

# ΑΣΚΗΣΗ 5

Μηχανές Συνεχούς Ρεύματος – Προσομοίωση με Matlab

**ΟΜΑΔΑ Δ1:**

ΚΑΠΕΝΤΖΩΝΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΚΩΤΣΙΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΑΣΤΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΣΑΒΒΑΣ ΡΗΓΙΝΟΣ

ΣΑΜΙΩΤΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΦΑΡΔΕΛΛΑΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

2022

## *Περιεχόμενα*

5.1 Χαρακτηριστικές ροπής στροφών.....	2
Κινητήρας ξένης διέγερσης .....	2
Κινητήρας διέγερσης σε σειρά.....	5
Κινητήρας Μικτής Διέγερσης.....	7

### 5.1 Χαρακτηριστικές ροπής στροφών

Σκοπός της άσκησης είναι η σχεδίαση των χαρακτηριστικών ροπής – στροφών κάθε συνδεσμολογίας που μας ζητείται. Αρχικά θα χρειαστεί να βρούμε τις ονομαστικές τιμές της μηχανής Συνεχούς Ρεύματος, οι οποίες φαίνονται στον Πίνακα 1 παρακάτω.

$P_N$	$U_{TN}$	$n_N$	$U_{fN}$
3.8 kW	240 V	1800 rpm	240 V

Πίνακας 1. Ονομαστικές τιμές μηχανής συνεχούς ρεύματος.

Για την υλοποίηση των μετρήσεων της άσκησης θα χρειαστεί να υπολογίσουμε την ονομαστική τιμή της ροπής  $M_N$ . Ωστόσο, επειδή η ονομαστική τιμή των στροφών βρίσκονται σε rpm, θα χρειαστεί να τις διαιρέσουμε με το 60, ώστε να τις μετατρέψουμε σε rps.

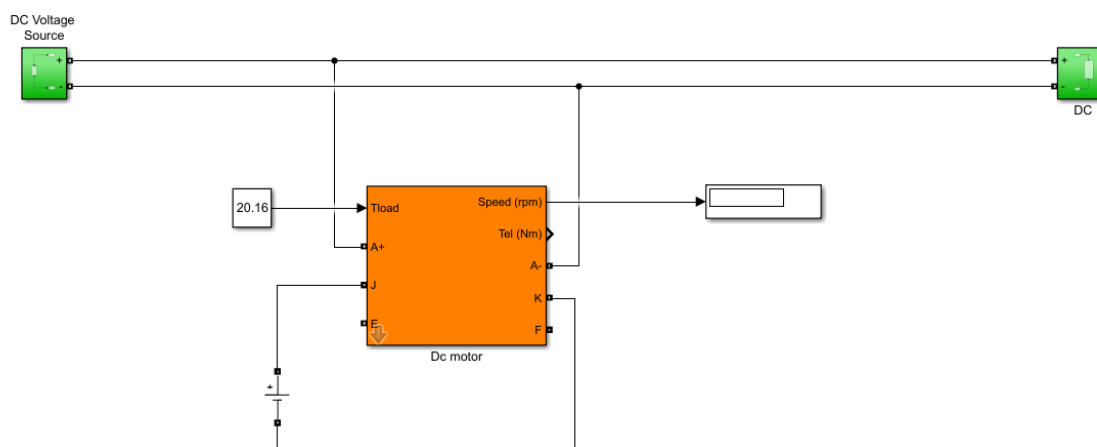
$$\Omega_N = \frac{2\pi * n_N}{60} = \frac{2\pi * 1800}{60} \Rightarrow \Omega_N = 188.5 \text{ rad/sec}$$

$$P_N = M_N * \Omega_N \Rightarrow M_N = \frac{P_N}{\Omega_N} = \frac{3800}{188.5} \Rightarrow M_N = 20.16 \text{ Nm}$$

Για να φτιάξουμε τις χαρακτηριστικές ροπής – στροφών θα μετρήσουμε τις στροφές για διαφορετικές τιμές της ροπής, οι οποίες θα κυμαίνονται από 0 έως  $M_N = 20.16 \text{ Nm}$ , για κάθε συνδεσμολογία.

### Κινητήρας ξένης διέγερσης

Για τον κινητήρα ξένης διέγερσης θα χρειαστεί να συνδέσουμε τα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα με την DC τάση των 240 V. Στην είσοδο Tload θα εισάγουμε ένα constant σήμα που θα αντιπροσωπεύει την τιμή της ροπής της μηχανής, ενώ από την έξοδο Speed (rpm) θα λαμβάνουμε την τιμή των στροφών. Η συνδεσμολογία ξένης διέγερσης φαίνεται αναλυτικά στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1. Συνδεσμολογία κινητήρα ξένης διέγερσης.

Παρακάτω, στον Πίνακα 2 φαίνονται οι μετρήσεις που γίνανε για την σχεδίαση της χαρακτηριστικής ροπής – στροφών. Στη συνέχεια, με χρήση του λογισμικού Matlab σχεδιάσαμε τη γραφική παράσταση.

$M \text{ (N} \cdot \text{m)}$	$n \text{ (rpm)}$
0	1848
1.83	1839
3.67	1830
5.50	1821
7.33	1812
9.16	1803
10.96	1794
12.83	1785
14.66	1776
16.49	1767
18.32	1758
20.16	1756

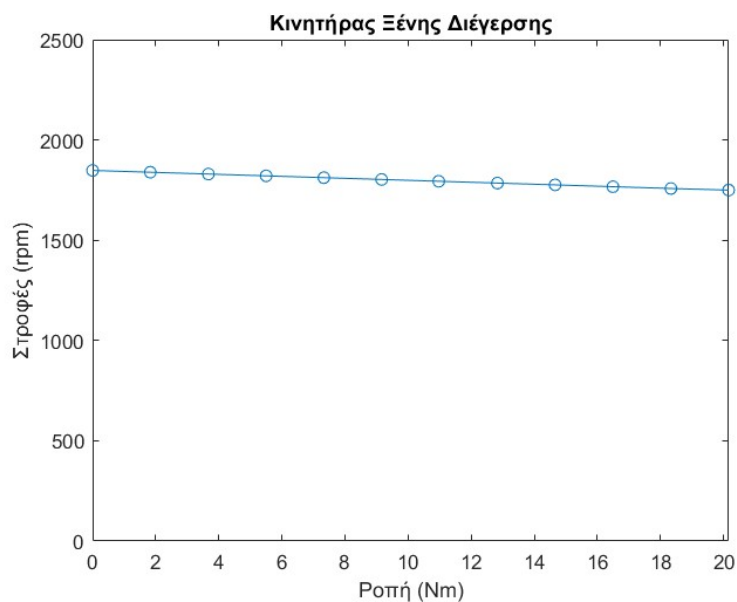
Πίνακας 2. Μετρήσεις στροφών για συνδεσμολογία ξένης διέγερσης.

```
M = [0 1.83 3.67 5.50 7.33 9.16 10.97 12.83 14.66 16.49 18.33 20.16];
```

```
% Xenh Diegersh
```

```
n = [1848 1839 1830 1821 1812 1803 1794 1785 1776 1767 1758 1750];
```

```
figure();
plot(M, n, "-o");
title("Μηχανή Ξένης Διέγερσης");
xlabel("Ροπή (Nm)");
ylabel("Στροφές (rpm)");
xlim([0 20.16]);
ylim([0 2500]);
```



Εικόνα 2. Χαρακτηριστική ροπής - στροφών για συνδεσμολογία ξένης διέγερσης.

Παρατηρούμε από την Εικόνα 2 ότι για μεγάλη μεταβολή της ροπής, οι στροφές της μηχανής ΣΡ συνδεδεμένη σε ξένη διέγερση μένουν σχεδόν σταθερές με μια μικρή αρνητική κλίση. Αυτό ήταν εξάλλου και το αναμενόμενο αποτέλεσμα, σύμφωνα με τη θεωρία.

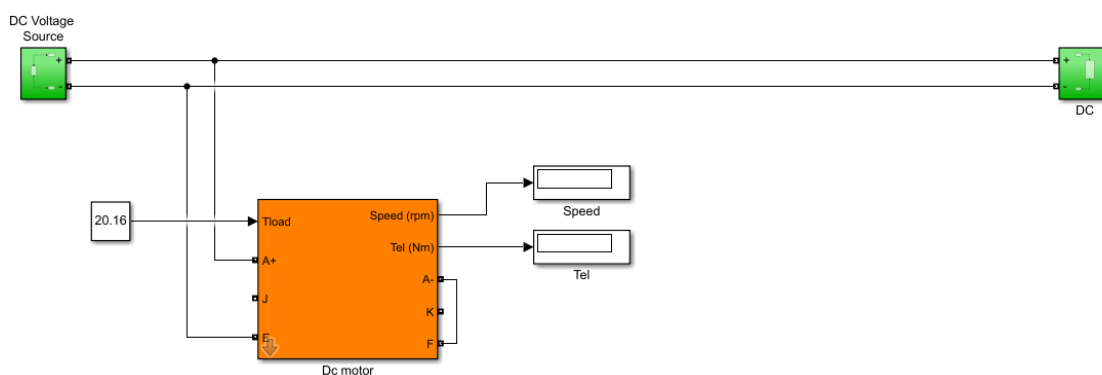
Για τον υπολογισμό του συντελεστή απόδοσης γνωρίζουμε ήδη την ονομαστική ισχύ  $P_N = 3.8 \text{ kW}$ , την ονομαστική ταχύτητα περιστροφής  $\Omega_N = 188.5 \text{ rad/sec}$  και από την μέτρηση την ηλεκτρομαγνητική ροπή  $M_{el} = 21.99 \text{ Nm}$ . Επομένως, ο συντελεστής απόδοσης θα ισούται με τον λόγο της ισχύος στον άξονα ( $P_N$ ) προς την ισχύ στην είσοδο της μηχανής ( $P_{el}$ ):

$$\eta = \frac{P_N}{P_{el}} = \frac{3800}{21.99 * 188.5} = 0.9167 \Rightarrow \eta = \mathbf{91.67\%}$$

### Κινητήρας διέγερσης σε σειρά

Για τον κινητήρα διέγερσης σε σειρά θα συνδέσουμε το ένα τύλιγμα του στάτη στην DC τάση +240 V, ενώ το άλλο θα συνδεθεί με το τύλιγμα F και, τέλος, το τύλιγμα E θα συνδεθεί με την μηδενική τάση. Παρακάτω, στην Εικόνα 3, φαίνεται αναλυτικά η συνδεσμολογία της διέγερσης σε σειρά.

Στον Πίνακα 3 είναι συγκεντρωμένες οι μετρήσεις των στροφών για τη συνδεσμολογία διέγερσης σε σειρά.



Εικόνα 3. Συνδεσμολογία κινητήρα διέγερσης σε σειρά.

$M (N * m)$	$n (rpm)$
0	2014
1.83	1556
3.67	1289
5.50	1116
7.33	994.8
9.16	904.2
10.96	934.3
12.83	776.4
14.66	729.4
16.49	689.7
18.32	655.5
20.16	625.9

Πίνακας 3. Μετρήσεις στροφών κινητήρα διέγερσης σε σειρά.

Στην **Error! Reference source not found.** φαίνεται η χαρακτηριστική ροπής – στροφών για τον κινητήρα με συνδεσμολογία διέγερσης σε σειρά, η οποία σχεδιάστηκε με το λογισμικό της Matlab.

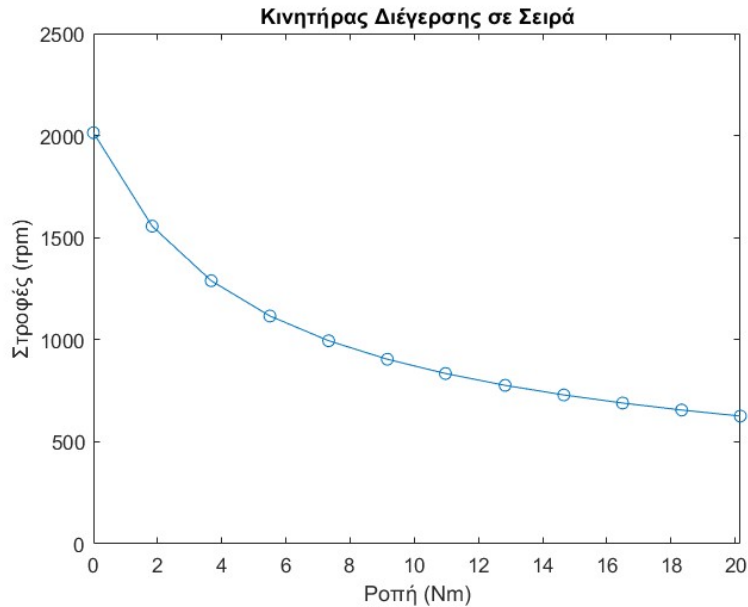
```
clear all; clc; close all;
```

```
M = [0 1.83 3.67 5.50 7.33 9.16 10.97 12.83 14.66 16.49 18.33 20.16];
```

```
% Diegersh se seira
```

```
n = [2014 1556 1289 1116 994.8 904.2 834.3 776.4 729.4 689.7 655.5 625.9];
```

```
figure();  
plot(M, n, "-o");  
title("Κινητήρας Διέγερσης σε Σειρά");  
xlabel("Ροπή (Nm)");  
ylabel("Στροφές (rpm)");  
xlim([0 20.16]);  
ylim([0 2500]);
```



Εικόνα 4. Χαρακτηριστική στροφών κινητήρα διέγερσης σε σειρά.

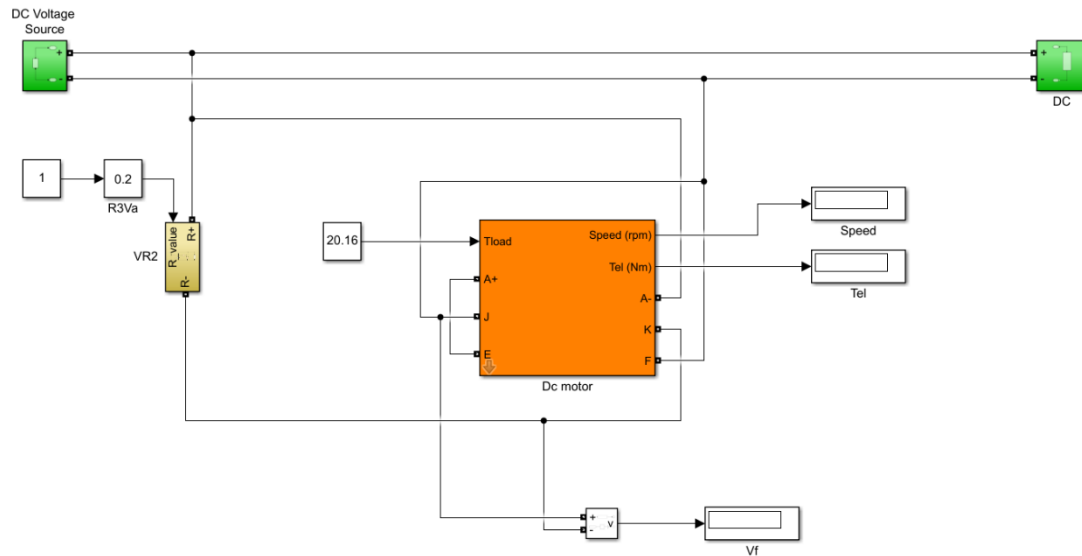
Παρατηρούμε στην Εικόνα 4 ότι για μικρές τιμές της ροπής οι στροφές είναι πολύ υψηλές, οι οποίες μειώνονται γρήγορα όσο αυξάνεται η ροπή. Επομένως, η χαρακτηριστική καμπύλη ροπής – στροφών που σχεδιάσαμε αποτυπώνει πιστά τη λειτουργία του κινητήρα με διέγερση σε σειρά.

Σχετικά με τον βαθμό απόδοσης της μηχανής, από τις μετρήσεις ισχύει ότι  $M_{el} = 20.82 \text{ Nm}$ , άρα:

$$\eta = \frac{P_N}{P_{el}} = \frac{P_N}{M_{el} * \Omega_N} = \frac{3800}{20.82 * 188.5} = 0.9682 \Rightarrow \eta = 96.82\%$$

### Κινητήρας Μικτής Διέγερσης

Ένας κινητήρας με δύο τυλίγματα διέγερσης λέγεται κινητήρας μεικτής διέγερσης, η συνδεσμολογία του οποίου φαίνεται και στην Εικόνα 5. Να σημειωθεί ακόμα ότι έχουμε συνδέσει και μια αντίσταση τυμπάνου  $R_T = 0.2 \Omega$ .



Εικόνα 5. Συνδεσμολογία κινητήρα μикτής διέγερσης.

Στον Πίνακα 4 είναι συγκεντρωμένες όλες οι μετρήσεις για τη συγκεκριμένη συνδεσμολογία.

$M (N * m)$	$n (rpm)$
0	1323
1.83	1084
3.67	940.4
5.50	834.2
7.33	771.5
9.16	715.9
10.96	671.4
12.83	633.6
14.66	602.2
16.49	575.1
18.32	551.2
20.16	530.4

Πίνακας 4. Μετρήσεις στροφών κινητήρα μикτής διέγερσης.

Στην Εικόνα 6 φαίνεται η χαρακτηριστική ροπής – στροφών που σχεδιάστηκε για τον κινητήρα με συνδεσμολογία διπλής διέγερσης με χρήση του λογισμικού Matlab.

```
clear all; clc; close all;
```

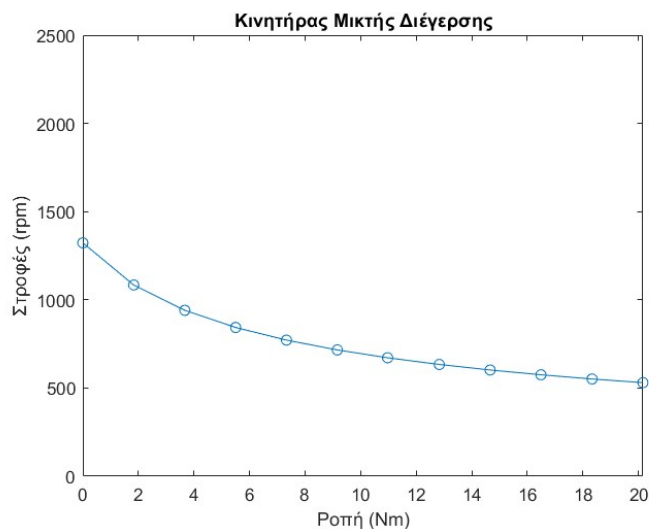
```
M = [0 1.83 3.67 5.50 7.33 9.16 10.97 12.83 14.66 16.49 18.33 20.16];
```

```
% Meikth Diegersh
```



$n = [1323 \ 1084 \ 940.4 \ 843.2 \ 771.5 \ 715.9 \ 671.4 \ 633.6 \ 602.2 \ 575.1 \ 551.2 \ 530.4];$

```
figure();
plot(M, n, "-o");
title("Κινητήρας Μικτής Διέγερσης");
xlabel("Ροπή (Nm)");
ylabel("Στροφές (rpm)");
xlim([0 20.16]);
ylim([0 2500]);
```



Εικόνα 6. Χαρακτηριστική ροπής - στροφών κινητήρα μικτής διέγερσης.

Παρατηρούμε ότι οι στροφές είναι υψηλές για μικρές τιμές της ροπής, ενώ όσο μεγαλώνει η ροπή, οι στροφές μειώνονται με μεγαλύτερη κλίση από ότι στη συνδεσμολογία παράλληλης διέγερσης. Αυτό συμβαίνει γιατί η διέγερση σε σειρά τείνει να είναι επικρατέστερη της παράλληλης διέγερσης και, επομένως, να δρα περισσότερο.

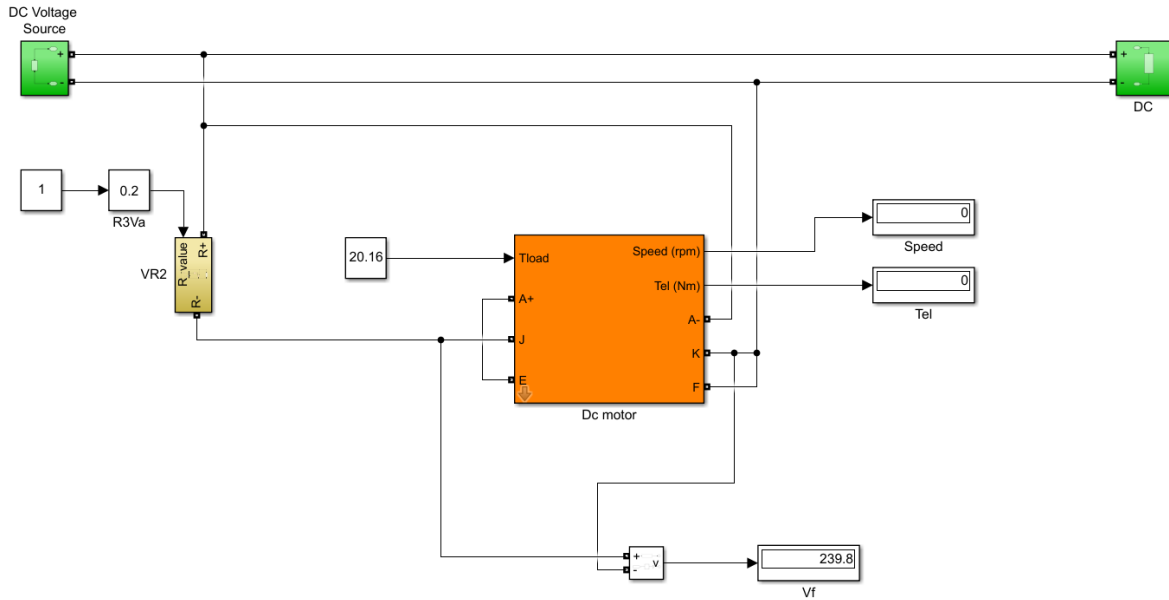
Όσον αφορά τον συντελεστή απόδοσης του κινητήρα μικτής διέγερσης, μετράμε την ηλεκτρομαγνητική ροπή ίση με  $M_{el} = 20.72 \text{ Nm}$ . Επομένως:

$$\eta = \frac{P_N}{P_{el}} = \frac{P_N}{M_{el} \Omega_N} = \frac{3800}{20.72 * 188.5} = 0.9729 \Rightarrow \eta = 97.29\%$$

Σε περίπτωση που αντιστρέψουμε την πολικότητα των τυλιγμάτων διέγερσης (J - K) του κινητήρα μικτής διέγερσης, δηλαδή σχηματίσουμε τη συνδεσμολογία που φαίνεται στην ΕΙΚΟΝΑ, θα λάβουμε τις μετρήσεις που φαίνονται στον Πίνακα 5.

$M (N * m)$	$n (rpm)$
0	2672
1.83	2094
3.67	1707
5.50	1449
7.33	1267
9.16	1132
10.96	1031
12.83	947.2
14.66	880.4
16.49	824.9
18.32	777.7
20.16	737.3

Πίνακας 5. Μετρήσεις στροφών κινητήρα μικτής διέγερσης με αντίστροφη πολικότητα τυλιγμάτων διέγερσης.



Εικόνα 7. Συνδεσμολογία κινητήρα μικτής διέγερσης με αντίστροφη πολικότητα τυλιγμάτων διέγερσης.

Στην Εικόνα 7 φαίνεται η χαρακτηριστική ροπής – στροφών του κινητήρα μικτής διέγερσης αν αντιστρέψουμε την πολικότητα των τυλιγμάτων διέγερσης J – K σε συνδυασμό με την αντίστοιχη χαρακτηριστική του ίδιου κινητήρα για την ορθή πολικότητα. Η χαρακτηριστική σχεδιάστηκε με το λογισμικό Matlab.

```
clear all; clc; close all;
```

```
M = [0 1.83 3.67 5.50 7.33 9.16 10.97 12.83 14.66 16.49 18.33 20.16];
```

```
% Meikth Diegersh
```

```
n1 = [2672 2094 1707 1449 1267 1132 1031 947.2 880.4 824.9 777.7 737.3];
```

```
n2 = [1323 1084 940.4 843.2 771.5 715.9 671.4 633.6 602.2 575.1 551.2 530.4];
```

```
figure();
plot(M, n1, "-o");
hold on;
plot(M, n2, "-o");
legend("Αντίστροφη πολικότητα", "Ορθή πολικότητα");
title("Κινητήρας Μικτής Διέγερσης");
xlabel("Ροπή (Nm)");
ylabel("Στροφές (rpm)");
xlim([0 20.16]);
ylim([0 3000]);
```

Παρατηρούμε ότι εάν αντιστρέψουμε την πολικότητα του τυλιγματος διέγερσης, η χαρακτηριστική ροπής – στροφών του κινητήρα μοιάζει με την αντίστοιχη του κινητήρα διέγερσης σε σειρά, δηλαδή ξεκινά με υψηλές στροφές για μικρές τιμές ροπής και μειώνεται απότομα όσο αυξάνεται η ροπή.

