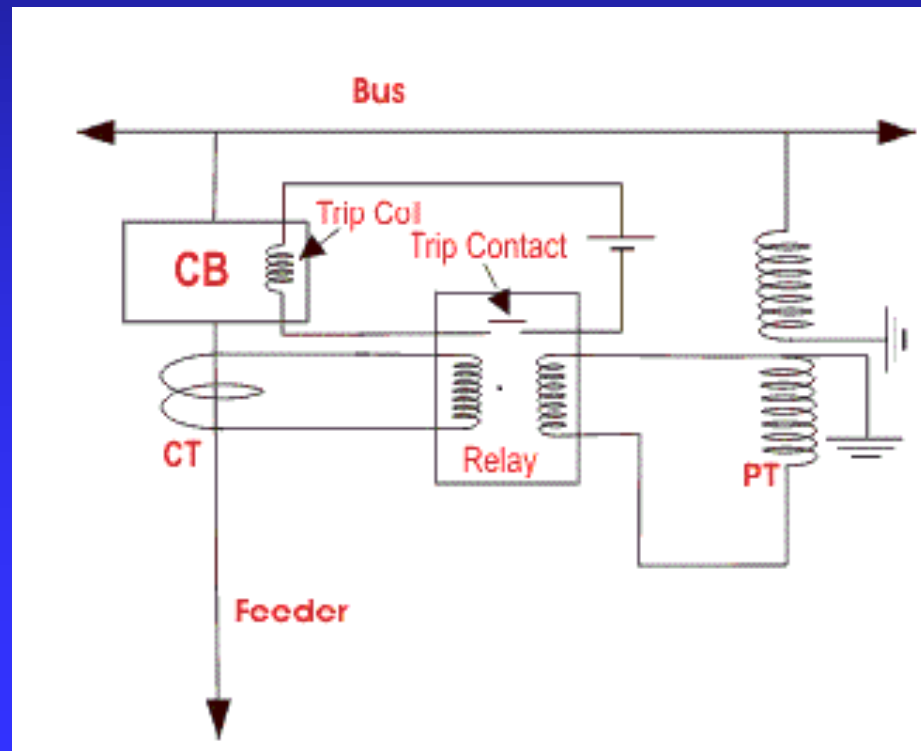


ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΗΕ

Ενότητα 2 Θεμελιώδεις αρχές ηλεκτρονόμων



Αρχές λειτουργίας

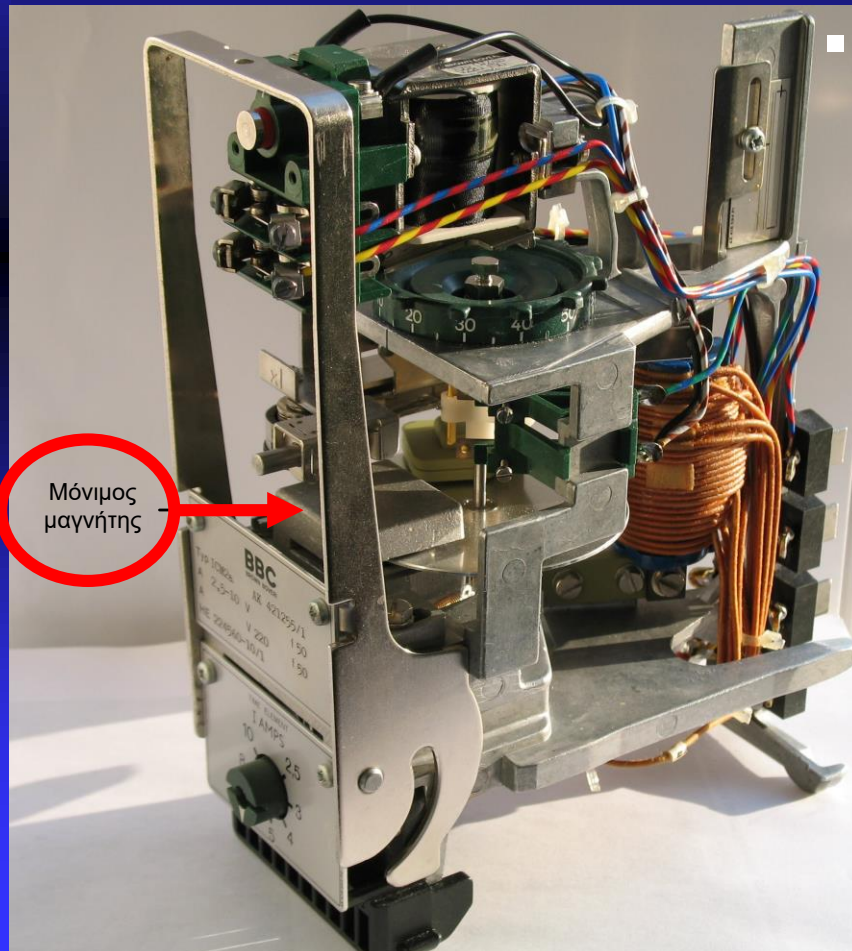
- Όλοι οι ηλεκτρονόμοι που θα εξετάσουμε διεγείρονται από μία ή περισσότερες ηλεκτρικές ποσότητες για να ανοίξουν ή να κλείσουν τις επαφές τους.
- Όταν οι επαφές ενός αποδιεγερμένου ηλεκτρονόμου (κανονική κατάσταση) είναι ανοικτές ονομάζονται **ανοικτές** ή "**a**" επαφές, ενώ όταν είναι κλειστές ονομάζονται **κλειστές** ή "**b**" επαφές.



- Έχουμε δύο κατηγορίες ηλεκτρομηχανικών ηλεκτρονόμων σε σχέση με τις αρχές λειτουργίας τους:
 1. **ηλεκτρομαγνητικής έλξης**, όπου ένα στέλεχος έλκεται μέσα σε ένα σωληνοειδές πηνίο ή ένας οπλισμός έλκεται από τους πόλους ενός ηλεκτρομαγνήτη. Διεγείρονται από εναλλασσόμενες ή συνεχείς ηλεκτρικές ποσότητες.
 2. **επαγωγικού τύπου**, που βασίζονται στην αρχή του επαγωγικού κινητήρα. Διεγείρονται μόνο με εναλλασσόμενες ποσότητες.

Χρονική καθυστέρηση

- Ορισμένοι ηλεκτρονόμοι έχουν ρυθμιζόμενη χρονική καθυστέρηση και άλλοι είναι *στιγμιαίοι* ή *μεγάλης ταχύτητας*.
- Χρονική καθυστέρηση σε ηλεκτρονόμο επαγωγικού τύπου επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός κινούμενου μόνιμου μαγνήτη.

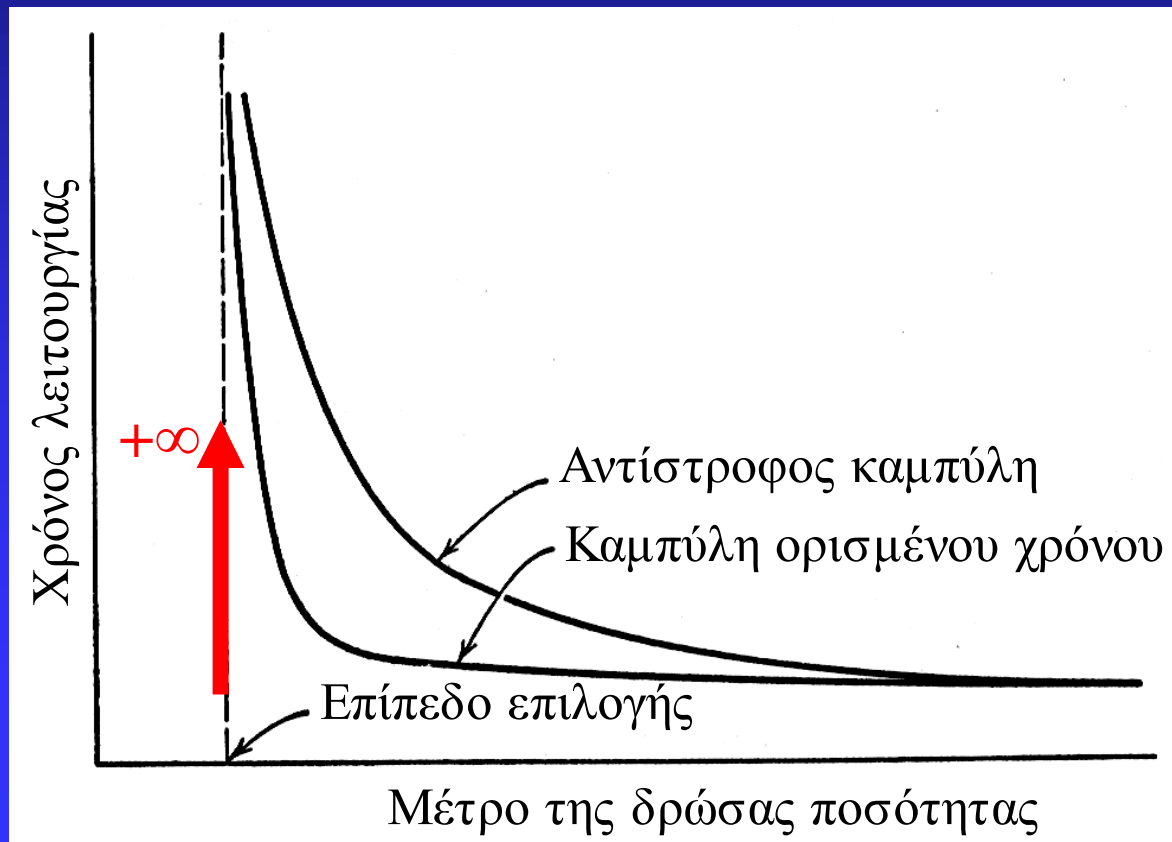


- Χρονική καθυστέρηση σε ηλεκτρονόμο ηλεκτρομαγνητικής έλξης μπορούμε να έχουμε με μηχανικό τρόπο (ακροφύσια, ωρολογιακά κλπ).

Εκπαιδευτικός ηλεκτρονόμος υπερέντασης επαγωγικού τύπου

Καμπύλη χρόνου λειτουργίας

- *Αντίστροφου χρόνου*, όταν ο χρόνος λειτουργίας ελαττώνεται καθώς αυξάνεται η ηλεκτρική ποσότητα που δρα στον ηλεκτρονόμο.
- *Ορισμένου χρόνου*, όταν ο χρόνος λειτουργίας είναι ανεξάρτητος από τη δρώσα ηλεκτρική ποσότητα.



Ηλεκτρονόμοι ηλεκτρομαγνητικής έλξης μιας δρώσας ποσότητας

- Ηλεκτρονόμοι εναλλασσόμενου ή συνεχούς ρεύματος που ενεργοποιούνται ή μόνο από ρεύμα ή μόνο από τάση.
- Η ηλεκτρομαγνητική δύναμη που ασκείται στο κινούμενο στέλεχος είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ροής στο διάκενο αέρα.

- $F = K_1 I^2 - K_2$

όπου: F = η συνισταμένη δύναμη.

- ◆ K_1 = μία σταθερά μετατροπής σε διαστάσεις δύναμης.
- ◆ I = η ενεργός τιμή του ρεύματος στο πηνίο διέγερσης.
- ◆ K_2 = η δύναμη αναχαίτισης (μαζί με τη τριβή).

- Όταν η δρώσα ηλεκτρική ποσότητα φθάσει το επίπεδο επιλογής, η συνισταμένη δύναμη είναι μηδέν και η *χαρακτηριστική λειτουργία* δίνεται από τη σχέση:

$$K_1 I^2 = K_2$$

ή

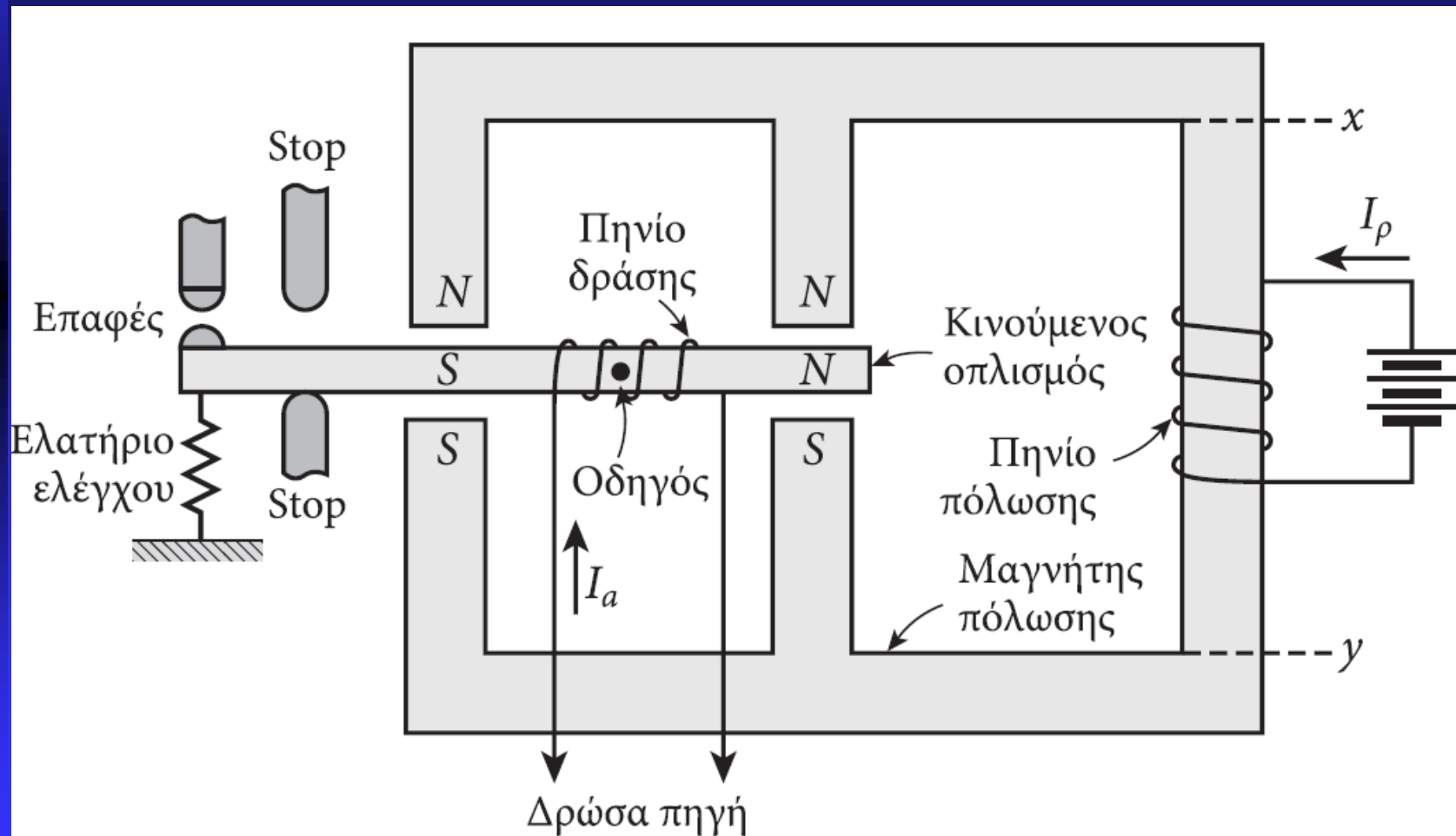
$$I = \sqrt{\frac{K_2}{K_1}} = \text{σταθερά}$$

Πρόβλημα με αυτούς τους ηλεκτρονόμους

- Σε αυτούς τους ηλεκτρονόμους εμφανίζεται μεγάλη διαφορά μεταξύ του επίπεδου επιλογής και του επίπεδου επαναφοράς, αφού μετά την έλξη του οπλισμού το διάκενο αέρα μειώνεται.
- Προσοχή όταν ένας τέτοιος ηλεκτρονόμος χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλους ηλεκτρονόμους, δηλαδή όταν η ενεργοποίηση του δεν οδηγεί πάντοτε σε ενεργοποίηση του διακόπτη ισχύος. Γιατί;
- Ένα μεταβατικό φαινόμενο μπορεί να οδηγήσει σε ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου, αλλά η επαναφορά του συστήματος στην κανονική κατάσταση να μην οδηγήσει σε επαναφορά και τον ηλεκτρονόμο.
- Τότε αν οι υπόλοιποι ηλεκτρονόμοι που επιτηρούν άλλες ποσότητες ενεργοποιηθούν, θα δοθεί εσφαλμένη εντολή στον διακόπτη ισχύος!

Ηλεκτρονόμοι κατεύθυνσης τύπου ηλεκτρομαγνητικής έλξης

- Ενεργοποιούνται από συνεχείς ή ανορθωμένες εναλλασσόμενες ποσότητες.



Ηλεκτρονόμος κατεύθυνσης τύπου ηλεκτρομαγνητικής έλξης.

- Αν αμελήσουμε τον κόρο, η δύναμη που τείνει να κινήσει τον οπλισμό δίνεται από τη σχέση:

$$F = K_1 I_\rho I_a - K_2$$

όπου: K_1 = μία σταθερά μετατροπής σε δύναμη.

I_ρ = το μέτρο του ρεύματος στο πηνίο πόλωσης.

I_a = το μέτρο του ρεύματος στο πηνίο οπλισμού.

K_2 = η δύναμη αναχαίτισης (μαζί με τη τριβή).

- Στο σημείο ισορροπίας, όπου $F = 0$, ο ηλεκτρονόμος είναι έτοιμος να λειτουργήσει. Η *χαρακτηριστική λειτουργίας* δίνεται από τη σχέση:

$$I_\rho I_a = \frac{K_2}{K_1} = \text{σταθερά}$$

- Τα ρεύματα I_a και I_ρ υποθέτουμε ότι ρέουν προς τέτοια κατεύθυνση ώστε να δημιουργείται δύναμη που να τείνει να κλείσει τις επαφές.
- Αν αλλάξει η φορά ενός από τα δύο, αλλάζει η φορά της δύναμης. Ο ηλεκτρονόμος πήρε το όνομά του από την ιδιότητα να ενεργοποιείται μόνο όταν η δρώσα ποσότητα έχει ορισμένη φορά.

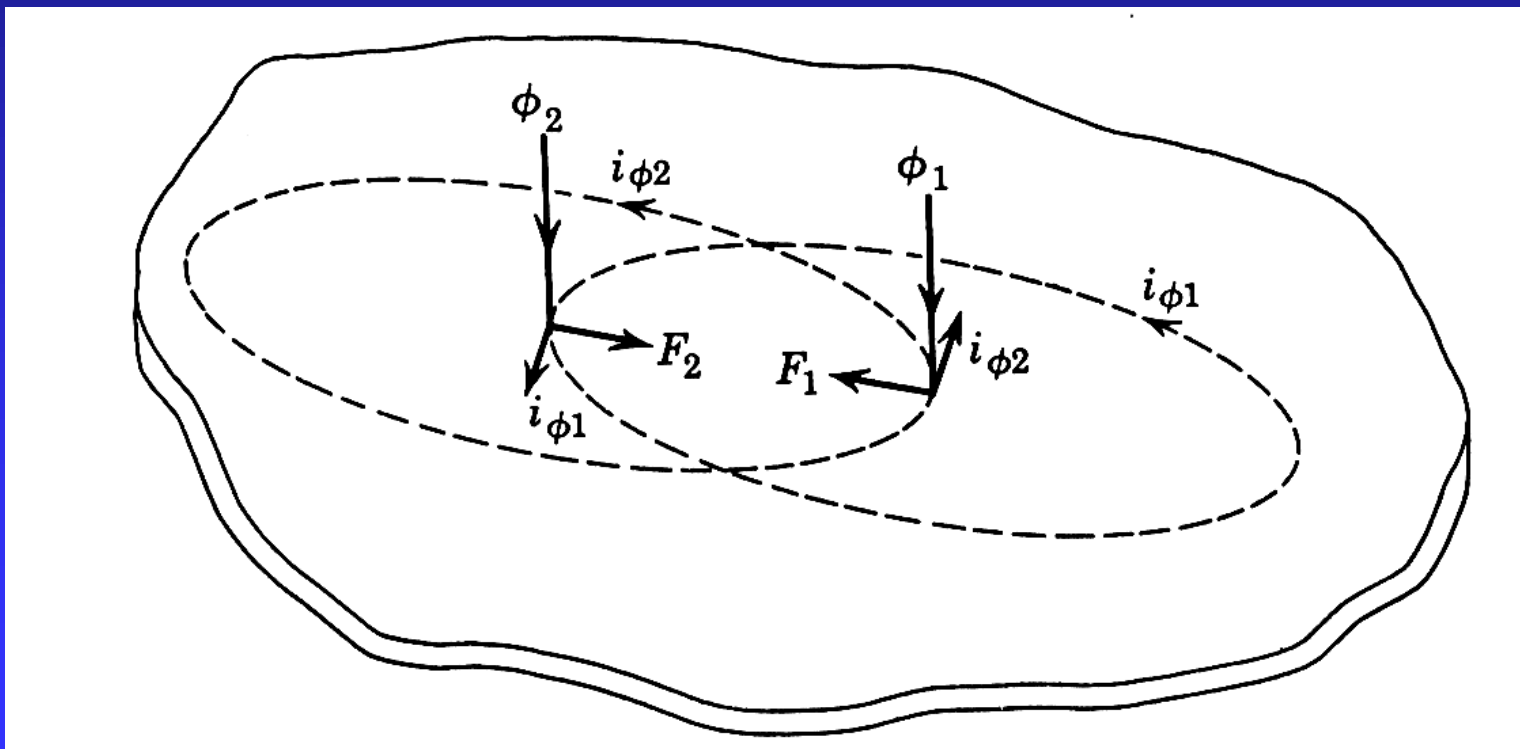
- Αν το ρεύμα πόλωσης/μαγνήτισης I_ρ διατηρείται σταθερό, η χαρακτηριστική λειτουργίας γίνεται:

$$I_a = \frac{K_2}{K_1 I_\rho} = \text{σταθερό}$$

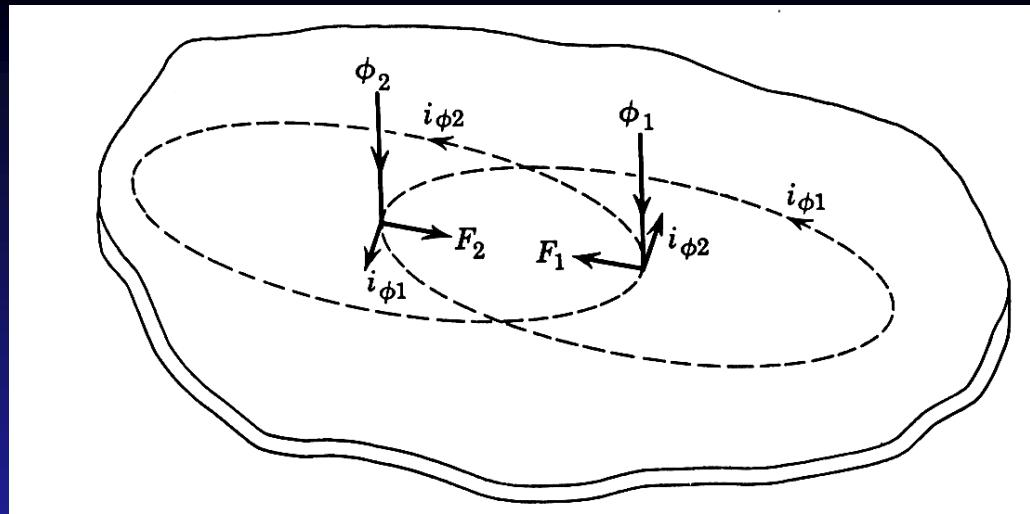
- Σε αυτήν την περίπτωση, ενεργοποιείται μόνο όταν το I_a έχει την κατάλληλη πολικότητα και το καθορισμένο μέτρο.
- Αυτός ο τύπος ηλεκτρονόμου έχει χαμηλή επιβάρυνση και είναι στιγμιαίου τύπου.
- Ενεργοποιείται από ποσότητες ΕΡ μέσω ενός ανορθωτή πλήρους κύματος, όταν χρειαζόμαστε ηλεκτρονόμους ΕΡ με χαμηλή επιβάρυνση.

Ηλεκτρ. κατεύθυνσης επαγωγικού τύπου

- Οι πιο διαδεδομένοι ηλεκτρονόμοι που διεγείρονται με ποσότητες ΕΡ είναι οι ηλεκτρονόμοι κατεύθυνσης επαγωγικού τύπου.
- Είναι επαγωγικοί κινητήρες με επαφές που διαχωρίζουν τη ροή και εισάγουν μία φασική διαφορά στις δύο συνιστώσες.



Δημιουργία ροπής σε ένα ηλεκτρονόμο επαγωγής.



$$\phi_1 = \Phi_1 \sin \omega t \quad \phi_2 = \Phi_2 \sin(\omega t + \theta)$$

- όπου θ είναι η φασική γωνία κατά την οποία η ϕ_2 προπορεύεται της ϕ_1 .
- Μπορούμε να υποθέσουμε με αμελητέο σφάλμα ότι οι δρόμοι που ρέουν τα ρεύματα στο δρομέα έχουν αμελητέα αυτεπαγωγή και συνεπώς τα ρεύματα του δρομέα είναι σε φάση με τις τάσεις οπότε:

$$i_{\phi_1} \propto \frac{d\phi_1}{dt} \propto \Phi_1 \cos \omega t \quad i_{\phi_2} \propto \frac{d\phi_2}{dt} \propto \Phi_2 \cos(\omega t + \theta)$$

- Οι δύο δυνάμεις είναι αντίθετες και η συνισταμένη είναι:

$$F = F_2 - F_1 \propto \varphi_2 \dot{i}_{\varphi_1} - \varphi_1 \dot{i}_{\varphi_2}$$

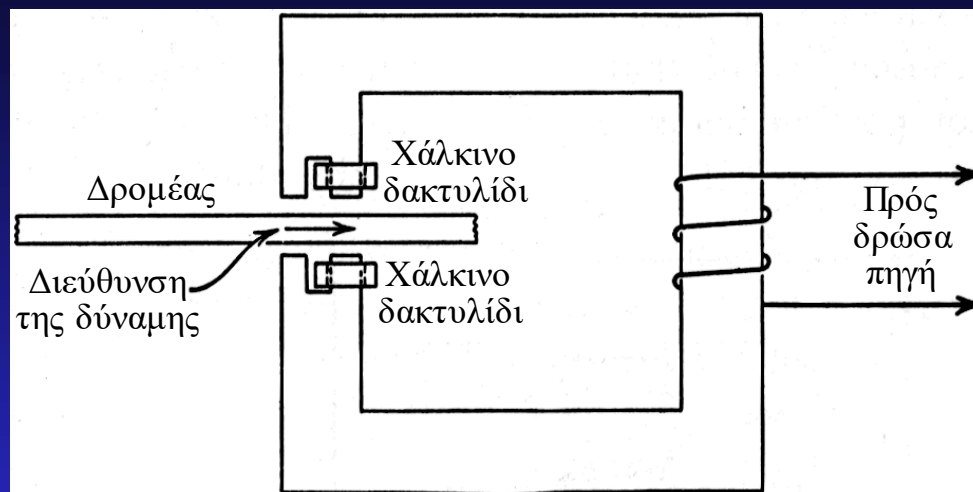
- Με αντικατάσταση παίρνουμε:

$$F \propto \Phi_1 \Phi_2 [\sin(\omega t + \theta) \cos \omega t - \sin \omega t \cos(\omega t + \theta)] \quad \text{ή}$$

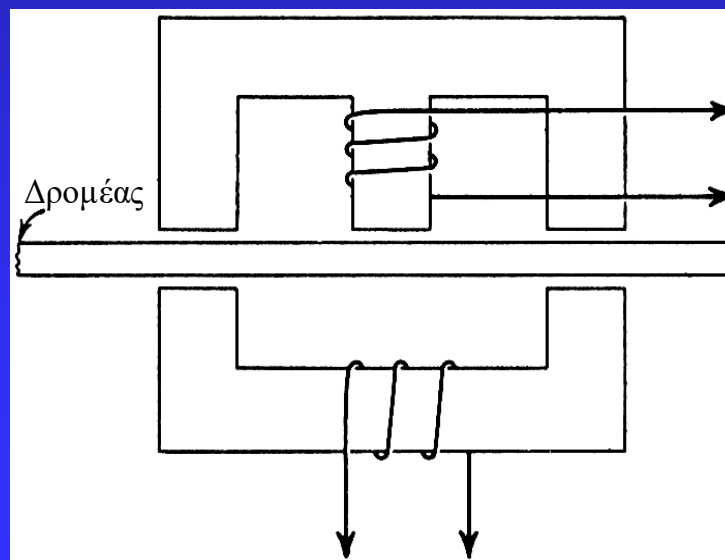
$$F \propto \Phi_1 \Phi_2 \sin \theta$$

- Εφ' όσον υποθέσαμε ημιτονοειδείς ροές, μπορούμε να αντικαταστήσουμε τις μέγιστες ροές με την ενεργή τιμή τους.
- Από τη τελευταία εξίσωση παρατηρούμε ότι η συνισταμένη δύναμη είναι ανεξάρτητη του χρόνου, δημιουργείται από δύο μη φασικές ροές και δεν είναι δυνατόν να παραχθεί από μία μόνο ροή.
- Η κατεύθυνση της συνισταμένης δύναμης είναι από το σημείο που η ροή που προπορεύεται διαπερνά το δρομέα προς το σημείο που διαπερνά το δρομέα η ροή που βραδυπορεί. Έτσι η φορά περιστροφής του δρομέα εξαρτάται από το ποια ροή προπορεύεται.
- Ο λόγος του επίπεδου επαναφοράς προς το επίπεδο επιλογής είναι μεγάλος στους επαγωγικούς ηλεκτρονόμους, επειδή η λειτουργία τους δεν αλλάζει το διάκενο αέρα του μαγνητικού κυκλώματος.

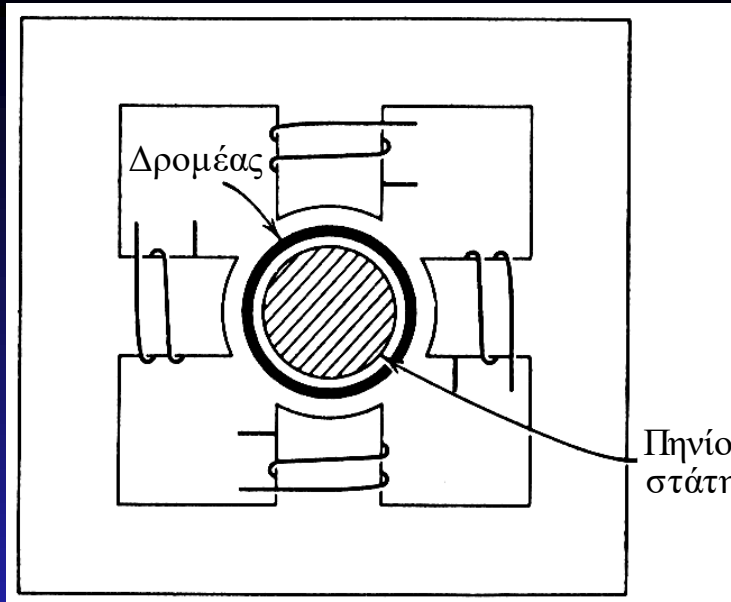
Οι αρχές λειτουργίας των διαφόρων κατασκευών ηλεκτρονόμων αυτού του τύπου φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



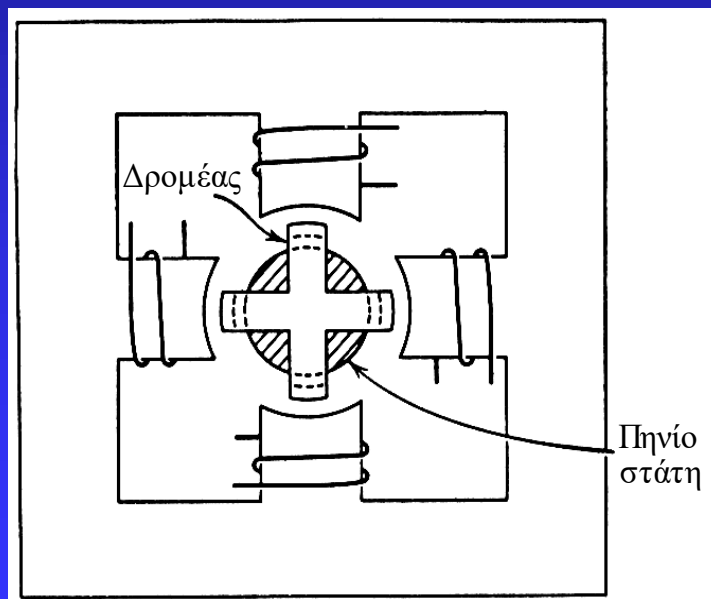
Κατασκευή με χάλκινα δακτυλίδια στους πόλους.



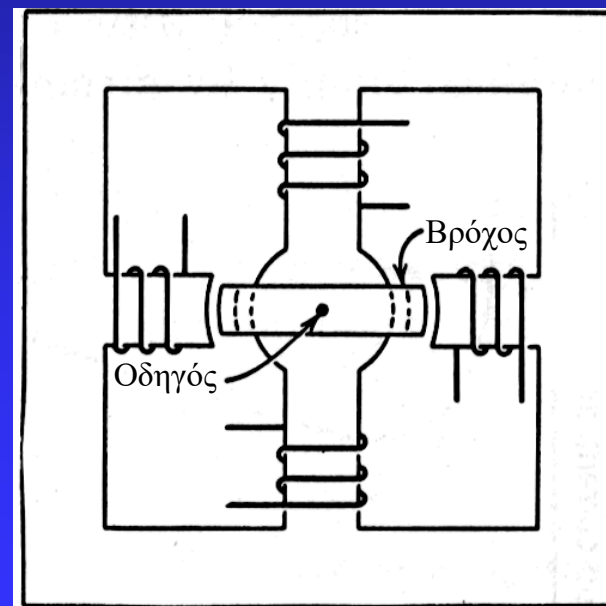
Κατασκευή μετρητού βαττωρών.



Κατασκευή επαγωγικού κυλίνδρου.



Κατασκευή διπλού επαγωγικού βρόχου



Κατασκευή μονού επαγωγικού βρόχου.

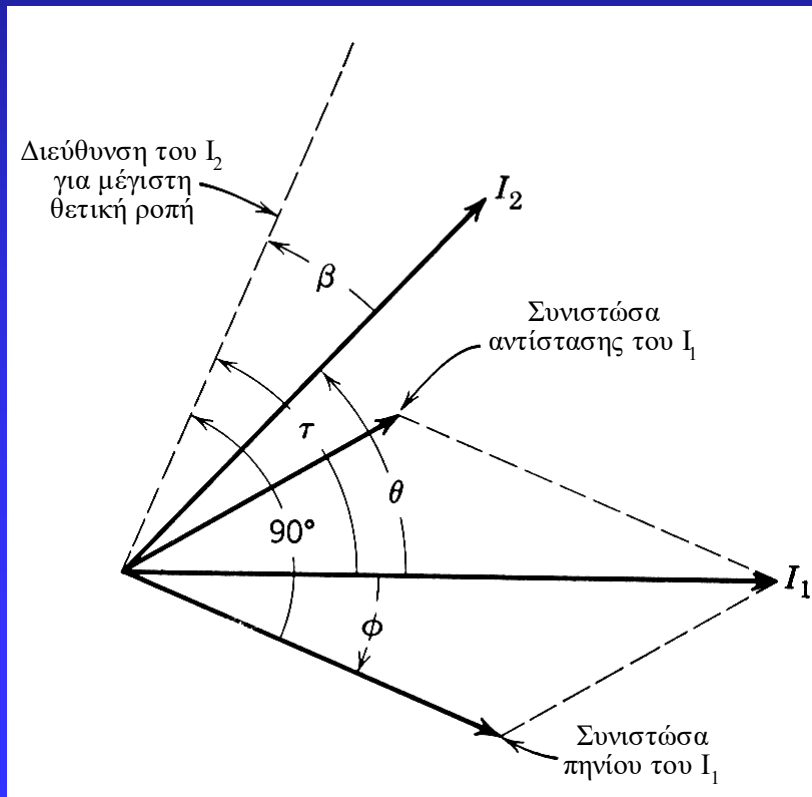
Υπολογισμός ροπής σε επαγ. ηλεκτρονόμους κατεύθυνσης – ρεύματος/ρεύματος

- Ένας επαγωγικός ηλεκτρονόμος ρεύματος - ρεύματος ενεργοποιείται από δύο διαφορετικά ρεύματα.
- Αν αμελήσουμε τον κόρο μπορούμε να αντικαταστήσουμε τις ροές με τα ρεύματα που τις δημιουργούν, οπότε η σχέση για τη ροπή γράφεται :

$$T = K_1 I_1 I_2 \sin \theta - K_2$$

- όπου I_1 και I_2 είναι η ενεργή τιμή των ρευμάτων που δρουν στον ηλεκτρονόμο.
- θ είναι η φασική γωνία των ροών που δημιουργούν τα ρεύματα I_1 και I_2 .

- Υποθέτουμε ότι έχουμε *συμμετρική* κατασκευή: θ είναι και η φασική γωνία μεταξύ των ρευμάτων I_1 και I_2 .
- Γενικά θέλουμε η μέγιστη ροπή να συμβαίνει σε κάποια τιμή του θ διάφορη των 90° .
- Για να το επιτύχουμε αυτό τοποθετούμε παράλληλα προς το ένα από τα δύο δρώντα πηνία μία αντίσταση ή ένα πυκνωτή. Η μέγιστη ροπή πάλι θα συμβαίνει όταν τα ρεύματα στα πηνία έχουν φασική διαφορά 90° .
- Αλλά όταν συμβαίνει αυτό, τα ρεύματα των πηγών που ενεργοποιούν τον ηλεκτρονόμο, θα έχουν κάποια φασική διαφορά διάφορη των 90° .

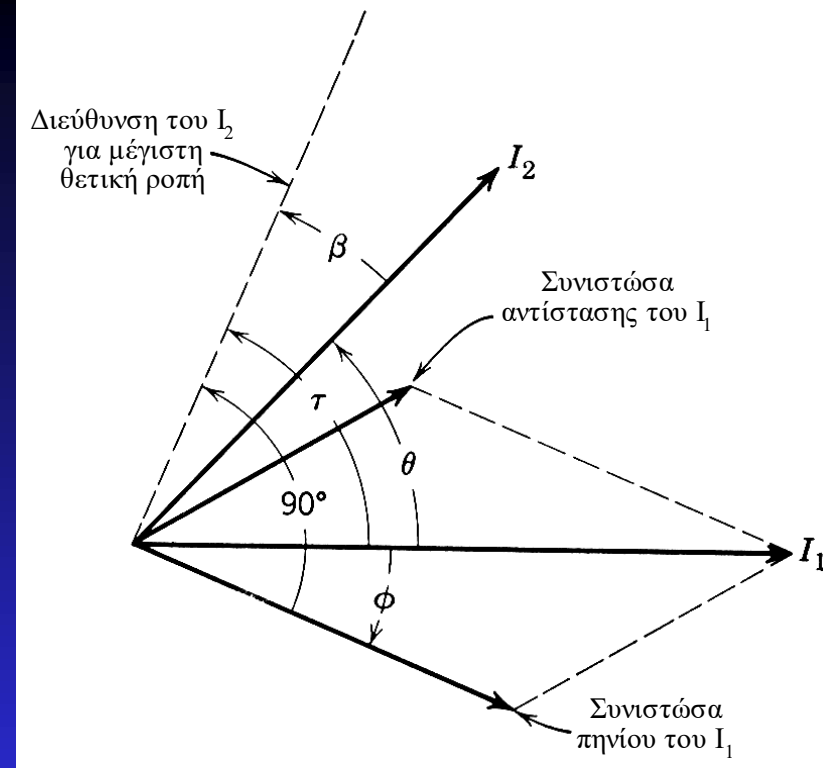


Διανυσματικό διάγραμμα για μέγιστη ροπή σε ένα ρεύματος — ρεύματος επαγωγικού τύπου ηλεκτρονόμο διεύθυνσης.

Η σχέση που δίνει τη ροπή παίρνει τη μορφή :

$$T = K_1 I_1 I_2 \sin(\theta - \phi) - K_2$$

Η γωνία τ στο σχήμα ονομάζεται γωνία μέγιστης ροπής, γιατί είναι η τιμή της γωνίας θ στην οποία έχουμε μέγιστη θετική ροπή ($I_1 \perp I_2$). Στην πράξη ορίζουμε αυτή τη γωνία και όχι το ϕ , όταν θέλουμε να περιγράψουμε τον ηλεκτρονόμο κατεύθυνσης.



$$T = K_1 I_1 I_2 \sin(\theta - \phi) - K_2$$

$$\sin(\theta - \phi) = \sin(90^\circ - \beta) = \cos(\beta) = \cos(\tau - \theta) = \cos(\theta - \tau)$$

$$T = K_1 I_1 I_2 \cos(\theta - \tau) - K_2$$

Υπολογισμός ροπής σε επαγ. ηλεκτρονόμους κατεύθυνσης – ρεύματος/τάσης

Ένας ηλεκτρονόμος ρεύματος-τάσης ενεργοποιείται από μία πηγή ρεύματος και μία πηγή τάσης. Η εξίσωση ροπής σε αυτήν την περίπτωση είναι:

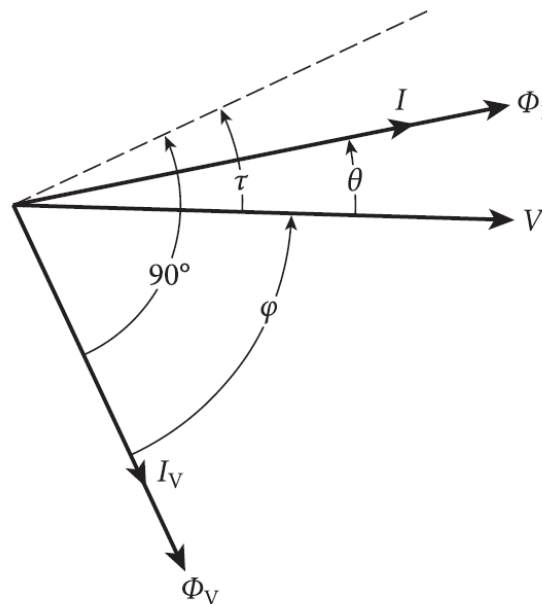
$$T = K_1 VI \cos(\theta - \tau) - K_2$$

όπου: V = ενεργός τιμή της τάσης που εφαρμόζεται στο πηνίο τάσης.

I = ενεργός τιμή του ρεύματος που εφαρμ. στο πηνίο ρεύματος.

θ = η γωνία μεταξύ I και V .

τ = η γωνία μέγιστης ροπής.



Διανυσματικό διάγραμμα για μέγιστη ροπή σε ένα ρεύματος –τάσης επαγωγικού τύπου ηλεκτρονόμο κατεύθυνσης. 18

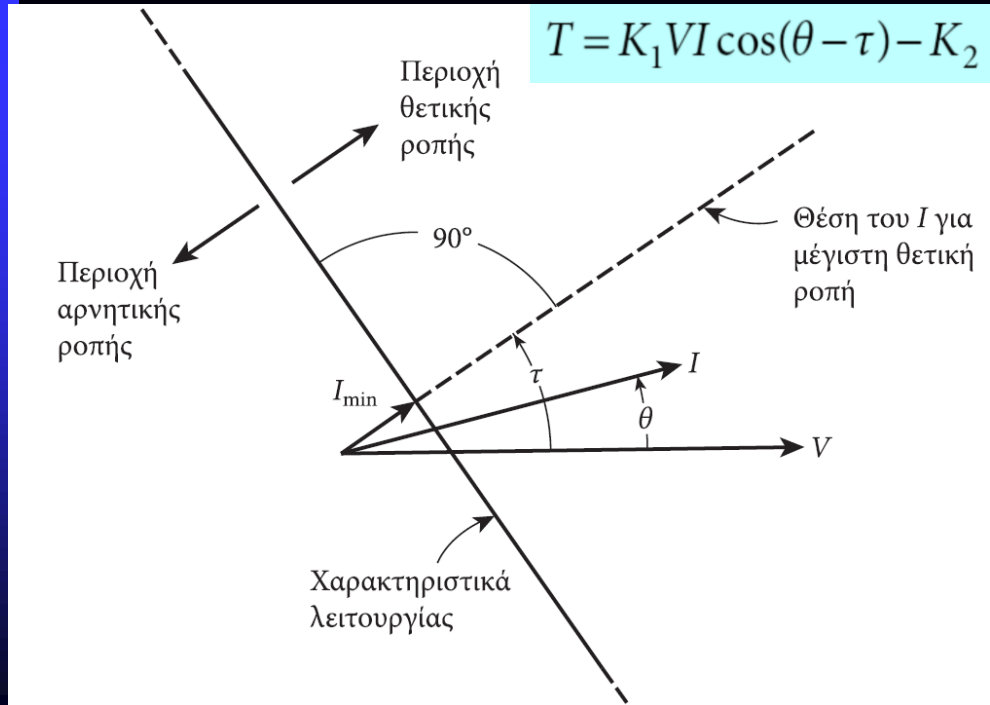
- Η τιμή του τ είναι συνήθως της τάξης των 20° - 30° .
- Με την εισαγωγή σε σειρά με το πηνίο τάσης ενός συνδυασμού αντίστασης και πυκνωτή μπορούμε να επιτύχουμε οποιαδήποτε τιμή του φ και κατά συνέπεια του τ , χωρίς να μεταβάλλουμε το I_V και κατά συνέπεια και το επίπεδο επιλογής.
- Ένας ηλεκτρονόμος κατεύθυνσης ΕΡ αναγνωρίζει διαφορές στη φασική γωνία μεταξύ δύο ποσοτήτων, όπως ένας ηλεκτρονόμος κατεύθυνσης ΣΡ αναγνωρίζει διαφορές στην πολικότητα.
- Από τις δύο ποσότητες που εφαρμόζονται σε ένα ηλεκτρονόμο κατεύθυνσης ΕΡ η μία ονομάζεται **πόλωσης** και αυτή είναι συνήθως η τάση.
- Αυτή είναι η αναφορά προς την οποία συγκρίνεται η άλλη ποσότητα και πρέπει να παραμένει σχεδόν σταθερή καθώς η άλλη μεταβάλλεται.

Λειτουργικά χαρακτηριστικά ηλεκτρονόμου κατεύθυνσης

- Εξετάζουμε τη σχέση ροπής για ένα ρεύματος-τάσης ηλεκτρονόμο κατεύθυνσης. Στο σημείο ισορροπίας η συνισταμένη ροπή είναι μηδέν, οπότε:

$$T = K_1 VI \cos(\theta - \tau) - K_2 \Rightarrow VI \cos(\theta - \tau) = \frac{K_2}{K_1} = \text{σταθερά}$$

- Αυτά τα λειτουργικά χαρακτηριστικά σχεδιάζονται σε ένα διάγραμμα πολικών συντεταγμένων όπως στο σχήμα που ακολουθεί.



Λειτουργικά χαρακτηριστικά ηλεκτρονόμου κατεύθυνσης σε πολικές συντεταγμένες.

- Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά είναι η διαχωριστική γραμμή μεταξύ θετικής και αρνητικής ροπής.
- Κάθε διάνυσμα ρεύματος που η κεφαλή του βρίσκεται μέσα στην περιοχή θετικής ροπής ενεργοποιεί τον ηλεκτρονόμο.
- Το I_{min} είναι το μικρότερο μέτρο του I που μπορεί να ενεργοποιήσει τον ηλεκτρονόμο και ονομάζεται **ελάχιστο ρεύμα επιλογής**.

Γενική εξίσωση ροπής ηλεκτρονόμων

- Όλοι οι απομένοντες ηλεκτρονόμοι είναι απλοί συνδυασμοί των ηλεκτρονόμων που ήδη εξετάστηκαν.
- Με τη χρησιμοποίηση των προηγούμενων σχέσεων μπορούμε να γράψουμε τη γενική εξίσωση που περιγράφει κάθε τύπο ηλεκτρονόμου :

$$T = K_1 I^2 + K_2 V^2 + K_3 VI \cos(\theta - \tau) + K_4$$