



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Πολυτεχνική Σχολή  
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών  
Τομέας Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών

## Εργασία DC Motor FLC στην Υπολογιστική Νοημοσύνη

Εργασία του  
Φώτη Αλεξανδρίδη, ΑΕΜ: 9953  
faalexandr@ece.auth.gr

22 Οκτωβρίου 2023

# Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Πρόλογος</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Παραδοτέα</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Υλοποίηση και αποτελέσματα</b>	<b>4</b>
3.1	Αρχική Υλοποίηση . . . . .	4
3.2	Ασαφής Ελεγκτής . . . . .	5
3.3	Σενάριο 1 . . . . .	7
3.4	Σενάριο 2 . . . . .	14
3.5	Σενάριο 3 . . . . .	15

# Κεφάλαιο 1

## Πρόλογος

Η εργασία αυτή πραγματεύεται την σχεδίαση ενός Fuzzy Logic Controller (FLC) για τον έλεγχο ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος με βάση κάποιες ζητούμενες προδιαγραφές από τον κλασικό αυτόματο έλεγχο, και μετέπειτα για την εφαρμογή του σε κάποια σενάρια κίνησης.

# Κεφάλαιο 2

## Παραδοτέα

Το παραδοτέο της εργασίας αποτελούνται από τα ακόλουθα αρχεία :

- Simulink Model `dc_motor_pi.slx`, το οποίο υλοποιεί όλα τα ζητούμενα της εργασίας
- FIS `fzcarcontrol.fis`, το οποίο είναι το Fuzzy Inference System που αποτελεί τον ελεγκτή μας
- `.mat scenario1signal.m`, το οποίο είναι το προφίλ εισόδου για το πρώτο σενάριο της εργασίας
- `.mat scenario2signal.m`, το οποίο είναι το προφίλ εισόδου για το δεύτερο σενάριο της εργασίας
- `.mat scenario3signal.m`, το οποίο είναι το προφίλ εισόδου για το τρίτο σενάριο της εργασίας

Η εργασία υλοποιείται όλη στο Simulink περιβάλλον. Κατόπιν παρότρυνσης της εκφώνησης, ο ελεγκτής δημιουργήθηκε πάλι με την βοήθεια του περιβάλλοντος Fuzzy Logic Designer, όπως και στην πρώτη εργασία.

## Κεφάλαιο 3

# Υλοποίηση και αποτελέσματα

### 3.1 Αρχική Υλοποίηση

Αρχικά, από το μάθημα του κλασσικού αυτομάτου ελέγχου γνωρίζουμε ότι μπορούμε να ελέγξουμε το μοντέλο του κινητήρα με έναν ελεγκτή PI.

Με βάση τις αρχές του παλιότερου μαθήματος, αναφέρουμε την συνάρτηση μεταφοράς του κινητήρα, καθώς και την μορφή του ελεγκτή που ικανοποιεί τις ζητούμενες προδιαγραφές. Για τον κινητήρα:

$$G(s) = \frac{18.69}{s + 12.064}$$

Ενώ για τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- Απόρριψη διαταραχών: για  $|\omega_d| < 1 \frac{rad}{s}$  το κέρδος διαταραχής να μην υπερβαίνει τα  $20dB$ , και να υπάρχει επιστροφή στην αρχική τιμή της συχνότητας
- Το πολύ 5% υπερύψωση για βηματική είσοδο
- Μηδενικό σφάλμα θέσης
- Χρόνος ανόδου το πολύ  $0.16s$
- $V \leq 200 \forall t > 0$

Έχουμε ελεγκτή της μορφής:

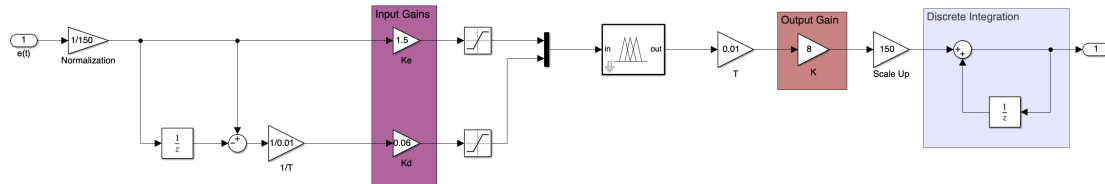
$$C(s) = P + \frac{I}{s}$$

με:

$$P = 0.31011, I = 8.1187$$

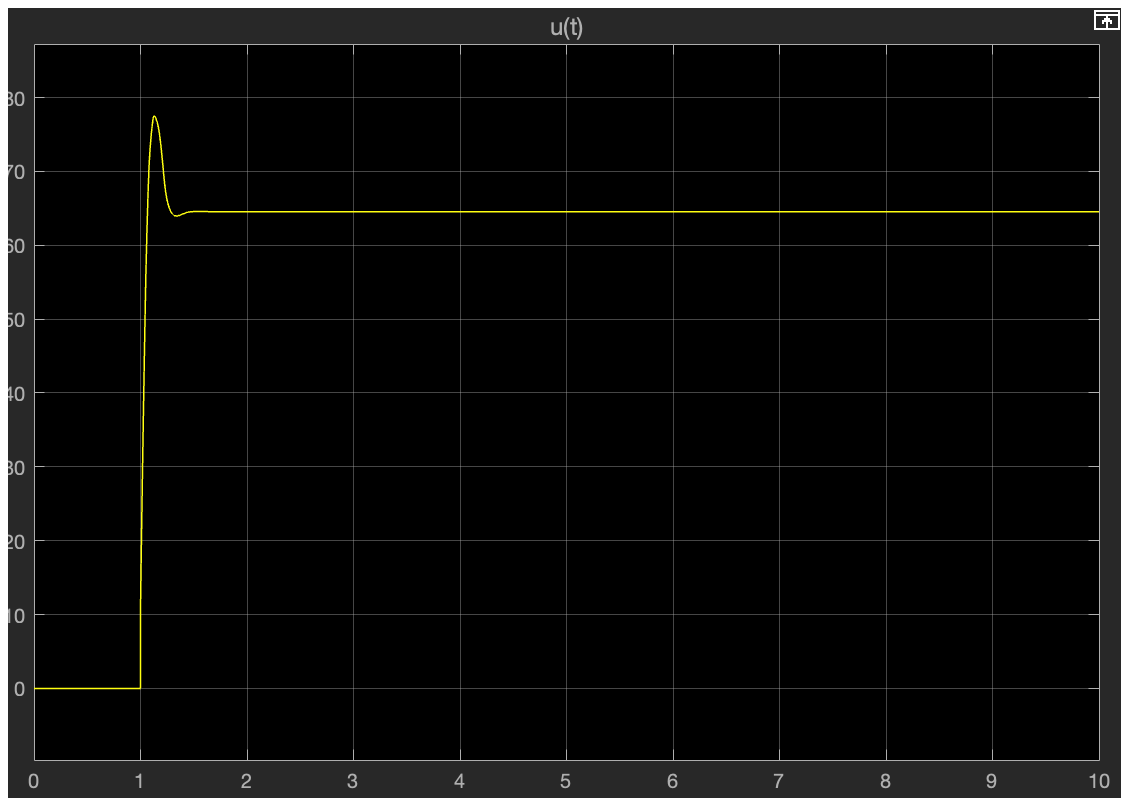
## 3.2 Ασαφής Ελεγκτής

Για την υλοποίηση του ασαφούς ελεγκτή, ακολουθώντας το μπλοκ διάγραμμα που δίνεται στις σημειώσεις, καθώς και την μεθοδολογία για την επιλογή των κερδών του, έχουμε το παρακάτω σύστημα:



Για βηματική είσοδο ύψους 100, τόσο η απόκριση του ελεγκτή όσο και οι στροφές που δίνει ως έξοδο φαίνονται στα παρακάτω δύο διαγράμματα:





Βλέπουμε επομένως πως πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις που ζητούνται.

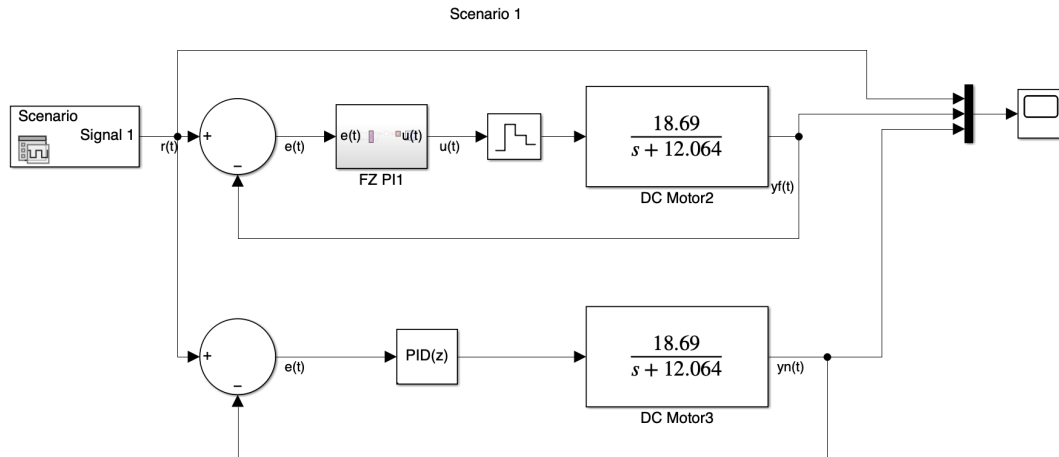
Όσον αφορά το μπλοκ ασαφούς ελεγκτή που χρησιμοποιείται, αυτό υλοποιεί την βάση κανόνων που προσδιορίζεται από τις σημειώσεις. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούμε την γενική βάση κανόνων για FZ-PI ελεγκτές, κρατώντας στο μυαλό μας ότι πραγματοποιούμε κανονικοποίηση τους σφάλματος στο διάστημα  $[-1, 1]$ . Η τελική βάση κανόνων φαίνεται στον παρακάτω πίνακα :

Ε\ΔΕ	NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV
NV	NL	NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	ZR
NL	NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	ZR	PS
NM	NL	NL	NL	NL	NM	NS	ZR	PS	PM
NS	NL	NL	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
ZR	NL	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PL
PS	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PL	PL
PM	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PL	PL	PL
PL	NS	ZR	PS	PM	PL	PL	PL	PL	PL
PV	ZR	PS	PM	PL	PL	PL	PL	PL	PL

### 3.3 Σενάριο 1

Στο πρώτο σενάριο έχουμε τα ρυθμισμένα κέρδη, τα οποία ρυθμίζονται από το αρχικό σύστημα με τη διαδικασία που περιγράφεται στις σημειώσεις.

Το σύστημα φαίνεται παρακάτω:



Για το δοσμένο σήμα εισόδου, η απόκριση φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Όπου με κίτρινο χρώμα φαίνεται το σήμα αναφοράς, με κόκκινο η απόκριση του PI ελεγκτή και με μπλε η απόκριση του FZ-PI ελεγκτή.

Παρατηρούμε πως ο χρόνος ανόδου δεν επηρεάζεται πολύ, αλλά αυτό που μειώνεται κατα πολύ είναι το ποσοστό υπερύψωσης και ο χρόνος επαναφοράς, οπότε συνολικά έχουμε καλύτερο προφίλ απόκρισης.

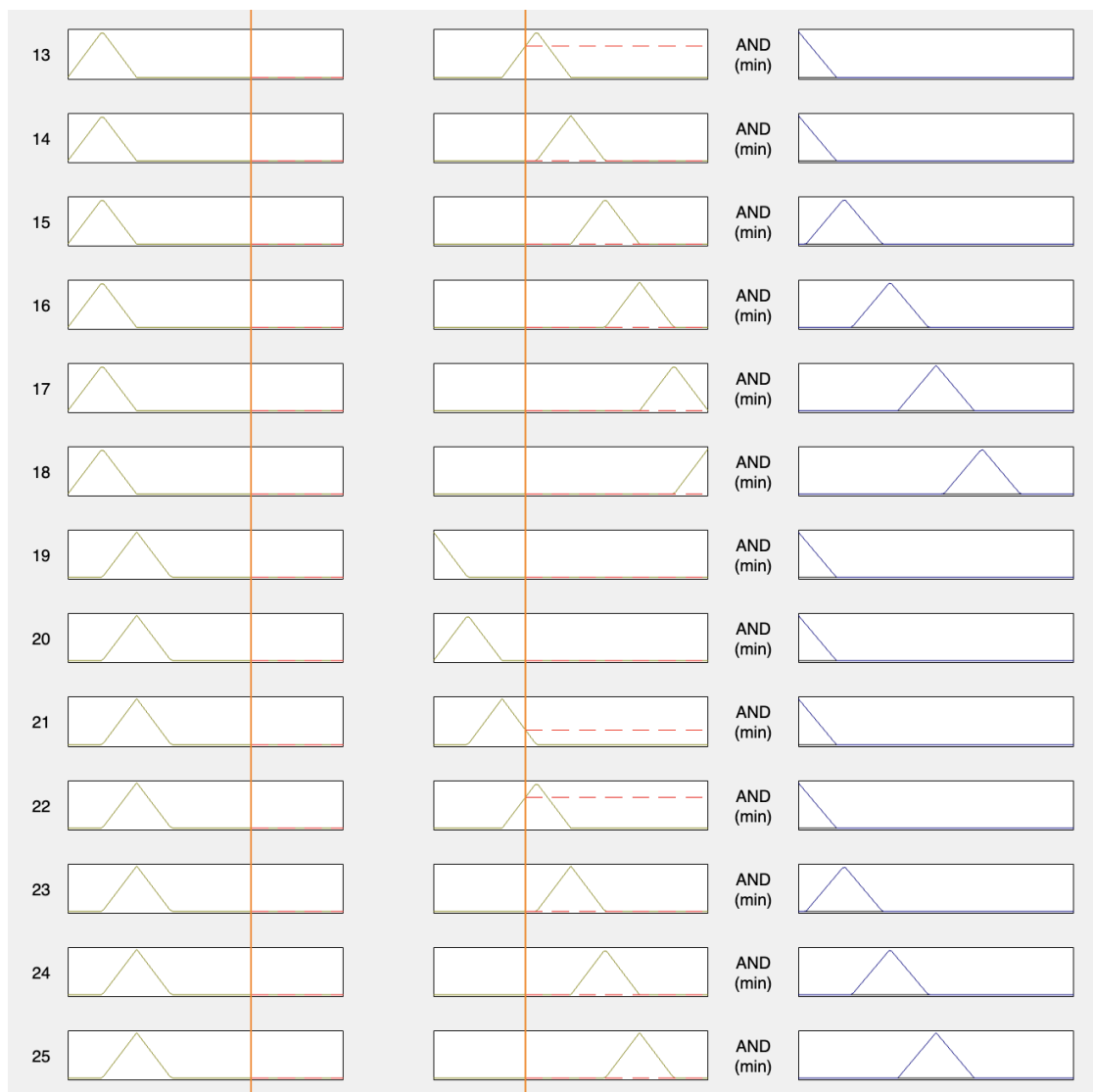


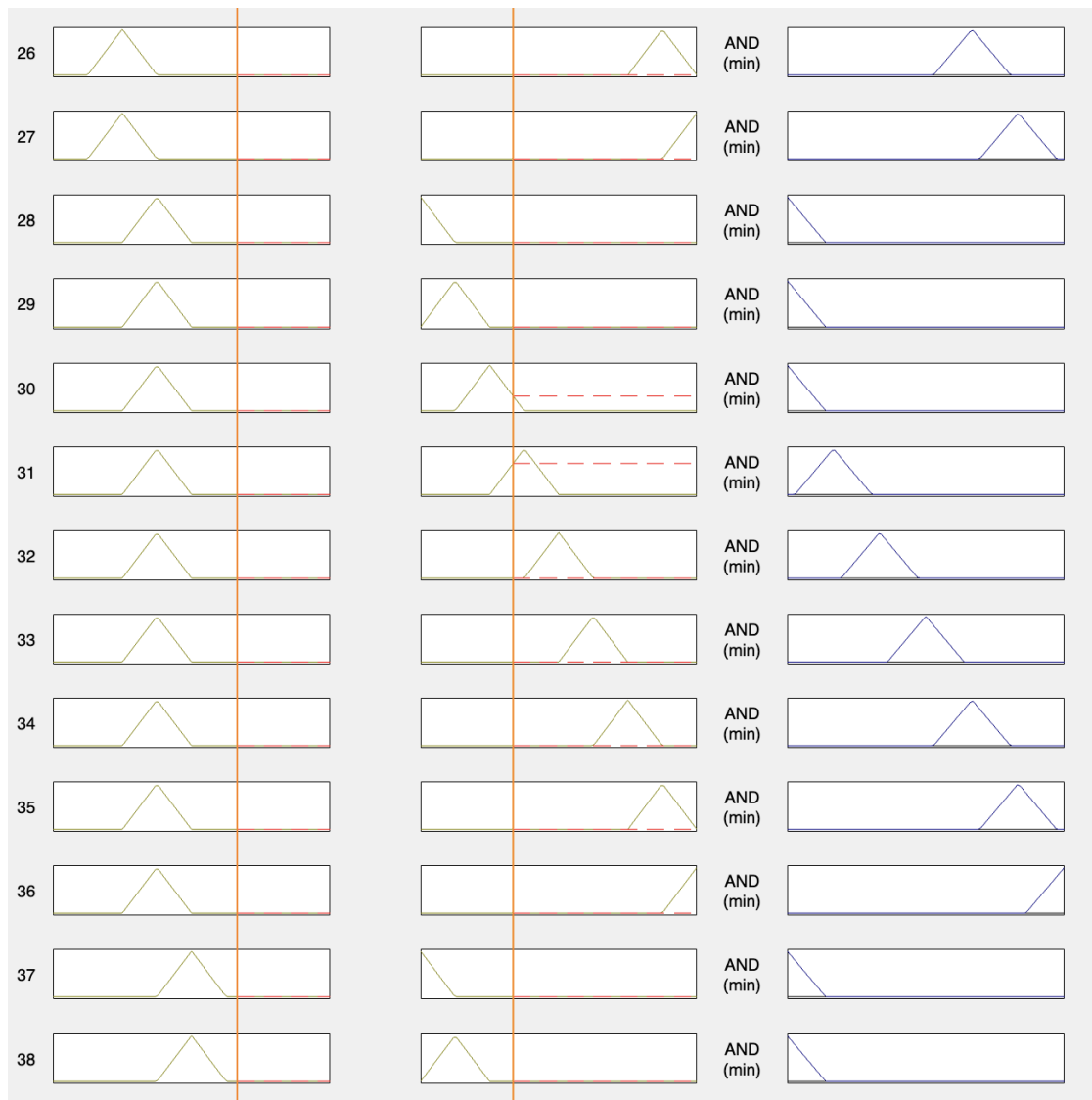
Θεωρούμε τώρα μια διεγερσή όπου ισχύει [1]:

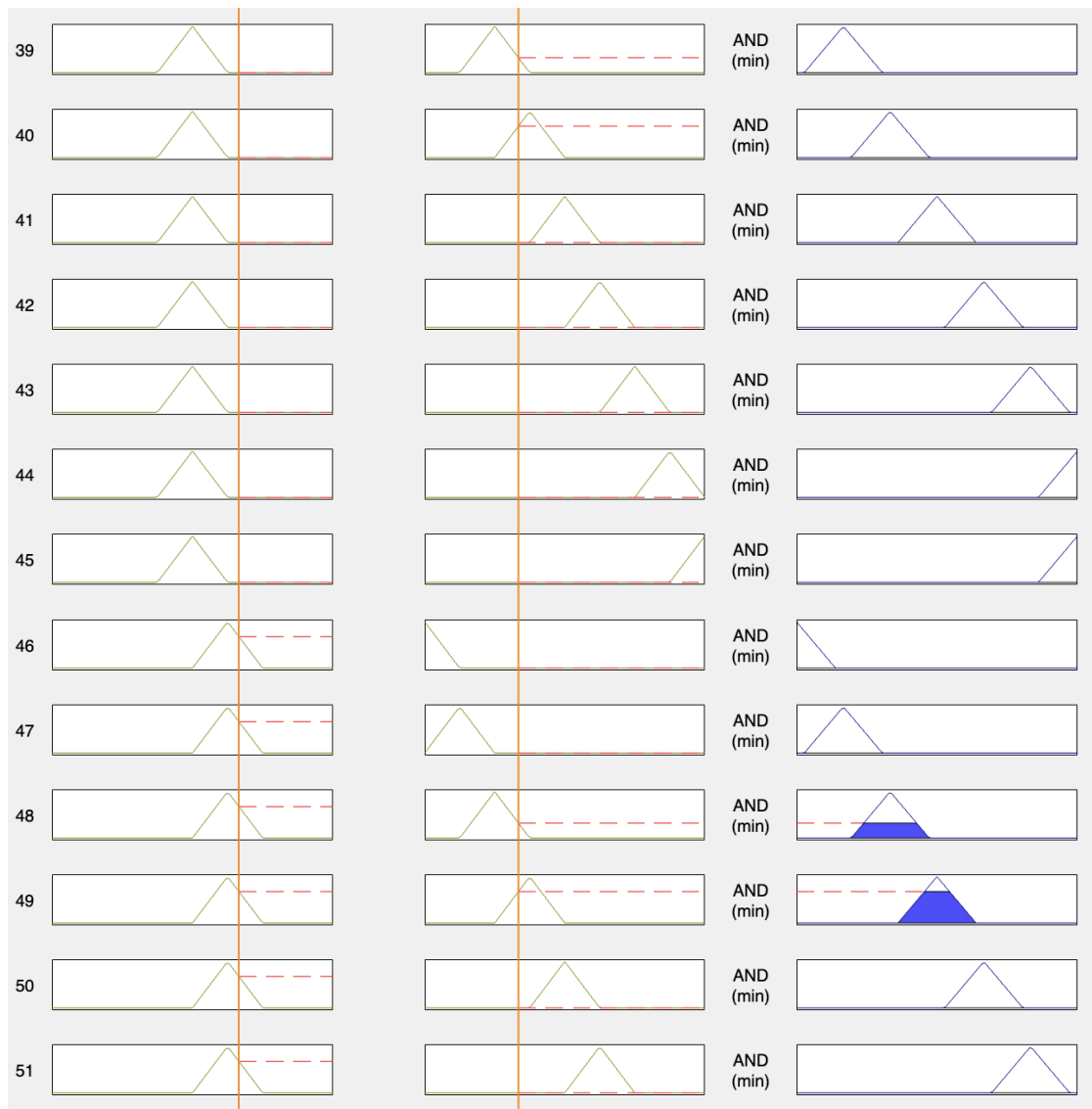
$e$  is PS,  $\Delta e$  is NS

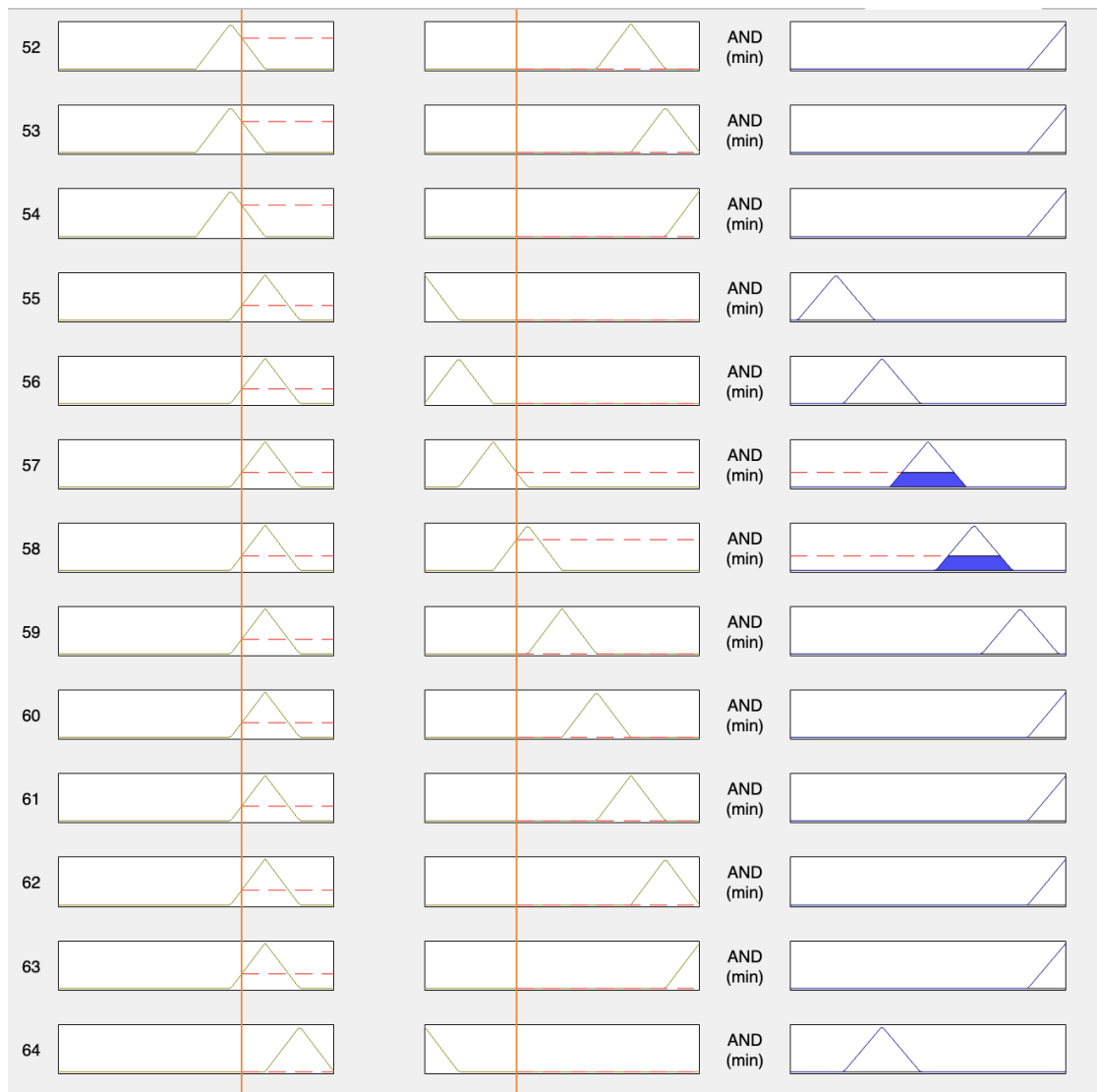
Για τους κανόνες που διεγείρονται έχουμε :

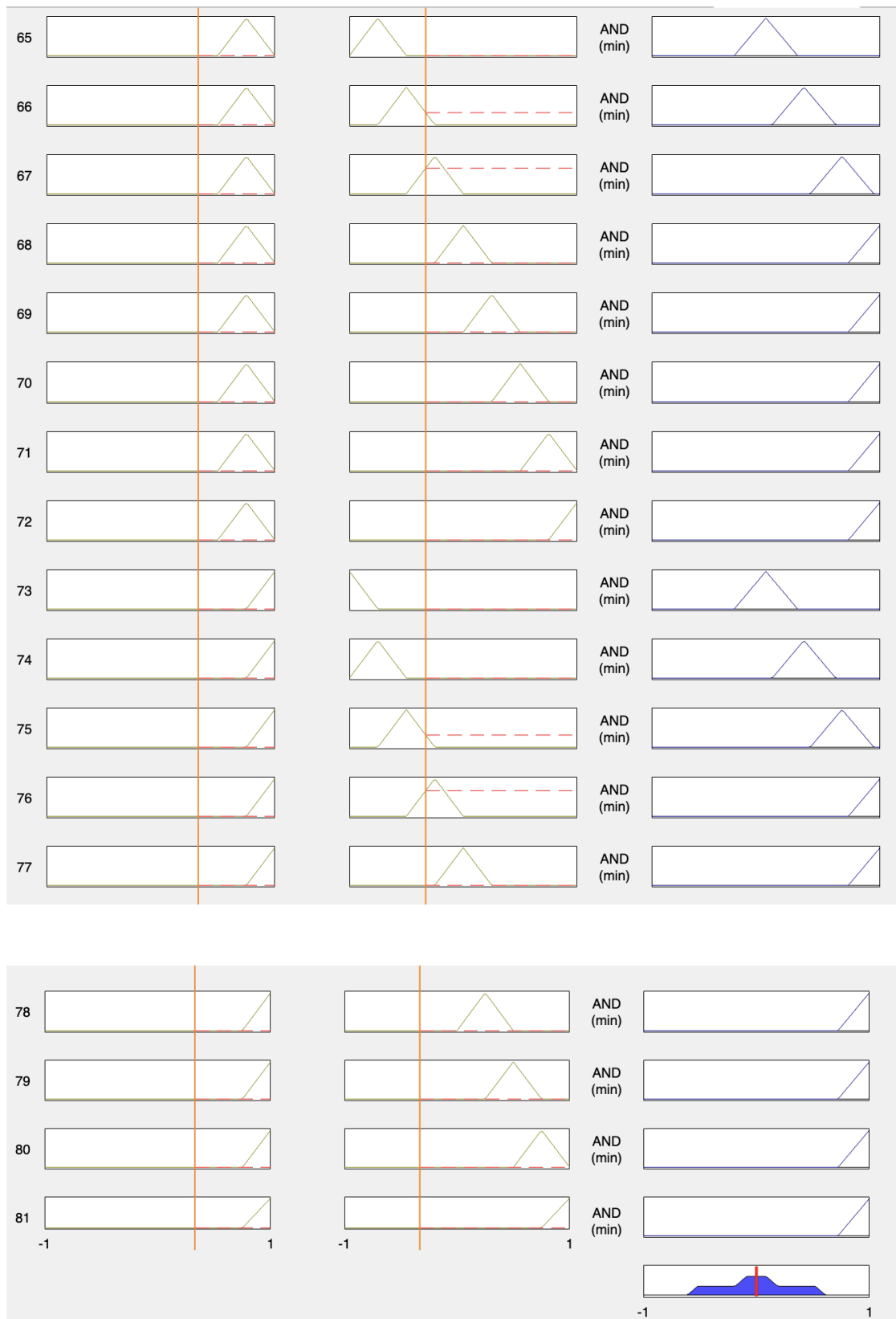






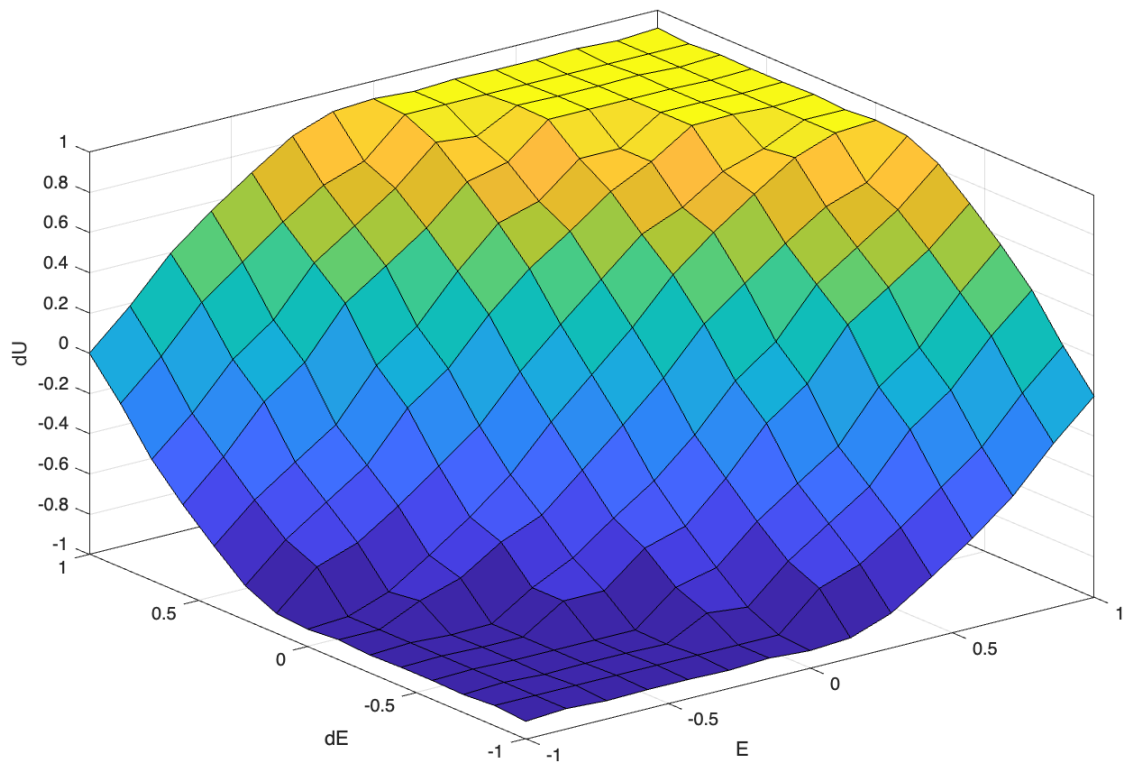






Με την τελική διέγερση να φαίνεται ότι είναι μηδενική, όπως και θα περιμέναμε από το σύνολο κανόνων που ορίσαμε.

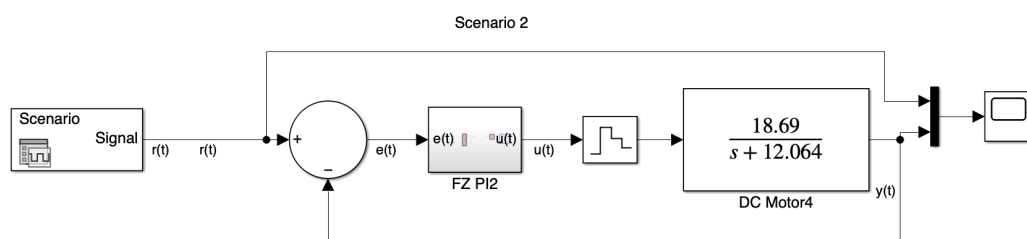
Η επιφάνεια ελέγχου του ελεγκτή φαίνεται παρακάτω:



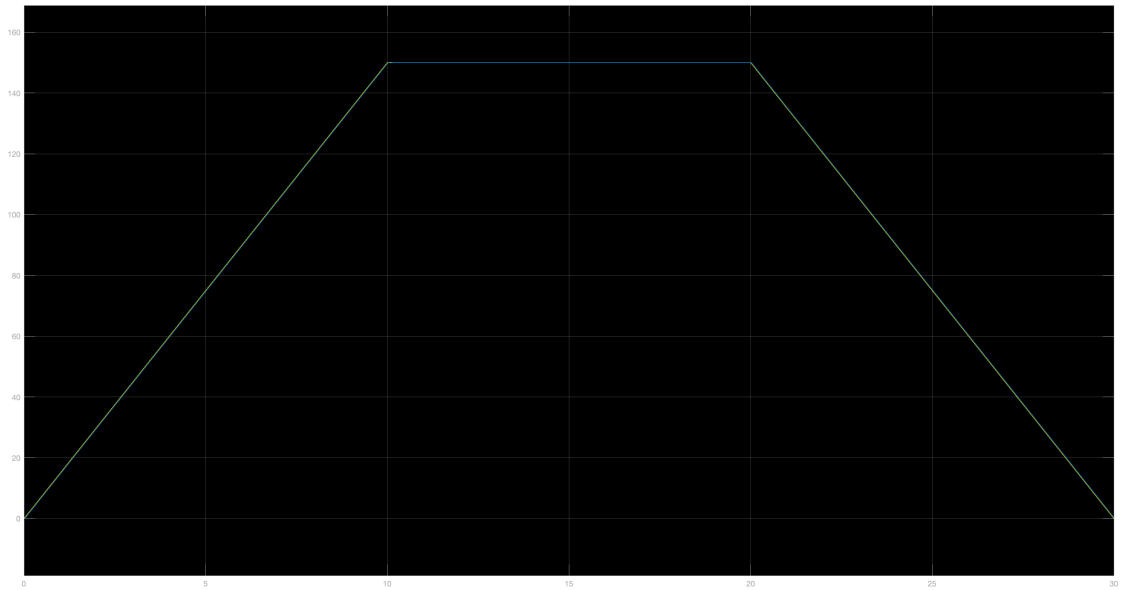
Η επιφάνεια ερμηνεύεται εύκολα αν σκεφτούμε την μορφή της βάσης κανόνων. Ουσιαστικά καλούμαστε να σταθεροποιήσουμε την μεταβολή της εξόδου, με βάση την μεταβολή του σφάλματος και το ίδιο το σφάλμα. Ακολουθούμε την λογική που περιγράφεται στις σημειώσεις και καταλήγουμε στο ομοιόμορφο αποτέλεσμα του δοσμένου πίνακα και της επιφάνειας ελέγχου. Σκοπός μας είναι να κάνουμε το σήμα εξόδου να ακολουθεί το δυνατόν πιστότερα το σήμα εισόδου.

### 3.4 Σενάριο 2

Στο σενάριο 2, εφόσον πάλι θεωρούμε μηδενική διαταραχή, έχουμε το σύστημα :



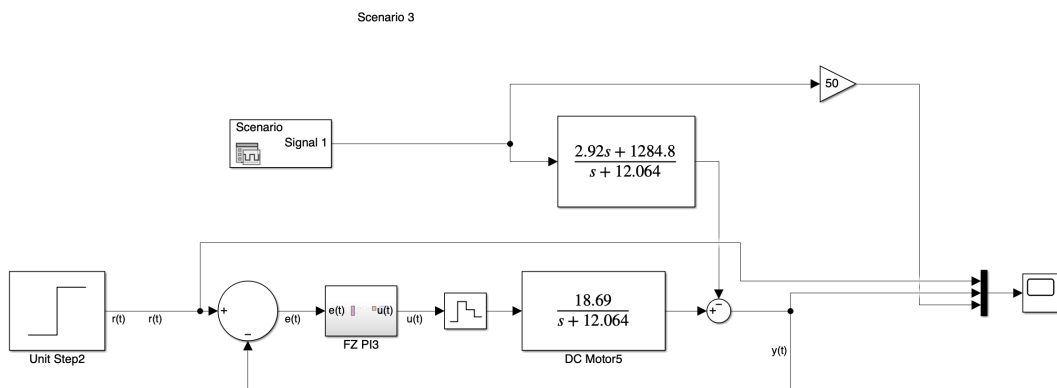
Με τα υπάρχοντα κέρδη, η απόκριση των στροφών του κινητήρα είναι η εξής:



Βλέπουμε ότι δεν έχουμε καμία υπερύψωση, και το σύστημα ακολουθεί πολύ πιστά την είσοδο, με πολύ χαμηλό σφάλμα επιτάχυνσης οπότε δεν χρειάζεται να προσαρμόσουμε εκ νέου τα κέρδη.

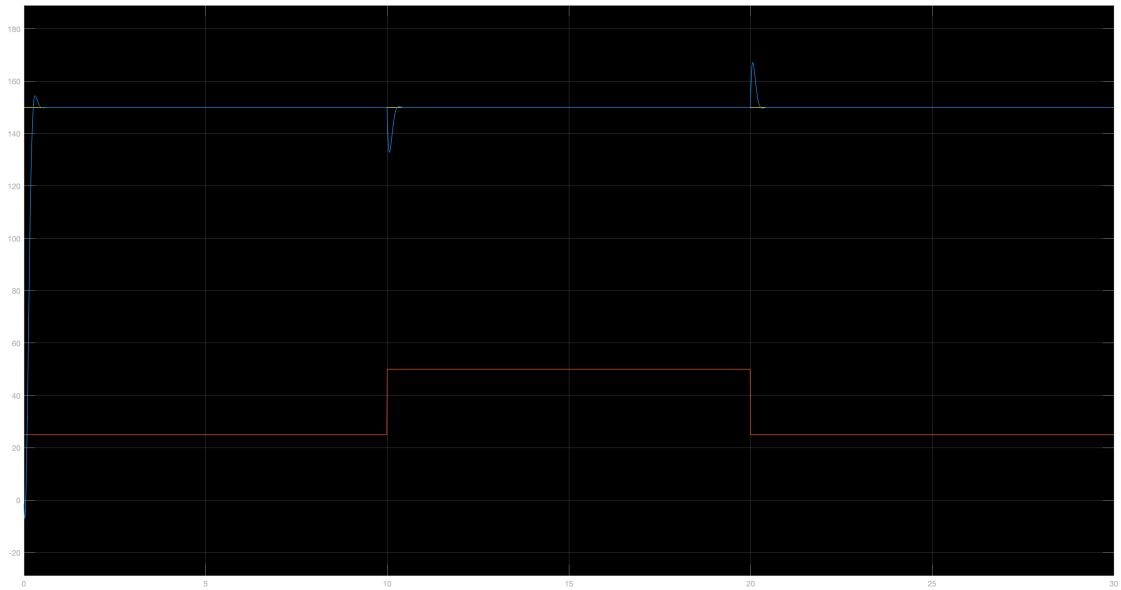
### 3.5 Σενάριο 3

Στο τελευταίο σενάριο, έχουμε εξωτερική διαταραχή, οπότε το σύστημα διαμορφώνεται έτσι:



Η απόκριση πάλι του υπάρχοντος ελεγκτή με τα προρυθμισμένα κέρδη, είναι η εξής:





Όπου έχουμε κάνει κλιμάκωση της διαταραχής 50 φορές πάνω για να είναι εμφανής σε σχέση με τις στροφές του συστήματος.

Παρατηρούμε πως εμφανίζονται όντως μικρές βυθίσεις κατά την εμφάνιση της διαταραχής, αλλά το σύστημα γρήγορα τις απορροφά και επανέρχεται στις συνθήκες κανονικής λειτουργίας, ακόμα κι όταν η διαταραχή είναι σταθερή.

Γενικά, ο ασαφής ελεγκτής αποτελεί μια πολύ καλή λύση στο πρόβλημα ελέγχου του κινητήρα, καθώς με λίγο σχετικά κόπο μπορούμε να ελέγξουμε την απόκριση μόνιμης κατάστασης του κινητήρα, αλλά και να έχουμε πιστή συμπεριφορά σε μεταβατικά φαινόμενα, και γρήγορη απορρόφηση διαταραχών με robust λειτουργία συνολικά.

# Bibliography

[1] *DC Motor Control.*