



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Προστασία Σ.Η.Ε

Ενότητα 8: Προστασία ζώνης ζυγού

Νικόλαος Βοβός  
Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

- Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:
- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο
  
- Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



# Άδειες χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης creative commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκεινται σε άλλου τύπου άδειες χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



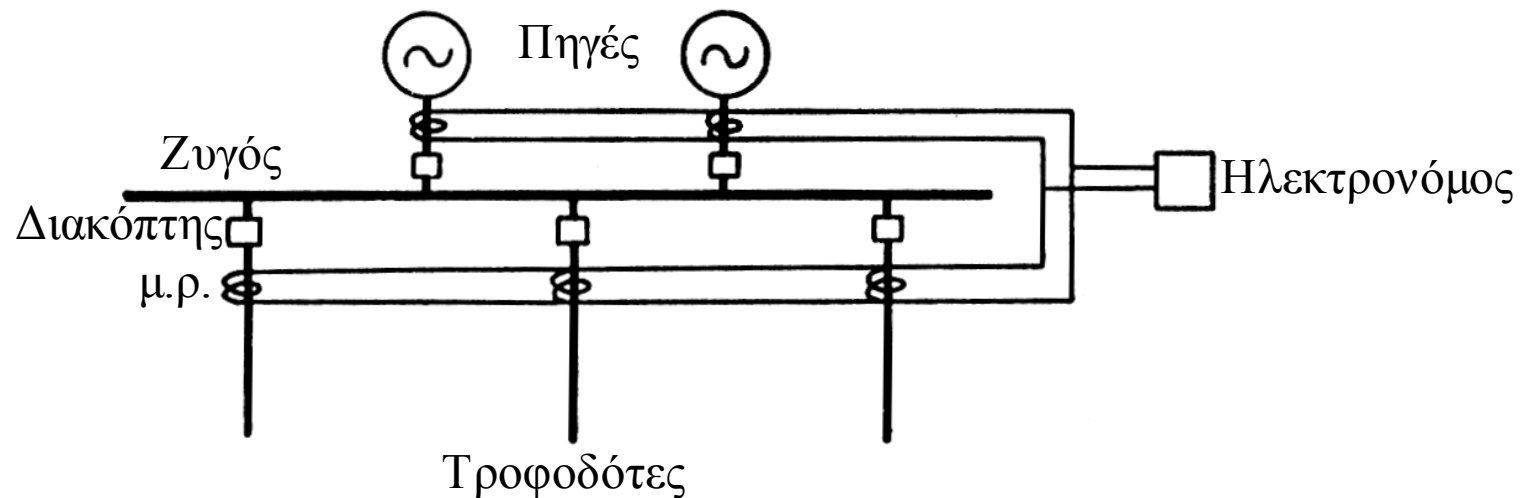
# Γενικές αρχές(1)

- Ένας ζυγός δεν έχει βραχυκυκλώματα με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και όλο το πρόβλημα επιλύεται αυτόματα με μία διαφορική προστασία ρεύματος, αν διαθέταμε μετασχηματιστές ρεύματος με ικανοποιητικά χαρακτηριστικά.
- Το πρόβλημα προέρχεται από το διαφορετικό κορεσμό που υφίστανται οι μετασχηματιστές ρεύματος της διαφορικής προστασίας, λόγω των διαφορετικών ρευμάτων που δέχονται από ένα εξωτερικό βραχυκύκλωμα και της διαφορετικής παραμένουσας μαγνήτισης των μετασχηματιστές ρεύματος, λόγω της διαφορετικής φόρτισης κατά την προηγούμενη λειτουργία τους.
- Η προστασία ζώνης ζυγού πρέπει να είναι ευσταθής , δηλαδή να μην λειτουργεί για βραχυκυκλώματα έξω από τη ζώνη προστασίας, λόγω της μεγάλης διαταραχής που θα προκαλούσε μία τέτοια όχι αναγκαία λειτουργία.



# Γενικές αρχές(2)

- 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(1)

- Κατά τη διάρκεια ενός εξωτερικού βραχυκυκλώματος ο μετασχηματιστής ρεύματος στη βραχυκυκλωμένη γραμμή δέχεται το άθροισμα όλων των ρευμάτων των υπόλοιπων μετασχηματιστών ρεύματος γύρω από το ζυγό και οδηγείται στον κόρο.
- Επίσης η διαφορική μαγνήτιση των μετασχηματιστών ρεύματος επηρεάζει την έξοδο τους με αποτέλεσμα το άθροισμα των ρευμάτων στα δευτερεύοντα να μην είναι μηδέν, όπως θα έπρεπε.
- Ακόμα και με μετασχηματιστές ρεύματος μεγάλους αρκετά ώστε να αποφεύγεται ο κόρος με το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης, οι συνιστώσες  $\Sigma P$  οδηγούν στον κόρο.

$$\frac{\varphi_{dc}}{\varphi_{ac}} = \frac{R_r}{Z_r} \frac{\omega L}{\Psi} = \frac{R_r}{Z_r} \frac{X}{R}$$

- Όπου τα  $R$ ,  $X$  αναφέρονται στο κύκλωμα του πρωτεύοντος και ο λόγος  $\frac{X}{R}$  είναι της τάξης του 20.



# Διαφορική προστασία ρεύματος(2)

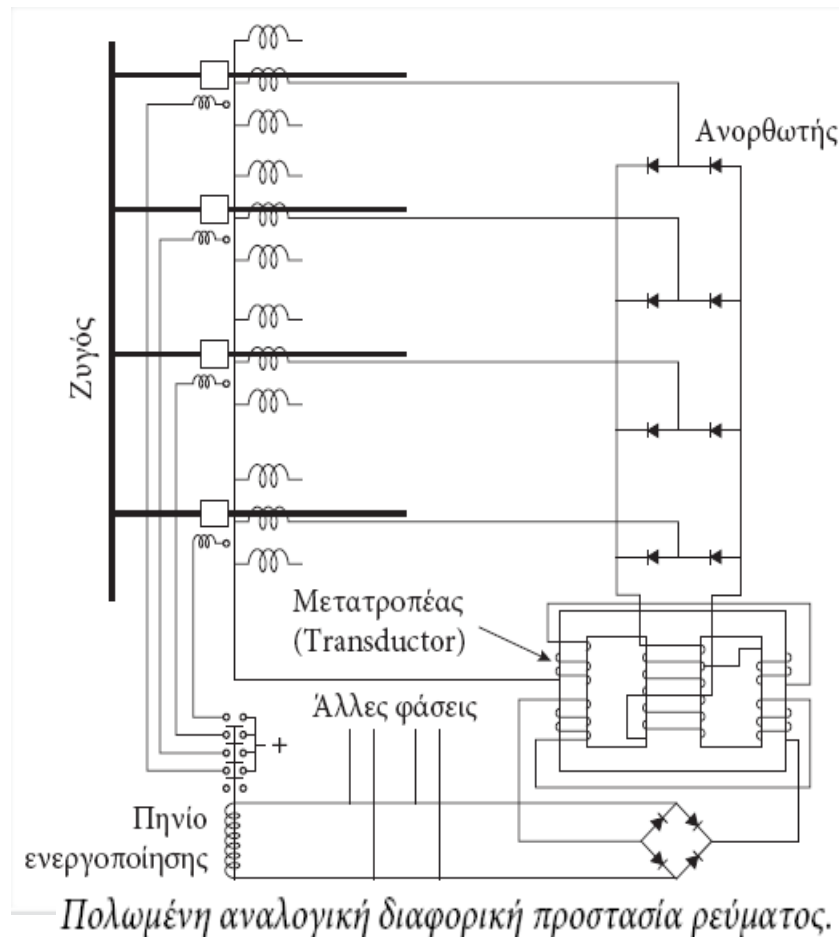
- Στο παρελθόν έγινε προσπάθεια να λυθεί το πρόβλημα αυτό με χρονική καθυστέρηση, αλλά σήμερα που τα συστήματα ισχύος έγιναν τόσο μεγάλα και τα ρεύματα βραχυκύκλωσης αυξήθηκαν υπερβολικά, απαιτούνται ηλεκτρονόμοι μεγάλης ταχύτητας.
- Γύρω στο 1930 έγινε προσπάθεια για την επίλυση του προβλήματος με τη χρησιμοποίηση πολωμένου διαφορικού ηλεκτρονόμου, που βελτίωσε αρκετά την κατάσταση, αλλά αργότερα περιγράφονται τα συστήματα προστασίας που έλυσαν οριστικά το πρόβλημα.





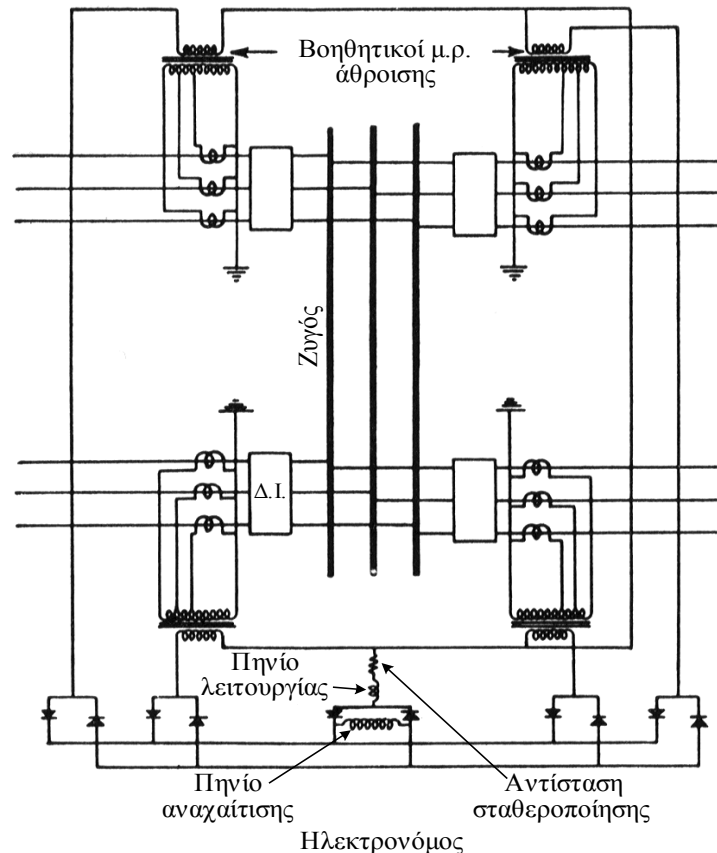
# Πολωμένη αναλογική διαφορική προστασία(1)

- Κατ' αυτήν ο διαφορικός ηλεκτρονόμος ρεύματος τροφοδοτείται και με μία ροπή αναχαίτισης, που παράγεται από το αριθμητικό άθροισμα όλων των ρευμάτων, αφού προηγουμένως ανορθωθούν.



# Πολωμένη αναλογική διαφορική προστασία(2)

- Μία προσπάθεια για την απλοποίηση του κυκλώματος έγινε με τη χρησιμοποίηση μετασχηματιστή ρεύματος άθροισης, έτσι ώστε να χρησιμοποιείται ένας μόνο ηλεκτρονόμος για όλες τις φάσεις και τα βραχυκυκλώματα γης.



*Χρησιμοποίηση μ.ρ. άθροισης για την απλοποίηση της προστασίας ζυγού.*



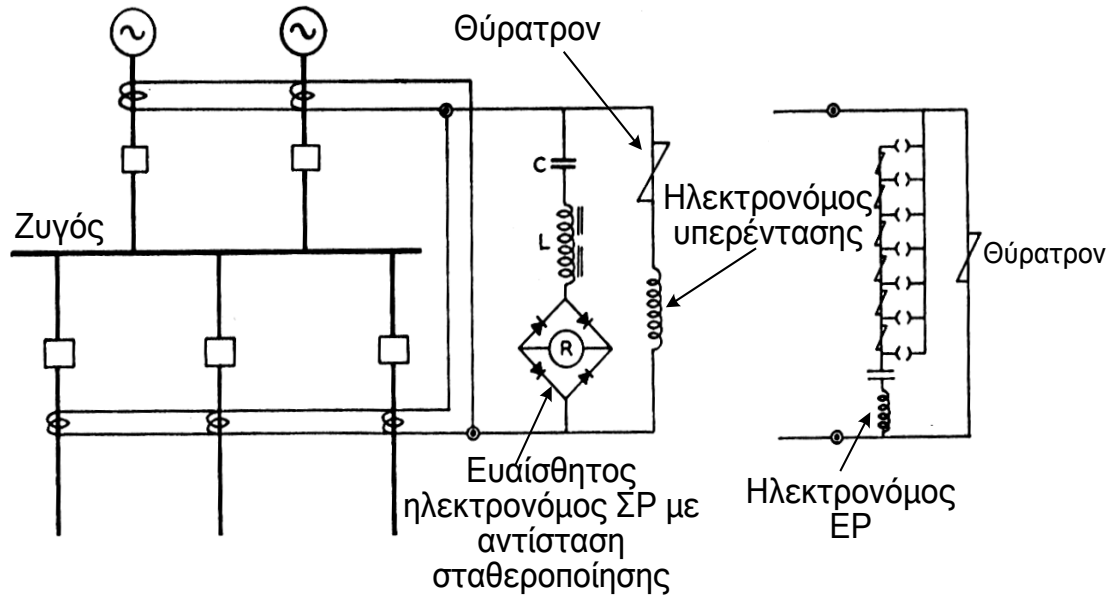
# Διαφορική προστασία τάσης(1)

- Αν ο ηλεκτρονόμος εργάζεται με βάση την τάση αντί για το ρεύμα, ο κόρος του μετασχηματιστή ρεύματος στη βραχυκυκλωμένη γραμμή δεν θα δημιουργούσε κανένα πρόβλημα.
- Ο λόγος είναι ότι στην περίπτωση του κόρου η τάση που εμφανίζεται στο ηλεκτρονόμο είναι  $IR$ , όπου  $R$  είναι η ωμική αντίσταση των συρμάτων που συνδέουν τον ηλεκτρονόμο και το μετασχηματιστή ρεύματος μαζί με την ωμική αντίσταση της περιέλιξης του μετασχηματιστή ρεύματος. Αυτή όμως η τάση είναι σχετικά μικρή αν το  $R$  είναι μικρό.
- Αν ο μετασχηματιστή ρεύματος δεν οδηγηθεί στον κόρο, τότε η τάση του ηλεκτρονόμου πλησιάζει το μηδέν, γιατί συνδέεται στα άκρα τάσεων με αντίθετη πολικότητα.
- Για βραχυκυκλώματα στο ζυγό, το άθροισμα όλων των ρευμάτων των μετασχηματιστή ρεύματος περνάει μέσα από τον ηλεκτρονόμο και το γινόμενο αυτού του ρεύματος με την αντίσταση του ηλεκτρονόμου δημιουργεί μία πολύ μεγάλη τάση, που ενεργοποιεί τον ηλεκτρονόμο.



# Διαφορική προστασία τάσης(2)

- (α) Μεγάλης και μέσης σύνθετης αντίστασης σχήματα ηλεκτρονόμων.



(α)

(β)

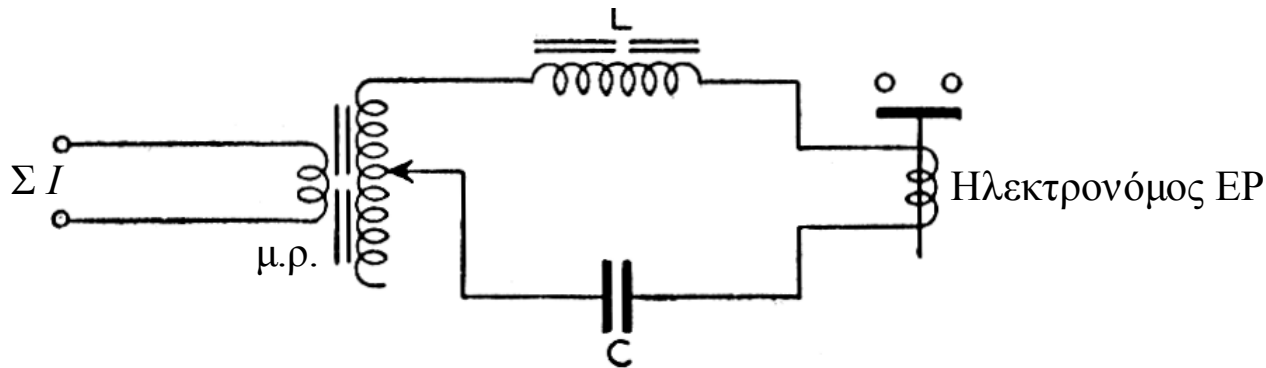
α) Διαφορική προστασία με γραμμικό έλεγχο στο επίπεδο επιλογής.

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

- Δύο μειονεκτήματα του διαφορικού ηλεκτρονόμου μεγάλης σύνθετης αντίστασης είναι: (α) οι μη γραμμικές αντιστάσεις είναι ογκώδεις και ακριβές. (β) Η αντίσταση τους μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία και είναι δύσκολο να επιτύχουμε ακριβές επίπεδο επιλογής.



# Διαφορική προστασία τάσης(3)



*Κύκλωμα μιας φάσης ενός ηλεκτρονόμου με μέση σύνθετη αντίσταση.*

- Μια γραμμική αντίσταση σταθεροποίησης σε σειρά με το βοηθητικό μετασχηματιστή ρεύματος επιτρέπει την ρύθμιση της τάσης στο ηλεκτρονόμο και επιτρέπει ακριβέστερο καθορισμό του επιπέδου επιλογής.
- Αυτό το σχήμα είναι απλούστερο, οι συσκευές μικρότερες και μία τριφασική μονάδα τοποθετείται σε μία απλή θήκη.
- Το κύκλωμα συντονισμού προσθέτει μία καθυστέρηση ενός κύκλου περίπου, αλλά η γενική απόδοση είναι καλύτερη από τον προηγούμενο τύπο. Η απόδοση περιλαμβάνει την ευαισθησία, την ταχύτητα και την ευστάθεια του ηλεκτρονόμου.
- 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.**



# Διαφορική προστασία τάσης(4)

- **(β) Ρύθμιση του διαφορικού ηλεκτρονόμου τάσης.**
- Το επίπεδο επιλογής τάσης συνήθως εκλέγεται λίγο μεγαλύτερο από τη μέγιστη τάση του ηλεκτρονόμου για ένα εξωτερικό βραχυκύκλωμα.
- Αυτή η τάση για ιδανικούς μετασχηματιστές θα ήταν μηδέν, αλλά αν υποθέσουμε ότι ο μετασχηματιστής ρεύματος της βραχυκυκλωμένης γραμμής οδηγείται στο κόρο, τότε έχουμε μία τάση:

$$V_r = 1.1 I_{max}(R_{sec} + R_{leads}), \text{ όπου:}$$

- $R_{sec}$ : η ωμική αντίσταση του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή ρεύματος.
- $R_{leads}$ : η ωμική αντίσταση των συρμάτων σύνδεσης.
- $V_r, I_{max}$ : αναφέρονται σε ενεργές τιμές.



# Διαφορική προστασία τάσης(5)

- Το επίπεδο επιλογής τάσης είναι το γινόμενο του επίπεδου 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 σιδήρου(1)

- Με μετασχηματιστές ρεύματος 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 και οι μετασχηματιστές ρεύματος είναι πολύ αξιόπιστοι και δεν καταστρέφονται αν ανοικτοκυκλωθεί το δευτερεύον τους, δηλαδή απαλλασσόμεθα από τα προβλήματα που έχουμε όταν χρησιμοποιούνται συνηθισμένοι μετασχηματιστές ρεύματος.





# Μετασχηματιστές ρεύματος χωρίς πυρήνα σιδήρου(2)

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

$$V_o = \pm M \frac{di_p}{dt}, \text{ όπου:}$$

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

$i_p = I_m (\sin(\omega t - \varphi) + K e^{-\lambda t})$ , με  $\lambda$  να είναι η χρονική σταθερά του συστήματος ισχύος όπως φαίνεται από τον μετασχηματιστή ρεύματος.

- Με αντικατάσταση παίρνουμε:

$$V_o = \pm M I_m (\omega \cos(\omega t - \varphi) - \lambda K e^{-\lambda t})$$

Το  $\lambda$  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.



# Μετασχηματιστές ρεύματος χωρίς πυρήνα σιδήρου(3)

- 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 και είναι φανερό ότι στο μέλλον θα γίνει ακόμη μεγαλύτερη χρησιμοποίηση των γραμμικών συζευκτών.

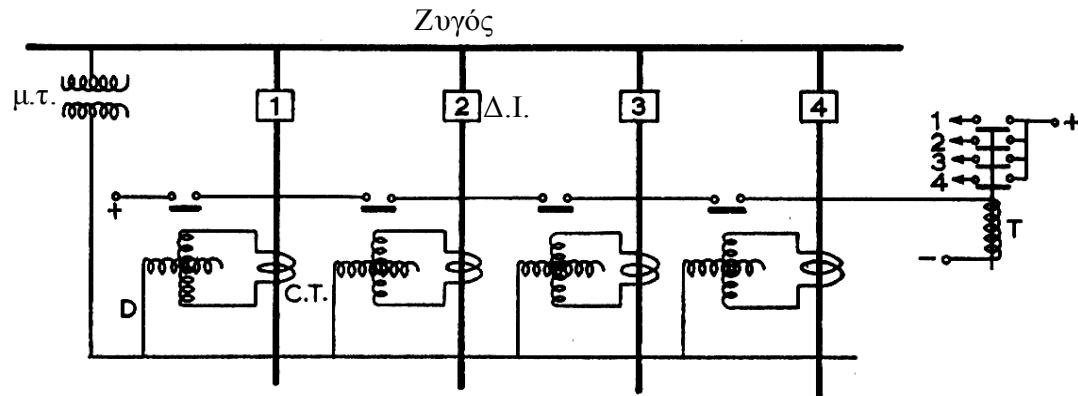


# Σύγκριση κατεύθυνσης(1)

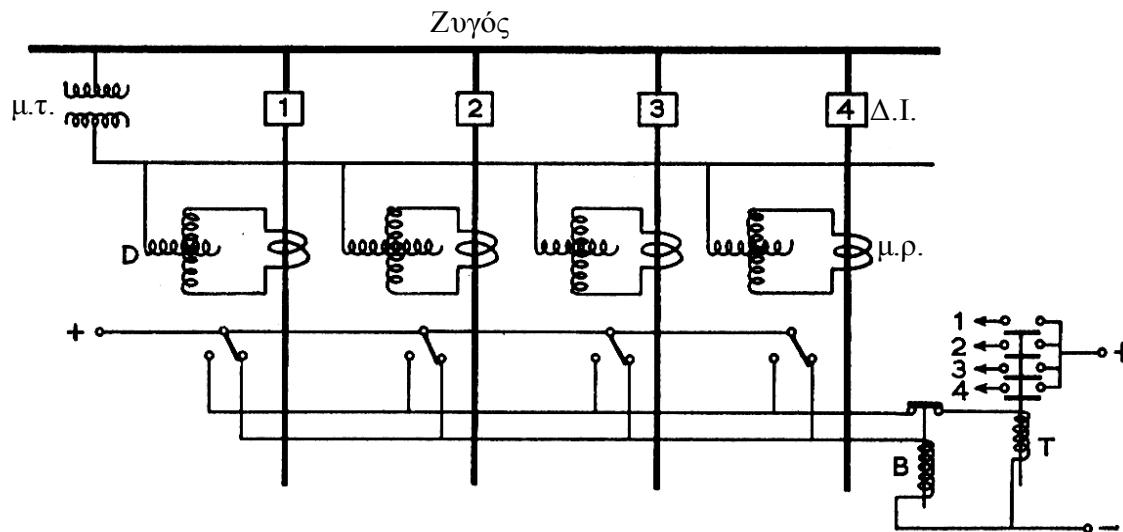
- Κατά τη διάρκεια ενός βραχυκυκλώματος ζυγού όλα τα κυκλώματα που συνδέονται στο ζυγό στέλνουν ισχύ σε αυτόν.
- Κατά τη διάρκεια ενός εξωτερικού βραχυκυκλώματος η ισχύς θα ρέει προς το ζυγό από όλα τα κυκλώματα εκτός από το βραχυκυκλωμένο, στον οποίο θα στέλνεται ισχύς.
- Ένα αρχικό σχήμα προστασίας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



# Σύγκριση κατεύθυνσης(2)



(α)



(β)

Προστασία κατεύθυνσης.

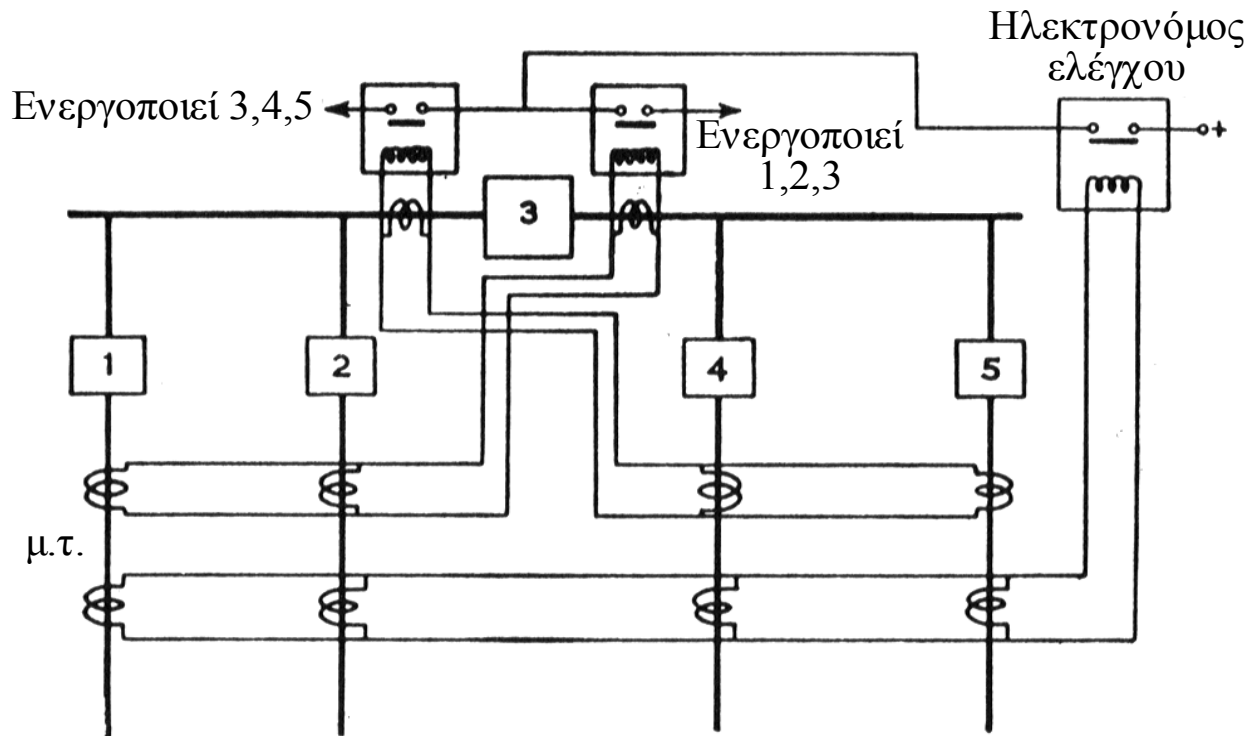
α) Σε σειρά σύνδεση επαφών.

β) Σχήμα φραγμού.



# Προστασία ζυγών χωρισμένων σε τμήματα(1)

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

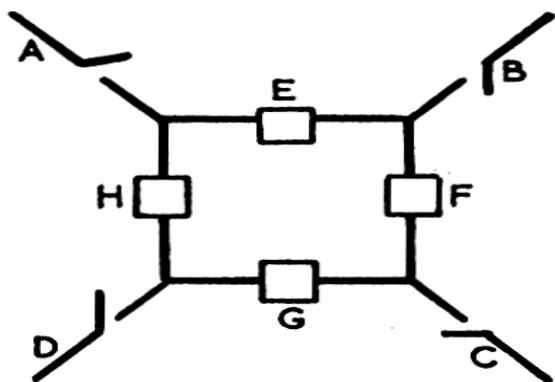


Προστασία ζυγού χωρισμένου σε τμήματα.

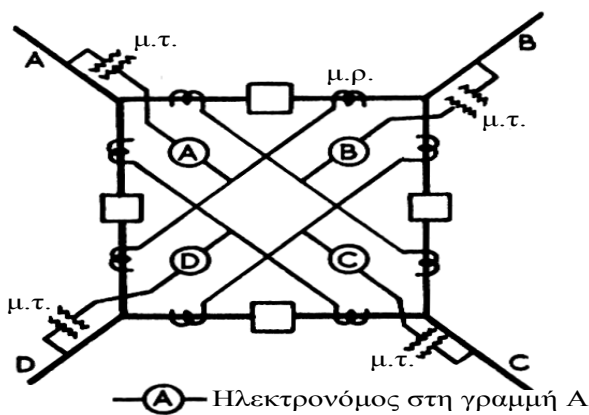


# Προστασία ζυγών χωρισμένων σε τμήματα(2)

- 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.



Το πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι χρησιμοποιεί τον ελάχιστο αριθμό διακοπών για ζυγό χωρισμένο σε τέσσερα τμήματα.

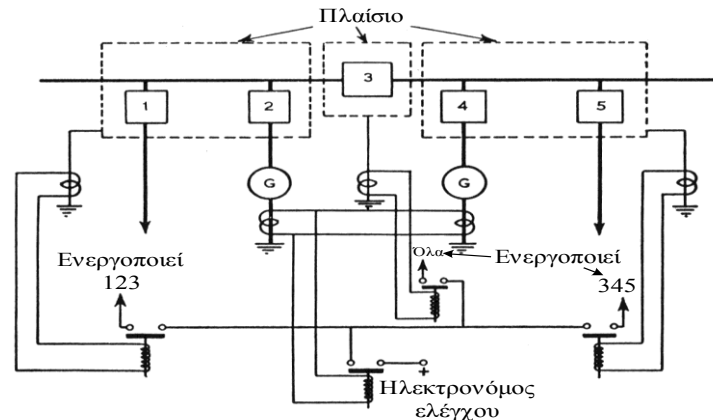


Αλλά είναι σημαντικό να έχουμε αυτόματο επανακλείσιμο των διακοπών και ένα διακόπτη απόζευξης σε κάθε γραμμή που να λειτουργεί με κινητήρα, για να έχουμε το μεγαλύτερο κέρδος από ένα τέτοιο σχήμα.

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

# Προστασία διαρροής περιβλήματος

- Αυτή εφαρμόζεται σε ζυγούς που όλος ο εξοπλισμός τους βρίσκεται μέσα σε ένα μεταλλικό περίβλημα, που είναι μονωμένο από τη γη, πράγμα που εξαλείφει τα φασικά βραχυκυκλώματα και έχουμε μόνο βραχυκυκλώματα γης.
- Υπάρχει μόνο μία σύνδεση με τη γη που είναι το πρωτεύον ενός μετασχηματιστή ρεύματος που το δευτερεύον του τροφοδοτεί ένα στιγμιαίο ηλεκτρονόμο υπέρντασης, όταν συμβεί ένα βραχυκύκλωμα γης οπουδήποτε στο ζυγό.



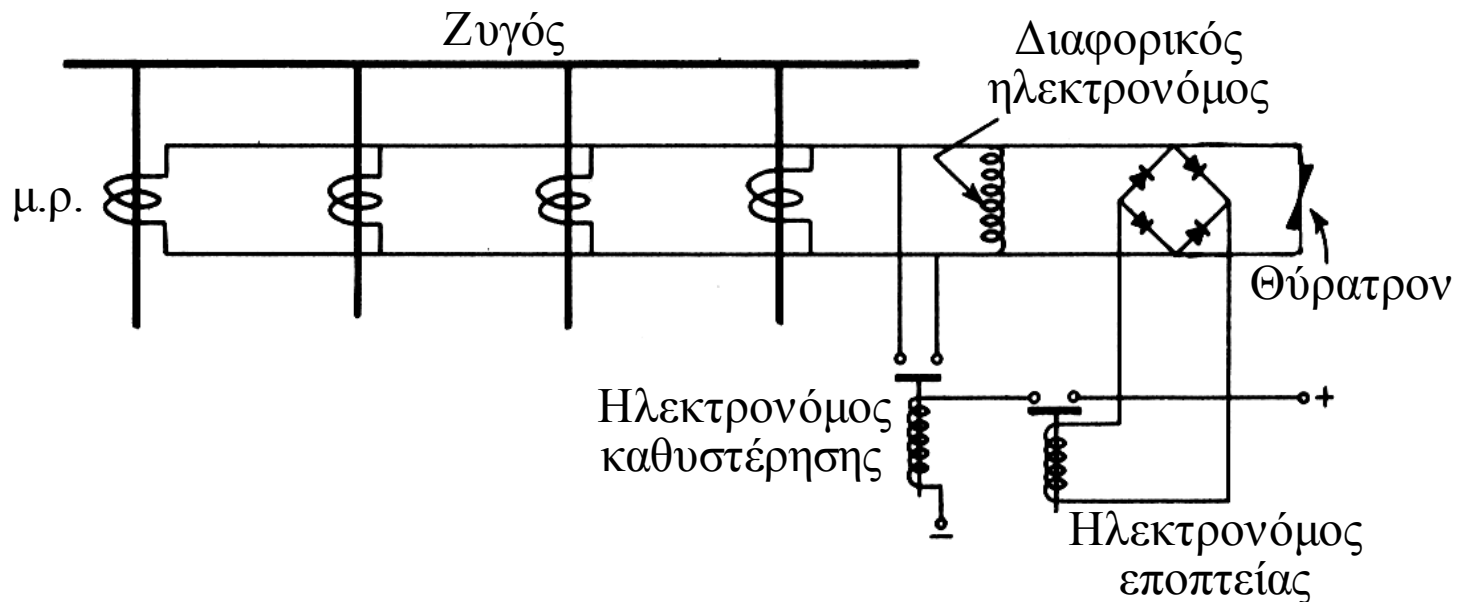
*Προστασία διαρροής πλαισίου.*

- Το σύστημα ελέγχου εμποδίζει τις ανεπιθύμητες λειτουργίες και χρησιμοποιεί ηλεκτρονόμους που λειτουργούν από μετασχηματιστές ρεύματος, που συνδέονται στους ουδέτερους του συστήματος.



# Επίβλεψη και έλεγχος ενεργοποίησης

- Σε μεγάλους σταθμούς τα ανοικτοκυκλώματα των κυκλωμάτων των μετασχηματιστών ρεύματος ανακαλύπτονται από ένα πολύ ευαίσθητο ηλεκτρονόμο υπέρτάσης, που μέσω ενός ηλεκτρονόμου χρονικής καθυστέρησης ενεργοποιεί ένα σήμα κινδύνου και φράσσει τη λειτουργία της διαφορικής προστασίας.



*Κύκλωμα επίβλεψης μ.ρ.*





# Βιβλιογραφία

- Όλα τα σχήματα, οι εικόνες και τα γραφήματα που παρουσιάστηκαν σε αυτήν την ενότητα είναι από το βιβλίο «Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας», Ν. Α. Βοβός, Εκδόσεις Ζήτη.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

