



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Δυναμική Ηλεκτρικών Μηχανών

Ενότητα 1: Εισαγωγή – Βασικές Αρχές

Επ. Καθηγήτρια Τζόγια Χ. Καππάτου

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας
Υπολογιστών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



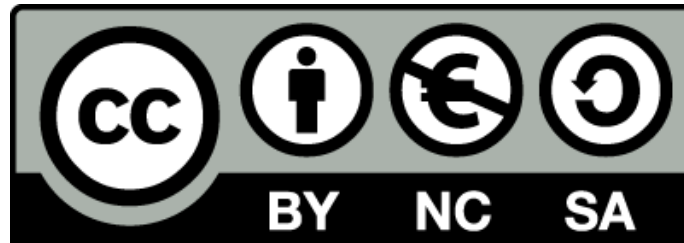
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης






Περιεχόμενα



Στοιχεία Ηλεκτρομηχανικών Συστημάτων

Στοιχεία Ηλεκτρομηχανικών Συστημάτων

Κυκλώματα με παθητικά στοιχεία

- Ωμικές Αντιστάσεις  Εύκολος προσδιορισμός
- Αυτεπαγωγές 
- Χωρητικότητες  Σταθερές τιμές στο Χρόνο

Ηλεκτρικές Μηχανές

- Αυτεπαγωγές 
- Αλληλεπαγωγές  Συναρτήσεις του Χρόνου και της Θέσης του Δρομέα

✓ Ο προσδιορισμός επαγωγιμοτήτων και χωρητικοτήτων σε συγκεκριμένες συσκευές απαιτεί ορισμένη μεθοδολογία.

Επαγωγιμότητα

Η Επαγωγιμότητα :

- ✓ Είναι ο συντελεστής αναλογίας μεταξύ ηλεκτρικού ρεύματος και ροής του μαγνητικού πεδίου.
- ✓ Εξαρτάται από τη γεωμετρική διαμόρφωση των αγωγών που διαρρέονται από ρεύμα και από τη μαγνητική ροή.

Η αυτεπαγωγή μιας διάταξης που περιέχει την πεπλεγμένη μαγνητική Ροή $\lambda = W^* \Phi$, όπου $w = \text{αριθμός σπειρών πηνίου}$, δίνεται από την σχέση:

$$L = \frac{\partial \lambda}{\partial i} \quad \text{A.2.1}$$

Αν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ λ και i τότε:

$$L = \lambda / i \quad \text{A.2.2}$$

Υπολογισμός επαγωγιμοτήτων

Για τον υπολογισμό της L χρειαζόμαστε τη Φ

- Η ροή Φ εξαρτάται από τα ρεύματα και από την επιφάνεια.
- Όταν η γεωμετρία της διατάξεως είναι αμετάβλητη εκτός από μία μόνο μεταβαλλόμενη διάσταση, τότε:

$$\Phi = f(i, x) \quad \text{A.2.3}$$

$$\Phi = f(i_1, i_2, \dots, i_n, x_1, x_2, \dots, x_n) \quad \text{A.2.4}$$

Η χρονική μεταβολή της ροής προκαλεί μία τάση εξ επαγωγής :

$$u = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\partial\Phi}{\partial i} \frac{di}{dt} + \frac{\partial\Phi}{\partial x} \frac{dx}{dt} \quad \text{A.2.5}$$

Υπολογισμός επαγωγιμοτήτων (1)

Για τον υπολογισμό της L χρειαζόμαστε τη Φ

Ροή Φ που διαρρέει επιφάνεια A εξαρτάται από τα ρεύματα και την επιφάνεια

$$\Phi = \int_{\vec{A}} \vec{B} d\vec{A} \quad \text{A.2.6}$$

Η μαγνητική επαγωγή \mathbf{B} εξαρτάται από τα ρεύματα που δημιουργούν την ένταση του μαγνητικού πεδίου \mathbf{H}

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad \text{A.2.7}$$

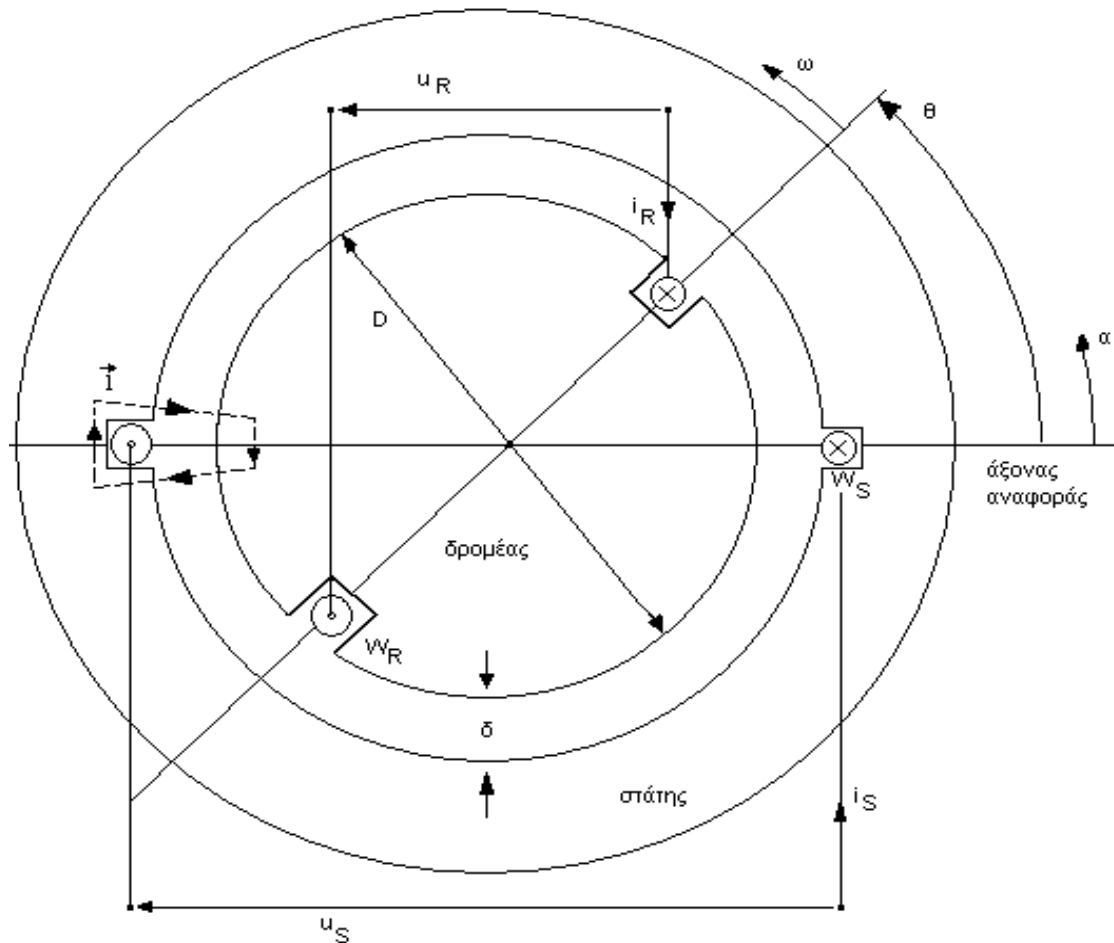
Νόμος του διαρρεύματος για τον υπολογισμό του \mathbf{H}

$$\int_{\vec{l}} \vec{H} dl = \sum_{\nu} i_{\nu} = \sum_{\nu} \int_{\vec{A}_{\nu}} \vec{G}_{\nu} d\vec{A}_{\nu} \quad \text{A.2.8}$$

Υπολογισμός επαγωγιμοτήτων (2)

- Με τους παραπάνω νόμους και με τη βοήθεια της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας μπορούμε να υπολογίσουμε τους συντελεστές αυτεπαγωγών και αλληλεπαγωγών μιας διάταξης.
- Με κάθε ρεύμα είναι συνυφασμένη μία επαγωγιμότητα, διότι κάθε ξεχωριστό ρεύμα δημιουργεί μία ξεχωριστή μαγνητική ροή.

Παράδειγμα Υπολογισμού Επαγωγιμοτήτων

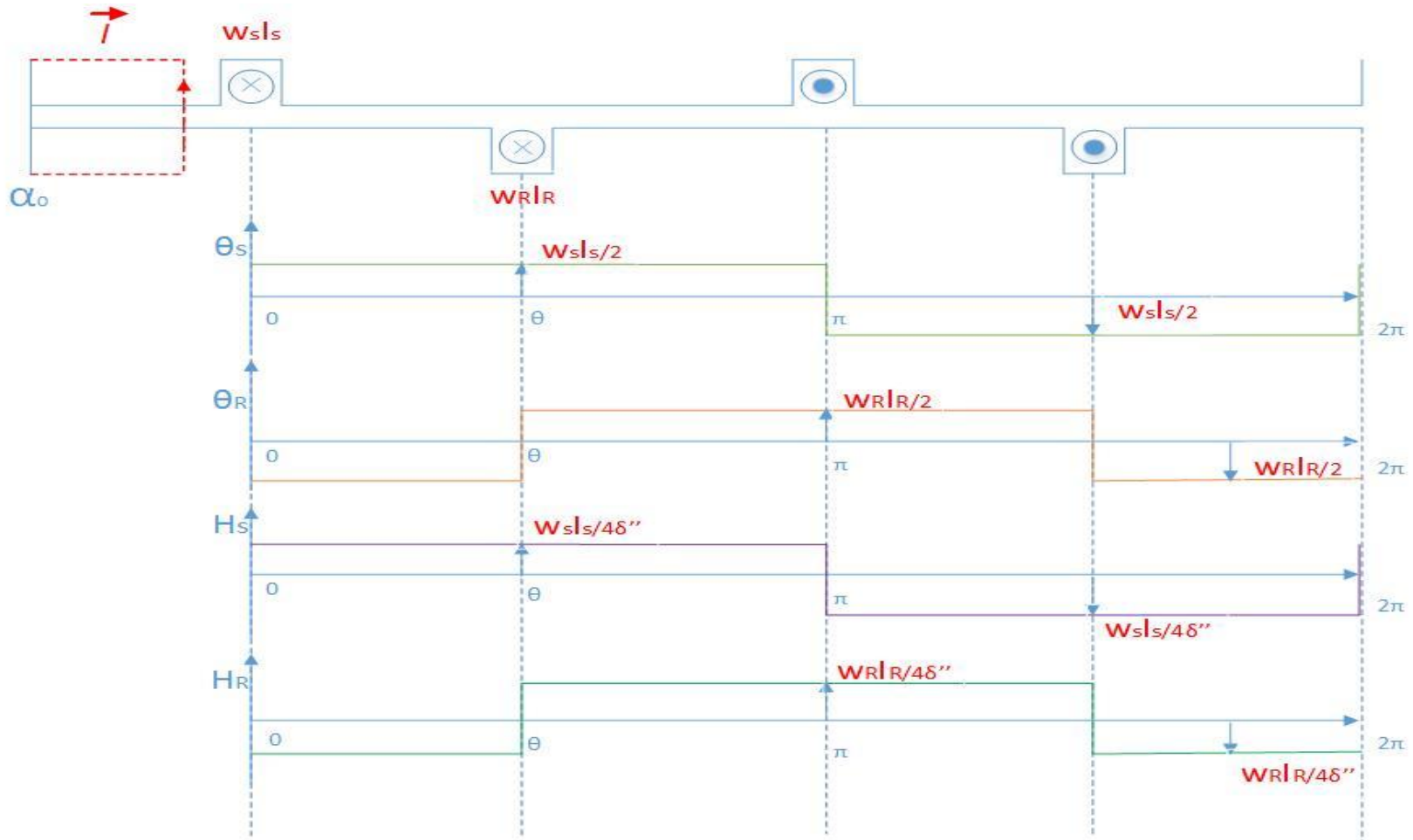


Σχ.1.3.1. Διατομή διπολικής Ηλεκτρικής Μηχανής (Στάτης-Δρομέας)

Υποθέσεις - Παραδοχές

- ❖ Οι αυλακώσεις είναι αντιδιαμετρικές και μικρές.
- ❖ Το διάκενο έχει μικρό πλάτος δ σε σύγκριση με το μήκος l και τη διάμετρο D της μηχανής. (μαγνητικό πεδίο μέσα στο διάκενο είναι σταθερό και ακτινικό)
- ❖ Η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο σίδηρο είναι πάρα πολύ μικρή, ώστε να μπορεί να παραληφθεί. (σχετ. μαγνητική διαπερατότητα του σιδήρου: $\mu_{Fe} \approx 10^4$)
- ❖ Η εξωτερική επιφάνεια του δρομέα και η εσωτερική επιφάνεια του στάτη θεωρούνται εντελώς λείες.
- ❖ Το διάρρευμα $W \cdot i$ θεωρείται συγκεντρωμένο σε ένα σημείο.
- ❖ Η διακύμανση του δ λόγω ύπαρξης αυλακώσεων λαμβάνεται υπόψη με την αντικατάσταση του πραγματικού πλάτους από το κάπως αυξημένο διάκενο δ'' .

Διάρρευμα του Στάτη και Δρομέα και Ένταση του Μαγνητικού Πεδίου



Σχ.1.3.2. Διάρρευμα του Στάτη και Δρομέα και Ένταση του Μαγνητικού Πεδίου συναρτήσει της γωνίας α .

Διάρρευμα του Στάτη και Δρομέα

- Οι συναρτήσεις του διαρρεύματος Θ με την γωνία α για το στάτη και το δρομέα είναι **ορθογώνιες** καμπύλες και μετατοπισμένες η μία ως προς την άλλη κατά γωνία θ .
- Στα σημεία που συναντούμε αυλακώσεις έχουμε μεταβολή του διαρρεύματος κατά W^*i
- Το διάρρευμα Θ είναι το σύνολο των ρευμάτων που περικλείει η κλειστή τροχιά όταν ξεκινάει από τη θέση α_0 και εκτείνεται διαρκώς κατά μήκος του α .
- Ο άξονας α τοποθετείται έτσι ώστε η $\Theta(\alpha)$ να γίνεται συμμετρική ως προς αυτόν.

Ένταση του Μαγνητικού πεδίου

- Νόμος του διαρρεύματος:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \int = \vec{G} d\vec{A} = \Theta \quad \text{A.2.9}$$

Πεδίο διακένου οφειλόμενο στο ρεύμα στάτη

$$2H_{\delta}\delta'' + 2l_{Fe}H_{Fe} = \frac{W_S i_S}{2} \quad \text{A.2.10}$$

$$\boxed{H_{Fe} \ll H_{\delta}} \quad \longrightarrow \quad \boxed{H_{\delta} = \frac{W_S i_S}{4\delta''}} \quad \text{A.2.11}$$

- ✓ Αντίστοιχες εξισώσεις μπορούμε να διατυπώσουμε και για το δρομέα αν εφαρμόσουμε πάλι το νόμο του διαρρεύματος.

Ένταση του Μαγνητικού πεδίου

ΟΛΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΔΙΑΚΕΝΟΥ

- για $0 < \alpha < \theta$:

$$H_{\delta} = \frac{W_S i_S - W_R i_R}{4\delta''} \quad \text{A.2.12}$$

- για $\theta < \alpha < \pi$:

$$H_{\delta} = \frac{W_S i_S + W_R i_R}{4\delta''} \quad \text{A.2.13}$$

- για $\pi < \alpha < \pi + \theta$

$$H_{\delta} = \frac{W_S i_S - W_R i_R}{4\delta''} \quad \text{A.2.14}$$

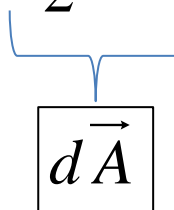
- για $\pi + \theta < \alpha < 2\pi$

$$H_{\delta} = \frac{W_S i_S - W_R i_R}{4\delta''} \quad \text{A.2.15}$$

Υπολογισμός Πεπλεγμένων Ροών Στάτη

Ισχύει ο Α.2.6: $\Phi = \int_A \vec{B} d\vec{A}$ και $\vec{B} = \mu \vec{H}$ A.2.16

Έτσι για την συγκεκριμένη διάταξη ισχύει: $\lambda = \int_0^\pi WBl \frac{D}{2} d\alpha = \frac{1}{2} W \mu_0 l D \int_0^\pi H d\alpha$



$d\vec{A}$

A.2.17

Για τον Στάτη:

$$\lambda_s = \frac{W_s}{2} \mu_0 l D \left(\int_0^\theta \frac{W_s i_s - W_R i_R}{4\delta''} d\alpha + \int_\theta^\pi H \frac{W_s i_s + W_R i_R}{4\delta''} d\alpha \right)$$
A.2.18

$$\lambda_s = \frac{D\pi}{8\delta''} \mu_0 l W_s^2 i_s + \frac{D}{8\delta''} \mu_0 l W_s W_R (\pi - 2\theta) i_R$$

A.2.19

Υπολογισμός Επαγωγιμοτήτων Στάτη

Ισχύει: $\lambda_S = L_S i_S + L_{SR} i_R$ A.2.20

Έτσι από την A.2.19 προκύπτει :

Συντελεστής αυτεπαγωγής : $L_S = \frac{D\pi}{8\delta''} \mu_0 l W_S^2$ A.2.21

Συντελεστής αλληλεπαγωγής: $L_{SR} = \frac{D\pi}{8\delta''} \mu_0 l W_S W_R \left(1 - \frac{2\theta}{\pi}\right)$

A.2.22

- ✓ Ισχύει επίσης ότι $L_{SR} = L_{RS}$ (γνωστό από την ηλεκτρομαγνητική θεωρία και ισχύει όταν η διαπερατότητα είναι ανεξάρτητη του μαγνητικού πεδίου)

Υπολογισμός Επαγωγιμοτήτων Δρομέα

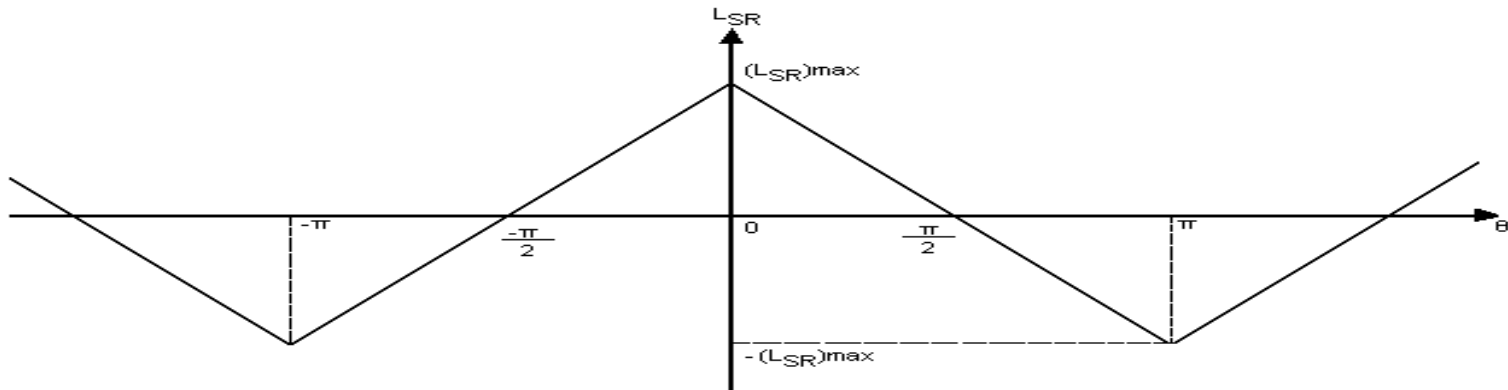
- Ομοίως για το δρομέα: $\Phi_R = L_{RS}i_S + L_Ri_R$ A.2.23

- Διαπερατότητα ανεξάρτητη του μαγνητικού πεδίου: $L_{RS} = L_{SR}$ A.2.24

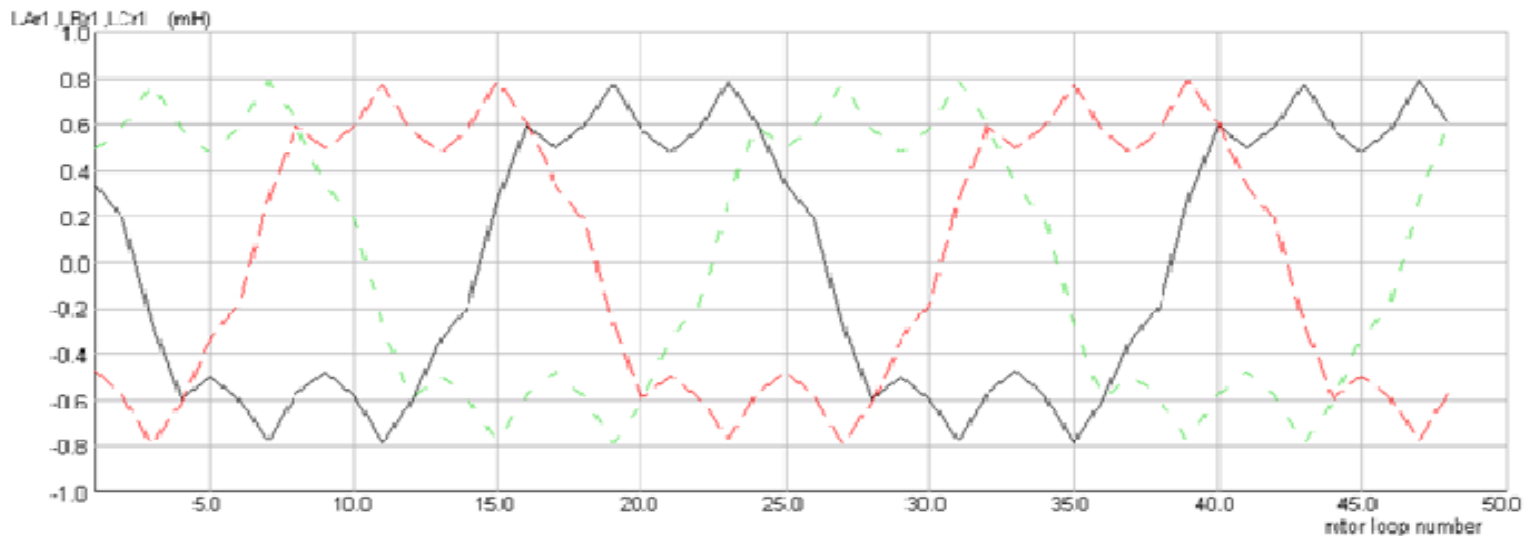
- Αυτεπαγωγή δρομέα: $L_R = \frac{D\pi}{8\delta''} \mu_0 l W_R^2$ A.2.25

- Αλληλεπαγωγή L_{SR} συνάρτηση της γωνίας θ , συνεπώς και του χρόνου, καθώς $\theta = \omega(t)*t$ (ανάγκη Μετασχηματισμών)
- Αυτεπαγωγές ανεξάρτητες από την κίνηση.
- Αλληλεπαγωγή L_{SR} έχει θεωρητικά τριγωνική μορφή!

Παράδειγμα Αλληλεπαγωγής

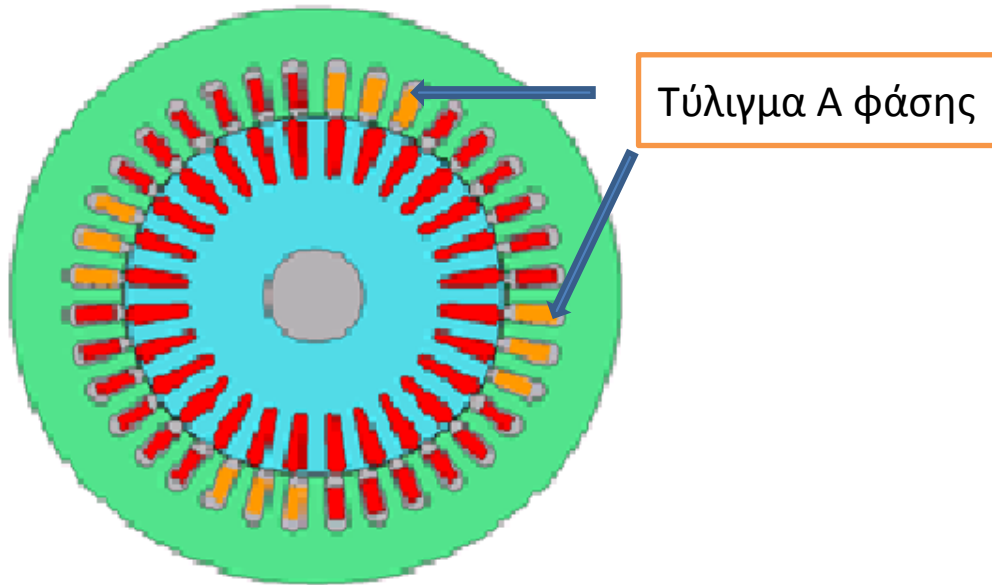


Σχ.1.3.3. Αμοιβαία Επαγωγιμότητα Στάτη-Δρομέα μιας φάσης (Θεωρητική καμπύλη)

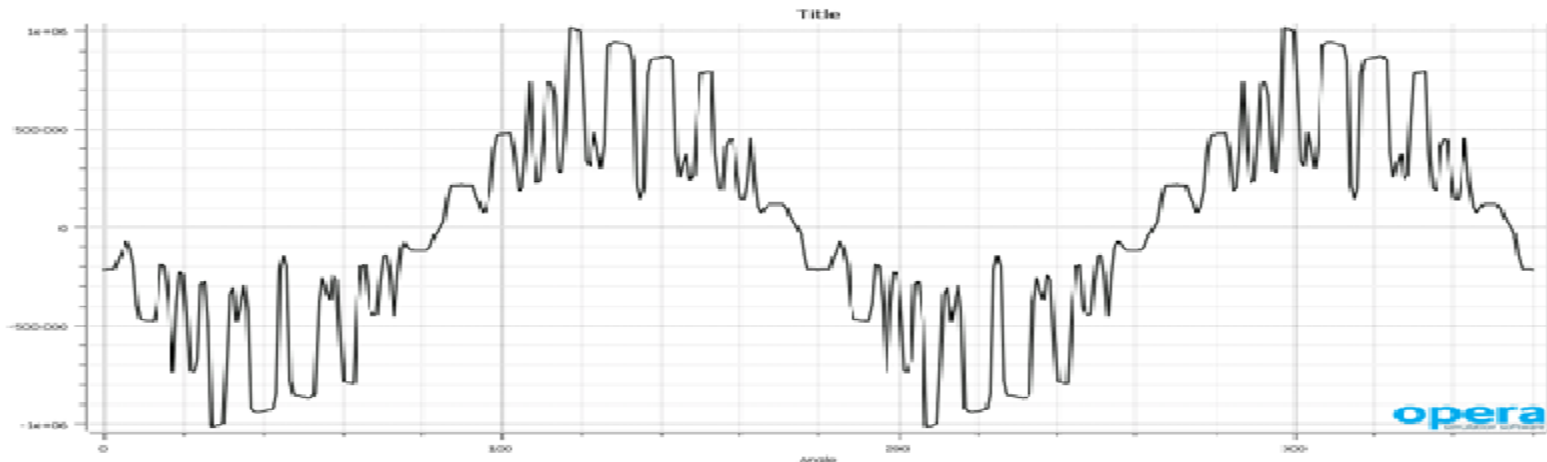


Σχ.1.3.4. Αμοιβαία Επαγωγιμότητα Στάτη-Δρομέα των τριών φάσεων (Πραγματική καμπύλη)

Πραγματική Μηχανή



*Τετραπολική
Μηχανή, $P_N=4kW$,
 $f=50Hz$, τυλίγματα
στο Στάτη μονής
στρώσης*



Σχ.1.3.5. Ένταση μαγνητικού πεδίου H , συνατήσει της γωνίας στο μέσο του διακένου της μηχανής, λόγω ρευμάτων των 3 φάσεων του στάτη μόνο.

Πηγές

Οι πηγές των **Εικόνων, των Σχημάτων και των Διαγραμμάτων είναι:**

[1] Α.Ν. Σαφάκας, «Ηλεκτρικές Μηχανές Α», Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2009

[2] Α.Ν. Σαφάκας, «Ηλεκτρικές Μηχανές Β», Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2009

[3] Α.Ν. Σαφάκας, «Δυναμική Ηλεκτρομηχανικών συστημάτων» Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2008

[4] Τζόγια Χ. Καππάτου, Πανεπιστημιακές σημειώσεις και Εξομοιώσεις Μοντέλων Ηλεκτρικών Μηχανών σε περιβάλλον Πεπερασμένων Στοιχείων, Εργαστήριο Ηλεκτρομηχανικής Μετατροπής Ενέργειας, Η.Μ.Τ.Υ, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Τέλος Ενότητας



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης