

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3

ΟΜΑΔΑ Θ4

ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΜΕΡΚΟΥΡΙΑΔΗΣ	ΑΜ:1066637
ΜΑΡΙΟΣ-ΧΡΗΣΤΟΣ ΣΤΑΜΑΤΙΟΥ	ΑΜ:1066488
ΣΩΤΗΡΗΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ	ΑΜ:1066487
ΑΛΕΞΙΑ ΣΟΥΒΑΛΙΩΤΗ	ΑΜ:1066597
ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ ΠΕΝΘΕΡΟΥΔΑΚΗΣ	ΑΜ:1066635
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ-ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΝΤΕΛΛΑΣ	ΑΜ:1070511

Σκοπός της άσκησης

Η μελέτη λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα και η εύρεση των χαρακτηριστικών λειτουργίας αυτού.

ΑΣΚΗΣΗ:

2.1. Τα στοιχεία της μηχανής:

Pn(VA)	Vn(V)	Fn(Hz)	n(RPM)
4000	400	50	1430

Όπου:

- Pn η ονομαστική φαινόμενη ισχύς στον άξονα, 4000VA,
- Vn η ονομαστική τάση (πολική στον στάτη) είναι 400V και
- n οι ονομαστικές στροφές είναι 1430 στροφές το λεπτό.

Από τις στροφές μπορούμε να βρούμε το αριθμό των ζευγών των πόλων (και θεωρούμε $n_s=1500$):

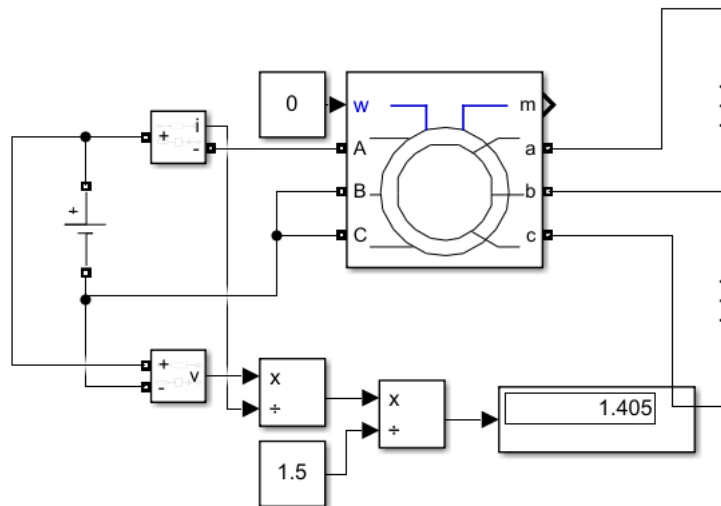
$$P=(f*60)/n_s = (50*60)/1500 = 2 \text{ ζεύγη πόλων}$$

Για να υπολογίσουμε την αντίσταση του δρομέα πραγματοποιούμε την παρακάτω συνδεσμολογία. Έχουμε συνδέσει πηγή DC με τιμή κατάλληλη ώστε να έχουμε ονομαστικό ρεύμα ($I_N=(4000/3)/(400/\sqrt{3})=5.77A$). Διαιρούμε την τάση με το ρεύμα του στάτη που προκύπτει και έχουμε τα παρακάτω.

$$\text{Έχω: } R_1=V/I = 2.10$$

Λόγω της σύνδεσης που έχουμε κάνει τιμή της R_1 που βρήκαμε είναι ίση με $R_s+R_s//R_s=(3/2)R_s$ άρα το αποτέλεσμα θα είναι $R_s=2.10/1.5 = 1.405\Omega$ όπως φαίνεται και στο display.

.



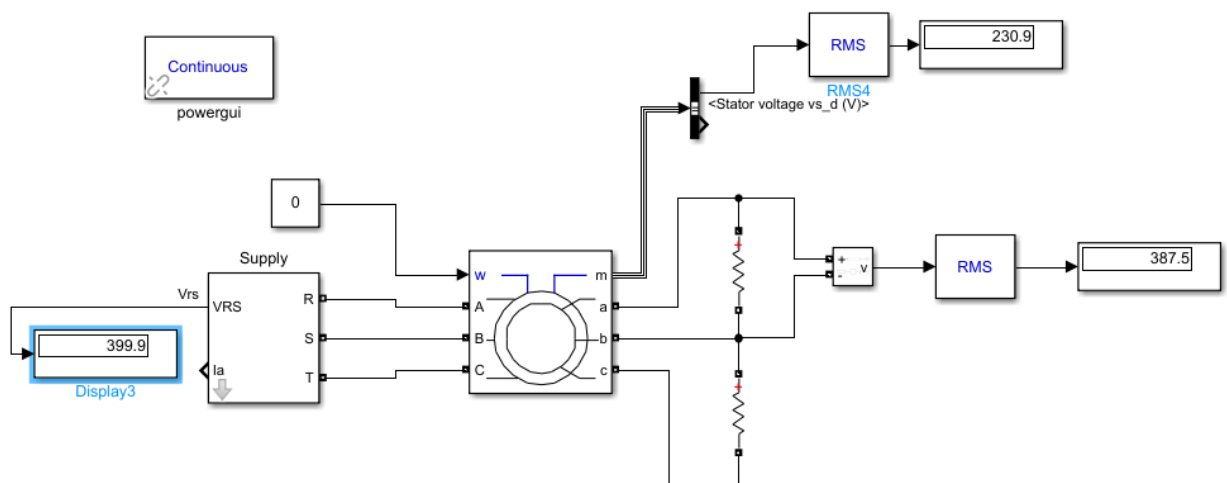
Όμοια και για τον δρομέα .Συνδέουμε μια DC πηγή στους ακροδέκτες A και BC και ακολουθώντας ακριβώς την ίδια λογική βρίσκουμε $R1 = V/I = 2.092\Omega$

Για τον λόγο που προαναφέραμε διαιρούμε με 3/2 για να βρούμε την αντίσταση του δρομέα

$Rr = 2.092/1.5 = 1.395\Omega$ η οποία είναι ίδια με την Pr' που δίνεται στις παραμέτρους δηλαδή την ανηγμένη στο στάτη αντίσταση του δρομέα όπως και θα περιμέναμε αφού ο λόγος μετασχηματισμού είναι 1.

2.2. Λόγος Μετασχηματισμού

Συνδέουμε την τριφασική πηγή τάσης 400V (supply) με τους ακροδέκτες A, B, C και φτιάχνουμε την παρακάτω συνδεσμολογία. Ορίζουμε την ταχύτητα από την είσοδο w ίση με 0 καθώς δεν θέλουμε να κινείται η μηχανή. Από το VRS του supply παίρνουμε την πολική τιμή της τάσης η οποία θα πρέπει να είναι όπως την αναθέσαμε δηλαδή 400V. Επίσης βλέπουμε και την τάση του στάτη να είναι 231V (άρα σύνδεση σε αστέρα) και την πολική τιμή της τάσης στον δρομέα να είναι 387.5V.



Άρα ο λόγος μετασχηματισμού είναι: $V = V_s/V_r = 400/387.5 = 1,032$

Η $230.9/(387.5/\sqrt{3})=1.032$. Βλέπουμε ότι δε βγαίνει ακριβώς 1 όπως αναφέρουν οι παράμετροι καθώς η ματλαμπ δε λειτουργεί αν αφήσουμε τον δρομέα ανοιχτό για αυτό προσομειώνουμε το ανοιχτοκύκλωμα με την σύνδεση 2 αντιστάσεων $1M\Omega$ και έτσι έχουμε μικρό σφάλμα.

2.3 Χαρακτηριστική καμπύλη φορτίου

Ονομαστική ροπή :

$$M_n = P/(2\pi \cdot n/60) = 4000/(2\pi \cdot 1430/60) = 26.71 \text{ Nm}$$

Μεταβάλλουμε την ροπή M από 0 έως M_n χρησιμοποιώντας ένα repeating sequence block συνδεδεμένο στην είσοδο της μηχανής mechanical input που έχουμε ορίσει T_m .

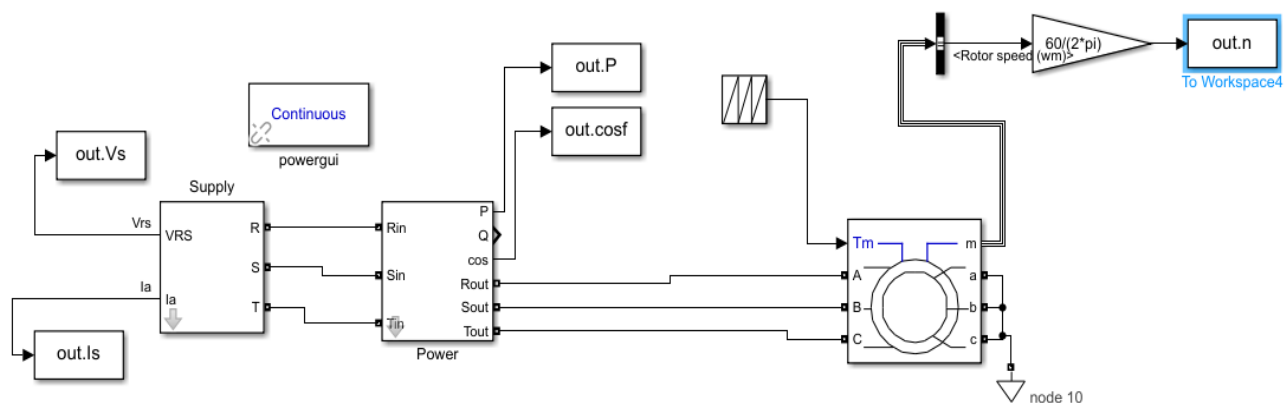
Για τον σκοπό αυτό χρειάστηκε ένας σύντομος κώδικας:

```

Editor - C:\Users\sotos\Desktop\MHXANES E\LAB_3\lab3.m
lab3.m
1  %time
2  t = 0:0.01:15;
3  %voltage
4  M = [0];
5  for i = 0:3:24
6      Mol = i*ones(150,1);
7      M = [M; Mol];
8  end
9  M = [M; 26.71*ones(150,1)];
10 plot(t, M)

```

Η υπόλοιπη συνδεσμολογία διαρθρώνεται ως εξής:



Οι μετρήσεις που πήραμε είναι:

M(Nm)	Ρεν(W)	n(rpm)	Is(A)
0	146.3	1501	4.14
3	620.4	1495	4.21
6	1099.0	1488	4.40
9	1582.4	1481	4.71
12	2070.6	1474	5.10
15	2563.8	1466	5.58

18	3062.2	1459	6.12
21	3566.0	1451	6.72
24	4075.5	1444	7.36
26.7113	4540.7	1434	7.95

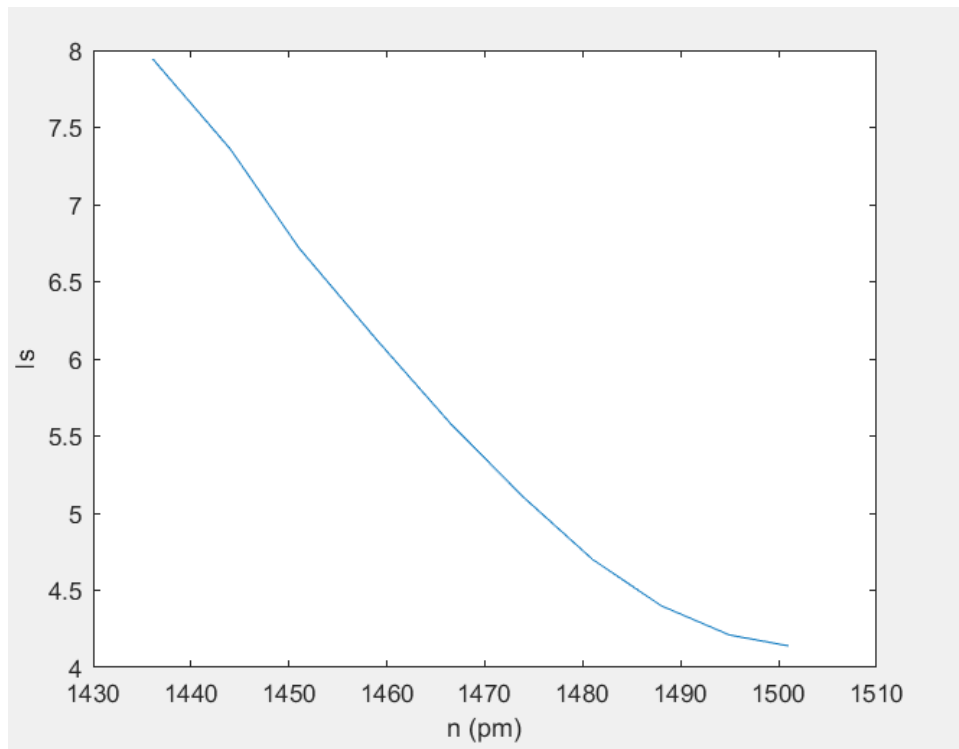
Το V_s ήταν σταθερό καθόλη την διάρκεια: $V_s = V_{sn} = 400V$ (πολική τάση στάτη).

Υπολογίζουμε:

- Την φαινόμενη ισχύ P_ϕ από τον τύπο $P_\phi = 3 \cdot V_\phi \cdot I_\phi$
- Την Αποδιδόμενη μηχανική ισχύ : $P_{mech} = M \cdot \Omega$ όπου $\Omega = 2\pi n / 60$
- Τον συντελεστή Ισχύος : $\cos\phi = P_{εν} / P_\phi$
- Την προσλαμβανόμενη άεργο ισχύ: $Q = (P_\phi^2 - P_{εν}^2)^{1/2}$
- Τον βαθμό απόδοσης η : $\eta = P_{mech} / P_{εν}$

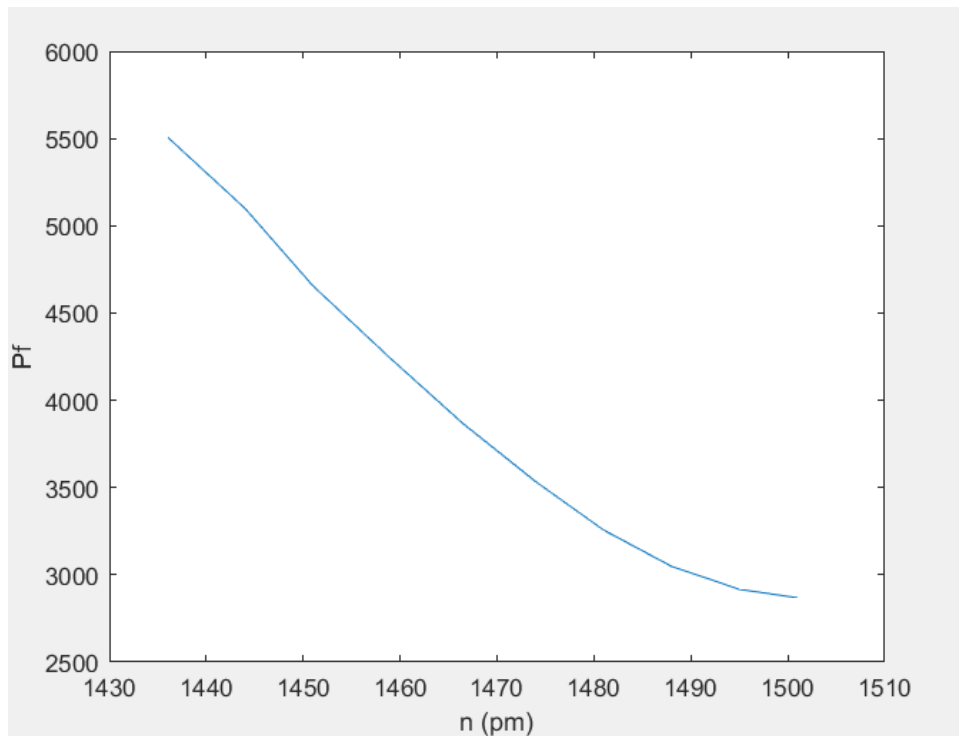
$P_\phi(VA)$	P_{mech}	$\cos\phi$	Q	η	$\eta \cdot \cos\phi$
2868.275	0	0.051	2868.2	0	0
2916.776	471.553	0.213	2849.9	0.760	0,176
3048.409	938.708	0.360	2842.9	0.854	0,307
3256.255	1395.810	0.486	2845.6	0.882	0,429
3533.383	1852.283	0.586	2863.0	0.895	0,524
3865.937	2302.787	0.663	2893.4	0.898	0,595
4240.060	2750,150	0.722	2932.6	0.898	0,648
4655.752	3190.916	0.766	2993.2	0.895	0,686
5099.157	3629.168	0.799	3064.5	0.890	0.711
5507.921	4017.877	0.824	3117.5	0.885	0,729

Παρακάτω φαίνονται τα ζητούμενα διαγράμματα:



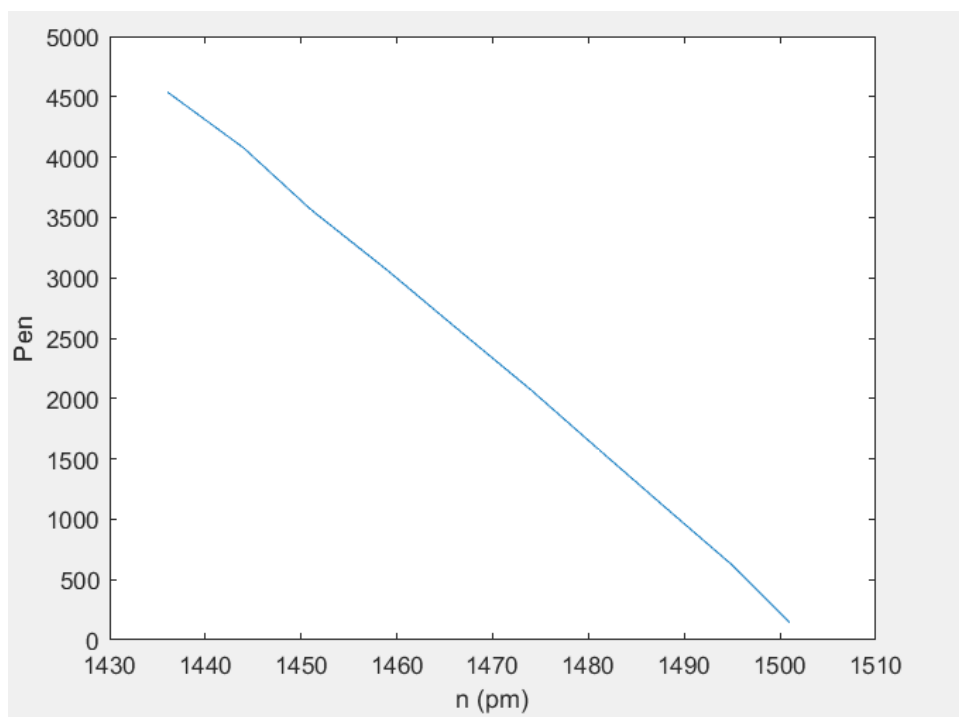
Is(n)

Η ενεργός τιμή του ρεύματος του στάτη αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με τη μείωση των στροφών όπως και θα περιμέναμε καθώς αποδίδεται μεγαλύτερη ροπή στο δρομέα. Παρατηρούμε επίσης ότι βρισκόμαστε σε ευσταθή λειτουργία.



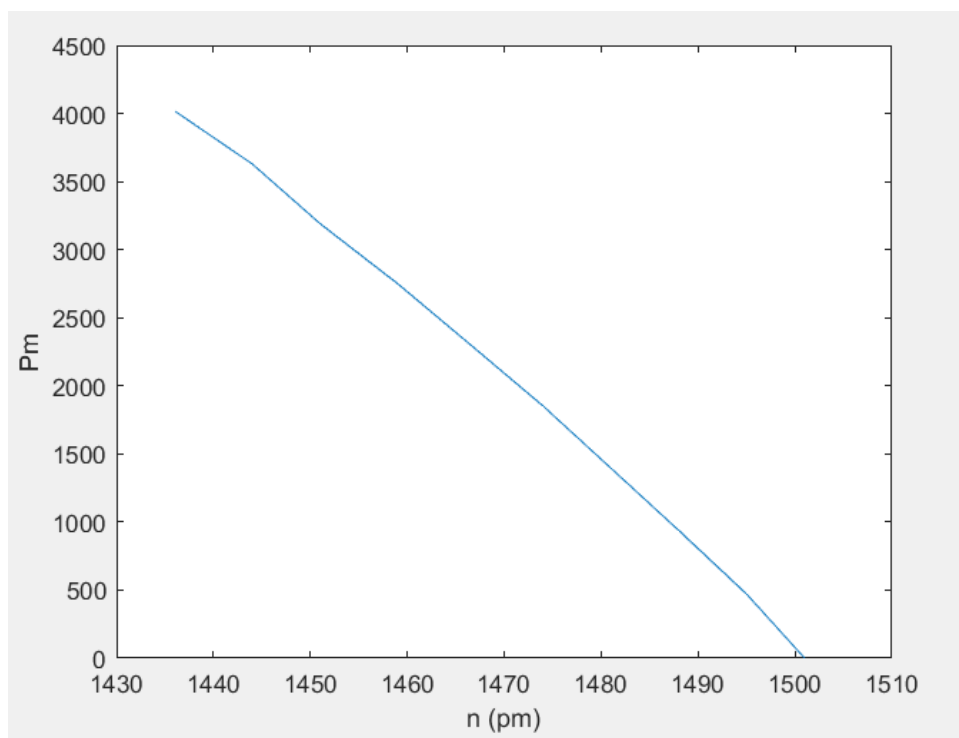
$P_\phi(n)$

Αφού η τάση του στάτη παραμένει σταθερή λόγω της σχέση $P_\phi = 3 \cdot V_\phi \cdot I_\phi$ παρατηρούμε ότι η φαινόμενη ισχύς P_ϕ έχει ίδια μορφή με αυτή του ρεύματος του στάτη συναρτήσει των στροφών.



$P_{εν}(n)$

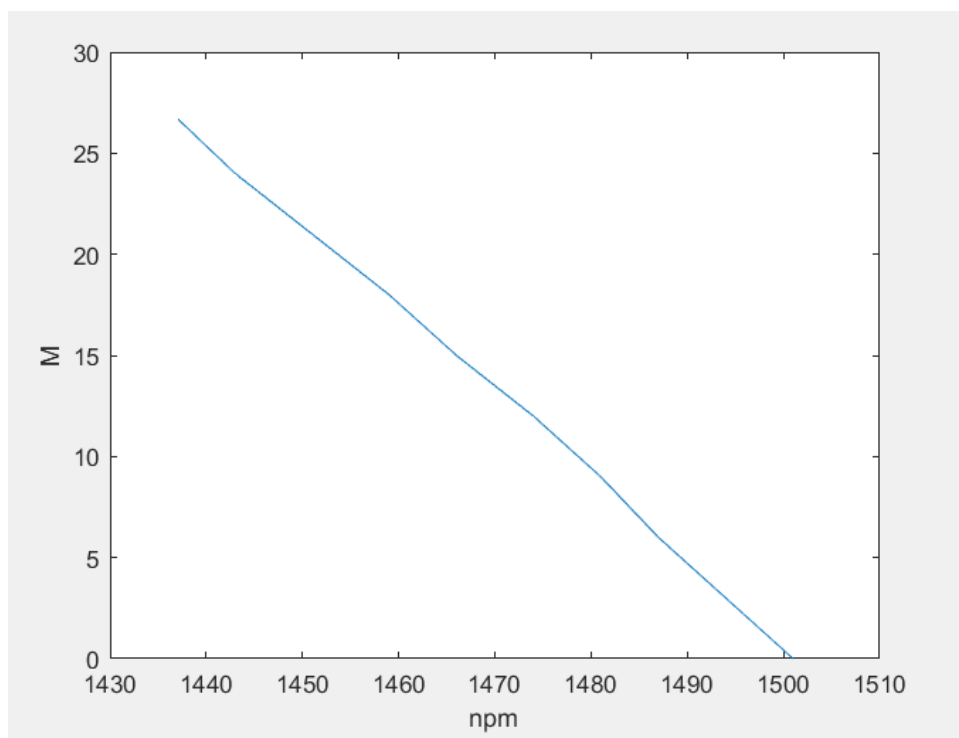
Όπως αναμέναμε η $P_{εν}$ θα πρέπει να είναι μικρότερη από την $P_φ$ και να αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό από την $P_φ$ εφόσον με τη μείωση των στροφών το I_s αυξάνεται αλλά εφόσον βρισκόμαστε στην ευσταθή λειτουργία και χρειαζόμαστε μεγαλύτερη ηλεκτρομαγνητική ροπή αυξάνεται και ο συντελεστής ισχύος (ο οποίος αναμένουμε να αυξάνεται αρχικά γρήγορα και όσο μικραίνουν οι στροφές πιο ομαλά όπως εξηγούμε και παρακάτω, και έτσι εξηγείται ο αρκετά μεγαλύτερος ρυθμός αύξησης της $P_{εν}$ σε σχέση με την $P_φ$, ειδικότερα κοντά στην σύγχρονη ταχύτητα.).



$P_{mech}(n)$

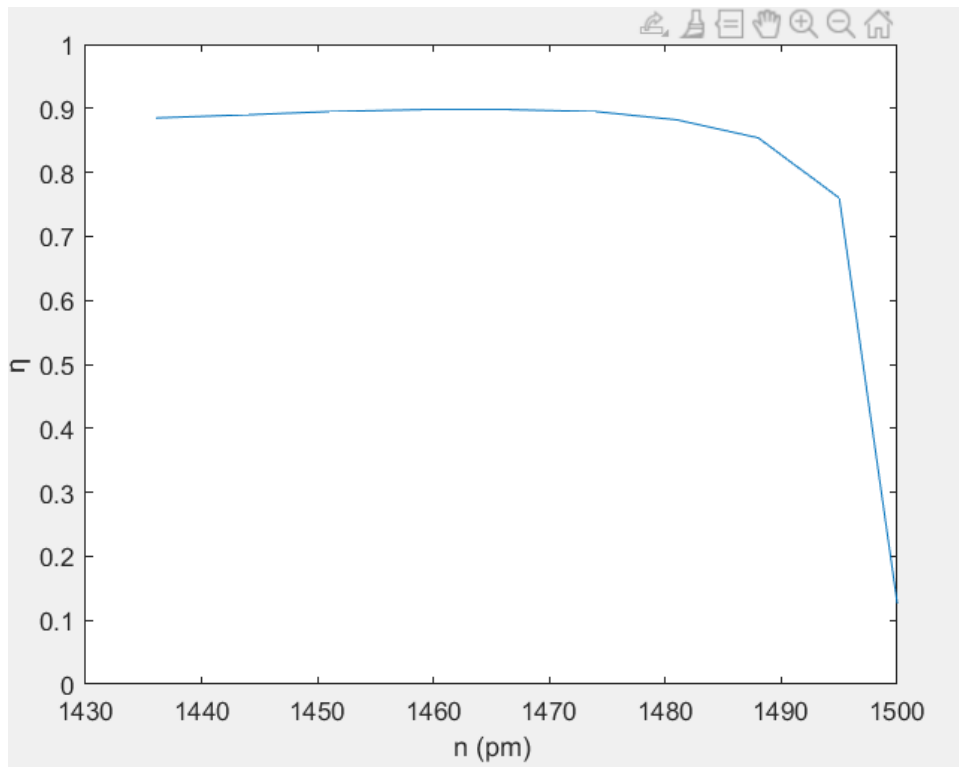
Ίδια μορφή με την $P_{εν}(n)$ όπως και θα αναμέναμε (και σχεδόν ίδιος ρυθμός αύξησης) αλλά φτάνει σε μικρότερη τιμή καθώς η αποδιδόμενη μηχανική ισχύς ισούται με την $P_{εν}$ μείον τις διάφορες απώλειες στον στάτη και στον δρομέα (όπως απώλειες σιδήρου και τυλιγμάτων στάτη που αν αφαιρεθούν από $P_{εν}$ δίνουν $P_δ$, απώλειες τριβής και τυλιγμάτων δρομέα και άλλες που αν αφαιρεθούν από την $P_δ$ δίνουν την P_{mech}). **Βέβαια όπως εξηγείται και στην ασκ 2.6 έχουμε παρατηρήσει ότι ορισμένες από αυτές τις απώλειες δε μοντελοποιούνται στη Matlab, όπως για παράδειγμα οι απώλειες σιδήρου.** Παρατηρούμε επίσης το αναμενόμενο αποτέλεσμα της

μηδενικής αποδιδόμενης μηχανικής ισχύος στο φορτίο για σύγχρονη ταχύτητα του δρομέα καθώς δεν έχουμε επαγόμενη τάση.



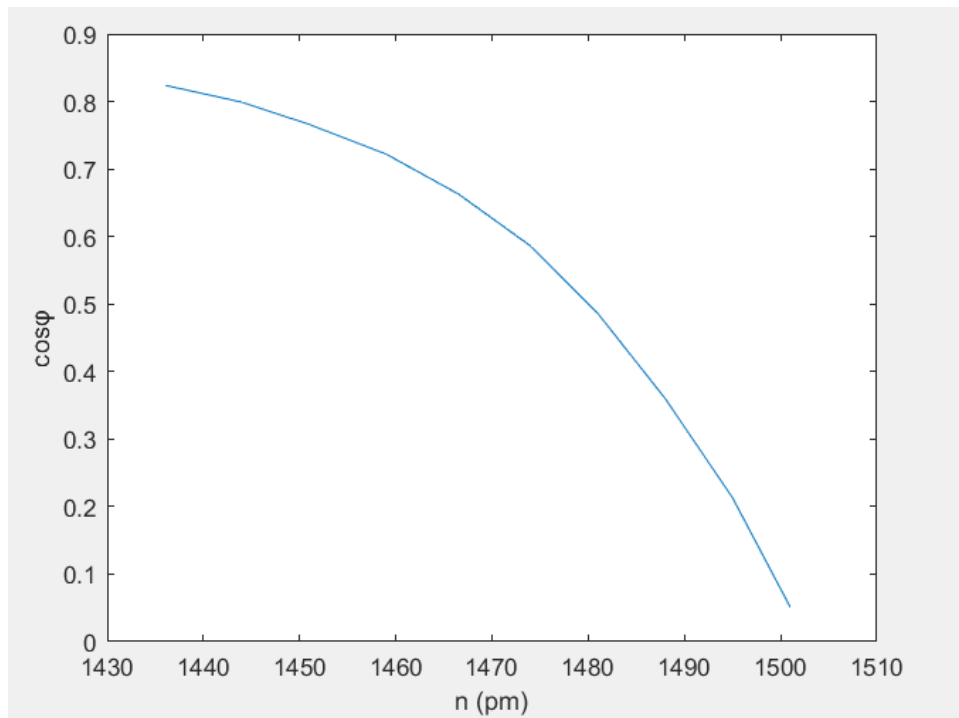
M(n)

Γνωρίζουμε ότι ισχύει $P_{me} = \Omega \cdot M_e = (1-s) \cdot \Omega_s \cdot M_e$, $P_m = \Omega \cdot M_m$
 $= (1-s) \cdot \Omega_s \cdot M_m$ και $P_{me} = P_m + P_{τριβ}$ και αναμένουμε η ροπή φορτίου να έχει περίπου την ίδια συμπεριφορά με την ηλεκτρομαγνητική ροπή. Από την παραπάνω γραφική της ροπής φορτίου παρατηρούμε ότι βρισκόμαστε στην ευστάθεια ($n_k \leq n \leq n_s$) αφού η ροπή φορτίου αυξάνεται γραμμικά όσο μειώνονται οι στροφές όπως θα συνέβαινε και με την ηλεκτρομαγνητική εφόσον βρισκόμαστε σε ευστάθεια. Γενικά η τιμή της ροπής ανατροπής φορτίου δεν είναι ίδια με την ηλεκτρομαγνητική ροπή ανατροπής (μικρή διαφορά) εξαιτίας των απωλειών τριβών τις οποίες μοντελοποιεί η ματλαμπ και όπως φαίνεται από τους παραπάνω τύπους, ωστόσο έχουμε σχεδόν ίδιο ρυθμό αύξησης των 2 καμπυλών με τη μείωση των στροφών.



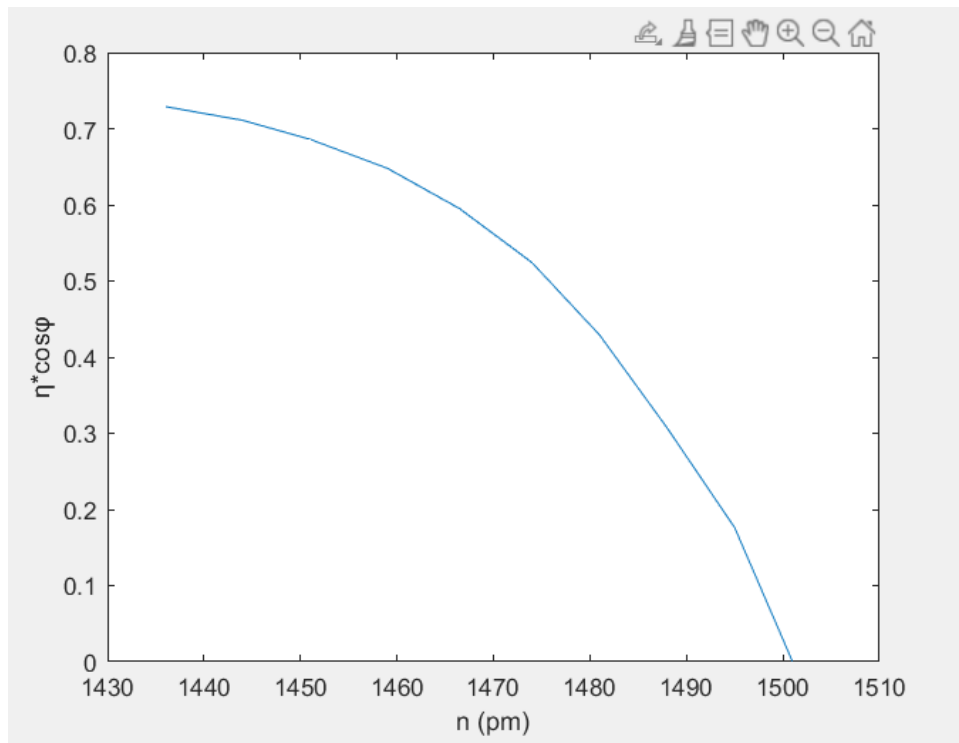
$\eta(n)$

Ο συντελεστής απόδοσης αυξάνεται απότομα αρχικά με την μείωση των στροφών και στη συνέχεια σταθεροποιείται σχεδόν στη μέγιστη τιμή του σίγουρα μέχρι τις ονομαστικές στροφές όπως παρατηρούμε και πάλι το αναμενόμενο, ότι η απόδοση είναι μηδενική για σύγχρονη ταχύτητα του δρομέα.



cosφ(n)

Ο συντελεστής ισχύος αυξάνεται αρχικά πιο απότομα με τη μείωση των στροφών και στη συνέχεια με μικρότερο ρυθμό όσο πλησιάζουμε την ονομαστική ταχύτητα του δρομέα. Αυτό θα περιμέναμε να συμβαίνει καθώς έχουμε ευσταθή λειτουργία και ταχύτητα ικανοποιητικά μικρότερη από τη σύγχρονη (μεγαλύτερο s) άρα αρχίζει και παίζει μεγαλύτερο ρόλο πλέον η αντίδραση του δρομέα καθώς και η αμοιβαία επαγωγή με αποτέλεσμα η πραγματική ισχύς να μην έχει τον ίδιο ρυθμό αύξησης με το ρεύμα του στάτη (που σχετίζεται με το ρεύμα του δρομέα).



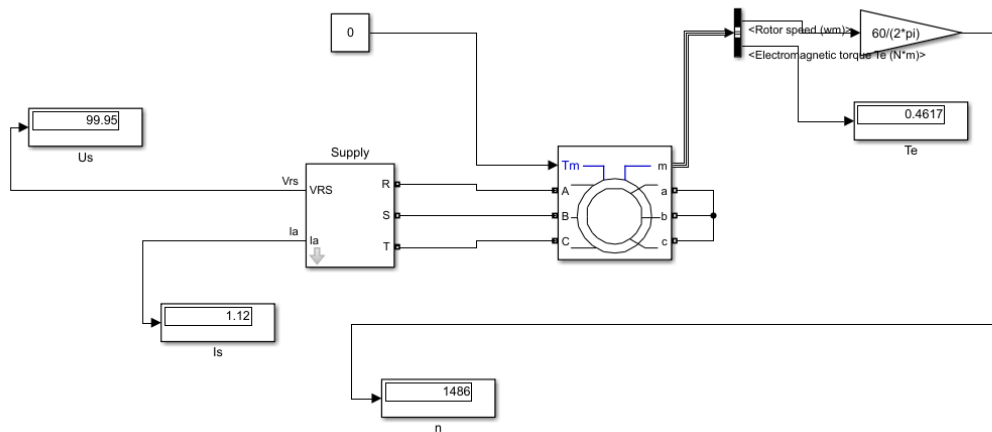
$$(\eta * \cos \phi)(n)$$

Παρατηρούμε ότι ακολουθεί τη μορφή της $\cos \phi(n)$ γεγονός που είναι λογικό αν παρατηρήσουμε τις $\eta(n)$, $\cos \phi(n)$ και ειδικά την απότομη μεταβολή του συντελεστή απόδοσης για μικρή μείωση των στροφών

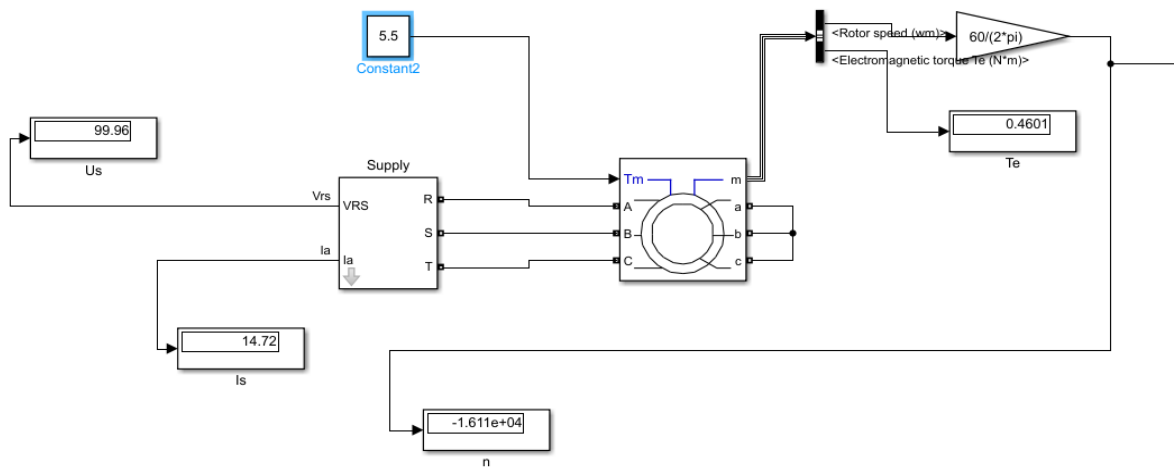
2.4 Ροπή ανατροπής Μκ

Σε αυτό το πείραμα θα δούμε σε ποια τιμή του φορτίου έχουμε ανατροπή της μηχανής. Συνδέουμε τον δρομέα σε αστέρα και στις παραμέτρους της μηχανής θέτουμε την ολίσθηση $s=0$ και ξεκινάμε να μεταβάλλουμε αργά το φορτίο υπό τάση $V'=100V$. Αρχικά αυξάνουμε τη ροπή φορτίου με βήμα 1 V αλλά μετά την τιμή πέντε αυξάνουμε κατά 0.5 όπως φαίνεται στον πίνακα μετρήσεων. Κάθε φορά μέχρι να φτάσουμε την τιμή 5.5 N*m βλέπουμε ότι με την αύξηση της ροπής έχουμε μείωση των στροφών και ευστάθεια (οι στροφές σταθεροποιούνται). Για τιμή 5.5 όμως παρατηρούμε αστάθεια και αρνητικές στροφές αν τρέξουμε την εξομείωση για πολύ χρόνο. Έτσι αρχίζουμε να μειώνουμε το φορτίο προσεκτικά. Για 5.4 έχουμε ευστάθεια και στη συνέχεια μετά από λίγες δοκιμές συμπεραίνουμε ότι η ροπή ανατροπής είναι $M_{εκ'}=5.719$ (ηλεκτρομαγνητική) και

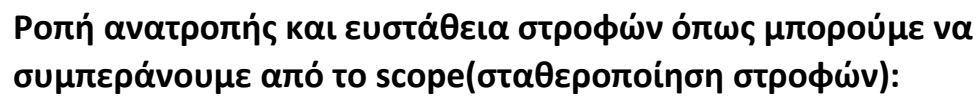
$M_k' = 5.425$ (μηχανική) καθώς αν αυξήσουμε λίγο ακόμα τη ροπή οδηγούμαστε σε αστάθεια. Όλα τα παραπάνω φαίνονται στις παρακάτω χαρακτηριστικές εικόνες που αφορούν τη συνδεσμολογία και τις μετρήσεις καθώς και στον πίνακα:

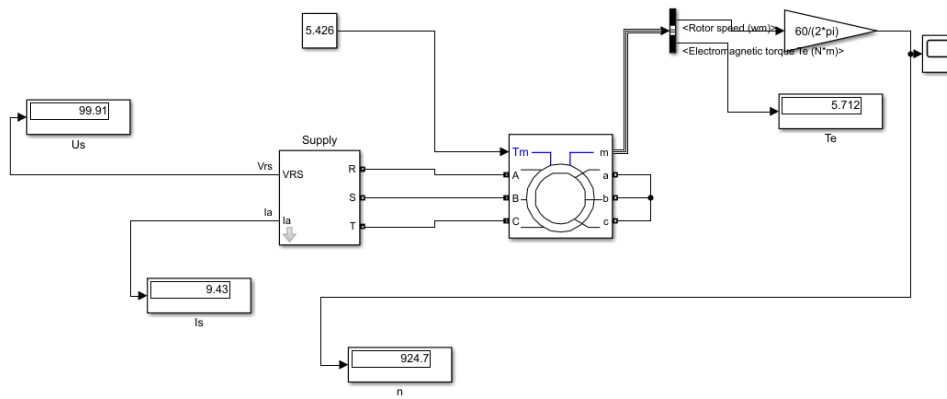


Συνδεσμολογία Ερωτήματος 2.4(0 φορτίο επομένως σύγχρονη ταχύτητα)

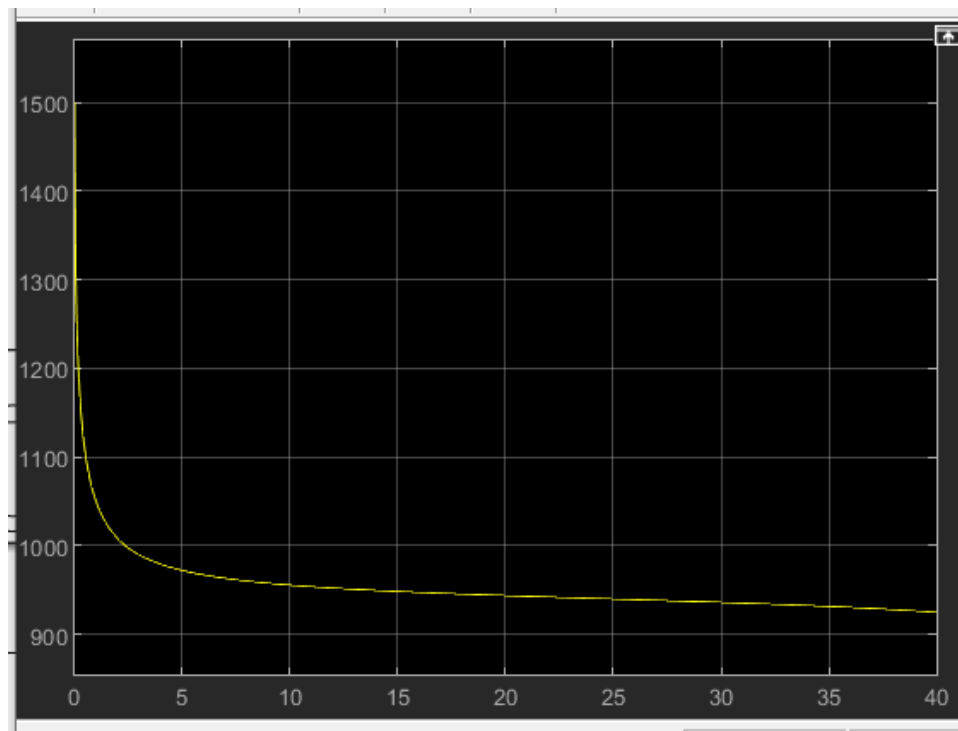


Αρνητικές στροφές(πέδη) και αστάθεια για φορτίο $5.5 \text{ N}\cdot\text{m}$





Και πάρουμε εικόνα από το scope:



Παρατηρούμε ότι αν τρέχαμε το πρόγραμμα για παραπάνω χρόνο οι στροφές θα έπεφταν συνεχώς και θα είχαμε αστάθεια. Άρα η προηγούμενη τιμή που βάλαμε ($T_m=5.425$) είναι η ροπή ανατροπής.

Παραπάνω φαίνονται εικόνες για $T_m=0$ επομένως στροφές περίπου ίσες με n_s , στη συνέχεια για $T_m=5.5$ που βλέπουμε αρνητικές στροφές(πέδη) και αστάθεια, έπειτα $T_m=5.425$ που είναι η ροπή ανατροπής (σταθερές στροφές $n'=944$) καθώς αν αυξήσουμε λίγο τη ροπή πχ $T_m=5.426$ έχουμε αστάθεια και μετά από πολύ χρόνο πέφτουμε σε αρνητικές στροφές(φαίνεται από το scope ότι για

Tm=5.426 οι στροφές πέφτουν συνεχώς ενώ για Tm=5.425 σταθεροποιούνται.) Ο παρακάτω πίνακας προκύπτει από τις υπόλοιπες μετρήσεις που κάναμε μέχρι να βρούμε τη ζητούμενη ροπή.

Μετρήσεις (την Vs' τη μετράμε πάντα περίπου 99.92-99.96 V):

M (N*m)	Is' (A)	n'(RPM)	Me'
0	1.120	1486 (ns)	0.462
1	1.770	1448	1.449
2	2.726	1403	2.438
3	3.863	1349	3.421
4	5.235	1276	4.398
5	7.168	1149	5.358
5.5		αρνητικό	
5.3	8.177	1063	5.632
5.4	8.81	999	5.711
5.425	9.275	944(nk')	5.719

Έχουμε ανατροπή για nk '=944rpm.

$$Sk=(ns-nk)/ns = (1486-944)/1486=0.365$$

$$Isk'=9.275A \text{ και } Mk'=5.719 Nm$$

$$Isk' / Isk=100/400 ==> Is=400/100 * 9.275=> Isk =37.1A$$

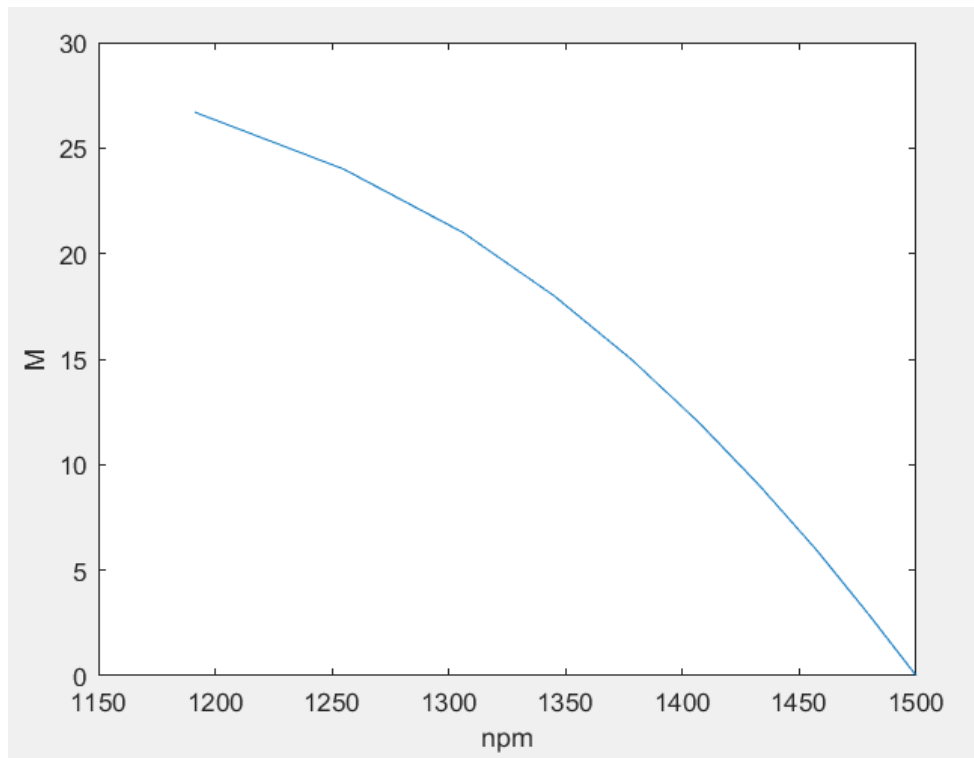
$$Mek' / Mek = (Vs' / Vs) ^2=> Mek=4^2*5,719=91.504N*m$$

(Ηλε/μαγνητική ροπή ανατροπής για ονομαστικά μεγέθη)

$$Mk' / Mk = (Vs' / Vs) ^2=> Mk=4^2*5,425=86.8N*m \text{ (μηχανική ροπή ανατροπής για ονομαστικά μεγέθη)}$$

2.5)

Τροφοδοτώντας τη μηχανή με με τάση ίση με το 1/ρίζα3 της ονομαστικής τιμής , κρατάμε την ίδια συνδεσμολογία με την άσκηση 2.3 και μεταβάλλουμε την ροπή φορτίου ακριβώς με τον ίδιο τρόπο. Ακολουθώντας δηλαδή ακριβώς την ίδια λογική παίρνουμε την ακόλουθη καμπύλη ροπής φορτίου:



M(n)

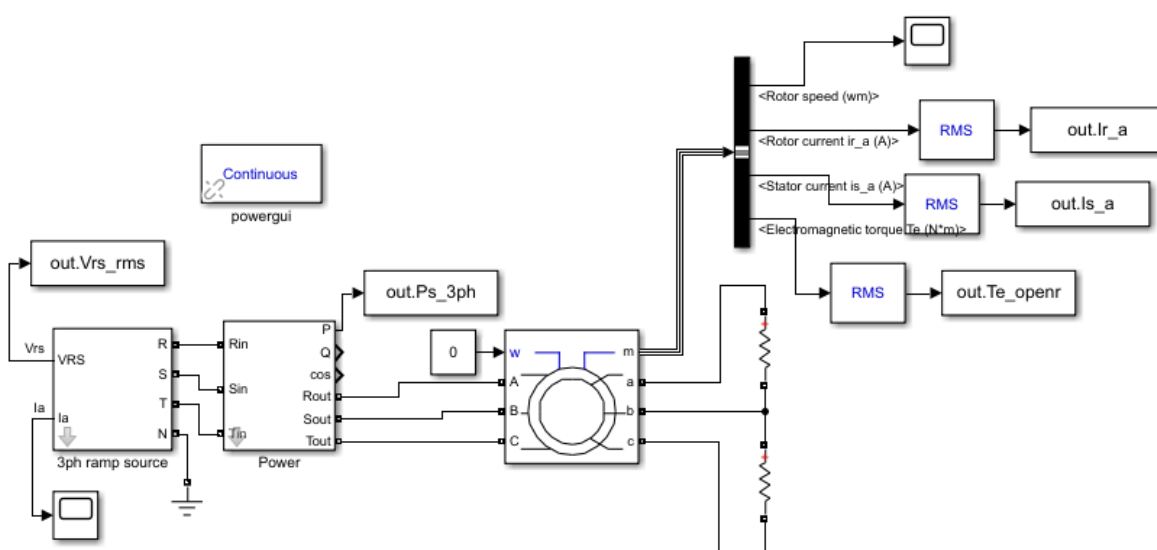
Αρχικά παρατηρούμε ότι βρισκόμαστε και πάλι στην ευστάθεια και η ροπή φορτίου αυξάνεται με τη μείωση των στροφών όπως και πριν(όπως θα συμβαίνει και με την ηλεκτρομαγνητική ροπή). Ωστόσο βλέπουμε ότι η μηχανή φτάνει σε μικρότερο αριθμό στροφών και ότι αρχικά αυξάνεται γραμμικά και στη συνέχεια πιο ομαλά. Αυτό συμβαίνει γιατί με μικρότερη τάση και εφόσον βρισκόμαστε στην ευσταθή περιοχή χρειαζόμαστε μικρότερο αριθμό στροφών για να πετύχουμε την ίδια ροπή με πριν(ονομαστική τάση) και επίσης διότι από τον τύπο για τη ροπή ανατροπής:

$$M_{ek} = \pm \frac{m_s}{\Omega_s} \cdot \frac{U_s^2}{X_s} \cdot \frac{(1-\sigma)}{2 \cdot \left[\sqrt{(1+r_s^2) \cdot (\sigma^2 + r_s^2)} \pm r_s \cdot (1-\sigma) \right]}$$

είναι φανερό ότι η ίδια εξαρτάται από την τάση του στάτη. Επομένως εδώ θα είναι μικρότερη από πριν και αφού έχουμε φτάσει σε μικρότερο αριθμό στροφών έχουμε πλησιάσει περισσότερο σε αυτήν γεγονός που δικαιολογεί το ότι το διάγραμμα σιγά σιγά τείνει να γυρίσει.

2.6 Απώλειες εν κενώ

Για να ανοιχτοκυκλώσουμε τον δρομέα, συνδέουμε ανάμεσα στις φάσεις a-b, b-c μια αντίσταση 1 MΩ, και δίνουμε 0 στροφές στην μηχανή για την ακινητοποίηση του άξονα. Μετράμε τα ρεύματα του ρότορα να παίρνουν RMS τιμές ως και 0.4mA, που μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες. Χρησιμοποιώντας το repeating sequence block και παρόμοιο κώδικα με αυτόν της 2.3 μεταβάλλουμε την τάση του στάτη από 0 ως 400 V με βήμα 40 V. Παρατίθεται η συνδεσμολογία του μοντέλου .slx της Simulink, όπου φαίνεται η σύνδεση στάτη με δίκτυο και ο τρόπος που παίρνουμε τις μετρήσεις των ρευμάτων, της τάσης, της ισχύς και της ηλεκτρικής ροπής, που χρησιμοποιούμε παρακάτω.

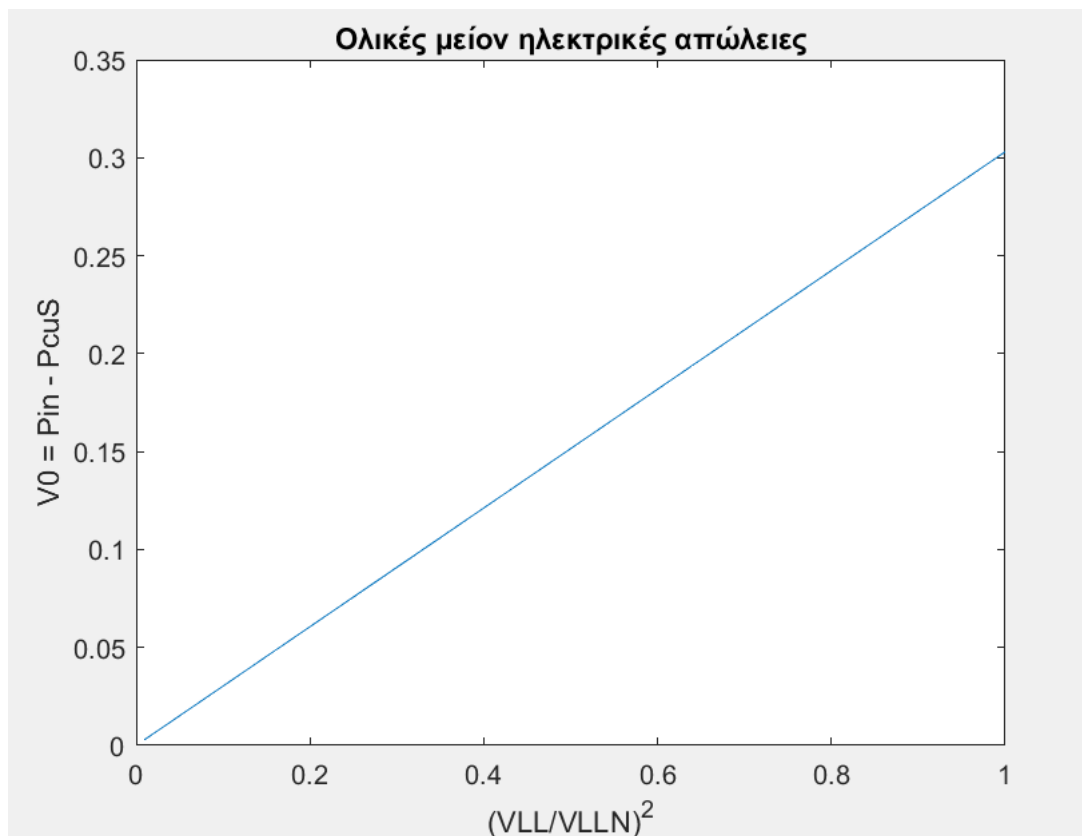


Παρατίθενται οι μετρήσεις των V_s , I_s , P_{in} , καθώς και οι απώλειες χαλκού στον στάτη, που υπολογίσαμε από τον τύπο $P_{cuS} = 3 * R_s * I_s^2$, εφόσον υπολογίσαμε το R_s από την 2.1, η διαφορά των ολικών πλην των ηλεκτρικών απωλειών V_0 , και η ισχύς διακένου $P_\delta = T_e * \omega_s$

Μετρήσεις

Vs (V)	Is (A)	Pin (W)	PcuS (W)	V0 (W)	Pδ (W)
39.8372	0.4111	0.7152	0.7122	0.0030	0.0037
79.6743	0.8221	2.8610	2.8488	0.0121	0.0150
119.5115	1.2332	6.4372	6.4099	0.0273	0.0337
159.3487	1.6442	11.4439	11.3954	0.0485	0.0599
199.1858	2.0553	17.8810	17.8053	0.0758	0.0935
239.0230	2.4664	25.7487	25.6396	0.1091	0.1347
278.8602	2.8774	35.0468	34.8983	0.1485	0.1833
318.6973	3.2885	45.7754	45.5815	0.1940	0.2394
358.5345	3.6995	57.9345	57.6891	0.2455	0.3030
398.3717	4.1106	71.5241	71.2211	0.3030	0.3741

Γραφική παράσταση της διαφοράς των ολικών απωλειών εν κενώ, μείον τις ηλεκτρικές απώλειες στον στάτη: $V0 = P0 - P_{cuS}$ ως προς το τετράγωνο της κανονικοποιημένης τάσης:



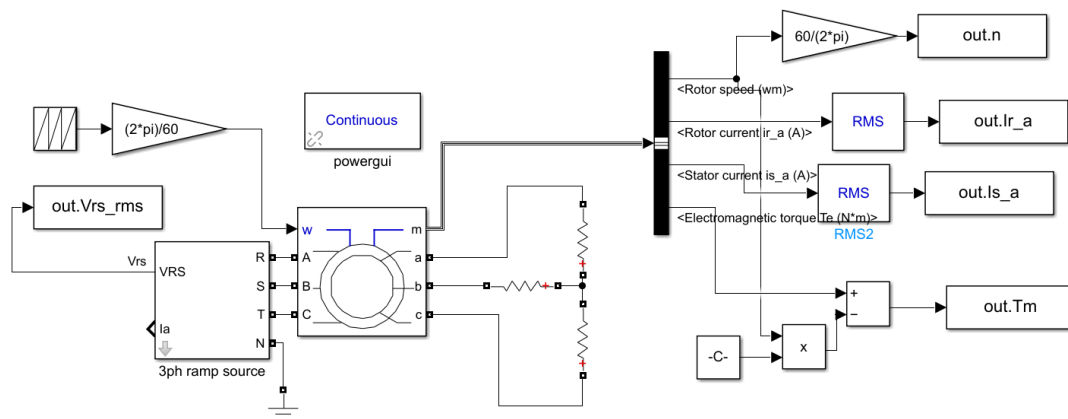
Παρατηρούμε πως αυτές οι απώλειες έχουν γραμμική εξάρτηση με το τετράγωνο της τάσης, όπως και θα περιμέναμε. Κανονικά (στο

εργαστήριο) θα αποδίδαμε τέτοιες απώλειες στον πυρήνα, ως απώλειες υστέρησης και δινορευμάτων, αλλά όπως βλέπουμε από το documentation της Simulink για την ασύγχρονη μηχανή, δεν μοντελοποιείται η R_{fe} στο ισοδύναμο κύκλωμα (και αν υποθέταμε πως υπάρχει, η τιμή της θα προέκυπτε περίπου $150\text{K}\Omega$, που είναι παράλογη). Αντιθέτως εξετάζοντας την επαγόμενη ηλεκτρική ροπή (τα ρεύματα του ρότορα είναι μικρά αλλά όχι μηδενικά) ανακαλύπτουμε, όπως βλέπουμε και στον πίνακα μετρήσεων, ότι οι απώλειες V_0 αντιστοιχούν περίπου στην ισχύ διακένου P_δ . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι απαιτώντας οι στρόφες του ρότορα να είναι 0, η MATLAB θέτει την αδράνεια του δρομέα $+\infty$ και έτσι η παραγόμενη ηλεκτρική ροπή δεν παράγει μηχανικό έργο αλλά γίνεται απώλειες τριβής P_r . Η μικρή διαφορά ανάμεσα στα μεγέθη P_δ και V_0 δεν είμαστε σίγουροι πού οφείλεται, καθώς οι ωμικές απώλειες του ρότορα κυμαίνονται στα μW , και δεν υπάρχει άλλη πηγή απωλειών στο μοντέλο μηχανής στην Simulink.

2.7 Ρύθμιση Ταχύτητας

Η κυκλωματική διάταξη του ερωτήματος 2.7 είναι παραπλήσια με αυτή του ερωτήματος 2.4, με τη μόνη διαφορά ότι προσθέτουμε 3 αντιστάσεις (με συνδεσμολογία αστέρα) - τις οποίες κάθε φορά θα μεταβάλλουμε - στα άκρα “abc” της ασύγχρονης μηχανής. Την αντίσταση ρότορα R_r μετρήσαμε στην 2.1 με τιμή $1.395\ \Omega$. Αρχικά πρέπει να έχουμε συνολική αντίσταση ρότορα R_r , άρα απλώς βραχυκυκλώνουμε τον ρότορα. Στις 2 επόμενες επαναλήψεις του πειράματος όπου απαιτείται $R_{r,tot}=2*R_r$, $R_{r,tot}=5*R_r$ συνδέουμε σε αστέρα αντίσταση R_r και $4*R_r$ αντίστοιχα. Μετράμε την τάση του στάτη, το φασικό ρεύμα στάτη, την μηχανική ροπή μεταβάλλοντας τις στρόφες από -500 (πέδη) έως 1500 (σύγχρονη ταχύτητα). Χρησιμοποιούμε ένα repeating sequence block με κώδικα παρόμοιο με αυτόν της 2.3, για να δώσουμε τις διάφορες τιμές των στροφών ως είσοδο στην AM, ώστε να σχεδιάσουμε τις γραφικές του φασικού ρεύματος στάτη και της μηχανικής ροπής στον άξονα συναρτήσεων των στροφών. Αυτό θα μπορούσαμε να πετύχουμε δίνοντας διάφορες τιμές ροπής φορτίου T_{load} , και μετρώντας για κάθε μια τις στρόφες, αλλά θα ήταν αρκετά πιο χρονοβόρος τρόπος που μας δίνει το ίδιο αποτέλεσμα. Δίνοντας

πολική τάση 100V στον στάτη, την οποία μετράμε να μεταβάλλεται σε 99.5929 V στην προσομοίωση, παίρνουμε τις ακόλουθες μετρήσεις. Παρακάτω φαίνεται η συνδεσμολογία του μοντέλου.



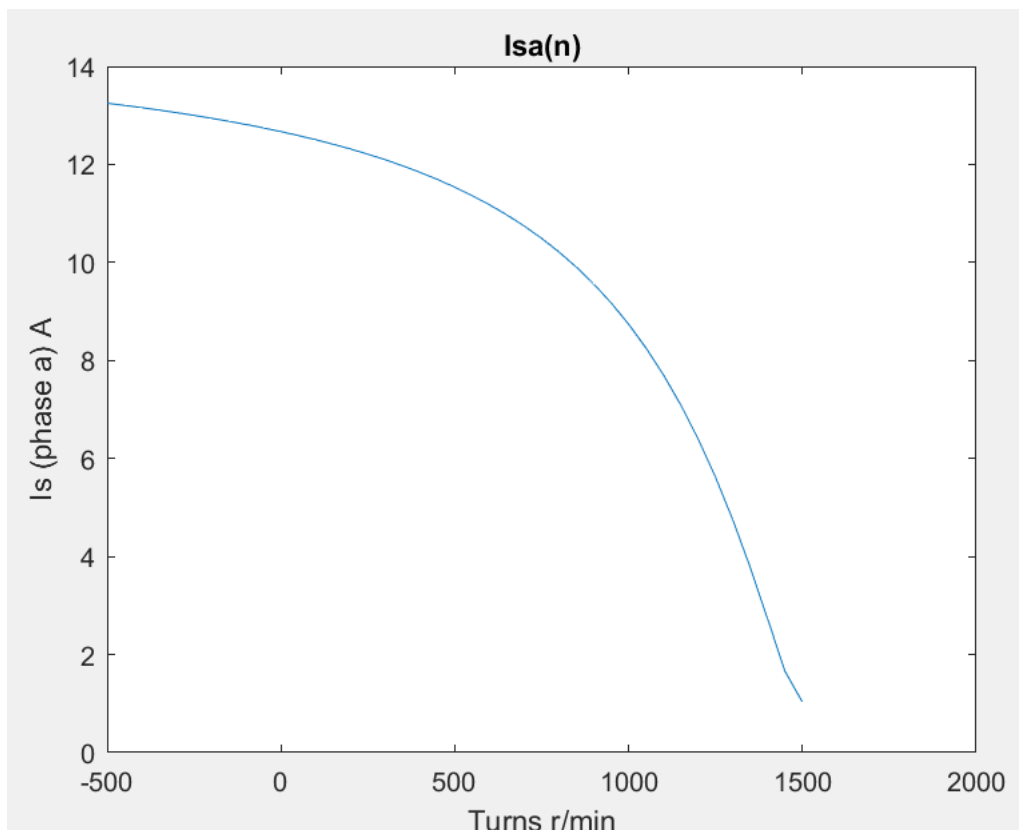
Μετρήσεις για $R_r = 1.395\Omega$ (βραχυκυκλωμένος δρομέας):

Στροφές (rpm)	I_s' (Φάση α σε A)	Μηχανική ροπή T_m' (Nm)	$I_s = 4 * I_s'$	$T_m = 16 * T_m'$
-500	13.2491	3.4364	52,9964	54,9824
-450	13.2046	3.4823	52,8184	55,7168
-400	13.1578	3.5303	52,6312	56,4848
-350	13.1084	3.5804	52,4336	57,2864
-300	13.0562	3.6327	52,2248	58,1232
-250	13.0009	3.6874	52,0036	58,9984
-200	12.9424	3.7444	51,7696	59,9104
-150	12.8804	3.8040	51,5216	60,864
-100	12.8145	3.8661	51,258	61,8576
-50	12.7443	3.9307	50,9772	62,8912
0	12.6696	3.9982	50,6784	63,9712
50	12.5897	4.0684	50,3588	65,0944
100	12.5044	4.1412	50,0176	66,2592
150	12.4129	4.2167	49,6516	67,4672

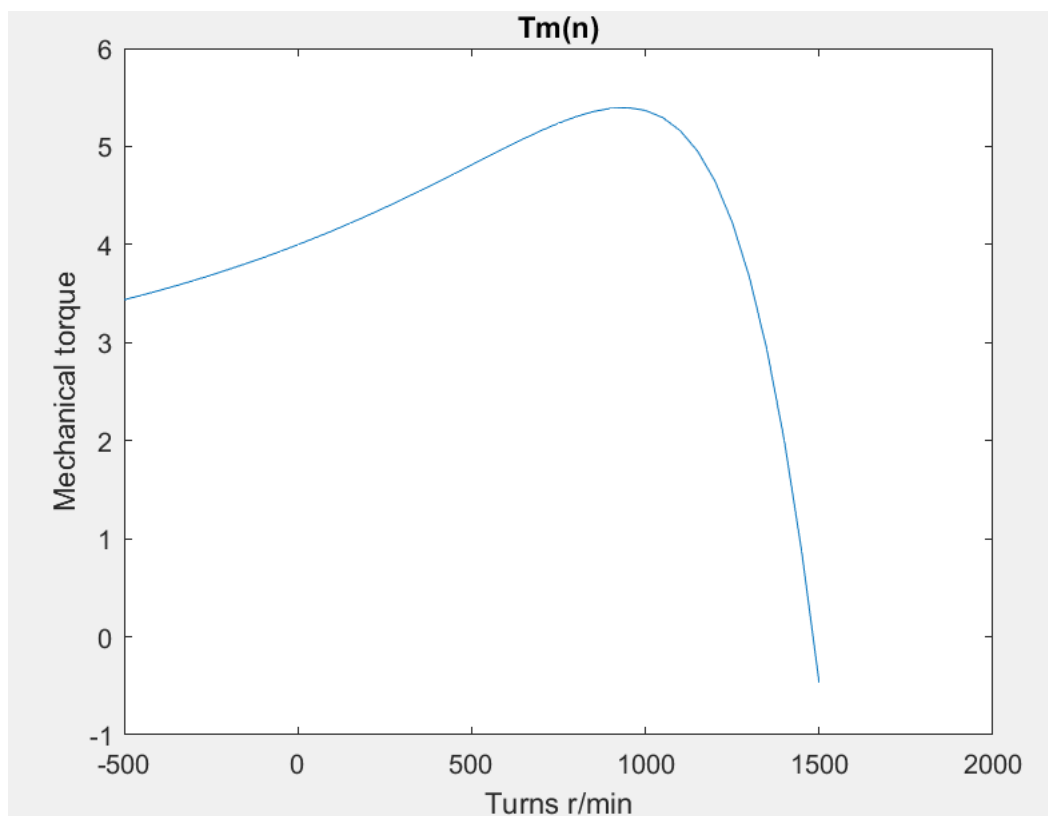
200	12.3147	4.2951	49,2588	68,7216
250	12.2090	4.3760	48,836	70,016
300	12.0951	4.4594	48,3804	71,3504
350	11.9720	4.5452	47,888	72,7232
400	11.8387	4.6328	47,3548	74,1248
450	11.6939	4.7221	46,7756	75,5536
500	11.5363	4.8122	46,1452	76,9952
550	11.3642	4.9025	45,4568	78,44
600	11.1759	4.9918	44,7036	79,8688
650	10.9692	5.0787	43,8768	81,2592
700	10.7416	5.1614	42,9664	82,5824
750	10.4903	5.2374	41,9612	83,7984
800	10.2119	5.3035	40,8476	84,856
850	9.9025	5.3557	39,61	85,6912
900	9.5577	5.3886	38,2308	86,2176
950	9.1723	5.3954	36,6892	86,3264
1000	8.7403	5.3675	34,9612	85,88
1050	8.2548	5.2940	33,0192	84,704
1100	7.7083	5.1614	30,8332	82,5824
1150	7.0925	4.9530	28,37	79,248
1200	6.3985	4.6487	25,594	74,3792
1250	5.6180	4.2257	22,472	67,6112
1300	4.7442	3.6588	18,9768	58,5408
1350	3.7754	2.9224	15,1016	46,7584
1400	2.7235	1.9949	10,894	31,9184
1450	1.6573	0.8634	6,6292	13,8144
1500	1.0277	-0.4689	4,1108	-7,5024

Η ροπή εκίνησης, $M(0) = 3.9982$ και το ρεύμα εκίνησης, $I(0)=12.6696$

Γραφικές παραστάσεις:



Φασικό ρεύμα στάτη, συναρτήσει με στροφές



Μηχανική ροπή συναρτήσει των στροφών

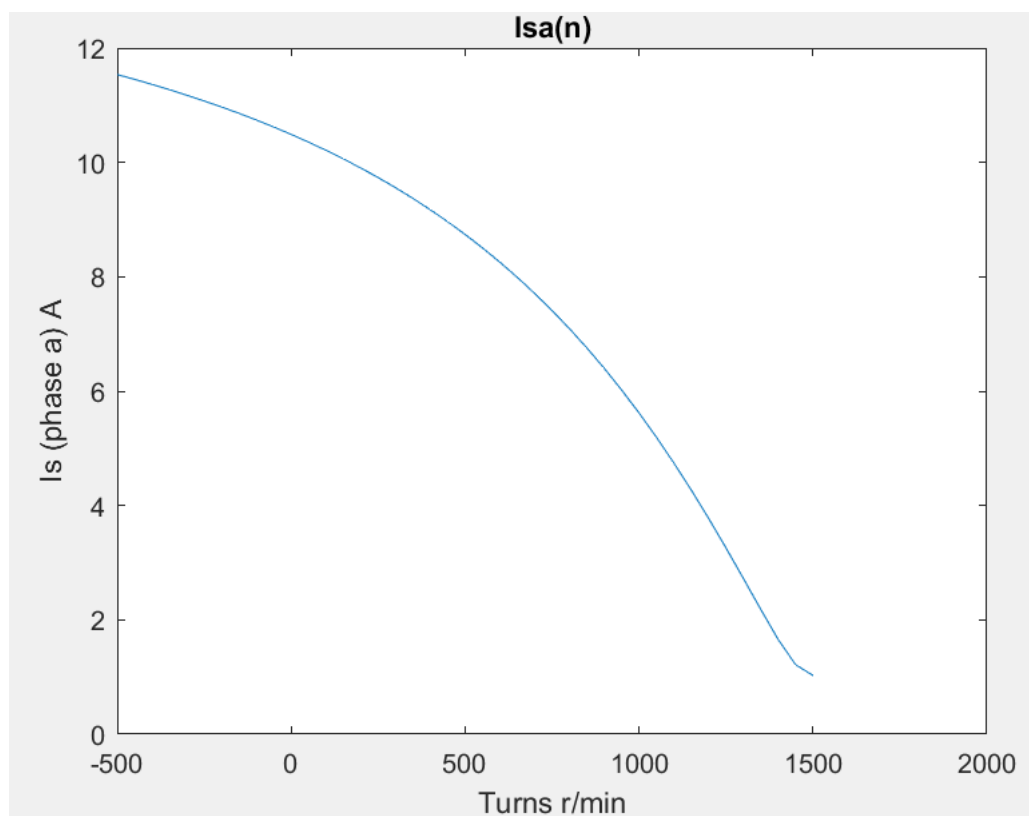
Μετρήσεις για $R_r = 2 \cdot 1.395 \Omega$ ($R_{\epsilon x} = R_r$):

Στροφές (rpm)	I_s' (Φάση α σε A)	Μηχανική ροπή T_m' (Nm)	$I_s = 4 \cdot I_s'$	$T_m = 16 \cdot T_m'$
-500	11.5363	5.1248	46.1452	81.9968
-450	11.4522	5.1622	45.8088	82.5952
-400	11.3642	5.1994	45.4568	83.1904
-350	11.2722	5.2365	45.0888	83.784
-300	11.1759	5.2731	44.7036	84.3696
-250	11.0750	5.3092	44.3	84.9472
-200	10.9692	5.3444	43.8768	85.5104
-150	10.8582	5.3786	43.4328	86.0576
-100	10.7416	5.4115	42.9664	86.584
-50	10.6191	5.4427	42.4764	87.0832
0	10.4903	5.4719	41.9612	87.5504
50	10.3547	5.4986	41.4188	87.9776
100	10.2119	5.5224	40.8476	88.3584
150	10.0613	5.5427	40.2452	88.6832
200	9.9025	5.5589	39.61	88.9424
250	9.7349	5.5703	38.9396	89.1248
300	9.5577	5.5761	38.2308	89.2176
350	9.3704	5.5755	37.4816	89.208
400	9.1723	5.5673	36.6892	89.0768
450	8.9625	5.5505	35.85	88.808
500	8.7403	5.5238	34.9612	88.3808
550	8.5047	5.4857	34.0188	87.7712
600	8.2548	5.4347	33.0192	86.9552
650	7.9897	5.3689	31.9588	85.9024
700	7.7083	5.2865	30.8332	84.584
750	7.4096	5.1851	29.6384	82.9616
800	7.0925	5.0624	28.37	80.9984
850	6.7558	4.9158	27.0232	78.6528
900	6.3985	4.7425	25.594	75.88
950	6.0196	4.5396	24.0784	72.6336
1000	5.6180	4.3039	22.472	68.8624

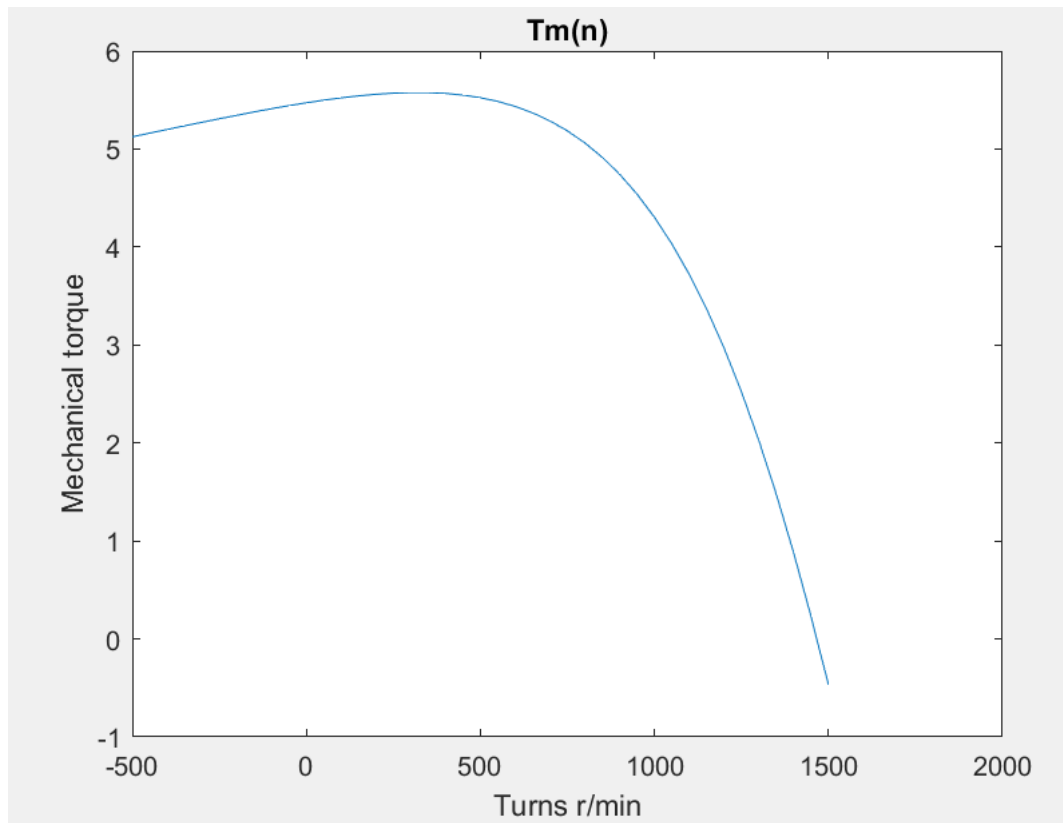
1050	5.1931	4.0322	20.7724	64.5152
1100	4.7443	3.7213	18.9772	59.5408
1150	4.2715	3.3680	17.086	53.888
1200	3.7754	2.9693	15.1016	47.5088
1250	3.2579	2.5227	13.0316	40.3632
1300	2.7235	2.0262	10.894	32.4192
1350	2.1820	1.4784	8.728	23.6544
1400	1.6573	0.8791	6.6292	14.0656
1450	1.2158	0.2292	4.8632	3.6672
1500	1.0277	-0.4689	4.1108	-7.5024

Η ροπή εκίνησης, $M(0) = 5.4719$ και το ρεύμα εκίνησης, $I(0)=10.4903$

Γραφικές παραστάσεις:



Φασικό ρεύμα στάτη συναρτήσει των στροφών



Μηχανική ροπή συναρτήσει των στροφών

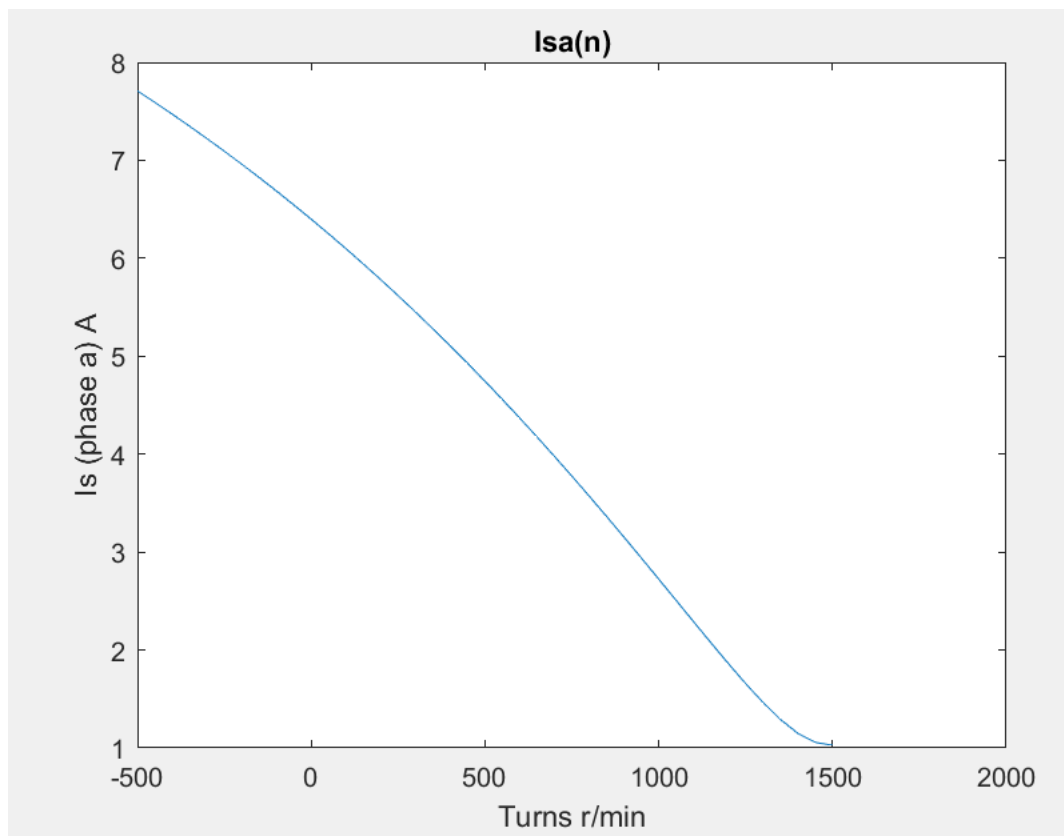
Μετρήσεις για $R_r = 5 \cdot 1.395 \Omega$ ($R_{\text{ex}} = 4 \cdot R_r$):

Στροφές (rpm)	I_s' (Φάση α σε A)	Μηχανική ροπή T_m' (Nm)	$I_s = 4 \cdot I_s'$	$T_m = 16 \cdot T_m'$
-500	7.7083	5.6615	30.8332	90.584
-450	7.5910	5.6140	30.364	89.824
-400	7.4708	5.5633	29.8832	89.0128
-350	7.3477	5.5093	29.3908	88.1488
-300	7.2216	5.4518	28.8864	87.2288
-250	7.0925	5.3906	28.37	86.2496
-200	6.9602	5.3256	27.8408	85.2096
-150	6.8247	5.2566	27.2988	84.1056
-100	6.6860	5.1834	26.744	82.9344
-50	6.5440	5.1059	26.176	81.6944
0	6.3985	5.0239	25.594	80.3824
50	6.2496	4.9370	24.9984	78.992
100	6.0971	4.8453	24.3884	77.5248

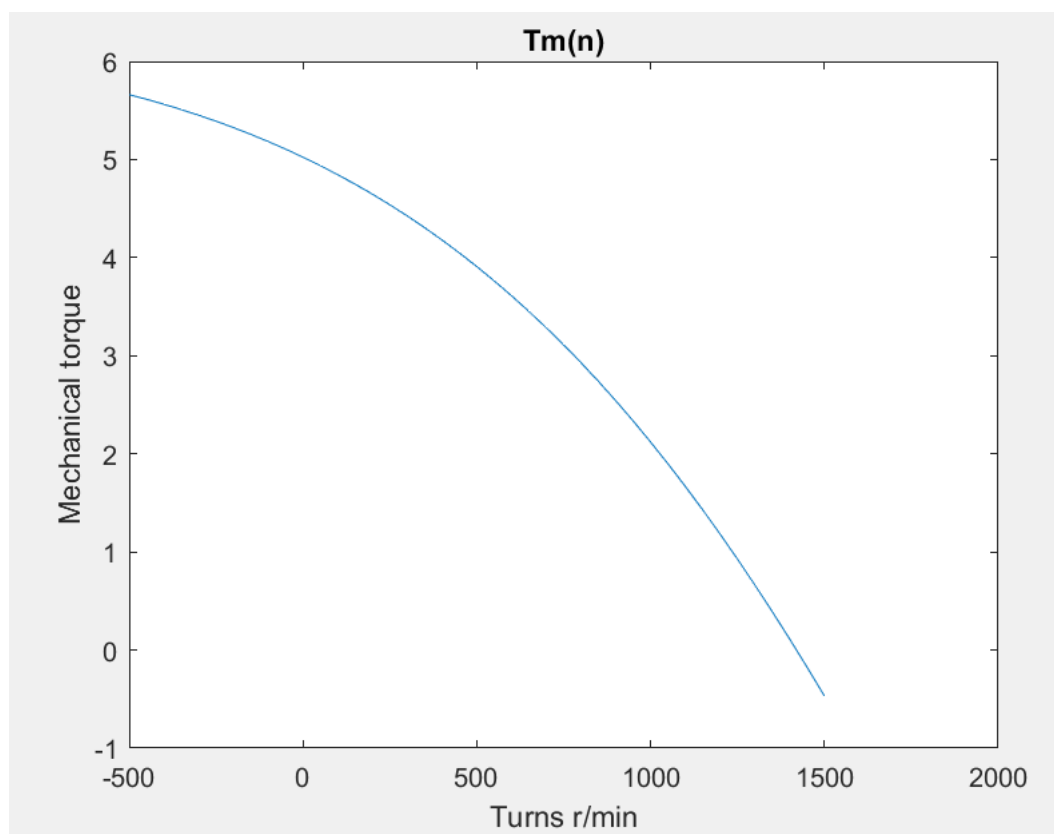
150	5.9411	4.7484	23.7644	75.9744
200	5.7814	4.6461	23.1256	74.3376
250	5.6180	4.5383	22.472	72.6128
300	5.4509	4.4248	21.8036	70.7968
350	5.2800	4.3053	21.12	68.8848
400	5.1052	4.1796	20.4208	66.8736
450	4.9267	4.0475	19.7068	64.76
500	4.7443	3.9088	18.9772	62.5408
550	4.5580	3.7634	18.232	60.2144
600	4.3679	3.6110	17.4716	57.776
650	4.1741	3.4514	16.6964	55.2224
700	3.9765	3.2844	15.906	52.5504
750	3.7754	3.1100	15.1016	49.76
800	3.5708	2.9278	14.2832	46.8448
850	3.3629	2.7379	13.4516	43.8064
900	3.1522	2.5400	12.6088	40.64
950	2.9388	2.3341	11.7552	37.3456
1000	2.7235	2.1200	10.894	33.92
1050	2.5069	1.8976	10.0276	30.3616
1100	2.2900	1.6671	9.16	26.6736
1150	2.0745	1.4283	8.298	22.8528
1200	1.8625	1.1812	7.45	18.8992
1250	1.6573	0.9259	6.6292	14.8144
1300	1.4643	0.6626	5.8572	10.6016
1350	1.2913	0.3912	5.1652	6.2592
1400	1.1502	0.1121	4.6008	1.7936
1450	1.0570	-0.1747	4.228	-2.7952
1500	1.0277	-0.4689	4.1108	-7.5024

Η ροπή εκίννησης, $M(0) = 5.0239$ και το ρεύμα εκίννησης, $I(0)=6.3985$

Γραφικές παραστάσεις:



Φασικό ρεύμα στάτη συναρτήσει των ροτών



Μηχανική ροπή συναρτήσει των στροφών

Η ροπή εκίνησης αρχικά αυξάνεται με διπλασιασμό της ολικής αντίστασης ρότορα, από 3.9982 Nm σε 5.4719 Nm, και έπειτα με $R_{r,tot} = 5 \cdot R_r$, μειώνεται στα 5.0239 Nm. Απο τις γραφικές παρατηρούμε επίσης ότι οι στροφές ανατροπής n_k μειώνονται καθώς αυξάνουμε την $R_{r,tot}$. Αυτό φαίνεται και από τον τύπο της ολίσθησης ανατροπής:

$$s_k = \pm \frac{R'_R}{\sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X'_{R\sigma})^2}}$$

Μεταβάλλοντας την αντίσταση του ρότορα μπορούμε έτσι να φέρουμε την ροπή ανατροπής πιο κοντά στις μηδενικές στροφές, αλλά δεν πρέπει να δώσουμε πολύ μεγάλη τιμή στην αντίσταση, καθώς η ροπή ανατροπής θα είναι για αρνητικές στροφές. Επίσης αυξάνοντας την R_R αυξάνονται οι απώλειες.⁶