

## II Προστασία υπερεντάσεως εγκαταστάσεων χαμηλής τάσεως

### 1 Εισαγωγή

Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις χαμηλής τάσεως μπορούν να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα στοιχεία:

- γεννήτριες
- μετασχηματιστές
- καλώδια και εναέριες γραμμές
- πυκνωτές
- όργανα ζεύξεως και προστασίας (διακόπτες, ασφάλειες, ηλεκτρονόμους)
- καταναλωτές (συσκευές, μηχανές).

Όταν όλα τα στοιχεία μιας εγκαταστάσεως παρουσιάζουν την απαραίτητη αντοχή (θερμική, μηχανική και διηλεκτρική) είναι δυνατή η οικονομική λειτουργία της εγκαταστάσεως. Οι διατάξεις προστασίας αποσκοπούν στην εξασφάλιση της λειτουργίας των διαφόρων στοιχείων σε μία ευρεία περιοχή και στην απόζευξη των στοιχείων εκείνων, τα οποία σε περιπτώσεις υπερφορτίσεων και σφαλμάτων (βραχυκυκλωμάτων) κινδυνεύουν να καταπονηθούν περισσότερο, από όσο επιτρέπεται, και να καταστραφούν. Η καταστροφή ενός στοιχείου έχει συνήθως πολύ μεγαλύτερες οικονομικές επιπτώσεις, λόγω της διακοπής της παραγωγικής διαδικασίας, από τις δαπάνες αντικαταστάσεως του στοιχείου αυτού.

Ο όρος υπερένταση χρησιμοποιείται για ένταση μεγαλύτερη της ονομαστικής που μπορεί να εμφανισθεί σε λειτουργία χωρίς σφάλμα (π.χ. σε περίπτωση μεγαλύτερου μηχανικού φορτίου σε ένα κινητήρα) ή σε βραχυκύκλωμα. Ο όρος υπερφόρτιση χαρακτηρίζει ένταση μεγαλύτερη της ονομαστικής που δεν οφείλεται σε σφάλμα. Η προστασία υπερεντάσεως είναι συνεπώς η προστασία διαφόρων στοιχείων της εγκαταστάσεως τόσο έναντι ρευμάτων υπερφορτίσεως όσο και έναντι ρευμάτων βραχυκυκλώσεως.

Τα στοιχεία μιας εγκαταστάσεως χαρακτηρίζονται από τα ονομαστικά τους μεγέθη (ισχύς, τάση, ένταση, συχνότητα) και από άλλα πρόσθετα μεγέθη (θερμοκρασία περιβάλλοντος, μέγιστη θερμοκρασία, υψόμετρο). Για ένα τριφασικό ασύγχρονο κινητήρα π.χ. της κατηγορίας μονώσεως Β καθορίζονται βάσει των κανονισμών VDE 0530 Μέρος 1 [15] εκτός της ισχύος, της τάσεως, της εντάσεως και της

συχνότητας και

- η μέγιστη επιτρεπόμενη ανύψωση της θερμοκρασίας  $80^{\circ}\text{C}$
- η μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία  $130^{\circ}\text{C}$
- το μέγιστο υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας 1000 m.

Όταν ο κινητήρας λειτουργεί στα πλαίσια των καθορισμένων αυτών τιμών έχει μία αναμενόμενη διάρκεια ζωής. Διάρκεια ζωής ενός στοιχείου είναι η χρονική διάρκεια κατά την οποία η μόνωσή του παραμένει ασφαλής υπό θερμοκρασία ίση με τη μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία. Όταν όμως γίνει υπέρβαση ενός από τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν την κανονική λειτουργία, μπορεί να προκληθεί υπέρβαση της μέγιστης επιτρεπόμενης θερμοκρασίας και περιορισμός της διάρκειας ζωής. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια και το μέγεθος της μη επιτρεπόμενης θερμοκρασίας τόσο μεγαλύτερη είναι και η επίπτωση στη διάρκεια ζωής, δηλαδή τόσο γρηγορότερα επέρχεται η "γήρανση" της μονώσεως. Γενικά μπορεί να λεχθεί ότι η συνεχής λειτουργία με υπέρβαση θερμοκρασίας κατά  $6^{\circ}\text{C}$  πέραν της μέγιστης επιτρεπόμενης θερμοκρασίας περιορίζει στο μισό τη διάρκεια ζωής. Όταν οι εντάσεις υπερφορτίσεως έχουν μεγάλες τιμές και δεν διακοπούν έγκαιρα μπορούν να προκαλέσουν ακόμα και σε σύντομο χρονικό διάστημα καταστροφή της μόνωσης, ηλεκτρικό τόξο και τελικά βραχυκύκλωμα.

Σημαντικές υπερεντάσεις βραχείας διάρκειας εμφανίζονται και κατά την κανονική λειτουργία χωρίς να προκαλούν ανεπίτρεπτη ανύψωση της θερμοκρασίας (ρεύματα εκκινήσεως κινητήρων, ρεύματα ζεύξεως μετασχηματιστών σε κενή λειτουργία, ρεύματα ζεύξεως πυκνωτών, ρεύματα ζεύξεως λυχνιών).

Τα ρεύματα βραχυκυκλώσεως είναι τόσο μεγάλα, ώστε σε πολύ σύντομο χρόνο να μπορούν να προκαλούν ανεπίτρεπτες υπερθερμάνσεις, όχι μόνο στο σημείο του σφάλματος αλλά και σε άλλα στοιχεία που διαρρέονται από τα ρεύματα αυτά. Οι υπερθερμάνσεις αυτές μπορεί να γίνουν αιτίες καταστροφής του εξοπλισμού και πυρκαϊάς. Η υπερθέρμανση είναι ανάλογη της ενέργειας που εκλύεται, δηλαδή ανάλογη του  $\int_0^{T_k} i_k^2(t) dt$  (όπου  $i_k(t)$  το ρεύμα και  $T_k$  η διάρκεια βραχυκυκλώσεως). Από τα ρεύματα βραχυκυκλώσεως αναπτύσσονται ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν μηχανικές καταστροφές. Οι ηλεκτρομαγνητι-

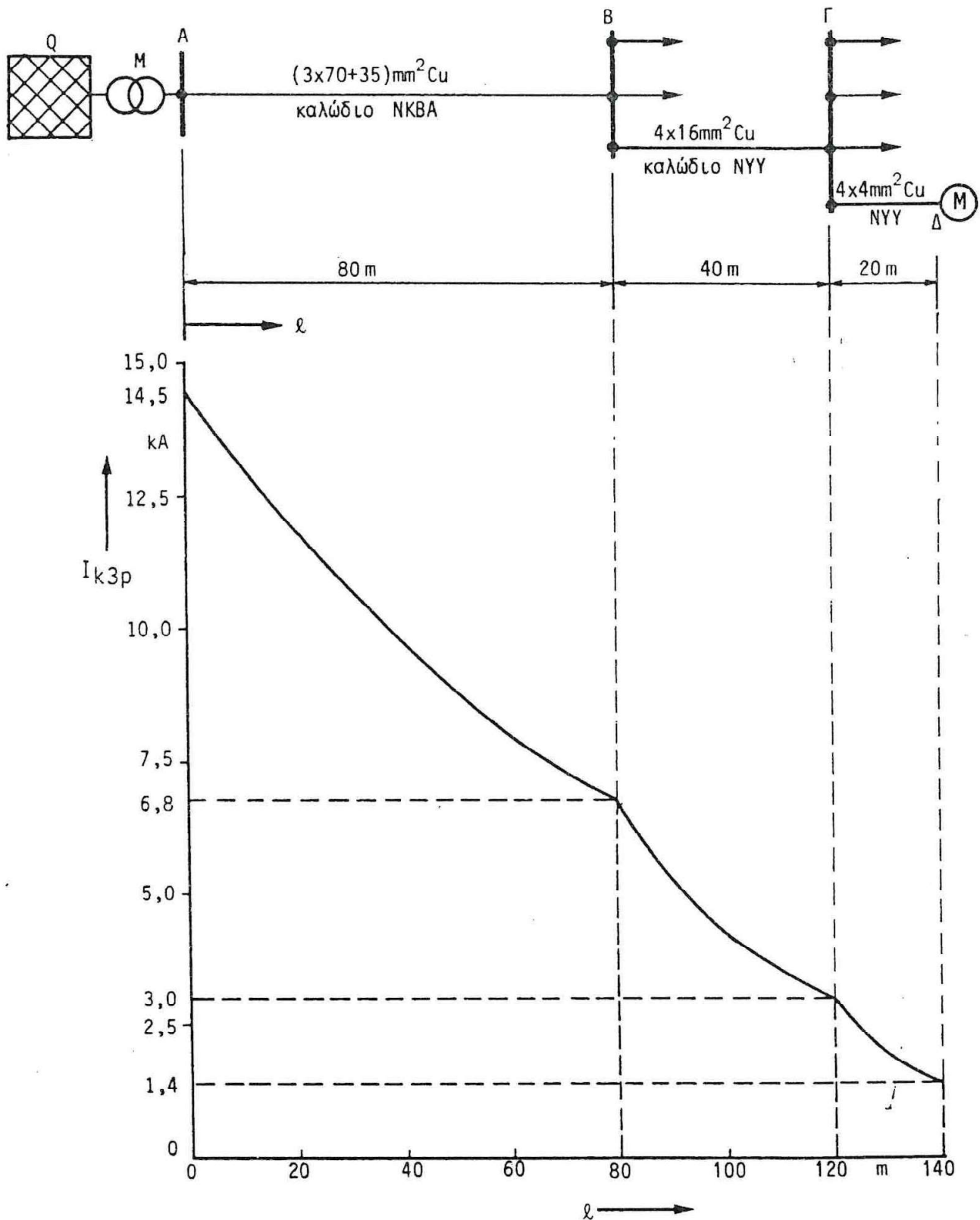
κές δυνάμεις είναι ανάλογες του τετραγώνου του κρουστικού ρεύματος βραχυκυκλώσεως.

Εκτός των θερμικών και μηχανικών επιπτώσεων τα σφάλματα μπορεί να είναι αιτίες σοβαρών ατυχημάτων: κίνδυνος ηλεκτροπληξίας, κίνδυνος εγκαυμάτων από το ηλεκτρικό τόξο, κίνδυνος πυρκαϊάς.

Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι οι υπερεντάσεις πρέπει να διακόπτονται σε σχετικά σύντομο χρόνο χωρίς να προλάβουν να προκαλέσουν υπέρβαση της μέγιστης επιτρεπόμενης θερμοκρασίας.

Η τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώσεως στο δίκτυο και στις εγκαταστάσεις χαμηλής τάσεως είναι πρακτικά ανεξάρτητη από την ισχύ βραχυκυκλώσεως του δικτύου μέσης τάσεως και εξαρτάται από την ισχύ και την τάση βραχυκυκλώσεως του μετασχηματιστή μέσης προς χαμηλή τάση και από τις σύνθετες αντιστάσεις μεταξύ μετασχηματιστή και σημείου σφάλματος. Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως έχει μεγάλες τιμές για σφάλματα κοντά στο μετασχηματιστή. Η παρεμβολή όμως των αντιστάσεων του δικτύου χαμηλής τάσεως περιορίζει δραστικά το ρεύμα βραχυκυκλώσεως. Το σχήμα 1 δείχνει για παράδειγμα τη μεγάλη επίπτωση των αντιστάσεων των γραμμών χαμηλής τάσεως, ιδιαίτερα εκείνων μικρής διατομής που χρησιμοποιούνται συνήθως στις εσωτερικές εγκαταστάσεις, στο ρεύμα βραχυκυκλώσεως. Οι υπολογισμοί έγιναν σύμφωνα με το κεφάλαιο III του βιβλίου [35]. Ενώ το τριπολικό ρεύμα για βραχυκύκλωμα στους ακροδέκτες χαμηλής τάσεως του μετασχηματιστή είναι 14,5 kA μετά την παρεμβολή του καλωδίου μετασχηματιστή-πίνακα Β το ρεύμα ελαττώνεται στα 6,8 kA. Για σφάλμα στον πίνακα Γ το ρεύμα είναι 3,0 kA και για σφάλμα στους ακροδέκτες του κινητήρα Μ 1,4 kA.

Στην πραγματικότητα οι τιμές των ρευμάτων βραχυκυκλώσεως είναι μικρότερες από αυτές που προκύπτουν από τους υπολογισμούς, επειδή με τους υπολογισμούς δεν λαμβάνονται υπόψη οι αντιστάσεις των ηλεκτρικών τόξων, οι αντιστάσεις διελεύσεως στους ακροδέκτες ασφαλειών, διακοπών κ.λ.π., η αυτεπαγωγή των μετασχηματιστών εντάσεως και η αύξηση της επαγωγικής αντιδράσεως από την ενδεχόμενη γειτνίαση των αγωγών με σιδηρές διατάξεις στις εγκαταστάσεις.



Σχήμα 1. Ρεύματα βραχυκυκλώσεως σε εγκατάσταση χαμηλής τάσεως  
 $Q$  : Δίκτυο μέσης τάσεως ισχύος βραχυκυκλώσεως  $S_Q = 250 \text{ MVA}$   
 $M$  : Μετασχηματιστής  $S_T = 630 \text{ kVA}$ ,  $u_k = 6\%$ ,  $u_r = 1,5\%$ ,  $u_x = 5,8\%$ ,  $U_n = 400 \text{ V}$  (δευτερεύον τύλιγμα).

$A, B, \Gamma$  πίνακες,  $\Delta$  ακροδέκτες κινητήρα  $M$ ,  $R'_1$  στους  $20^\circ\text{C}$   
 Καλώδιο  $AB$ :  $R'_1 = 0,271 \text{ } \Omega/\text{km}$ ,  $X'_1 = 0,085 \text{ } \Omega/\text{km}$   
 Καλώδιο  $B\Gamma$ :  $R'_1 = 1,141 \text{ } \Omega/\text{km}$ ,  $X'_1 = 0,090 \text{ } \Omega/\text{km}$   
 Καλώδιο  $\Gamma\Delta$ :  $R'_1 = 4,560 \text{ } \Omega/\text{km}$ ,  $X'_1 = 0,0107 \text{ } \Omega/\text{km}$

## 2 Διατάξεις προστασίας

### 2.1 Γενικά

Οι διατάξεις προστασίας έναντι υπερεντάσεων (ρευμάτων υπερφορτίσεως και ρευμάτων βραχυκυκλώσεως) πρέπει

- να επιτρέπουν τη ροή των παροδικών υπερεντάσεων κατά την κανονική λειτουργία (ρεύματα εκκινήσεως κινητήρων, ρεύματα ζεύξεως λυχνιών, πυκνωτών και μετασχηματιστών σε κενή λειτουργία),
- να διακόπτουν την τροφοδότηση πριν η θερμοκρασία του στοιχείου που προστατεύουν υπερβεί τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή,
- να διακόπτουν στο μικρότερο δυνατό χρόνο τα ρεύματα βραχυκυκλώσεως
- να εξασφαλίζουν τη διακοπή μόνο του τμήματος του κυκλώματος, στο οποίο παρουσιάζεται η υπερένταση (επιλογική προστασία)

Οι διατάξεις προστασίας συγκροτούνται κυρίως από μέσα προστασίας που λειτουργούν με κριτήριο το ρεύμα:

- ασφάλειες τηκτών,
- αυτόματοι διακόπτες,
- ηλεκτρονόμοι (ρελαί) υπερεντάσεως.

Χρησιμοποιούνται επίσης διατάξεις με κριτήριο τη θερμοκρασία (θερμόμετρα, ψυχροί αγωγοί) σε ειδικές περιπτώσεις για την πλήρη προστασία κινητήρων.

### 2.2 Ασφάλειες

#### 2.2.1 Συγκρότηση

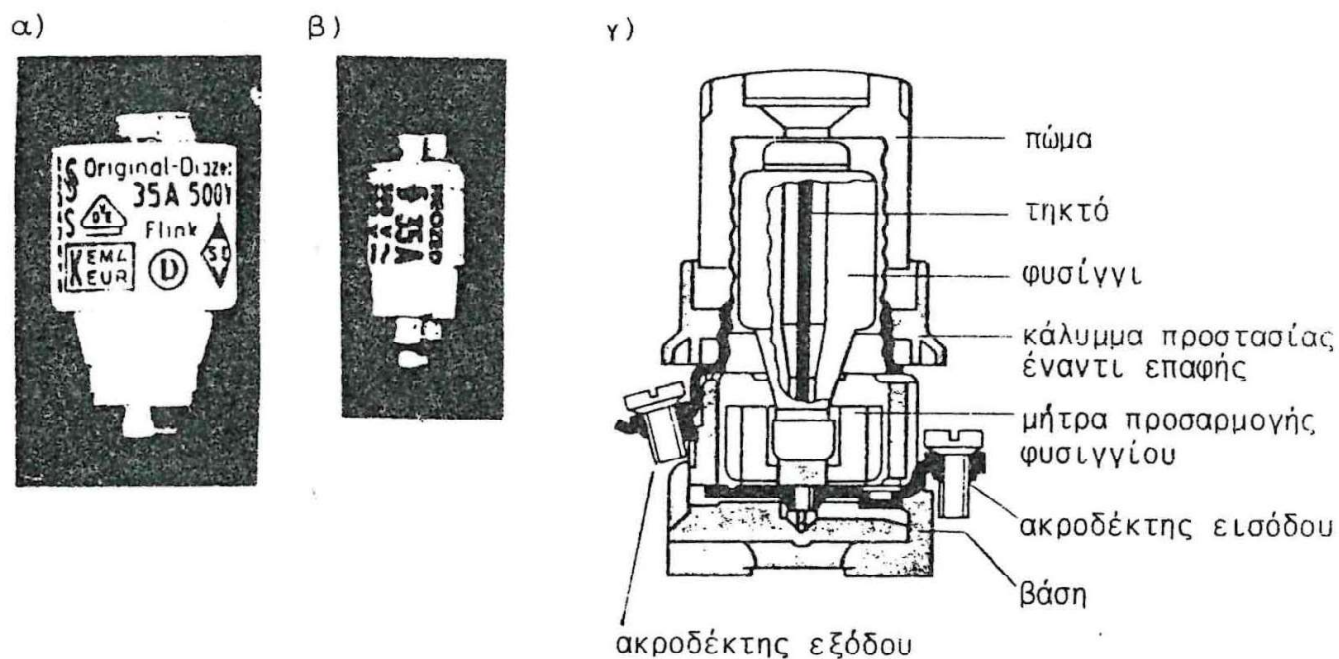
Η ασφάλεια είναι βασικά ένα μεταλλικό νήμα, το οποίο παρεμβάλλεται στη γραμμή που προστατεύει. Το νήμα αυτό (τηκτό) υπερθερμαίνεται και τήκεται (καίγεται) διακόπτοντας το κύκλωμα, όταν η ένταση του ρεύματος υπερβεί για ορισμένο χρόνο μία ορισμένη τιμή. Το νήμα της ασφάλειας περιβάλλεται από άμμο, όπου γίνεται η σβέση του ηλεκτρικού τόξου, το οποίο δημιουργείται κατά τη διακοπή του ρεύματος. Η άμμος βρίσκεται μέσα σε ένα μονωτικό περίβλημα συνήθως από πορσελάνη. Ένα ενδεικτικό πλακίδιο ελευθερώνεται κατά την τήξη του νήματος, επιτρέποντας έτσι τον εντοπισμό της ασφάλειας που έχει τακεί.

Οι ασφάλειες είναι τα πιο φθηνά και τα πιο αξιόποιστα μέσα προ-

στασίας έναντι ρευμάτων βραχυκυκλώσεως. Παρέχουν επίσης και προστασία έναντι υπερφορτίσεως γραμμών (όχι όμως μετασχηματιστών και κινητήρων!)

Από πλευράς κατασκευής οι ασφάλειες διακρίνονται σε κοχλιωτές ασφάλειες και σε μαχαιρωτές ασφάλειες (ασφάλειες χαμηλής τάσεως υψηλής ικανότητας διακοπής, μέχρι 100 kA!).

Στο σχήμα 2 φαίνεται η συγκρότηση κοχλιωτών (βιδωτών) ασφαλειών. Η αντικατάσταση των φυσίγγιων επιτρέπεται να γίνεται και από μη ειδικούς, επειδή κατά την αντικατάσταση παρέχεται προστασία έναντι επαφής με υπό τάση τμήματα και επειδή δεν είναι δυνατή η τοποθέτηση φυσίγγιων μεγαλύτερης ονομαστικής εντάσεως (τέτοια φυσίγγια δεν μπορούν να εισαχθούν στη μήτρα προσαρμογής)



Σχήμα 2. Κοχλιωτή ασφάλεια

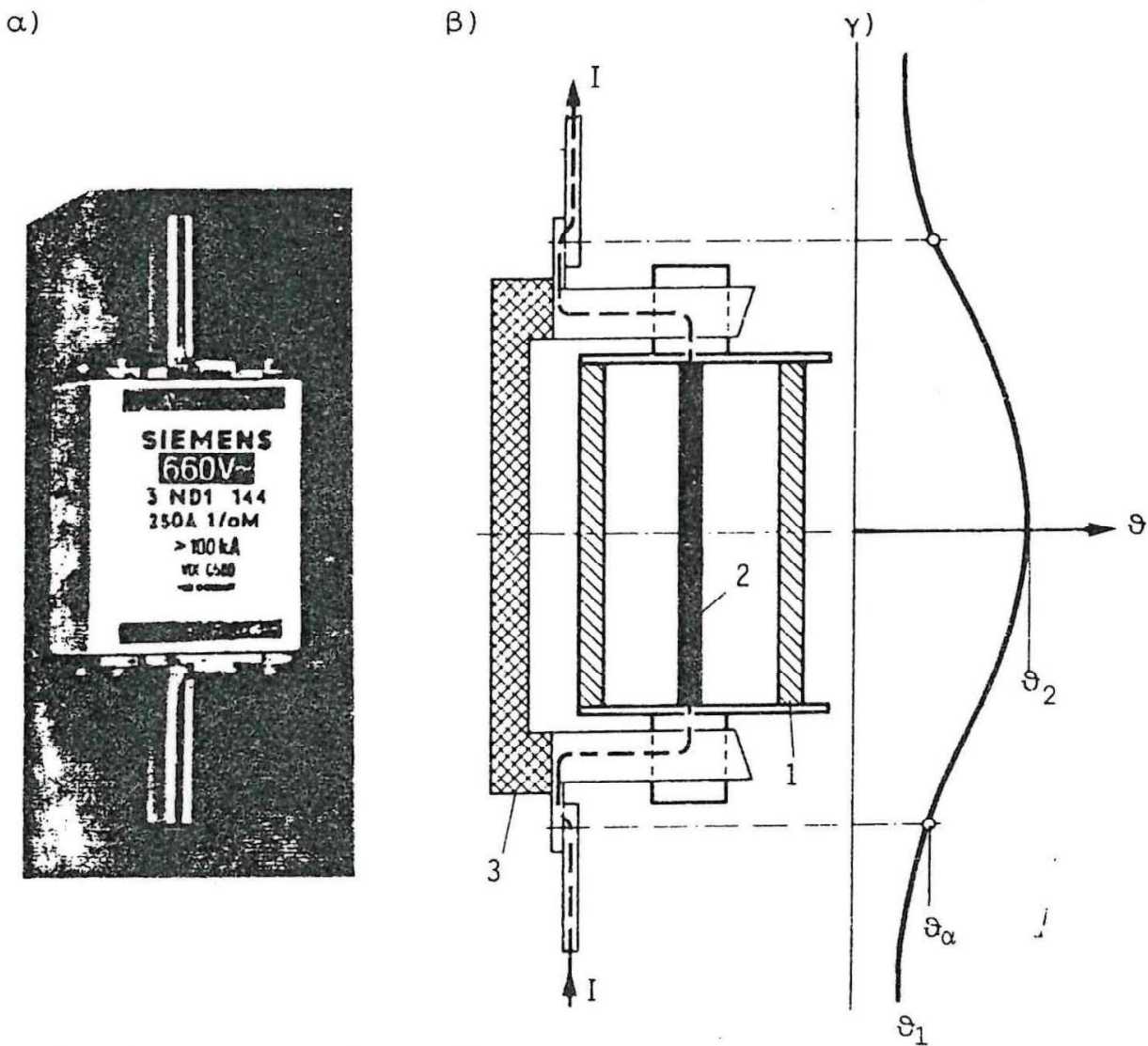
α) Φυσίγγι τύπου D

β) Φυσίγγι τύπου D0 (περιορισμένων διαστάσεων)

γ) Συγκρότηση ασφάλειας τύπου D

Στο σχήμα 3 φαίνεται η συγκρότηση των μαχαιρωτών ασφαλειών. Η αντικατάσταση του κεντρικού σώματος γίνεται με ειδική μονωτική λαβή, χωρίς όμως να παρέχεται προστασία έναντι επαφής. Επειδή δεν υπάρχει μήτρα προσαρμογής μπορούν να τοποθετηθούν στην ίδια βάση σώματα διαφορετικών ονομαστικών εντάσεων. Για τους λόγους αυτούς η τοποθέτηση ή αφαίρεση του κεντρικού σώματος γίνεται μόνο από ειδικευμένο προσωπικό.

Στο σχήμα 3γ φαίνεται η θερμοκρασία κατά μήκος της ασφάλειας. Η θερμοκρασία  $\theta_\alpha$  στο σημείο συνδέσεως της ασφάλειας με τη γραμμή (θερμοκρασία ακροδεκτών) είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία  $\theta_1$  του αγωγού. Η θερμοκρασία  $\theta_\alpha$  για συνεχή φόρτιση με το ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει ένα ορισμένο όριο, για να μην προκαλείται γήρανση της μονώσεως των αγωγών στα άκρα τους. Για μαχαιρωτές ασφάλειες είναι  $\theta_\alpha \leq 120^\circ \text{C}$  (Κανονισμοί VDE 0636).



Σχήμα 3. Μαχαιρωτή ασφάλεια

α) Κεντρικό σώμα (φυσίγγι)

β) Συγκρότηση

1 κεντρικό σώμα, 2 τηκτό, 3 βάση

γ) Θερμοκρασία κατά μήκος της ασφάλειας

$\theta_1$  θερμοκρασία αγωγών

$\theta_\alpha$  θερμοκρασία ακροδεκτών

$\theta_2$  μέγιστη θερμοκρασία τηκτού

## 2.2.2 Χαρακτηριστικές εντάσεως - χρόνου

Η ονομαστική ένταση  $I_n$  μιας ασφάλειας είναι η μέγιστη ένταση συνεχούς φορτίσεως χωρίς υπέρβαση της μέγιστης θερμοκρασίας του τηκτού και των ακροδεκτών.

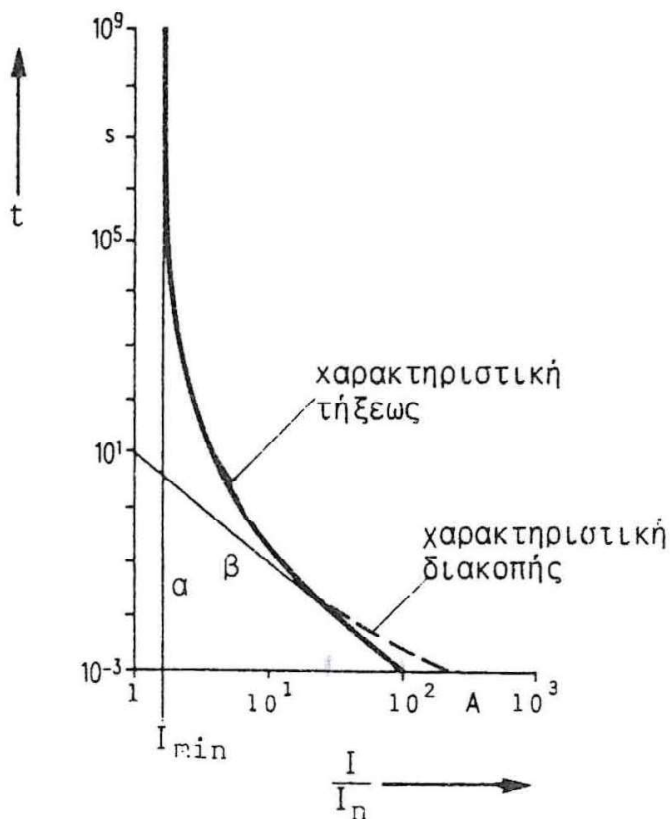
Η μέγιστη ένταση, η οποία μπορεί να διαρρέει μία ασφάλεια συνεχώς χωρίς να προκαλεί την τήξη της είναι η "κάτω οριακή ένταση" (π.χ.  $1,1 I_n$ ). Η ασφάλεια όμως δεν επιτρέπεται να διαρρέεται συνεχώς από την ένταση αυτή, για να μην γίνεται υπέρβαση της επιτρεπόμενης θερμοκρασίας των ακροδεκτών ( $\theta_a$  στο σχήμα 3γ).

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν η μέγιστη ένταση η οποία δεν προκαλεί τήξη της ασφάλειας εντός δύο ωρών και η ελάχιστη ένταση, η οποία προκαλεί οπωσδήποτε τήξη της ασφάλειας εντός 2 h ( $1,3 I_n$  και  $1,6 I_n$  αντίστοιχα).

Το σχήμα 4 δείχνει την τυπική μορφή των χαρακτηριστικών εντάσεως χρόνου τήξεως ασφαλειών. Η ασύμπτωτος  $\alpha$  προκύπτει από την ελάχιστη ένταση, η οποία προκαλεί τήξη της ασφάλειας. Όταν η ένταση του ρεύματος έχει πολύ μεγάλες τιμές επέρχεται η τήξη του νήματος της ασφάλειας σε πολύ μικρό χρόνο, κατά τον οποίο δεν γίνεται αξιόλογη απαγωγή θερμότητας στο περιβάλλον. Η ενέργεια που προκαλεί την τήξη είναι σταθερή και ανάλογη του γινομένου  $I^2 t$ . Το μέγεθος  $I^2 t$  εμφανίζεται ως ευθεία στην παράσταση με λογαριθμική κλίμακα στους δύο άξονες, ευθεία  $\beta$ . Οι ευθείες  $\alpha$  και  $\beta$  είναι ασύμπτωτοι της καμπύλης τήξεως. Στην χαρακτηριστική διακοπής συμπεριλαμβάνεται και ο χρόνος σβέσεως του ηλεκτρικού τόξου μετά την τήξη (καμπύλη με διακεκομμένη γραμμή στο σχήμα 4). Η χαρακτηριστική τήξεως συμπίπτει πρακτικά με τη χαρακτηριστική διακοπής για ρεύματα έως  $20 I_n$ . Οι χαρακτηριστικές εντάσεως-χρόνου που δίδονται στα επόμενα από τους κατασκευαστές είναι οι μέσες καμπύλες εντάσεως-χρόνου τήξεως. Σύμφωνα με τους Κανονισμούς VDE 0636 οι μέσες αυτές καμπύλες επιτρέπεται να παρουσιάζουν αποκλίσεις έως  $\pm 7\%$  στην κατεύθυνση του άξονα του ρεύματος.

Το σχήμα 10 του κεφαλαίου I δείχνει τη χαρακτηριστική εντάσεως-χρόνου κοχλιωτών ασφαλειών ταχείας και βραδείας τήξεως. Οι ασφάλειες βραδείας τήξεως (ασφάλειες aM κατά VDE 0636) χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα με παροδικές υπερφορτίσεις, π.χ. υπερφορτί-



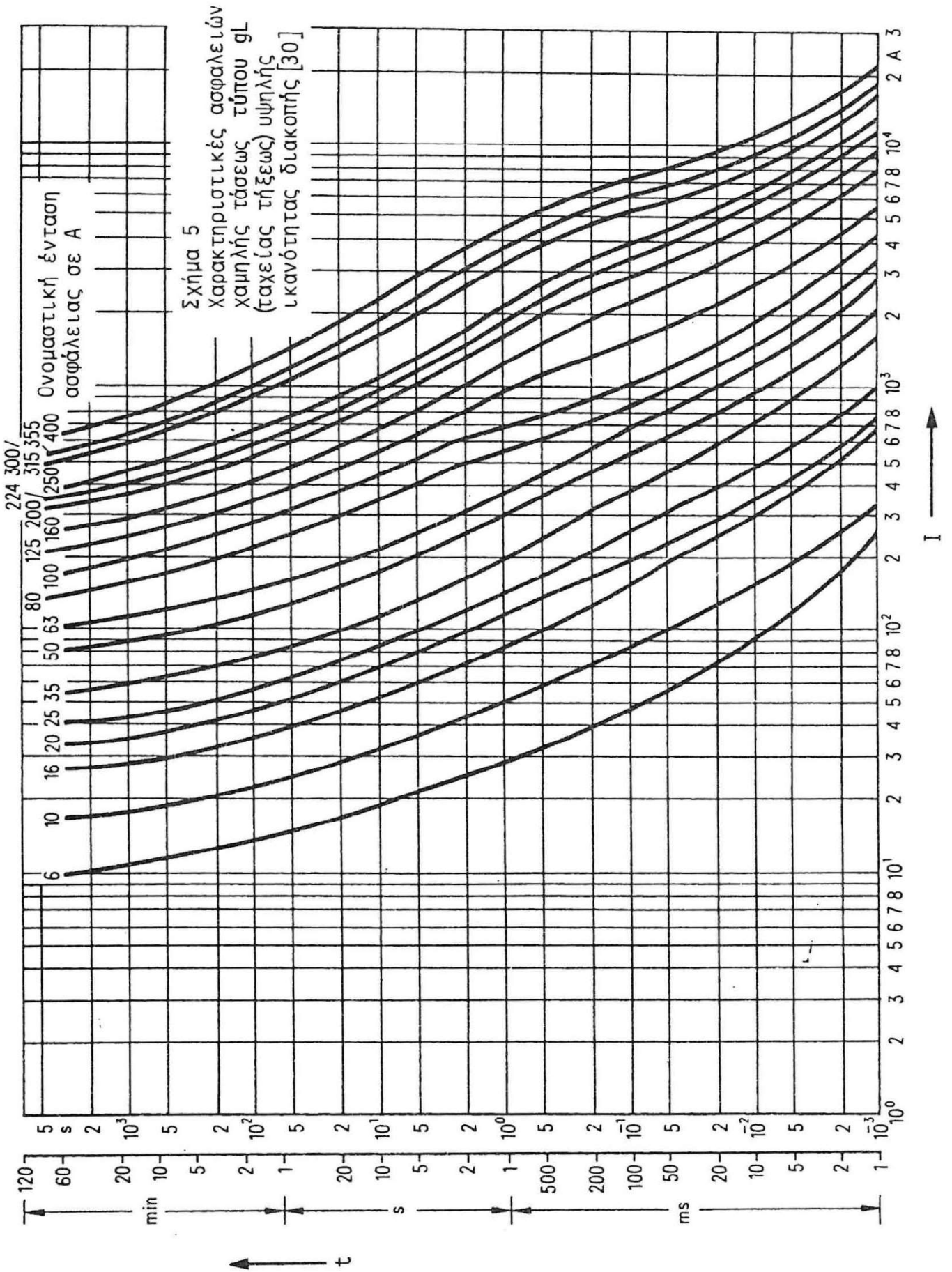


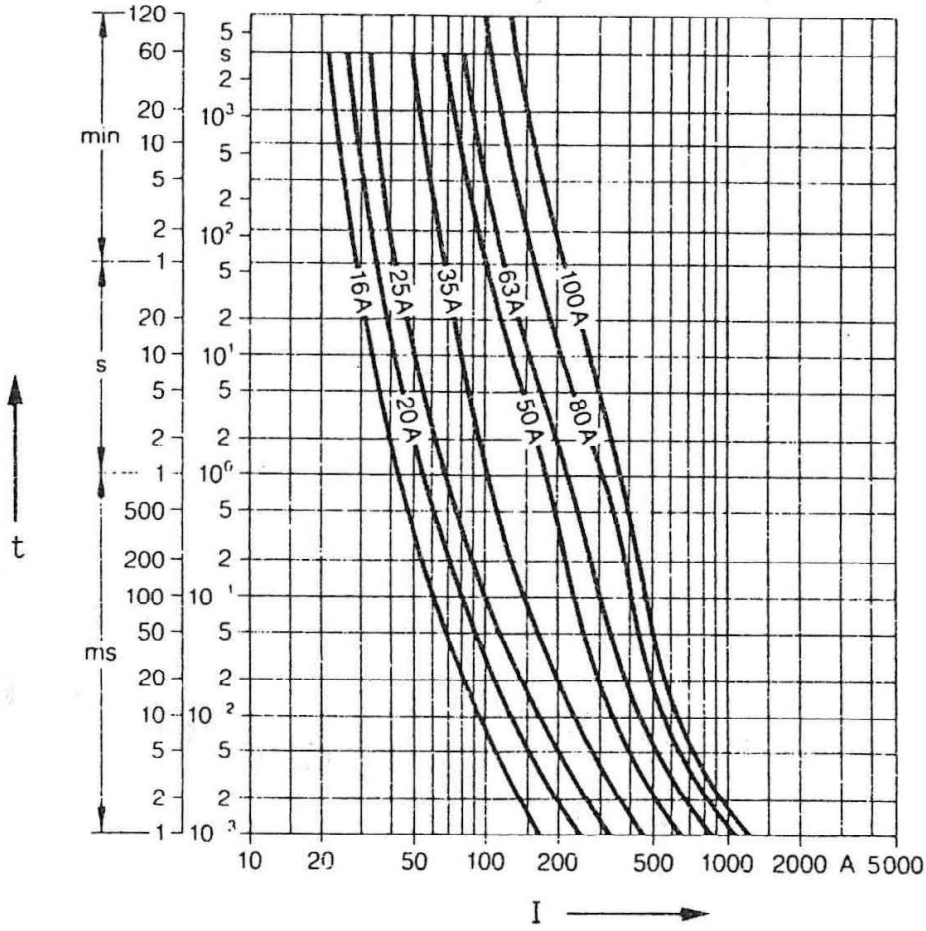
Σχήμα 4. Χαρακτηριστική εντάσεως-χρόνου τήξεως και εντάσεως-χρόνου διακοπής ασφάλειας.

σεις εκκινήσεως κινητήρων. Οι ασφάλειες αυτές δεν παρέχουν προστασία έναντι υπερφορτίσεως αλλά μόνο έναντι βραχυκυκλώσεως. Η προστασία έναντι υπερφορτίσεως παρέχεται από άλλα στοιχεία (διακόπτες με θερμικά στοιχεία, θερμικοί ηλεκτρονόμοι).

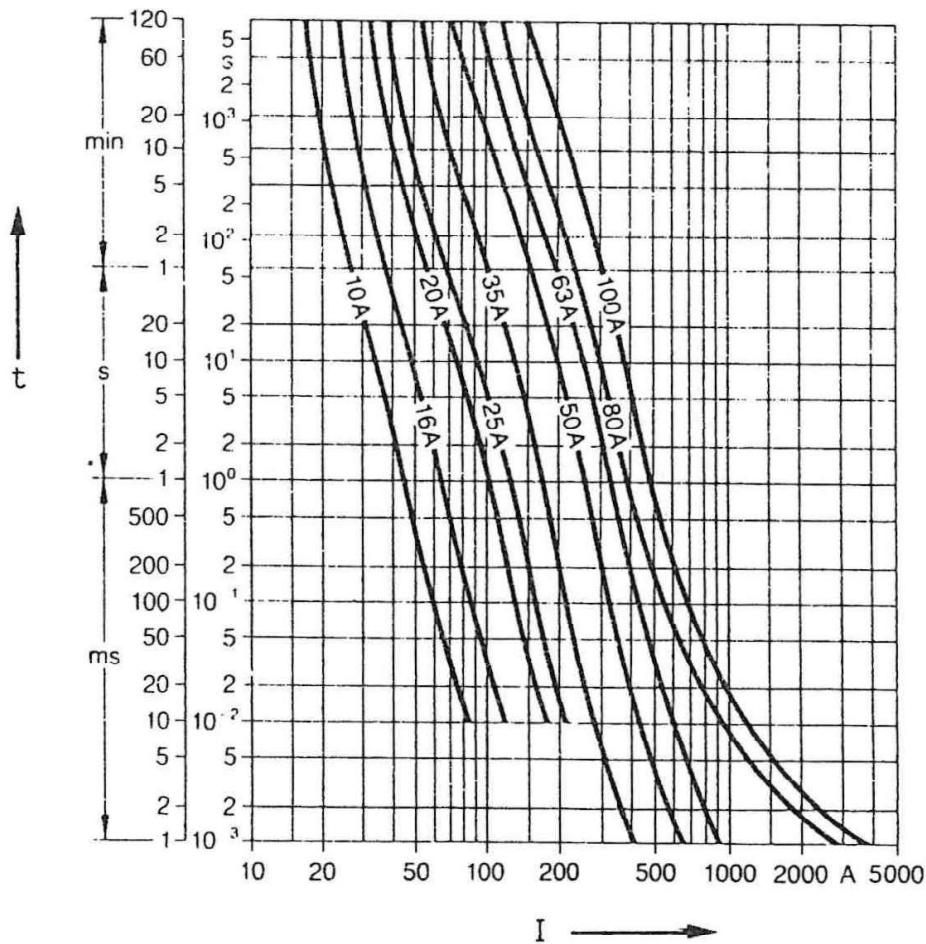
Το σχήμα 5 δείχνει τις χαρακτηριστικές ασφαλειών ταχείας τήξεως χαμηλής τάσεως υψηλής ικανότητας διακοπής.

Οι ημιαγωγοί δεν παρουσιάζουν ουσιαστικές δυνατότητες υπερφορτίσεως. Για την προστασία ημιαγωγών ισχύος (θυρίστορ, δίοδοι) αναπτύχθηκαν ειδικές ασφάλειες υπερταχείας τήξεως, σχήμα 6. Ειδικές ασφάλειες χρησιμοποιούνται επίσης στα ορυχεία για ρεύματα έως  $4 I_n$  η χαρακτηριστική τους είναι βραδείας τήξεως και για μεγαλύτερα ρεύματα υπερταχείας τήξεως, σχήμα 7.





Σχήμα 6  
Χαρακτηριστικές ασφαλε  
για την προστασία  
ημιαγωγών [31].



Σχήμα 7  
Χαρακτηριστικές ασφαλει  
για την προστασία  
εγκαταστάσεων ορυχείων  
[31].

### 2.2.3 Περιορισμός του ρεύματος βραχυκυκλώσεως με ασφάλειες

Οι ασφάλειες τήκονται για μεγάλες εντάσεις σε τόσο μικρό χρόνο, ώστε να μην μπορεί να αναπτυχθεί το κρουστικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως  $I_S$ , σχήματα 8α, 8β. Η μέγιστη στιγμιαία τιμή της εντάσεως βραχυκυκλώσεως περιορίζεται από το κρουστικό ρεύμα  $I_S$  στο ρεύμα διελεύσεως  $I_D$ . Έτσι περιορίζονται οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και η μηχανική (δυναμική) καταπόνηση.

Από το σχήμα 8γ μπορεί να ληφθεί για δεδομένο ρεύμα βραχυκυκλώσεως  $I_K$  και ονομαστική ένταση ασφάλειας  $I_N$  το ρεύμα διελεύσεως  $I_D$  και το κρουστικό ρεύμα  $I_S$  με συνεχή συνιστώσα ( $\kappa = 1,8$ ) και χωρίς συνεχή συνιστώσα ( $\kappa = 1$ ).

#### Παράδειγμα:

Ασφάλειες ονομαστικής εντάσεως  $I_N = 125 \text{ A}$ , υψηλής ικανότητας διακοπής, ταχείας τήξεως, σε δίκτυο 500 V.

- Ρεύμα βραχυκυκλώσεως (ενδεικνυμένη τιμή)  $I_K = 20 \text{ kA} = 160 I_N$ .
  - Ρεύμα διελεύσεως  $I_D = 10 \text{ kA}$
  - Κρουστικό ρεύμα (με συνεχή συνιστώσα)  $I_S = 50 \text{ kA}$
  - Χρόνος τήξεως  $t < 1 \text{ ms}$ , σχήμα 5
- } από το σχήμα 8

## 2.3 Αυτόματι διακόπτες ισχύος

### 2.3.1 Γενικά

Οι αυτόματι διακόπτες ισχύος μπορούν να διακόπτουν και να αποκαθιστούν κυκλώματα και σε περίπτωση σφαλμάτων (βραχυκυκλωμάτων), εφόσον παρουσιάζουν την απαιτούμενη ικανότητα διακοπής και ζεύξεως:

- Η ονομαστική ικανότητα διακοπής του διακόπτη πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το αρχικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως  $I_K''$ , το οποίο μπορεί να εμφανισθεί στο σημείο εγκαταστάσεως του διακόπτη.
- Η ονομαστική ικανότητα ζεύξεως του διακόπτη πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το κρουστικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως  $I_S$  το οποίο μπορεί να εμφανισθεί στο σημείο εγκαταστάσεως του διακόπτη.

Οι αυτόματι διακόπτες προστασίας στοιχείων εγκαταστάσεων χαμηλής τάσεως έναντι υπερεντάσεως είναι γενικά διακόπτες ισχύος. Στην κάθε φάση έχουν ένα θερμικό (διμεταλλικό) στοιχείο για την

προστασία έναντι υπερφορτίσεως και ένα ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο για την προστασία έναντι ρευμάτων βραχυκυκλώσεως.

Στο σχήμα 9 φαίνεται η χαρακτηριστική εντάσεως-χρόνου διακοπής ενός αυτόματου διακόπτη χαμηλής τάσεως. Η ένταση, στην οποία επέρχεται η λειτουργία του διακόπτη μπορεί να ρυθμισθεί σε μία ορισμένη περιοχή και να προσαρμοσθεί έτσι στις απαιτήσεις του στοιχείου που προστατεύεται.

Το στοιχείο υπερφορτίσεως

- δεν διακόπτει εντός 2 ωρών για ρεύματα  $I \leq 1,05 I_n$

- διακόπτει εντός 2 ωρών για ρεύματα  $I \geq 1,20 I_n$

όπου  $I_n$  το ρεύμα διακοπής για το οποίο ρυθμίζεται ο διακόπτης

Το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο μπορεί επίσης να ρυθμισθεί ώστε να γίνεται διακοπή, π.χ.

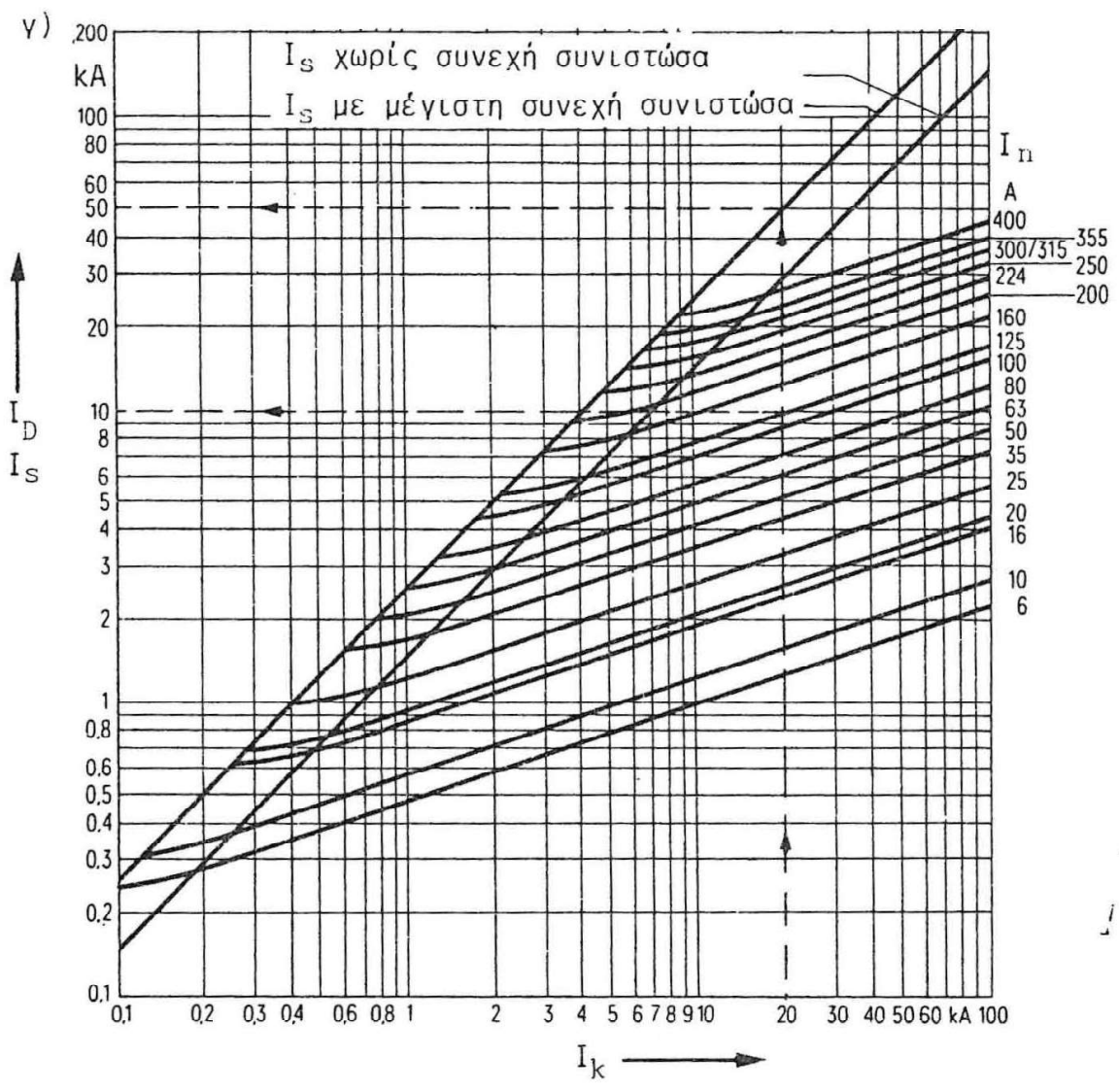
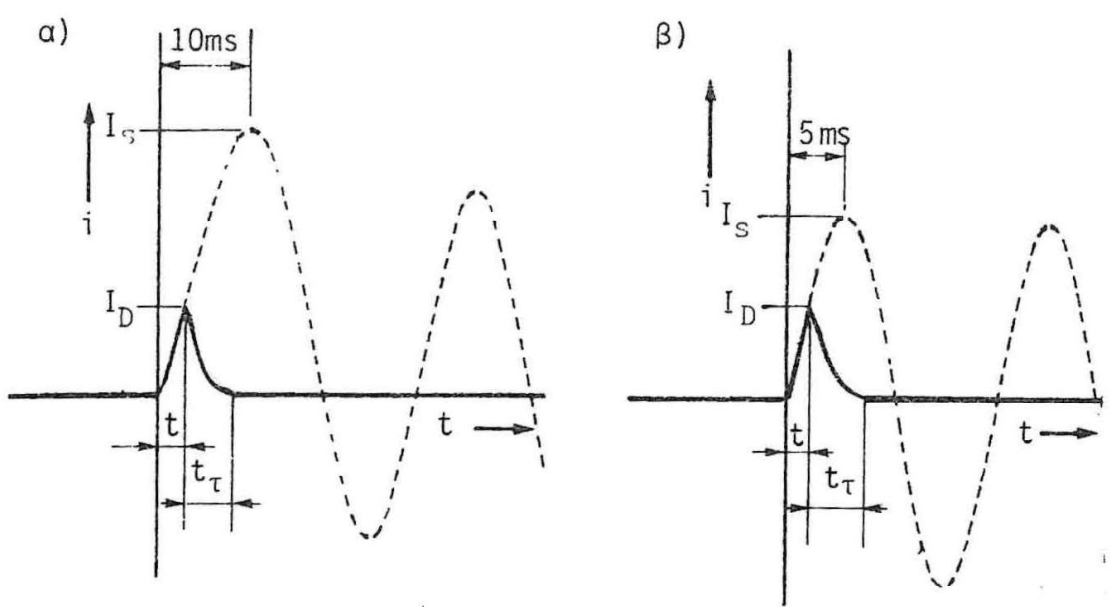
- για  $I = 6 I_n$  για την προστασία γραμμών

- για  $I = 12 I_n$  για την προστασία κινητήρων

Οι μικροαυτόματοι που χρησιμοποιούνται κυρίως για την προστασία γραμμών σε εσωτερικές εγκαταστάσεις, δεν μπορούν να ρυθμισθούν.

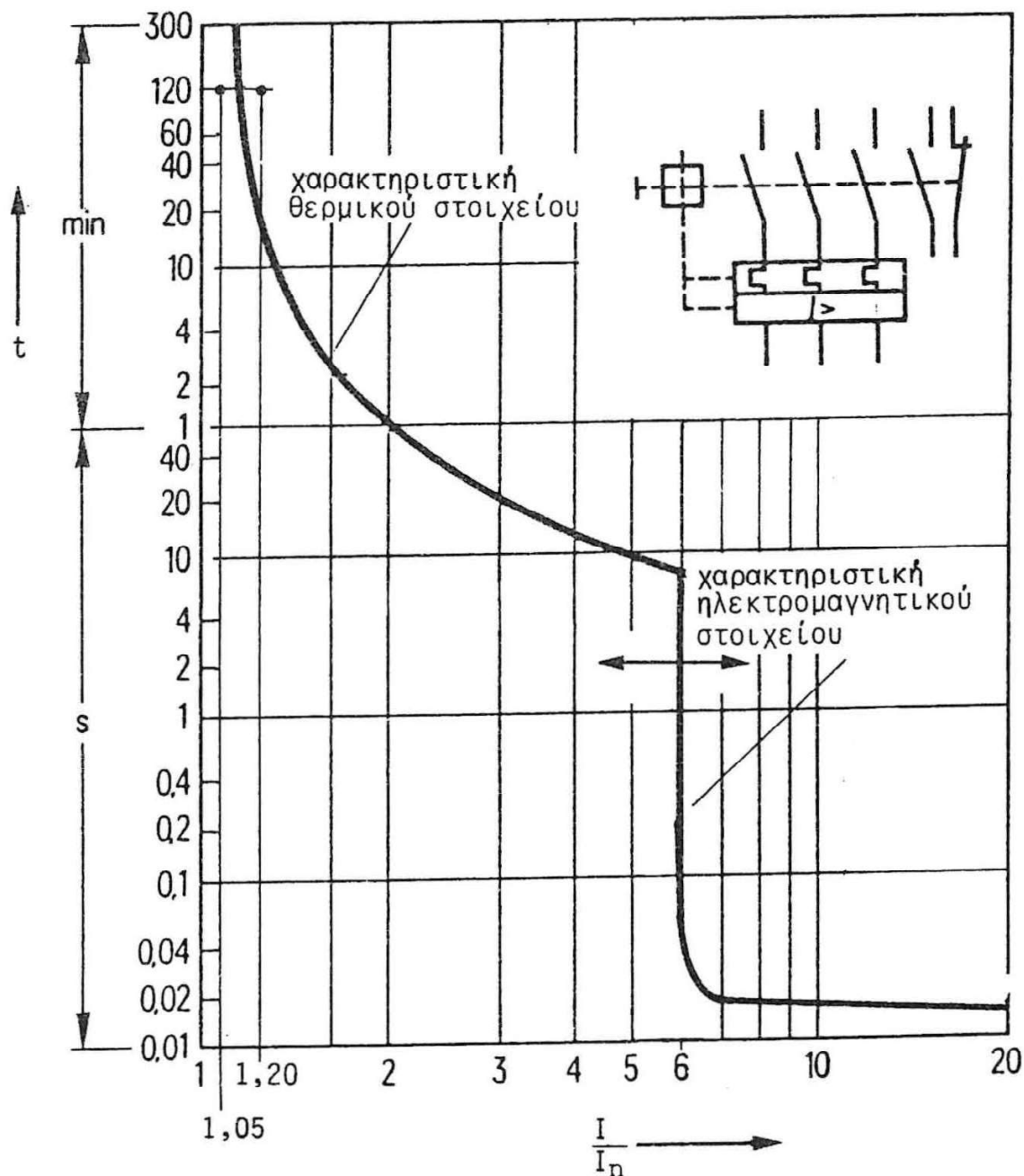
Οι χαρακτηριστικές τους εντάσεως-χρόνου δίδονται στο σχήμα 10 του κεφαλαίου I.

Ανάλογα με τον τρόπο σβέσεως του ηλεκτρικού τόξου οι αυτόματοι διακόπτες διακρίνονται σε διακόπτες με διακοπή κατά το μηδενισμό του ρεύματος και σε διακόπτες με περιορισμό του ρεύματος.



Σχήμα 8. Περιορισμός ρεύματος βραχυκυκλώσεως με ασφάλειες τύπου gL [30]

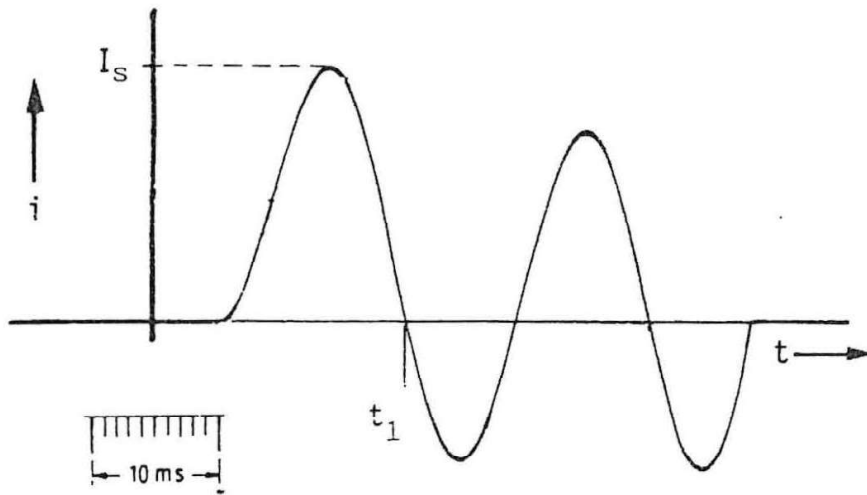
- α) Ρεύμα βραχυκυκλώσεως με συνεχή συνιστώσα,  $t$  χρόνος τήξεως,  $t_\tau$  χρόνος σβέσεως τόξου,  $t + t_\tau$  χρόνος διακοπής.  $I_S$  κρουστικό ρεύμα,  $I_D$  ρεύμα διελεύσεως.
- β) Ρεύμα βραχυκυκλώσεως χωρίς συνεχή συνιστώσα
- γ) Χαρακτηριστικές ρεύματος διελεύσεως ασφαλειών χαμηλής τάσεως υψηλής ικανότητας διακοπής ταχείας τήξεως, 500 V. Παράμετρος  $I_n$ : ονομαστική ένταση ασφάλειας



Σχήμα 9. Χαρακτηριστική εντάσεως χρόνου διακοπής αυτόματου διακόπτη με θερμικό και ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο.

### 2.3.2 Διακοπή κατά το μηδενισμό του ρεύματος

Η διακοπή του τόξου γίνεται όταν το ρεύμα βραχυκυκλώσεως αποκτήσει μηδενική στιγμιαία τιμή, δηλαδή μετά την εμφάνιση του κρουστικού ρεύματος βραχυκυκλώσεως, σχήμα 10. Συνεπώς με τους διακόπτες αυτούς δεν μπορεί να επιτευχθεί περιορισμός του κρουστικού ρεύματος βραχυκυκλώσεως και της δυναμικής καταπόνησης.



Σχήμα 10. Διακοπή  
ρεύματος βραχυκυ-  
κλώσεως κατά τον ιέ-  
ταρτο μηδενισμό του.  
 $t_1$  πρώτος μηδενισμός  
του ρεύματος

### 2.3.3 Περιορισμός του ρεύματος

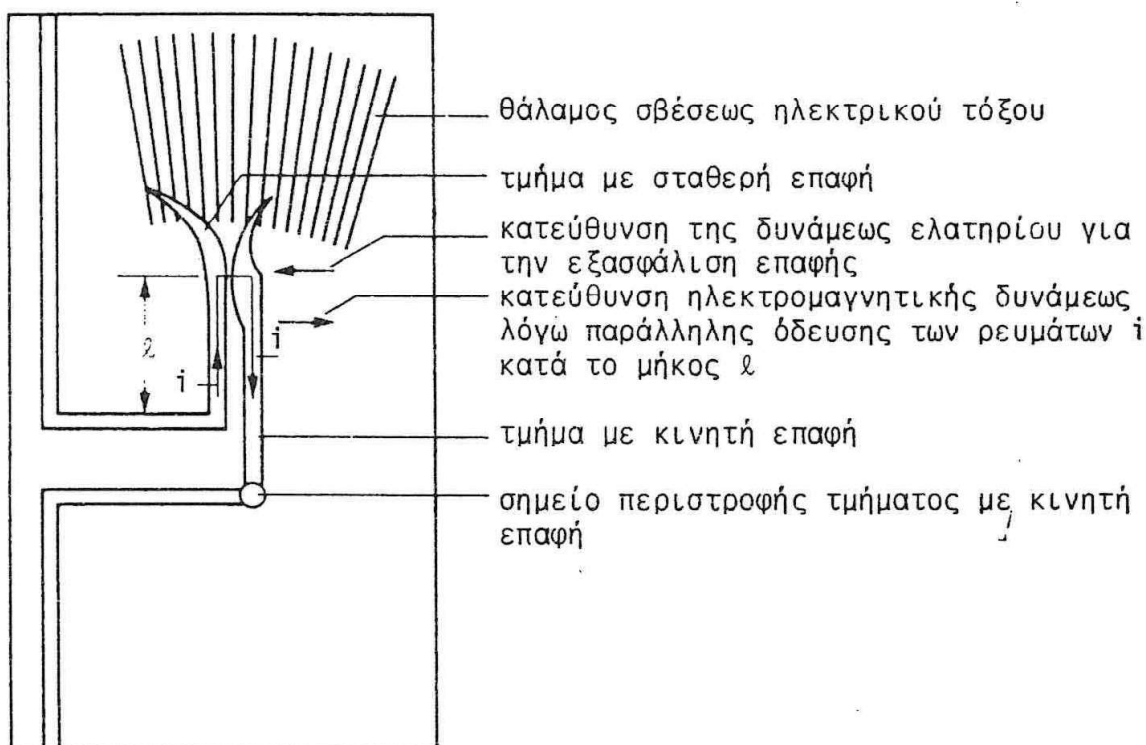
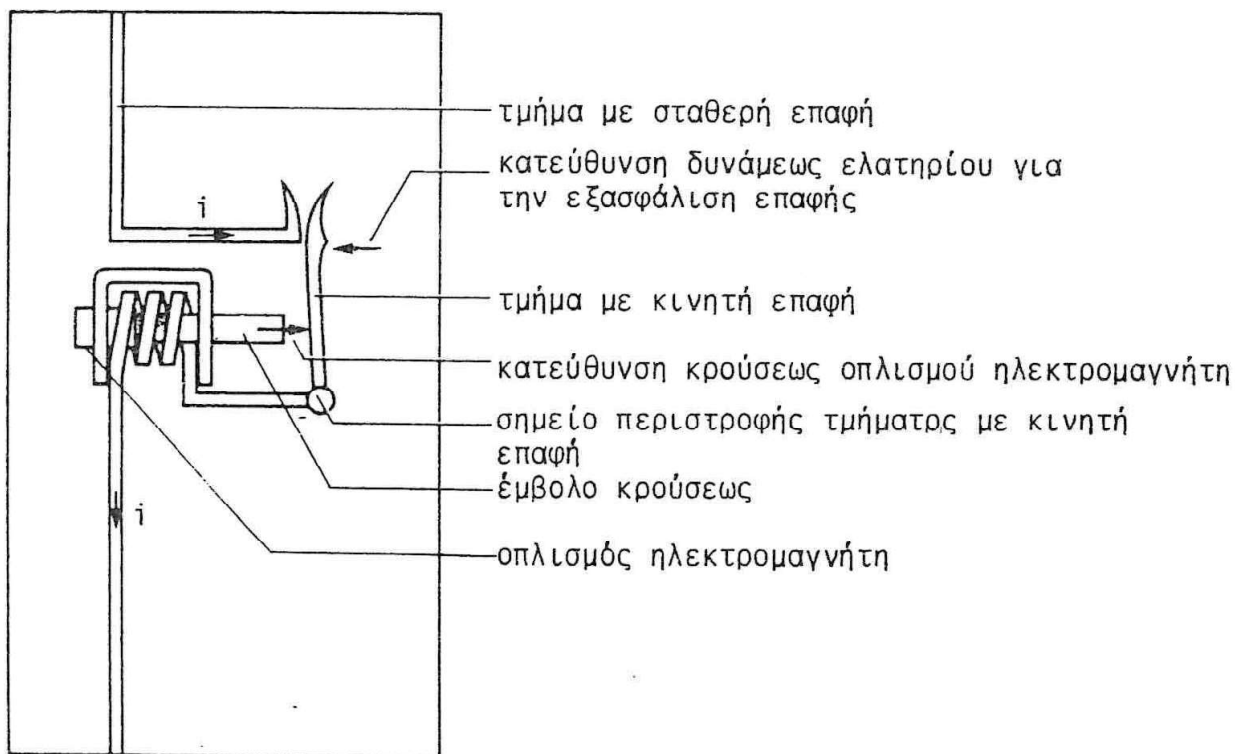
Ο περιορισμός του ρεύματος βραχυκυκλώσεως μπορεί να επιτευχθεί  
- με σχετικά μεγάλη αντίσταση του ίδιου του διακόπτη  
- με πολύ μικρό χρόνο διακοπής του διακόπτη

α) Διακόπτες με μεγάλη αντίσταση  
Διακόπτες ρυθμισμένοι σε μικρές εντάσεις (π.χ.  $I_n < 2,5 \text{ A}$ ) πα-  
ρουσιάζουν σχετικά μεγάλη αντίσταση στην όδευση του ρεύματος  
(αντίσταση του τυλίγματος για τη θέρμανση του διμεταλλικού  
στοιχείου, αντίσταση του τυλίγματος του ηλεκτρομαγνητικού  
στοιχείου). Με την αντίσταση αυτή μπορεί να επιτευχθεί ο πε-  
ριορισμός κάθε ρεύματος βραχυκυκλώσεως  $I_k$  κάτω από την ικα-  
νότητα διακοπής και ζεύξεως του διακόπτη π.χ. αν διακόπτης  
380 V έχει ικανότητα διακοπής 1,5 kA και παρουσιάζει για τη  
ρύθμιση  $I \leq 2,5 \text{ A}$  αντίσταση  $R \geq 0,2 \Omega$ , τότε το ρεύμα για τρι-  
πολικό βραχυκύκλωμα στους ακροδέκτες εξόδου του διακόπτη δεν  
μπορεί να υπερβεί την τιμή  $I_k = U/(\sqrt{3}R) = 380\text{V}/(\sqrt{3} \cdot 0,2) = 1,1\text{kA}$ ,  
η οποία είναι μικρότερη από την ικανότητα διακοπής του διακό-  
πτη. Ένας τέτοιος διακόπτης μπορεί να εγκατασταθεί σε οποιο-  
δήποτε σημείο μιας εγκαταστάσεως 380V (ανεξάρτητα από την τι-  
μή του ρεύματος βραχυκυκλώσεως).

β) Διακόπτες με πολύ μικρό χρόνο  
διακοπής

Οι διακόπτες αυτοί διακόπτουν το κύκλωμα πριν το ρεύμα βραχυ-  
κυκλώσεως αποκτήσει τη μέγιστη στιγμιαία τιμή του (κρουστικό  
ρεύμα). Η αρχή λειτουργίας των διακοπών φαίνεται από το σχή-  
μα 11. Στο σχήμα 12α φαίνεται η συγκρότηση ενός διακόπτη ακα-  
ριαίας διακοπής με κρούση οπλισμού ηλεκτρομαγνήτη και στο  
σχήμα 12β η χαρακτηριστική περιορισμού του ρεύματος.

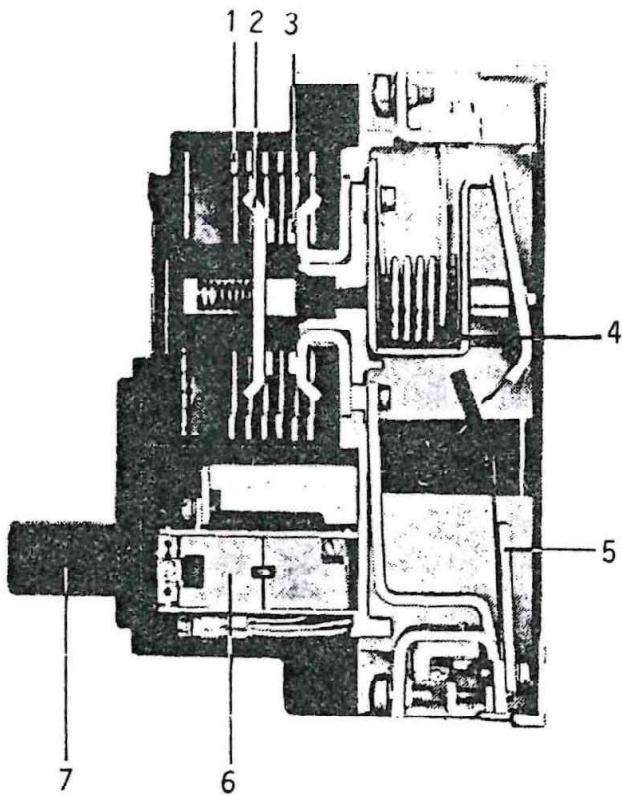




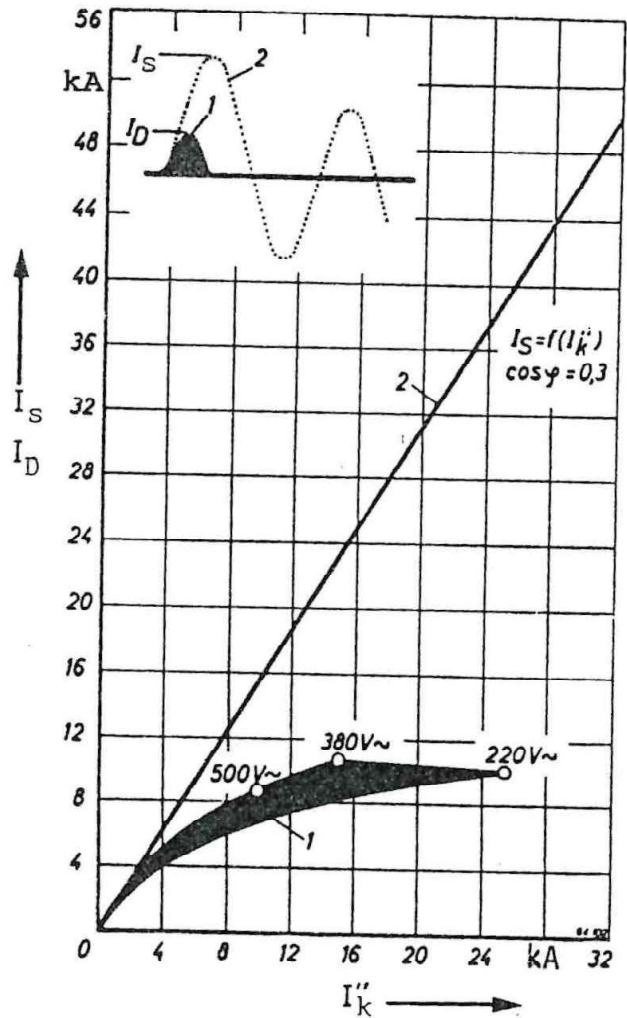
Σχήμα 11. Αρχή λειτουργίας διακοπών περιορισμού του κρουστικού ρεύματος βραχυκυκλώσεως.

- α) Διακόπτης με κρούση σπλισμού ηλεκτρομαγνήτη (συνήθως για  $I_n < 200 \text{ A}$ )
- β) Διακόπτης με δράση ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων (συνήθως για  $I_n > 200 \text{ A}$ )

α)



β)



Σχήμα 12. Διακόπτης περιορισμού του ρεύματος βραχυκυκλώσεως, AEG, τύπος MCBs 64. Ονομαστική ένταση  $I_n = 70$  A.

Ονομαστική ικανότητα διακοπής

- 25 kA για  $U_n = 220$  V και  $\cos\phi = 0,25$
- 15 kA για  $U_n = 380$  V και  $\cos\phi = 0,30$
- 10 kA για  $U_n = 500$  V και  $\cos\phi = 0,50$

α) Τομή

- 1 θάλαμος σβέσεως ηλεκτρικού τόξου
- 2 τμήμα με κινητές επαφές (γέφυρα, διακοπή σε δύο σημεία)
- 3 τμήμα με σταθερές επαφές
- 4 ηλεκτρομαγνήτης με οπλισμό κρούσεως
- 5 θερμικό στοιχείο (διμεταλλικό)
- 6 στοιχείο υποτάσεως (προκαλεί διακοπή σε περίπτωση ελλείψεως τάσεως -π.χ. λόγω διακοπής αγωγού- ή μεγάλης πτώσεως τάσεως)
- 7 λαβή για χειροκίνητο χειρισμό

β) Καμπύλες κρουστικού ρεύματος  $I_S$  και ρεύματος διελεύσεως  $I_D$ . Τα σημεία για 500 V, 380 V και 220 V χαρακτηρίζουν την ονομαστική ικανότητα διακοπής  $I''_k$  για την αντίστοιχη τάση

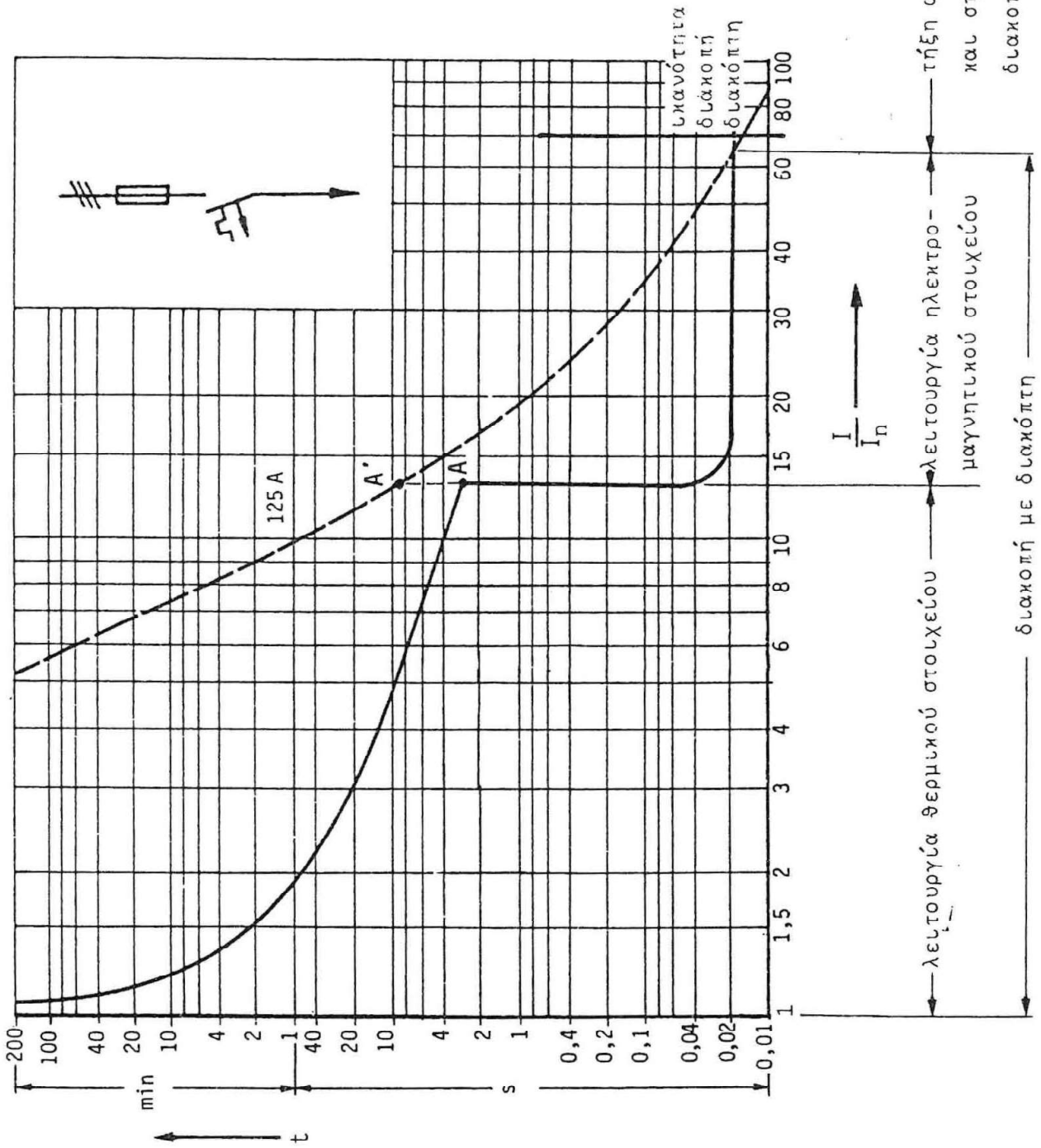
## 2.4 Συνδυασμός ασφαλειών αυτόματου διακόπτη

Η βασική ιδιότητα των ασφαλειών είναι η μεγάλη ικανότητα διακοπής σε συνδυασμό με τον περιορισμό του ρεύματος βραχυκυκλώσεως. Οι ιδιότητες αυτές χρησιμοποιούνται για την προστασία έναντι υπερεντάσεων βραχυκυκλώσεως όχι μόνο γραμμών και συσώων αλλά και αυτομάτων διακοπών και ηλεκτρονόμων.

Όταν το ρεύμα-βραχυκυκλώσεως στο σημείο εγκαταστάσεως του αυτομάτου διακόπτη είναι μεγαλύτερο της ικανότητας διακοπής του διακόπτη μπορεί ο διακόπτης να εγκατασταθεί, εφόσον προτάσσονται ασφάλειες, σχήμα 13. Για να εξασφαλισθεί η συνεργασία διακόπτη και ασφαλειών, έτσι ώστε ο διακόπτης να μην καταπονηθεί ανεπίτρεπτα λόγω των ρευμάτων βραχυκυκλώσεως, πρέπει οι χαρακτηριστικές εντάσεως-χρόνου διακόπτη και ασφαλειών να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις:

- Η χαρακτηριστική της ασφάλειας πρέπει να απέχει επαρκώς από τη χαρακτηριστική προστασίας υπερφορτίσεως, απόσταση ΑΑ'. Η προστασία έναντι υπερφορτίσεως παρέχεται μόνο από το διακόπτη.
- Η ασφάλεια "υποβοηθεί" το διακόπτη όταν το ρεύμα βραχυκυκλώσεως υπερβαίνει την ικανότητα διακοπής του διακόπτη, στην περιοχή αυτή το ρεύμα διακόπτεται από την ασφάλεια και στη συνέχεια ανοίγει ο διακόπτης χωρίς να διαρρέεται από ρεύμα. Αυτό συμβαίνει και όταν τακεί μία μόνο ασφάλεια, π.χ. κατά ένα μονοπολικό βραχυκύκλωμα. Η χαρακτηριστική της ασφάλειας πρέπει να τέμνει τη χαρακτηριστική του διακόπτη για ρεύματα ίσα ή λίγο μικρότερα της ικανότητας διακοπής του διακόπτη. Η τήξη των ασφαλειών σε σημαντικά μικρότερες εντάσεις από την ικανότητα διακοπής του διακόπτη, αντί της λειτουργίας του διακόπτη, είναι μειονεκτική (ο διακόπτης μπορεί να ξανακλείσει αμέσως οι ασφάλειες όμως πρέπει να αντικατασταθούν).

Το μέγεθος  $I^2t$  που προκαλεί τήξη της ασφάλειας δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο του αντίστοιχου μεγέθους που χαρακτηρίζει την αντοχή του θερμικού στοιχείου. Στην τεχνική περιγραφή των διακοπών δίνεται για την κάθε περιοχή ρυθμίσεως του θερμικού στοιχείου η μέγιστη επιτρεπόμενη ονομαστική ένταση της ασφάλειας.



Σχήμα 13. Συνδυασμός ασφαλειών-αυτόματου διακόπτη. Ρύθμιση διακόπτη σε  $I_n = 30 \text{ A}$ , ασφάλεια ταχείας τήξεως 125 A.

Το σχήμα 14 δείχνει τις χαρακτηριστικές εντάσεως-χρόνου ενός αυτομάτου διακόπτη και ασφαλειών ταχείας τήξεως υψηλής ικανότητας διακοπής. Δίδονται επίσης τα βασικά τεχνικά δεδομένα του διακόπτη. Από τη σύγκριση των χαρακτηριστικών του διακόπτη για την αντίστοιχη ρύθμιση με τις χαρακτηριστικές των ασφαλειών προκύπτει η ασφάλεια κατάλληλης ονομαστικής εντάσεως. Στο σχήμα δίδονται επίσης οι μέγιστες επιτρεπόμενες ονομαστικές εντάσεις ασφαλειών για την προστασία των θερμικών στοιχείων του διακόπτη για ένταση βραχυκυκλώσεως  $I_k'' = 20 \text{ kA}$ .

Παράδειγμα:

- Ρύθμιση θερμικού στοιχείου  $I_n = 65 \text{ A}$
- Ρύθμιση ηλεκτρομαγνητικού στοιχείου  $6I_n = 390 \text{ A}$

Για τη ρύθμιση αυτή λαμβάνονται από τα δεδομένα του σχήματος 14:

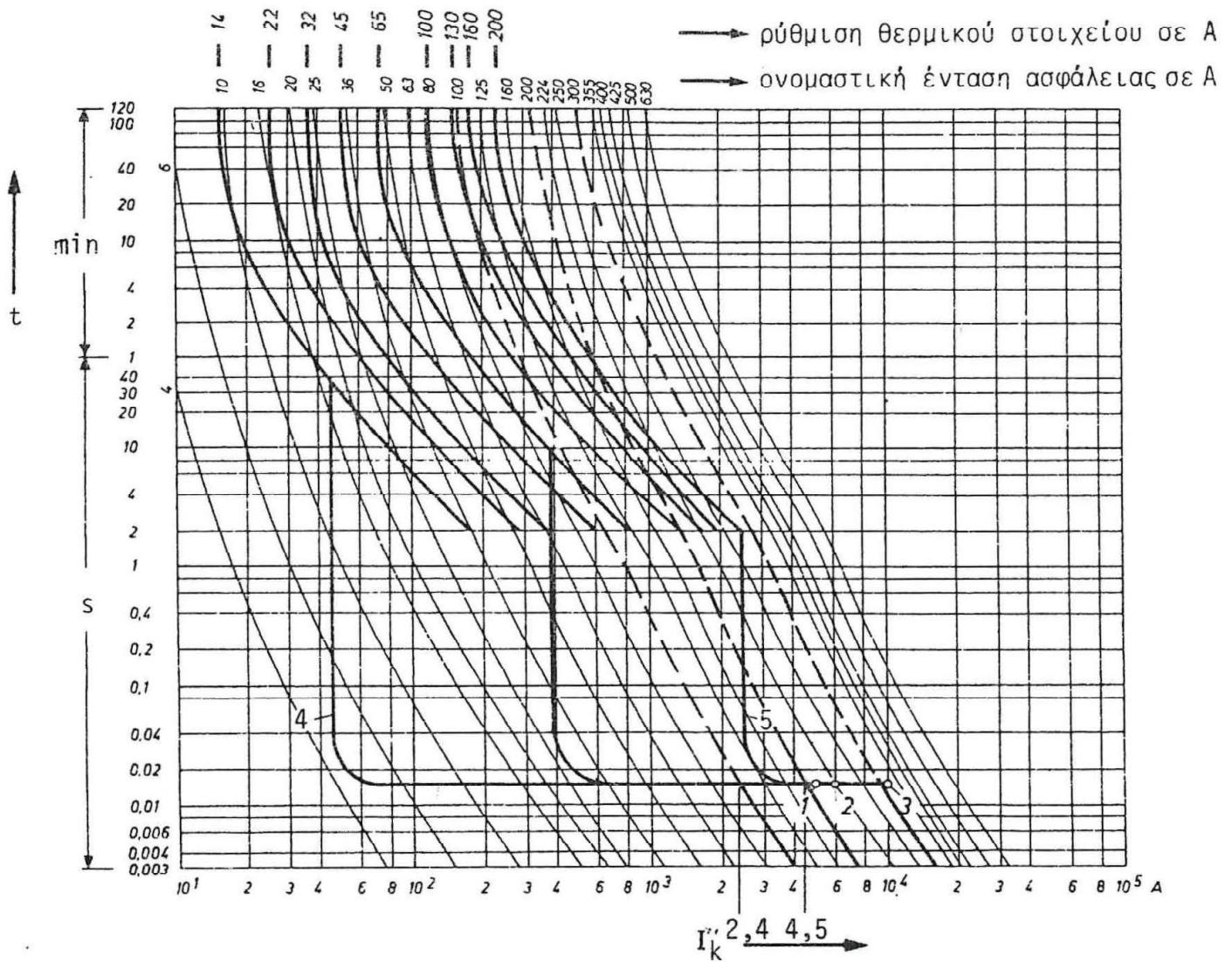
- Ονομαστική ικανότητα διακοπής διακόπτη  $I_k'' = 10 \text{ kA}$
- Μέγιστη ονομαστική ένταση ασφάλειας  $I = 200 \text{ A}$

Βάσει της ικανότητας διακοπής του διακόπτη,  $I_k'' = 10 \text{ kA}$ , θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ασφάλειες 300 A. Οι ασφάλειες όμως αυτές προστατεύουν το διακόπτη έναντι θερμικής και μηχανικής καταστροφής όχι όμως και το θερμικό του στοιχείο. Ασφάλειες 300 A επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν στην περιοχή ρυθμίσεως του θερμικού στοιχείου 130-200 A.

Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ασφάλειες 100 A επειδή:

- η χαρακτηριστική τους ευρίσκεται πάνω από τη χαρακτηριστική του θερμικού στοιχείου (για τη ρύθμιση 65 A)
- προστατεύουν το θερμικό στοιχείο

Οι ασφάλειες όμως των 100 A παρουσιάζουν ένα μειονέκτημα: Τήκονται για  $I_k'' > 2,4 \text{ kA}$  πριν ανοίξει ο διακόπτης, ενώ στην περιοχή  $2,4 \text{ kA} < I_k'' < 4,5 \text{ kA}$  η διακοπή μπορεί να γίνει από το διακόπτη χωρίς ανεπίτρεπτη θερμική καταπόνηση του θερμικού του στοιχείου, βλέπε σχήμα 14.



Σχήμα 14. Χαρακτηριστικές εντάσεως-χρόνου αυτομάτου διακόπτη και ασφαλειών ταχείας τήξεως, υψηλής ικανότητας διακοπής. Διακόπτης AEG, τύπος MC 201.

Ονομαστική ένταση διακόπτη 200 A με δυνατότητα ρυθμίσεως θερμικού στοιχείου από 14 A έως 200 A, ονομαστική τάση 500 V.

Δυνατότητα ρυθμίσεως ηλεκτρομαγνητικού στοιχείου από 45 A (όριο 4) έως 2,5 kA (όριο 5).

Ονομαστική ικανότητα διακοπής  $I_k''$

Περιοχή θερμικού στοιχείου	14 A - 22 A	20 A - 32 A	28 A - 200 A
$I_k'$	5 kA, σημείο 1	6kA, σημείο 2	10kA, σημείο 3

Μέγιστη ονομαστική ένταση ασφαλείας για την προστασία του θερμικού στοιχείου

Περιοχή θερμικού στοιχείου	14 A - 22 A	20 A - 100 A	100 A - 130 A	130 A - 200 A
Ασφάλεια	125 A	200 A	250 A	300 A

## 2.5 Επιλογική προστασία

### 2.5.1 Επιλογική προστασία με ασφάλειες

Οι ασφάλειες διακόπτουν στην περιοχή υπερφόρτισης επιλογικά όταν οι χαρακτηριστικές τους δεν τέμνονται. Αυτό όμως δεν επαρκεί για την επιλογική προστασία σε περίπτωση ρευμάτων βραχυκυκλώσεως. Για την επιλογική διακοπή κατά τα βραχυκυκλώματα πρέπει σε δίκτυα 500 V ή 660 V (π.χ. σε σταθμούς παραγωγής ή σε βιομηχανικές μονάδες) η προηγούμενη ασφάλεια να έχει ονομαστική ένταση περίπου 1,6 φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική ένταση της επόμενης ασφάλειας· αυτό οδηγεί συχνά στην μεθεπόμενη τυποποιημένη ονομαστική ένταση (π.χ. για ασφάλεια 63 A σε δίκτυο 500 V πρέπει να προηγείται ασφάλεια  $1,6 \cdot 63 = 100$  A και όχι 80 A). Από τους πίνακες επιλογικής προστασίας ασφαλειών καθορίζονται άμεσα οι ασφάλειες που συνεργάζονται επιλογικά, σχήμα 15.

### 2.5.2 Επιλογική προστασία με αυτόματους διακόπτες

α) Ε π ι λ ο γ ι κ ή π ρ ο σ τ α σ ί α μ ε ρ ύ θ μ ι σ η  
τ η ς ε ν τ ά σ ε ω ς τ ο υ η λ ε κ τ ρ ο μ α γ ν η -  
τ ι κ ο ύ σ τ ο ι χ ε ί ο υ

Όταν τα ρεύματα βραχυκυκλώσεως στο σημείο εγκαταστάσεως των διακοπών διαφέρουν πολύ μεταξύ τους, όπως π.χ. στο παράδειγμα του σχήματος 16 είναι δυνατή η επιλογική συνεργασία των διακοπών με κατάλληλη ρύθμιση της εντάσεως του ηλεκτρομαγνητικού στοιχείου: Η ένταση του ηλεκτρομαγνητικού στοιχείου του προηγούμενου διακόπτη Δ1 πρέπει να ρυθμισθεί έτσι, ώστε να είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη δυνατή ένταση για βραχυκύκλωμα στο σημείο εγκατάστασης του επόμενου διακόπτη Δ2.

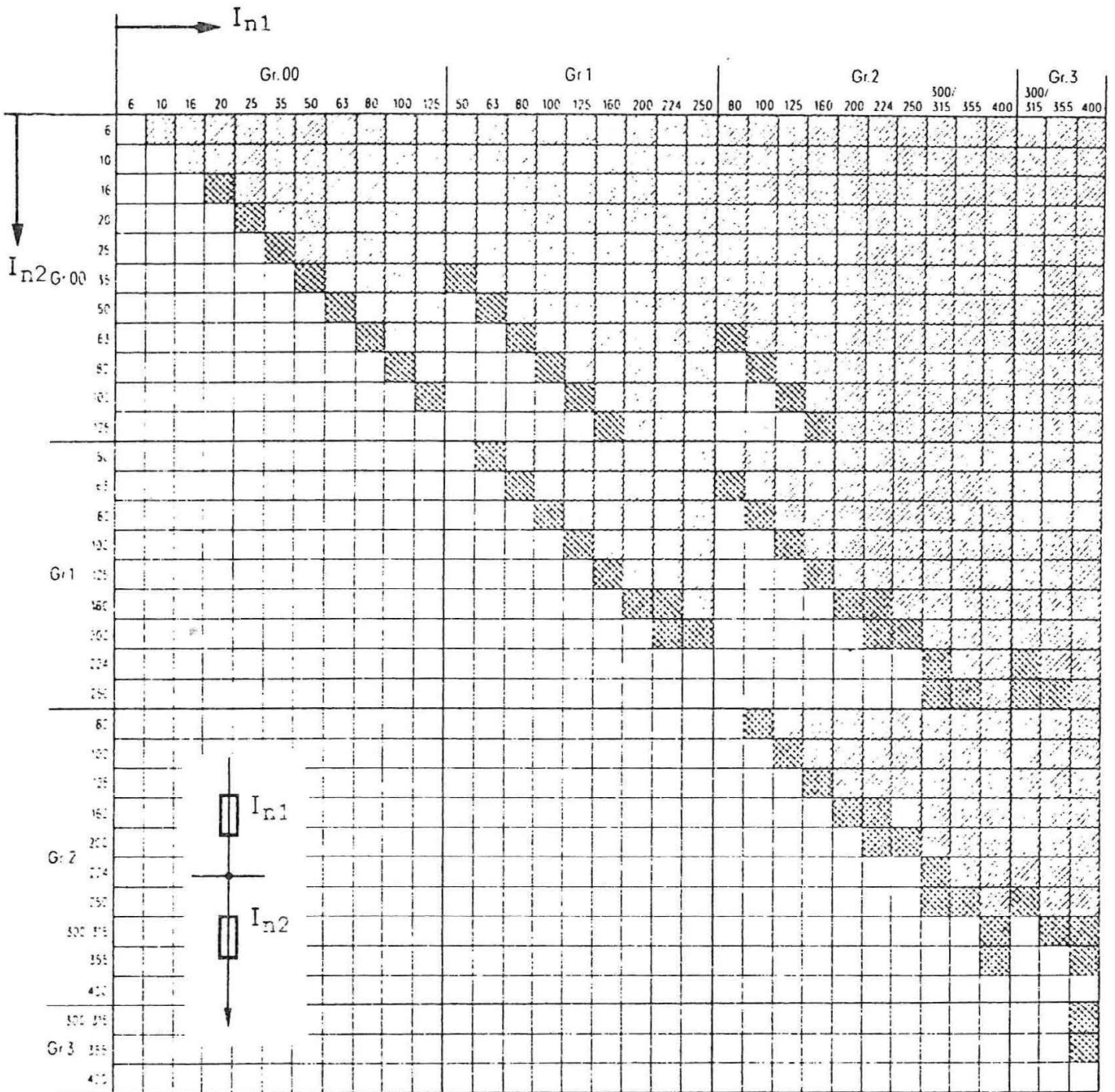
β) Ε π ι λ ο γ ι κ ή π ρ ο σ τ α σ ί α μ ε χ ρ ο ν ι κ ή  
κ α θ υ σ τ έ ρ η σ η λ ε ι τ ο υ ρ γ ί α ς τ ο υ η λ ε κ -  
τ ρ ο μ α γ ν η τ ι κ ο ύ σ τ ο ι χ ε ί ο υ

Όταν τα ρεύματα βραχυκυκλώσεως στις θέσεις των διακοπών δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές η επιλογική διακοπή δεν επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση της εντάσεως του ηλεκτρομαγνητικού στοιχείου αλλά με χρονική καθυστέρηση του ηλεκτρομαγνητικού στοιχείου του προηγούμενου διακόπτη. Η λειτουργία (άνοιγμα) του διακόπτη αυτού καθυστερεί τόσο, ώστε η διακοπή να γίνεται από



τον επόμενο διακόπτη. Η κλιμάκωση της χρονικής αυτής καθυστέρησης από διακόπτη σε διακόπτη είναι περίπου 100 ms έως 150 ms. Εκτός αυτού το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο του προηγούμενου διακόπτη ρυθμίζεται για ρεύμα τουλάχιστον 25% μεγαλύτερο της αντίστοιχης ρύθμισης του επόμενου διακόπτη.

Το σχήμα 17 δείχνει ένα παράδειγμα επιλογικής προστασίας με χρονική καθυστέρηση λειτουργίας του ηλεκτρομαγνητικού στοιχείου του διακόπτη Δ1 κατά  $\Delta t_1 = 250\text{ms}$  και του διακόπτη Δ2 κατά  $\Delta t_2 = 150\text{ms}$  (κλιμάκωση από Δ3 σε Δ2 κατά 150 ms και από Δ2 σε Δ1 κατά 100 ms). Ο διακόπτης Δ1 έχει εκτός του ηλεκτρομαγνητικού στοιχείου με χρονική καθυστέρηση  $Z1$ , και στοιχείο ακαριαίας λειτουργίας  $n_1$ , το οποίο ρυθμίζεται έτσι ώστε να λειτουργήσει σε περίπτωση στερεού βραχυκυκλώματος πριν από το διακόπτη Δ2 ( $I \geq 22\text{kA}$  στο σχήμα 17).





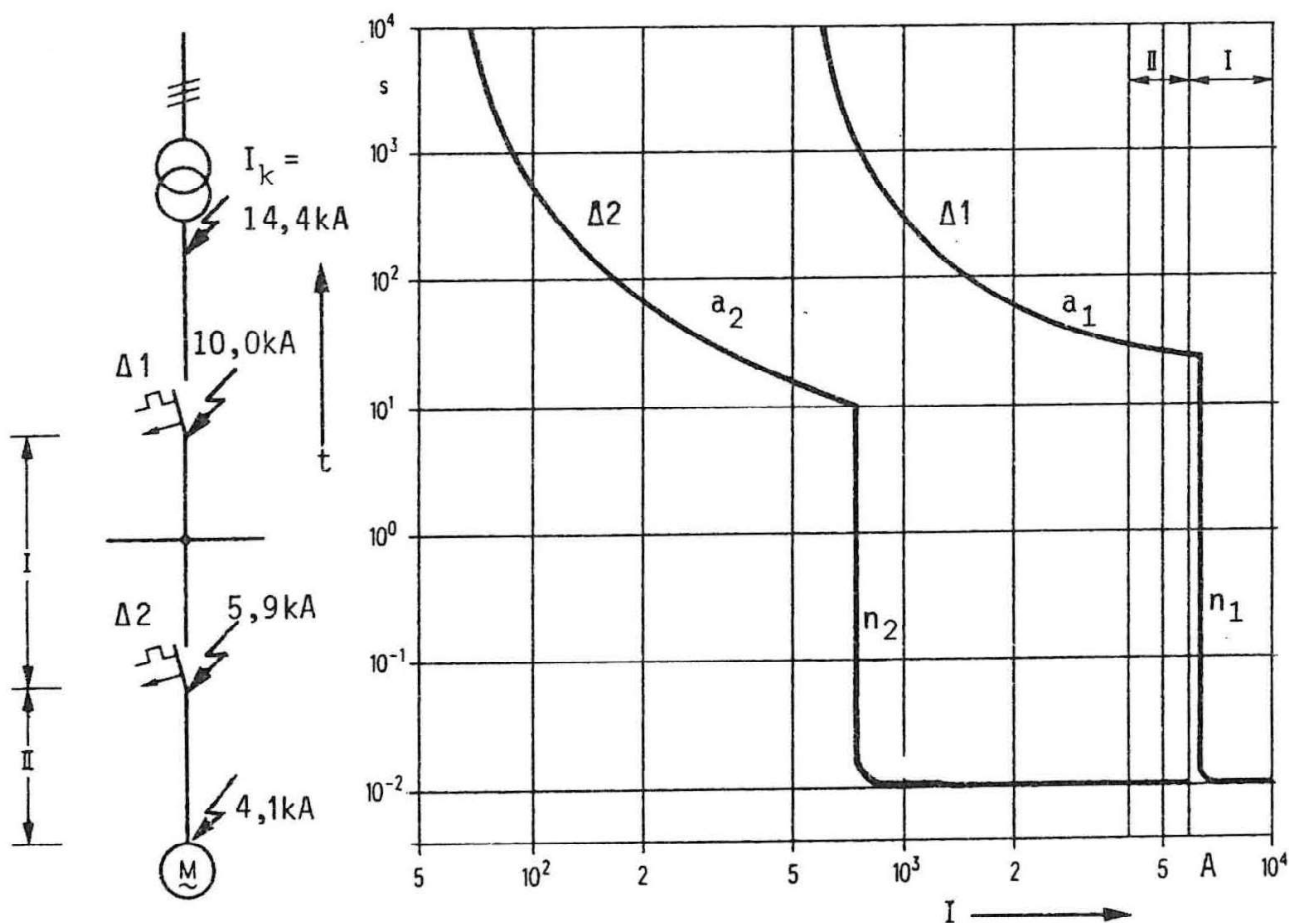
Σχήμα 15. Πίνακας επιλογικής προστασίας ασφαλειών τάξεως τήξεως υψηλής ικανότητας διακοπής

-  Επιλογική προστασία για δίκτυα τάσεως μέχρι 660 V
-  Επιλογική προστασία για δίκτυα τάσεως μέχρι 380 V

$I_{n1}$  Ονομαστική ένταση προηγούμενης ασφάλειας

$I_{n2}$  Ονομαστική ένταση επόμενης ασφάλειας

Gr Κατασκευαστικό μέγεθος (όλες οι ασφάλειες του ίδιου μεγέθους, π.χ. Gr.00, έχουν, ανεξαρτήτως ονομαστικής εντάσεως, τις ίδιες διαστάσεις)



Σχήμα 16. Επιλογική προστασία με ρύθμιση του ρεύματος του ηλεκτρομαγνητικού στοιχείου. Παράδειγμα.

Μετασχηματιστής:

- ονομαστική ισχύς  $S_n = 400 \text{ kVA}$
- ονομαστική τάση δευτερεύοντος  $U_n = 0,4 \text{ kV}$
- τάση βραχυκυκλώσεως  $u_k = 4\%$
- ονομαστική ένταση δευτερεύοντος  $I_n = S_n / \sqrt{3} U_n = 577 \text{ A}$

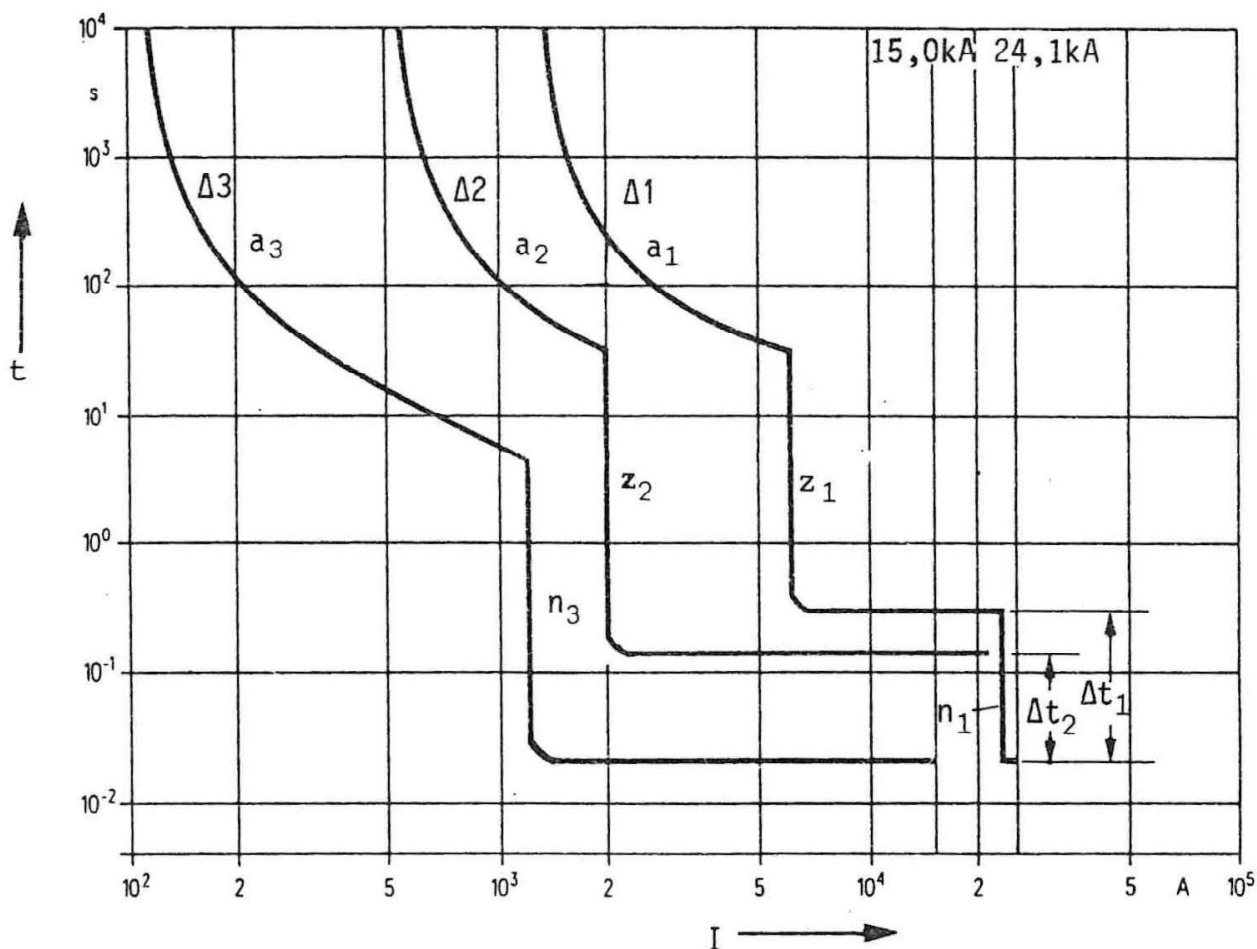
Ρεύματα βραχυκυκλώσεως:

- για σφάλμα στους ακροδέκτες του μετασχηματιστή (χωρίς να ληφθεί υπόψη η αντίσταση του δικτύου μέσης τάσεως)  $I_k = \frac{100\%}{u_k} \cdot I_n = 25 I_n = 14,4 \text{ kA}$
  - για σφάλμα στη θέση Δ1:  $I_k = 10,0 \text{ kA}$
  - για σφάλμα στη θέση Δ2:  $I_k = 5,9 \text{ kA}$
  - για σφάλμα στη θέση M:  $I_k = 4,1 \text{ kA}$
- } περιοχή I  
} περιοχή II

Ρύθμιση Δ1:  $a_1 \hat{=} 580 \text{ A}$        $n_1 \hat{=} 6,2 \text{ kA}$

Ρύθμιση Δ2: π.χ. για κινητήρα ονομαστικής εντάσεως 60 A

$$a_2 \hat{=} 60 \text{ A}, n_2 \hat{=} 12 \cdot 60 \text{ A} = 720 \text{ A}$$



Σχήμα 17. Επιλογική προστασία με αυτόματους διακόπτες με χρονική καθυστέρηση λειτουργίας του ηλεκτρομαγνητικού στοιχείου. Παράδειγμα. Μετασχηματιστής :

- ονομαστική ισχύς  $S_n = 1000 \text{ kVA}$
- ονομαστική τάση δευτερεύοντος  $U_n = 0,4 \text{ kV}$
- ονομαστική ένταση δευτερεύοντος  $I_n = 1443 \text{ A}$
- τάση βραχυκυκλώσεως  $u_k = 6\%$

Ρεύματα βραχυκυκλώσεως για σφάλμα :

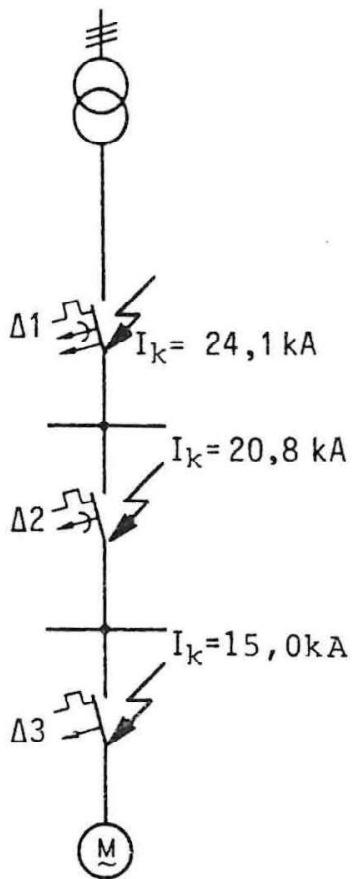
- στους ακροδέκτες του μετασχηματιστή ή στο Δ1 :  $I_k = 24,1 \text{ kA}$
- στο Δ2 :  $I_k = 20,8 \text{ kA}$
- στο Δ3 :  $I_k = 15,0 \text{ kA}$

Ρύθμιση Δ1:  $a_1 \hat{=} 1440 \text{ A} = I_n$ ,  $z_1 \hat{=} 6 \text{ kA} \hat{=} 4 \cdot 1440 \text{ A}$ ,  
 $n_1 \hat{=} 22 \text{ kA}$ ,  $\Delta t_1 = 250 \text{ ms}$

Ρύθμιση Δ2:  $a_2 = 500 \text{ A}$ ,  $z_2 \hat{=} 2 \text{ kA} = 4 \cdot 500 \text{ A}$ ,  $\Delta t_2 = 150 \text{ ms}$

Ρύθμιση Δ3, π.χ. για κινητήρα ονομαστικής εντάσεως  $100 \text{ A}$ :

$$a_3 \hat{=} 100 \text{ A}, \quad n_3 \hat{=} 12 \cdot 100 \text{ A} = 1200 \text{ A}$$



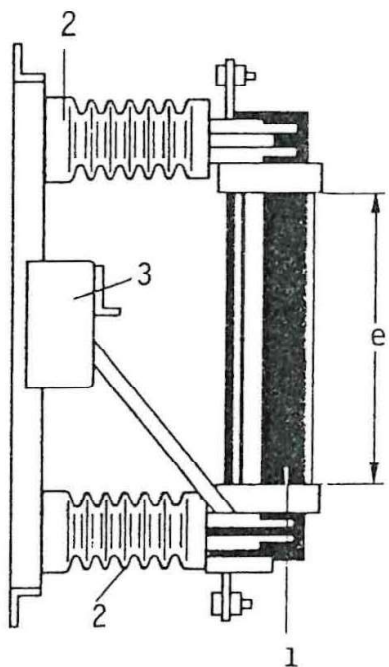
## 2.6 Ασφάλειες υψηλής τάσεως

Για την προστασία μετασχηματιστών διανομής, γραμμών μέσης τάσεως, πυκνωτών 3 kV έως 30 kV και ασύγχρονων κινητήρων 3 kV έως 10 kV χρησιμοποιούνται συχνά ασφάλειες υψηλής τάσεως (YT) υψηλής ικανότητας διακοπής. Οι ασφάλειες αυτές ονομάζονται συνήθως ασφάλειες YT αν και τοποθετούνται σε δίκτυα μέσης τάσεως,  $1 \text{ kV} < U_n \leq 35 \text{ kV}$ . Δεν κατασκευάζονται ασφάλειες για δίκτυα YT,  $35 \text{ kV} < U_n \leq 150 \text{ kV}$ . Για τις ασφάλειες YT ισχύουν οι κανονισμοί IEC 282 και VDE 0670.

Οι ασφάλειες YT των μετασχηματιστών πρέπει να συνεργάζονται επιλογικά με τα μέσα προστασίας XT, σύμφωνα με τις παραγράφους 3.4 και 3.5. Για τον λόγο αυτό περιγράφονται στη συνέχεια και δίδονται οι χαρακτηριστικές εντάσεως-χρόνου τήξεως ασφαλειών YT, αν και στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται οι διατάξεις προστασίας έναντι υπερεντάσεως σε εγκαταστάσεις XT.

Το σχήμα 18 δείχνει τη συγκρότηση ασφάλειας YT. Κατά την τήξη του τηκτού ελευθερώνεται ένα έμβολο, το οποίο προκαλεί την ένδειξη της καταστάσεως της ασφάλειας. Το έμβολο αυτό μπορεί να επενεργήσει στην διάταξη διακοπής διακόπτη φορτίου, ώστε και σε περίπτωση μονοπολικού σφάλματος (τήξη της μίας μόνο ασφάλειας) να διακοπούν με το διακόπτη φορτίου και οι τρεις φάσεις.

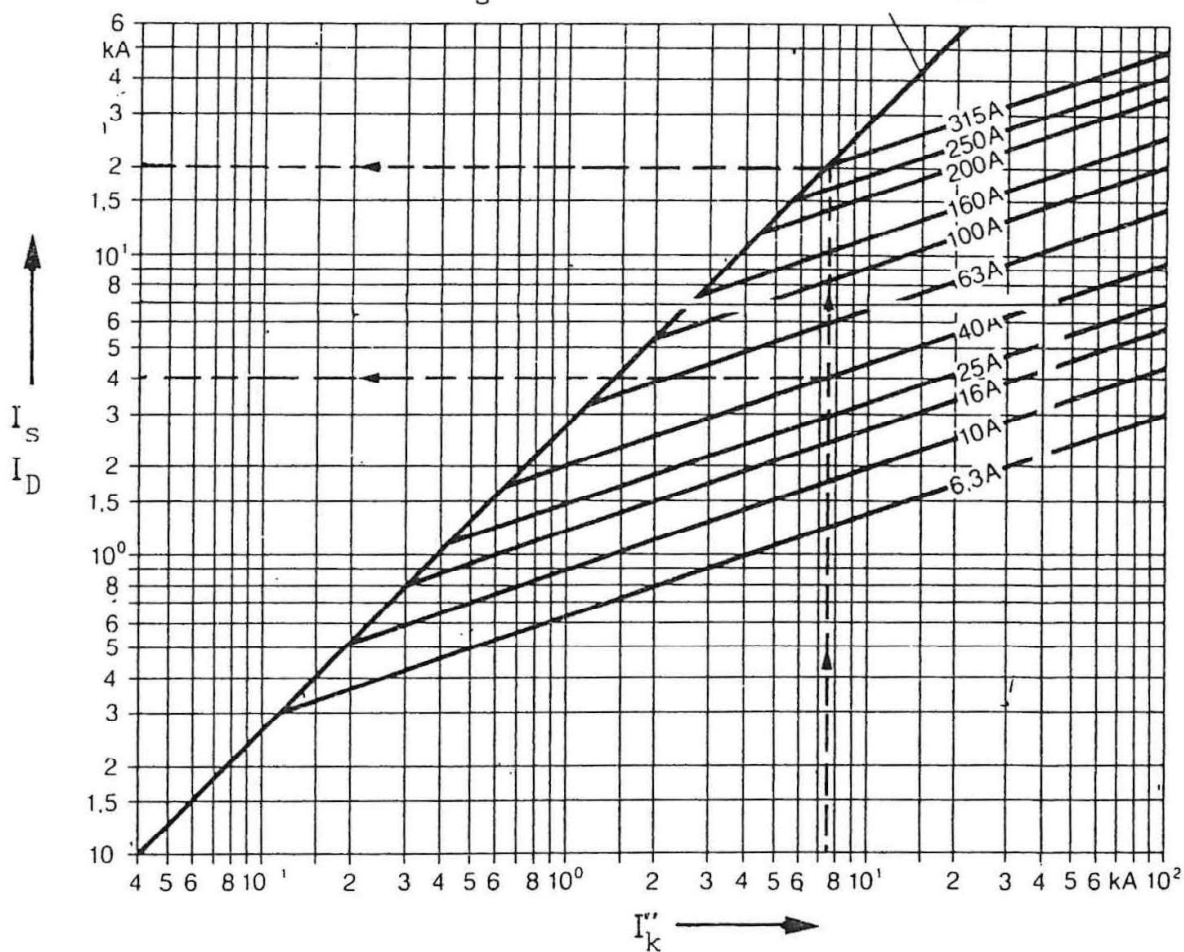
Όπως προκύπτει από το σχήμα 19 οι ασφάλειες YT διακόπτουν τις μεγάλες εντάσεις βραχυκυκλώσεως πριν από την εμφάνιση του κρουστικού ρεύματος  $I_S$ . Με τον περιορισμό αυτό της εντάσεως  $I_S$  στην ένταση διελεύσεως  $I_D$  επιτυγχάνεται τόσο η δυνατότητα διακοπής μεγάλων ρευμάτων (επειδή η διακοπή γίνεται σε τόσο μικρό χρόνο ώστε το ρεύμα να μην έχει αποκτήσει σχετικά μεγάλη τιμή) όσο και η ελάττωση της μηχανικής καταπόνησης (καταπόνηση λόγω της έντασης  $I_D$  και όχι  $I_S$ ). Για το παράδειγμα του σχήματος 19 ασφάλειες ονομαστικής εντάσεως  $I_{nA} = 40 \text{ A}$  περιορίζουν την τιμή  $I_S = 20 \text{ kA}$  (που αντιστοιχεί στο ρεύμα  $I_k'' = 7,5 \text{ kA}$ ) στην τιμή  $I_D = 4 \text{ kA}$ .



Σχήμα 18. Ασφάλεια ΥΤ υψηλής ικανότητας διακοπής.

- 1 κεντρικό σώμα με τηκτό
- $e \approx 0,5 \text{ m}$  για ασφάλειες 20 kV
- 2 μονωτήρες
- 3 διάταξη ένδειξης καταστάσεως τηκτού (μηχανική ένδειξη ή λειτουργία βοηθητικού διακόπτη)

$I_s$ , κρουστικό ρεύμα για  $\cos\phi \leq 0,15$



Σχήμα 19. Χαρακτηριστικές περιορισμού κρουστικού ρεύματος βραχυκυκλώσεως ασφαλειών υψηλής τάσεως.

Παράδειγμα: Αρχικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως  $I_k'' = 7,5 \text{ kA}$   
 Ονομαστική ένταση ασφάλειας  $I_{nA} = 40 \text{ A}$   
 Ρεύμα διελεύσεως  $I_D = 4 \text{ kA}$   
 Κρουστικό ρεύμα  $I_s = 20 \text{ kA}$

Στον πίνακα 1 δίδονται οι ελάχιστες εντάσεις διακοπής  $I_{amin}$  ασφαλειών ΥΤ, ώστε οι ασφάλειες να τήκονται οπωσδήποτε. Οι εντάσεις  $I_{amin}$  είναι πολύ μεγαλύτερες των ονομαστικών εντάσεων των ασφαλειών  $I_{nA}$ . Π.χ. για  $I_{nA} = 40$  A είναι για όλες τις τάσεις  $3 \text{ kV} \leq U_n \leq 30 \text{ kV}$   $I_{amin} = 120 \text{ A} = 3I_{nA}$ .

Στον πίνακα 2 δίδεται η ισχύς διακοπής ασφαλειών ΥΤ για διαφορετικές τάσεις. Οι τιμές της ισχύος διακοπής είναι τόσο υψηλές, ώστε οι ασφάλειες ΥΤ να μπορούν να εγκατασταθούν πρακτικά σε κάθε δίκτυο μέσης τάσεως.

ονομαστική ένταση ασφάλειας $I_{nA}$ A	ονομαστική τάση δικτύου $U_n$				
	3 kV	6 kV	10 kV	20 kV	30 kV
	ελάχιστη ένταση διακοπής $I_{amin}$				
	A	A	A	A	A
6,3	15	15	15	15	15
10	25	25	25	25	25
16	56	56	56	56	56
25	62	62	62	62	62
40	120	120	120	120	120
63	189	189	189	189	—
100	300	300	300	350	—
160	400	400	480	—	—
200	500	500	500	—	—
250	750	875	—	—	—
315	—	1260	—	—	—

Πίνακας 1. Ελάχιστες εντάσεις διακοπής ασφαλειών υψηλής τάσεως, [31].

ονομαστική ένταση ασφάλειας $I_{nA}$ A	ονομαστική τάση δικτύου $U_n$				
	3 kV	6 kV	10 kV	20 kV	30 kV
	Ισχύς διακοπής $S_a$ MVA				
6,3	400	800	1100	1400	1600
10	400	800	1100	1400	1600
16	400	800	1100	1400	1600
25	400	800	1100	1400	1600
40	400	800	1100	1400	1600
63	400	800	1100	1400	—
100	400	800	1100	1100	—
160	330	650	690	—	—
200	330	650	690	—	—
250	330	650	—	—	—
315	—	650	—	—	—

Πίνακας 2. Ισχύς διακοπής  $S_a$  ασφαλειών υψηλής τάσεως [31].  
 Η ικανότητα (ένταση) διακοπής  $I_a$  είναι  $I_a = S_a / \sqrt{3} U_n$ .

Το σχήμα 20 δείχνει τις χαρακτηριστικές εντάσεως-χρόνου τήξεως ασφαλειών υψηλής τάσεως.

Οι ασφάλειες ΥΤ υψηλής ικανότητας διακοπής που περιγράφηκαν προηγουμένως ονομάζονται και ασφάλειες ΥΤ τύπου „κόνεως“. Σε εναέρια δίκτυα χρησιμοποιούνται ασφάλειες „εκτονώσεως“, στις οποίες η σβέση του τόξου γίνεται σε ένα μόνωτικό κύλινδρο με αέρα. Έτσι μετά την τήξη, αντικαθίσταται μόνο το νήμα, το οποίο είναι φθηνό (περίπου 220 δρχ.). Τουναντίον μία ασφάλεια κόνεως 20 kV, 40 A στοιχίζει περίπου 22.000 δρχ. Οι ασφάλειες εκτονώσεως δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν σε εσωτερικούς χώρους.

Σχήμα 20.

Χαρακτηριστικές εντάσεις-  
 χρόνου τήξεως ασφαλειών ΥΤ.  
 Ασφάλειες SIEMENS 3GA.  
 Απόκλιση έναντι της μέσης  
 τιμής  $\pm 10\%$  της εντάσεως.  
 Σύμφωνα με τους κανονισμούς  
 VDE 670 η απόκλιση αυτή  
 πρέπει να είναι μικρότερη  
 από  $\pm 20\%$ .

— τμήμα καυτωλών με  
 ασφαλή τήξη  
 --- τμήμα καυτωλών χωρίς  
 ασφαλή τήξη

⊕ ελάχιστη ένταση δια-  
 κοπής I<sub>am</sub>in με χαρα-  
 κτηρισμό της τάσεως.  
 Χωρίς χαρακτηρισμό η  
 ελάχιστη ένταση είναι  
 η ίδια για ασφάλειες  
 ονομαστικής τάσεως  
 3kV, 6kV, 10kV και 20kV.

