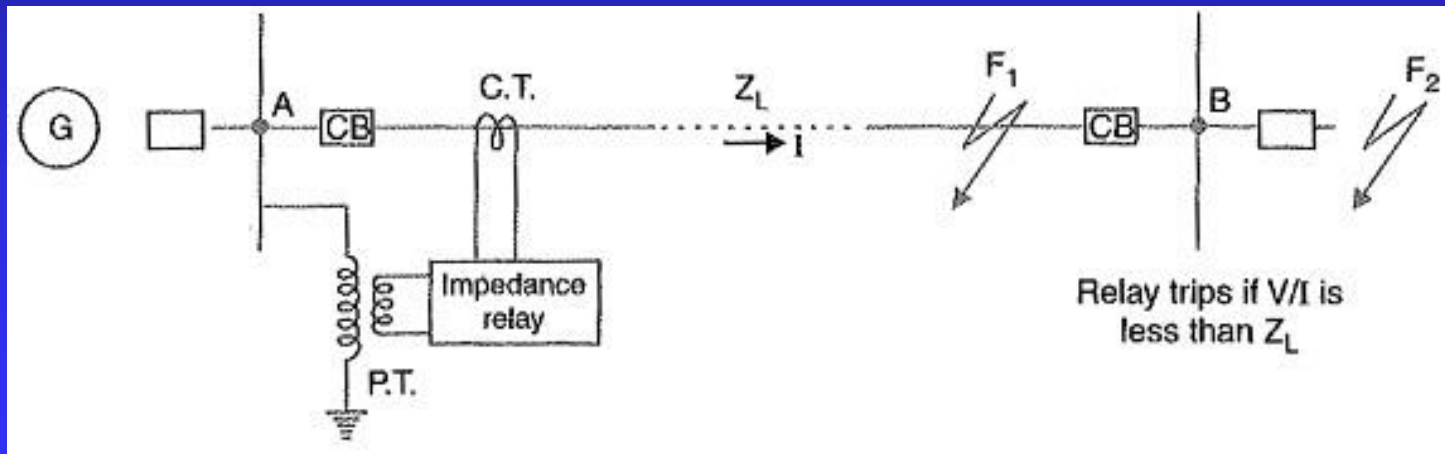


ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΗΕ

Ενότητα 3 Ηλεκτρονόμοι απόστασης



Εισαγωγή

- Στους ηλεκτρονόμους απόστασης αξιοποιείται ο λόγος μεταξύ μίας τάσης και ενός ρεύματος, που εκφράζει τη σύνθετη αντίσταση.
- Η σύνθετη αντίσταση είναι ένα ηλεκτρικό μέτρο της απόστασης κατά μήκος μίας γραμμής μεταφοράς.
- Από αυτή την ιδιότητα πήραν το όνομά τους οι ηλεκτρονόμοι αυτού του τύπου.

Ηλεκτρονόμος απόστασης τύπου σύνθετης αντίστασης

- Σε ένα ηλεκτρονόμο σύνθετης αντίστασης η ροπή που παράγεται από ένα ρεύμα εξισορροπείται από μία τάση.
- Το ρεύμα παράγει θετική ροπή (ενεργοποίησης), ενώ η τάση αρνητική ροπή (επαναφοράς). Με άλλα λόγια ένας ηλεκτρονόμος σύνθετης αντίστασης είναι ένας ηλεκτρονόμος υπερέντασης με αναχαίτιση τάσης.

- Η εξίσωση ροπής του ηλεκτρονόμου είναι: $T = K_1 I^2 - K_2 V^2 - K_3$
όπου: I και V είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος και της τάσης.
 K_3 είναι η ροπή του ελατηρίου.

- Στο σημείο ισορροπίας η συνισταμένη ροπή είναι μηδέν και:

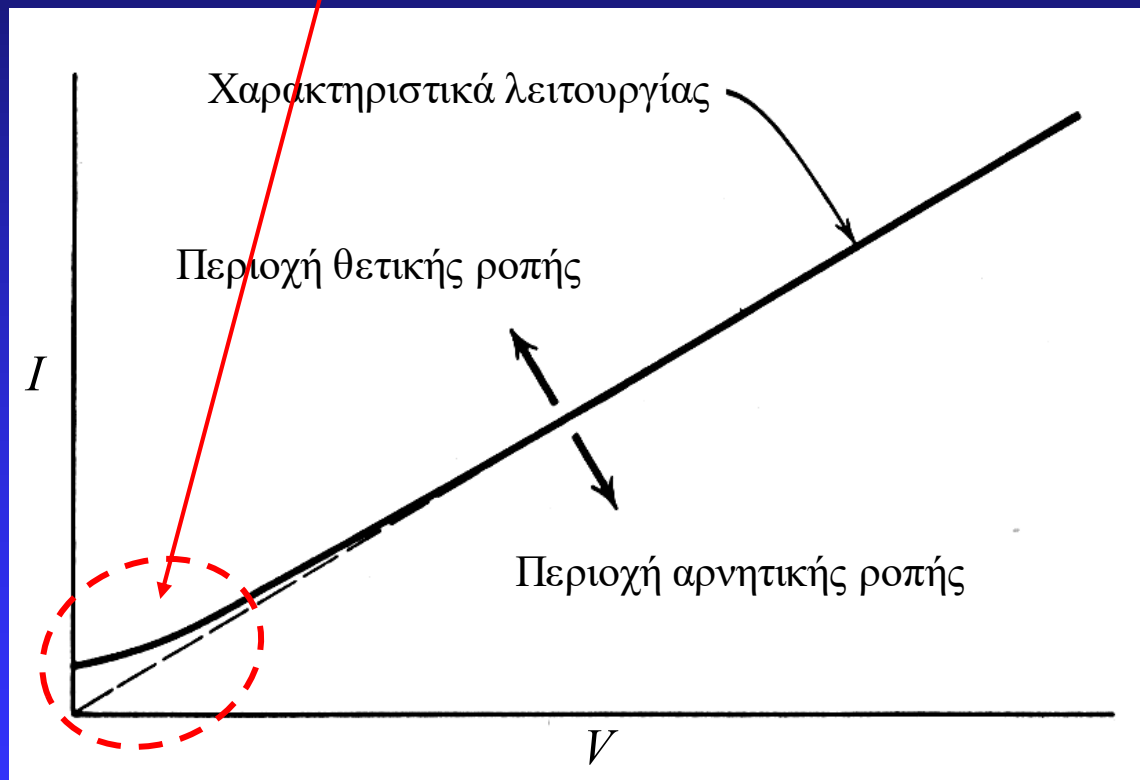
$$K_2 V_2^2 = K_1 I^2 - K_3$$

- Με τη διαίρεση και των δύο μελών με $K_2 I^2$ έχουμε:

$$\frac{V^2}{I^2} = \frac{K_1}{K_2} - \frac{K_3}{K_2 I^2} \quad \text{ή} \quad \frac{V}{I} = Z = \sqrt{\frac{K_1}{K_2} - \frac{K_3}{K_2 I^2}}$$

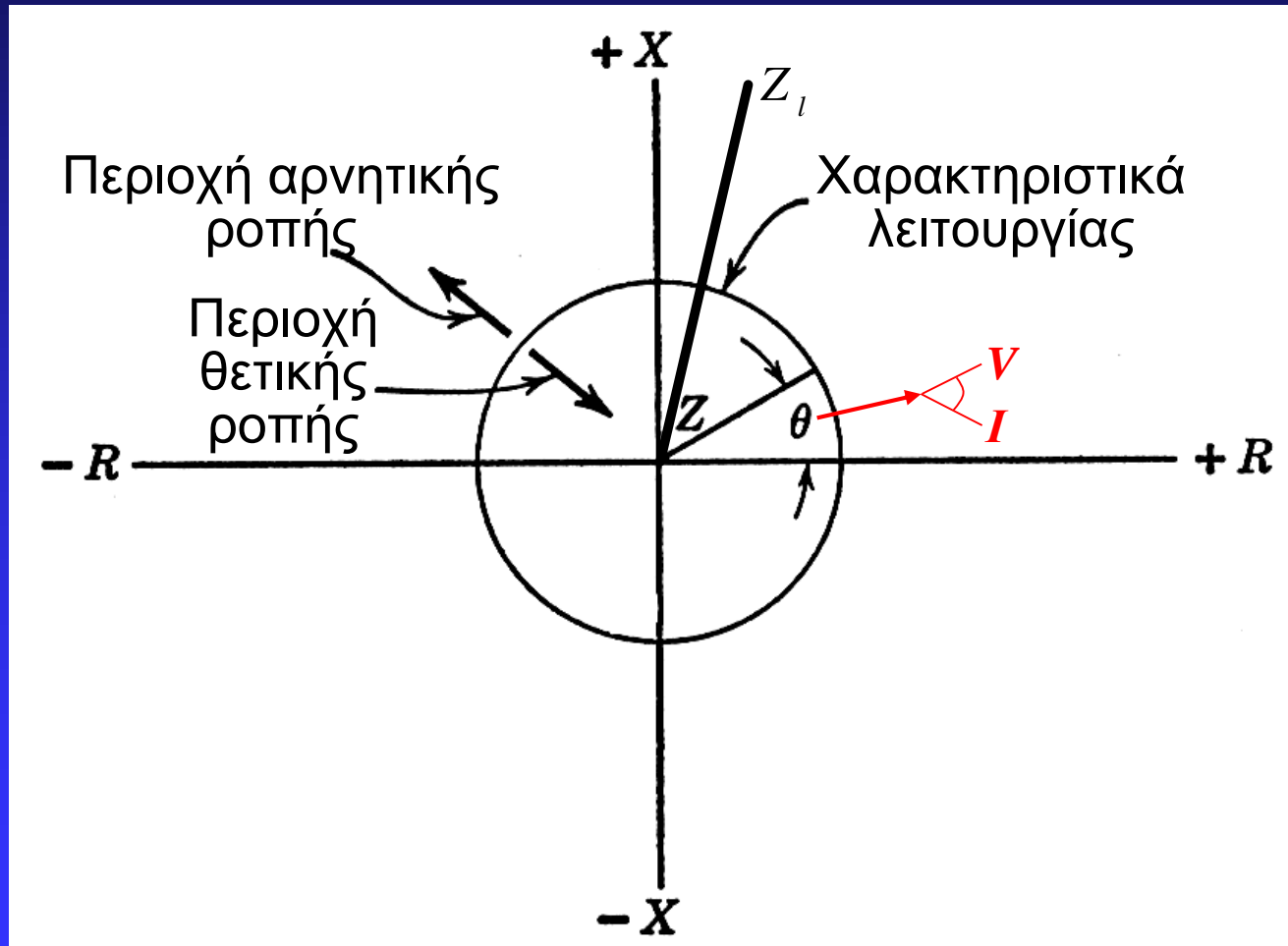
- Επειδή η επίδραση του ελατηρίου είναι αισθητή μόνο για μικρές τιμές του ρεύματος, που ποτέ σχεδόν δεν έχουμε, μπορούμε να θέσουμε $K_3=0$ και η εξίσωση γίνεται:

$$\frac{V}{I} = Z = \sqrt{\frac{K_1}{K_2} - \frac{K_3}{K_2 I^2}} \longrightarrow Z = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} = \text{σταθερά}$$

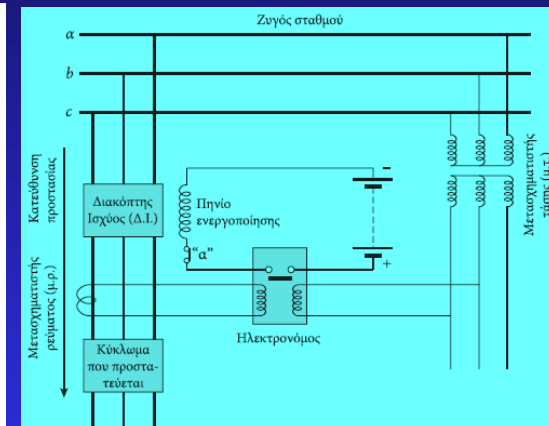
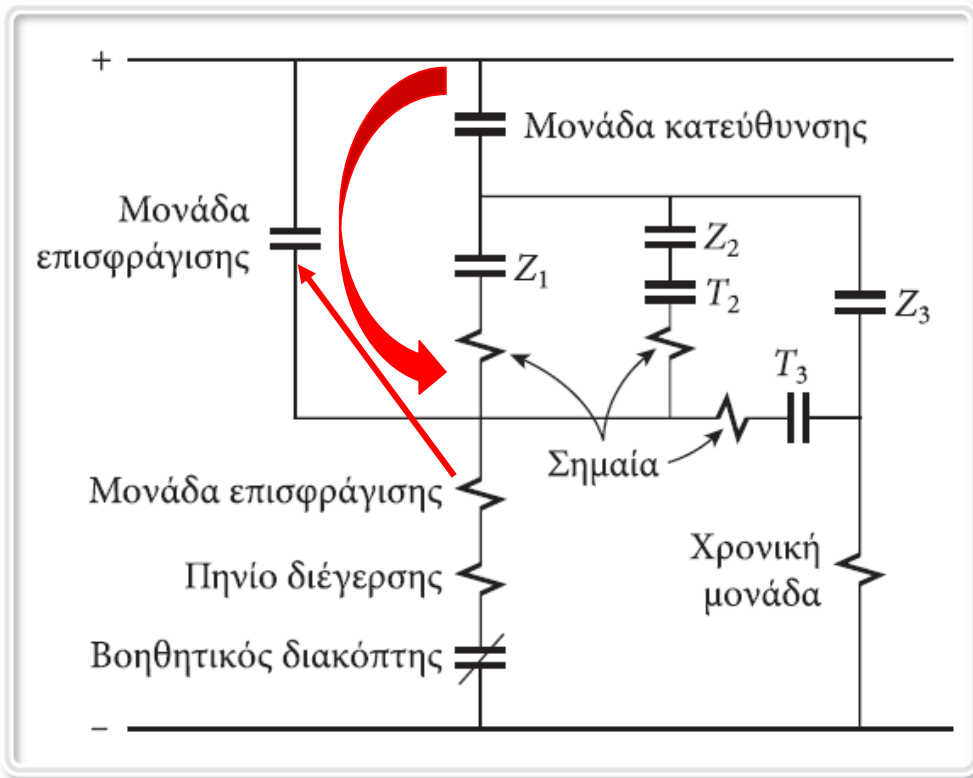


Χαρακτηριστικά λειτουργίας ηλεκτρονόμου σύνθετης αντίστασης σε επίπεδο τάσης-ρεύματος.

- Ένας πιο χρήσιμος τρόπος για να παραστήσουμε τα χαρακτηριστικά λειτουργίας είναι με τη χρήση του διαγράμματος σύνθετης αντίστασης ή $R-X$ διάγραμμα.

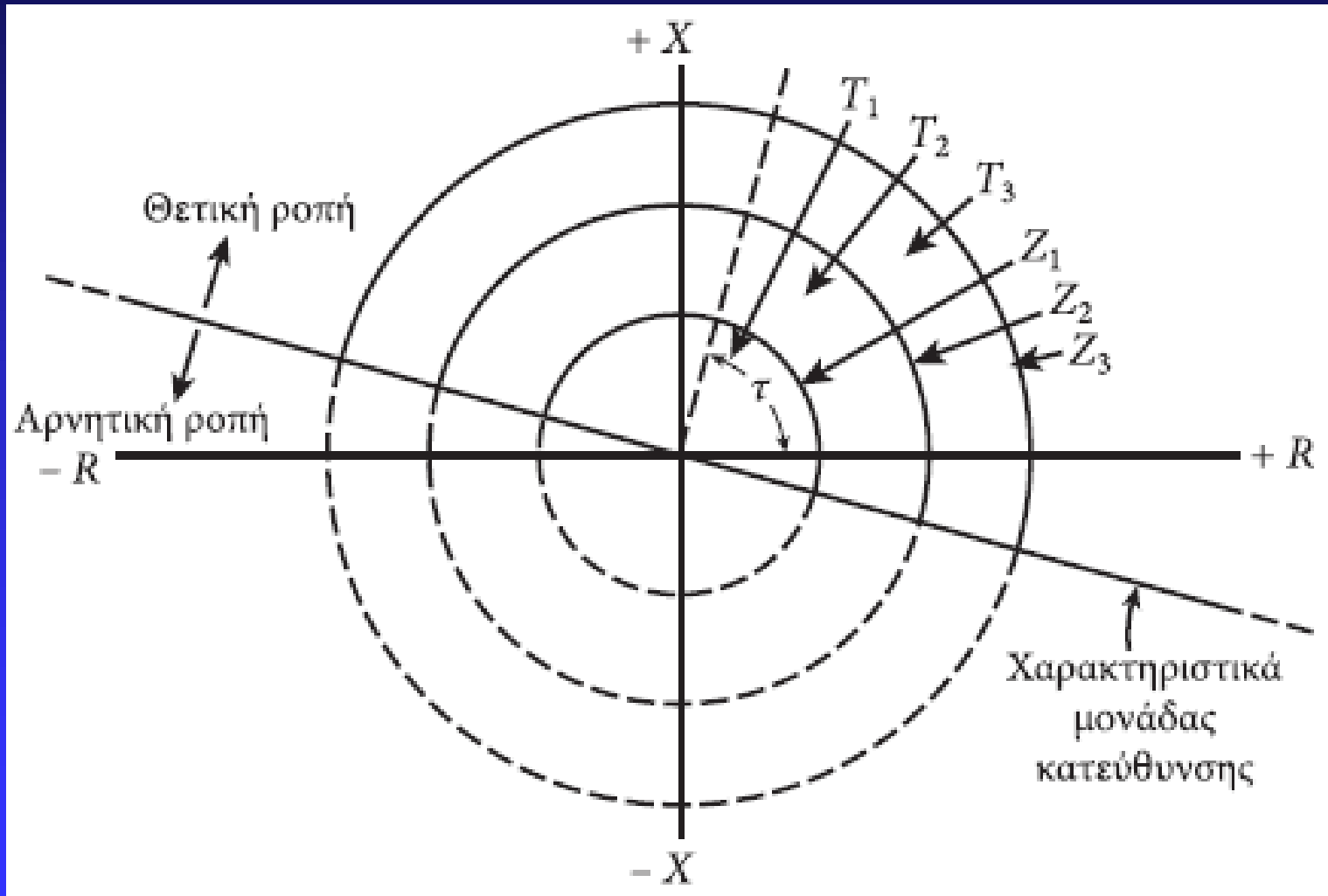


- Ο ηλεκτρονόμος απόστασης τύπου σύνθετης αντίστασης προστασίας 1 φάσης γραμμής αποτελείται από τις εξής μονάδες:
- 1 κατεύθυνσης, 3 σύνθετης αντίστασης ($Z_1 < Z_2 < Z_3$), 1 χρόνου ($0 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3$), 1 επισφράγισης και άλλες βοηθητικές μονάδες, τις συνήθεις σημαίες.

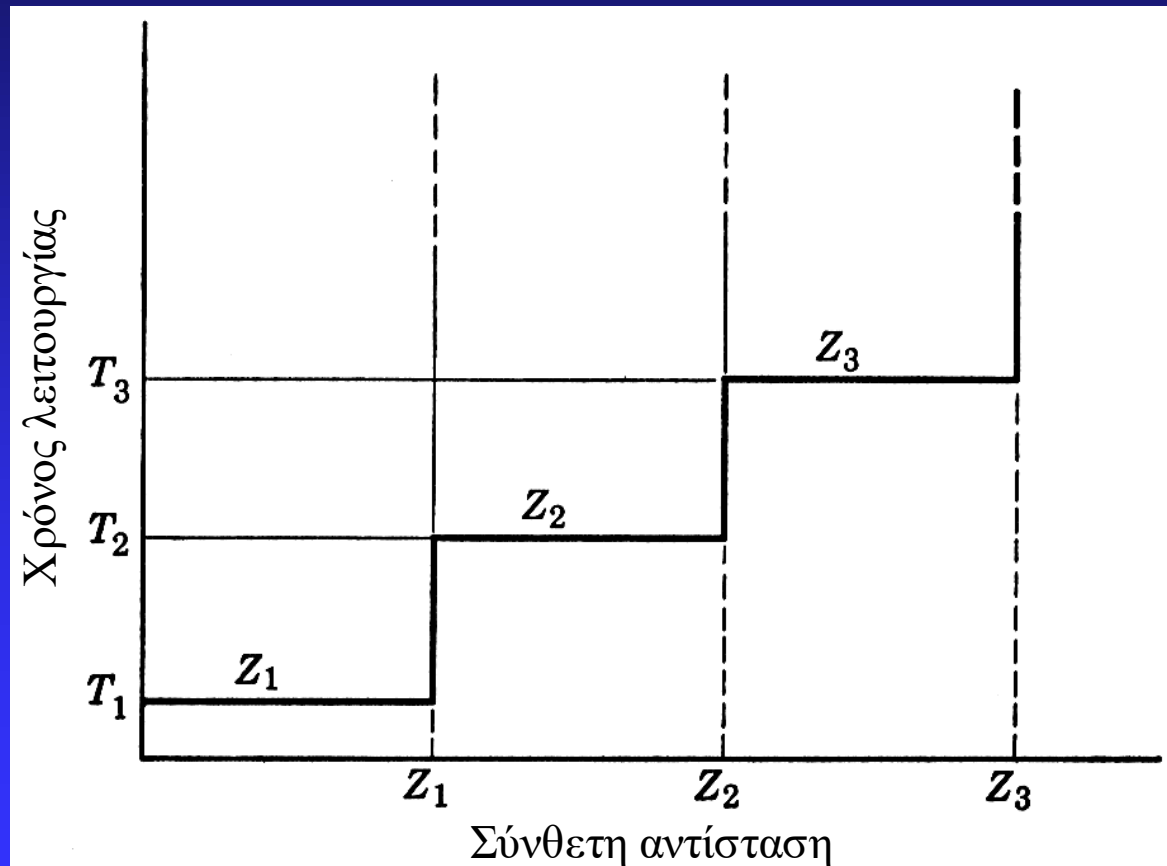


Σχηματική σύνδεση επαφών για ένα ηλεκτρονόμο απόστασης τύπου σύνθετης αντίστασης.

- Παρακάτω έχουμε μαζί με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του ηλεκτρονόμου σύνθετης αντίστασης (Z_1, Z_2, Z_3) και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της μονάδας κατεύθυνσης (ευθεία).



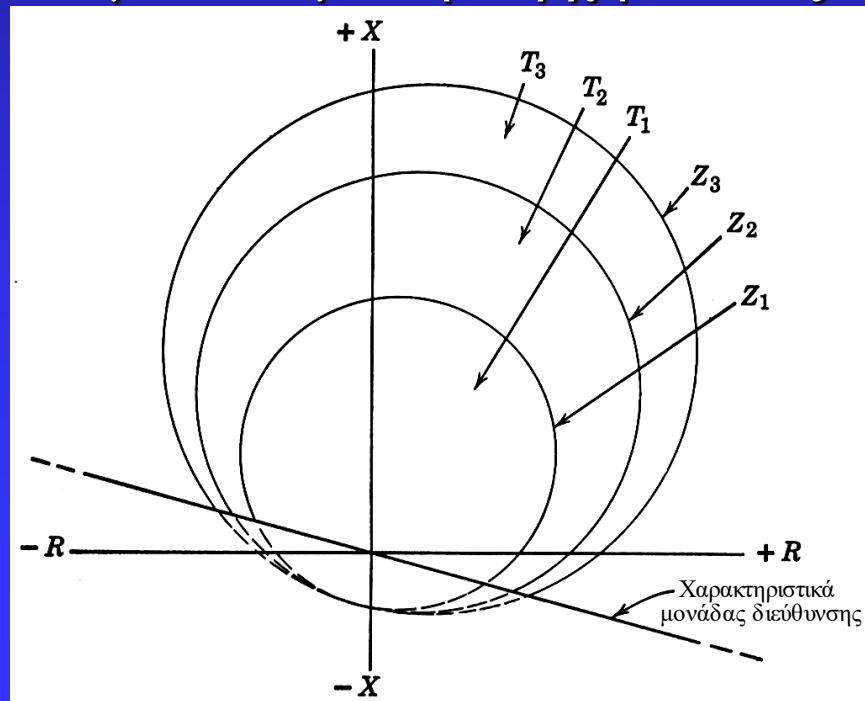
- Επειδή αυτός ο τύπος ηλεκτρονόμου χρησιμοποιείται για την προστασία γραμμών, είναι πιο εύχρηστο να χρησιμοποιήσουμε τη γραφική παράσταση του χρόνου λειτουργίας συναρτήσει της σύνθετης αντίστασης.



Ηλεκτρονόμος απόστασης τύπου τροποποιημένης σύνθετης αντίστασης

- Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά είναι μετατοπισμένα, επειδή ένα ρεύμα πόλωσης βάζει μέσα στο πηνίο τάσης μία τάση ανάλογη με το ρεύμα.
- Τώρα η εξίσωση ροπής γίνεται: $T = K_1 I^2 - K_2 (V + CI)^2$
- Για μηδενική ροπή, παίρνουμε την εξίσωση ενός κύκλου, που το κέντρο του δεν συμπίπτει με την αρχή των αξόνων (C =μιγαδικός):

$$Z = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} - C$$



Ηλεκτρονόμος απόστασης τύπου μυγαδικής αντίστασης (αντίδρασης X)

- Έχει μία μονάδα υπερέντασης, που παράγει θετική ροπή και ...
- μία μονάδα κατεύθυνσης ρεύματος-τάσης, που παράγει θετική ή αρνητική ροπή, ανάλογα με τη φασική γωνία του ρεύματος και της τάσης.
- Η μονάδα κατεύθυνσης κατασκευάζεται να παράγει μέγιστη αρνητική ροπή όταν το ρεύμα καθυστερεί της τάσης 90° , δηλαδή $\tau=90^\circ$ στην εξίσωση ροπής της:

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

- Οπότε, αν ονομάσουμε K_3 τη ροπή του ελατηρίου, η εξίσωση ροπής του ηλεκτρονόμου γίνεται:

$$T = K_1 I^2 - K_2 VI \sin \theta - K_3$$

όπου το θ ορίζεται θετικό όταν το ρεύμα καθυστερεί της τάσης.

$$T = K_1 I^2 - K_2 VI \sin \theta - K_3$$

- Στο σημείο ισορροπίας η ροπή είναι μηδέν και έχουμε:

$$K_1 I^2 = K_2 VI \sin \theta + K_3 \xrightarrow{\times 1/I^2} K_1 = K_2 \frac{V}{I} \sin \theta + \frac{K_3}{I^2}$$

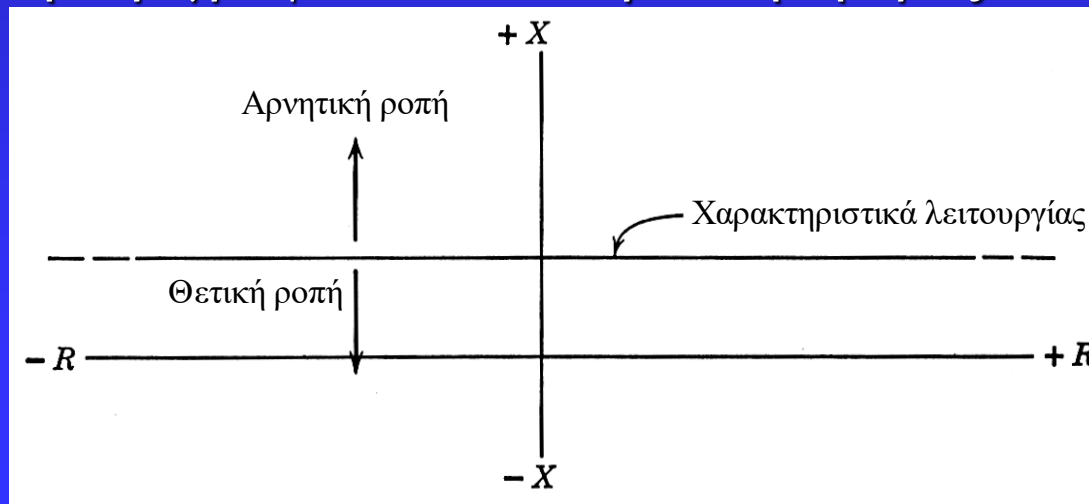
- ή $\frac{V}{I} \sin \theta = Z \sin \theta = \frac{K_1}{K_2} - \frac{K_3}{K_2 I^2} = X$

- Αν αμελήσουμε την επίδραση του ελατηρίου ($K_3=0$), αισθητή μόνο για μικρές τιμές του ρεύματος, που ποτέ σχεδόν δεν έχουμε:

$$X = \frac{K_1}{K_2} = \text{σταθερά}$$

Σημείωση: V, I ενεργές τιμές, όχι διανύσματα!

- Η εξίσωση περιγράφει ευθεία παράλληλη προς τον άξονα \mathcal{R} :



- Ένας ηλεκτρονόμος μιγαδικής αντίστασης δεν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ένα κοινό ηλεκτρονόμο κατεύθυνσης, γιατί ενεργοποιείται σε κανονικές συνθήκες φορτίου.
- Ο ηλεκτρονόμος που συνδυάζεται ονομάζεται *σύνθετης αγωγιμότητας* ή *mho* και έχει ένα πηνίο αναχαίτισης-τάσης, που δημιουργεί μία αρνητική ροπή σε ένα ηλεκτρονόμο κατεύθυνσης.
- Η εξίσωση ροπής του είναι:

$$T = K_1VI \cos(\theta - \tau) - K_2V^2 - K_3$$

- όπου: θ και τ ορίζονται θετικά όταν το I καθυστερεί του V .
 K_3 είναι η ροπή του ελατηρίου.

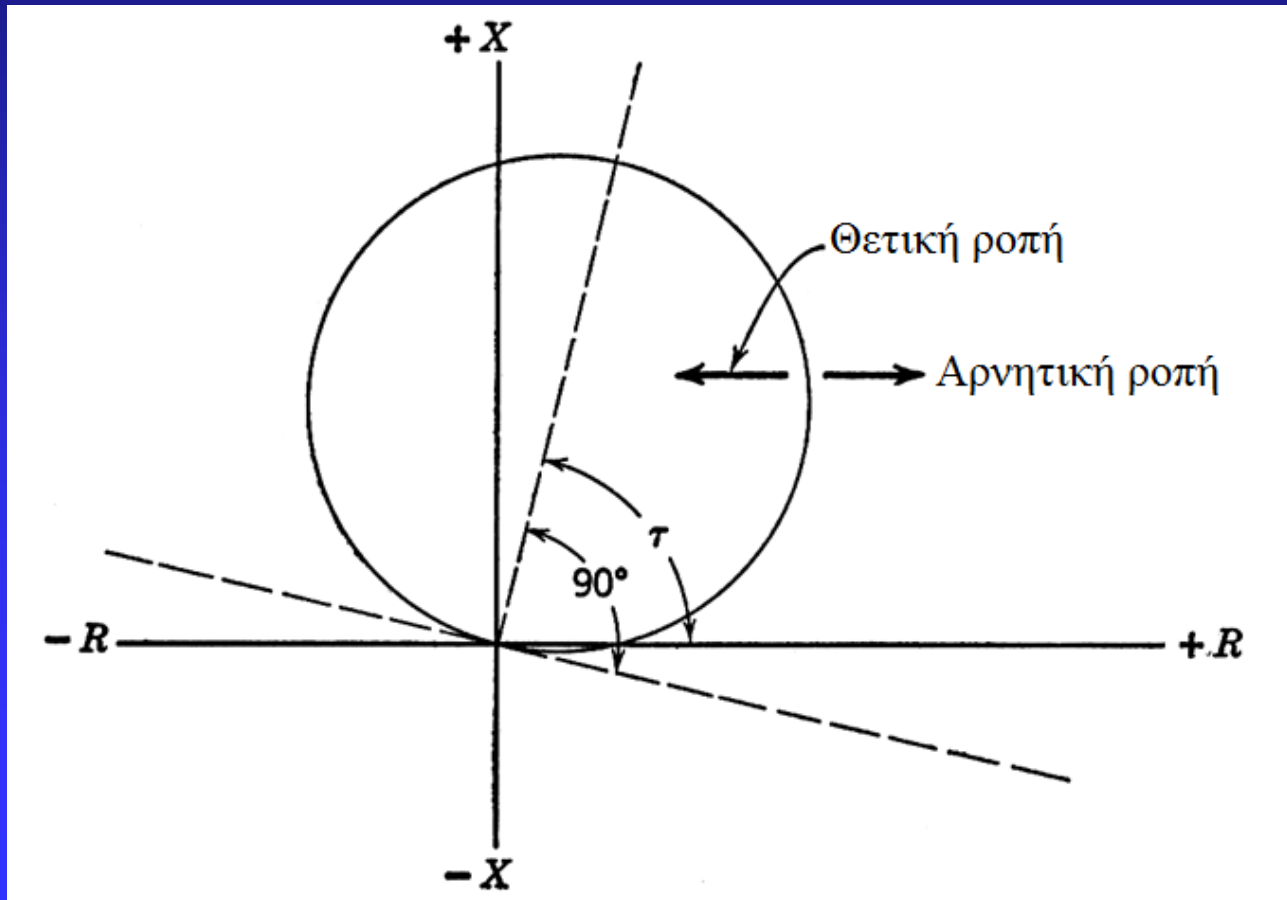
- Στο σημείο ισορροπίας η ροπή είναι μηδέν και έχουμε:

$$K_2V^2 = K_1VI \cos(\theta - \tau) - K_3 \xrightarrow{\times 1/K_2VI} \frac{V}{I} = \frac{K_1}{K_2} \cos(\theta - \tau) - \frac{K_3}{K_2VI}$$

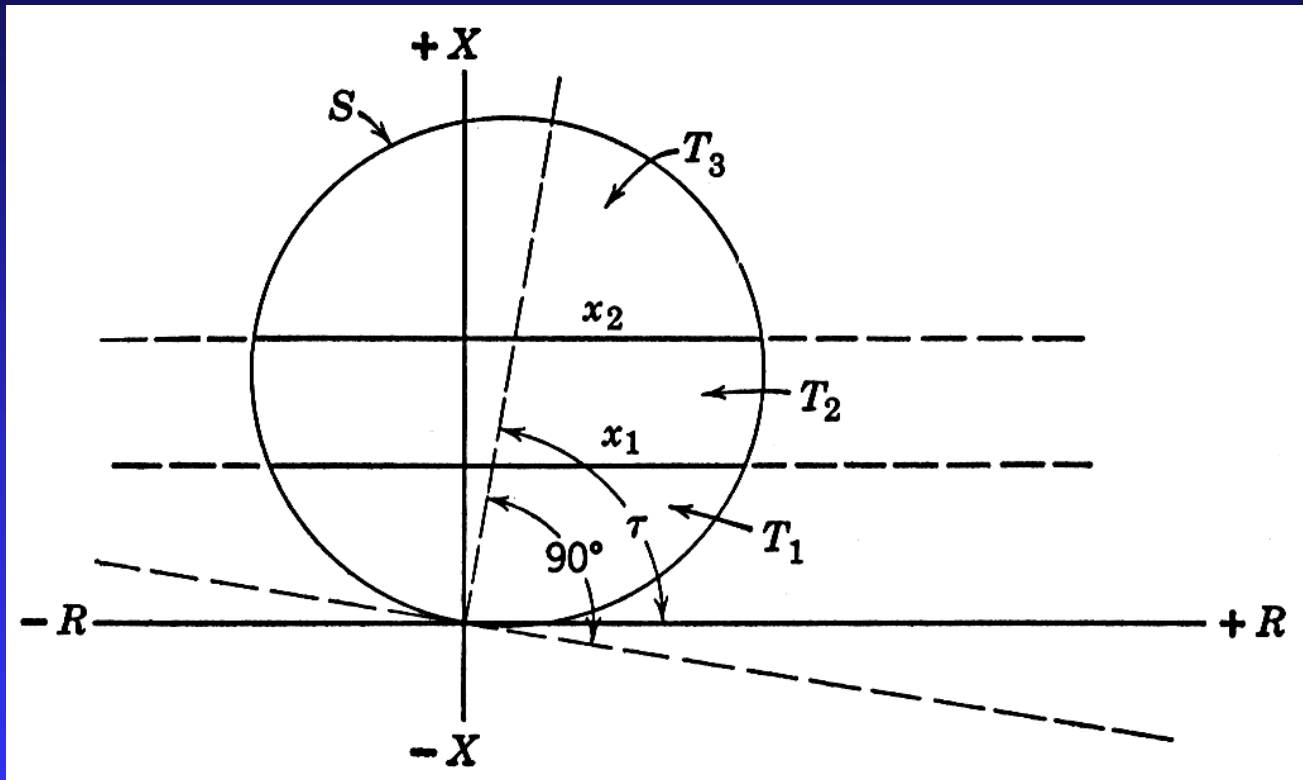
- Αν αμελήσουμε την επίδραση του ελατηρίου :

$$\frac{V}{I} = \frac{K_1}{K_2} \cos(\theta - \tau) - \frac{K_3}{K_2 VI} \quad \xrightarrow{K_3=0} \quad Z = \frac{K_1}{K_2} \cos(\theta - \tau)$$

- Αυτή η εξίσωση περιγράφει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του ηλεκτρονόμου *σύνθετης αγωγιμότητας* ή *mho*:



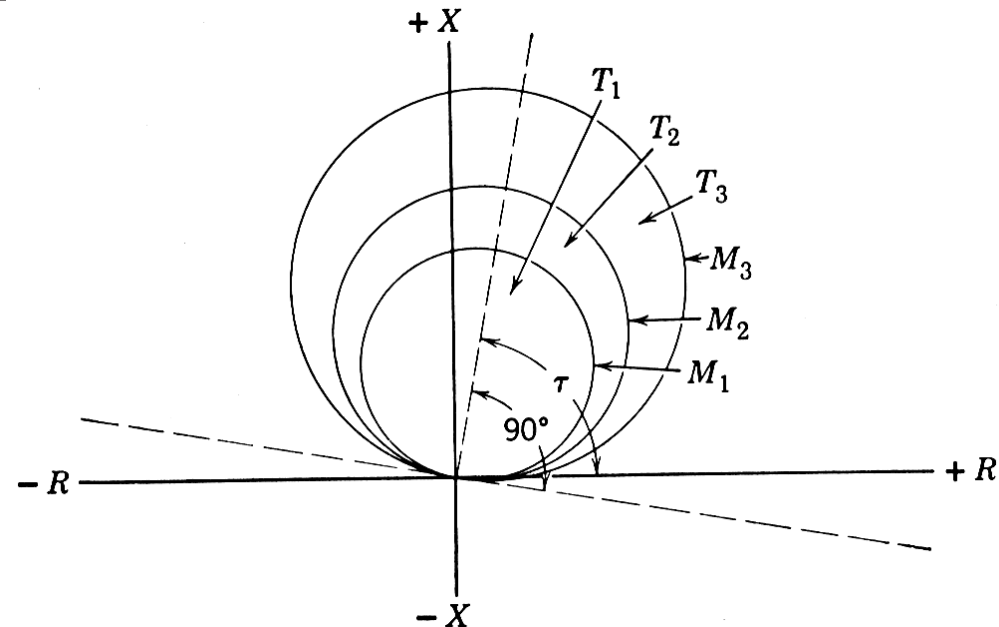
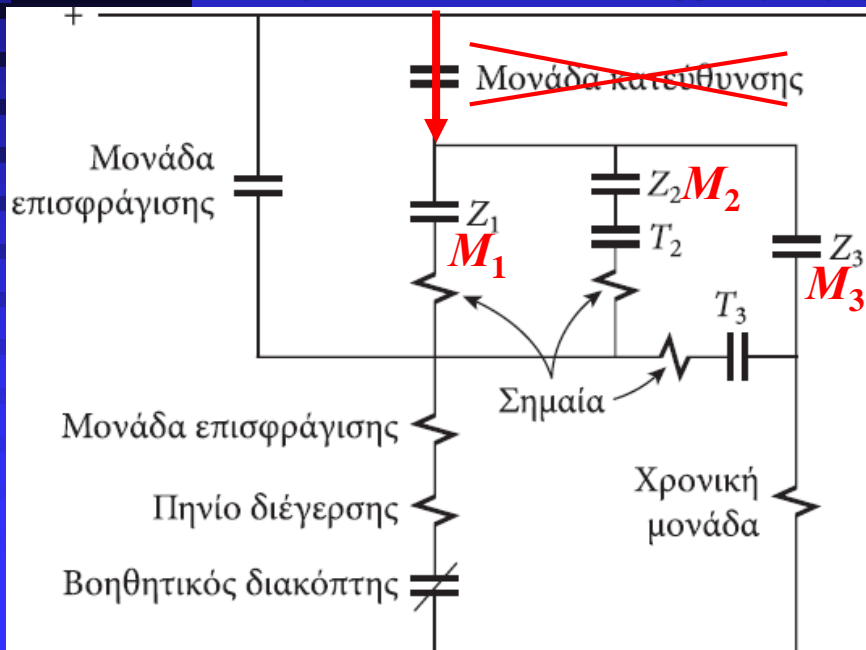
Όταν ο ηλεκτρονόμος σύνθετης αγωγιμότητας χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ένα ηλεκτρονόμο απόστασης τύπου μιγαδικής αντίστασης, ονομάζεται *μονάδα εκκίνησης* με τα παρακάτω χαρακτηριστικά λειτουργίας:



- Παρατηρούμε ότι η μονάδα σύνθετης αγωγιμότητας έχει διπλό σκοπό:
 - ◆ α) Παρέχει τα χαρακτηριστικά της μονάδας κατεύθυνσης.
 - ◆ β) Παρέχει το τρίτο βήμα για τη μέτρηση απόστασης.

Ηλεκτρονόμος απόστασης τύπου mho

- Τα χαρακτηριστικά του περιγράφηκαν όταν χρησιμοποιήθηκε στη *μονάδα εκκίνησης*.
- Η πλήρη μονάδα ηλεκτρονόμου απόστασης τύπου σύνθετης αγωγιμότητας για την προστασία γραμμών, αποτελείται από:
 - ◆ 3 μονάδες σύνθετης αγωγιμότητας μεγάλης ταχύτητας M_1, M_2, M_3
 - ◆ 1 χρονική μονάδα συνδεδεμένη με τον ίδιο τρόπο όπως για ένα ηλεκτρονόμο σύνθετης αντίστασης ($0 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3$).
 - ◆ Δεν χρησιμοποιείται ξεχωριστή μονάδα κατεύθυνσης, επειδή η μονάδα σύνθετης αγωγιμότητας είναι κατεύθυνσης.



Γενικές παρατηρήσεις ηλεκτρονόμων απόστασης

- Όταν συμβαίνει ένα βραχυκύκλωμα, η τιμή του ρεύματος είναι αρχικά μεγαλύτερη από την τιμή του ρεύματος στη μόνιμη κατάσταση, που αποκτάται λίγο αργότερα.
- Με αυτές τις συνθήκες ένας ηλεκτρονόμος απόστασης μετρά αρχικά ένα λόγο V/I που είναι μικρότερος από τον πραγματικό (μόνιμη κατάσταση).
- Άρα ο ηλεκτρονόμος απόστασης τείνει να λειτουργήσει για τιμές του Z μεγαλύτερες από την καθορισμένη τιμή Z . Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *υπερεπέκταση* (overreach).
- Οι ηλεκτρονόμοι απόστασης, που χρησιμοποιούν το πηνίο τάσης για να παράγουν τη θετική ροπή (mho), μερικές φορές κατασκευάζονται με *δράση μνήμης*.
- Η δράση μνήμης αποκτάται με τη χρησιμοποίηση ενός πηνίου πόλωσης-τάσης, στο οποίο το ρεύμα δεν σταματά αμέσως μόλις η τάση στη πλευρά υψηλής τάσης του μετασχηματιστή μηδενιστεί.
- Έτσι ο ηλεκτρονόμος είναι κατάλληλα πολωμένος, δηλαδή στην ουσία *θυμάται* την τάση πριν από το σφάλμα.