

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΗΕ

Ενότητα 7 Προστασία ζώνης ζυγού



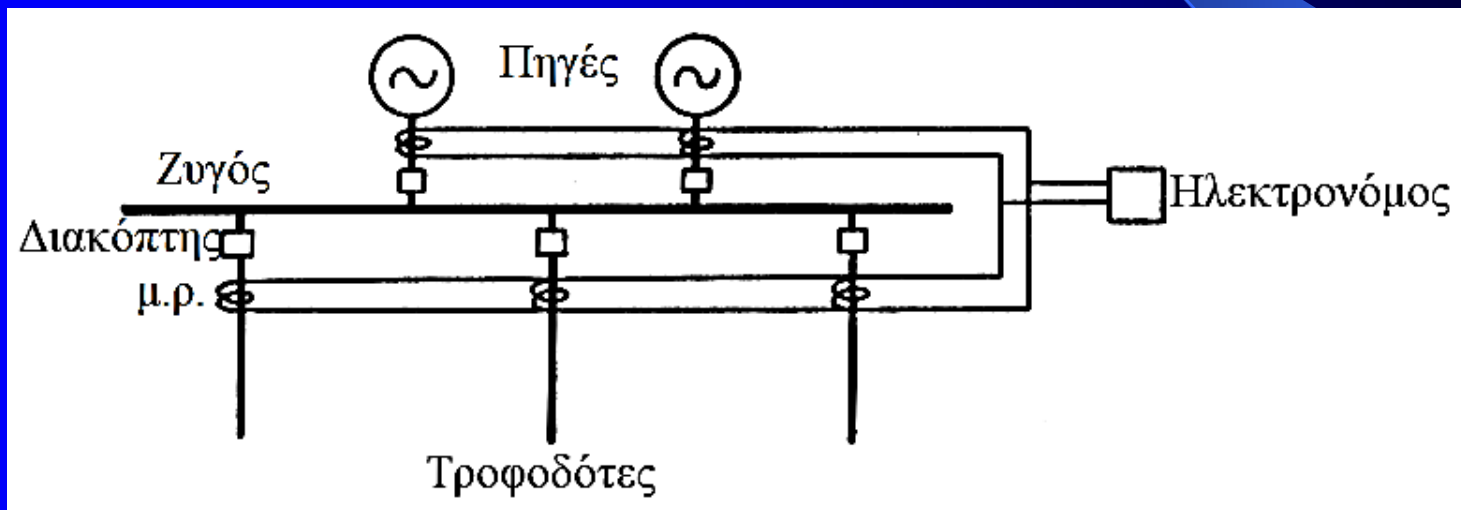
Γενικά

- Είναι η απομόνωση του ζυγού από όλες τις γραμμές τροφοδοσίας/τροφοδότησης σε περίπτωση σφάλματος σε αυτόν.
- 50% των σφαλμάτων οφείλονται σε αποτυχία της μόνωσης των συσκευών που περιλαμβάνουν για τη λειτουργία τους ή αστραπές.
- 30% των σφαλμάτων οφείλονται σε ανθρώπινα λάθη.
- Η προστασία ζώνης ζυγού πρέπει να είναι ιδιαίτερα **αξιόπιστη**: μη ανίχνευση εσωτερικών βραχυκυκλωμάτων προκαλεί κινδύνους για το προσωπικό και τεράστιες καταστροφές.
- Αντίστροφα, άσκοπη λειτουργία προκαλεί μεγάλη διαταραχή.
- Επομένως, η προστασία πρέπει να είναι ιδιαίτερα **ευσταθής**, δηλαδή να μη λειτουργεί για εξωτερικά βραχυκυκλώματα.
- Σφάλμα ζυγού συμβαίνει πολύ σπάνια (1 κάθε 15 χρόνια).
- Για αυτό οι Γάλλοι συνήθως αποφεύγουν την προστασία ζώνης και χρησιμοποιούν μόνο προστασία υποστήριξης για ζυγούς.

Ανίχνευση σφάλματος ζυγού

- Ένας ζυγός δεν έχει βραχυκυκλώματα με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.
- Η ανίχνευση τους θα γίνονταν εύκολα με μία διαφορεική προστασία ρεύματος, αν διαθέταμε μετασχηματιστής ρεύματος (μ.ρ.) με ικανοποιητικά χαρακτηριστικά.
- Το πρόβλημα προέρχεται από το διαφορετικό κορεσμό που υφίστανται οι μ.ρ. της διαφορετικής προστασίας, λόγω :
 1. μεγάλης διαφοράς στα ρεύματα που μπορεί να δέχονται, αναλόγως της θέσης ενός εξωτερικού βραχυκυκλώματος,
 2. διαφορετικής παραμένουσας μαγνήτισης, εξαιτίας διαφορετικής φόρτισης κατά την προηγούμενη λειτουργία τους.

- Όλοι οι τύποι προστασίας ζυγών χρησιμοποιούν το νόμο του ρεύματος του Kirchhoff :
- Το διανυσματικό άθροισμα όλων των ρευμάτων που εισέρχονται και εξέρχονται από ένα ζυγό πρέπει να είναι μηδέν, εκτός αν υπάρχει κάποιο βραχυκύκλωμα στο ζυγό.



Διαφορική προστασία ρεύματος ζυγού.
(ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιεί όλους τους διακόπτες)

Διαφορική προστασία ρεύματος

- Σε εξωτερικό βραχυκύκλωμα, ο μ.ρ. στη βραχυκυκλωμένη γραμμή δέχεται το άθροισμα όλων των ρευμάτων των υπόλοιπων μ.ρ.: οδηγείται στον κόρο.
- Ακόμα και με αρκετά μεγάλους μ.ρ, ώστε να αποφεύγεται ο κόρος λόγω μεγάλου ρεύματος βραχυκύκλωσης, οι συνιστώσες ΣΡ του βραχυκυκλώματος οδηγούν στον κόρο. Ακολουθεί η απόδειξη.
- Υπολογισμός της μαγνητικής ροής συναρτήσει της ac και dc συνιστώσας του ρεύματος βραχυκύκλωσης (βλ. §8.2) καταλήγει στο:

$$\frac{\varphi_{dc}}{\varphi_{ac}} = \frac{R_r}{Z_r} \frac{\omega L}{R} = \frac{R_r}{Z_r} \frac{X}{R}, \text{ όπου}$$

φ η μαγνητική ροή στον πυρήνα σιδήρου του μ.ρ.

R, X αναφέρονται στο κύκλωμα του πρωτεύοντος του μ.ρ. (ουσιαστικά η γραμμή)

R_r, Z_r κύκλωμα δευτερεύοντος μ.ρ. (κύκλωμα ηλεκτρονόμου).

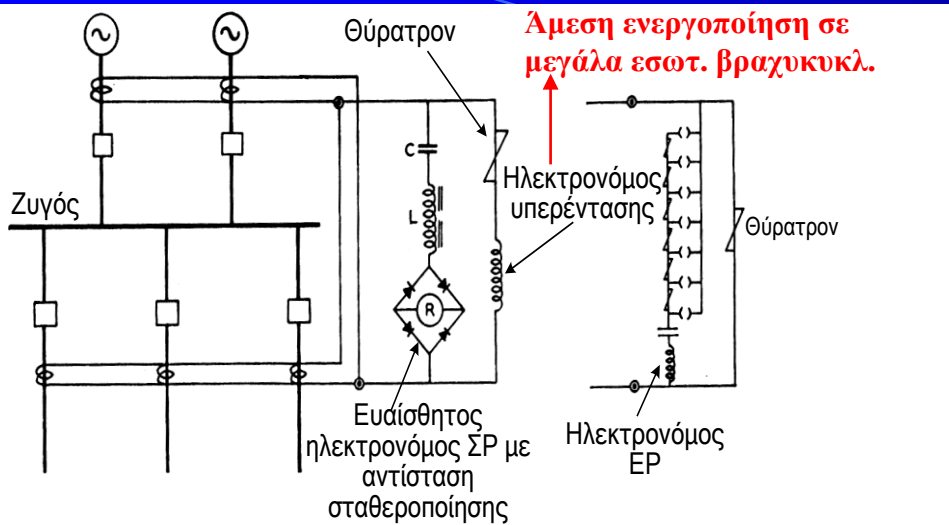
Ο λόγος X/R είναι της τάξης του 20, οπότε αρχικά φ_{dc} μεγάλο = κόρος!

- Επίσης, η διαφορετική μαγνήτιση των μ.ρ. επηρεάζει την έξοδο τους με αποτέλεσμα το άθροισμα των ρευμάτων στα δευτερεύοντα να μην είναι μηδέν, όπως θα έπρεπε.
- Το πρόβλημα κόρου λόγω αρχικά μεγάλης dc συνιστώσας αντιμετωπίζονταν παλαιότερα με χρήση χρονικής καθυστέρησης.
- Σήμερα που τα συστήματα ισχύος έχουν τεράστια ρεύματα βραχυκύκλωσης, απαιτούνται ηλεκτρονόμοι μεγάλης ταχύτητας.
- Το πρόβλημα περιορίστηκε με πολωμένους διαφορικούς ηλεκτρονόμους (βλ. §8.3, παρόμοια αρχή λειτουργίας με αναλογικούς-διαφορικούς ηλεκτρονόμους).
- Λύθηκε οριστικά με διαφορική προστασία τάσης και μ.ρ. χωρίς πυρήνα σιδήρου.

Διαφορική προστάσια τάσης

- Αν ο ηλεκτρονόμος εργαζόταν με βάση την τάση αντί για το ρεύμα, ο κόρος του μ.ρ. στη βραχυκυκλωμένη γραμμή δεν θα δημιουργούσε κανένα πρόβλημα.
- Ο λόγος είναι ότι είτε έρθει κάποιος μ.ρ. στον κόρο σε εξωτερικό βραχυκύκλωμα είτε όχι η τάση στον ηλεκτρονόμο είναι μικρή.
- Στην περίπτωση του κόρου η τάση στον ηλεκτρονόμο είναι IR .
- R είναι το άθροισμα των αντιστάσεων των συρμάτων σύνδεσης του ηλεκτρονόμο με το μ.ρ. και της περιέλιξης του μ.ρ.
- Αυτή όμως η τάση είναι σχετικά μικρή, επειδή το R είναι μικρό.
- Αν το εξωτερικού βραχυκύκλωμα δεν οδηγήσει κανένα μ.ρ. στον κόρο, τότε η τάση του ηλεκτρονόμου πλησιάζει το μηδέν: συνδέεται στα άκρα τάσεων με αντίθετη πολικότητα.
- Αντίθετα, για εσωτερικά βραχυκυκλώματα, το άθροισμα όλων των ρευμάτων των μ.ρ. περνάει μέσα από τον ηλεκτρονόμο.
- Το γινόμενο αυτού του μεγάλου ρεύματος με την αντίσταση του ηλεκτρονόμου δημιουργεί μία τάση ικανή να τον ενεργοποιήσει.

Μεγάλης σύνθετης αντίστασης κυκλώματα ηλεκτρονόμων



(α)

α) Διαφορική προστασία με γραμμικό έλεγχο στο επίπεδο επιλογής.

(β)

β) Διαφορική προστασία με μη γραμμικό έλεγχο στο επίπεδο επιλογής.

(α) Η μεγάλη σύνθετη αντίσταση (~3KΩ) οφείλεται στην αντίσταση της ανορθωτικής γέφυρας.

«Σταθεροποίησης»: περιορίζει την επίδραση του κορεσμού των μ.ρ.

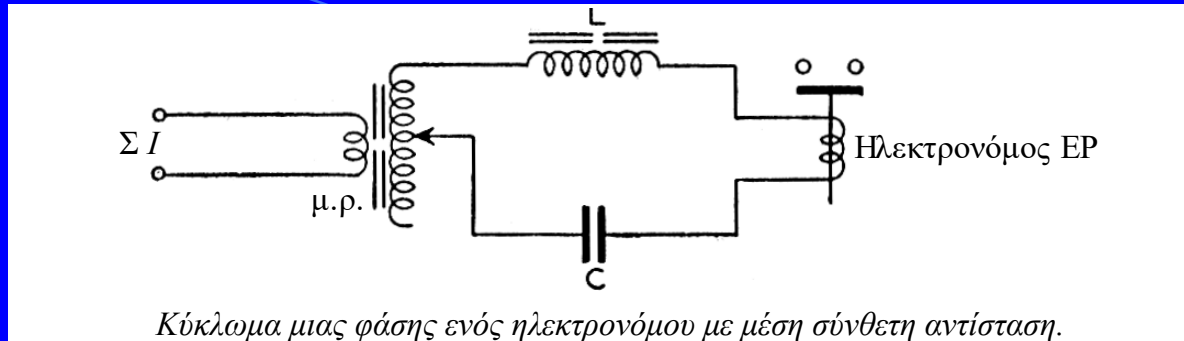
Το κύκλωμα συντονισμού αφήνει μόνο τη θεμελιώδη συνιστώσα να φθάσει στον ηλεκτρονόμο ΣΡ, αλλά εισάγει μικρή χρονική καθυστέρηση.

(β) Χρησιμοποιείται ένας ηλεκτρονόμος ΕΡ σε σειρά με ένα πυκνωτή-φίλτρο των συνιστωσών ΣΡ της τάσης.

Το επίπεδο επιλογής ρυθμίζεται με τη σύνδεση σε σειρά μη γραμμικών αντιστάσεων με βήματα των 25 V (25 έως 175 V). (σταθεροποίησης)

- Στο (α) και (β) χρησιμοποιείται μη γραμμική αντίσταση (θύρατρον) παράλληλα για να περιορίζει τη μέγιστη τάση κατά τη διάρκεια εσωτερικών βραχυκυκλωμάτων.
- Τα μειονεκτήματα αυτού του ηλεκτρονόμου οφείλονται στις μη γραμμικές αντιστάσεις που περιλαμβάνουν για τον περιορισμό της τάσης σε εσωτερικά βραχυκυκλώματα (α+β) ή τη ρύθμιση του επιπέδου επιλογής (β). Συγκεκριμένα :
- Είναι ογκώδεις, ακριβές και μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία, οπότε είναι δύσκολο να επιτύχουμε ακριβές επίπεδο επιλογής.

Μέση σύνθετης αντίστασης κύκλωμα ηλεκτρονόμων



Το άθροισμα των ρευμάτων από τους μ.ρ. ζυγού τροφοδοτεί ένα ηλεκτρονόμο υπέρτάσης EP μέσω ενός βοηθητικού (μικρού) μ.ρ., που οδηγείται στο κόρο και περιορίζει το μέγιστο ρεύμα.

Ένα κύκλωμα συντονισμού αφαιρεί συνιστώσες μεταβατικών αρμονικών και ΣΡ.

Μία γραμμική αντίσταση σταθεροποίησης σε σειρά με το βοηθητικό μ.ρ. επιτρέπει τη ρύθμιση της τάσης στον ηλεκτρονόμο και επιτρέπει ακριβέστερο καθορισμό του επίπεδου επιλογής.

- Αυτό το κύκλωμα είναι απλούστερο και οι συσκευές μικρότερες.
- Το κύκλωμα συντονισμού προσθέτει μία καθυστέρηση ενός κύκλου περίπου, αλλά η γενική απόδοση είναι καλύτερη από τον προηγούμενο τύπο.
- Η απόδοση ήλεκτρονόμου περιλαμβάνει: ευαισθησία, ταχύτητα και ευστάθεια.
- Ως ευστάθεια ορίζεται « ο λόγος του μέγιστου εξωτερικού ρεύματος βραχυκυκλώματος κάτω από το οποίο δεν λειτουργεί ο ηλεκτρονόμος προς το ελάχιστο εσωτερικό ρεύμα βραχυκύκλωσης για το οποίο αυτός λειτουργεί » .

Ρύθμιση του διαφορικού ηλεκτρονόμου τάσης

Το επίπεδο επιλογής τάσης συνήθως επιλέγεται λίγο μεγαλύτερο από τη μέγιστη τάση του ηλεκτρονόμου για εξωτερικό βραχυκύκλωμα.

Αυτή η τάση για ιδανικούς μετασχηματιστές θα ήταν μηδέν, αλλά αν υποθέσουμε ότι ο μ.ρ. της βραχυκυκλωμένης γραμμής οδηγείται στο κόρο, τότε έχουμε μία τάση:

$$V_r = 1 \cdot I_{\max} (R_{\text{sec}} + R_{\text{leads}})$$

όπου: R_{sec} είναι η ωμική αντίσταση του δευτερεύοντος του μ.ρ.

R_{leads} είναι η ωμική αντίσταση των συρμάτων σύνδεσης.

V_r , I_{\max} αναφέρονται στις ενεργές τιμές.

- Το επίπεδο επιλογής τάσης είναι το γινόμενο του επιπέδου επιλογής ρεύματος επί την αντίσταση σταθεροποίησης.
- Ο ηλεκτρονόμος με μέση σύνθετη αντίσταση δέχεται τιμές ρεύματος από 0.1 έως 0.4 A. Έτσι, για ένα επίπεδο επιλογής τάσης 50 V, αν χρησιμοποιήσουμε ένα ρεύμα 0.4 A, η αντίσταση σταθεροποίησης θα είναι 125 Ω μείον την αντίσταση του ηλεκτρονόμου.
- Για τους ηλεκτρονόμους με μεγάλη σύνθετη αντίσταση, επειδή το επίπεδο επιλογής ρεύματος είναι 8 mA, η αντίστοιχη αντίσταση είναι $50/0.008=6250 \Omega$.

Μετασχηματιστές ρεύματος χωρίς πυρήνα

Με μ.ρ χωρίς πυρήνα σιδήρου (γραμμικούς συζεύκτες):

- οι μεταβατικές συνθήκες περιορίζονται,
- δεν υπάρχει ρεύμα μαγνήτισης,
- δεν υπάρχει το πρόβλημα του μαγνητικού κόρου,
- δεν υπάρχει το πρόβλημα της αντίστασης των αγωγών σύνδεσης,
- οι μ.ρ. είναι πολύ αξιόπιστοι και δεν καταστρέφονται αν ανοικτοκυκλωθεί το δευτερεύον τους.

Δηλαδή απαλλασσόμαστε από τα προβλήματα που έχουμε όταν χρησιμοποιούνται συνηθισμένοι μ.ρ. ΟΜΩΣ:

- Ένας γραμμικός συζεύκτης έχει μία περιορισμένη έξοδο σε VA, της τάξης των 3 VA στα 1000 A πρωτεύον ρεύμα.
- Αυτή η τάξη VA είναι αρκετή για τους περισσότερους στατικούς ηλεκτρονόμους, που χρησιμοποιούν ημιαγωγούς και λειτουργούν συνήθως στα 5 mW ή λιγότερο.
- Υπάρχει μέλλον λοιπόν !

Απόκριση μ.ρ. χωρίς πυρήνα

Η αφαίρεση του πυρήνα σιδήρου δημιουργεί μία καθαρά διαφορική συσκευή με στιγμιαία τιμή της τάσης εξόδου:

$$V_o = \pm M \frac{di_p}{dt}$$

όπου i_p είναι το στιγμιαίο ρεύμα πρωτεύοντος, που δίνεται από την εξίσωση:

$$i_p = I_m (\sin(\omega t - \varphi) + Ke^{-\lambda t}) \quad [\text{κατά το βραχυκύκλωμα: } I_{ss} + I_{tr}]$$

όπου λ είναι η χρονική σταθερά του συστήματος ισχύος όπως φαίνεται από το μ.ρ

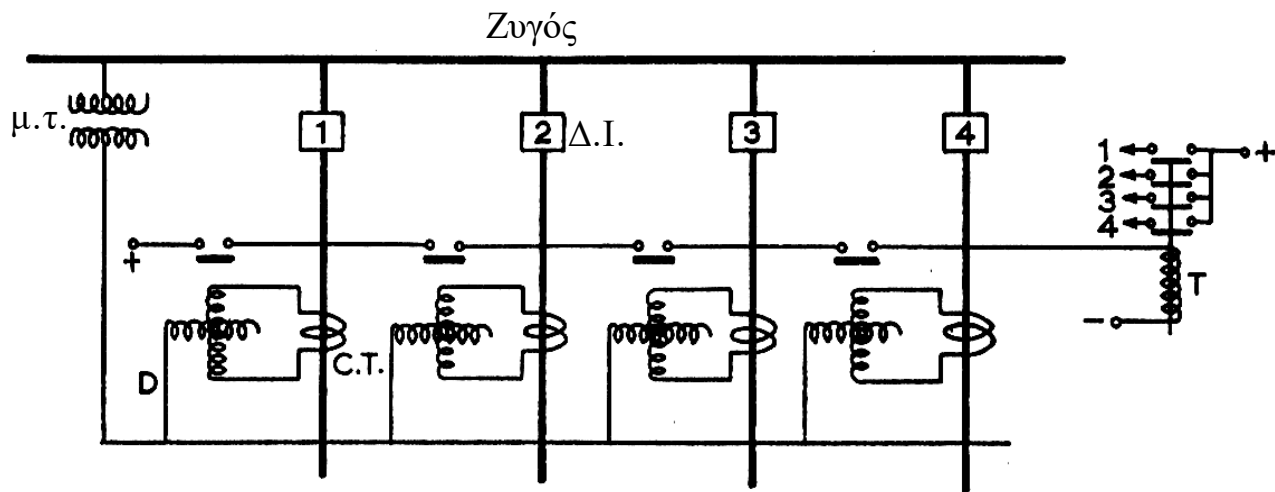
Με αντικατάσταση παίρνουμε:

$$V_o = \pm MI_m (\omega \cos(\omega t - \varphi) - \lambda Ke^{-\lambda t})$$

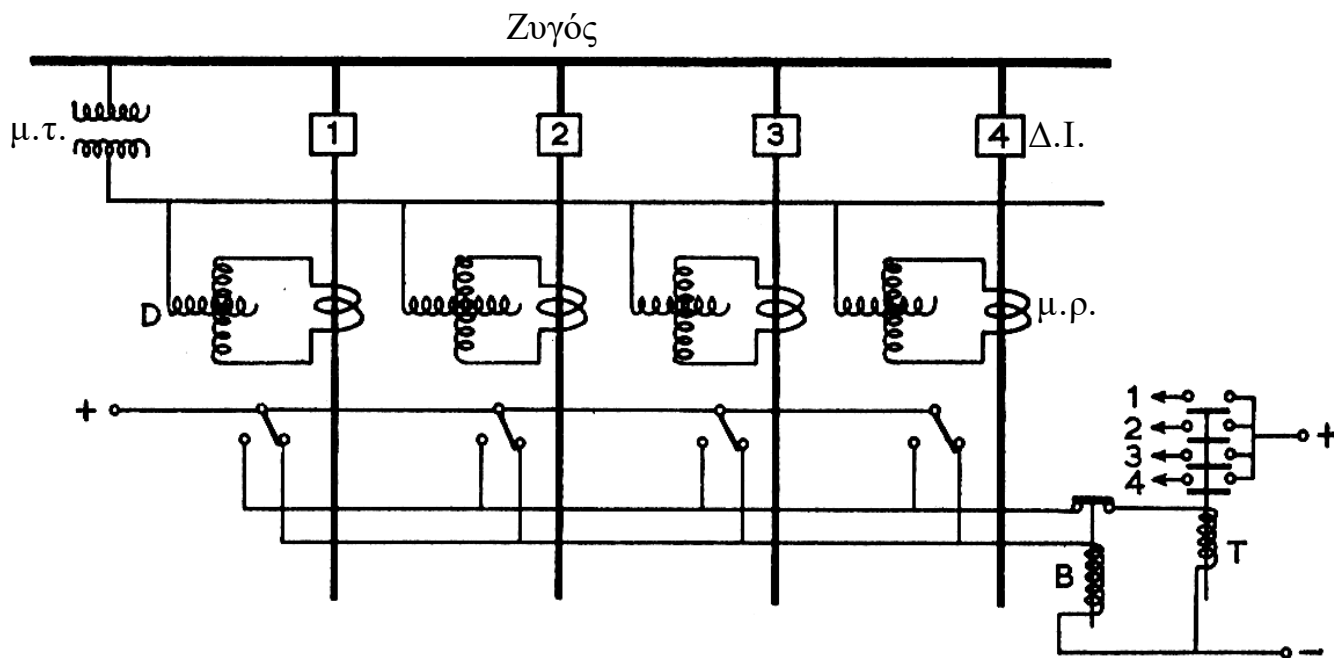
Το λ είναι της τάξης των 100 ms, δηλαδή 1/10 s. Έτσι παρατηρούμε ότι η συνιστώσα ΣΡ που φθάνει στον ηλεκτρονόμο έχει αποσβεσθεί κατά το 90% χωρίς τη χρησιμοποίηση κανενός φίλτρου.

Σύγκριση κατεύθυνσης

- Κατά τη διάρκεια ενός βραχυκυκλώματος ζυγού όλα τα κυκλώματα που συνδέονται στο ζυγό στέλνουν ισχύ σε αυτόν.
- Κατά τη διάρκεια ενός εξωτερικού βραχυκυκλώματος η ισχύς θα ρέει προς το ζυγό από όλα τα κυκλώματα εκτός από το βραχυκυκλωμένο, στον οποίο θα στέλνεται ισχύς.
- Ένα αρχικό σχήμα προστασίας χρησιμοποιεί αυτή την ιδιότητα και έχει ηλεκτρονόμους κατεύθυνσης σε όλα τα κυκλώματα του ζυγού.
- Λόγω των προβλημάτων που δημιουργούν οι πολλές επαφές στη σειρά (σήμα ενεργοποίησης) αυτό το σχήμα αντικαταστάθηκε με άλλο που χρησιμοποιεί ηλεκτρονόμους με διπλές επαφές (σήμα φραγμού).



(α)



(β)

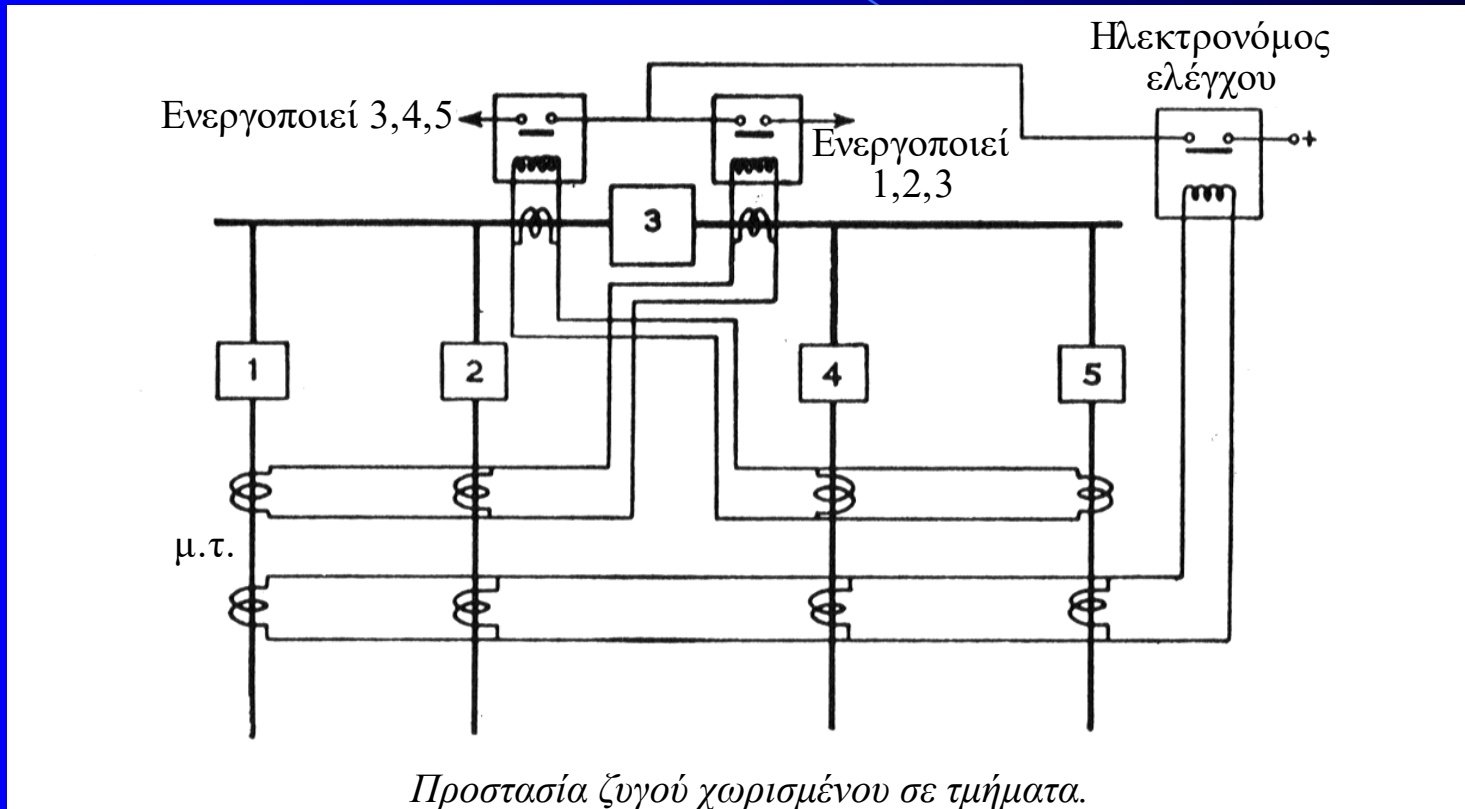
Προστασία κατεύθυνσης.

α) Σε σειρά σύνδεση επαφών.

β) Σχήμα φραγμού.

Προστασία ζυγών χωρισμένων σε τμήματα

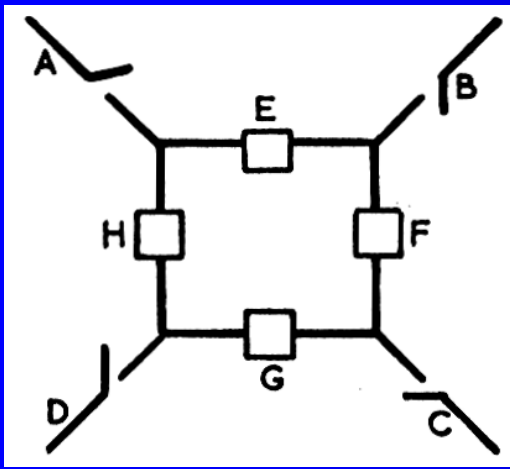
Κάθε τμήμα του ζυγού προστατεύεται με τον ίδιο τρόπο που προστατεύεται ένας απλός ζυγός, αλλά ένας ζυγός χωρισμένος σε τμήματα επιτρέπει την αποσύνδεση τμημάτων.



Προστασία ζυγού χωρισμένου σε τμήματα.

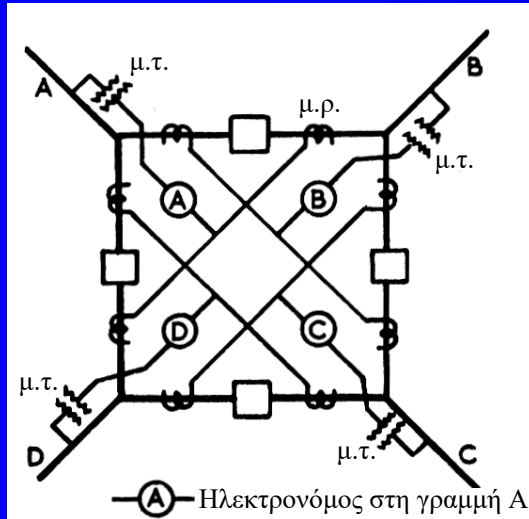
Για μεγαλύτερη αξιοπιστία διαθέτει κύκλωμα ελέγχου που ανιχνεύει ποιο τμήμα τροφοδοτεί το σφάλμα (ηλεκτρονόμος ελέγχου + ηλεκτρονόμος 1,2,3 ή 3,4,5). Βραχυκύκλωμα στη μεσαία ζώνη (κοντά στο διακόπτη 3) ενεργοποιεί όλους τους Δ.Ι.

- Στο ζυγό δακτυλίου τεσσάρων γραμμών ένα βραχυκύκλωμα ζυγού δεν είναι πιο σοβαρό από ένα βραχυκύκλωμα γραμμής, γιατί τα γειτονικά ήμισυ κάθε ζεύγους των τμημάτων ζυγού μπορούν να προστατεύονται σαν μέρος της γραμμής.



Πλεονεκτήματα:

- 1) χρησιμοποιεί τον ελάχιστο αριθμό διακοπών για ζυγό χωρισμένο σε τέσσερα τμήματα,
- 2) κάθε διακόπτης μπορεί να συντηρηθεί χωρίς διακοπή της τροφοδοσίας οποιουδήποτε φορτίου και χωρίς να χρειάζεται εφεδρικός διακόπτης.



Είναι σημαντικό να έχουμε αυτόματο επανακλείσιμο των διακοπών και ένα διακόπτη απόζευξης σε κάθε γραμμή. (Γιατί ;)

Μόνιμο βραχυκύκλωμα γραμμής (βήματα):

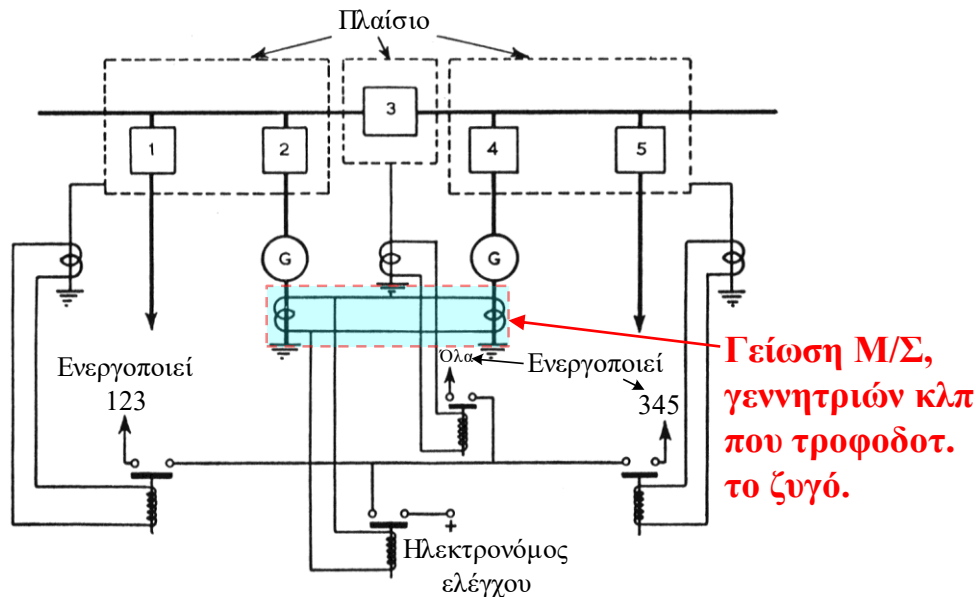
- 1) τελικά άνοιγμα 2 ΔI ,
- 2) απόζευξη γραμμής,
- 3) κλείσιμο 2 ΔI , αποκατάσταση δακτυλίου.

Μόνιμο βραχυκύκλωμα ζυγού: άνοιγμα 2 ΔI .

Θέσεις των μ.ρ και μ.τ στο ζυγό δακτυλίου.

Προστασία διαρροής περιβλήματος

- Εφαρμόζεται σε ζυγούς κλειστού τύπου (π.χ. υποσταθμοί με SF₆).
- Εκεί όλος ο εξοπλισμός βρίσκεται μέσα σε ένα μεταλλικό περίβλημα μονωμένο από τη γη.
- Μονωμένες είναι και οι φάσεις μεταξύ τους με τον εξοπλισμό τους.
- Έτσι είναι πιθανά μόνο βραχυκυκλώματα γης.
- Σύνολα συσκευών/τμήματα έχουν μία μόνο σύνδεση με τη γη: το πρωτεύον ενός μ.ρ. που το δευτερεύον του τροφοδοτεί ένα στιγμιαίο ηλεκτρονόμο (ανιχνεύει βραχυκύκλωμα γης οπουδήποτε στο ζυγό).

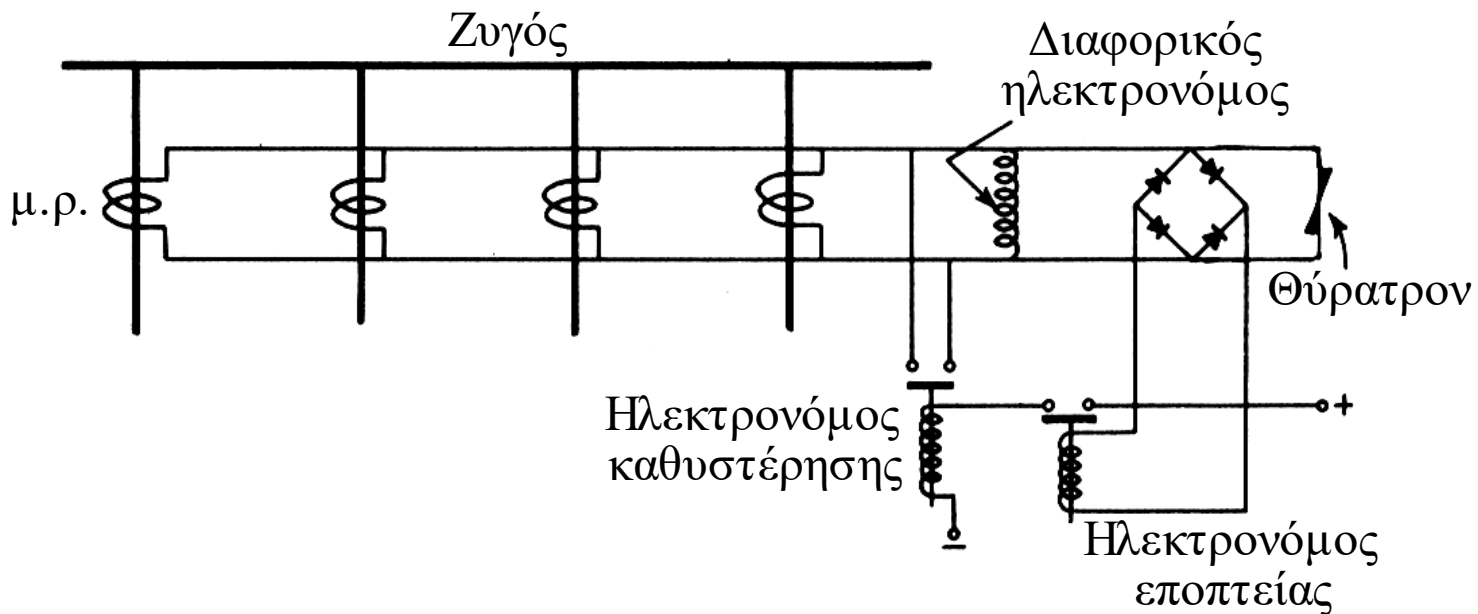


Προστασία διαρροής πλαισίου.

Ένα σύστημα ελέγχου χρησιμοποιεί αυτούς τους στιγμιαίους ηλεκτρονόμους για να αποσυνδέσει το σωστό τμήμα.

Επίβλεψη και έλεγχος ενεργοποίησης

- Σε μεγάλους σταθμούς τα ανοικτοκυκλώματα των μ.ρ. ανακαλύπτονται από ένα ευαίσθητο ηλεκτρονόμο υπέρτάσης.
- Μέσω ενός ηλεκτρονόμου χρονικής καθυστέρησης αυτός ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιεί ένα σήμα κινδύνου και φράσσει τη λειτουργία της διαφορικής προστασίας.



Κύκλωμα επίβλεψης μ.ρ.

- Μεγαλύτερη αξιοπιστία προστασίας ζυγού: χρησιμοποιούνται δύο ηλεκτρονόμοι ενεργοποίησης με τις επαφές τους σε σειρά.
- Μεγαλύτερη ασφάλεια: διαφορετικά επίπεδα λειτουργίας.