



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Προστασία Σ.Η.Ε

Ενότητα 5: Προστασία γραμμών με ηλεκτρονόμους υπερέντασης  
και ασφάλειες

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:

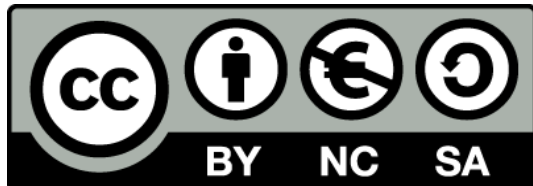
- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

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.



# Εισαγωγή(1)

- Οι γραμμές μεταφοράς προστατεύονται με ηλεκτρονόμους υπέρεντασης, απόστασης και ενιαία προστασία, ανάλογα με τις απαιτήσεις.
- Η προστασία με ηλεκτρονόμους υπέρεντασης είναι η απλούστερη και φθηνότερη από όλες, αλλά η πιο δύσκολη στην εφαρμογή και αυτή που χρειάζεται επαναρυθμηση πιο γρήγορα από τις άλλες ή ακόμα και αντικατάσταση καθώς μεταβάλλεται το ηλεκτρικό δίκτυο.
- Η προστασία υπέρεντασης χρησιμοποιείται κυρίως σε γραμμές διανομής.



# Εισαγωγή(2)

- Στην πράξη χρησιμοποιούνται δύο ή τρεις ηλεκτρονόμοι υπερέντασης για προστασία από βραχυκυκλώματα μεταξύ φάσεων και ένας ηλεκτρονόμος υπερέντασης για βραχυκυκλώματα μίας φάσης με τη γη.
- Η προστασία απόστασης είναι συχνά η πρώτη επιλογή όταν για κάποια εφαρμογή αποδεικνύεται ότι είναι ανεπαρκής η προστασία υπερέντασης.
- Η προστασία απόστασης είναι συνηθισμένη για προστασία φάσεων και γης γραμμών μεταφοράς, όταν μια μικρή χρονική καθυστέρηση στην εκκαθάριση των βραχυκυκλωμάτων στα άκρα της γραμμής είναι αποδεκτή.
- Η προστασία απόστασης δεν επηρεάζεται όσο η προστασία υπερέντασης από τις μεταβολές του ηλεκτρικού δικτύου και τις συνθήκες φόρτισης.

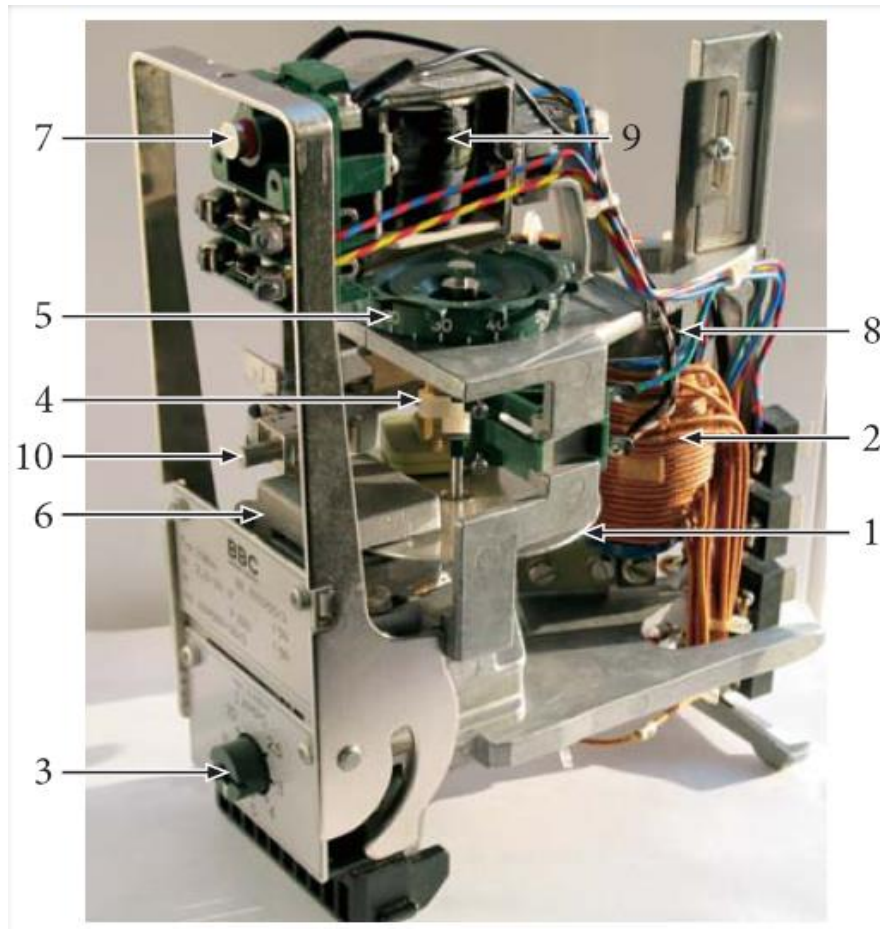


# Εισαγωγή(3)

- Υπάρχουν ηλεκτρονόμοι απόστασης με μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών, που είναι ένα πλεονέκτημα όταν αναζητούμε την καταλληλότερη συσκευή για μια συγκεκριμένη εφαρμογή.
- Η ενιαία προστασία εξασφαλίζει την καλύτερη επιλεκτικότητα και ταχύτητα εκκαθάρισης βραχυκυκλωμάτων, αλλά δεν μπορεί να παρέχει βοηθητική προστασία.
- Είναι η πιο δαπανηρή και πρακτικά χρησιμοποιείται σε όλες τις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης, γιατί σε αυτές οποιαδήποτε καθυστέρηση στην εκκαθάριση βραχυκυκλώματος είναι απαράδεκτη για λόγους ευστάθειας.
- Χρησιμοποιείται και σε χαμηλότερης τάσης γραμμές μεταφοράς, όταν είναι ο μόνος τρόπος για να επιτύχουμε επιλεκτικότητα ή πρόκειται για πολύ σημαντικές γραμμές.



# Λειτουργία ηλεκτρονόμων υπερέντασης



Εκπαιδευτικός ηλεκτρονόμος υπερέντασης





# Ρύθμιση ηλεκτρονόμων υπερέντασης(1)

- **Ρύθμιση του επίπεδου επιλογής ή επαναφοράς:**
- Η ρύθμιση του επίπεδου επιλογής ή επαναφοράς των ηλεκτρονόμων υπερέντασης γίνεται για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία μεγάλη περιοχή εφαρμογών.
- Η ρύθμιση του επίπεδου επιλογής των ηλεκτρονόμων με οπλισμό έλξης γίνεται με ρύθμιση του αρχικού διάκενου αέρα ή με ρύθμιση της τάσης του ελατήριου αναχαίτισης ή με μεταβλητές λήψεις από το πηνίο διέγερσης.
- Για ηλεκτρονόμους ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής η ρύθμιση γίνεται με μεταβλητές λήψεις από το πηνίο διέγερσης, όταν η ποσότητα που ενεργοποιεί τον ηλεκτρονόμο είναι το ρεύμα. Η ρύθμιση γίνεται με μεταβλητές λήψεις από εν σειρά αντιστάσεις ή αυτομετασχηματιστές, όταν η ποσότητα που ενεργοποιεί τον ηλεκτρονόμο είναι η τάση.



# Ρύθμιση ηλεκτρονόμων υπερέντασης(2)

- Με τη χρήση μίας γέφυρας μεταβάλλουμε το ονομαστικό επίπεδο επιλογής του ηλεκτρονόμου από 25%-200% με βήματα των 25% για φασικούς ηλεκτρονόμους υπερέντασης και για ηλεκτρονόμους βραχυκυκλώματος γης από 20%-80% με βήματα 10%.
- Για παράδειγμα, αν ένας ηλεκτρονόμος τροφοδοτείται από ένα μετασχηματιστή ρεύματος με λόγο 300/5 και χρησιμοποιήσουμε μία λήψη 50% το νέο ονομαστικό επίπεδο επιλογής για τον ηλεκτρονόμο είναι  $(50/100) \times 300 = 150 \text{ A}$  για το πρωτεύον και  $(50/100) \times 5 = 2.5 \text{ A}$  για το δευτερεύον.
- Αυτή η νέα ονομαστική τιμή του επίπεδου επιλογής χρησιμοποιείται για την εύρεση του πολλαπλασίου του επίπεδου επιλογής (Plug Setting Multiplier (PSM)), που τοποθετείται στον άξονα των τετμημένων (x) στα χαρακτηριστικά αυτού του ηλεκτρονόμου.
- Το ονομαστικό επίπεδο επιλογής πρέπει να είναι αρκετά υψηλό, ώστε ο ηλεκτρονόμος να επανέρχεται στην κανονική του κατάσταση μετά την εκκαθάριση κάποιου βραχυκυκλώματος. Στην πράξη το πλήρες ρεύμα φορτίου δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 85% του ονομαστικού επίπεδου επιλογής.

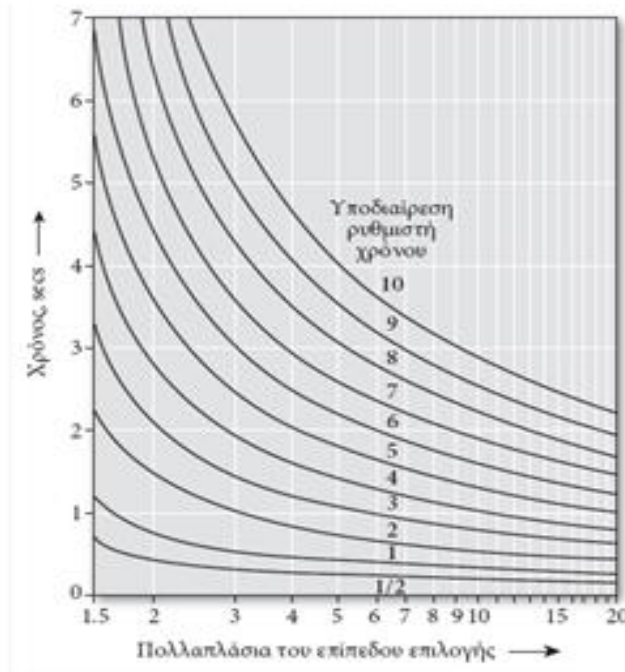


# Ρύθμιση ηλεκτρονόμων υπερέντασης(3)

- **Ρύθμιση του χρόνου λειτουργίας:**
- Ο χρόνος λειτουργίας των επαγωγικών ηλεκτρονόμων αντιστροφου χρόνου γίνεται με ρύθμιση της απόστασης μεταξύ του σημείου επιλογής και του σημείου επαναφοράς.
- Αυτό γίνεται με ρύθμιση του **stop** του σημείου επαναφοράς. Επίσης ρύθμιση του χρόνου λειτουργίας μπορεί να γίνει και με τη μετακίνηση ενός μόνιμου μαγνήτη, όπως αναφέρθηκε. Ένας περιστροφικός διακόπτης **ρύθμισης χρόνου** με μία κλίμακα πετυχαίνουν αυτή τη ρύθμιση.
- Η ρύθμιση του χρόνου (Time Multiplier Setting (TMS)) γίνεται σε μία κλίμακα από 0-10 στην Αμερική με ίσες υποδιαίρεσεις, ενώ στην Αγγλία χρησιμοποιείται μία κλίμακα από 0-1 και οι υποδιαίρεσεις είναι έτσι τοποθετημένες, ώστε, αν γνωρίζουμε την καμπύλη λειτουργίας για την υποδιαίρεση 1, οι καμπύλες για τις άλλες υποδιαίρεσεις προκύπτουν από αυτή πολλαπλασιάζοντας με την υποδιαίρεση που χρησιμοποιείται.



# Χρονικά χαρακτηριστικά



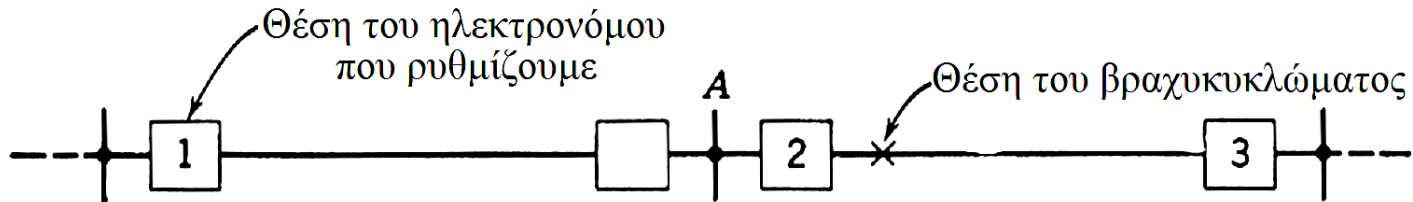
- Στο Σχήμα φαίνεται ένα σύνολο καμπυλών αντίστροφου χρόνου ενός ηλεκτρονόμου επαγωγικού τύπου. Για κάθε υποδιαίρεση του ρυθμιστή χρόνου παίρνουμε μία καμπύλη.
- Από το σχήμα, μπορούμε να βρούμε τη μετακίνηση του δίσκου, αν εφαρμόσουμε ένα σταθερό ρεύμα για κάποιο χρόνο. Π.χ. αν ο ρυθμιστής χρόνου είναι στο 5, και το ρεύμα είναι 3 φορές το επίπεδο επιλογής, ο ηλεκτρονόμος θα κάνει 2.45 s για να κλίσει τις επαφές του. Αν το ρεύμα αυτό διατηρηθεί για 1.5 s ο δίσκος θα διανύσει το  $1.5/2.45=0.612$  ή 61.2% της συνολικής διαδρομής για να κλίσει τις επαφές.

# Ρύθμιση ηλεκτρονόμων αντίστροφου χρόνου(1)

- Η πρώτη ενέργεια είναι να επιλέξουμε το επίπεδο επιλογής έτσι ώστε:
- **(α)** Ο ηλεκτρονόμος να λειτουργεί για όλα τα βραχυκυκλώματα στη γραμμή που προστατεύει.
- **(β)** Να παρέχει προστασία υποστήριξης για βραχυκυκλώματα στις γειτονικές γραμμές υπό ορισμένες συνθήκες.
- Για να έχουμε επιλεκτικότητα το επίπεδο επιλογής ενός ηλεκτρονόμου πρέπει να είναι μεγαλύτερο από αυτό των άλλων ηλεκτρονόμων που βρίσκονται πιο κοντά στο βραχυκύκλωμα.
- Η ρύθμιση των ηλεκτρονόμων για να έχουμε επιλεκτικότητα γίνεται με συνθήκες που επιφέρουν το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης. Αυτό συμβαίνει για βραχυκύκλωμα αμέσως μετά το διακόπτη στη γειτονική γραμμή και ενώ έχουμε μέγιστη παραγωγή.



# Ρύθμιση ηλεκτρονόμων αντίστροφου χρόνου(2)



*Θέση του βραχυκυκλώματος για ρύθμιση ώστε να επιτύχουμε επιλεκτικότητα.*

- Η ρύθμιση γίνεται με συνθήκες μέγιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης, γιατί στις καμπύλες αντίστροφου χρόνου η χρονική απόσταση μεταξύ των καμπυλών αυξάνει όσο το ρεύμα ελαττώνεται. Έτσι αν υπάρχει επιλεκτικότητα για το μεγαλύτερο ρεύμα είναι βέβαιο ότι θα έχουμε επιλεκτικότητα και για τα μικρότερα ρεύματα.
- Για το βραχυκύκλωμα του Σχήματος για να επιτύχουμε επιλεκτικότητα πρέπει να ισχύει η σχέση:



# Ρύθμιση ηλεκτρονόμων αντίστροφου χρόνου(2)

$$T_1 = T_2 + B_2 + O_1 + F$$

όπου:

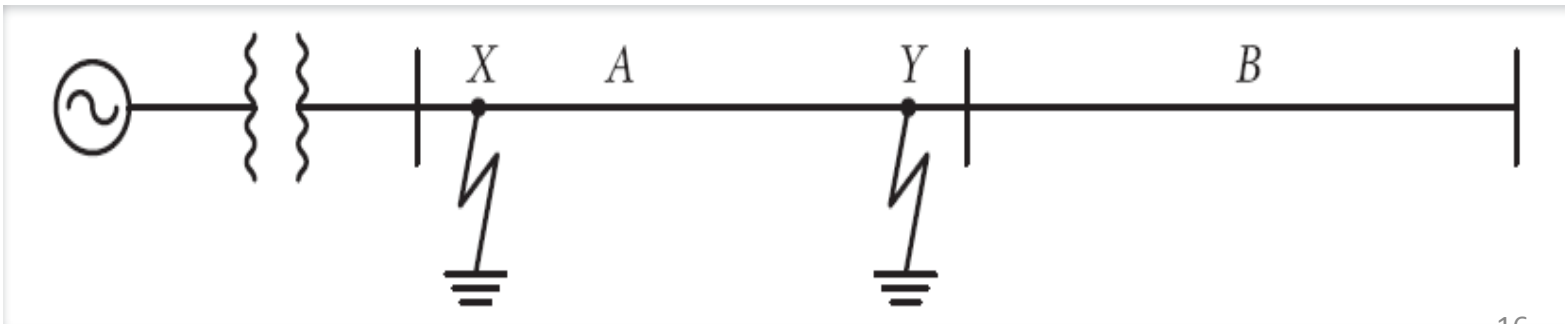
- $T_1$ : χρόνος λειτουργίας του ηλεκτρονόμου 1.
- $T_2$ : χρόνος λειτουργίας του ηλεκτρονόμου 2.
- $B_2$ : χρόνος διακοπής του ρεύματος βραχυκύκλωσης από το διακόπτη ισχύος 2.
- $O_1$ : χρόνος που οφείλεται στην αδράνεια του δίσκου του ηλεκτρονόμου 1.
- $F$  : ένας χρόνος ασφάλειας.

Ο χρόνος  $O_1$  είναι διαφορετικός για κάθε τύπο ηλεκτρονόμου υπερρεύματος αλλά ένας μέσος χρόνος για το άθροισμα  $O_1 + F$  είναι της τάξης 0.2- 0.3 s.



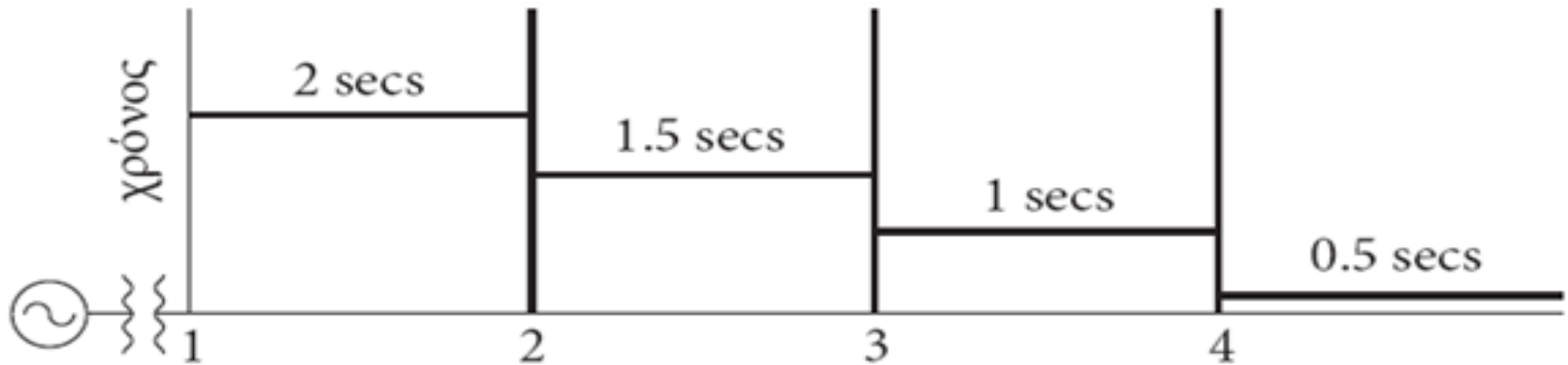
# Ηλεκτρονόμοι ρεύματος ορισμένου χρόνου

- Οι ηλεκτρονόμοι ορισμένου χρόνου χρησιμοποιούνται σε ακτινωτά κυκλώματα ή κυκλώματα βρόχων, όταν:
- **α)** Υπάρχουν μερικές γραμμές σε σειρά και δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στα ρεύματα βραχυκυκλώματος στην αρχή και το τέλος κάθε γραμμής, οπότε δεν μπορούμε να αξιοποιήσουμε τα χαρακτηριστικά των ηλεκτρονόμων υπέρεντασης (γιατί;).
- **β)** Το ρεύμα βραχυκυκλώματος μεταβάλλεται πάρα πολύ μεταξύ ελάχιστης και μέγιστης φόρτισης του συστήματος, οπότε στην ελάχιστη φόρτιση η εκκαθάριση των βραχυκυκλωμάτων με ηλεκτρονόμους υπέρεντασης είναι απαράδεκτα αργή (γιατί;) και είναι οικονομικότερη η προστασία με ηλεκτρονόμους ορισμένου χρόνου.





# Ρύθμιση ηλεκτρονόμων ρεύματος ορισμένου χρόνου



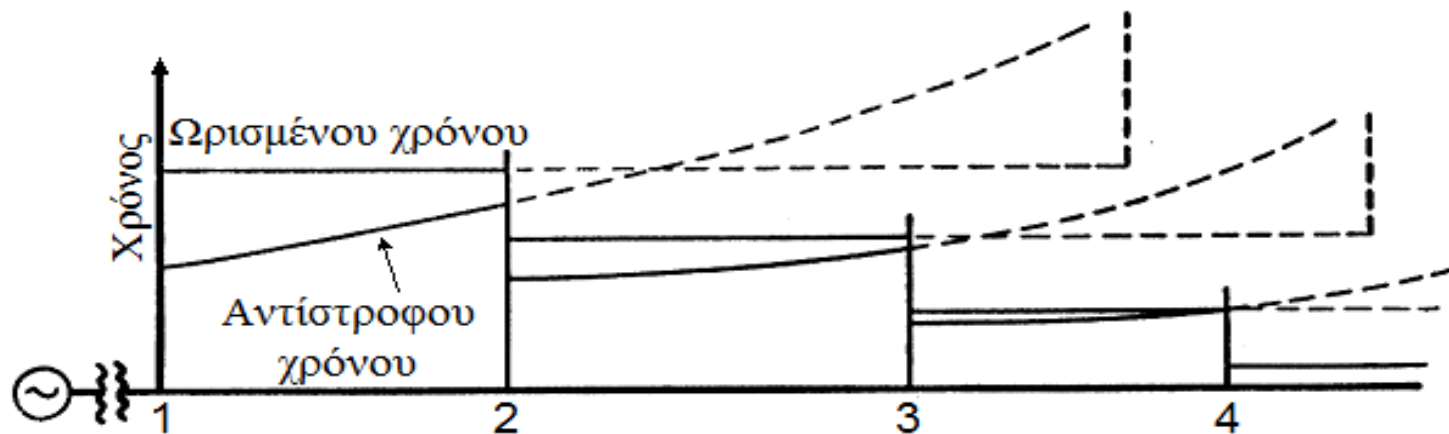
*Ρύθμιση χρόνου σε ακτινωτά κυκλώματα.*

- Σε ακτινωτά κυκλώματα ή κυκλώματα βρόχων, όπου υπάρχουν μερικές γραμμές σε σειρά, για να επιτύχουμε επιλεκτικότητα με τους ηλεκτρονόμους ορισμένου χρόνου προσθέτουμε κάποιο χρόνο καθυστέρησης στους ηλεκτρονόμους, καθώς κινούμαστε προς τη γεννήτρια.
- Η χρονική αυτή καθυστέρηση είναι ίση με  $B+O+F$ .
- Με αυτό το είδος προστασίας όμως τα πιο επικίνδυνα βραχυκυκλώματα (κοντά στη γεννήτρια) εκκαθαρίζονται πιο αργά.



# Ηλεκτρονόμοι ρεύματος αντίστροφου χρόνου

- Όταν η αντίσταση μεταξύ του ηλεκτρονόμου και της γεννήτριας είναι μικρή, συγκρινόμενη με την αντίσταση της γραμμής που προστατεύεται, είναι αποδοτική η χρήση ηλεκτρονόμου αντίστροφου χρόνου γιατί υπάρχει σημαντική διαφορά στο ρεύμα βραχυκυκλώματος στην αρχή και το τέλος της γραμμής.

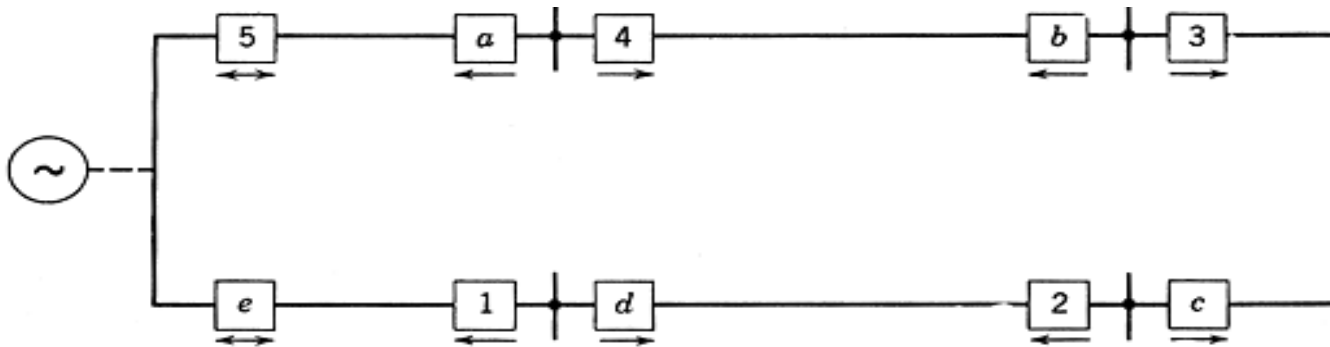


*Σύγκριση ηλεκτρονόμων ορισμένου και αντίστροφου χρόνου.*



# Ρύθμιση ηλεκτρονόμων υπερέντασης σε βροχοειδή συστήματα

- Για τη ρύθμιση των ηλεκτρονόμων υπερέντασης καταλήξαμε στο γενικό συμπέρασμα ότι πρώτα ρυθμίζουμε τον ηλεκτρονόμο που βρίσκεται πιο μακριά από τη γεννήτρια.



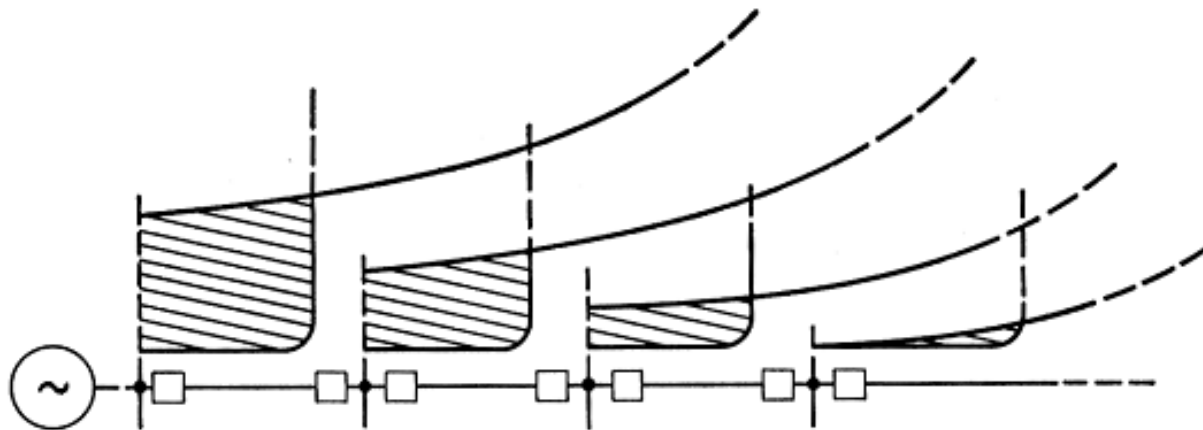
*Η σειρά ρύθμισης ηλεκτρονόμων σε ένα απλό σύστημα βρόχου.*

- Την ίδια αρχή εφαρμόζουμε και στο απλό σύστημα βρόχου που φαίνεται στο Σχήμα. Η σειρά ρύθμισης κοιτώντας προς τη μία κατεύθυνση γύρω από το βρόχο είναι 1-2-3-4-5 και κοιτώντας προς την αντίθετη κατεύθυνση είναι a-b-c-d-e.
- Σε αυτήν την περίπτωση συνήθως χρησιμοποιούμε ηλεκτρονόμους κατεύθυνσης-υπερέντασης, όπως φαίνεται με τα βέλη στο Σχήμα, ενώ στις θέσεις 5 και e το ρεύμα ρέει πάντα στην ίδια κατεύθυνση.



# Χρησιμοποίηση στιγμιαίων ηλεκτρονόμων υπερέντασης

- Οι στιγμιαίοι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης χρησιμοποιούνται, όταν το μέτρο του ρεύματος βραχυκύκλωσης για βραχυκύκλωμα δίπλα στον ηλεκτρονόμο είναι τουλάχιστον τριπλάσιο από το ρεύμα για βραχυκύκλωμα στο άλλο άκρο της γραμμής.
- Στο Σχήμα φαίνεται η προστασία μίας ακτινωτής γραμμής με ένα συνδυασμό ηλεκτρονόμων στιγμιαίων και αντίστροφου χρόνου.

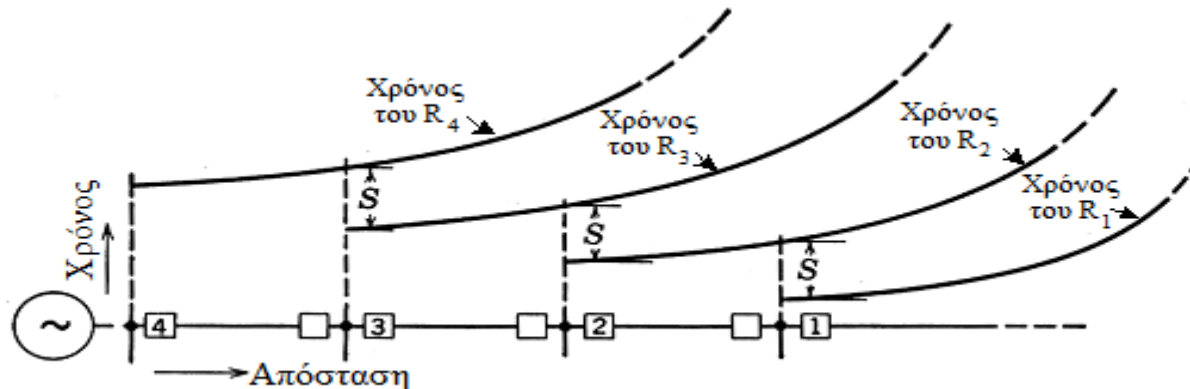


*Ελάττωση του χρόνου ενεργοποίησης των διακοπών με τη χρήση στιγμιαίων ηλεκτρονόμων.*



# Παράδειγμα ρύθμισης ηλεκτρονόμων υπερέντασης για προστασία ακτινωτών γραμμών(1)

- Για το σύστημα του Σχήματος ζητείται η ρύθμιση των ηλεκτρονόμων που τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους δίνονται στο επόμενο Σχήμα. Να χρησιμοποιηθεί μία χρονική καθυστέρηση για επιλεκτικότητα  $S = 0.4$  s. Δίνονται επίσης για τους ηλεκτρονόμους  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  και  $R_4$  τα πιο κάτω στοιχεία:

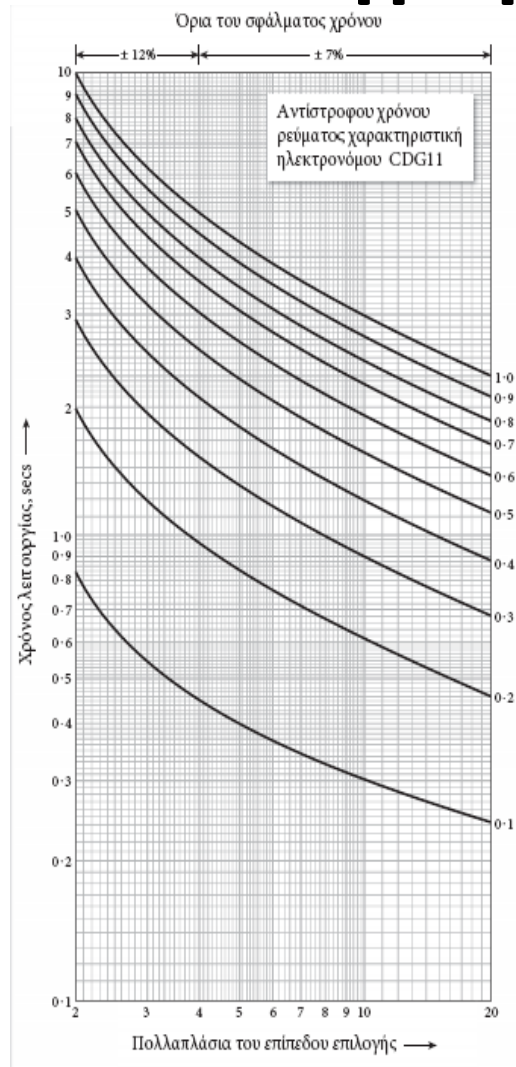


Μορφή του συστήματος που μελετάται.

	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$
Μ/Σ ρεύματος :	100/5	200/5	300/5	600/5
Επίτ.σφάλματος :	1000 A	3000 A	4000 A	6000 A
Μέγιστο φορτίο :	75 A	200A	250 A	400 A



# Παράδειγμα ρύθμισης ηλεκτρονόμων υπερέντασης για προστασία ακτινωτών γραμμών(2)



*Χαρακτηριστικά λειτουργίας του ηλεκτρονόμου CDG11.*



# Λύση(1)

- **Αρχίζουμε με τον ηλεκτρονόμο  $R_1$ :** Θα υπολογίσουμε πρώτα το ονομαστικό επίπεδο επιλογής. Το μέγιστο ρεύμα φορτίου δεν πρέπει να ξεπερνά το 85% του ονομαστικού επιπέδου επιλογής. Έτσι αν ονομάσουμε  $PS$  τη λήψη ( $PS = \text{Plug Setting}$ ) θα πρέπει να έχουμε:

$$100 * PS * 0.85 > 75 \Rightarrow PS > 0.88$$

- Άρα  $PS = 100\%$  (επειδή έχουμε ρύθμιση με βήματα ανά 25%) και το ονομαστικό επίπεδο επιλογής είναι 100 A για το πρωτεύον
- Επειδή το επίπεδο σφάλματος είναι 1000 A, το πολλαπλάσιο του επιπέδου επιλογής ( $PSM = \text{Plug Setting Multiplier}$ ) είναι:

$$PSM = 1000/100 = 10$$

- Για τον ηλεκτρονόμο  $R_1$  μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη μικρότερη υποδιαίρεση του ρυθμιστή χρόνου ( $TMS = \text{Time Multiplier Setting}$ ) 0.05.
- Ο ηλεκτρονόμος  $R_1$  για  $PSM = 10$  και  $TMS = 1$  από τα χαρακτηριστικά του βλέπουμε ότι έχει ένα χρόνο λειτουργίας 3 s. Άρα ο χρόνος λειτουργίας του για  $PSM=10$  και  $TMS=0.05$  είναι:

$$3 * 0.05 = 0.15 \text{ s}$$



# Λύση(2)

- **Ηλεκτρονόμος  $R_2$** : Αυτός ο ηλεκτρονόμος ρυθμίζεται σε συνδυασμό με τον  $R_1$  για ένα επίπεδο σφάλματος 1000 A.
- Αφήνοντας μία χρονική καθυστέρηση για επιλεκτικότητα  $S = 0.4$  s ο χρόνος λειτουργίας του  $R_2$  για επίπεδο σφάλματος 1000 A πρέπει να είναι:  
 **$0.15 + 0.4 = 0.55$  s**
- Το  **$PS$**  για τον  $R_2$  πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:  
 **$200 * PS * 0.85 > 200 \Rightarrow PS > 1.18$**
- Άρα  **$PS = 125\%$**  και το νέο επίπεδο επιλογής γίνεται:  
 **$200 \times 1.25 = 250$  A** για το πρωτεύον.





# Λύση(3)

- Για ένα επίπεδο σφάλματος 1000 A το  $PSM$  θα είναι:  
$$PSM = 1000/250 = 4$$
- Ο χρόνος λειτουργίας του  $R_2$  για  $PSM = 4$  και  $TMS=1$  είναι 5 s.
- Επειδή εμείς θέλουμε ένα χρόνο λειτουργίας 0.55 s θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα  $TMS$  που θα δίνεται από τη σχέση:  
$$TMS = 0.55/5 = 0.11$$
- Επειδή οι υποδιαίρέσεις του  $TMS$  είναι ανά 0.025 είναι δύσκολο να πετύχουμε μία τιμή 0.11. Γι' αυτό χρησιμοποιούμε μία τιμή για το  $TMS=0.125$ , οπότε ο χρόνος λειτουργίας του ηλεκτρονόμου  $R_2$  για επίπεδο σφάλματος 1000 A γίνεται **0.625 s**.



# Λύση(4)

- **Ηλεκτρονόμος  $R_3$**  : Ο ηλεκτρονόμος αυτός ρυθμίζεται σε συνδυασμό με τον  $R_2$  για το επίπεδο σφάλματος του  $R_2$ , που είναι 3000 A. Θα πρέπει λοιπόν να υπολογίσουμε το χρόνο λειτουργίας του  $R_2$  για το επίπεδο σφάλματος των 3000 A. Αυτό το ρεύμα αντιστοιχεί σε ένα  $PSM$  που δίνεται από τη σχέση:

$$PSM = 3000/250 = 12$$

- Από τα χαρακτηριστικά του ο  $R_2$  για  $PSM = 12$  και  $TMS = 0.125$  έχει ένα χρόνο λειτουργίας 0.35 s.
- Άρα ο χρόνος λειτουργίας του  $R_3$  για ένα μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης 3000 A πρέπει να είναι:

$$0.35+0.4 = 0.75 \text{ s}$$



# Λύση(5)

- Το  $PS$  για τον  $R_3$  πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:  
 $300 * PS * 0.85 > 250 \Rightarrow PS > 0.98$
- Άρα  $PS=100\%$  και το επίπεδο επιλογής του για το πρωτεύον είναι 300A.
- Για επίπεδο σφάλματος 3000 A το  $PSM$  θα είναι:  
 $PSM = 3000/300 = 10$
- Από τα χαρακτηριστικά του για  $PSM = 10$  και  $TMS = 1$  παίρνουμε ένα χρόνο λειτουργίας 3 s. Άρα το  $TMS$  για τον  $R_3$  θα είναι:  
 $TMS = 0.75/3 = 0.25$



# Λύση(6)

- **Ηλεκτρονόμος  $R_4$**  : Αυτός ρυθμίζεται σε συνδυασμό με τον  $R_3$  για το επίπεδο σφάλματος του  $R_3$  που είναι 4000 A. Ο χρόνος λειτουργίας του  $R_3$  γι' αυτό το επίπεδο σφάλματος υπολογίζεται όπως πιο κάτω.

$$PSM = \frac{4000}{300} = \mathbf{13.33}$$

- Για  $PSM = 13.33$  και  $TMS = 0.25$  ο χρόνος λειτουργίας του  $R_3$  από τα χαρακτηριστικά του βρίσκεται ότι είναι 0.66 s.
- Άρα ο χρόνος λειτουργίας του  $R_4$  για ένα μέγιστο ρεύμα 4000 A πρέπει να είναι:

$$\mathbf{0.66 + 0.4 = 1.06 \text{ s}}$$



# Λύση(7)

- Το ***PS*** για τον ***R<sub>4</sub>*** πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:  
 **$600 * PS * 0.85 > 400 \Rightarrow PS > 0.78$**
- Άρα ***PS*** = 100% και το ονομαστικό επίπεδο επιλογής για τον ***R<sub>4</sub>*** στο πρωτεύον είναι 600 A.
- Για επίπεδο σφάλματος 4000 A το ***PSM*** θα είναι:

$$PSM = \frac{4000}{600} = 6.66$$

- Από τα χαρακτηριστικά του για ***PSM*** = 6.66 και ***TMS*** = 1 παίρνουμε ένα χρόνο λειτουργίας 3.7 s. Άρα το ***TMS*** για τον ***R<sub>4</sub>*** θα δίνεται από τη σχέση:

$$TMS = \frac{1.06}{3.7} = 0.286$$

- Χρησιμοποιούμε ***TMS*** = 0.3



# Λύση(8)

- Αν θέλουμε να βρούμε το χρόνο λειτουργίας του R4 για το επίπεδο σφάλματος των 6000 A, αυτός ο χρόνος από τα χαρακτηριστικά του για  $PSM = 10$  και  $TMS = 0.3$  είναι 0.9 s.
- Πιο κάτω συνοψίζουμε τα αποτελέσματα ρύθμισης των ηλεκτρονόμων :

	<u>Plug Setting %</u>	<u>Time multiplier Setting</u>
$R_1$	100	0.05
$R_2$	125	0.125
$R_3$	100	0.25
$R_4$	100	0.3

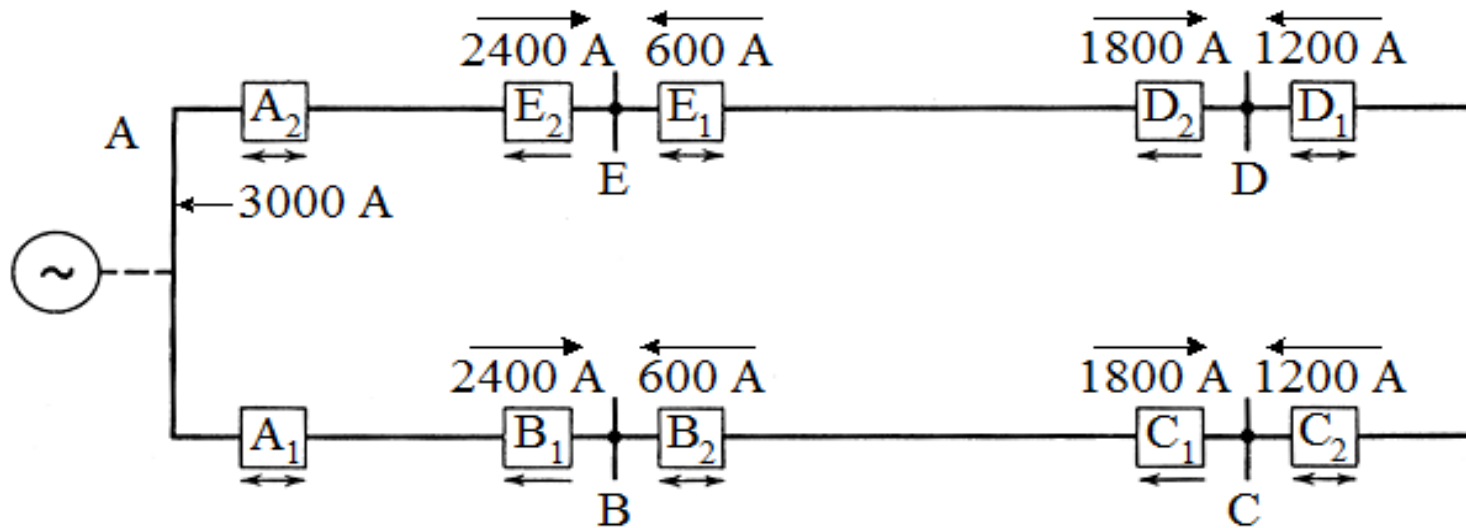


# Παράδειγμα ρύθμισης ηλεκτρονόμων υπερέντασης για προστασία βροχοειδών συστημάτων(1)

- Με τη χρησιμοποίηση των ηλεκτρονόμων του προηγούμενου παραδείγματος να προστατέψετε το σύστημα του Σχήματος. Όπου είναι απαραίτητο να υποθέσετε ότι υπάρχουν μονάδες κατεύθυνσης που συνεργάζονται με τους ηλεκτρονόμους υπερέντασης. Να υποθέσετε ένα χρόνο καθυστέρησης για επιλεκτικότητα  $S = 0.45$  s και χρόνο λειτουργίας κάθε διακόπτη ισχύος  $0.1$  s. Το ρεύμα σφάλματος στο ζυγό **A** είναι **3000 A**. Να υποθέσετε ότι οι ζυγοί είναι τοποθετημένοι σε ίσες αποστάσεις γύρω στο βρόχο. Όλοι οι μετασχηματιστές ρεύματος είναι ίδιοι με λόγο  $300/5$ . Να υποθέσετε ότι ένα  $PS = 100\%$  είναι αρκετό για όλους τους ηλεκτρονόμους. Να υπολογίσετε το χρόνο εκκαθάρισης του σφάλματος για βραχυκύκλωμα κοντά στους διακόπτες **A<sub>1</sub>** και **B<sub>1</sub>**.



# Λύση(1)



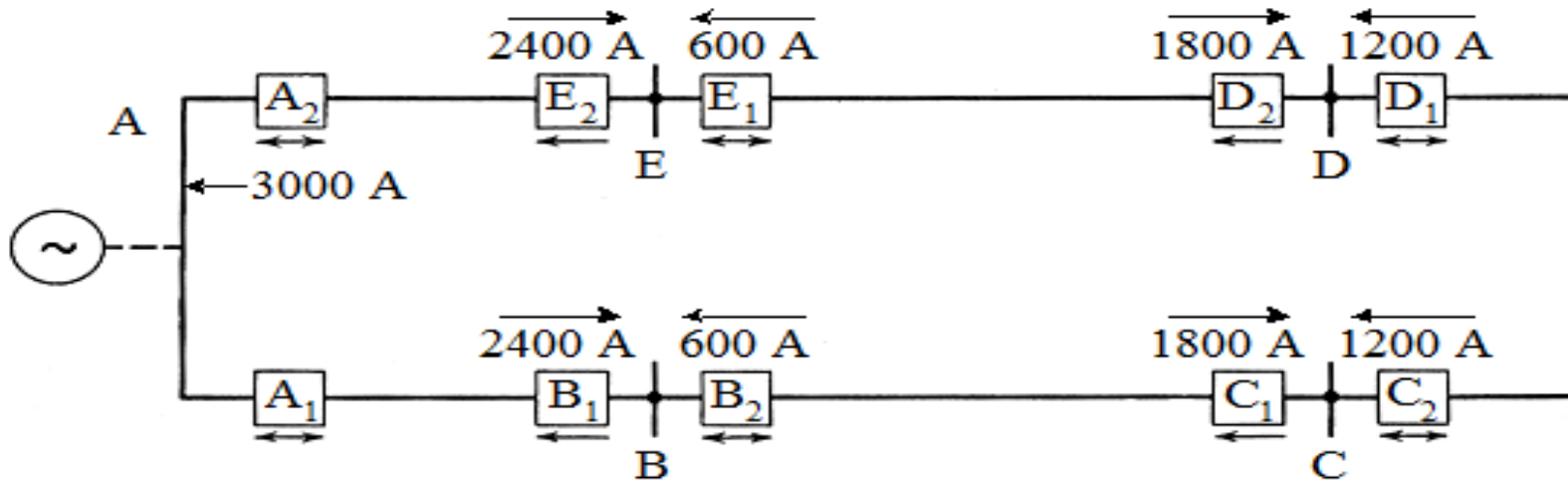
*Σύστημα που πρόκειται να προστατευθεί.*

Θέση σφάλματος	Ηλεκτρονόμος	<i>PSM</i>	Χρόνος λειτουργίας ηλεκτρονόμων (secs)	<i>TMS</i>
B-A	$B_1$	10	0.3	0.1
A-B	$A_1$	10	2.1	0.7





# Λύση(2)



*Σύστημα που πρόκειται να προστατευθεί.*

Θέση σφάλματος	Ηλεκτρονόμος	PSM	Χρόνος λειτουργίας ηλεκτρονόμων (secs)	TMS
B-A	B <sub>1</sub>	10	0.3	0.1
C-B	C <sub>1</sub>	10	0.75	0.25
D-C	D <sub>1</sub>	10	1.2	0.4
E-D	E <sub>1</sub>	10	1.65	0.55
A-E	A <sub>2</sub>	10	2.1	0.7
E-A	E <sub>2</sub>	10	0.3	0.1
D-E	D <sub>2</sub>	10	0.75	0.25
C-D	C <sub>2</sub>	10	1.2	0.4
B-C	B <sub>2</sub>	10	1.65	0.55
A-B	A <sub>1</sub>	10	2.1	0.7



# Λύση(3)

- Για ένα βραχυκύκλωμα κοντά στο διακόπτη  $A_1$  το ρεύμα βραχυκυκλώματος για το διακόπτη  $A_1$  είναι 3000 A ενώ για το  $B_1$  είναι περίπου μηδέν. Άρα χρόνος λειτουργίας του  $A_1$  :

$$PSM = \frac{3000}{300} = 10, TMS = 0.7 \text{ και είναι } 2.1 \text{ s.}$$

- Μετά τη λειτουργία του ηλεκτρονόμου απαιτούνται 0.1s για να ανοίξει ο διακόπτης  $A_1$  .
- Όταν ανοίξει ο διακόπτης  $A_1$  το ρεύμα σφάλματος για το διακόπτη  $B_1$  είναι 3000 A. Άρα χρόνος λειτουργίας του  $B_1$  :  
 $PSM = 10, TMS = 0.1$  και είναι 0.3 s.
- Άρα ο συνολικός χρόνος για την εκκαθάριση του βραχυκυκλώματος είναι:  
 $2.1 + 0.1 + 0.3 + 0.1 = 2.6 \text{ s}$



# Λύση(4)

- Για ένα βραχυκύκλωμα κοντά στο διακόπτη  $B_1$ , τα ρεύματα σφάλματος για τους διακόπτες  $B_1$  και  $A_1$  αρχικά είναι:  
 $A_1 = 2400 \text{ A}$  και  $B_1 = 600 \text{ A}$
- Με αυτά τα ρεύματα οι χρόνοι λειτουργίας τους είναι:  
 $A_1 : PSM = 2400/300 = 8, TMS = 0.7, \text{χρόνος λειτουργίας} = 2.3 \text{ s.}$   
 $B_1 : PSM = 600/300 = 2, TMS = 0.1, \text{χρόνος λειτουργίας} = 1 \text{ s.}$
- Άρα πρώτα θα εκκαθαριστεί το βραχυκύκλωμα από το διακόπτη  $B_1$  σε 1.1 s.
- Στο ίδιο διάστημα θα μετακινηθεί ο δίσκος του  $A_1$  :  
 $1.1/2.3 \times 100 = 48\%$  της απόστασης των επαφών.
- Μετά το άνοιγμα του διακόπτη  $B_1$  το ρεύμα στο διακόπτη  $A_1$  είναι 3000 A.



# Λύση(5)

- Με αυτό το ρεύμα ο συνολικός χρόνος που χρειάζεται ο  $A_1$  για να μετακίνηση το δίσκο του κατά 100% της διαδρομής είναι:
- $PSM = 3000/300 = 10$  ,  $TMS = 0.7$  , χρόνος λειτουργίας 2.1 s.
- Για να διανύσει ο  $A_1$  το 52% της διαδρομής που υπολείπεται χρειάζεται:

$$\frac{52}{100} * 2.1 = 1.1 \text{ s}$$

- Άρα ο συνολικός χρόνος για την εκκαθάριση αυτού του βραχυκυκλώματος είναι:

$$1 + 0.1 + 1.1 + 0.1 = 2.3 \text{ s.}$$



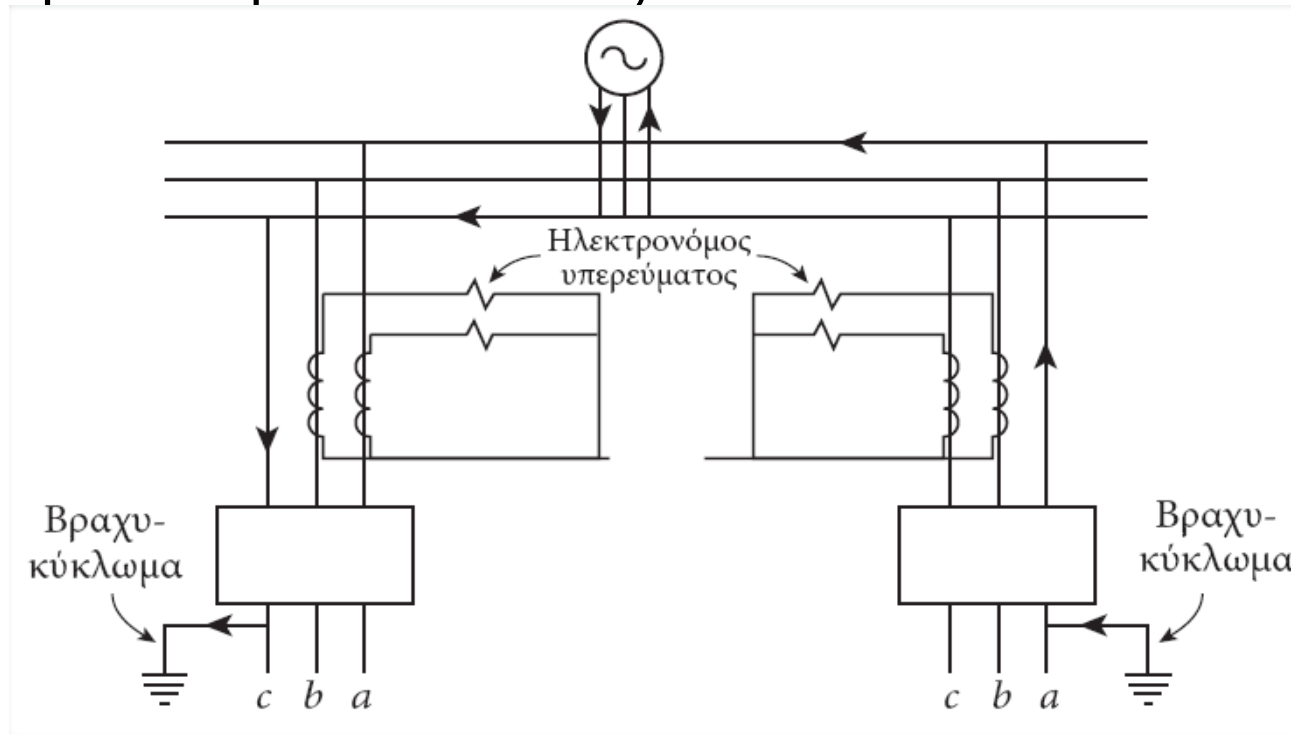
# Χρησιμοποίηση δυο ηλεκτρονόμων αντί τριών για προστασία βραχυκυκλωμάτων μεταξύ φάσεων(1)

- Για να ελαττώσουμε το κόστος προστασίας μη σημαντικών γραμμών χρησιμοποιούμε δύο ηλεκτρονόμους αντί τριών για προστασία από βραχυκυκλώματα μεταξύ φάσεων και εξοικονομούμε τα χρήματα ενός μετασχηματιστή ρεύματος και ενός ηλεκτρονόμου.
- Σε αυτήν την περίπτωση όμως θα πρέπει να προσέξουμε τα πιο κάτω:
  - α) Προστασία με ή χωρίς μονάδα κατεύθυνσης.**
- Μπορεί να γίνει όμως πρέπει όλοι οι μετασχηματιστές ρεύματος να είναι τοποθετημένοι στις ίδιες φάσεις σε όλα τα κυκλώματα.



# Χρησιμοποίηση δυο ηλεκτρονόμων αντί τριών για προστασία βραχυκυκλωμάτων μεταξύ φάσεων(2)

- Το δίκτυο του Σχήματος δεν είναι γειωμένο και αποτυγχάνει στην περίπτωση που απεικονίζεται.

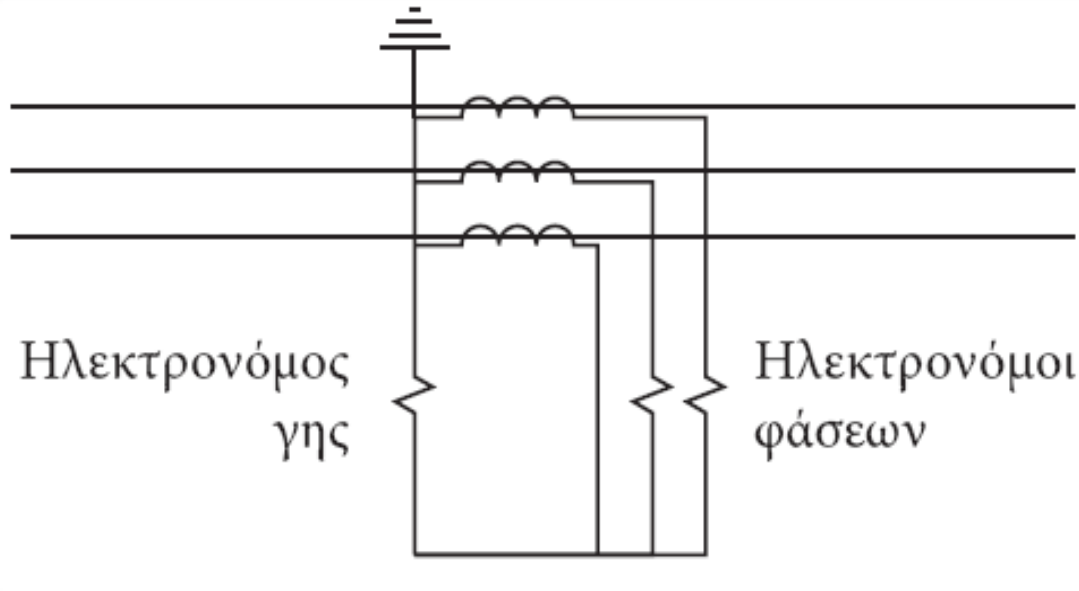


*Περίπτωση αποτυχίας του συστήματος προστασίας με δύο ηλεκτρονόμους υπερέντασης.*



# Χρησιμοποίηση δυο ηλεκτρονόμων αντί τριών για προστασία βραχυκυκλωμάτων μεταξύ φάσεων(3)

- Για πλήρη προστασία φασικών και φασικών με γη βραχυκυκλωμάτων σε γειωμένα ή όχι συστήματα απαιτούνται δύο ηλεκτρονόμοι φάσης και ένας ηλεκτρονόμος γης.
- Με τρεις ηλεκτρονόμους έχουμε διπλάσια αξιοπιστία στην προστασία (συνήθως λειτουργούν δύο ηλεκτρονόμοι εκτός κάποιων περιπτώσεων) με πολύ λιγότερο από το διπλάσιο κόστος.



Πλήρη προστασία με δύο ηλεκτρονόμους φάσης και ένα γης.



# Σύγκριση μονοφασικών και πολυφασικών ηλεκτρονόμων κατεύθυνσης-υπερέντασης (1)

- Η επαφή της μονάδας κατεύθυνσης του μονοφασικού ηλεκτρονόμου κατεύθυνσης-υπερέντασης ελέγχει τη λειτουργία της μονάδας υπερέντασης απ' ευθείας. Αντίθετα στους πολυφασικούς ηλεκτρονόμους κατεύθυνσης απαιτείται ένας ενδιάμεσος βοηθητικός ηλεκτρονόμος.
- Οι μονοφασικοί ηλεκτρονόμοι κατεύθυνσης-υπερέντασης προτιμώνται για προστασία από φασικά βραχυκυκλώματα, επειδή είναι πιο απλοί και πιο αξιόπιστοι από τους πολυφασικούς ηλεκτρονόμους κατεύθυνσης, που συνδυάζονται με μονοφασικούς ηλεκτρονόμους υπερέντασης.
- Τρεις μονοφασικοί ηλεκτρονόμοι κατεύθυνσης-υπερέντασης μπορούν συχνά να παρέχουν προστασία για φασικά βραχυκυκλώματα καθώς και για βραχυκυκλώματα μιας φάσης με γη.





# Σύγκριση μονοφασικών και πολυφασικών ηλεκτρονόμων κατεύθυνσης-υπερέντασης (2)

- Οι πολυφασικοί ηλεκτρονόμοι κατεύθυνσης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για βραχυκυκλώματα γης παρά μόνο όταν το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι περισσότερο από το τριπλάσιο του μέγιστου ρεύματος φορτίου.
- Το πλεονέκτημα των πολυφασικών ηλεκτρονόμων κατεύθυνσης είναι ότι πολύ σπάνια συμβαίνει σε αυτούς εσφαλμένη λειτουργία, όταν έχουμε μεταβατικά φαινόμενα.
- Σε τέτοιες περιπτώσεις σε έναν από τους τρεις μονοφασικούς ηλεκτρονόμους μπορεί να εμφανισθεί θετική ροπή και να ενεργοποιηθεί, ενώ στους πολυφασικούς ηλεκτρονόμους κατεύθυνσης αντισταθμίζεται από την αρνητική ροπή των υπολοίπων

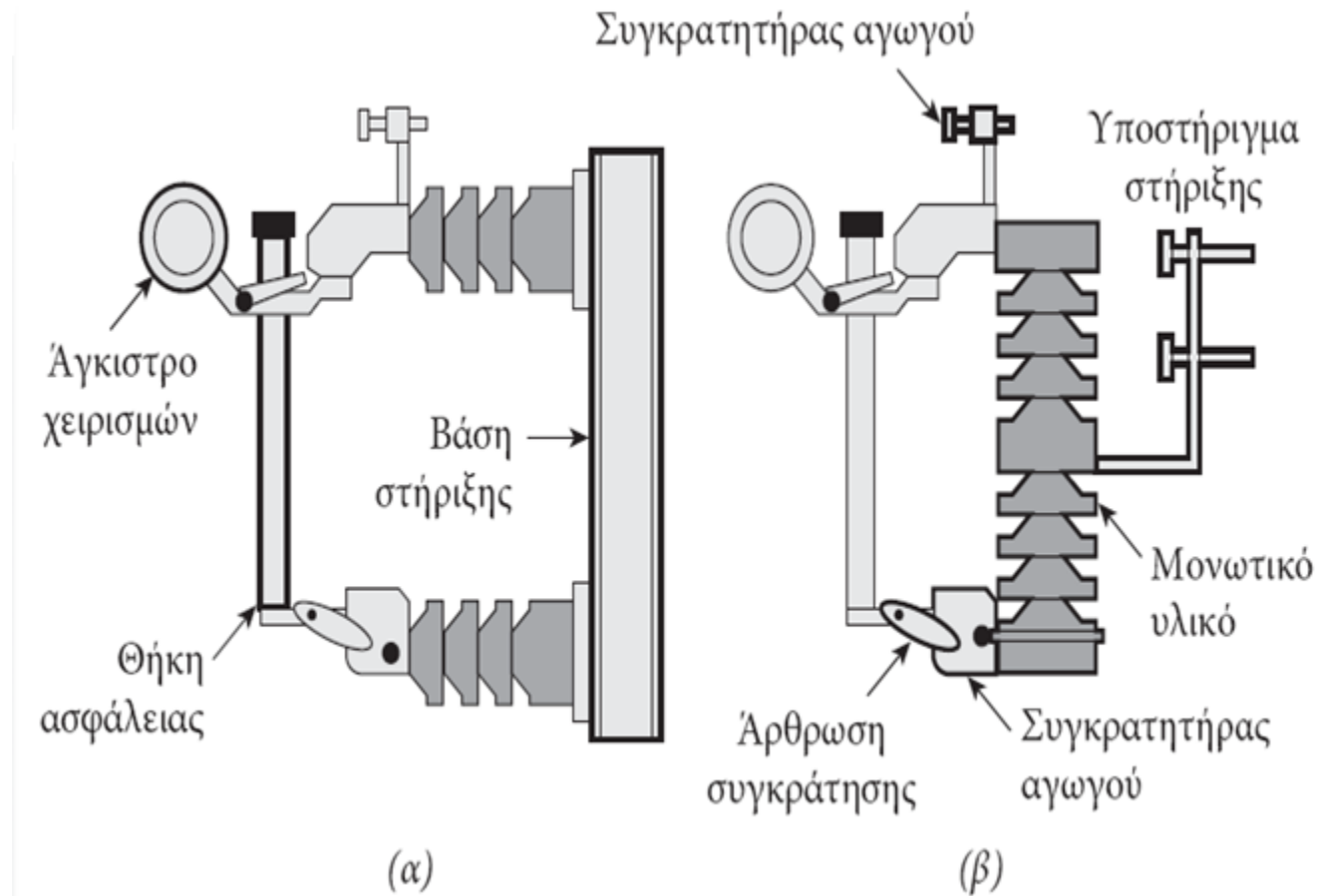


# Χαρακτηριστικά ασφαλειών(1)

- Η ασφάλεια είναι μια «συσκευή προστασίας υπέρτασης που διακόπτει το κύκλωμα με το λιώσιμο του συνδέσμου της, όταν περάσει ρεύμα μεγαλύτερο από το επιτρεπτό ρεύμα συνεχούς λειτουργίας της».
- Ο σύνδεσμος κατασκευάζεται από διαφορετικά αγώγιμα υλικά ή κράματα για να επιτυγχάνει τα επιθυμητά χρόνου-ρεύματος χαρακτηριστικά.
- Ενώ οι ασφάλειες χρησιμοποιούνται σε δίκτυα μέχρι 200 KV, η συνήθης χρήση τους είναι στα δίκτυα διανομής (μέχρι 35 KV).
- Οι ασφάλειες διακόπτουν το ρεύμα όταν αυτό διέρχεται από το μηδέν και πρέπει να σβήνουν το τόξο και στη συνέχεια να αντέχουν στα άκρα τους τη μεταβατική υπέρταση.



# Χαρακτηριστικά ασφαλειών(2)



Τυπικές αυτόματες ασφάλειες. α) Για υποσταθμούς. β) Για εναέριες γραμμές.

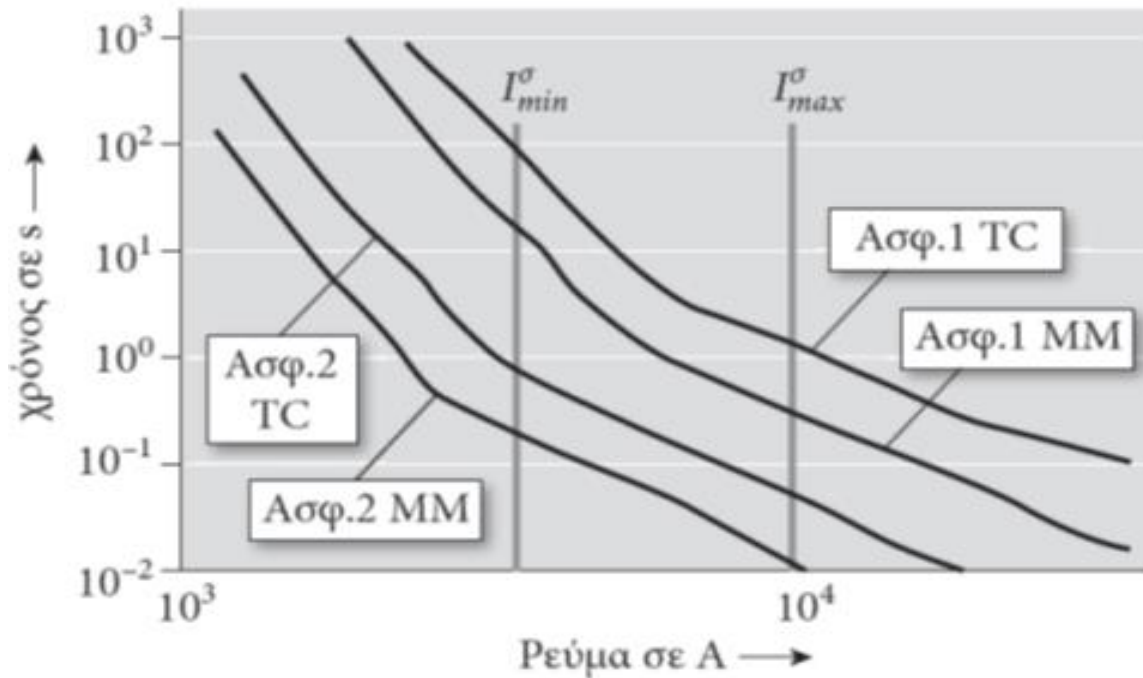
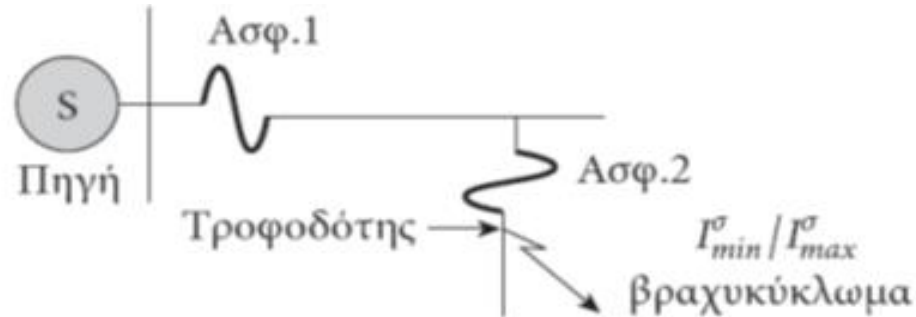


# Χαρακτηριστικά ασφαλειών(3)

- Κάθε ασφάλεια έχει δύο χαρακτηριστικές:
- **(α)** Ελάχιστου χρόνου λειτουργίας (Minimum Melting (**MM**)), για λειτουργία με χαμηλή τάση και χωρίς τόξο, οπότε είναι ο χρόνος που η ασφάλεια παθαίνει ζημιά για μια τιμή ρεύματος.
- **(β)** Ολικού (ή μέγιστου) χρόνου εκκαθάρισης (total (or maximum) clearing (**TC**)), για λειτουργία σε υψηλή τάση (τυπικά 7.2 KV), οπότε απαιτεί σβέση και του τόξου για τη διακοπή του ρεύματος και δίνει το χρόνο λειτουργίας για μια τιμή του ρεύματος.
- Η χαρακτηριστική **TC** μιας ασφάλειας χρησιμοποιείται για τη συνεργασία της με τη χαρακτηριστική **MM** μιας μεγαλύτερης ασφάλειας προς τη πλευρά της πηγής και η χαρακτηριστική **MM** της ίδιας ασφάλειας χρησιμοποιείται για τη συνεργασία της με τη χαρακτηριστική **TC** μια μικρότερης ασφάλειας προς τη πλευρά του φορτίου.



# Χαρακτηριστικά ασφαλειών(4)



Συνεργασία ασφάλειας-ασφάλειας.

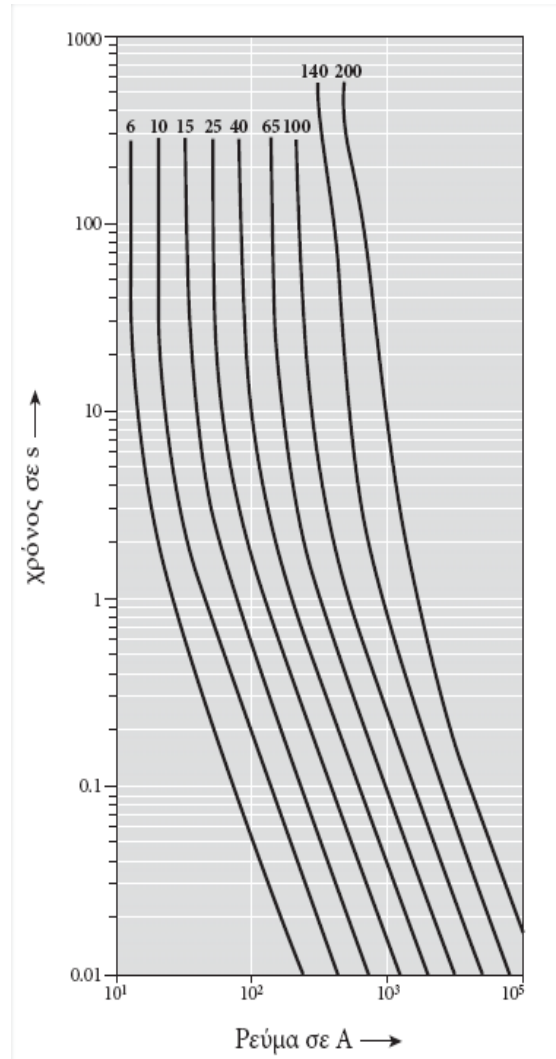


# Χαρακτηριστικά ασφαλειών(5)

- Για την προστασία ακτινωτών γραμμών με ασφάλειες θα πρέπει ο χρόνος λειτουργίας της ασφάλειας που είναι πλησιέστερα στο βραχυκύκλωμα να μην ξεπερνάει το 75% του χρόνου λειτουργίας της αμέσως μετά πλησιέστερης ασφάλειας.
- Οι πρακτικοί κανόνες που ακολουθούμε στην επιλογή των ασφαλειών για να αποφεύγεται η αλλοιώσει των χαρακτηριστικών των συνδέσμων τους κατά την υπερφόρτιση είναι:
- **(1)** Η προδιαγραφή του ρεύματος της ασφάλειας να είναι τουλάχιστον ίση με το αναμενόμενο μέγιστο ρεύμα φορτίου διάρκειας 5 s.
- **(2)** Για μετασχηματιστές το ρεύμα μαγνήτισης εισροής τους δεν πρέπει να ξεπερνά το 75% του προδιαγεγραμμένου ρεύματος της ασφάλειας.
- **(3)** Η ασφάλεια πρέπει να μη λειτουργεί όταν δέχεται για 100 ms ένα ρεύμα ίσο με 12 φορές το ονομαστικό ρεύμα πρωτεύοντος του μετασχηματιστή και αυτή η συνθήκη ελέγχεται ότι ισχύει από τη χαρακτηριστική χρόνου-ρεύματος της ασφάλειας.



# Χαρακτηριστικά ασφαλειών(6)



Χαρακτηριστικές χρόνου-ρεύματος (MM) ασφαλειών.



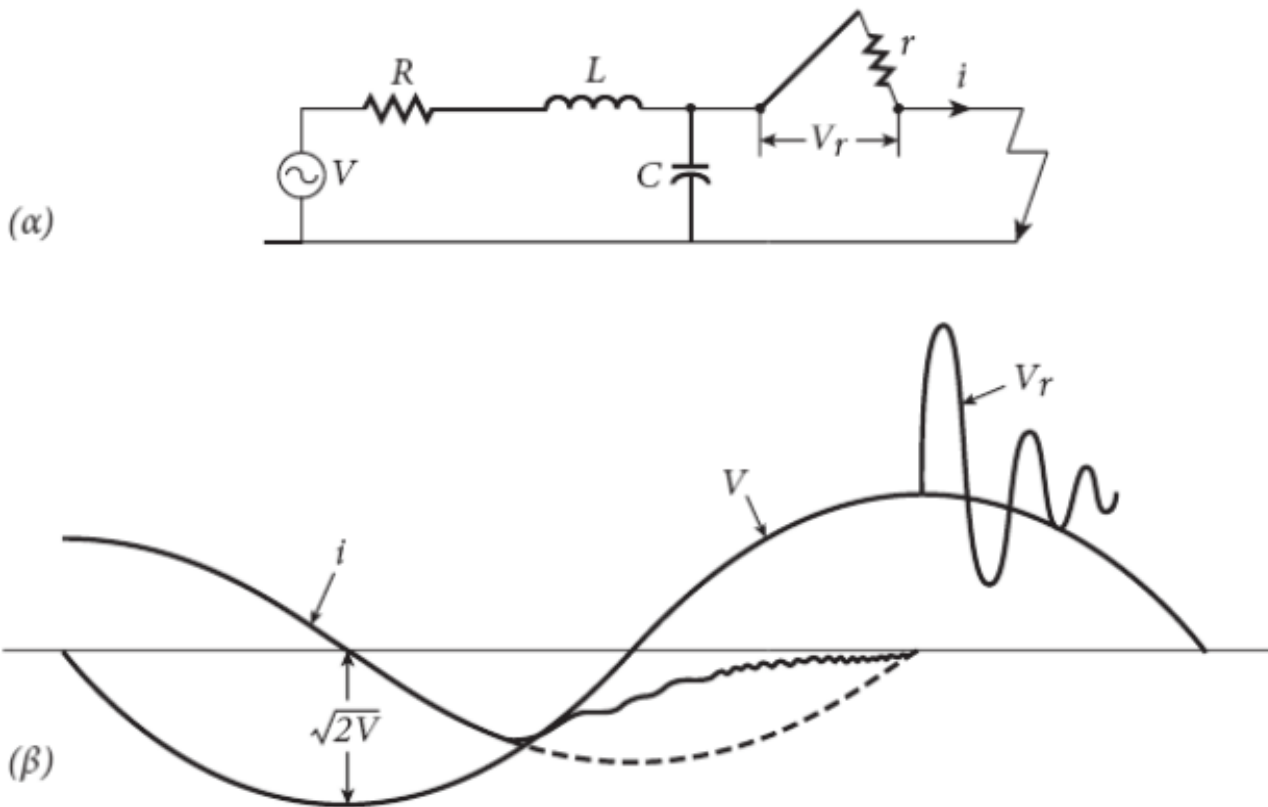
# Διακόπτες ισχύος(1)

- Οι Διακόπτες Ισχύος (ΔΙ) συνδέουν και αποσυνδέουν κυκλώματα των ΣΗΕ σε συνθήκες κανονικής φόρτισης αλλά και βραχυκυκλώματος.
- Για να γίνει η διακοπή του ρεύματος βραχυκυκλώματος τουλάχιστον μία από τις επαφές του ΔΙ απομακρύνεται γρήγορα από την άλλη, ενώ κατά την απομάκρυνση δημιουργείται τόξο που πρέπει να σβήσουμε.
- Για να επιτύχουμε το σβήσιμο οι επαφές τοποθετούνται μέσα σε ρευστό υλικό (αέρας υπό πίεση ή όχι, ορυκτό λάδι, υψηλό κενό αέρος και εξαφθορικό θείο (SF<sub>6</sub>)) που στόχο έχει να επιμηκύνει και να ψύξει το τόξο.
- Αμέσως μετά τη διακοπή του ρεύματος μπορούν να δημιουργηθούν επικίνδυνες υπερτάσεις, που είναι δυνατόν να προκαλέσουν επανέναρξη του τόξου και αποτυχία της λειτουργίας του ΔΙ.





# Διακόπτες ισχύος(2)

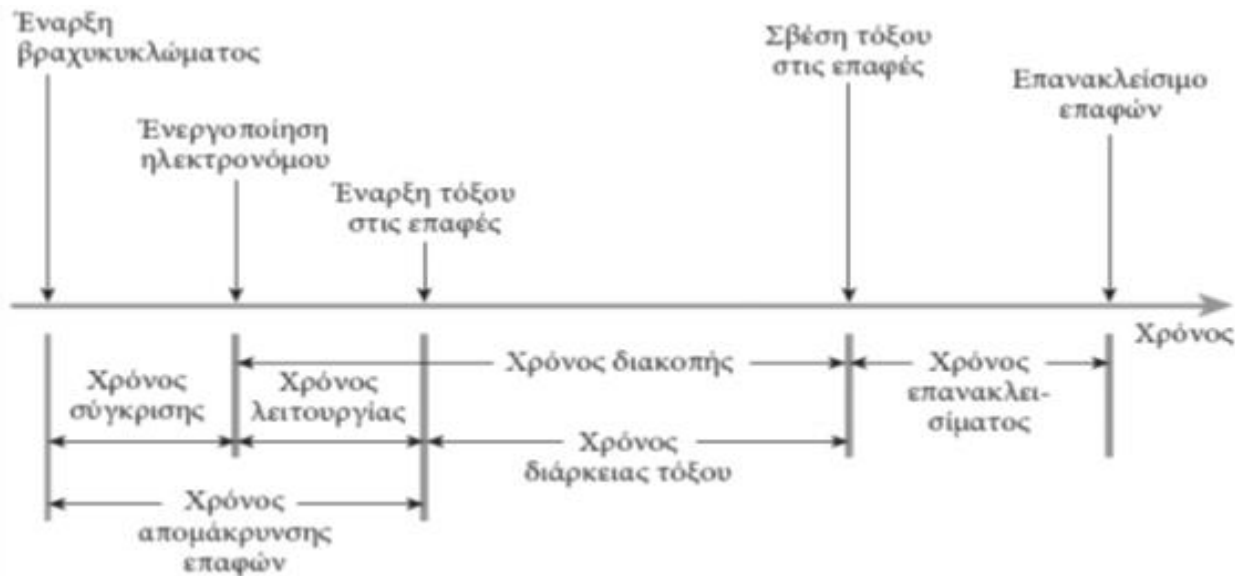


Μεταβατική τάση αποκατάστασης  $V_r$  για βραχυκύκλωμα κοντά στο διακόπτη.



# Αυτόματοι διακόπτες με επανακλείσιμο(1)

- Οι αυτόματοι διακόπτες με επανακλείσιμο ή επαναληπτικοί διακόπτες (automatic circuit reclosers or reclosers) είναι αυτοελεγχόμενες συσκευές για την αυτόματη αποσύνδεση και επανασύνδεση συνήθως δικτύων διανομής σε συνθήκες βραχυκυκλώματος.



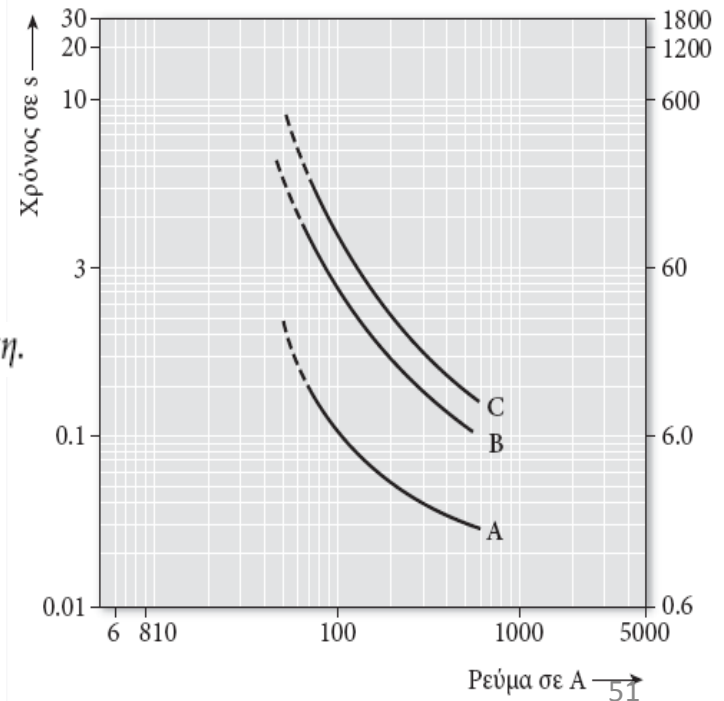
Ορισμός χρόνων λειτουργίας επαναληπτικού διακόπτη.



# Αυτόματοι διακόπτες με επανακλείσιμο(2)

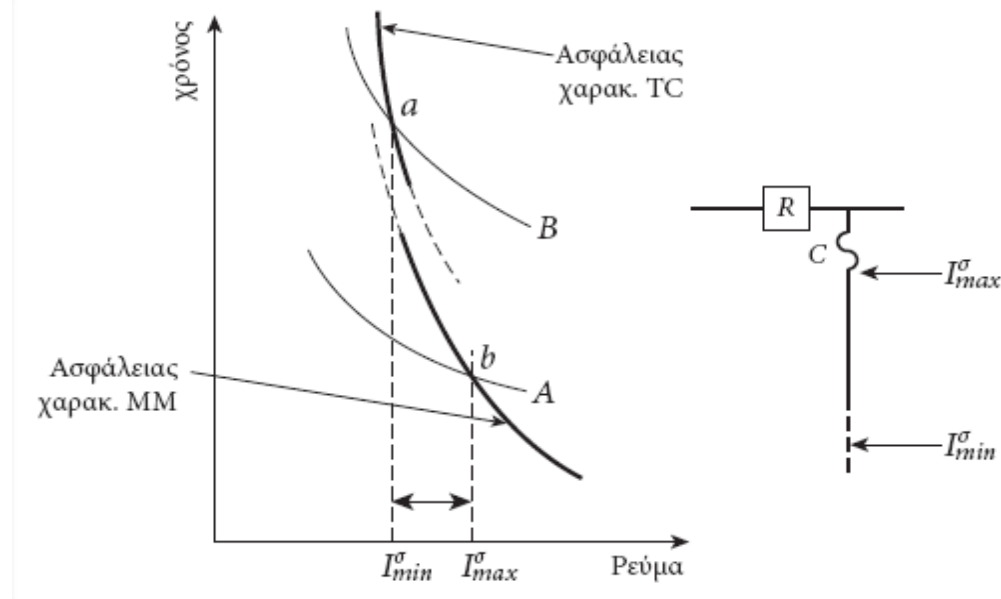
- Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους TC περιλαμβάνουν:
- Μία χαρακτηριστική στιγμιαίας ή γρήγορης λειτουργίας (καμπύλη A).
- Μία χαρακτηριστική με καθυστέρηση, το μέγεθος της οποίας επιλέγουμε εμείς (καμπύλη π.χ. B ή C).

*Χαρακτηριστικές λειτουργίας επαναληπτικού διακόπτη.*



# Αυτόματοι διακόπτες με επανακλείσιμο(3)

- Οι επαναληπτικοί διακόπτες εκτελούν συνήθως δύο λειτουργίες με τη γρήγορη χαρακτηριστική και κατόπιν ακολουθούν την αργή χαρακτηριστική.
- Συνεργάζονται με τις ασφάλειες με στόχο τα παροδικά σφάλματα να διακόπτονται από αυτούς και αν τελικά το σφάλμα είναι μόνιμο η εκκαθάριση του να γίνεται από την ασφάλεια (70-80% των βραχυκυκλωμάτων στη διανομή είναι παροδικά).

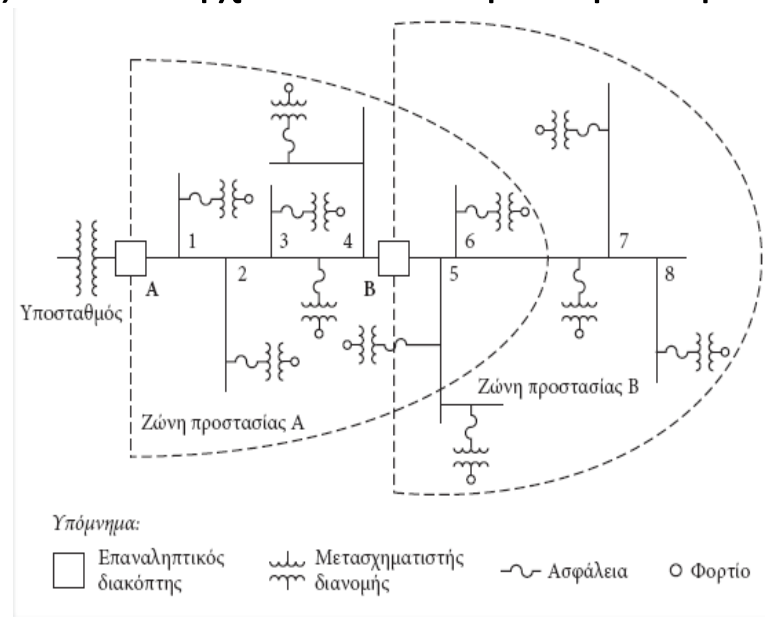


Συνεργασία επαναληπτικού διακόπτη (R) και ασφάλειας (C).



# Προστασία ακτινωτών γραμμών διανομής

- Για την προστασία τους χρησιμοποιούμε ηλεκτρονόμους υπερέντασης, επαναληπτικούς διακόπτες και ασφάλειες.
- Για να επιτύχουμε μια λογική συνέχεια τροφοδοσίας μερικές φορές είναι απαραίτητο να «τμηματοποιούμε» την προστασία, όπως φαίνεται με τις ζώνες A και B.
- Σε υποσταθμούς διανομής μεγαλύτερους από 2.4 MVA χρησιμοποιούμε διακόπτες ισχύος που ελέγχονται από ηλεκτρονόμους υπερέντασης.



Δίκτυο διανομής με τις συσκευές προστασίας.



# Προστασία βραχυκυκλωμάτων της(1)

- Στα ΣΗΕ συνήθως χρησιμοποιούμε Δ/Υ μετασχηματιστές με το τύλιγμα Δ προς την πλευρά της παραγωγής και το Υ προς τη πλευρά του δικτύου γειωμένο και με γειώσεις κατά μήκος των γραμμών.
- Υπό αυτές τις συνθήκες κάθε βραχυκύκλωμα που περιλαμβάνει τη γη τροφοδοτείται από ρεύματα μηδενικής ακολουθίας σύμφωνα με την εξίσωση:
- $I^{\sigma} = I_a + I_b + I_c = 3I_o$
- Συνεπώς οποιοδήποτε βραχυκύκλωμα φάσης με γη μπορεί να εντοπισθεί αν τροφοδοτήσουμε έναν ηλεκτρονόμο υπέρτάσης με το άθροισμα των ρευμάτων στις τρεις φάσεις.



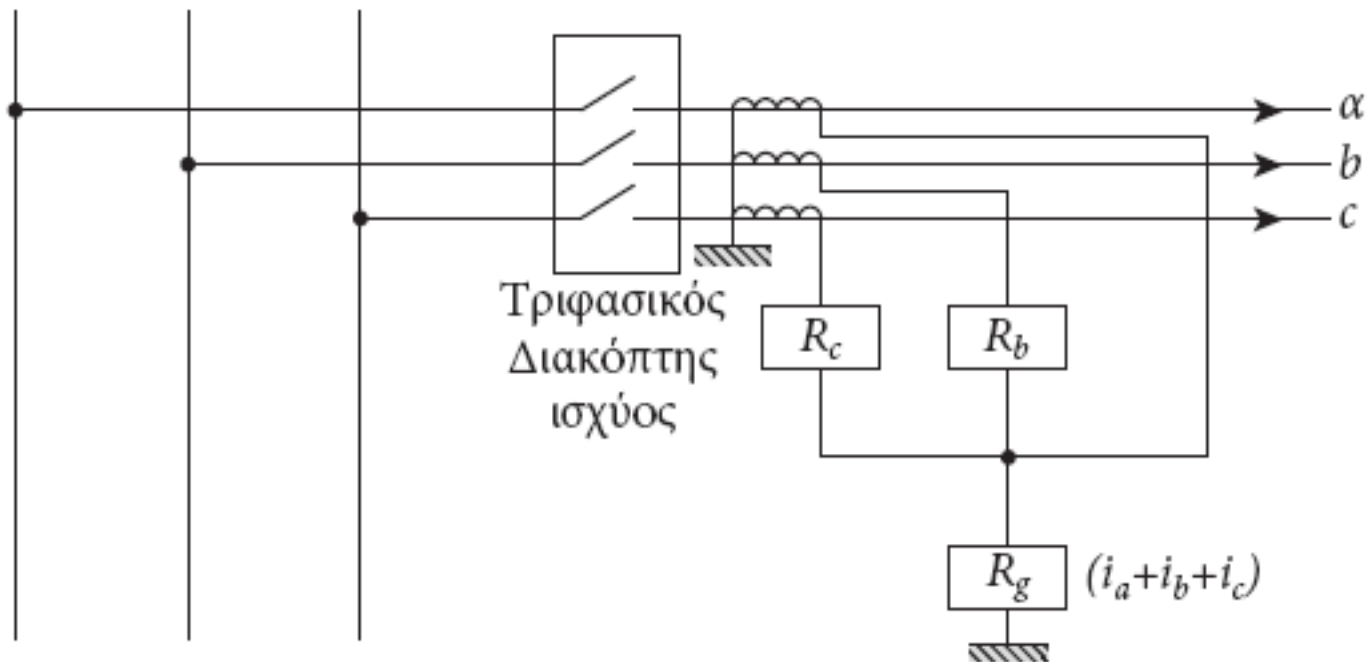
# Προστασία βραχυκυκλωμάτων γης(2)

- Αυτό το ρεύμα έχει σημαντική τιμή σε συνθήκες βραχυκυκλώματος, ενώ σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας και για οποιαδήποτε φόρτιση είναι σχεδόν μηδέν
- Αυτό μας επιτρέπει να ρυθμίσουμε το επίπεδο επιλογής του ηλεκτρονόμου στο 20% ή και μικρότερο του ονομαστικού ρεύματος του δικτύου που προστατεύουμε.
- Αυτό είναι απαραίτητο γιατί το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας είναι πολύ μικρότερο των ρευμάτων θετικής ακολουθίας.



# Προστασία βραχυκυκλωμάτων γης(3)

- Στο Σχήμα παρουσιάζεται η τυπική συνδεσμολογία ηλεκτρονόμων υπέρτάσης για να παρέχουν προστασία γραμμών στους 10 τύπους βραχυκυκλωμάτων (7 τύπους φασικών βραχυκυκλωμάτων και 3 τύπους βραχυκυκλωμάτων γης).



Σύνδεση ηλεκτρονόμων υπέρτάσης για φασικά και γης βραχυκυκλώματα.





# 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.

