

# **Υπολογιστική Νοημοσύνη**

Αναφορά στα πλαίσια της 1ης εργασίας

DC Motor - FLC (7)



Τσαλαγεώργος Βασίλειος

A.E.M. 8253

Εαρινό εξάμηνο 2021

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών

## Σχεδίαση του ασαφούς ελεγκτή

Στην πρώτη φάση της εργασίας έγινε η σχεδίαση του ασαφούς ελεγκτή στο περιβάλλον Fuzzy Logic Designer του MATLAB, και η αποθήκευσή του στο αρχείο FLC.fis. Τα χαρακτηριστικά του ελεγκτή είναι αυτά που ορίζονται και στην εκφώνηση, δηλαδή χρησιμοποιείται ασαφοποιητής singleton, το and υλοποιείται με τον τελεστή min, ενώ το also (aggregation) με τον τελεστή max. Η αποασαφοποίηση υλοποιείται με την τεχνική centroid.

Ο ελεγκτής δέχεται σαν εισόδους το σφάλμα E, και τη μεταβολή του σφάλματος dE, ενώ έχει σαν έξοδο τη μεταβολή του σήματος ελέγχου dU. Σύμφωνα με τα ζητούμενα, οι λεκτικές μεταβλητές του σφάλματος E και της μεταβολής του σφάλματος dE, περιγράφονται από 7 λεκτικές τιμές (NL, NM, NS, ZR, PS, PM, PL), ενώ οι λεκτικές μεταβλητές της μεταβολής του σήματος ελέγχου dU, περιγράφονται από 9 λεκτικές τιμές (NV, NL, NM, NS, ZR, PS, PM, PL, PV).

Η σχεδίαση των συναρτήσεων συμμετοχής των τριών μεταβλητών που έχει σαν εισόδους και έξοδο ο ελεγκτής, έγινε στο περιβάλλον Membership Function Editor του MATLAB, σύμφωνα με τις σχηματικές απεικονίσεις που παρατίθενται στην εκφώνηση, ενώ και στις τρεις μεταβλητές, το εύρος και το εύρος απεικόνισης, τέθηκαν στο διάστημα  $[-1, 1]$ , το οποίο είναι και το διάστημα στο οποίο θέλουμε να μεταβάλλονται τα εν λόγω κανονικοποιημένα μεγέθη.

Η βάση των κανόνων του ελεγκτή υλοποιήθηκε με βάση τους μετα-κανόνες σωστής λειτουργίας συστημάτων κλειστού βρόχου, όπως ζητείται, ακολουθώντας τα βήματα και τη λογική που περιγράφονται αναλυτικά στο αρχείο Fuzzy-present-FLC-09.ppt. Προέκυψαν 49 διαφορετικοί κανόνες, όπως θα ήταν αναμενόμενο καθώς έχουμε 2 εισόδους (E, dE) με 7 λεκτικές τιμές η καθεμία, ώστε να ορίσουμε τη λεκτική τιμή που θα λαμβάνει η έξοδος (dU), για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των λεκτικών τιμών που μπορούν να λάβουν οι είσοδοι.

Η τελική διαμόρφωση της βάσης των κανόνων αναπαρίσταται αναλυτικά στον πίνακα που παρατίθεται παρακάτω. Στην πρώτη γραμμή του πίνακα έχουν τοποθετηθεί όλες οι λεκτικές τιμές που μπορεί να λάβει η μεταβλητή του σφάλματος E, ενώ στην πρώτη στήλη όλες οι λεκτικές τιμές που μπορεί να λάβει η μεταβολή του σφάλματος dE αντίστοιχα. Ο υπόλοιπος πίνακας γεμίζει με τις λεκτικές τιμές (9 στο σύνολο) που αποφασίστηκε να λαμβάνει η μεταβλητή της μεταβολής του σήματος ελέγχου dU σε κάθε περίπτωση (IF-THEN).



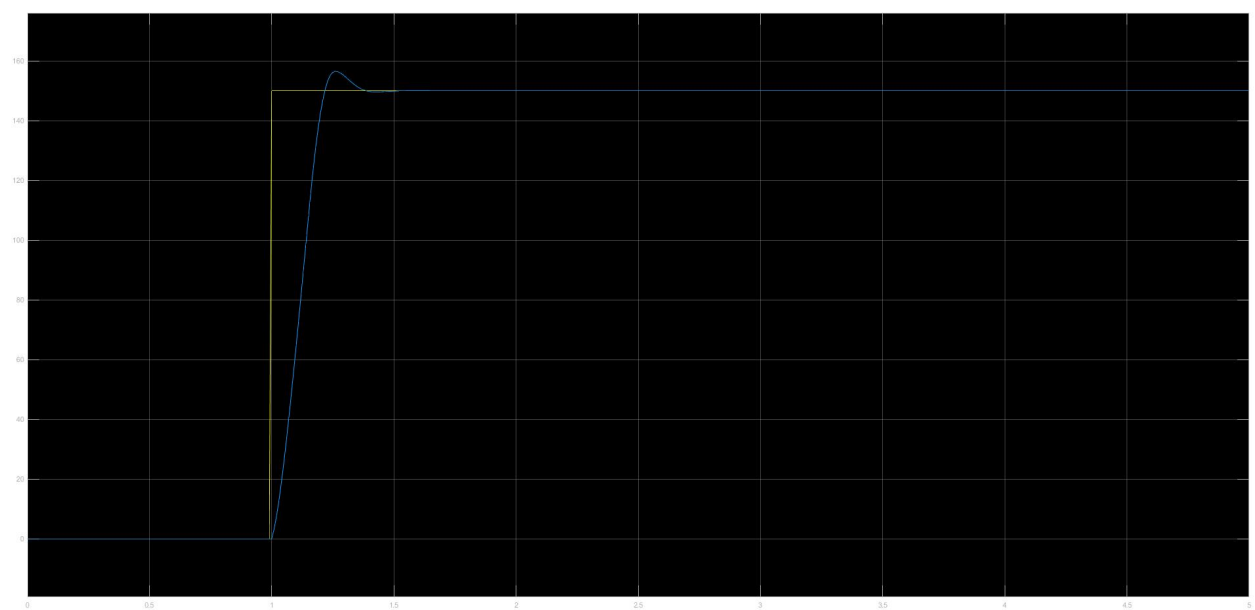
Τα παραπάνω μοντέλα, χρησιμοποιούνται τόσο στον έλεγχο ορθής λειτουργίας του συστήματος και ικανοποίησης των ζητούμενων προδιαγραφών με βηματική είσοδο, όσο και στα σενάρια 1 και 2, ενώ στο σενάριο 3 χρησιμοποιείται προφανώς ο ασαφής ελεγκτής, αλλά το σχήμα ελέγχου διαφέρει από το παραπάνω λόγω της ύπαρξης της διαταραχής. Ο λόγος που στο αρχείο `control_model_case_1_2.slx` χρησιμοποιούνται τρία πανομοιότυπα μοντέλα, είναι γιατί έχουμε τρεις διαφορετικές εισόδους κάθε φορά, και θέλουμε να είναι εύκολη η ρύθμιση των κερδών του κάθε ελεγκτή σε κάθε περίπτωση για τις αντίστοιχες δοκιμές.

## **Έλεγχος ορθής λειτουργίας του συστήματος και ικανοποίησης των προδιαγραφών με βηματική είσοδο**

Εκτελούμε στη συνέχεια την προσομοίωση του συστήματος για βηματική είσοδο με τα εξής χαρακτηριστικά:  $\text{step time} = 1$ ,  $\text{initial value} = 0$ ,  $\text{final value} = 150$  και  $\text{sample time} = 0.01$ , καθώς θέλουμε το σήμα αναφοράς να κινείται στο διάστημα  $[0, 150]$ . Με τις αρχικές τιμές των κερδών που χρησιμοποιούνται στο παράδειγμα 9.9.1, το σύστημα δεν πληρεί τις ζητούμενες προδιαγραφές, και συγκεκριμένα ο χρόνος ανόδου ξεπερνάει τη ζητούμενη μέγιστη τιμή που θέλουμε να λαμβάνει κατά περίπου 100 msec.

Προχωρούμε λοιπόν σε περαιτέρω δοκιμές για διαφορετικές τιμές των κερδών του ελεγκτή, και συγκεκριμένα βρέθηκε πως την πιο ουσιαστική επιρροή στην έξοδο και στις τιμές των μεγεθών που αφορούν τις ζητούμενες προδιαγραφές, έχει η ρύθμιση των κερδών  $a$  και  $K$ . Όσον αφορά το κέρδους  $a$ , βρέθηκε πως με τη μείωση της τιμής του πετυχαίνουμε καλύτερο χρόνο ανόδου στο σύστημα, αλλά παράλληλα αυξάνεται και η υπερύψωση. Ταυτόχρονα, βρέθηκε πως μεγαλώνοντας την τιμή του κέρδους  $K$ , βελτιώνεται ακόμα περισσότερο ο χρόνος ανόδου, ενώ μειώνοντας τη, βελτιώνεται η τιμή της υπερύψωσης.

Μετά από πολλές δοκιμές διαφόρων συνδυασμών των τιμών, πετύχαμε την τήρηση των ζητούμενων προδιαγραφών για τις εξής τιμές των δύο κερδών:  $a = 0.03$  και  $K = 20$ . Συγκεκριμένα, το σύστημα πετυχαίνει χρόνο ανόδου ίσο με 151.251 ms, και υπερύψωση 4,737%, και τα δύο εντός των ζητούμενων προδιαγραφών. Στο διάγραμμα απόκρισης και διέγερσης του συστήματος που ακολουθεί παρακάτω, φαίνεται επίσης πως τηρείται και η προδιαγραφή που αφορά την τάση τροφοδοσίας, καθώς και αυτή του μηδενικού σφάλματος θέσης, εφόσον η έξοδος ακολουθεί πιστά το σήμα αναφοράς. Επίσης, παρατίθενται και οι μετρικές της εκτέλεσης.



Trace Selection

Transfer Fcn

Signal Statistics

	Value	Time
Max	1.565e+02	1.260
Min	0.000e+00	0.000e+00
Peak to Peak	1.565e+02	
Mean	1.095e+02	
Median	1.500e+02	
RMS	1.267e+02	

Bilevel Measurements

Settings

Transitions

High	1.495e+02
Low	7.827e-01
Amplitude	1.487e+02
+ Edges	1
+ Rise Time	151.251 ms
+ Slew Rate	786.552 (/s)
- Edges	0
- Fall Time	--
- Slew Rate	--

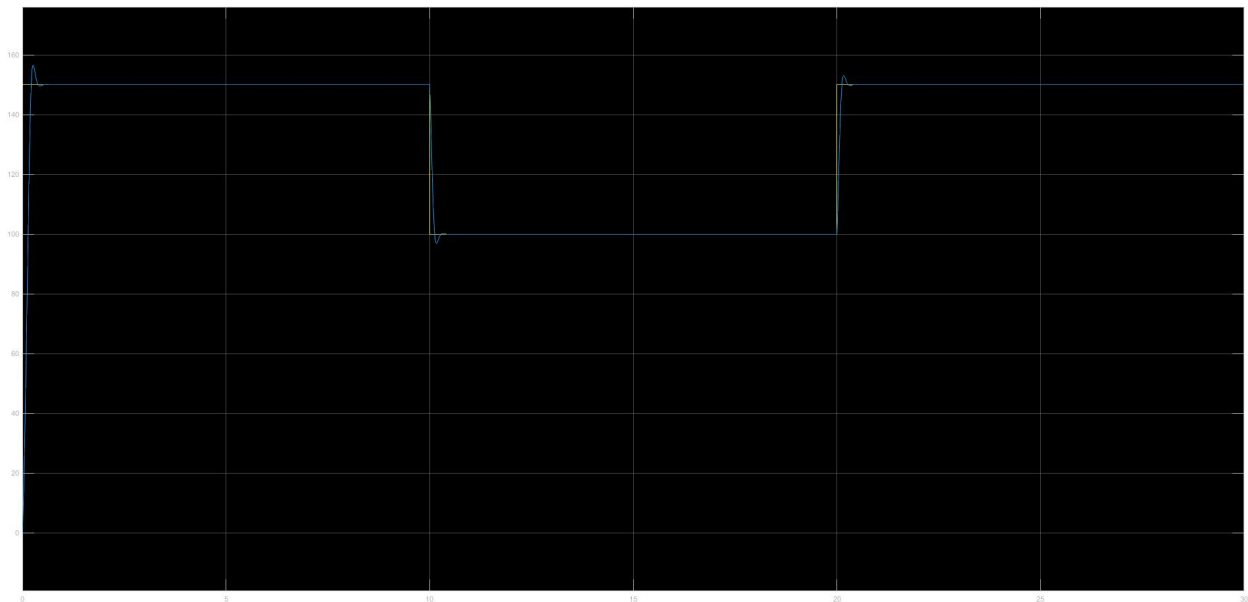
Overshoots / Undershoots

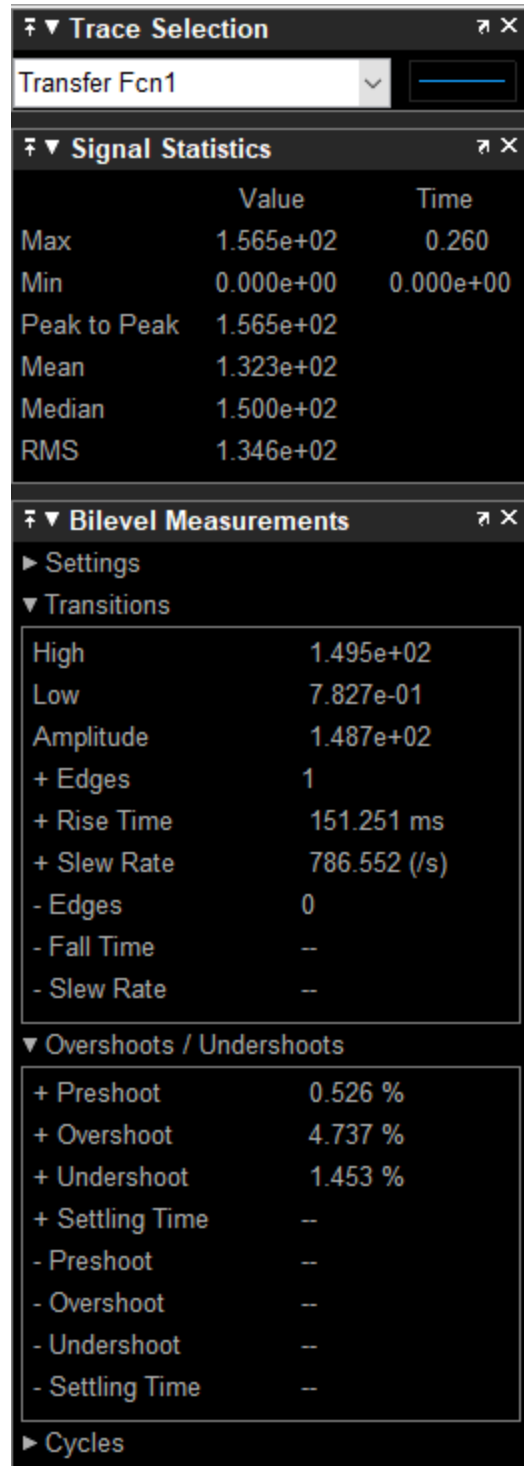
+ Preshoot	0.526 %
+ Overshoot	4.737 %
+ Undershoot	1.453 %
+ Settling Time	--
- Preshoot	--
- Overshoot	--
- Undershoot	--
- Settling Time	--

Cycles

## Σενάριο 1

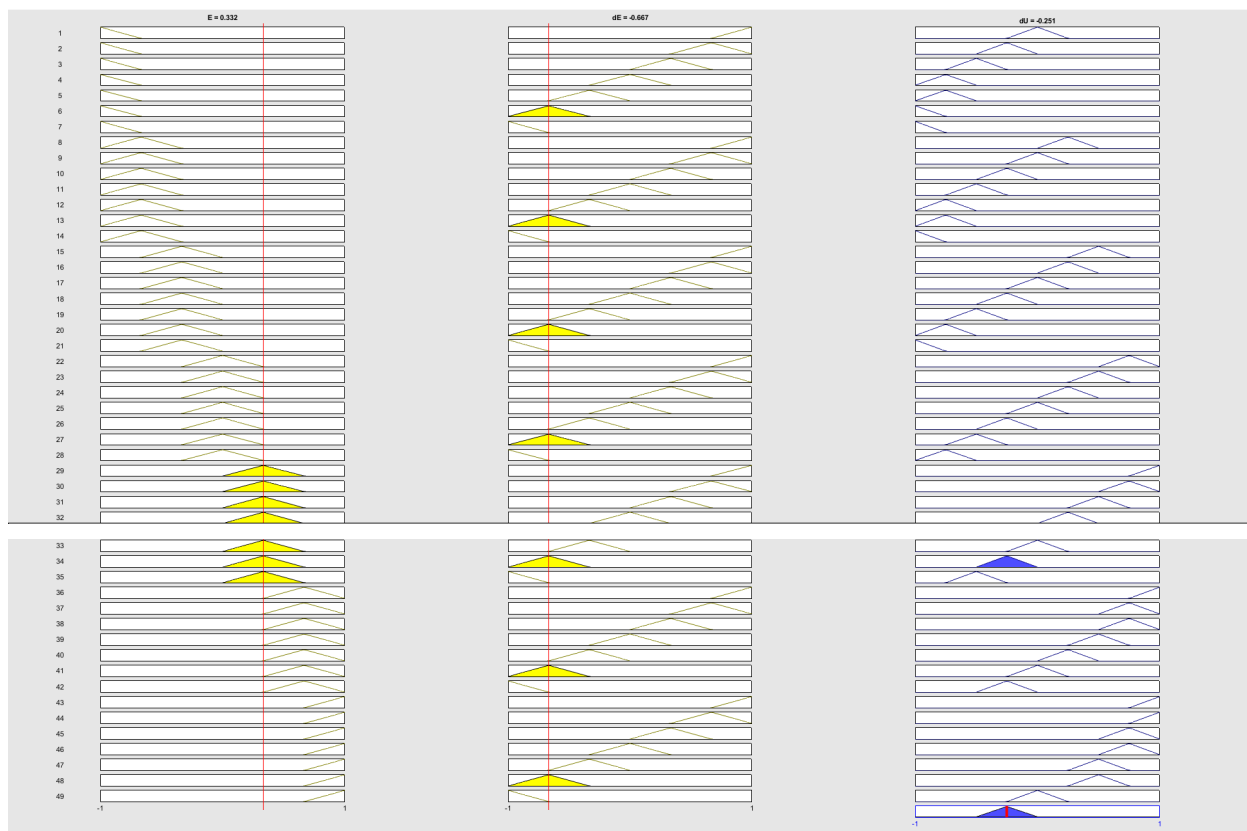
Στο πρώτο σενάριο που ζητείται να εξετάσουμε, υλοποιείται σε πρώτη φάση στο simulink του MATLAB, το σήμα αναφοράς που περιγράφεται στο σχήμα 3 της εκφώνησης. Λαμβάνοντας υπόψη τις δοκιμές που κάναμε στο σύστημα για βηματική είσοδο στο προηγούμενο βήμα της εργασίας και περιγράφονται αναλυτικά παραπάνω, εκτελούμε την προσομοίωση με τις τιμές των κερδών που επιλέξαμε προηγουμένως ( $a = 0.03$  και  $K = 20$ ), με είσοδο αυτή τη φορά το ζητούμενο σήμα αναφοράς. Παρατηρούμε πως και σε αυτή την περίπτωση, πετυχαίνουμε πανομοιότυπες τιμές στις μετρικές του συστήματος, και παραμένουμε εντός όλων των ζητούμενων προδιαγραφών. Παρατίθεται και σε αυτή την περίπτωση το διάγραμμα απόκρισης και διέγερσης του συστήματος, καθώς και οι μετρικές της εκτέλεσης.







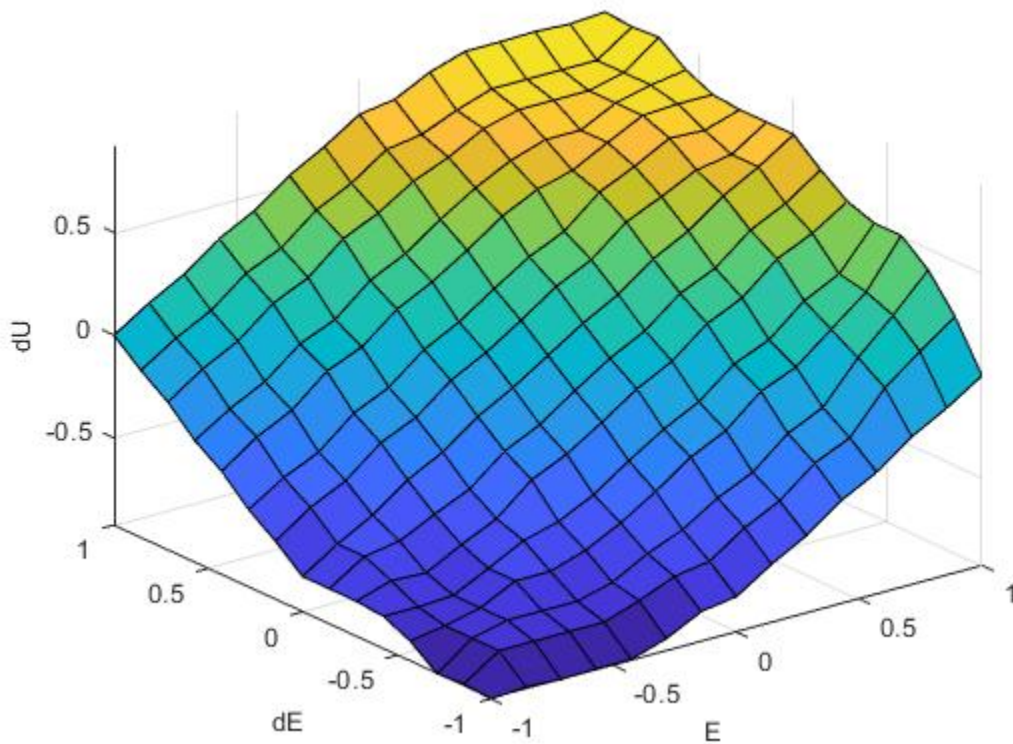
Στο σημείο αυτό ζητείται επίσης να ελεγχθεί γραφικά, με βάση τη βάση των κανόνων που υλοποιήθηκε, ποιοί κανόνες διεγείρονται στην περίπτωση μιας διέγερσης όπου E is PS και dE is NM. Οι κανόνες που διεγείρονται αναπαρίστανται γραφικά στο περιβάλλον Rule Viewer του MATLAB και παρατίθενται παρακάτω.



Εφόσον E is PS, αυτό σημαίνει ότι η έξοδος του συστήματος είναι λίγο πιο κάτω από το σήμα αναφοράς. Ταυτόχρονα, dE is NM, που σημαίνει ότι η έξοδος ανεβαίνει με μέτριο ρυθμό. Συνεπώς, το σήμα ελέγχου θα πρέπει να μειωθεί σε μικρό βαθμό, ώστε η έξοδος να προσεγγίσει το σήμα αναφοράς. Έτσι, βλέπουμε να διεγείρεται και να κυριαρχεί ο αντίστοιχος κανόνας, ο οποίος δίνει στη μεταβλητή της μεταβολής του σήματος ελέγχου dU τη λεκτική τιμή NS.

Η τεχνική από-ασαφοποίησης που μας αντιστοιχεί είναι η COS (Center of Sums), γεγονός που καθιστά επίσης σαφές το παραπάνω γράφημα. Εκτελώντας την εντολή `evalfis` για επιβεβαίωση για τις τιμές των εισόδων που φαίνονται στο παραπάνω γράφημα, παίρνουμε output ίσο με -0.2523.

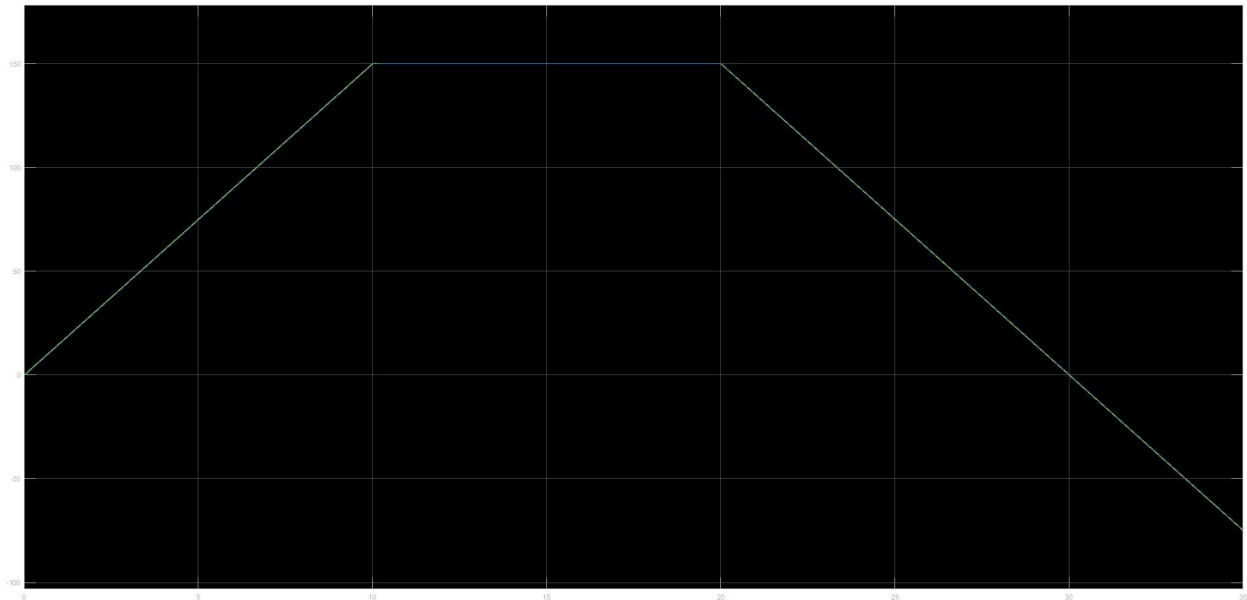
Ζητείται επίσης η τρισδιάστατη επιφάνεια της εξόδου ( $dU$ ) του ασαφούς ελεγκτή, σε σχέση με τις εισόδους του ( $E$  και  $dE$ ), η οποία παρατίθεται παρακάτω.

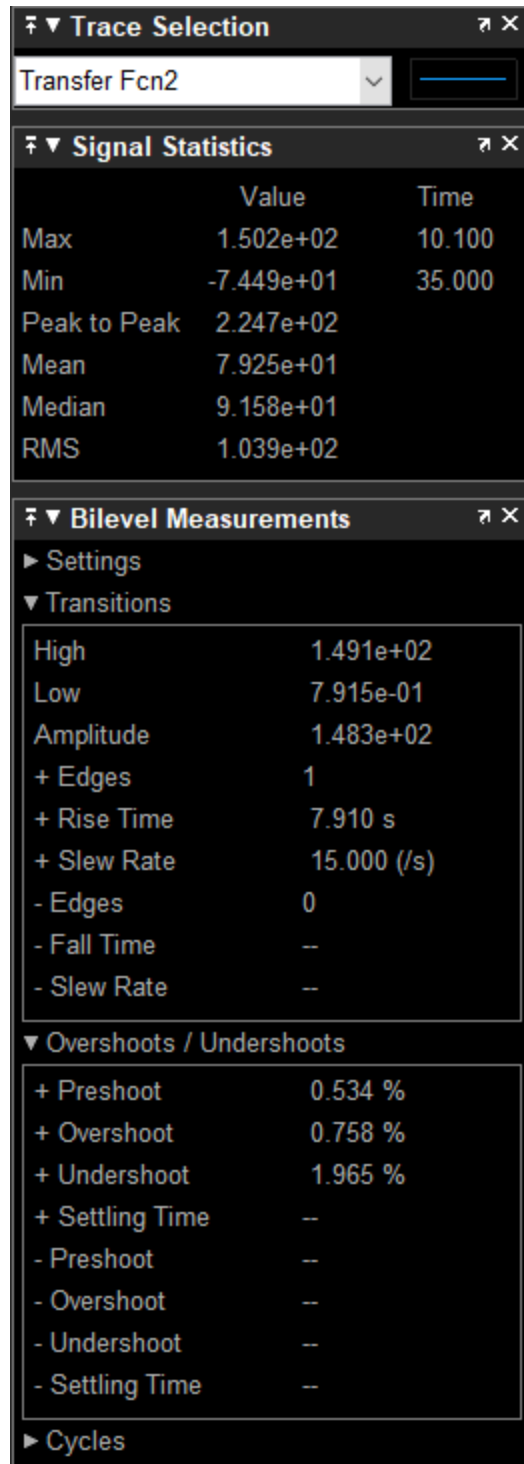


Δεδομένης της λογικής και των βημάτων που ακολουθήσαμε κατά την υλοποίηση της βάσης των κανόνων και της τελικής δομής αυτής, η επιφάνεια έχει τη μορφή που θα περιμέναμε.

## Σενάριο 2

Όπως και στο σενάριο 1, υλοποιείται σε πρώτη φάση στο simulink του MATLAB, το σήμα αναφοράς που περιγράφεται στο σχήμα 4 της εκφώνησης. Λαμβάνοντας υπόψη τις δοκιμές που κάναμε στο σύστημα για βηματική είσοδο και στο σενάριο 1 στα προηγούμενα βήματα της εργασίας, τα οποία περιγράφονται αναλυτικά παραπάνω, και μετά από αντίστοιχες δοκιμές στην προκειμένη περίπτωση ρυθμίζοντας πάλι τα κέρδη  $a$  και  $K$ , βρέθηκε πως δύο κατάλληλες τιμές για τα εν λόγω κέρδη, ώστε αφενός στην απόκριση να έχουμε πολύ μικρό σφάλμα μόνιμης κατάστασης και αυτή να ακολουθεί πιστά τη μορφή επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, και αφετέρου σχεδόν μηδενική υπερύψωση (0.758% συγκεκριμένα), είναι οι 0.02 και 12 αντιστοίχως. Παρατίθενται παρακάτω το διάγραμμα απόκρισης και διέγερσης του συστήματος, καθώς και οι μετρικές της εκτέλεσης.

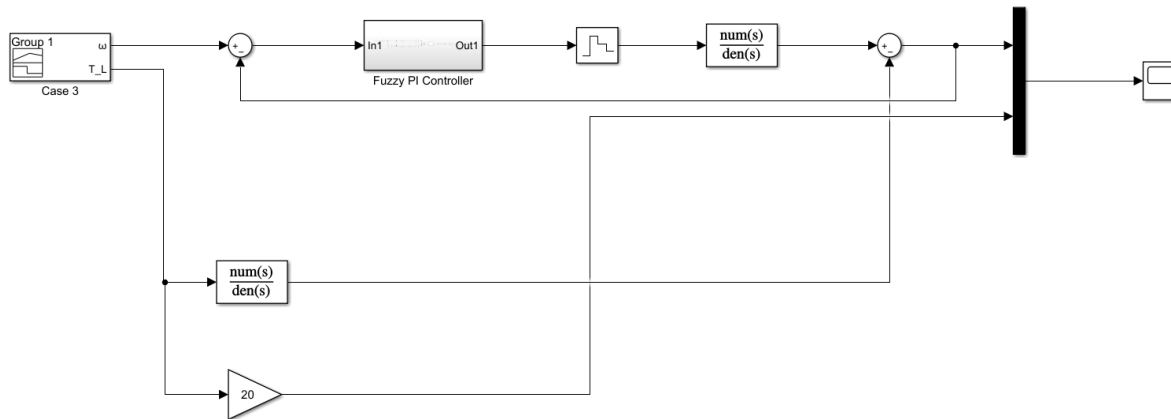




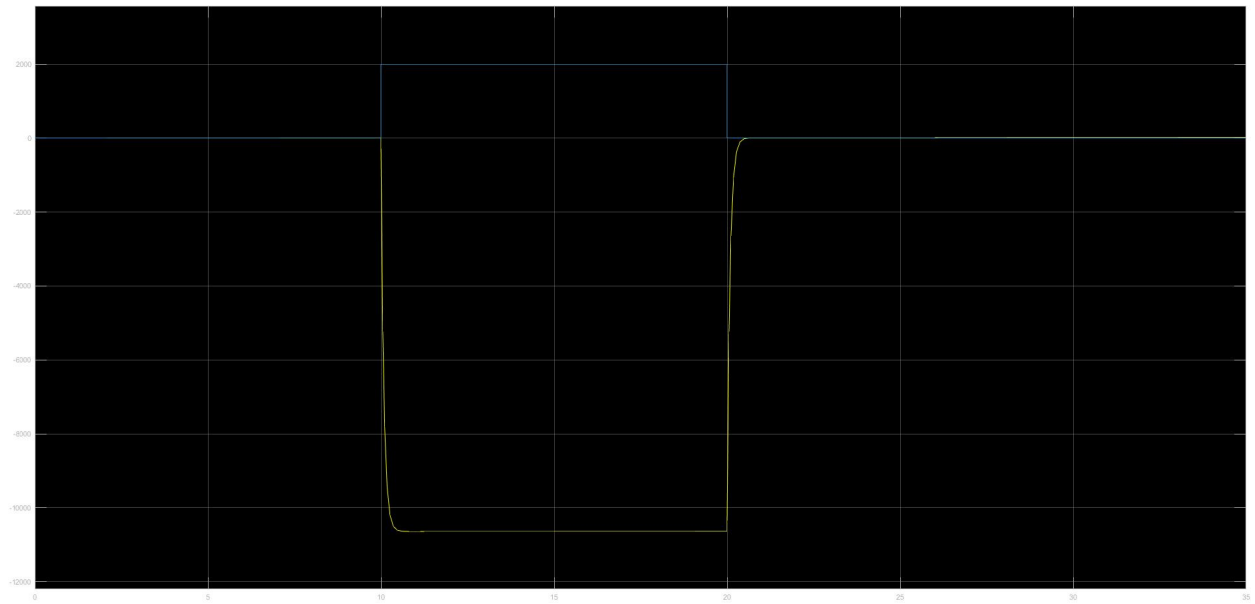
### Σενάριο 3

Στο σενάριο 3, καθώς πλέον έχουμε διαταραχή στο σύστημά μας, υλοποιείται σε πρώτη φάση στο περιβάλλον simulink του MATLAB ένα νέο μοντέλο το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε για τον έλεγχο της απόρριψης διαταραχών. Στη συνέχεια, υλοποιείται όπως και στα προηγούμενα δύο σενάρια, το σήμα αναφοράς και η διαταραχή που αναπαρίστανται στο σχήμα 5, και που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι του συστήματος.

Το εν λόγω μοντέλο αποθηκεύεται στο αρχείο control\_model\_case\_3.slx, και παρατίθεται ενδεικτικά παρακάτω.



Στην συγκεκριμένη περίπτωση, προέκυψαν δυσκολίες κατά την αναπροσαρμογή του συστήματος στην κανονική τιμή λειτουργίας, αφού αυτό έχει απορροφήσει τις διαταραχές. Συγκεκριμένα, παρατηρούνταν μια μη αμελητέα απόκλιση μεταξύ της απόκρισης και του σήματος αναφοράς μετά την απορρόφηση της διαταραχής, καθώς η απόκριση δεν ακολουθούσε ακριβώς το σήμα αναφοράς, αλλά κινούνταν εν παραλλήλω έχοντας μια μικρή απόσταση. Μετά από πολλαπλές δοκιμές στις τιμές των κερδών  $a$  και  $K$ , πετύχαμε την ορθή αναπροσαρμογή της λειτουργίας του συστήματος μετά την απορρόφηση της διαταραχής, για  $a = 0.5$  (πολύ μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με τις μέχρι τώρα δοκιμές) και  $K = 1$  (πολύ μικρότερη τιμή αντιστοίχως). Παρατίθενται παρακάτω το διάγραμμα απόκρισης και διέγερσης του συστήματος, καθώς και οι μετρικές της εκτέλεσης.



Παρατηρούμε στο διάγραμμα πως οι στροφές πράγματι κατά την εμφάνιση της διαταραχής παρουσιάζουν μια μικρή βύθιση, και εν συνεχεία επανέρχονται στην κανονική τιμή λειτουργίας του συστήματος.

