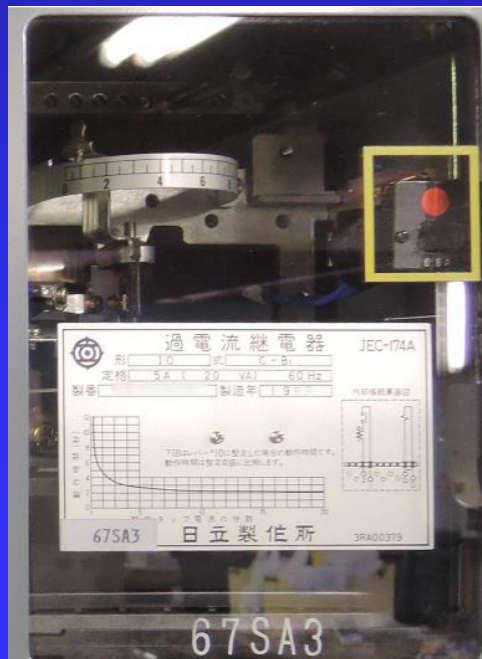


ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΗΕ

Ενότητα 5

Προστασία γραμμών με ηλεκτρονόμους υπέρ έντασης και ασφάλειες



Εισαγωγή – προστασία γραμμών

- Οι γραμμές μεταφοράς, ανάλογα με τις απαιτήσεις, προστατεύονται με ηλεκτρονόμους υπερέντασης, ηλεκτρονόμους απόστασης και ενιαία προστασία.
- Η προστασία με ηλεκτρονόμους υπερέντασης είναι η απλούστερη και φθηνότερη από όλες.
- Είναι όμως η πιο δύσκολη στην εφαρμογή και αυτή που χρειάζεται επαναρίθμηση πιο γρήγορα από τις άλλες ή ακόμα και αντικατάσταση καθώς μεταβάλλεται το ηλεκτρικό δίκτυο.
- Χρησιμοποιείται κυρίως σε γραμμές διανομής.
- Στην πράξη χρησιμοποιούνται:
 - ◆ 2 ή 3 ηλεκτρονόμοι υπερέντασης για προστασία από βραχυκυκλώματα μεταξύ φάσεων και
 - ◆ 1 ηλεκτρονόμος υπερέντασης για βραχυκυκλώματα μίας φάσης με τη γη.

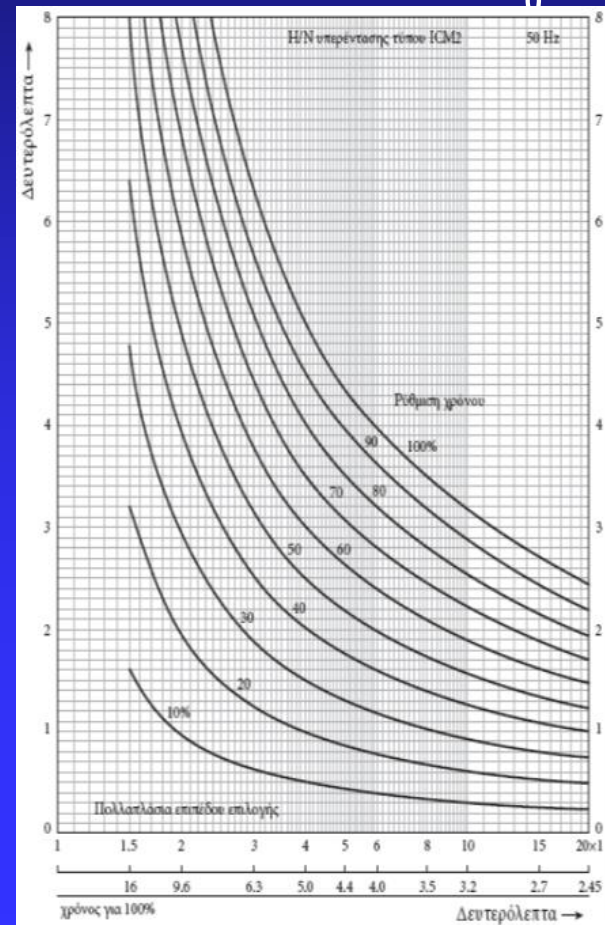
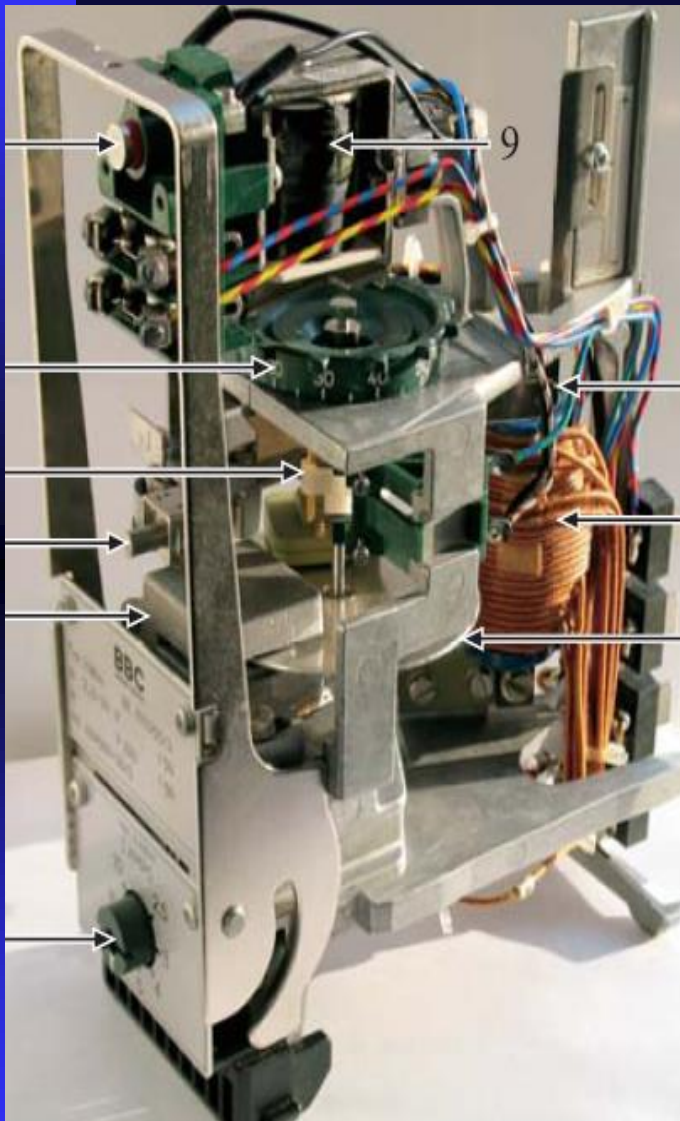
- Όταν για κάποια εφαρμογή αποδεικνύεται ότι είναι ανεπαρκής η προστασία υπερέντασης, τότε συχνά η επόμενη επιλογή είναι η **προστασία απόστασης**.
- Η προστασία απόστασης είναι συνηθισμένη για προστασία φάσεων και γης γραμμών μεταφοράς, όταν μια μικρή χρονική καθυστέρηση (;) στην εκκαθάριση των βραχυκυκλωμάτων 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.
- Κατασκευάζονται ηλεκτρονόμοι απόστασης με μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών, που είναι ένα πλεονέκτημα όταν αναζητούμε την καταλληλότερη συσκευή για μια συγκεκριμένη εφαρμογή προστασίας.

- Η **ενιαία προστασία** εξασφαλίζει την καλύτερη επιλεκτικότητα και ταχύτητα εκκαθάρισης βραχυκυκλωμάτων, αλλά δεν μπορεί να παρέχει βοηθητική προστασία.
- Είναι η πιο δαπανηρή.
- 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 ηλεκτρ. υπερέντασης

Η ροπή περιστροφής που ασκείται στο δίσκο είναι ανάλογη των αμπεροστροφών του πηνίου λειτουργίας.

Για ένα συγκεκριμένο αριθμό αμπεροστροφών γίνεται μεγαλύτερη από τη ροπή αναχαίτισης, που ασκεί στο δίσκο ένα ελατήριο.



Εκπαιδευτικός ηλεκτρονόμος υπερέντασης

Ρύθμιση επιπέδου 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:
 - ◆ α) με ρύθμιση του αρχικού διάκενου αέρα ή
 - ◆ β) με ρύθμιση της τάσης του ελατήριου αναχαίτισης ή
 - ◆ γ) με μεταβλητές λήψεις από το πηνίο διέγερσης.
- Για ηλεκτρονόμους ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής με δρώσα ποσότητα το ρεύμα η ρύθμιση γίνεται με μεταβλητές λήψεις από το πηνίο διέγερσης.
- Για ηλεκτρονόμους ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής με δρώσα ποσότητα την τάση η ρύθμιση γίνεται με μεταβλητές λήψεις από εν σειρά αντιστάσεις ή αυτομετασχηματιστές.

- Με τη χρήση μίας γέφυρας μεταβάλλουμε το ονομαστικό επίπεδο επιλογής του ηλεκτρονόμου:
 - ◆ α) από 25%-200% με βήματα 25% για φασικούς ηλεκτρονόμους υπερέντασης ,
 - ◆ β) από 20%-80% με βήματα 10% για ηλεκτρονόμους βραχυκυκλώματος γης.
- π.χ. αν τροφοδοτείται από ένα μ.ρ. με λόγο 300/5 και χρησιμοποιήσουμε μία λήψη 50%, το νέο ονομαστικό επίπεδο επιλογής είναι $(50/100) \times 300 = 150$ A για το πρωτεύον και $(50/100) \times 5 = 2.5$ 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).
- Το PSM τοποθετείται στον άξονα των τετμημένων (x) στα χαρακτηριστικά λειτουργίας 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 μέγιστο ρεύμα φορτίου δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 85% του επίπεδου επιλογής που θα επιλέξουμε.⁷

Ρύθμιση του χρόνου λειτουργίας

- Ο χρόνος λειτουργίας των επαγωγικών ηλεκτρονόμων αντίστροφου 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 με έναν περιστροφικό διακόπτη *ρύθμισης χρόνου* σε μία κλίμακα.
- Στην Αμερική η ρύθμιση του χρόνου (Time Multiplier Setting - TMS) γίνεται σε κλίμακα 0-10 (10=100%) ίσων υποδιαιρέσεων, ανά 0.025.
- Στην Αγγλία χρησιμοποιείται κλίμακα από 0-1 (1=100%). Οι υποδιαιρέσεις είναι έτσι τοποθετημένες, ώστε, αν γνωρίζουμε την καμπύλη λειτουργίας για την υποδιαίρεση 1, οι καμπύλες για τις άλλες υποδιαιρέσεις προκύπτουν από αυτή πολλαπλασιάζοντας με την υποδιαίρεση που χρησιμοποιείται.

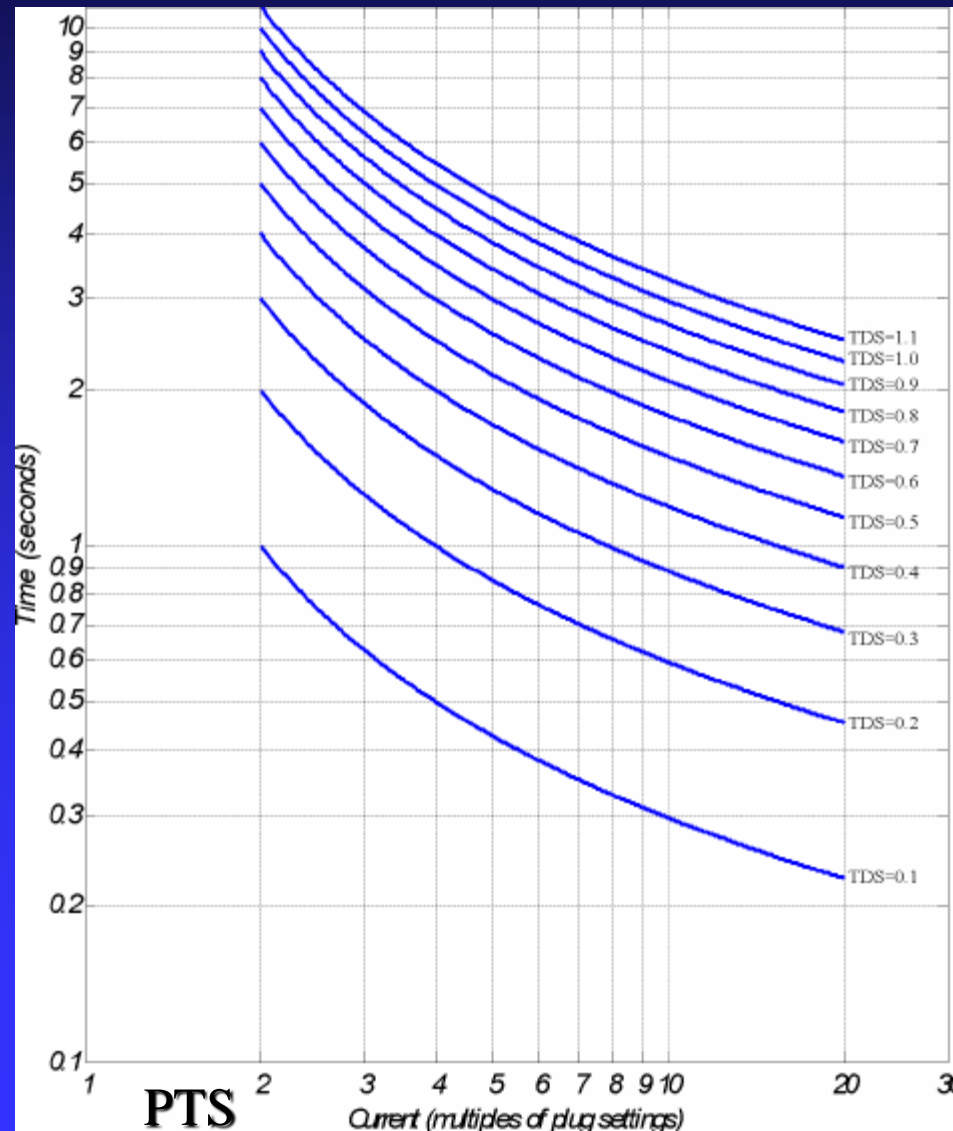
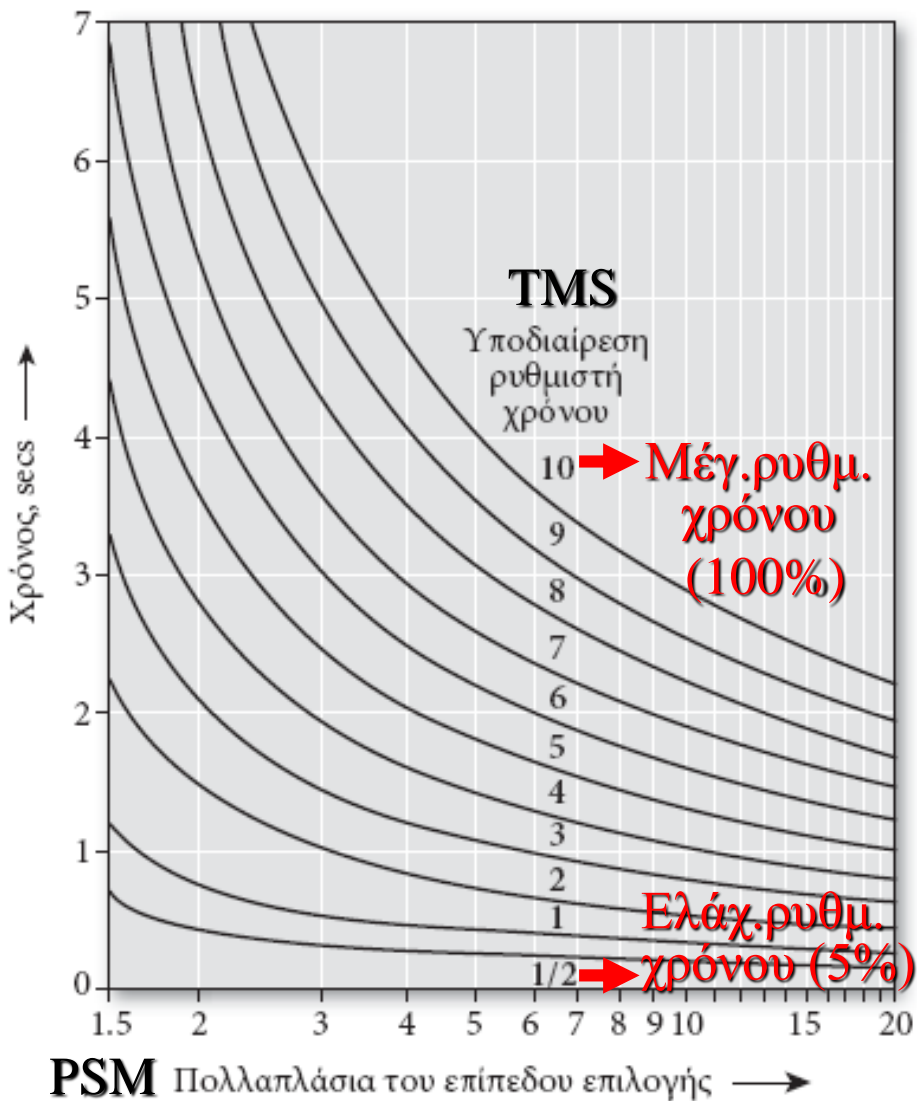
Ορολογία ρύθμισης ηλεκτρονόμων

TMS: Time Multiplier Setting

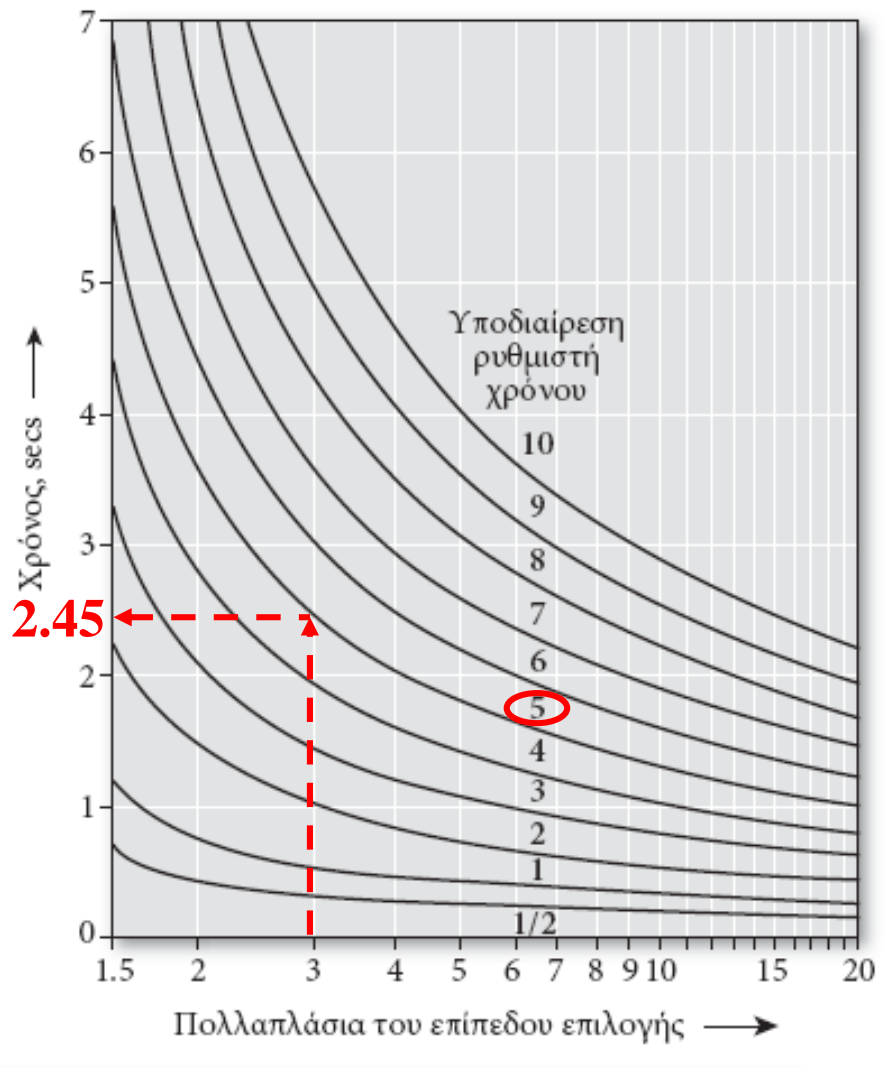
PSM: Plug Setting Multiplier

TDS: Time Dial Setting

PTS: Pickup Tap Setting



Χρονικά χαρακτηριστικά



- Από τις καμπύλες μπορούμε να βρούμε τη μετακίνηση του δίσκου, αν εφαρμόσουμε ένα σταθερό ρεύμα για κάποιο χρόνο.
- Π.χ. αν ο ρυθμιστής χρόνου είναι στο 5 (δηλαδή 50% του max) 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 μόνο για 1.5 s, τότε ο δίσκος θα διανύσει το $1.5/2.45=0.612=61.2\%$ της συνολικής διαδρομής για να κλίσει τις επαφές.

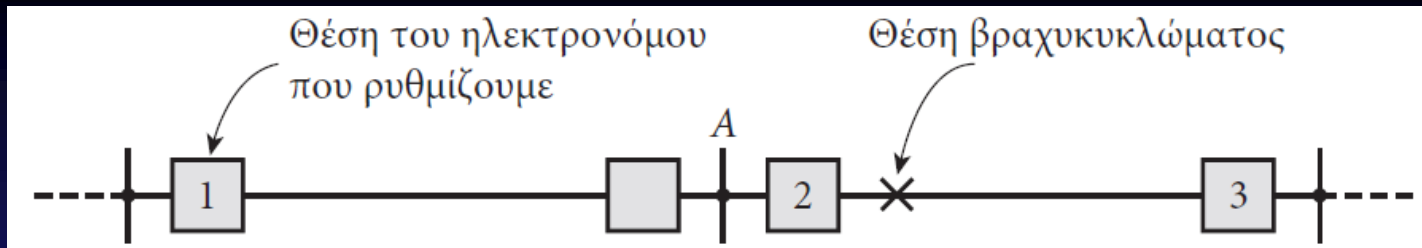
Σύνολο καμπυλών αντίστροφου χρόνου ενός ηλεκτρονόμου επαγωγικού τύπου.

Για κάθε υποδιαίρεση του ρυθμιστή χρόνου TMS παίρνουμε μία καμπύλη.

Διαδικασία ρύθμισης

ηλεκτρονόμου αντιστρόφου χρόνου

- Η πρώτη ενέργεια είναι να επιλέξουμε το επίπεδο επιλογής έτσι ώστε:
 - ◆ α) 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 που βρίσκονται πιο κοντά στο βραχυκύκλωμα.
- Έτσι η ρύθμιση τους 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/φόρτιση (βλ. σχήμα επόμενης διαφάνειας).



Θέση 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 παραπάνω σχήματος, για να επιτύχουμε επιλεκτικότητα πρέπει για μέγιστη φόρτιση να ισχύει η σχέση:

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

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.

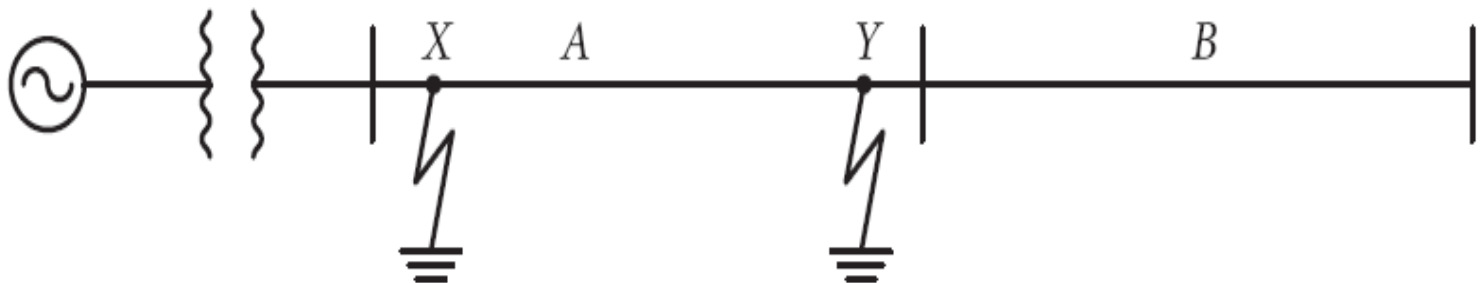
O_1 = χρόνος που οφείλεται στην αδράνεια του δίσκου του ηλεκτρονόμου 1 (overtravel).

F = ένας χρόνος ασφάλειας.

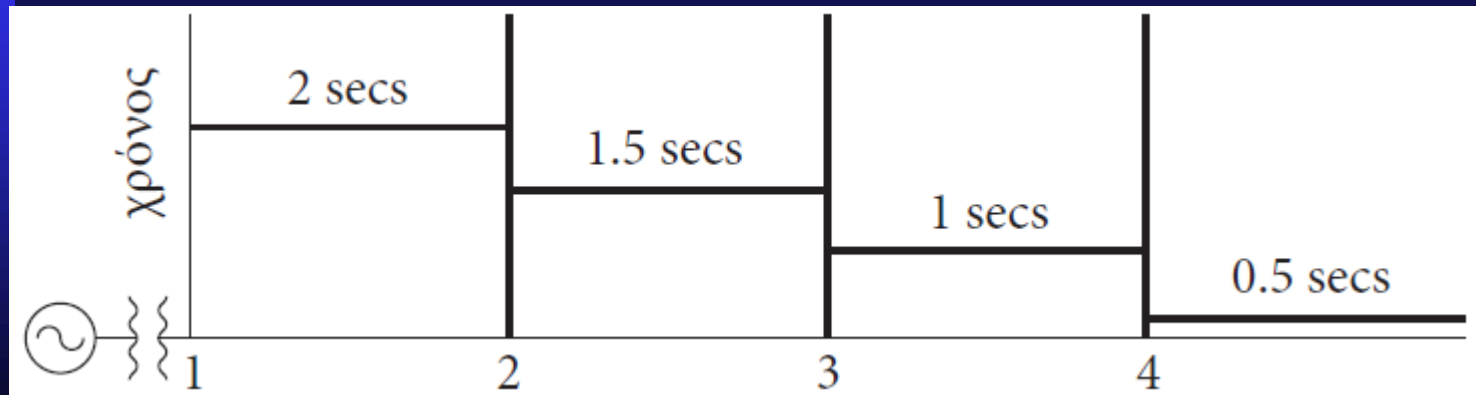
Ο χρόνος O_1 είναι διαφορετικός για κάθε τύπο ηλεκτρονόμου υπέρεντασης αλλά ένας μέσος χρόνος για το $O_1 + F$ είναι της τάξης 0.2-0.3 s.

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 (δεν μπορούμε να αξιοποιήσουμε τα χαρακτηριστικά των ηλεκτρονόμων υπερέντασης! Γιατί;).
 - ◆ β) Το ρεύμα βραχυκυκλώματος μεταβάλλεται σχετικά πάρα πολύ μεταξύ ελάχιστης και μέγιστης φόρτισης του συστήματος και είναι οικονομικότερη η προστασία με ηλεκτρονόμους ορισμένου χρόνου (στην ελάχιστη φόρτιση η εκκαθάριση των βραχυκυκλωμάτων με ηλεκτρονόμους υπερέντασης γίνεται απαράδεκτα αργή! Γιατί;).



Ρύθμιση ηλεκτρονόμων ρεύματος ορισμένου χρόνου

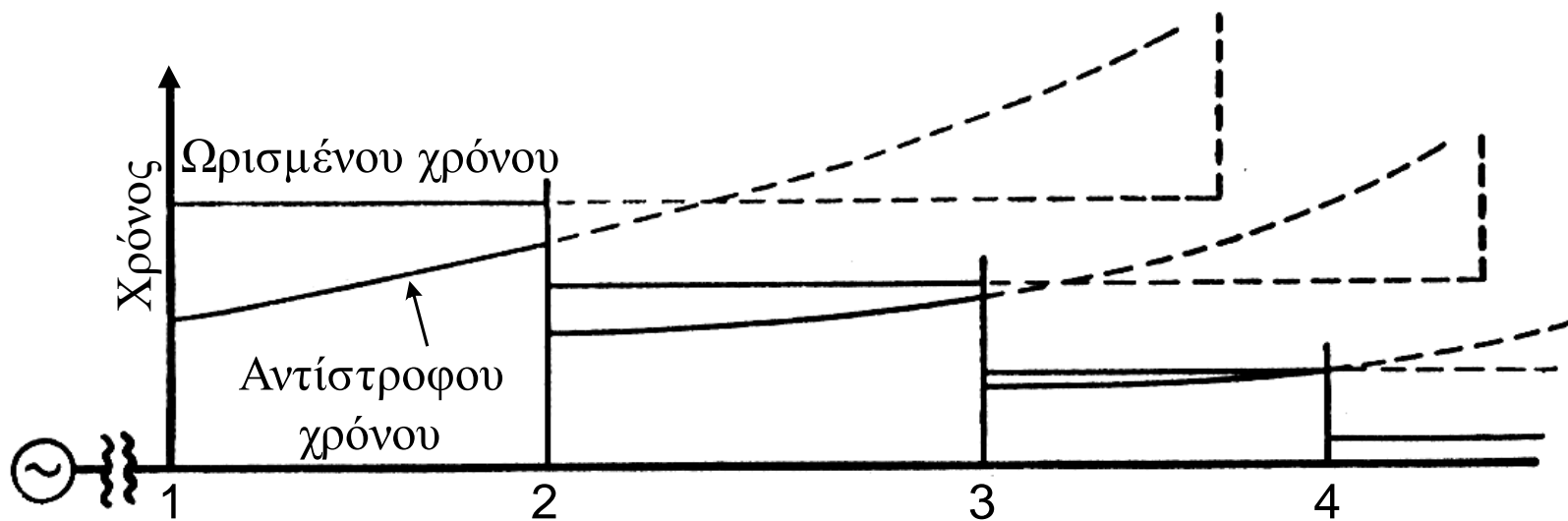


Ρύθμιση χρόνου σε ακτινωτά κυκλώματα.

- 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 αντιστρόφου χρόνου ακτινικών γραμμών

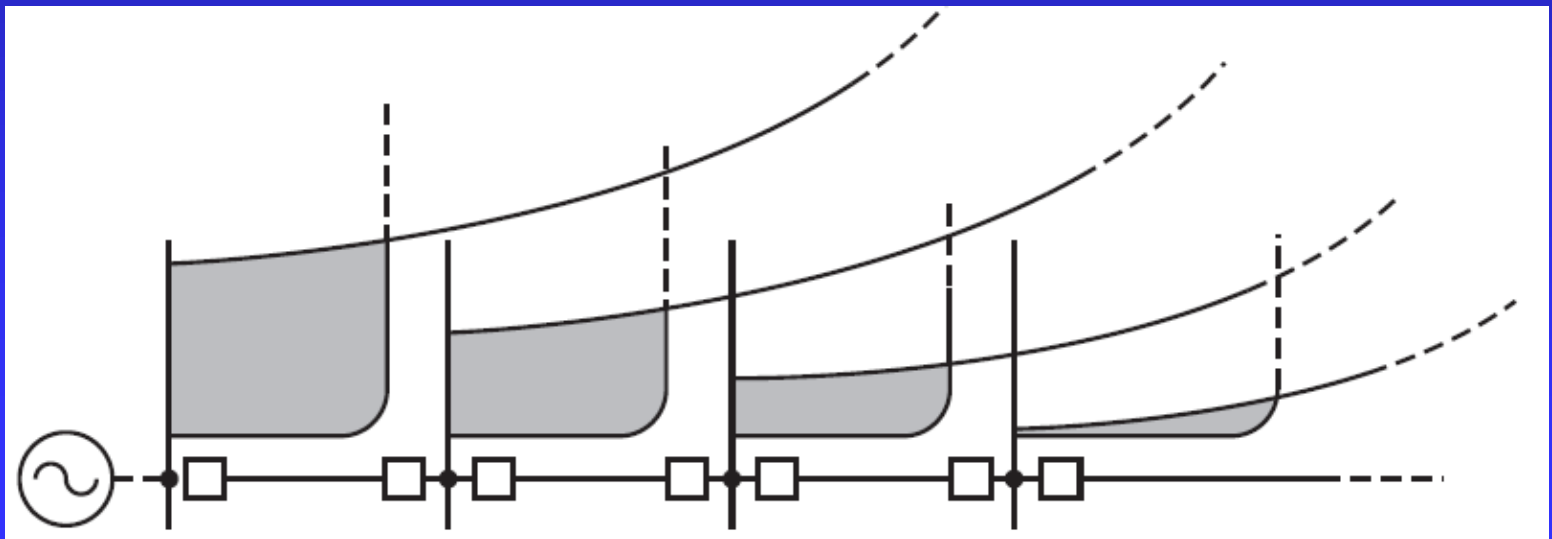
- Όταν η αντίσταση μεταξύ του ηλεκτρονόμου και της γεννήτριας είναι μικρή, συγκρινόμενη με την αντίσταση της γραμμής που προστατεύεται, είναι αποδοτικότερη η χρήση ηλεκτρονόμου αντίστροφου χρόνου:
- υπάρχει σημαντική διαφορά στο ρεύμα βραχυκυκλώματος στην αρχή και το τέλος της γραμμής.



Σύγκριση ηλεκτρονόμων ορισμένου και αντίστροφου χρόνου.

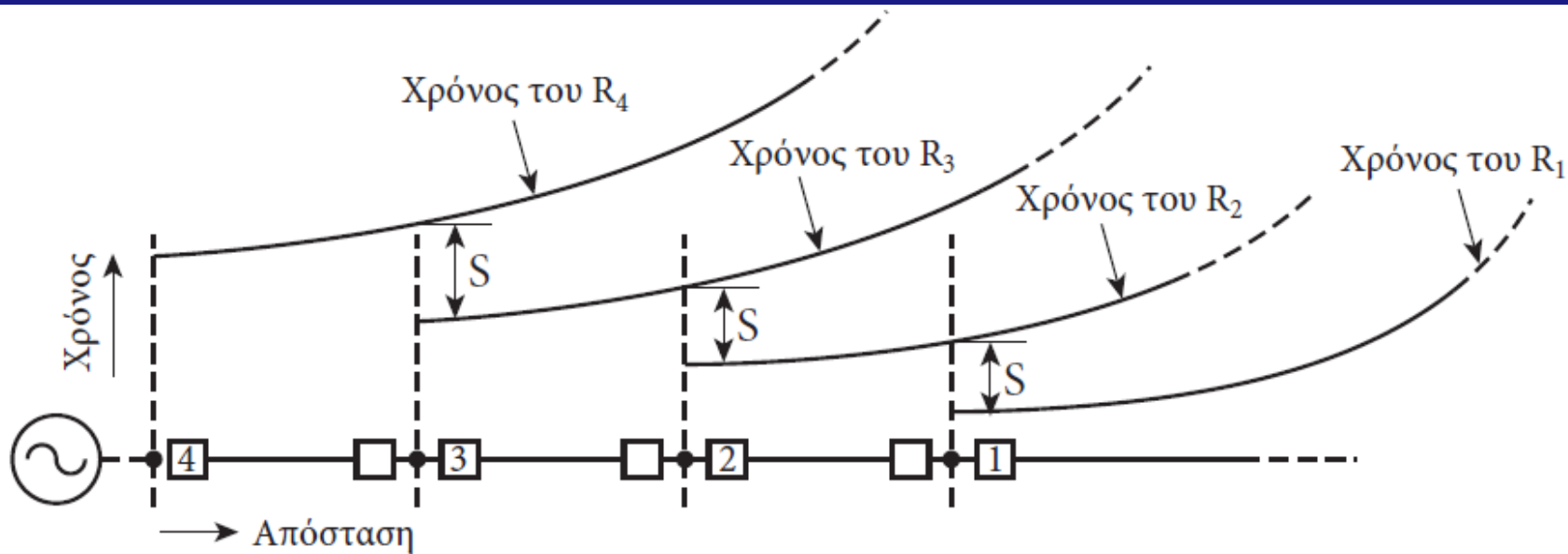
Χρησιμοποίηση στιγμιαίων ηλεκτρονόμων υπερέντασης

- 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.
- Παρακάτω φαίνεται η προστασία μίας ακτινωτής γραμμής με ένα συνδυασμό στιγμιαίων ηλεκτρονόμων και ηλεκτρονόμων αντίστροφου χρόνου.
- Εξασφαλίζει ταχύτητα (κοντά) και επιλεκτικότητα (μακριά).

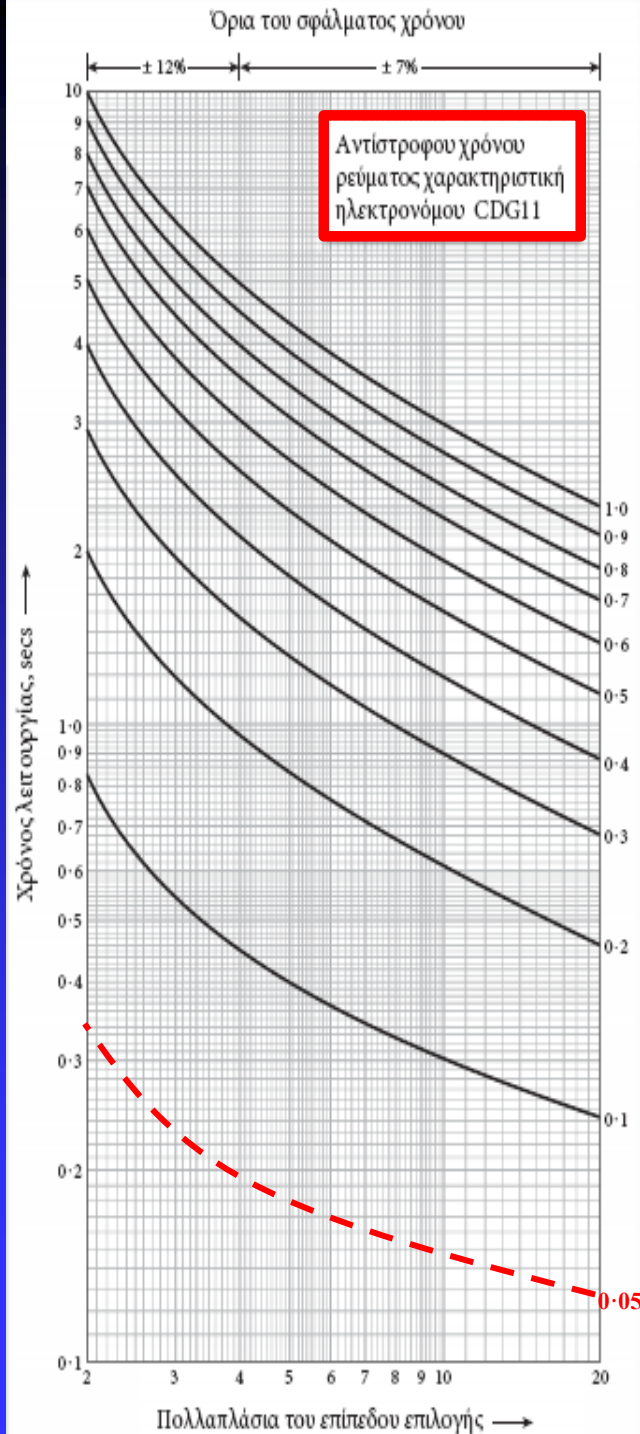


Παράδειγμα ρύθμισης ηλεκτρονόμενων υπερέντασης ακτινωτών γραμμών

- Ζητείται η ρύθμιση των φασικών ηλεκτρονόμενων R_1, R_2, R_3, R_4 για το παρακάτω σύστημα. Δίνονται τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους.
- Να χρησιμοποιηθεί μια χρονική καθυστέρηση για επιλεκτικότητα $S=0.4s$.



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



Οι ηλεκτρονόμοι είναι
όλοι πανομοιότυποι με
αυτά τα χαρακτηριστικά.

R1

R2

R3

t_{R4}

R4

D

A1

B1

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

- Αρχίζουμε με τον ηλεκτρονόμο R_1 : Υπολογίζουμε πρώτα το επίπεδο επιλογής. Το μέγιστο ρεύμα φορτίου δεν πρέπει να ξεπερνά το 85% του επιπέδου επιλογής που θα επιλέξουμε. Έτσι αν ονομάσουμε PS τη λήψη ($PS = \text{Plug Setting}$) θα πρέπει να έχουμε:
 - ◆ $100 \times PS \times 0.85 > 75$ ή $PS > 0.88$
- Επειδή έχουμε ρύθμιση με βήματα ανά 25% για φασικούς ηλεκτρονόμους τελικά επιλέγουμε $PS = 100\%$ 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:
 - ◆ $PSM = 1000/100 = 10$
- Ειδικά για τον (τελευταίο) 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:
 - ◆ $3 \times 0.05 = 0.15$ s (ή αν δίνεται, απευθείας από χαρ. $TMS=0.05$)

- **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

R_1	R_2
100/5	200/5
1000 A	3000 A
75 A	200A

- Το PS για τον R_2 πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

- ◆ $200 \times PS \times 0.85 > 200$ ή $PS > 1.18$

- Άρα $PS = 125\%$ και το νέο επίπεδο επιλογής γίνεται:

- ◆ $200 \times 1.25 = 250$ A για το πρωτεύον.

- 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 υποδιαίρεσεις του TMS είναι ανά 0.025 δεν μπορούμε να πετύχουμε μία τιμή 0.11. Γι' αυτό χρησιμοποιούμε μία τιμή για το $TMS = 0.125$:

- ο χρόνος λειτουργίας του R_2 για επίπεδο σφάλματος 1000 A γίνεται $5 \times 0.125 = 0.625$ s (το 5 προκύπτει από το $TMS = 1$).

■ **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 (προκύπτει από τη χαρακ. $TMS=1$).

■ Άρα ο χρόνος λειτουργίας του R_3 για ένα μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης 3000 A πρέπει να είναι:

◆ $0.35+0.4 = 0.75$ s

■ Το PS για τον R_3 πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

◆ $300 \times PS \times 0.85 > 250$ ή $PS > 0.98$

■ 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:

◆ $TMS=0.75/3=0.25$ (στρογγυλό, οπότε το δεχόμαστε ως έχει!)

R_2	R_3
200/5	300/5
3000 A	4000 A
200A	250 A



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:

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

R_3	R_4
300/5	600/5
4000 A	6000 A
250 A	400 A

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:

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

Το PS για τον R_4 πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$$600 \times PS \times 0.85 > 400 \quad \text{ή} \quad PS > 0.78$$

Άρα $PS = 100\%$ και το ονομαστικό επίπεδο επιλογής για τον R_4 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_4 θα δίνεται από τη σχέση:

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

Χρησιμοποιούμε $TMS = 0.3$
(επόμενο TMS μετά το 0.275)

R_3	R_4
300/5	600/5
4000 A	6000 A
250 A	400 A

Αν θέλουμε να βρούμε το χρόνο λειτουργίας του R_4 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

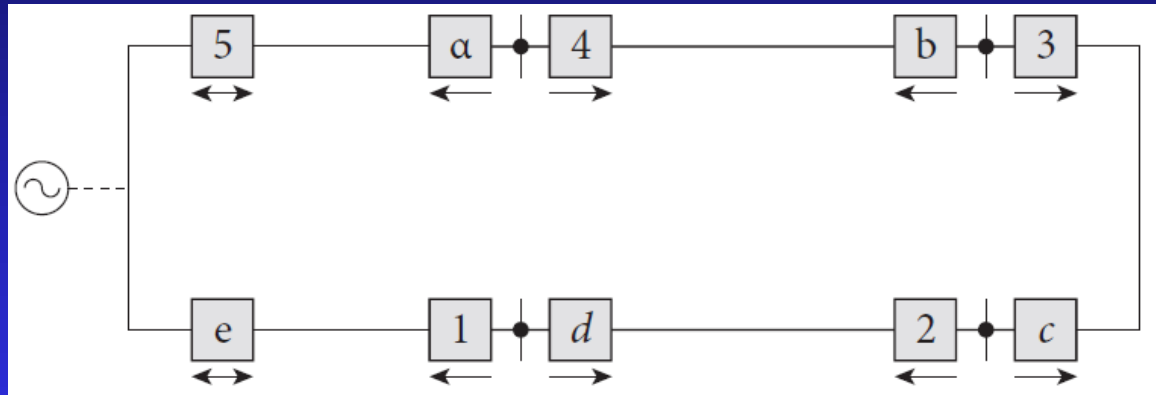
Σύγκριση μονοφασικών και πολυφασικών ηλεκτρονόμων κατεύθυνσης-υπερέντασης

- 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 φάσης με γη.
- 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.

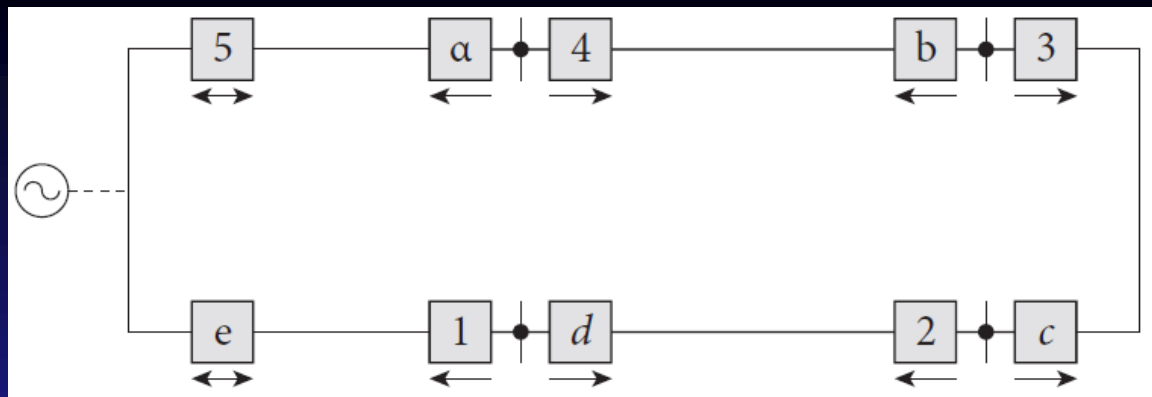
- Το πλεονέκτημα των πολυφασικών ηλεκτρονόμων κατεύθυνσης είναι ότι πολύ σπάνια συμβαίνει σε αυτούς εσφαλμένη λειτουργία, όταν έχουμε μεταβατικά φαινόμενα.
- Σε τέτοιες περιπτώσεις, σε έναν από τους τρεις μονοφασικούς ηλεκτρονόμους μπορεί να εμφανισθεί θετική ροπή και να ενεργοποιηθεί, ενώ στους πολυφασικούς ηλεκτρονόμους κατεύθυνσης αντισταθμίζεται από την αρνητική ροπή των υπολοίπων.

Ρύθμιση ηλεκτρονόμων σε βροχοειδή συστήματα

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



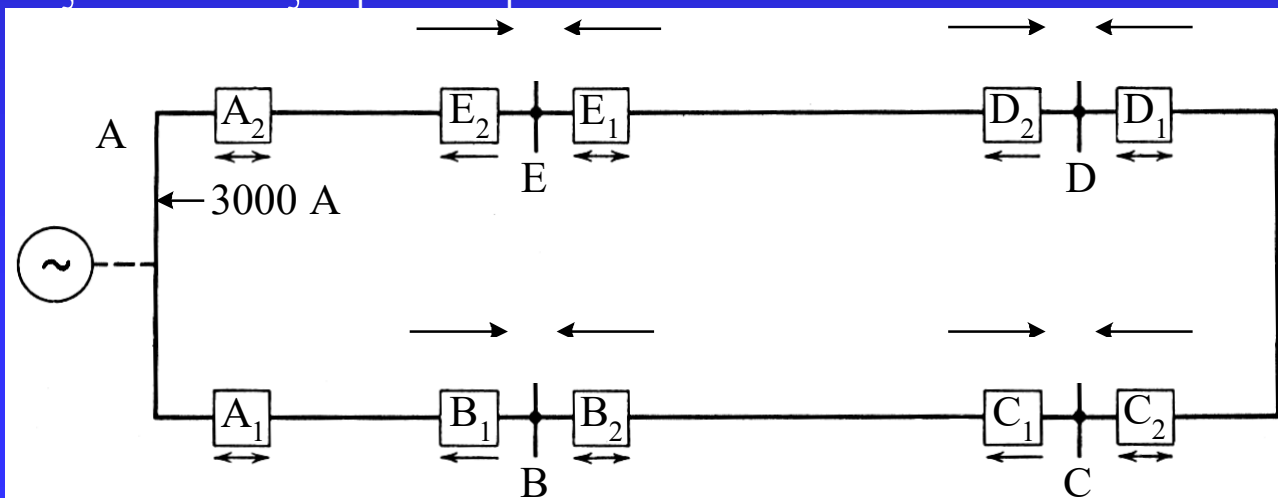
- Την ίδια αρχή εφαρμόζουμε και στο παραπάνω απλό σύστημα βρόχου: κοιτώντας προς τη μία κατεύθυνση γύρω από το βρόχο ρυθμίζουμε τους 1-2-3-4-5 και κοιτώντας προς την αντίθετη κατεύθυνση τους α-b-c-d-e.
- Ο πρώτος ηλεκτρονόμος κάθε ομάδας μπορεί να γίνει όσο γρήγορος θέλουμε, διότι η επιλεκτικότητά του είναι εξασφαλισμένη!
- Ρυθμίζεται όμως έτσι ώστε να δέχεται τουλάχιστον 1,5 φορές το ρεύμα επιλογής του για φασικό βραχυκύκλωμα στο τέλος της γραμμής του, με το τελευταίο διακόπτη της άλλης ομάδας ανοικτό και σε συνθήκες ελάχιστου φορτίου (δηλαδή, μικρότερο δυνατό ρεύμα βραχυκύκλωσης).

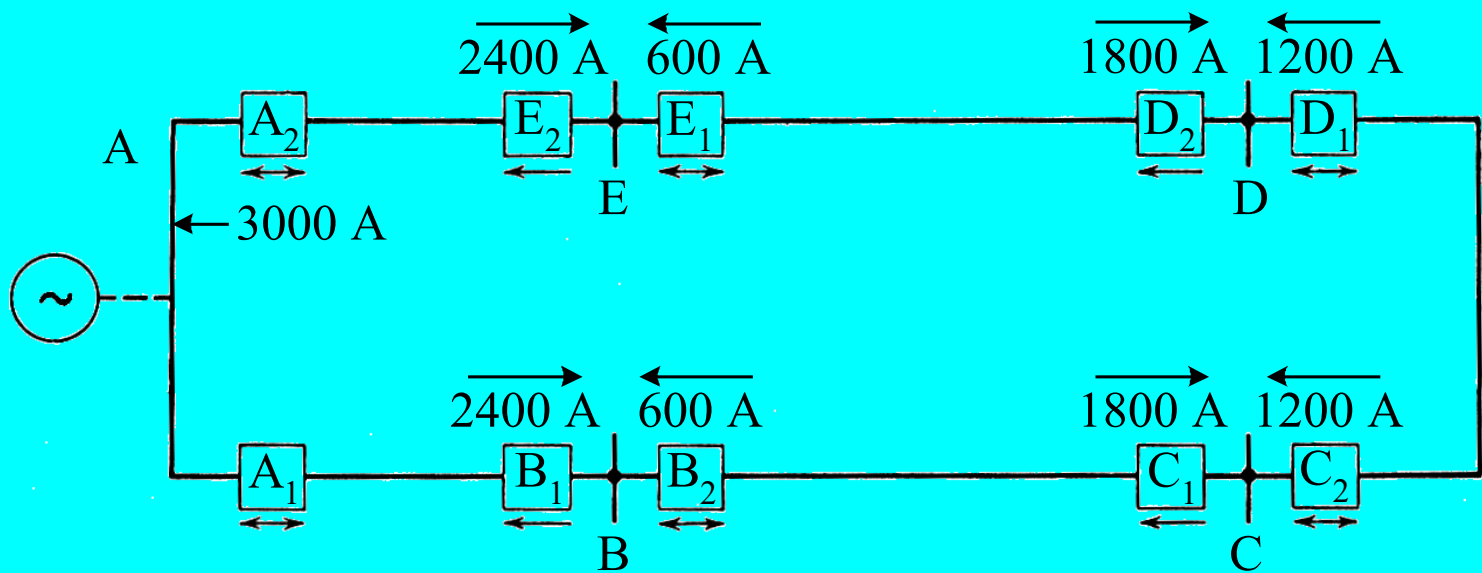


- Σε αυτήν την περίπτωση συνήθως χρησιμοποιούμε ηλεκτρονόμους κατεύθυνσης-υπερέντασης. Τα βέλη δείχνουν τη ρύθμιση της κατεύθυνσης.
- Στις θέσεις 5 και e δεν χρειάζεται ηλεκτρονόμος κατεύθυνσης, επειδή το ρεύμα ρέει πάντα στην ίδια κατεύθυνση αφού είναι πάνω στο ζυγό της γεννήτριας.
- Ακόμα, θα πρέπει να εξετάσουμε τους χρόνους ενεργοποίησης μετά τη ρύθμιση των ηλεκτρονόμων υπερέντασης, διότι ... ίσως να μη χρειάζονται και σε άλλες θέσεις ηλεκτρονόμοι κατεύθυνσης (βλ.παράδειγμα παρακάτω).
- Καθώς αναπτύσσεται το δίκτυο το πρόβλημα γίνεται πιο πολύπλοκο, γιατί :
 - ◆ γεννήτριες υπάρχουν σε διάφορους ζυγούς γύρο από το βρόχο,
 - ◆ βρόχοι γίνονται μέρος άλλων βρόχων.
- Αν μπορεί να προβλέψει κανείς ότι τέτοιες καταστάσεις θα προκύψουν στο άμεσο μέλλον, καλύτερα να προτιμήσει εξαρχής προστασία απόστασης ή ενιαία προστασία.

Παράδειγμα ρύθμισης ηλεκτρονόμων υπερέντασης βροχοειδών συστημάτων

- Με τη χρησιμοποίηση των ηλεκτρονόμων του προηγούμενου παραδείγματος να προστατέψετε το παρακάτω σύστημα.
- 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 σε όλους τους ζυγούς 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.
- Υποθέστε ότι ένα $PS = 100\%$ είναι αρκετό για όλους τους ηλεκτρονόμους.
- Να υπολογίσετε το χρόνο εκκαθάρισης του σφάλματος για βραχυκύκλωμα κοντά στους διακόπτες A_1 και B_1 .



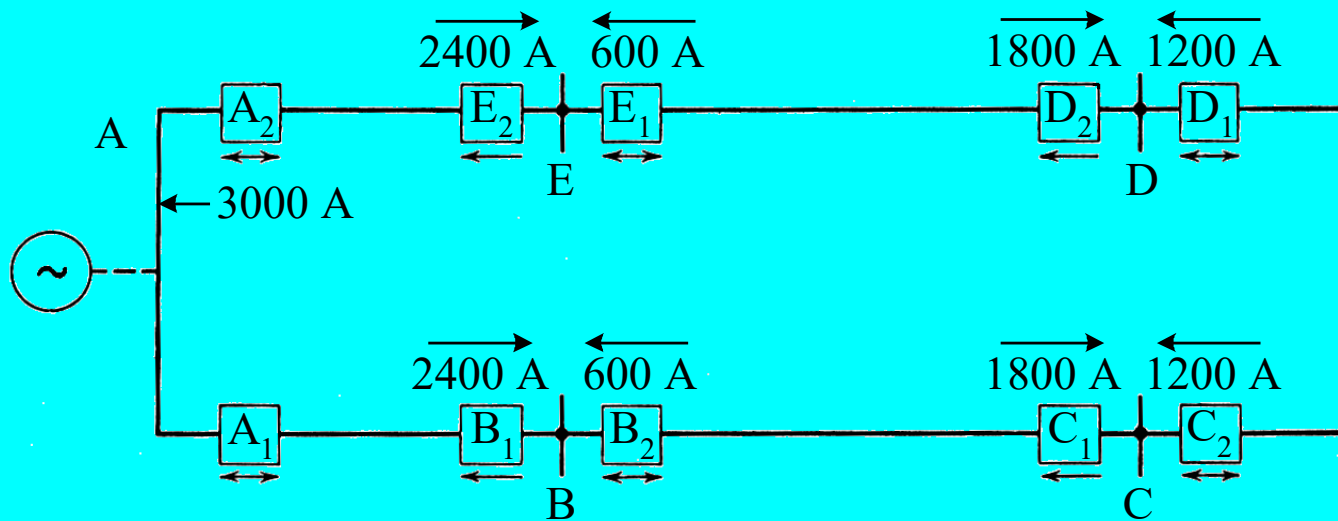


Σύστημα που πρόκειται να προστατευθεί.

- Θεωρώντας ότι για όλους τους ηλεκτρονόμους ένα $PS=100\%$ είναι αρκετό, ώστε το μέγιστο ρεύμα φορτίου να μην ξεπερνά το 85% του επιπέδου επιλογής (δηλαδή $I_{L,max} < 0.85 \cdot 1 \cdot 300A$) και ...
- ότι ορίζεται το μικρότερο TMS (σε αυτό το παράδειγμα, έστω 0.1) για τον πιο μακρινό ηλεκτρονόμο κάθε κατεύθυνσης (B_1 και E_2) και ...
- ότι ο πιο απομακρυσμένος διακόπτης κάθε κατεύθυνσης είναι ανοικτός και...
- τότε το επίπεδο σφάλματος σε κάθε ηλεκτρονόμο είναι 3000A, άρα $PSM=10$:

Θέση σφάλματος	Ηλεκτρονόμος	PSM	Χρόνος λειτουργίας ηλεκτρονόμων (secs)	TMS
B-A	B_1	10	0.3	0.1
C-B	C_1	10	0.75	0.25





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
C-B	C_1	10	0.75	0.25
D-C	D_1	10	1.2	0.4
E-D	E_1	10	1.65	0.55
A-E	A_2	10	2.1	0.7
E-A	E_2	10	0.3	0.1
D-E	D_2	10	0.75	0.25
C-D	C_2	10	1.2	0.4
B-C	B_2	10	1.65	0.55
A-B	A_1	10	2.1	0.7

Ενεργοπ. πριν από τους άλλους χωρίς κατευθ. για βραχυκλ. στη γραμμή τους!

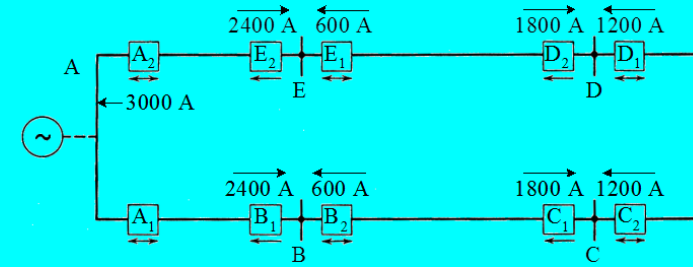
+ ηλεκτρον. κατεύθυνσης

- 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 ~ μηδέν. Άρα χρόνος λειτουργίας του A_1 :

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

- 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 :
 - ◆ $PSM = 3000/300=10$, $TMS = 0.1$ και είναι 0.3 s
- Άρα ο συνολικός χρόνος για την εκκαθάριση του βραχυκυκλώματος είναι:
 - ◆ $2.1+0.1+0.3+0.1 = 2.6 s$

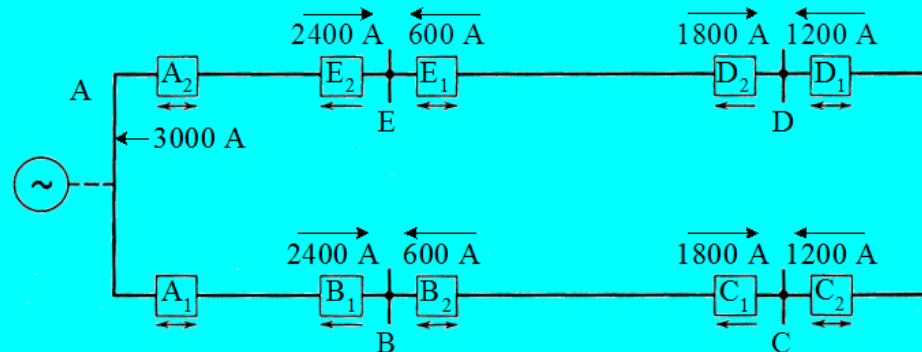
Θέση σφάλματος	Ηλεκτρονόμος	PSM	Χρόνος λειτουργίας ηλεκτρονόμων (secs)	TMS
A-B	B_1	10	0.3	0.1
A-B	A_1	10	2.1	0.7



Σύστημα που πρόκειται να προστατευθεί.

- 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 : $PSM = 2400/300 = 8$, $TMS = 0.7$, χρόνος λειτουργίας = 2.3s.
- B_1 : $PSM = 600/300 = 2$, $TMS = 0.1$, χρόνος λειτουργίας = 1.0 s.
- Άρα πρώτα θα εκκαθαριστεί το βραχυκύκλωμα από το διακόπτη B_1 σε $1.0 + 0.1 = 1.1 \text{ s}$.
- 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 γίνεται 3000 A.

Ηλεκτρονόμος	TMS
B_1	0.1
A_1	0.7



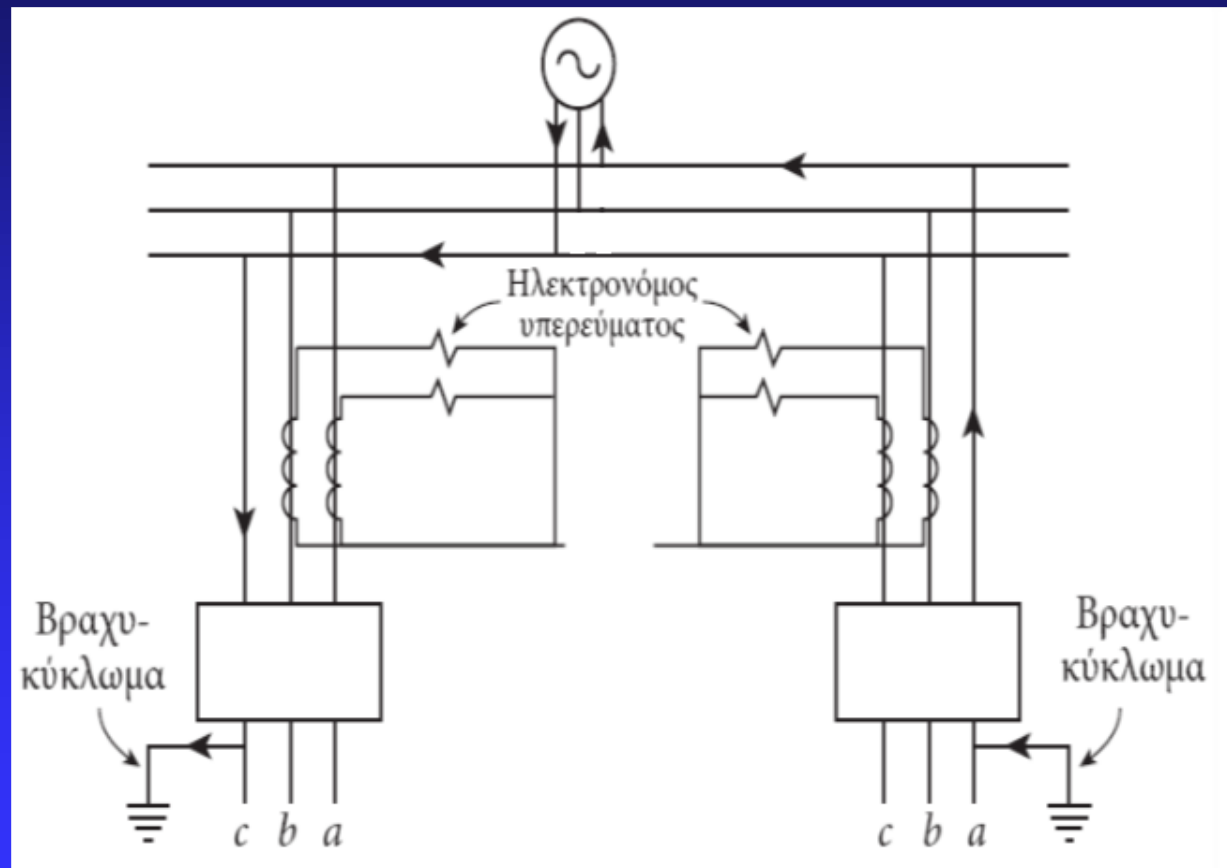
Σύστημα που πρόκειται να προστατευθεί.

- 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 λειτ. 2.1 s.
- Για να διανύσει ο A_1 το 52% της διαδρομής που υπολείπεται χρειάζεται:
 - ◆ $52/100 \times 2.1 = 1.1$ s
- Άρα ο συνολικός χρόνος για την εκκαθάριση αυτού του βραχυκυκλώματος είναι:
 - ◆ $1+0.1+1.1+0.1 = 2.3$ s

Χρησιμοποίηση 2 αντί 3 ηλεκτρονόμων για προστασία βραχυκυκλωμάτων μεταξύ φάσεων

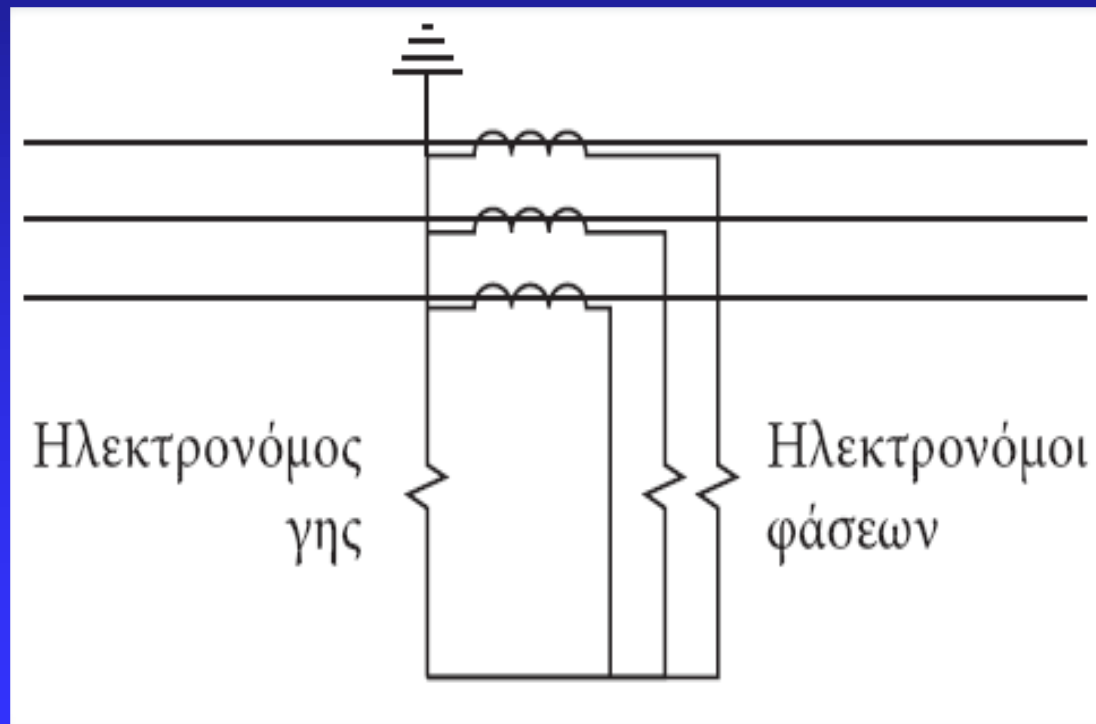
- Για πλήρη προστασία γραμμών από βραχυκυκλώματα μεταξύ φάσεων χρειάζονται τρεις μ.ρ. και τρεις ηλεκτρονόμοι.
- Για προστασία μη σημαντικών γραμμών από βραχυκυκλώματα μεταξύ φάσεων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δύο αντί τρεις ηλεκτρονόμους.
- Εξοικονομούμε το κόστος ενός μ.ρ. και ενός ηλεκτρονόμου.
- Σε αυτήν την περίπτωση όμως θα πρέπει να προσέξουμε όλοι οι μ.ρ. να είναι τοποθετημένοι στις ίδιες φάσεις σε όλα τα κυκλώματα.

- Το παρακάτω δίκτυο δεν είναι γειωμένο και η προστασία αποτυγχάνει σε ταυτόχρονα βραχυκυκλώματα διαφορετικών κυκλωμάτων με τη γη: οι ηλεκτρονόμοι δεν είναι στα ίδια κυκλώματα.



Περίπτωση αποτυχίας του συστήματος προστασίας με δύο ηλεκτρονόμους υπερέντασης (βραχυκύκλωμα L-L και μη λειτουργία).

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



Πλήρη προστασία με δύο ηλεκτρονόμους φάσης και ένα γης.

Προστασία βραχυκυκλωμάτων γης

- 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.

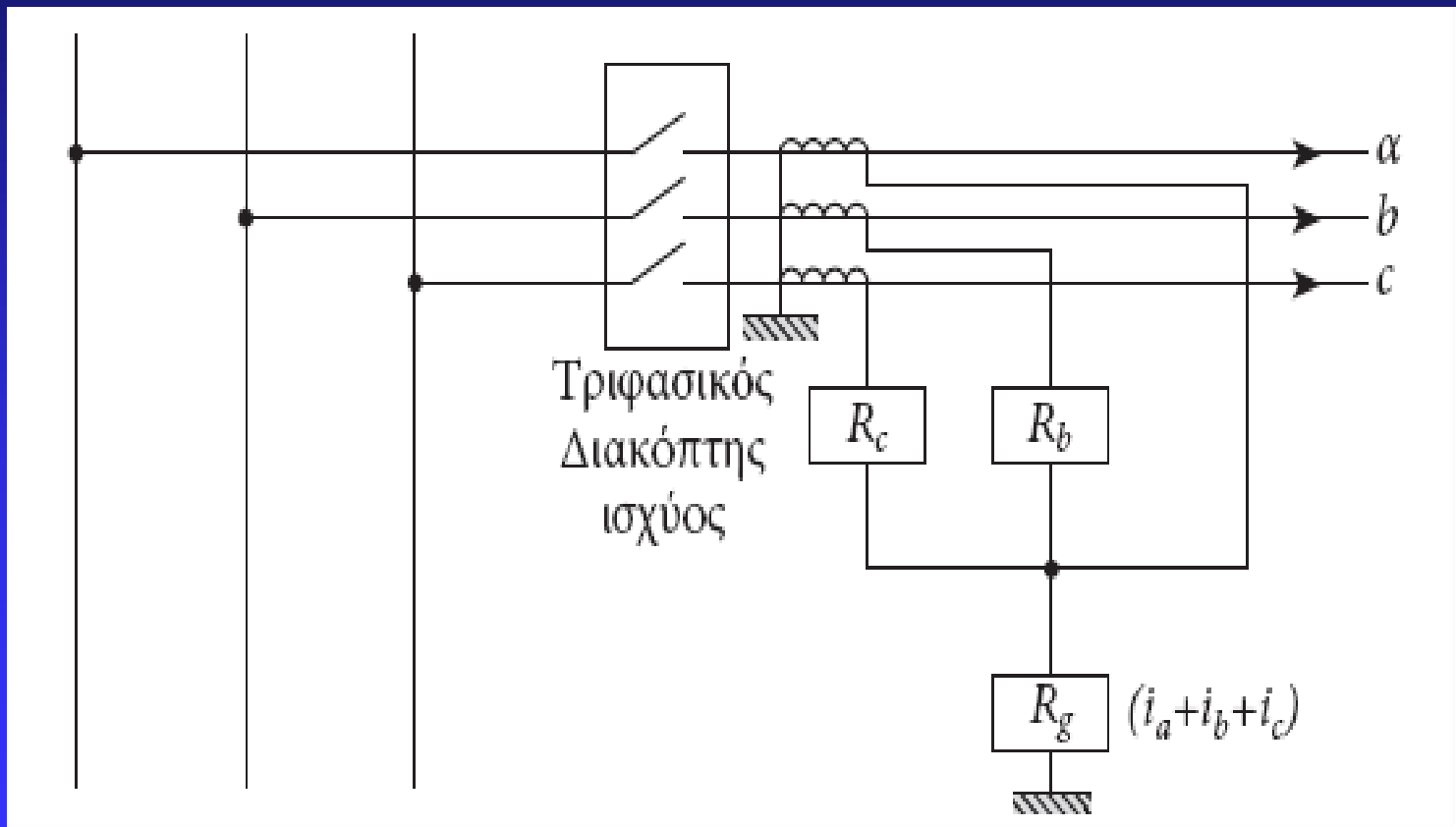
- Υπό αυτές τις συνθήκες κάθε βραχυκύκλωμα που περιλαμβάνει τη γη τροφοδοτείται από ρεύματα μηδενικής ακολουθίας σύμφωνα με την εξίσωση:

$$I^{\sigma} = I_a + I_b + I_c = 3I_0$$

Συνεπώς οποιοδήποτε βραχυκύκλωμα φάσης με γη μπορεί να εντοπισθεί αν τροφοδοτήσουμε έναν ηλεκτρονόμο υπερέντασης με το άθροισμα των ρευμάτων στις τρεις φάσεις.

- 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.

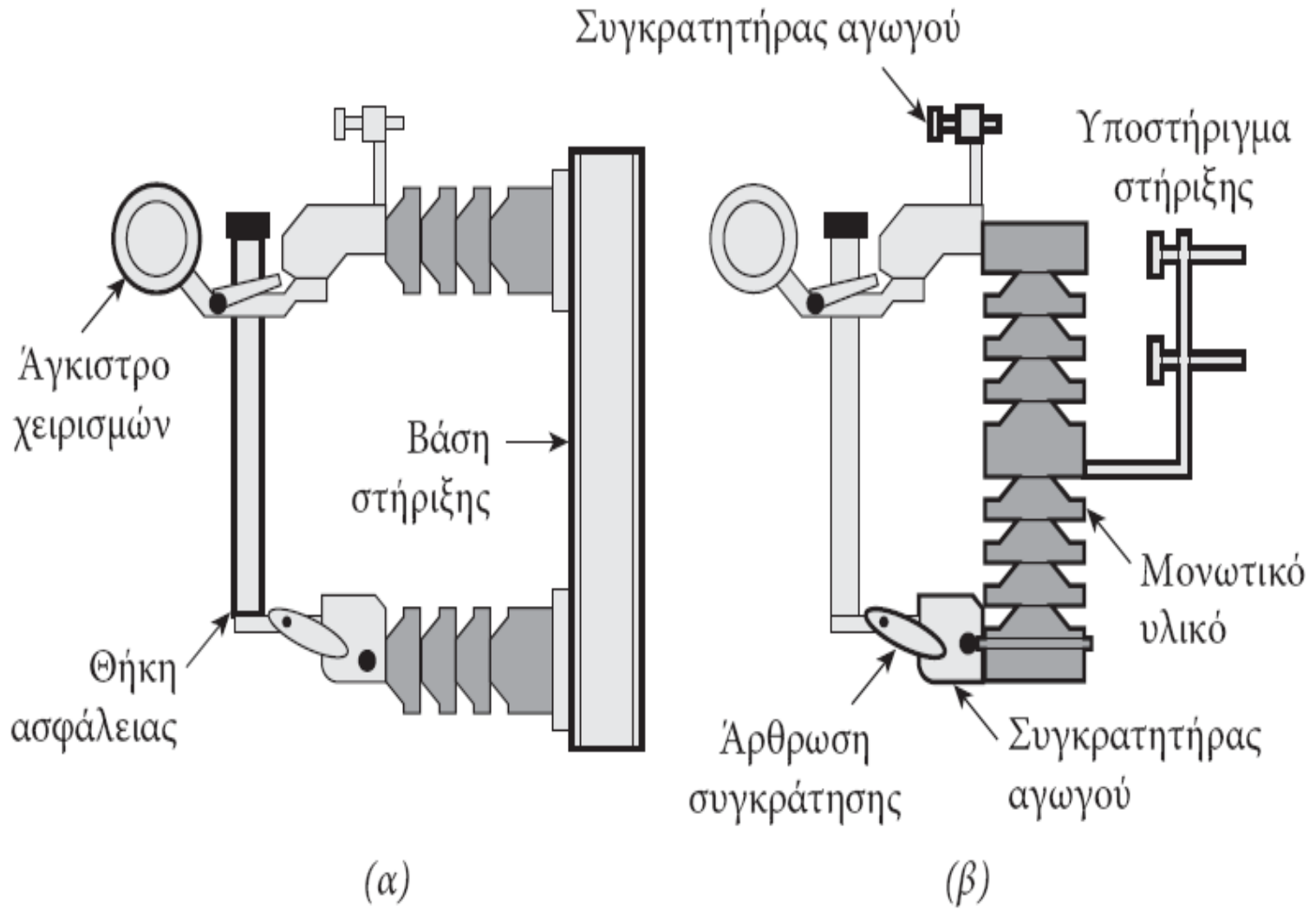
- Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η τυπική συνδεσμολογία ηλεκτρονόμων υπέρεντασης για να παρέχουν προστασία γραμμών σε όλους τους τύπους βραχυκυκλωμάτων (7 τύπους φασικών και 3 τύπους γης).



Σύνδεση ηλεκτρονόμων υπέρεντασης για φασικά και γης βραχυκυκλώματα.

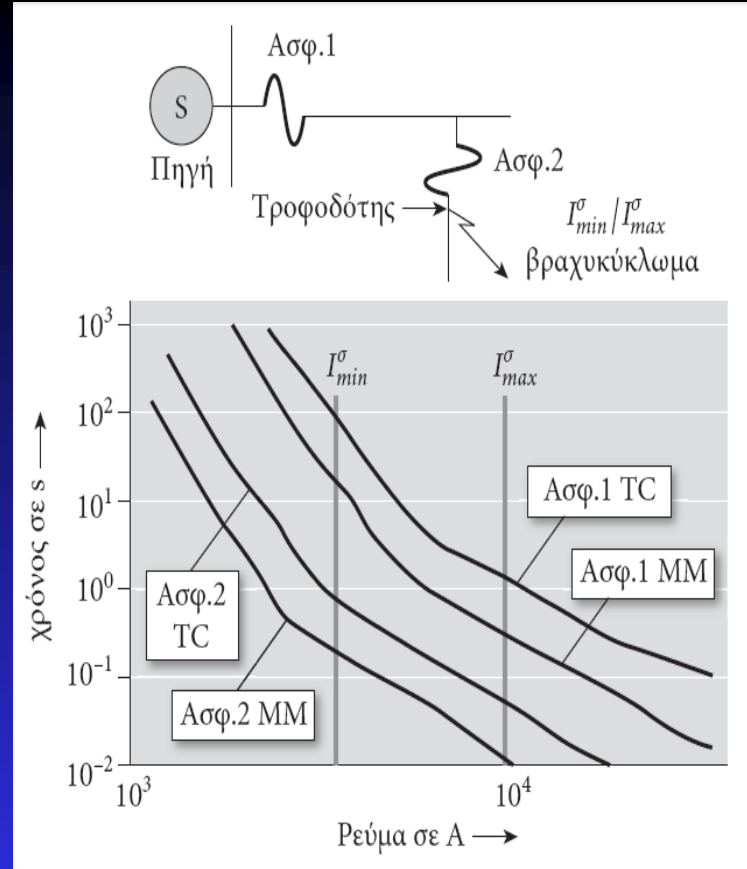
Ασφάλειες

- Η ασφάλεια είναι μια «συσκευή προστασίας υπερέντασης 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 χαρακτηριστικά χρόνου-ρεύματος.
- Οι ασφάλειες διακόπτουν το ρεύμα όταν αυτό διέρχεται από το μηδέν.
- Πρέπει να σβήνουν το τόξο και στη συνέχεια να αντέχουν στα άκρα τους τη μεταβατική υπέρταση.
- Ενώ οι ασφάλειες χρησιμοποιούνται σε δίκτυα μέχρι 200 KV, η συνήθης χρήση τους είναι στα δίκτυα διανομής (μέχρι 35 KV).
- Προστατεύουν οικονομικά εξοπλισμό δευτερευούσης σημασίας.



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

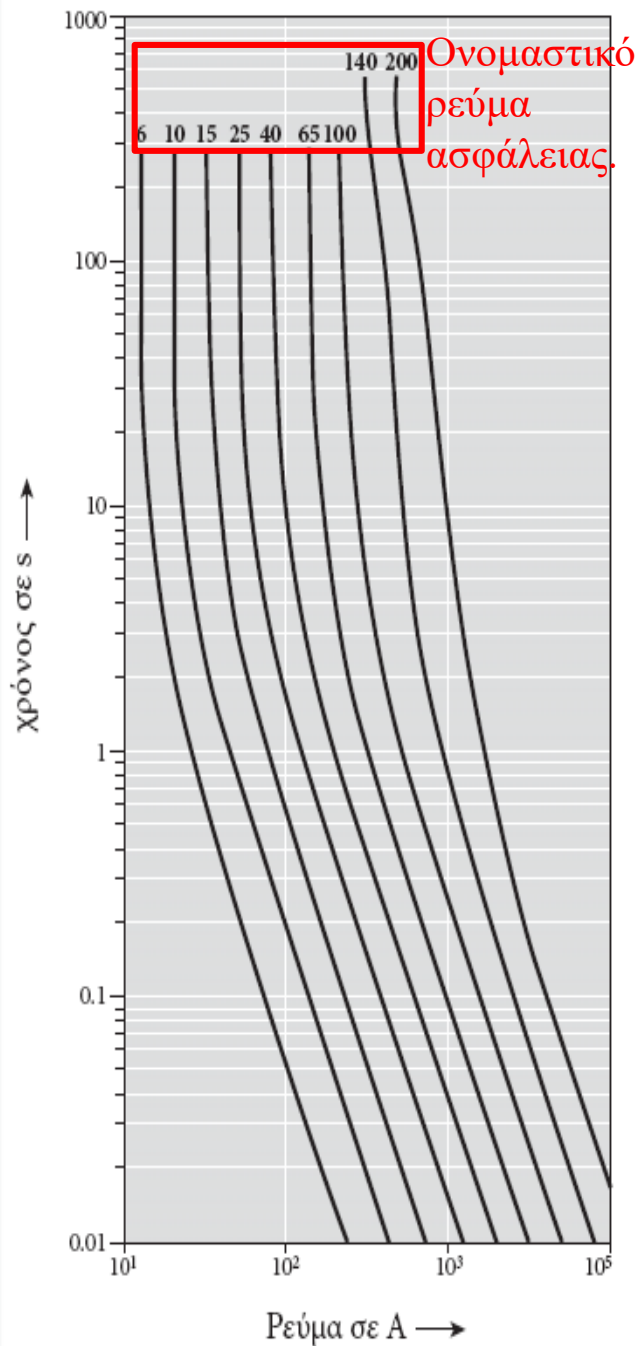
- Κάθε ασφάλεια έχει δύο χαρακτηριστικές που περιγράφουν το χρόνο λειτουργίας της για μια τιμή ρεύματος:
- α) Ελάχιστου χρόνου λειτουργίας (Minimum Melting - MM), για λειτουργία σε χαμηλή τάση και χωρίς τόξο.
- β) Ολικού ή μέγιστου χρόνου εκκαθάρισης (Total or maximum Clearing (TC)), για λειτουργία σε υψηλή τάση (τυπικά 7.2 KV), οπότε απαιτείται σβέση και του τόξου για τη διακοπή του ρεύματος.



Συνεργασία ασφάλειας-ασφάλειας.

- Η χαρακτηριστική TC μιας ασφάλειας χρησιμοποιείται για τη συνεργασία της με τη χαρακτηριστική MM μιας μεγαλύτερης ασφάλειας προς τη πλευρά της πηγής.
- Η χαρακτηριστική MM της ίδιας ασφάλειας χρησιμοποιείται για τη συνεργασία της με τη χαρακτηριστική TC μια μικρότερης ασφάλειας προς τη πλευρά του φορτίου.

- 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.
- Πρακτικοί κανόνες στην επιλογή των ασφαλειών για να αποφεύγεται η αλλοίωση των χαρακτηριστικών των συνδέσμων τους κατά την υπερφόρτιση είναι:
 - ◆ Η προδιαγραφή του ρεύματος της ασφάλειας να είναι τουλάχιστον ίση με το αναμενόμενο μέγιστο ρεύμα φορτίου διάρκειας 5 s (δηλαδή, μόνιμη κατάσταση).
 - ◆ Για μετασχηματιστές το ρεύμα μαγνήτισης εισροής τους δεν πρέπει να ξεπερνά το 75% του προδιαγεγραμμένου ρεύματος της ασφάλειας και ...
 - ◆ η ασφάλεια πρέπει να μη λειτουργεί όταν δέχεται για 100 ms ένα ρεύμα ίσο με 12 φορές το ονομαστικό ρεύμα πρωτεύοντος του μετασχηματιστή (αυτή η συνθήκη ελέγχεται από τη χαρακτηριστική χρόνου-ρεύματος).

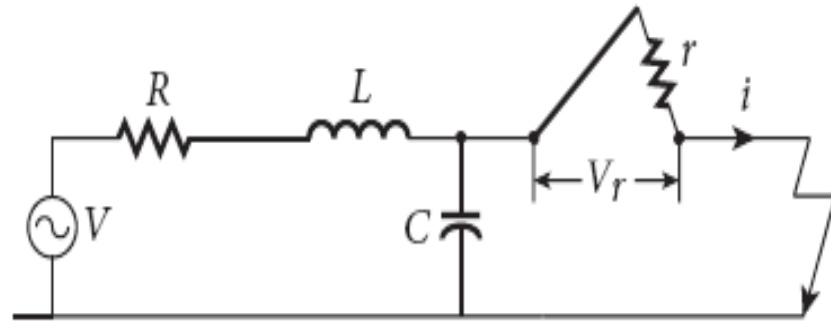


Χαρακτηριστικές χρόνου-ρεύματος (MM) ασφαλειών.

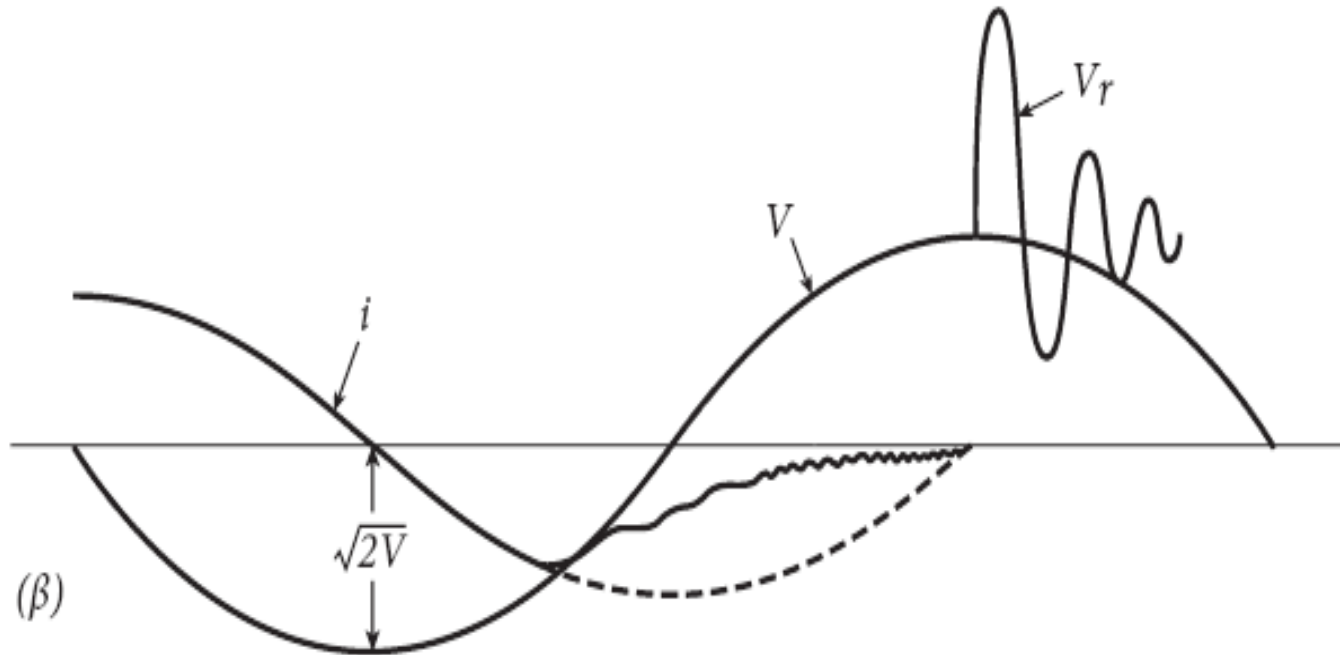
Διακόπτες Ισχύος

- 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.
- Κατά την απομάκρυνση των επαφών δημιουργείται τόξο που πρέπει να αποσβεστεί.
- Για να επιτύχουμε το σβήσιμο οι επαφές τοποθετούνται μέσα σε ρευστό υλικό (αέρας υπό πίεση ή όχι, ορυκτό λάδι, υψηλό κενό αέρος ή εξαφθορικό θείο (SF₆)) 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.

(α)



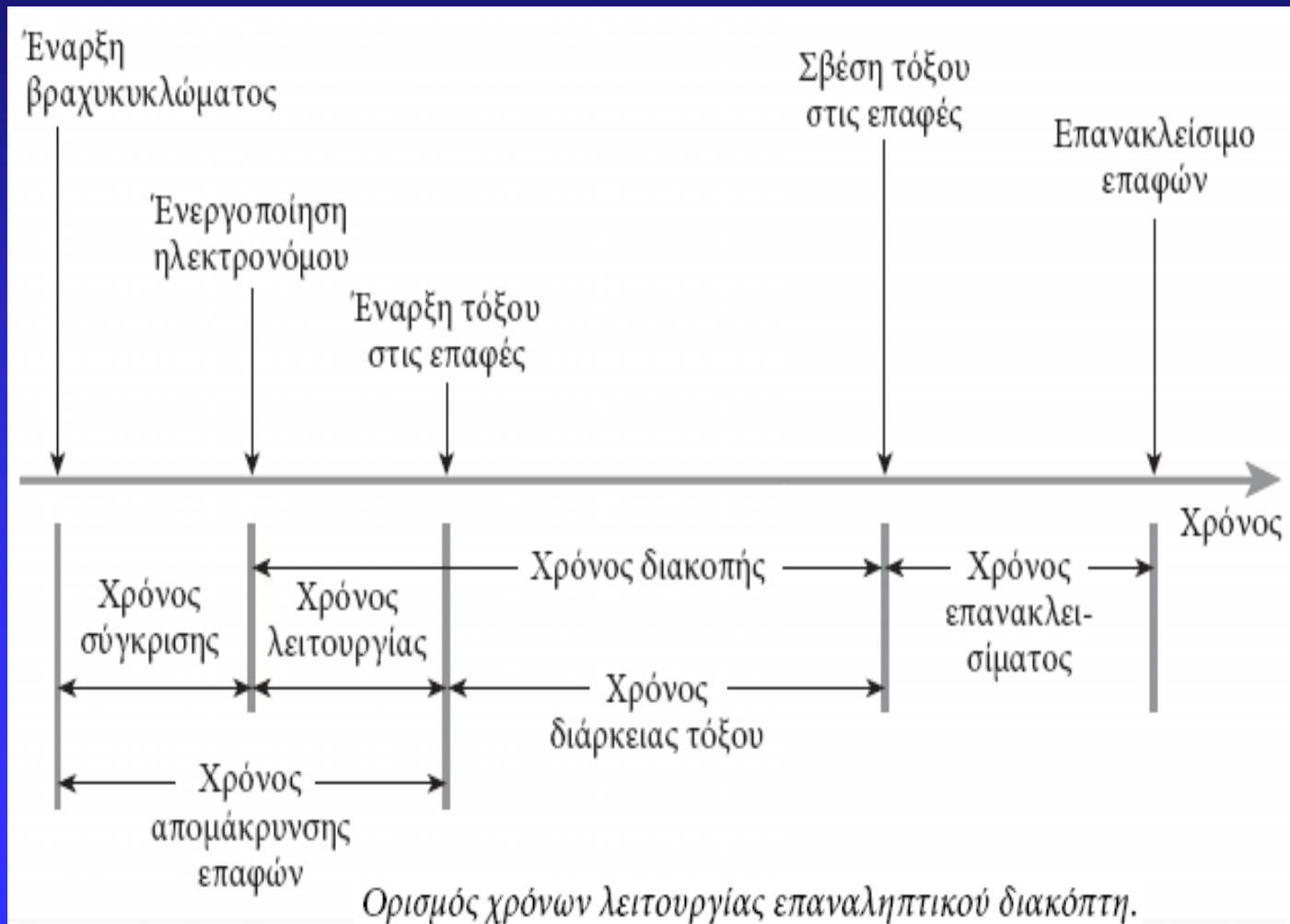
(β)



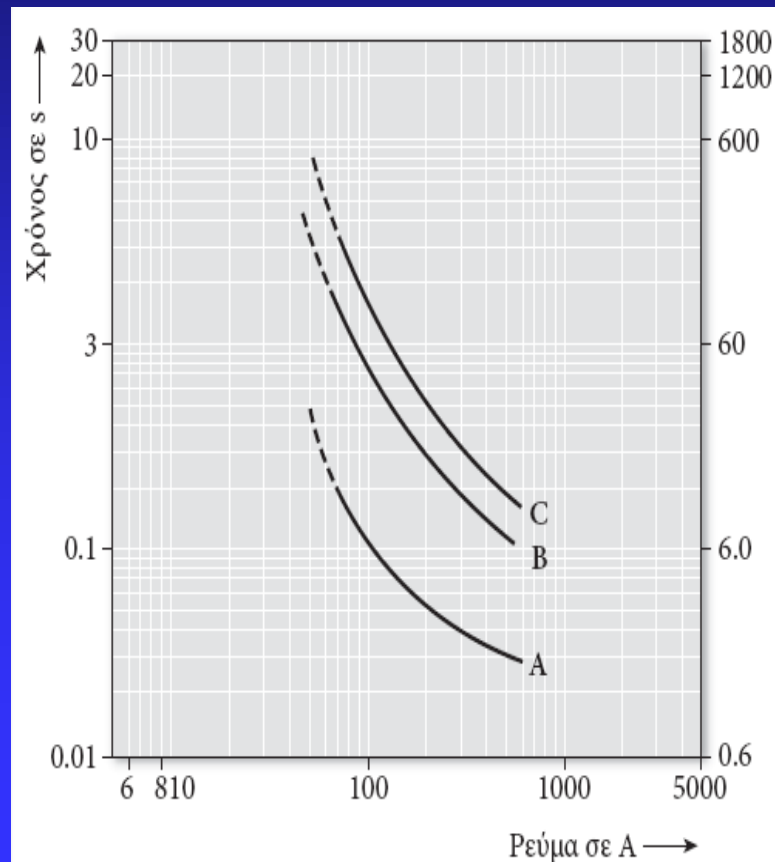
Μεταβατική τάση αποκατάστασης V_r για βραχυκύκλωμα κοντά στο διακόπτη.

Αυτόματοι διακόπτες με επανακλείσιμο

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

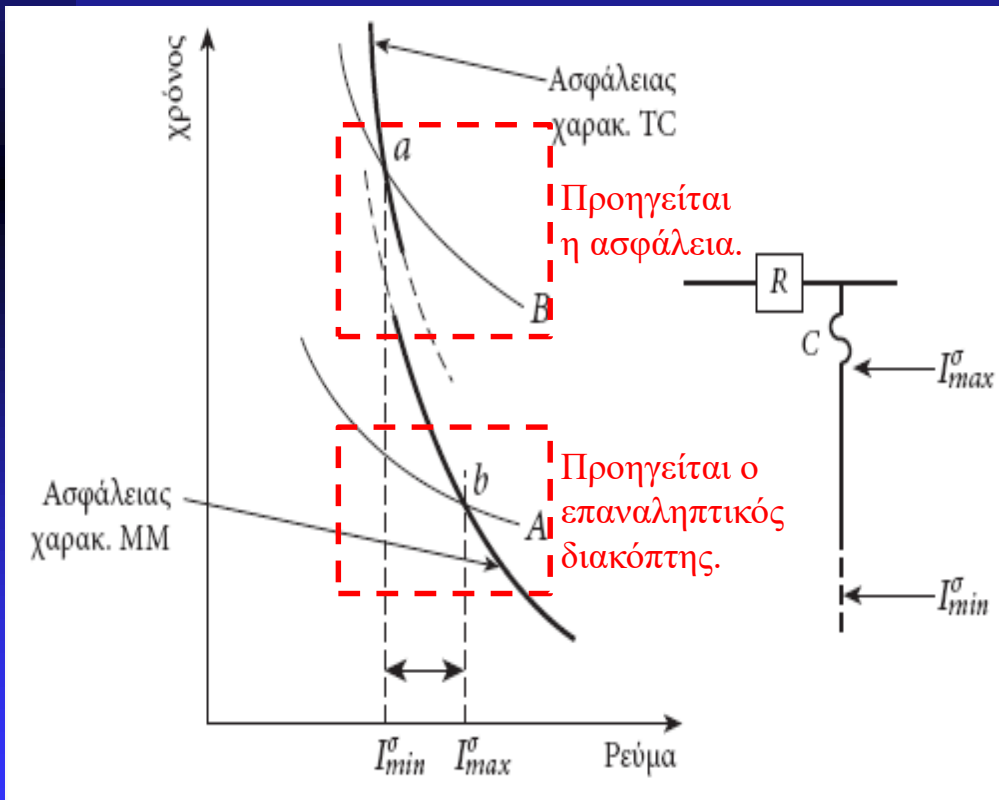


- Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους περιλαμβάνουν:
 - ◆ Μία χαρακτηριστική στιγμιαίας ή γρήγορης λειτουργίας (καμπύλη A).
 - ◆ Μία χαρακτηριστική με καθυστέρηση, το ύψος της οποίας επιλέγουμε εμείς (καμπύλη π.χ. B ή C).



Χαρακτηριστικές λειτουργίας επαναληπτικού διακόπτη.

- Οι επαναληπτικοί διακόπτες εκτελούν συνήθως δύο λειτουργίες με τη γρήγορη χαρακτηριστική και κατόπιν ακολουθούν την αργή χαρακτηριστική.
- Συνεργάζονται με ασφάλειες που βρίσκονται πιο μακριά ή σε παρακλάδια της γραμμής, με στόχο τα παροδικά σφάλματα να διακόπτονται από αυτούς, χωρίς να καίγονται οι ασφάλειες.
- Αν τελικά ένα σφάλμα είναι μόνιμο, η εκκαθάριση του γίνεται από την ασφάλεια: όμως ~75% στη διανομή είναι παροδικά.



Με αυτήν την προστασία οι τροφοδότες φορτίου (feeders -κεντρικές γραμμές διανομής) δεν αποσυνδέονται σε παροδικά βραχυκυκλώματα:

A) αυξάνεται η αξιοπιστία τροφοδοσίας του συνολικού φορτίου και

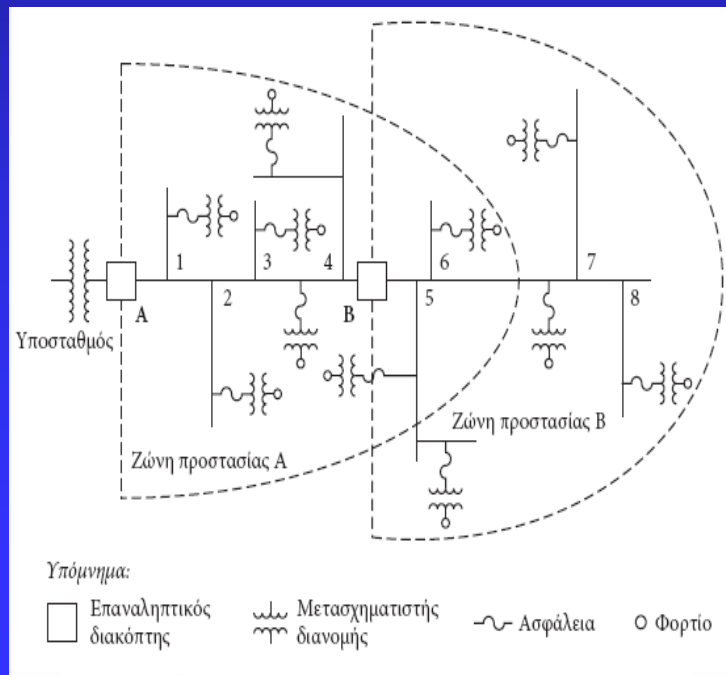
B) μειώνεται το κόστος συντήρησης και επισκευής του δικτύου.

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

Προστασία ακτινωτών γραμμών διανομής

- Για την προστασία τους χρησιμοποιούμε ηλεκτρονόμους υπερέντασης, επαναληπτικούς διακόπτες και ασφάλειες.
- Δεν χρειάζονται ηλεκτρονόμοι κατεύθυνσης, αφού αυτή είναι γνωστή: από την πηγή προς το φορτίο.
- Για να επιτύχουμε μια λογική συνέχεια τροφοδοσίας μερικές φορές είναι απαραίτητο να «τμηματοποιούμε» την προστασία κατά μήκος της γραμμής σε ζώνες.
- Όταν το ρεύμα βραχυκυκλώματος στην πλησιέστερη στην πηγή ζώνη προστασίας είναι πολύ μικρό για να εκκαθαρίζεται από τον επαναληπτικό διακόπτη σε αυτή, ενεργοποιείται ο διακόπτης της επόμενης ζώνης που είναι ρυθμισμένος σε μικρότερο ρεύμα επιλογής.

- π.χ. όταν το βραχυκύκλωμα μετά τη ζώνη προστασίας A είναι πολύ μικρό για να εκκαθαρίζεται από τον επαναληπτικό διακόπτη A, ενεργοποιείται ο B στην αντίστοιχη ζώνη.
- Σε υποσταθμούς διανομής μεγαλύτερους από 2.4 MVA χρησιμοποιούμε επαναληπτικούς διακόπτες που ελέγχονται από ηλεκτρονόμους υπέρεντασης.
- Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να ελέγχεται αν οι επαναληπτικές λειτουργίες του B οδηγούν σε εσφαλμένη λειτουργία τον A, δηλαδή ...
- ο δίσκος του A δεν προλαβαίνει να επανέλθει στην αρχική του θέση μετά από κάθε λειτουργία του B, συσσωρεύοντας τη μετακίνηση του δίσκου του (αυτό το πρόβλημα δεν υπάρχει στους στατικούς ηλεκτρονόμους).



Δίκτυο διανομής με τις συσκευές προστασίας.