

Ηλεκτρικές Μηχανές 2

Εργαστηριακή Αναφορά 4 – Προσομοίωση Ενός Πόλου Γραμμικής Σύγχρονης Γεννήτριας μέσω του Λογισμικού FEMM

Κάπρος Παναγιώτης 03118926

15/12/2021



Στόχος

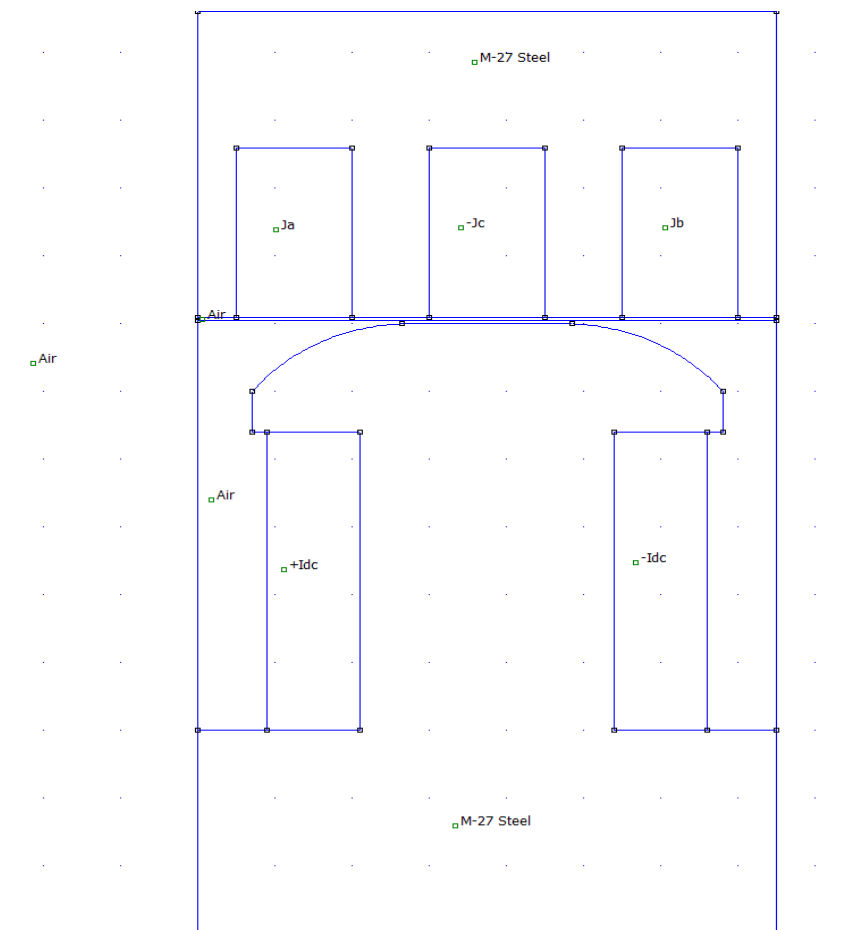
Στόχος της εργαστηριακής άσκησης είναι η εξοικείωση με το λογισμικό προσομοίωσης femm αλλά και η μελέτη πέρα από την θεωρία των χαρακτηριστικών μιας σύγχρονης γεννήτριας μελετώντας το μαγνητικό της πεδίο και άλλων χαρακτηριστικών της σε συγκεκριμένες συνθήκες. Δεδομένου ότι υπάρχει συμμετρία, θα αρκεστούμε στην προσομοίωση μόνο του ενός πόλου της γεννήτριας καθώς αυτό θα μειώσει εξαιρετικά την πολυπλοκότητα ανάλυσης του προβλήματος.

Πειραματική Διάταξη και Ερωτήματα

Για την υλοποίηση της εργαστηριακής άσκησης, σχεδιάστηκε ο πόλος της γεννήτριας όπου αποτελείται από τα εξής:

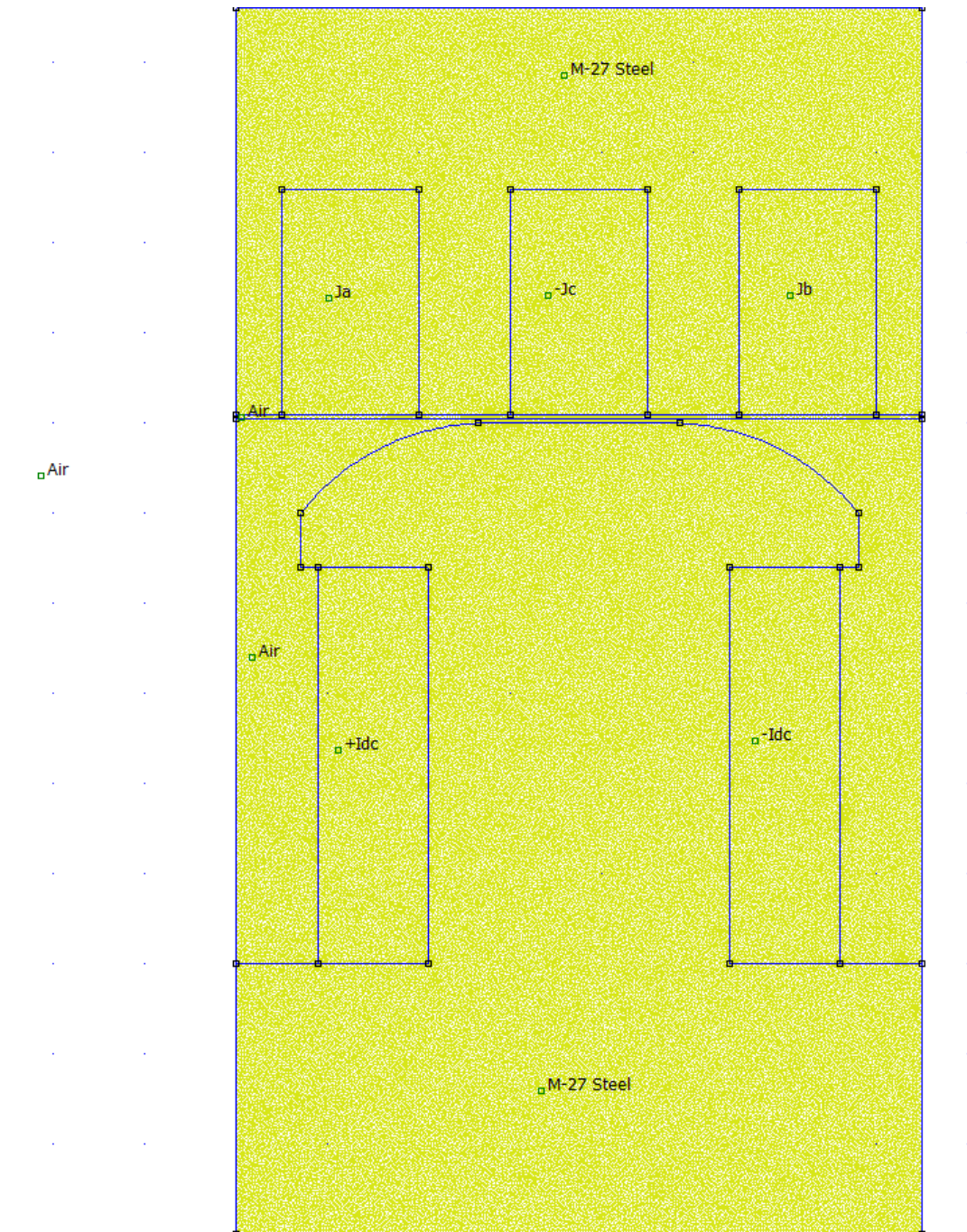
- Υλικά των χωρικών πυκνοτήτων ρεύματος των τριών φάσεων (J_a , J_b , $-J_c$) όπου ορίζονται ως:
 $J_a = \sqrt{2}J_s \cos\phi$, $J_b = \sqrt{2}J_s \cos(\phi + 120^\circ)$, $J_c = \sqrt{2}J_s \cos(\phi + 240^\circ)$ με $J_s = 2.12 \text{ A/mm}^2$.
 - Το συνεχές ρεύμα διέγερσης ($+I_{DC}$, $-I_{DC}$) όπου ορίζεται ως: $+I_{DC} = J_\delta = 1.5 \text{ A.mm}^2$, $-I_{DC} = -J_\delta = -1.5 \text{ A.mm}^2$
 - Η μαγνητική λαμαρίνα σάτη και δρομέα (M-27 Steel)
 - Αέρας που παρεμβάλεται στο διάκενο ανάμεσα σε δρομέα και σάτη αλλά και στο περιβάλλον.
- Όρια της διάταξης $A = 0, 1, 2, 3, 4$ στην περίμετρο αυτής.

Παρακάτω παρατίθεται το σχέδιο της διάταξης:



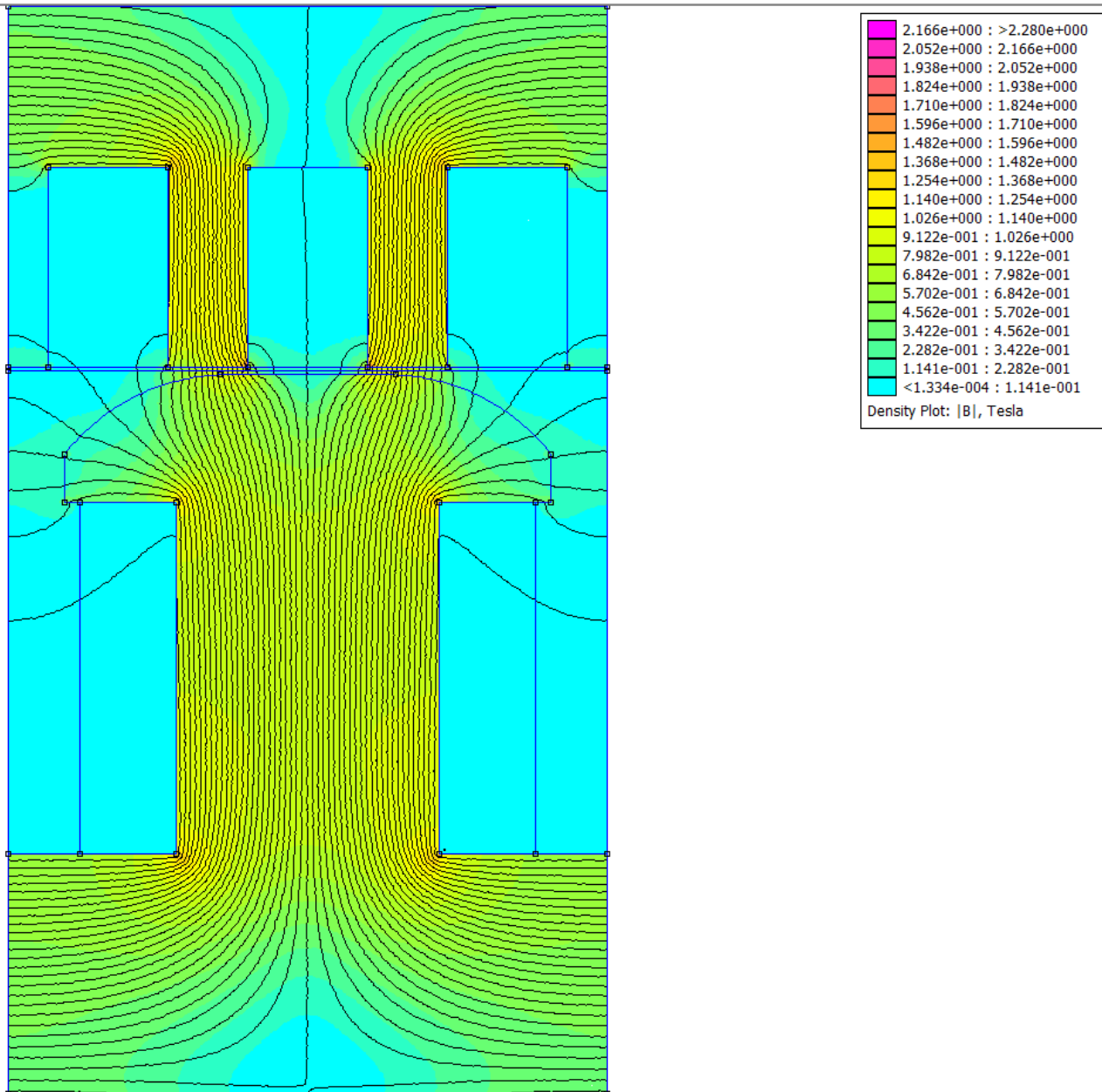
Παρακάτω παρατίθεται η λύση των εκάστοτε ερωτημάτων:

A. Το πλέγμα του κυκλώματος σχεδιασμένο από το femm βρίσκεται παρακάτω (να σημειωθεί πως δημιουργήθηκαν 52002 κόμβοι):



Λειτουργία Κενού Φορτίου

Για να προσομοιώσουμε την λειτουργία κενού φορτίου θέτουμε τις χωρητικές πυκνότητες του ρεύματος του στάτη ίσες με μηδέν ($J_a, J_b, -J_c = 0 \text{ A/mm}^2$). Έτσι η μαγνητική κατανομή που προκύπτει στο πόλο της γεννήτριας έχει ως εξής:



Βάσει του διαγράμματος παρατηρείται πως η μαγνητική ροή διαπερνά το διάκενο αέρα και από τον δρομέα περνά στον στάτη της γεννήτριας και στην συνέχεια από τον πόλο της μηχανής.

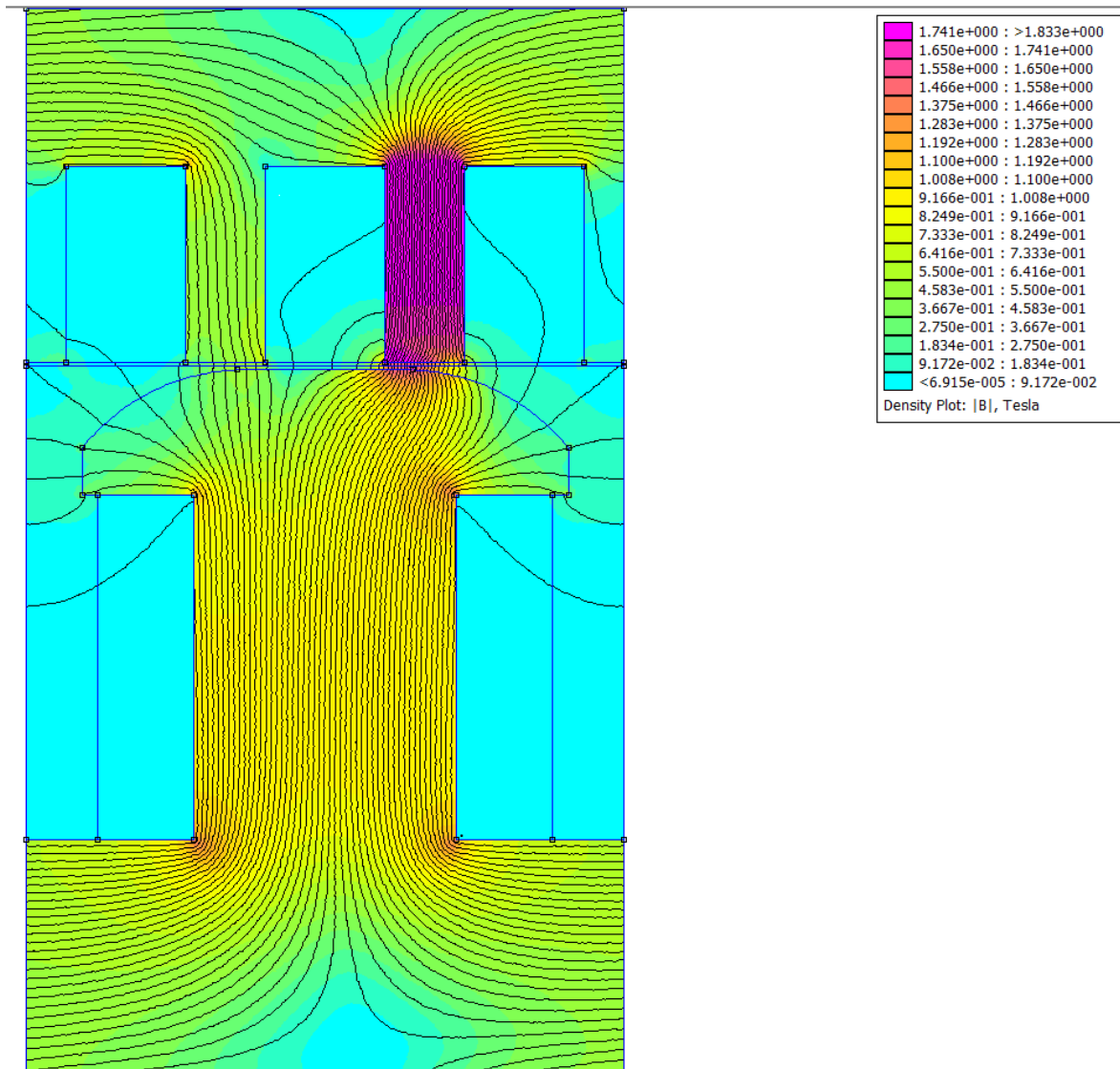
Λειτουργία Μέγιστης Ροπής

Για να πραγματοποιήσουμε αυτήν την προσομοίωση θα πρέπει να θέσουμε τις χωρητικές πυκνότητες του ρεύματος του στάτη σε τιμές για τις οποίες έχουμε μέγιστη τιμή ροπής. Αυτό θα γίνει μεταβάλλοντας την γωνία ϕ από 0° έως 360° με βήμα 10° . Κάνοντας αυτό βρίσκουμε τις εκάστοτε χωρητικές πυκνότητες του ρεύματος του στάτη και με την βοήθεια του femm και την ροπή που αποδίδεται στην γεννήτρια. Έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

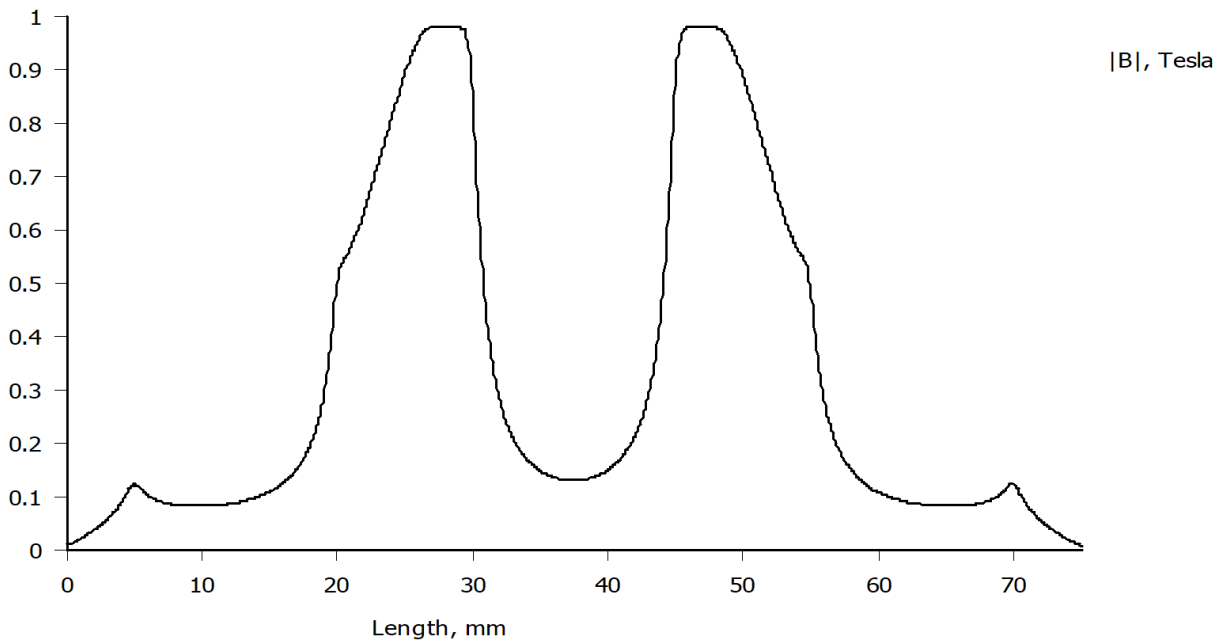
Πίνακας 1: Χωρητικές Πυκνότητες και Ροπή συναρτήσει Γωνίας				
Φ ($^\circ$)	J_a	J_b	J_c	F_x
0	2.9981	-1.4991	-1.4991	36.4719
10	2.9526	-1.9272	-1.0254	24.3592
20	2.8173	-2.2967	-0.5206	12.1742
30	2.5965	-2.5965	0.0000	-0.0401
40	2.2967	-2.8173	0.5206	-12.2528
50	1.9272	-2.9526	1.0254	-24.4392
60	1.4991	-2.9981	1.4991	-36.5586
70	1.0254	-2.9526	1.9272	-48.6885
80	0.5206	-2.8173	2.2967	-61.0790
90	0.0000	-2.5965	2.5965	-74.9889
100	-0.5206	-2.2967	2.8173	-86.5606
110	-1.0254	-1.9272	2.9526	-92.1406
120	-1.4991	-1.4991	2.9981	-91.5324
130	-1.9272	-1.0254	2.9526	-84.9542
140	-2.2967	-0.5206	2.8173	-72.7755
150	-2.5965	0.0000	2.5965	-54.2127
160	-2.8173	0.5206	2.2967	-35.6525
170	-2.9526	1.0254	1.9272	-20.9147
180	-2.9981	1.4991	1.4991	-10.5903
190	-2.9526	1.9272	1.0254	-4.3978
200	-2.8173	2.2967	0.5206	-1.3517
210	-2.5965	2.5965	0.0000	0.0023
220	-2.2967	2.8173	-0.5206	1.3553
230	-1.9272	2.9526	-1.0254	4.3983
240	-1.4991	2.9981	-1.4991	10.5838
250	-1.0254	2.9526	-1.9272	20.8952

260	-0.5206	2.8173	-2.2967	35.6189
270	0.0000	2.5965	-2.5965	54.1516
280	0.5206	2.2967	-2.8173	72.7012
290	1.0254	1.9272	-2.9526	84.9059
300	1.4991	1.4991	-2.9981	91.5025
310	1.9272	1.0254	-2.9526	92.1115
320	2.2967	0.5206	-2.8173	86.5151
330	2.5965	0.0000	-2.5965	74.9107
340	2.8173	-0.5206	-2.2967	60.9738

Όπως φαίνεται και στον πίνακα, η κοκκινισμένη γραμμή και άρα για 110° έχουμε την μεγαλύτερη οριζόντια δύναμη και άρα και ασκούμενη ροπή. Έτσι για αυτές τις τιμές χωρητικών πυκνοτήτων του ρεύματος του στάτη η κατανομή της μαγνητικής ροής βάσει του femm είναι:

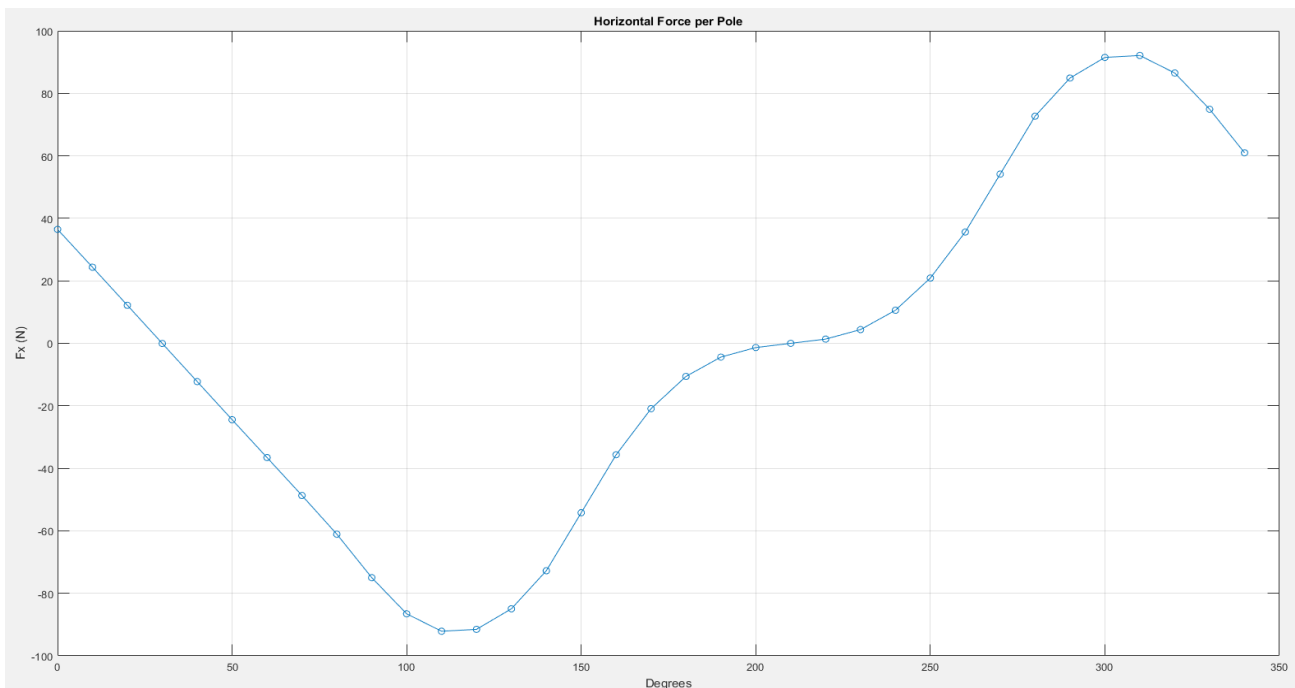


Β. Μέσω του femm είναι δυνατή η διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επαγωγής στο μέσο του διακένου κατά μήκος ενός πόλου σε λειτουργία κενού φορτίου:

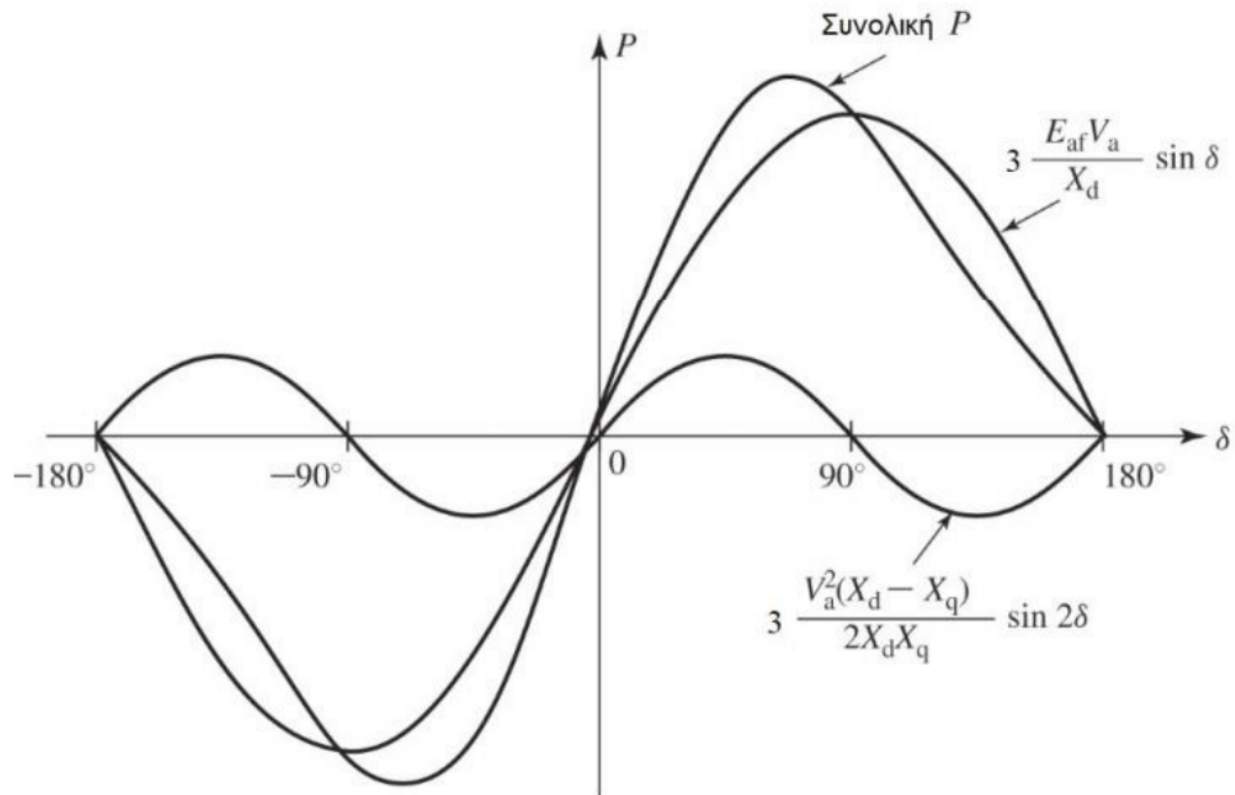


Βάσει του διαγράμματος, παρατηρείται μεγάλη αύξηση μαγνητικής επαγωγής στα σημεία όπου υπάρχει σιδηρομαγνητικό υλικό ανάμεσα στα τυλίγματα του στάτη σε αντίθεση με τις περιοχές κοντά στα τυλίγματα του στάτη. Αυτό συμβαίνει καθώς υπάρχει λιγότερη μαγνητική αντίσταση ανάμεσα στα τυλίγματα.

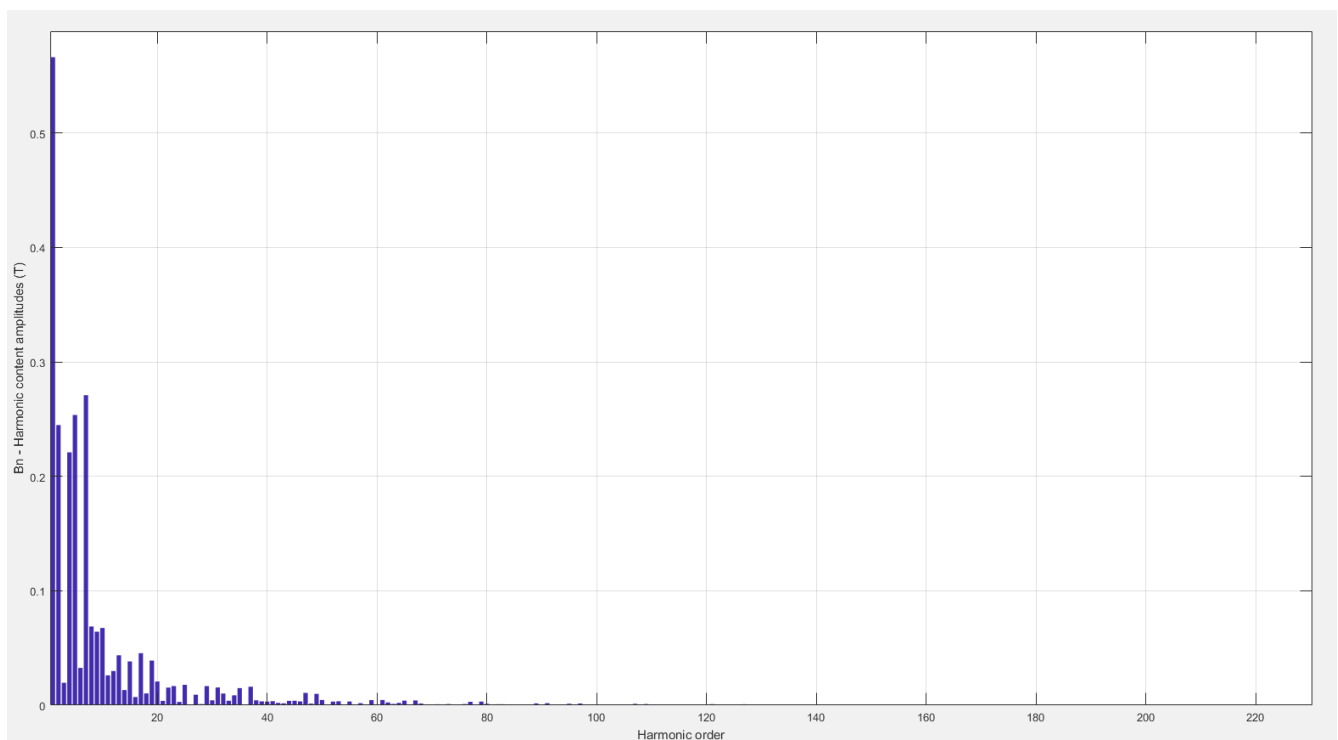
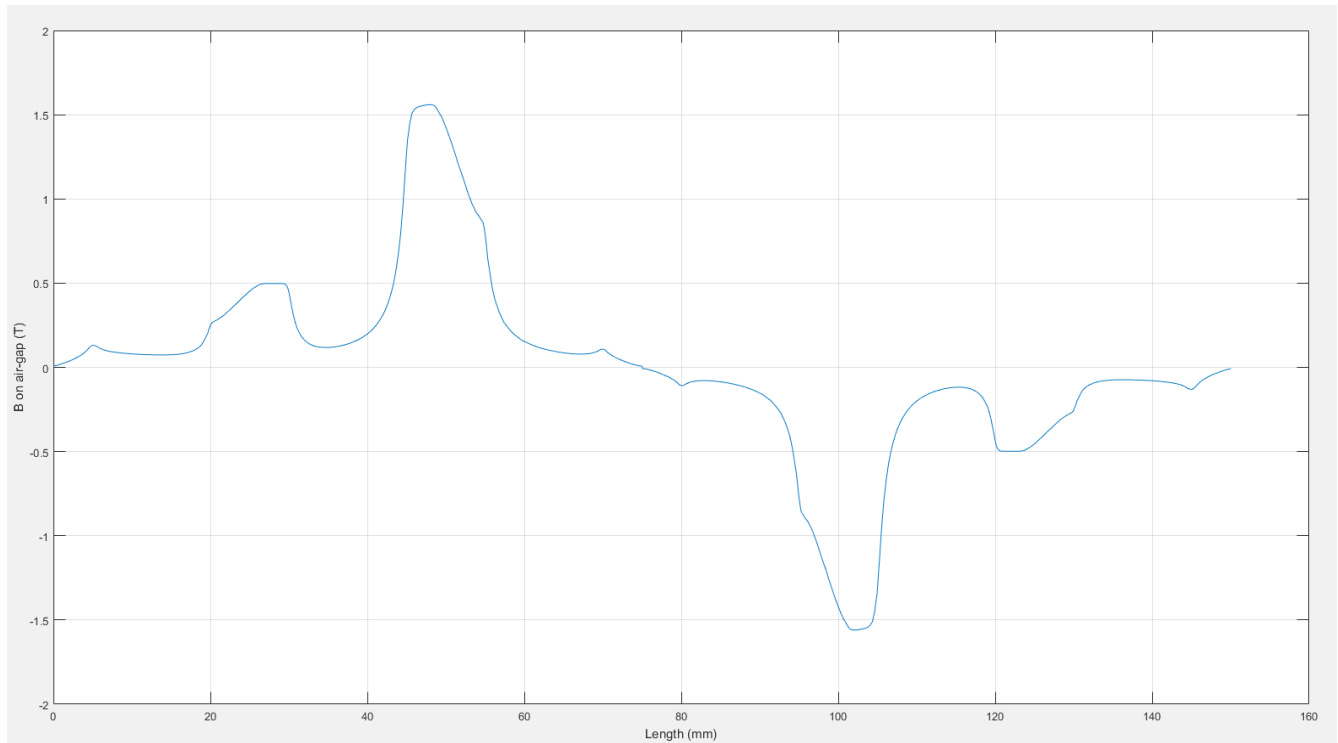
Γ. Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα οριζόντιας δύναμης συναρτήσει γωνίας:



Παρατηρώντας το διάγραμμα παραπάνω, απεικονίζεται μια σχεδόν ημιτονική ως προς την μορφή της γραφική παράσταση. Οι αποκλίσεις ως προς αυτήν την μορφή οφείλονται στο γεγονός πως το fem αδυνατεί να προσομοιάσει τέλεια το πρόβλημα. Βάσει θεωρίας, η παραπάνω χαρακτηριστική αποτελεί μία ανάλογη γραφική της ισχύς συναρτήσει γωνίας για μια μηχανή έκτυπων πόλων όπως φαίνεται και παρακάτω:



Δ. Για την διεκπαιρέωση του ερωτήματος χρειάστηκε ο δοσμένος κώδικας σε matlab από τον επιβλέποντα καθηγητή. Εισάγωντας τα στοιχεία που προέκυψαν από την προσομοίωση στο femm σε .txt αρχείο για την κατανομή της μαγνητικής επαγωγής και το φάσμα αρμονικών στον χώρο, προέκυψαν οι εξής γραφικές παραστάσεις:



Αυτό που παρατηρείται είναι η ύπαρξη κάποιων αρμονικών εκτός της θεμελιώδους στην μαγνητική επαγωγή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως δεν έχουμε ένα ιδανικό πεδίο ημιτονοειδούς μορφής και έτσι εισάγονται ορισμένες αρμονικές – παραμορφώσεις. Τέλος άξιο αναφοράς είναι το γεγονός πως το femt έχει την ιδιαιτερότητα για την περιοχή που ορίζεται μέσω της γραμμής που πρέπει να τραβηχτεί για να μελετηθεί, ακόμα και η φορά της γραμμής από το σημείο A στο σημείο B μπορεί να αποφέρει διαφορετικά αποτελέσματα (στην περίπτωση μας θα φέρει αντιδιαμετρικά γραφικώς αποτελέσματα).