

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΗΕ

Ενότητα 1 – Γενικές έννοιες



Σκοπός

Σκοπός των συστημάτων/ηλεκτρονόμων προστασίας είναι:

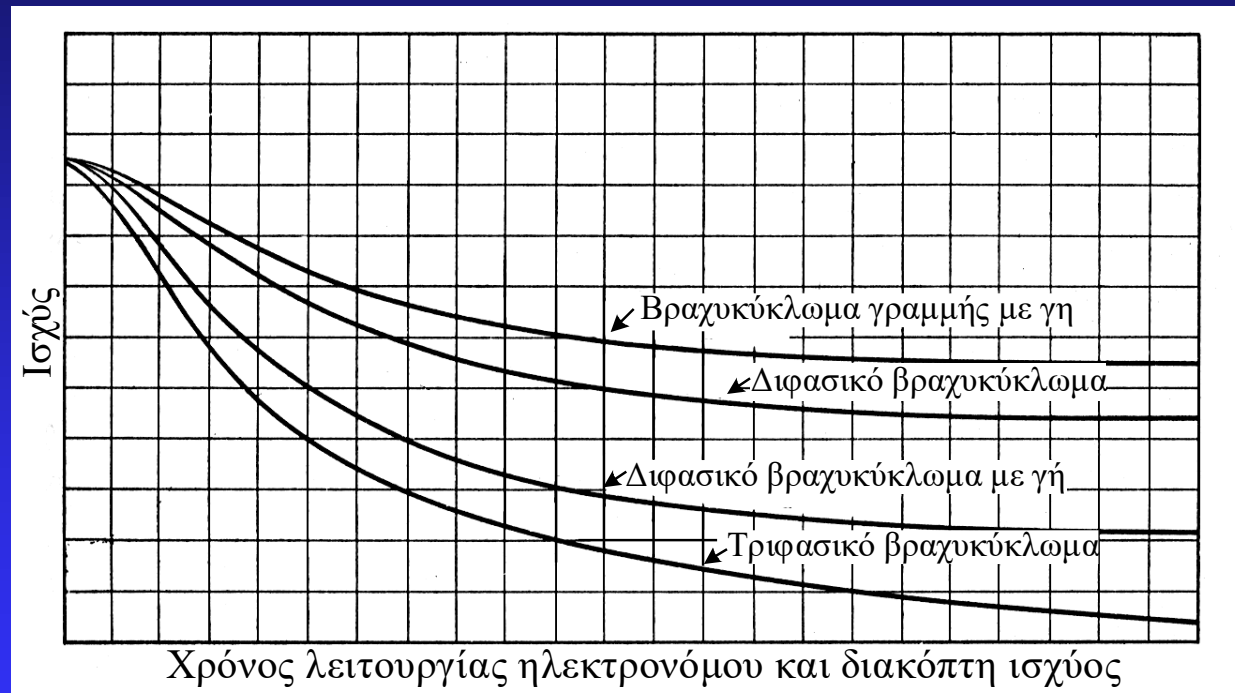
1. να θέτουν σε λειτουργία τους κατάλληλους διακόπτες ισχύος, ώστε ...
2. να αποσυνδέονται όσο το δυνατόν ταχύτερα τα τμήματα του ηλεκτρικού συστήματος που έχουν πάθει τη βλάβη και έτσι ...
3. να είναι όσο το δυνατόν μικρότερες οι ζημιές από τα βραχυκυκλώματα.

Αξιολόγηση συστημάτων προστασίας

- Η συμβολή τους είναι να βοηθούν το υπόλοιπο ΣΗΕ να επιτυγχάνει το σκοπό του κατά τον αποδοτικότερο και αποτελεσματικότερο τρόπο στην περίπτωση σφαλμάτων.
- Ελαττώνουν:
 - 1) Το κόστος επισκευής των ζημιών από βραχυκυκλώματα.
 - 2) Την πιθανότητα να έχουμε επέκταση των ζημιών με το να πάψουν να λειτουργούν και άλλες συσκευές.
 - 3) Το χρόνο που οι συσκευές είναι εκτός λειτουργίας.
 - 4) Την απώλεια εισοδήματος και τη διατάραξη του τρόπου ζωής των πολιτών τις ώρες που τα ΣΗΕ δεν λειτουργούν.

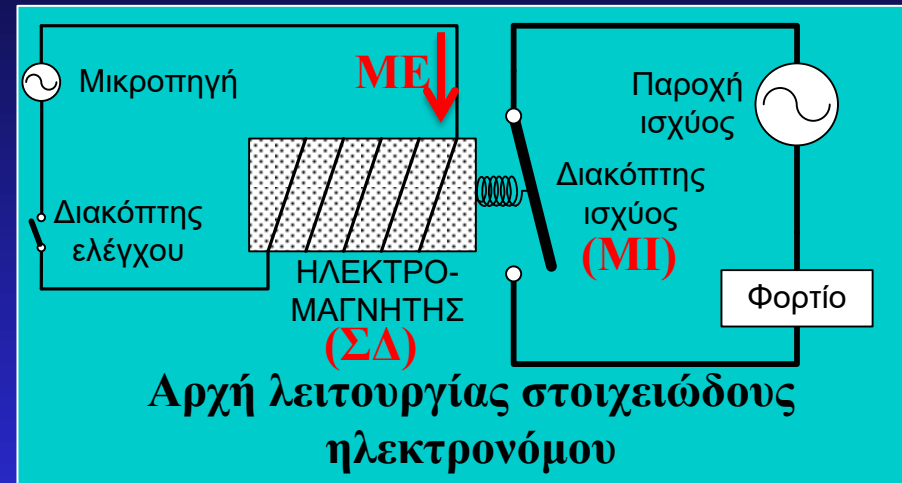
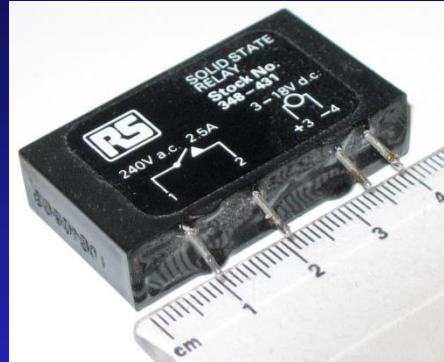
Προστασία και αξιοποίηση δυνατοτήτων συστήματος

Τα συστήματα προστασίας αυξάνουν την ευστάθεια των συστημάτων: επιτρέπουν την πλήρη χρησιμοποίηση των δυνατοτήτων τους.



Καμπύλες μεταβολής της μέγιστης ισχύος που μπορούν να μεταφέρουν οι γραμμές, σε συνάρτηση με το χρόνο καθυστέρησης του ηλεκτρονόμου και του διακόπτη ισχύος για διάφορες μορφές σφαλμάτων.

Το αρχέτυπο σύστημα ηλεκτρονόμου-διακόπτη



Ηλεκτρομηχανικός Στερεάς κατάστασης

Μονάδα ελέγχου (ME): λαμβάνει την εντολή από τον χρήστη ή κάποιο εξωτερικό σύστημα αυτοματισμού (π.χ. διακόπτης ελέγχου, ψηφιακός ελεγκτής κλπ) και ενεργοποιεί το σύστημα δράσης του ηλεκτρονόμου.

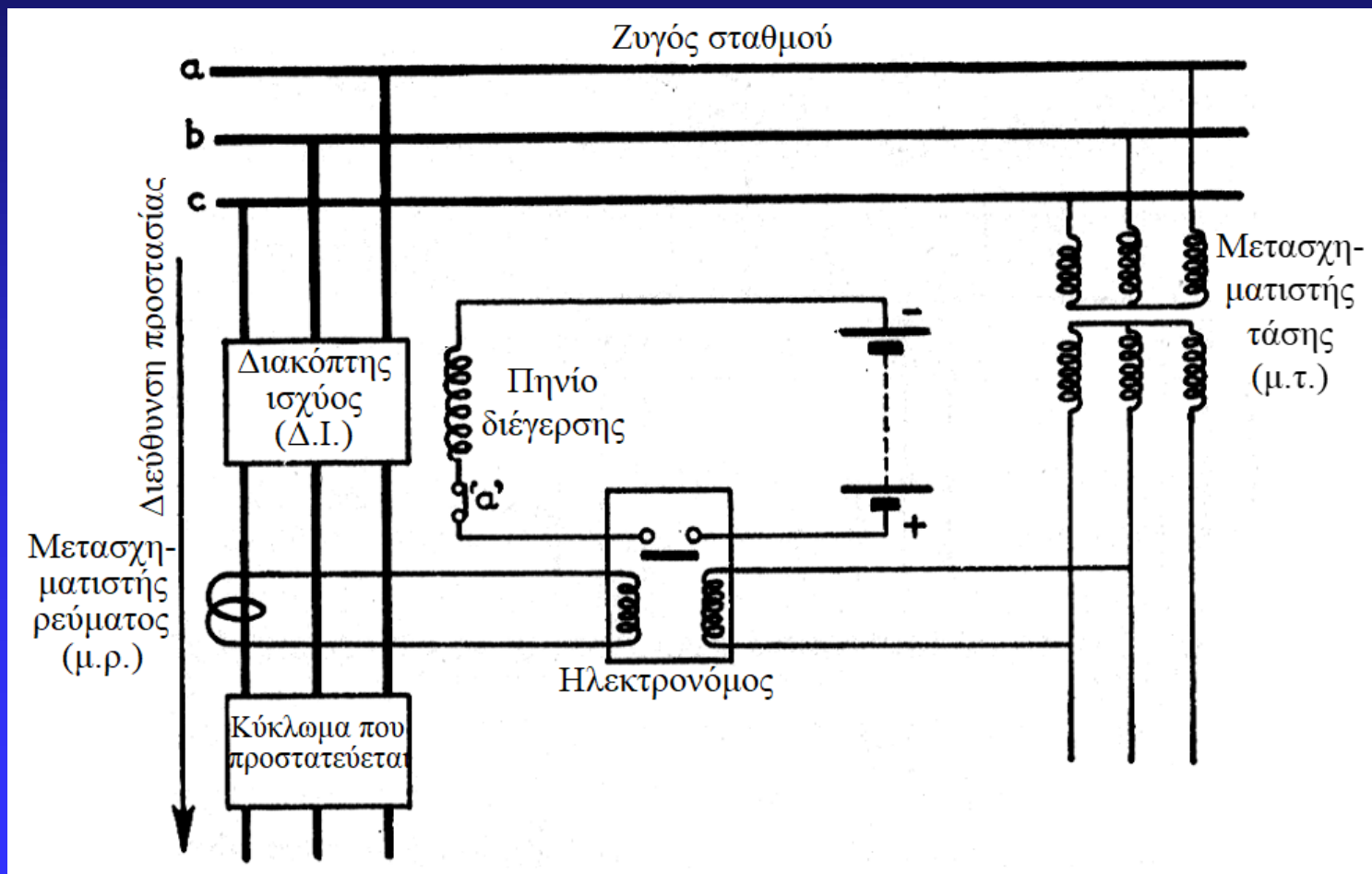
Σύστημα δράσης (ΣΔ): φροντίζει η να ενεργοποιηθεί η μονάδα ισχύος, βάσει κάποιας αυστηρά προκαθορισμένης ρουτίνας (π.χ. χρονοκαθυστέρηση φωτισμού κλιμακοστασίου, προστασία με ηλεκτρονόμους αντιστρόφου χρόνου κλπ).

Μονάδα ισχύος (MI): ανοίγει ή κλείνει το κύκλωμα στο οποίο παρεμβάλλεται (π.χ. ηλεκτρομηχανικός διακόπτης, ημιαγωγικό στοιχείο κλπ).

Αρχές λειτουργίας ηλεκτρονόμων

- Οι ηλεκτρονόμοι ενεργοποιούνται με ρεύμα, τάση ή και τα δύο.
- Οι ποσότητες αυτές τους παρέχονται από μετασχηματιστές (ρεύματος ή τάσης) με ποικίλους συνδυασμούς στο τμήμα του συστήματος που πρόκειται να προστατεύσουν.
- Για κάθε τύπο και θέση βραχυκυκλώματος υπάρχει μία χαρακτηριστική διαφορά σε αυτές τις ποσότητες (ρεύμα ή τάση).
- Οι διαφορές αυτές μπορεί να υπάρχουν σε ένα ή περισσότερα από τα πιο κάτω μεγέθη:
 1. Μέτρο.
 2. Συχνότητα.
 3. Φασική γωνία.
 4. Διάρκεια.
 5. Ρυθμό μεταβολής.
 6. Διεύθυνση ή διαδοχή των μεταβολών.
 7. Αρμονικές ή κυματομορφή.

- Οι ηλεκτρονόμοι παίζουν το ρόλο ακούραστου επόπτη.
- Μετρούν συνέχεια τις ηλεκτρικές ποσότητες του συστήματος που προστατεύουν, έτοιμοι να αποσυνδέσουν το κύκλωμα μόλις μία ποσότητα πάρει ασυνήθιστη τιμή.



Παράδειγμα σύνδεσης ηλεκτρονόμου προστασίας.

Ορισμοί

- Ροπή ή δύναμη λειτουργίας (Operating Force or Torque): τείνει να κλείσει τις επαφές του ηλεκτρονόμου.
- Ροπή ή δύναμη αναχαίτισης (Restraining Force or Torque): ανθίσταται στη ροπή της δύναμης λειτουργίας, οπότε εμποδίζει το κλείσιμο των επαφών του ηλεκτρονόμου.
- Επίπεδο επιλογής (Pick-up level): κατώφλι μεγέθους (ρεύματος, τάσης κλπ) πάνω από το οποίο ο ηλεκτρονόμος κλείνει τις επαφές του.
- Επίπεδο επαναφοράς (Drop out or reset level): κατώφλι μεγέθους, κάτω από το οποίο ο ηλεκτρονόμος ανοίγει τις επαφές του και επιστρέφει στην κανονική κατάσταση.
- Χαρακτηριστική ηλεκτρονόμου (Characteristic): η γραφική παράσταση του επίπεδου επιλογής ή επαναφοράς.
- Σε μερικούς ηλεκτρονόμους αυτές οι δύο καμπύλες συμπίπτουν: τύπος μηδενικής ροπής.
- Επιβάρυνση (Burden): απαιτούμενη ισχύς για να κλείσουν οι επαφές του ηλεκτρονόμου.

Ορισμοί (συνέχεια)

- **Επέκταση (Reach):** Το μακρύτερο σημείο στο οποίο επεκτείνεται η ζώνη προστασίας του ηλεκτρονόμου.
- **Επιλεκτικότητα (Selectivity):** Η ικανότητα του ηλεκτρονόμου να διακρίνει ένα βραχυκύκλωμα στη ζώνη που εποπτεύει από ένα βραχυκύκλωμα εκτός αυτής.
- **Συνέπεια (Consistency):** Η ακρίβεια με την οποία ένας ηλεκτρονόμος επαναλαμβάνει τα ηλεκτρικά ή χρονικά χαρακτηριστικά του.
- **Σημαία (Flag or target):** Ένα σήμα, μηχανικό ή ηλεκτρικό, που εμφανίζεται μετά τη λειτουργία του ηλεκτρονόμου για να διαπιστώνεται η λειτουργία του.
- **Χρόνος λειτουργίας (Operating time):** Ο χρόνος που παρέρχεται από τη στιγμή που θα επιτευχθεί το επίπεδο επιλογής μέχρις ότου ο ηλεκτρονόμος κλείσει τις επαφές του.⁹

Χρόνος εκκαθάρισης

- Ο χρόνος εκκαθάρισης (clearing time) ενός βραχυκυκλώματος t_c ορίζεται ως ακολούθως:
- $t_c = t_p + t_o + t_b$, όπου:
- t_p είναι ο χρόνος σύγκρισης, δηλαδή ο χρόνος που παρέρχεται από την είσοδο του βραχυκυκλώματος μέχρι να επιτευχθεί το επίπεδο επιλογής του ηλεκτρονόμου.
- t_o είναι ο χρόνος λειτουργίας του ηλεκτρονόμου.
- t_b είναι ο χρόνος λειτουργίας του διακόπτη ισχύος.

Βοηθητικοί ηλεκτρονόμοι

- Ενίσχυσης (Reinforcing Relay): ενεργοποιείται από τις επαφές του κύριου ηλεκτρονόμου. Οι επαφές του είναι παράλληλες με αυτές του κυρίου ηλεκτρονόμου, ώστε να βοηθούν στη μεταφορά του ρεύματος.
- Επισφράγισης (Seal-in Relay): Είναι όμοιος με τον ενίσχυσης, αλλά είναι συνδεδεμένος ώστε να διατηρεί κλειστές τις επαφές του, μέχρις ότου ένας διακόπτης που ενεργοποιείται με τη λειτουργία του διακόπτη ισχύος διακόψει το κύκλωμα του.
- Υποστήριξης (Back-up Relay): συνήθως λειτουργεί μετά από κάποια καθυστέρηση για να ενεργοποιήσει το διακόπτη ισχύος, όταν ο κανονικός ηλεκτρονόμος δεν λειτουργήσει.

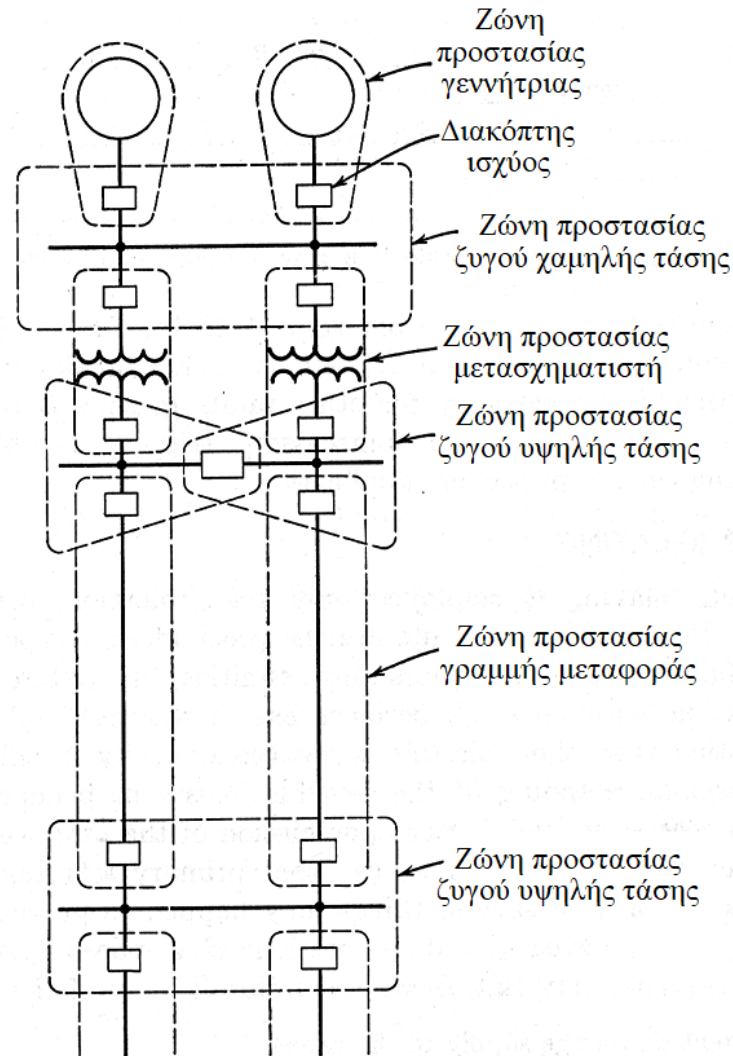
Απαιτήσεις ηλεκτρονόμων

1. Υψηλός βαθμός αξιοπιστίας.
2. Ικανοποιητική ευαισθησία, που ορίζεται ως το μικρότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης που λειτουργεί τον ηλεκτρονόμο, όταν το βραχυκύκλωμα συμβαίνει μέσα στη ζώνη προστασίας.
3. Επιλεκτικότητα.
4. Μεγάλη ταχύτητα λειτουργίας, ώστε να ελαχιστοποιεί τα καταστροφικά αποτελέσματα του βραχυκυκλώματος και να αποφεύγεται η αστάθεια των σύγχρονων γεννητριών.

Πρωτεύουσα προστασία

- Οι διακόπτες ισχύος τοποθετούνται εκεί που συνδέονται τα ηλεκτρικά στοιχεία μεταξύ τους.
- Μία ξεχωριστή ζώνη προστασίας δημιουργείται γύρω από κάθε στοιχείο (θα δούμε πως γίνεται αυτό παρακάτω).
- Για βραχυκυκλώματα στις περιοχές όπου δύο ζώνες προστασίας επικαλύπτονται θα ενεργοποιηθούν περισσότεροι διακόπτες από όσους χρειάζονται για την αποσύνδεση της περιοχής του βραχυκυκλώματος.

Παράδειγμα πρωτ. προστασίας

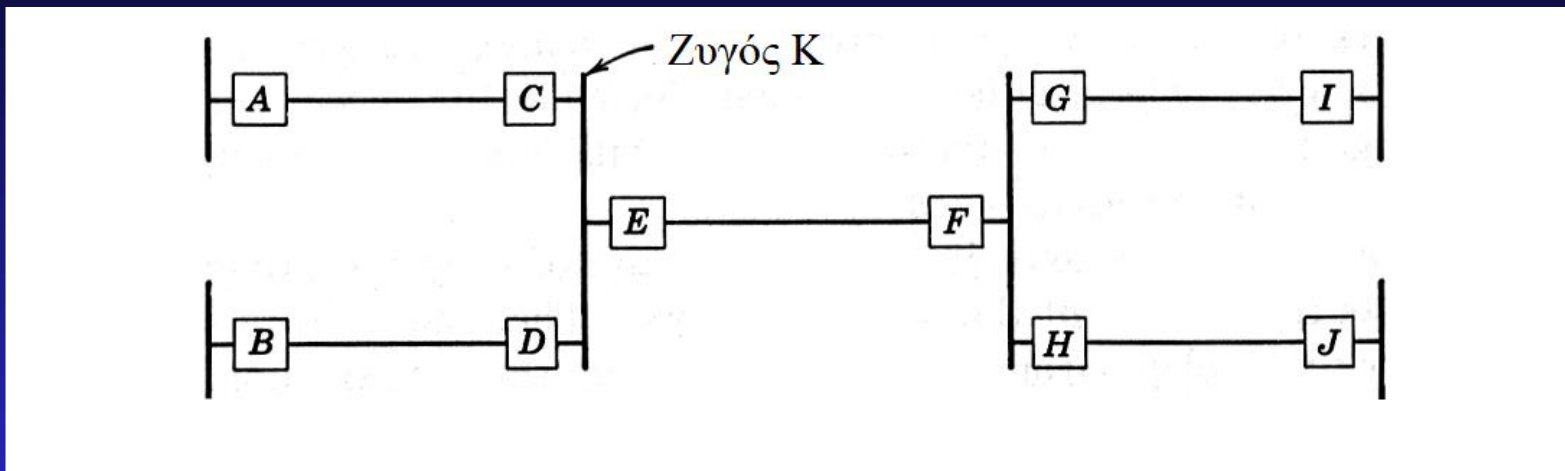


Μονοφασικό διάγραμμα ενός τμήματος ηλεκτρικού συστήματος

Προστασία υποστήριξης (ή δευτερεύουσα προστασία)

- Η προστασία υποστήριξης χρησιμοποιείται μόνο για σφάλματα από βραχυκυκλώματα που είναι και τα πιο συχνά.
- Λειτουργεί με κάποια καθυστέρηση, όταν δε λειτουργήσει η πρωτεύουσα προστασία.
- Ρυθμίζεται έτσι ώστε, να μην την επηρεάζουν οι αιτίες που εμποδίζουν την πρωτεύουσα προστασία να λειτουργήσει.
- Πρακτικά αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση της (όσο είναι δυνατόν) σε διαφορετικό σταθμό.
- Μία δεύτερη εργασία της προστασίας υποστήριξης είναι να παρέχει πρωτεύουσα προστασία, όταν γίνεται συντήρηση ή επιδιόρθωση στην πρωτεύουσα προστασία.

Παράδειγμα προστ. υποστήριξης



- Οι ηλεκτρονόμοι στα A, B, F παρέχουν προστασία υποστήριξης, αν συμβεί βραχυκύκλωμα ζυγού στον K.
- Οι ηλεκτρονόμοι στα A, B, I, J παρέχουν προστασία υποστήριξης για βραχυκύκλωμα στη γραμμή EF.
- Οι ηλεκτρονόμοι υποστήριξης και στις δύο περιπτώσεις είναι μακριά από τους ηλεκτρονόμους πρωτεύουσας προστασίας ...
- δεν επηρεάζονται από τα αίτια δυσλειτουργίας των ηλεκτρονόμων πρωτεύουσας προστασίας.

Επίτευξη επιλεκτικότητας: ηλεκτρονόμος χρόνου-υπερέντασης

- Χρησιμοποιεί την ιδιότητα ότι όταν έχουμε ένα βραχυκύκλωμα σε κάποιο τμήμα του δικτύου, ρεύμα ρέει σε αυτό απ' όλα τα γειτονικά τμήματα του δικτύου:
- **το βραχυκυκλωμένο τμήμα έχει το περισσότερο ρεύμα.**
- Ο χρόνος λειτουργίας του είναι αντίστροφα ανάλογος με το μέτρο του ρεύματος.
- Επειδή ο ηλεκτρονόμος που είναι πιο κοντά στο βραχυκύκλωμα έχει το περισσότερο ρεύμα, θα λειτουργήσει ταχύτερα και θ' ανοίξει το διακόπτη ισχύος για να καθαρίσει το βραχυκύκλωμα.
- Οι πιο απομακρυσμένοι ηλεκτρονόμοι δεν θα προλάβουν να κάνουν το ίδιο: επιλεκτικότητα!

Επίτευξη επιλεκτικότητας: ηλεκτρονόμος κατεύθυνσης

- Ένας ηλεκτρονόμος κατεύθυνσης κλείνει τις επαφές του όταν η ισχύς ρέει προς την αντίθετη κατεύθυνση από την κανονική.
- Για παράδειγμα, υπό κανονικές συνθήκες στις γεννήτριες η ισχύς ρέει προς το δίκτυο.
- Όταν έχουν βραχυκύκλωμα ή έχουν χάσει τη κινητήρια δύναμή τους, λειτουργούν σαν κινητήρες, απορροφώντας ισχύ από το δίκτυο.
- Ο ηλεκτρονόμος κατεύθυνσης εργάζεται με το γινόμενο της τάσης και του ρεύματος.

Επίτευξη επιλεκτικότητας: προστασία απόστασης

- Για μία γραμμή με σύνθετη αντίσταση Z_L , η ροή ρεύματος μέσω της γραμμής δημιουργεί μία τάση $V=I \cdot Z_L$.
- Ο ηλεκτρονόμος απόστασης συγκρίνει το V με το I και ενεργοποιείται όταν $V < I \cdot Z_L$.
- Στην πραγματικότητα ο ηλεκτρονόμος μετρά συνέχεια το $Z=V/I$.
- Επειδή το Z είναι ανάλογο με το μήκος της γραμμής, ο ηλεκτρονόμος μπορεί να ρυθμισθεί να ενεργοποιείται μόνο για βραχυκυκλώματα μέσα στην προστατευμένη γραμμή.

Επίτευξη επιλεκτικότητας: ενιαία προστασία

- Η πιο αποτελεσματική μέθοδος για προστασία εξοπλισμού είναι οι ηλεκτρονόμοι να συγκρίνουν το ρεύμα που εισέρχεται με το ρεύμα που εξέρχεται από αυτόν.
- Αυτά τα ρεύματα είναι πάντοτε ίσα όταν έχουμε κανονικές συνθήκες λειτουργίας ή βραχυκυκλώματα έξω από τη ζώνη προστασίας.
- Διαφέρουν μόνο για βραχυκυκλώματα μέσα στη ζώνη προστασίας.
- Η ζώνη προστασίας οριοθετείτε με ακρίβεια από τις θέσεις των μετασχηματιστών ρεύματος.
- Το όνομα προκύπτει από το γεγονός ότι αντιμετωπίζουμε τον προστατευόμενο εξοπλισμό ως ένα ενιαίο σύνολο (ως μία μονάδα).

Επίτευξη επιλεκτικότητας: προστασία ισορροπημένου ρεύματος

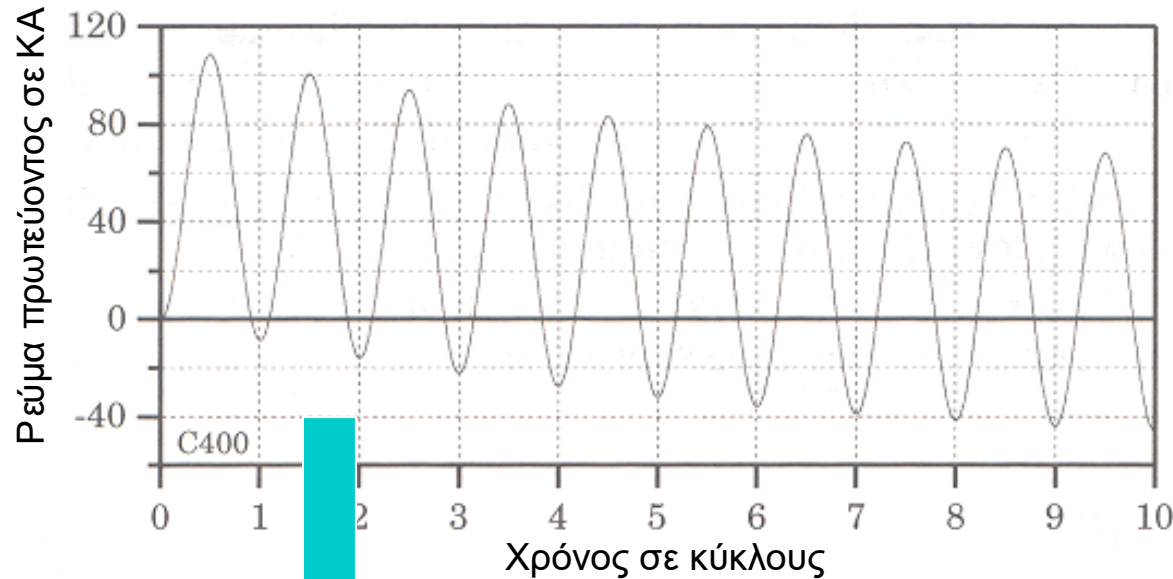
- Παράλληλα κυκλώματα της ίδιας σύνθετης αντίστασης κανονικά διαρρέονται από ίσα ρεύματα.
- Ένα βραχυκύκλωμα σε ένα από τα παράλληλα κυκλώματα αυξάνει το ρεύμα σε αυτό.
- Τότε ένας ηλεκτρονόμος που συγκρίνει τα δύο ρεύματα ενεργοποιείται.

Μετασχηματιστές ρεύματος (μ.ρ.) για μέτρηση

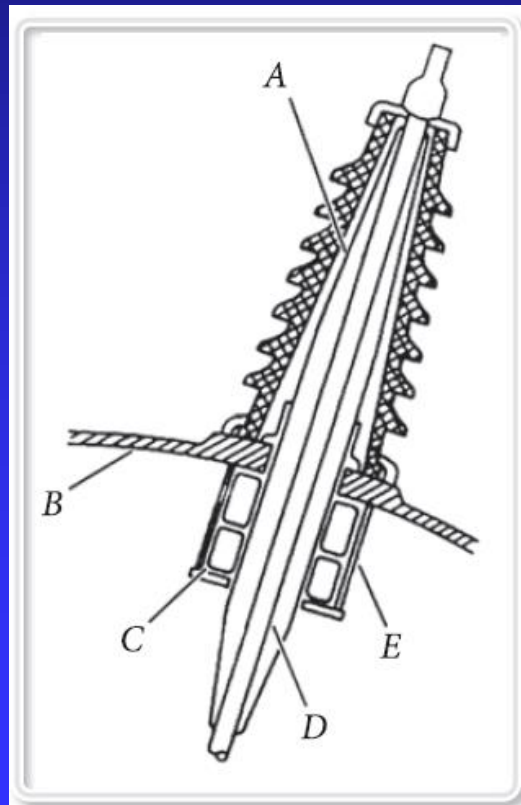
- Η ικανότητα ενός μ.ρ. να διατηρεί σταθερό το λόγο του εξαρτάται από τη σύνθετη αντίσταση του ηλεκτρονόμου και των συρμάτων σύνδεσής του.
- Όσο υψηλότερη είναι αυτή η αντίσταση, τόσο μεγαλύτερος πρέπει να είναι ο πυρήνας του μ.ρ., λόγω της υψηλής τάσης $I \cdot Z$ που αναπτύσσεται στα άκρα του φορτίου.
- Για να έχουμε μικρούς και φθηνούς μ.ρ., πρέπει τα σύρματα σύνδεσης να είναι κοντά και οι ηλεκτρονόμοι να απαιτούν μικρή επιβάρυνση (burden).
- Στη Βρετανία η επιβάρυνση εκφράζεται σε VA στο επίπεδο επιλογής και αποτελεί μία ένδειξη για την ευαισθησία του ηλεκτρονόμου.
- Στις ΗΠΑ η επιβάρυνση δίνεται συνήθως σε VA στο ονομαστικό ρεύμα του μετασχηματιστή ρεύματος.
- Συνηθίζεται οι ηλεκτρονόμοι να συνοδεύονται με καμπύλες, που μας δίνουν τη σύνθετη αντίσταση τους σε μία περιοχή τιμών του ρεύματος.

- Επειδή οι μ.ρ. έχουν πυρήνα σιδήρου μπορούν να οδηγηθούν στον κόρο από τα μεγάλα ρεύματα βραχυκύκλωσης: χάνεται η ακρίβεια μετασχηματισμού.
- Αυτό είναι ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα στη διαφορική προστασία ρεύματος.

Το ρεύμα στο πρωτεύων έχει μεγάλη συνιστώσα ΣΡ.
Το ρεύμα στο δευτερεύον είναι παραμορφωμένο λόγω κόρου.
Η απόκριση του ηλεκτρονόμου είναι απροσδιόριστη.



- Για ρεύματα πρωτεύοντος >500 A, χρησιμοποιούνται οι δακτυλιοειδής μ.ρ., που έχουν πολλά δευτερεύοντα τυλίγματα για τροφοδοσία και άλλων βοηθητικών ηλεκτρονόμων ή οργάνων μέτρησης.
- Το πρωτεύον τους είναι ο διερχόμενος από μέσα τους αγωγός ισχύος (δηλαδή μία μόνο σπείρα στο τύλιγμα πρωτεύοντος).



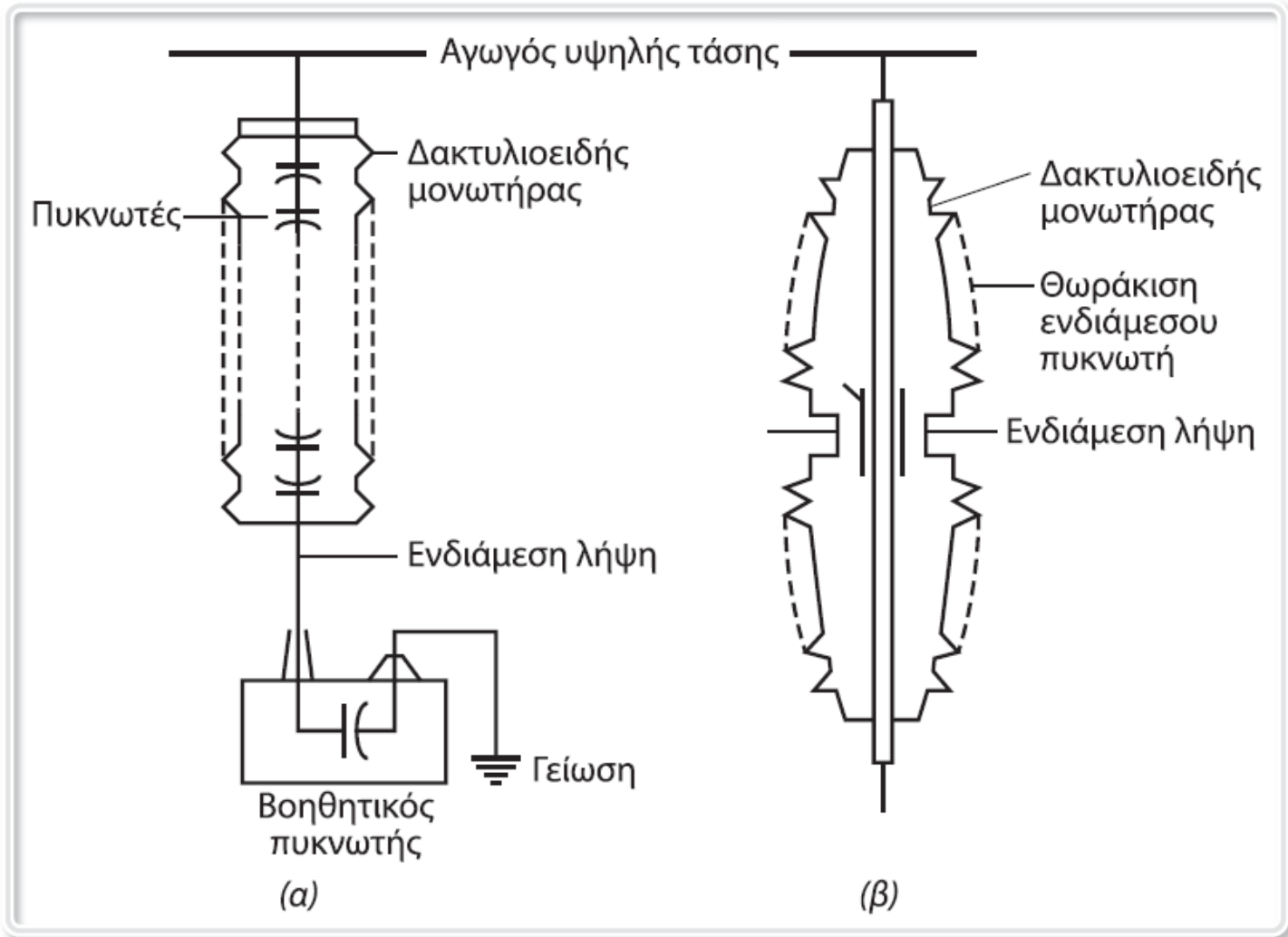
- A: χωρητικότητα που παρουσιάζει ο μ.ρ.
- B: πάνω μέρος δεξαμενής μ/σ.
- C: πυρήνες και τυλίγματα μ.ρ.
- D: αγωγός, πρωτεύων (μίας περιέλιξης) μ.ρ.
- E: συνδέσεις και υποστηρίγματα μ.ρ.

Τομή δακτυλιοειδή (bushing) μ.ρ. ενσωματωμένου σε μονωτήρα μετασχηματιστή

- Ένα ανοικτό κύκλωμα δημιουργεί υπερβολικά μεγάλη τάση δευτερεύοντος, που συνήθως διασπά τη μόνωση και καταστρέφει τους μ.ρ.
- Είναι απαραίτητο να συνοδεύονται από κατάλληλα συστήματα ελέγχου και διακόπτες, ώστε να αποφεύγεται ένας τέτοιος κίνδυνος.

Μετασχηματιστές τάσης (μ.τ.) για μέτρηση

- Οι μαγνητικοί μ.τ. συνήθως έχουν μία ονομαστική ισχύ σε VA που είναι αρκετή για να διατηρούν το λόγο τους με ηλεκτρονόμους συνηθισμένης επιβάρυνσης.
- Η ακρίβεια τους ελαττώνεται στις χαμηλές τάσεις, αλλά είναι αποδεκτή όταν δεν ξεπερνά το 1% της κανονικής ακρίβειας.
- Επειδή είναι σχεδιασμένοι για ένα μικρό σταθερό φορτίο, δεν μας απασχολεί το πρόβλημα της ψύξης τους, αλλά της ακρίβειας στο μετασχηματισμό.



Συσκευές μέτρησης τάσης με χωρητικό διαιρέτη τάσης.

Δύο άλλοι τύποι μ.τ. μέτρησης που χρησιμοποιούνται είναι:
 α) η συσκευή συζευγμένων πυκνωτών (coupling capacitor device) και
 β) η δακτυλιοειδής συσκευή (bushing device).