο.

Για να μετρήσουμε το ποσό ισχύος που θα παρέχουμε, με άλλα λόγια την τιμή του duty cycle του παλμού, θα χρειαστούμε το σφάλμα μεταξύ του ιδανικού προγράμματος λειτουργίας και της απόκρισης του ηλεκτρικού φούρνου αλλά και τον ρυθμό μεταβολής αυτού ώστε να παρέχουμε την μέγιστη δυνατή ισχύ κατά την εκκίνηση της διαδικασίας και την ελάχιστη δυνατή όταν σταθεροποιηθεί η απόκριση σε μια τιμή κοντά στην ζητούμενη.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ - PLANT

Η συνάρτηση μεταφοράς που επιλέξαμε, σύμφωνα με την αναφορά [1], είναι της μορφής,

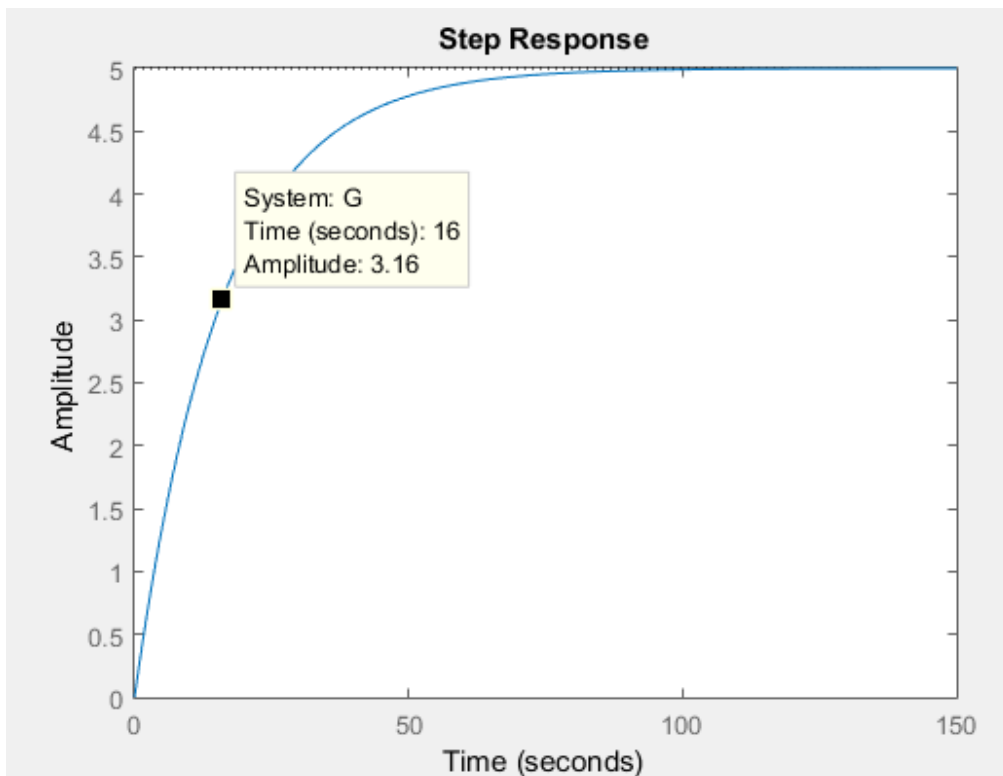
$$G(s) = \frac{K}{TS+1} e^{-\tau s}$$

όπου K = DC Gain , T = σταθερά χρόνου και τ = ο χρόνος καθυστέρησης.

Θεωρώντας το σύστημα μας ιδανικό , απαλλαχθήκαμε από την καθυστέρηση και με μια educated guess , καταλήξαμε στην παρακάτω συνάρτηση μεταφοράς,

$$G(s) = \frac{5}{16s + 1}$$

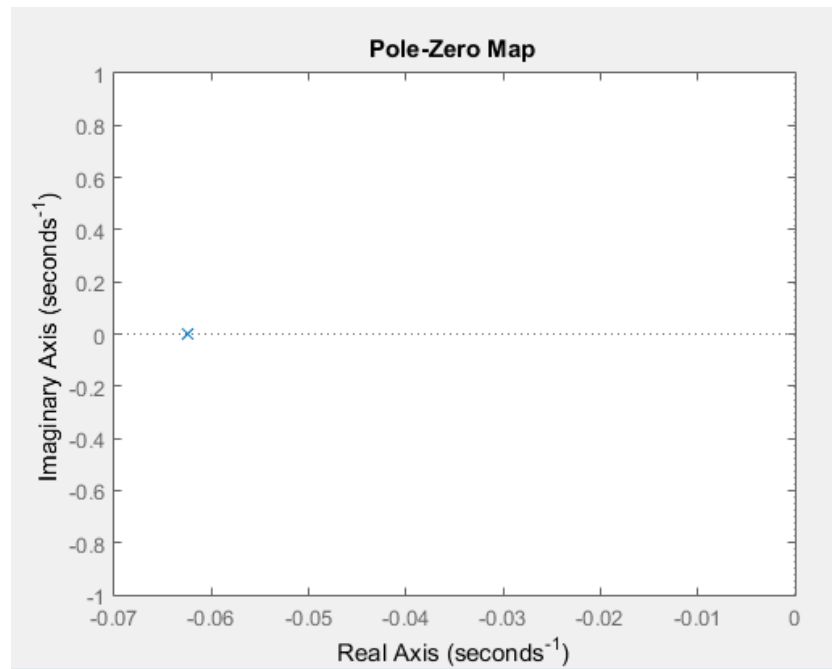
Προσωμοιώσαμε, λοιπόν τον ηλεκτρικό φούρνο με ένα πρωτοβάθμιο γραμμικό χρονικά αμετάβλητο σύστημα με την παρακάτω βηματική απόκριση.



Βηματική απόκριση του συστήματος

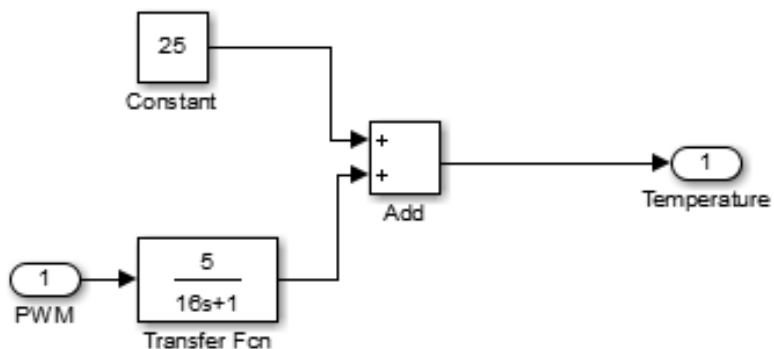
Η τιμή που φαίνεται παραπάνω αντιπροσωπεύει προσεγγιστικά την σταθερά χρόνου, δηλαδή την χρονική στιγμή που η απόκριση μας φτάνει στο 63% της τελικής τιμής ($0.63 \cdot 5 = 3.15$). Αυτή είναι η τιμή που χρησιμοποιήσαμε για την προσέγγιση του πρωτοβάθμιου συστήματος.

Με χρήση της εντολής pzmap του matlab σχεδιάσαμε τον χάρτη πόλων – μηδενικών της συνάρτησης μεταφοράς.



Θέση του πόλου του συστήματος

Τέλος, προσθέσαμε και μια DC συνιστώσα που εκφράζει την θερμοκρασία δωματίου (25 °C).

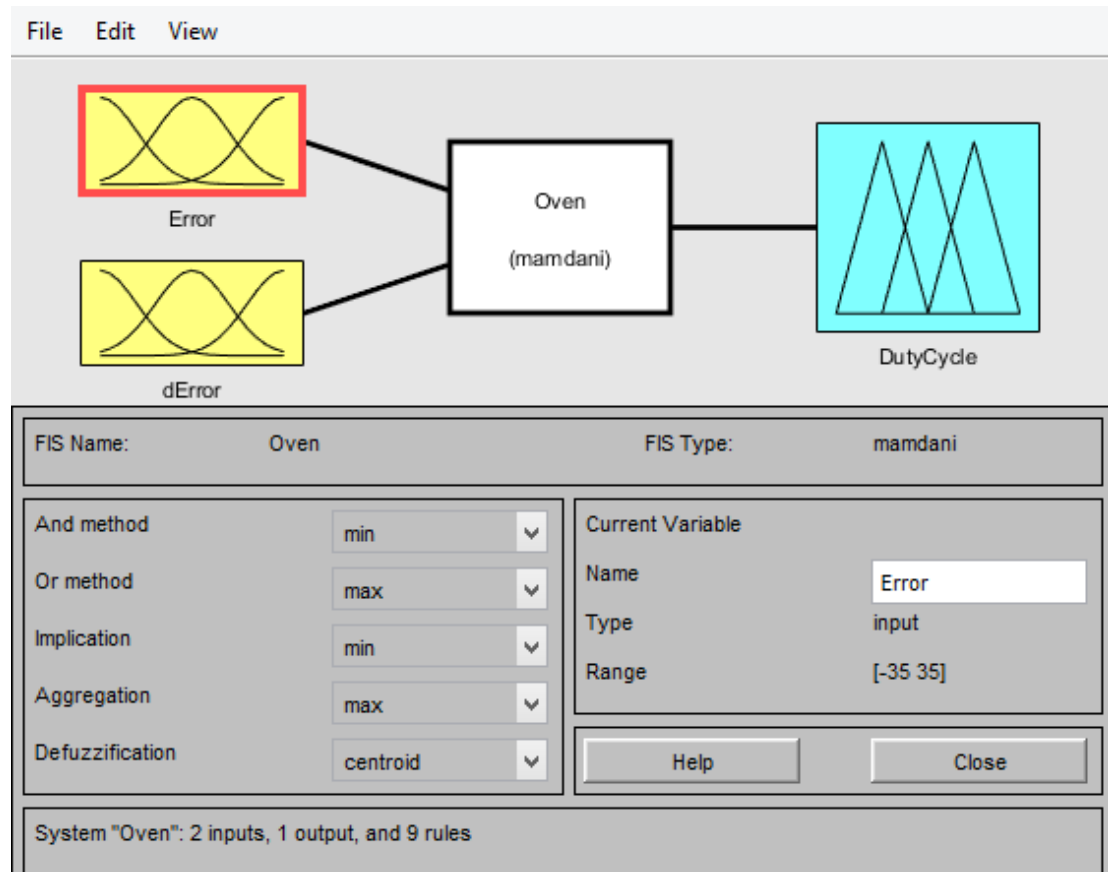


Η αναπαράσταση του συστήματος στο simulink της matlab

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΣΑΦΗ ΕΛΕΓΚΤΗ

Ο ελεγκτής που σχεδιάσαμε δέχεται ως εισόδους το σφάλμα μεταξύ της ζητούμενης απόκρισης και της απόκρισης του συστήματος αλλά και τον ρυθμό μεταβολής αυτού και σαν έξοδο βγάζει το duty cycle, άρα και το ποσό της ισχύος που πρέπει να τροφοδοτηθεί στο φορτίο.

Με χρήση του matlab και της εντολής fuzzy υλοποιήσαμε τον παρακάτω ελεγκτή.



Σχεδίαση του ασαφή ελεγκτή με την μέθοδο Mamdani

Όπως φαίνεται παραπάνω, η μέθοδος που χρησιμοποιήσαμε υλοποιήθηκε με τους εξής κανόνες:

1. AND method – min
2. OR method – max
3. Implication – min
4. Aggregation – max
5. Defuzzification – centroid

Παρατηρούμε πως ο τρόπος ασαφοποίησης είναι με την μέθοδο Mamdani (FIS Type) και ο τρόπος αποασαφοποίησης είναι Κέντρου Βάρους (Center of area - Centroid). Ο τύπος υπολογισμού centroid υπολογίζει το κέντρο του εμβαδού της σύνθετης συνάρτησης συμμετοχής της εξόδου και είναι,

$$z = \frac{\int y \mu_c(y)}{\int \mu_c(y)}, \text{ όπου } \mu_c \text{ η συνάρτηση συμμετοχής.}$$

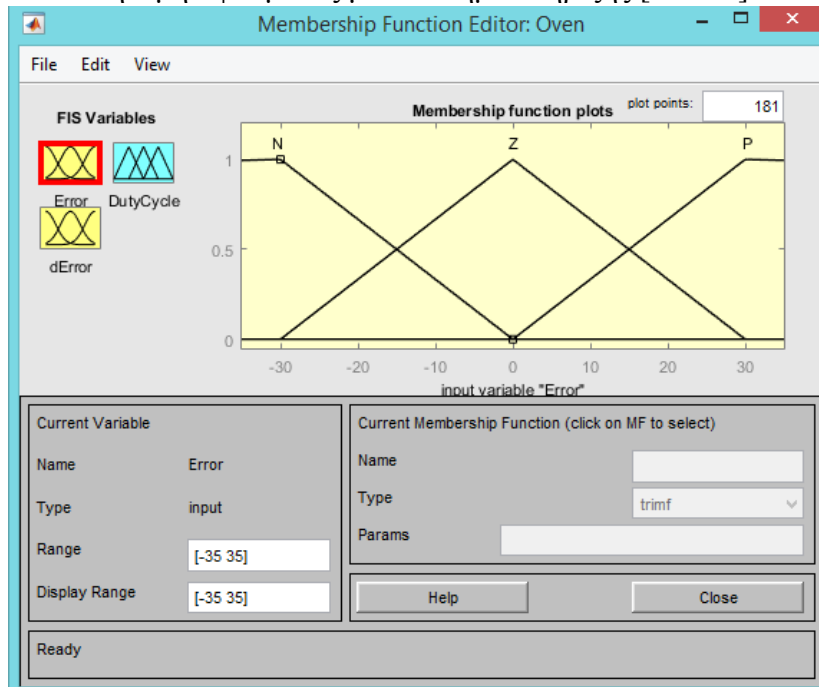
Επιλέξαμε για όλες τις λεκτικές μεταβλητές ως συναρτήσεις συμμετοχής τριγωνικούς παλμούς.

Για το σφάλμα ορίζουμε 3 λεκτικές μεταβλητές:

N: αρνητική τιμή σφάλματος με διάστημα στήριξης $[-1000\ 0]$

Z: μηδενική τιμή σφάλματος με διάστημα στήριξης $[-30\ 30]$

P: θετική τιμή σφάλματος με διάστημα στήριξης $[0\ 1000]$

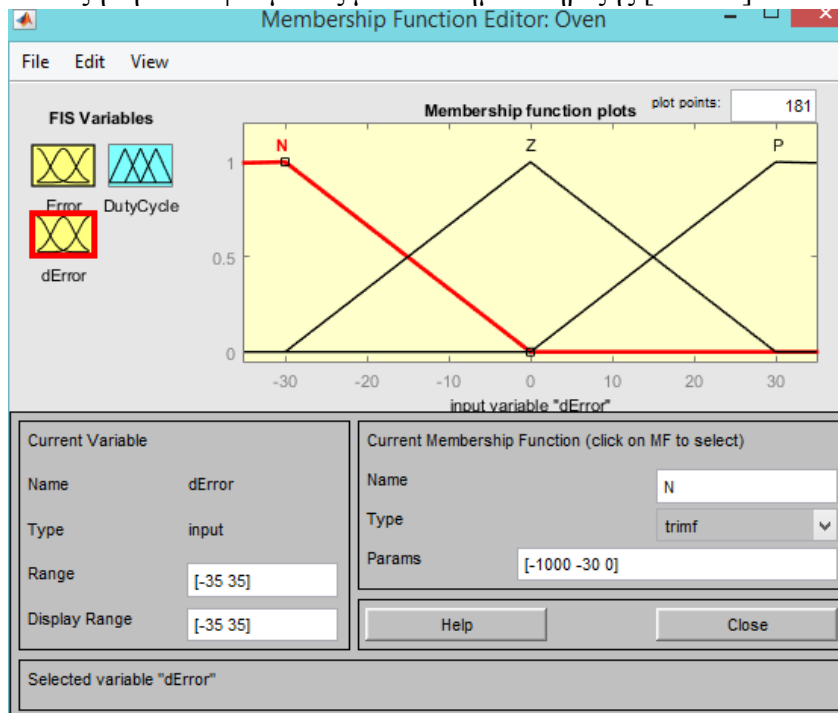


Για την μεταβολή του σφάλματος ορίζουμε επίσης 3 λεκτικές μεταβλητές:

N: μείωση του σφάλματος με διάστημα στήριξης $[-1000\ 0]$

Z: σταθεροποίηση σφάλματος με διάστημα στήριξης $[-30\ 30]$

P: αύξηση του σφάλματος με διάστημα στήριξης $[0\ 1000]$



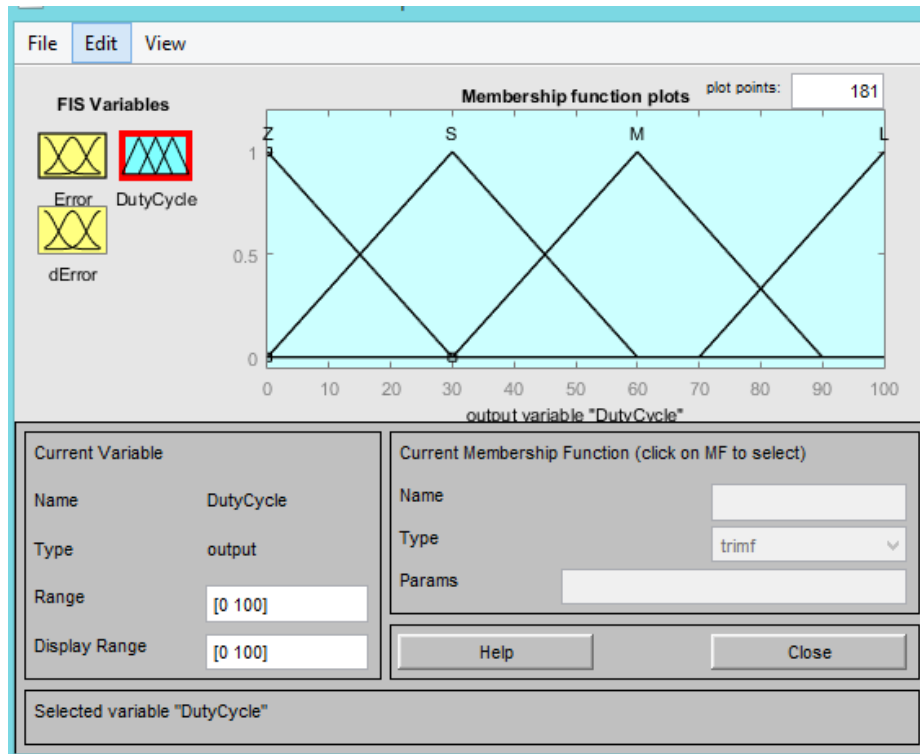
Για το duty cycle(ποσοστό %) ορίζουμε 4 λεκτικές μεταβλητές

Z: μηδενική παροχή ισχύος με διάστημα στήριξης [0 30]

S: μικρή παροχή ισχύος με διάστημα στήριξης [0 60]

M: μεσαία παροχή ισχύος με διάστημα στήριξης [30 90]

L: μεγάλη παροχή ισχύος με διάστημα στήριξης [70 100]



Με βάση τον ελεγκτή Mamdani και τους παραπάνω ορισμούς των τελεστών συνεπαγωγής, σύνθεσης και του τελεστή «ΚΑΙ», οι κανόνες είναι της μορφής

$$\text{ΑΝ } x_1 \text{ ΕΙΝΑΙ } A_1 \text{ ΚΑΙ } x_2 \text{ ΕΙΝΑΙ } A_2 \text{ ΤΟΤΕ } y \text{ ΕΙΝΑΙ } B$$

όπου x_i οι είσοδοι με A τις λεκτικές μεταβλητές που τις περιγράφουν και Y η έξοδος με B την λεκτική μεταβλητή που την περιγράφει.

Ο αριθμός των κανόνων είναι 9 διότι χρησιμοποιούμε κάθε πιθανό συνδυασμό των επιμέρους λεκτικών μεταβλητών. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε το αποτέλεσμα από την συνεπαγωγή των μεταβλητών των εισόδων. Η πρώτη στήλη εκφράζει το σφάλμα ενώ η πρώτη γραμμή την μεταβολή του.

Error \ DError	N	Z	P
N	Z	Z	Z
Z	Z	Z	S
P	S	M	L

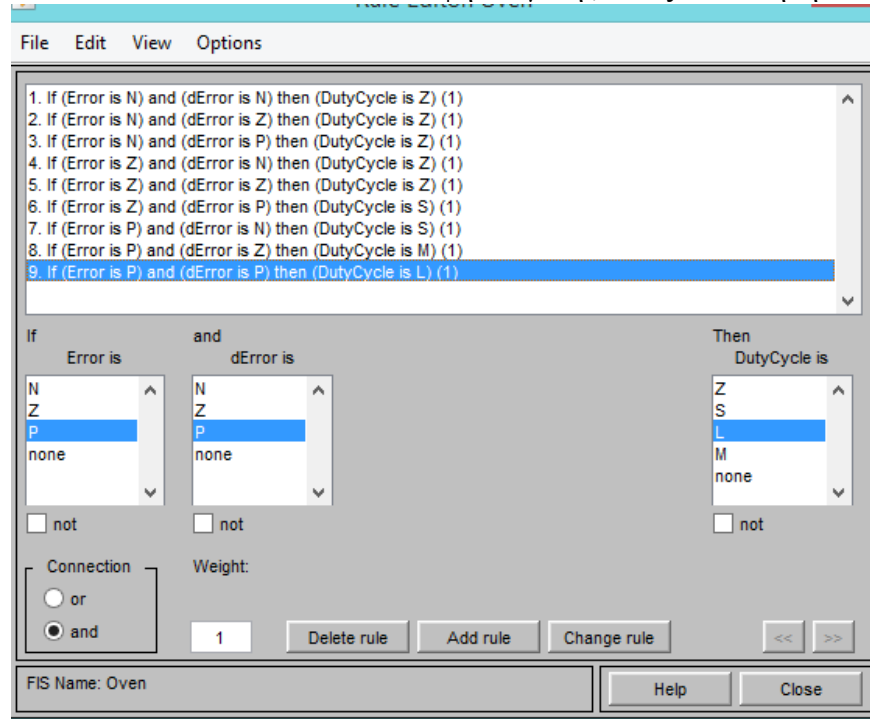
Οι κανόνες έχουν αυτά αποτελέσματα βασιζόμενοι στην παρακάτω λογική :

A) Εάν το σφάλμα θεωρηθεί αρνητικό , δηλαδή όταν η απόκριση του συστήματος έχει ξεπεράσει την επιθυμητή, δεν θέλουμε να παρέχουμε ισχύ στο σύστημα προκειμένου να ταυτιστούν οι δύο αποκρίσεις.

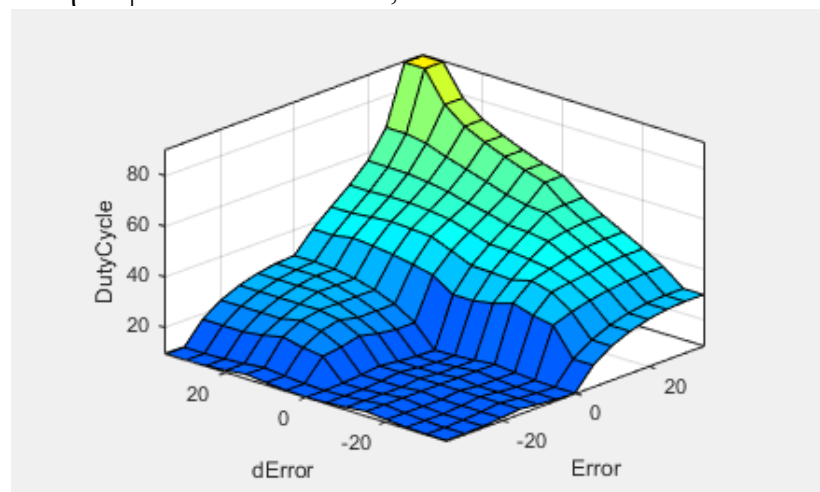
B) Εάν το σφάλμα θεωρηθεί μηδενικό , δηλαδή η απόκρισή μας ταυτίζεται με την επιθυμητή, δεν θέλουμε επίσης να παρέχουμε ισχύ προκειμένου να παραμείνουν εκεί ενώ στην περίπτωση που το σφάλμα αυξάνεται, έχουμε δηλαδή θετική μεταβολή του σφάλματος, πρέπει να δώσουμε ένα μικρό μέρος ισχύς στο σύστημα .

Γ) Τέλος, εάν το σφάλμα θεωρηθεί θετικό , δηλαδή η απόκρισή μας απέχει από την επιθυμητή , τότε αναλόγως με την μεταβολή του σφάλματος παρέχουμε αντίστοιχο μερίδιο της συνολικής ισχύς στο σύστημα.

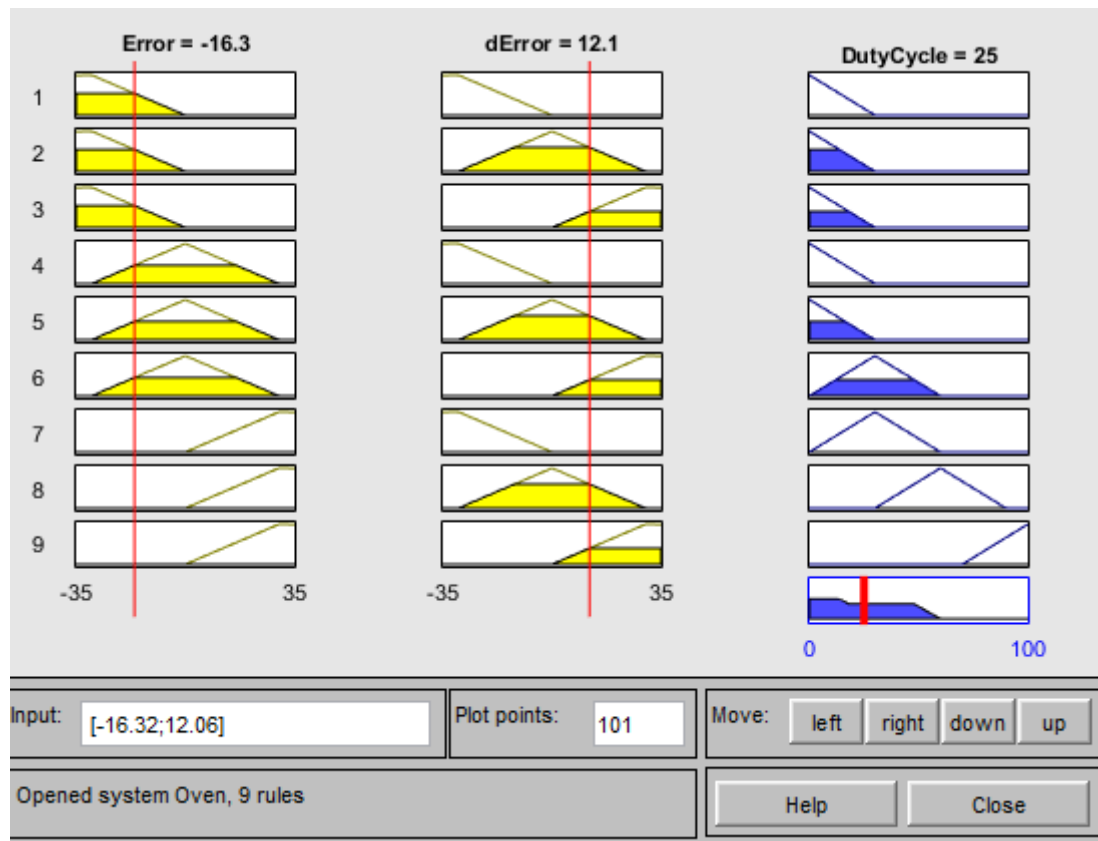
Το σύνολο των κανόνων του ασαφή ελεγκτή , όπως υλοποιήθηκε στην Matlab, είναι



και η επιφάνεια των κανόνων,



Για δυο τυχαίες τιμές εισόδων θα εξηγήσουμε την λειτουργία του ασαφή ελεγκτή.



Προβολή κανόνων του ελεγκτή

Όπως αναφέραμε προηγουμένως την σύνταξη των κανόνων, η πρώτη και η δεύτερη στήλη δείχνει το βαθμό συμμετοχής των αριθμητικών τιμών στις λεκτικές μεταβλητές και η τρίτη στήλη δείχνει το αποτέλεσμα του συμπερασμού. Στις εισόδους Error και dError εφαρμόζουμε τον τελεστή AND Mamdani, που ισοδυναμεί με την μικρότερη κατά ύψος επιφάνεια. Αυτό το αποτέλεσμα, μέσω των κανόνων δίνει την έξοδο DutyCycle με την μέθοδο συμπερασμού min. Έπειτα, κρατάμε την μεγαλύτερη κατά ύψος επιφάνεια των επιμέρους συναρτήσεων συμμετοχής και τοποθετούνται στην τελευταία γραμμή της τρίτης στήλης. Τέλος, βάσει της μεθόδου αποασαφοποίησης centroid, υπολογίζεται η αριθμητική τιμή της εξόδου.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΩΝ

Η σχεδίαση ενός ασαφή ελεγκτή εντοπίζεται στον κατάλληλο σχεδιασμό κανόνων ώστε το κλειστό σύστημα να ικανοποιεί κάποιες προϋποθέσεις. Σε αντίθεση με τις μεθόδους σχεδιασμού στον γραμμικό έλεγχο (Γεωμετρικός Τόπος Ριζών, Διαγράμματα Nyquist, Διαγράμματα Bode, κλπ), αυτό που μπορούμε να εξετάσουμε στον ασαφή έλεγχο είναι αν η βάση κανόνων πληρεί κάποια βασικά κριτήρια .

Τα κριτήρια αυτά είναι :

- A) Η πληρότητα (Εκφράζει το αν υπάρχουν αρκετοί κανόνες)
- B) Η συνέπεια (Εκφράζει το αν οι κανόνες αλληλοσυγκρούονται)
- Γ) Ο πλεονασμός (Εκφράζει την ύπαρξη περιττών κανόνων)
- Δ) Η αλληλεπίδραση (Εκφράζει την ύπαρξη κανόνων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους)

Θα εξετάσουμε το κάθε κριτήριο ξεχωριστά για την βάση κανόνων του ελεγκτή μας

Πληρότητα:

Μη πληρότητα έχουμε όταν οποιοσδήποτε συνδιασμός αριθμητικών τιμών εισόδων παράγει πριν την αποασαφοποίηση ένα μηδενικό ασαφές σύνολο. Κοιτάζοντας το RuleViewer του ελεγκτή μας παρατηρούμε ότι δεν ισχύει ο ορισμός της μη πληρότητας, οπότε οι κανόνες μας θεωρούνται πλήρεις.

Συνέπεια:

Συνέπεια παρουσιάζουν οι κανόνες όταν το τελικό ασαφές σύνολο παρουσιάζει λίγες κορυφές πριν από την αποασαφοποίηση. Στην αντίθετη περίπτωση, οι πολλαπλές κορυφές συνεπάγονται στο γεγονός ότι οι κανόνες δείχνουν ταυτόχρονα σε διαφορετικά σημεία με μεγάλη απόσταση άρα υπάρχουν διαφορετικές τιμές στο σήμα εξόδου από τις αναμενόμενες. Δοκιμάζοντας τιμές εισόδων στον ελεγκτή μας , παρατηρούμε την ύπαρξη 2 κορυφών στην χειρίστη περίπτωση και μάλιστα η απόστασή τους είναι μικρή.

Πλεονασμός:

Δεν υπάρχουν περιττοί κανόνες διότι χρησιμοποιήσαμε όλους τους πιθανούς συνδιασμούς των λεκτικών μεταβλητών. Αυτό σημαίνει ότι η πληροφορία που περιέχει ένας οποιοσδήποτε κανόνας δεν συμπεριλαμβάνεται στους υπόλοιπους κανόνες.

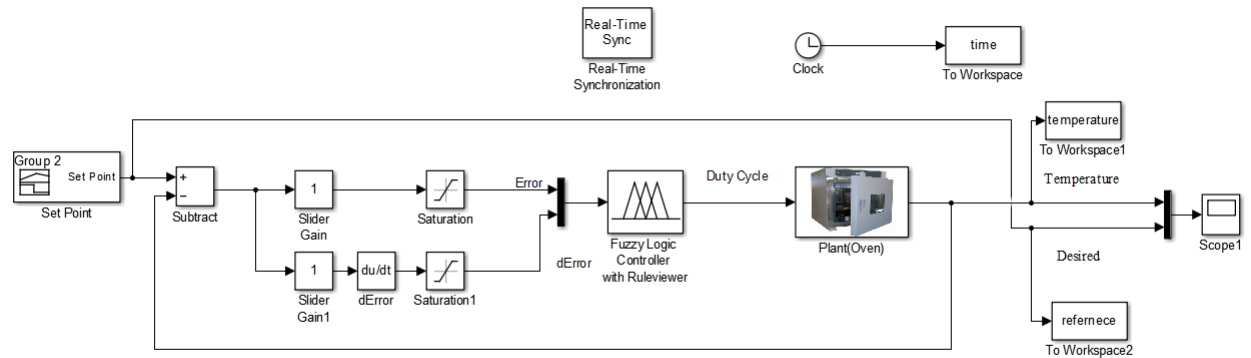
Αλληλεπίδραση:

Αλληλεπίδραση σε ένα σύνολο κανόνων έχουμε όταν για συγκεκριμένες εισόδους, το ασαφές σύνολο της εξόδου είναι διαφορετικό από το αναμενόμενο διότι επενεργούν άλλοι κανόνες πάνω σε αυτήν, κάτι που στην περίπτωσή μας δεν ισχύει διότι ο κάθε κανόνας λειτουργεί αυτόνομα.

Καταλήγουμε πως ο ελεγκτής που υλοποιήσαμε είναι ικανοποιητικός, εφόσον πληρεί τα παραπάνω κριτήρια.

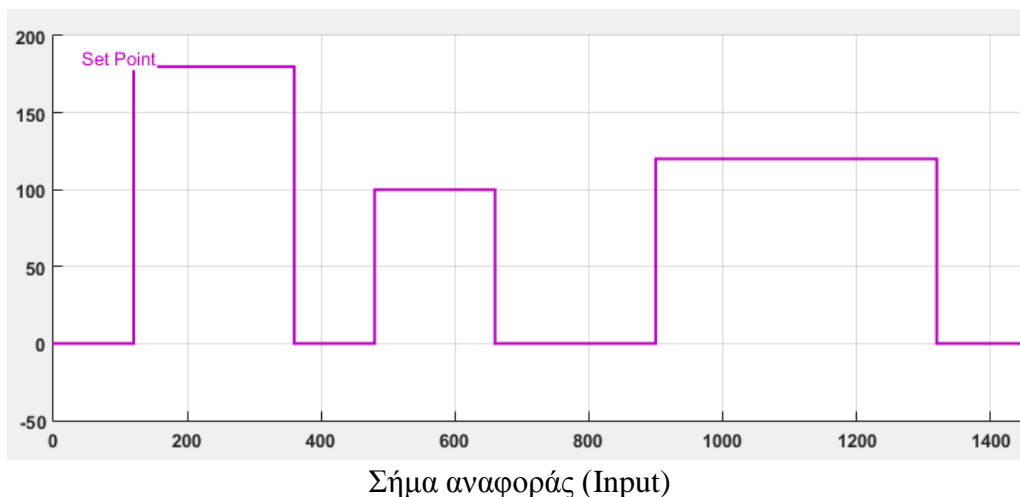
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ SIMULINK

Κατασκευάσαμε το παρακάτω μοντέλο στο Simulink της Matlab.

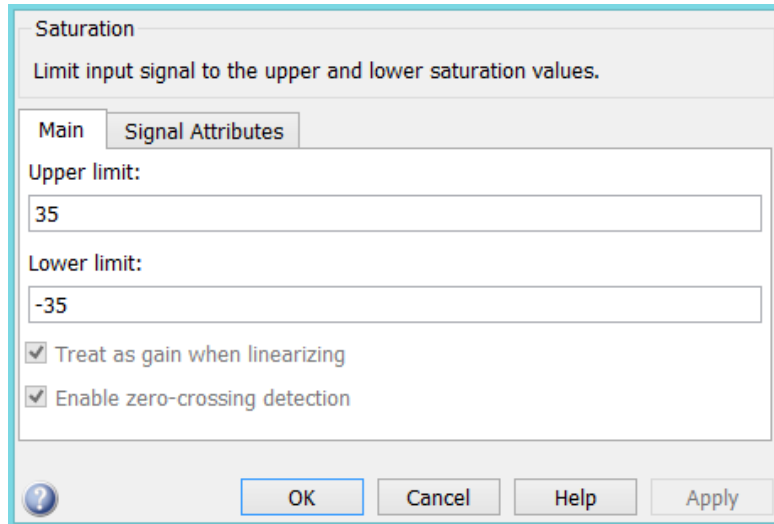


Το σήμα Set Point είναι η είσοδος μας η οποία είναι τετραγωνικοί παλμοί μεταβλητού duty cycle (PWM). Το Subtract είναι ο αφαιρέτης για τον κλειστό βρόχο (ανατροφοδότηση). Τα Saturation blocks χρησιμοποιούνται για να αυξήσουμε την ταχύτητα εκτέλεσης της απόκρισης, διότι αποκρίνουν ακραίες τιμές (μεγάλες κατ' απόλυτη τιμή) και τις αντικαθιστούν με άλλες μικρότερες (κατ' απόλυτη τιμή) που ανήκουν στην ίδια λεκτική μεταβλητή. Στην συνέχεια, παίρνουμε το σήμα Error και dError τα οποία είναι οι είσοδοι του ασαφή ελεγκτή. Το block Plant(Oven) είναι το σύστημα που περιγράψαμε παραπάνω το οποίο δέχεται ως είσοδο την έξοδο του ελεγκτή (duty cycle) και η έξοδος του είναι η θερμοκρασία του φούρνου εκείνη την χρονική στιγμή. Τελικά, οι τιμές πηγαίνουν για παρουσίαση στο Scope1 για ταυτόχρονη απεικόνιση. Με το block Real-Time Sync απεικονίζουμε τα δεδομένα μας σε πραγματικό χρόνο, επιλέγοντας μια περίοδο δειγματοληψίας. Το clock δημιουργεί ένα διάλυσμα με το χρόνο της προσομοίωσης, το οποίο μαζί με τα blocks temperatures και reference αποθηκεύουν σε πίνακες στο workspace τις αντίστοιχες μεταβλητές.

Η κυματομορφή του σήματος εισόδου, δηλαδή του Set Point θα είναι η εξής,



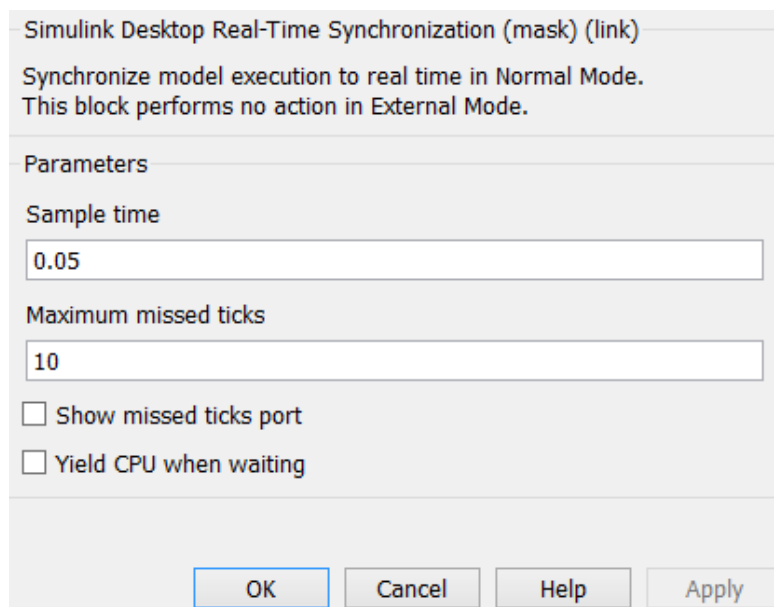
Για το block Saturation ορίζουμε το εύρος τιμών για τις διάφορες εισόδους, με τον τρόπο που περιγράψαμε παραπάνω.



The image shows the 'Saturation' configuration dialog box. It has a title bar 'Saturation' and a subtitle 'Limit input signal to the upper and lower saturation values.' There are two tabs: 'Main' (selected) and 'Signal Attributes'. Under the 'Main' tab, there are two input fields: 'Upper limit:' with the value '35' and 'Lower limit:' with the value '-35'. Below these are two checked checkboxes: 'Treat as gain when linearizing' and 'Enable zero-crossing detection'. At the bottom are buttons for '?', 'OK', 'Cancel', 'Help', and 'Apply'.

Saturation block – Εύρος τιμών

Από το block Real-Time Synchronization επιλέγουμε την τιμή της περιόδου δειγματοληψίας. Η τιμή αυτή πρέπει να είναι ίδια για όλα τα blocks.

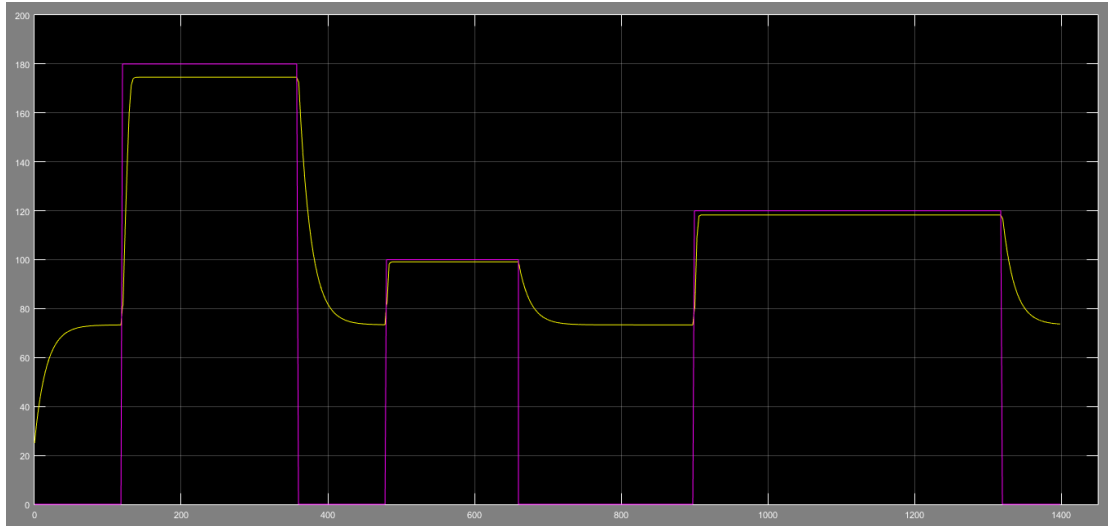


The image shows the 'Simulink Desktop Real-Time Synchronization (mask) (link)' configuration dialog box. It has a subtitle 'Synchronize model execution to real time in Normal Mode. This block performs no action in External Mode.' Under the 'Parameters' section, there are two input fields: 'Sample time' with the value '0.05' and 'Maximum missed ticks' with the value '10'. Below these are two unchecked checkboxes: 'Show missed ticks port' and 'Yield CPU when waiting'. At the bottom are buttons for 'OK', 'Cancel', 'Help', and 'Apply'.

Επιλογή περιόδου δειγματοληψίας

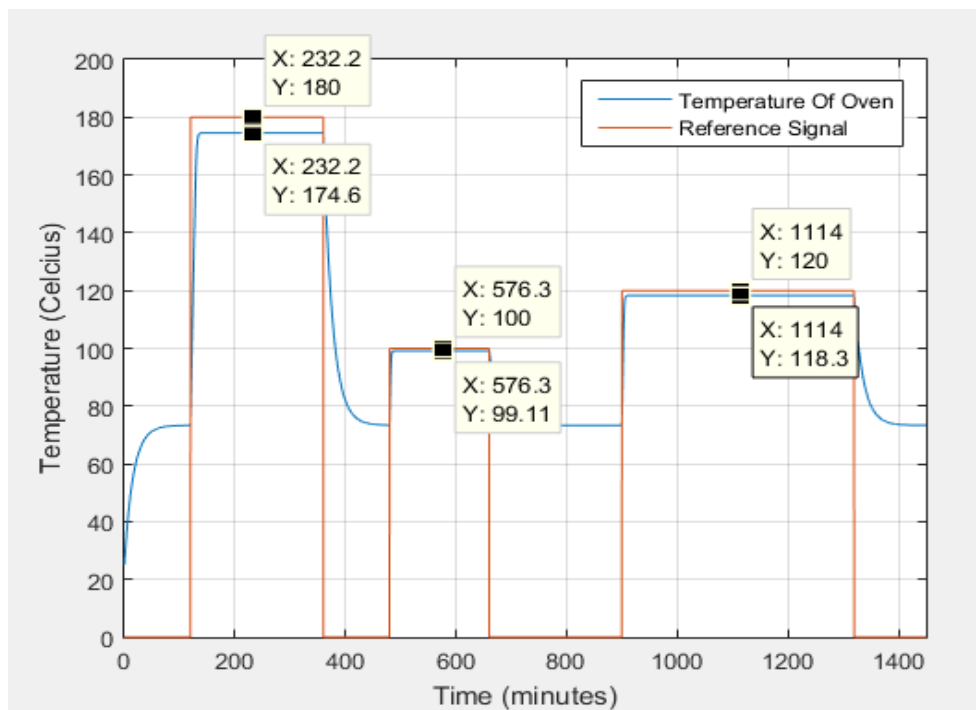
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Επιλέγοντας περίοδο δειγματοληψίας 0,05 sec για την απεικόνιση πραγματικού χρόνου και αφού φορτώσουμε τον ασαφή ελεγκτή στο μοντέλο του Simulink, εκτελούμε την προσωμοίωση. Το αποτέλεσμα της προσωμοίωσης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Απόκριση του μοντέλου Simulink

Παρατηρούμε από το παραπάνω γράφημα την ύπαρξη σφαλμάτων μεταξύ της ιδανικής απόκρισης και της απόκρισης του ελεγκτή, τα οποία είναι σχετικά μικρά, με την έννοια πως, σε αυτή την κλίμακα που βρισκόμαστε, η μεταβολή της θερμοκρασίας δεν θεωρείται σημαντική και δεν επιφέρει κάποια μη επιθυμητή κατάσταση. Τα σφάλματα αυτά έχουν να κάνουν με την σχεδίαση του ελεγκτή και οφείλονται στην τεχνική αποασαφοποίησης που χρησιμοποιήσαμε.



Σφάλμα μεταξύ ιδανικής και πραγματικής απόκρισης

Ο κώδικας που κατασκευάσαμε για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων είναι ο εξής:

```
clc; clear all;

Oven=readfis('Oven');
sim('ModelOfOven');
plot(time,temperature,time,reference);
grid on;
legend('Temperature Of Oven','Reference Signal');
xlabel('Time (minutes)');
ylabel('Temperature (Celcius)');
axis([0 1450])
axis([0 200])
```

Στον παραπάνω κώδικα, φορτώνουμε τον ασαφή ελεγκτή μας στο workspace και έπειτα κάνουμε προσομοίωση το μοντέλο του Simulink. Τέλος, απεικονίζουμε σε κοινό διάγραμμα την απόκριση του συστήματος μαζί με την ιδανική απόκριση για την εκτίμηση των σφαλμάτων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο ασαφής ελεγκτής αποτελεί μια γρήγορη και αρκετά αξιόπιστη λύση, διότι η απόκριση που λαμβάνουμε για τον έλεγχο θερμοκρασίας δεν έχει υπερύψωση, πράγμα που σημαίνει ότι η θερμοκρασία που λαμβάνουμε στην έξοδο δεν είναι σε καμία περίπτωση μεγαλύτερη από την θερμοκρασία αναφοράς μας. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, καθώς δεν τίθεται σε κίνδυνο ούτε ο εξοπλισμός μας (σε περίπτωση ανεξέλεγκτων τιμών θερμοκρασίας θα μπορούσε να υποστεί σοβαρές βλάβες) αλλά ούτε και η παραγωγή μας. Επίσης, όπως φαίνεται από την απόκριση, οι μεταβατικές καταστάσεις είναι μικρής χρονικής διάρκειας γιατί συγκλίνει γρήγορα στην μόνιμη κατάσταση, επομένως ο ελεγκτής μας έχει ταχεία απόκριση, γεγονός που οδηγεί σε γρήγορη παραγωγική διαδικασία. Ακόμη, ο ασαφής ελεγκτής παρουσιάζει μεγάλη υπολογιστική ταχύτητα, με την έννοια ότι οι υπολογισμοί στην έξοδο του ελεγκτή επιτελούνται γρήγορα. Τέλος, σε αντίθεση με τον κλασικό έλεγχο (π.χ. PID) δεν χρειάζεται εκτενής αναζήτηση για την εύρεση των τιμών των παραμέτρων του εκάστοτε ελεγκτή.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός ενός ασαφής ελεγκτή χρειάζεται εκτενή γνώση της εκάστοτε απόκρισης αλλά και του προβλήματος γενικότερα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Πανεπιστημιακές σημειώσεις του μαθήματος στο eclass, του καθηγητή μας Πέτρου Γρουμπού
2. Κίνγκ Ροβέρτος «ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ»
3. Timothy J. Ross «FUZZY LOGIC WITH ENGINEERING APPLICATIONS»
4. Nikola K. Kasabov «FOUNDATIONS OF NEURAL NETWORKS, FUZZY SYSTEMS AND KNOWLEDGE ENGINEERING»
5. Tanaka, Kazuo «AN INTRODUCTION TO FUZZY LOGIC FOR PRACTICAL APPLICATIONS»
6. Prabha, Rao, Krishna “Fuzzy Logic Based Intelligent Controller Design for an Injection Mould Machine Process Control”