



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης
για διάφορα λειτουργικά σενάρια**



**Φοιτητής: Αργυρίου Άγγελος
ΑΜ: 212017044**

**Επιβλέπον Καθηγητής
Παντελής Β. Μαλατέστας
Καθηγητής**

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

Modelling and dynamic analysis of a DC generator with parallel excitation under different operational scenarios



Student: Aggelos Argyriou
Registration Number: 212017044

Supervisor
Pantelis B. Malatestas
Professor

ATHENS-EGALEO, JULY 2023

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Παντελής Μαλατέστας, καθηγητής	Πέτρος Καραϊσάς, αναπληρωτής καθηγητής	Ηρακλής Βυλλιώτης, λέκτορας εφαρμογών
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Άγγελος Αργυρίου,
Μήνας, Έτος**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Άγγελος Αργυρίου του Μάριου, με αριθμό μητρώου 212017044 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι 3/7/2023 και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών

(Υπογραφή φοιτητή)

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
Αφιερώνω αυτήν την εργασία στην οικογένειά μου, στους φίλους μου και στην γενέτειρα του παγκοσμίου πολιτισμού, μητέρα Ελλάδα, στην οποία έχω την τιμή να μορφώνομαι στον τομέα των θετικών επιστημών, ώστε να προσφέρω εις αυτήν.

Ευχαριστώ:

- τον καθηγητή, κ. Μαλατέστα Παντελή Β., για την προθυμία του, την συνεργατικότητα του, την πλούσια βιβλιογραφία του-που αποτέλεσε βάση αυτής της εργασίας-και την συνολική συμβολή του σε αυτή την εργασία.
- τον λέκτορα εφαρμογών, κ. Βυλλιώτη Ηρακλή Αθ., για την ανιδιοτελή βοήθειά του στην διεξαγωγή των εργαστηριακών πειραμάτων, τα οποία ήταν αναγκαία για την υλοποίηση αυτής της εργασίας.
- το προσωπικό του εργαστηρίου ηλεκτρικών μηχανών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής (αίθουσα Β124, Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα) για την παροχή εργαστηριακού υλικού.
- τον συμφοιτητή και φίλο, Γλέζο Γεώργιο, για την παροχή βιβλιογραφικού υλικού και για την συνολική του συμβολή και στήριξη κατά την διάρκεια των σπουδών μου.
- τον συμφοιτητή και φίλο, Θεοδοσιάδη Νικόλαο, για την παροχή του προγράμματος προσομοίωσης και για την συνολική του συμβολή και στήριξη κατά την διάρκεια των σπουδών μου.
- τον απόφοιτο του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, υποψήφιο διδάκτορα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και φίλο, Τσουρδίνη Θεόδωρο, για την συνολική του συμβολή και στήριξη πριν και κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Ένας μεγάλος κλάδος της επιστήμης των ηλεκτρικών μηχανών είναι οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος (ΣΡ). Είναι οι διατάξεις εκείνες οι οποίες μπορούν να μετατρέψουν μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική υπό την μορφή συνεχούς τάσης και συνεχούς ρεύματος. Ο μηχανισμός τους αυτός, της λεγόμενης ηλεκτρομηχανικής μετατροπής ενέργειας, βασίζεται στην συνύπαρξη δύο ταυτόχρονων φαινομένων του ηλεκτρομαγνητισμού: του φαινομένου της δημιουργίας μαγνητικού πεδίου από ρευματοφόρους αγωγούς και του φαινομένου της δημιουργίας εξ επαγωγής τάσης στα άκρα αγωγού εξαιτίας της περιστροφής του μέσα σε σταθερό μαγνητικό πεδίο. Αυτά τα δύο φαινόμενα εκτυλίσσονται σε μία γεννήτρια εξαιτίας δύο βασικών τυλιγμάτων της: του τυλίγματος διέγερσης και του τυλίγματος τυμπάνου. Το πρώτο χρησιμοποιείται για την δημιουργία του μαγνητικού πεδίου στο διάκενο της γεννήτριας, ενώ το δεύτερο για την δημιουργία τάσης και κατ'επέκταση ρεύματος, άρα και ισχύος. Η ροή αυτής της ισχύος αποτελείται από διάφορα στάδια στα οποία εμφανίζονται απώλειες (ηλεκτρικές, μηχανικές κ.τ.λ.). Οι απώλειες αυτές δεν είναι ποτέ μηδενικές, άρα η ηλεκτρική ισχύς μίας γεννήτριας θα είναι πάντα μικρότερη από την μηχανική ισχύ. Ο βαθμός απόδοσης των γεννητριών ΣΡ κυμαίνεται από 85% έως 95%, κάτι το οποίο αποδुकνύεται σε αυτή την εργασία τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά. Εκτός από την ισχύ μίας γεννήτριας, εξίσου σημαντικό ενδιαφέρον εμφανίζουν μία σειρά από ηλεκτρικά και μηχανικά μεγέθη, όπως οι στροφές, το ρεύμα τυμπάνου, η ηλεκτρομαγνητική ροπή κ.ά., τα οποία υποδηλώνουν αριθμητικά την συμπεριφορά της σε διάφορες μεταβολές στις οποίες υπόκειται. Αυτές οι μεταβολές μπορούν να παρατηρηθούν είτε πειραματικά σε ένα εργαστηριακό περιβάλλον είτε μέσω προσομοίωσης σε Η/Υ. Η δεύτερη περίπτωση, η οποία αποτελεί αντικείμενο αυτής της εργασίας, απαιτεί θεωρητική κυκλωματική και συστημική ανάλυση, πειραματική μέτρηση χαρακτηριστικών μεγεθών και συνολικά μοντελοποίηση της γεννήτριας. Η μοντελοποίηση αυτή βασίζεται σε νόμους της ηλεκτροτεχνίας, της κλασσικής μηχανικής και του ηλεκτρομαγνητισμού, αλλά και σε βασικές αρχές συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Αφού γίνει αυτή η μοντελοποίηση της γεννήτριας, το σύστημα, πλέον, της γεννήτριας μπορεί να προσομοιωθεί σε κατάλληλο πρόγραμμα και να παρατηρηθούν οι μεταβολές όλων των ηλεκτρικών και μηχανικών μεγεθών της. Να γίνει, δηλαδή, δυναμική ανάλυση. Αυτά τα μεγέθη πρέπει να έχουν κάποιες αρχικές τιμές, οι οποίες να αποτελούν τις αρχικές συνθήκες της γεννήτριας. Αφού γίνει αυτό, μπορούν προγραμματιστικά να υπεισέλθουν σε μεταβατικά φαινόμενα και να αποκτήσουν τελικές τιμές, οι οποίες αποτελούν τις τιμές μόνιμης κατάστασης. Σε αυτό το πλαίσιο μπορούν να πραγματοποιηθούν διάφορα λειτουργικά σενάρια, με μεταβολές διαφορετικών εισόδων του συστήματος κάθε φορά, να παρατηρηθούν αυτά τα μεταβατικά φαινόμενα, να επαληθευθούν θεωρητικά οι τιμές μόνιμης κατάστασης και να προκύψουν συμπεράσματα για την συμπεριφορά της γεννήτριας.

Λέξεις – κλειδιά

Ηλεκτρικές μηχανές, γεννήτριες, γεννήτρια ΣΡ παράλληλης διέγερσης, μοντελοποίηση, δυναμική ανάλυση, προσομοίωση.

Abstract

A major branch of electric machine science is the direct current (DC) generators. They are those devices that can convert mechanical energy into electrical energy in the form of direct voltage and direct current. Their mechanism, the so-called electromechanical energy conversion, is based on the coexistence of two simultaneous phenomena of electromagnetism: the phenomenon of the creation of a magnetic field by current-carrying conductors and the phenomenon of the creation of induced voltage at the ends of the conductor due to its rotation in a constant magnetic field. These two phenomena unfold in a generator because of its two main windings: the excitation winding and the armature winding. The first one is used to create the magnetic field in the gap of the generator, while the second one is used to create voltage and current and therefore power. The flow of this power consists of several stages in which losses occur (electrical, mechanical, etc.). These losses are never equal to zero, so the electrical power of a generator will always be less than the mechanical power. The efficiency of DC generators ranges from 85% to 95%, which is proven in this thesis both theoretically and experimentally. In addition to the power of a generator, a series of electrical and mechanical quantities are of equal interest, such as speed, armature current, electromagnetic torque, etc., which numerically indicate its behavior in various changes of their instantaneous value. These changes can be observed either experimentally in a laboratory or through computer simulation. The second case, which is the subject of this thesis, requires theoretical circuit and system analysis, experimental measurement of characteristic quantities and overall modelling of the generator. This modelling is based on laws of electrical engineering, classical mechanics and electromagnetism, but also on basic principles of automatic control systems. After this modelling of the generator, the generator system can now be simulated in a suitable program and the changes of all its electrical and mechanical quantities can be observed. In other words, a dynamic analysis can be conducted. These quantities must have some initial values, which constitute the initial conditions of the generator. Once this is done, they can programmatically enter transients and acquire final values, which are the steady state values. In this context, various operational scenarios can be carried out, with changes of different inputs of the system each time, these transient phenomena can be observed, the steady state values can be theoretically verified and conclusions can be drawn about the behavior of the generator.

Keywords

Electric machines, generators, DC generator with parallel excitation, modelling, dynamic analysis, simulation.

Κατάλογος Πινάκων	11
Κατάλογος Εικόνων.....	12
Αλφαβητικό Ευρετήριο	22
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	23
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	23
Σκοπός και στόχοι.....	23
Μεθοδολογία	23
Καινοτομία.....	23
Δομή	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Θεωρητικό μέρος	25
1.1 Ηλεκτρική μηχανή	25
1.1.1 Μέρη μίας ηλεκτρικής μηχανής ΣΡ	26
1.1.2 Παράμετροι μίας ηλεκτρικής μηχανής ΣΡ.....	29
1.1.3 Μέθοδοι διέγερσης μίας ηλεκτρικής μηχανής ΣΡ.....	30
1.1.4 Γεννήτρια ΣΡ	31
1.1.5 Απώλειες μίας γεννήτριας ΣΡ	32
1.1.6 Εξισώσεις γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης	34
1.1.7 Εξισώσεις γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης στην μόνιμη κατάσταση	36
1.1.8 Ισοδύναμο σύστημα γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης	38
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : Πειραματικό μέρος	40
2.1 Το υπό μελέτη σύστημα	40
2.2 Μετρήσεις και επεξεργασία μετρήσεων	42
2.2.1 Ωμική αντίσταση τυμπάνου.....	42
2.2.2 Ωμική αντίσταση διέγερσης	45
2.2.3 Αυτεπαγωγή τυμπάνου.....	47
2.2.4 Αυτεπαγωγή διέγερσης	50
2.2.5 Αλληλεπαγωγή τυμπάνου και διέγερσης.....	52
2.2.6 Σταθερά απόσβεσης	55
2.2.7 Ροπή αδράνειας.....	60
2.2.8 Τιμές αρχικών συνθηκών	64
2.3 Προσομοίωση του συστήματος.....	65
2.3.1 Λειτουργικό σενάριο 1 ^ο : Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω	66
2.3.2 Επαλήθευση τιμών 1 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου	70
2.3.3 Σχολιασμός 1 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου	71
2.3.4 Λειτουργικό σενάριο 2 ^ο : Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω	72
2.3.5 Επαλήθευση τιμών 2 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου	77
2.3.6 Σχολιασμός 2 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου	77
2.3.7 Λειτουργικό σενάριο 3 ^ο : Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω	77
2.3.8 Επαλήθευση τιμών 3 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου	82
2.3.9 Σχολιασμός 3 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου	82
2.3.10 Λειτουργικό σενάριο 4 ^ο : Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω	83
2.3.11 Επαλήθευση τιμών 4 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου	88
2.3.12 Σχολιασμός 4 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου	89
2.3.13 Λειτουργικό σενάριο 5 ^ο : Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.....	89
2.3.14 Επαλήθευση τιμών 5 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου	93
2.3.15 Σχολιασμός 5 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου	94
2.3.16 Λειτουργικό σενάριο 6 ^ο : Βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής	94
2.3.17 Επαλήθευση τιμών 6 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου	98
2.3.18 Σχολιασμός 6 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου	99
2.3.19 Λειτουργικό σενάριο 7 ^ο : Βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής	100
2.3.20 Επαλήθευση τιμών 7 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου	104
2.3.21 Σχολιασμός 7 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου	105

<i>Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια</i>	
2.3.22	Λειτουργικό σενάριο 8 ^ο : Βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής105
2.3.23	Επαλήθευση τιμών 8 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου109
2.3.24	Σχολιασμός 8 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου110
2.3.25	Λειτουργικό σενάριο 9 ^ο : Βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής110
2.3.26	Επαλήθευση τιμών 9 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου114
2.3.27	Σχολιασμός 9 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου115
2.3.28	Λειτουργικό σενάριο 10 ^ο : Βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής116
2.3.29	Επαλήθευση τιμών 10 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....120
2.3.30	Σχολιασμός 10 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....121
2.3.31	Λειτουργικό σενάριο 11 ^ο : Βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής121
2.3.32	Επαλήθευση τιμών 11 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....125
2.3.33	Σχολιασμός 11 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....126
2.3.34	Λειτουργικό σενάριο 12 ^ο : Βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης126
2.3.35	Επαλήθευση τιμών 12 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....130
2.3.36	Σχολιασμός 12 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....131
2.3.37	Λειτουργικό σενάριο 13 ^ο : Βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....132
2.3.38	Επαλήθευση τιμών 13 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....136
2.3.39	Σχολιασμός 13 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....137
2.3.40	Λειτουργικό σενάριο 14 ^ο : Βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....137
2.3.41	Επαλήθευση τιμών 14 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....141
2.3.42	Σχολιασμός 14 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....142
2.3.43	Λειτουργικό σενάριο 15 ^ο : Βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....142
2.3.44	Επαλήθευση τιμών 15 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....146
2.3.45	Σχολιασμός 15 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....147
2.3.46	Λειτουργικό σενάριο 16 ^ο : Βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....147
2.3.47	Επαλήθευση τιμών 16 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....151
2.3.48	Σχολιασμός 16 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....152
2.3.49	Λειτουργικό σενάριο 17 ^ο : Μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου152
2.3.50	Επαλήθευση τιμών 17 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....157
2.3.51	Σχολιασμός 17 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....158
2.3.52	Λειτουργικό σενάριο 18 ^ο : Μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης159
2.3.53	Επαλήθευση τιμών 18 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....164
2.3.54	Σχολιασμός 17 ^{ου} λειτουργικού σεναρίου.....165
2.3.55	Σχολιασμός αποτελεσμάτων λειτουργικών σεναρίων.....166
3	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....167
	Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές.....168

Πίνακας 2.1 Ονομαστικές τιμές χαρακτηριστικών μεγεθών του MOD.4160 της italtel.	41
Πίνακας 2.2 Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της ωμικής αντίστασης τυμπάνου.....	43
Πίνακας 2.3 Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της ωμικής αντίστασης διέγερσης.	45
Πίνακας 2.4 Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της αυτεπαγωγής τυμπάνου.....	48
Πίνακας 2.5 Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της αυτεπαγωγής διέγερσης.	50
Πίνακας 2.6 Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης.	54
Πίνακας 2.7 Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της σταθεράς απόσβεσης.....	57
Πίνακας 2.8 Τιμές αρχικών συνθηκών.	65
Πίνακας 2.9 Τιμές μεγεθών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω.	70
Πίνακας 2.10 Τιμές μεγεθών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.	77
Πίνακας 2.11 Τιμές μεγεθών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.	82
Πίνακας 2.12 Τιμές μεγεθών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.	88
Πίνακας 2.13 Τιμές μεγεθών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.	93
Πίνακας 2.14 Τιμές μεγεθών για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.....	98
Πίνακας 2.15 Τιμές μεγεθών για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.....	104
Πίνακας 2.16 Τιμές μεγεθών για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.....	109
Πίνακας 2.17 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.	114
Πίνακας 2.18 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.	120
Πίνακας 2.19 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.	125
Πίνακας 2.20 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	130
Πίνακας 2.21 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	136
Πίνακας 2.22 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	141
Πίνακας 2.23 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	146
Πίνακας 2.24 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	151
Πίνακας 2.25 Τιμές μεγεθών για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.	157

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 Σχηματική αναπαράσταση της ηλεκτρομηχανικής σύζευξης μίας ηλεκτρικής μηχανής.	25
Εικόνα 1.2 Ηλεκτρικές μηχανές ΣΡ διαφόρων ειδών και μεγεθών. (Πηγή: ABB)	26
Εικόνα 1.3 Ο στάτης και ο δρομέας μίας ηλεκτρικής μηχανής ΣΡ. (Πηγή: iStock 2022).....	26
Εικόνα 1.4 Τα μέρη του στάτη μίας ηλεκτρικής μηχανής ΣΡ. (Πηγή: eClass 2021)	27
Εικόνα 1.5 Τα μέρη του δρομέα μίας ηλεκτρικής μηχανής ΣΡ. (Πηγή: eClass 2021)	28
Εικόνα 1.6 Ισοδύναμα κυκλώματα των ειδών διέγερσης μίας ηλεκτρικής μηχανής ΣΡ.	30
Εικόνα 1.7 Σχηματική αναπαράσταση πρόσοψης μίας διπολικής γεννήτριας ΣΡ μαζί με τα στοιχεία που την συνοδεύουν.....	31
Εικόνα 1.8 Σχηματική αναπαράσταση της ροής ισχύος σε μία γεννήτρια ΣΡ.	32
Εικόνα 1.9 Ισοδύναμο κύκλωμα γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης υπό φορτίο μαζί με αντίστοιχα ηλεκτρικά μεγέθη που την συνοδεύουν.	34
Εικόνα 1.10 Ισοδύναμο κύκλωμα στην μόνιμη κατάσταση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης υπό φορτίο μαζί με αντίστοιχα ηλεκτρικά μεγέθη που την συνοδεύουν.....	36
Εικόνα 1.11 Διάγραμμα βαθμίδων γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης υπό φορτίο.....	39
Εικόνα 2.1 Το μοντέλο MOD.4160 της italtec. (Πηγή: italtec 2008).....	40
Εικόνα 2.2 Κύκλωμα για την μέτρηση της ωμικής αντίστασης ενός στοιχείου με βολτόμετρο και αμπερόμετρο υπό συνεχή τάση.	42
Εικόνα 2.3 Σχηματική αναπαράσταση του κιβωτίου ακροδεκτών του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί με όργανα μέτρησης για την μέτρηση της ωμικής αντίστασης τυμπάνου.....	43
Εικόνα 2.4 Σχηματική αναπαράσταση του κιβωτίου ακροδεκτών του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί με όργανα μέτρησης για την μέτρηση της ωμικής αντίστασης διέγερσης.	45
Εικόνα 2.5 Κύκλωμα για την μέτρηση της αυτεπαγωγής ενός στοιχείου με βολτόμετρο και αμπερόμετρο υπό εναλλασσόμενη τάση.....	47
Εικόνα 2.6 Σχηματική αναπαράσταση του κιβωτίου ακροδεκτών του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί με όργανα μέτρησης για την μέτρηση της αυτεπαγωγής τυμπάνου.....	48
Εικόνα 2.7 Σχηματική αναπαράσταση του κιβωτίου ακροδεκτών του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί με όργανα μέτρησης για την μέτρηση της αυτεπαγωγής διέγερσης.....	50
Εικόνα 2.8 Χαρακτηριστική καμπύλη κενού φορτίου γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης.	52

<i>Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια</i>	
Εικόνα 2.9	Σχηματική αναπαράσταση του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί με κινητήρα, μεταβλητή αντίσταση και όργανα μέτρησης για την μέτρηση της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης. .. 53
Εικόνα 2.10	Χαρακτηριστική καμπύλη κενού φορτίου του MOD.4160..... 54
Εικόνα 2.11	Χαρακτηριστική καμπύλη ροπής-στροφών γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης. .. 56
Εικόνα 2.12	Σχηματική αναπαράσταση του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί με τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος, μεταβλητή αντίσταση και όργανα μέτρησης για την μέτρηση της σταθεράς απόσβεσης..... 57
Εικόνα 2.13	Χαρακτηριστική καμπύλη ροπής-στροφών του MOD.4160..... 59
Εικόνα 2.14	Γραφική παράσταση στροφών-χρόνου κινητήρα ΣΡ παράλληλης διέγερσης κατά την διαδικασία της ελεύθερης πέδησής του, μαζί με την εφαπτομένη της στο σημείο τομής της με τον κατακόρυφο άξονα. 61
Εικόνα 2.15	Σχηματική αναπαράσταση του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί με τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος, ταχογεννήτρια, όργανα μέτρησης και παλμογράφο για την μέτρηση της ροπής αδράνειας. 62
Εικόνα 2.16	Γραφική παράσταση στροφών συναρτήσει του χρόνου του MOD.4160 κατά την διαδικασία της ελεύθερης πέδησής του, μαζί με την εφαπτομένη της στο σημείο τομής της με τον κατακόρυφο άξονα. 63
Εικόνα 2.17	Σχηματική αναπαράσταση του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί κινητήρα, με μεταβλητό ωμικό φορτίο και με όργανα μέτρησης για την μέτρηση των ηλεκτρικών μεγεθών. 64
Εικόνα 2.18	Διάγραμμα βαθμίδων γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης υπό φορτίο σχεδιασμένο στο Simulink, μαζί με επιπλέον βαθμίδες για τον υπολογισμό και την μέτρηση μεγεθών. 65
Εικόνα 2.19	Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω..... 66
Εικόνα 2.20	Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm. 67
Εικόνα 2.21	Απόκριση στροφών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω..... 67
Εικόνα 2.22	Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω..... 67
Εικόνα 2.23	Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω. 68
Εικόνα 2.24	Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω..... 68
Εικόνα 2.25	Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω..... 68
Εικόνα 2.26	Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω..... 69

<i>Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια</i>	
Εικόνα 2.27 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω.....	69
Εικόνα 2.28 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω.....	69
Εικόνα 2.29 Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.....	72
Εικόνα 2.30 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.	73
Εικόνα 2.31 Απόκριση στροφών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.....	73
Εικόνα 2.32 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.....	74
Εικόνα 2.33 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.	74
Εικόνα 2.34 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.....	74
Εικόνα 2.35 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.....	75
Εικόνα 2.36 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.....	75
Εικόνα 2.37 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.....	75
Εικόνα 2.38 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.....	76
Εικόνα 2.39 Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.....	78
Εικόνα 2.40 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.	78
Εικόνα 2.41 Απόκριση στροφών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.....	78
Εικόνα 2.42 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.....	79
Εικόνα 2.43 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.	79
Εικόνα 2.44 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.....	79
Εικόνα 2.45 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.....	80

<i>Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια</i>	
Εικόνα 2.46 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.....	80
Εικόνα 2.47 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.....	80
Εικόνα 2.48 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.....	81
Εικόνα 2.49 Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.....	84
Εικόνα 2.50 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.....	84
Εικόνα 2.51 Απόκριση στροφών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.....	84
Εικόνα 2.52 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.....	85
Εικόνα 2.53 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.....	85
Εικόνα 2.54 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.....	85
Εικόνα 2.55 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.....	86
Εικόνα 2.56 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.....	86
Εικόνα 2.57 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.....	86
Εικόνα 2.58 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.....	87
Εικόνα 2.59 Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.....	89
Εικόνα 2.60 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.....	89
Εικόνα 2.61 Απόκριση στροφών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.....	90
Εικόνα 2.62 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.....	90
Εικόνα 2.56 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.....	90
Εικόνα 2.63 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.....	91

<i>Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια</i>	
Εικόνα 2.64 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.....	91
Εικόνα 2.65 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.....	91
Εικόνα 2.66 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.....	92
Εικόνα 2.67 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.....	92
Εικόνα 2.68 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.....	94
Εικόνα 2.69 Βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής των.....	94
Εικόνα 2.70 Απόκριση στροφών για βηματική μείωση της μηχανικής ροπής των -50Nm.....	95
Εικόνα 2.71 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.....	95
Εικόνα 2.72 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.....	95
Εικόνα 2.73 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.....	96
Εικόνα 2.74 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.....	96
Εικόνα 2.75 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.	96
Εικόνα 2.76 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.	97
Εικόνα 2.77 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.	97
Εικόνα 2.78 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.....	100
Εικόνα 2.79 Βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.....	100
Εικόνα 2.80 Απόκριση στροφών για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.	100
Εικόνα 2.81 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.....	101
Εικόνα 2.82 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.....	101
Εικόνα 2.83 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.....	101
Εικόνα 2.84 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.....	102
Εικόνα 2.85 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής. ...	102
Εικόνα 2.86 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.	102
Εικόνα 2.87 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.....	103

<i>Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια</i>	
Εικόνα 2.88 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.	105
Εικόνα 2.89 Βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.....	105
Εικόνα 2.90 Απόκριση στροφών για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.	106
Εικόνα 2.91 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.....	106
Εικόνα 2.92 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.....	106
Εικόνα 2.93 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.....	107
Εικόνα 2.94 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.....	107
Εικόνα 2.95 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής. ...	107
Εικόνα 2.96 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.	108
Εικόνα 2.97 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.	108
Εικόνα 2.98 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.	110
Εικόνα 2.99 Βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.	110
Εικόνα 2.100 Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.	111
Εικόνα 2.101 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.	111
Εικόνα 2.102 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.....	111
Εικόνα 2.103 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.	112
Εικόνα 2.104 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.....	112
Εικόνα 2.105 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.	112
Εικόνα 2.106 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.	113
Εικόνα 2.107 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.	113
Εικόνα 2.108 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.	116
Εικόνα 2.109 Βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.....	116
Εικόνα 2.110 Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.	116
Εικόνα 2.111 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.	117
Εικόνα 2.112 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.....	117
Εικόνα 2.113 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.	117

<i>Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια</i>	
Εικόνα 2.114	Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.....118
Εικόνα 2.115	Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής. 118
Εικόνα 2.116	Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.118
Εικόνα 2.117	Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.119
Εικόνα 2.118	Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.121
Εικόνα 2.119	Βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.....121
Εικόνα 2.120	Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.122
Εικόνα 2.121	Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.122
Εικόνα 2.122	Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.....122
Εικόνα 2.123	Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής. 123
Εικόνα 2.124	Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.....123
Εικόνα 2.125	Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής. 123
Εικόνα 2.126	Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.124
Εικόνα 2.127	Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.124
Εικόνα 2.128	Βηματική μεταβολή +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....126
Εικόνα 2.129	Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.126
Εικόνα 2.130	Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.127
Εικόνα 2.131	Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.127
Εικόνα 2.132	Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....127
Εικόνα 2.133	Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.128
Εικόνα 2.134	Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....128
Εικόνα 2.135	Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.128
Εικόνα 2.136	Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....129

<i>Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια</i>	
Εικόνα 2.137	Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....129
Εικόνα 2.138	Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....129
Εικόνα 2.139	Βηματική μεταβολή +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....132
Εικόνα 2.140	Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.132
Εικόνα 2.141	Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.133
Εικόνα 2.142	Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.133
Εικόνα 2.143	Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....133
Εικόνα 2.144	Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.134
Εικόνα 2.145	Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....134
Εικόνα 2.146	Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.134
Εικόνα 2.147	Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....135
Εικόνα 2.148	Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....135
Εικόνα 2.149	Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....135
Εικόνα 2.150	Βηματική μεταβολή +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....137
Εικόνα 2.151	Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.137
Εικόνα 2.152	Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.138
Εικόνα 2.153	Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.138
Εικόνα 2.154	Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....138
Εικόνα 2.155	Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.139
Εικόνα 2.156	Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....139

<i>Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια</i>	
Εικόνα 2.157 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.	139
Εικόνα 2.158 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	140
Εικόνα 2.159 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	140
Εικόνα 2.160 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	140
Εικόνα 2.161 Βηματική μεταβολή +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	142
Εικόνα 2.162 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.	142
Εικόνα 2.163 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.	143
Εικόνα 2.164 Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.	143
Εικόνα 2.165 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	143
Εικόνα 2.166 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.	144
Εικόνα 2.167 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	144
Εικόνα 2.168 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.	144
Εικόνα 2.169 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	145
Εικόνα 2.170 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	145
Εικόνα 2.171 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	145
Εικόνα 2.172 Βηματική μεταβολή +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	147
Εικόνα 2.173 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.	147
Εικόνα 2.174 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.	148
Εικόνα 2.175 Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.	148
Εικόνα 2.176 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	148

<i>Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια</i>	
Εικόνα 2.177 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.	149
Εικόνα 2.178 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	149
Εικόνα 2.179 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.	149
Εικόνα 2.180 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	150
Εικόνα 2.181 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	150
Εικόνα 2.182 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	150
Εικόνα 2.183 Βηματική μεταβολή -30% της ωμικής αντίστασης τυμπάνου.....	152
Εικόνα 2.184 Βηματική μεταβολή -51% της αυτεπαγωγής τυμπάνου.....	152
Εικόνα 2.185 Βηματική μεταβολή -30% της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης.....	153
Εικόνα 2.186 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.	153
Εικόνα 2.187 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.	153
Εικόνα 2.188 Απόκριση στροφών για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.....	154
Εικόνα 2.189 Απόκριση ισχύος εισόδου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.	154
Εικόνα 2.190 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.....	154
Εικόνα 2.191 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.	155
Εικόνα 2.192 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.....	155
Εικόνα 2.193 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.	155
Εικόνα 2.194 Απόκριση τάσης φορτίου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.	156
Εικόνα 2.195 Απόκριση ισχύος εξόδου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.....	156
Εικόνα 2.196 Βηματική μεταβολή -30% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.....	159
Εικόνα 2.197 Βηματική μεταβολή -51% της αυτεπαγωγής διέγερσης.....	159
Εικόνα 2.198 Βηματική μεταβολή -30% της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης.....	160
Εικόνα 2.199 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.	160
Εικόνα 2.200 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.	160

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια

Εικόνα 2.201 Απόκριση στροφών για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.....161

Εικόνα 2.202 Απόκριση ισχύος εισόδου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.161

Εικόνα 2.203 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.....161

Εικόνα 2.204 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης. 162

Εικόνα 2.205 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.....162

Εικόνα 2.206 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης. 162

Εικόνα 2.207 Απόκριση τάσης φορτίου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.....163

Εικόνα 2.208 Απόκριση ισχύος εξόδου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.....163

Αλφαβητικό Ευρετήριο

ΣΡ: Συνεχούς Ρεύματος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η γεννήτρια ΣΡ παράλληλης διέγερσης. Με αυτήν θα ασχοληθούμε και από αυτήν περιμένουμε απαντήσεις στις ερευνητικές ερωτήσεις μας. Πρέπει, λοιπόν, να την γνωρίσουμε εις βάθος και αυτό συνεπάγεται να αναλύσουμε τα στοιχεία που την αποτελούν και να την χρησιμοποιήσουμε ως εργαλείο για να επιτελέσουμε τον σκοπό μας. Για όλα αυτά απαιτείται ένα θεωρητικό υπόβαθρο, δηλαδή κάποιες γενικές γνώσεις διαφόρων τομέων της επιστήμης, όπως τα μαθηματικά, η φυσική, η ηλεκτροτεχνία κ.τ.λ., αλλά και περιαματικές διαδικασίες, όπως εργαστηριακές μετρήσεις κ.τ.λ. Δομώντας κατάλληλα αυτή την εργασία, θα φροντίσουμε να καταστήσουμε αυτές τις απαιτήσεις όπλο του αναγνώστη, με σκοπό να είναι ικανός να κατανοήσει πλήρως το αντικείμενο της εργασίας και το αποτέλεσμα που αυτή καλείται να επιφέρει.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Το κύριο θέμα αυτής της εργασίας είναι η μοντελοποίηση και η δυναμική ανάλυση μίας ηλεκτρικής μηχανής. Δηλαδή, είναι η μελέτη αποτελεσμάτων που θα αναδείξει ένα πρόγραμμα προσομοίωσης σε διάφορες εισόδους αυτού και το αν αυτά είναι σύμφωνα με τους νόμους της επιστήμης των ηλεκτρικών μηχανών και των εξισώσεων που την διέπουν. Αυτό το θέμα είναι επίκαιρο, καθώς η ραγδαία εξέλιξη της επιστήμης της ηλεκτρικής κίνησης και των αυτοκινητοβιομηχανιών παραγωγής ηλεκτρικών αυτοκινήτων αιτούνται τέτοιου είδους γνωστικά αντικείμενα για την εξέλιξή τους και την απασχόληση ηλεκτρολόγων μηχανικών σε θέσεις εργασίας.

Σκοπός και στόχοι

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να πραγματοποιήσει επιτυχώς την μοντελοποίηση μίας ηλεκτρικής μηχανής σε σύστημα κατάλληλο προς προσομοίωση και, έπειτα, την δυναμική του ανάλυση. Αυτό αποτυπώνεται στα εξής ερωτήματα:

- Μπορεί ένα ηλεκτρομηχανικό σύστημα, όπως είναι μία ηλεκτρική μηχανή, να μελετηθεί σε προγραμματιστικό περιβάλλον επιτυχώς;
- Τα λειτουργικά σενάρια στα οποία υπόκειται το σύστημα έχουν αποτελέσματα τα οποία επαληθεύονται, βάσει των νόμων που διέπουν την επιστήμη των ηλεκτρικών μηχανών;

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε είναι η αποτύπωση απαραίτητων θεωρητικών γνώσεων, έπειτα η εργαστηριακή εύρεση απαραίτητων μεγεθών, η προσομοίωση του υπό μελέτη συστήματος σε προγραμματιστικό περιβάλλον, ο σχολιασμός αυτής και, τέλος, η εξαγωγή συμπερασμάτων.

Καινοτομία

Αυτή η εργασία αναδεικνύει στοιχεία των οποίων όμοιά τους δεν υπάρχουν δημοσιευμένα μέχρι σήμερα. Αυτά είναι το μεγάλο πλήθος διαφορετικών λειτουργικών σεναρίων στα οποία εξετάζεται η συμπεριφορά μίας γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης, συνοδευόμενο από πλήθος εκατοντάδων αποκρίσεων, οι οποίες αποτυπώνονται, μελετούνται, επαληθεύονται και σχολιάζονται. Δεν έχει υλοποιηθεί άλλη εργασία με αυτό το αντικείμενο και σε τέτοιο βαθμό.

Στο 1^ο κεφάλαιο αναλύεται **θεωρητικά** η γεννήτρια ΣΡ παράλληλης διέγερσης. Συγκεκριμένα:

- Στην υποενότητα 1.1 παρουσιάζεται η έννοια της **ηλεκτρικής μηχανής**.
 - Από την υπο-υποενότητα 1.1.1 και έπειτα η εργασία απομονώνεται στις **ηλεκτρικές μηχανές ΣΡ**.
 - Αρχικά, αναλύονται τα βασικά της **κατασκευαστικά μέρη**.
 - Στην υπο-υποενότητα 1.1.2 καταγράφονται τα ηλεκτρικά και τα μηχανικά φυσικά **μεγέθη** που περιγράφουν μία ηλεκτρική μηχανή ΣΡ, όπως είναι το ρεύμα διέγερσης, η μηχανική ροπή κ.τ.λ.
 - Στην υπο-υποενότητα 1.1.3 διαχωρίζονται οι **μέθοδοι διέγερσης** μίας ηλεκτρικής μηχανής ΣΡ, οι οποίες μπορεί να είναι όχι μόνο παράλληλης, αλλά και ξένης, σειράς κ.τ.λ.
 - Από την υπο-υποενότητα 1.1.4 και έπειτα η εργασία απομονώνεται στις **γεννήτριες ΣΡ**.
 - Στην υπο-υποενότητα 1.1.5 αναλύονται οι **απώλειες ισχύος** μίας γεννήτριας ΣΡ, όπως είναι οι ηλεκτρικές, οι μηχανικές κ.τ.λ., σύμφωνα με την ροή ισχύος από τον άξονα μέχρι το φορτίο.
 - Από την υπο-υποενότητα 1.1.6 και έπειτα η εργασία απομονώνεται στις **γεννήτριες ΣΡ παράλληλης διέγερσης**.
 - Αρχικά, αφού σχεδιαστεί το **ισοδύναμο κύκλωμα** μίας γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης, αποτυπώνονται οι **εξισώσεις** που το περιγράφουν, τόσο για κάθε χρονική στιγμή όσο και στην μόνιμη κατάσταση, κάτι το οποίο γίνεται στην υπο-υποενότητα 1.1.7.
 - Στην υπο-υποενότητα 1.1.8, αφού οι προαναφερθείσες εξισώσεις υποστούν επεξεργασία, σχεδιάζεται το **ισοδύναμο σύστημα** μίας γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης, το οποίο απαιτείται για την μετέπειτα προσομοίωση.

Στο 2^ο κεφάλαιο αναλύεται **πειραματικά** η γεννήτρια ΣΡ παράλληλης διέγερσης. Συγκεκριμένα:

- Στην υποενότητα 2.1 παρουσιάζεται το **μοντέλο** το οποίο θα μελετηθεί πειραματικά.
- Στην υποενότητα 2.2 γίνεται η διαδικασία των **μετρήσεων** και της επεξεργασίας τους για τον προσδιορισμό των παραμέτρων του μοντέλου.
 - Αυτό γίνεται από την υπο-υποενότητα 2.2.1 μέχρι την υπο-υποενότητα 2.2.7
 - Στην υπο-υποενότητα 2.2.8 γίνεται η μέτρηση των **αρχικών συνθηκών** του μοντέλου.
- Στην υποενότητα 2.3 ξεκινάει η **προσομοίωση** του μοντέλου, η οποία χωρίζεται σε διαφορετικά **λειτουργικά σενάρια**,
 - τα οποία καταλαμβάνουν τις υπο-υποενότητες 2.3.1 μέχρι 2.3.55. Σε αυτές τις υπο-υποενότητες περιλαμβάνονται η αποτύπωση των αποκρίσεων, η θεωρητική επαλήθευσή τους με την χρήση των προαναφερθεισών εξισώσεων και ο σχολιασμός τους.

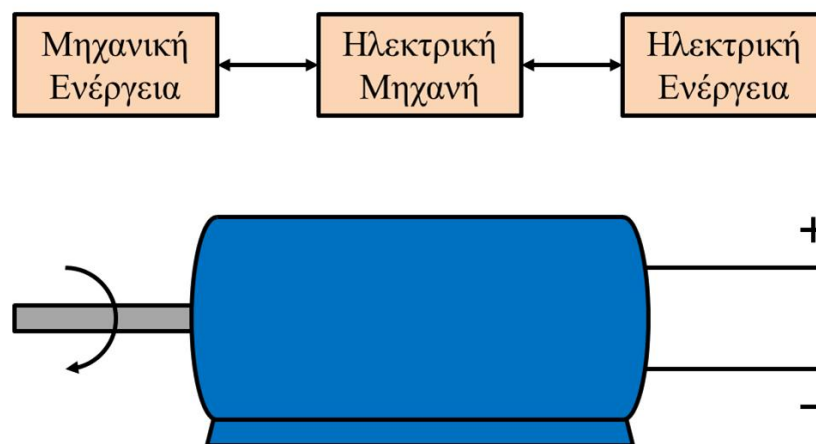
Το κεφάλαιο 3^ο αφοσιώνεται αποκλειστικά στα **συμπεράσματα**.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί η γεννήτρια ΣΡ παράλληλης διέγερσης, τα βασικά της μέρη και θα γίνει η μοντελοποίησή της.

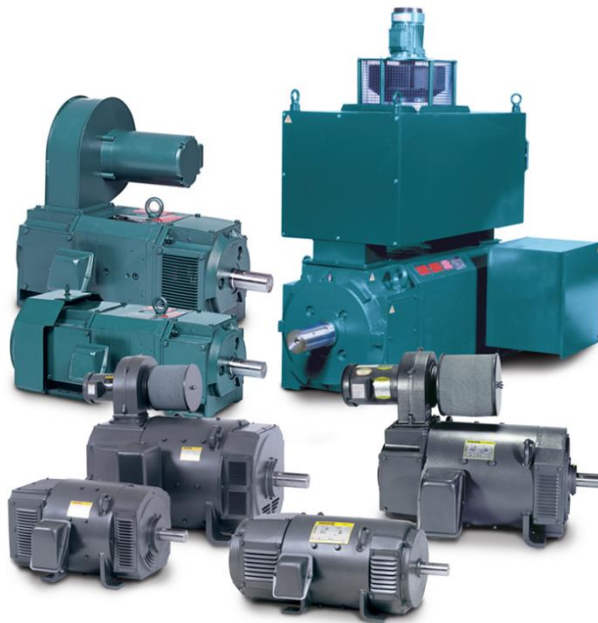
1.1 Ηλεκτρική μηχανή

Η γεννήτρια ΣΡ παράλληλης διέγερσης είναι μία ηλεκτρική μηχανή. Αυτό σημαίνει ότι είναι μία διάταξη η οποία μπορεί να μετατρέψει μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και αντίστροφα. Στην πρώτη περίπτωση η ηλεκτρική μηχανή ονομάζεται γεννήτρια, ενώ στην δεύτερη κινητήρας. Σε μία ηλεκτρική μηχανή πραγματοποιούνται δύο φαινόμενα: το φαινόμενο παραγωγής τάσης και το φαινόμενο παραγωγής ροπής. Το πρώτο φαινόμενο έγκειται στην χρονική μεταβολή της συνολικής μαγνητικής ροής ενός τυλίγματος. Αυτή η χρονική μεταβολή πραγματοποιείται από την περιστροφή του τυλίγματος μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Το δεύτερο φαινόμενο έγκειται στην προσπάθεια ευθυγράμμισης των δύο μαγνητικών πεδίων που δημιουργούνται μέσα στην μηχανή. Θα ασχοληθούμε μόνο με γεννήτριες και συγκεκριμένα με αυτές που τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα. Μία γεννήτρια ΣΡ απαιτεί την ύπαρξη δύο βασικών τυλιγμάτων για τον σκοπό αυτό:

- Το **τύλιγμα διέγερσης**, το οποίο έχει σκοπό την ενίσχυση του μαγνητικού πεδίου των σιδηρομαγνητικών υλικών της γεννήτριας. Δεν είναι τύλιγμα ισχύος.
- Το **τύλιγμα τυμπάνου**, το οποίο έχει σκοπό την παραγωγή τάσης στα άκρα του μέσω περιστροφής του μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το τύλιγμα διέγερσης. Είναι τύλιγμα ισχύος. (ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ, 2021)



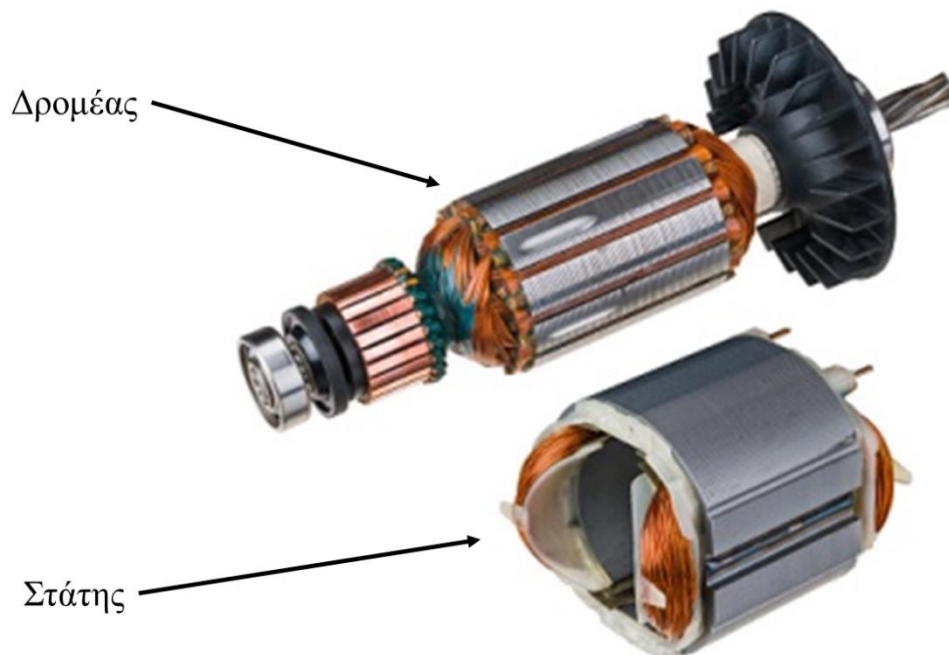
Εικόνα 1.1 Σχηματική αναπαράσταση της ηλεκτρομηχανικής σύζευξης μίας ηλεκτρικής μηχανής.



Εικόνα 1.2 Ηλεκτρικές μηχανές ΣΡ διαφόρων ειδών και μεγεθών. (Πηγή: ABB)

1.1.1 Μέρη μίας ηλεκτρικής μηχανής ΣΡ

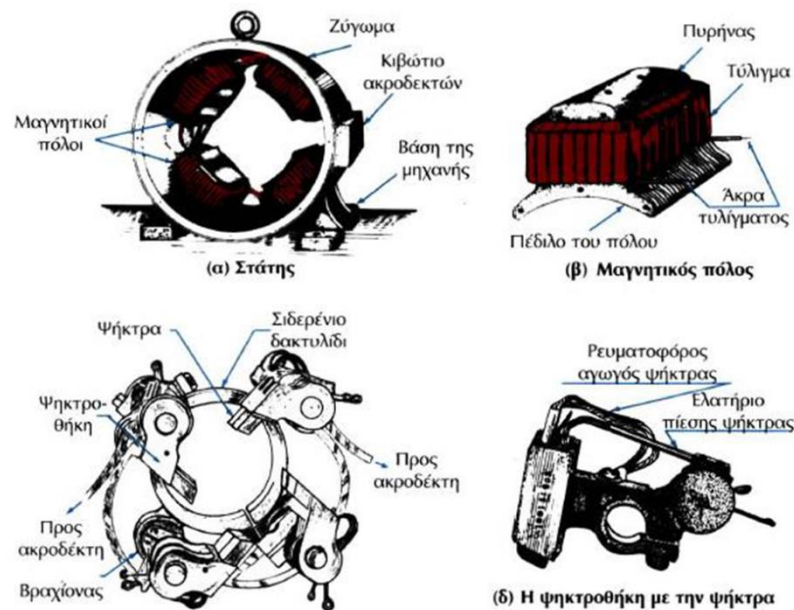
Μία ηλεκτρική μηχανή ΣΡ αποτελείται από δύο κατασκευαστικά μέρη: τον **στάτη** και τον **δρομέα**.



Εικόνα 1.3 Ο στάτης και ο δρομέας μίας ηλεκτρικής μηχανής ΣΡ. (Πηγή: iStock 2022)

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
Ο **στάτης** αποτελείται από τα εξής μέρη:

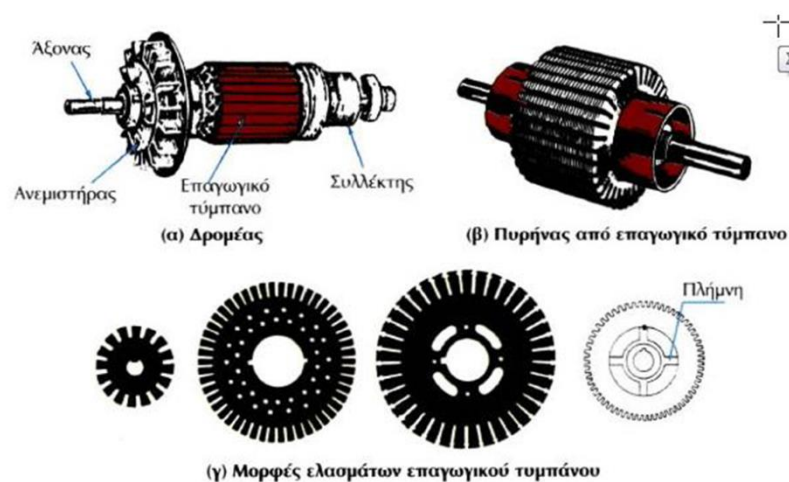
- Το **ζύγωμα**, το οποίο στηρίζει την όλη κατασκευή και της παρέχει το κυκλικό σχήμα που χρειάζεται. Κατασκευάζεται από χυτογάλυβα ή μαλακό σίδηρο.
- Τους **μαγνητικούς πόλους**, οι οποίοι είναι μόνιμοι μαγνήτες και φροντίζουν για την δημιουργία του μαγνητικού πεδίου. Σε μεγάλες μηχανές υπάρχουν και επιπλέον πόλοι, οι λεγόμενοι βοηθητικοί πόλοι, οι οποίοι είναι μαγνητικοί πόλοι που προστατεύουν τον συλλέκτη του δρομέα από σπινθηρισμούς. Κατασκευάζονται από μονωμένα ελάσματα σιδηρομαγνητικών υλικών.
- Τα **τυλίγματα**, τα οποία είναι αγωγία σύρματα που περιβάλλουν τους πόλους και σκοπό έχουν να ενισχύσουν το μαγνητικό πεδίο τους. Κατασκευάζονται από χαλκό.
- Τις **ψήκτρες**, οι οποίες σκοπό έχουν την απαγωγή συνεχούς τάσης και συνεχούς ρεύματος από την μηχανή. Κατασκευάζονται από άνθρακα, από γραφίτη ή από μίγμα άνθρακα και χαλκού.
- Το **κιβώτιο ακροδεκτών**, το οποίο συλλέγει τους δύο ακροδέκτες της μηχανής από τα τυλίγματά της. (ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ, 2021)



Εικόνα 1.4 Τα μέρη του στάτη μίας ηλεκτρικής μηχανής ΣΡ. (Πηγή: eClass 2021)

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
Ο δρομέας αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Τον **άξονα**, ο οποίος είναι ένας μεταλλικός κύλινδρος και δέχεται την πηγή της μηχανικής ενέργειας (περιστροφή) για να λειτουργήσει η μηχανή. Όλα τα υπόλοιπα μέρη του δρομέα είναι μηχανικά ενωμένα με τον άξονα και περιστρέφονται μαζί με αυτόν.
- Το **επαγωγικό τύμπανο**, το οποίο είναι ένα συνονθύλευμα μονωμένων ελασμάτων σιδηρομαγνητικών υλικών και χάλκινων τυλιγμάτων τα οποία σχηματίζουν έναν συμπαγή κύλινδρο. Αποτελεί τον πυρήνα της μηχανής, αφού σε αυτό πραγματοποιείται το φαινόμενο της επαγωγής για την σύνδεση μηχανικού και ηλεκτρικού μέρους.
- Τον **συλλέκτη**, ο οποίος είναι ένα σύνολο χάλκινων διαχωρισμένων μονωμένων κυλινδρικών τομέων που συλλέγουν τα τυλίγματα του επαγωγικού τυμπάνου για να μεταβιβάσουν την τάση και το ρεύμα που αυτά φέρουν προς τις ψήκτρες.
- Τον **ανεμιστήρα**, ο οποίος εξασφαλίζει την ψύξη της μηχανής.
- Τα **έδρανα** (ρουλεμάν), τα οποία στηρίζουν τον άξονα και ελαττώνουν τις τριβές. (ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ, 2021)



Εικόνα 1.5 Τα μέρη του δρομέα μίας ηλεκτρικής μηχανής ΣΡ. (Πηγή: eClass 2021)

1.1.2 Παράμετροι μίας ηλεκτρικής μηχανής ΣΡ

Μία ηλεκτρική μηχανή ΣΡ χαρακτηρίζεται από κάποιες παραμέτρους, οι οποίες μας δίνουν γνώση για διάφορα χαρακτηριστικά αυτής. Οι παράμετροι αυτοί είναι ηλεκτρικές και μηχανικές:

- Στις ηλεκτρικές ανήκουν:

Η **ονομαστική ισχύς**, P , η οποία είναι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς την οποία μπορεί να αποδώσει ή να λάβει η μηχανή (kW).

Η **τάση διέγερσης**, V_f , η οποία είναι η τάση με την οποία πρέπει να τροφοδοτήσουμε το τύλιγμα διέγερσης της μηχανής (V).

Το **ρεύμα διέγερσης**, I_f , το οποίο είναι το ρεύμα που θα διαρρέει το τύλιγμα διέγερσης αν το τροφοδοτήσουμε με την τάση διέγερσης (A).

Η **αντίσταση διέγερσης**, R_f , η οποία είναι η ωμική αντίσταση που εμφανίζει το τύλιγμα διέγερσης (Ω).

Η **αυτεπαγωγή διέγερσης**, L_f , η οποία είναι η αυτεπαγωγή που εμφανίζει το τύλιγμα διέγερσης (H).

Η **αντίσταση τυμπάνου**, R_a , η οποία είναι η ωμική αντίσταση που εμφανίζει το τύλιγμα τυμπάνου (Ω).

Η **αυτεπαγωγή τυμπάνου**, L_a , η οποία είναι η αυτεπαγωγή που εμφανίζει το τύλιγμα τυμπάνου (H).

- Στις μηχανικές ανήκουν:

Οι **στροφές**, n , οι οποίες εκφράζουν την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα της μηχανής (rpm).

Η **ροπή αδράνειας**, J , η οποία εκφράζει την αδράνεια του δρομέα κατά την περιστροφή του όταν λειτουργεί η μηχανή ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$).

Η **σταθερά απόσβεσης**, B , η οποία εκφράζει την αντίσταση που εμφανίζει ο δρομέας της μηχανής στην κίνησή του λόγω τριβών ($\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$).

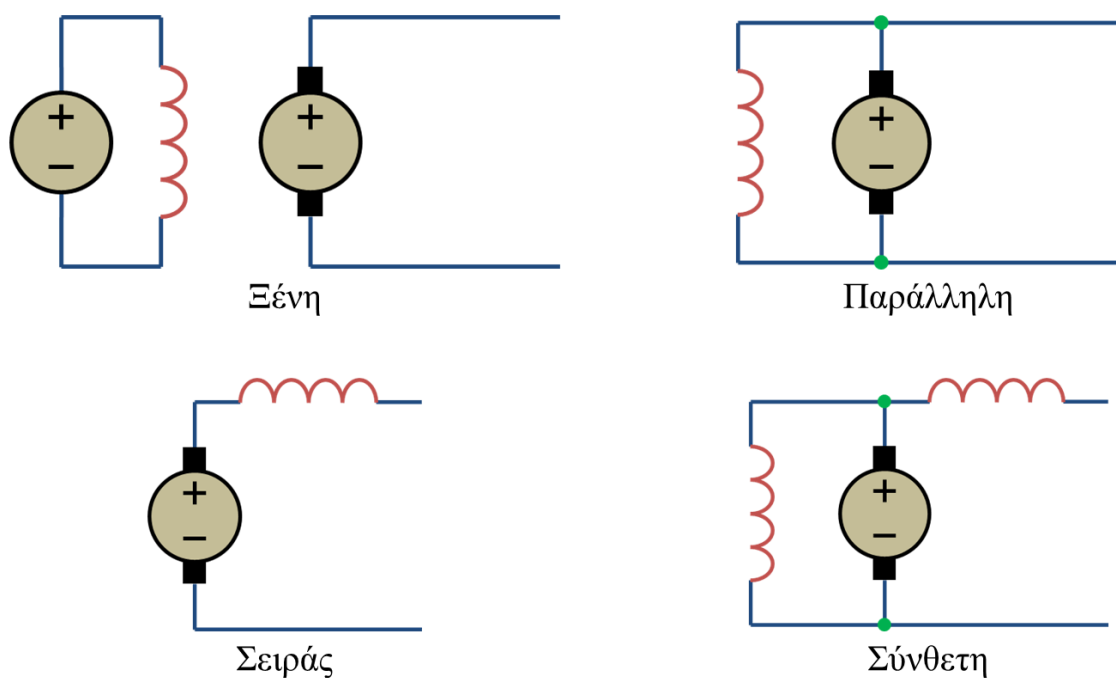
Η **μηχανική ροπή**, T_m , η οποία εκφράζει την συνολική ροπή που ασκείται στον δρομέα της μηχανής και τείνει να τον περιστρέψει ($\text{N} \cdot \text{m}$). (ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ, 2021)

1.1.3 Μέθοδοι διέγερσης μίας ηλεκτρικής μηχανής ΣΡ

Η διαδικασία κατά την οποία παράγεται μαγνητικό πεδίο από τα τυλίγματα του στάτη ονομάζεται διέγερση. Για τον λόγο αυτό και τα τυλίγματα του στάτη ονομάζονται και τυλίγματα διέγερσης. Τα τυλίγματα διέγερσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στα **τυλίγματα σειράς** και στα **τυλίγματα διακλάδωσης**. Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται αυτά τα τυλίγματα, δημιουργούν τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες ηλεκτρικών μηχανών ΣΡ:

- Τις **ξένης διέγερσης**, όταν το τύλιγμα διακλάδωσης τροφοδοτείται από μία ξένη πηγή τάσης.
- Τις **παράλληλης διέγερσης**, όταν το τύλιγμα διακλάδωσης τροφοδοτείται από το επαγωγικό τύμπανο, συνδεδεμένο με αυτό παράλληλα.
- Τις **διέγερσης σειράς**, όταν το τύλιγμα σειράς τροφοδοτείται από το επαγωγικό τύμπανο, συνδεδεμένο με αυτό σε σειρά.
- Τις **σύνθετης διέγερσης**, όταν συμμετέχουν και τα δύο είδη τυλιγμάτων διέγερσης. Ανάλογα με τον τρόπο που συνδέονται τα δύο τυλίγματα με το επαγωγικό τύμπανο, χωρίζονται σε βραχείας και μακράς σύνθετης διέγερσης. (ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ, 2021)

Θα μελετήσουμε μόνο ηλεκτρικές μηχανές ΣΡ παράλληλης διέγερσης.

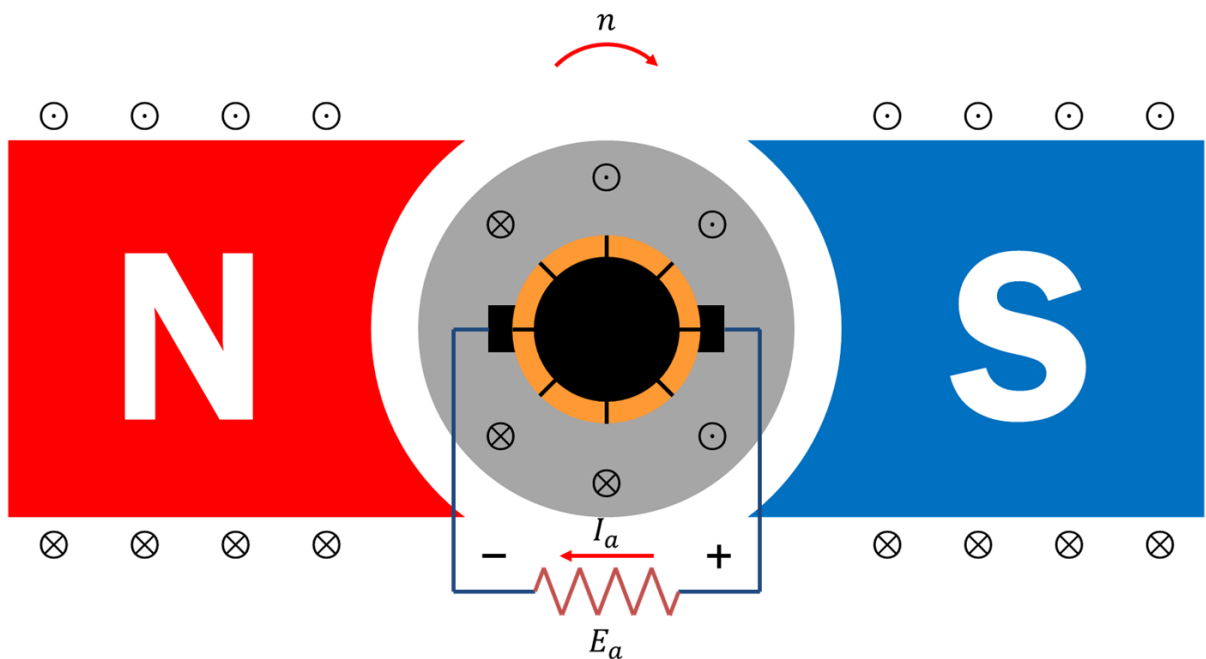


Εικόνα 1.6 Ισοδύναμα κυκλώματα των ειδών διέγερσης μίας ηλεκτρικής μηχανής ΣΡ.

1.1.4 Γεννήτρια ΣΡ

Όπως προείπαμε, μία γεννήτρια ΣΡ μετατρέπει μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Αυτό γίνεται ως εξής:

- Οι μαγνητικοί πόλοι μαζί με το τύλιγμα διέγερσης δημιουργούν μαγνητικό πεδίο στο διάκενο της γεννήτριας.
- Ένας εξωτερικός μηχανισμός (π.χ. ένας κινητήρας, ένας στρόβιλος κ.τ.λ.) περιστρέφει τον δρομέα.
- Η θέση του τυλίγματος τυμπάνου μεταβάλλεται χρονικά μέσα σε μαγνητικό πεδίο.
- Έτσι, δημιουργείται εξ επαγωγής τάση στα άκρα του τυλίγματος τυμπάνου. Αν συνδέσουμε το τύλιγμα τυμπάνου με ένα εξωτερικό φορτίο (ωμικό, επαγωγικό ή χωρητικό), τότε θα δημιουργηθεί επαγόμενο ρεύμα στα τυλίγματα αυτά.
- Χάρη στον συνδυασμό συλλέκτη-ψηκτών, η εξ επαγωγής τάση είναι συνεχής και το επαγόμενο ρεύμα είναι, επίσης, συνεχές. (ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ, 2021)



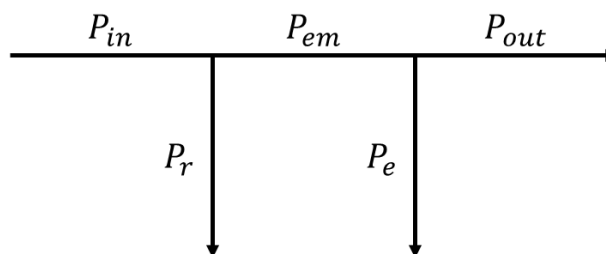
Εικόνα 1.7 Σχηματική αναπαράσταση πρόσοψης μίας διπολικής γεννήτριας ΣΡ κατά την λειτουργία της υπό φορτίο.

1.1.5 Απώλειες μίας γεννήτριας ΣΡ

Κατά την διαδικασία της ηλεκτρομηχανικής μετατροπής ενέργειας σε μία γεννήτρια ΣΡ υπεισέρχονται κάποιες απώλειες ισχύος. Οι απώλειες αυτές χωρίζονται:

- Στις **ηλεκτρικές απώλειες** (ή απώλειες χαλκού), οι οποίες είναι απώλειες θερμικής ισχύος που παρατηρούνται στα διάφορα τυλίγματα της μηχανής, καθώς επίσης και στις ψήκτρες.
- Στις **μηχανικές απώλειες**, οι οποίες είναι απώλειες που παρατηρούνται στα έδρανα (ρουλεμάν) και στην σύνδεση συλλέκτη-ψηκτρών (απώλειες τριβών), αλλά και στην κίνηση του ανεμιστήρα (απώλειες ανεμισμού).
- Στις **μαγνητικές απώλειες** (ή απώλειες σιδήρου), οι οποίες παρατηρούνται στα σιδηρομαγνητικά υλικά εξαιτίας της μαγνητικής υστέρησης (παραμένοντα μαγνητισμού) και των δινορρευμάτων (κλειστών αγωγίμων δρόμων εξαιτίας του χρονικά μεταβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου).

Οι μηχανικές μαζί με τις μαγνητικές απώλειες αποτελούν τις λεγόμενες **απώλειες περιστροφής**. (ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ, 2021) Σε μία γεννήτρια ΣΡ, οι απώλειες ισχύος συνοψίζονται στο εξής διάγραμμα:



Εικόνα 1.8 Σχηματική αναπαράσταση της ροής ισχύος σε μία γεννήτρια ΣΡ.

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
Οι ισχύες μίας γεννήτριας ΣΡ δίνονται από τις εξής σχέσεις:

$$P_{in} = P_m = T_m \omega_m \quad (1.1)$$

$$P_r = T_r \omega_m \quad (1.2)$$

$$P_{em} = P_{int} = T_{em} \omega_m = T_{int} \omega_m = E_a I_a \quad (1.3)$$

$$P_e = \sum (I^2 R) \quad (1.4)$$

$$P_{out} = P_L = V_L I_L \quad (1.5)$$

$$P_{loss} = P_r + P_e \quad (1.6)$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss} \Leftrightarrow P_{out} = P_{in} - P_{loss} \quad (1.7)$$

όπου:

$P_{in} = P_m$: Ισχύς εισόδου ή μηχανική ισχύς (kW).

T_m : Μηχανική ροπή (N · m).

ω_m : Γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα (rad/s).

P_r : Ισχύς απωλειών περιστροφής (kW).

T_r : Ροπή απωλειών περιστροφής (N · m).

$P_{em} = P_{int}$: Ηλεκτρομαγνητική ή εσωτερική ισχύς (kW).

$T_{em} = T_{int}$: Ηλεκτρομαγνητική ή εσωτερική ροπή (N · m).

E_a : Εξ επαγωγής τάση στα άκρα του τυλίγματος τυμπάνου ή απλά εξ επαγωγής τάση τυμπάνου (V).

I_a : Ένταση ρεύματος που διαρρέει το τύλιγμα τυμπάνου ή απλά ρεύμα τυμπάνου (A).

P_e : Ισχύς ηλεκτρικών απωλειών (kW).

$P_{out} = P_L$: Ισχύς εξόδου ή ισχύς φορτίου (kW).

V_L : Τάση στα άκρα του φορτίου ή απλά τάση φορτίου (V).

I_L : Ένταση ρεύματος που διαρρέει το φορτίο ή απλά ρεύμα φορτίου (A).

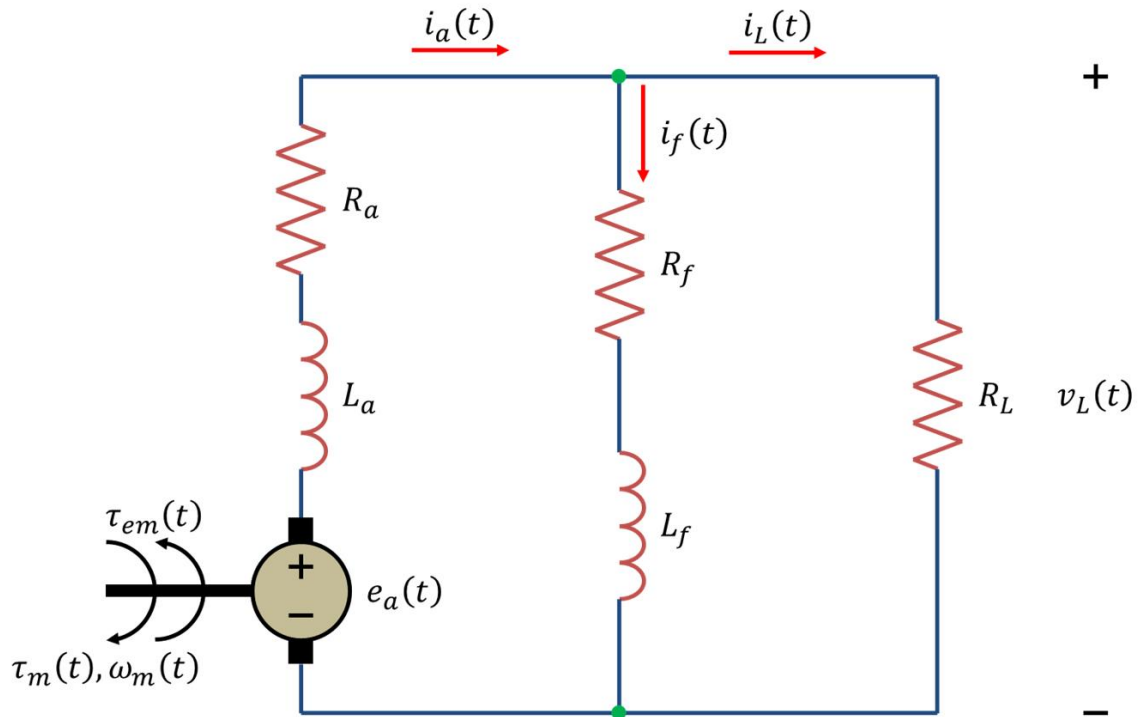
P_{loss} : Ισχύς απωλειών (kW).

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια Ορίζεται ως **βαθμός απόδοσης**, η , ο λόγος:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (1.8)$$

1.1.6 Εξισώσεις γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα μίας γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης είναι το εξής:



Εικόνα 1.9 Ισοδύναμο κύκλωμα γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης υπό φορτίο μαζί με αντίστοιχα ηλεκτρικά μεγέθη που την συνοδεύουν.

Από το κύκλωμα εξάγονται οι εξής εξισώσεις:

2^{ος} νόμος του Kirchhoff στον βρόχο του τυλίγματος τυμπάνου και του φορτίου:

$$v_L(t) = e_a(t) - i_a(t)R_a - L_a \frac{di_a(t)}{dt} \quad (1.9)$$

2^{ος} νόμος του Kirchhoff στον βρόχο του τυλίγματος διέγερσης και του φορτίου:

$$v_L(t) = i_f(t)R_f + L_f \frac{di_f(t)}{dt} \quad (1.10)$$

Νόμος του Ohm στο φορτίο και 1^{ος} νόμος του Kirchhoff στον κοινό κόμβο:

$$v_L(t) = i_L(t)R_L = [i_a(t) - i_f(t)]R_L \quad (1.11)$$

Εκτός κυκλώματος εξάγονται οι εξής εξισώσεις:

2^{ος} νόμος του Newton για την περιστροφική κίνηση στον δρομέα:

$$J \frac{d\omega_m(t)}{dt} + B\omega_m(t) = \tau_m(t) - \tau_{em}(t) \quad (1.12)$$

Νόμος του Faraday στο τυλίγμα τυμπάνου και ορισμός της αλληλεπαγωγής:

$$e_a(t) = i_f(t)\omega_m(t)M_{af} \quad (1.13)$$

Νόμος της δύναμης Laplace στο τυλίγμα τυμπάνου και ορισμός της αλληλεπαγωγής:

$$\tau_{em}(t) = i_a(t)i_f(t)M_{af} \quad (1.14)$$

όπου:

$v_L(t)$: Τάση φορτίου (V).

$e_a(t)$: Εξ επαγωγής τάση τυμπάνου (V).

$i_a(t)$: Ρεύμα τυμπάνου (A).

R_a : Ωμική αντίσταση τυμπάνου (Ω).

L_a : Αυτεπαγωγή τυμπάνου (H).

$i_f(t)$: Ρεύμα διέγερσης (A).

R_f : Ωμική αντίσταση διέγερσης.

L_f : Αυτεπαγωγή διέγερσης (H).

$i_L(t)$: Ρεύμα φορτίου (A).

R_L : Ωμική αντίσταση φορτίου (Ω).

J : Ροπή αδράνειας δρομέα ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$).

$\omega_m(t)$: Γωνιακή ταχύτητα περιστροφής δρομέα (rad/s).

B : Σταθερά απόσβεσης δρομέα ($\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$).

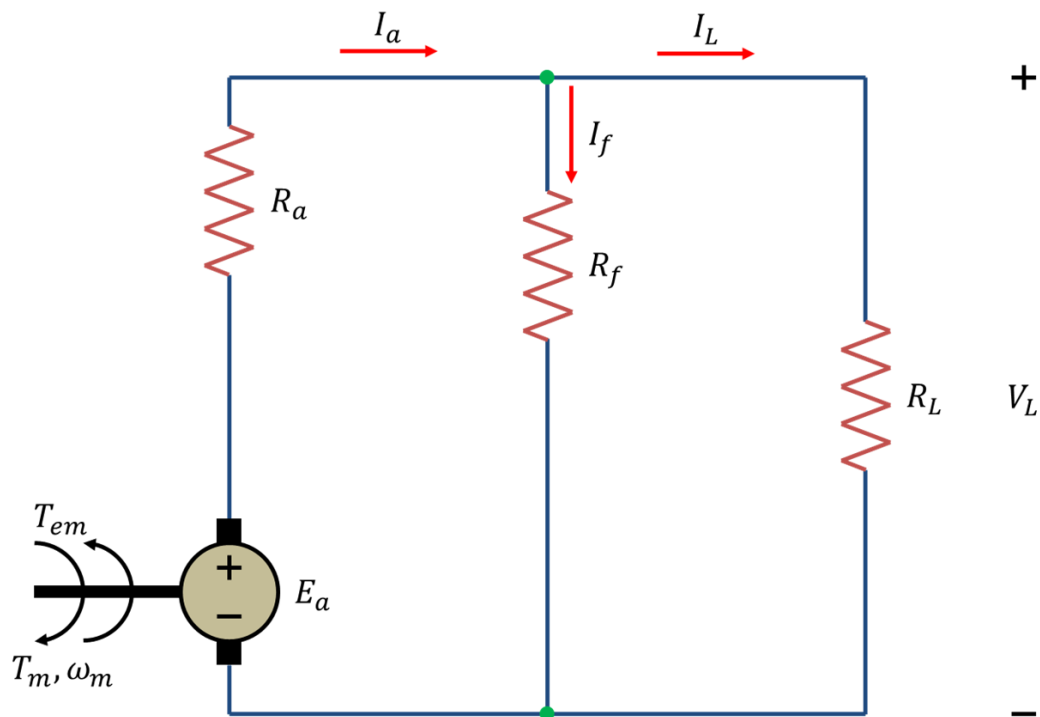
$\tau_m(t)$: Μηχανική ροπή ($\text{N} \cdot \text{m}$).

$\tau_{em}(t)$: Ηλεκτρομαγνητική ροπή ($\text{N} \cdot \text{m}$).

M_{af} : Αλληλεπαγωγή μεταξύ του τυλίγματος τυμπάνου και του τυλίγματος διέγερσης (H).

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
1.1.7 Εξισώσεις γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης στην μόνιμη κατάσταση

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα μίας γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης στην μόνιμη κατάσταση είναι το εξής:



Εικόνα 1.10 Ισοδύναμο κύκλωμα στην μόνιμη κατάσταση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης υπό φορτίο μαζί με αντίστοιχα ηλεκτρικά μεγέθη που την συνοδεύουν.

Από το κύκλωμα εξάγονται οι εξής εξισώσεις:

2^{ος} νόμος του Kirchhoff στον βρόχο του τυλίγματος τυμπάνου και του φορτίου:

$$V_L = E_a - I_a R_a \quad (1.15)$$

2^{ος} νόμος του Kirchhoff στον βρόχο του τυλίγματος διέγερσης και του φορτίου:

$$V_L = I_f R_f \quad (1.16)$$

Νόμος του Ohm στο φορτίο και 1^{ος} νόμος Kirchhoff στον κοινό κόμβο:

$$V_L = I_L R_L = (I_a - I_f) R_L \quad (1.17)$$

Εκτός κυκλώματος εξάγονται οι εξής εξισώσεις:

2^{ος} νόμος του Newton για την περιστροφική κίνηση στον δρομέα:

$$B \omega_m = T_m - T_{em} \quad (1.18)$$

Νόμος του Faraday στο τύλιγμα τυμπάνου και ορισμός της αλληλεπαγωγής:

$$E_a = I_f \omega_m M_{af} \quad (1.19)$$

Νόμος της δύναμης Laplace στο τυλίγμα τυμπάνου και ορισμός της αλληλεπαγωγής:

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \quad (1.20)$$

όπου:

V_L : Τάση φορτίου (V).

E_a : Εξ επαγωγής τάση τυμπάνου (V).

I_a : Ρεύμα τυμπάνου (A).

R_a : Ωμική αντίσταση τυμπάνου (Ω).

I_f : Ρεύμα διέγερσης (A).

R_f : Ωμική αντίσταση διέγερσης (Ω).

I_L : Ρεύμα φορτίου (A).

R_L : Ωμική αντίσταση φορτίου (Ω).

ω_m : Γωνιακή ταχύτητα περιστροφής δρομέα (rad/s).

M_{af} : Αλληλεπαγωγή μεταξύ του τυλίγματος τυμπάνου και του τυλίγματος διέγερσης (H).

B : Σταθερά απόσβεσης δρομέα ($N \cdot m \cdot s$).

T_m : Μηχανική ροπή ($N \cdot m$).

T_{em} : Ηλεκτρομαγνητική ροπή ($N \cdot m$).

1.1.8 Ισοδύναμο σύστημα γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης

Για να σχεδιάσουμε το αντίστοιχο διάγραμμα βαθμίδων μίας γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης, θα πρέπει να επεξεργαστούμε τις εξισώσεις της και συγκεκριμένα να απομωνώσουμε τις παραγώγους των μεταβλητών του συστήματος. Συγκεκριμένα:

Από την εξίσωση (1.9) προκύπτει:

$$v_L(t) = i_f(t)\omega_m(t)M_{af} - i_a(t)R_a - L_a \frac{di_a(t)}{dt} \Rightarrow$$

$$\frac{di_a(t)}{dt} = \frac{1}{L_a} [i_f(t)\omega_m(t)M_{af} - i_a(t)R_a - v_L(t)] \Rightarrow$$

$$i_a(t) = \int \left(\frac{1}{L_a} [i_f(t)\omega_m(t)M_{af} - i_a(t)R_a - v_L(t)] \right) dt \quad (1.21)$$

όπου:

$$v_L(t) = [i_a(t) - i_f(t)]R_L \quad (1.11)$$

Από την εξίσωση (1.10) προκύπτει:

$$v_L(t) = i_f(t)R_f + L_f \frac{di_f(t)}{dt} \Rightarrow$$

$$\frac{di_f(t)}{dt} = \frac{1}{L_f} [v_L(t) - i_f(t)R_f] \Rightarrow$$

$$i_f(t) = \int \left(\frac{1}{L_f} [v_L(t) - i_f(t)R_f] \right) dt \quad (1.22)$$

όπου:

$$v_L(t) = [i_a(t) - i_f(t)]R_L \quad (1.11)$$

Από την εξίσωση (1.12) προκύπτει:

$$J \frac{d\omega_m(t)}{dt} + B\omega_m(t) = \tau_m(t) - \tau_{em}(t) \Rightarrow$$

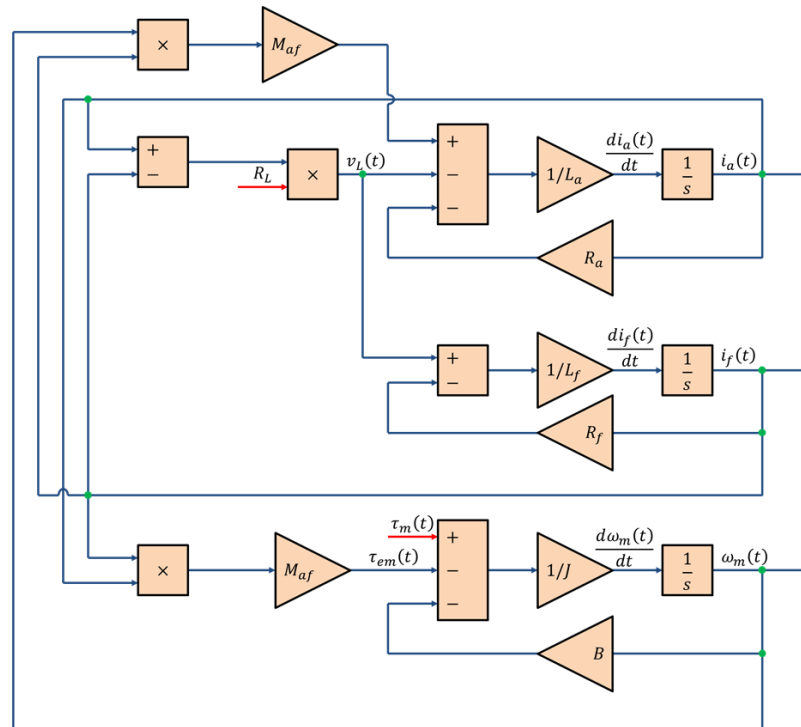
$$\frac{d\omega_m(t)}{dt} = \frac{1}{J} [\tau_m(t) - \tau_{em}(t) - B\omega_m(t)] \Rightarrow$$

$$\omega_m(t) = \int \left(\frac{1}{J} [\tau_m(t) - \tau_{em}(t) - B\omega_m(t)] \right) dt \quad (1.23)$$

όπου:

$$\tau_{em}(t) = i_a(t)i_f(t)M_{af} \quad (1.14)$$

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια. Βάσει αυτών των εξισώσεων, σχεδιάζουμε το διάγραμμα βαθμίδων της γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης:



Εικόνα 1.11 Διάγραμμα βαθμίδων γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης υπό φορτίο.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : Πειραματικό μέρος

Αφού αναλύσαμε την γεννήτρια ΣΡ παράλληλης διέγερσης, τώρα θα την μελετήσουμε πειραματικά. Συγκεκριμένα, θα υπολογίσουμε τα χαρακτηριστικά μεγέθη ενός συγκεκριμένου μοντέλου γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης και έπειτα θα το προσομοιώσουμε σε πρόγραμμα προσομοίωσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια.

2.1 Το υπό μελέτη σύστημα

Το υπό μελέτη σύστημα είναι η ηλεκτρική μηχανή ΣΡ σύνθετης διέγερσης της italtec και συγκεκριμένα το μοντέλο «MOD.4160». Παρέχει την δυνατότητα υλοποίησης μηχανών: ξένης διέγερσης, παράλληλης διέγερσης, διέγερσης σειράς και σύνθετης διέγερσης.



Εικόνα 2.1 Το μοντέλο MOD.4160 της italtec. (Πηγή: italtec 2008)

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια και έχει τα εξής ονομαστικά χαρακτηριστικά:

Χαρακτηριστικά μεγέθη του MOD.4160 της italtec	
Όνομα (Σύμβολο)	Τιμή
Ισχύς (P)	1kW
Στροφές (n)	3.000rpm
Τάση τυμπάνου (V_a)	220V
Ρεύμα τυμπάνου (I_a)	7A
Τάση διέγερσης (V_f)	220V
Ρεύμα διέγερσης (I_f)	0,3A
Μάζα (m)	19,5kg
Μήκος (l)	44cm
Πλάτος (w)	21cm
Ύψος (h)	30cm

Πίνακας 2.1 Ονομαστικές τιμές χαρακτηριστικών μεγεθών του MOD.4160 της italtec.

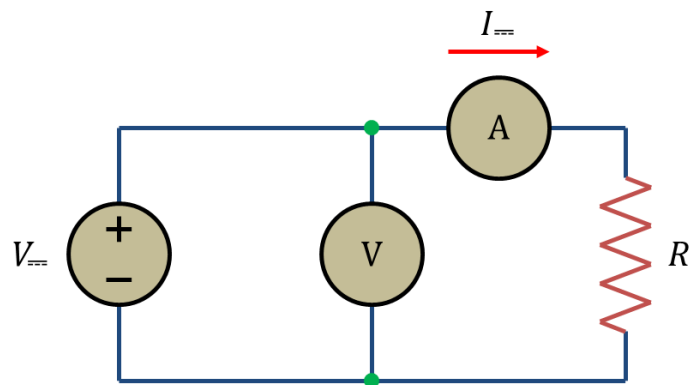
Οι ονομαστικές τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών μας δίνουν μία εικόνα στο πού περιμένουμε να λαμβάνει τιμές το κάθε μέγεθος κατά την διαδικασία της προσομοίωσης.

2.2 Μετρήσεις και επεξεργασία μετρήσεων

Όπως προείπαμε, υπάρχουν κάποια μεγέθη που χαρακτηρίζουν μία γεννήτρια ΣΡ. Προτού επεξεργαστούμε το MOD.4160, θα πρέπει να μετρήσουμε αυτά τα χαρακτηριστικά μεγέθη του. Αφού καταγράψουμε τις μετρήσεις, θα τις επεξεργαστούμε για να υπολογίσουμε τα απαιτούμενα μεγέθη. Σε κάθε περίπτωση, θα υπολογίζουμε το εκάστοτε μέγεθος σε κάθε μέτρηση και έπειτα ως τελική του τιμή θα λαμβάνουμε τον αριθμητικό μέσο όρο της σειράς μέτρησης.

2.2.1 Ωμική αντίσταση τυμπάνου

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης θα χρειαστεί μία σειρά ηλεκτρικών μετρήσεων. Η ωμική αντίσταση μπορεί να μετρηθεί με διάφορες διατάξεις μέτρησης. Η απλούστερη και πιο συχνά χρησιμοποιούμενη από αυτές είναι με την χρήση βολτομέτρου και αμπερομέτρου υπό την τροφοδοσία συνεχούς τάσης. Το κύκλωμα για τον σκοπό αυτό είναι το παρακάτω:

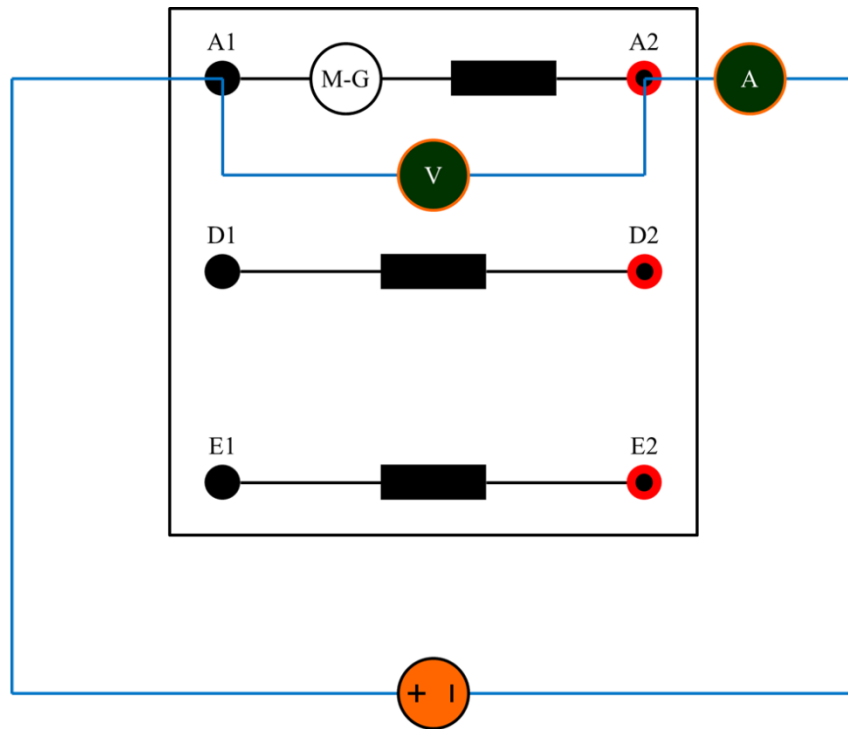


Εικόνα 2.2 Κύκλωμα για την μέτρηση της ωμικής αντίστασης ενός στοιχείου με βολτόμετρο και αμπερόμετρο υπό συνεχή τάση.

Βάσει του ανωτέρω κυκλώματος, η ωμική αντίσταση ενός στοιχείου υπολογίζεται από τον τύπο:

$$R = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} \quad (1.24)$$

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
 Υλοποιούμε την παρακάτω συνδεσμολογία στο κιβώτιο ακροδεκτών του MOD.4160:



Εικόνα 2.3 Σχηματική αναπαράσταση του κιβωτίου ακροδεκτών του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί με όργανα μέτρησης για την μέτρηση της ωμικής αντίστασης τυμπάνου.

Τροφοδοτούμε το τύλιγμα τυμπάνου με συνεχή τάση μέσω ενός τροφοδοτικού. Μεταβάλλοντας αυτή την τάση, καταγράφουμε τις εξής μετρήσεις:

Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της ωμικής αντίστασης τυμπάνου	
$V_{a_{m}}$	$I_{a_{m}}$
1,42V	0,78A
3,10V	1,77A
7,79V	4,60A
10,18V	6,13A
13,40V	7,95A

Πίνακας 2.2 Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της ωμικής αντίστασης τυμπάνου.

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
Επεξεργαζόμαστε τις μετρήσεις ως εξής:

$$R_{a_i} = \frac{V_{a-i}}{I_{a-i}} = \begin{cases} \frac{1,42V}{0,78A} \cong 1,82\Omega & (1) \\ \frac{3,10V}{1,77A} \cong 1,75\Omega & (2) \\ \frac{7,79V}{4,60A} \cong 1,69\Omega & (3) \\ \frac{10,18V}{6,13A} \cong 1,66\Omega & (4) \\ \frac{13,40V}{7,95A} \cong 1,69\Omega & (5) \end{cases}$$

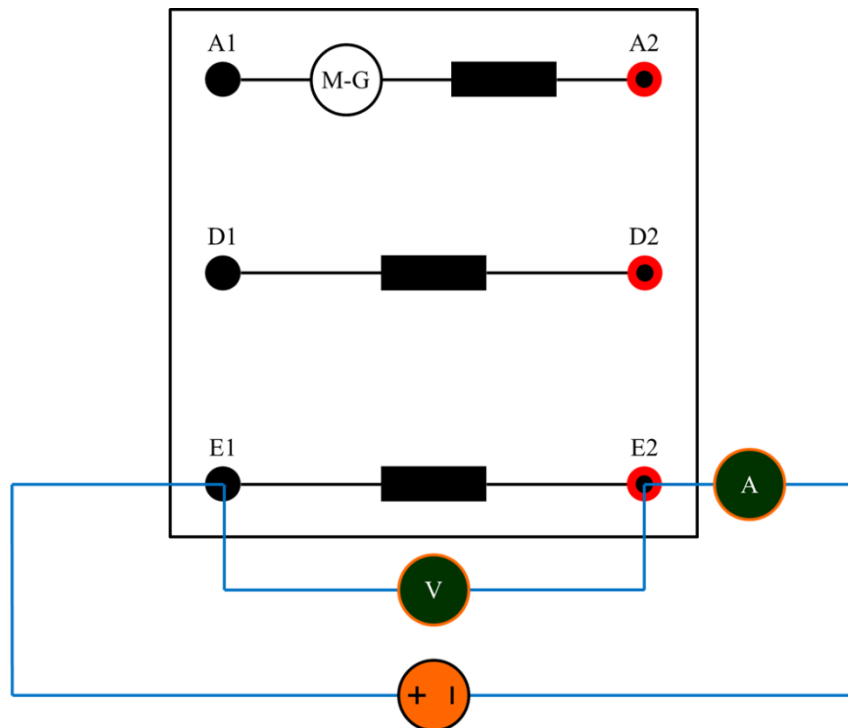
Άρα:

$$R_a = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_{a_i} \Rightarrow R_a = \frac{1,82\Omega + 1,75\Omega + 1,69\Omega + 1,66\Omega + 1,69\Omega}{5} \Rightarrow$$

$$\boxed{R_a \cong 1,72\Omega}$$

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
2.2.2 Ωμική αντίσταση διέγερσης

Εφαρμόζουμε στο τύλιγμα διέγερσης την ίδια διαδικασία που εφαρμόσαμε και στο τύλιγμα τυμπάνου. Υλοποιούμε την παρακάτω συνδεσμολογία στο κιβώτιο ακροδεκτών του MOD.4160:



Εικόνα 2.4 Σχηματική αναπαράσταση του κιβωτίου ακροδεκτών του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί με όργανα μέτρησης για την μέτρηση της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

Τροφοδοτούμε το τύλιγμα διέγερσης με συνεχή τάση μέσω ενός τροφοδοτικού. Μεταβάλλοντας αυτή την τάση, καταγράφουμε τις εξής μετρήσεις:

Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της ωμικής αντίστασης διέγερσης	
V_{f-}	I_{f-}
40,50V	0,07A
83,10V	0,13A
120,60V	0,19A
170,30V	0,27A
200,00V	0,35A

Πίνακας 2.3 Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
Επεξεργαζόμαστε τις μετρήσεις ως εξής:

$$R_{f_i} = \frac{V_{f_{-i}}}{I_{f_{-i}}} = \begin{cases} \frac{40,50V}{0,07A} \cong 578,57\Omega & (1) \\ \frac{83,10V}{0,13A} \cong 639,23\Omega & (2) \\ \frac{120,60V}{0,19A} \cong 634,74\Omega & (3) \\ \frac{170,30V}{0,27A} \cong 630,74\Omega & (4) \\ \frac{200,00V}{0,35A} \cong 571,43\Omega & (5) \end{cases}$$

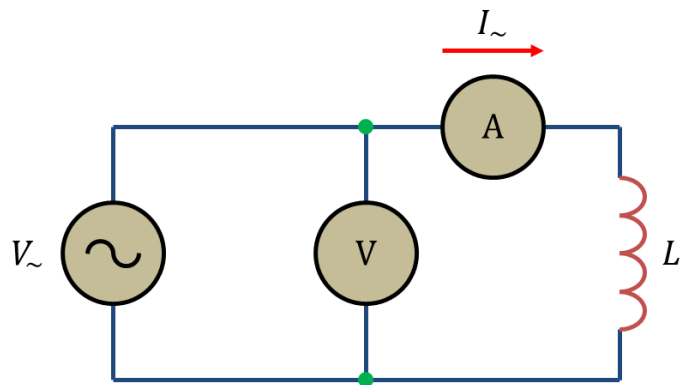
Άρα:

$$R_f = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_{f_i} \Rightarrow R_f = \frac{578,57\Omega + 639,23\Omega + 634,74\Omega + 630,74\Omega + 571,43\Omega}{5} \Rightarrow$$

$$\boxed{R_f \cong 610,94\Omega}$$

2.2.3 Αυτεπαγωγή τυμπάνου

Όπως η ωμική αντίσταση, έτσι και η αυτεπαγωγή μετράται με διάφορες διατάξεις μέτρησης και πάλι μία από αυτές είναι με την χρήση βολτομέτρου και αμπερομέτρου. Το κύκλωμα για τον σκοπό αυτό είναι το παρακάτω:



Εικόνα 2.5 Κύκλωμα για την μέτρηση της αυτεπαγωγής ενός στοιχείου με βολτόμετρο και αμπερόμετρο υπό εναλλασσόμενη τάση.

Βάσει του ανωτέρω κυκλώματος, η αυτεπαγωγή ενός στοιχείου υπολογίζεται από τον τύπο:

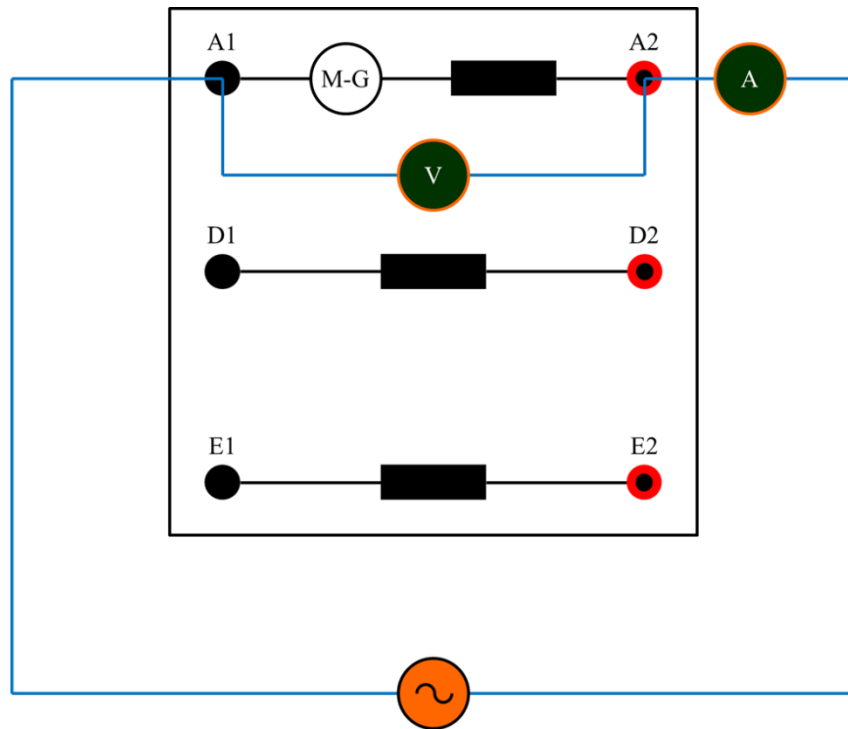
$$L = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{V_{\sim}}{I_{\sim}}\right)^2 - R^2} \quad (1.25)$$

όπου:

f : Συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης.

R : Ωμική αντίσταση του στοιχείου.

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
 Υλοποιούμε την παρακάτω συνδεσμολογία στο κιβώτιο ακροδεκτών του MOD.4160:



Εικόνα 2.6 Σχηματική αναπαράσταση του κιβωτίου ακροδεκτών του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί με όργανα μέτρησης για την μέτρηση της αυτεπαγωγής τυμπάνου.

Τροφοδοτούμε το τύλιγμα τυμπάνου με εναλλασσόμενη τάση μέσω ενός τροφοδοτικού. Μεταβάλλοντας αυτή την τάση, καταγράφουμε τις εξής μετρήσεις:

Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της αυτεπαγωγής τυμπάνου	
$V_{a\sim}$	$I_{a\sim}$
93,00V	7,05A
70,20V	5,07A
50,00V	3,57A
35,00V	2,50A
20,00V	1,44A

Πίνακας 2.4 Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της αυτεπαγωγής τυμπάνου.

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
 Επεξεργαζόμαστε τις μετρήσεις ως εξής:

$$L_{a_i} = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{V_{a\sim i}}{I_{a\sim i}}\right)^2 - R_a^2} = \begin{cases} \frac{1}{2\pi \cdot 50\text{Hz}} \sqrt{\left(\frac{93,00\text{V}}{7,05\text{A}}\right)^2 - (1,72\Omega)^2} \cong 0,04\text{H} & (1) \\ \frac{1}{2\pi \cdot 50\text{Hz}} \sqrt{\left(\frac{70,20\text{V}}{5,07\text{A}}\right)^2 - (1,72\Omega)^2} \cong 0,04\text{H} & (2) \\ \frac{1}{2\pi \cdot 50\text{Hz}} \sqrt{\left(\frac{50,00\text{V}}{3,57\text{A}}\right)^2 - (1,72\Omega)^2} \cong 0,04\text{H} & (3) \\ \frac{1}{2\pi \cdot 50\text{Hz}} \sqrt{\left(\frac{35,00\text{V}}{2,50\text{A}}\right)^2 - (1,72\Omega)^2} \cong 0,04\text{H} & (4) \\ \frac{1}{2\pi \cdot 50\text{Hz}} \sqrt{\left(\frac{20,00\text{V}}{1,44\text{A}}\right)^2 - (1,72\Omega)^2} \cong 0,04\text{H} & (5) \end{cases}$$

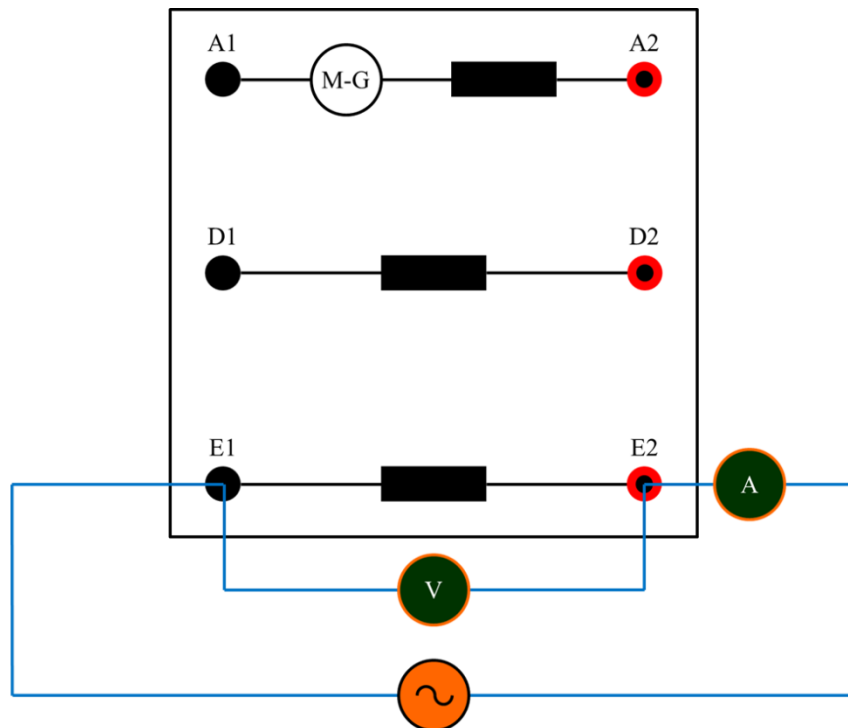
Άρα:

$$L_a = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 L_{a_i} \Rightarrow L_a = \frac{0,04\text{H} + 0,04\text{H} + 0,04\text{H} + 0,04\text{H} + 0,04\text{H}}{5} \Rightarrow$$

$$\boxed{L_a = 0,04\text{H}}$$

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
2.2.4 Αυτεπαγωγή διέγερσης

Εφαρμόζουμε στο τύλιγμα διέγερσης την ίδια διαδικασία που εφαρμόσαμε και στο τύλιγμα τυμπάνου. Υλοποιούμε την παρακάτω συνδεσμολογία στο κιβώτιο ακροδεκτών του MOD.4160:



Εικόνα 2.7 Σχηματική αναπαράσταση του κιβωτίου ακροδεκτών του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί με όργανα μέτρησης για την μέτρηση της αυτεπαγωγής διέγερσης.

Τροφοδοτούμε το τύλιγμα διέγερσης με εναλλασσόμενη τάση μέσω ενός τροφοδοτικού. Μεταβάλλοντας αυτή την τάση, καταγράφουμε τις εξής μετρήσεις:

Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της αυτεπαγωγής διέγερσης	
$V_{f\sim}$	$I_{f\sim}$
55,40V	1,41mA
93,40V	2,26mA
143,50V	3,35mA
220,00V	4,98mA
288,90V	6,37mA

Πίνακας 2.5 Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της αυτεπαγωγής διέγερσης.

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
Επεξεργαζόμαστε τις μετρήσεις ως εξής:

$$L_{f_i} = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{V_{f\sim i}}{I_{f\sim i}}\right)^2 - R_f^2} =$$

$$\left\{ \frac{1}{2\pi \cdot 50\text{Hz}} \sqrt{\left(\frac{55,40\text{V}}{1,41\text{mA}}\right)^2 - (610,94\Omega)^2} \cong 125,05\text{H} \quad (1) \right.$$

$$\frac{1}{2\pi \cdot 50\text{Hz}} \sqrt{\left(\frac{93,40\text{V}}{2,26\text{mA}}\right)^2 - (610,94\Omega)^2} \cong 131,53\text{H} \quad (2)$$

$$\frac{1}{2\pi \cdot 50\text{Hz}} \sqrt{\left(\frac{143,50\text{V}}{3,35\text{mA}}\right)^2 - (610,94\Omega)^2} \cong 136,34\text{H} \quad (3)$$

$$\frac{1}{2\pi \cdot 50\text{Hz}} \sqrt{\left(\frac{220,00\text{V}}{4,98\text{mA}}\right)^2 - (610,94\Omega)^2} \cong 140,61\text{H} \quad (4)$$

$$\frac{1}{2\pi \cdot 50\text{Hz}} \sqrt{\left(\frac{288,90\text{V}}{6,37\text{mA}}\right)^2 - (610,94\Omega)^2} \cong 144,35\text{H} \quad (5)$$

Άρα:

$$L_f = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 L_{f_i} \Rightarrow L_f = \frac{125,05\text{H} + 131,53\text{H} + 136,34\text{H} + 140,61\text{H} + 144,35\text{H}}{5} \Rightarrow$$

$$\boxed{L_f \cong 135,58\text{H}}$$

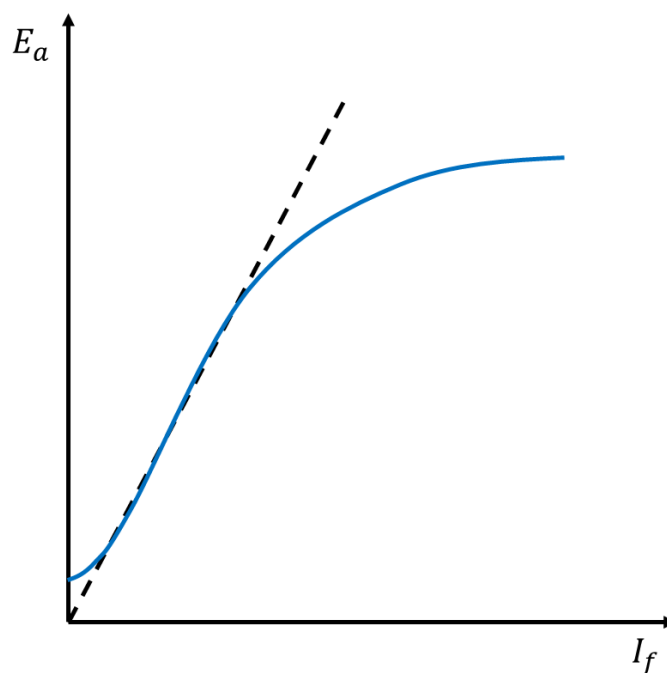
2.2.5 Αλληλεπαγωγή τυμπάνου και διέγερσης

Για να υπολογίσουμε την αλληλεπαγωγή μεταξύ του τυλίγματος τυμπάνου και του τυλίγματος διέγερσης, θα πρέπει να σχεδιάσουμε την χαρακτηριστική κάμπυλη κενού φορτίου. Αυτό θα γίνει ως εξής:

Αρχικά, η εξ επαγωγής τάση που αναπτύσσεται στα άκρα του τυλίγματος τυμπάνου δίνεται από τον τύπο:

$$E_a = I_f \omega_m M_{af} \quad (1.19)$$

Άρα, υφίσταται η συνάρτηση $E_a(I_f)$ που, μάλιστα, είναι γνησίως αύξουσα. Η γραφική της παράσταση για λειτουργία χωρίς φορτίο καλείται χαρακτηριστική κάμπυλη κενού φορτίου και έχει την παρακάτω μορφή:



Εικόνα 2.8 Χαρακτηριστική κάμπυλη κενού φορτίου γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης.

Παρατηρούμε ότι η χαρακτηριστική κάμπυλη κενού φορτίου αποτελείται από τρία τμήματα:

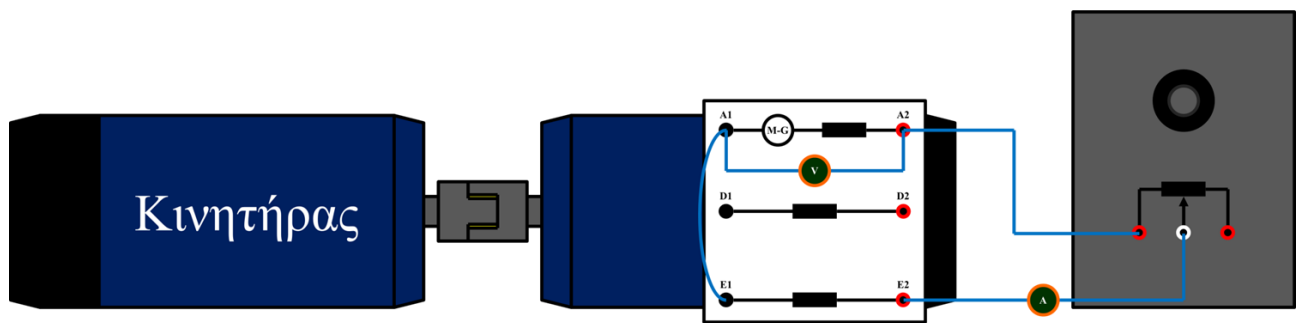
1^ο τμήμα: Για μηδενικό ρεύμα διέγερσης, υπάρχει μία μικρή τιμή εξ επαγωγής τάσης στο τύλιγμα τυμπάνου. Αυτό οφείλεται στον παραμένοντα μαγνητισμό από προηγούμενες χρήσεις.

2^ο τμήμα: Για ένα εύρος τιμών του ρεύματος διέγερσης, η εξ επαγωγής τάση του τυλίγματος τυμπάνου αυξάνεται γραμμικά και μάλιστα η κλίση της δίνει το εξής:

$$\frac{\Delta E_a}{\Delta I_f} = \omega_m M_{af} \quad (1.26)$$

3^ο τμήμα: Πέραν του γραμμικού μέρους, η εξ επαγωγής τάση αυξάνεται μη γραμμικά και μάλιστα με σταδιακά αποσβεννύμενη κλίση και αποτελεί την περιοχή κορεσμού.

Υλοποιούμε την παρακάτω συνδεσμολογία στο MOD.4160:



Εικόνα 2.9 Σχηματική αναπαράσταση του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί με κινητήρα, μεταβλητή αντίσταση και όργανα μέτρησης για την μέτρηση της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης.

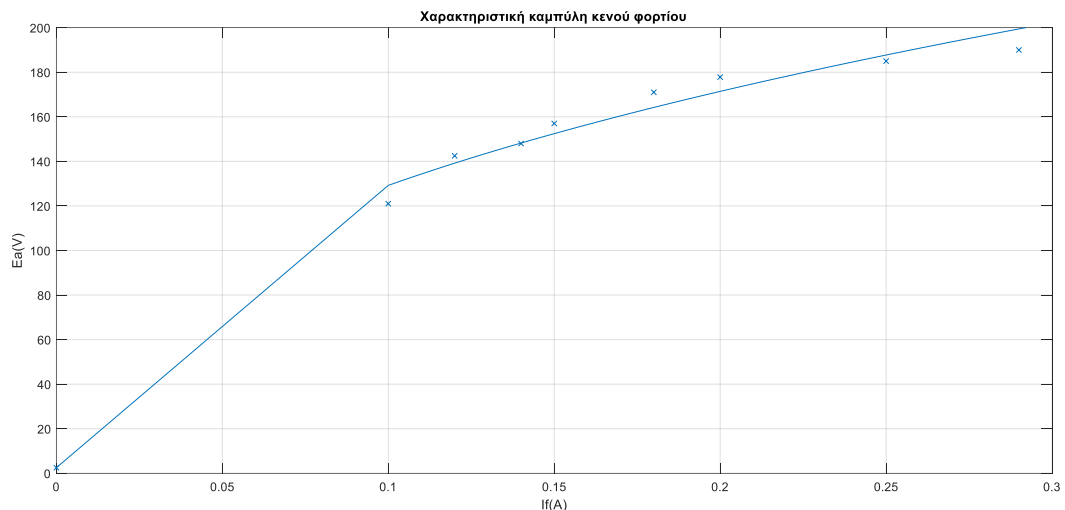
Τροφοδοτούμε τον κινητήρα με συνεχές ρεύμα μέσω ενός τροφοδοτικού. Διατηρώντας σταθερές τις στροφές του κινητήρα και ίσες με 2.850rpm και μεταβάλλοντας την θέση του στροφέα της μεταβλητής αντίστασης, καταγράφουμε τις εξής μετρήσεις:

Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης	
E_a	I_f
190,00V	0,29A
185,00V	0,25A

177,80V	0,20A
171,00V	0,18A
157,00V	0,15A
148,00V	0,14A
142,50V	0,12A
121,00V	0,10A
2,50V	0,00A

Πίνακας 2.6 Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης.

Βάσει των μετρήσεων του Πίν.2.6, σχεδιάζουμε την χαρακτηριστική καμπύλη κενού φορτίου της μηχανής:



Εικόνα 2.10 Χαρακτηριστική καμπύλη κενού φορτίου του MOD.4160.

Εύκολα παρατηρούμε το γραμμικό τμήμα της καμπύλης, το οποίο έχει κλίση:

$$\frac{\Delta E_a}{\Delta I_f} = 1.267,17\Omega$$

εκ του οποίου συνεπάγεται:

$$\omega_m M_{af} = 1.267,17\Omega \Rightarrow M_{af} = \frac{1.267,17\Omega}{\omega_m} \Rightarrow M_{af} = \frac{1.267,17\Omega}{2.850 \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}}} \Rightarrow$$

$$\boxed{M_{af} \cong 2,00\text{H}}$$

2.2.6 Σταθερά απόσβεσης

Για να υπολογίσουμε την σταθερά απόσβεσης, θα πρέπει να σχεδιάσουμε την χαρακτηριστική κάμπυλη ηλεκτρομαγνητικής ροπής-στροφών. Αυτό θα γίνει ως εξής:

Όπως προείπαμε, η ηλεκτρομαγνητική ροπή δίνεται από τον τύπο:

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \quad (1.20)$$

Όμως, είπαμε ότι:

$$E_a = I_f \omega_m M_{af} \quad (1.19)$$

Ας θεωρήσουμε την γεννήτρια ΣΡ παράλληλης διέγερσης σαν ηλεκτρική μηχανή, δηλαδή έχοντας την δυνατότητα με την κατάλληλη τροποποίηση να λειτουργήσει και ως κινητήρας. Με λίγα λόγια, ας θεωρήσουμε έναν κινητήρα ΣΡ παράλληλης διέγερσης. Ο 2^{ος} νόμος του Kirchhoff στον βρόχο του τυλίγματος τυμπάνου και, πλέον, της πηγής συνεχούς τάσης θα πάρει την μορφή:

$$V_a = E_a + I_a R_a \quad (1.27)$$

εκ του οποίου συνεπάγεται:

$$I_a = \frac{V_a - E_a}{R_a}$$

και:

$$E_a = V_a - I_a R_a$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (1.20), έχουμε:

$$T_{em} = \frac{V_a - E_a}{R_a} I_f M_{af} \Rightarrow$$

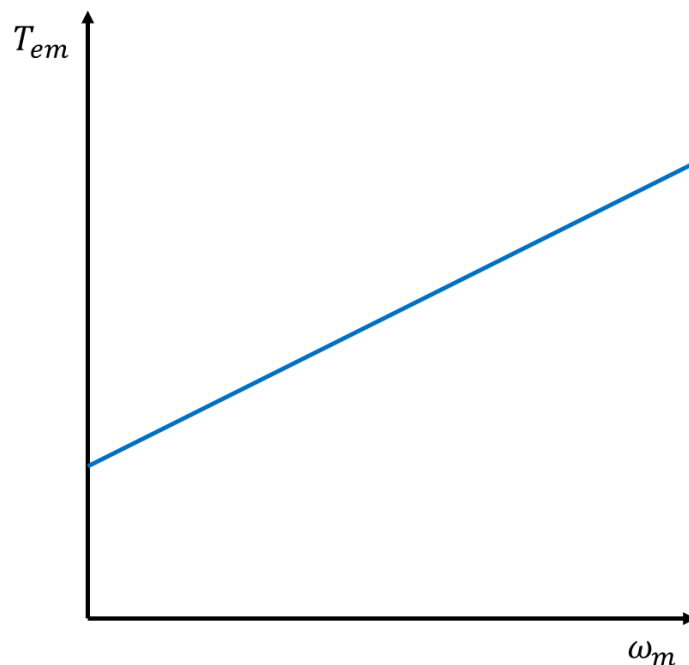
$$T_{em} = \frac{I_f M_{af}}{R_a} V_a - E_a I_f M_{af} \quad (1.28)$$

Τέλος, αντικαθιστώντας στην εξίσωση (1.19), έχουμε:

$$E_a = I_f \omega_m M_{af} \Rightarrow \omega_m = \frac{E_a}{I_f M_{af}} \Rightarrow \omega_m = \frac{V_a - I_a R_a}{I_f M_{af}} \Rightarrow$$

$$\omega_m = \frac{1}{I_f M_{af}} V_a - I_a R_a \quad (1.29)$$

Άρα, υφίστανται οι συναρτήσεις $T_{em}(V_a)$ και $\omega_m(V_a)$ οι οποίες, μάλιστα, είναι γραμμικές και γνησίως αύξουσες. Αν μεταβάλλουμε την V_a , θα αυξηθούν ταυτόχρονα η T_{em} και η ω_m γραμμικά. Αν λάβουμε κάθε ζεύγος τιμών (ω_m, T_{em}) , μπορούμε να δημιουργήσουμε μία γραφική παράσταση της, πλέον, συνάρτησης $T_{em}(\omega_m)$. Αυτή η γραφική παράσταση θα είναι τη εξής:

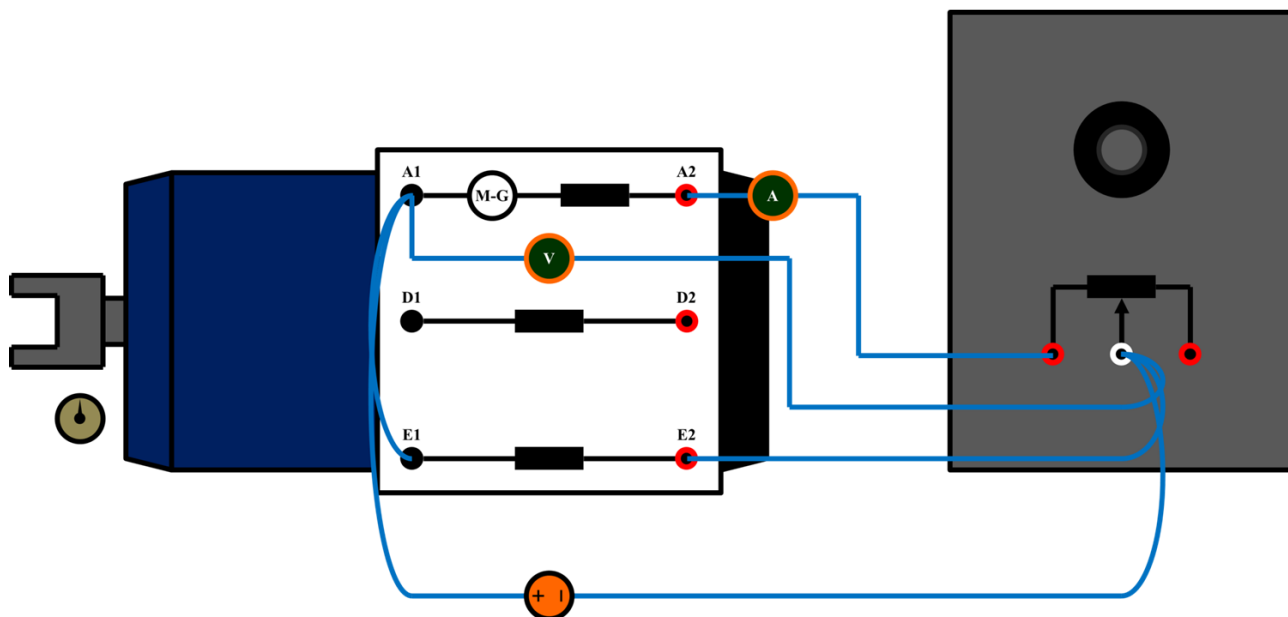


Εικόνα 2.11 Πειραματική καμπύλη ροπής-στροφών γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης.

Η κλίση αυτής καμπύλης δίνει το εξής:

$$\frac{\Delta T_{em}}{\Delta \omega_m} = B \quad (1.30)$$

Υλοποιούμε την παρακάτω συνδεσμολογία στο MOD.4160:



Εικόνα 2.12 Σχηματική αναπαράσταση του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί με τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος, μεταβλητή αντίσταση και όργανα μέτρησης για την μέτρηση της σταθεράς απόσβεσης.

Τροφοδοτούμε το MOD.4160 με συνεχές ρεύμα μέσω ενός τροφοδοτικού. Μεταβάλλοντας την θέση του στροφέα της μεταβλητής αντίστασης, καταγράφουμε τις εξής 6 διαφορετικές μετρήσεις:

Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης		
V_a	I_a	n
40V	0,34A	558rpm
80V	0,40A	1.123rpm
120V	0,45A	1.700rpm
160V	0,49A	2.295rpm
200V	0,52A	2.865rpm
220V	0,54A	3.150rpm

Πίνακας 2.7 Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της σταθεράς απόσβεσης.

Βάσει των εξισώσεων (1.19) και (1.20), η ηλεκτρομαγνητική ροπή μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = I_a \frac{E_a}{\omega_m M_{af}} M_{af} \Rightarrow T_{em} = \frac{E_a I_a}{\omega_m} \Rightarrow T_{em} = \frac{(V_a - I_a R_a) I_a}{\omega_m} \Rightarrow$$

$$T_{em} = \frac{V_a I_a - I_a^2 R_a}{\omega_m}$$

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
 Η σχέση μετατροπής στροφών ανά λεπτό (rpm) σε ακτίνια ανά δευτερόλεπτο (rad/s) είναι η εξής:

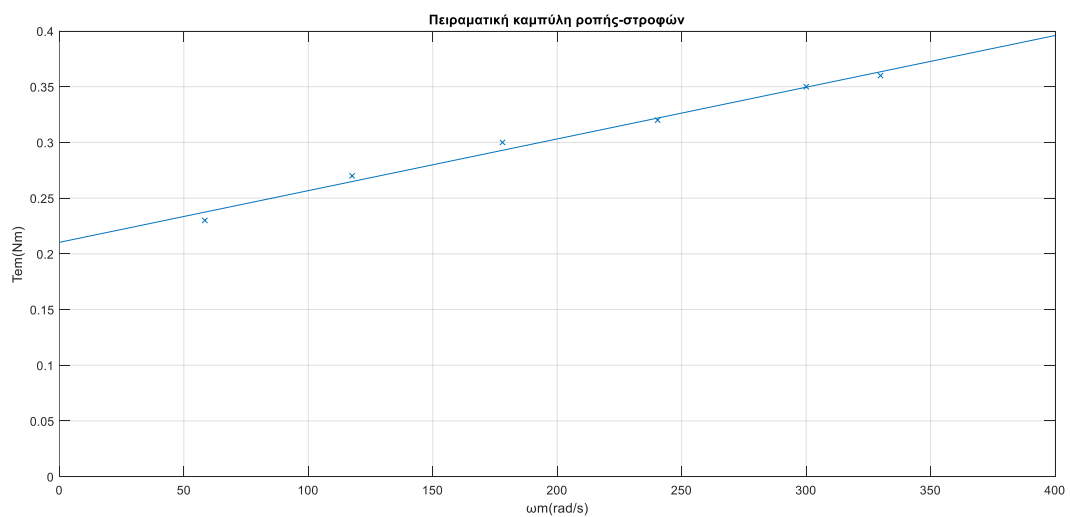
$$1\text{rpm} = \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}}$$

Βάσει των ανωτέρω δύο εξισώσεων, επεξεργαζόμαστε τις μετρήσεις ως εξής:

$$1\text{rpm} = \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 558\text{rpm} = 558 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \cong 58,43 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (1) \\ 1.123\text{rpm} = 1.123 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \cong 117,60 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (2) \\ 1.700\text{rpm} = 1.700 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \cong 178,02 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (3) \\ 2.295\text{rpm} = 2.295 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \cong 240,33 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (4) \\ 2.865\text{rpm} = 2.865 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \cong 300,02 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (5) \\ 3.150\text{rpm} = 3.150 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \cong 329,87 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (6) \end{array} \right.$$

$$T_{em} = \frac{V_a I_a - I_a^2 R_a}{\omega_m} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{40\text{V} \cdot 0,34\text{A} - (0,34\text{A})^2 \cdot 1,72\Omega}{58,43 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \cong 0,23\text{N} \cdot \text{m} \quad (1) \\ \frac{80\text{V} \cdot 0,40\text{A} - (0,40\text{A})^2 \cdot 1,72\Omega}{117,60 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \cong 0,27\text{N} \cdot \text{m} \quad (2) \\ \frac{120\text{V} \cdot 0,45\text{A} - (0,45\text{A})^2 \cdot 1,72\Omega}{178,02 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \cong 0,30\text{N} \cdot \text{m} \quad (3) \\ \frac{160\text{V} \cdot 0,49\text{A} - (0,49\text{A})^2 \cdot 1,72\Omega}{240,33 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \cong 0,32\text{N} \cdot \text{m} \quad (4) \\ \frac{200\text{V} \cdot 0,52\text{A} - (0,52\text{A})^2 \cdot 1,72\Omega}{300,02 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \cong 0,35\text{N} \cdot \text{m} \quad (5) \\ \frac{220\text{V} \cdot 0,54\text{A} - (0,54\text{A})^2 \cdot 1,72\Omega}{329,87 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \cong 0,36\text{N} \cdot \text{m} \quad (6) \end{array} \right.$$

Βάσει των ανωτέρω υπολογισμένων τιμών, σχεδιάζουμε την χαρακτηριστική καμπύλη ροπής-στροφών της μηχανής:



Εικόνα 2.13 Πειραματική καμπύλη ροπής-στροφών του MOD.4160.

Η κλίση της καμπύλης είναι:

$$\frac{\Delta T_{em}}{\Delta \omega_m} \cong 4,95 \cdot 10^{-4} \text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

εκ του οποίου συνεπάγεται:

$$B = 4,95 \cdot 10^{-4} \text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

2.2.7 Ροπή αδράνειας

Ας θεωρήσουμε και πάλι έναν κινητήρα ΣΡ παράλληλης διέγερσης. Ο 2^{ος} νόμος του Newton για την περιστροφική κίνηση θα πάρει την μορφή:

$$J \frac{d\omega_m(t)}{dt} + B\omega_m(t) = \tau_{em}(t) - \tau_L(t) \quad (1.31)$$

όπου:

$\tau_L(t)$: Ροπή φορτίου (N · m).

Αν διακόψουμε απότομα την τάση τροφοδοσίας, θα διακόψουμε και τα διάφορα ρεύματα στα τυλίγματα του κινητήρα. Άρα, δεν θα υπάρχει πλέον καμία ροπή. Δηλαδή, η παραπάνω διαφορική εξίσωση γίνεται:

$$J \frac{d\omega_m(t)}{dt} + B\omega_m(t) = 0 \quad (1.32)$$

Η οποία είναι μία ομογενής διαφορική εξίσωση πρώτης τάξης πρώτου βαθμού. Ως γνωστόν, έχει γενική λύση της μορφής:

$$\omega_m(t) = ce^{\lambda t} \quad (1.33)$$

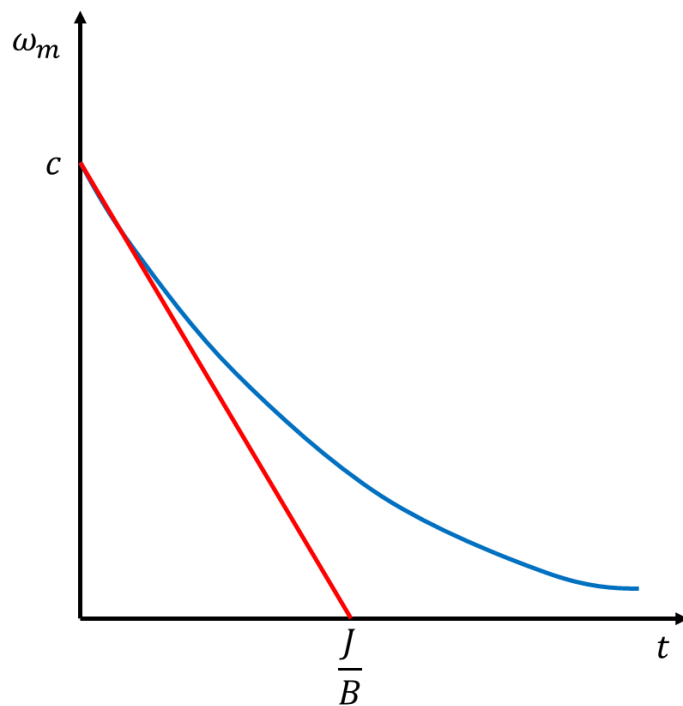
Η σταθερά c προκύπτει από τις αρχικές συνθήκες του κινητήρα, ενώ η σταθερά λ προκύπτει από την λύση του χαρακτηριστικού πολωνύμου αυτής της διαφορικής εξίσωσης. Συγκεκριμένα:

$$J\lambda + B = 0 \Rightarrow \lambda = -\frac{B}{J} \quad (1.34)$$

Άρα:

$$\omega_m(t) = ce^{-\frac{B}{J}t} \quad (1.35)$$

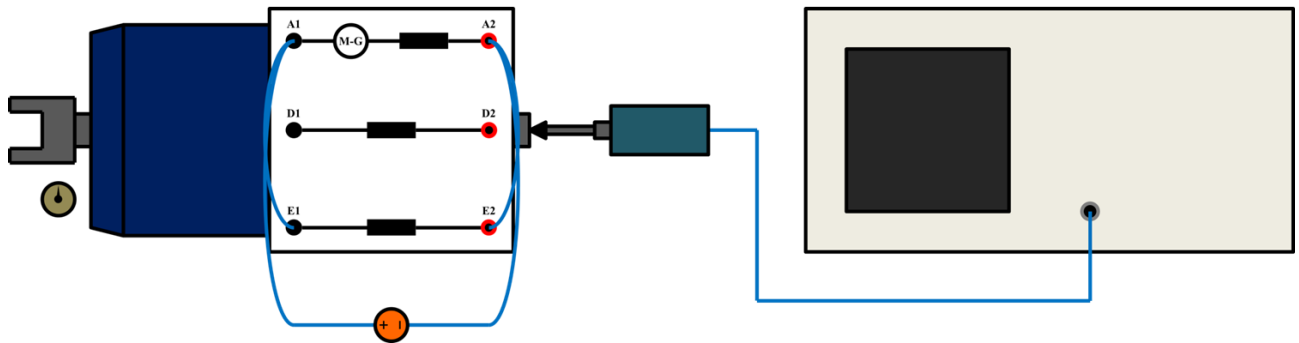
Η γραφική παράσταση αυτής της συνάρτησης έχει την εξής μορφή:



Εικόνα 2.14 Γραφική παράσταση στροφών-χρόνου κινητήρα ΣΡ παράλληλης διέγερσης κατά την διαδικασία της ελεύθερης πέδησής του, μαζί με την εφαπτομένη της στο σημείο τομής της με τον κατακόρυφο άξονα.

Το σημείο τομής της ανωτέρω εφαπτομένης με τον οριζόντιο άξονα δίνει τον λόγο J/B . Άρα, γνωρίζοντας αυτό το σημείο και το B , μπορούμε να υπολογίσουμε το J .

Υλοποιούμε την παρακάτω συνδεσμολογία στο MOD.4160:



Εικόνα 2.15 Σχηματική αναπαράσταση του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί με τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος, ταχογεννήτρια, όργανα μέτρησης και παλμογράφο για την μέτρηση της ροπής αδράνειας.

Συγκεκριμένα, συνδέουμε το MOD.4160 σε παράλληλη διέγερση και το τροφοδοτούμε με συνεχή τάση. Αυξάνουμε την τάση τροφοδοσίας μέχρι ο άξονας να περιστρέφεται περίπου στις ονομαστικές στροφές. Έπειτα, τοποθετούμε μία ταχογεννήτρια σε κατάλληλο σημείο του άξονα. Η ταχογεννήτρια είναι μία συσκευή η οποία μπορεί να βοηθήσει στην μέτρηση των στροφών μίας μηχανής μέσω μετατροπής τους σε τάση. Την τάση αυτή απεικονίζουμε σε έναν παλμογράφο. Αφού γίνουν όλα αυτά, διακόπτουμε απότομα την τροφοδοσία του MOD.4160 και καταγράφουμε το γράφημα του παλμογράφου. Το γράφημα αυτό είναι η γραφική παράσταση της τάσης εξόδου της ταχογεννήτριας συναρτήσει του χρόνου. Η σχέση μετατροπής της ταχογεννήτριας είναι:

$$\frac{n}{V} = \frac{100\text{rpm}}{0,2V}$$

Το μέγιστο πλάτος της γραφικής παράστασης είναι:

$$V = 6V$$

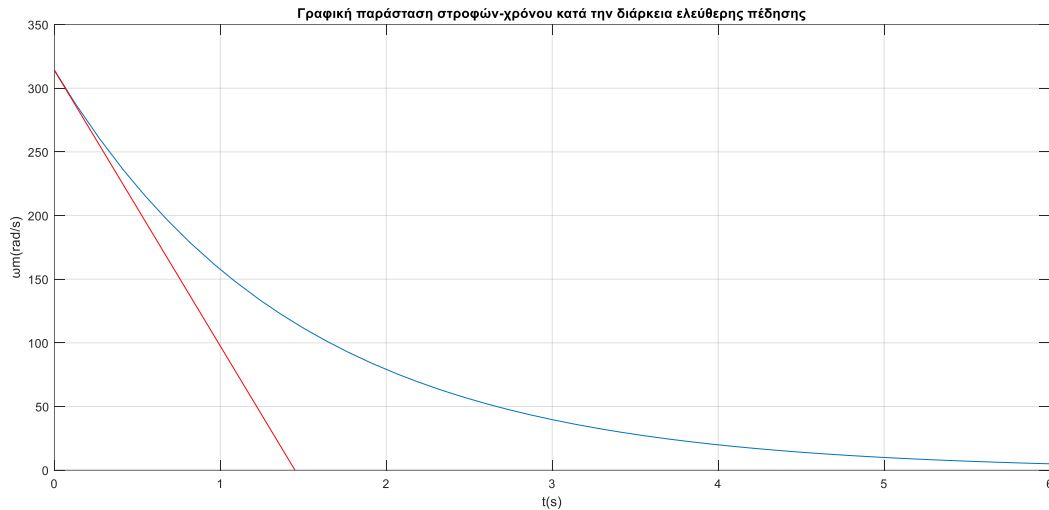
Άρα, οι μέγιστες στροφές είναι:

$$\frac{n}{6V} = \frac{100\text{rpm}}{0,2V} \Rightarrow n = \frac{100\text{rpm}}{0,2V} \cdot 6V \Rightarrow n = 3.000\text{rpm}$$

Και σε rad/s:

$$\omega_{m_{max}} \cong 314,16 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Βάσει του παλμογράφου, η γραφική παράσταση στροφών-χρόνου του MOD.4160 είναι:



Εικόνα 2.16 Γραφική παράσταση στροφών συναρτήσει του χρόνου του MOD.4160 κατά την διαδικασία της ελεύθερης πέδησής του, μαζί με την εφαπτομένη της στο σημείο τομής της με τον κατακόρυφο άξονα.

Υπολογίζουμε το εξής σημείο τομής της εφαπτομένης με τον οριζόντιο άξονα:

$$\frac{J}{B} = 1,45s$$

εκ του οποίου συνεπάγεται:

$$J = 1,45s \cdot B \Rightarrow J = 1,45s \cdot 4,95 \cdot 10^{-4} N \cdot m \cdot s \Rightarrow$$

$$J \cong 7,18 \cdot 10^{-4} kg \cdot m^2$$

Συγκεντρωτικά:

$$R_a = 1,72\Omega$$

$$R_f = 610,94\Omega$$

$$L_a = 0,04H$$

$$L_f = 135,58H$$

$$M_{af} = 4,08H$$

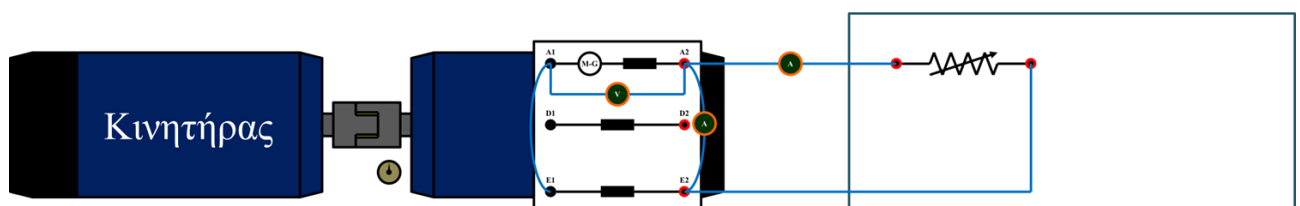
$$B = 4,95 \cdot 10^{-4} N \cdot m \cdot s$$

$$J = 7,18 \cdot 10^{-4} kg \cdot m^2$$

2.2.8 Τιμές αρχικών συνθηκών

Για να προσομοιώσουμε την γεννήτρια ΣΡ παράλληλης διέγερσης σε πρόγραμμα προσομοίωσης, θα πρέπει να ορίσουμε τις αρχικές συνθήκες της. Αυτές θα προκύψουν πειραματικά ως εξής:

Υλοποιούμε την παρακάτω συνδεσμολογία στο MOD.4160:



Εικόνα 2.17 Σχηματική αναπαράσταση του MOD.4160 συνδεδεμένο μαζί κινητήρα, με μεταβλητό ωμικό φορτίο και με όργανα μέτρησης για την μέτρηση των ηλεκτρικών μεγεθών.

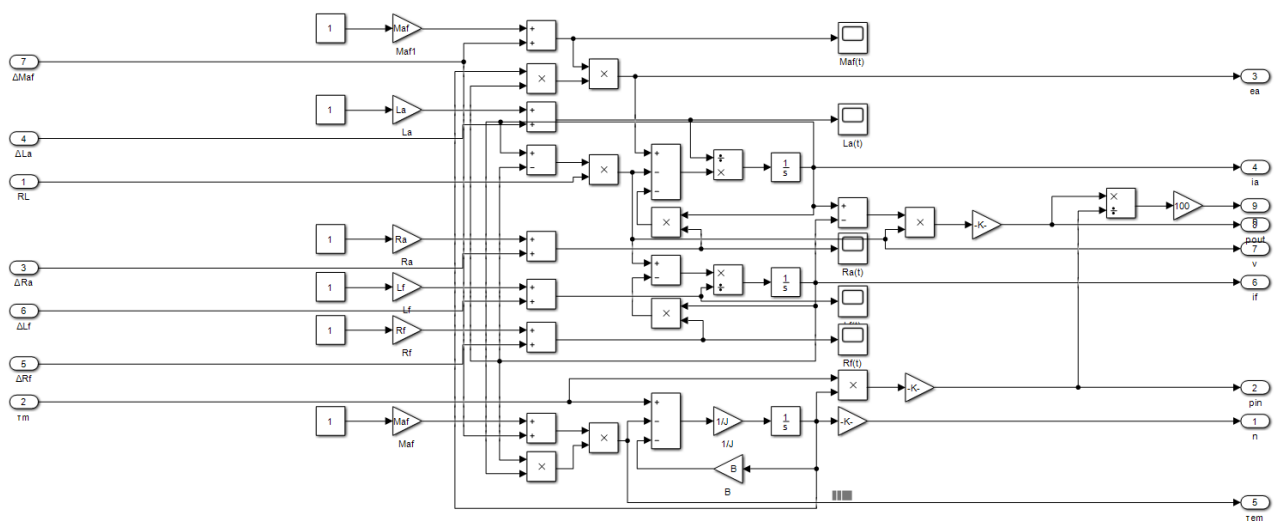
Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια. Τροφοδοτούμε τον κινητήρα με συνεχές ρεύμα μέσω ενός τροφοδοτικού. Για σταθερή τιμή του φορτίου καταγράφουμε τις εξής μετρήσεις:

Τιμές αρχικών συνθηκών			
V_a	I_a	I_f	n
209,9V	4,16A	0,3436A	3.016rpm

Πίνακας 2.8 Τιμές αρχικών συνθηκών.

2.3 Προσομοίωση του συστήματος

Αφού υπολογίσαμε τα χαρακτηριστικά μεγέθη και τις αρχικές συνθήκες της γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης, τώρα πρέπει να την υλοποιήσουμε σε ένα περιβάλλον προσομοίωσης-όπως είναι το Simulink-να εφαρμόσουμε διάφορα λειτουργικά σενάρια, να παρατηρήσουμε τις διάφορες αποκρίσεις σε μεταβολές των εισόδων της, να τις επαληθεύσουμε θεωρητικά, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις μόνιμης κατάστασης, και να τις σχολιάσουμε.

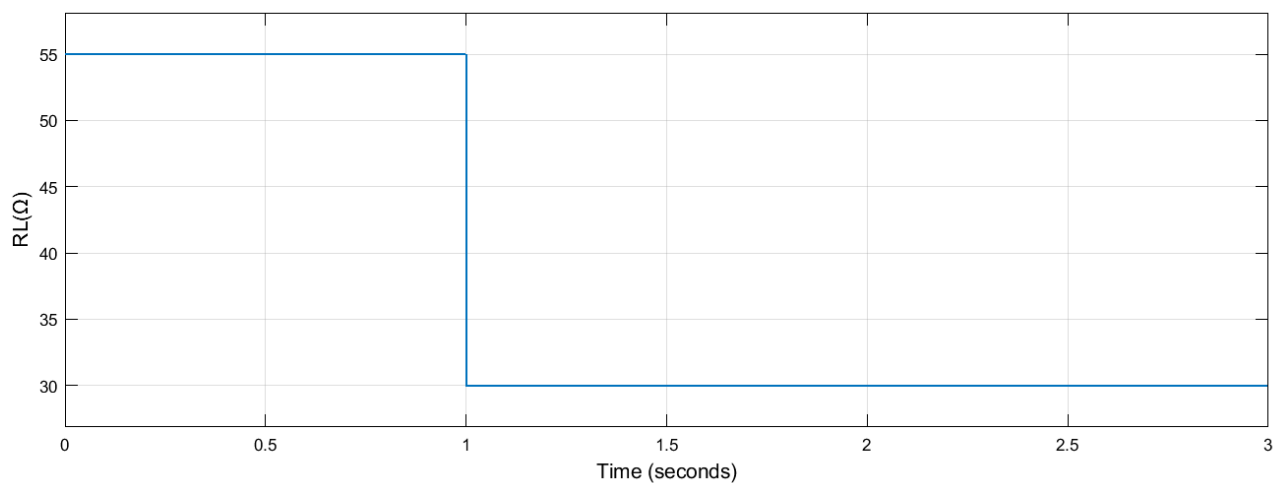


Εικόνα 2.18 Διάγραμμα βαθμίδων γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης υπό φορτίο σχεδιασμένο στο Simulink, μαζί με επιπλέον βαθμίδες για τον υπολογισμό και την μέτρηση μεγεθών.

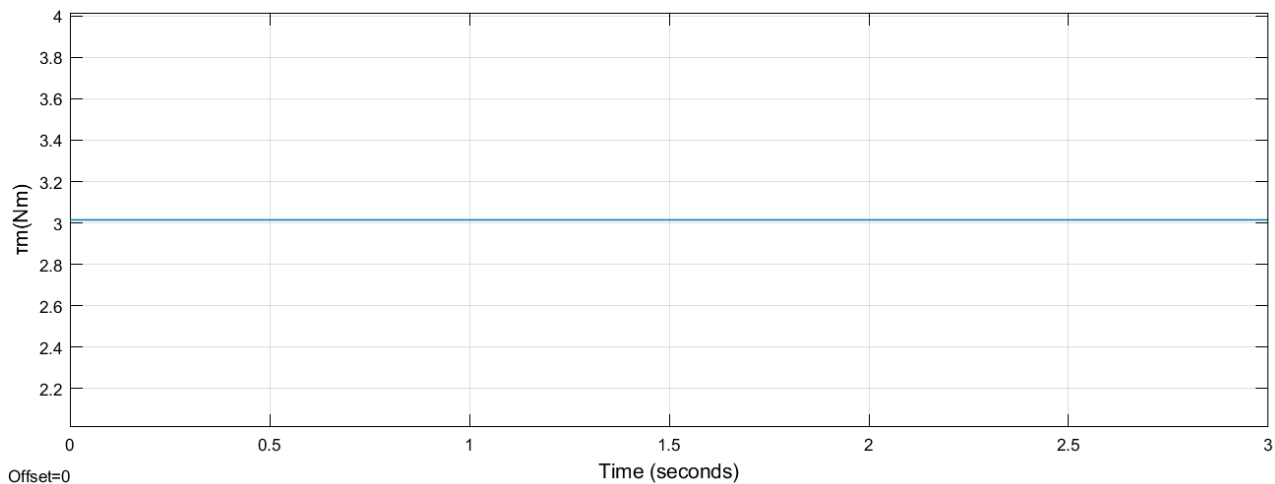
2.3.1 Λειτουργικό σενάριο 1^ο: Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω

Στις ακόλουθες πέντε ενότητες θα διερευνήσουμε τη συμπεριφορά της γεννήτριας για διάφορες τιμές βηματικής μεταβολής της ωμικής αντίστασης του φορτίου της. Αρχικά, η γεννήτρια λειτουργεί στη μόνιμη κατάσταση σε ονομαστικές συνθήκες. Η μηχανική ροπή είναι σταθερή και ίση με $3,015\text{N} \cdot \text{m}$. Η βηματική μεταβολή εφαρμόζεται την χρονική στιγμή $t = 1\text{s}$.

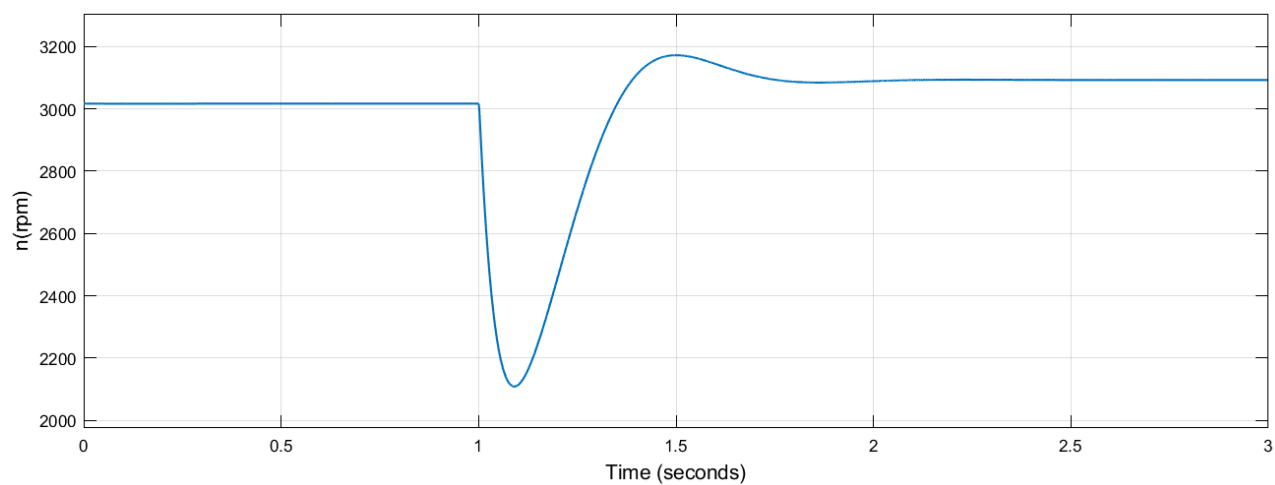
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική μεταβολή της R_L από 55Ω σε 30Ω. Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



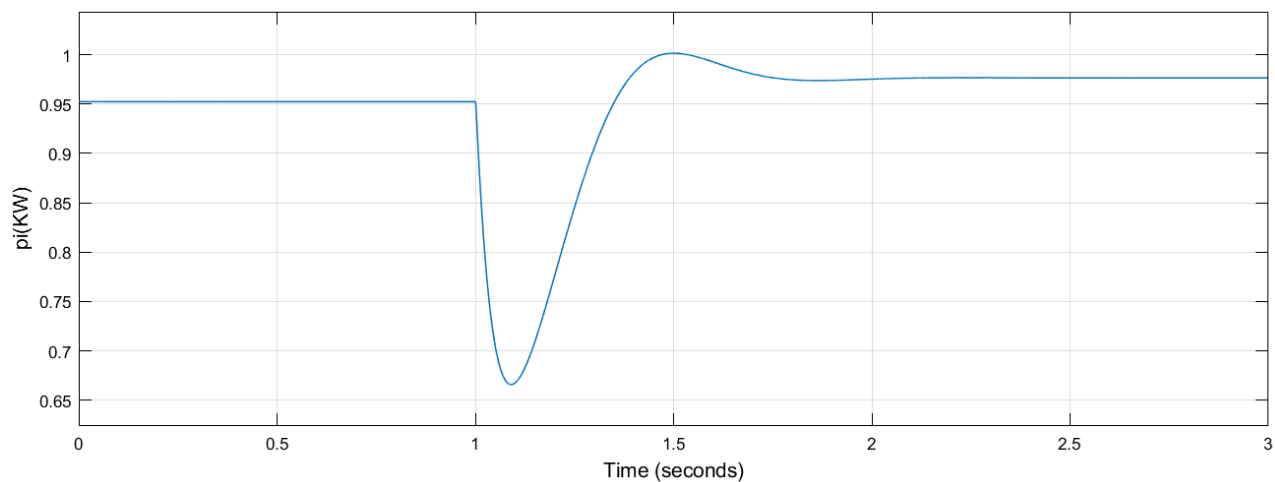
Εικόνα 2.19 Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω.



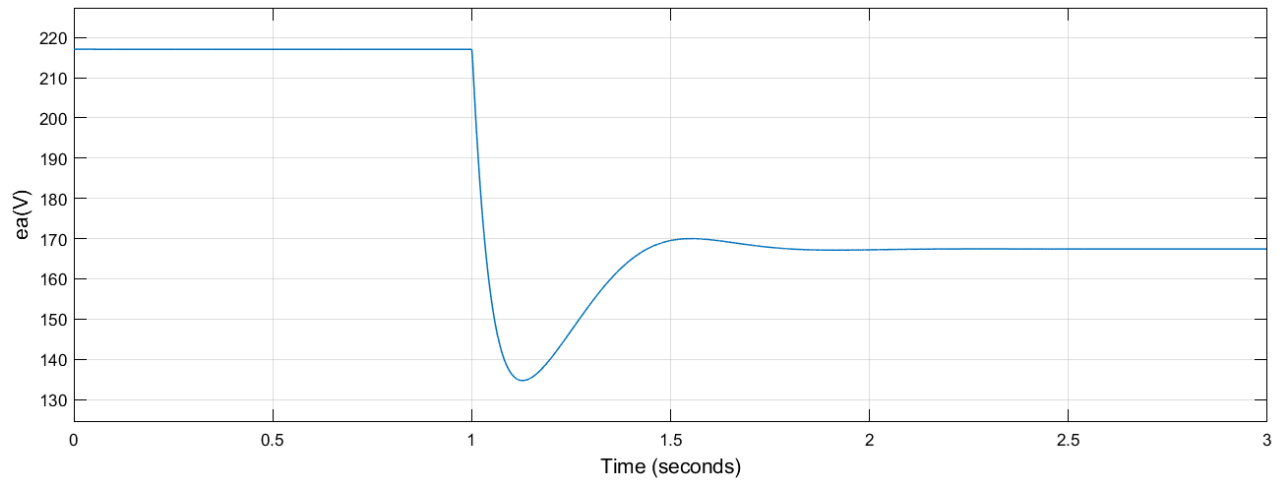
Εικόνα 2.20 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.



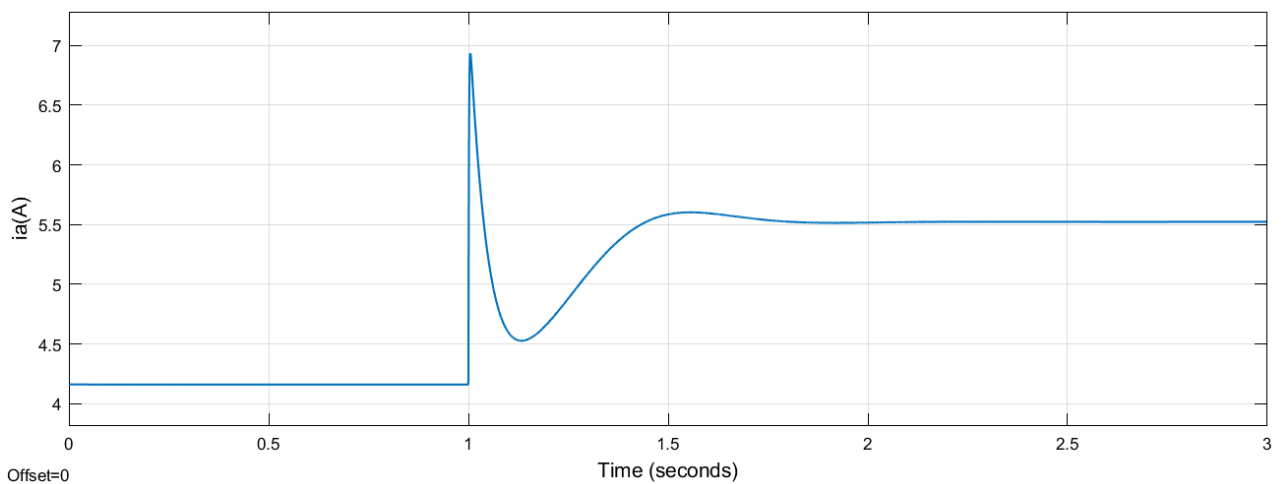
Εικόνα 2.21 Απόκριση στροφών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω.



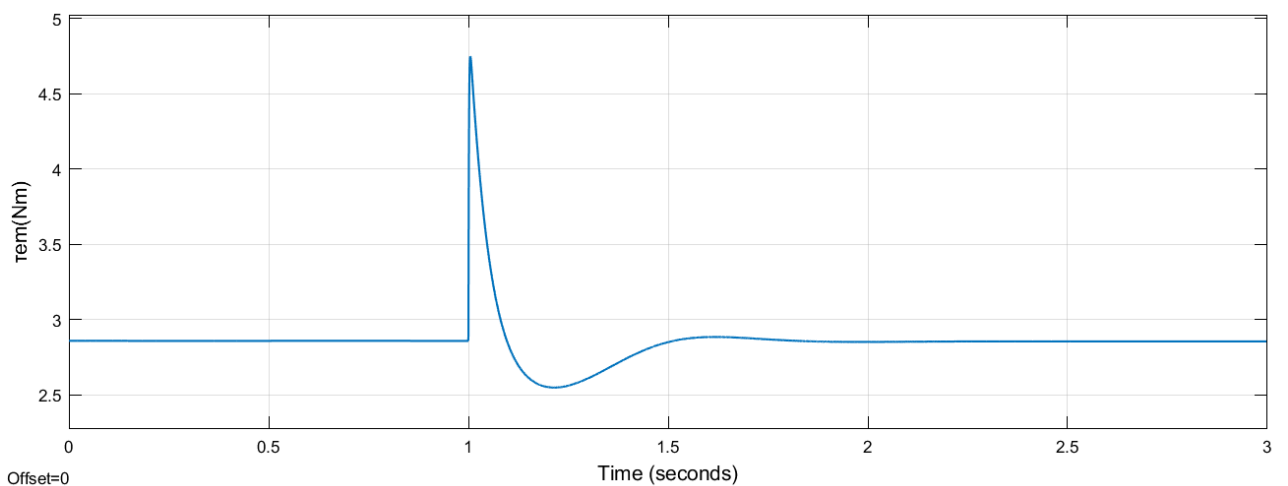
Εικόνα 2.22 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω.



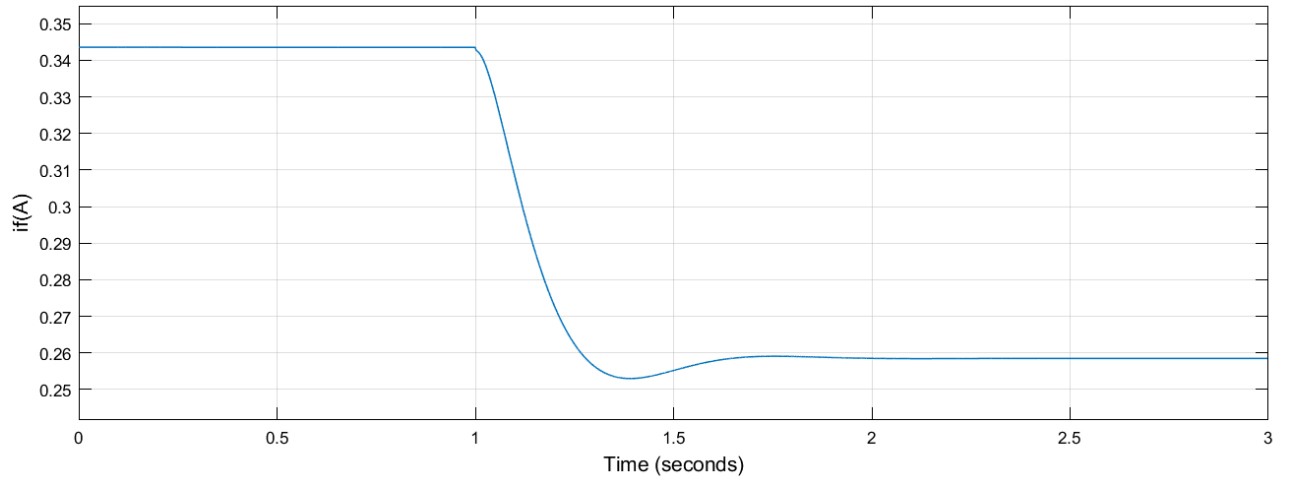
Εικόνα 2.23 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω.



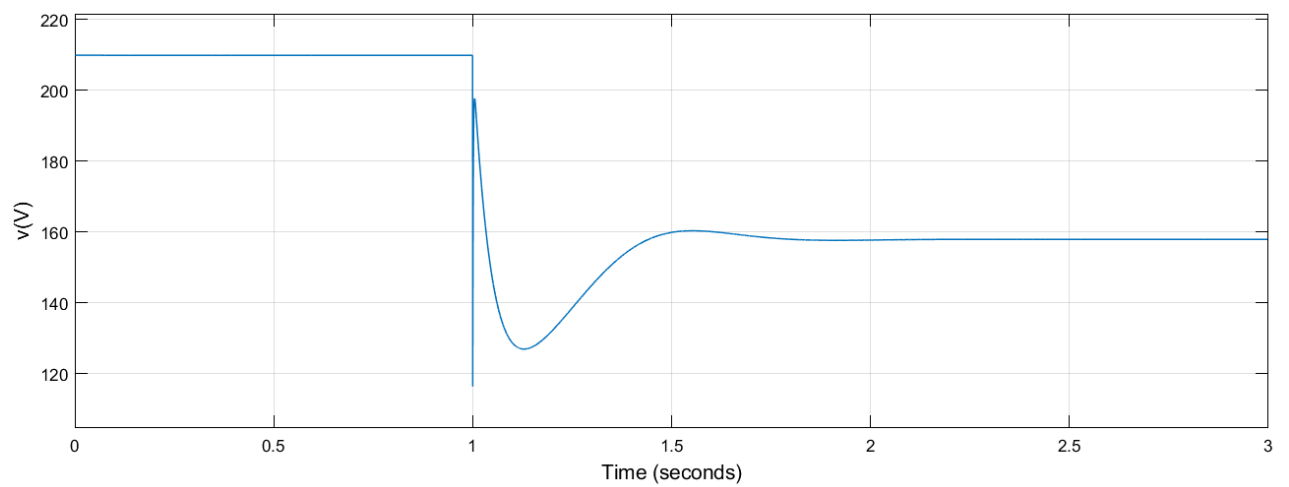
Εικόνα 2.24 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω.



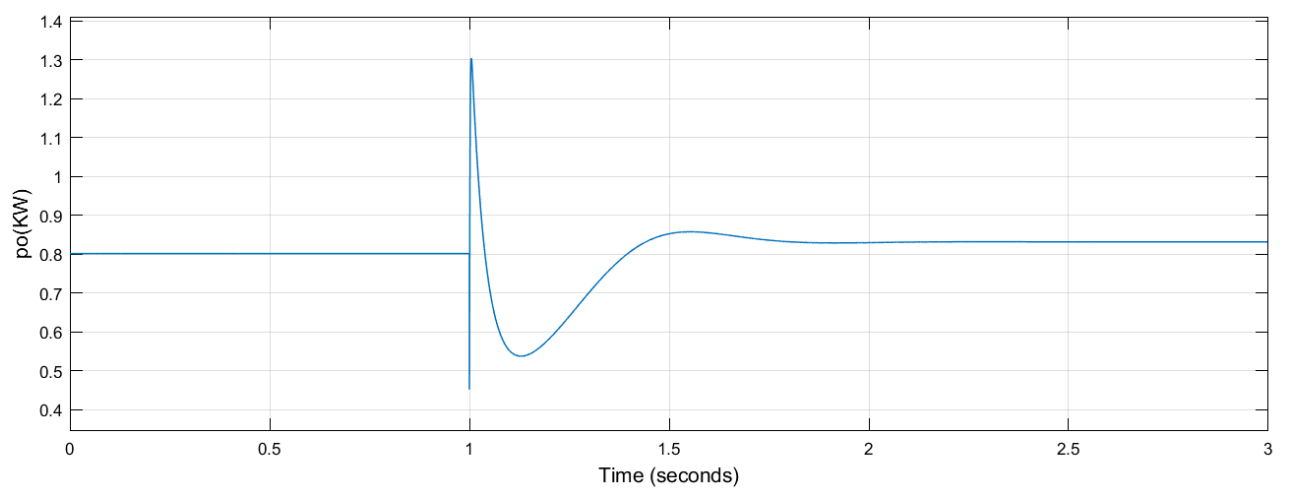
Εικόνα 2.25 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω.



Εικόνα 2.26 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω.



Εικόνα 2.27 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω.



Εικόνα 2.28 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω.

Τιμές μεγεθών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω			
Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_L	55Ω	30Ω	↓
τ_m	3,015N · m	3,015N · m	-
n	3.016rpm	3.092rpm	↑
p_{in}	0,9524kW	0,9764kW	↑
e_a	217,1V	167,4V	↓
i_a	4,160A	5,522A	↑
τ_{em}	2,859N · m	2,855N · m	↓
i_f	0,3436A	0,2585A	↓
v_L	209,9V	157,9V	↓
p_{out}	0,8011kW	0,8312kW	↑
η	-	85,13%	-

Πίνακας 2.9 Τιμές μεγεθών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 30Ω.

2.3.2 Επαλήθευση τιμών 1^ο λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 3,015\text{N} \cdot \text{m} \cdot 3.092 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 0,9762\text{kW}}$$

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{157,9\text{V}}{610,94\Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,2585\text{A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f)R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{157,9\text{V} + 0,2585\text{A} \cdot 30\Omega}{30\Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 5,522\text{A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 157,9\text{V} + 5,522\text{A} \cdot 1,72\Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 167,4\text{V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 5,522\text{A} \cdot 0,2585\text{A} \cdot 2,00\text{H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 2,855\text{N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 157,9\text{V} \cdot (5,522\text{A} - 0,2585\text{A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 0,8311\text{kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{0,8311\text{kW}}{0,9762\text{kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 85,14\%}$$

Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

2.3.3 Σχολιασμός 1^ο λειτουργικού σεναρίου

Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι:

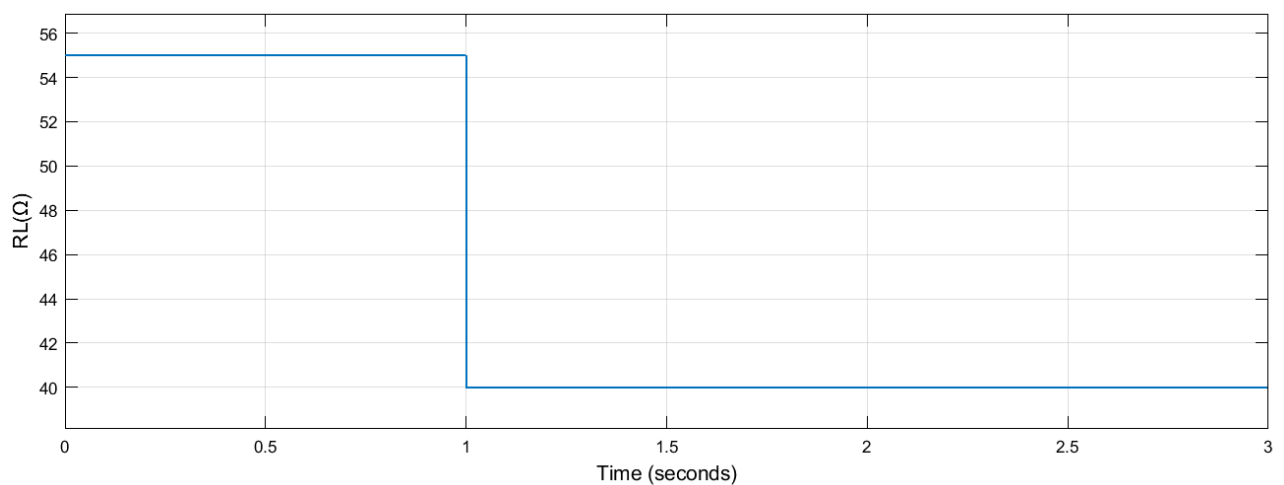
- Οι **στροφές** αυξήθηκαν μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, οι στροφές είναι ανάλογες της τάσης του φορτίου και του ρεύματος τυμπάνου και αντιστρόφως ανάλογες του ρεύματος διέγερσης. Η τάση φορτίου μειώνεται, αλλά το ρεύμα τυμπάνου αυξάνεται και το ρεύμα διέγερσης μειώνεται. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή των δύο τελευταίων και οι στροφές, τελικά, αυξήθηκαν.
- Η **ισχύς εισόδου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ισχύς εισόδου είναι ανάλογη της μηχανικής ροπής και των στροφών. Η πρώτη παραμένει σταθερή, ενώ οι δεύτερες αυξήθηκαν, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκε και η ισχύς εισόδου.
- Η **εξ επαγωγής τάση τυμπάνου** μειώθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η εξ επαγωγής τάση τυμπάνου είναι ανάλογη του ρεύματος διέγερσης και των στροφών. Το πρώτο μειώθηκε, ενώ οι δεύτερες αυξήθηκαν. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή του πρώτου και η εξ επαγωγής τάση τυμπάνου, τελικά, μειώθηκε.
- Το **ρεύμα τυμπάνου** αυξήθηκε μετά από κορύφωση και αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, το ρεύμα τυμπάνου είναι ανάλογο του ρεύματος φορτίου, το οποίο με την σειρά του είναι αντιστρόφως ανάλογο της ωμικής αντίστασης φορτίου. Η τελευταία μειώθηκε, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκε το ρεύμα τυμπάνου.
- Η **ηλεκτρομαγνητική ροπή** μειώθηκε μετά από κορύφωση και αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ηλεκτρομαγνητική ροπή είναι ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου και του ρεύματος διέγερσης. Το πρώτο αυξήθηκε, ενώ το δεύτερο μειώθηκε. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή του δεύτερου και η ηλεκτρομαγνητική ροπή, τελικά, μειώθηκε.
- Το **ρεύμα διέγερσης** μειώθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, το ρεύμα διέγερσης είναι ανάλογο της τάσης φορτίου. Αυτή μειώθηκε, άρα για τον λόγο αυτό μειώθηκε και το ρεύμα διέγερσης.

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια

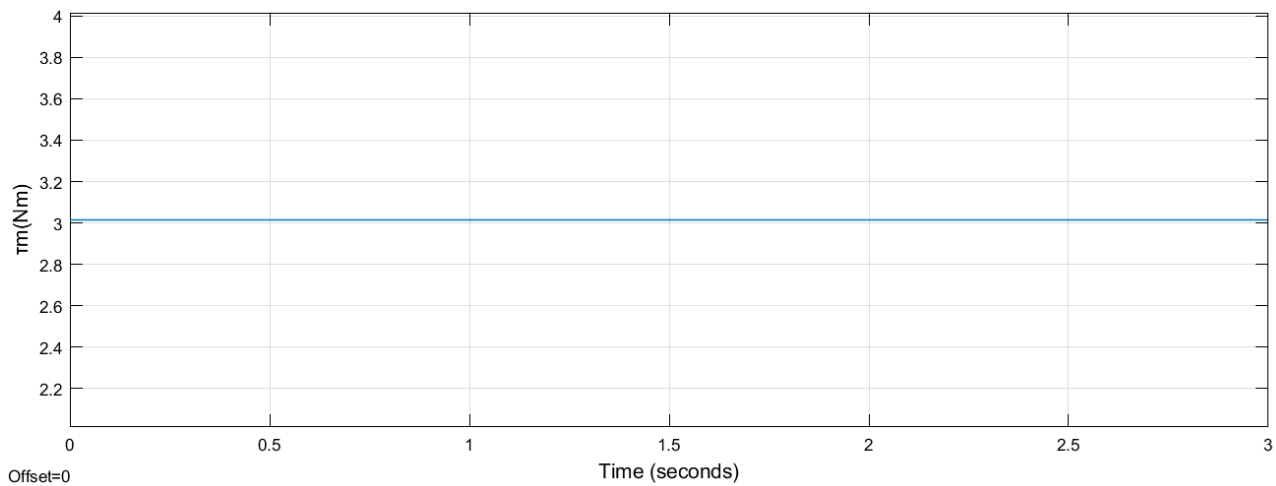
- Η **τάση φορτίου** μειώθηκε μετά από κατακόρυφη μείωση και αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η τάση φορτίου είναι ανάλογη της ωμικής αντίστασης φορτίου. Αυτή μειώθηκε, άρα για τον λόγο αυτό μειώθηκε και η τάση φορτίου.
- Η **ισχύς εξόδου** αυξήθηκε μετά από κορύφωση και αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ισχύς εξόδου είναι ανάλογη της τάσης φορτίου και του ρεύματος φορτίου. Η πρώτη μειώθηκε, ενώ το δεύτερο αυξήθηκε. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή του δεύτερου, αφού η ισχύς εξόδου, τελικά, αυξήθηκε.

2.3.4 Λειτουργικό σενάριο 2^ο: Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω

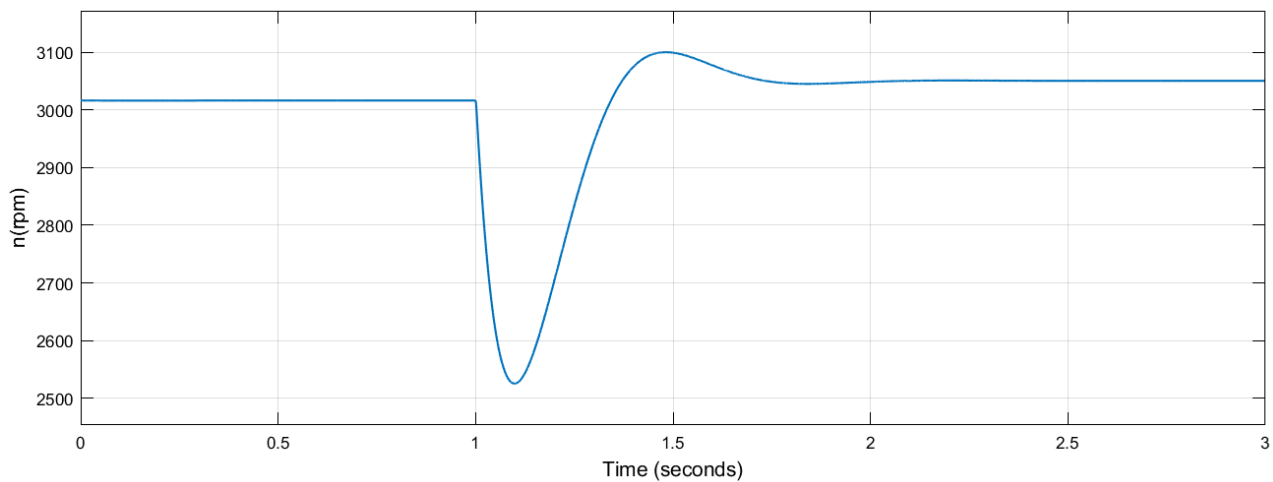
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική μεταβολή της R_L από 55Ω σε 40Ω. Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



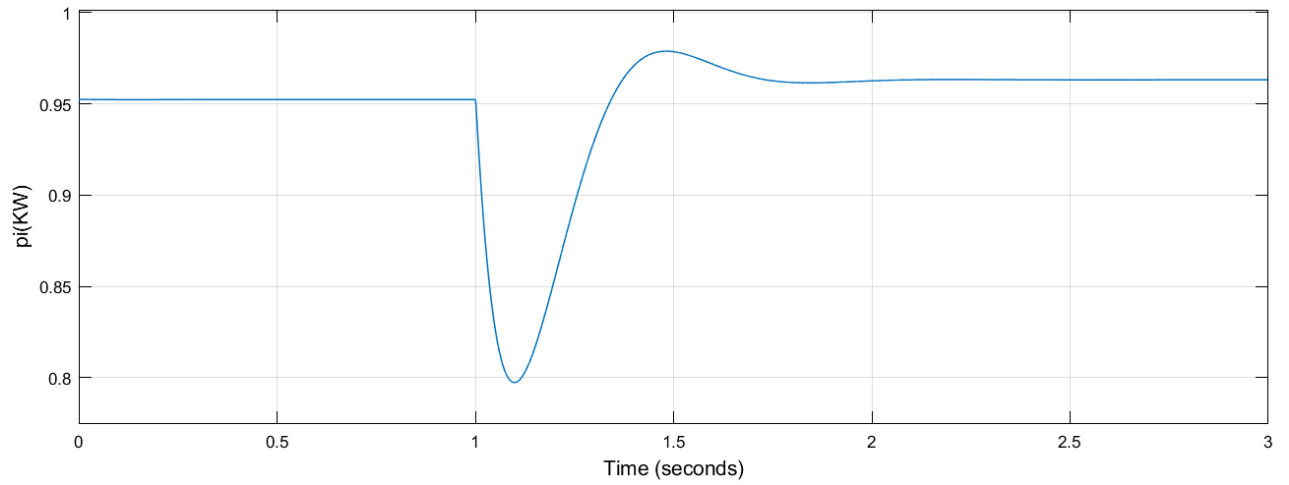
Εικόνα 2.29 Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.



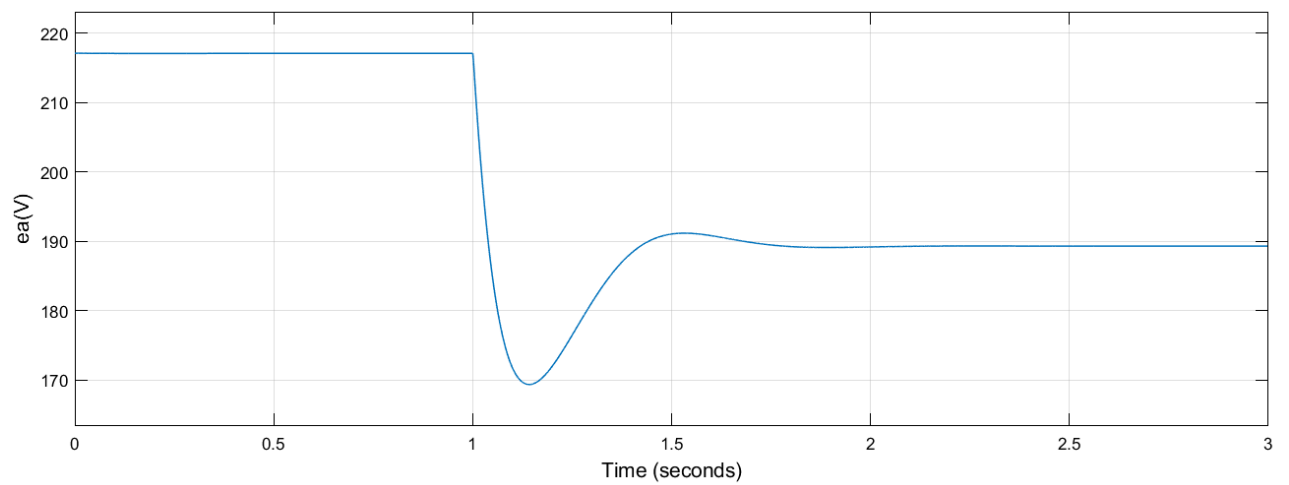
Εικόνα 2.30 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.



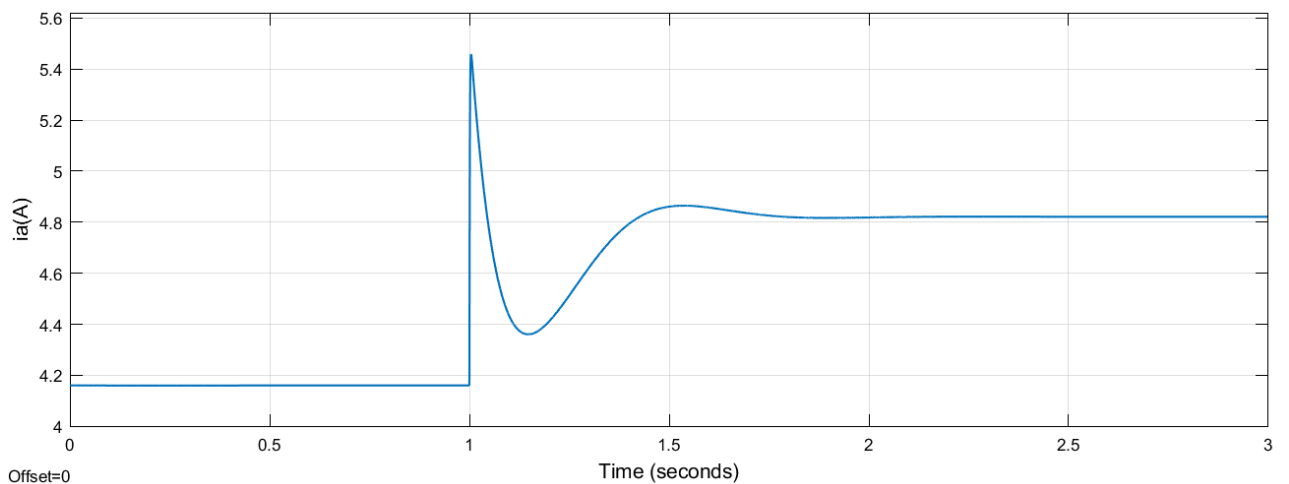
Εικόνα 2.31 Απόκριση στροφών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.



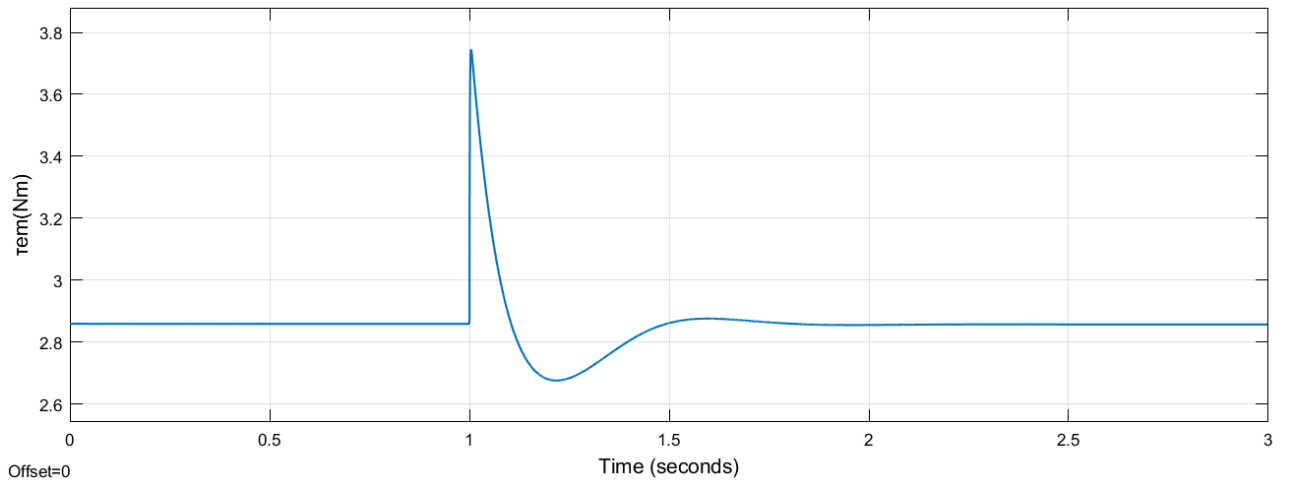
Εικόνα 2.32 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.



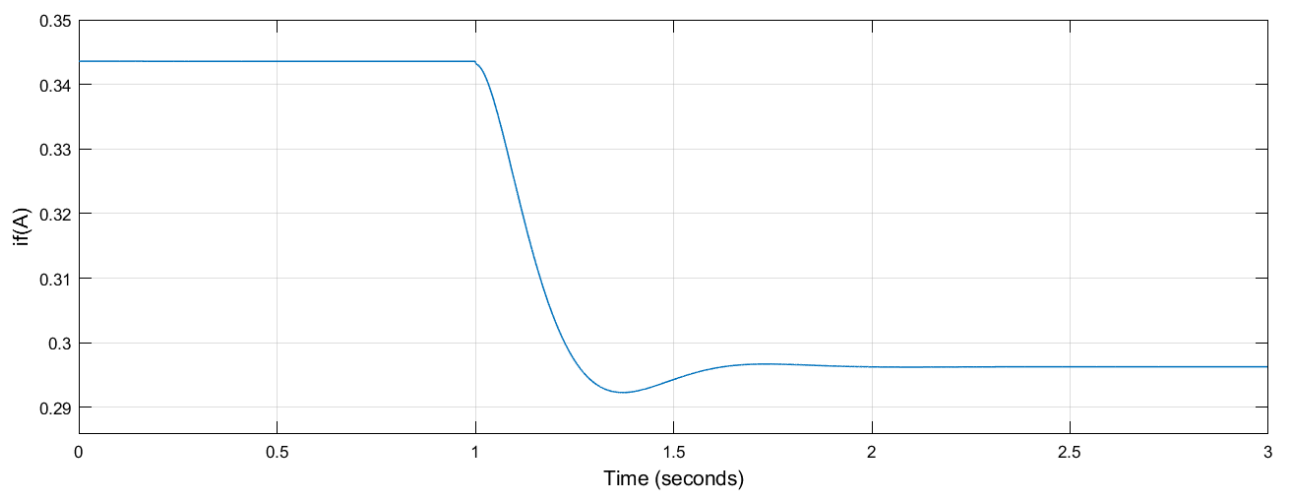
Εικόνα 2.33 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.



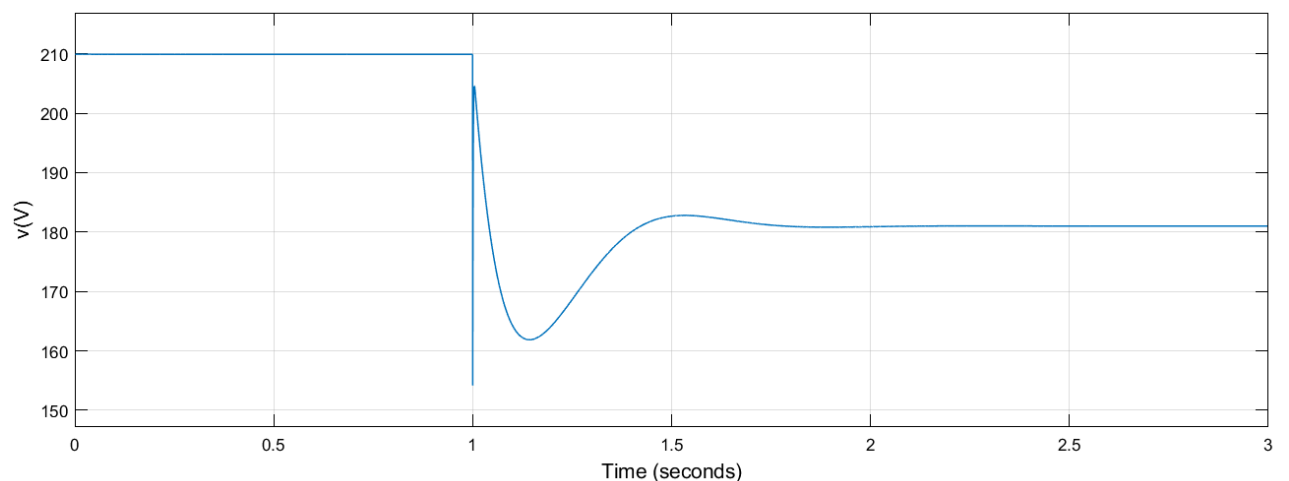
Εικόνα 2.34 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.



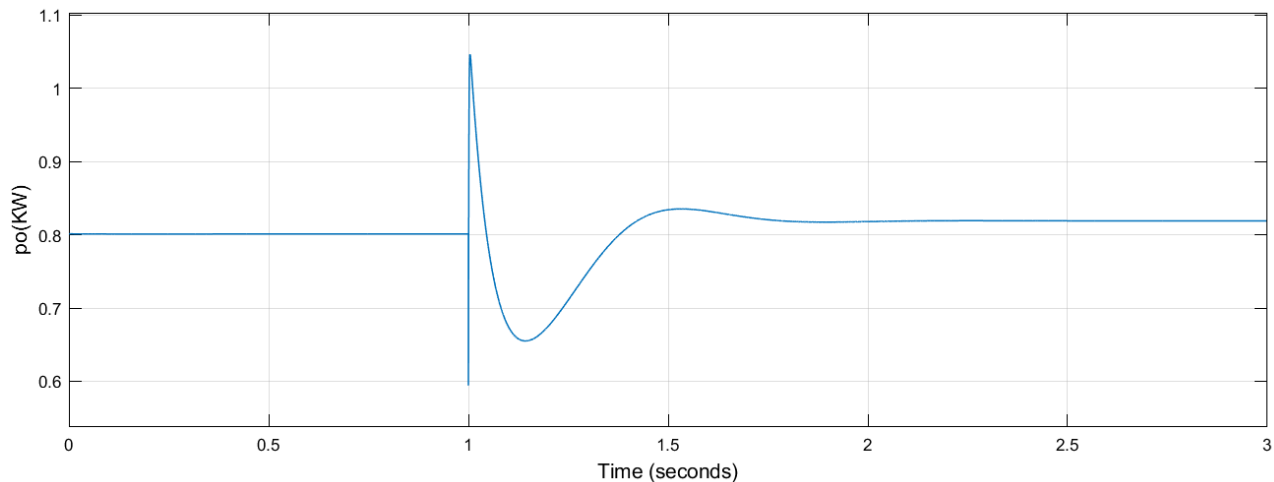
Εικόνα 2.35 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.



Εικόνα 2.36 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.



Εικόνα 2.37 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.



Εικόνα 2.38 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.

Τιμές μεγεθών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω			
Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_L	55Ω	40Ω	↓
τ_m	3,015N · m	3,015N · m	-
n	3.016rpm	3.051rpm	↑
p_{in}	0,9524kW	0,9632kW	↑
e_a	217,1V	189,3V	↓

i_a	4,160A	4,821A	↑
τ_{em}	2,859N · m	2,857N · m	↓
i_f	0,3436A	0,2963A	↓
v_L	209,9V	181,0V	↓
p_{out}	0,8011kW	0,8191kW	↑
η	-	85,04%	-

Πίνακας 2.10 Τιμές μεγεθών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 40Ω.

2.3.5 Επαλήθευση τιμών 2^{ου} λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 3,015 \text{N} \cdot \text{m} \cdot 3.051 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 0,9633 \text{kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{181,0 \text{V}}{610,94 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,2963 \text{A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f) R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{181,0 \text{V} + 0,2963 \text{A} \cdot 40 \Omega}{40 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 4,821 \text{A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 181,0 \text{V} + 4,821 \text{A} \cdot 1,72 \Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 189,3 \text{V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 4,821 \text{A} \cdot 0,2963 \text{A} \cdot 2,00 \text{H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 2,857 \text{N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 181,0 \text{V} \cdot (4,821 \text{A} - 0,2963 \text{A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 0,8190 \text{kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{0,8190 \text{kW}}{0,9633 \text{kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 85,02\%}$$

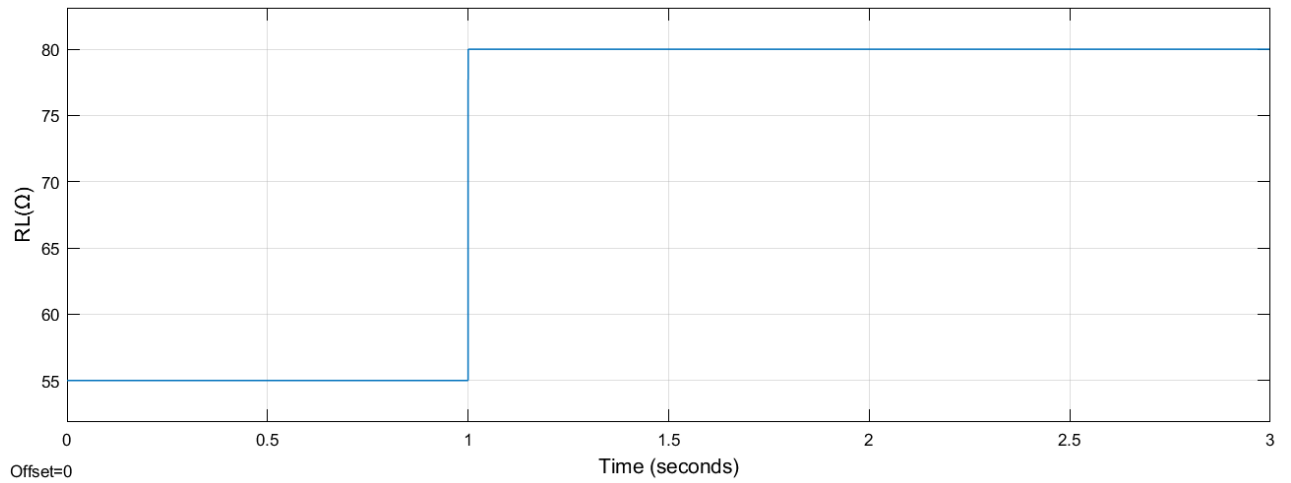
Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

2.3.6 Σχολιασμός 2^{ου} λειτουργικού σεναρίου

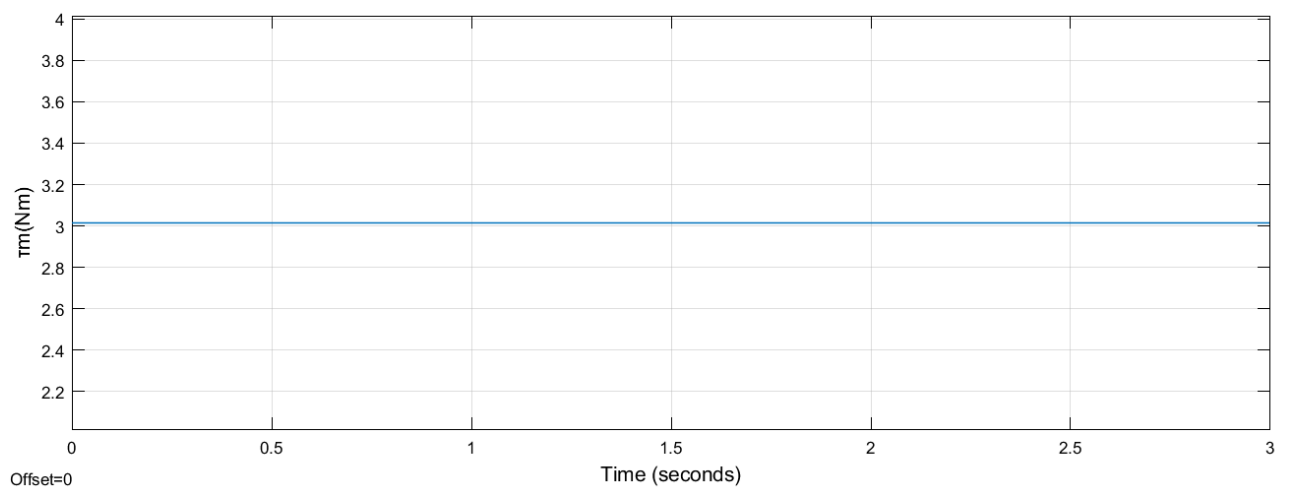
Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι ισχύουν όσα σχολιάσαμε για το 1^ο λειτουργικό σενάριο.

2.3.7 Λειτουργικό σενάριο 3^ο: Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω

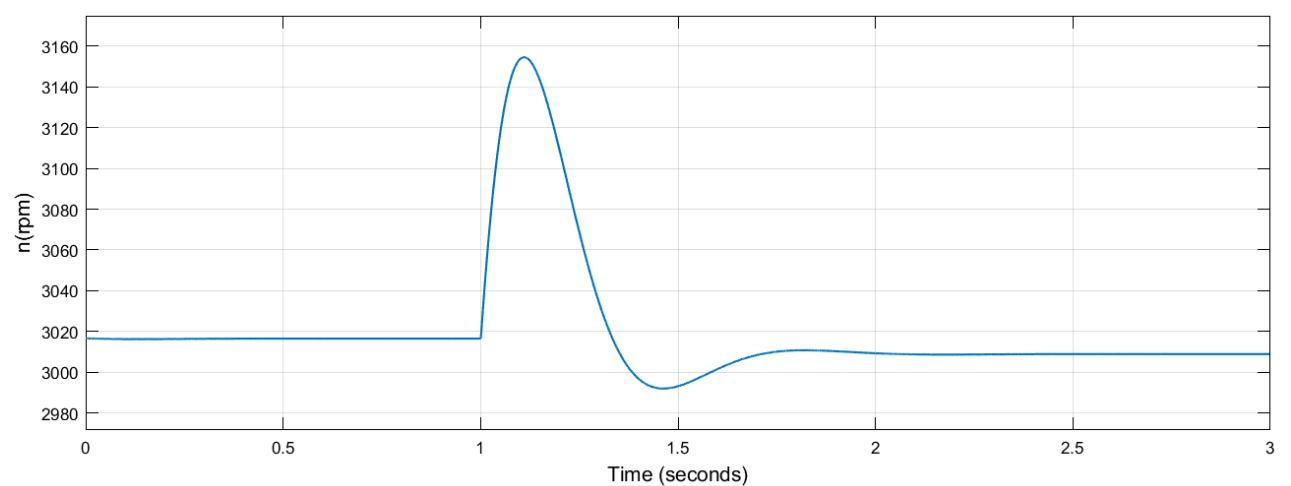
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική μεταβολή της R_L από 55Ω σε 60Ω. Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



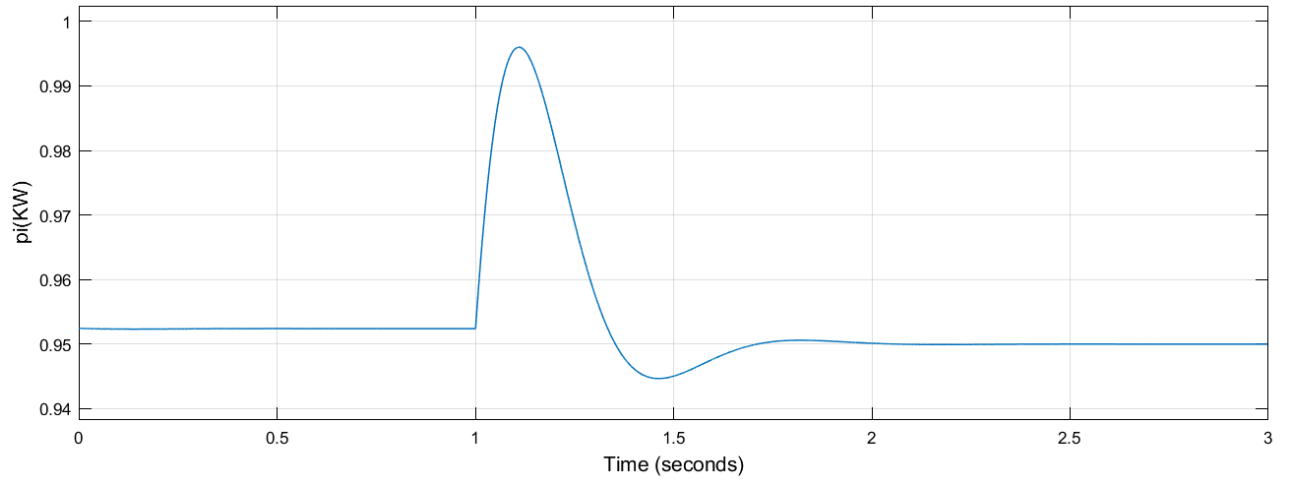
Εικόνα 2.39 Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55 Ω σε 80 Ω .



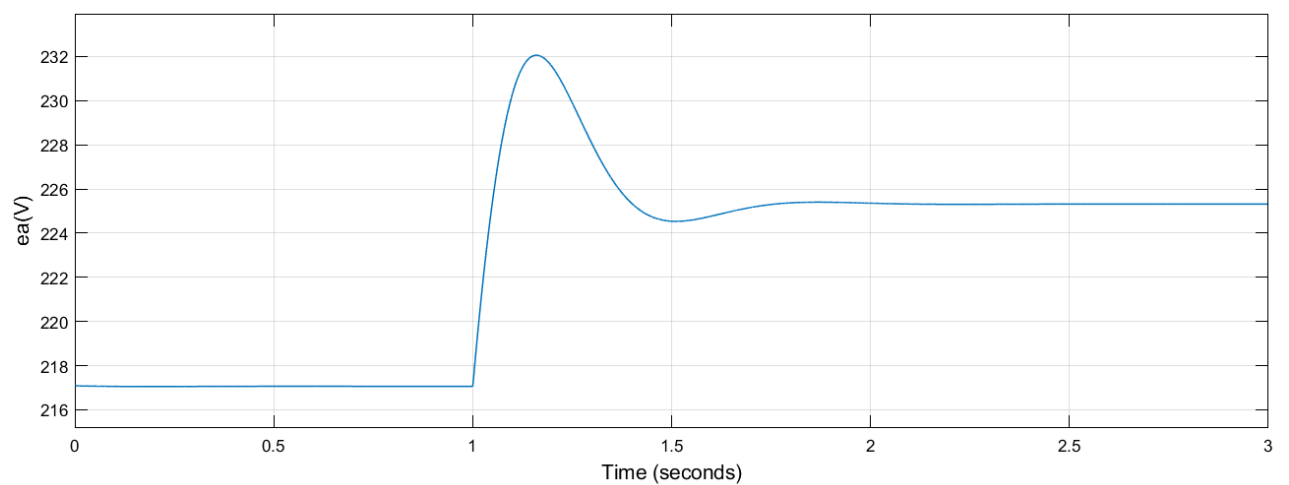
Εικόνα 2.40 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.



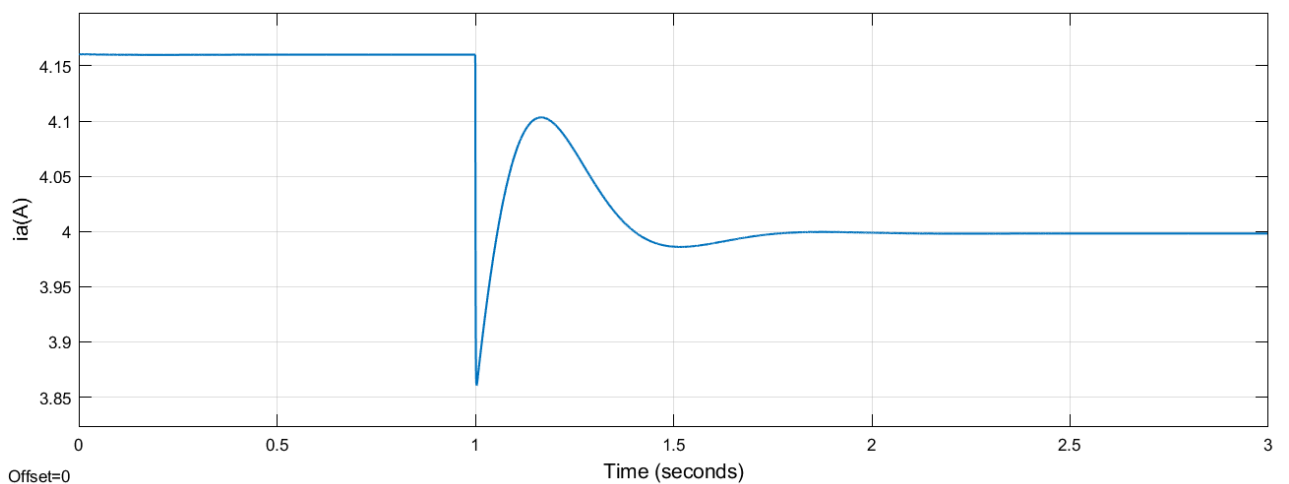
Εικόνα 2.41 Απόκριση στροφών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55 Ω σε 80 Ω .



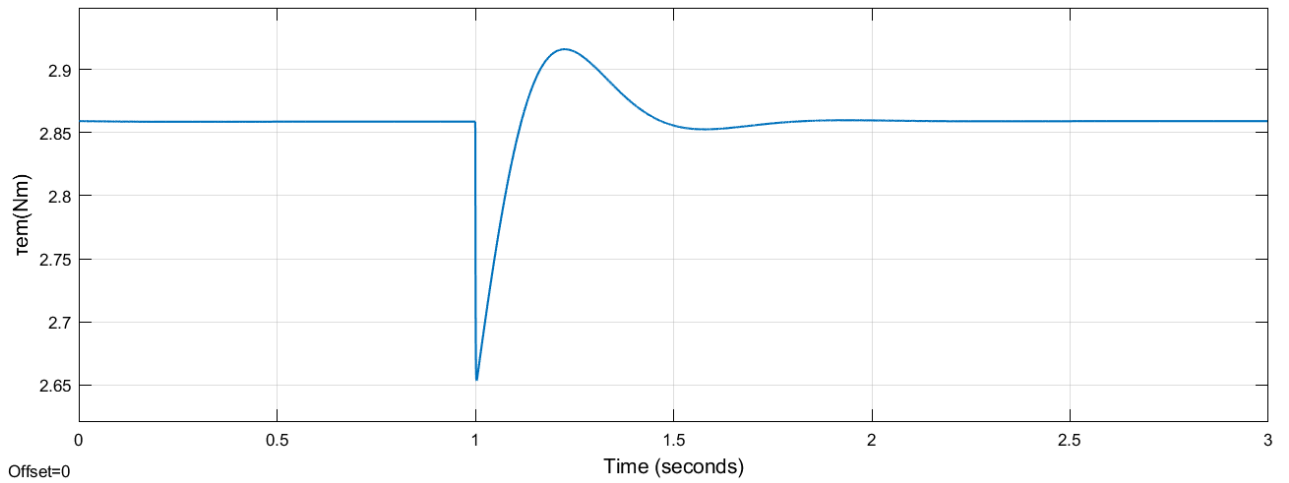
Εικόνα 2.42 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.



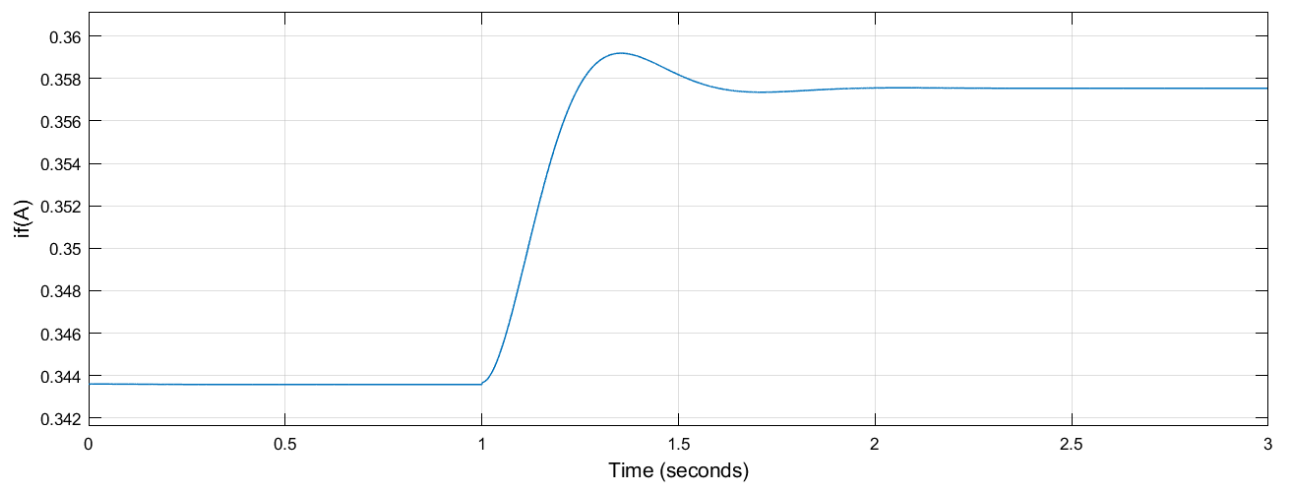
Εικόνα 2.43 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.



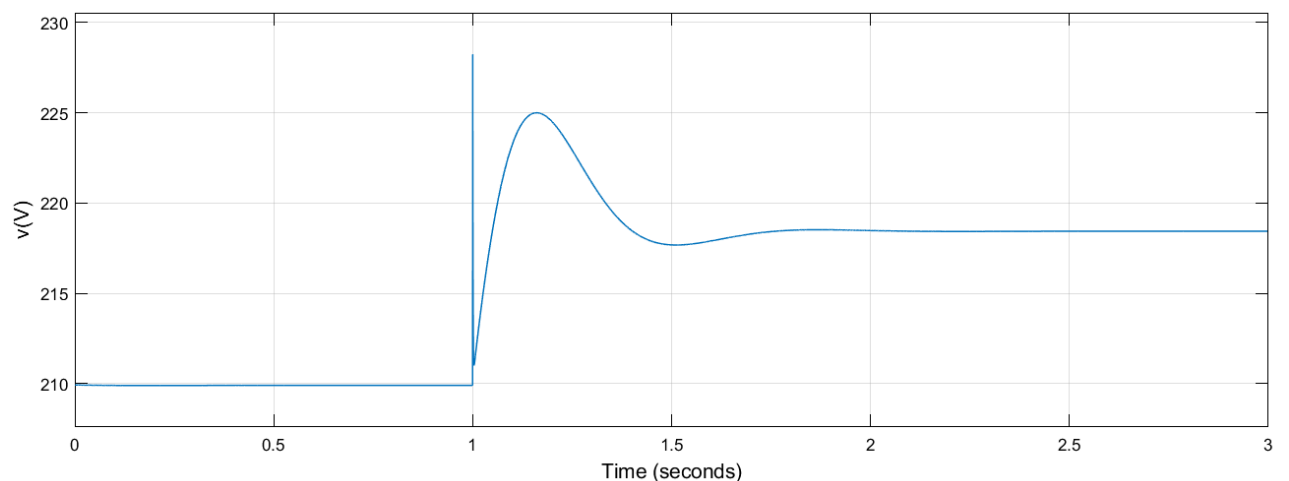
Εικόνα 2.44 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.



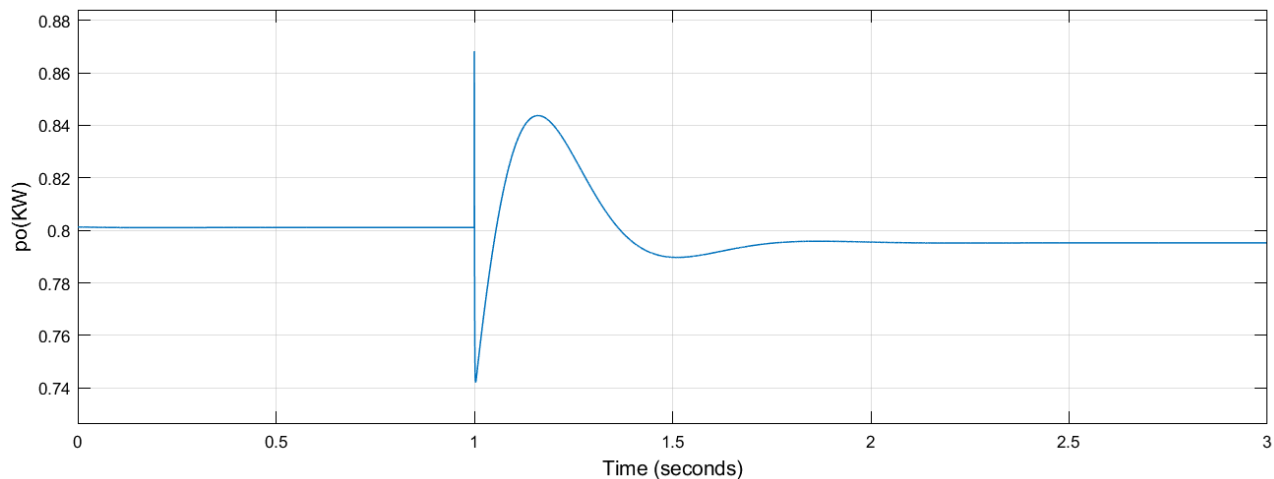
Εικόνα 2.45 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.



Εικόνα 2.46 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.



Εικόνα 2.47 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.



Εικόνα 2.48 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.

Τιμές μεγεθών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω			
Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_L	55Ω	60Ω	↑
τ_m	3,015N · m	3,015N · m	-
n	3.016rpm	3.009rpm	↓
p_{in}	0,9524kW	0,9500kW	↓
e_a	217,1V	225,3V	↑
i_a	4,160A	3,998A	↓

τ_{em}	2,859N · m	2,859N · m	-
i_f	0,3436A	0,3575A	↑
v_L	209,9V	218,4V	↑
p_{out}	0,8011kW	0,7952kW	↓
η	-	83,71%	-

Πίνακας 2.11 Τιμές μεγεθών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 60Ω.

2.3.8 Επαλήθευση τιμών 3^ο λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 3,015\text{N} \cdot \text{m} \cdot 3.009 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 0,9500\text{kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{218,4\text{V}}{610,94\Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,3575\text{A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f)R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{218,4\text{V} + 0,3575\text{A} \cdot 60\Omega}{60\Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 3,998\text{A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 218,4\text{V} + 3,998\text{A} \cdot 1,72\Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 225,3\text{V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 3,998\text{A} \cdot 0,3575\text{A} \cdot 2,00\text{H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 2,859\text{N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 218,4\text{V} \cdot (3,998\text{A} - 0,3575\text{A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 0,7951\text{kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{0,7951\text{kW}}{0,9500\text{kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 83,69\%}$$

Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

2.3.9 Σχολιασμός 3^ο λειτουργικού σεναρίου

Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι:

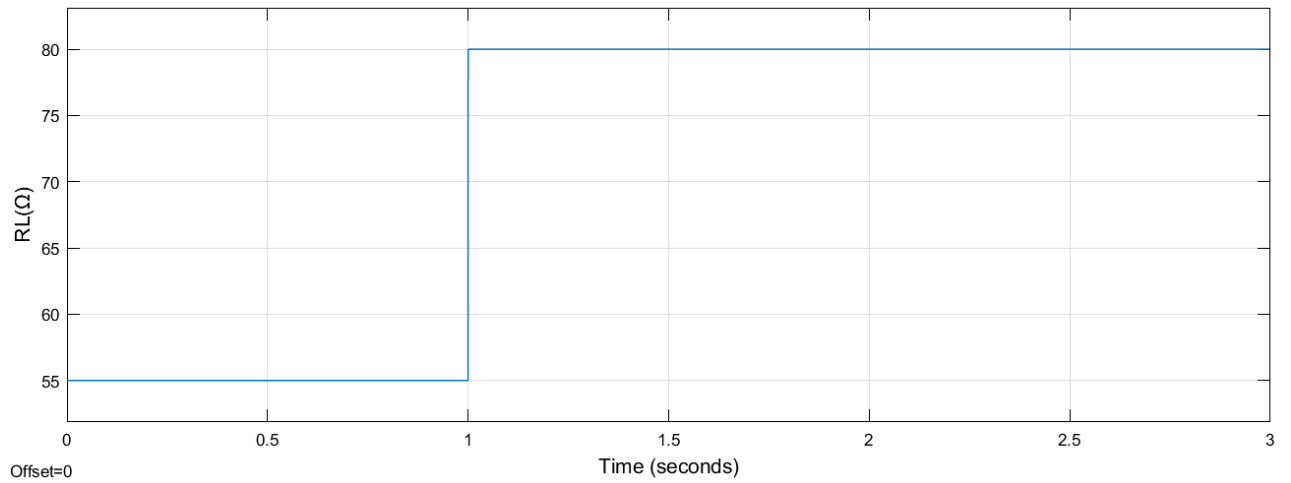
- Οι **στροφές** μειώθηκαν μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, οι στροφές είναι ανάλογες της τάσης του φορτίου και του ρεύματος τυμπάνου και αντιστρόφως ανάλογες του ρεύματος διέγερσης. Η τάση φορτίου αυξάνεται, αλλά το ρεύμα τυμπάνου μειώνεται και το ρεύμα διέγερσης αυξάνεται. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή των δύο τελευταίων και οι στροφές, τελικά, αυξήθηκαν.
- Η **ισχύς εισόδου** μειώθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ισχύς εισόδου είναι ανάλογη της μηχανικής ροπής και των στροφών. Η πρώτη παραμένει σταθερή, ενώ οι δεύτερες μειώθηκαν, άρα για τον λόγο αυτό μειώθηκε και η ισχύς εισόδου.
- Η **εξ επαγωγής τάση τυμπάνου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η εξ επαγωγής τάση τυμπάνου είναι ανάλογη του ρεύματος διέγερσης και των στροφών. Το πρώτο

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια αυξήθηκε, ενώ οι δεύτερες μειώθηκαν. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή του πρώτου και η εξ επαγωγής τάση τυμπάνου, τελικά, αυξήθηκε.

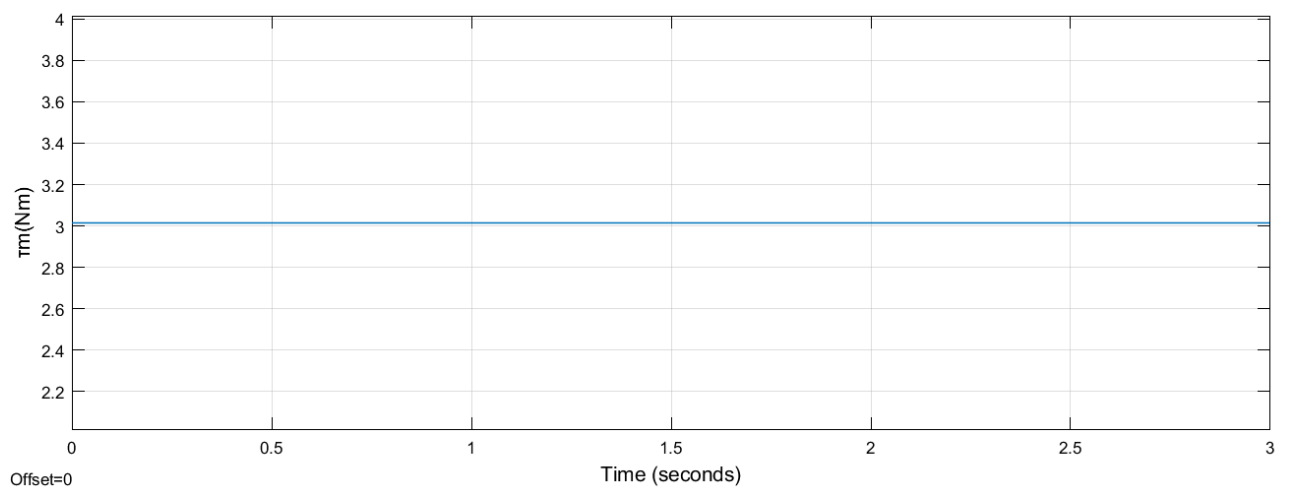
- Το **ρεύμα τυμπάνου** μειώθηκε μετά από κατακόρυφη μείωση και αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, το ρεύμα τυμπάνου είναι ανάλογο του ρεύματος φορτίου, το οποίο με την σειρά του είναι αντιστρόφως ανάλογο της ωμικής αντίστασης φορτίου. Η τελευταία αυξήθηκε, άρα για τον λόγο αυτό μειώθηκε το ρεύμα τυμπάνου.
- Η **ηλεκτρομαγνητική ροπή** παρέμεινε σταθερή μετά από κατακόρυφη μείωση και αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ηλεκτρομαγνητική ροπή είναι ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου και του ρεύματος διέγερσης. Το πρώτο μειώθηκε, ενώ το δεύτερο αυξήθηκε. Φαίνεται ότι η μεταβολή του ενός ανείχε την μεταβολή του άλλου και η ηλεκτρομαγνητική ροπή, τελικά, παρέμεινε σταθερή.
- Το **ρεύμα διέγερσης** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, το ρεύμα διέγερσης είναι ανάλογο της τάσης φορτίου. Αυτή αυξήθηκε, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκε και το ρεύμα διέγερσης.
- Η **τάση φορτίου** αυξήθηκε μετά από κορύφωση και αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η τάση φορτίου είναι ανάλογη της ωμικής αντίστασης φορτίου. Αυτή αυξήθηκε, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκε και η τάση φορτίου.
- Η **ισχύς εξόδου** μειώθηκε μετά από κορύφωση και αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ισχύς εξόδου είναι ανάλογη της τάσης φορτίου και του ρεύματος φορτίου. Η πρώτη αυξήθηκε, ενώ το δεύτερο μειώθηκε. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή του δεύτερου, αφού η ισχύς εξόδου, τελικά, μειώθηκε.

2.3.10 Λειτουργικό σενάριο 4^ο: Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω

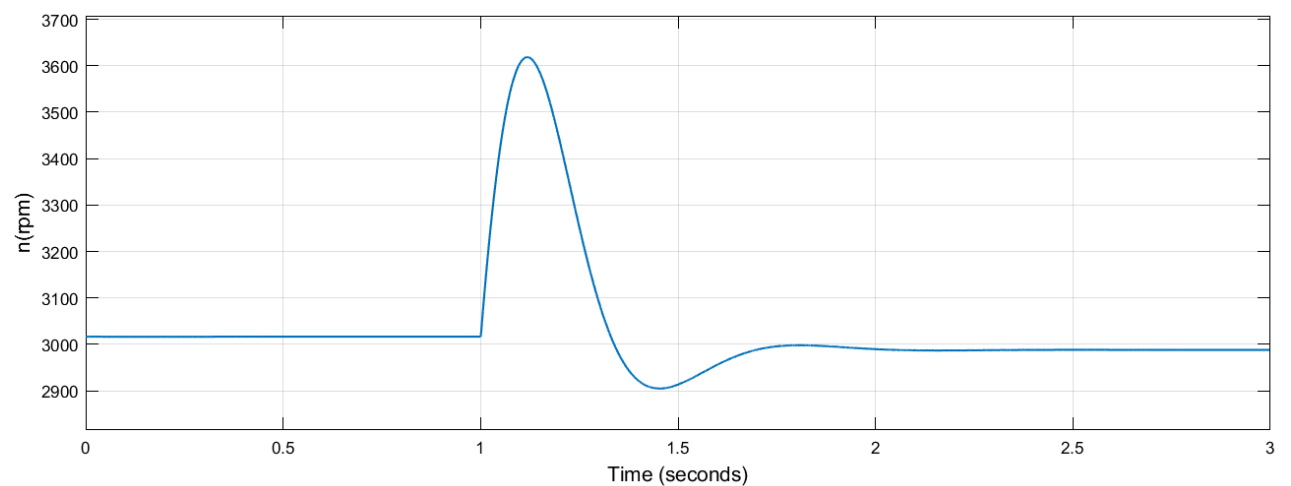
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική μεταβολή της R_L από 55Ω σε 80Ω. Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



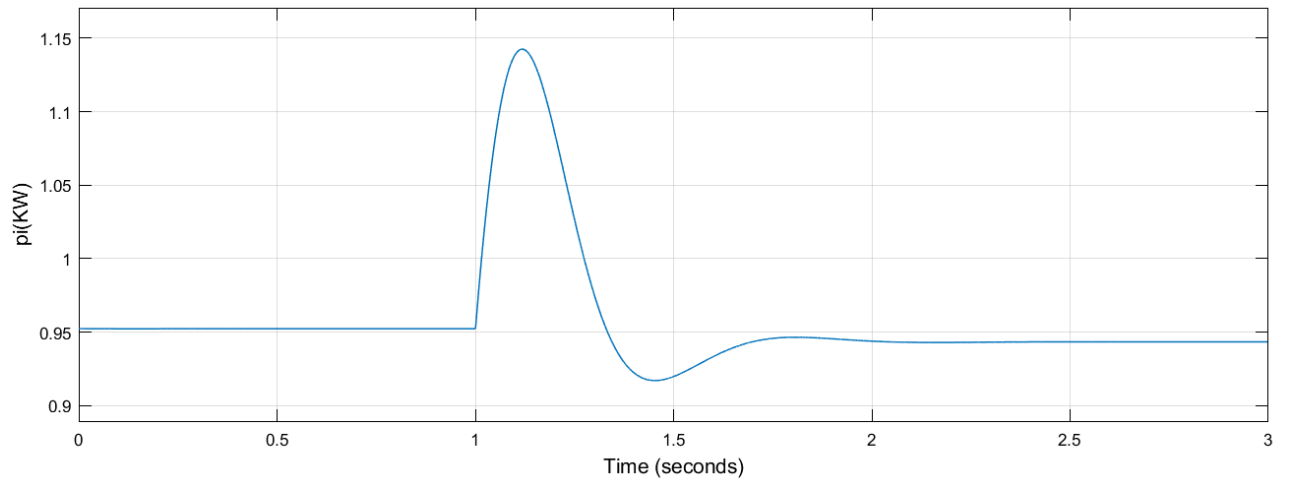
Εικόνα 2.49 Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55 Ω σε 80 Ω .



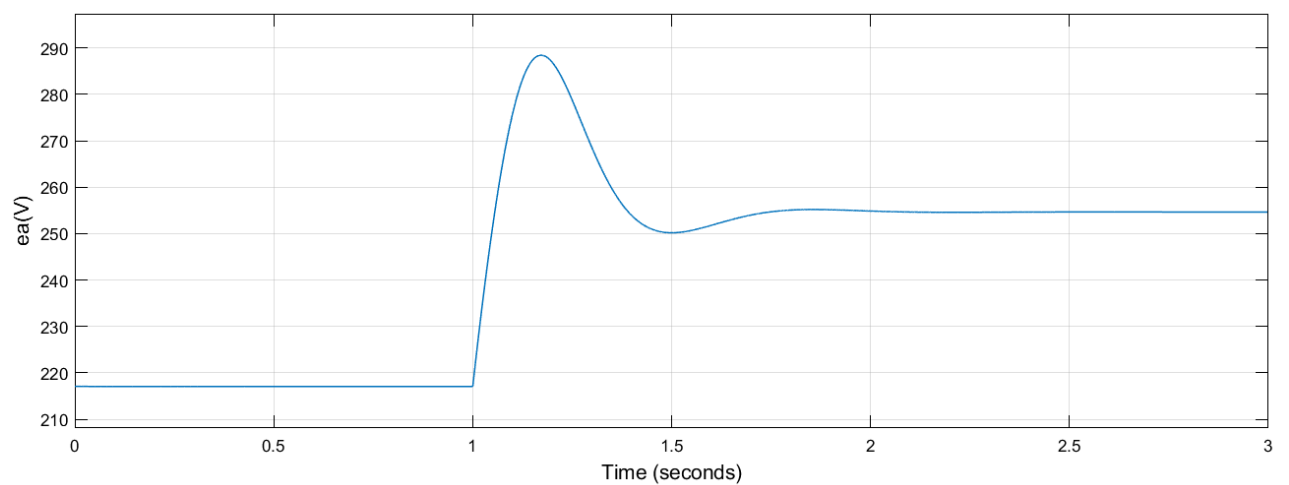
Εικόνα 2.50 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.



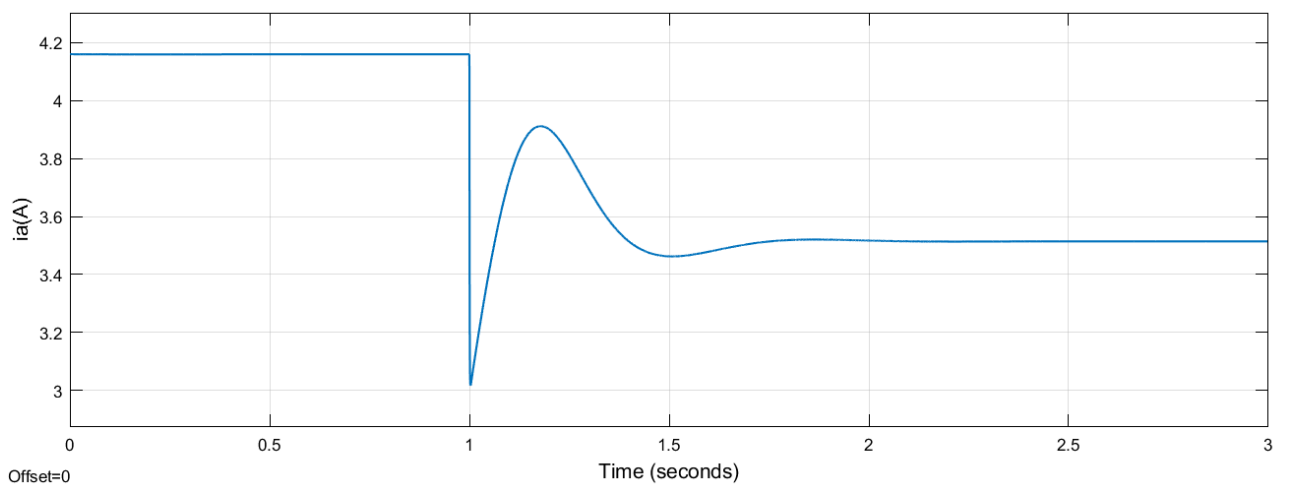
Εικόνα 2.51 Απόκριση στροφών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55 Ω σε 80 Ω .



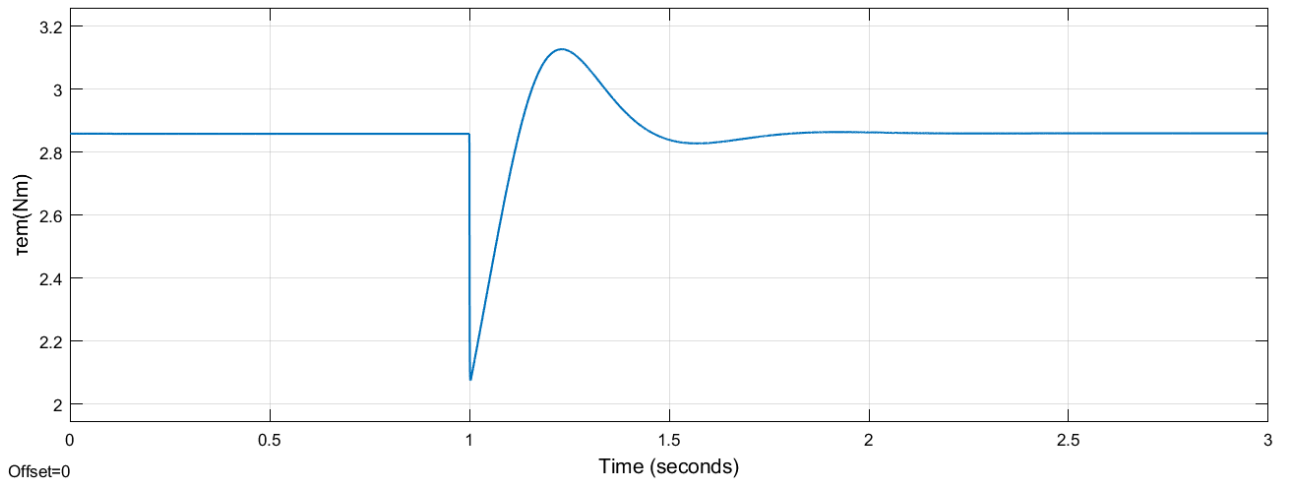
Εικόνα 2.52 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.



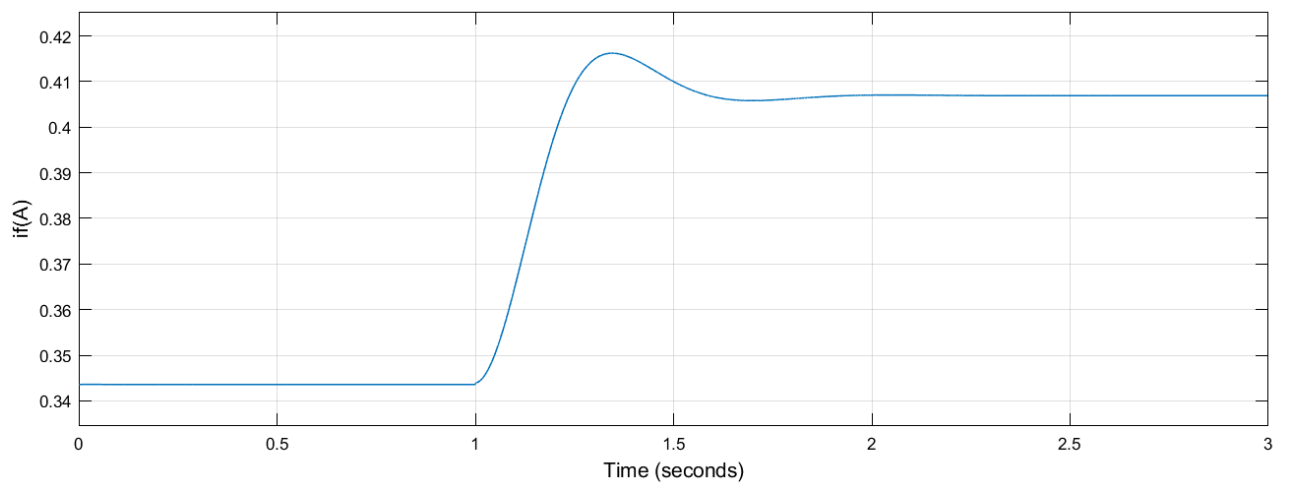
Εικόνα 2.53 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.



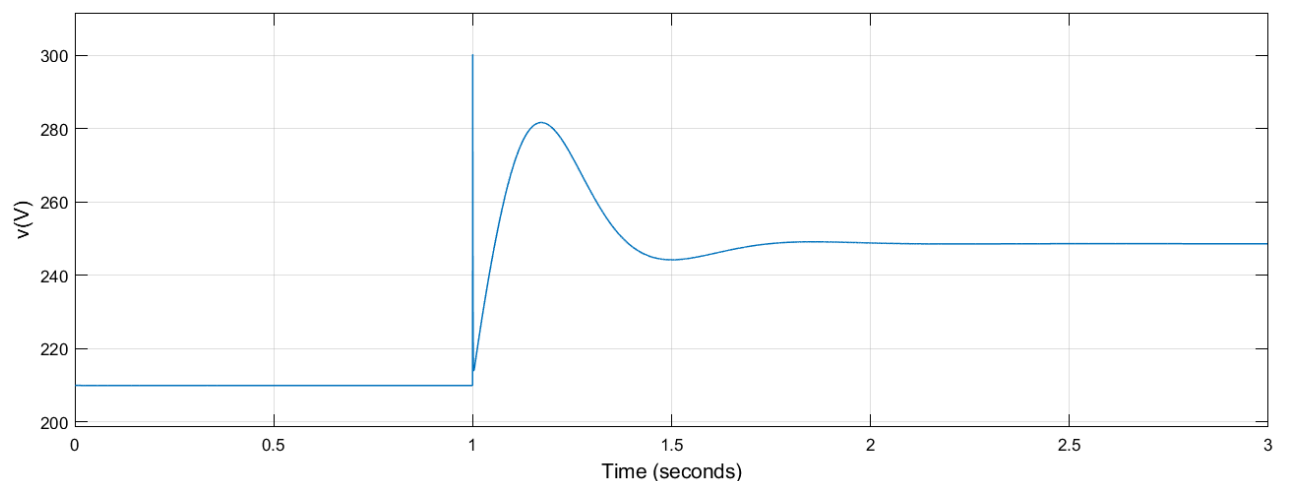
Εικόνα 2.54 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.



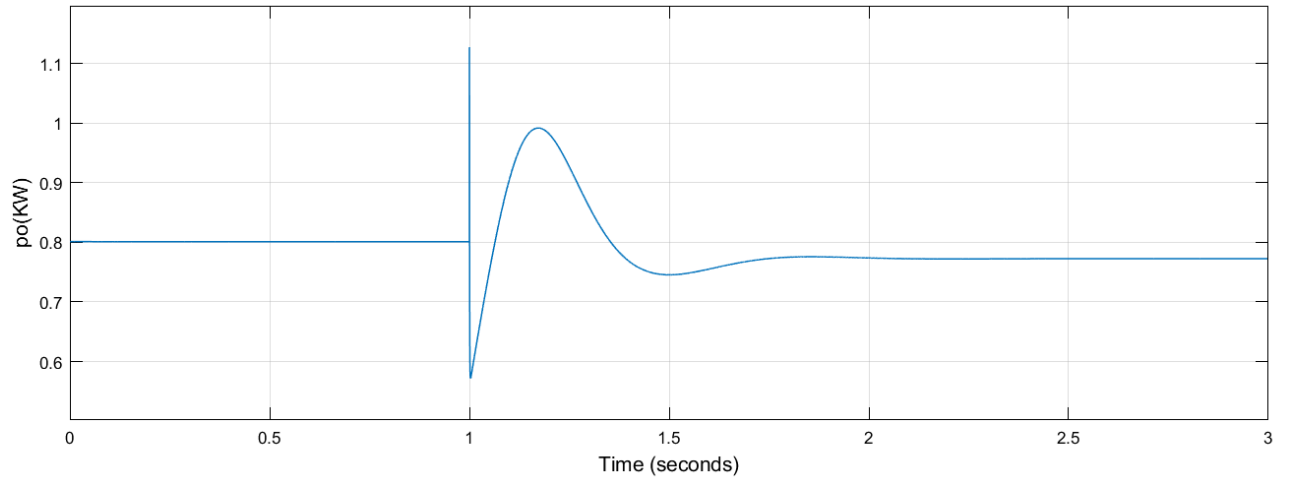
Εικόνα 2.55 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.



Εικόνα 2.56 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.



Εικόνα 2.57 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.



Εικόνα 2.58 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω .

Τιμές μεγεθών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω

Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_L	55Ω	80Ω	↑
τ_m	3,015N · m	3,015N · m	-
n	3.016rpm	2.988rpm	↓
p_{in}	0,9524kW	0,9434kW	↓
e_a	217,1V	254,6V	↑
i_a	4,160A	3,514A	↓
τ_{em}	2,859N · m	2,860N · m	↑
i_f	0,3436A	0,4069A	↑
v_L	209,9V	248,6V	↑
p_{out}	0,8011kW	0,7725kW	↓
η	-	81,89%	-

Πίνακας 2.12 Τιμές μεγεθών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 80Ω.

2.3.11 Επαλήθευση τιμών 4^ο λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 3,015 \text{N} \cdot \text{m} \cdot 2.988 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 0,9434 \text{kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{248,6 \text{V}}{610,94 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,4069 \text{A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f) R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{248,6 \text{V} + 0,4069 \text{A} \cdot 80 \Omega}{80 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 3,514 \text{A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 248,6 \text{V} + 3,514 \text{A} \cdot 1,72 \Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 254,6 \text{V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 3,514 \text{A} \cdot 0,4069 \text{A} \cdot 2,00 \text{H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 2,860 \text{N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 248,6 \text{V} \cdot (3,514 \text{A} - 0,4069 \text{A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 0,7724 \text{kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{0,7724 \text{kW}}{0,9434 \text{kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 81,87\%}$$

Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

2.3.12 Σχολιασμός 4^ο λειτουργικού σεναρίου

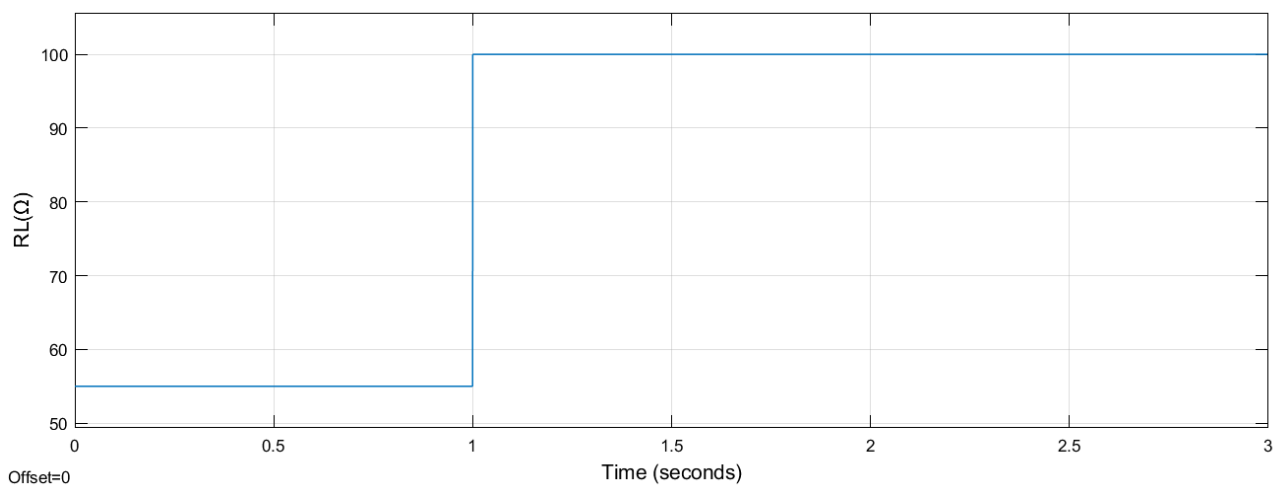
Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι:

- Η ηλεκτρομαγνητική ροπή αυξήθηκε μετά από κατακόρυφη μείωση και αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ηλεκτρομαγνητική ροπή είναι ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου και του ρεύματος διέγερσης. Το πρώτο μειώθηκε, ενώ το δεύτερο αυξήθηκε. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή του δεύτερου και η ηλεκτρομαγνητική ροπή, τελικά, αυξήθηκε.

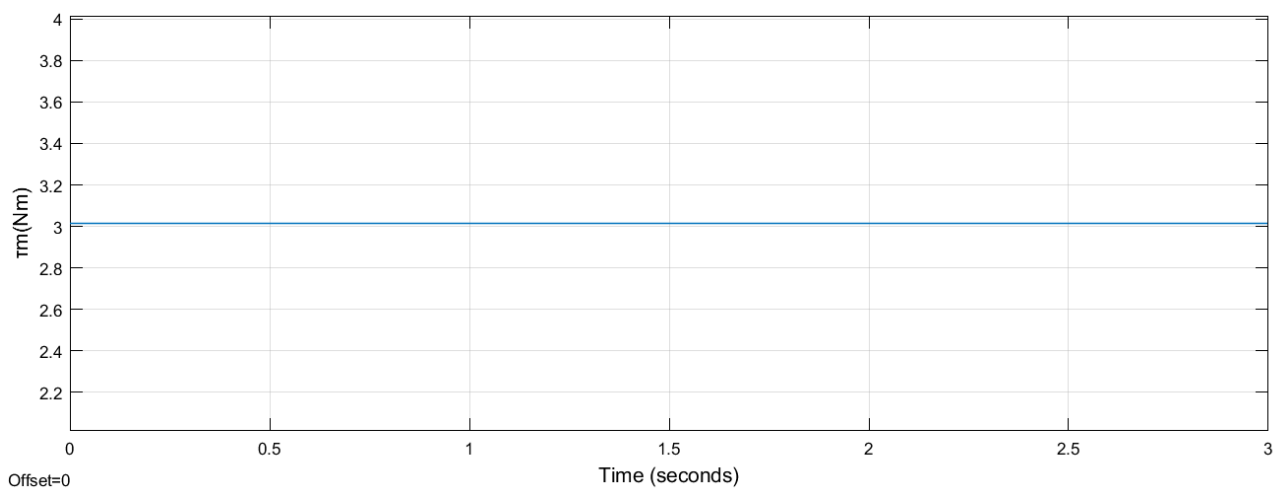
Για όλα τα υπόλοιπα μεγέθη ισχύουν όσα σχολιάσαμε για το 3^ο λειτουργικό σενάριο.

2.3.13 Λειτουργικό σενάριο 5^ο: Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω

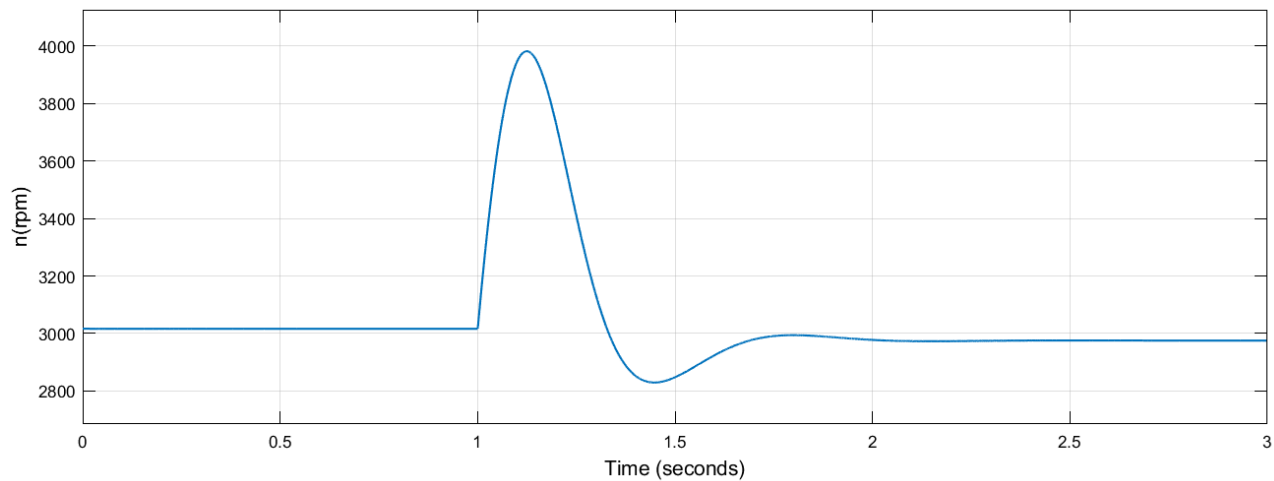
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική μεταβολή της R_L από 55Ω σε 100Ω. Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



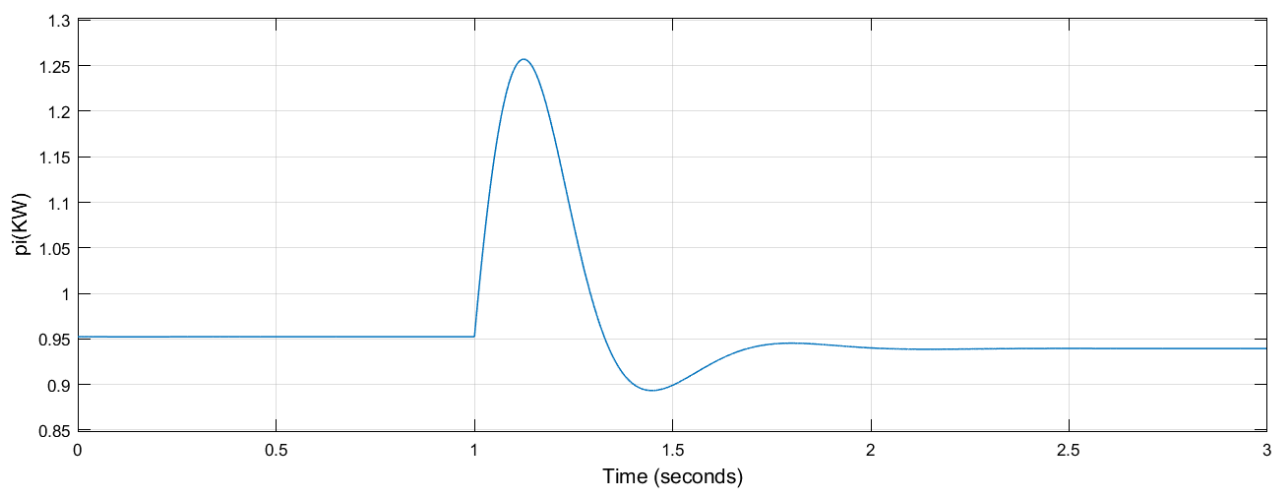
Εικόνα 2.59 Βηματική μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.



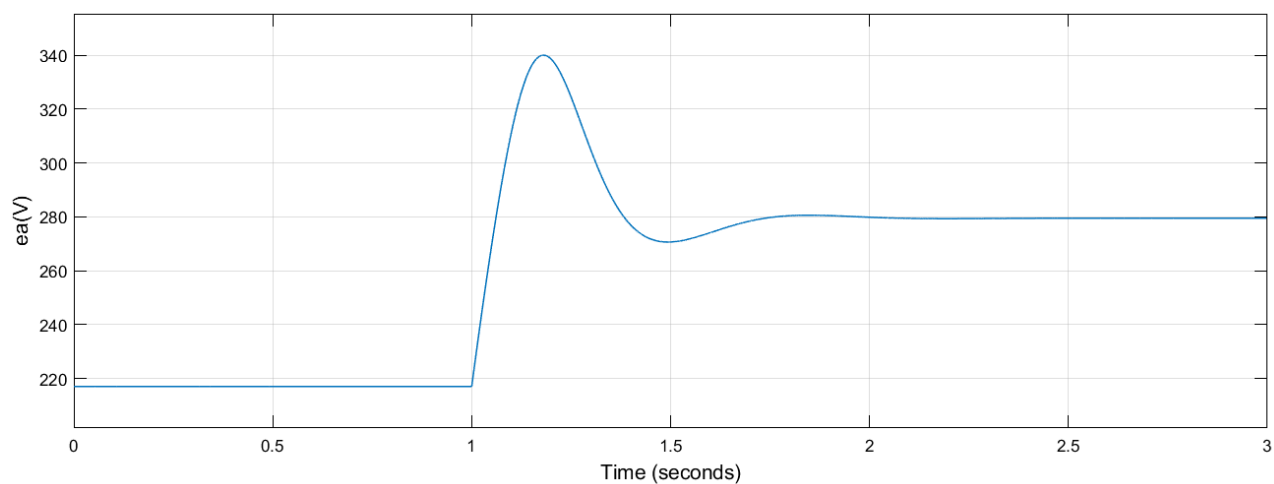
Εικόνα 2.60 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.



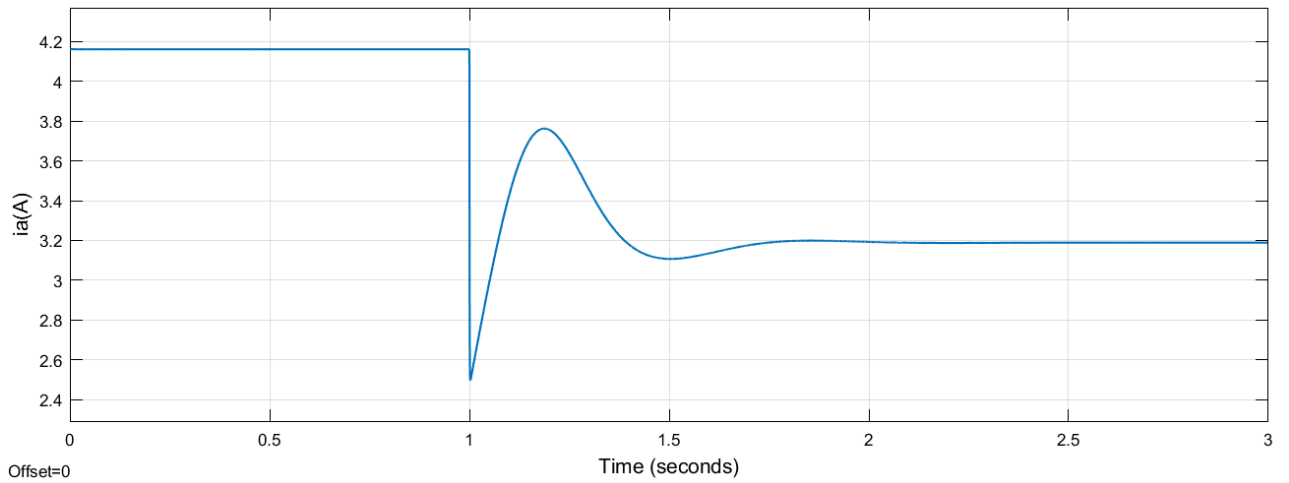
Εικόνα 2.61 Απόκριση στροφών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.



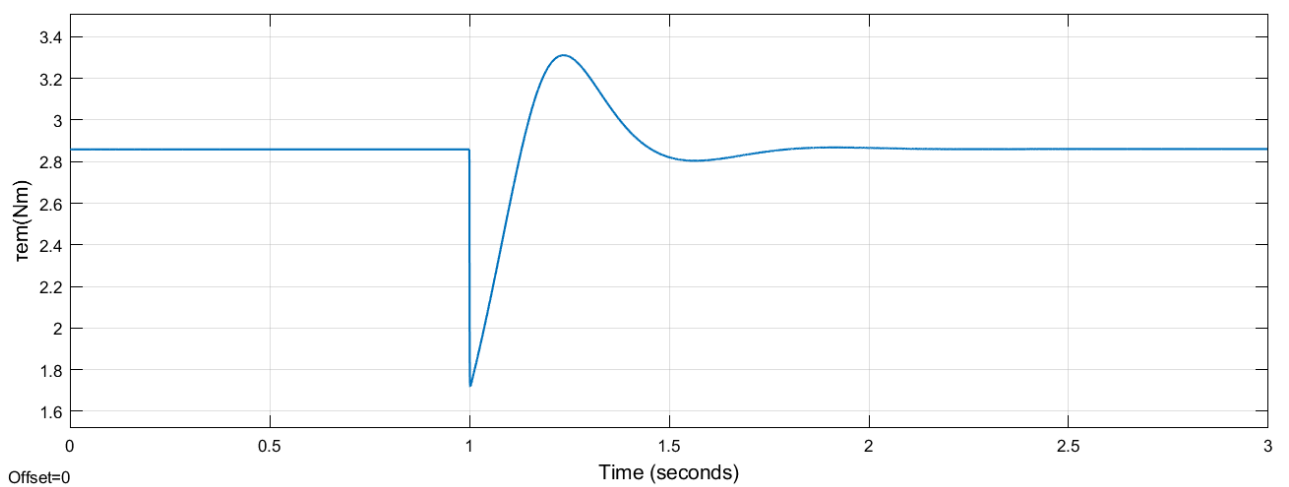
Εικόνα 2.62 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.



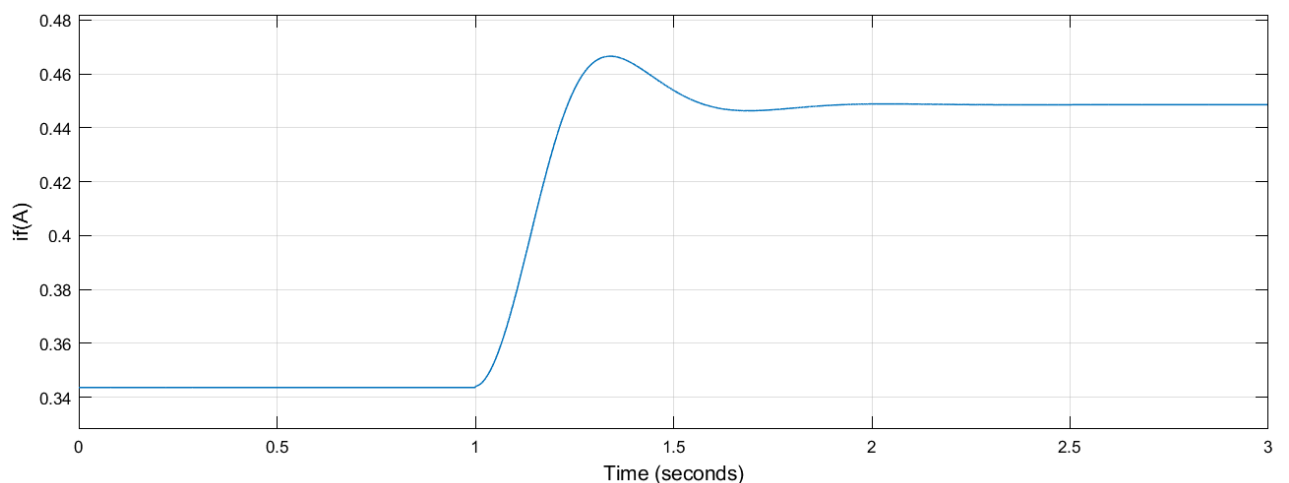
Εικόνα 2.56 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.



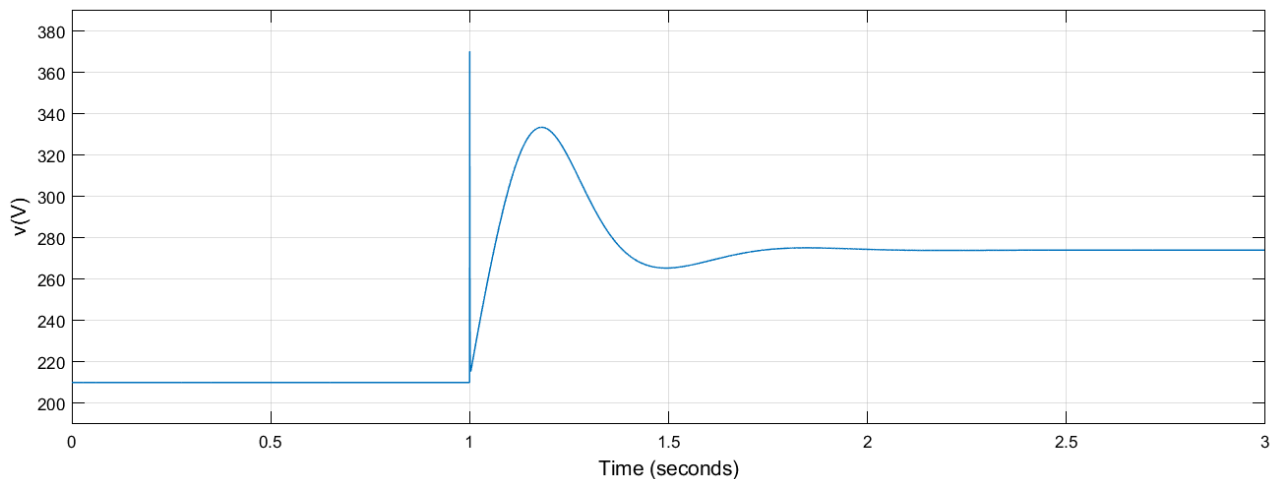
Εικόνα 2.63 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.



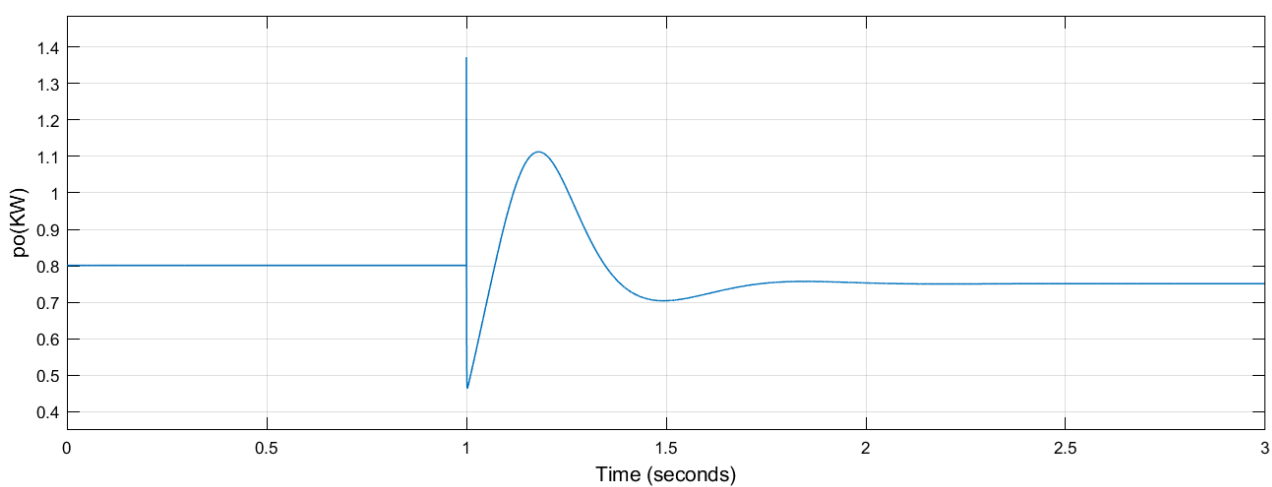
Εικόνα 2.64 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.



Εικόνα 2.65 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.



Εικόνα 2.66 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.



Εικόνα 2.67 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.

Τιμές μεγεθών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω

Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_L	55Ω	100Ω	↑
τ_m	3,015N · m	3,015N · m	-
n	3.016rpm	2.975rpm	↓
p_{in}	0,9524kW	0,9394kW	↓
e_a	217,1V	279,5V	↑
i_a	4,160A	3,189A	↓
τ_{em}	2,859N · m	2,861N · m	↑
i_f	0,3436A	0,4485A	↑
v_L	209,9V	274,0V	↑
p_{out}	0,8011kW	0,7510kW	↓
η	-	79,94%	-

Πίνακας 2.13 Τιμές μεγεθών για βηματική μεταβολή της ωμικής αντίστασης φορτίου από 55Ω σε 100Ω.

2.3.14 Επαλήθευση τιμών 5^ο λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 3,015\text{N} \cdot \text{m} \cdot 2.975 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 0,9393\text{kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{274,0\text{V}}{610,94\Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,4485\text{A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f) R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{274,0\text{V} + 0,4485\text{A} \cdot 100\Omega}{100\Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 3,189\text{A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 274,0\text{V} + 3,189\text{A} \cdot 1,72\Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 279,5\text{V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 3,189\text{A} \cdot 0,4485\text{A} \cdot 2,00\text{H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 2,861\text{N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 274,0\text{V} \cdot (3,189\text{A} - 0,4485\text{A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 0,7509\text{kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{0,7509\text{kW}}{0,9393\text{kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 79,94\%}$$

Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

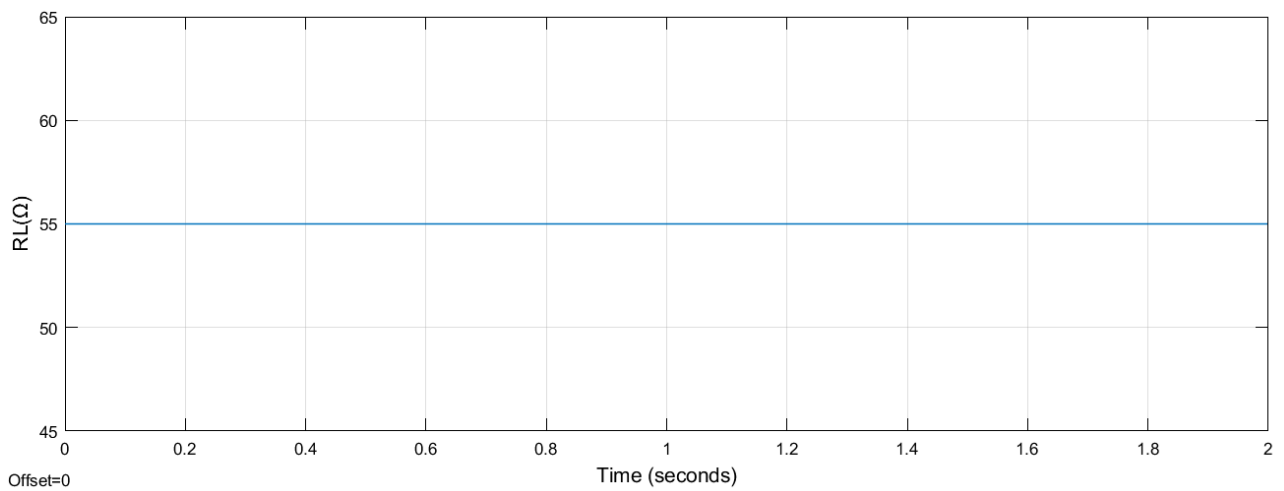
2.3.15 Σχολιασμός 5^ο λειτουργικού σεναρίου

Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι ισχύουν όσα σχολιάσαμε για το 4^ο λειτουργικό σενάριο.

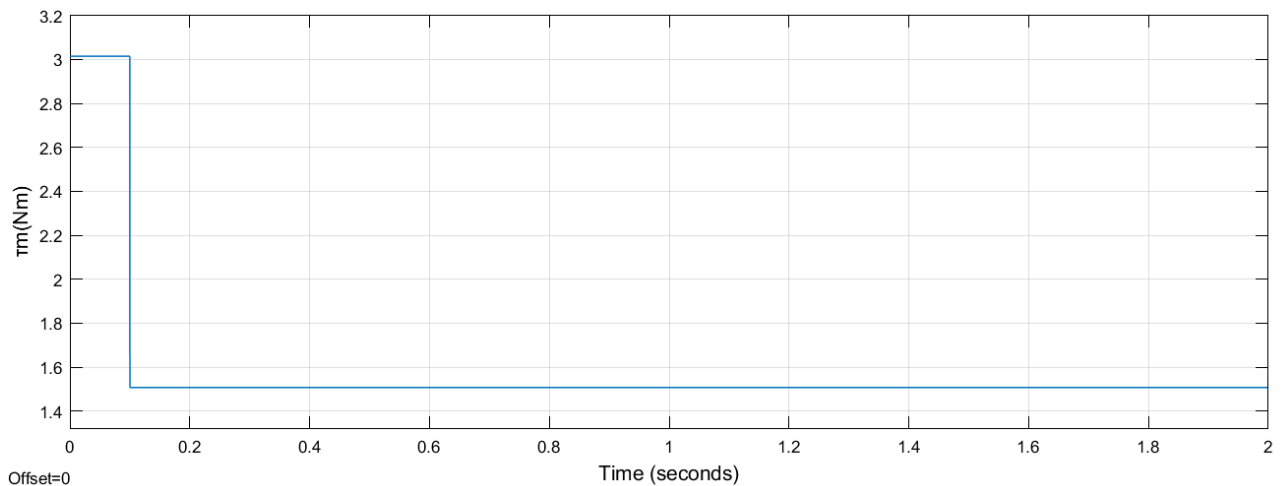
2.3.16 Λειτουργικό σενάριο 6^ο: Βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής

Στις ακόλουθες έξι ενότητες θα διερευνήσουμε τη συμπεριφορά της γεννήτριας για διάφορες τιμές βηματικής μεταβολής της μηχανικής ροπής. Αρχικά, η γεννήτρια λειτουργεί στη μόνιμη κατάσταση σε ονομαστικές συνθήκες. Η αντίσταση φορτίου είναι σταθερή και ίση με 55Ω. Η βηματική μεταβολή εφαρμόζεται την χρονική στιγμή $t = 0,1s$.

Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική μείωση -50% της τ_m . Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:

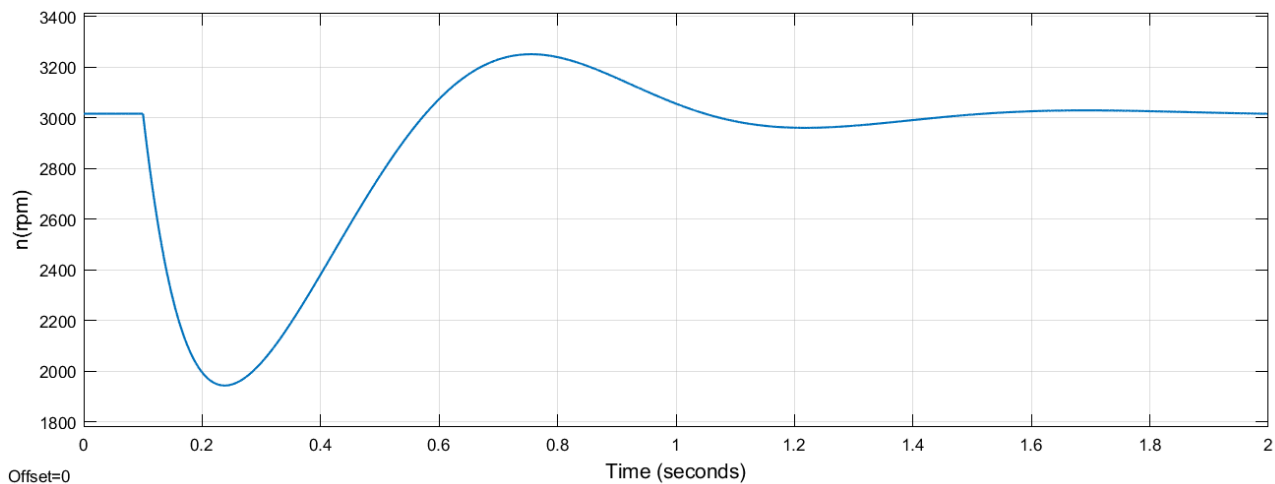


Εικόνα 2.68 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.

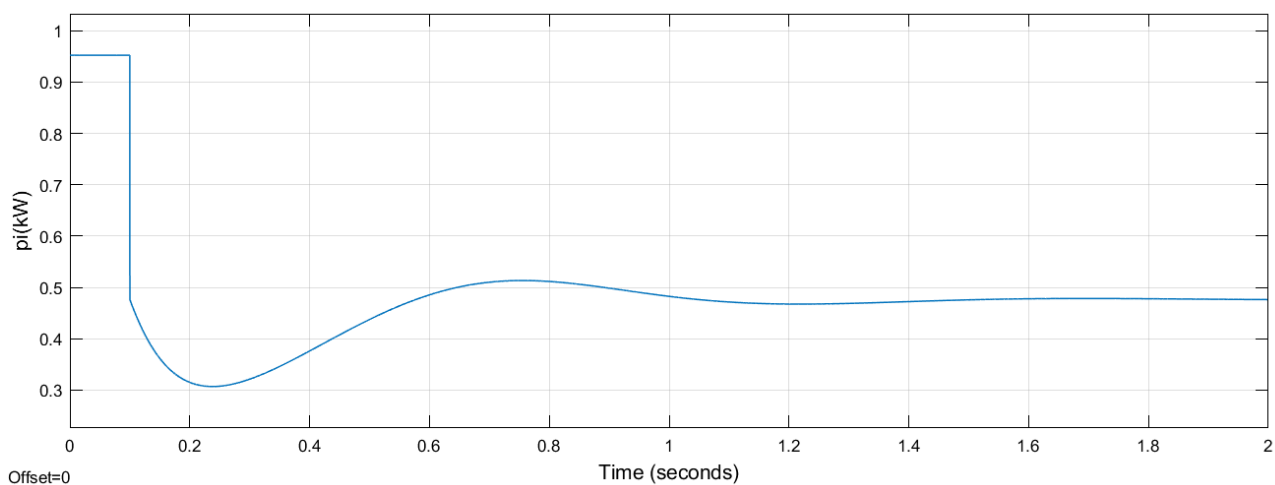


Εικόνα 2.69 Βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής των.

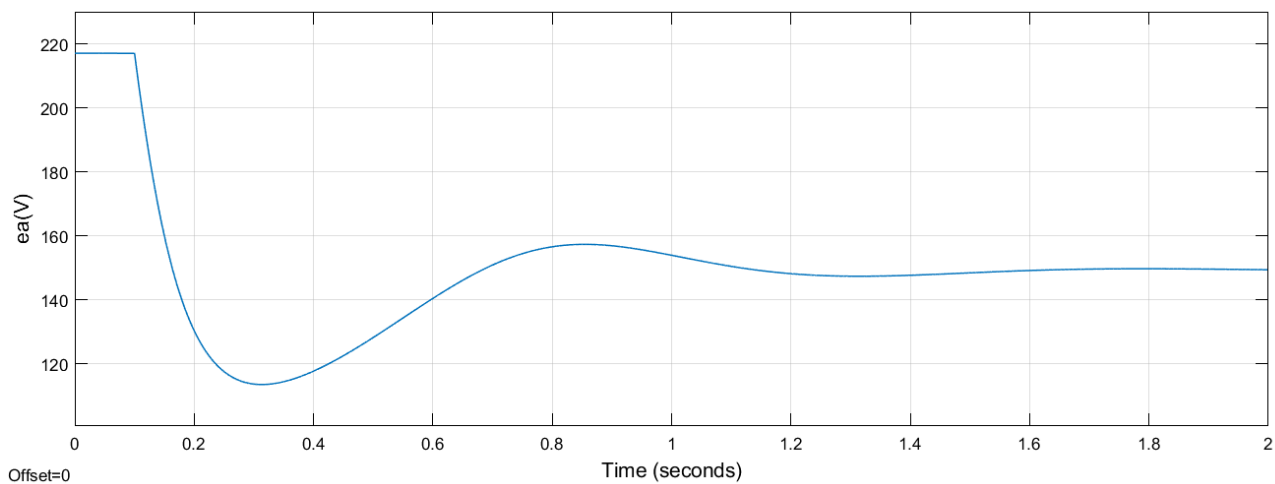
Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια



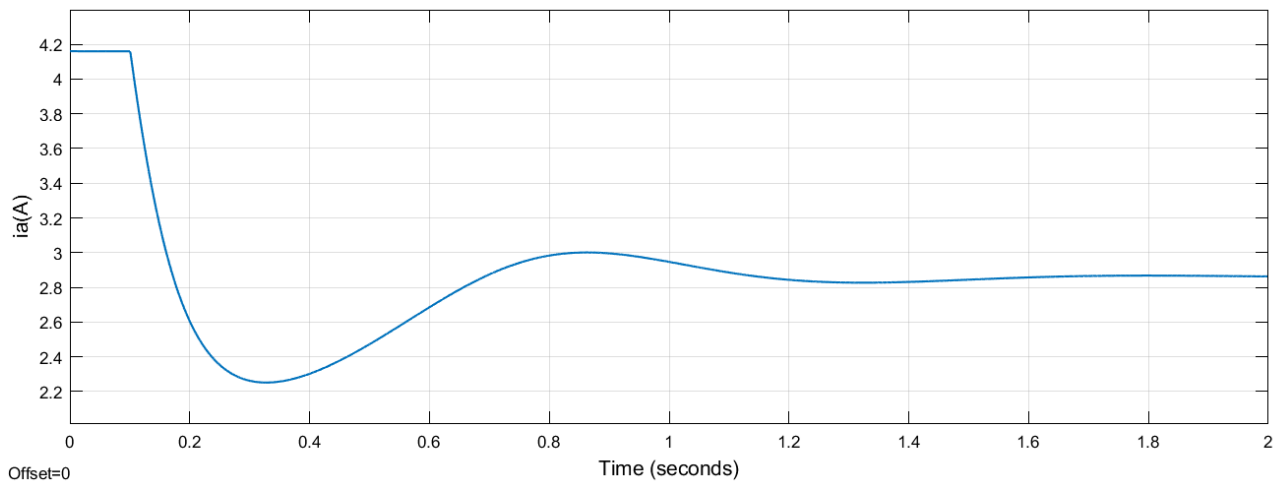
Εικόνα 2.70 Απόκριση στροφών για βηματική μείωση της μηχανικής ροπής των -50Nm.



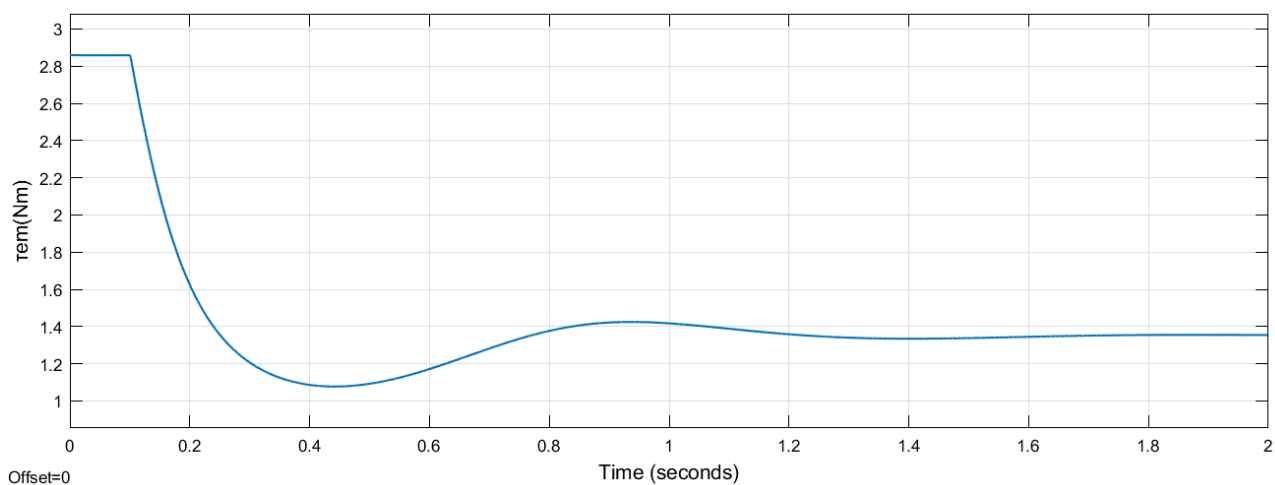
Εικόνα 2.71 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.



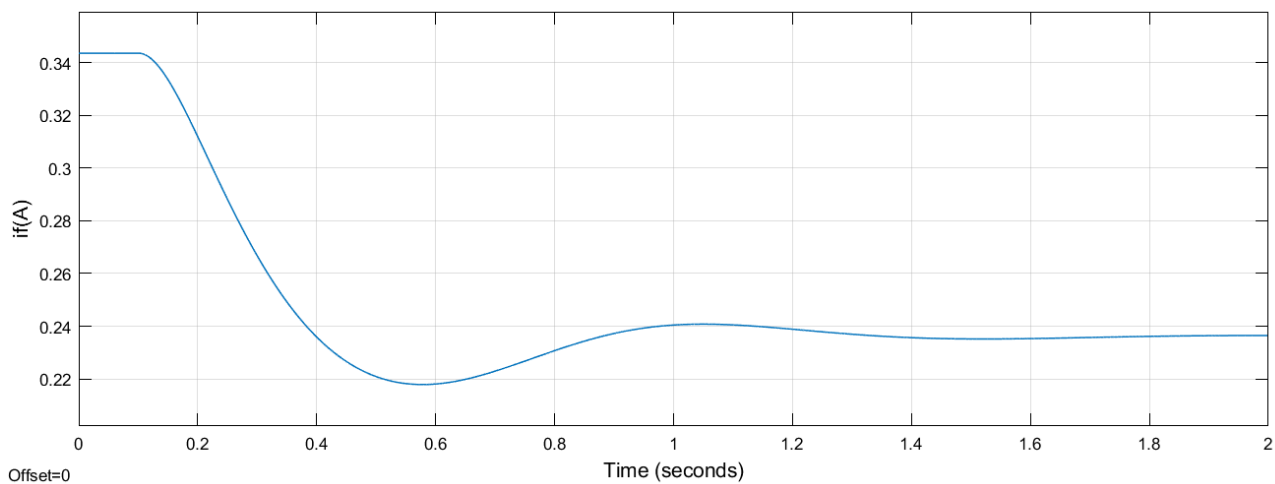
Εικόνα 2.72 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.73 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.

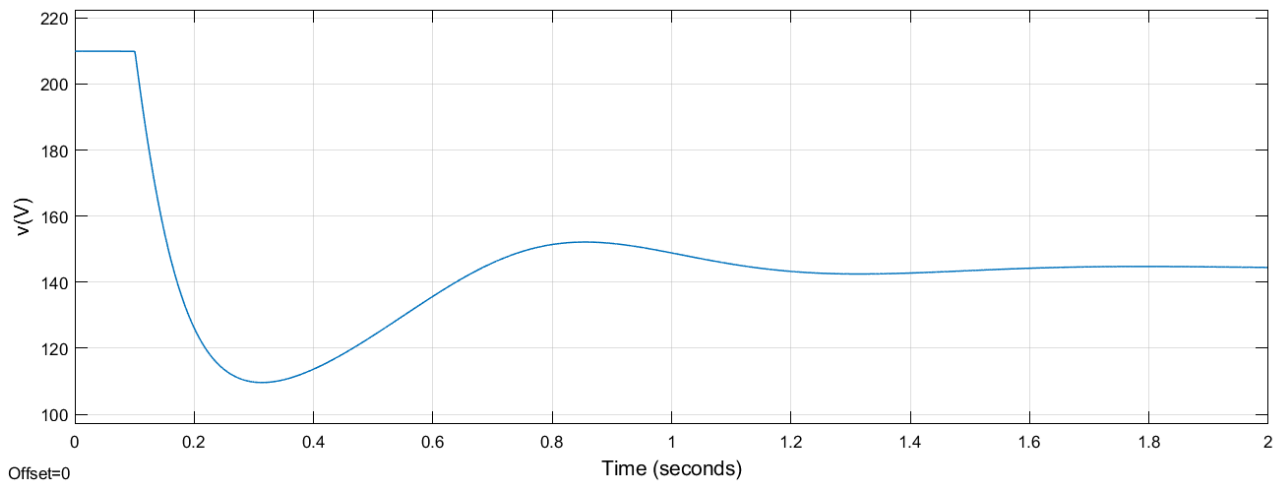


Εικόνα 2.74 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.

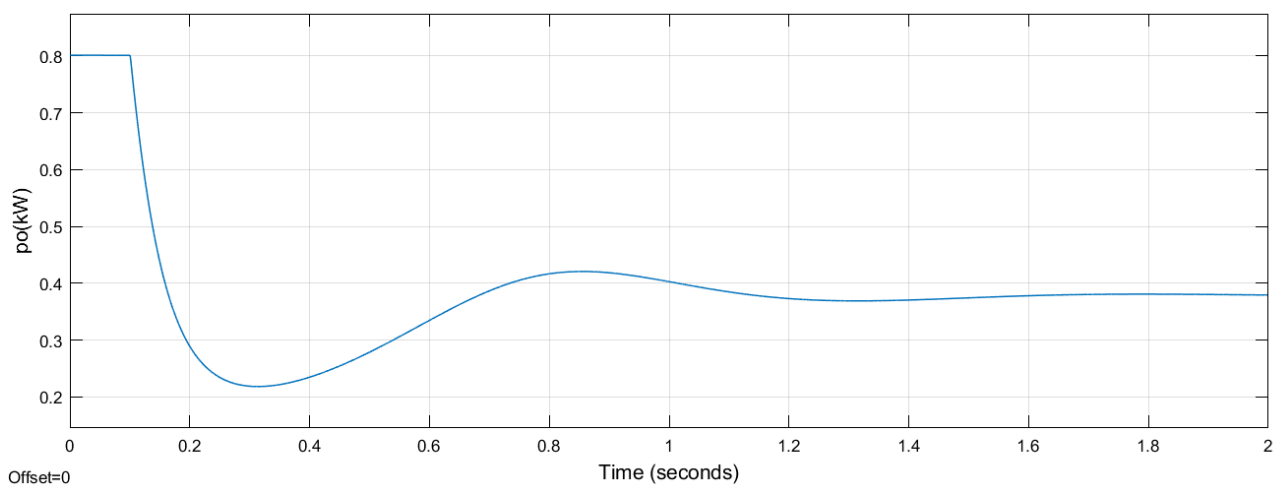


Εικόνα 2.75 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια



Εικόνα 2.76 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.77 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.

Τιμές μεγεθών για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής

Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_L	55Ω	55Ω	-
τ_m	3,015N · m	1,5075N · m	↓
n	3.016rpm	3.016rpm	-
p_{in}	0,9524kW	0,4762kW	↓
e_a	217,1V	149,2V	↓
i_a	4,160A	2,860A	↓
τ_{em}	2,859N · m	1,351N · m	↓
i_f	0,3436A	0,2362A	↓
v_L	209,9V	144,3V	↓
p_{out}	0,8011kW	0,3787kW	↓
η	-	79,52%	-

Πίνακας 2.14 Τιμές μεγεθών για βηματική μείωση -50% της μηχανικής ροπής.

2.3.17 Επαλήθευση τιμών 6^ο λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 1,5075\text{N} \cdot \text{m} \cdot 3.016 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 0,4761\text{kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{144,3\text{V}}{610,94\Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,2362\text{A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f)R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{144,3\text{V} + 0,2362\text{A} \cdot 55\Omega}{55\Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 2,860\text{A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 144,3\text{V} + 2,860\text{A} \cdot 1,72\Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 149,2\text{V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 2,860\text{A} \cdot 0,2362\text{A} \cdot 2,00\text{H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 1,351\text{N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 144,3\text{V} \cdot (2,860\text{A} - 0,2362\text{A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 0,3786\text{kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{0,3786\text{kW}}{0,4761\text{kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 79,52\%}$$

Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

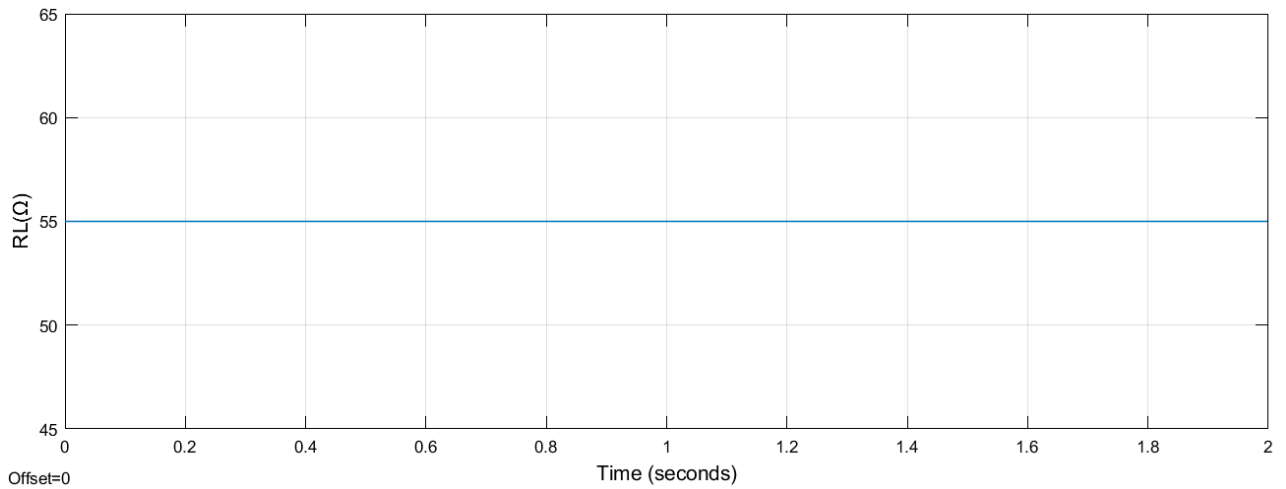
2.3.18 Σχολιασμός 6^ο λειτουργικού σεναρίου

Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι:

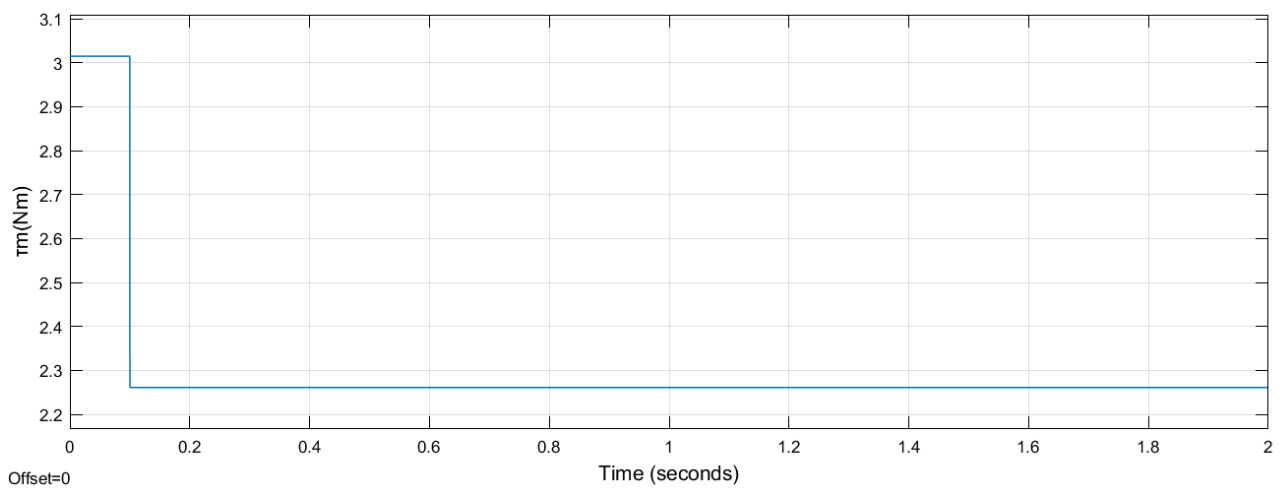
- Οι **στροφές** παρέμειναν σταθερές μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, οι στροφές είναι ανάλογες της τάσης του φορτίου και του ρεύματος τυμπάνου και αντιστρόφως ανάλογες του ρεύματος διέγερσης. Και οι τρεις μεταβλητές μειώνονται. Φαίνεται ότι η μεταβολή του ενός αναίρεσε την μεταβολή του άλλου και οι στροφές, τελικά, παρέμειναν σταθερές.
- Η **ισχύς εισόδου** μειώθηκε μετά από κατακόρυφη μείωση και αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ισχύς εισόδου είναι ανάλογη της μηχανικής ροπής και των στροφών. Η πρώτη μειώθηκε, ενώ οι δεύτερες παρέμειναν σταθερές, άρα για τον λόγο αυτό μειώθηκε και η ισχύς εισόδου.
- Η **εξ επαγωγής τάση τυμπάνου** μειώθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η εξ επαγωγής τάση τυμπάνου είναι ανάλογη του ρεύματος διέγερσης και των στροφών. Το πρώτο μειώθηκε, ενώ οι δεύτερες παρέμειναν σταθερές, άρα για τον λόγο αυτό μειώθηκε και η εξ επαγωγής τάση τυμπάνου.
- Το **ρεύμα τυμπάνου** μειώθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, το ρεύμα τυμπάνου είναι ανάλογο της ηλεκτρομαγνητικής ροπής και αντιστρόφως ανάλογο του ρεύματος διέγερσης. Και οι δύο μεταβλητές μειώθηκαν. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της πρώτης και το ρεύμα τυμπάνου, τελικά, μειώθηκε.
- Η **ηλεκτρομαγνητική ροπή** μειώθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ηλεκτρομαγνητική ροπή είναι ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου και του ρεύματος διέγερσης. Και οι δύο μεταβλητές μειώθηκαν, άρα για τον λόγο αυτό μειώθηκε και η ηλεκτρομαγνητική ροπή.
- Το **ρεύμα διέγερσης** μειώθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, το ρεύμα διέγερσης είναι ανάλογο της τάσης φορτίου. Αυτή μειώθηκε, άρα για τον λόγο αυτό μειώθηκε και το ρεύμα διέγερσης.
- Η **τάση φορτίου** μειώθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η τάση φορτίου είναι ανάλογη της εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου και αντιστρόφως ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου. Και οι δύο μεταβλητές μειώθηκαν. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της πρώτης και η τάση φορτίου, τελικά, μειώθηκε.
- Η **ισχύς εξόδου** μειώθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ισχύς εξόδου είναι ανάλογη της τάσης φορτίου και του ρεύματος φορτίου. Και οι δύο μεταβλητές μειώθηκαν, άρα για τον λόγο αυτό μειώθηκε και η ισχύς εξόδου.

2.3.19 Λειτουργικό σενάριο 7^ο: Βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής

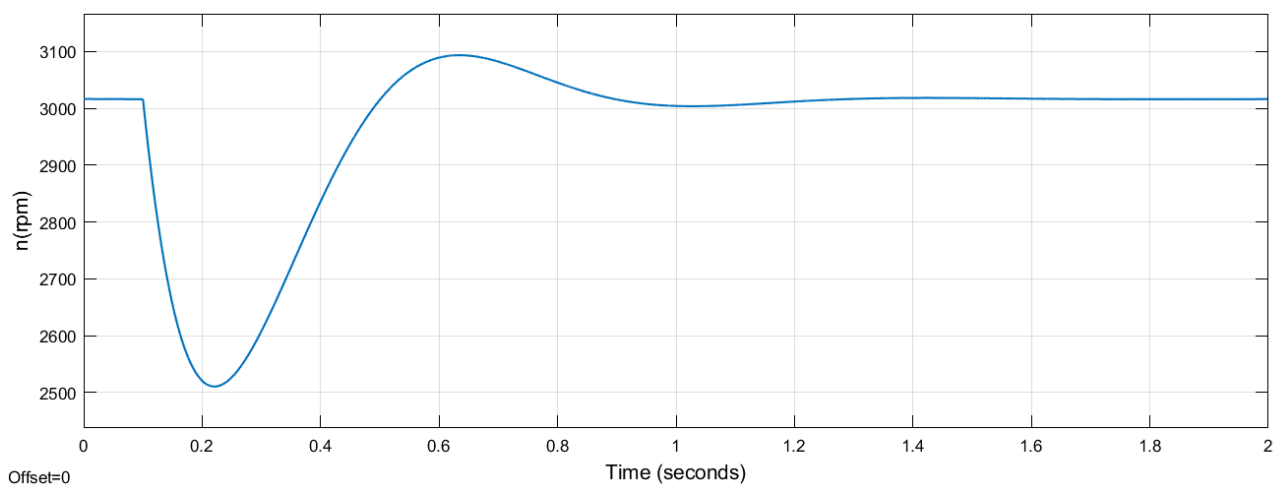
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική μείωση -25% της τ_m . Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



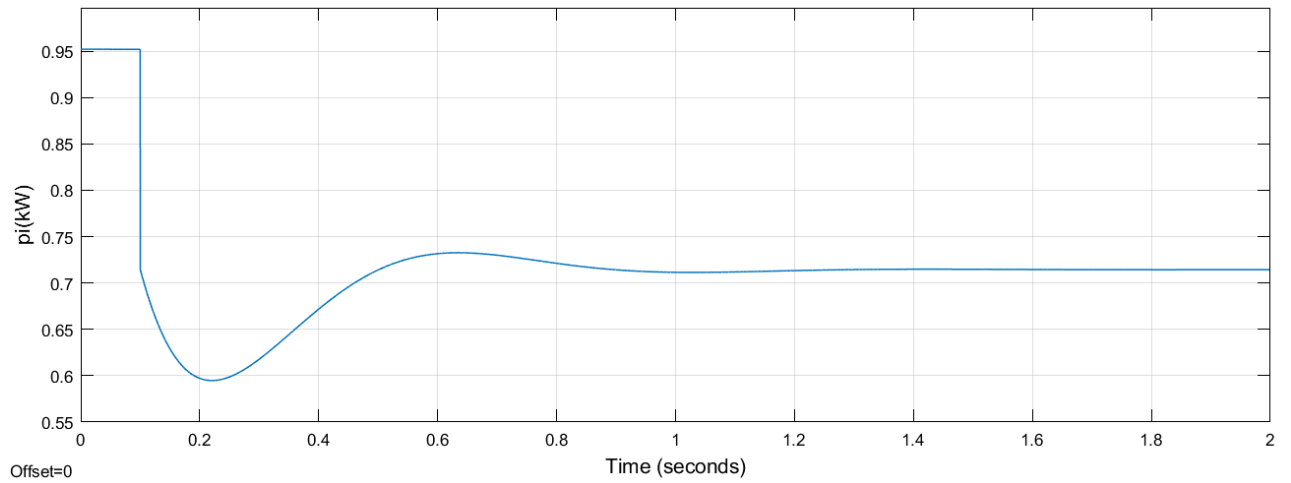
Εικόνα 2.78 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.



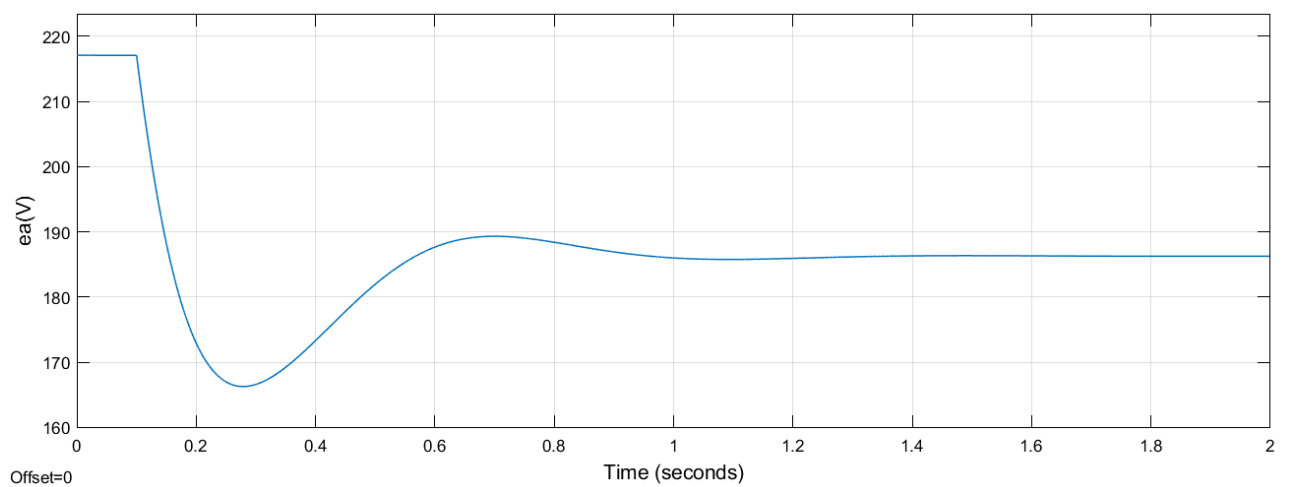
Εικόνα 2.79 Βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.



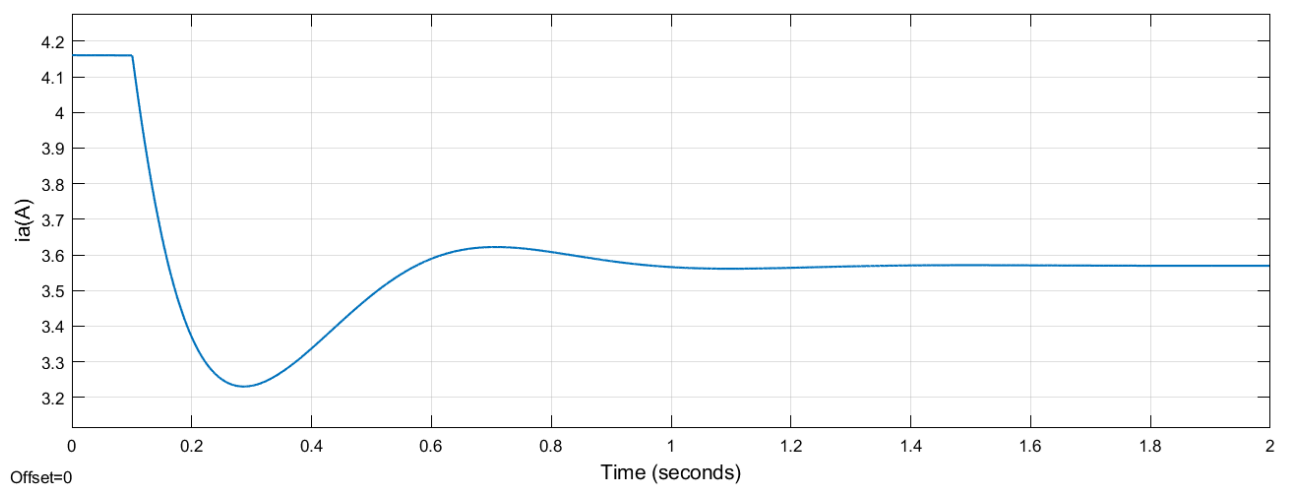
Εικόνα 2.80 Απόκριση στροφών για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.



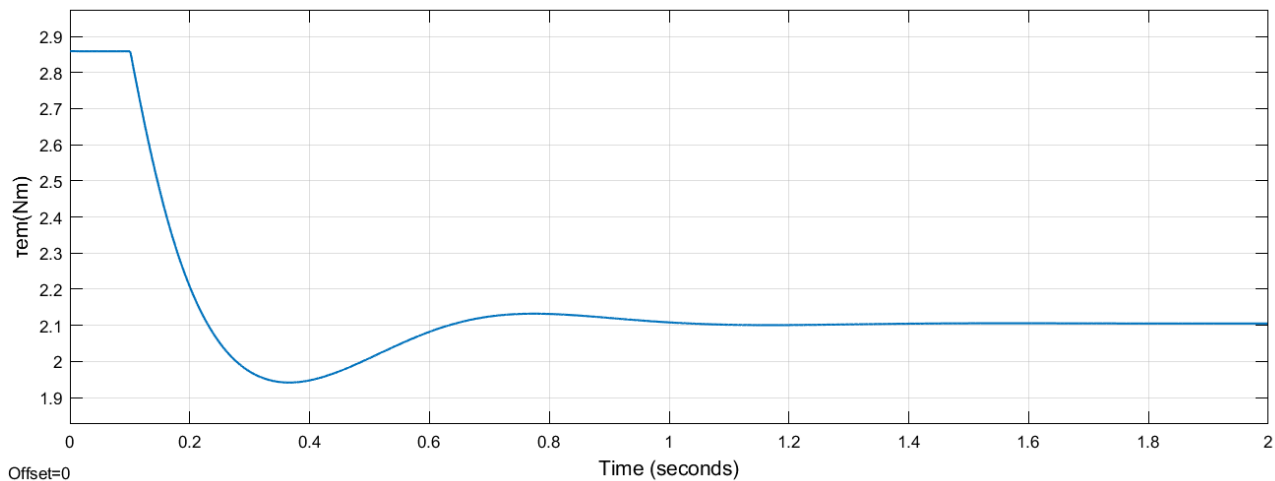
Εικόνα 2.81 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.



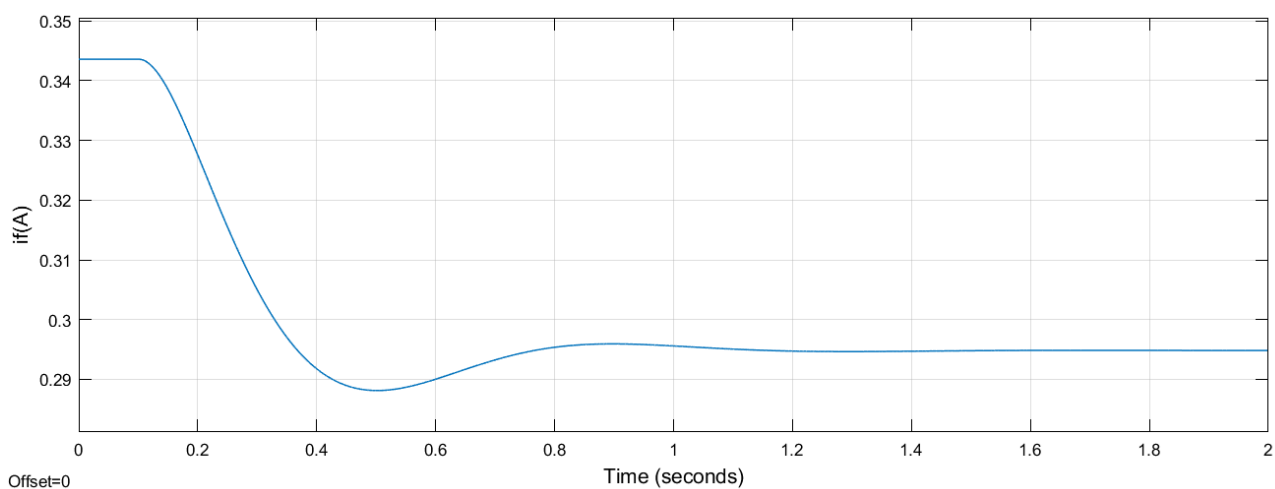
Εικόνα 2.82 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.



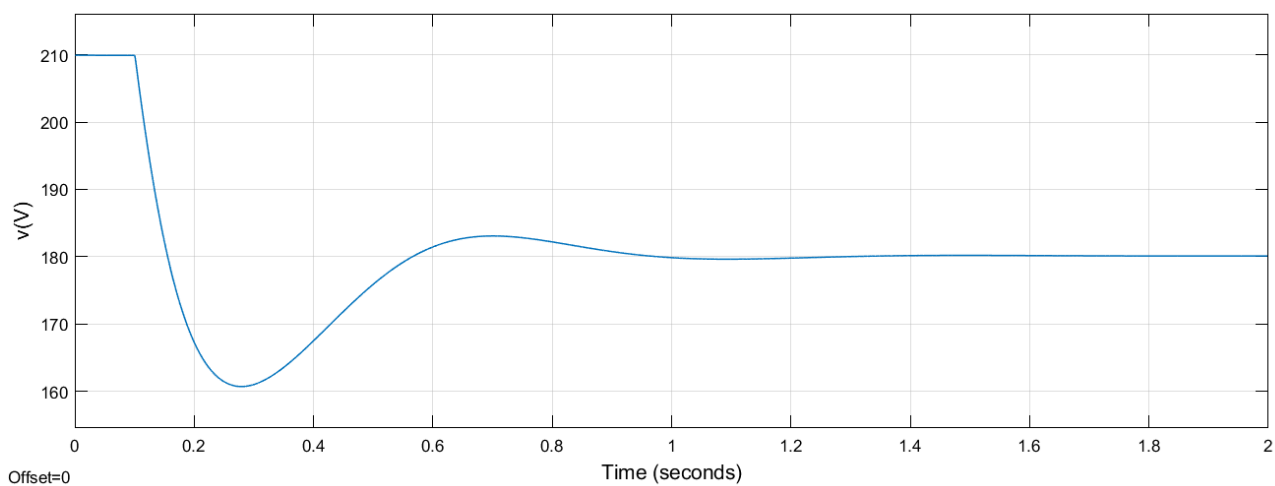
Εικόνα 2.83 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.



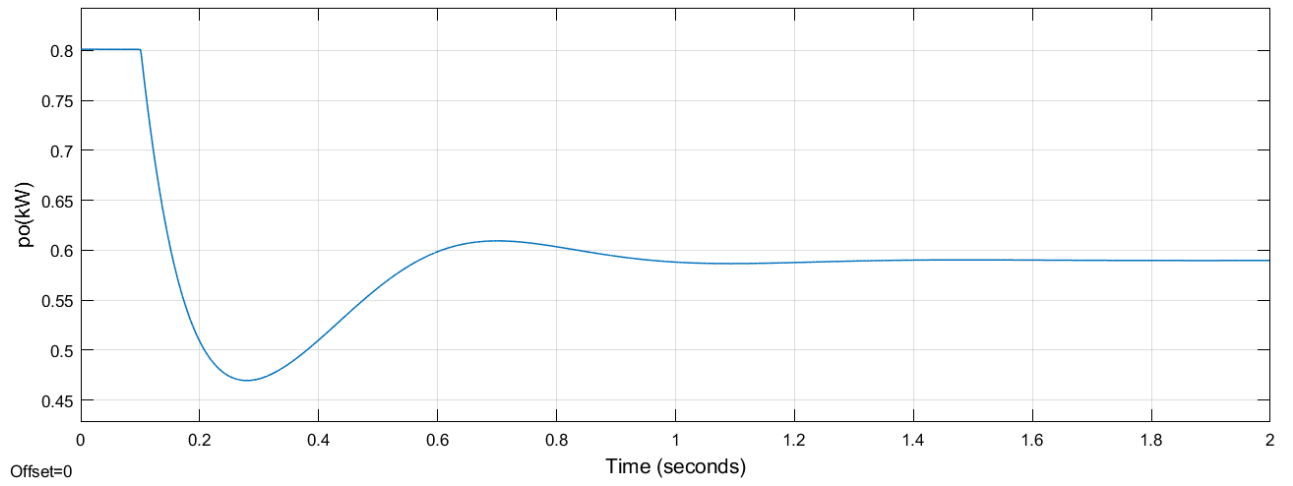
Εικόνα 2.84 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.85 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.86 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.87 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.

Τιμές μεγεθών για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής

Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_L	55Ω	55Ω	-
τ_m	3,015N · m	2,26125N · m	↓
n	3.016rpm	3.016rpm	-
p_{in}	0,9524kW	0,7143kW	↓
e_a	217,1V	186,3V	↓
i_a	4,160A	3,570A	↓
τ_{em}	2,859N · m	2,105N · m	↓
i_f	0,3436A	0,2948A	↓
v_L	209,9V	180,1V	↓
p_{out}	0,8011kW	0,5899kW	↓
η	-	82,58%	-

Πίνακας 2.15 Τιμές μεγεθών για βηματική μείωση -25% της μηχανικής ροπής.

2.3.20 Επαλήθευση τιμών 7^{ου} λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 2,26125\text{N} \cdot \text{m} \cdot 3.016 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 0,7142\text{kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{180,1\text{V}}{610,94\Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,2948\text{A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f)R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{180,1\text{V} + 0,2948\text{A} \cdot 55\Omega}{55\Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 3,569\text{A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 180,1\text{V} + 3,569\text{A} \cdot 1,72\Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 186,2\text{V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 3,569\text{A} \cdot 0,2948\text{A} \cdot 2,00\text{H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 2,104\text{N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 180,1\text{V} \cdot (3,569\text{A} - 0,2948\text{A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 0,5897\text{kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{0,5897\text{kW}}{0,7142\text{kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 82,57\%}$$

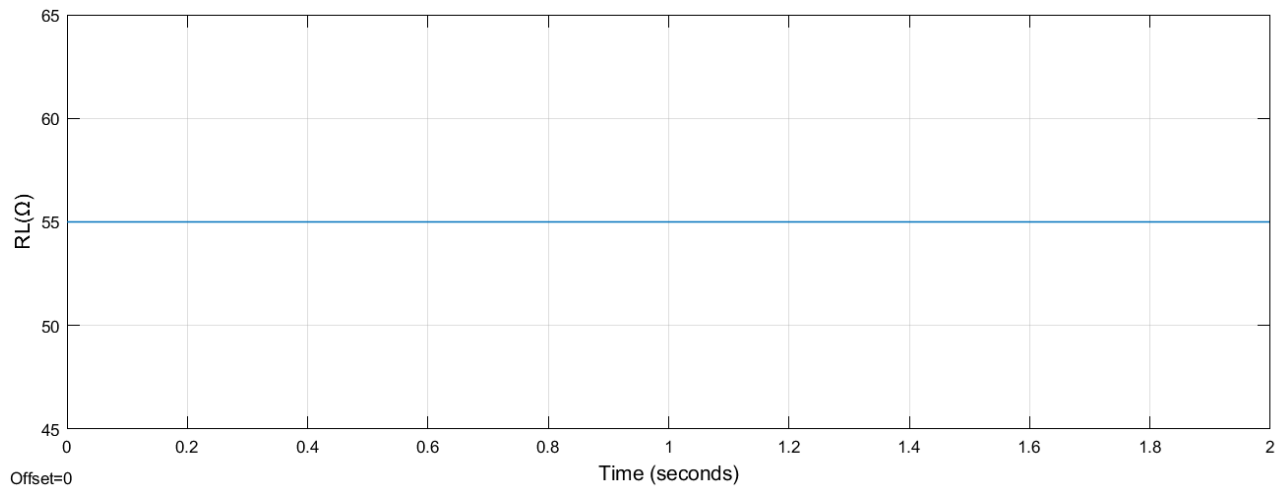
Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

2.3.21 Σχολιασμός 7^{ου} λειτουργικού σεναρίου

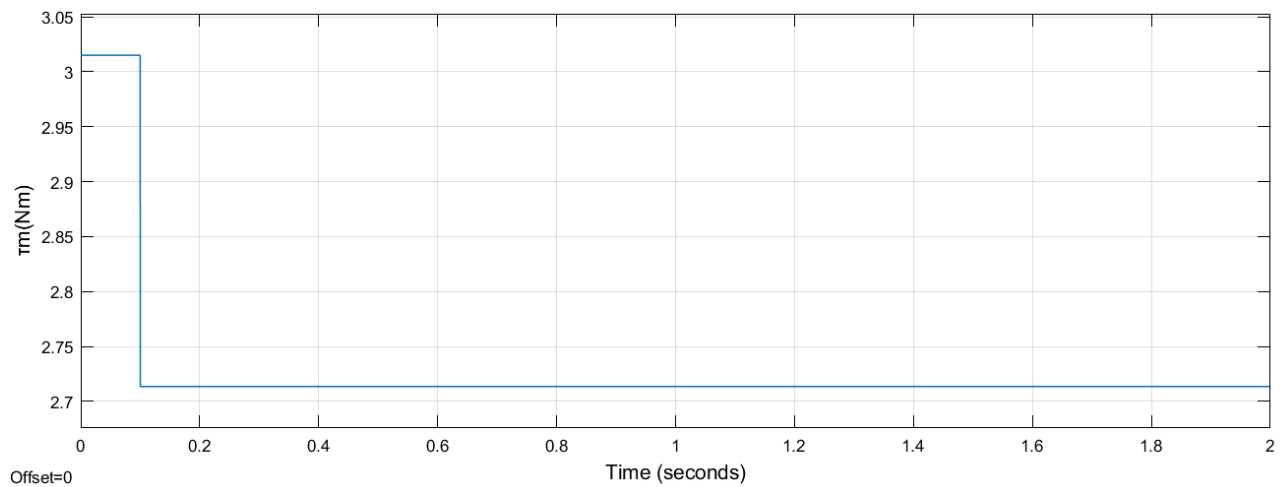
Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι ισχύουν όσα σχολιάσαμε για το 6^ο λειτουργικό σενάριο.

2.3.22 Λειτουργικό σενάριο 8^ο: Βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής

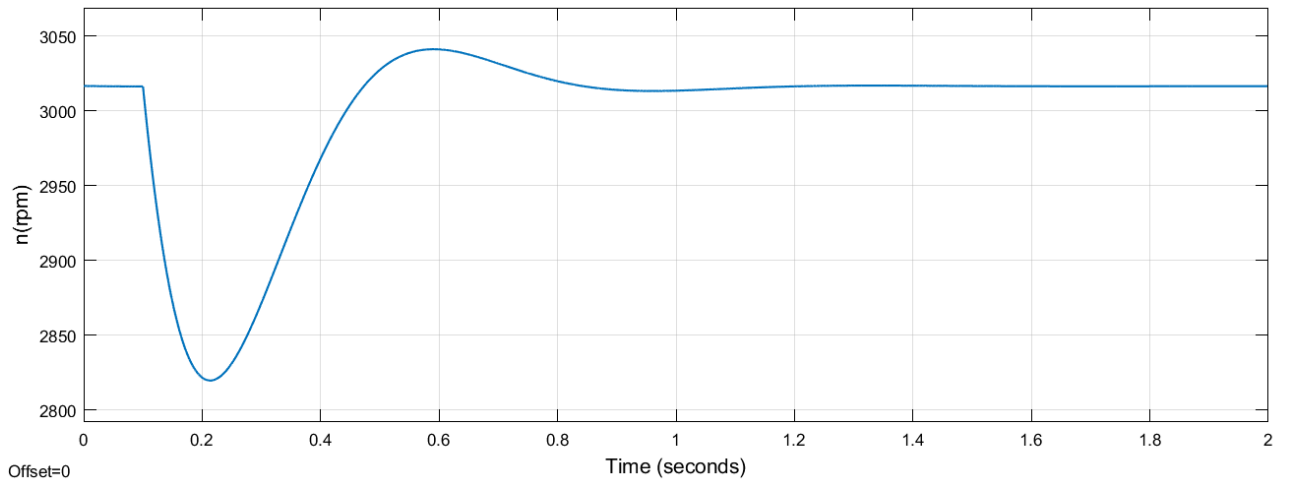
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική μείωση -10% της τ_m . Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



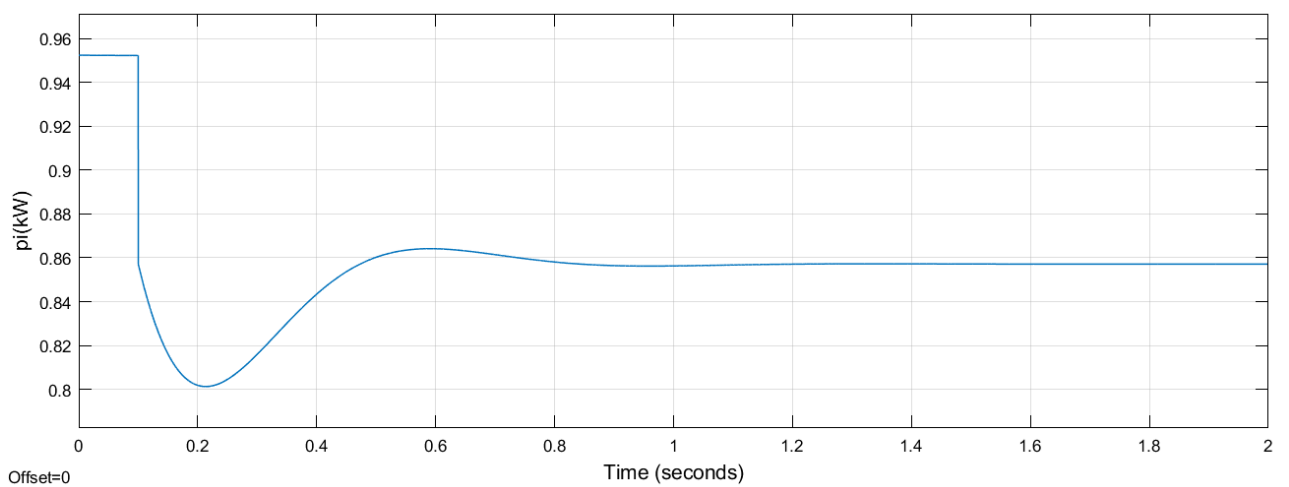
Εικόνα 2.88 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.



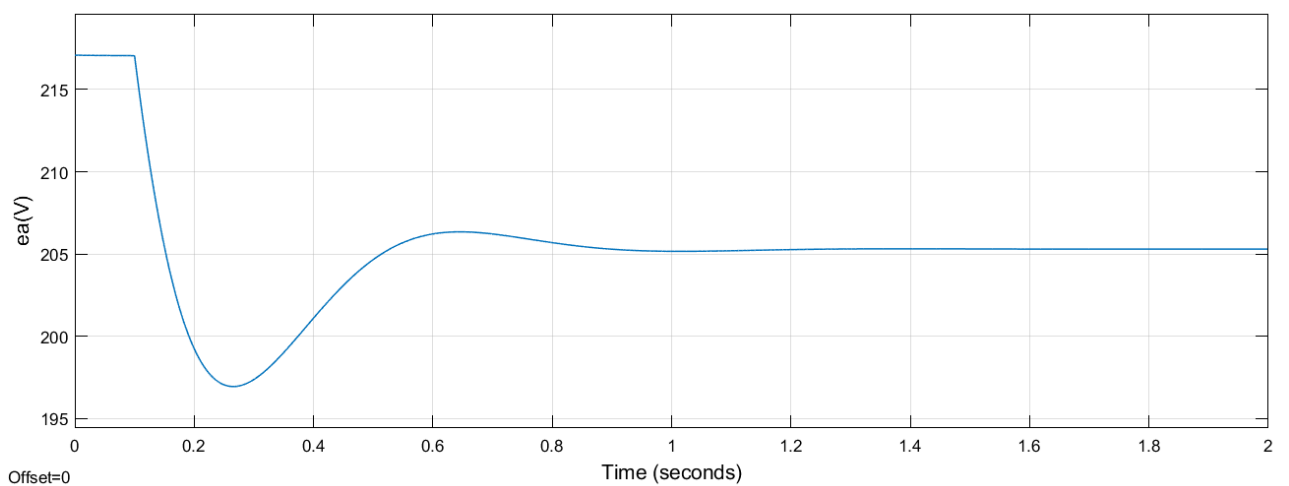
Εικόνα 2.89 Βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.



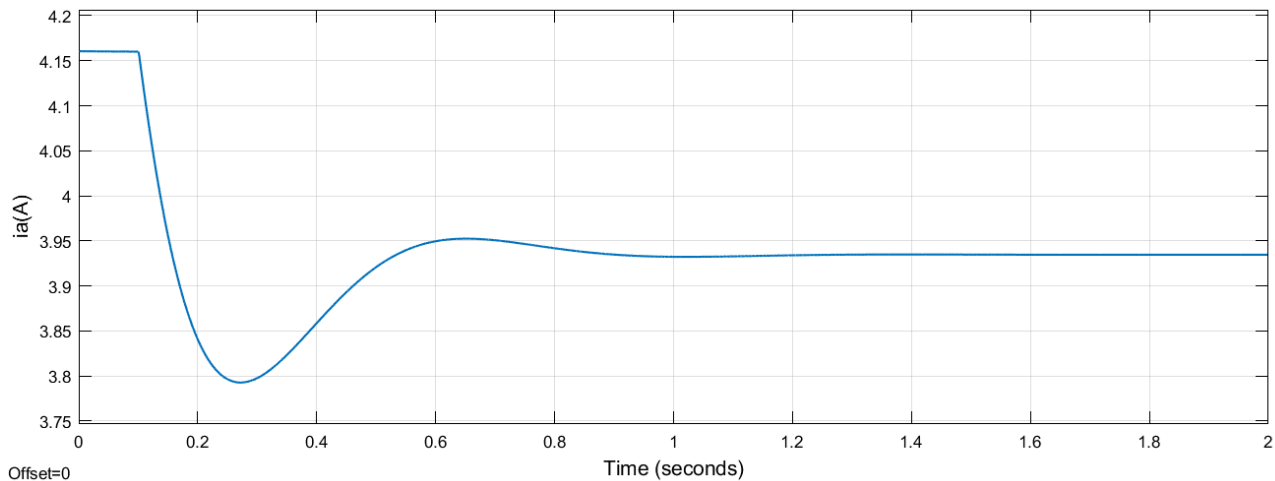
Εικόνα 2.90 Απόκριση στροφών για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.



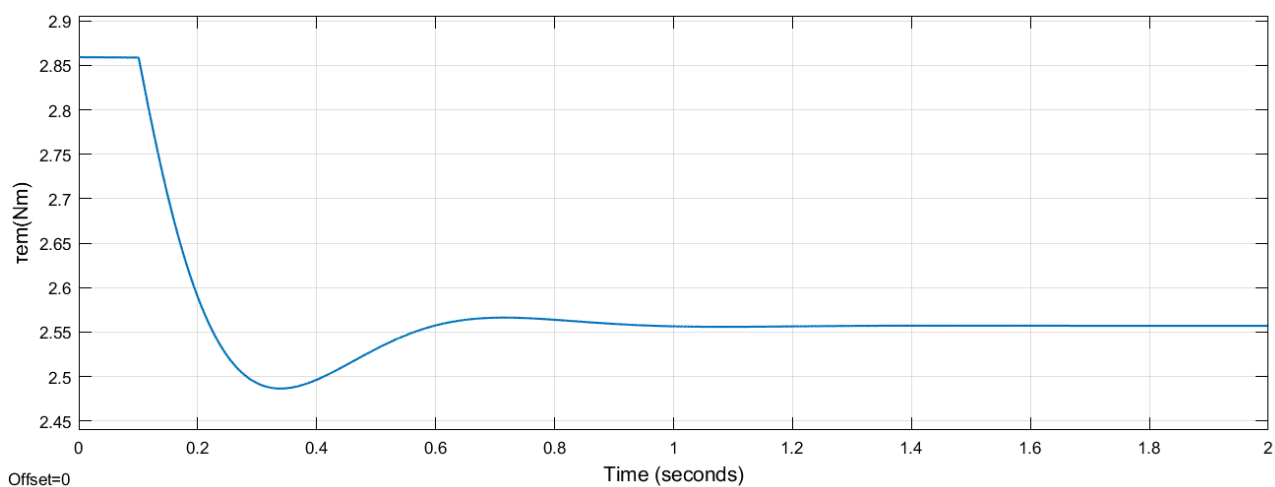
Εικόνα 2.91 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.



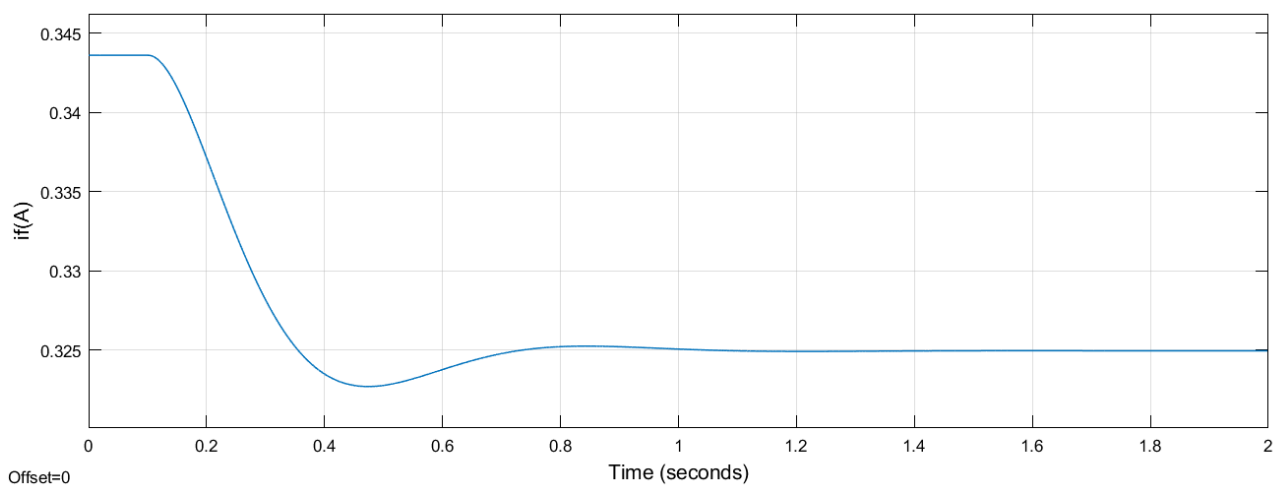
Εικόνα 2.92 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.



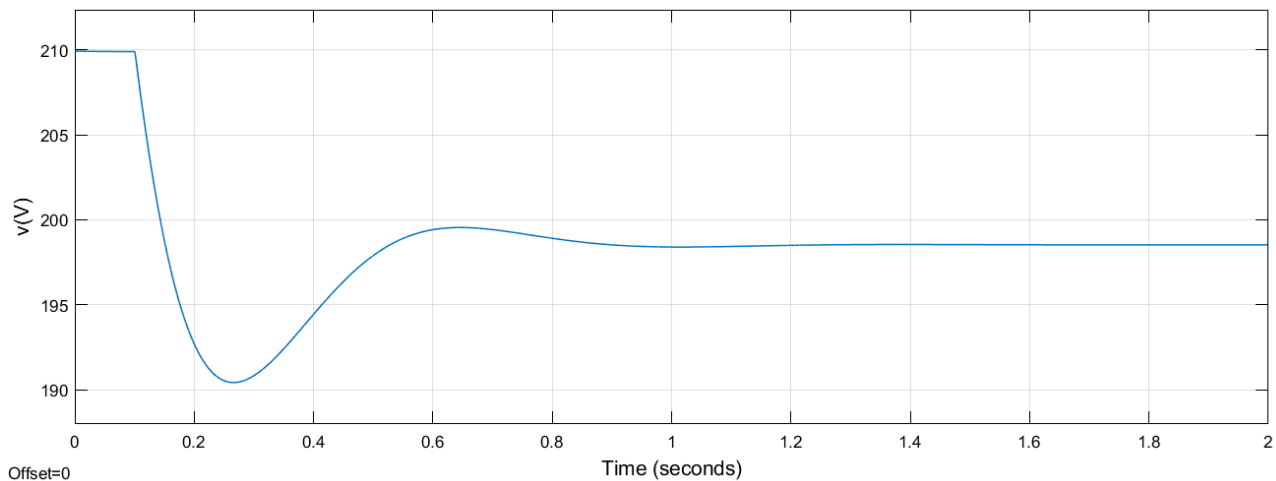
Εικόνα 2.93 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.



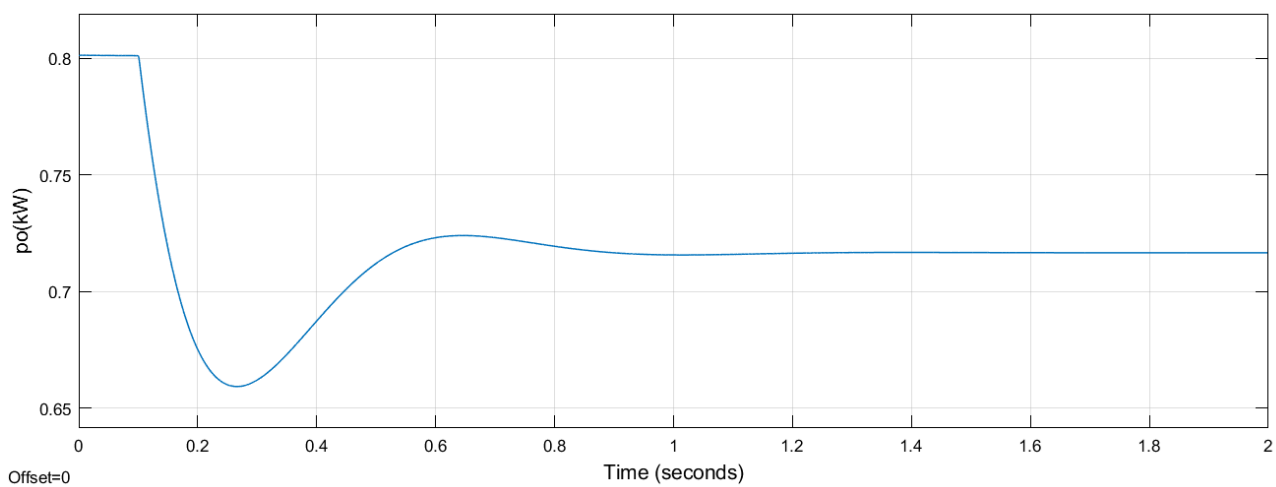
Εικόνα 2.94 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.95 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.96 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.97 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.

Τιμές μεγεθών για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής

Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_L	55Ω	55Ω	-
τ_m	3,015N · m	2,7135N · m	↓
n	3.016rpm	3.016rpm	-
p_{in}	0,9524kW	0,8571kW	↓
e_a	217,1V	205,3V	↓
i_a	4,160A	3,935A	↓
τ_{em}	2,859N · m	2,557N · m	↓
i_f	0,3436A	0,3250A	↓
v_L	209,9V	198,5V	↓
p_{out}	0,8011kW	0,7166kW	↓
η	-	83,60%	-

Πίνακας 2.16 Τιμές μεγεθών για βηματική μείωση -10% της μηχανικής ροπής.

2.3.23 Επαλήθευση τιμών 8^ο λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 2,7135\text{N} \cdot \text{m} \cdot 3.016 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 0,8570\text{kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{198,5\text{V}}{610,94\Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,3249\text{A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f) R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{198,5\text{V} + 0,3249\text{A} \cdot 55\Omega}{55\Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 3,934\text{A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 198,5\text{V} + 3,934\text{A} \cdot 1,72\Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 205,3\text{V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 3,934\text{A} \cdot 0,3249\text{A} \cdot 2,00\text{H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 2,556\text{N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 198,5\text{V} \cdot (3,934\text{A} - 0,3249\text{A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 0,7164\text{kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{0,7164\text{kW}}{0,8570\text{kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 83,59\%}$$

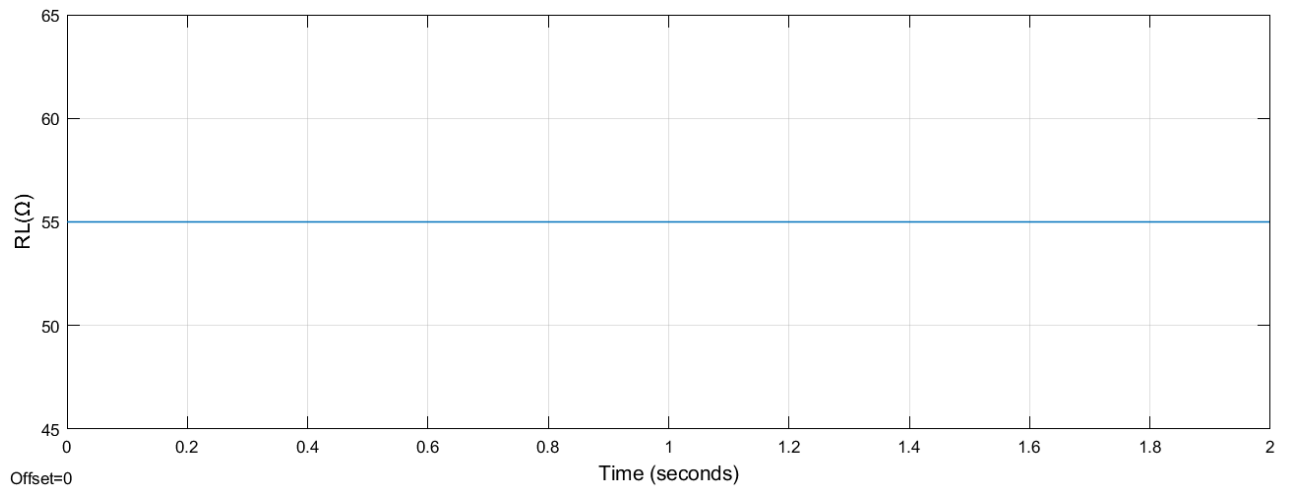
Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

2.3.24 Σχολιασμός 8^ο λειτουργικού σεναρίου

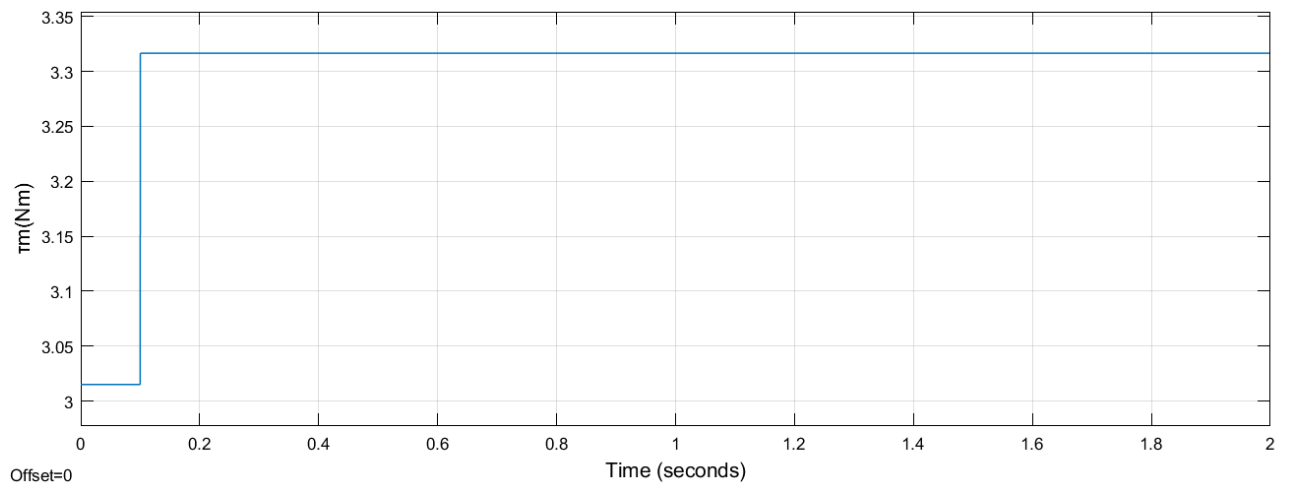
Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι ισχύουν όσα σχολιάσαμε για το 6^ο λειτουργικό σενάριο.

2.3.25 Λειτουργικό σενάριο 9^ο: Βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής

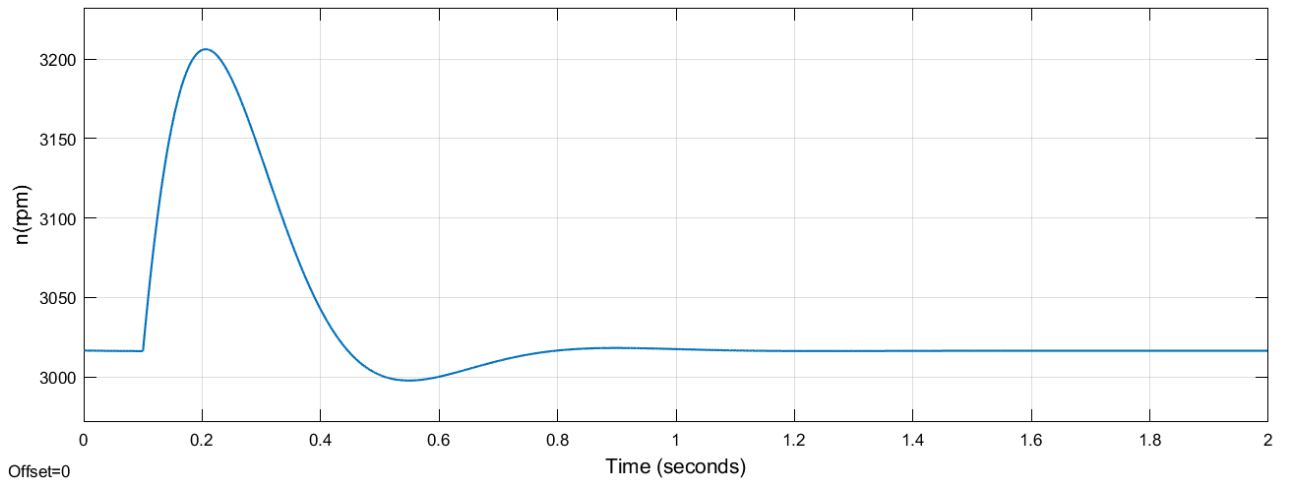
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική αύξηση +10% της τ_m . Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



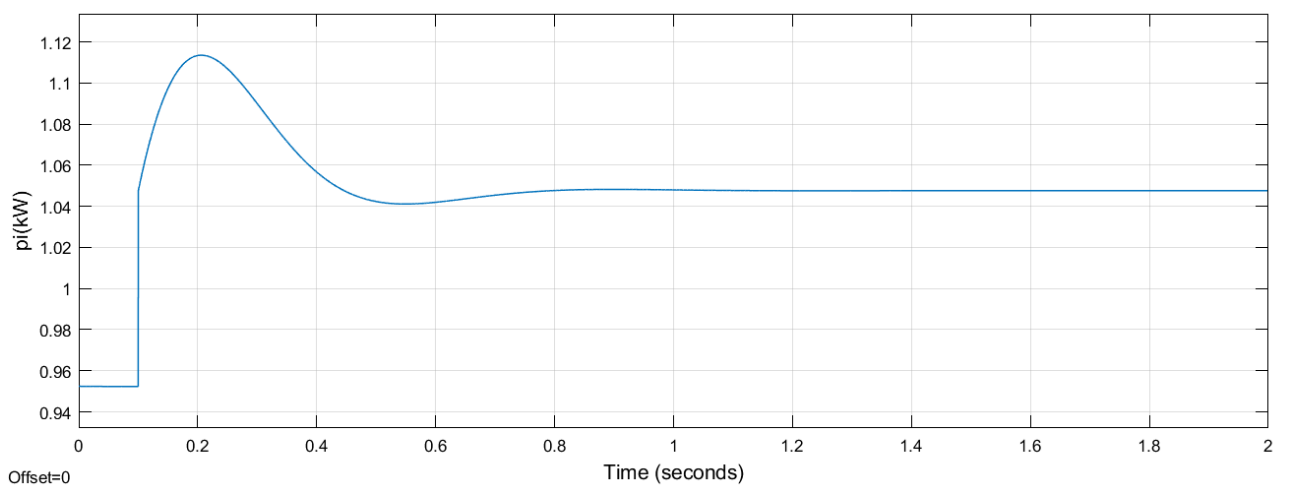
Εικόνα 2.98 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.



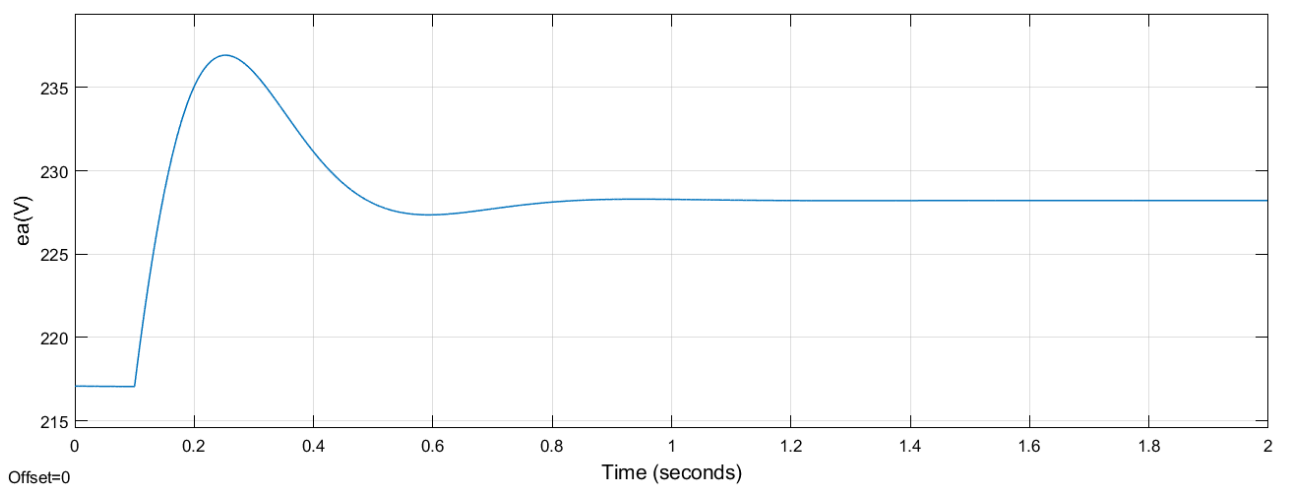
Εικόνα 2.99 Βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.



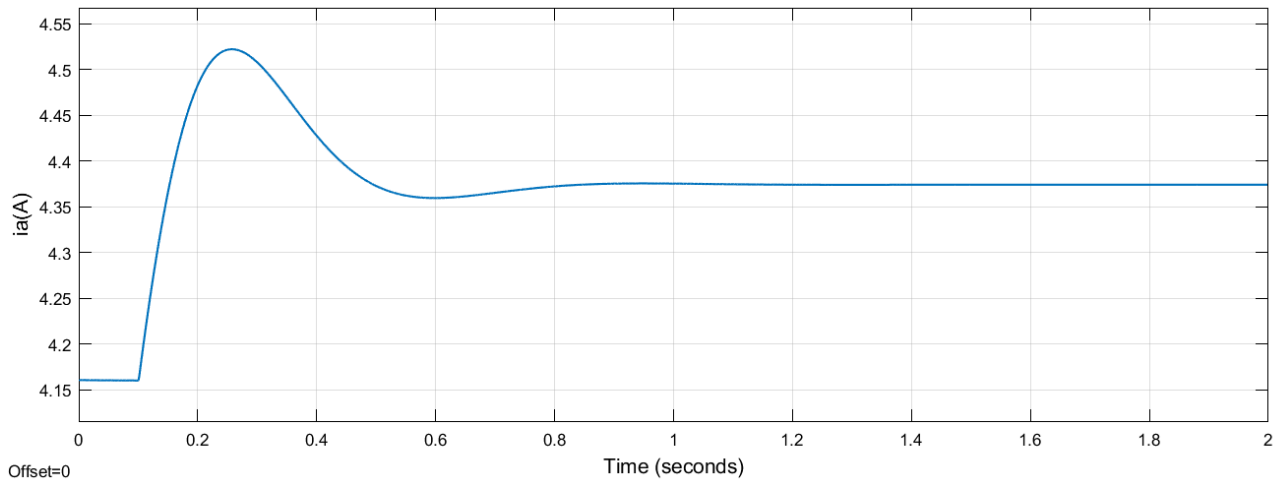
Εικόνα 2.100 Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.



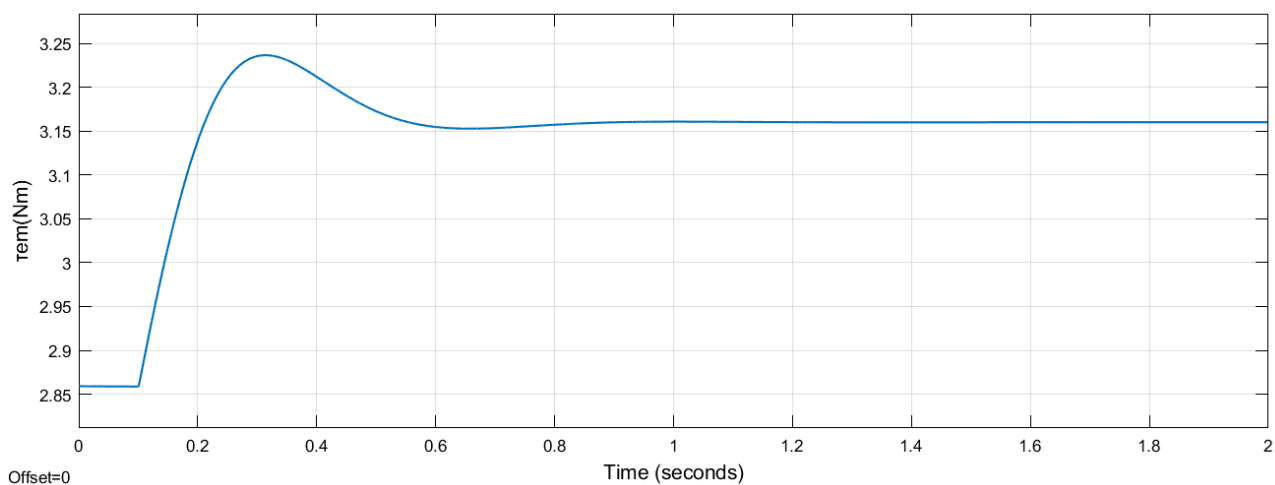
Εικόνα 2.101 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.



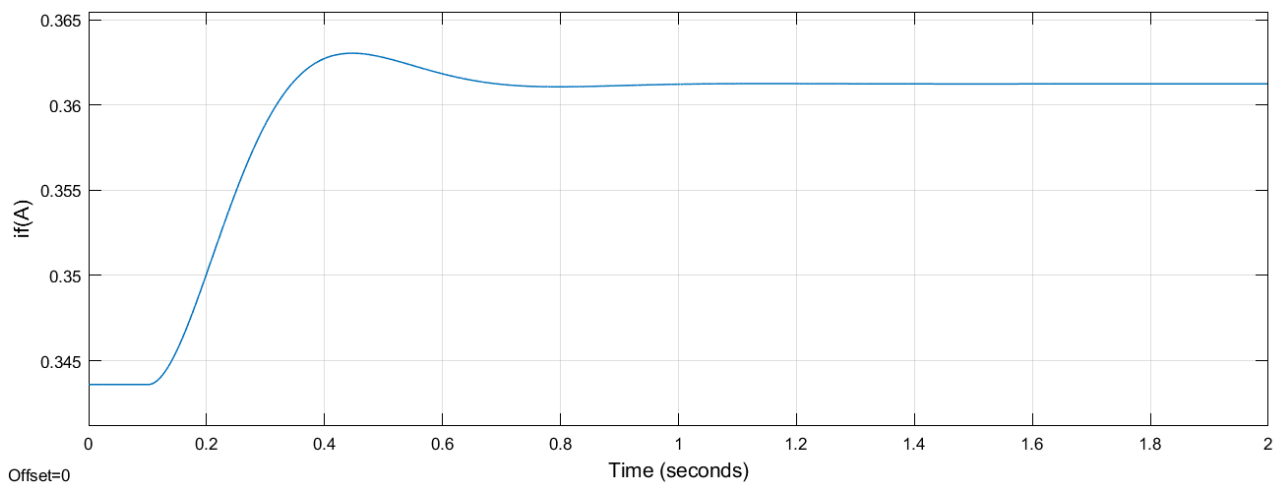
Εικόνα 2.102 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.



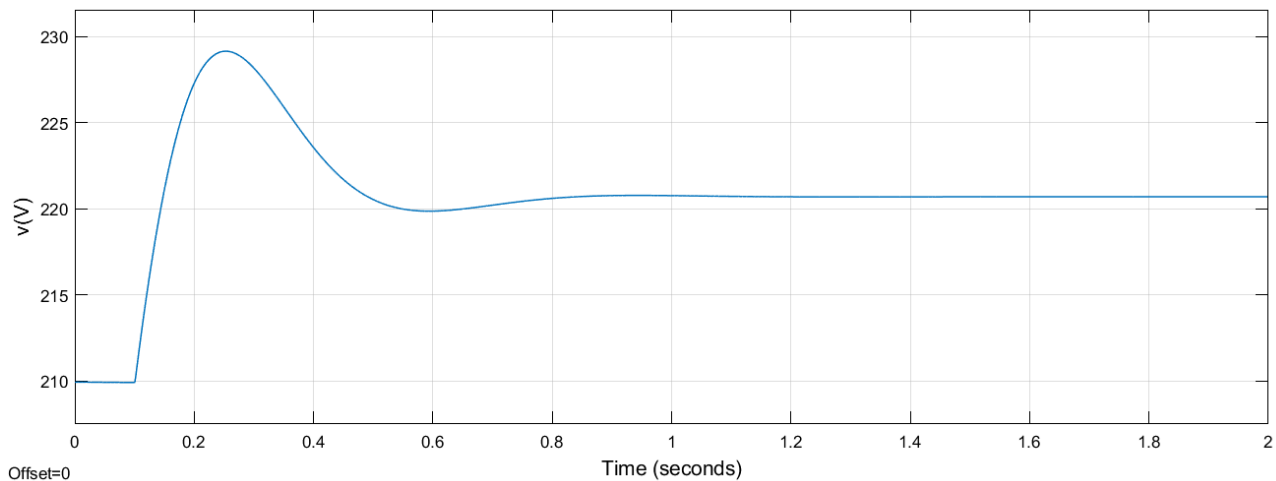
Εικόνα 2.103 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.



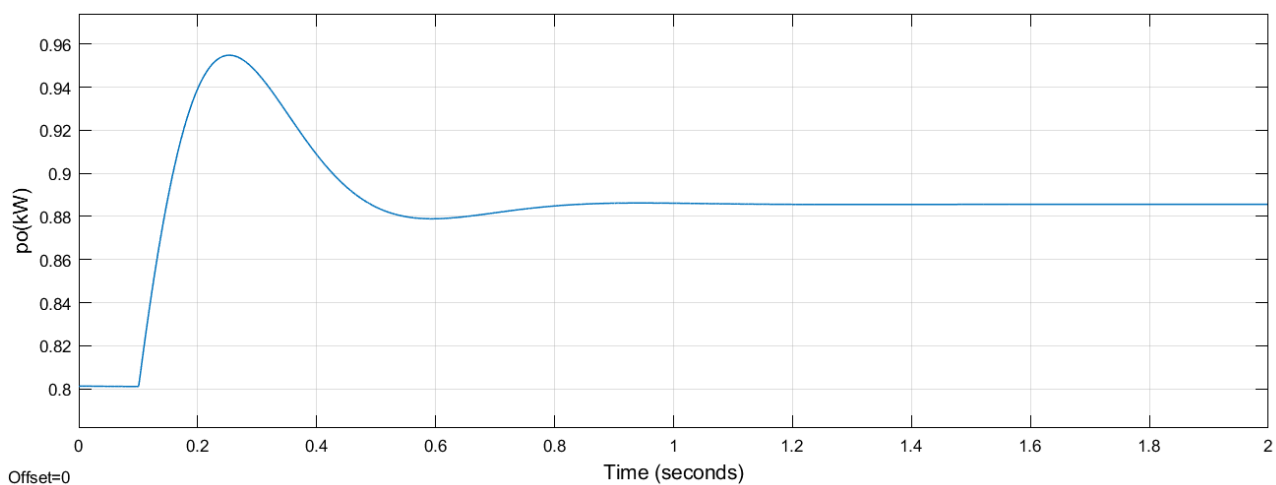
Εικόνα 2.104 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.105 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.106 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.107 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.

Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής

Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_L	55Ω	55Ω	-
τ_m	3,015N · m	3,3165N · m	↑
n	3.016rpm	3.016rpm	-
p_{in}	0,9524kW	1,048kW	↑
e_a	217,1V	228,2V	↑
i_a	4,160A	4,374A	↑
τ_{em}	2,859N · m	3,160N · m	↑
i_f	0,3436A	0,3612A	↑
v_L	209,9V	220,7V	↑
p_{out}	0,8011kW	0,8856kW	↑
η	-	84,53%	-

Πίνακας 2.17 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +10% της μηχανικής ροπής.

2.3.26 Επαλήθευση τιμών 9^{ου} λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 3,3165 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot 3.016 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 1,047 \text{ kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{220,7 \text{ V}}{610,94 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,3612 \text{ A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f) R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{220,7 \text{ V} + 0,3612 \text{ A} \cdot 55 \Omega}{55 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 4,374 \text{ A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 220,7 \text{ V} + 4,374 \text{ A} \cdot 1,72 \Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 228,2 \text{ V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 4,374 \text{ A} \cdot 0,3612 \text{ A} \cdot 2,00 \text{ H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 3,160 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 220,7 \text{ V} \cdot (4,374 \text{ A} - 0,3612 \text{ A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 0,8856 \text{ kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{0,8856 \text{ kW}}{1,047 \text{ kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 84,58\%}$$

Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

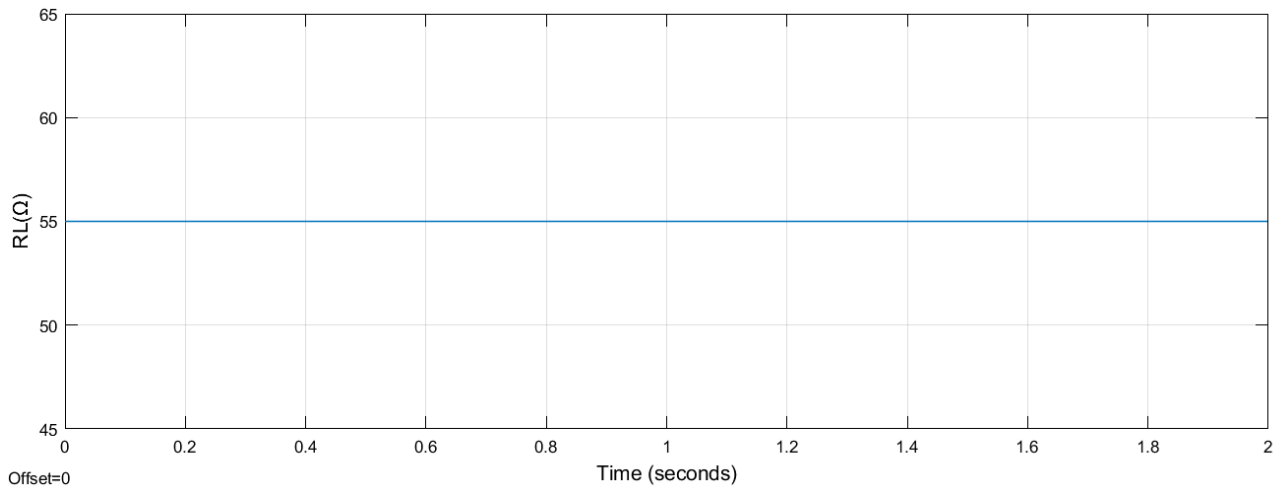
2.3.27 Σχολιασμός 9^ο λειτουργικού σεναρίου

Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι:

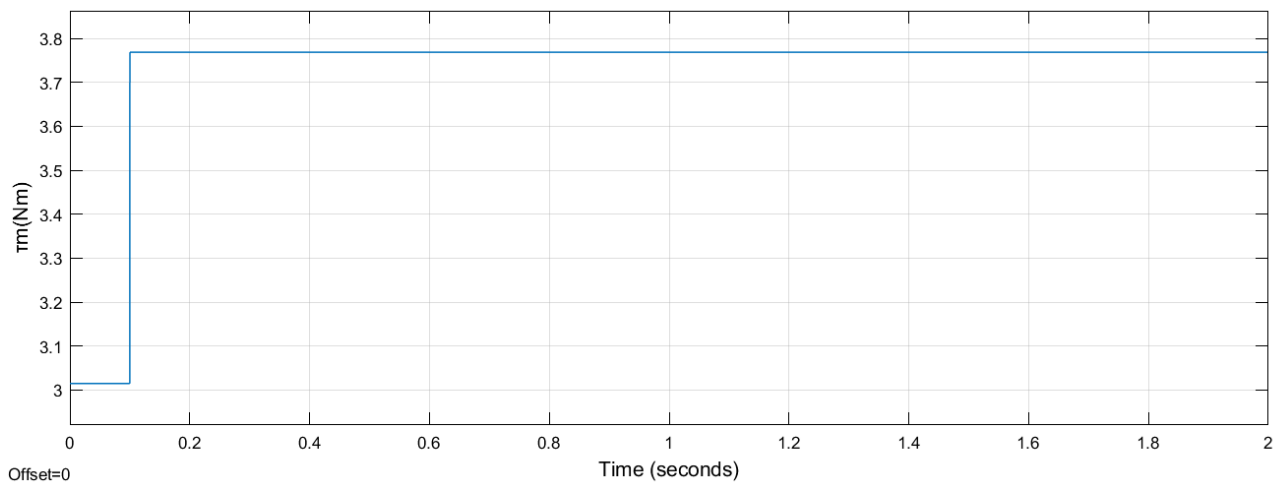
- Οι **στροφές** παρέμειναν σταθερές μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση για τον ίδιο λόγο που αναφέραμε στο 6^ο λειτουργικό σενάριο.
- Η **ισχύς εισόδου** αυξήθηκε μετά από κατακόρυφη αύξηση και αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ισχύς εισόδου είναι ανάλογη της μηχανικής ροπής και των στροφών. Η πρώτη αυξήθηκε, ενώ οι δεύτερες παρέμειναν σταθερές, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκε και η ισχύς εισόδου.
- Η **εξ επαγωγής τάση τυμπάνου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η εξ επαγωγής τάση τυμπάνου είναι ανάλογη του ρεύματος διέγερσης και των στροφών. Το πρώτο αυξήθηκε, ενώ οι δεύτερες παρέμειναν σταθερές, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκε και η εξ επαγωγής τάση τυμπάνου.
- Το **ρεύμα τυμπάνου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, το ρεύμα τυμπάνου είναι ανάλογο της ηλεκτρομαγνητικής ροπής και αντιστρόφως ανάλογο του ρεύματος διέγερσης. Και οι δύο μεταβλητές αυξήθηκαν. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της πρώτης και το ρεύμα τυμπάνου, τελικά, αυξήθηκε.
- Η **ηλεκτρομαγνητική ροπή** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ηλεκτρομαγνητική ροπή είναι ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου και του ρεύματος διέγερσης. Και οι δύο μεταβλητές αυξήθηκαν, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκε και η ηλεκτρομαγνητική ροπή.
- Το **ρεύμα διέγερσης** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, το ρεύμα διέγερσης είναι ανάλογο της τάσης φορτίου. Αυτή αυξήθηκε, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκε και το ρεύμα διέγερσης.
- Η **τάση φορτίου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η τάση φορτίου είναι ανάλογη της εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου και αντιστρόφως ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου. Και οι δύο μεταβλητές αυξήθηκαν. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της πρώτης και η τάση φορτίου, τελικά, αυξήθηκε.
- Η **ισχύς εξόδου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ισχύς εξόδου είναι ανάλογη της τάσης φορτίου και του ρεύματος φορτίου. Και οι δύο μεταβλητές αυξήθηκαν, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκε και η ισχύς εξόδου.

2.3.28 Λειτουργικό σενάριο 10^ο: Βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής

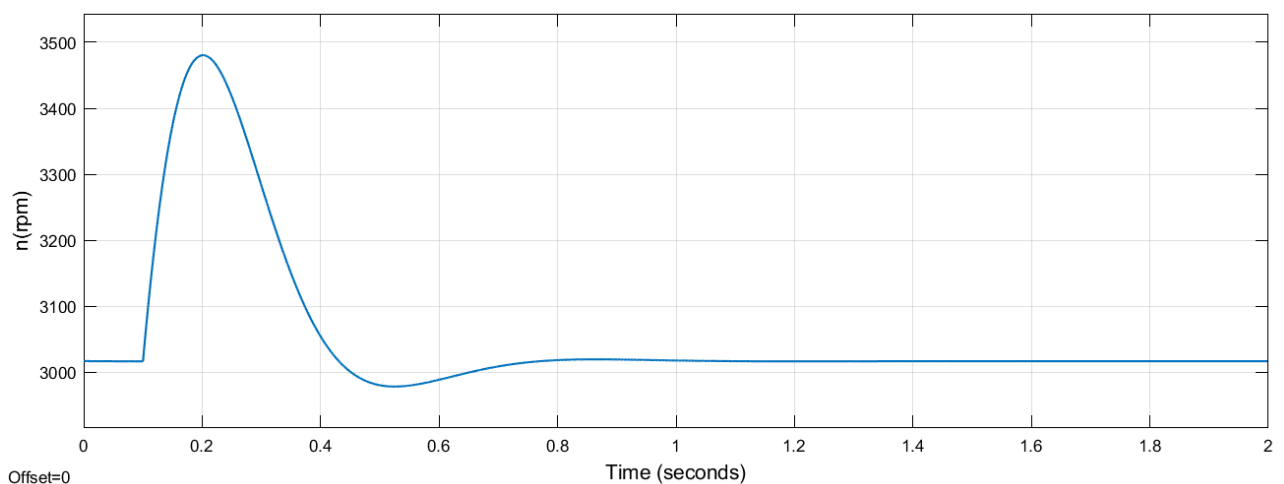
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική αύξηση +25% της τ_m . Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



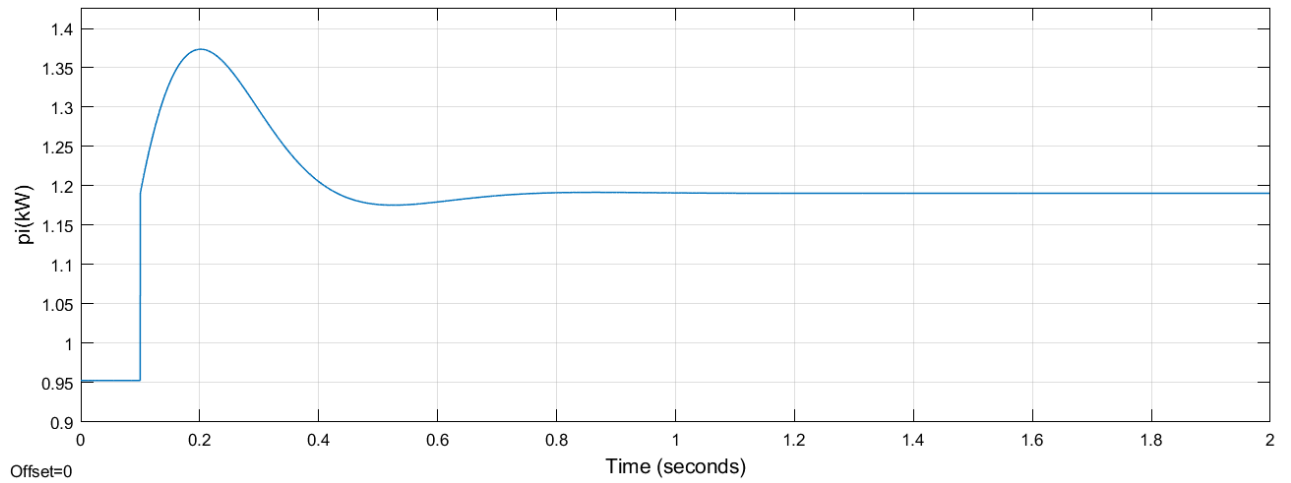
Εικόνα 2.108 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.



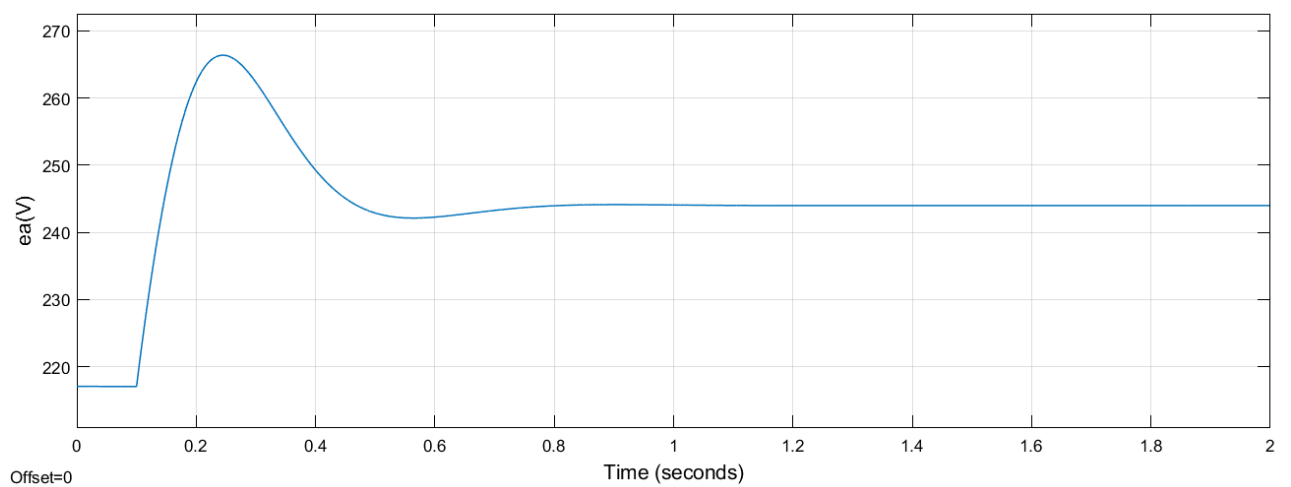
Εικόνα 2.109 Βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.



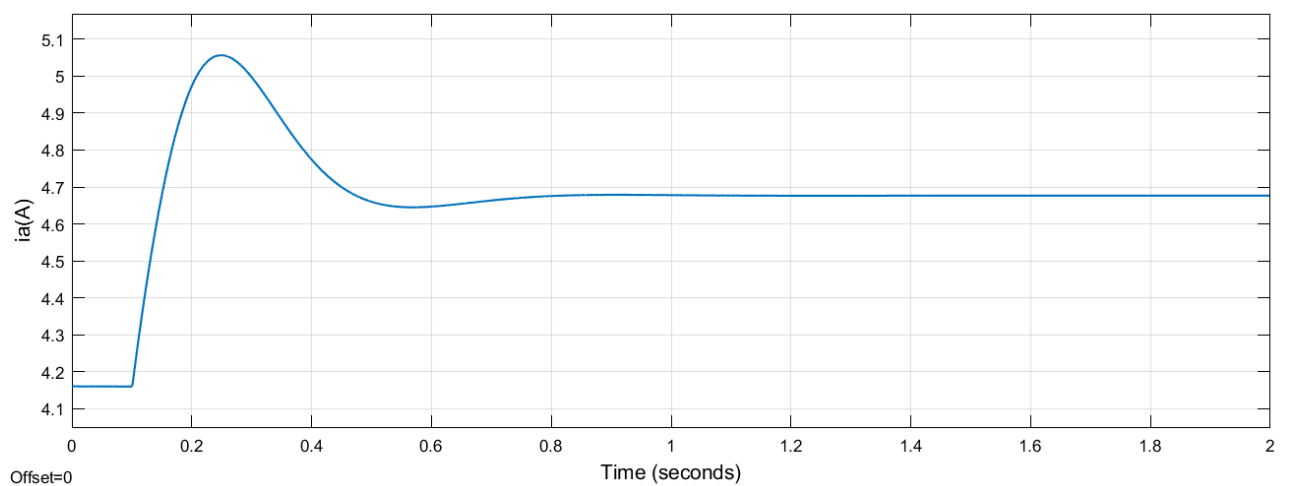
Εικόνα 2.110 Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.



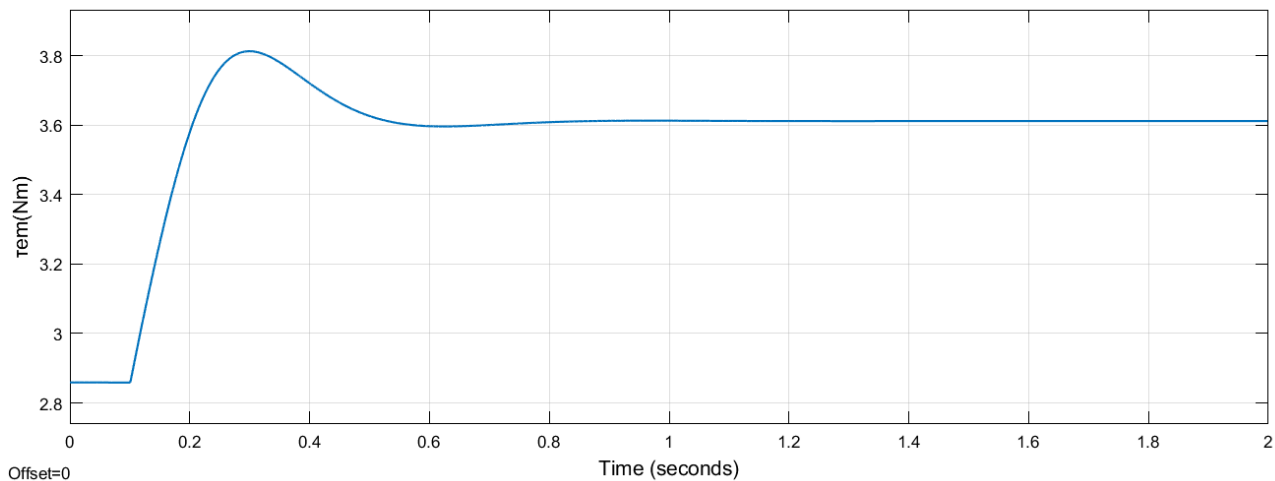
Εικόνα 2.111 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.



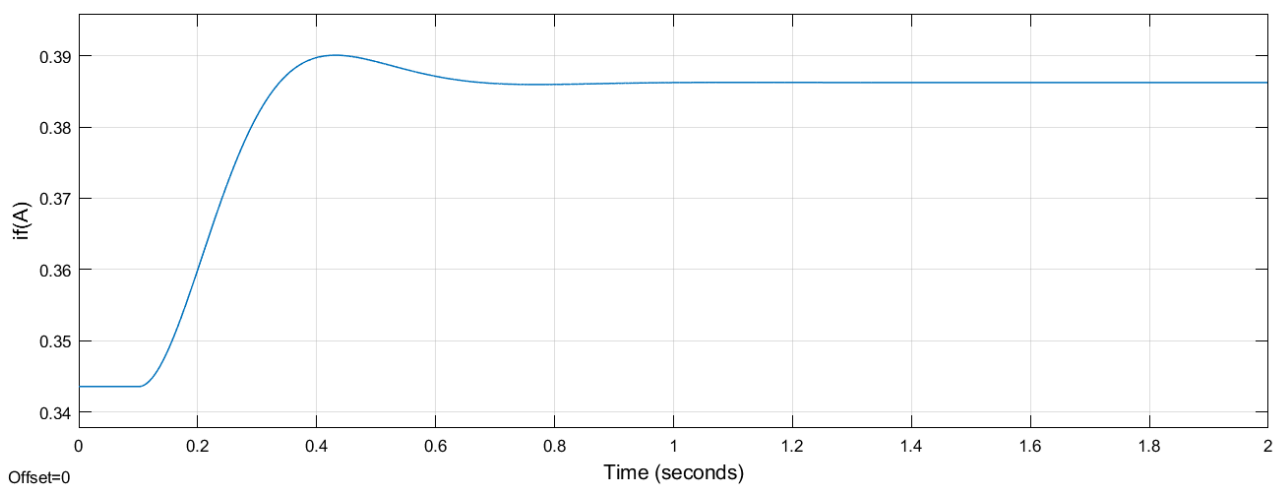
Εικόνα 2.112 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.



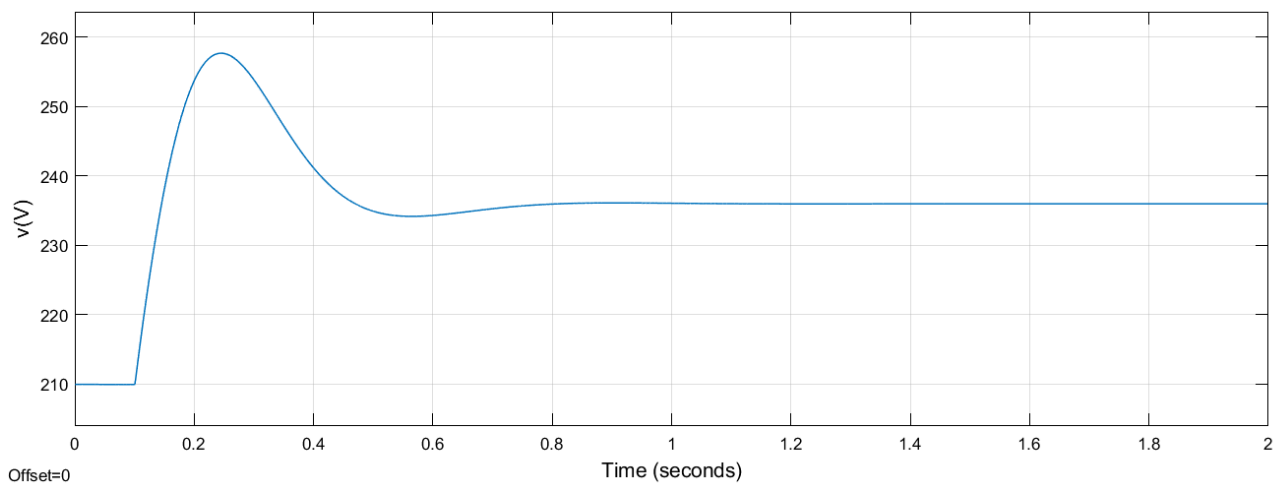
Εικόνα 2.113 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.114 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.

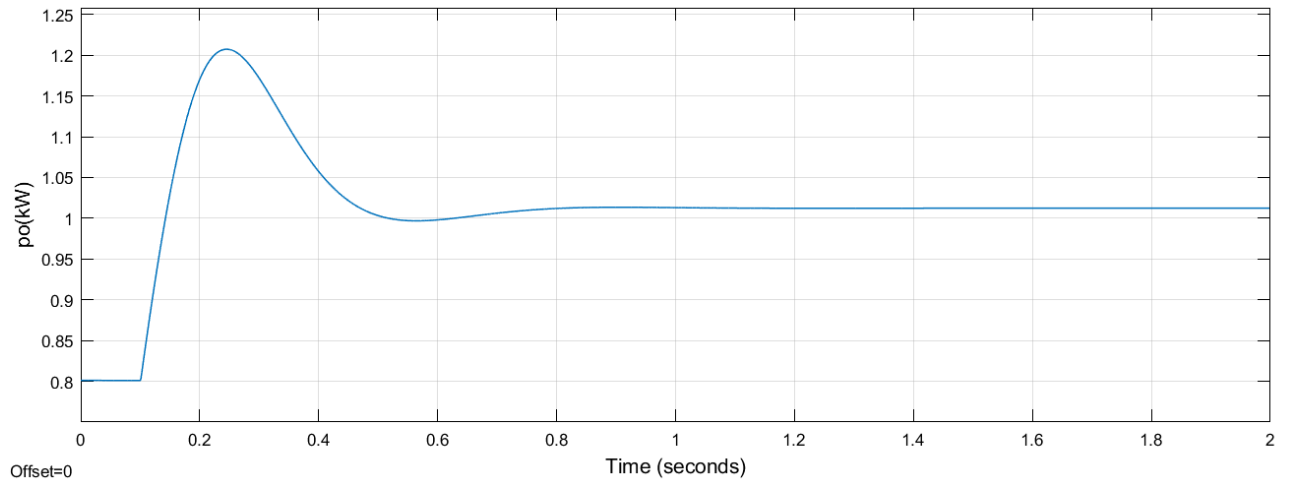


Εικόνα 2.115 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.116 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια



Εικόνα 2.117 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.

Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής

Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_L	55Ω	55Ω	-
τ_m	3,015N · m	3,76875N · m	↑
n	3.016rpm	3.016rpm	-
p_{in}	0,9524kW	1,190kW	↑
e_a	217,1V	244,0V	↑
i_a	4,160A	4,676A	↑
τ_{em}	2,859N · m	3,612N · m	↑
i_f	0,3436A	0,3862A	↑
v_L	209,9V	236,0V	↑
p_{out}	0,8011kW	1,012kW	↑
η	-	85,04%	-

Πίνακας 2.18 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +25% της μηχανικής ροπής.

2.3.29 Επαλήθευση τιμών 10^ο λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 3,76875\text{N} \cdot \text{m} \cdot 3.016 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 1,190\text{kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{236,0\text{V}}{610,94\Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,3863\text{A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f)R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{236,0\text{V} + 0,3863\text{A} \cdot 55\Omega}{55\Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 4,677\text{A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 236,0\text{V} + 4,677\text{A} \cdot 1,72\Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 244,0\text{V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 4,677\text{A} \cdot 0,3863\text{A} \cdot 2,00\text{H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 3,163\text{N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 236,0\text{V} \cdot (4,677\text{A} - 0,3863\text{A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 1,013\text{kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{1,013\text{kW}}{1,190\text{kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 85,13\%}$$

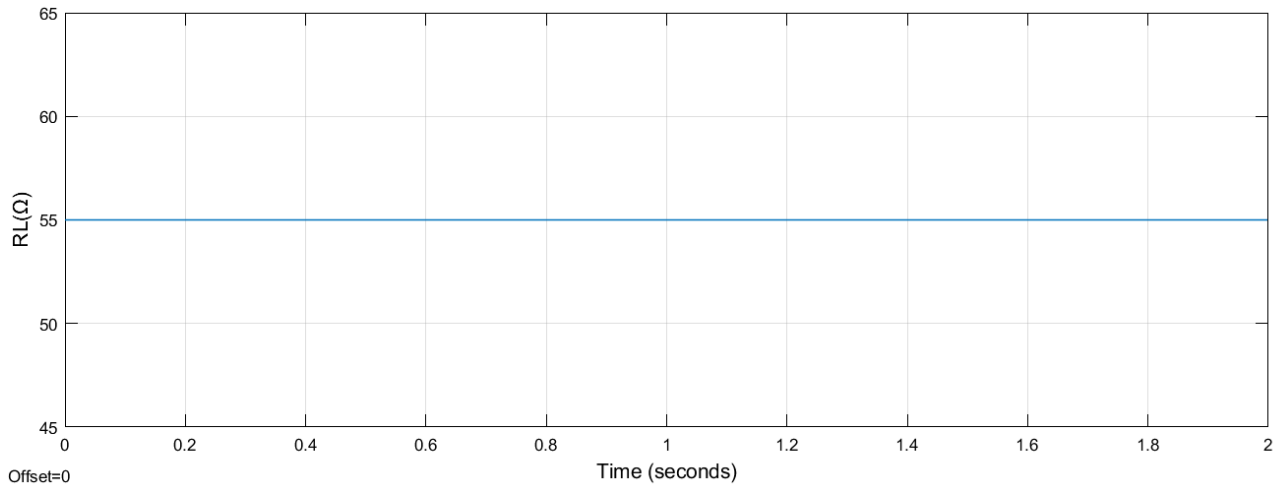
Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

2.3.30 Σχολιασμός 10^{ου} λειτουργικού σεναρίου

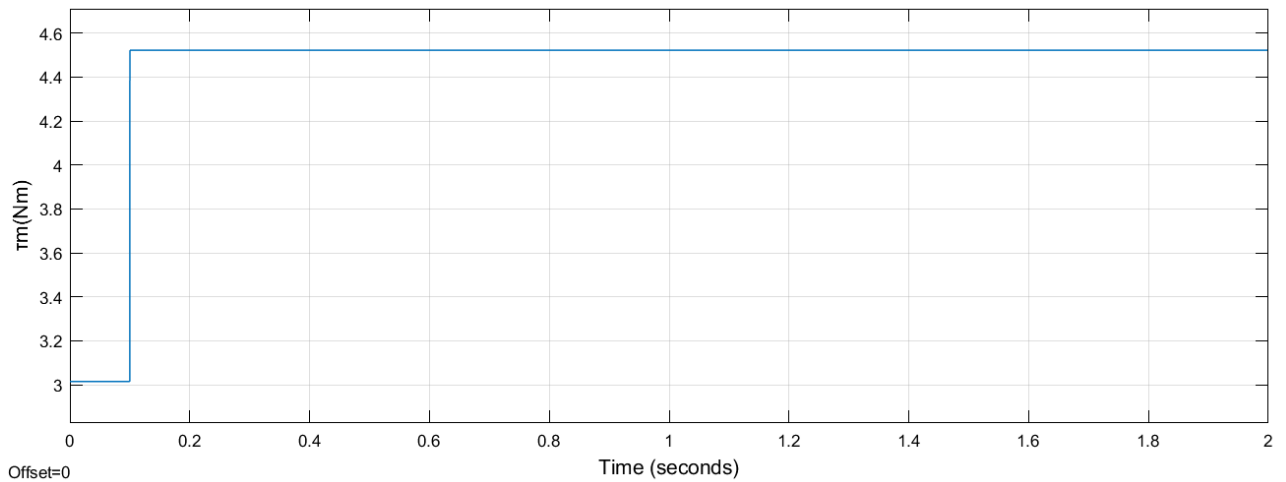
Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι ισχύουν όσα σχολιάσαμε για το 9^ο λειτουργικό σενάριο.

2.3.31 Λειτουργικό σενάριο 11^ο: Βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής

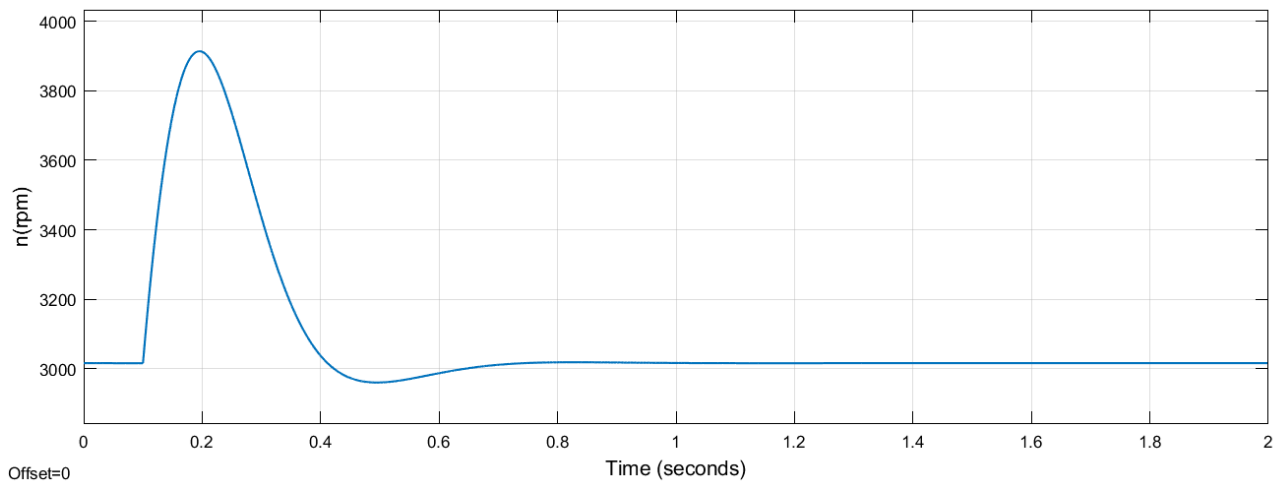
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική αύξηση +50% της τ_m . Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



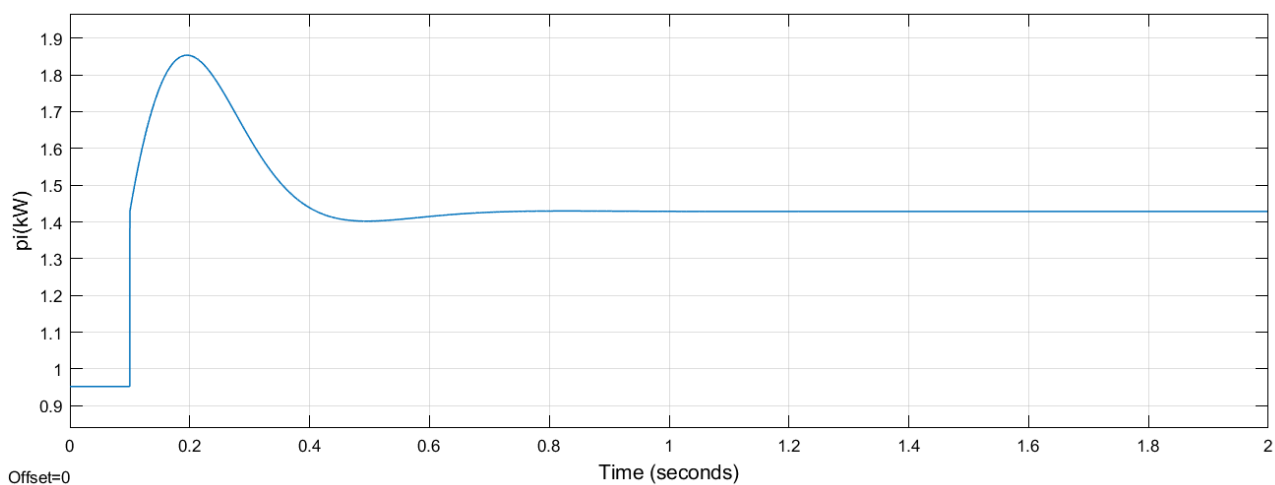
Εικόνα 2.118 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55 Ω .



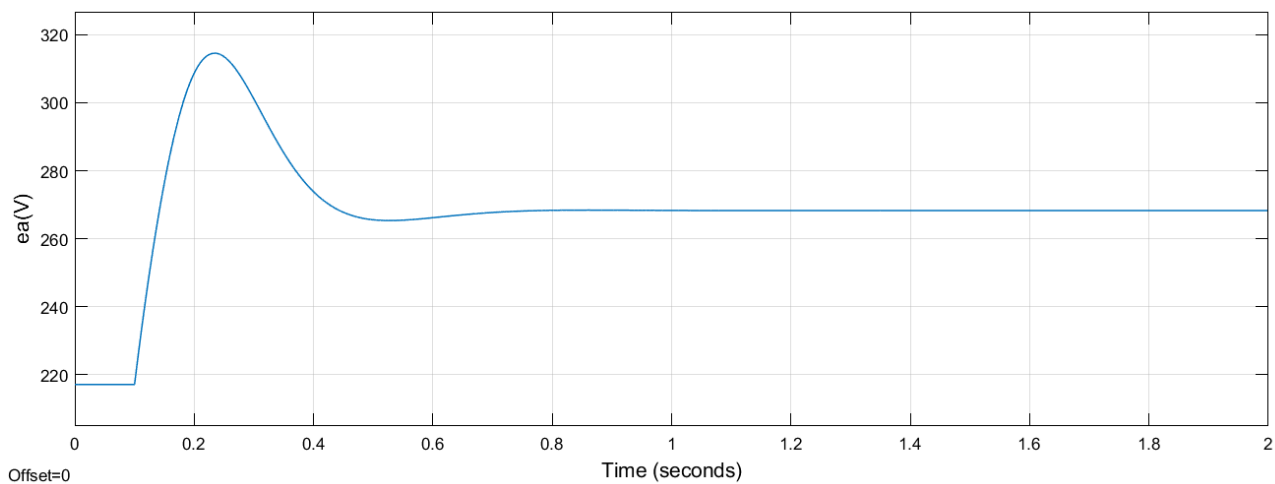
Εικόνα 2.119 Βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.



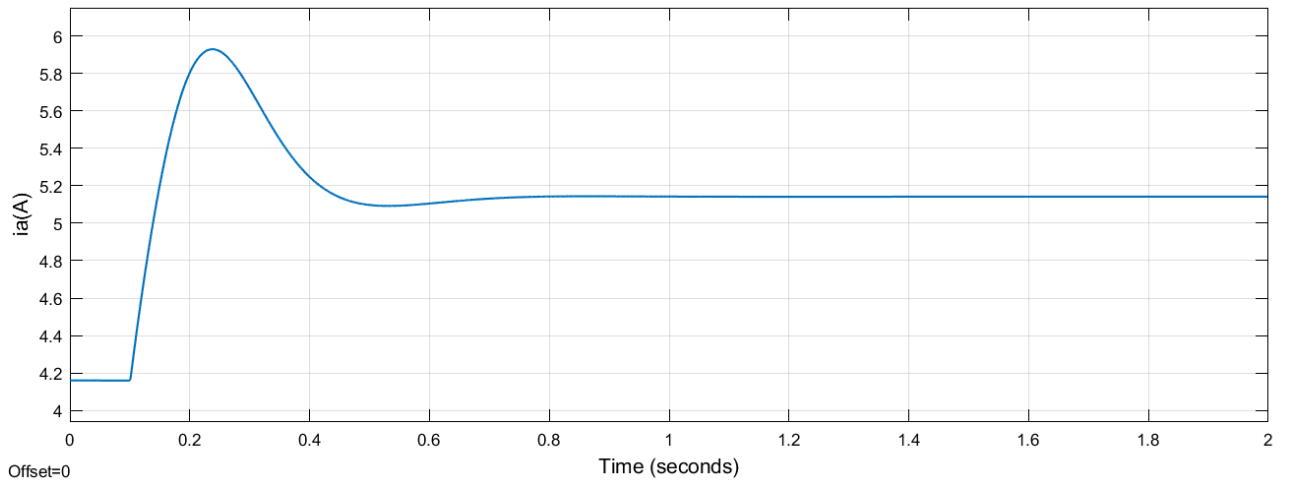
Εικόνα 2.120 Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.



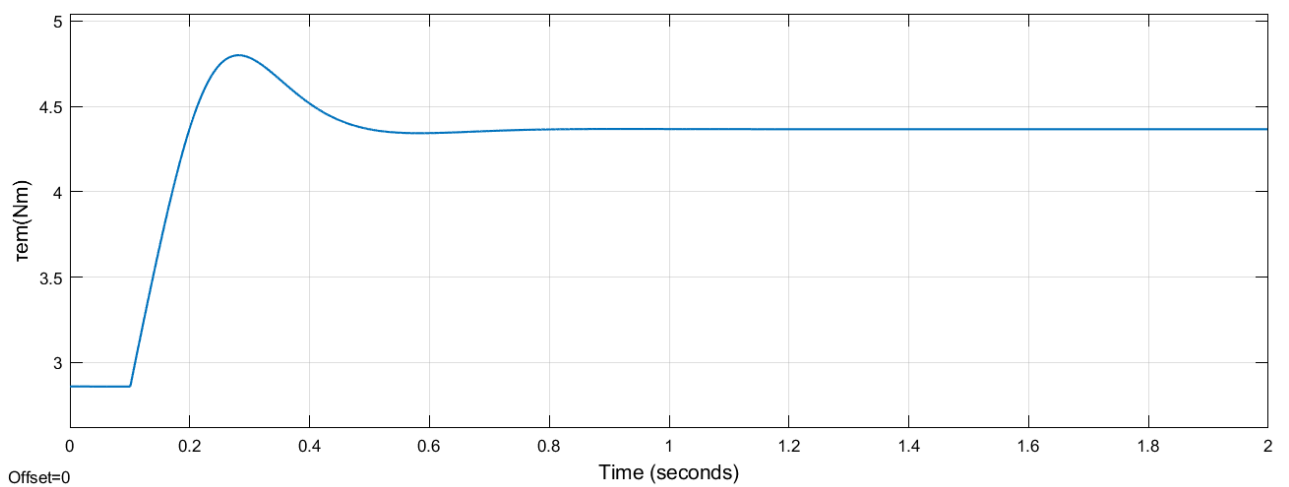
Εικόνα 2.121 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.



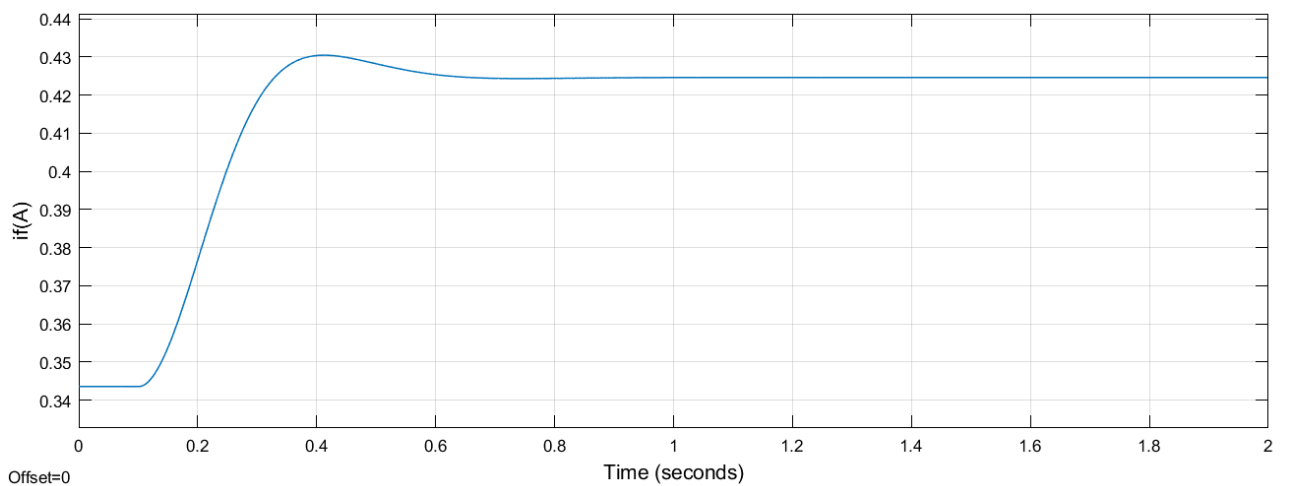
Εικόνα 2.122 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.



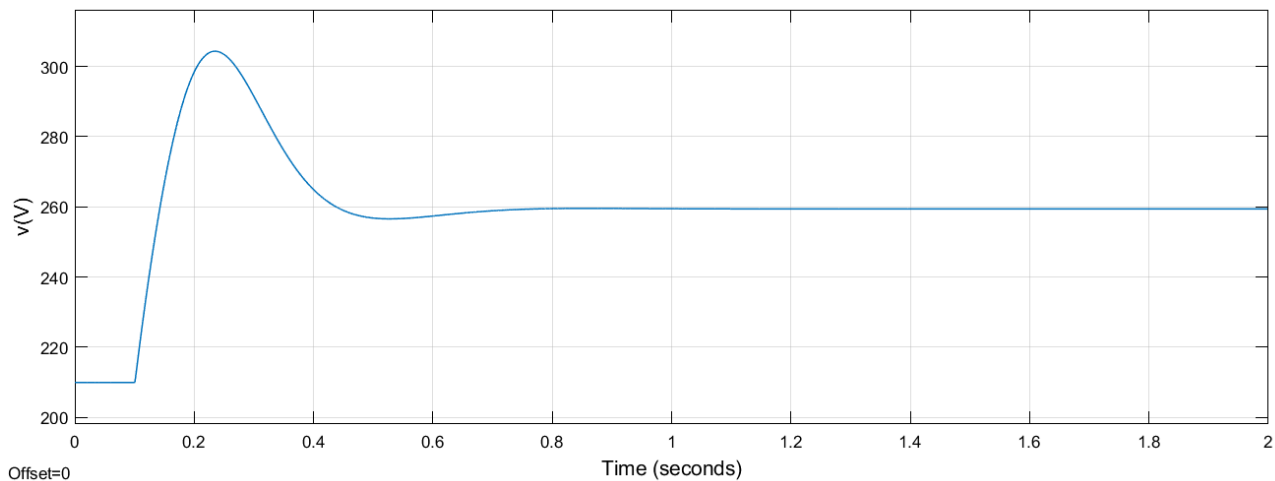
Εικόνα 2.123 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.



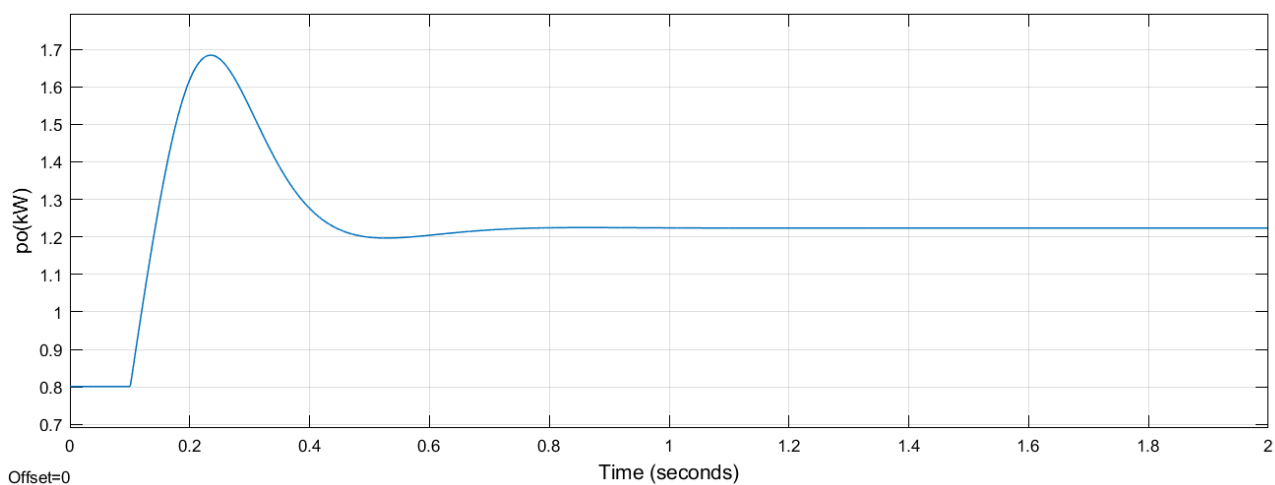
Εικόνα 2.124 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.125 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.126 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.



Εικόνα 2.127 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.

Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής

Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_L	55Ω	55Ω	-
τ_m	3,015N · m	4,5225N · m	↑
n	3.016rpm	3.016rpm	-
p_{in}	0,9524kW	1,429kW	↑
e_a	217,1V	268,3V	↑
i_a	4,160A	5,141A	↑
τ_{em}	2,859N · m	4,366N · m	↑
i_f	0,3436A	0,4246A	↑
v_L	209,9V	259,4V	↑
p_{out}	0,8011kW	1,224kW	↑
η	-	85,65%	-

Πίνακας 2.19 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +50% της μηχανικής ροπής.

2.3.32 Επαλήθευση τιμών 11^ο λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 4,5225\text{N} \cdot \text{m} \cdot 3.016 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 1,428\text{kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{259,4\text{V}}{610,94\Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,4246\text{A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f)R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{259,4\text{V} + 0,4246\text{A} \cdot 55\Omega}{55\Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 5,141\text{A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 259,4\text{V} + 5,141\text{A} \cdot 1,72\Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 268,2\text{V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 5,141\text{A} \cdot 0,4246\text{A} \cdot 2,00\text{H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 4,366\text{N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 259,4\text{V} \cdot (5,141\text{A} - 0,4246\text{A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 1,223\text{kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{1,223\text{kW}}{1,428\text{kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 85,64\%}$$

Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

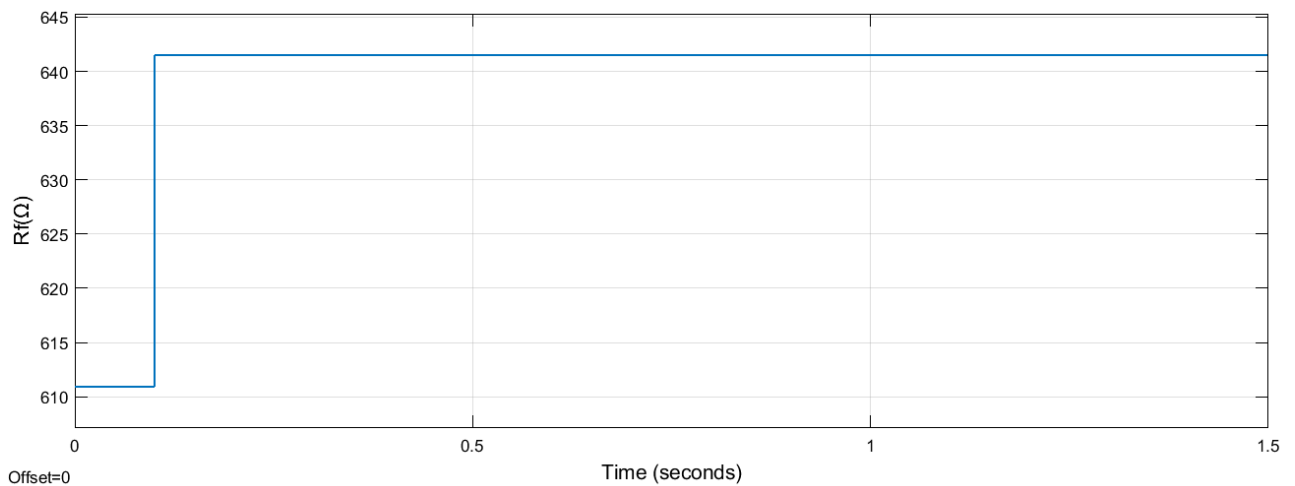
2.3.33 Σχολιασμός 11^ο λειτουργικού σεναρίου

Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι ισχύουν όσα σχολίασαμε για το 9^ο λειτουργικό σενάριο.

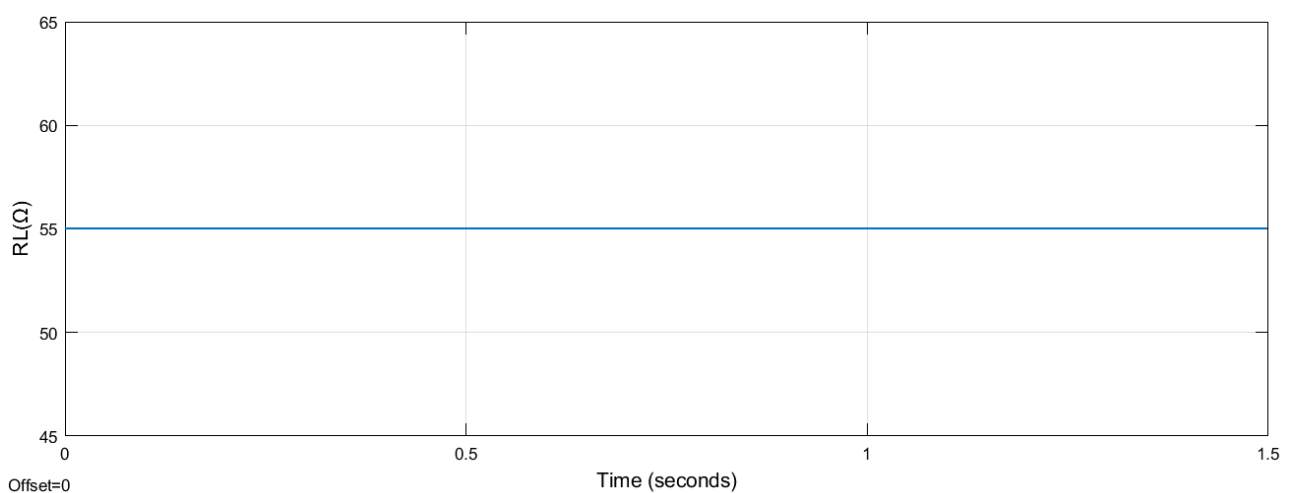
2.3.34 Λειτουργικό σενάριο 12^ο: Βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης

Στις ακόλουθες πέντε ενότητες θα διερευνήσουμε τη συμπεριφορά της γεννήτριας για διάφορες τιμές βηματικής μεταβολής της ωμικής αντίστασης διέγερσης. Αρχικά, η γεννήτρια λειτουργεί στη μόνιμη κατάσταση σε ονομαστικές συνθήκες. Η μηχανική ροπή, καθώς και η ωμική αντίσταση φορτίου είναι σταθερές και ίσες με $3,015\text{N}\cdot\text{m}$ και 55Ω , αντίστοιχα. Η βηματική μεταβολή εφαρμόζεται την χρονική στιγμή $t = 0,1\text{s}$.

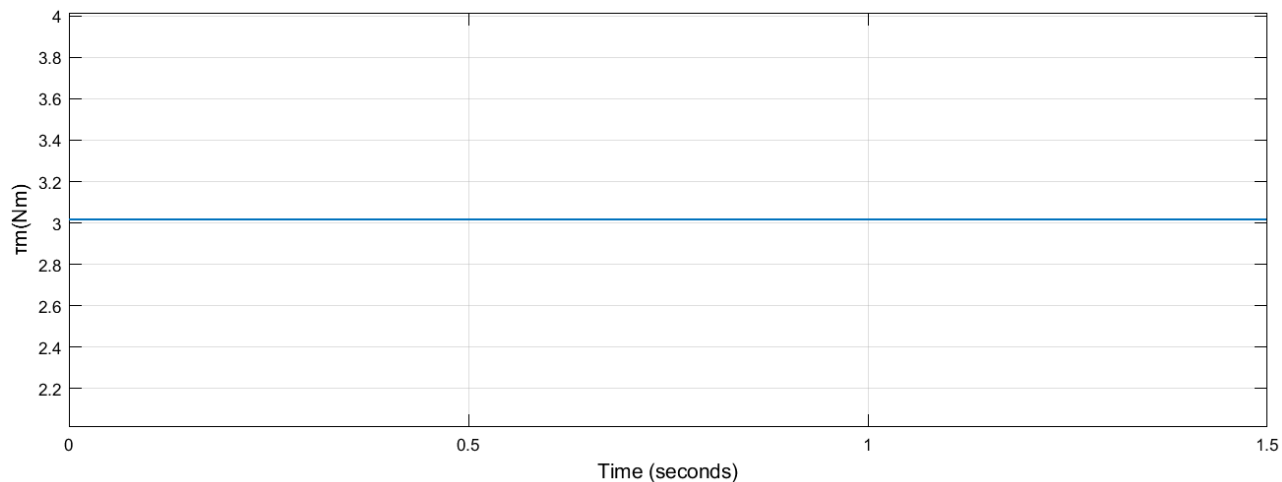
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική αύξηση +5% της R_f . Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_f(t)$, $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



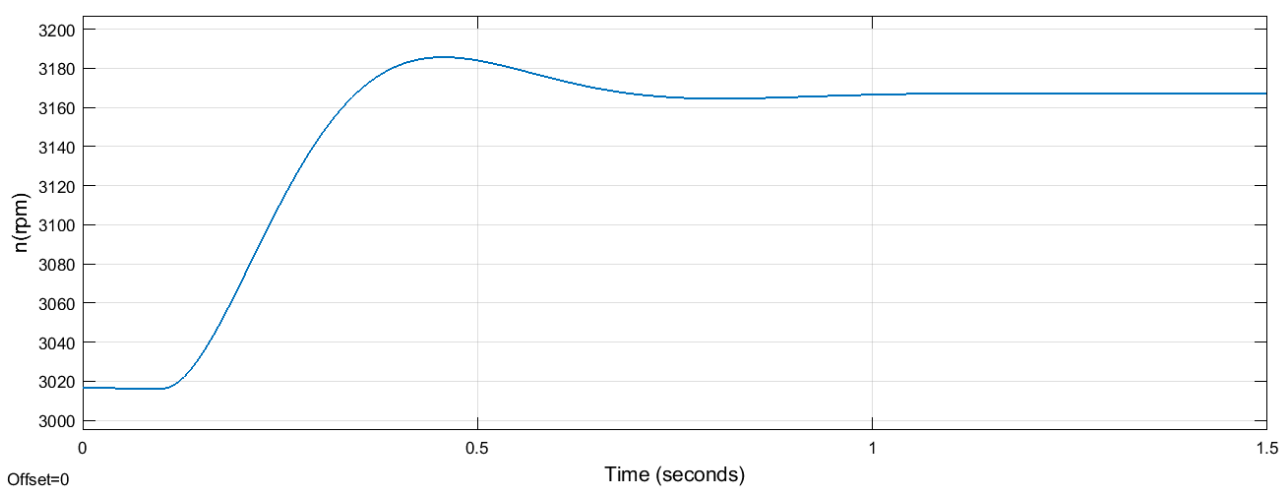
Εικόνα 2.128 Βηματική μεταβολή +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



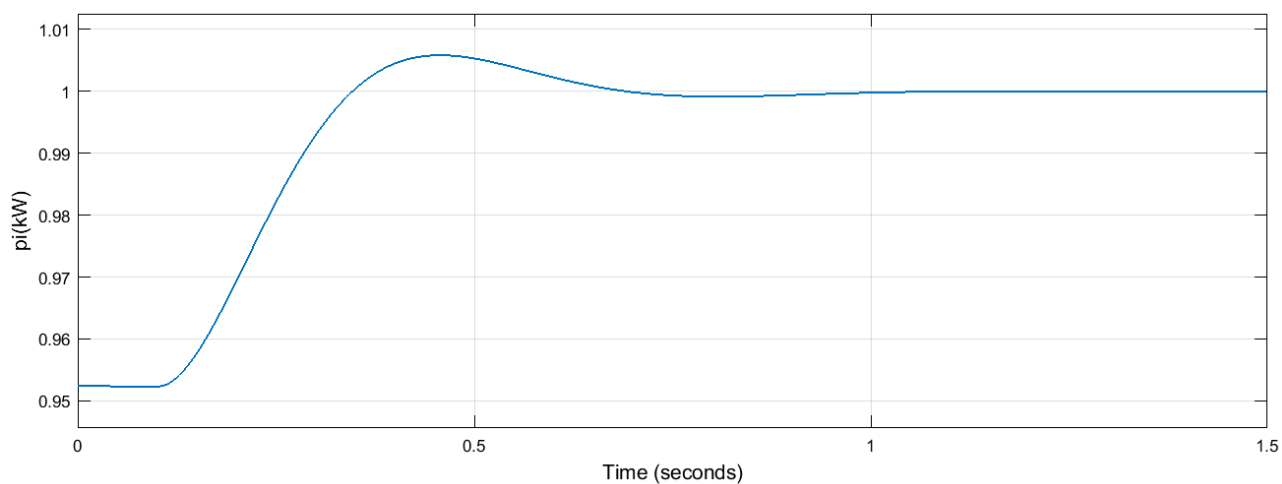
Εικόνα 2.129 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω .



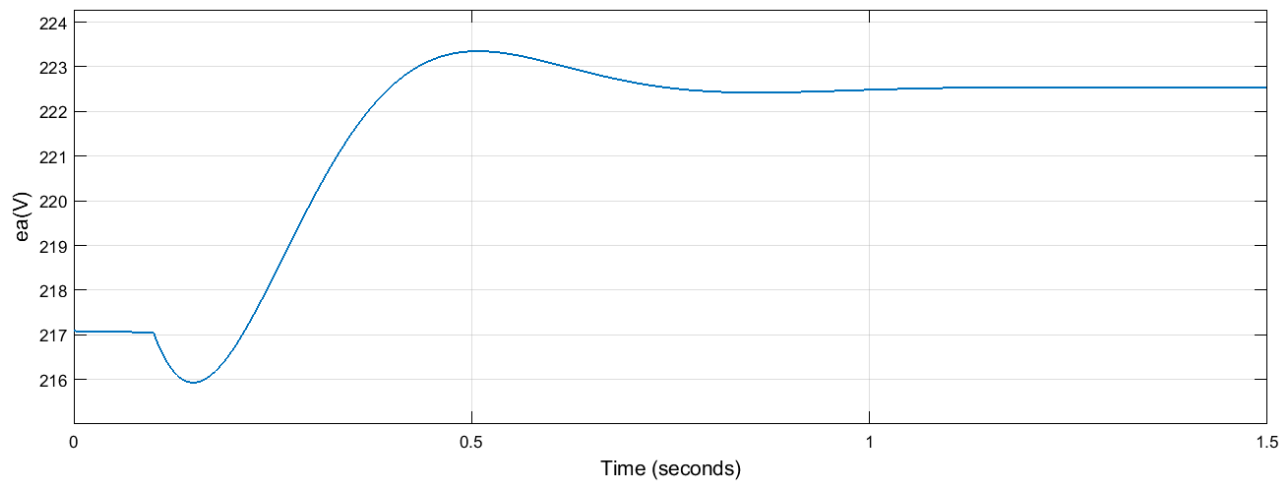
Εικόνα 2.130 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.



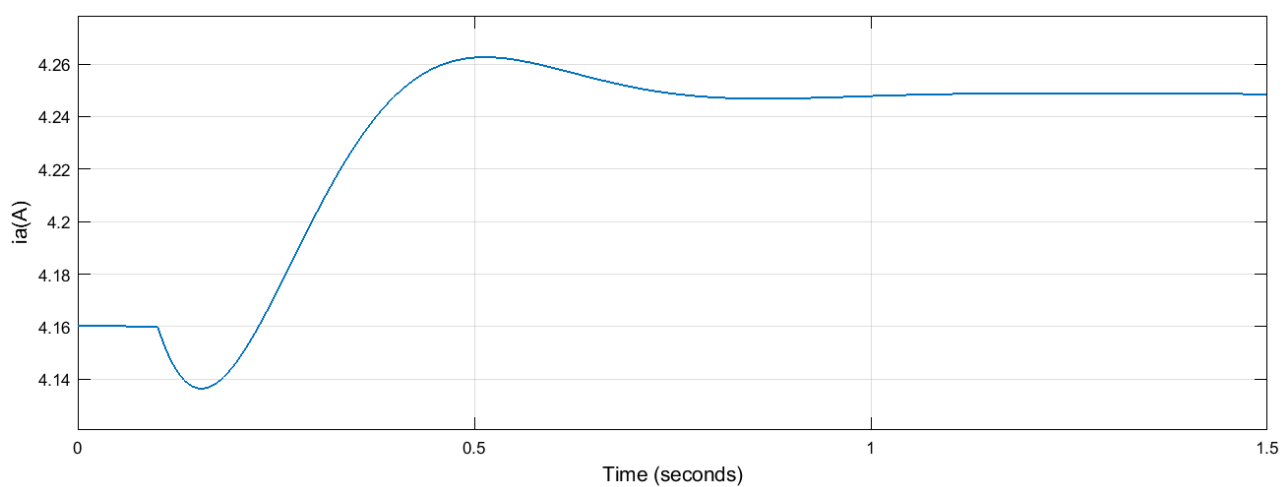
Εικόνα 2.131 Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



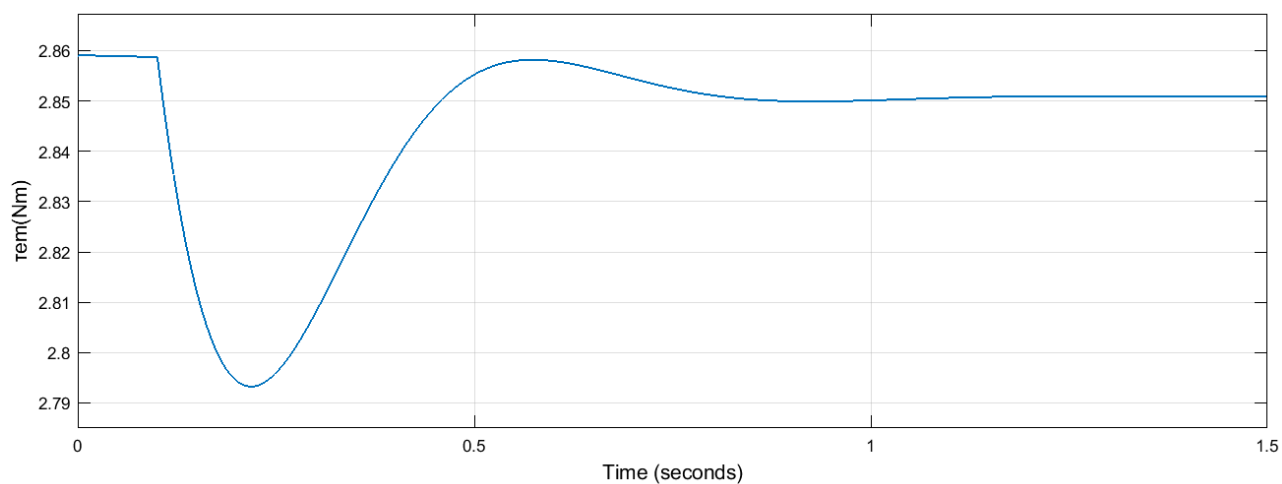
Εικόνα 2.132 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



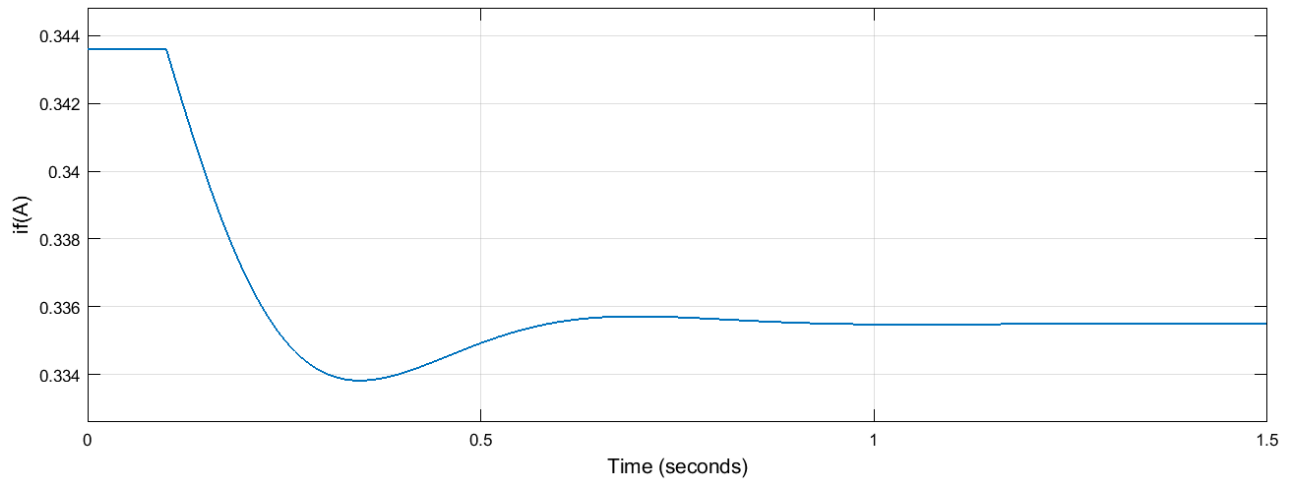
Εικόνα 2.133 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



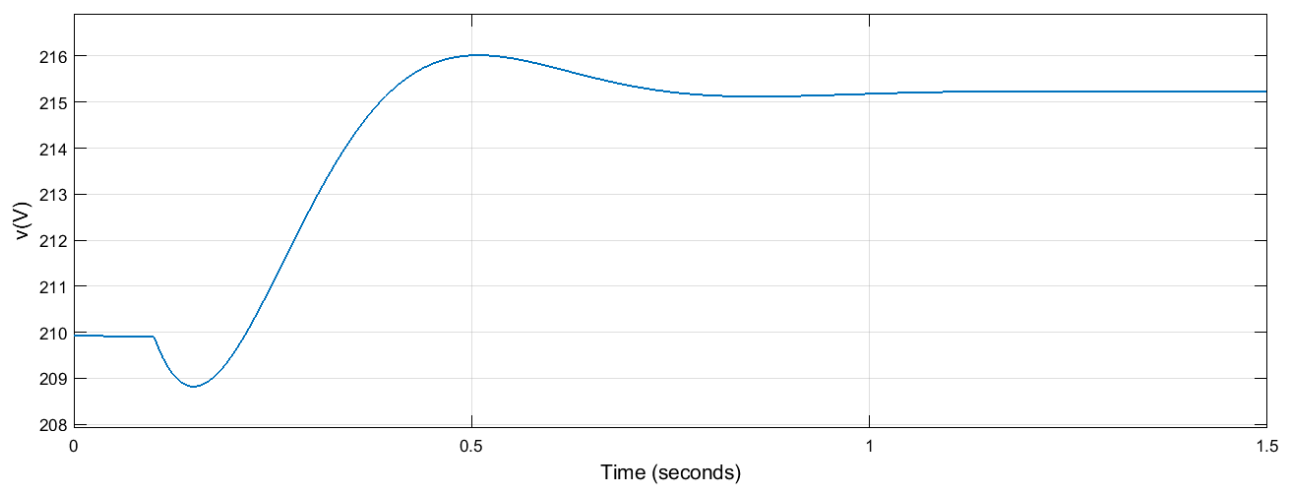
Εικόνα 2.134 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



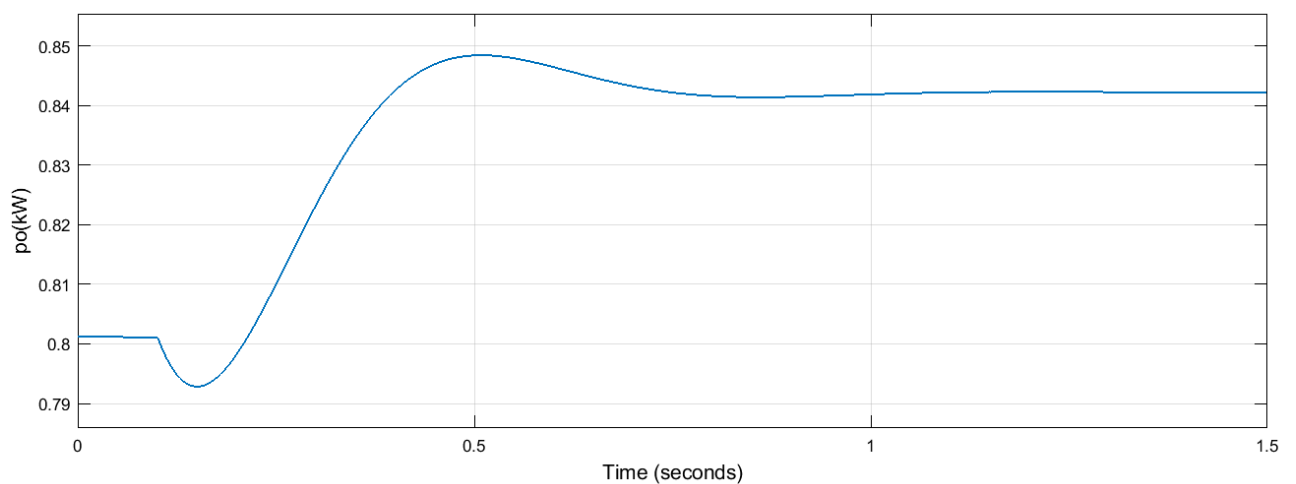
Εικόνα 2.135 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



Εικόνα 2.136 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



Εικόνα 2.137 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



Εικόνα 2.138 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης

Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_f	610,94Ω	641,487Ω	↑
R_L	55Ω	55Ω	-
τ_m	3,015N · m	3,015N · m	-
n	3.016rpm	3.167rpm	↑
p_{in}	0,9524kW	0,9999kW	↑
e_a	217,1V	222,5V	↑
i_a	4,160A	4,249A	↑
τ_{em}	2,859N · m	2,851N · m	↓
i_f	0,3436A	0,3355A	↓
v_L	209,9V	215,2V	↑
p_{out}	0,8011kW	0,8422kW	↑
η	-	84,23%	-

Πίνακας 2.20 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +5% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

2.3.35 Επαλήθευση τιμών 12^ο λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 3,015 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot 3.167 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 0,9999 \text{ kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{215,2 \text{ V}}{641,487 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,3355 \text{ A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f) R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{215,2 \text{ V} + 0,3355 \text{ A} \cdot 55 \Omega}{55 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 4,248 \text{ A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 215,2 \text{ V} + 4,248 \text{ A} \cdot 1,72 \Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 222,5 \text{ V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 4,248 \text{ A} \cdot 0,3355 \text{ A} \cdot 2,00 \text{ H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 2,850 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 215,2 \text{ V} \cdot (4,248 \text{ A} - 0,3355 \text{ A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 0,8420 \text{ kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{0,8420 \text{ kW}}{0,9999 \text{ kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 84,21\%}$$

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

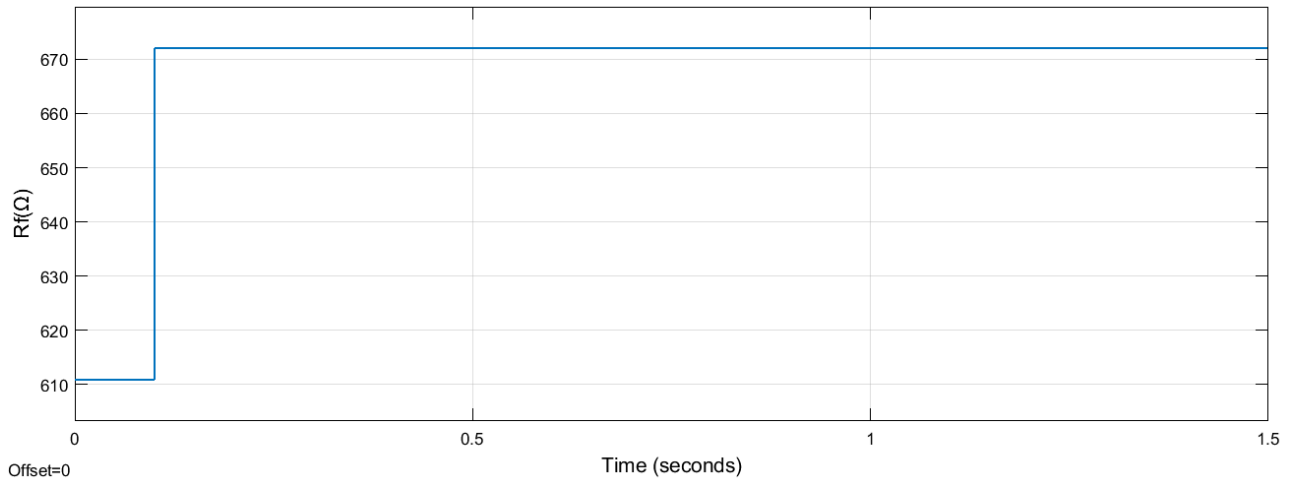
2.3.36 Σχολιασμός 12^ο λειτουργικού σεναρίου

Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι:

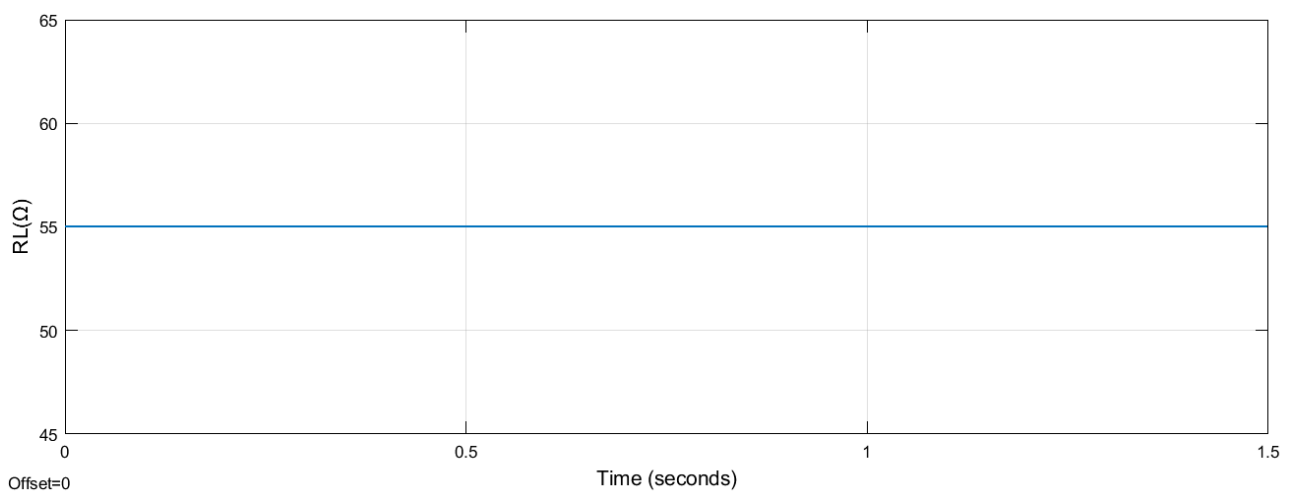
- Οι **στροφές** αυξήθηκαν μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, οι στροφές είναι ανάλογες της τάσης του φορτίου και του ρεύματος τυμπάνου και αντιστρόφως ανάλογες του ρεύματος διέγερσης. Οι δύο πρώτες μεταβλητές αυξάνονται και η τρίτη μειώνεται, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκαν και οι στροφές.
- Η **ισχύς εισόδου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ισχύς εισόδου είναι ανάλογη της μηχανικής ροπής και των στροφών. Η πρώτη παρέμεινε σταθερή, ενώ οι δεύτερες αυξήθηκαν, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκε και η ισχύς εισόδου.
- Η **εξ επαγωγής τάση τυμπάνου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η εξ επαγωγής τάση τυμπάνου είναι ανάλογη του ρεύματος διέγερσης και των στροφών. Το πρώτο μειώθηκε, ενώ οι δεύτερες αυξήθηκαν. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή των δευτέρων και η εξ επαγωγής τάση τυμπάνου, τελικά, αυξήθηκε.
- Το **ρεύμα τυμπάνου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, το ρεύμα τυμπάνου είναι ανάλογο της ηλεκτρομαγνητικής ροπής και αντιστρόφως ανάλογο του ρεύματος διέγερσης. Και οι δύο μεταβλητές αυξήθηκαν. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της πρώτης και το ρεύμα τυμπάνου, τελικά, αυξήθηκε.
- Η **ηλεκτρομαγνητική ροπή** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ηλεκτρομαγνητική ροπή είναι ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου και του ρεύματος διέγερσης. Το πρώτο αυξήθηκε, ενώ το δεύτερο μειώθηκε. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή του πρώτου και η ηλεκτρομαγνητική ροπή, τελικά, αυξήθηκε.
- Το **ρεύμα διέγερσης** μειώθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, το ρεύμα διέγερσης είναι ανάλογο της τάσης φορτίου και αντιστρόφως ανάλογη της ωμικής αντίστασης διέγερσης. Και οι δύο αυξήθηκαν. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της δεύτερης και το ρεύμα διέγερσης, τελικά, μειώθηκε.
- Η **τάση φορτίου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η τάση φορτίου είναι ανάλογη της εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου και αντιστρόφως ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου. Και οι δύο μεταβλητές αυξήθηκαν. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της πρώτης και η τάση φορτίου, τελικά, αυξήθηκε.
- Η **ισχύς εξόδου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ισχύς εξόδου είναι ανάλογη της τάσης φορτίου και του ρεύματος φορτίου. Και οι δύο μεταβλητές αυξήθηκαν, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκε και η ισχύς εξόδου.

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
2.3.37 Λειτουργικό σενάριο 13^ο: Βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης

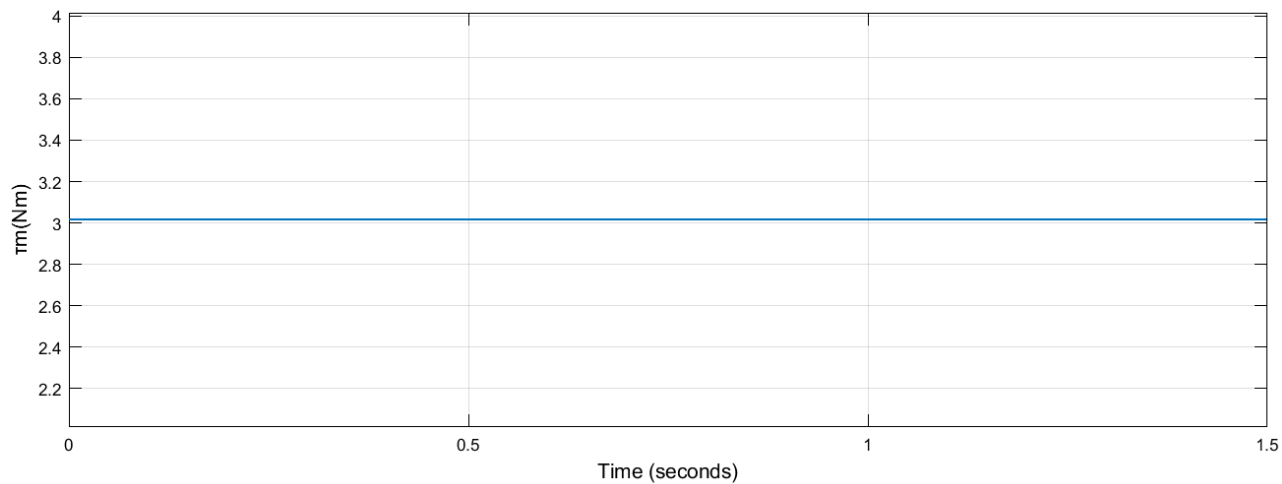
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική αύξηση +10% της R_f . Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_f(t)$, $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



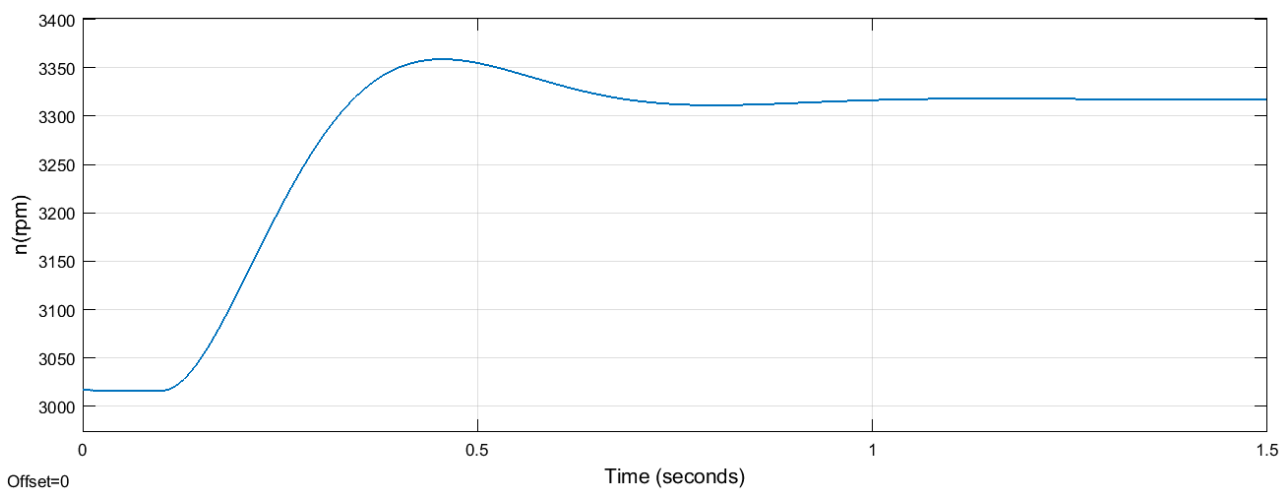
Εικόνα 2.139 Βηματική μεταβολή +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



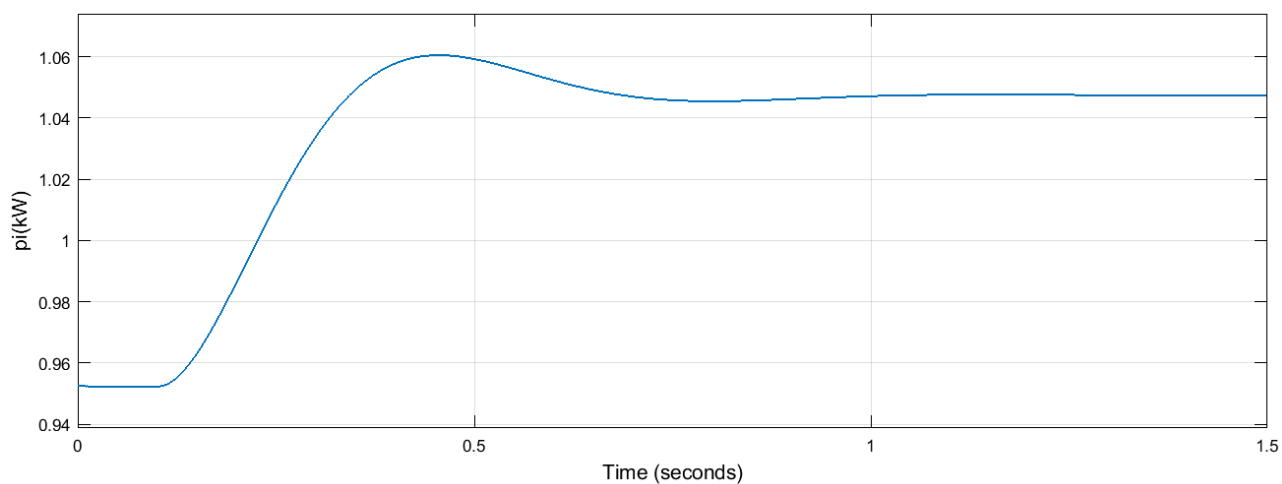
Εικόνα 2.140 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55 Ω .



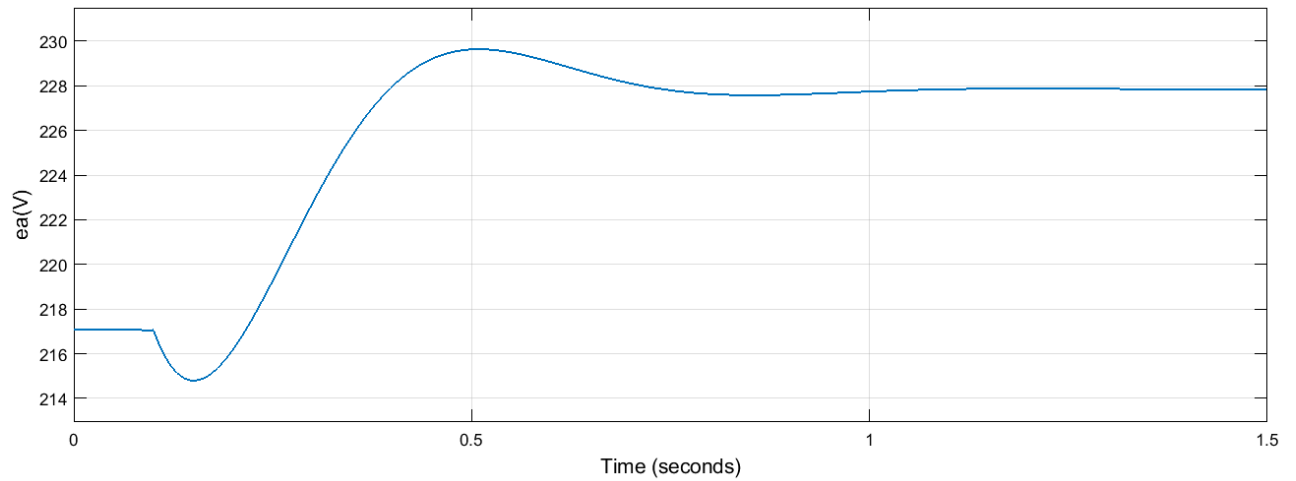
Εικόνα 2.141 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.



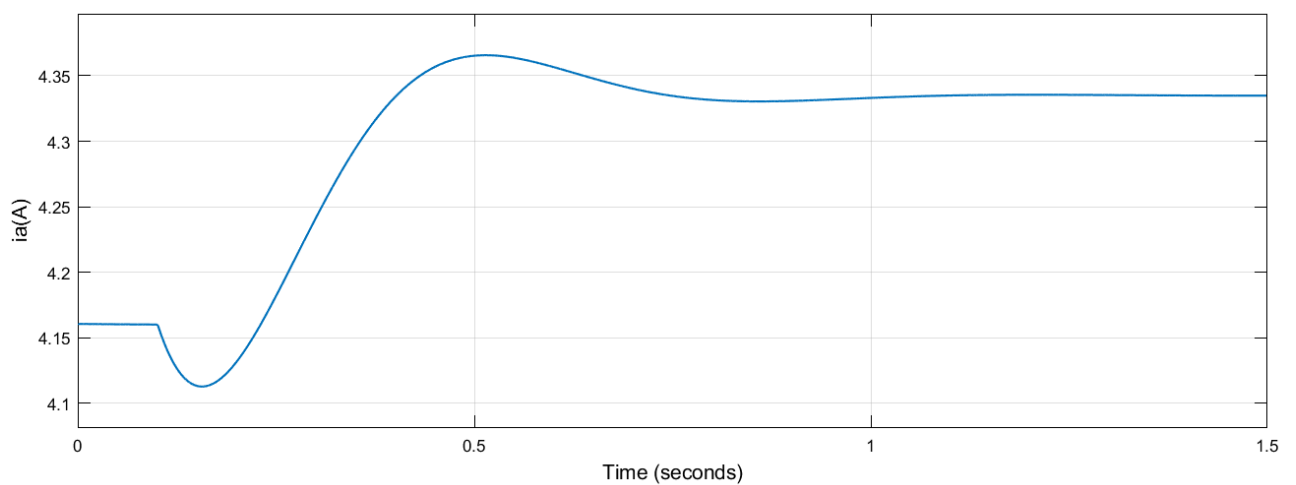
Εικόνα 2.142 Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



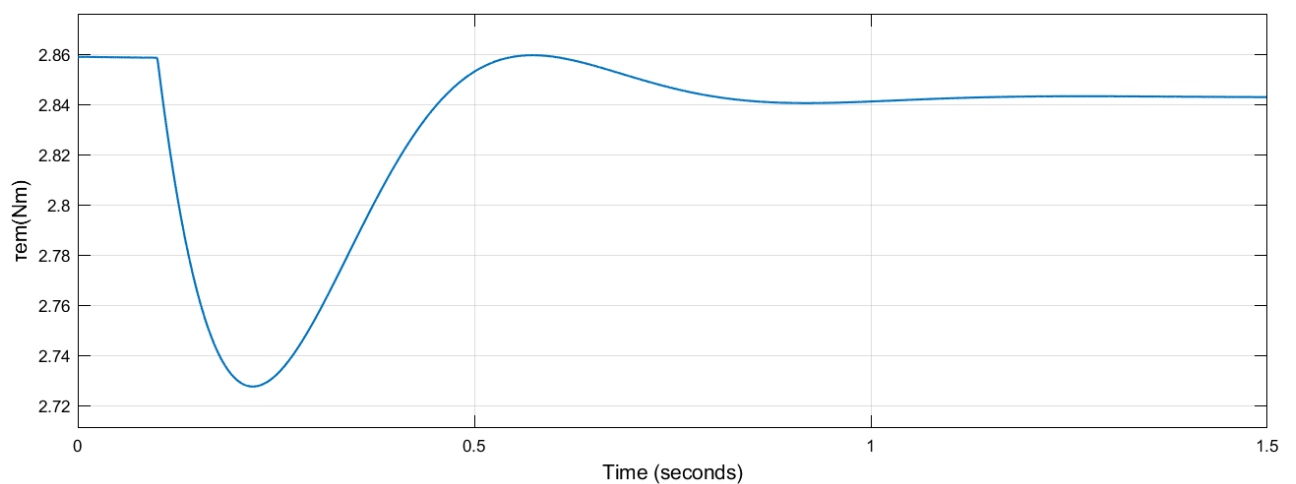
Εικόνα 2.143 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



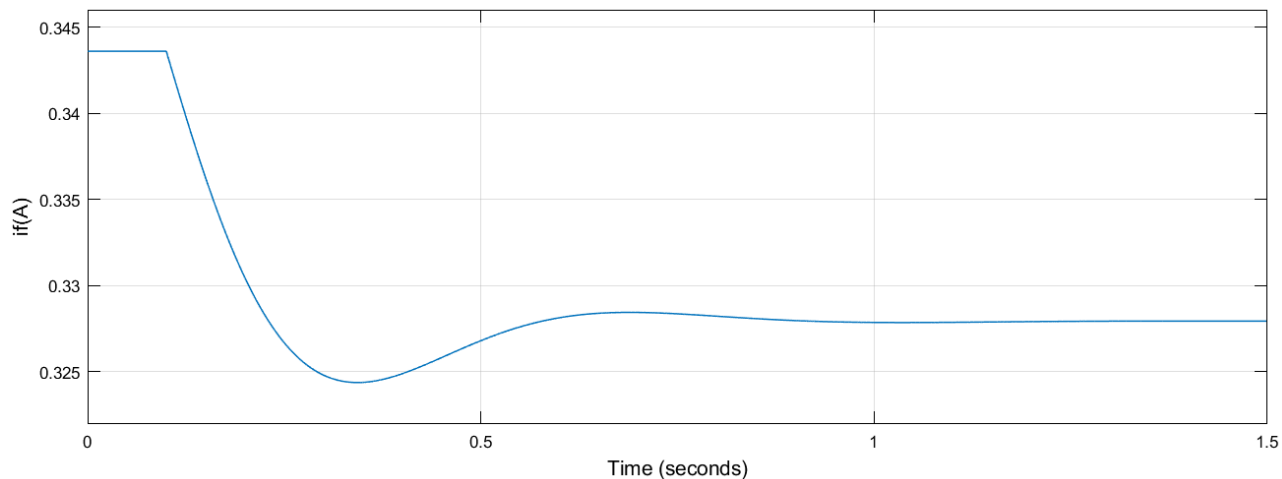
Εικόνα 2.144 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



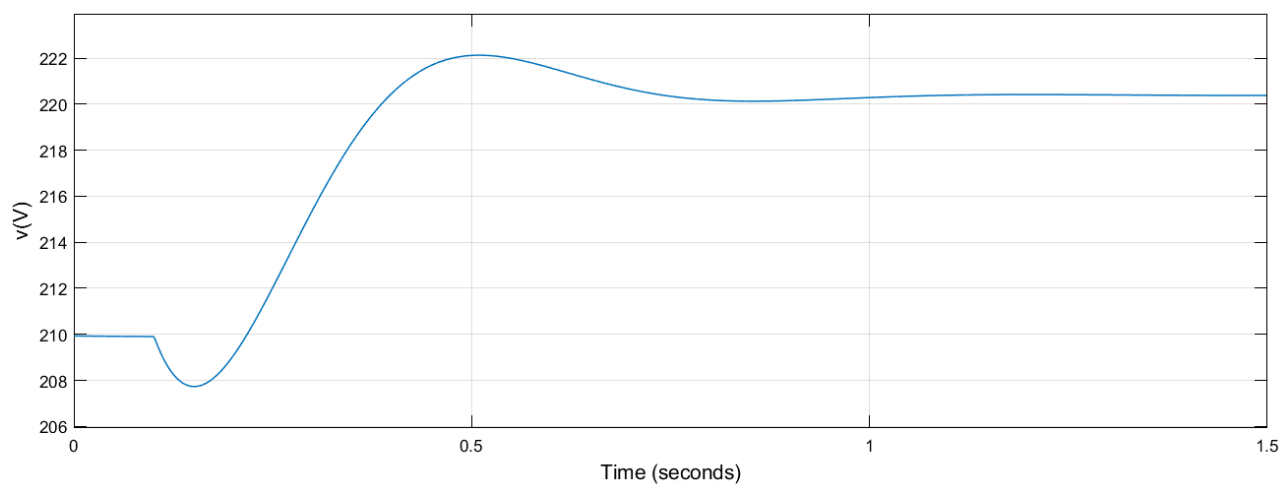
Εικόνα 2.145 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



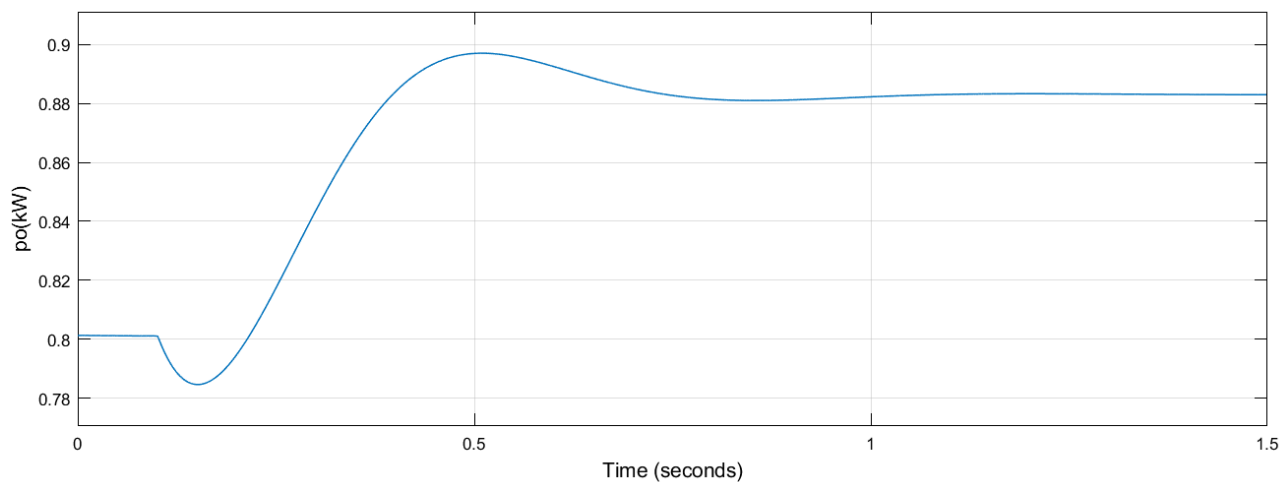
Εικόνα 2.146 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



Εικόνα 2.147 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



Εικόνα 2.148 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



Εικόνα 2.149 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης

Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_f	610,94Ω	672,034Ω	↑
R_L	55Ω	55Ω	-
τ_m	3,015N · m	3,015N · m	-
n	3.016rpm	3.317rpm	↑
p_{in}	0,9524kW	1,047kW	↑
e_a	217,1V	227,8V	↑
i_a	4,160A	4,335A	↑
τ_{em}	2,859N · m	2,843N · m	↓
i_f	0,3436A	0,3279A	↓
v_L	209,9V	220,4V	↑
p_{out}	0,8011kW	0,8830kW	↑
η	-	84,31%	-

Πίνακας 2.21 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +10% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

2.3.38 Επαλήθευση τιμών 13^ο λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 3,015 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot 3.317 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 1,047 \text{ kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{220,4 \text{ V}}{672,034 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,3280 \text{ A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f) R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{220,4 \text{ V} + 0,3280 \text{ A} \cdot 55 \Omega}{55 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 4,335 \text{ A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 220,4 \text{ V} + 4,335 \text{ A} \cdot 1,72 \Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 227,9 \text{ V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 4,335 \text{ A} \cdot 0,3280 \text{ A} \cdot 2,00 \text{ H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 2,844 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 220,4 \text{ V} \cdot (4,335 \text{ A} - 0,3280 \text{ A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 0,8831 \text{ kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{0,8831 \text{ kW}}{1,047 \text{ kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 84,35\%}$$

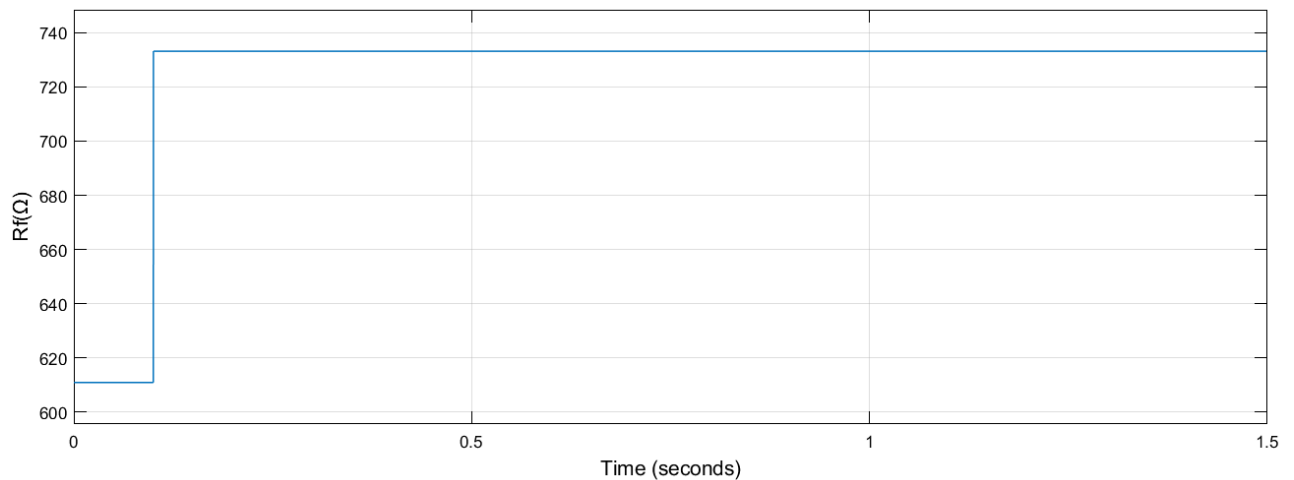
Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

2.3.39 Σχολιασμός 13^{ου} λειτουργικού σεναρίου

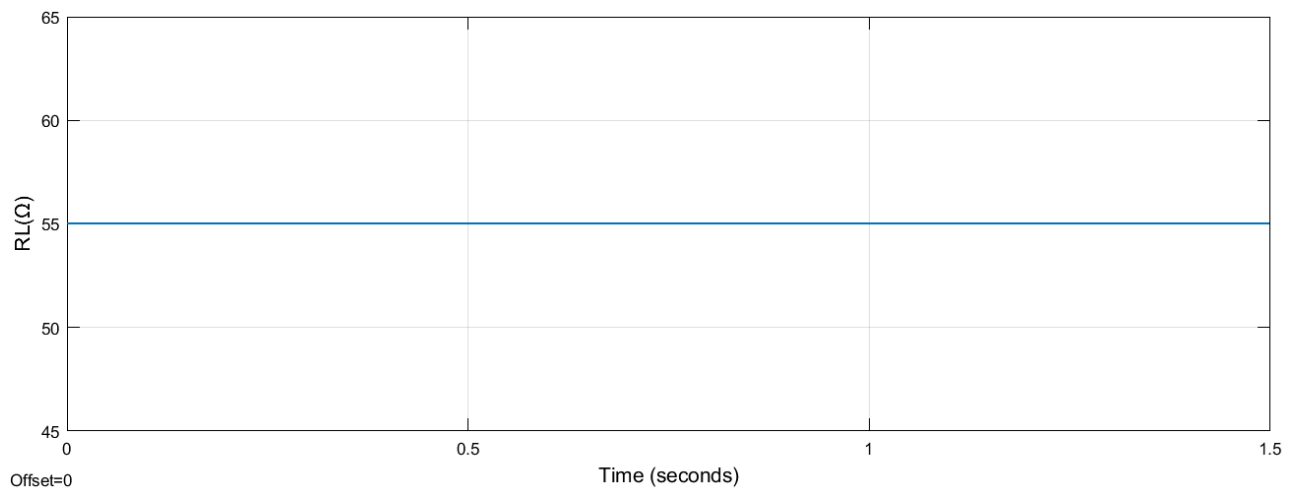
Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι ισχύουν όσα σχολιάσαμε για το 12^ο λειτουργικό σενάριο.

2.3.40 Λειτουργικό σενάριο 14^ο: Βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης

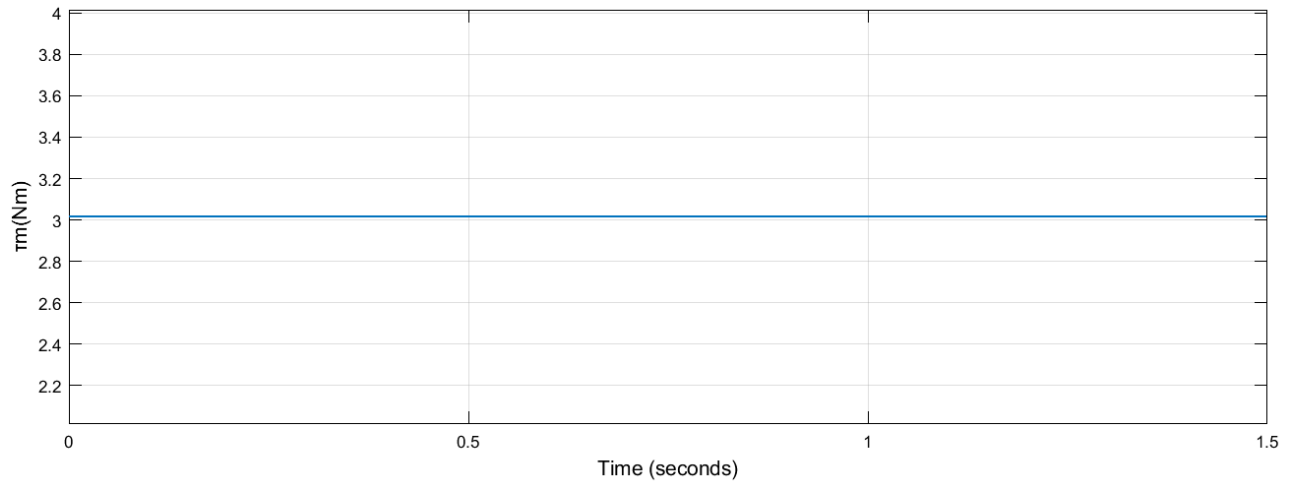
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική αύξηση +20% της R_f . Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_f(t)$, $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



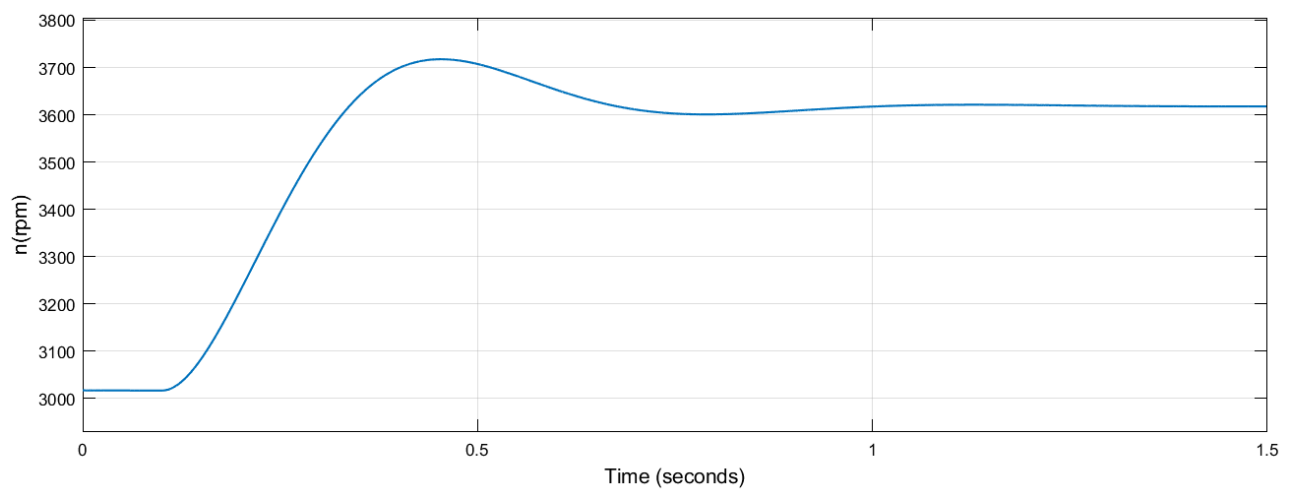
Εικόνα 2.150 Βηματική μεταβολή +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



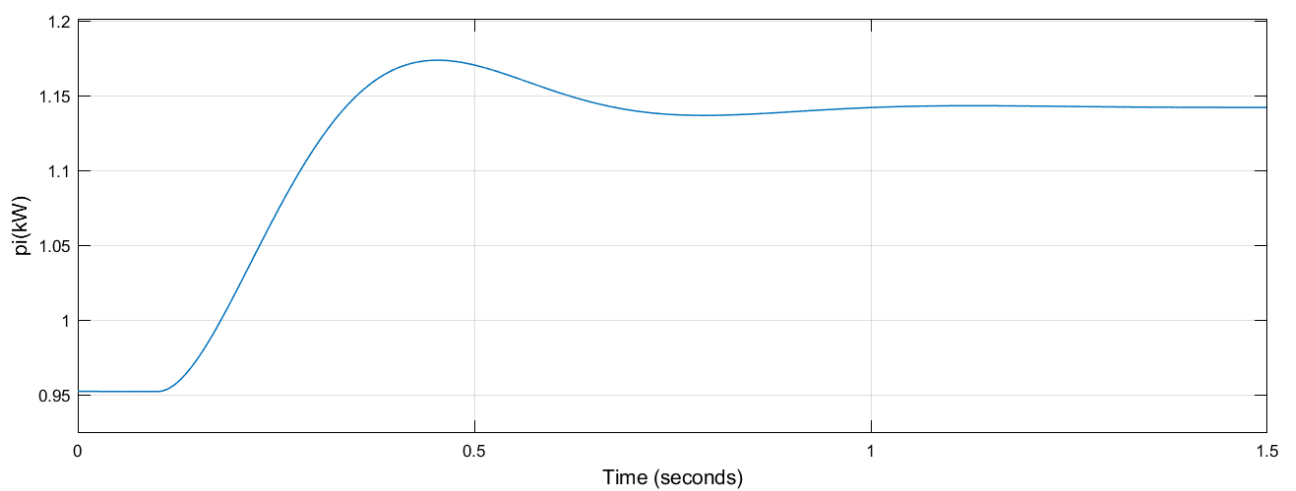
Εικόνα 2.151 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.



Εικόνα 2.152 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.

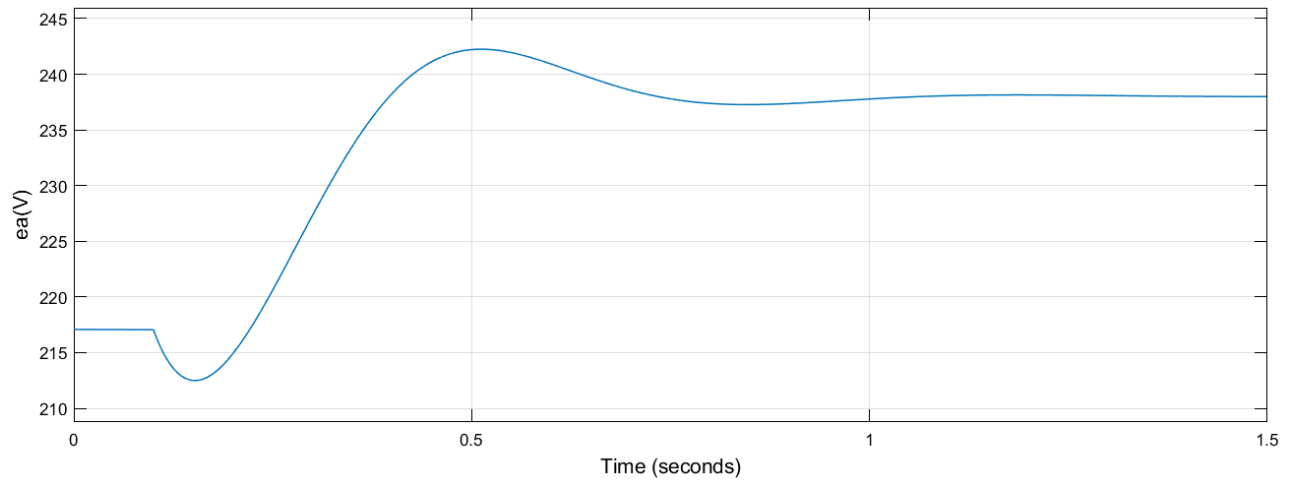


Εικόνα 2.153 Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

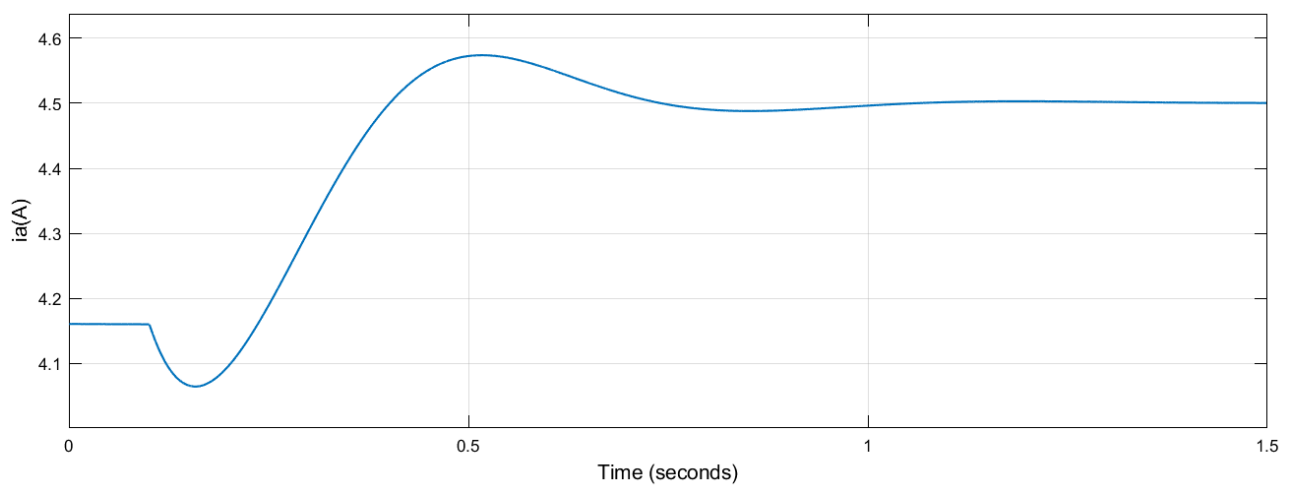


Εικόνα 2.154 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

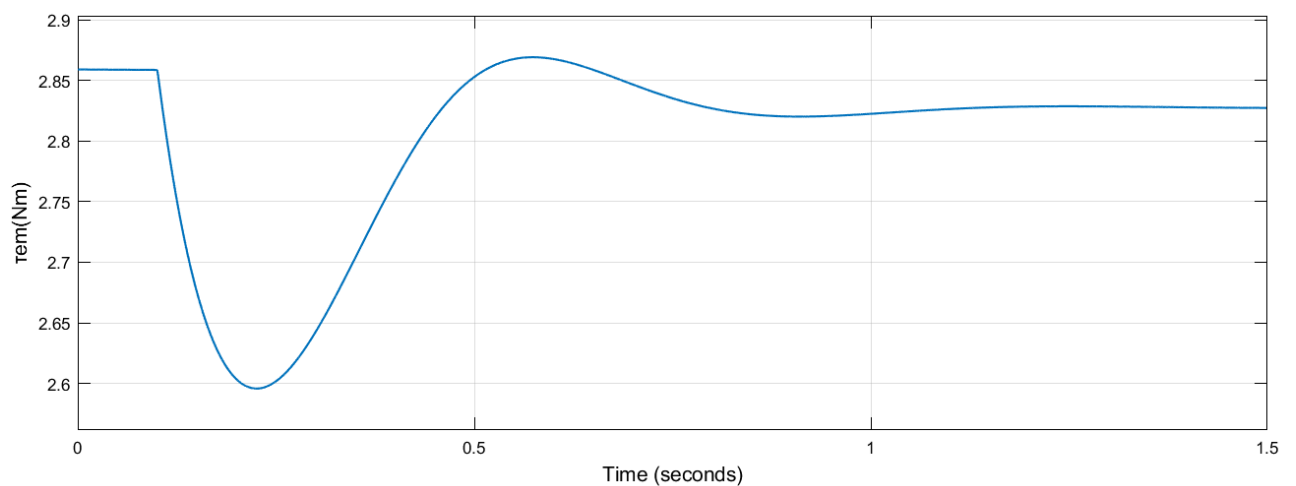
Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια



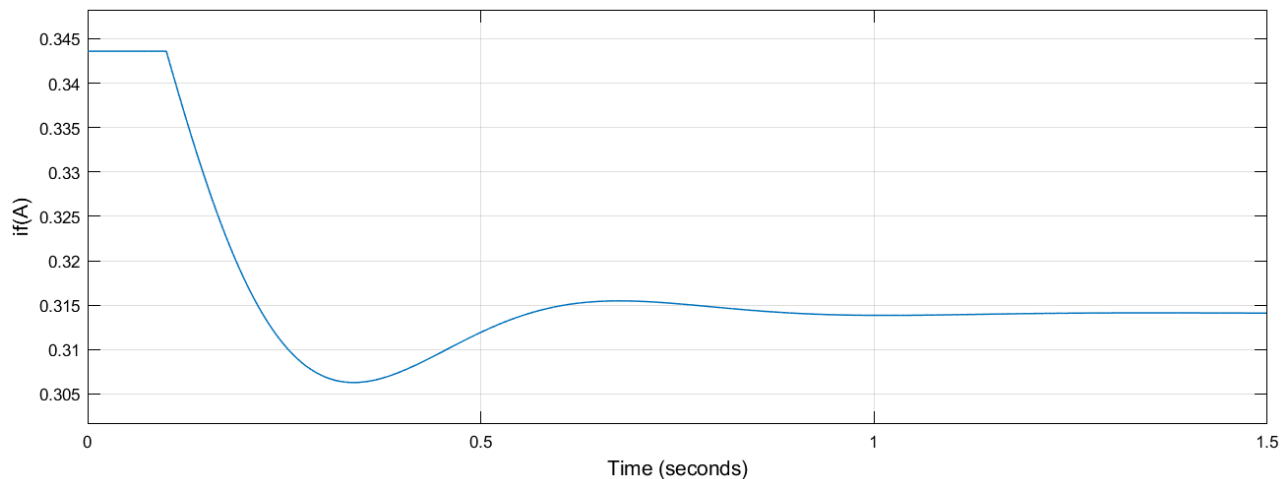
Εικόνα 2.155 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



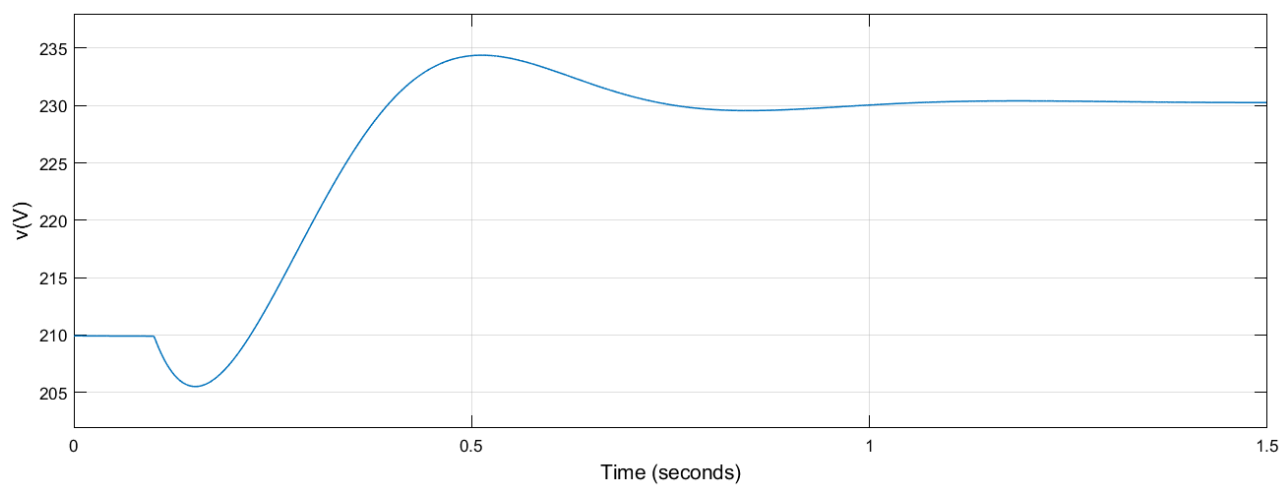
Εικόνα 2.156 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



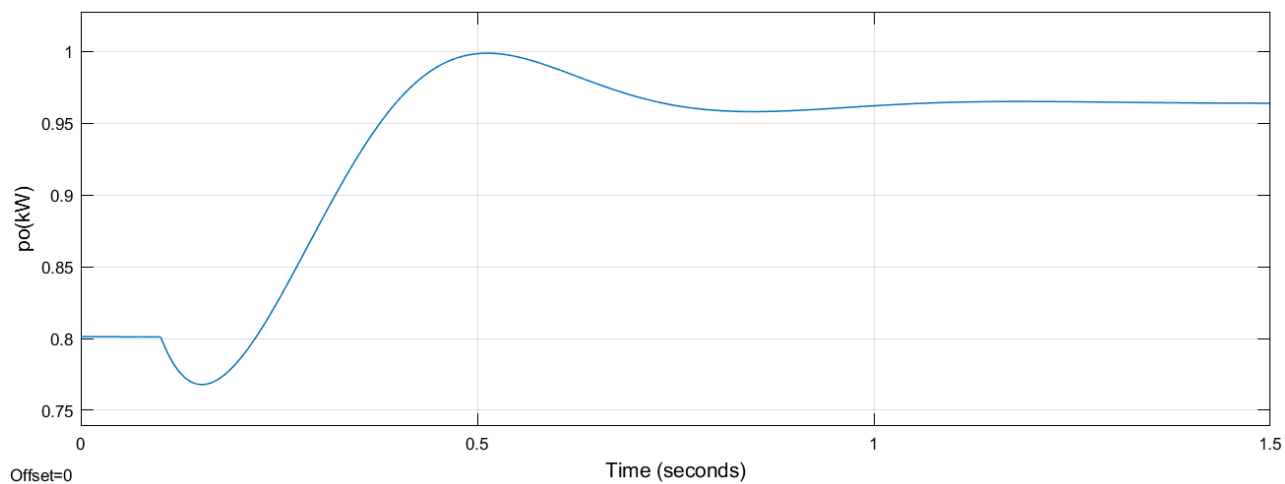
Εικόνα 2.157 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



Εικόνα 2.158 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



Εικόνα 2.159 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



Εικόνα 2.160 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης

Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_f	610,94Ω	733,128Ω	↑
R_L	55Ω	55Ω	-
τ_m	3,015N · m	3,015N · m	-
n	3.016rpm	3.618rpm	↑
p_{in}	0,9524kW	1,142kW	↑
e_a	217,1V	238,0V	↑
i_a	4,160A	4,501A	↑
τ_{em}	2,859N · m	2,827N · m	↓
i_f	0,3436A	0,3141A	↓
v_L	209,9V	230,3V	↑
p_{out}	0,8011kW	0,9641kW	↑
η	-	84,40%	-

Πίνακας 2.22 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +20% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

2.3.41 Επαλήθευση τιμών 14^ο λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 3,015 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot 3.618 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 1,142 \text{ kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{230,3 \text{ V}}{733,128 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,3141 \text{ A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f) R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{230,3 \text{ V} + 0,3141 \text{ A} \cdot 55 \Omega}{55 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 4,501 \text{ A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 230,3 \text{ V} + 4,501 \text{ A} \cdot 1,72 \Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 238,0 \text{ V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 4,501 \text{ A} \cdot 0,3141 \text{ A} \cdot 2,00 \text{ H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 2,828 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 230,3 \text{ V} \cdot (4,501 \text{ A} - 0,3141 \text{ A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 0,9642 \text{ kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{0,9642 \text{ kW}}{1,142 \text{ kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 84,43\%}$$

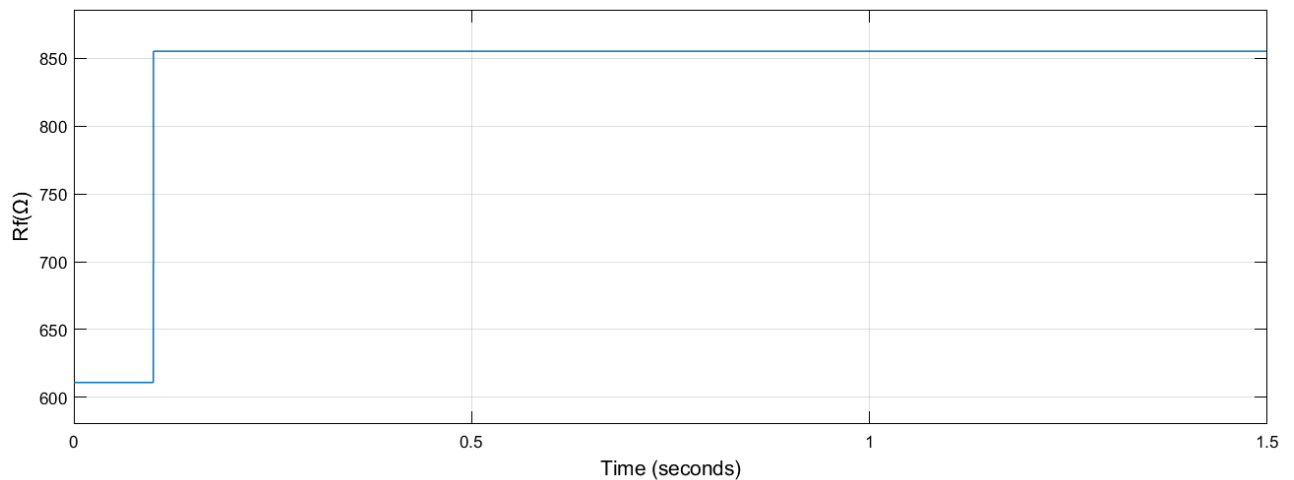
Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια. Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

2.3.42 Σχολιασμός 14^{ου} λειτουργικού σεναρίου

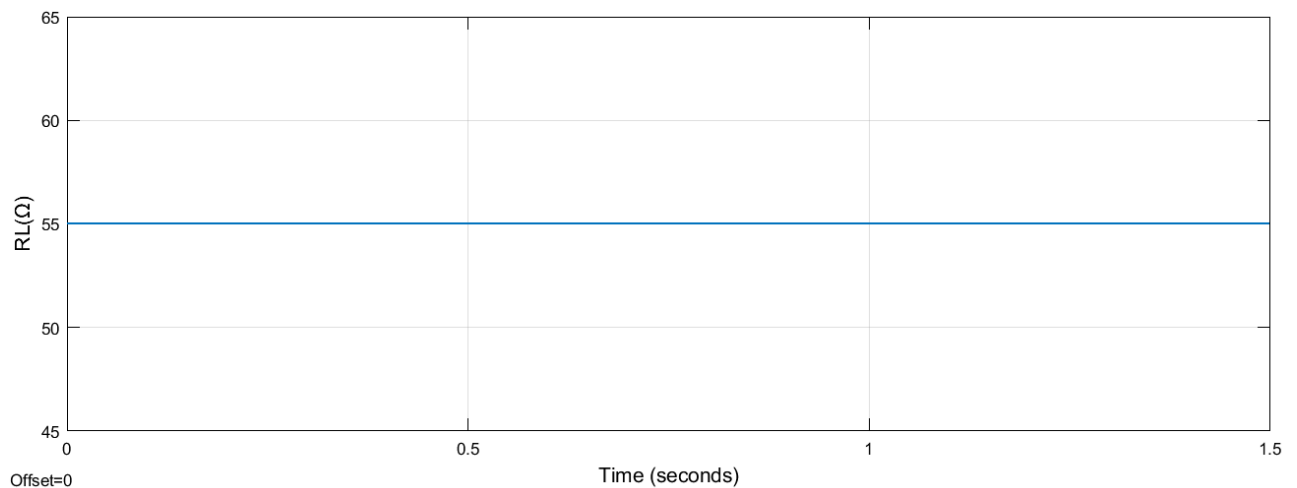
Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι ισχύουν όσα σχολιάσαμε για το 12^ο λειτουργικό σενάριο.

2.3.43 Λειτουργικό σενάριο 15^ο: Βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης

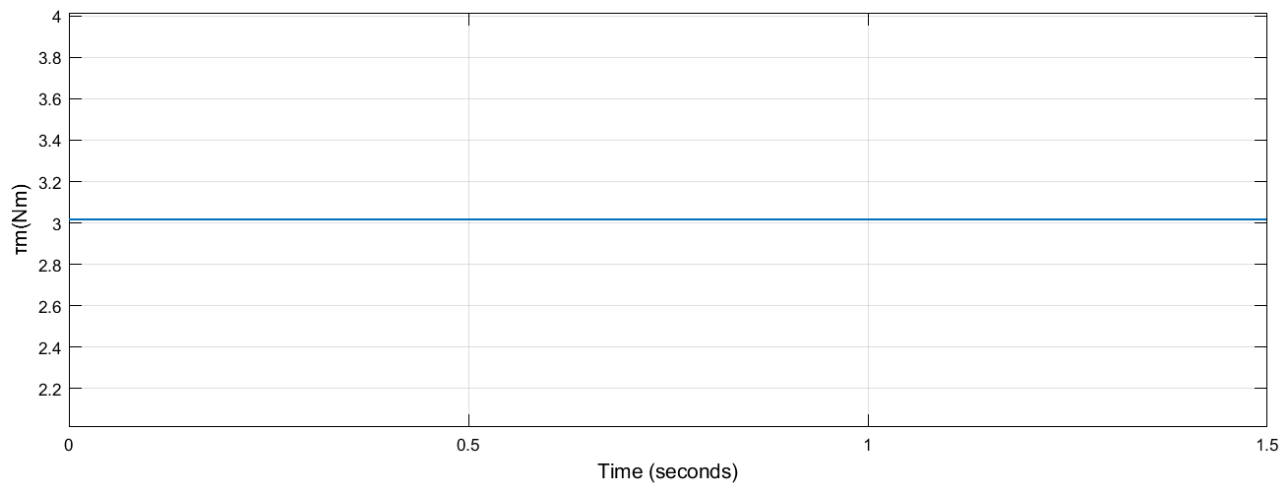
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική αύξηση +40% της R_f . Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_f(t)$, $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



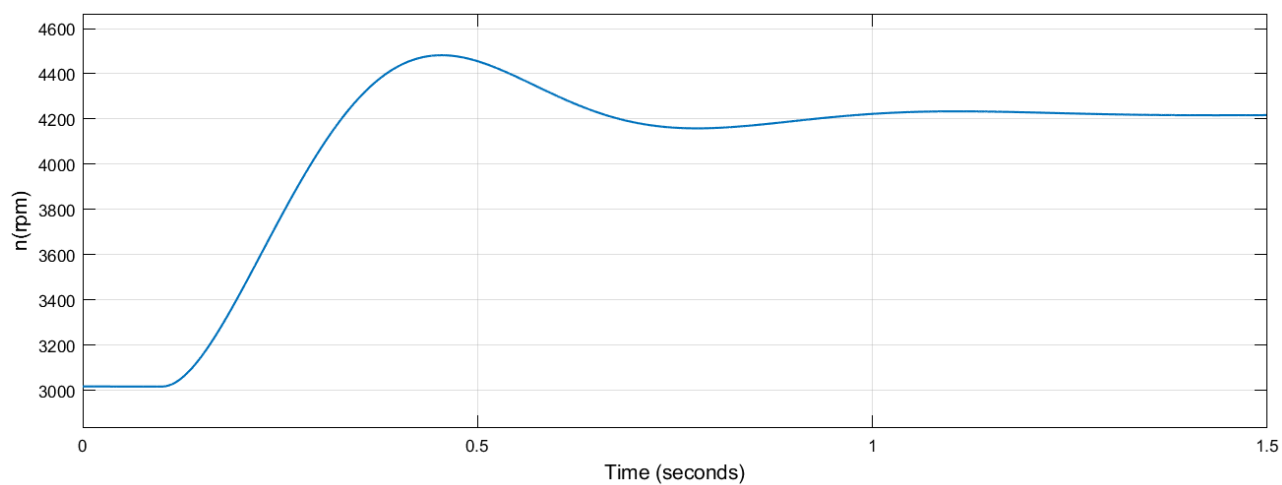
Εικόνα 2.161 Βηματική μεταβολή +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



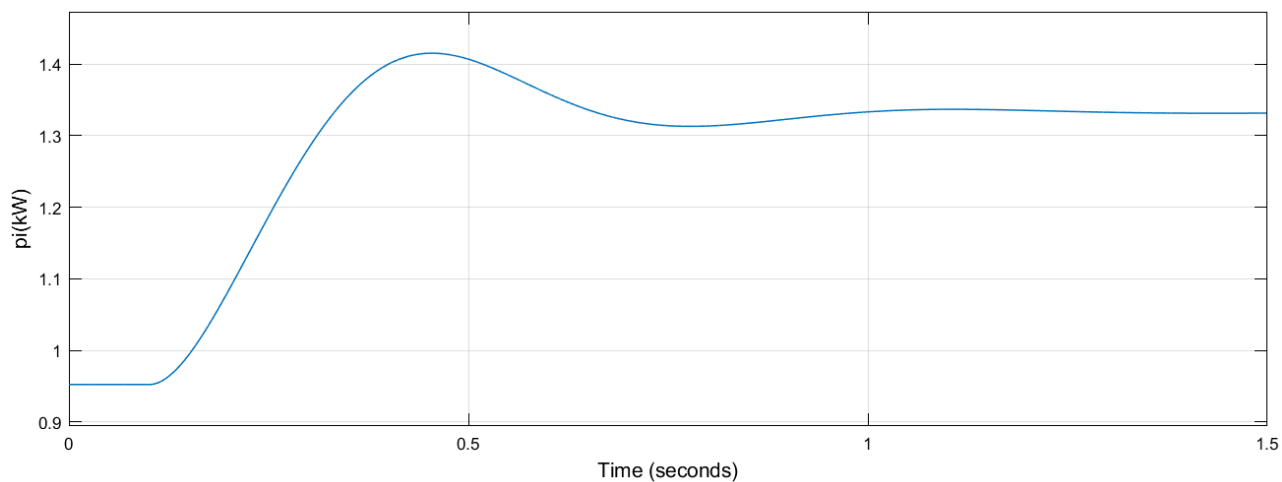
Εικόνα 2.162 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.



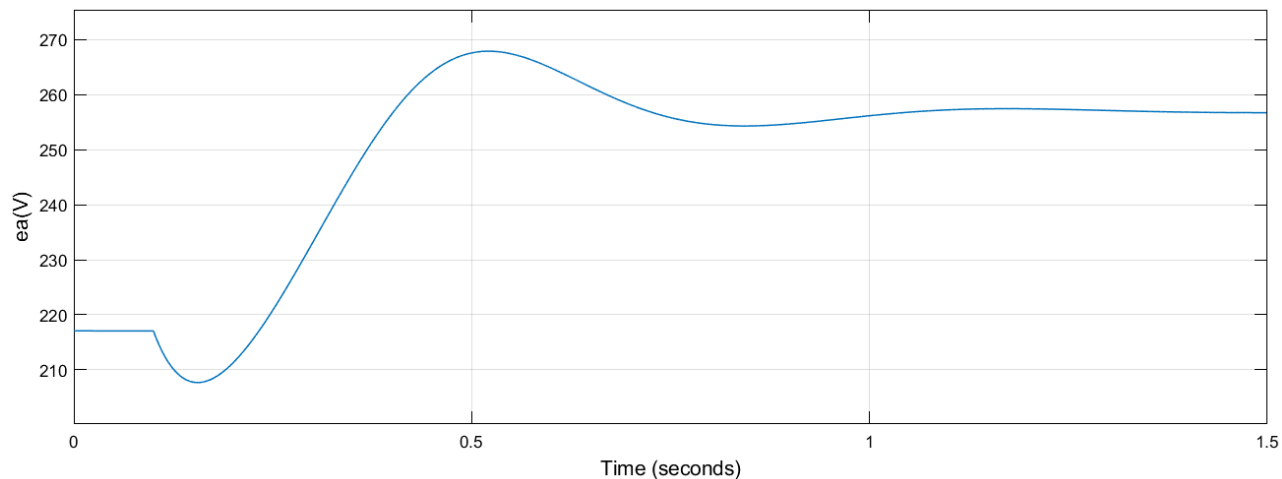
Εικόνα 2.163 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.



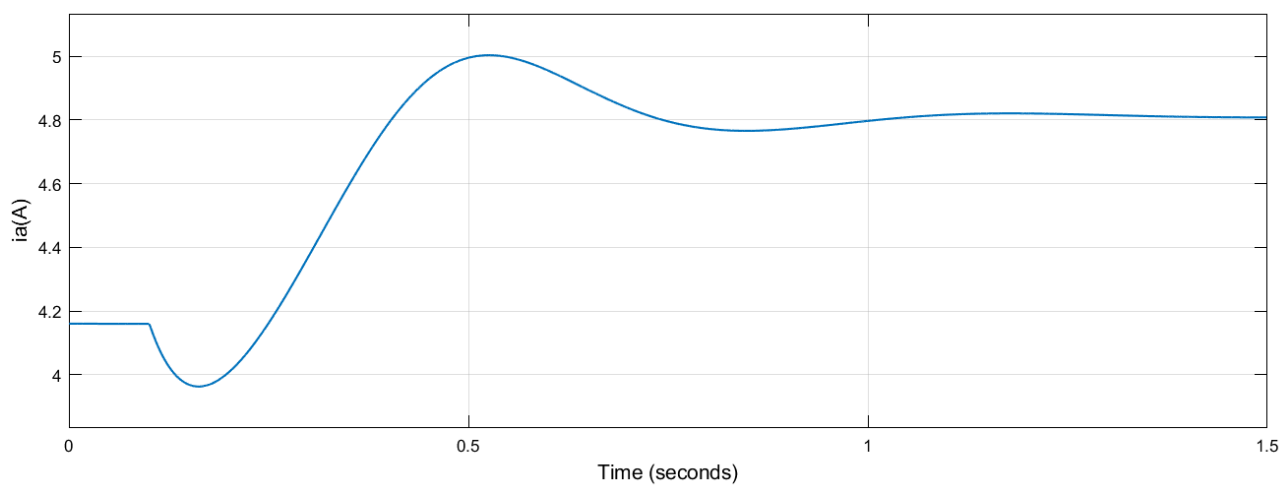
Εικόνα 2.164 Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



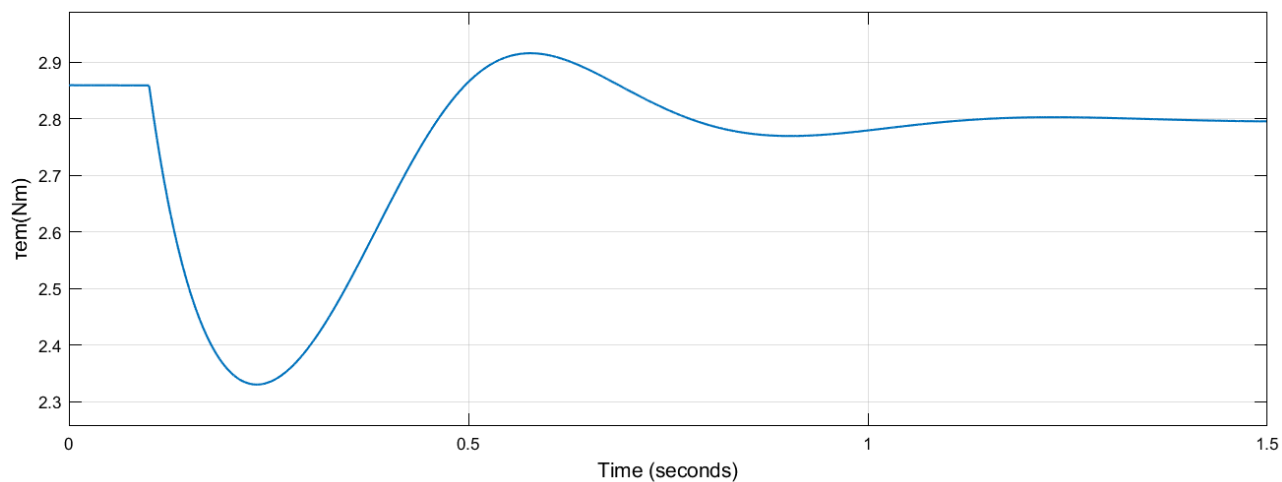
Εικόνα 2.165 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



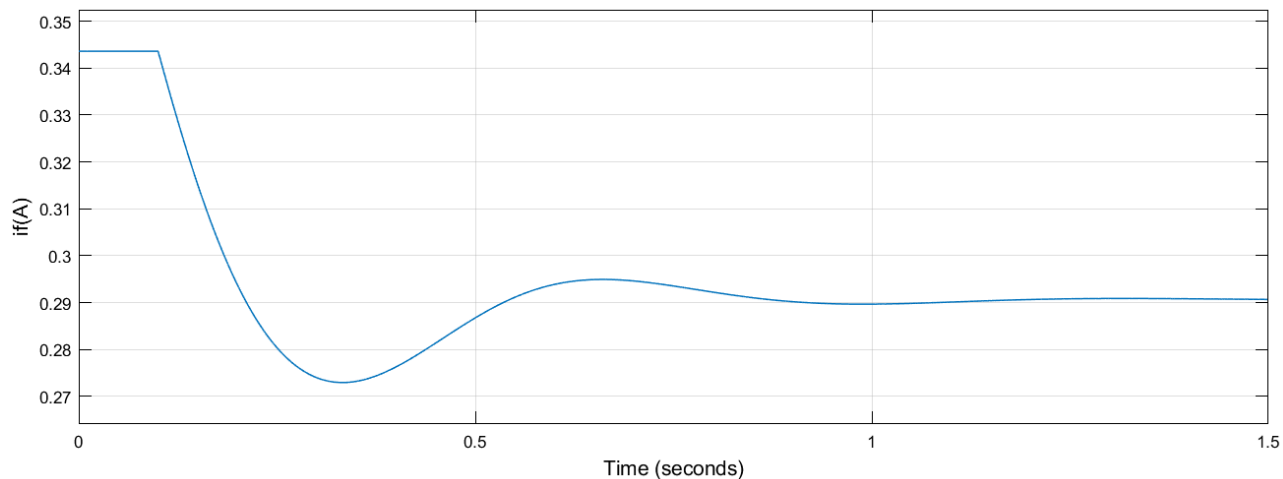
Εικόνα 2.166 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



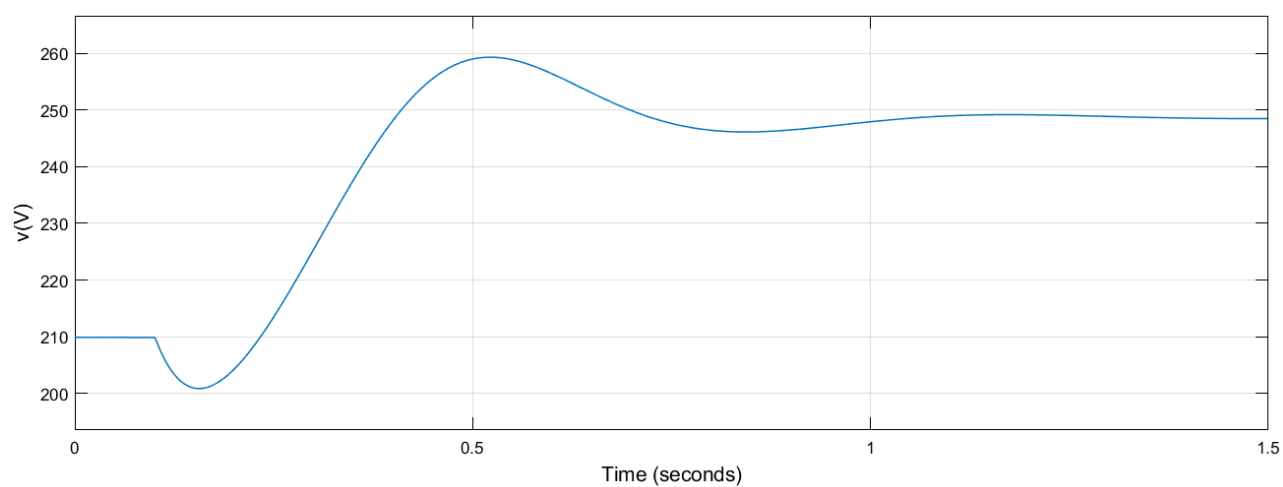
Εικόνα 2.167 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



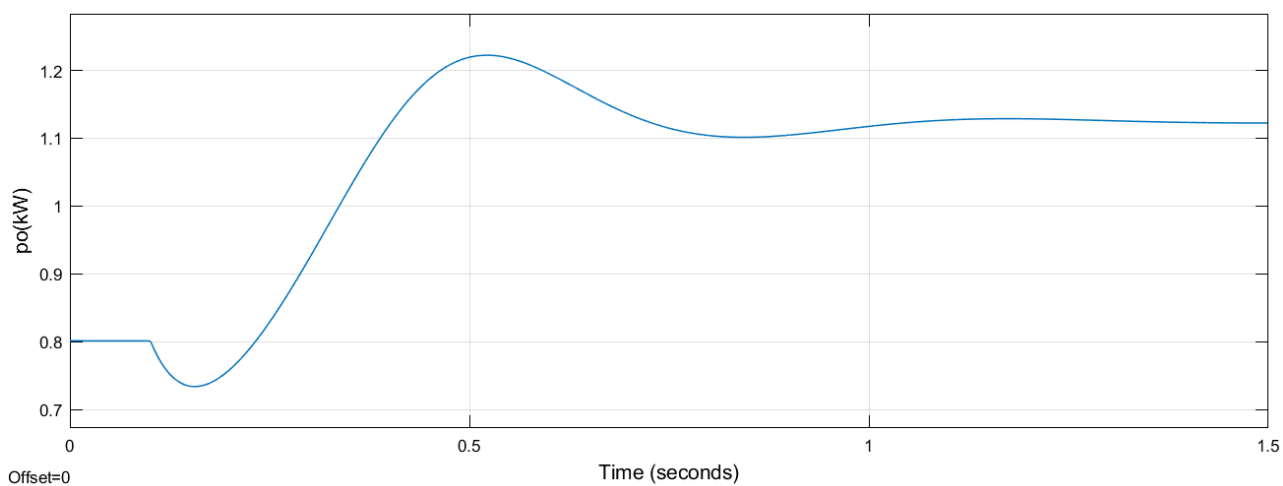
Εικόνα 2.168 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



Εικόνα 2.169 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



Εικόνα 2.170 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



Εικόνα 2.171 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης

Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_f	610,94Ω	855,316Ω	↑
R_L	55Ω	55Ω	-
τ_m	3,015N · m	3,015N · m	-
n	3.016rpm	4.220rpm	↑
p_{in}	0,9524kW	1,332kW	↑
e_a	217,1V	256,9V	↑
i_a	4,160A	4,811A	↑
τ_{em}	2,859N · m	2,796N · m	↓
i_f	0,3436A	0,2907A	↓
v_L	209,9V	248,6V	↑
p_{out}	0,8011kW	1,124kW	↑
η	-	84,34%	-

Πίνακας 2.23 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +40% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

2.3.44 Επαλήθευση τιμών 15^{ου} λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 3,015 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot 4.220 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 1,332 \text{ kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{248,6 \text{ V}}{855,316 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,2907 \text{ A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f) R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{248,6 \text{ V} + 0,2907 \text{ A} \cdot 55 \Omega}{55 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 4,811 \text{ A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 248,6 \text{ V} + 4,811 \text{ A} \cdot 1,72 \Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 256,9 \text{ V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 4,811 \text{ A} \cdot 0,2907 \text{ A} \cdot 2,00 \text{ H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 2,797 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 248,6 \text{ V} \cdot (4,811 \text{ A} - 0,2907 \text{ A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 1,124 \text{ kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{1,124 \text{ kW}}{1,332 \text{ kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 84,38\%}$$

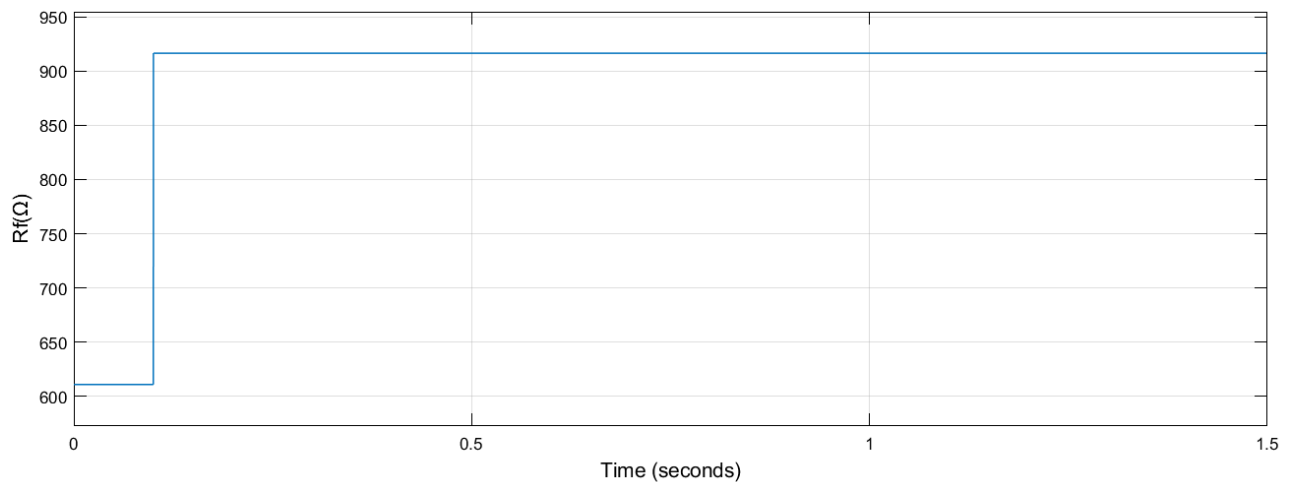
Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

2.3.45 Σχολιασμός 15^{ου} λειτουργικού σεναρίου

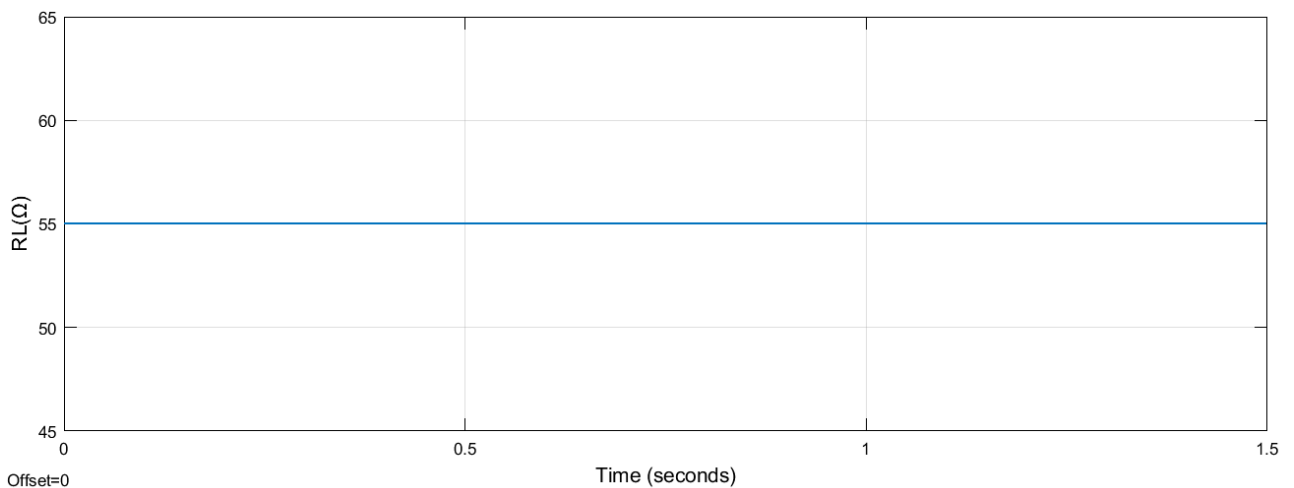
Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι ισχύουν όσα σχολιάσαμε για το 12^ο λειτουργικό σενάριο.

2.3.46 Λειτουργικό σενάριο 16^ο: Βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης

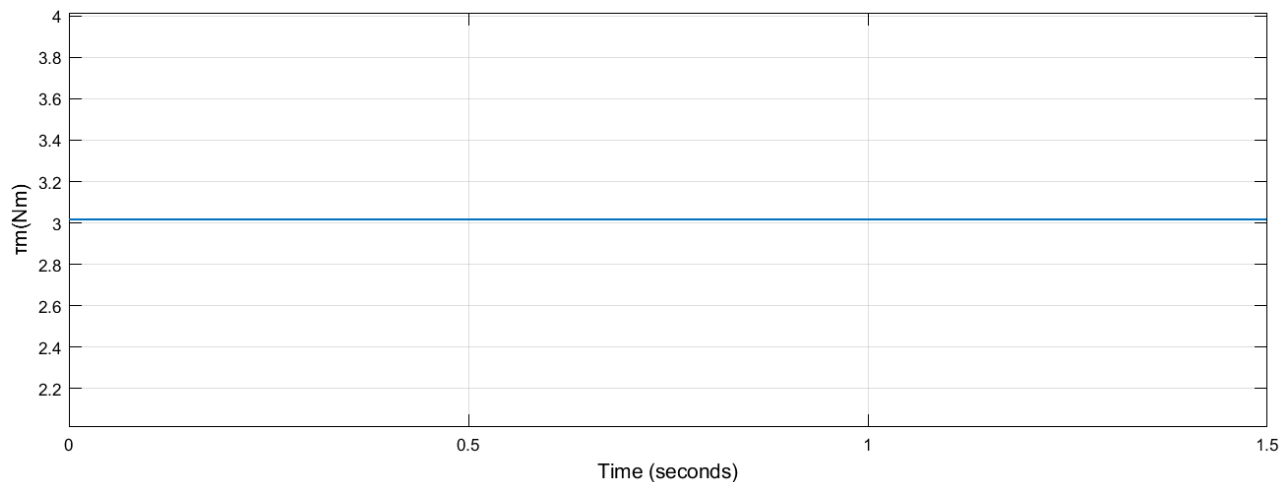
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε βηματική αύξηση +50% της R_f . Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_f(t)$, $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



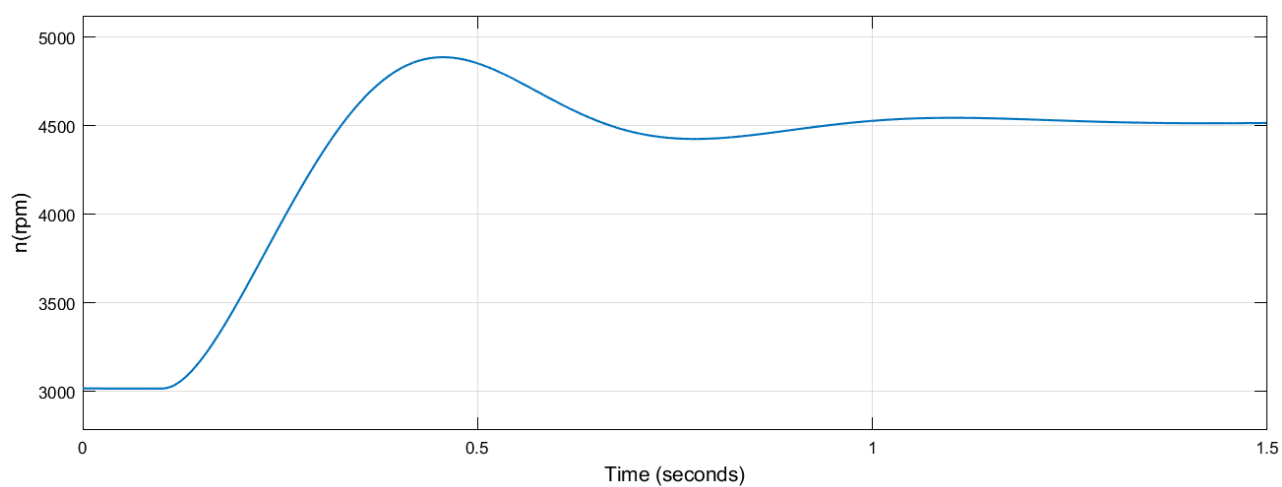
Εικόνα 2.172 Βηματική μεταβολή +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



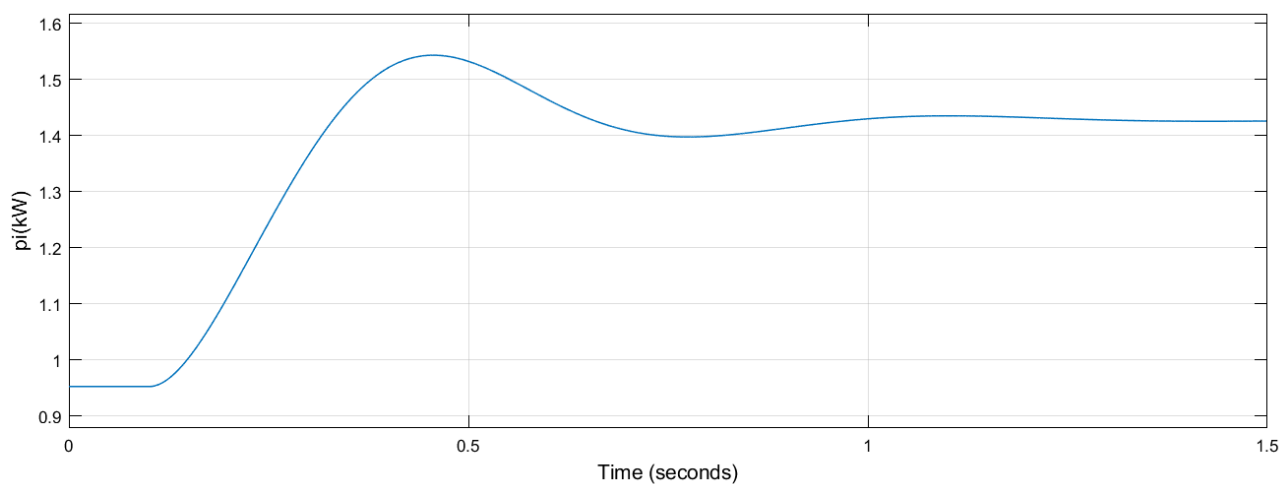
Εικόνα 2.173 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55 Ω .



Εικόνα 2.174 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.

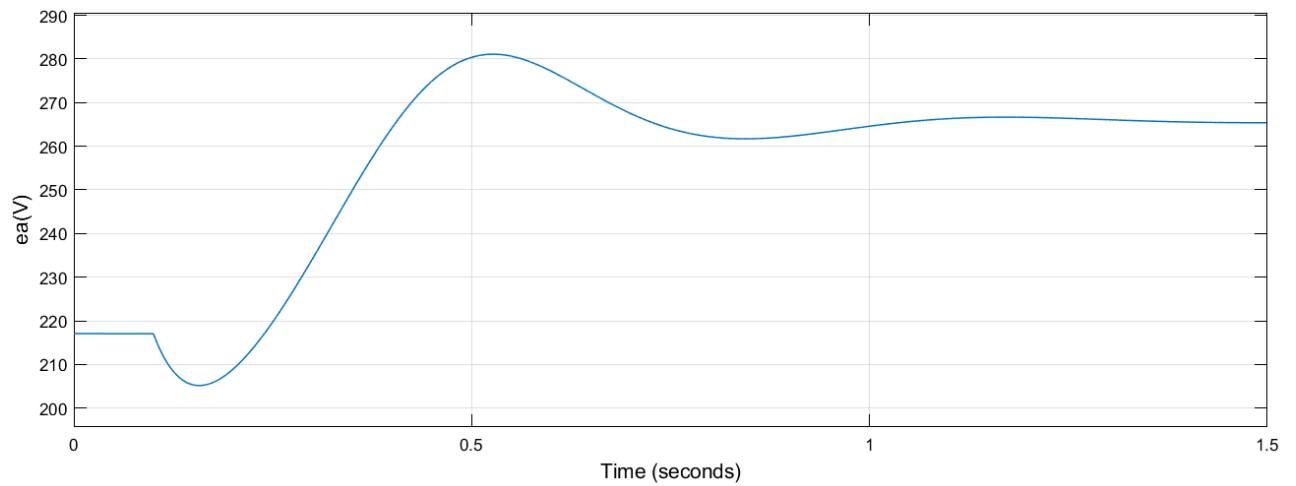


Εικόνα 2.175 Απόκριση στροφών για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

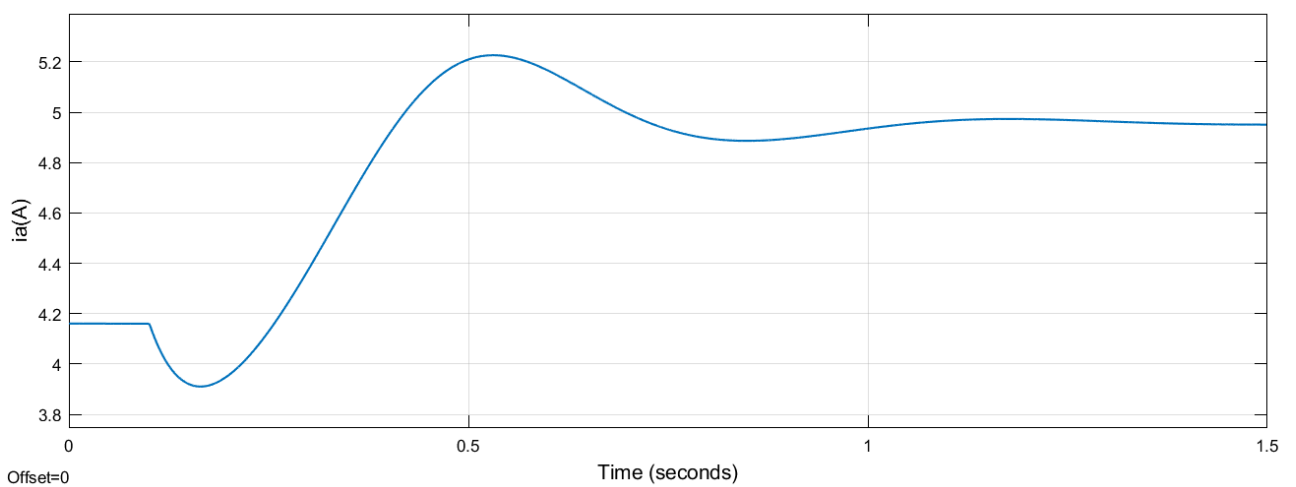


Εικόνα 2.176 Απόκριση ισχύος εισόδου για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

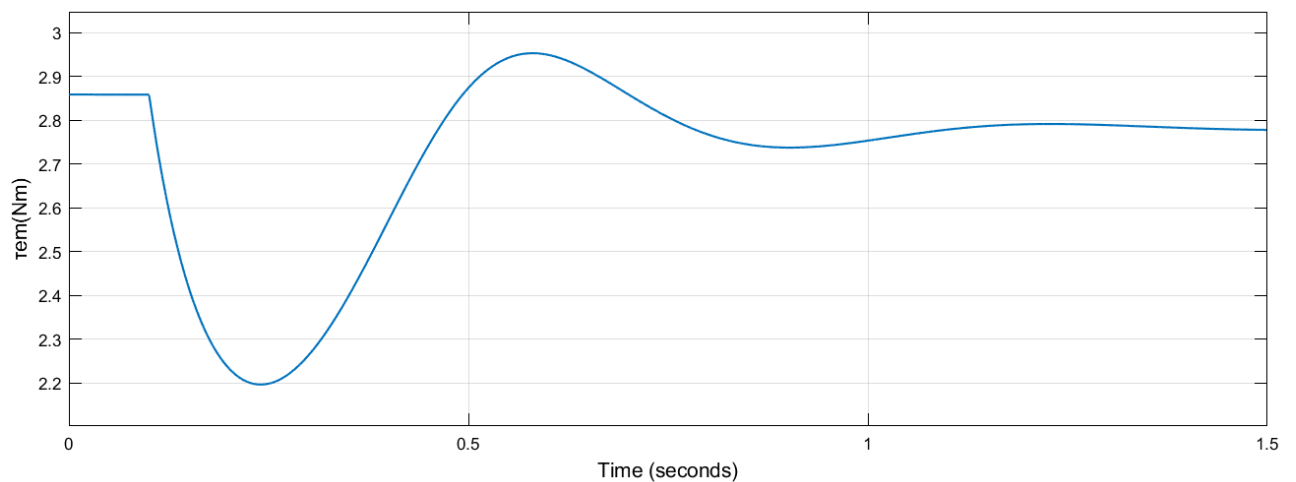
Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια



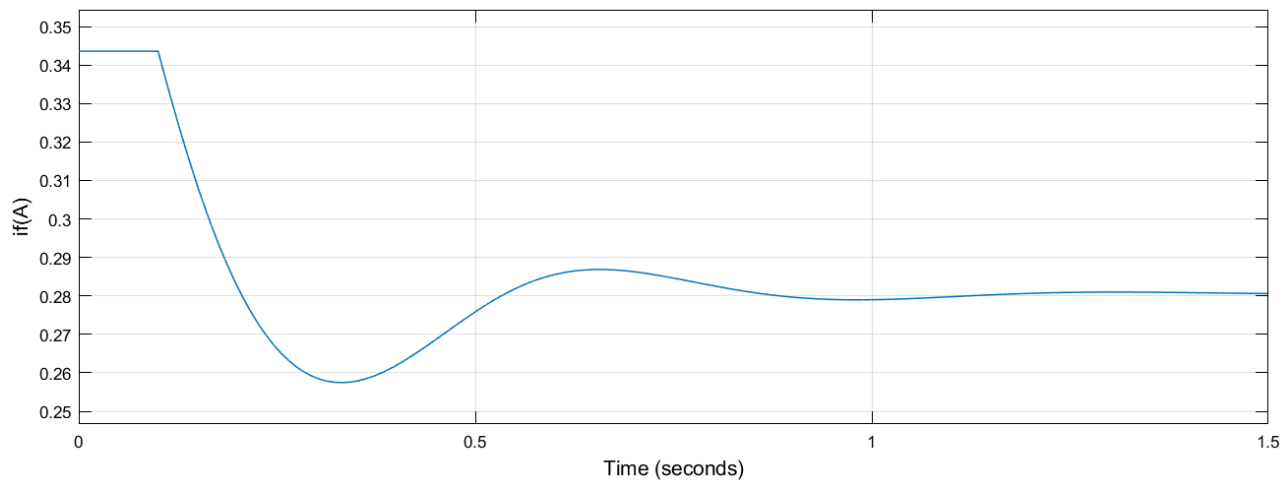
Εικόνα 2.177 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



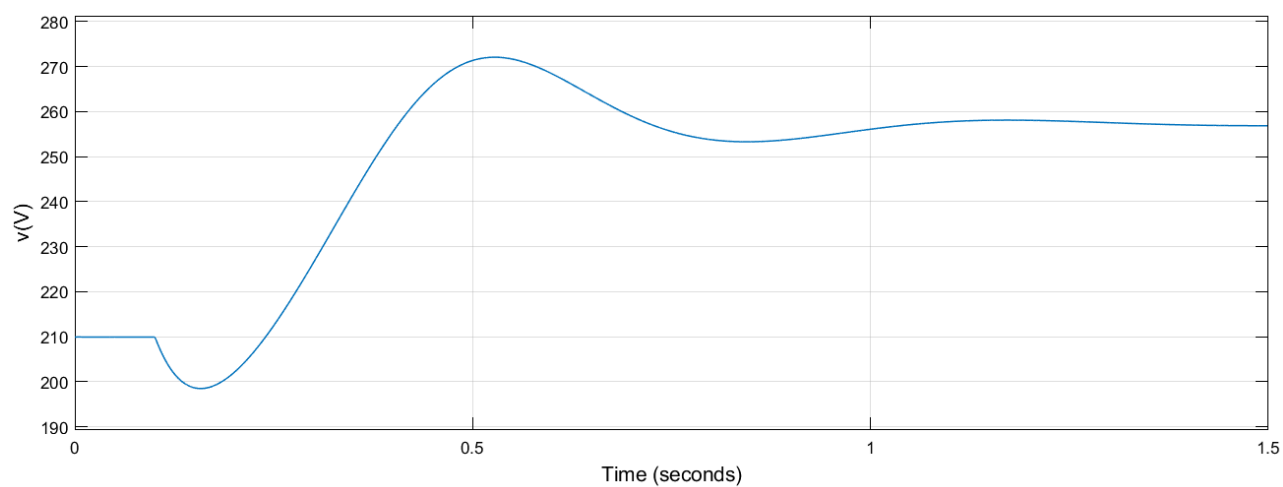
Εικόνα 2.178 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



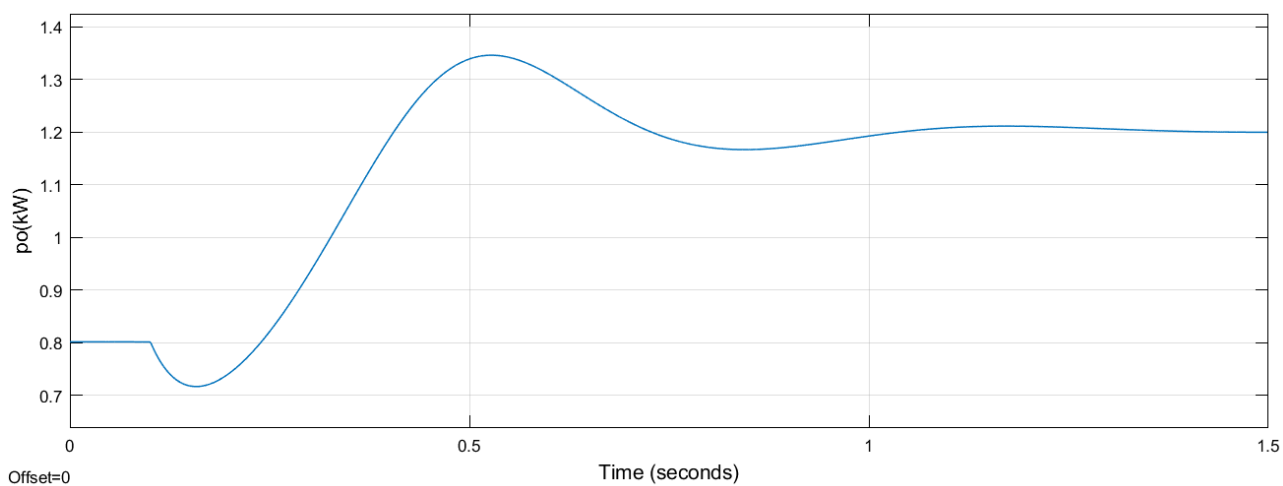
Εικόνα 2.179 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



Εικόνα 2.180 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



Εικόνα 2.181 Απόκριση τάσης φορτίου για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



Εικόνα 2.182 Απόκριση ισχύος εξόδου για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης

Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_f	610,94Ω	916,41Ω	↑
R_L	55Ω	55Ω	-
τ_m	3,015N · m	3,015N · m	-
n	3.016rpm	4.520rpm	↑
p_{in}	0,9524kW	1,427kW	↑
e_a	217,1V	265,6V	↑
i_a	4,160A	4,956A	↑
τ_{em}	2,859N · m	2,781N · m	↓
i_f	0,3436A	0,2806A	↓
v_L	209,9V	257,1V	↑
p_{out}	0,8011kW	1,202kW	↑
η	-	84,22%	-

Πίνακας 2.24 Τιμές μεγεθών για βηματική αύξηση +50% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.

2.3.47 Επαλήθευση τιμών 16^{ου} λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 3,015 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot 4.520 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 1,427 \text{ kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{257,1 \text{ V}}{916,41 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,2806 \text{ A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f) R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{257,1 \text{ V} + 0,2806 \text{ A} \cdot 55 \Omega}{55 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 4,955 \text{ A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 257,1 \text{ V} + 4,955 \text{ A} \cdot 1,72 \Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 265,6 \text{ V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 4,955 \text{ A} \cdot 0,2806 \text{ A} \cdot 2,00 \text{ H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 2,780 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 257,1 \text{ V} \cdot (4,955 \text{ A} - 0,2806 \text{ A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 1,202 \text{ kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{1,202 \text{ kW}}{1,427 \text{ kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 84,23\%}$$

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

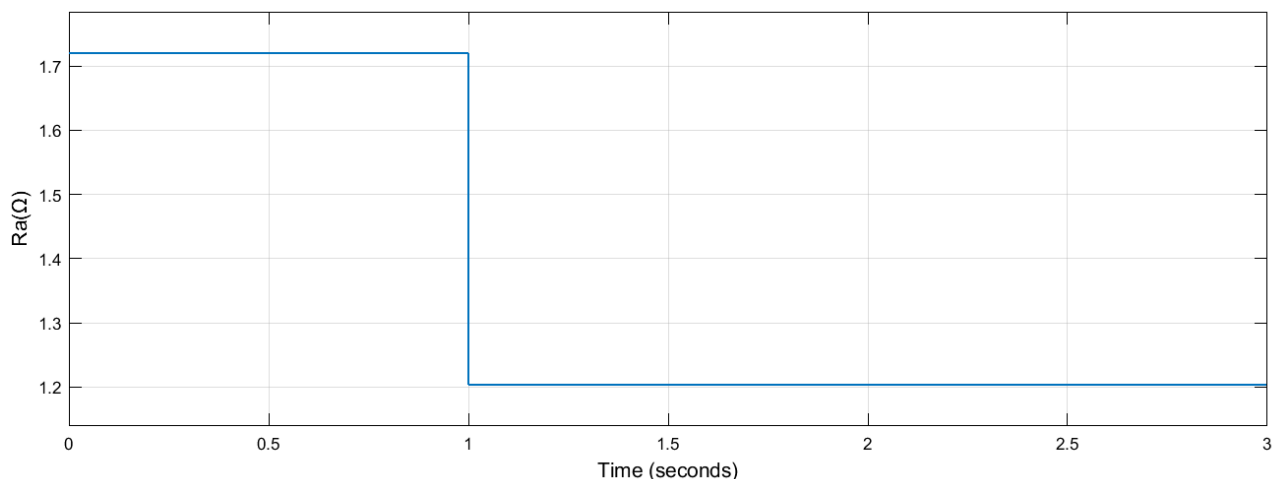
2.3.48 Σχολιασμός 16^{ου} λειτουργικού σεναρίου

Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι ισχύουν όσα σχολιάσαμε για το 12^ο λειτουργικό σενάριο.

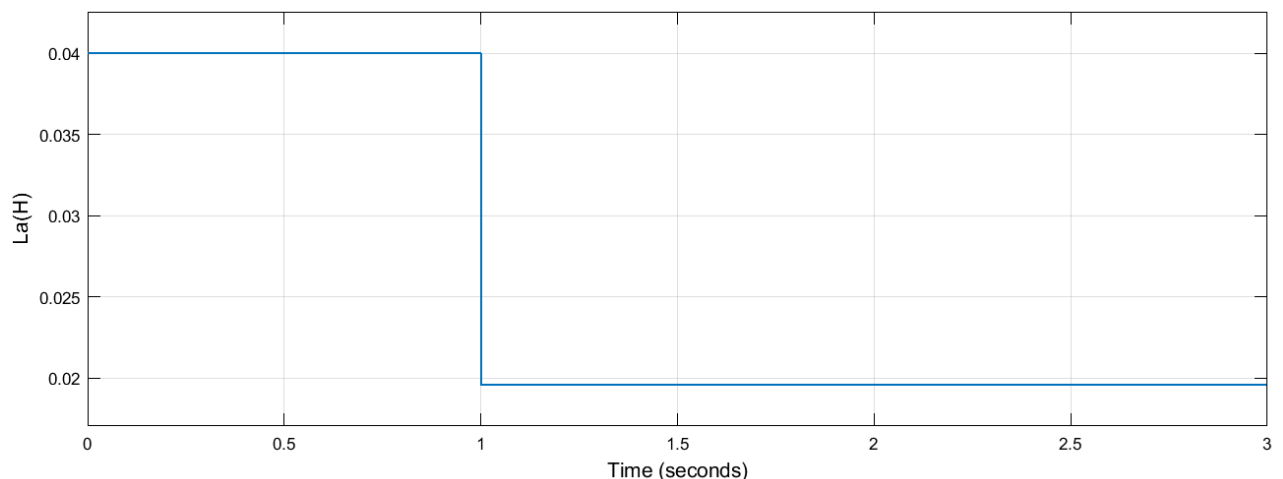
2.3.49 Λειτουργικό σενάριο 17^ο: Μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου

Στην ακόλουθη ενότητα θα διερευνήσουμε τη συμπεριφορά της γεννήτριας για βηματικές μεταβολές της ωμικής αντίστασης και της αυτεπαγωγής τυμπάνου, αλλά και της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης, τέτοιες ώστε να μπορεί να θεωρηθεί σαν μερικό βραχυκύκλωμα. Αρχικά, η γεννήτρια λειτουργεί στη μόνιμη κατάσταση σε ονομαστικές συνθήκες. Η μηχανική ροπή, καθώς και η ωμική αντίσταση φορτίου είναι σταθερές και ίσες με $3,015\text{N} \cdot \text{m}$ και 55Ω , αντίστοιχα. Η βηματική μεταβολή εφαρμόζεται την χρονική στιγμή $t = 1\text{s}$.

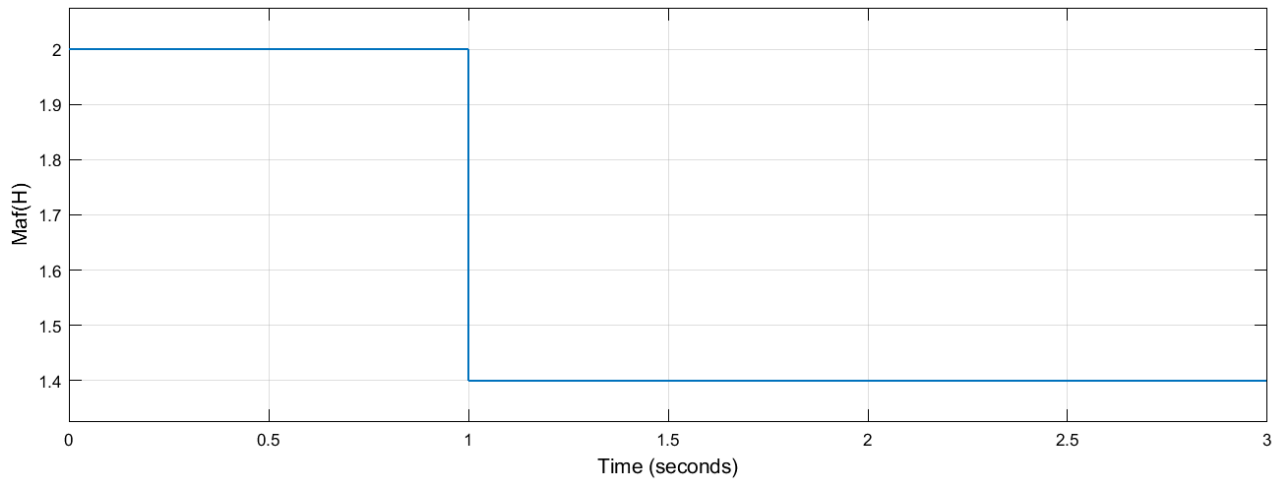
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου και συγκεκριμένα βηματική μείωση -30% της R_a και της M_{af} και -51% της L_a . Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_a(t)$, $L_a(t)$, $M_{af}(t)$, $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



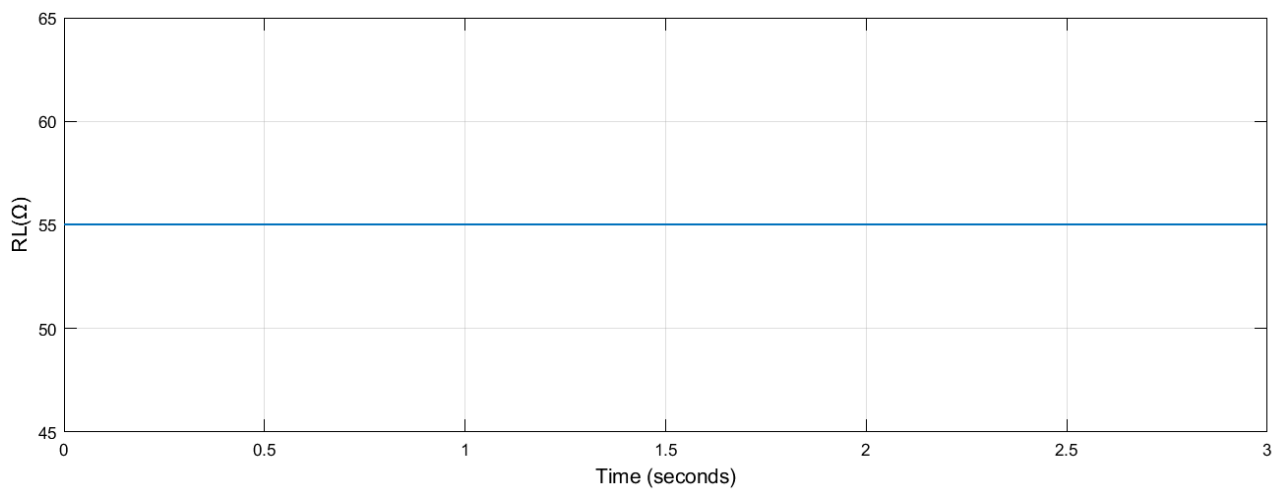
Εικόνα 2.183 Βηματική μεταβολή -30% της ωμικής αντίστασης τυμπάνου.



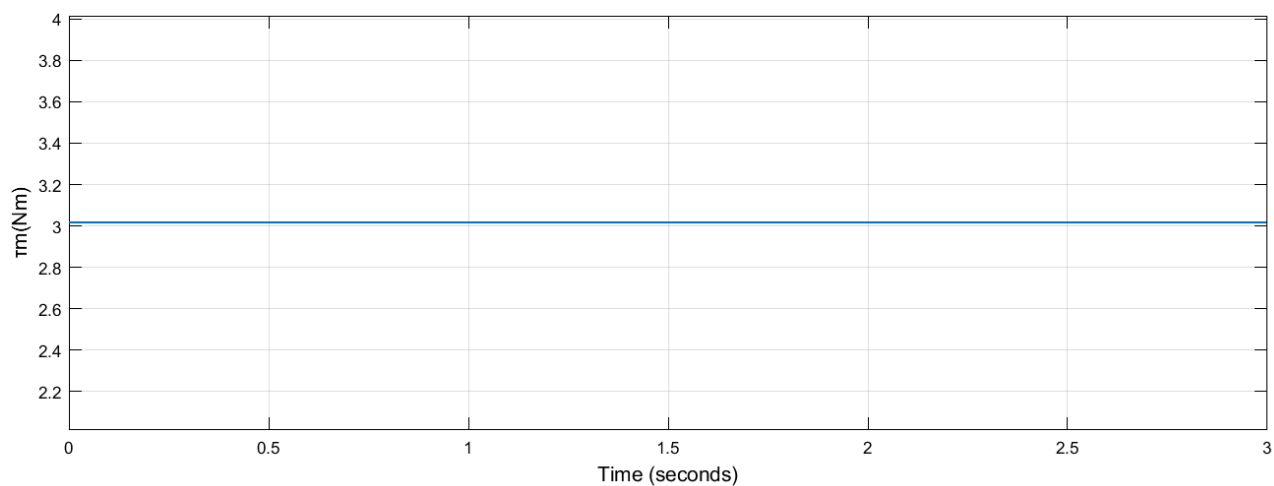
Εικόνα 2.184 Βηματική μεταβολή -51% της αυτεπαγωγής τυμπάνου.



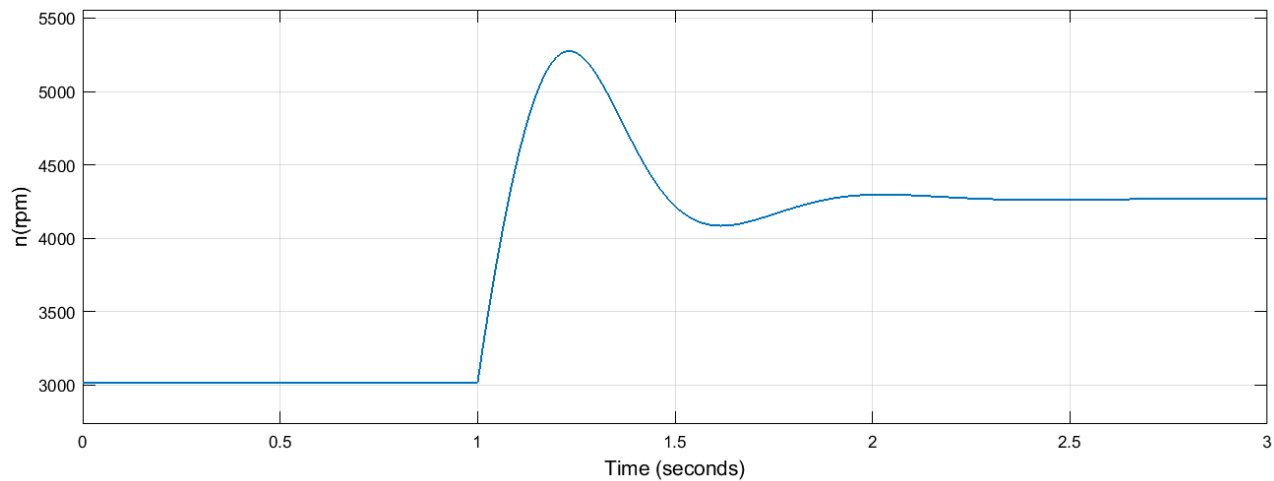
Εικόνα 2.185 Βηματική μεταβολή -30% της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης.



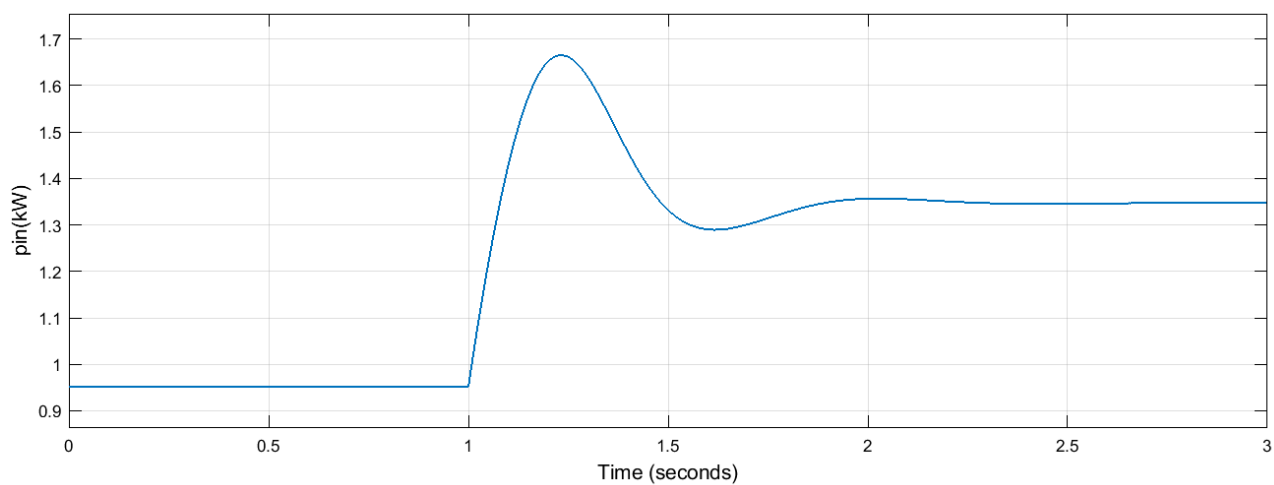
Εικόνα 2.186 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.



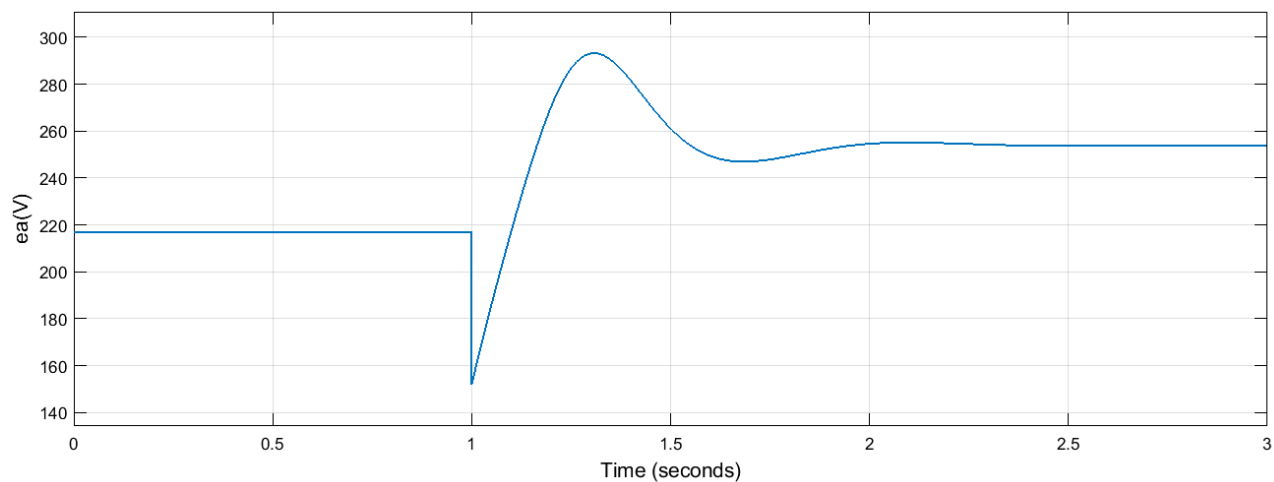
Εικόνα 2.187 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.



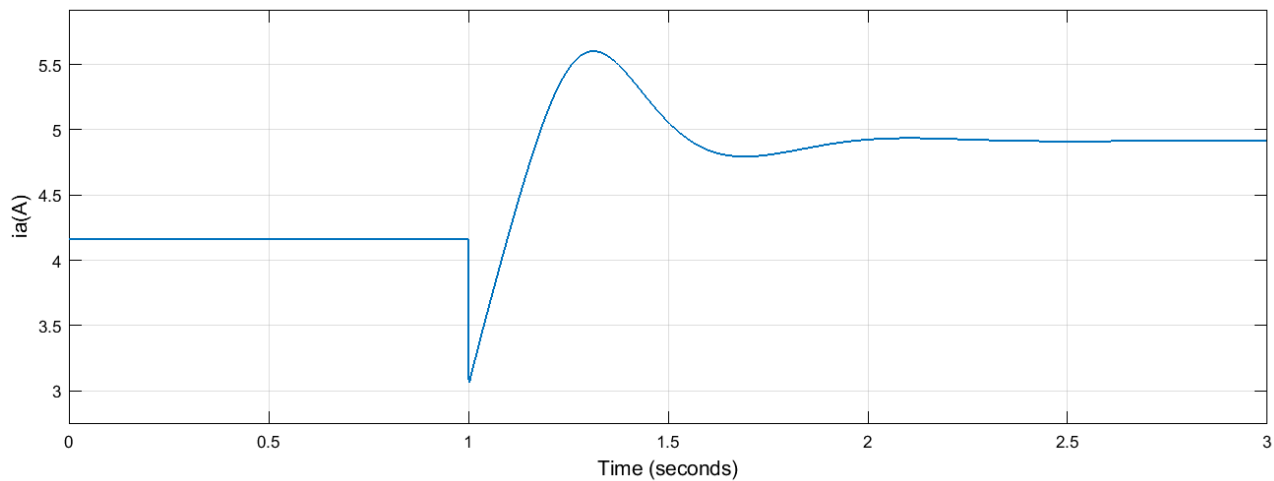
Εικόνα 2.188 Απόκριση στροφών για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.



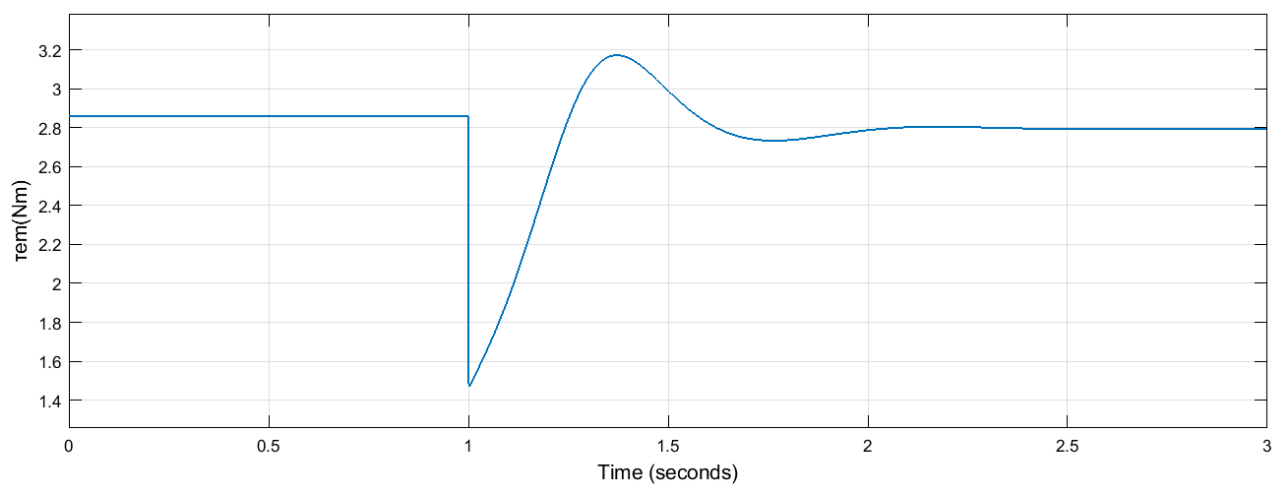
Εικόνα 2.189 Απόκριση ισχύος εισόδου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.



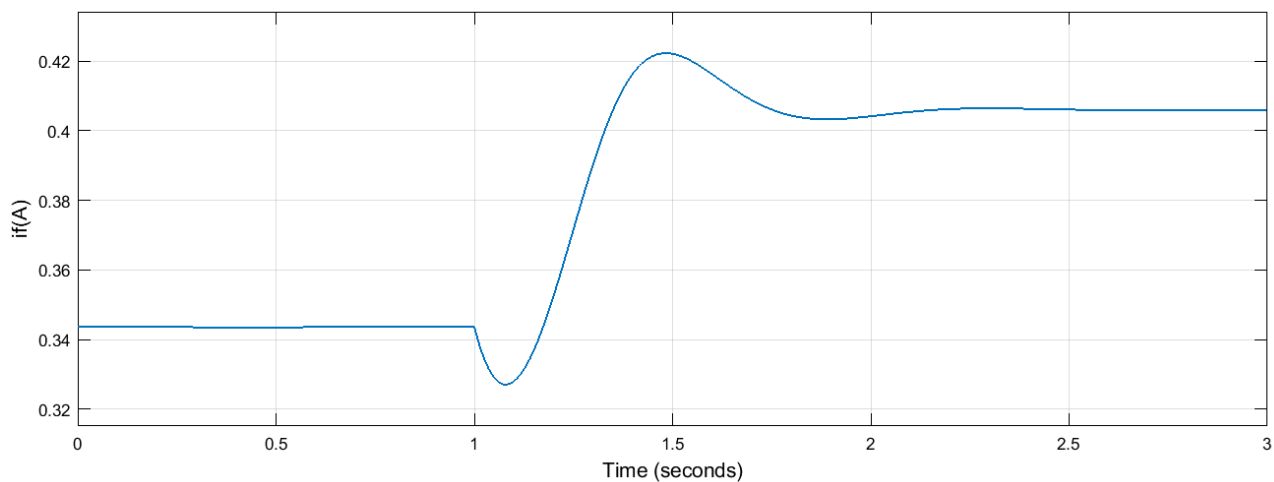
Εικόνα 2.190 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.



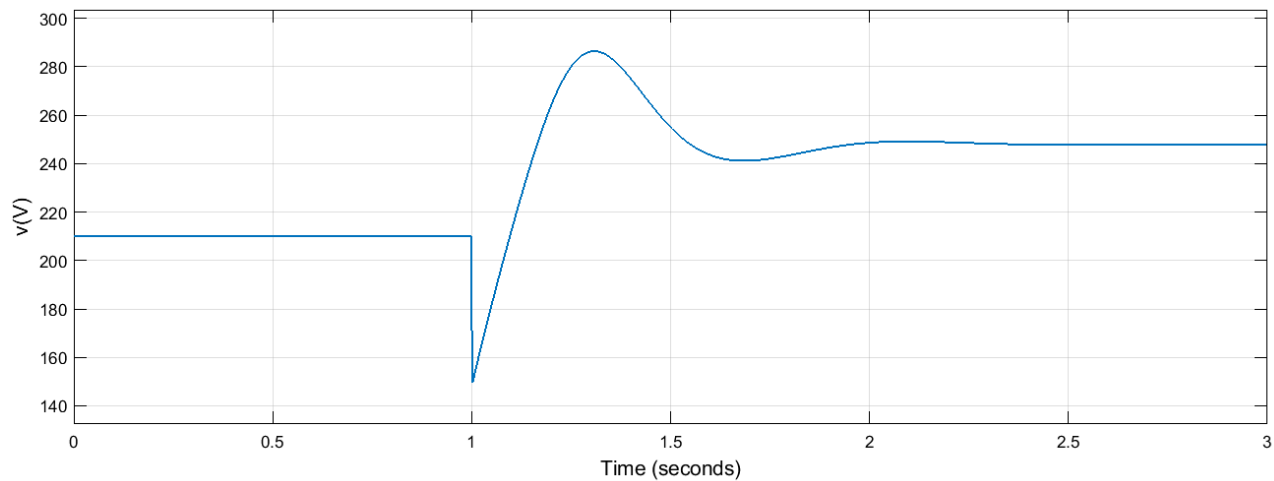
Εικόνα 2.191 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.



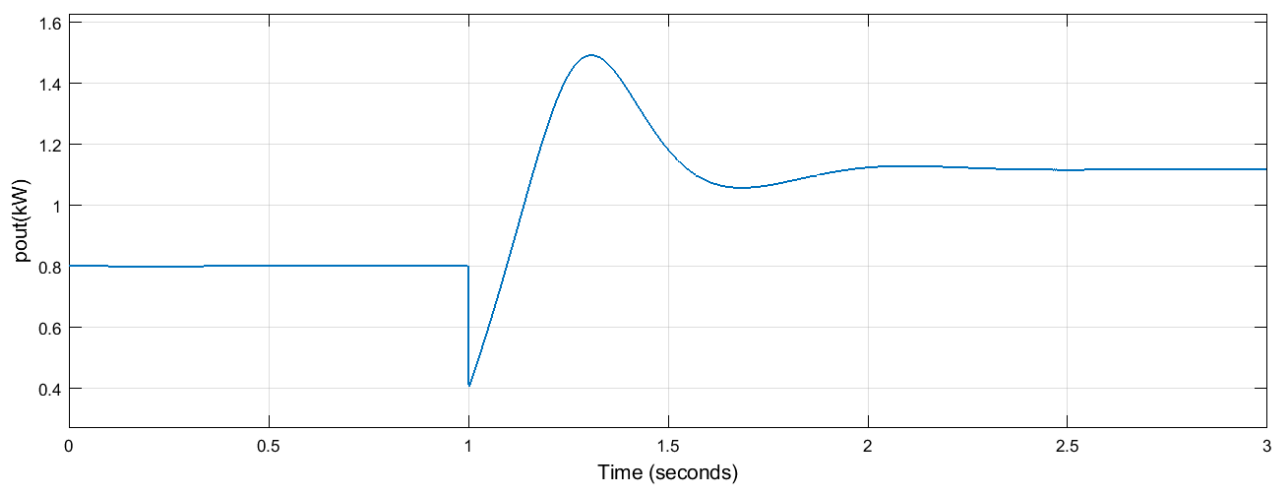
Εικόνα 2.192 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.



Εικόνα 2.193 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.



Εικόνα 2.194 Απόκριση τάσης φορτίου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.



Εικόνα 2.195 Απόκριση ισχύος εξόδου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.

Τιμές μεγεθών για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου

Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_a	1,72Ω	1,204Ω	↓
L_a	0,04H	0,0196H	↓
M_{af}	2,00H	1,40H	↓
R_L	55Ω	55Ω	-
τ_m	3,015N · m	3,015N · m	-
n	3.016rpm	4.267rpm	↑
p_{in}	0,9524kW	1,347kW	↑
e_a	217,1V	254,0V	↑
i_a	4,160A	4,916A	↑
τ_{em}	2,859N · m	2,794N · m	↓
i_f	0,3436A	0,4060 A	↑
v_L	209,9V	248,1V	↑
p_{out}	0,8011kW	1,119kW	↑
η	-	83,04%	-

Πίνακας 2.25 Τιμές μεγεθών για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.

2.3.50 Επαλήθευση τιμών 17^{ου} λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 3,015\text{N} \cdot \text{m} \cdot 4.267 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 1,347\text{kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{248,1\text{V}}{610,94\Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,4061\text{A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f)R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{248,1\text{V} + 0,4061\text{A} \cdot 55\Omega}{55\Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 4,917\text{A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 248,1\text{V} + 4,917\text{A} \cdot 1,204\Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 254,0\text{V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 4,917\text{A} \cdot 0,4061\text{A} \cdot 1,4\text{H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 2,796\text{N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 248,1\text{V} \cdot (4,917\text{A} - 0,4061\text{A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 1,119\text{kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{1,119\text{kW}}{1,347\text{kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 83,07\%}$$

Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

2.3.51 Σχολιασμός 17^ο λειτουργικού σεναρίου

Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι:

- Οι **στροφές** αυξήθηκαν μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, οι στροφές είναι ανάλογες της τάσης του φορτίου, του ρεύματος τυμπάνου και της ωμικής αντίστασης τυμπάνου και αντιστρόφως ανάλογες του ρεύματος διέγερσης και της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης. Η τάση φορτίου και το ρεύμα τυμπάνου αυξήθηκαν, η ωμική αντίσταση τυμπάνου μειώθηκε, το ρεύμα διέγερσης αυξήθηκε και η αλληλεπαγωγή τυμπάνου και διέγερσης μειώθηκε. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της τάσης του φορτίου, του ρεύματος τυμπάνου και της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης και οι στροφές, τελικά, αυξήθηκαν.
- Η **ισχύς εισόδου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ισχύς εισόδου είναι ανάλογη της μηχανικής ροπής και των στροφών. Η πρώτη παρέμεινε σταθερή, ενώ οι δεύτερες αυξήθηκαν, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκε και η ισχύς εισόδου.
- Η **εξ επαγωγής τάση τυμπάνου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η εξ επαγωγής τάση τυμπάνου είναι ανάλογη του ρεύματος διέγερσης, των στροφών και της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης. Οι πρώτες δύο μεταβλητές αυξήθηκαν, ενώ η τρίτη μειώθηκε. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή των πρώτων δύο και η εξ επαγωγής τάση τυμπάνου, τελικά, αυξήθηκε.
- Το **ρεύμα τυμπάνου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, το ρεύμα τυμπάνου είναι ανάλογο της ηλεκτρομαγνητικής ροπής και αντιστρόφως ανάλογο του ρεύματος διέγερσης και της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης. Η πρώτη μεταβλητή μειώθηκε, η δεύτερη αυξήθηκε, ενώ η τρίτη μειώθηκε. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της πρώτης και της τρίτης και το ρεύμα τυμπάνου, τελικά, αυξήθηκε. Η αύξηση αυτή είναι αναμενόμενη, αφού υπάρχει μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου.
- Η **ηλεκτρομαγνητική ροπή** μειώθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ηλεκτρομαγνητική ροπή είναι ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου, του ρεύματος διέγερσης και της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης. Τα πρώτα δύο αυξήθηκαν, ενώ το τρίτο μειώθηκε. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή του τρίτου και η ηλεκτρομαγνητική ροπή, τελικά, μειώθηκε.
- Το **ρεύμα διέγερσης** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, το ρεύμα διέγερσης είναι ανάλογο της τάσης φορτίου. Αυτή αυξήθηκε, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκε και το ρεύμα διέγερσης.
- Η **τάση φορτίου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η τάση φορτίου είναι ανάλογη της εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου και αντιστρόφως ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου και της ωμικής αντίστασης τυμπάνου. Οι πρώτες δύο μεταβλητές αυξήθηκαν, ενώ η δεύτερη μειώθηκε. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της πρώτης και της τρίτης και η τάση φορτίου, τελικά, αυξήθηκε.

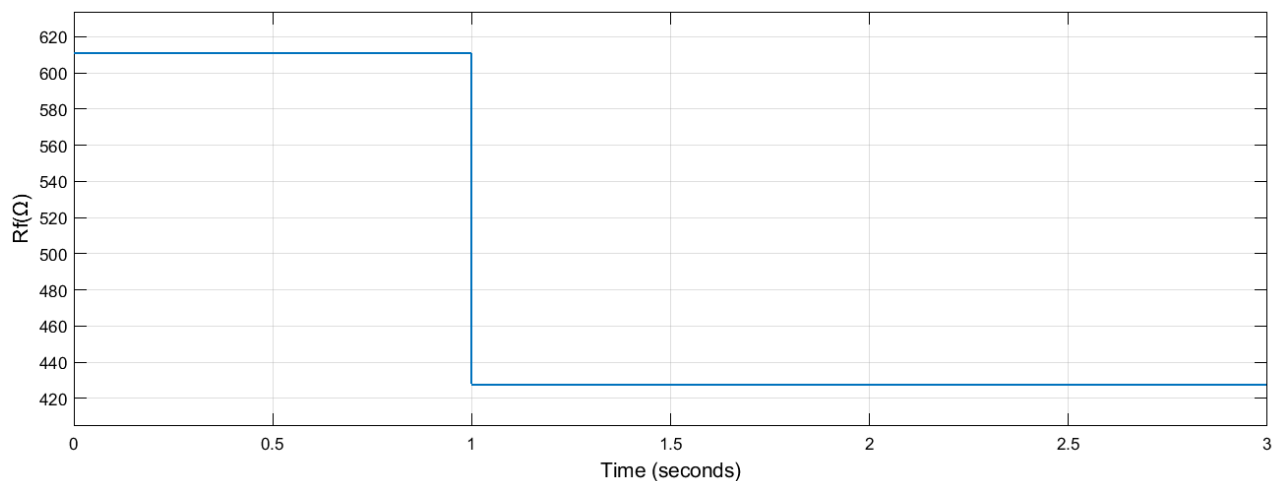
Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια

- Η ισχύς εξόδου αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ισχύς εξόδου είναι ανάλογη της τάσης φορτίου και του ρεύματος φορτίου. Και οι δύο μεταβλητές αυξήθηκαν, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκε και η ισχύς εξόδου.

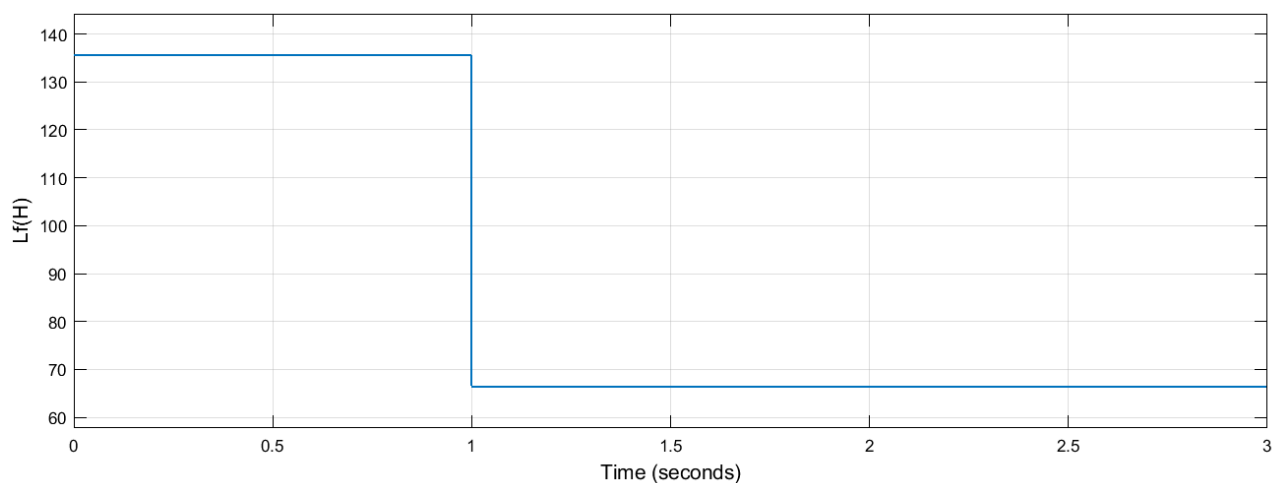
2.3.52 Λειτουργικό σενάριο 18^ο: Μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης

Στην ακόλουθη ενότητα θα διερευνήσουμε τη συμπεριφορά της γεννήτριας για βηματικές μεταβολές της ωμικής αντίστασης και της αυτεπαγωγής διέγερσης, αλλά και της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης, τέτοιες ώστε να μπορεί να θεωρηθεί σαν μερικό βραχυκύκλωμα. Αρχικά, η γεννήτρια λειτουργεί στη μόνιμη κατάσταση σε ονομαστικές συνθήκες. Η μηχανική ροπή, καθώς και η ωμική αντίσταση φορτίου είναι σταθερές και ίσες με $3,015\text{N}\cdot\text{m}$ και 55Ω , αντίστοιχα. Η βηματική μεταβολή εφαρμόζεται την χρονική στιγμή $t = 1\text{s}$.

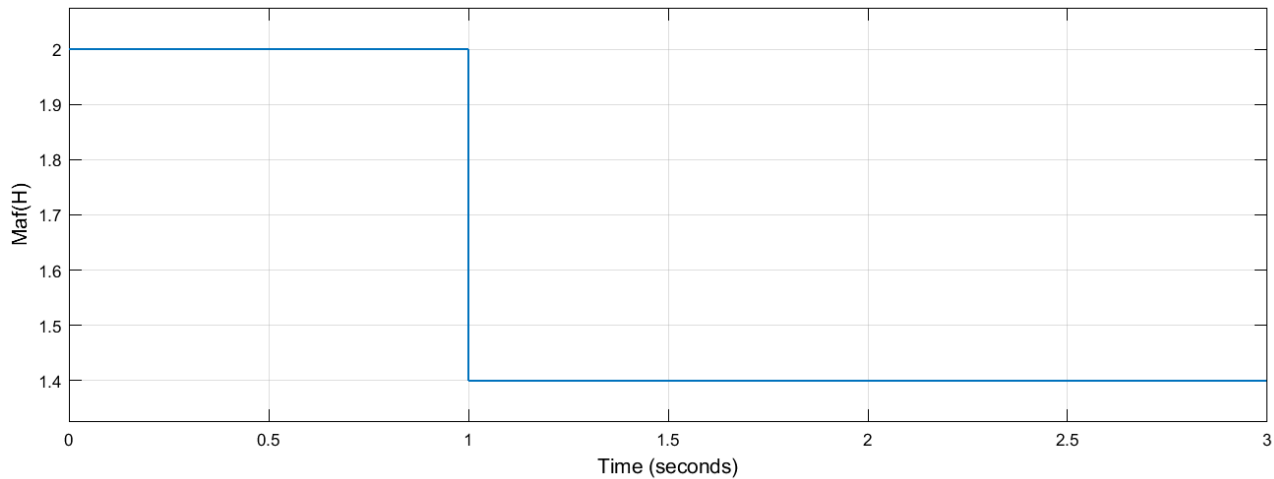
Προσομοιώνουμε το σύστημα στο Simulink. Εφαρμόζουμε μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα τυμπάνου και συγκεκριμένα βηματική μείωση -30% της R_f και της M_{af} και -51% της L_f . Οι αποκρίσεις και οι τελικές τιμές των $R_f(t)$, $L_f(t)$, $M_{af}(t)$, $R_L(t)$, $\tau_m(t)$, $n(t)$, $p_{in}(t)$, $e_a(t)$, $i_a(t)$, $\tau_{em}(t)$, $i_f(t)$, $v_L(t)$ και $p_{out}(t)$ είναι αντίστοιχα:



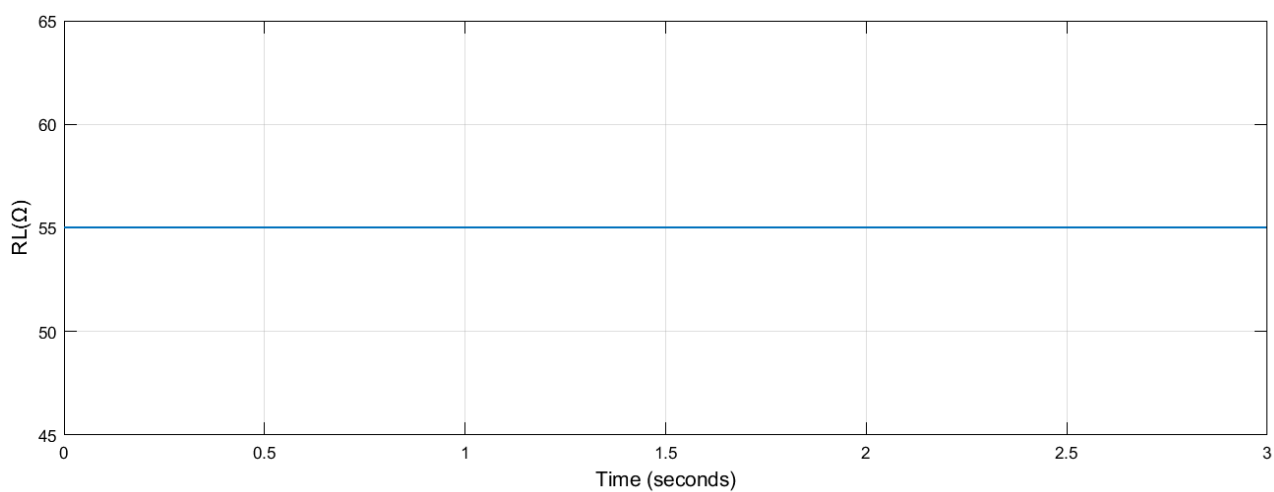
Εικόνα 2.196 Βηματική μεταβολή -30% της ωμικής αντίστασης διέγερσης.



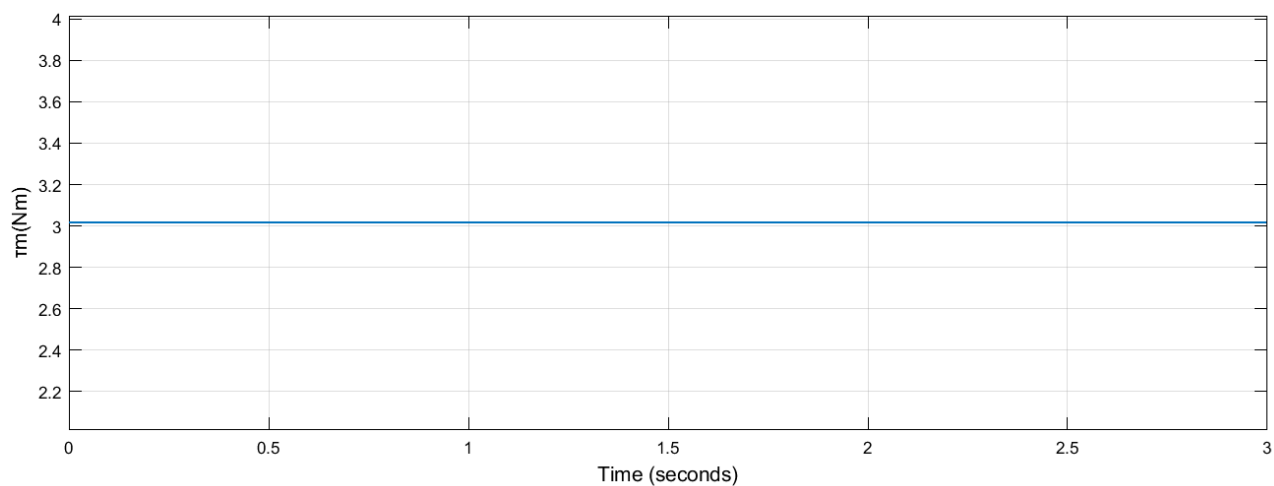
Εικόνα 2.197 Βηματική μεταβολή -51% της αυτεπαγωγής διέγερσης.



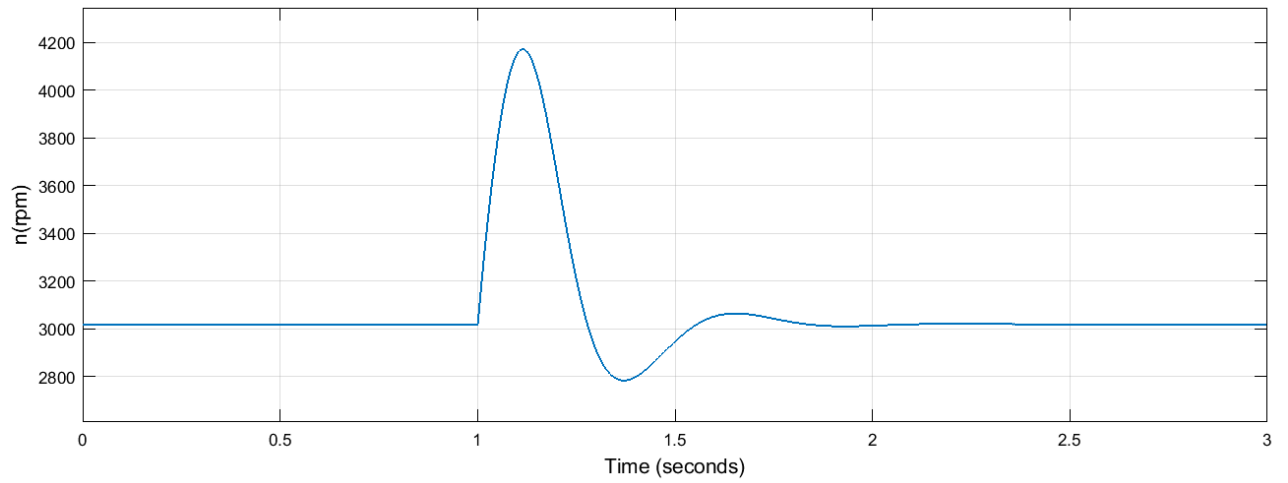
Εικόνα 2.198 Βηματική μεταβολή -30% της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης.



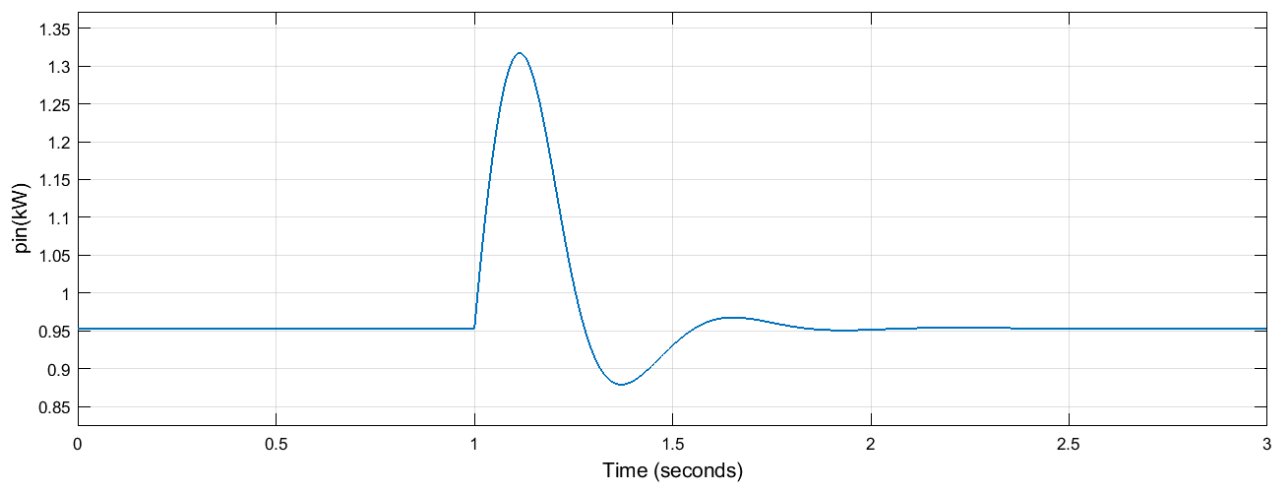
Εικόνα 2.199 Σταθερή μεταβολή ωμικής αντίστασης φορτίου στα 55Ω.



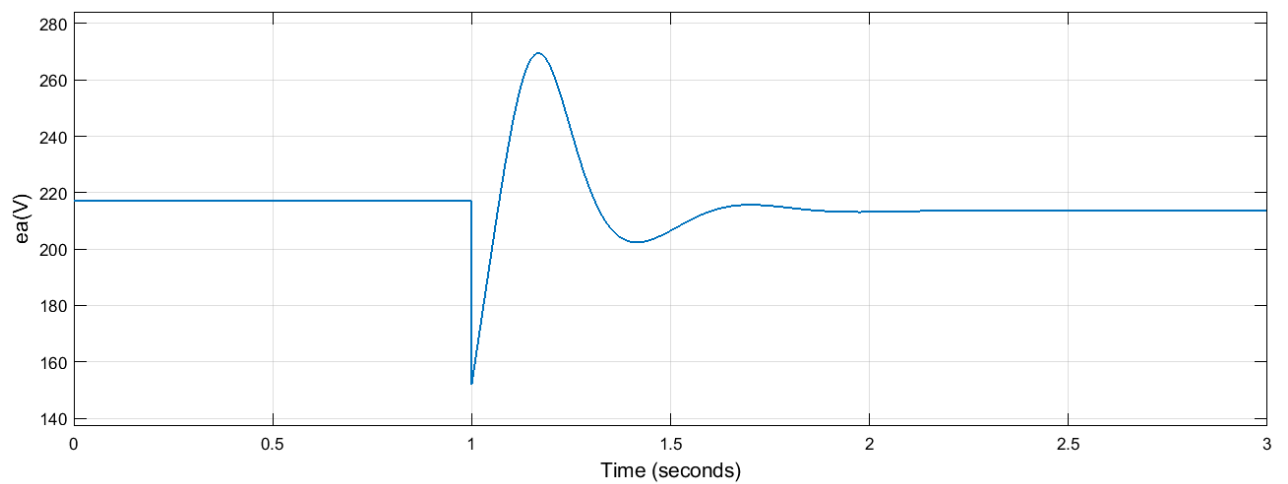
Εικόνα 2.200 Σταθερή μεταβολή μηχανικής ροπής στα 3,015Nm.



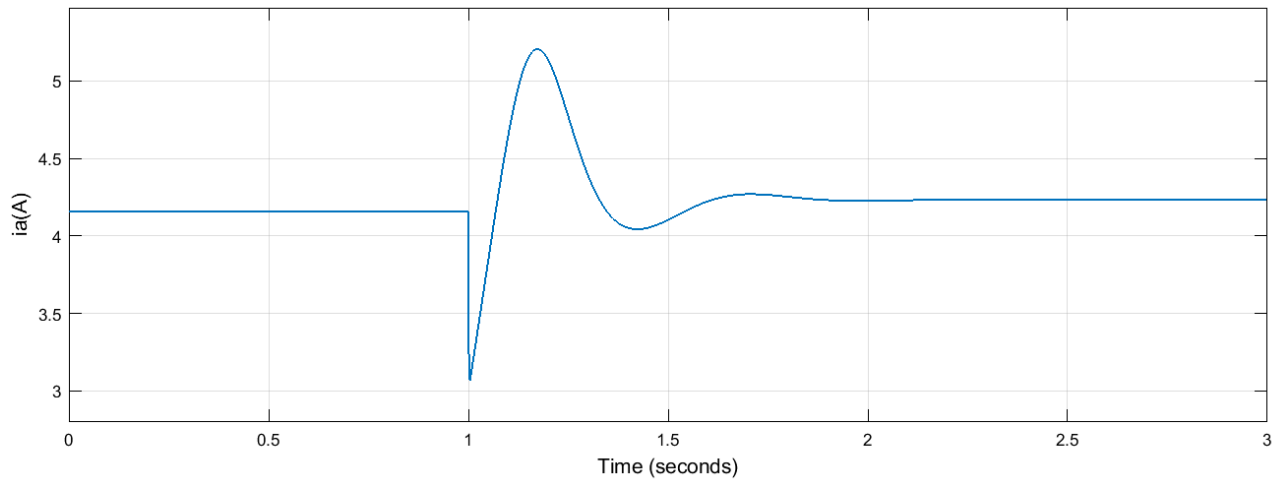
Εικόνα 2.201 Απόκριση στροφών για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.



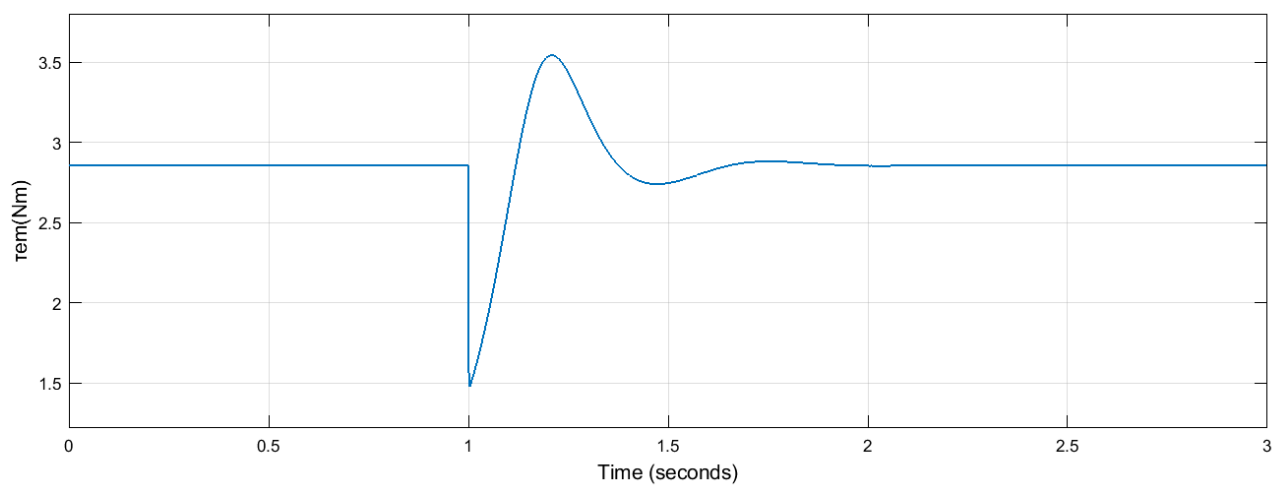
Εικόνα 2.202 Απόκριση ισχύος εισόδου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.



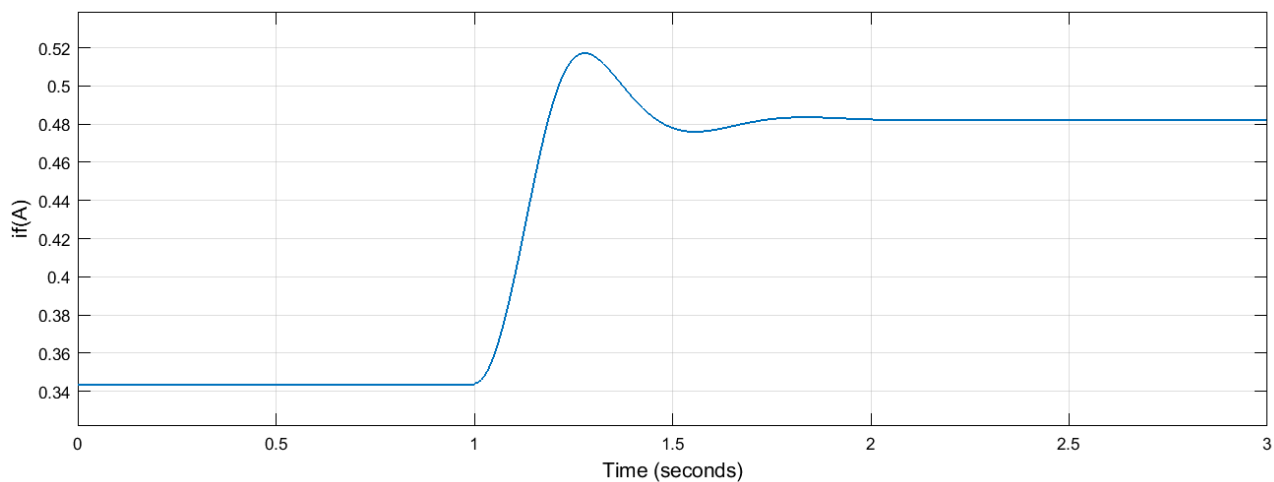
Εικόνα 2.203 Απόκριση εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.



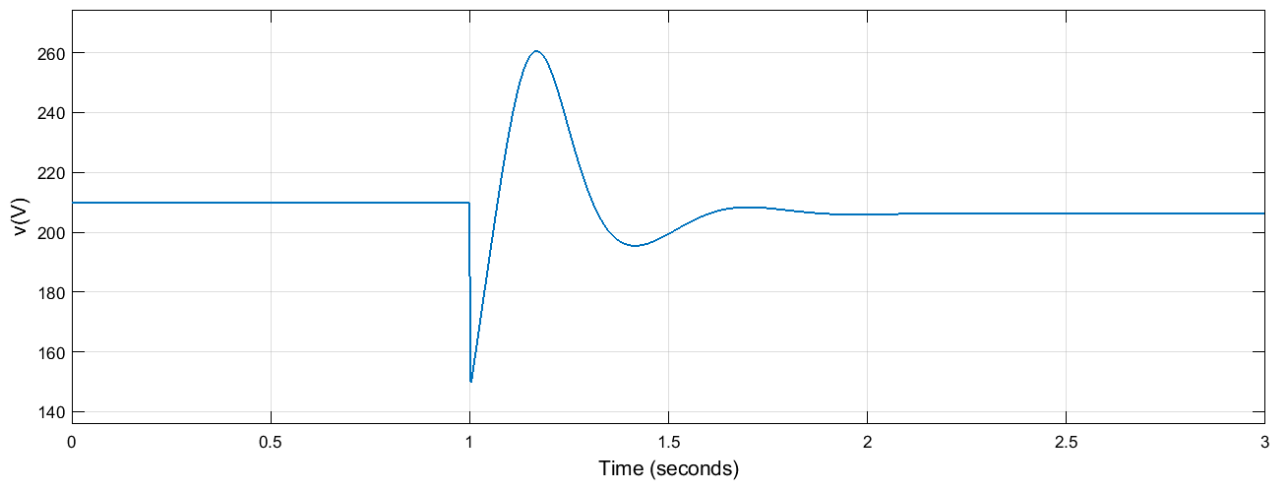
Εικόνα 2.204 Απόκριση ρεύματος τυμπάνου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.



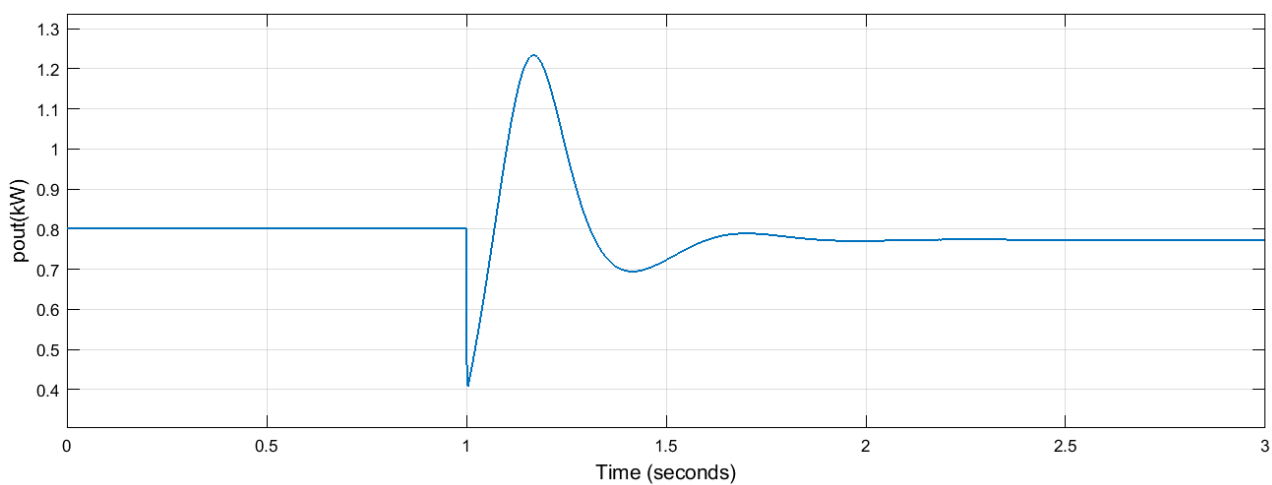
Εικόνα 2.205 Απόκριση ηλεκτρομαγνητικής ροπής για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.



Εικόνα 2.206 Απόκριση ρεύματος διέγερσης για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.



Εικόνα 2.207 Απόκριση τάσης φορτίου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.



Εικόνα 2.208 Απόκριση ισχύος εξόδου για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.

Τιμές μεγεθών για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης

Μέγεθος	Αρχική τιμή	Τελική τιμή	Μεταβολή
R_f	610,94Ω	427,658Ω	↓
L_f	135,58H	66,4342H	↓
M_{af}	2,00H	1,40H	↓
R_L	55Ω	55Ω	-
τ_m	3,015N · m	3,015N · m	-
n	3.016rpm	3.020rpm	↑
p_{in}	0,9524kW	0,9535kW	↑
e_a	217,1V	213,6V	↓
i_a	4,160A	4,233A	↑
τ_{em}	2,859N · m	2,858N · m	↓
i_f	0,3436A	0,4824 A	↑
v_L	209,9V	206,3V	↓
p_{out}	0,8011kW	0,7737kW	↓
η	-	81,14%	-

Πίνακας 2.26 Τιμές μεγεθών για μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.

2.3.53 Επαλήθευση τιμών 18^ο λειτουργικού σεναρίου

Με δεδομένα τα: n , T_m , V_L και R_L υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη ως εξής:

$$P_{in} = T_m \omega_m \Rightarrow P_{in} = 3,015 \text{N} \cdot \text{m} \cdot 3,020 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P_{in} \cong 0,9535 \text{kW}}$$

$$V_L = I_f R_f \Rightarrow I_f = \frac{V_L}{R_f} \Rightarrow I_f = \frac{206,3 \text{V}}{427,658 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_f \cong 0,4824 \text{A}}$$

$$V_L = (I_a - I_f) R_L \Rightarrow I_a = \frac{V_L + I_f R_L}{R_L} \Rightarrow I_a = \frac{206,3 \text{V} + 0,4824 \text{A} \cdot 55 \Omega}{55 \Omega} \Rightarrow \boxed{I_a \cong 4,233 \text{A}}$$

$$V_L = E_a - I_a R_a \Rightarrow E_a = V_L + I_a R_a \Rightarrow E_a = 206,3 \text{V} + 4,233 \text{A} \cdot 1,72 \Omega \Rightarrow \boxed{E_a \cong 213,6 \text{V}}$$

$$T_{em} = I_a I_f M_{af} \Rightarrow T_{em} = 4,233 \text{A} \cdot 0,4824 \text{A} \cdot 1,4 \text{H} \Rightarrow \boxed{T_{em} \cong 2,859 \text{N} \cdot \text{m}}$$

$$P_{out} = V_L (I_a - I_f) \Rightarrow P_{out} = 206,3 \text{V} \cdot (4,233 \text{A} - 0,4824 \text{A}) \Rightarrow \boxed{P_{out} \cong 0,7737 \text{kW}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{0,7737\text{kW}}{0,9535\text{kW}} \Rightarrow \boxed{\eta \cong 81,14\%}$$

Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι περίπου ίσες με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές. Άρα, οι τιμές επαληθεύονται.

2.3.54 Σχολιασμός 17^ο λειτουργικού σεναρίου

Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι:

- Οι **στροφές** αυξήθηκαν μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, οι στροφές είναι ανάλογες της τάσης του φορτίου, του ρεύματος τυμπάνου και της ωμικής αντίστασης τυμπάνου και αντιστρόφως ανάλογες του ρεύματος διέγερσης και της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης. Η τάση φορτίου μειώθηκε, το ρεύμα τυμπάνου αυξήθηκε, η ωμική αντίσταση τυμπάνου παραμένει σταθερή, το ρεύμα διέγερσης αυξάνεται και η αλληλεπαγωγή τυμπάνου και διέγερσης μειώνεται. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης και οι στροφές, τελικά, αυξήθηκαν.
- Η **ισχύς εισόδου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ισχύς εισόδου είναι ανάλογη της μηχανικής ροπής και των στροφών. Η πρώτη παρέμεινε σταθερή, ενώ οι δεύτερες αυξήθηκαν, άρα για τον λόγο αυτό αυξήθηκε και η ισχύς εισόδου.
- Η **εξ επαγωγής τάση τυμπάνου** μειώθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η εξ επαγωγής τάση τυμπάνου είναι ανάλογη του ρεύματος διέγερσης, των στροφών και της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης. Οι πρώτες δύο μεταβλητές αυξήθηκαν, ενώ η τρίτη μειώθηκε. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της τρίτης και η εξ επαγωγής τάση τυμπάνου, τελικά, μειώθηκε.
- Το **ρεύμα τυμπάνου** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, το ρεύμα τυμπάνου είναι ανάλογο της ηλεκτρομαγνητικής ροπής και αντιστρόφως ανάλογο του ρεύματος διέγερσης και της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης. Η πρώτη μεταβλητή μειώθηκε, η δεύτερη αυξήθηκε, ενώ η τρίτη μειώθηκε. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της πρώτης και της τρίτης και το ρεύμα τυμπάνου, τελικά, αυξήθηκε.
- Η **ηλεκτρομαγνητική ροπή** μειώθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ηλεκτρομαγνητική ροπή είναι ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου, του ρεύματος διέγερσης και της αλληλεπαγωγής τυμπάνου και διέγερσης. Τα πρώτα δύο αυξήθηκαν, ενώ το τρίτο μειώθηκε. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή του τρίτου και η ηλεκτρομαγνητική ροπή, τελικά, μειώθηκε.
- Το **ρεύμα διέγερσης** αυξήθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, το ρεύμα διέγερσης είναι ανάλογο της τάσης φορτίου και αντιστρόφως ανάλογο της ωμικής αντίστασης διέγερσης. Η πρώτη μεταβλητή μειώθηκε, ενώ η δεύτερη αυξήθηκε. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της δεύτερης και το ρεύμα διέγερσης, τελικά, αυξήθηκε. Η αύξηση αυτή είναι αναμενόμενη, αφού υπάρχει μερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα διέγερσης.
- Η **τάση φορτίου** μειώθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η τάση φορτίου είναι ανάλογη της εξ επαγωγής τάσης τυμπάνου και αντιστρόφως ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου και της ωμικής αντίστασης τυμπάνου. Οι πρώτες δύο μεταβλητές αυξήθηκαν, ενώ η δεύτερη παρέμεινε σταθερή. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της δεύτερης και η τάση φορτίου, τελικά, μειώθηκε.

- Η **ισχύς εξόδου** μειώθηκε μετά από αποσβεννύμενη ταλάντωση. Γενικά, η ισχύς εξόδου είναι ανάλογη της τάσης φορτίου και του ρεύματος φορτίου. Η πρώτη μεταβλητή μειώθηκε, ενώ η δεύτερη αυξήθηκε. Φαίνεται ότι υπερίσχυσε η μεταβολή της πρώτης και η ισχύς εξόδου, τελικά, μειώθηκε.

2.3.55 Σχολιασμός αποτελεσμάτων λειτουργικών σεναρίων

Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι:

- Οι **στροφές** αυξάνονται με την μείωση της ωμικής αντίστασης του φορτίου και μειώνονται με την αύξησή της. Αυξάνονται, επίσης, με την ύπαρξη μερικού βραχυκυκλώματος στο τύλιγμα διέγερσης.
- Η **ισχύς εισόδου** αυξάνεται με την μείωση της ωμικής αντίστασης του φορτίου και μειώνεται με την αύξησή της. Αυξάνεται, επίσης, με την ύπαρξη μερικού βραχυκυκλώματος στο τύλιγμα διέγερσης.
- Η **εξ επαγωγής τάση τυμπάνου** αυξάνεται με την αύξηση της ωμικής αντίστασης του φορτίου και μειώνεται με την μείωσή της. Μειώνεται, επίσης, με την ύπαρξη μερικού βραχυκυκλώματος στο τύλιγμα διέγερσης.
- Το **ρεύμα τυμπάνου** αυξάνεται με την μείωση της ωμικής αντίστασης του φορτίου και μειώνεται με την αύξησή της. Αυξάνεται, επίσης, με την ύπαρξη μερικού βραχυκυκλώματος στο τύλιγμα διέγερσης.
- Η **ηλεκτρομαγνητική ροπή** αυξάνεται με την αύξηση της ωμικής αντίστασης του φορτίου και μειώνεται με την μείωσή της. Μειώνεται, επίσης, με την ύπαρξη μερικού βραχυκυκλώματος στο τύλιγμα διέγερσης.
- Το **ρεύμα διέγερσης** αυξάνεται με την αύξηση της ωμικής αντίστασης του φορτίου και μειώνεται με την μείωσή της. Αυξάνεται, επίσης, με την ύπαρξη μερικού βραχυκυκλώματος στο τύλιγμα διέγερσης.
- Η **τάση φορτίου** αυξάνεται με την αύξηση της ωμικής αντίστασης του φορτίου και μειώνεται με την μείωσή της. Μειώνεται, επίσης, με την ύπαρξη μερικού βραχυκυκλώματος στο τύλιγμα διέγερσης.
- Η **ισχύς εξόδου** αυξάνεται με την μείωση της ωμικής αντίστασης του φορτίου και μειώνεται με την αύξησή της. Μειώνεται, επίσης, με την ύπαρξη μερικού βραχυκυκλώματος στο τύλιγμα διέγερσης.
- Ο **βαθμός απόδοσης** αυξάνεται με την μείωση της ωμικής αντίστασης του φορτίου και μειώνεται με την αύξησή της.
- **Όλα τα μεγέθη, πλην των στροφών** οι οποίες επανέρχονται στην αρχική τους τιμή, αυξάνονται με την αύξηση της μηχανικής ροπής και μειώνονται με την μείωσή της.
- **Όλα τα μεγέθη, πλην του ρεύματος τυμπάνου και της ηλεκτρομαγνητικής ροπής**, αυξάνονται με την αύξηση της ωμικής αντίστασης διέγερσης και μειώνονται με την μείωσή της.
- **Όλα τα μεγέθη, πλην της ηλεκτρομαγνητικής ροπής**, αυξάνονται με την ύπαρξη μερικού βραχυκυκλώματος στο τύλιγμα τυμπάνου.

3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εκ των αποτελεσμάτων της εργασίας συμπεραίνουμε τα κάτωθι:

- Η **μοντελοποίηση** της γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης ήταν επιτυχής, καθότι οι τιμές μόνιμης κατάστασης επαληθεύθηκαν, χάρη στις θεωρητικές εξισώσεις του ισοδύναμου κυκλώματός της.
- Σε όλες τις αποκρίσεις της δυναμικής ανάλυσης παρατηρούνται ταλαντώσεις προτού το εκάστοτε μέγεθος συγκλίνει στην τελική του τιμή. Αυτό υποδηλώνει ότι το σύστημα μίας γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης είναι **τάξης** μεγαλύτερης της 1^{ης} και **ευσταθές**.
- Οι **στροφές** σε πολλά λειτουργικά σενάρια, ειδικά σε αυτά στα οποία αυξάνεται το ρεύμα τυμπάνου, υπερβαίνουν κατά πολύ την ονομαστική τιμή των 3.000rpm. Παρατηρείται, δηλαδή, υπερτάχυνση της γεννήτριας. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την καταστροφή της. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου, χρειάζεται ένα σύστημα προστασίας από υπερταχύσεις.
- Η μείωση της ωμικής αντίστασης φορτίου, δηλαδή η αύξηση του φορτίου, η αύξηση της μηχανικής ροπής και η ύπαρξη μερικού βραχυκυκλώματος τόσο στο τύλιγμα τυμπάνου όσο και στο τύλιγμα διέγερσης επιφέρουν αύξηση του **ρεύματος τυμπάνου**. Στα λειτουργικά σενάρια αυτή η αύξηση ήταν κάτω της ονομαστικής τιμής των 7A, άρα η γεννήτρια δεν χρειάζεται κάποια ασφάλεια. Σε αντίθετη περίπτωση, θα χρειαζόταν. Ανάλογη τροποποίηση θα χρειαζόταν και στο τύλιγμα διέγερσης.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα λειτουργικά σενάρια κατά τα οποία μεταβάλλεται η **μηχανική ροπή**. Σε αυτά, όσο και αν μεταβληθεί η μηχανική ροπή, οι στροφές, τελικά, επανέρχονται στην αρχική τους τιμή. Αυτό συμβαίνει, διότι κατ'αναλογία με την μηχανική ροπή μεταβάλλεται και η ηλεκτρομαγνητική ροπή σε τέτοιο βαθμό, ώστε, σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Newton, να έχουν τέτοια σχέση, ώστε η γωνιακή επιτάχυνση του δρομέα να είναι μηδενική.
- Ο **βαθμός απόδοσης** της γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης κυμαίνεται μεταξύ 80% και 90%, κάτι το οποίο είναι κοινώς γνωστό, άρα και αναμενόμενο. Στην προκειμένη περίπτωση, υποδηλώνει ότι το συγκεκριμένο μοντέλο γεννήτριας, ονομαστικής ισχύος 1kW, αποδίδει περίπου 0,8kW στο φορτίο.

Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης για διάφορα λειτουργικά σενάρια
Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- (2013). Π. Β. Μαλατέστας, *ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ* (σ. 776). Αθήνα: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- (2014). Π. Β. Μαλατέστας, *ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ* (σ. 992). Αθήνα: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- (2015). Π. Β. Μαλατέστας, *ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ* (σ. 699). Αθήνα: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- (2015). Κ. Σ. Ψωμόπουλος, *Ηλεκτρικές Μετρήσεις* (σ. 423). Πειραιάς: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΣΟΤΡΑΣ.
- (2016). Ν. Ι. Μάργαρης, *ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ* (σ. 888). Βόλος: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- (2017). Π. Β. Μαλατέστας, *ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ* (σ. 828). Αθήνα: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- (2021). Π. Β. Μαλατέστας, *ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ* (σ. 799). Αθήνα: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.