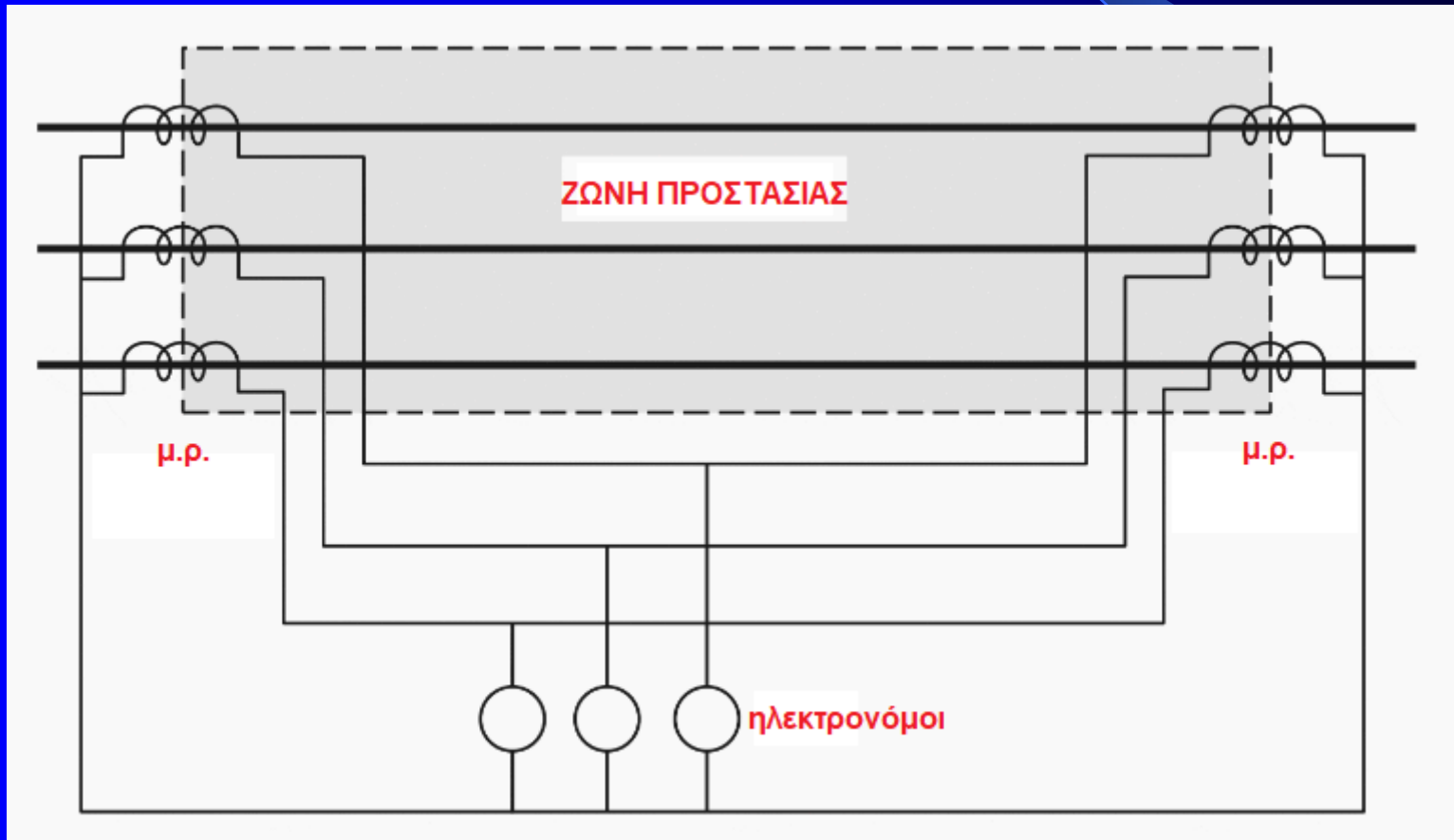


ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΗΕ

Ενότητα 6

Ενιαία προστασία γραμμών μεταφοράς

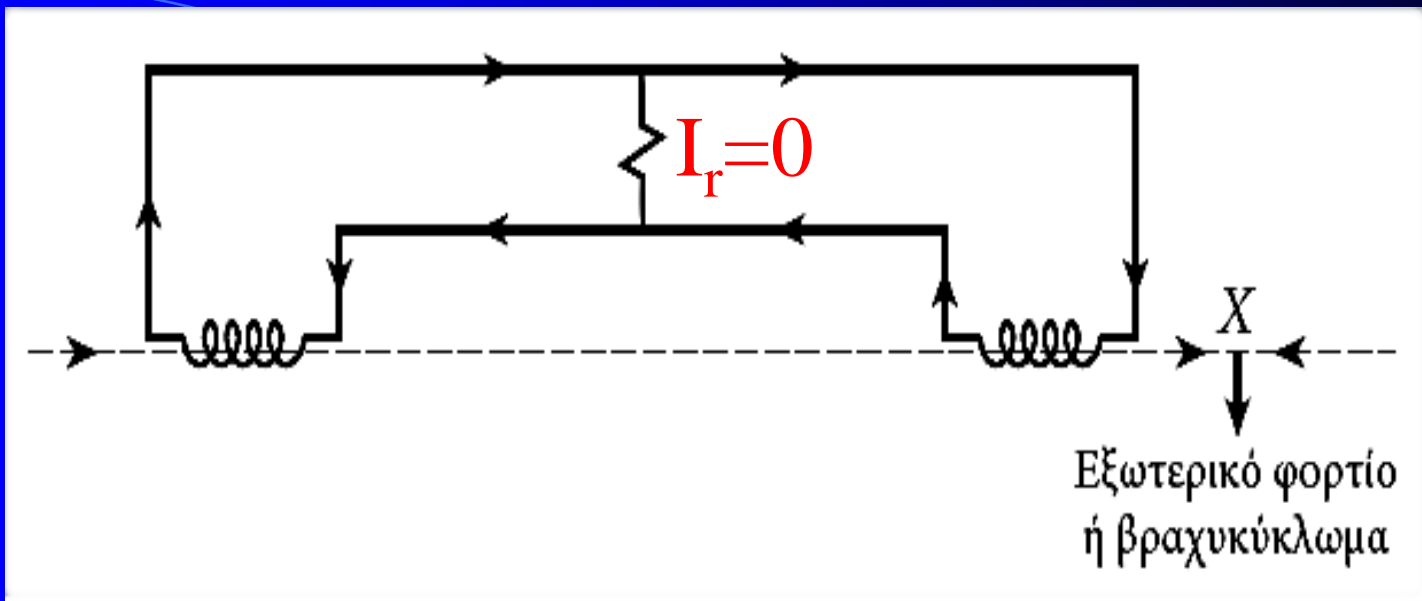


Εισαγωγή - μέτρηση απόστασης

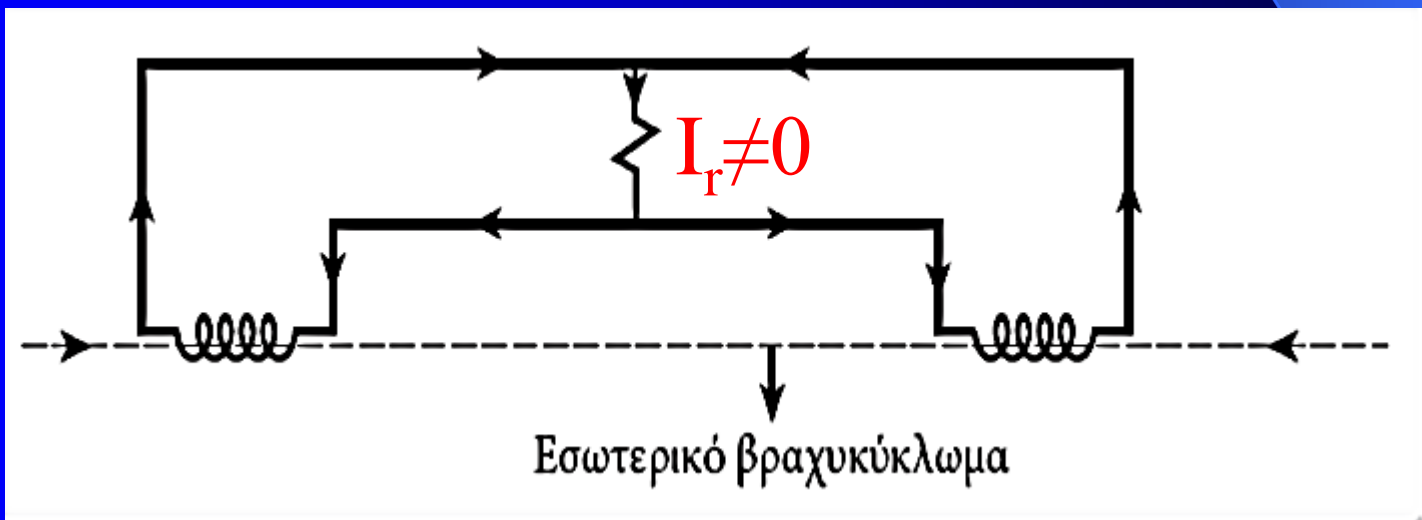
- Στην ενιαία προστασία (unit protection) η ζώνη προστασίας καθορίζεται από τη θέση σύνδεσης των μονάδων της, γι' αυτό και η επιλεκτικότητα της είναι πάντοτε εξασφαλισμένη.
- Σε αυτόν τον τύπο προστασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίπεδο επιλογής μικρότερο από το ρεύμα φορτίου.
- Θα δούμε την εφαρμογή της ενιαίας προστασίας σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οι γενικές αρχές της όμως εφαρμόζονται σε πολλές συσκευές των ΣΗΕ (π.χ. παρακάτω «προστασία ζυγού»).

Διαφορικοί ηλεκτρονόμοι

- Ως διαφορικός ηλεκτρονόμος ορίζεται *«ένας ηλεκτρονόμος που λειτουργεί όταν η διανυσματική διαφορά δύο ή περισσότερων ηλεκτρικών ποσοτήτων είναι μεγαλύτερη από ένα καθορισμένο ποσό»*.
- Κάθε τύπος ηλεκτρονόμου, όταν συνδεθεί με έναν ορισμένο τρόπο, μπορεί να λειτουργήσει σαν διαφορικός ηλεκτρονόμος.
- Στις περισσότερες εφαρμογές διαφορικού ηλεκτρονόμου χρησιμοποιείται, ο τύπος *διαφορικού ρεύματος*.

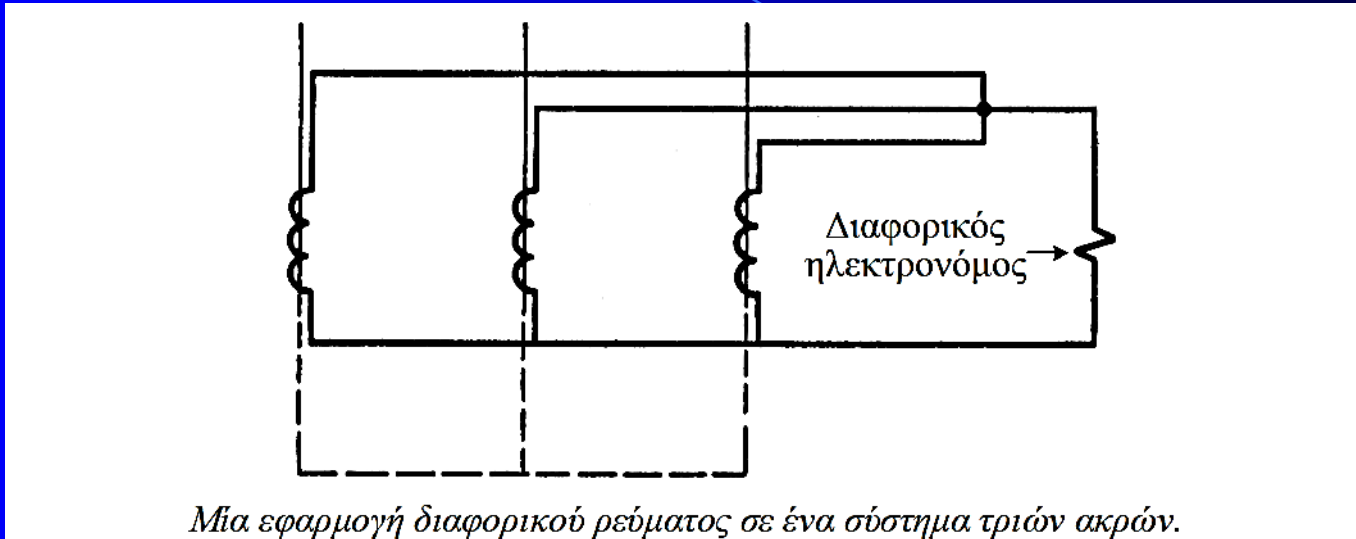


Συνθήκες για ένα εξωτερικό φορτίο ή βραχυκύκλωμα.

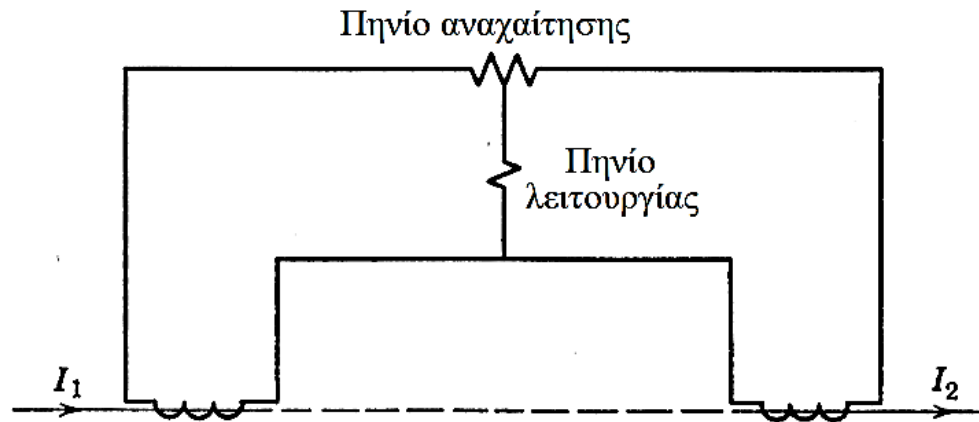


Συνθήκες για ένα εσωτερικό βραχυκύκλωμα.

Είναι απλό να επεκτείνουμε την πιο πάνω μεθοδολογία και στην περίπτωση ενός συστήματος με πολλές συνδέσεις:



- Η πιο διαδεδομένη μορφή διαφορικού ηλεκτρονόμου είναι του *αναλογικού-διαφορικού* τύπου (percentage-differential type).
- Αυτός συνδέεται όπως και ο διαφορικός τύπος που περιγράφηκε στα προηγούμενα, αλλά διαθέτει και ένα πηνίο αναχαίτισης.

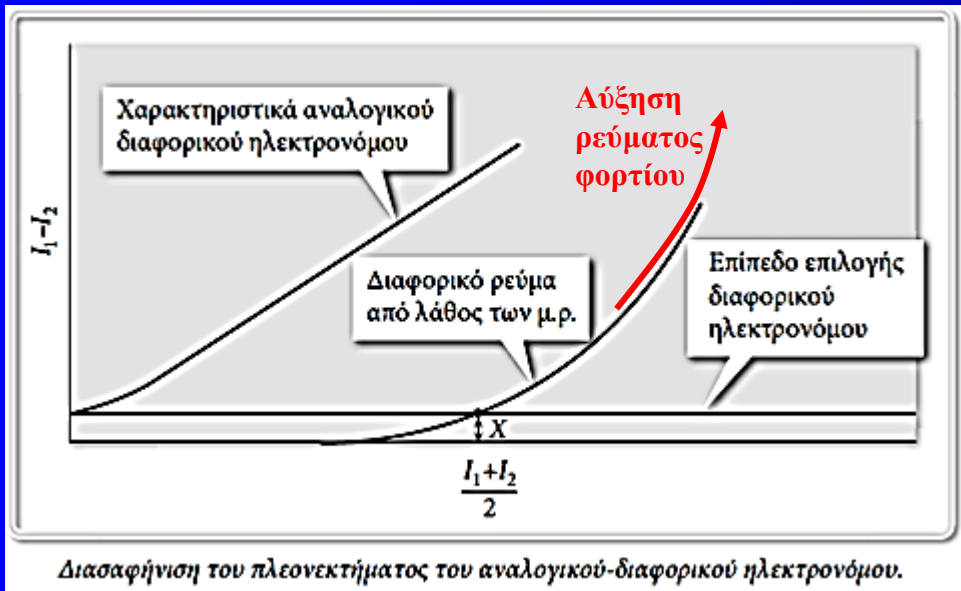


Ένας αναλογικού-διαφορικού τύπου ηλεκτρονόμος σε ένα κύκλωμα δύο άκρων.

- Το διαφορικό ρεύμα που απαιτείται για να λειτουργήσει αυτός ο ηλεκτρονόμος είναι μία μεταβλητή ποσότητα λόγω της επίδρασης του πηνίου αναχαίτισης.
- Το διαφορικό ρεύμα στο πηνίο λειτουργίας είναι ανάλογο με το $I_1 - I_2$.
- Το ισοδύναμο ρεύμα στο πηνίο αναχαίτισης είναι ανάλογο με το $(I_1 + I_2)/2$, εφόσον το πηνίο λειτουργίας συνδέεται στο μέσον του πηνίου αναχαίτισης.
- Το ισοδύναμο ρεύμα προκύπτει ως εξής: Αν N είναι ο αριθμός των στροφών στο πηνίο αναχαίτισης, οι ολικές αμπεροστροφές είναι $I_1 N/2 + I_2 N/2 = (I_1 + I_2) N/2$, που είναι το ίδιο σαν ένα ρεύμα $(I_1 + I_2)/2$ να διαρρέει όλο το πηνίο.
- Όταν λέμε ότι έχουμε έναν αναλογικό διαφορικό ηλεκτρονόμο με αναλογία π.χ. 50%, αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα λειτουργίας πρέπει να είναι τουλάχιστον 50% του ρεύματος αναχαίτισης για να ενεργοποιηθεί ο ηλεκτρονόμος.



Χαρακτηριστικά λειτουργίας ενός αναλογικού-διαφορικού ηλεκτρονόμου.

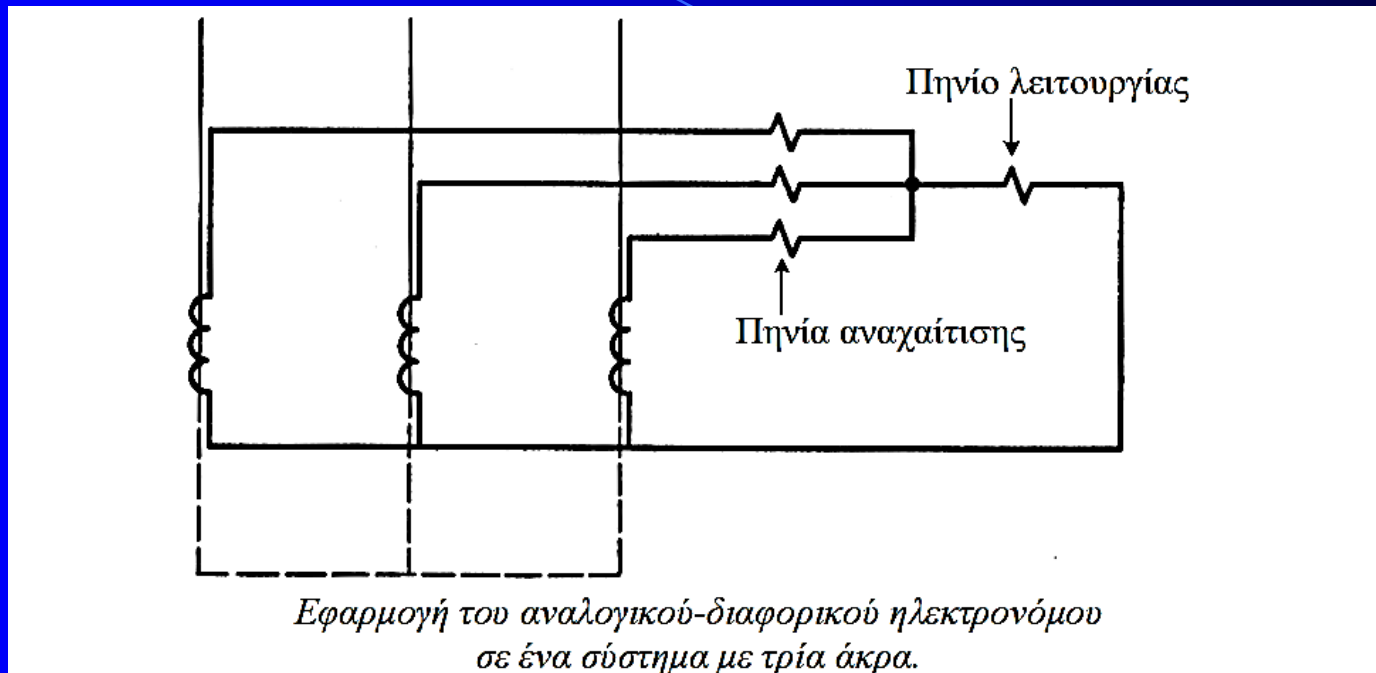


Διασαφήνιση του πλεονεκτήματος του αναλογικού-διαφορικού ηλεκτρονόμου.

Το επίπεδο επιλογής του αναλογικού-διαφορικού ηλεκτρονόμου αυξάνει καθώς αυξάνει το ρεύμα λειτουργίας.

Το πλεονέκτημα αυτού του ηλεκτρονόμου είναι ότι πιο σπάνια λειτουργεί εσφαλμένα για ένα βραχυκύκλωμα έξω από τη ζώνη προστασίας, από ότι ένας απλός διαφορικός ηλεκτρονόμος ... για παράδειγμα λόγω μεταβατικών ρευμάτων ή κατασκευαστικής διαφοράς/ατέλειας μεταξύ των μετασχηματιστών ρεύματος.

Αναλογικοί-διαφορικοί ηλεκτρονόμοι χρησιμοποιούνται και σε συστήματα με περισσότερα από δύο άκρα.



- Οι αναλογικοί-διαφορικοί ηλεκτρονόμοι είναι συνήθως στιγμιαίοι ή μεγάλης ταχύτητας.
- Χρονική καθυστέρηση δεν απαιτείται για επιλεκτικότητα, επειδή τα χαρακτηριστικά τους κάνουν αυτούς τους ηλεκτρονόμους πρακτικά ανεπηρέαστους από μεταβατικά φαινόμενα, όταν χρησιμοποιούνται κατάλληλα.

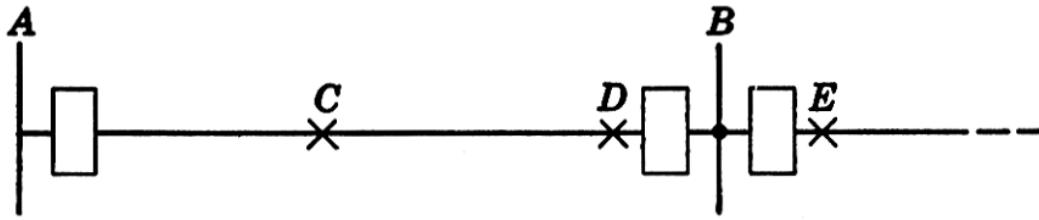
Προστασία οδηγού

- Οι διαφορικοί ηλεκτρονόμοι δεν χρησιμοποιούνται για προστασία γραμμών, γιατί η μεγάλη απόσταση μεταξύ των άκρων των γραμμών δεν επιτρέπει μία σύνδεση των μετασχηματιστών ρεύματος όπως περιγράφηκε.
- Η προστασία οδηγού είναι μία εφαρμογή της αρχής του διαφορικού ηλεκτρονόμου για την προστασία γραμμών μεταφοράς.
- Ο όρος οδηγός (pilot) σημαίνει ότι μεταξύ των άκρων της γραμμής μεταφοράς υπάρχει κάποιο κανάλι διασύνδεσης μέσω του οποίου μπορεί να μεταφέρεται κάποια πληροφορία.
- Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι ενός τέτοιου καναλιού: *οδηγοί σύρματος* (wire pilot), *οδηγοί φέροντος ρεύματος* (carrier-current pilot) και *μικροκυματικοί οδηγοί* (microwave pilot).
- Σύρματος: γενικά οικονομικοί για αποστάσεις μέχρι 5-10 μίλια.
- Φέροντος ρεύματος: για μεγαλύτερες αποστάσεις, μεταφορά πληροφορίας μέσω διαμόρφωσης με φορέα το ρεύμα του αγωγού ισχύος.
- Μικροκυματικοί: όταν το πλήθος των πληροφοριών που θέλουμε να μεταφέρουμε ξεπερνά τις τεχνικές και οικονομικές δυνατότητες των φέροντος ρεύματος.

Προβλήματα ηλεκτρονόμων με οδηγούς σύρματος στις γραμμές

- Οδηγοί σύρματος σε διαφορικούς ηλεκτρονόμους εξασφαλίζουν **επιλεκτικότητα+ταχύτητα** σε προστασία Μ/Σ, γεννητριών, ζυγών, κλπ.
- Για τα συνηθισμένα μήκη γραμμών όμως είναι αντισυμβαλικοί, γιατί...
- μία 3Φ γραμμή χρειάζεται 6 οδηγούς αγωγούς: 3 για τους μ.ρ. φάσεων, 1 για τον ουδέτερο και 2 για το κύκλωμα ενεργοποίησης.
- Άλλοι λόγοι που δεν χρησιμοποιούνται οι διαφορικοί ηλεκτρονόμοι με οδηγούς σύρματος είναι:
 - πιθανότητα εσφαλμένης λειτουργίας λόγω των ανακριβειών των μ.ρ. σε περιπτώσεις υπερφόρτισης και ...
 - το ρεύμα φόρτισης που εμφανίζεται στη παρασιτική χωρητικότητα μεταξύ των οδηγών σύρματος,
 - η επαγόμενη τάση από τα κυκλώματα ισχύος στους οδηγούς σύρματος (απαιτείται καλύτερη θωράκιση σε EMI),
 - τα ρεύματα και οι τάσεις στους οδηγούς σύρματος είναι υπερβολικά για ένα σύστημα ενοικιασμένο από την τηλεφωνική εταιρία. ¹⁰

Οδηγοί ενεργοποίησης & φραγμού



Τμήμα γραμμής για διασαφήνιση του σκοπού ενός οδηγού.

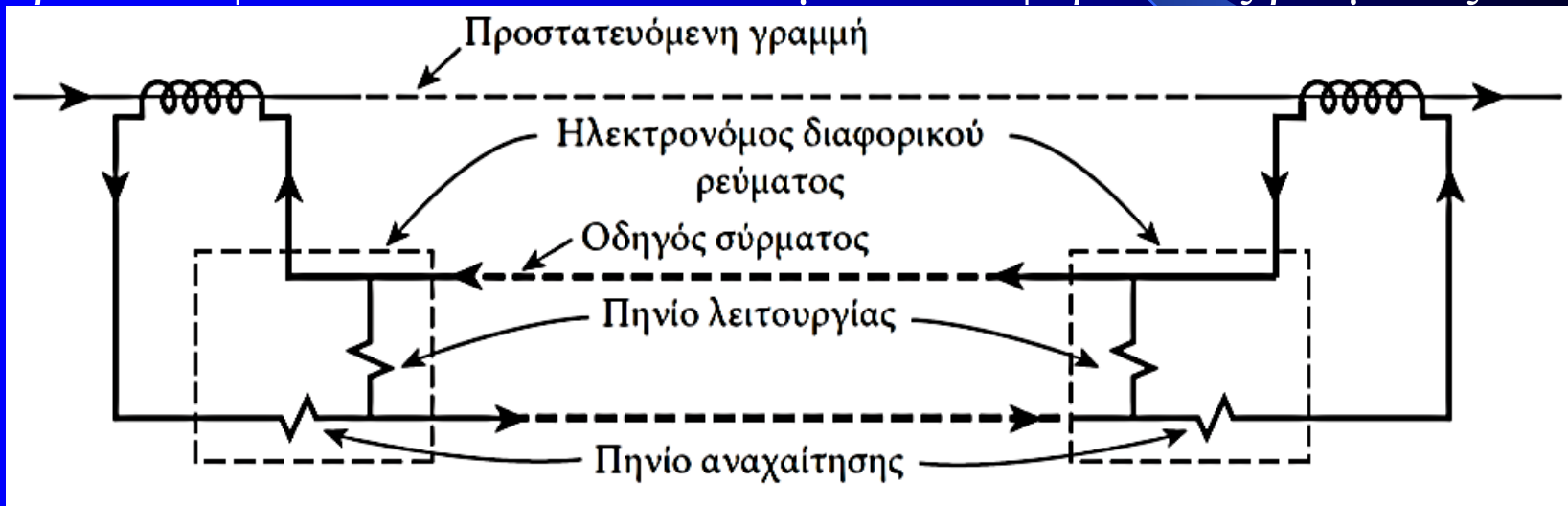
- Όταν είμαστε στο ζυγό A δεν μπορούμε να διακρίνουμε αν το βραχυκύκλωμα είναι στο D ή E μόνο από τη φορά των αντίστοιχων ρευμάτων.
- Όμως, όταν είμαστε στο ζυγό B , βραχυκύκλωμα στο E δημιουργεί ρεύμα πρακτικά αντίστροφο από το ρεύμα για ένα βραχυκύκλωμα στο D : τα δύο βραχυκυκλώματα δημιουργούν ρεύματα με φασική διαφορά 180° , οπότε η διάκρισή τους είναι εύκολη.
- Επομένως, για να αποφασίσει ο ζυγός A αν το βραχυκύκλωμα είναι στο D ή E χρειάζεται κάποια ένδειξη για τη φασική γωνία του ρεύματος στο B σε συσχετισμό με το ρεύμα στο A .
- Ο σκοπός ενός οδηγού είναι να μεταφέρει πληροφορία από το ένα άκρο της γραμμής στο άλλο για να είναι δυνατή η επιλεκτικότητα.
- Αν ο ηλεκτρονόμος στο ένα άκρο της γραμμής πρέπει να πάρει ένα σήμα από το άλλο άκρο για να εμποδιστεί η ενεργοποίησή του, τότε ο οδηγός ονομάζεται **οδηγός φραγμού**.
- Αντίθετα, αν ο ηλεκτρονόμος πρέπει να πάρει ένα σήμα από το άλλο άκρο για να ενεργοποιηθεί, τότε ο οδηγός ονομάζεται **οδηγός ενεργοποίησης**.

Προβλήματα ηλεκτρονόμων οδηγού σύρματος ΣΡ

- Όταν η λειτουργία ενός ηλεκτρονόμου σε ένα σταθμό πρέπει να εμποδίζεται από τη λειτουργία ενός ηλεκτρονόμου σε ένα άλλο σταθμό, ο ηλεκτρονόμος φραγμού πρέπει να είναι πιο ευαίσθητος.
- Η διαδοχή των επαφών φραγμού-ενεργοποίησης πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη (βλ. επαφές Β και Ο στο προηγούμενο σχήμα).
- Πρέπει να χρησιμοποιούμε ξεχωριστούς ηλεκτρονόμους φάσεων και γης, για να έχουμε ικανοποιητική ευαισθησία σε όλες τις περιπτώσεις βραχυκυκλωμάτων: προτεραιότητα στους γης μέσω φραγμού.
- Πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα ώστε να αποφεύγεται η λειτουργία στις περιπτώσεις σοβαρής ταλάντωσης ισχύος.
- Τα προβλήματα αυτά δεν υπάρχουν στους ηλεκτρονόμους οδηγού σύρματος ΕΡ και γι' αυτό επικράτησαν.

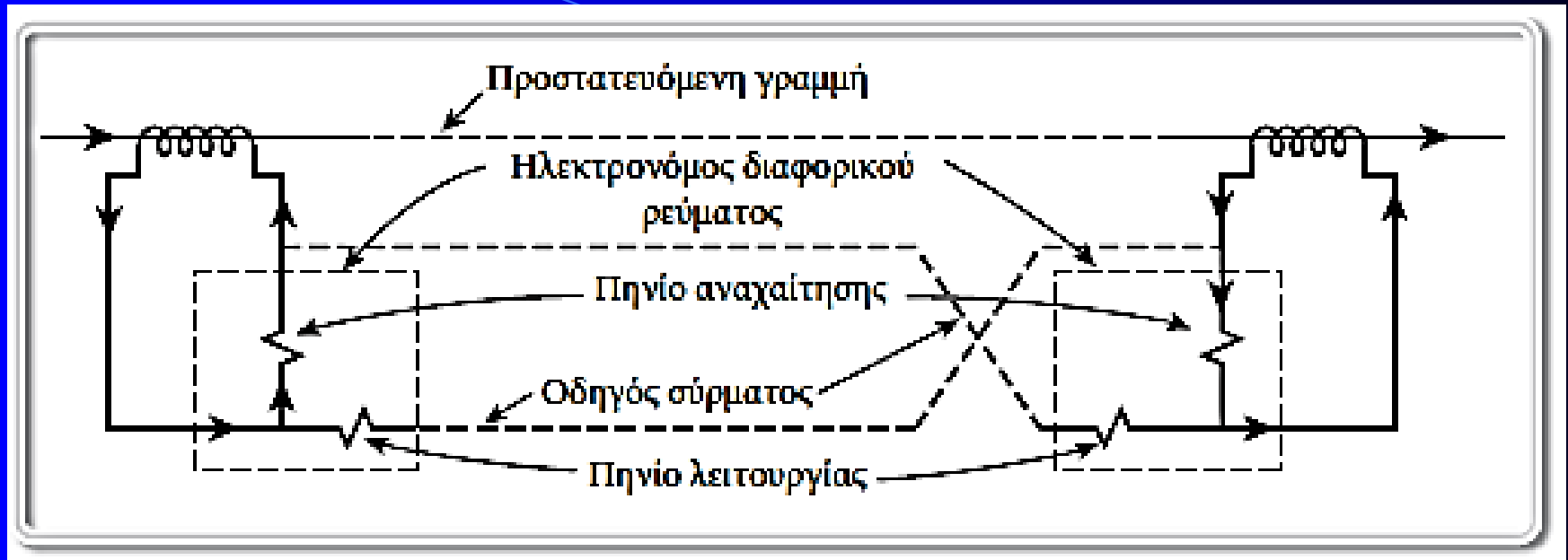
Ηλεκτρονόμοι οδηγού σύρματος ΕΡ

- Οι ηλεκτρονόμοι οδηγού σύρματος ΕΡ ομοιάζουν πιο πολύ με τους διαφορικούς ηλεκτρονόμους ρεύματος, αλλά χρησιμοποιούν μόνο δύο οδηγούς σύρματος και το ρεύμα σε αυτούς είναι μικρότερο.
- Υπάρχουν δύο τύποι κυκλωμάτων: *κυκλοφορούντος ρεύματος* (circulating current) και *αντιτιθεμένης τάσης* (opposed voltage).
- Παρακάτω φαίνεται ένα απλό κύκλωμα κυκλοφορούντος ρεύματος.



Απλό κύκλωμα κυκλοφορούντος ρεύματος.

Υπό κανονικές συνθήκες: ρεύμα κυκλοφορεί μέσω των μ.ρ. και των οδηγών. Όμοιος με τον αναλογικό-διαφορικό, αλλά χρησιμοποιεί δύο ηλεκτρονόμους ισορροπίας/λειτουργίας για να αποφεύγεται η χρησιμοποίηση του κυκλώματος ενεργοποίησης (δηλαδή δύο ακόμα αγωγοί κατά μήκος όλης της γραμμής).



Κύκλωμα αντιτιθεμένης τάσης.

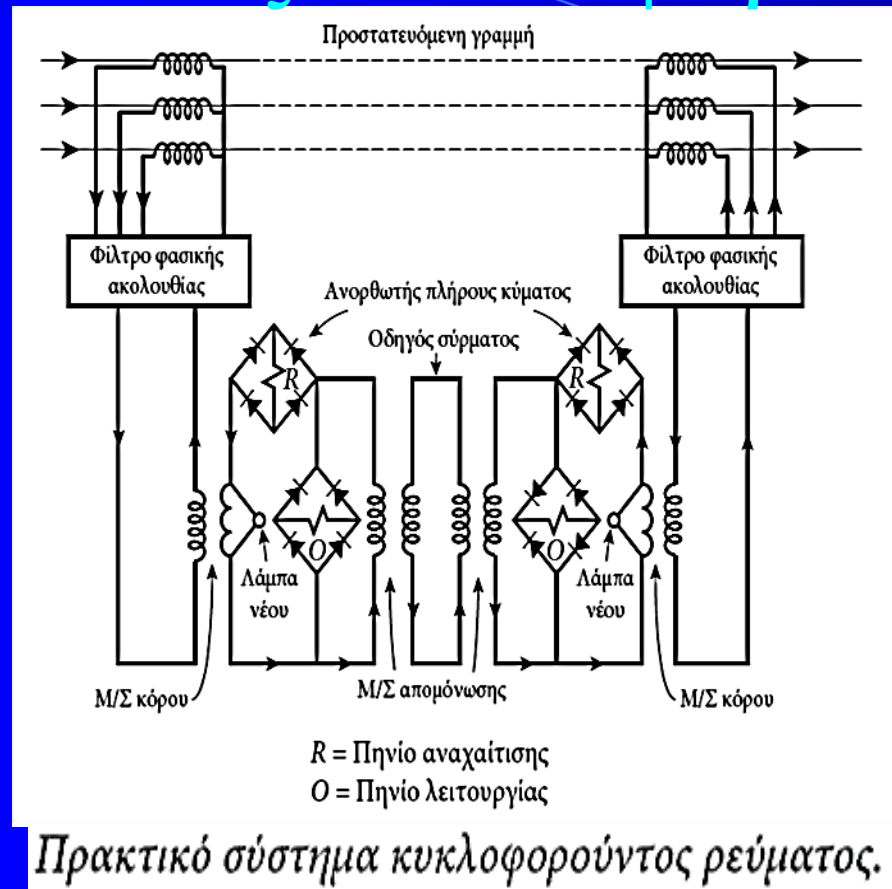
- Υπό κανονικές συνθήκες (εξωτερικά βραχυκυκλώματα ή τροφοδοσία φορτίου) οι τάσεις στα πηνία αναχαίτισης στα δύο άκρα του οδηγού είναι σε αντίθεση: δεν ρέει ρεύμα στους οδηγούς.
- Για ένα εσωτερικό βραχυκύκλωμα, ρεύμα θα κυκλοφορήσει στους οδηγούς και τα πηνία λειτουργίας ενεργοποιώντας τους ηλεκτρονόμους.

Βραχυκυκλώματα και ανοικτοκυκλώματα στους οδηγούς έχουν αντίθετα αποτελέσματα στους δύο πιο πάνω τύπους κυκλωμάτων:

	Βραχυκύκλωμα	Ανοικτοκύκλωμα
Αντιτιθέμενης τάσης	Προκαλεί ενεργοποίηση	Εμποδίζει την ενεργοποίηση
Κυκλοφορούντος ρεύματος	Εμποδίζει την ενεργοποίηση	Προκαλεί ενεργοποίηση

- Βασικό χαρακτηριστικό που κάνει οικονομικά δυνατή την εφαρμογή των ηλεκτρονόμων οδηγού σύρματος EP σε μεγαλύτερες αποστάσεις, είναι η χρησιμοποίηση δύο μόνον οδηγών αντί τεσσάρων για 3Φ γραμμές.
- Για να γίνει δυνατό αυτό χρησιμοποιούμε ένα μόνο δείγμα ρεύματος, που παράγεται από τα ρεύματα των φάσεων και της γης στα άκρα της γραμμής και συγκρίνουμε αυτά τα δείγματα.
- Αυτό γίνεται με ένα μ.ρ. σε κάθε άκρο της γραμμής, που αθροίζει τα ρεύματα των μ.ρ. στις φάσεις ή με ένα δίκτυο για την παραγωγή των ακολουθιακών συνιστωσών των ρευμάτων στις φάσεις.

Τύπος κυκλοφορούντος ρεύματος



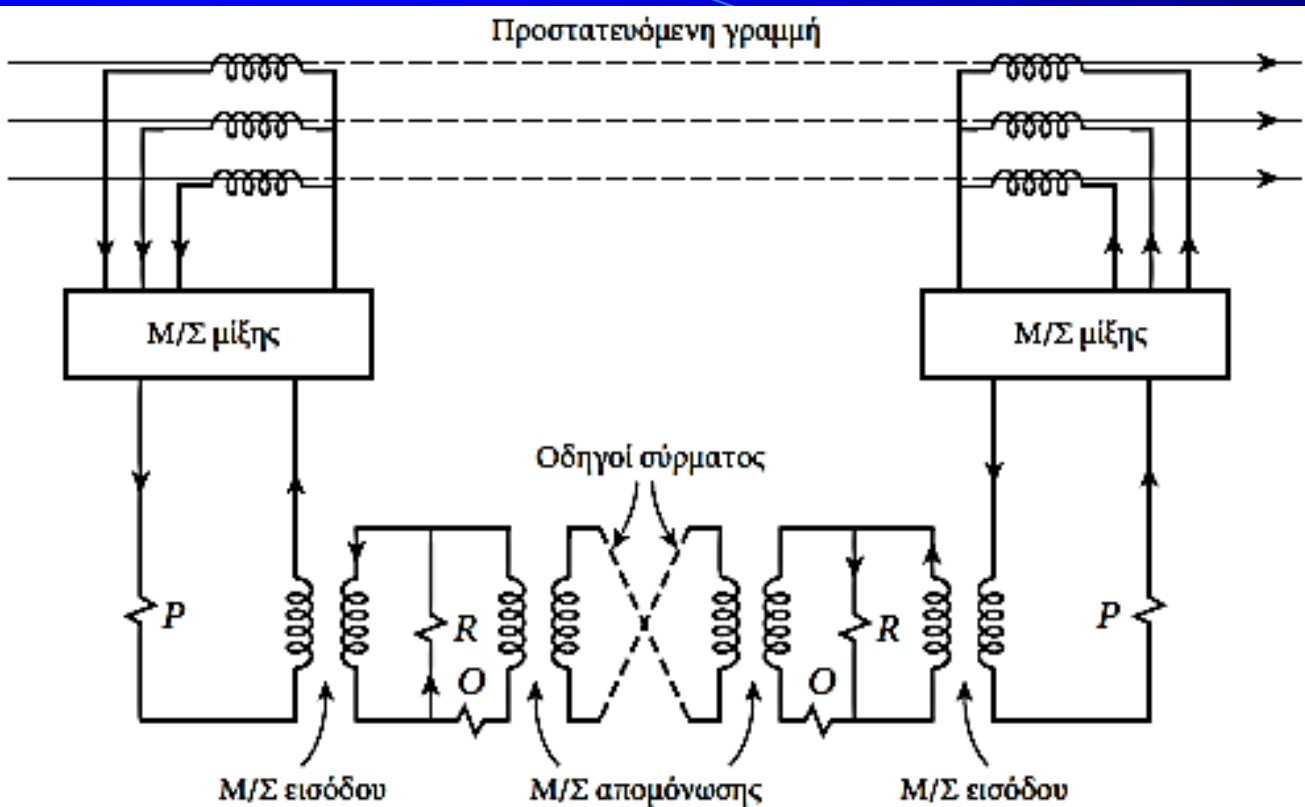
Τα φίλτρα φασικής ακολουθίας μετατρέπουν τα ρεύματα των τριών φάσεων και γης σε μία μονοφασική ποσότητα.

O → Πηνίο λειτουργίας.

R → Πηνίο αναχαίτισης.

Οι ηλεκτρονόμοι είναι τύπου ΣΡ με μόνιμο μαγνήτη και πόλωση. Οι μετασχηματιστές κόρου περιορίζουν την ενεργό τιμή και η λάμπα νέου περιορίζει τη μέγιστη τιμή της τάσης που τροφοδοτείται στους οδηγούς. Το κύκλωμα των οδηγών απομονώνεται από το υπόλοιπο σύστημα με τους μετασχηματιστές απομόνωσης.

Τύπος αντιτιθέμενης τάσης



O → Πηνίο λειτουργίας.
R → Πηνίο αναχαίτησης.

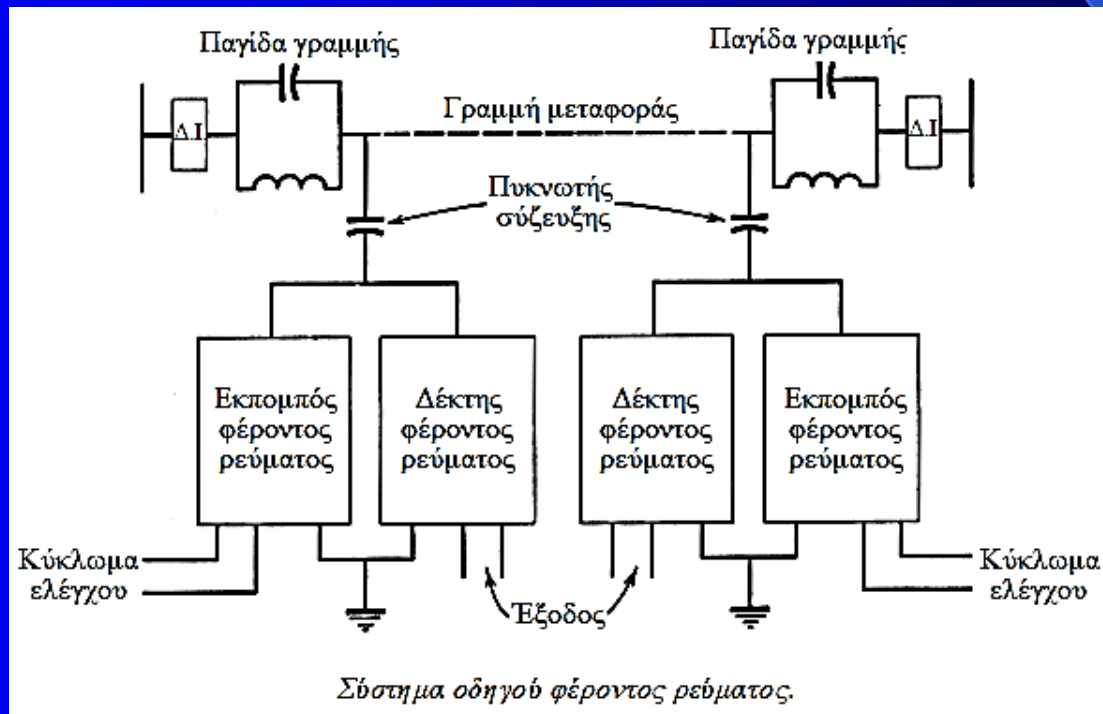
Σύστημα αντιτιθέμενης τάσης. P = πηνίο πόλωσης ρεύματος. R = πηνίο αντι-στάθμισης τάσης. O = πηνίο λειτουργίας ρεύματος.

Οι ηλεκτρονόμοι είναι τύπου κατεύθυνσης με δύο αντιτιθέμενα πηνία κατεύθυνσης και ένα πηνίο πόλωσης.

Ο κόρος στο μετασχηματιστή μίξης περιορίζει την ενεργό τιμή της τάσης που εφαρμόζεται στο κύκλωμα οδηγών.

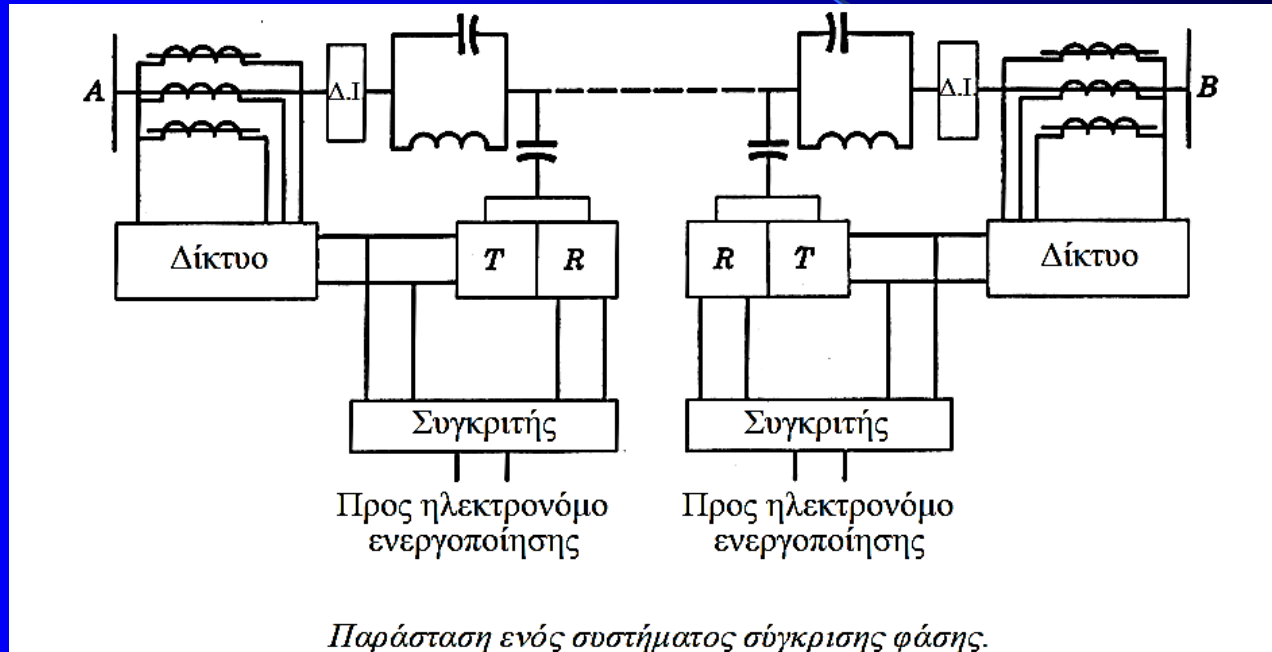
Οδηγός φέροντος ρεύματος

- Θα περιγράψουμε δύο τύπους συσκευών ηλεκτρονόμων που χρησιμοποιούνται στους οδηγούς φέροντος ρεύματος και στους μικροκυματικούς οδηγούς.
- Ο πρώτος είναι ο τύπος *σύγκρισης φάσης* (phase comparison), που ομοιάζει με τον τύπο οδηγού σύρματος ΕΡ και ο δεύτερος είναι ο τύπος *σύγκρισης κατεύθυνσης* (directional comparison), που ομοιάζει με τον τύπο οδηγού σύρματος ΣΡ.
- Το σύστημα ενός οδηγού φέροντος ρεύματος φαίνεται παρακάτω.



Συσκευές σύγκρισης φάσης

- Ο τύπος συσκευών ηλεκτρονόμων σύγκρισης φάσης συγκρίνει τις φάσεις μεταξύ του ρεύματος που εισέρχεται σε μία γραμμή και αυτού που εξέρχεται. Το μέτρο των ρευμάτων δεν εξετάζεται.

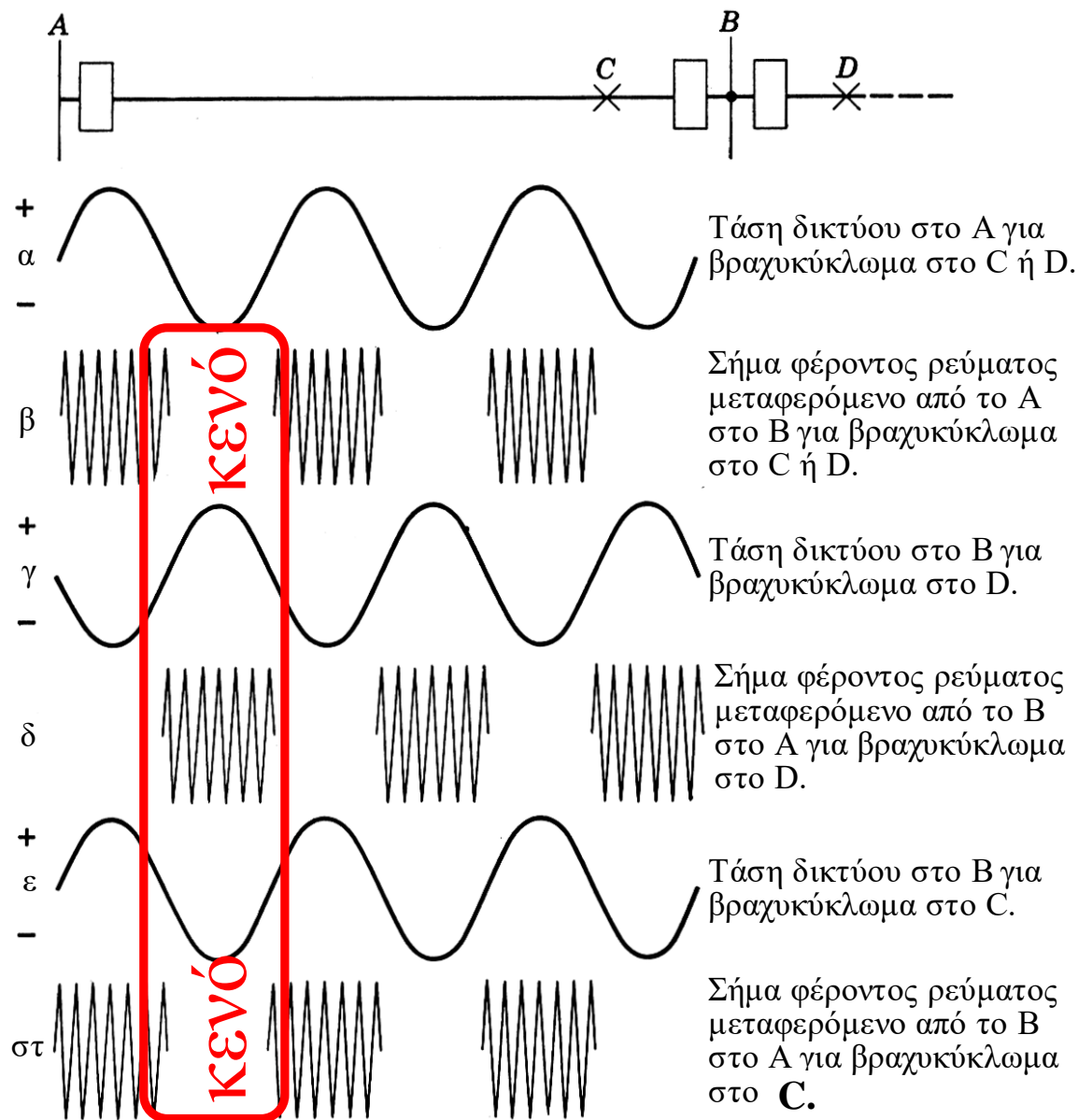


Παράσταση ενός συστήματος σύγκρισης φάσης.

Το «Δίκτυο» παράγει μία 1Φ ημιτονοειδή τάση εξόδου που εφαρμόζεται στον εκπομπό «T» (για να γίνει υψίσυχο) και το «Συγκριτή».

Η έξοδος του δέκτη «R» (1Φ ημιτ.) τροφοδοτείται επίσης στο «Συγκριτή», που ελέγχει τη λειτουργία του ηλεκτρονόμου ενεργοποίησης του Δ.Ι.

Αυτό γίνεται προφανώς και στα δύο άκρα της γραμμής.



Σχέσεις μεταξύ των τάσεων στην έξοδο των δικτύων και των σημάτων φέροντος ρεύματος.

Οι κυματομορφές της τάσης για εξωτερικό βραχυκύκλωμα, βάσει των οποίων παράγονται τα σήματα, είναι μετατοπισμένη κατά 180° στα δύο άκρα, λόγω της ανάποδης σύνδεσης των μ.ρ.

- Για εξωτερικό σφάλμα πάντα υπάρχει ένα σήμα φέροντος ρεύματος στο συγκριτή: εμποδίζεται η ενεργοποίηση.
- Για εσωτερικό σφάλμα δεν υπάρχει σήμα στους συγκριτές κάθε δεύτερη ημιπερίοδο: έχουμε ενεργοποίηση (μάλιστα σε <20 ms).
- Δεν είναι απαραίτητο τα σήματα φέροντος ρεύματος να είναι μετατοπισμένα ακριβώς κατά 180° για να μην έχουμε ενεργοποίηση των διακοπών ή να συμπίπτουν τελείως για να έχουμε ενεργοποίηση.
- Υπάρχει φασική μετατόπιση στην περίπτωση εξωτερικού βραχυκυκλώματος λόγω:
 - α) γωνιακής μετατόπισης των ρευμάτων στα δύο άκρα της γραμμής, λόγω επαγόμενων ρευμάτων,
 - β) χρόνου που χρειάζεται το φέρον ρεύμα να διανύσει το μήκος της γραμμής ($\sim 10^\circ/100$ Km).
- Για να εμποδιστεί η ενεργοποίηση, μία φασική μετατόπιση μέχρι 35° από την ακριβή διασπορά, μπορεί να είναι ανεκτή.
- Μεγαλύτερη φασική μετατόπιση είναι ανεκτή για την περίπτωση ενεργοποίησης.

- Είναι επιθυμητό φέρον ρεύμα να μην διαδίδεται σε κανονικές συνθήκες, για να μη φθείρεται άσκοπα ο συγκριτής και να έχουμε διαθέσιμους τους οδηγούς για άλλες χρήσεις. Έτσι:
 - ένα σύνολο ανιχνευτών βραχυκυκλώματος είναι ρυθμισμένο να λειτουργεί με ρεύμα λίγο μεγαλύτερο από το μέγιστο ρεύμα φορτίου και να εκκινεί το σύστημα διάδοσης φέροντος ρεύματος.
 - άλλο σύνολο λειτουργεί σε πολύ μεγαλύτερο ρεύμα (επίπεδο επιλογής) και επιτρέπει την ενεργοποίηση των διακοπών αν ζητηθεί αυτό από το συγκριτή.
- Έτσι ενεργοποίηση των διακοπών συμβαίνει μόνο σε εκείνο το άκρο της γραμμής, που υπάρχει αρκετό ρεύμα για να λειτουργήσουν αυτοί οι ανιχνευτές βραχυκυκλώματος.
- Βραχυκύκλωμα στον οδηγό δεν εμποδίζει την ενεργοποίηση των διακοπών, αφού απλά απενεργοποιεί το φραγμό, αλλά δεν υπάρχει επιλεκτικότητα.

Σύστημα σύγκρισης κατεύθυνσης

- Μοντέρνα συστήματα προστασίας σύγκρισης κατεύθυνσης λειτουργούν σε συνεργασία με ηλεκτρονόμους απόστασης:
 - οι ηλεκτρονόμοι απόστασης παρέχουν προστασία υποστήριξης
 - ορισμένα στοιχεία των ηλεκτρονόμων απόστασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνεργασία με τις συσκευές του συστήματος σύγκρισης κατεύθυνσης.
- Όταν συμβεί ένα βραχυκύκλωμα εξωτερικά από τη γραμμή προστασίας, εκπέμπεται ένα σήμα από κάθε άκρο που ρεύμα βραχυκύκλωσης ρέει έξω από τη γραμμή (δηλαδή στη κατεύθυνση φραγμού της ενεργοποίησης).
- Όταν ένας μόνο σταθμός εκπέμπει ένα τέτοιο σήμα, η ενεργοποίηση εμποδίζεται σε όλους τους σταθμούς.

Προστασία υποστήριξης σε συστήματα με προστασία οδηγού

- Η προστασία οδηγού δεν παρέχει προστασία υποστήριξης.
- Αυτή γίνεται με τη χρησιμοποίηση ξεχωριστών ηλεκτρονόμων υπερέντασης ή απόστασης.

Συμπεράσματα

- Η προστασία οδηγού είναι ο καλύτερος τύπος πρωτεύουσας προστασίας για γραμμές μεταφοράς.
- Χρησιμοποιείται όπου απαιτείται προστασία μεγάλης ταχύτητας για όλα τα είδη βραχυκυκλωμάτων και για κάθε θέση βραχυκυκλώματος.
- Σε διτερματικές γραμμές αλλά και σε πολλές πολυτερματικές γραμμές με προστασία οδηγού, όλοι οι διακόπτες ισχύος λειτουργούν πρακτικά ταυτόχρονα: επιτρέπεται μεγάλης ταχύτητας αυτόματο επανακλείσιμο των διακοπών.
- Ο συνδυασμός της μεγάλης ταχύτητας ανοίγματος και κλεισίματος των διακοπών με προστασία οδηγού, μας επιτρέπει να «φορτώνουμε» το σύστημα μεταφοράς πιο κοντά στο όριο μεταβατικής ευστάθειας και να επιτυγχάνουμε τη βέλτιστη χρησιμοποίηση του.
- Προστασία οδηγού χρησιμοποιείται και σε μερικές γραμμές που αναμένεται πολύ μεγάλη ωμική αντίσταση βραχυκυκλώματος συγκρινόμενη με την ωμική αντίσταση της γραμμής (π.χ. μικρού μήκους), οπότε η προστασία απόστασης είναι πρακτικά ανεφάρμοστη.