



Κεφάλαιο

## ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα μικροδίκτυο είναι ένα σύνολο από ηλεκτρικά/θερμικά φορτία και μικρής ονομαστικής ισχύος παραγωγές, που λειτουργούν ως μία ελέγξιμη μονάδα σε τάση διανομής. Τα μικροδίκτυα δεν μπορούμε να τα θεωρήσουμε ως συμβατικά δίκτυα διανομής που έχουν και τοπική παραγωγή. Σε ένα μικροδίκτυο οι μικροπαραγωγές έχουν αρκετή ισχύ ώστε να τροφοδοτούν τα τοπικά φορτία. Τα μικροδίκτυα μπορούν να λειτουργούν είτε σε συγχρονισμό με το δίκτυο (διασυνδεδεμένη λειτουργία), είτε ως αυτόνομες νησίδες ισχύος (αυτόνομη ή απομονωμένη λειτουργία). Η φιλοσοφία λειτουργίας είναι ότι υπό κανονικές συνθήκες το μικροδίκτυο λειτουργεί με διασυνδεδεμένο τρόπο, αλλά σε περίπτωση οποιασδήποτε διαταραχής στο δίκτυο, το μικροδίκτυο περνάει σε αυτόνομη λειτουργία.

Η προστασία του μικροδίκτυου εξαρτάται από τον έλεγχο και τη λειτουργία του. Π.χ. το μικροδίκτυο στην αυτόνομη λειτουργία δεν έχει τα μεγάλα ρεύματα βραχυκυκλώματος για τα οποία είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί η προστασία των ακτινικών δικτύων διανομής. Αυτό σημαίνει ότι η παραδοσιακή προστασία με ασφάλειες των ΧΤ δικτύων δεν μπορεί να εφαρμοστεί και πρέπει να αναπτυχθούν νέες μέθοδοι προστασίας. Οι συνδεδεμένες με VSI μικροπαραγωγές στο μικροδίκτυο παρέχουν μικρό ρεύμα βραχυκυκλώματος, εκτός κι αν είναι ειδικά σχεδιασμένες για να παρέχουν μεγάλα ρεύματα. Κατά την ανάπτυξη των νέων μεθόδων προστασίας στα ΧΤ μικροδίκτυα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλά πράγματα, μεταξύ αυτών το πλήθος των ζωνών προστασίας, οι απαιτούμενες ταχύτητες προστασίας για διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας και μορφολογίες δικτύου και αρχές προστασίας για συνδεδεμένη και αυτόνομη λειτουργία. Όμως το πρόβλημα της προστασίας δεν μπορεί να βρει την κατάλληλη λύση χωρίς την πλήρη κατανόηση της δυναμικής του μικροδίκτυου, κατά τη διάρκεια και μετά την αποσύνδεση του από το δίκτυο. Επίσης, για να είναι δυνατή η αυτόνομη λειτουργία του μικροδίκτυου, πρέπει οι τεχνικές προδιαγραφές των VSI που συνδέουν μικροπαραγωγές να περιλαμβάνουν προστασία από την απώλεια του κυρίου δικτύου και δυνατότη-

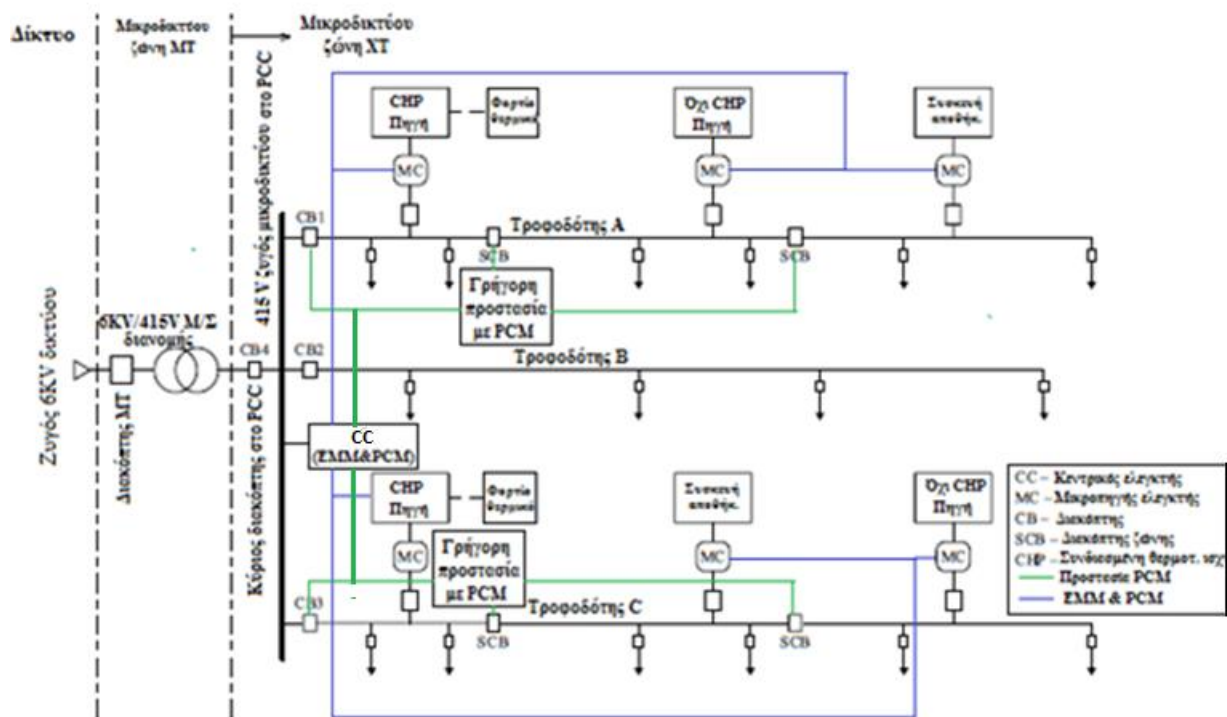
τα «υπερπήδησης βραχυκυκλωμάτων» (Fault-Ride-Through (FRT)). Η δυνατότητα για FRT πιθανά απαιτεί τη χρήση στοιχείων αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. υπερπυκνωτές) στην τάση ΣΡ για να ελέγχουν την υπέρταση κατά το βραχυκύκλωμα. Επίσης οι VSIs πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με γρήγορες πρότυπες επικοινωνίες.

Οι βασικοί λόγοι για γρήγορη προστασία του μικροδίκτυου είναι η ευστάθεια και η ευαισθησία των φορτίων. Η ευστάθεια απαιτείται κατά τη μετάβαση από τη διασυνδεδεμένη στην αυτόνομη λειτουργία, αλλά και μετά από βραχυκυκλώματα κατά την αυτόνομη λειτουργία. Γρήγορη προστασία είναι ιδιαίτερα απαραίτητη όταν υπάρχουν στρεφόμενες μηχανές απευθείας συνδεδεμένες (χωρίς VSIs) στο μικροδίκτυο. Αυτές είναι ευαίσθητες στις βυθίσεις τάσης από βραχυκυκλώματα στην αυτόνομη λειτουργία και μπορούν να αποσυγχρονιστούν απειλώντας την ευστάθεια όλου του μικροδίκτυου.

Επειδή στην αυτόνομη λειτουργία οι προδιαγραφές ελέγχου των VSIs που συνδέουν μικροπαραγωγές έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ανακάλυψη βραχυκυκλωμάτων, πρέπει από την έναρξη της σχεδίασης των VSIs να θεσπιστούν πρότυπα και προδιαγραφές για την απόκρισή τους σε βραχυκυκλώματα. Ο έλεγχος αυτών των VSIs στη διάρκεια των βραχυκυκλωμάτων πρέπει να υποστηρίζει το προτεινόμενο σύστημα προστασίας. Επίσης απαιτείται η ανάπτυξη «κωδίκων δικτύου» (grid code) για τις προδιαγραφές μετάβασης του μικροδίκτυου στην αυτόνομη λειτουργία.

Η επίτευξη της απαιτούμενης ταχύτητας προστασίας σχετίζεται με: 1) Την απαιτούμενη τεχνολογία των διακοπών. 2) Την απαιτούμενη τεχνολογία επικοινωνιών. 3) Το μέγεθος των διανεμημένων ή κεντρικών συσκευών αποθήκευσης ενέργειας. Π.χ. με μεγάλες κεντρικές συσκευές αποθήκευσης ενέργειας είναι δυνατή η διατήρηση της ευστάθειας μετά από μεγάλες ταλαντώσεις και η τροφοδότηση μεγάλων ρευμάτων βραχυκυκλώματος για την ταχύτερη λειτουργία των ασφαλειών στους καταναλωτές. Επίσης έχουν προταθεί νέες τεχνολογίες για γρήγορη λειτουργία των διακοπών ισχύος ή στατικούς διακόπτες.

Επίσης κατά την αυτόνομη λειτουργία του μικροδίκτυου πρέπει να εξασφαλίζεται η γείωσή του, γιατί είναι αποσυνδεδεμένο από τον υποσταθμό του κυρίου δικτύου. Στο Σχ. 4.1 παρουσιάζεται το σύστημα προστασίας για το μικροδίκτυο του Σχ. 3.4.



Σχ. 4.1 Προστασία τυπικού μικροδίκτυου.

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται δύο σημαντικά θέματα προστασίας που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να εξασφαλιστεί ευσταθής λειτουργία του μικροδίκτυου μετά από διαταραχές:

- i. Να καθοριστεί σε ποιά χρονική στιγμή πρέπει να νησιδοποιηθεί το μικροδίκτυο μετά από κάποιο σφάλμα.
- ii. Το αυτόνομο μικροδίκτυο να διαιρεθεί σε κατάλληλες ζώνες ώστε να παρέχεται σε αυτές επαρκώς συντονισμένη προστασία.

Ενώ τα χαρακτηριστικά και οι επιδόσεις των περισσότερων στοιχείων προστασίας του μικροδίκτυου είναι ίδια με αυτά που υπάρχουν στο κύριο δίκτυο, δεν μπορεί να γίνει το ίδιο με την προστασία των ηλεκτρονικών αντιστροφέων ισχύος των μικροπαραγωγών, γιατί:

- i. Τα χαρακτηριστικά των αντιστροφέων μπορεί να μην είναι συμβατά με το συμβατικό εξοπλισμό προστασίας.
- ii. Οι αντιστροφείς δεν έχουν ενιαία χαρακτηριστικά για να αντιμετωπιστούν ως μία κατηγορία εξοπλισμού.
- iii. Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός αντιστροφέα, όπως φαίνονται από το σύστημα, μπορεί να αλλάζουν ανάλογα με το σχεδιασμό και την εφαρμογή.

Ένα άλλο πρόβλημα που προκύπτει για τους αντιστροφείς είναι το εξαιρετικά χαμηλό ρεύμα βραχυκυκλώματος. Συνήθως είναι μικρότερο από το 200% του ονο-

μαστικού τους ρεύματος, εκτός εάν είναι ειδικά σχεδιασμένοι να παρέχουν υψηλό ρεύμα βραχυκυκλώματος. Αυτό περιορίζει δραστικά το ρεύμα βραχυκυκλώματος των μικροπαραγωγών σε σύγκριση με αυτό από τις γεννήτριες του δικτύου. Έτσι, αν ένας σημαντικός αριθμός μικροπαραγωγών έχει αντιστροφείς, τότε κατά τη μεταγωγή από τη διασυνδεδεμένη στην αυτόνομη λειτουργία έχουμε σημαντική μείωση του επιπέδου βραχυκυκλώματος του μικροδίκτυου. Αυτό επηρεάζει την ευαισθησία και τη λειτουργία των ηλεκτρονόμων υπερέντασης του συστήματος, που αν είναι ρυθμισμένοι για τα μεγάλα ρεύματα βραχυκυκλώματος της διασυνδεδεμένης λειτουργίας, θα αποκριθούν πολύ αργά ή και καθόλου κατά την αυτόνομη λειτουργία.

Τα θέματα προστασίας του μικροδίκτυου δεν μπορούν να επιλυθούν σωστά χωρίς την σε βάθος κατανόηση της δυναμικής του μικροδίκτυου πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από τη νησιδοποίηση. Επίσης, η χρονική στιγμή της νησιδοποίησης πρέπει να συνοδεύεται από αξιολόγηση του οφέλους που μπορεί να έχει μία γρήγορη αποσύνδεση του μικροδίκτυου. Για να έχουμε γρήγορη αποσύνδεση, αλλά και αποφυγή των λανθασμένων αποσυνδέσεων, πρέπει να εγκατασταθούν κατάλληλοι μηχανισμοί μεταξύ του υποσταθμού του δικτύου και του διακόπτη στο PCC. Η εγκατάσταση καναλιών επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας μεταξύ δικτύου και μικροδίκτυου θα βοηθούσε επίσης στη γρήγορη νησιδοποίηση σε συνθήκες χωρίς βραχυκύκλωμα.

Για ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία του αυτόνομου μικροδίκτυου, πρέπει να εξασφαλίζονται τα εξής:

- Το αυτόνομο μικροδίκτυο να έχει κατάλληλη γείωση.
- Οι συσκευές ανίχνευσης σφάλματος στο μικροδίκτυο πρέπει να συμμορφώνονται με τις συσκευές ανίχνευσης σφάλματος στη διασυνδεδεμένη λειτουργία.
- Πρέπει να υπάρχει ένας τρόπος εντοπισμού σφάλματος που να μην εξαρτάται από το μεγάλο λόγο μεταξύ ρεύματος βραχυκυκλώματος και μέγιστου ρεύματος φορτίου, για να αντιμετωπίζεται το μικρό ρεύμα βραχυκυκλώματος στην αυτόνομη λειτουργία.
- Τεχνικές αντι-νησιδοποίησης πρέπει να εξετάζονται και αν χρειάζεται να τροποποιούνται, για να αποφεύγεται αστάθεια ή απώλεια του μικροδίκτυου από ευαίσθητες ρυθμίσεις (αντι-νησιδοποίηση βλέπε §4.5.2).
- Οποιαδήποτε στρατηγική απόρριψης φορτίων που καθορίζεται από το δίκτυο στο μικροδίκτυο, πρέπει να είναι προσεκτικά συντονισμένη.

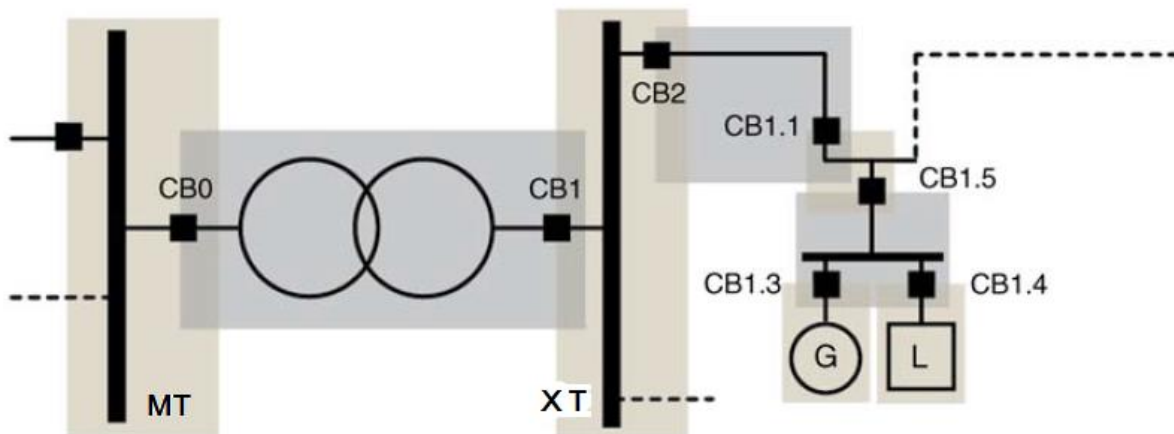
Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζεται ο τρόπος που τα συμβατικά συστήματα και συσκευές προστασίας μπορούν να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα προστασίας των μικροδίκτυων, πριν επιχειρήσουμε επαναστατικές μεθόδους προστασίας.

## 4.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΕ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Η προστασία πρέπει να αντιμετωπίζει βραχυκυκλώματα τόσο στο κύριο δίκτυο όσο και στο μικροδίκτυο. Αν το βραχυκύκλωμα είναι στο κύριο δίκτυο, η επιθυμητή λειτουργία είναι το βραχυκύκλωμα να εκκαθαριστεί από την προστασία του δικτύου και το μικροδίκτυο να αποσυνδεθεί από το κύριο δίκτυο με την ταχύτητα που απαιτεί η προστασία των ευαίσθητων φορτίων του. Για να γίνει αυτή η ταχύτατη αποσύνδεση είναι πιθανή η ανάγκη για εγκατάσταση ηλεκτρονικών στατικών διακοπών. Μία άλλη δυνατότητα είναι η χρήση διακοπών που λειτουργούν ηλεκτρικά και ελέγχονται από προστασία κατεύθυνσης-υπερέντασης. Για βραχυκυκλώματα εντός του μικροδίκτυου, στόχος είναι η απομόνωση του βραχυκυκλώματος με την αποσύνδεση του μικρότερου δυνατού τμήματός του.

Η συμβατική προστασία στα δίκτυα διανομής κυρίως βασίζεται στη μέτρηση των ρευμάτων που οφείλονται στα βραχυκυκλώματα. Στα μικροδίκτυα όμως η παρουσία συστημάτων ΔΠ, που χρησιμοποιούν VSIs, αλλάζει το μέτρο και τη μονοσήμαντη κατεύθυνση των ρευμάτων βραχυκυκλώματος και μπορεί να οδηγήσει σε αποτυχία τα συμβατικά συστήματα προστασίας, που πιθανά προκαλείται από: 1) Λανθασμένη επιλεκτικότητα (επιλεκτικότητα είναι η ικανότητα της προστασίας να διακρίνει ένα βραχυκύκλωμα στη ζώνη που εποπτεύει από ένα βραχυκύκλωμα σε άλλη ζώνη). 2) Ανεπαρκή ευαισθησία (ευαισθησία είναι η μικρότερη τιμή του ρεύματος που μπορεί να ενεργοποιήσει την προστασία). 3) Ανεπαρκή ταχύτητα λειτουργίας (δηλαδή χρόνο λειτουργίας της προστασίας μεγαλύτερο του επιθυμητού). Εκτός από τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά η προστασία πρέπει να εξασφαλίζει: 4) Ασφάλεια (δηλαδή η προστασία δεν πρέπει να λειτουργεί στις μεταβατικές καταστάσεις του συστήματος που δεν είναι βραχυκυκλώματα). 5) Εφεδρική προστασία (δηλαδή μία επί πλέον προστασία του κυκλώματος, που λειτουργεί με κάποια καθυστέρηση, όταν δεν λειτουργήσει η πρωτεύουσα προστασία. Η εφεδρική προστασία μπορεί να στηρίζεται σε διαφορετική αρχή προστασίας από την πρωτεύουσα προστασία). 6) Κόστος (δηλαδή η μέγιστη προστασία με το μικρότερο δυνατό κόστος).

Γενικά τα δίκτυα διανομής, όπως και τα μικροδίκτυα, χωρίζονται σε ζώνες προστασίας, με βασική επιδίωξη κάθε βραχυκύκλωμα που συμβαίνει μέσα σε μία ζώνη να ανοίγει τους διακόπτες ισχύος μέσα σε αυτήν τη ζώνη και μόνο αυτούς. Μία ζώνη προστασίας συνήθως περιλαμβάνει μία εναέρια γραμμή ή καλώδιο ή μία συσκευή (π.χ. ζυγό, μετασχηματιστή, παραγωγή, φορτίο κ.λ.π.), όπως δείχνεται στο Σχ. 4.2.

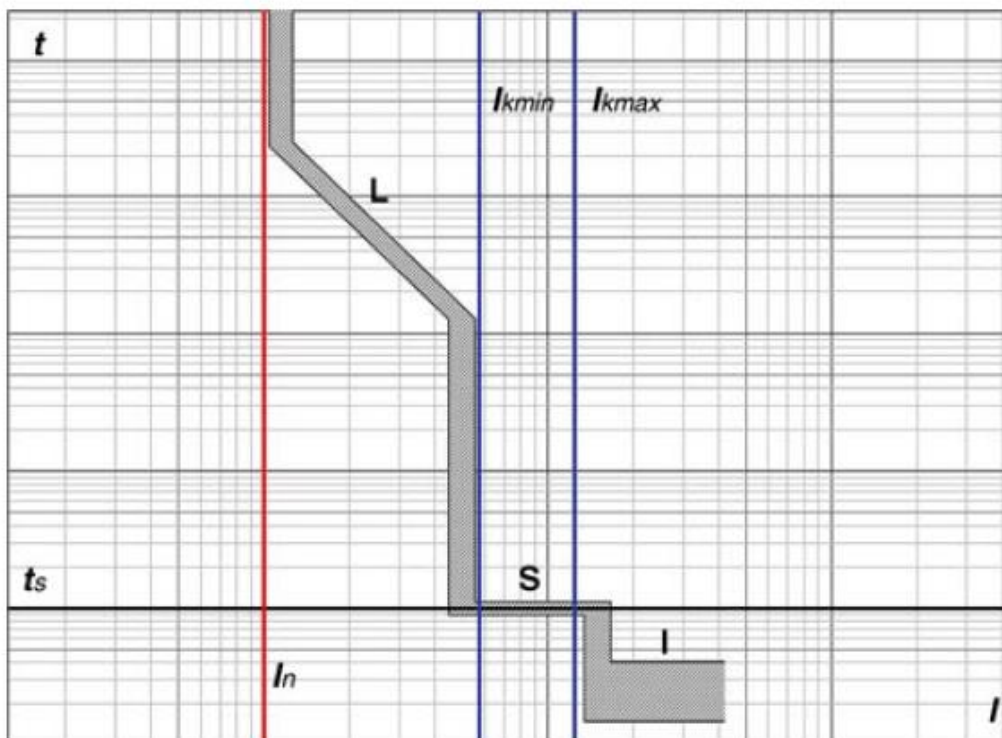


Σχ. 4.2 Ζώνες προστασίας στη MT και XT.

#### 4.2.1 Υπερέντασης και κατεύθυνσης-υπερέντασης προστασία στη διανομή.

Η προστασία των δικτύων διανομής, όπου οι τροφοδότες είναι ακτινικά συνδεδεμένοι με ενδιάμεσες τροφοδοσίες φορτίων, συνήθως σχεδιάζεται υποθέτοντας ότι η ροή ισχύος είναι προς μία μόνο κατεύθυνση. Αυτή βασίζεται στον εντοπισμό των μεγάλων ρευμάτων βραχυκυκλώματος με χρήση ασφαλειών, θερμομαγνητικών διακοπών και διακοπών ενεργοποιούμενων από ηλεκτρονόμους υπερέντασης με διακριτά χαρακτηριστικά χρόνου-ρεύματος. Πιο εξελιγμένοι ηλεκτρονόμοι κατεύθυνσης-υπερέντασης χρησιμοποιούνται στην προστασία βρόγχων στα δίκτυα. Οι ηλεκτρονόμοι κατεύθυνσης ενεργοποιούνται μόνο όταν το ρεύμα καθυστερεί της τάσης αναφοράς του, δηλαδή μόνο όταν το ρεύμα ρέει προς μία ορισμένη κατεύθυνση και δεν επιτρέπουν την ενεργοποίηση όταν το ρεύμα ρέει προς την αντίθετη κατεύθυνση (η έννοια της κατεύθυνσης στα ΕΡ συστήματα σχετίζεται με τη φασική διαφορά τάσης και ρεύματος, δηλαδή αν το ρεύμα προηγείται ή έπεται της τάσης). Ενεργοποίηση των ηλεκτρονόμων κατεύθυνσης-υπερέντασης έχουμε αν το βραχυκύκλωμα γίνεται προς μία ορισμένη κατεύθυνση και το μέτρο του είναι μεγαλύτερο από κάποια τιμή (αυτή είναι το επίπεδο επιλογής, δηλαδή επίπεδο επιλογής (Pick-up level) είναι η τιμή του ρεύματος ή τάσης κ.λ.π. που είναι το κατώφλι πάνω από το οποίο ο ηλεκτρονόμος κλείνει τις επαφές του.). Αν το βραχυκύκλωμα γίνει προς την αντίθετη κατεύθυνση, όπου η φασική γωνία του ρεύματος αλλάζει κατά  $180^\circ$ , δεν έχουμε ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου για οποιαδήποτε τιμή του μέτρου του ρεύματος.

Στο Σχ. 4.3 δείχνεται η χαρακτηριστική λειτουργίας ενός σύγχρονου ηλεκτρονόμου υπερέντασης ορισμένου χρόνου. Αποτελείται από ένα τμήμα L, αντίστροφου χρόνου λειτουργίας-ρεύματος (που χρησιμοποιείται για την προστασία υπερφόρτισης), ένα τμήμα S, σταθερού χρόνου λειτουργίας (για την προστασία βραχυκυκλωμάτων με μικρό χρόνο λειτουργίας) και ένα τμήμα I, στιγμιαίου χρόνου λει-



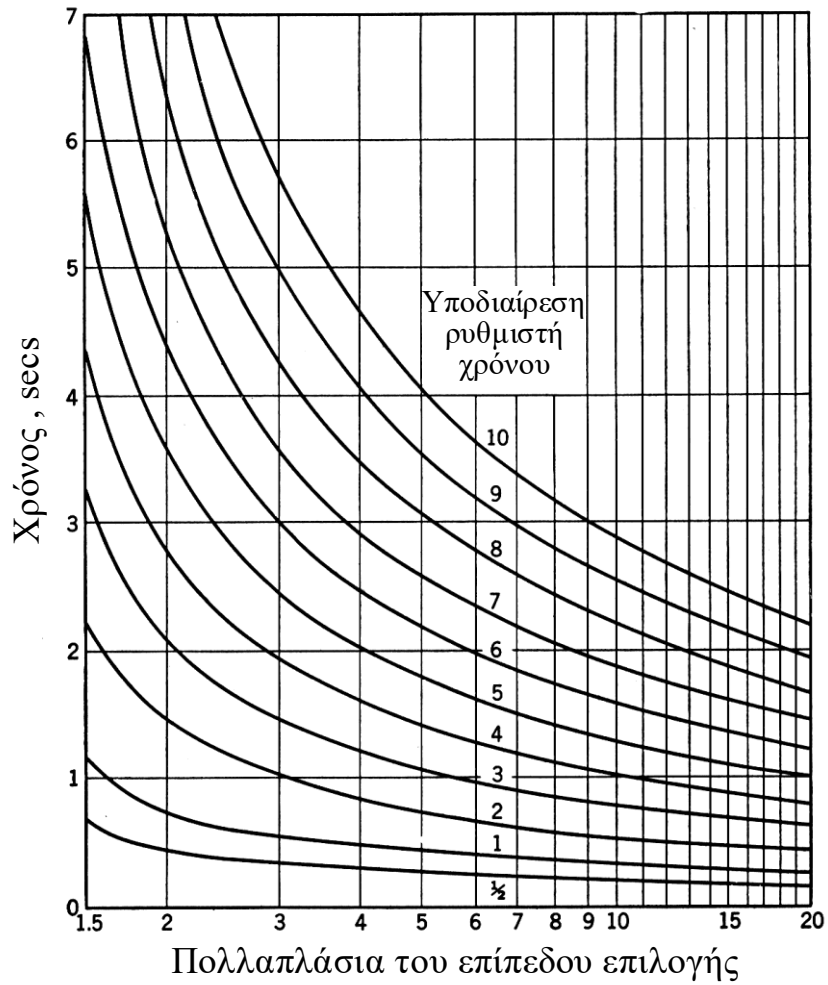
Σχ. 4.3 Χαρακτηριστική χρόνου-ρεύματος, σύγχρονου ηλεκτρονόμου υπερέντασης XT.

τουργίας (για κρίσιμα, πολύ μεγάλου ρεύματος βραχυκυκλώματα). Όλα τα τμήματα της χαρακτηριστικής λειτουργίας διαθέτουν ένα ευρύ φάσμα ρυθμίσεων, με μικρά βήματα ρύθμισης.

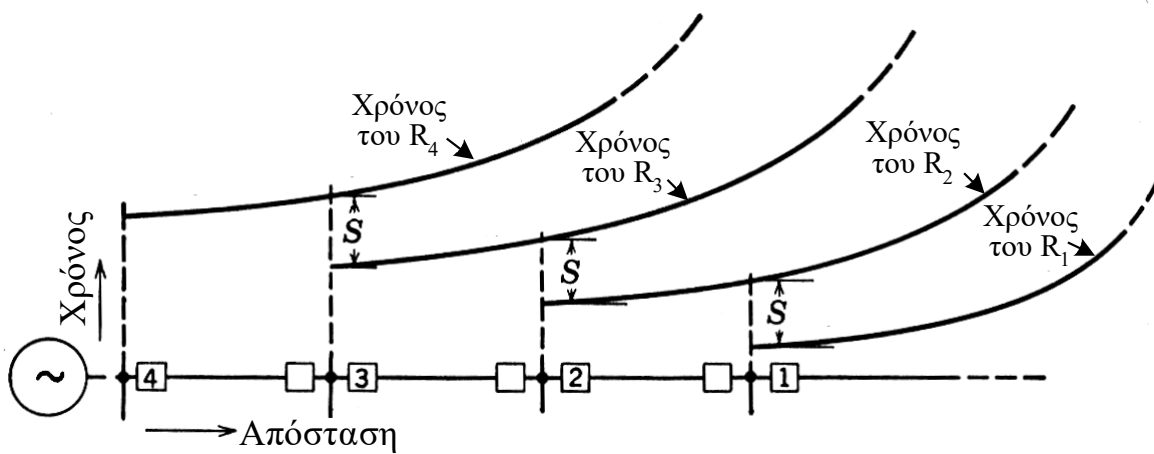
Για την προστασία των δικτύων διανομής χρησιμοποιούνται και οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης αντίστροφου χρόνου λειτουργίας, των οποίων η χαρακτηριστική απεικονίζει το χρόνο λειτουργίας τους, που μειώνεται δραστικά με την αύξηση του ρεύματος στο πηνίο λειτουργίας τους. Οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης αντίστροφου χρόνου λειτουργίας ρυθμίζονται για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία μεγάλη περιοχή εφαρμογών, χωρίς βέβαια η ρύθμιση αυτή να είναι απεριόριστη. Σε αυτούς τους ηλεκτρονόμους ρυθμίζουμε το επίπεδο επιλογής και το χρόνο λειτουργίας. Στο Σχ. 4.4. φαίνεται ένα σύνολο καμπυλών αντίστροφου χρόνου ενός ηλεκτρονόμου υπερέντασης αντίστροφου χρόνου λειτουργίας επαγωγικού τύπου, στον οποίο για κάθε υποδιαίρεση του ρυθμιστή χρόνου παίρνουμε μία καμπύλη.

Με την αξιοποίηση των δύο ρυθμίσεων (επίπεδου επιλογής και χρόνου λειτουργίας) που διαθέτουν αυτοί οι ηλεκτρονόμοι, τα χρονικά χαρακτηριστικά της προστασίας που επιτυγχάνουμε σε ένα ακτινικό παθητικό σύστημα διανομής, με σταθερό χρόνο καθυστέρησης για επιλεκτικότητα, φαίνονται στο Σχ. 4.5.





Σχ.4.4 Καμπύλες αντίστροφου χρόνου επαγωγικού ηλεκτρονόμου υπέρεντασης αντίστροφου χρόνου λειτουργίας.



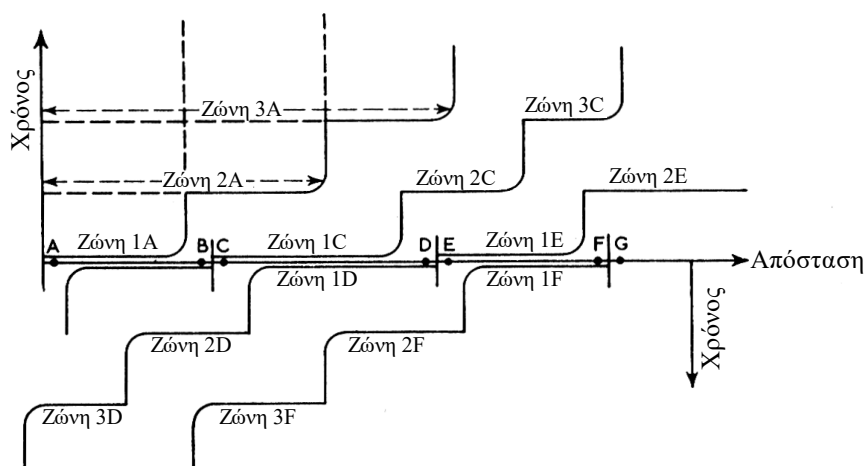
Σχ. 4.5 Χρονικά χαρακτηριστικά προστασίας ακτινικού συστήματος διανομής.



### 4.2.2 Προστασία απόστασης στη διανομή.

Για την προστασία κάποιων σημαντικών γραμμών διανομής χρησιμοποιείται η προστασία απόστασης. Σε αυτόν τον τύπο προστασίας η επιλεκτικότητα επιτυγχάνεται ως εξής: Για μία γραμμή με σύνθετη αντίσταση  $Z_L$ , η ροή ρεύματος μέσω της γραμμής για ένα βραχυκύκλωμα στο τέλος της γραμμής δημιουργεί μία τάση  $V=IZ_L$ . Ο ηλεκτρονόμος συγκρίνει το  $V$  με το  $I$  και είναι ρυθμισμένος να ενεργοποιείται όταν  $V < IZ_L$ , που ισχύει μόνο όταν το βραχυκύκλωμα είναι εντός της γραμμής που προστατεύει. Στην πραγματικότητα ο ηλεκτρονόμος μετρά συνέχεια το  $Z = V/I$ , που είναι η σύνθετη αντίσταση από τη θέση του ηλεκτρονόμου μέχρι το σημείο του βραχυκυκλώματος. Επειδή το  $Z$  είναι ανάλογο με το μήκος της γραμμής (είναι ένα μέτρο της απόστασης του βραχυκυκλώματος και από αυτήν την ιδιότητα προήλθε ο όρος ηλεκτρονόμος απόστασης), ο ηλεκτρονόμος μπορεί να ρυθμισθεί να ενεργοποιείται μόνο για βραχυκυκλώματα μέσα στην προστατευμένη γραμμή.

Λόγω των αναπόφευκτων ανακρίβειών στη μέτρηση των διαφόρων ποσοτήτων δεν γνωρίζουμε την ακριβή επέκταση των ηλεκτρονόμων απόστασης. Γι' αυτόν το λόγο αυτοί οι ηλεκτρονόμοι συνήθως παρέχουν προστασία σε τρεις ζώνες, Σχ. 4.6. Η πρώτη ζώνη παρέχει μεγάλης ταχύτητας προστασία για ένα τμήμα της γραμμής, συνήθως το 85-90% για φασικούς ηλεκτρονόμους και περίπου 75% για ηλεκτρονόμους γης. Ο χρόνος λειτουργίας της πρώτης ζώνης είναι περίπου 20 ms. Η δεύτερη ζώνη υπερκαλύπτει το σύνολο της γραμμής και έχει μία χρονική καθυστέρηση σε σχέση με την πρώτη ζώνη. Η δεύτερη ζώνη εκτείνεται και μέχρι 20% μέσα στην επόμενη γειτονική γραμμή και χρειάζεται προσοχή να μην ξεπεράσει την πρώτη ζώνη αυτής της γραμμής γιατί έτσι θα διαταραχθεί η επιλεκτικότητα. Η



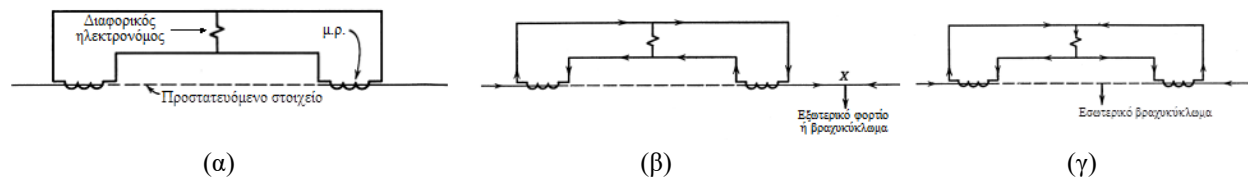
Σχ.4.6 Βηματικά χρονικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρονόμων απόστασης.

χρονική της καθυστέρηση είναι περίπου το άθροισμα 0.25 s και του χρόνου λειτουργίας του διακόπτη ισχύος της γειτονικής γραμμής. Η τρίτη ζώνη παρέχει εφεδρική προστασία στην επόμενη γραμμή, καλύπτει την επόμενη γραμμή και επιπλέον ένα 25% της τρίτης γραμμής και η χρονική της καθυστέρηση είναι 1–2 s. Αυτή η λογική δημιουργίας τριών ζωνών εφαρμόζεται στους ηλεκτρονόμους που υπάρχουν και στα δύο άκρα της γραμμής (κυρίως στη μεταφορά), Σχ. 4.6.

Ανάλογα με τη ζώνη που βρίσκεται το βραχυκύκλωμα, ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιεί στον αντίστοιχο χρόνο το διακόπτη. Δυστυχώς, η προστασία απόστασης επηρεάζεται από την παρουσία των ΔΠ και τα φορτία, που αλλάζουν τα ρεύματα βραχυκυκλώματος και άρα τη μετρούμενη σύνθετη αντίσταση, οπότε μπορεί να έχουμε λανθασμένη λειτουργία του ηλεκτρονόμου.

### 4.2.3 Διαφορική προστασία ρεύματος.

Η πιο αποτελεσματική μέθοδος για την προστασία κυκλωμάτων είναι η διευθέτηση των ηλεκτρονόμων, έτσι ώστε να συγκρίνουν το ρεύμα που εισέρχεται με το ρεύμα που εξέρχεται από τον προστατευόμενο εξοπλισμό, Σχ. 4.7. Αυτά τα ρεύματα είναι πάντοτε ίσα, όταν έχουμε κανονικές συνθήκες λειτουργίας ή βραχυκυκλώματα έξω από τη ζώνη προστασίας, ενώ διαφέρουν για βραχυκυκλώματα μέσα στη ζώνη προστασίας. Σε αυτόν τον τύπο προστασίας η ζώνη προστασίας οριοθετείται με ακρίβεια από τις θέσεις που εγκαθιστούμε τους μετασχηματιστές ρεύματος (μ.ρ.), συνεπώς η ζώνη προστασίας είναι απόλυτα καθορισμένη και η επιλεκτικότητα εξασφαλισμένη.



Σχ. 4.7 Αρχή διαφορικής προστασίας: (α) Απλή εφαρμογή. (β) Εξωτερικό βραχυκύκλωμα. (γ) Εσωτερικό βραχυκύκλωμα.

Στη διανομή η διαφορική προστασία ρεύματος χρησιμοποιείται για την προστασία των γεννητριών διανομής, των Μ/Σ, αλλά και των υπόγειων καλωδίων με χρήση καναλιού επικοινωνίας μεταξύ των άκρων του καλωδίου (για κανάλι επικοινωνίας χρησιμοποιούνται επικοινωνιακά σύρματα ή οπτικές ίνες ή μικροκύματα ή ραδιοσήματα). Αυτή η προστασία παρέχει την καλύτερη επιλεκτικότητα, αλλά απαιτεί για τη λειτουργία της ένα πολύ αξιόπιστο κανάλι επικοινωνίας για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των άκρων του καλωδίου. Λόγω πιθανού προβλήματος στις ε-

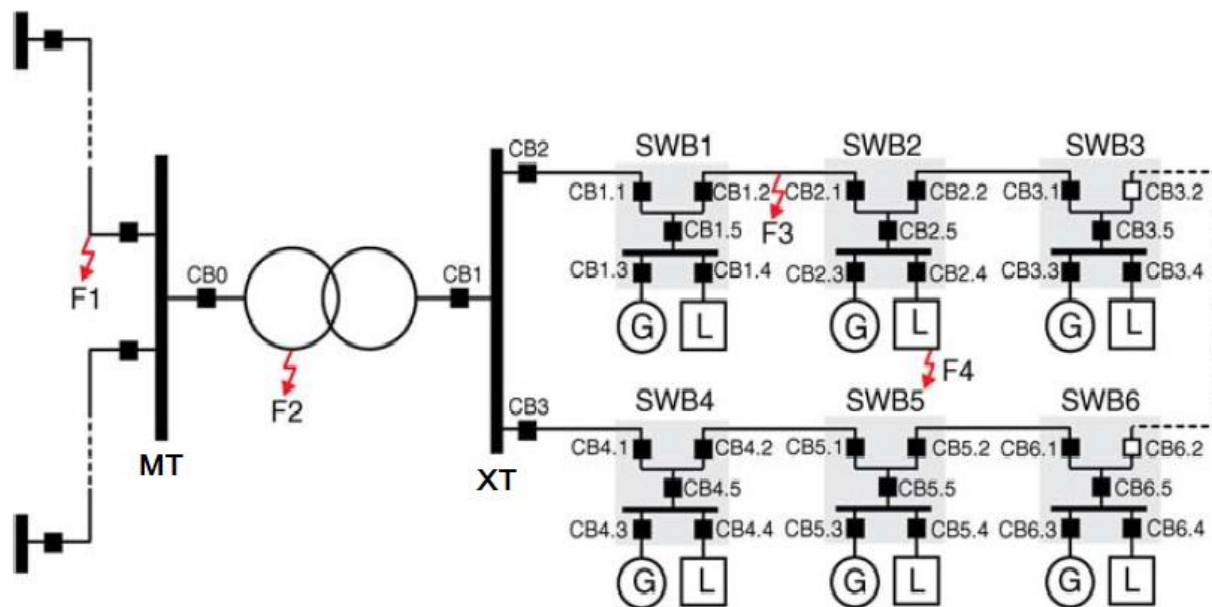
πικοινωνίες, απαιτεί μία ξεχωριστή εφεδρική προστασία, αυξάνοντας το κόστος του συστήματος προστασίας και περιορίζοντας τη χρήση του στα μικροδίκτυα.

### 4.3 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ ΣΕ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ

Παρόλο που αρκετά συστήματα προστασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο δίκτυο διανομής ΧΤ, πρακτικά αξιοποιείται η προστασία υπέρεντασης. Γι' αυτό το λόγο και επειδή όπως αναφέρθηκε σε αυτό το Κεφάλαιο εξετάζεται κυρίως ο τρόπος που τα διαθέσιμα συστήματα προστασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην προστασία των μικροδίκτυων, σε αυτήν τη παράγραφο εξετάζεται η προστασία υπέρεντασης στα μικροδίκτυα.

Οι κύριες αιτίες που δημιουργούν προβλήματα στην επέκταση της εφαρμογής της προστασίας υπέρεντασης στα μικροδίκτυα είναι η ύπαρξη σε αυτά ΔΠ και η σύνδεση στο δίκτυο αρκετών από αυτές με VSIs. Η σύνδεση ΔΠ δημιουργεί ροή ισχύος και προς τις δύο κατευθύνσεις και η ύπαρξη των VSIs περιορίζει πολύ το μέτρο του ρεύματος βραχυκυκλώματος. Οι δύο αυτές αιτίες μπορούν να οδηγήσουν σε αποτυχία την προστασία υπέρεντασης στα μικροδίκτυα και στη συνέχεια θα περιγράψουμε τις συνθήκες υπό τις οποίες μπορεί να συμβεί αυτή η αποτυχία.

Στο Σχ. 4.8 δείχνεται ένα τυπικό μικροδίκτυο, που συνδέεται στο ζυγό ΜΤ με ένα Μ/Σ διανομής και με δύο τροφοδότες στο ζυγό ΧΤ. Κάθε τροφοδότης έχει τρεις ενδιάμεσους πίνακες διακοπών (switchboards (SWB)) για τη σύνδεση ΔΠ και



Σχ. 4.8 Μικροδίκτυο για διευκρίνιση δυσλειτουργιών στην προστασία υπέρεντασης.

φορτίων. Θα εξετάσουμε τις δυσλειτουργίες που είναι δυνατόν να προκληθούν στην προστασία υπερέντασης στο μικροδίκτυο από δύο εξωτερικά ( $F_1, F_2$ ) και δύο εσωτερικά ( $F_3, F_4$ ) βραχυκυκλώματα. Όλοι οι διακόπτες ελέγχονται από συμβατική προστασία υπερέντασης και χρησιμοποιούνται για την απομόνωση των βραχυκυκλωμάτων, ενώ οι ανοικτοί διακόπτες CB3.2 και CB6.2 κλείνουν, όταν χρειάζεται η δημιουργία βρόχου στο μικροδίκτυο. Στον Πίνακα 4.1 συνοψίζονται τα συμπεράσματα ανταπόκρισης του συστήματος προστασίας υπερέντασης στις βασικές απαιτήσεις επιλεκτικότητας-ευαισθησίας-ταχύτητας, για διασυνδεδεμένη και απομονωμένη λειτουργία του μικροδικτύου. Στις επόμενες υποπαραγράφους αναλύονται τα συμπεράσματα του Πίνακα 4.1.

#### 4.3.1 Συνδεδεμένο μικροδίκτυο με εξωτερικά βραχυκυκλώματα (F1, F2).

Για την εκκαθάριση του βραχυκυκλώματος F1 υπεύθυνο είναι το σύστημα προστασίας MT του κύριου δικτύου. Όμως, αν στο μικροδίκτυο υπάρχουν ευαίσθητα φορτία, ο CB1 πρέπει να ανοίξει σε περίπου 50 ms (ο χρόνος εξαρτάται από το μέγεθος της βύθισης τάσης που προκαλεί στο μικροδίκτυο το F1, §4.6). Επίσης η αποσύνδεση του μικροδικτύου πρέπει να γίνει και σε περίπτωση αποτυχίας του συστήματος προστασίας της MT. Όμως η ανακάλυψη του F1 από τον ηλεκτρονόμο υπερέντασης του CB1 είναι προβληματική, αν στο μικροδίκτυο υπάρχουν αρκετές ΔΠ συνδεδεμένες με VSIs. Τυπικά αυτές οι ΔΠ τροφοδοτούν στο βραχυκύκλωμα ρεύμα ίσο με  $(1.1 \text{ έως } 1.2) \cdot I_N$  ( $I_N$  είναι το ονομαστικό τους ρεύμα). Εξαιρούνται μόνο οι ειδικές μονάδες, που σχεδιάζονται ειδικά για να τροφοδοτούν μεγάλο ρεύμα βραχυκυκλώματος. Αυτό το ρεύμα των ΔΠ είναι πολύ μικρότερο από το ρεύμα βραχυκυκλώματος που τροφοδοτείται από το κύριο δίκτυο και δεν μπορεί να ενεργοποιήσει τη συμβατική προστασία υπερέντασης.

Αν για την ανακάλυψη του βραχυκυκλώματος χρησιμοποιείται το ρεύμα, η λύση είναι να χρησιμοποιηθεί προστασία κατεύθυνσης-υπερέντασης. Σε αυτήν την περίπτωση για να αυξήσουμε την ευαισθησία, χρησιμοποιούμε για τον προσδιορισμό του επιπέδου επιλογής το συνολικό ρεύμα που συνεισφέρει στο βραχυκύκλωμα ένα υποσύνολο των ΔΠ προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση και δίνεται από την εξίσωση:

$$I_{s,\min} = \sum_{i=1}^n K_i I_{iN} \quad (4.1)$$

όπου  $K_i=1.1$  για ΔΠ με VSIs,  $K_i=5$  για σύγχρονες ΔΠ και  $I_{iN}$  το ονομαστικό ρεύμα της ΔΠ  $i$ .

Όμως αυτή η τιμή ρεύματος μεταβάλλεται, επειδή αλλάζει ο αριθμός των ΔΠ και πρέπει να γίνει μία εκτίμηση της τιμής για να έχουμε ευαισθησία στη χειρότερη περίπτωση.

Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο εξελιγμένα και ακριβά συστήματα προστασίας, που ενεργοποιούνται από τη μεταβολή του μέτρου και τη διάρκεια του βυθίσματος της τάσης ή/και τη στιγμιαία συχνότητα και το ρυθμό μεταβολής της. Επίσης, ανάλογα με τους ισχύοντες κανονισμούς στο κύριο δίκτυο, μπορεί να απαιτείται η παραμονή σε διασυνδεδεμένη λειτουργία του μικροδίκτυου, ώστε να συνεισφέρει με άεργο ισχύ στην αποκατάσταση της τάσης του δικτύου. Ο χρόνος προσφοράς βοήθειας μπορεί να κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες ms μέχρι μερικά s.

Για το βραχυκύκλωμα F2, η προστασία υπέρεντασης του Μ/Σ διανομής ανοίγει τον CB0. Ο CB1 ανοίγει με εντολή «ακολούθησέ με» του CB0 (επειδή οι διακόπτες είναι κοντά, δεν χρειάζονται επικοινωνίες για την εκτέλεση της εντολής). Σε περίπτωση αποτυχίας εκτέλεσης της εντολής, έχουμε τα ίδια προβλήματα ευαισθησίας με το F1 και τους ίδιους πιθανούς τρόπους αντιμετώπισής τους.

#### **4.3.2 Συνδεδεμένο μικροδίκτυο με βραχυκύκλωμα εντός του (F3).**

Για την εκκαθάριση του F3 πρέπει να ανοίξουν οι CB1.2 και CB2.1. Η προστασία υπέρεντασης του CB1.2 ενεργοποιείται λόγω του μεγάλου ρεύματος βραχυκυκλώματος που τροφοδοτεί το δίκτυο. Εφεδρική προστασία προσφέρει στον CB1.2 ο CB1.1. Η ενεργοποίηση όμως του CB1.1 μπορεί να επηρεασθεί, αν στον πίνακα SWB1 είναι συνδεδεμένη μία μεγάλη σύγχρονη γεννήτρια, που μπορεί να συνεισφέρει πάνω από 30% στο ρεύμα βραχυκυκλώματος που δέχεται ο CB1.2 και επειδή αυτό το ρεύμα δεν το δέχεται ο CB1.1 θα έχει πάνω από 30% μικρότερο ρεύμα βραχυκυκλώματος. Η μείωση αυτή του ρεύματος μπορεί να καθυστερήσει την ενεργοποίηση του CB1.1, λόγω λειτουργίας του σε διαφορετικό τμήμα της χαρακτηριστικής του (Σχ. 4.3) και να προκαλέσει αποσυγχρονισμό της σύγχρονης γεννήτριας.

Αν ο CB1.2 ενεργοποιηθεί ταχύτερα από τον CB2.1 (που είναι και το πιθανότερο), νησιδοποιείται ένα μέρος του μικροδίκτυου, που τροφοδοτεί το F3. Η νησίδα μπορεί να ισορροπήσει (με πιθανές και απορρίψεις φορτίων) αν λειτουργήσει ο CB2.1 και πιθανά κλείσουν οι CB3.2 και CB6.2. Όμως είναι πιθανόν να έχουμε πρόβλημα ευαισθησίας στον CB2.1, λόγω μικρού αντίστροφου ρεύματος βραχυκυκλώματος από τις ΔΠ με VSIs, όπως στην περίπτωση του F1. Πιθανές λύσεις είναι η χρήση προσαρμοστικής κατεύθυνσης-υπέρεντασης προστασία ή η χρήση εντολής

**Πίνακας 4.1** Συμπεράσματα ανταπόκρισης του συστήματος προστασίας υπερέντασης σε μικροδίκτυο

Λειτουργικές καταστάσεις μικροδίκτυου	Θέση βραχυκυκλώματος			
	Εξωτερικά βραχυκυκλώματα (στο κύριο δίκτυο)		Εσωτερικά βραχυκυκλώματα στο μικροδίκτυο	
	Δίκτυο ΜΤ (F1)	Μ/Σ διανομής (F2)	Τροφοδότης ΧΤ (F3)	Φορτίο ΧΤ (F4)
Διασυνδεδεμένη λειτουργία (CB1 κλειστός)	1)Το βραχυκύκλωμα αντιμετωπίζεται από την προστασία του συστήματος ΜΤ. 2)Σε αποτυχία της προστασίας ΜΤ, η απόσύνδεση του μικροδίκτυου γίνεται με άνοιγμα του CB1 (δρα ως εφεδρική προστασία). Αυτή η προστασία ενδέχεται να αντιμετωπίσει προβλήματα ευαισθησίας <sup>α</sup> .	1)Κανονικά το βραχυκύκλωμα αντιμετωπίζεται από την προστασία του συστήματος ΜΤ (άνοιγμα CB0), που ενεργοποιεί και τον CB1 (συνεργασία διακοπών με εντολή «ακολούθησέ με» (follow me). 2)Σε αποτυχία της εντολής «ακολούθησέ με», η προστασία υπερέντασης του CB1 μπορεί να αντιμετωπίσει προβλήματα ευαισθησίας <sup>α</sup> .	1)Απομόνωση του βραχυκυκλώματος με άνοιγμα του CB1.2 και CB2.1. Ο CB1.2 δέχεται μεγάλο ρεύμα από το δίκτυο και ενεργοποιείται οπωσδήποτε. 2)Μικρό αντίστροφο ρεύμα από τον τροφοδότη δημιουργεί προβλήματα ευαισθησίας στον CB2.1 <sup>α</sup> . 3)Το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με εντολή «ακολούθησέ με». 4)Σε αποτυχία αυτής της εντολής πρόβλημα ευαισθησίας CB2.1 <sup>α</sup> .	1)Το φορτίο αποσυνδέεται από τον CB2.4 ή μία ασφάλεια. 2)Σε αποτυχία του CB2.4, ο πίνακας αποσυνδέεται από τον CB2.5, αλλά έτσι αναίτια αποσυνδέεται και η τοπική ΔΠ. 3)Στην προηγούμενη περίπτωση δεν αναμένονται προβλήματα επιλεκτικότητας ή ευαισθησίας.
Απομονωμένη λειτουργία (CB1 ανοικτός)			1)Απομόνωση του βραχυκυκλώματος με άνοιγμα του CB1.2 και CB2.1. 2)Χαμηλή τιμή ρεύματος και από τις δύο κατευθύνσεις μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα ευαισθησίας στον CB1.2 και CB2.1 <sup>α</sup> .	1)Το φορτίο αποσυνδέεται από τον CB2.4 ή μία ασφάλεια. 2)Σε αποτυχία του CB2.4, ο πίνακας αποσυνδέεται από τον CB2.5, αλλά έτσι αναίτια αποσυνδέεται και η τοπική ΔΠ. 3)Στην προηγούμενη περίπτωση δεν αναμένονται προβλήματα επιλεκτικότητας ή ευαισθησίας.

<sup>α</sup> Μικρή συνεισφορά στο ρεύμα βραχυκυκλώματος από το μικροδίκτυο, αν υπάρχουν ΔΠ συνδεδεμένες με VSIs.

«ακολουθήσέ με» από τον CB1.2 στον CB2.1. Σε αυτήν την περίπτωση όμως απαιτείται κανάλι επικοινωνίας και σε πιθανή αποτυχία του μπορεί να έχουμε προβλήματα ευαισθησίας στον CB2.1.

#### **4.3.3 Συνδεδεμένη λειτουργία με βραχυκύκλωμα σε φορτίο (F4).**

Μεγάλο ρεύμα βραχυκύκλωσης τροφοδοτείται από το δίκτυο και τις ΔΠ, που ενεργοποιεί τον CB2.4 ή κάποια ασφάλεια που πιθανά χρησιμοποιείται στη θέση του. Σε περίπτωση αποτυχίας, ο πίνακας SWB2 αποσυνδέεται από τον CB2.5, που αποσυνδέει και την τοπική ΔΠ αναίτια. Σε αυτήν την περίπτωση δεν προβλέπονται προβλήματα ευαισθησίας ή επιλεκτικότητας.

#### **4.3.4 Αποσυνδεδεμένη λειτουργία με βραχυκύκλωμα σε τροφοδότη (F3).**

Σε αυτήν την περίπτωση για κάποιο λόγο ο CB1 έχει ανοίξει, οπότε το F3 τροφοδοτείται και από τις δύο κατευθύνσεις από τις ΔΠ του μικροδίκτυου, με μικρό ρεύμα βραχυκυκλώματος. Για να έχουμε επιλεκτικότητα πρέπει η απλή προστασία υπερέντασης να αντικατασταθεί με προστασία κατεύθυνσης-υπερέντασης. Αν ο CB1.2 και ο CB2.1 έχουν τις ρυθμίσεις που υπολογίστηκαν με συνδεδεμένο το μικροδίκτυο, θα έχουν προβλήματα ευαισθησίας και επιλεκτικότητας στην απομόνωση του F3. Λόγω του μικρού ρεύματος βραχυκυκλώματος οι ηλεκτρονόμοι θα ενεργοποιηθούν σε σημεία του τμήματος L της χαρακτηριστικής και όχι στα τμήματα S ή I (Σχ. 4.3) και ο χρόνος εκκαθάρισης του F3 θα γίνει απαράδεκτα μεγάλος. Πιθανές λύσεις είναι:

- Εγκατάσταση ειδικής ΔΠ για παροχή μεγάλου ρεύματος βραχυκυκλώματος (π.χ. σφόνδυλος με υπεραγώγιμη έδραση ή υπερπυκνωτής), για να διατηρήσουμε τις ρυθμίσεις που έχουμε με συνδεδεμένο το μικροδίκτυο. Όμως αυτές οι λύσεις αυξάνουν το κόστος, γιατί αυτές οι ΔΠ απαιτούν αυξημένη ονομαστική ισχύ ή ενισχυμένο σύστημα ψύξης.
- Εξελιγμένη προσαρμοστική προστασία, ώστε να έχουμε επανακαθορισμό των ρυθμίσεων σε πραγματικό χρόνο, ανάλογα με τη λειτουργική κατάσταση του μικροδίκτυου.

#### **4.3.5 Αποσυνδεδεμένη λειτουργία με βραχυκύκλωμα σε φορτίο (F4).**

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος στο F4 τροφοδοτείται μόνο από τις τοπικές ΔΠ και είναι μικρό. Όμως, επειδή στη συνδεδεμένη λειτουργία ο CB2.4 έχει επίπεδο επιλογής λίγο μεγαλύτερο από το ονομαστικό ρεύμα του φορτίου, αυτό το μικρό ρεύμα βραχυκύκλωσης τον ενεργοποιεί. Αν αποτύχει ο CB2.4, ο πίνακας SWB2 αποσυνδέεται από τον CB2.5, που πρέπει να ελέγχεται από ηλεκτρονόμο κατεύθυν-



σης-υπερέντασης. Όπως και στη συνδεδεμένη λειτουργία δεν αναμένονται προβλήματα ευαισθησίας ή επιλεκτικότητας.

#### 4.4 ΝΗΣΙΔΟΠΟΙΗΣΗ

Τα μικροδίκτυα συνήθως έχουν ονομαστική ισχύ μικρότερη από 10 MVA, που είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με αυτή του δικτύου. Τα μικροδίκτυα πρέπει να έχουν επαρκή παραγωγή ώστε να τροφοδοτούν ένα σημαντικό τμήμα του φορτίου τους. Εάν δεν γίνει νησιδοποίηση στο PCC, Σχ. 4.1, τότε το μικροδίκτυο θα φορτωθεί και ένα μέρος του δικτύου. Γι αυτό οι προδιαγραφές συστήνουν τα ελάχιστα κριτήρια προστασίας διασύνδεσης, που θα πρέπει να τηρεί το μικροδίκτυο κατά τη διασυνδεδεμένη λειτουργία. Το κόστος της εφαρμογής και οι τεχνικοί περιορισμοί είναι σημαντικοί στη σχεδίαση των συστημάτων προστασίας για το μικροδίκτυο. Τα θέματα που θα πρέπει να εξετασθούν προσεκτικά στον καθορισμό των παραμέτρων για τη νησιδοποίηση του μικροδίκτυου είναι:

- 1) Εάν θα πρέπει η ταχύτητα λειτουργίας του συστήματος προστασίας να προσεγγίζει το πρότυπο SEMI F47 (χρόνος αποσύνδεσης 50 ms για βύθιση τάσης μεγαλύτερη από 70% ή 200 ms για βύθιση τάσης μικρότερη από 70%).
- 2) Πως θα ελαχιστοποιηθούν οι λανθασμένες αποσυνδέσεις.
- 3) Αν επιτρέπονται οι αποσυνδέσεις σε συνθήκες που δεν υπάρχει σφάλμα, όπως υπότασης, ανοιχτής φάσης και ασυμμετρίας τάσης.
- 4) Περιορισμοί προστασίας αποσύνδεσης επιβαλλόμενοι από τα μικροδίκτυα που εξάγουν ισχύ.
- 5) Εάν ο επανασυγχρονισμός με το δίκτυο θα είναι αυτόματος ή χειροκίνητος, κυρίως σε σχέση με την προσαρμογή τάσης και συχνότητας.

##### 4.4.1 Διαφορετικά σενάρια νησιδοποίησης.

Σε αυτήν την παράγραφο εξετάζονται τα ακόλουθα σενάρια νησιδοποίησης του μικροδίκτυου (Σχ. 4.1):

- 1) Ταχεία αποσύνδεση από βραχυκυκλωμένο τροφοδότη.
- 2) Αποφυγή λανθασμένων αποσυνδέσεων.
- 3) Αποσύνδεση όταν δεν υπάρχει σφάλμα.
- 4) Αποσύνδεση από μικροδίκτυα που εξάγουν ισχύ.
- 5) Επανασυγχρονισμός.

##### 4.4.1.1 Ταχεία αποσύνδεση από βραχυκυκλωμένο τροφοδότη.

Μια σημαντική υπηρεσία που παρέχεται από το μικροδίκτυο είναι η αδιάλειπτη παροχή ισχύος στα κρίσιμα φορτία κατά τη διάρκεια μιας διακοπής τροφοδοσίας.

Εάν τα φορτία του μικροδίκτυου είναι τόσο ευαίσθητα σε μεταβολές της τάσης, ώστε να απαιτούν χρόνο αποσύνδεσης του μικροδίκτυου μικρότερο από 50 ms (προδιαγραφές SEMI F47), τότε δεν θα είναι δυνατόν ο κλασσικός εξοπλισμός προστασίας να δράσει τόσο γρήγορα ώστε να κάνει εκκαθάριση του σφάλματος υπό οποιεσδήποτε συνθήκες. Ο συνήθης χρόνος ανίχνευσης ενός σφάλματος υπότασης ή υπέρτασης είναι μέχρι δύο κύκλους και ένας διακόπτης MT χρειάζεται τρεις με πέντε κύκλους για να διακόψει το κύκλωμα, μετά το σήμα ενεργοποίησης. Έτσι, αν το μικροδίκτυο δεν περιλαμβάνει έναν πολύ γρήγορο διακόπτη στερεάς κατάστασης στο PCC, πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλοι τρόποι για να αποτρέψουν την τάση να πέσει κάτω από το 50% για τρεις ή περισσότερους κύκλους. Σε αυτές τις περιπτώσεις, για να επιτευχθεί βελτίωση στο σχεδιασμό και την προστασία, εξετάζονται οι ακόλουθες δύο περιπτώσεις:

### **Όταν η αποσύνδεση δεν είναι απαραίτητη.**

Αυτές οι περιπτώσεις συμβαίνουν όταν το σφάλμα δεν βρίσκεται ανάμεσα στο PCC και το διακόπτη του υποσταθμού με τον οποίο συνδέεται το μικροδίκτυο. Τέτοιες περιπτώσεις βύθισης τάσης έχουμε όταν βραχυκυκλώματα συμβαίνουν σε άλλους τροφοδότες που τροφοδοτούνται από τον ίδιο υποσταθμό. Σε αυτές τις περιπτώσεις μία επιλογή για αποφυγή της βύθισης τάσης είναι η τοποθέτηση ηλεκτρονικών διορθωτών βύθισης τάσης ή η αντικατάσταση του Y-Y Μ/Σ στο PCC με έναν Δ-Y και η προσθήκη ενός διακόπτη στην πλευρά υψηλής τάσης. Για σφάλματα μιας φάσης με γη στο δίκτυο, ο Μ/Σ Δ-Y θα εξασφαλίσει ότι η τάση φάσης-γης στο μικροδίκτυο δεν θα πέσει κάτω από το 58% . Αυτές οι περιπτώσεις εξηγούν πως εξαρτώνται μεταξύ τους η προστασία και οι επιλογές σχεδίασης στην ανάπτυξη ενός οικονομικού μικροδίκτυου.

Η εγκατάσταση ηλεκτρονικών συσκευών κατά της βύθισης τάσης (διορθωτές τάσης) είναι πιο ακριβή λύση. Υπάρχουν δύο τύποι ηλεκτρονικών συσκευών προστασίας από βύθιση τάσης, ο ένας είναι κατάλληλος για βραχύχρονες περιόδους προστασίας και ο δεύτερος για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους. Οι συσκευές της βραχύχρονης προστασίας δεν περιλαμβάνουν σύστημα αποθήκευσης ενέργειας και είναι αποτελεσματικές μόνο για δύο κύκλους. Αντίθετα, ο δεύτερος τύπος περιλαμβάνει συσκευές αποθήκευσης ενέργειας. Όμως, ακόμα και για καταστάσεις μηδενικής τάσης, οι περισσότερες σύγχρονες συσκευές προστασίας από βύθιση τάσης μπορούν να κρατήσουν την τάση για τρεις κύκλους. Έτσι, αν οι γειτονικοί στο μικροδίκτυο τροφοδότες εξοπλισθούν με στιγμιαίους ηλεκτρονόμους υπέρτασης και διακόπτες τριών κύκλων, τότε το μικροδίκτυο εφοδιασμένο με διορθωτές τάσης ικανοποιεί τις προδιαγραφές SEMI F47 για ταχεία εκκαθάριση του

σφάλματος. Η αντικατάσταση του Μ/Σ διασύνδεσης Y-Y με Δ-Y είναι μια φθηνότερη αλλά λιγότερο αποτελεσματική λύση.

### **Όταν η αποσύνδεση είναι υποχρεωτική.**

Όταν ένα βραχυκύκλωμα γίνεται στον κύριο τροφοδότη του μικροδίκτυου στο PCC, το μικροδίκτυο πρέπει να αποσυνδεθεί από το δίκτυο. Αυτό το είδος σφάλματος απαιτεί ταχείς χρόνους αποσύνδεσης, χωρίς να διατηρείται καμία σύνδεση με το δίκτυο. Για να εξασφαλίζονται οι προδιαγραφές SEMI F47 γίνονται προσπάθειες ανάπτυξης συσκευών προστασίας μεγάλης ταχύτητας, ώστε να μην χρειάζονται διορθωτές τάσης.

#### **4.4.1.2 Αποφυγή λανθασμένων αποσυνδέσεων.**

Από λειτουργική άποψη, είναι επιθυμητό να διατηρείται η σύνδεση ανάμεσα στο μικροδίκτυο και το κυρίως δίκτυο. Ωστόσο, για βραχυκυκλώματα στη γραμμή σύνδεσης πρέπει να έχουμε γρήγορη αποσύνδεση, ώστε να εξασφαλίζονται οι προδιαγραφές SEMI F47, ενώ πρέπει να διατηρείται η σύνδεση για βραχυκυκλώματα μέσα στο μικροδίκτυο. Η μόνη αξιόπιστη μέθοδος για να διακρίνουμε αν ένα σφάλμα είναι στο τροφοδότη ή μέσα στο μικροδίκτυο και να έχουμε γρήγορη λειτουργία του διακόπτη στο PCC (CB4 στο Σχ. 4.1) είναι η μεταφορά ενός σήματος ενεργοποίησης μεταξύ του διακόπτη του υποσταθμού του δικτύου και του CB4 (follow me ή transfer trip) (προστασία σύγκρισης κατεύθυνσης).

Προβλήματα λανθασμένης αποσύνδεσης μπορεί να προκληθούν όχι μόνο από ηλεκτρομηχανικούς ηλεκτρονόμους, αλλά και από εξελιγμένα συστήματα προστασίας βασιζόμενα σε μικροεπεξεργαστές, που δρουν μόνο με βάση τις πληροφορίες στο PCC. Τέτοια συστήματα δεν μπορούν να ξεχωρίσουν πάντα τη θέση του σφάλματος, παρά τη μεγάλη διαφορά ισχύος μεταξύ του μικροδίκτυου και του δικτύου. Οι επιδράσεις λανθασμένων αποσυνδέσεων σε ένα μικροδίκτυο διαφέρουν από αυτές σε μια μικροπαραγωγή συνδεδεμένη με το δίκτυο. Για τη μικροπαραγωγή, μια λανθασμένη αποσύνδεση επιβαρύνεται με το κόστος της απώλειας πώλησης παραγωγής ενέργειας για μία βραχεία περίοδο και από το κόστος επανεκκίνησης και επανασυγχρονισμού. Αντίθετα, για το μικροδίκτυο μια λανθασμένη αποσύνδεση σημαίνει σημαντική έκθεση σε προβλήματα της ποιότητας ισχύος. Δηλαδή στο κόστος πρέπει να συμπεριλάβουμε και το πιθανό κόστος απώλειας παραγωγής εργοστασίων του μικροδίκτυου και ως προς αυτό το κόστος να δικαιολογηθεί το κόστος της προστασίας διασύνδεσης.

Εάν ένα μικροδίκτυο διαθέτει και εφεδρική ισχύ για τα φορτία του, τότε λανθασμένες αποσυνδέσεις μπορούν να γίνουν ανεκτές ως ένα σημείο. Ταχεία αποσύνδεση σε περίπτωση βραχυκυκλώματος στο δίκτυο προστατεύει το μικροδίκτυο από τις διαταραχές του δικτύου και του επιτρέπει να λειτουργεί αδιατάρακτα. Μία λανθασμένη αποσύνδεση δεν έχει σημαντική επίδραση στο μικροδίκτυο και το κύριο δίκτυο, εφόσον το μικροδίκτυο είναι ικανό να επανέλθει σε κανονική λειτουργία μετά την αποσύνδεση. Το κύριο πλεονέκτημα της ανοχής σε λανθασμένες αποσυνδέσεις είναι ότι οι ρυθμίσεις των ηλεκτρονόμων για αποσύνδεση μπορούν να οριστούν μόνο από τις αποκλίσεις στην τάση και τη συχνότητα και από τη χρονική διάρκεια, παρόλο που αυτές δεν αποτελούν κατάλληλους δείκτες για την ακριβή θέση του σφάλματος. Με αυτήν την προστασία αν μία μη αποδεκτή απόκλιση στην τάση επιμένει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από το επιτρεπτό, πραγματοποιείται αποσύνδεση. Αυτή η προστασία είναι πολύ πιο απλή από την προστασία που προσπαθεί να εντοπίσει τη θέση του σφάλματος από μετρήσεις τάσης και ρεύματος στο PCC.

#### **4.4.1.3 Αποσύνδεση χωρίς να υπάρχει βραχυκύκλωμα.**

Χαμηλές τάσεις μπορούν να εμφανιστούν και χωρίς να υπάρχει σφάλμα. Είναι δύσκολο να εκτιμηθεί εάν μία χαμηλή τάση προέρχεται από κάποιο σφάλμα ανάμεσα στο PCC και τον υποσταθμό του δικτύου, χωρίς τη βοήθεια μεγάλης ταχύτητας τηλεπικοινωνιακού συστήματος ανάμεσα στο μικροδίκτυο και τους ελεγκτές του κυρίως δικτύου. Για υποτάσεις, είναι γενικά επιθυμητό το μικροδίκτυο να παραμένει συνδεδεμένο με το κύριο δίκτυο, ενώ το τελευταίο προσπαθεί να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της χαμηλής τάσης, υπό την προϋπόθεση ότι αυτή δεν οφείλεται σε κάποιο σφάλμα που απαιτεί αποσύνδεση στο PCC. Το μικροδίκτυο και το δίκτυο μπορούν να διαπραγματευτούν και έλεγχο αποσύνδεσης για να επιτύχουν συμμόρφωση με τις προδιαγραφές SEMI F47 για τα όρια συμμετρικής τάσης. Ο έλεγχος αποσύνδεσης μπορεί να επιτευχθεί μέσω επικοινωνίας είτε με το δίκτυο, είτε με το σύστημα περιορισμών αποσύνδεσης.

Ανισορροπία τάσης πάντα υπάρχει σε ένα βαθμό στους τροφοδότες διανομής ακόμα και σε κανονικές συνθήκες. Το όριο ανοχής σε υποτάσεις για το μικροδίκτυο εξαρτάται από παράγοντες όπως συνδέσεις Μ/Σ και σημεία γείωσης μέσα στο μικροδίκτυο. Η ευαισθησία των φορτίων και μικροπαραγωγών σε ανισορροπία της τάσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για τη θέσπιση των ορίων ανοχής σε υποτάσεις. Ωστόσο, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί αν η αιτία της ανισορροπίας της τάσης βρίσκεται μέσα στο μικροδίκτυο ή έξω από αυτό. Γι αυτό χρειάζεται ένας ευφυής ε-

λεγκτής να περιλαμβάνεται στο PCM για να αποφασίζει αν η αποσύνδεση θα στηρίζεται στην ανισοροπία των τάσεων.

Ανοιχτές φάσεις συνήθως σχετίζονται με συστήματα όπου ασφάλειες είναι τοποθετημένες μεταξύ του υποσταθμού του δικτύου και του PCC. Ανοιχτές φάσεις μπορεί σπάνια να παρουσιαστούν χωρίς την ύπαρξη σφάλματος και η ανίχνευσή τους είναι δύσκολη. Επειδή μία ανοικτή φάση προκαλεί πολικές τάσεις μεγαλύτερες ή ίσες με το 50% της ονομαστικής τους τιμής, το μικροδίκτυο μπορεί να μην ανιχνεύει αυτή την κατάσταση ως ανώμαλη. Οι καταστάσεις ανοικτής φάσης θεωρούνται πιθανοί κίνδυνοι για τους Μ/Σ και τις μικροπαραγωγές, καθώς έχουμε σημαντικές υπερεντάσεις/υπερτάσεις στην ανοικτή φάση, αν αυτή δεν αποσυνδεθεί με τριφασικό διακόπτη. Γι αυτό η σύνδεση ασφαλειών ανάμεσα στον υποσταθμό του δικτύου και στο PCC δεν ενθαρρύνεται.

#### **4.4.1.4 Αποσύνδεση μικροδίκτυων που εξάγουν ισχύ.**

Για μικροδίκτυα που εξάγουν ισχύ η χρήση απλών ηλεκτρονόμων αντιστροφής ισχύος δεν είναι αρκετή για τον προσδιορισμό εκτάκτων καταστάσεων στο δίκτυο. Επίσης, απλές προστασίες με ηλεκτρονόμους υπότασης/υπέρτασης δεν εξασφαλίζουν αποσύνδεση για βραχυκυκλώματα στο δίκτυο, γιατί το μικροδίκτυο έχει επαρκή εγκατεστημένη παραγωγή για την κάλυψη των φορτίων του και δεν επηρεάζεται από την τάση στο PCC. Σε μικροδίκτυα με εγκατεστημένη παραγωγή μεγαλύτερη από τα φορτία τους, ο λόγος εμπέδησης/αντίστασης πλησιάζει αυτόν του δικτύου. Αυτή είναι μία μεγάλη διαφορά μεταξύ ενός μικροδίκτυου που εξάγει ισχύ και ενός που εισάγει. Γι αυτό η προστασία και ο έλεγχος μικροδίκτυων που εξάγουν ισχύ χρειάζεται επανασχεδιασμό σε σχέση με τα μικροδίκτυα που εισάγουν ισχύ.

#### **4.4.1.5 Επανασυγχρονισμός.**

Ηλεκτρονόμοι και σχήματα ελέγχου χρησιμοποιούνται γενικά για τον επανασυγχρονισμό, χειροκίνητα ή αυτόματα για μία συμβατική σύγχρονη γεννήτρια και αυτόματα για ένα ηλεκτρονικό αντιστροφέα ισχύος μικροπαραγωγής. Αν το μικροδίκτυο περιλαμβάνει μία μόνο μικροπαραγωγή, τότε η επιλογή αυτόματου ή χειροκίνητου επανασυγχρονισμού εξαρτάται από τις ικανότητες και τη διαθεσιμότητα του χειριστή. Αλλά αν το μικροδίκτυο έχει πολλές μικροπαραγωγές σε διαφορετικές θέσεις, θα πρέπει η PCM να περιέχει στρατηγικές αυτόματου επανασυγχρονισμού.

## 4.5 ΚΥΡΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ

Αν ένα μικροδίκτυο λειτουργεί αυτόνομα, η προστασία του διαφέρει σημαντικά από την προστασία στη διασυνδεδεμένη λειτουργία. Σε αυτήν την παράγραφο θα εξετασθούν τέσσερα προβλήματα προστασίας σε αυτόνομα μικροδίκτυα:

- 1) Προστασία του συστήματος διανομής.
- 2) Προστασία των μικροπαραγωγών.
- 3) Προδιαγραφές NEC για την προστασία του Μ/Σ διανομής.
- 4) Απαιτήσεις γείωσης ουδετέρου.

### 4.5.1 Προστασία του συστήματος διανομής του μικροδίκτυου.

Θα εξετασθούν αναλυτικά τα ακόλουθα προβλήματα.

#### 4.5.1.1 Προστασία του συστήματος ΜΤ του μικροδίκτυου.

Η ζώνη μέσης τάσης του μικροδίκτυου (Σχ. 4.1) περιλαμβάνει το τροφοδότη από το ζυγό 6 KV του δικτύου στο Μ/Σ διανομής, το Μ/Σ διανομής και το τροφοδότη από το Μ/Σ διανομής στο PCC. Αν αντιμετωπίσουμε το μικροδίκτυο ως ένα ενεργό σύστημα διανομής ΧΤ, οι μόνες συσκευές προστασίας ΜΤ του μικροδίκτυου θα είναι οι ασφάλειες του Μ/Σ διανομής. Αυτές για συνδεδεμένη λειτουργία, στη πλευρά ΜΤ καίγονται σε 100-200 ms (όπου συνήθως έχουμε ρεύματα σφάλματος 20-50 φορές το μέγιστο ρεύμα του συνολικού φορτίου), ενώ στη πλευρά ΧΤ καίγονται σε 500-1500 ms (όπου συνήθως έχουμε ρεύματα σφάλματος 10-20 φορές το μέγιστο ρεύμα του συνολικού φορτίου). Όμως σε ένα αυτόνομο μικροδίκτυο, τα αντίστοιχα ρεύματα σφάλματος ΜΤ είναι 5 φορές το μέγιστο ρεύμα φορτίου και οι ασφάλειες με χαρακτηριστικά πολύ αντίστροφου χρόνου-ρεύματος γίνονται απaráδεκτα αργές για να συγχρονιστούν με την προστασία των μικροπαραγωγών. Το πρόβλημα για το σύστημα προστασίας του μικροδίκτυου είναι η δραστική μείωση του ρεύματος βραχυκυκλώματος. Επί πλέον οι ασφάλειες μπορεί να αποσυνδέουν μία ή δύο φάσεις μόνο, ανάλογα με το είδος του βραχυκυκλώματος.

Υπό αυτές τις συνθήκες υπάρχουν δύο επιλογές:

- i. Να δεχτούμε ότι ένα σφάλμα ΜΤ θα οδηγήσει σε συνολική αποσύνδεση και απώλεια του Μ/Σ διανομής, αλλά αυτό δεν επηρεάζει την παραγωγή του μικροδίκτυου (απλή αποσύνδεση του μικροδίκτυου σημαίνει άνοιγμα του διακόπτη ΜΤ, ενώ συνολική αποσύνδεση σημαίνει άνοιγμα του διακόπτη CB4).
- ii. Να εγκαταστήσουμε επιπλέον προστατευτικές συσκευές στη ΜΤ συγχρονισμένες με τα συστήματα προστασίας των μικροπαραγωγών κατά την αυτόνομη λειτουργία.

Η πρώτη λύση είναι πιο οικονομική και αποδεκτή. Για την εφαρμογή της πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι το σύστημα προστασίας που ελέγχει το διακόπτη CB4 έχει λογικό χρόνο λειτουργίας, για το μικρό ρεύμα σφάλματος MT που τροφοδοτεί το μικροδίκτυο. Επίσης η προστασία των μικροπαραγωγών πρέπει να έχει καθυστέρηση, ώστε να μην ενεργοποιείται για σφάλματα στη MT. Για πολύπλοκη αρχιτεκτονική του μικροδίκτυου, καλύτερος συντονισμός της προστασίας επιτυγχάνεται με μια ευφυή PCM, ενώ η ξεχωριστή προστασία των μικροπαραγωγών δεν χρειάζεται να συντονιστεί με τα άλλα συστήματα προστασίας. Αυτή η προστασία συντονίζεται και με την προστασία των τροφοδοτών σε ζώνες, που γίνεται με απλούς ηλεκτρονόμους κατεύθυνσης-υπερέντασης. Αν όμως τα μικρά ρεύματα σφάλματος στην αυτόνομη λειτουργία δεν επιτρέπουν σίγουρη επιλεκτικότητα, τότε πρέπει να χρησιμοποιηθούν διαφορεικά συστήματα προστασίας γύρω από κάθε τμήμα του κυκλώματος.

#### 4.5.1.2 Απαιτήσεις για την εκκαθάριση σφαλμάτων XT.

Οι συμβατικές συσκευές προστασίας λειτουργούν για μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος περίπου 2-20 φορές το μέγιστο ρεύμα φορτίου. Συνήθως συντονίζονται με τα χαρακτηριστικά χρόνου-ρεύματος έτσι ώστε η συσκευή που βρίσκεται πιο κοντά στο σφάλμα να ενεργοποιείται πρώτη. Η πιο κοντινή στο σφάλμα συσκευή ονομάζεται βασική και η πιο απομακρυσμένη προς την κατεύθυνση της παραγωγής εφεδρική. Κατά τη διάρκεια ενός σφάλματος, η βασική συσκευή προστασίας ρυθμίζεται να ενεργοποιείται ταχύτερα από την εφεδρική για το μέγιστο ρεύμα σφάλματος που δέχονται και οι δύο, παρόλο που και οι δύο ανιχνεύουν το σφάλμα. Ο χρονικός αυτός συντονισμός λειτουργίας στηρίζεται στο γεγονός ότι το ρεύμα βραχυκυκλώματος μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή παραγωγής. Αυτή η ελάττωση προκαλείται και εξαρτάται από το μέτρο της εμπέδησης των γραμμών/μετασχηματιστών που παρεμβάλλεται μεταξύ πηγής και βραχυκυκλώματος. Γι αυτήν την προστασία υπερέντασης (όπως ονομάζεται) ο χρόνος εκκαθάρισης των βραχυκυκλωμάτων είναι σχεδόν ανάλογος της απόστασης του βραχυκυκλώματος από την παραγωγή. Για την προστασία ο ζυγός της παραγωγής θεωρείται άπειρος (δηλαδή η πηγή έχει μηδενική εμπέδηση).

Όμως, στο αυτόνομο μικροδίκτυο ο ζυγός MT του Μ/Σ διανομής δεν εμφανίζεται ως άπειρος ζυγός και η φαινόμενη εμπέδηση των μικροπαραγωγών του μικροδίκτυου είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του Μ/Σ διανομής. Γι αυτό στην αυτόνομη λειτουργία, το ρεύμα βραχυκυκλώματος μεταβάλλεται αργά καθώς το βραχυκύκλωμα μετακινείται από τη ζώνη της MT στις πιο απομακρυσμένες θέσεις της ζώνης XT. Έτσι η εφαρμογή της προστασίας υπερέντασης οδηγεί σε πολύ μεγάλους ρόλους εκκαθάρισης των βραχυκυκλωμάτων και περιορίζει τη δυνατότητα



εφαρμογής εφεδρικής προστασίας. Πόσο σημαντικό είναι αυτό το φαινόμενο εξαρτάται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

1. Εάν οι χαρακτηριστικές χρόνου-εμπέδησης των μικροπαραγωγών έχουν τιμές υπομεταβατικές, μεταβατικές ή σύγχρονες.
2. Την τιμή του επίπεδου επιλογής των στιγμιαίων ηλεκτρονόμων υπερέντασης σε σχέση με το μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος του μικροδίκτυου.
3. Σε ποια περιοχή των χαρακτηριστικών των ηλεκτρονόμων αντίστροφου χρόνου οδηγούν τα ρεύματα βραχυκυκλώματος του μικροδίκτυου και επομένως πόσο μεταβάλλεται ο χρόνος εκκαθάρισης συναρτήσει του ρεύματος βραχυκυκλώματος.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, η PCM θα πρέπει είτε να αλλάζει τις ρυθμίσεις των ηλεκτρονόμων κατά τη μετάβαση από τη διασυνδεδεμένη στην αυτόνομη λειτουργία, είτε να παραμένουν οι ίδιες, εφόσον η προστασία ανταπεξέρχεται και στις δύο καταστάσεις λειτουργίας. Ένας τρόπος για να κρατήσουμε το ίδιο επίπεδο ρεύματος σφάλματος και για τους δύο τρόπους λειτουργίας είναι η εγκατάσταση ενός περιοριστή ρεύματος με διακόπτες στερεάς κατάστασης στο PCC. Ωστόσο, αυτή η λύση οδηγεί σε βασικές αλλαγές στη φιλοσοφία της προστασίας, αν και θα έκανε τη μετάβαση από τον ένα τρόπο λειτουργίας στον άλλο περισσότερο ομαλό. Επί του παρόντος γίνονται εκτεταμένες έρευνες για την ανάπτυξη οικονομικών προσαρμοστικών ηλεκτρονόμων για την προστασία διεσπαρμένων παραγωγών σε συνδεδεμένη και αυτόνομη λειτουργία.

Αναφέρουμε τώρα κάποιες παρατηρήσεις για την προστασία κατά τη μετάβαση από τη διασυνδεδεμένη στην αυτόνομη λειτουργία του μικροδίκτυου. Επειδή και η βασική συσκευή προστασίας και η εφεδρική ρυθμίζονται για το ίδιο μέγιστο ρεύμα σφάλματος, η μετάβαση του μικροδίκτυου δεν μπορεί να επηρεάσει την επιλεκτικότητα των συσκευών. Αν τα ρεύματα σφάλματος είναι μεγαλύτερα από 10 φορές το επίπεδο επιλογής των ηλεκτρονόμων υπερέντασης, η μετάβαση του μικροδίκτυου δεν δημιουργεί απαγορευτικά μεγάλους χρόνους λειτουργίας, γιατί τα χαρακτηριστικά χρόνου-ρεύματος δεν μεταβάλλονται πολύ σε αυτήν την περιοχή. Όμως σε στιγμιαίους ηλεκτρονόμους υπερέντασης η μετάβαση μπορεί να οδηγήσει και σε ρεύματα σφάλματος μικρότερα από το επίπεδο επιλογής τους.

#### **4.5.1.3 Παρουσία διεσπαρμένης παραγωγής στο μικροδίκτυο.**

Αν δεν υπάρχει κεντρική παραγωγή στο PCC του μικροδίκτυου, ένα άλλο ζήτημα που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό των συστημάτων προστασίας, εκτός από τη μείωση του ρεύματος βραχυκυκλώματος κατά την αυτόνομη λειτουργία

γία, είναι οι πιθανότητες ροής ρεύματος σφάλματος διπλής κατεύθυνσης σε μερικές γραμμές τροφοδοσίας. Τότε δημιουργείται ένα ειδικό πρόβλημα, αν υπάρχει ένα σφάλμα ανάμεσα σε μία ελεγχόμενη ΔΠ και μία ελέγχουσα ΔΠ, οπότε η ελεγχόμενη ΔΠ πρέπει να αποσυνδέεται, σύμφωνα με τον κανονισμό P1547. Ωστόσο, μπορεί το σύστημα προστασίας της ελεγχόμενης ΔΠ να είναι ήδη σχεδιασμένο να μην ενεργοποιείται για σφάλματα από την πλευρά του δικτύου, οπότε η αποσύνδεση του ελεγχόμενου συστήματος καθίσταται δύσκολη, γιατί δεν μπορεί να διακρίνει αν το σφάλμα είναι από την πλευρά του δικτύου ή την πλευρά της ελέγχουσας ΔΠ στο μικροδίκτυο. Σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται υψηλής ταχύτητας επικοινωνιακό σύστημα ανάμεσα στον PCM και όλους τους διακόπτες του μικροδίκτυου για να επιτευχθεί αξιόπιστη επιλεκτική αποσύνδεση.

#### 4.5.2 Προστασία μικροπαραγωγών.

Με τις σημερινές συνθήκες, τεχνικές οδηγίες όπως G83/1, G59/1, IEEE 1547, CEI 11-20 συνιστούν την αποσύνδεση των ΔΠ που είναι συνδεδεμένες στη ΜΤ και ΧΤ του δικτύου διανομής, σε περίπτωση ανοίγματος του διακόπτη στον τροφοδότη που είναι συνδεδεμένη η ΔΠ. Αυτή η προστασία είναι γνωστή ως αντι-νησιδοποιητική και είναι υποχρεωτικά ενσωματωμένη στους ηλεκτρονικούς μετατροπείς των ΔΠ που διατίθενται στην αγορά. Επειδή οι ΔΠ δεν ελέγχονται απευθείας από το χειριστή του ηλεκτρικού συστήματος, η χρήση της αντι-νησιδοποιητικής προστασίας επιβάλλεται από τις λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος. Όμως αυτή η προστασία περιορίζει δραστικά τα ωφέλη που μπορούμε να αντλήσουμε από τις ΔΠ στη βελτίωση της αξιόπιστης τροφοδοσίας.

Άρα ο σχεδιασμός ενός αξιόπιστου τρόπου προστασίας μικροπαραγωγών στην αυτόνομη λειτουργία θα πρέπει να εξετάσει τα ακόλουθα θέματα, χρησιμοποιώντας εκτεταμένες δυναμικές προσομοιώσεις:

- 1) Καθορισμός αποδεκτών ανοχών προστασίας τάσης και συχνότητας για αυτόνομη λειτουργία του μικροδίκτυου.
- 2) Αξιολόγηση για το αν υπάρχει ανάγκη για αντι-νησιδοποιητική προστασία των ΔΠ και αν υπάρχει αυτή η προστασία, πώς μπορεί να απενεργοποιηθεί ή να παρακαμφθεί κατά την αυτόνομη λειτουργία.
- 3) Εξέταση αν οι εφαρμοζόμενες τεχνικές αντι-νησιδοποίησης μπορούν να οδηγήσουν σε αστάθεια τάσης και/ή συχνότητας, αν χρησιμοποιηθούν σε ένα αυτόνομο μικροδίκτυο.
- 4) Αξιολόγηση των αναγκών για τεχνικές απόρριψης φορτίων κατά τη μείωση της συχνότητας με σκοπό τη βελτίωση της αξιοπιστίας του μικροδίκτυου και συντονισμός τους με τα αντίστοιχα συστήματα του δικτύου.

#### **4.5.2.1 Μεταβολή των ανοχών τάσης και συχνότητας.**

Αν και η διεύρυνση του εύρους ανοχής της μεταβολής των ονομαστικών τιμών τάσης και συχνότητας κατά την αυτόνομη λειτουργία φαίνεται επιθυμητή για αυτόνομα μικροδίκτυα μικρής εγκατεστημένης παραγωγής, η επίδρασή της στην ασφάλεια του υπάρχοντος εξοπλισμού πρέπει να εξεταστεί προσεχτικά πριν από την εφαρμογή της αλλαγής. Αν οι αρχικές ανοχές επιλέγηκαν για την προστασία του συνδεδεμένου εξοπλισμού από καταστροφές, τότε δεν πρέπει να μεταβληθούν. Αν όμως προσδιορίστηκαν ως όρια για την αποσύνδεση λόγω βραχυκυκλώματος, τότε μπορούν να αλλάξουν μετά από εκτενή μελέτη. Επιπλέον, αυτές οι αλλαγές θα πρέπει να εφαρμοστούν μόνο μέσω τους ευφυούς CC του μικροδίκτυου.

#### **4.5.2.2 Αντι-νησιδοποίηση.**

Το αν υπάρχει ανάγκη για προστασία αντι-νησιδοποίησης των μικροπαραγωγών ή το αν οι έλεγχοι αντι-νησιδοποίησης στους ηλεκτρονικούς μετατροπείς τους θα έπρεπε να απενεργοποιηθούν μπορεί να αποφασιστεί μόνο μετά από εκτενείς δυναμικές προσομοιώσεις. Γενικά, είναι επιθυμητό να απενεργοποιούνται οι έλεγχοι αυτοί, εκτός και αν ο λόγος της παραγωγής που τροφοδοτεί το δίκτυο προς την παραγωγή του μικροδίκτυου είναι πολύ μεγάλος. Ωστόσο, εάν αυτοί οι έλεγχοι απενεργοποιηθούν, μπορεί το μικροδίκτυο να καταλήξει με ανεξέλεγκτες νησίδες. Επειδή η δράση των ελέγχων αντι-νησιδοποίησης είναι πολύ γρήγορη, ο πιο αξιόπιστος τρόπος απενεργοποίησής τους είναι η αποστολή ενός σήματος φραγής τους από τον CC του μικροδίκτυου, μόλις αποφασισθεί η αποσύνδεση του μικροδίκτυου.

#### **4.5.2.3 Απόρριψη φορτίων και διαχείριση της ζήτησης.**

Όλα τα συστήματα ισχύος είναι σχεδιασμένα για να αντιμετωπίζουν τοπικές ή περισσότερο ευρείες καταστάσεις υπερφόρτισης, που προκαλούνται από σφάλματα ή αστοχίες εξοπλισμού. Για να αντιμετωπιστούν αυτές οι καταστάσεις από το δίκτυο, καθορίζεται ένα σύνολο φορτίων ως μη κρίσιμα και σε έκτακτες καταστάσεις (κυρίως απώλεια παραγωγής και/ή γραμμών μεταφοράς) απορρίπτονται (αποσυνδέονται) για να αποφευχθεί μεγάλη πτώση της τάσης και της συχνότητας. Αυτό γίνεται από το σύστημα απόρριψης φορτίων και τα συστήματα διαχείρισης της ζήτησης και είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να σταθεροποιούν τη τάση και τη συχνότητα κατά τη διάρκεια διαταραχών. Για να εξασφαλίσουν τη διακοπτική αυτή ευελιξία, τα δίκτυα παρέχουν στους μη κρίσιμους καταναλωτές και αυτούς που αποδέχονται τη διαχείριση της ζήτησής τους καλύτερες τιμές. Σήμερα η απόρριψη των

μη κρίσιμων φορτίων γίνεται με ηλεκτρονόμους υπο-συχνότητας και χωρίς οικονομικό όφελος.

Η εγκατάσταση αντίστοιχων συστημάτων διαχείρισης (απόρριψης) επί μέρους φορτίων σε επίπεδο καταναλωτή (π.χ. σπίτια ή εργοστάσια) έχει τεχνικές, οικονομικές και πολιτικές επιπλοκές. Στο μικροδίκτυο όμως, η φύση των τεχνικών προβλημάτων εξαρτάται από το αν η απόρριψη των φορτίων θα συμβεί πριν ή μετά την αποσύνδεση του μικροδίκτυου από το κύριο δίκτυο. Όμως τα οικονομικά και πολιτικά προβλήματα αποκτούν νέα μορφή, αν η διαχείριση των επί μέρους φορτίων είναι αναπόφευκτη κατά το σχεδιασμό του μικροδίκτυου.

Εάν μέσα στο μικροδίκτυο υπάρχουν φορτία που αποσυνδέονται κατά την πτώση της συχνότητας, τότε η απόρριψή τους πρέπει να συντονίζεται με το όριο υπο-συχνότητας που καθορίζει την αποσύνδεση του μικροδίκτυου. Αυτός ο συντονισμός εξαρτάται από τα εξής:

1. Αν το αυτόνομο μικροδίκτυο έχει επαρκή παραγωγή για να τροφοδοτήσει αυτά τα μη κρίσιμα φορτία.
2. Εάν το μικροδίκτυο ήταν εξ αρχής σχεδιασμένο για την τροφοδοσία κάποιων μη κρίσιμων φορτίων του δικτύου πλήρως ή μερικώς κατά τη διασυνδεδεμένη λειτουργία, τότε η πρόωγη αποσύνδεση του μικροδίκτυου από το δίκτυο μπορεί να οδηγήσει σε επιπλέον επιδείνωση της υπερφόρτισης του δικτύου. Αποσύνδεση του μικροδίκτυου πριν να απορριφθούν αυτά τα φορτία εκλαμβάνεται ως σημαντική απώλεια παραγωγής για το δίκτυο.
3. Εάν το μικροδίκτυο δεν είχε σχεδιασθεί για να τροφοδοτεί αυτά τα μη κρίσιμα φορτία του κατά τη διασυνδεδεμένη λειτουργία, τότε τα φορτία αυτά πρέπει να απορριφθούν πριν την αποσύνδεση του μικροδίκτυου, για να μπορέσει να προσδιορισθεί από το δίκτυο αν με την απόρριψη αυτών των φορτίων μπορεί να αποκατασταθεί η ισορροπία παραγωγής και φορτίου.
4. Εάν περισσότερα φορτία (σε σχέση με τα φορτία που χρειάζεται να απορριφθούν για την αποκατάσταση της τάσης και της συχνότητας) πρέπει να απορριφθούν για να εξασφαλιστεί η ευσταθής λειτουργία του μικροδίκτυου, τότε πρέπει να μελετηθεί πόσο αυτή η απόρριψη θα επηρεάσει τη δυναμική συμπεριφορά του μικροδίκτυου μετά την αποσύνδεσή του.

Εάν το μικροδίκτυο πρέπει να αποσυνδεθεί εξαιτίας σφάλματος ή αστοχίας εξοπλισμού στη ζώνη ΜΤ (Σχ. 4.1), τότε πρέπει να εφαρμόσει τη δική του στρατηγική απόρριψης φορτίων. Επειδή η ροπή αδράνειας του μικροδίκτυου είναι μικρότερη από αυτήν αντίστοιχου μεγέθους δίκτυο, πρέπει να επιλυθούν τα ακόλουθα τεχνικά προβλήματα κατά την ανάπτυξη της στρατηγικής απόρριψης φορτίων:

1. Θα πρέπει να ελεγχθεί αν το δίκτυο έχει εφαρμόσει τη δική του στρατηγική απόρριψης φορτίων στο μικροδίκτυο.

2. Αν την έχει εφαρμόσει, τότε πρέπει να ελεγχθεί αν οι ομάδες φορτίου, τα σημεία αναφοράς και οι χρονικές καθυστερήσεις είναι συμβατά με τις δυναμικές ανάγκες του αυτόνομου μικροδίκτυου.
3. Αν δεν την έχει εφαρμόσει, τότε πρέπει να ελεγχθεί αν τα συστήματα απόρριψης υπό-συχνότητας ελεγχόμενα από το διακόπτη στο PCC μπορούν να λειτουργήσουν αρκετά γρήγορα ώστε να προστατεύσουν το μικροδίκτυο.

Το κύριο πλεονέκτημα της ενσωμάτωσης στο μικροδίκτυο του συστήματος απόρριψης φορτίων του δικτύου είναι ότι, αν η αποσύνδεση του μικροδίκτυου οφείλεται σε σφάλμα, τότε μπορούν να εφαρμοσθούν μεγάλης ταχύτητας επικοινωνίες απευθείας στους διακόπτες απόρριψης φορτίου ώστε να επιτευχθεί ταχεία απόρριψη των φορτίων. Αυτό ισοσταθμίζει τη χαμηλή αδράνεια του μικροδίκτυου.

#### **4.5.3 Προδιαγραφές NEC για την προστασία Μ/Σ διανομής.**

Πριν το σχεδιασμό προστασίας για το Μ/Σ διανομής ΜΤ/ΧΤ, θα πρέπει να ελεγχθεί εάν οι απαιτήσεις προστασίας υπερέντασης κατά NEC (National Electrical Code των ΗΠΑ) του Μ/Σ μπορούν να εφαρμοσθούν και στο μικροδίκτυο, που έχει πολύ μικρότερο ρεύμα βραχυκυκλώματος. Το επίπεδο επιλογής της προστασίας υπερέντασης για έναν Μ/Σ κατά NEC μπορεί να ορισθεί ως και 600% της ονομαστικής τιμής του ρεύματός του. Ακόμα, οι περισσότερες NEC συστάσεις βασίζονται στην υπόθεση ότι ο λόγος του ρεύματος βραχυκυκλώματος προς το μέγιστο

ρεύμα φορτίου είναι μεγαλύτερος του 10. Αλλά ανάλογα με τη θέση, την ονομαστική τιμή του Μ/Σ και το μικρό ρεύμα βραχυκυκλώματος στην αυτόνομη λειτουργία του μικροδίκτυου, το σύστημα προστασίας με μεγάλο επίπεδο επιλογής μπορεί να μην ανιχνεύσει καθόλου το σφάλμα και να αφήσει το Μ/Σ χωρίς προστασία απέναντι σε βραχυκυκλώματα.

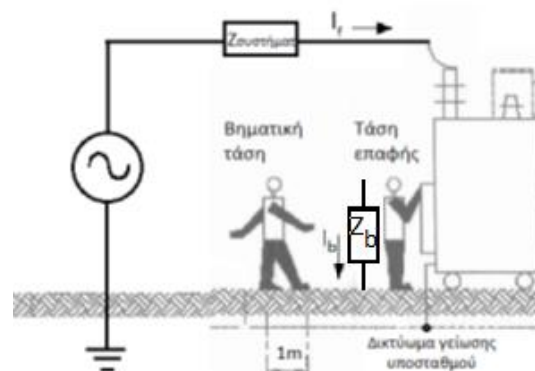
#### **4.5.4 Σύστημα γείωσης και ασφάλεια.**

Τα μικροδίκτυα πρέπει να εξασφαλίζουν τις ίδιες απαιτήσεις ασφάλειας όπως και τα συμβατικά δίκτυα διανομής. Επομένως από το σύστημα γείωσής τους καθορίζονται τα ρεύματα βραχυκυκλωμάτων που περιλαμβάνουν γη και εξασφαλίζεται η ασφάλεια του προσωπικού από βηματικά και επαφής δυναμικά. Ένα βραχυκύκλωμα στο μικροδίκτυο μπορεί να δημιουργήσει σημαντική αύξηση του δυναμικού γης, παρά το γεγονός ότι οι παραγωγές λειτουργούν σε ΧΤ. Το σύστημα γείωσης του μικροδίκτυου πρέπει να καλύπτει τις προδιαγραφές τόσο στη διασυνδεδεμένη όσο και στην αποσυνδεδεμένη λειτουργία.

Η γείωση των συστημάτων ΧΤ καθορίζεται από την τεχνική γείωσης του δευτερεύοντος του Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ (στον υποσταθμό τροφοδοσίας του μικροδίκτυου) και τη γείωση του κελύφους των φορτίων. Τρεις είναι οι τύποι γείωσης: 1) ΤΤ όπου και ο ουδέτερος του Μ/Σ και τα περιβλήματα των φορτίων γειώνονται. 2) ΙΤ όπου ο ουδέτερος του Μ/Σ δεν γειώνεται και γειώνονται τα κελύφη των φορτίων. 3) ΤΝ όπου γειώνεται ο ουδέτερος του Μ/Σ και τα κελύφη των φορτίων συνδέονται στον ουδέτερο του συστήματος ΧΤ. Ο τύπος ΤΝ περιλαμβάνει τρία υποσυστήματα: i) ΤΝ-С όπου ουδέτερος και δράσεις προστασίας χρησιμοποιούν τον ίδιο αγωγό. ii) ΤΝ-S όπου υπάρχει ξεχωριστός αγωγός για τον ουδέτερο και την προστασία. iii) ΤΝ-С-S η τροφοδοσία έχει ΤΝ-С μορφολογία και οι υπόλοιπες εγκαταστάσεις ΤΝ-S.

Στα μικροδίκτυα στη συνδεδεμένη και την αυτόνομη λειτουργία είναι σημαντικός ο υπολογισμός των ρευμάτων για βραχυκυκλώματα που περιλαμβάνουν γη, γιατί από αυτά εξαρτάται ο σχεδιασμός του συστήματος προστασίας και καθορίζονται οι βηματικές και επαφής τάσεις, που καθορίζουν την ασφάλεια του προσωπικού. Τα ρεύματα αυτά εξαρτώνται από το σύστημα γείωσης, που πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να εξασφαλίζει ότι δεν υπάρχει ηλεκτρικός κίνδυνος εντός και εκτός του υποσταθμού για λειτουργία σε κανονικές συνθήκες και συνθήκες βραχυκυκλώματος.

Το πρότυπο ANSI/IEEE 80-2000 ορίζει ως τάση επαφής «τη διαφορά δυναμικού μεταξύ της αύξησης δυναμικού γης (*Ground Potential Rise (GPR)*) και του εδάφους, στη θέση που βρίσκεται ένας άνθρωπος που το χέρι του βρίσκεται σε επαφή με μία γειωμένη κατασκευή». Βηματική τάση ορίζεται «η διαφορά δυναμικού στο έδαφος που δέχεται ένας άνθρωπος με άνοιγμα ποδιών ένα μέτρο, χωρίς να βρίσκεται σε επαφή με κάποιο γειωμένο αντικείμενο».



Οι μέγιστες τιμές αυτών των τάσεων πρέπει να δημιουργούν τιμές ρεύματος εντός του ανθρώπινου σώματος που είναι μικρότερες από το ρεύμα που μπορεί να ανεχθεί το σώμα. Το ρεύμα αυτό εξαρτάται από το βάρος του ανθρώπου και π.χ. για βάρη 50 Kg και 70 Kg είναι:

$$(I_B)_{50Kg} = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad \text{και} \quad (I_B)_{70Kg} = \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (4.2)$$

όπου  $t_s$  είναι ο χρόνος που εκτέθηκε το σώμα στο ρεύμα.

Μία εργασία του ΕΜΠ καταλήγει ότι τα συστήματα γείωσης TT και TN-C-S είναι τα πιο κατάλληλα για μικροδίκτυα XT και με αυτά οι ΔΠ θα λειτουργούν με ασφάλεια χωρίς τοπική γείωση των ουδετέρων τους, σε διασυνδεδεμένη και αυτόνομη λειτουργία. Για TN γείωση τα ρεύματα βραχυκυκλώματος είναι πολύ μεγάλα λόγω της μικρής σύνθετης αντίστασης που υπάρχει στο βρόγχο του βραχυκυκλώματος (ο δρόμος επιστροφής του ρεύματος βραχυκυκλώματος είναι ο αγωγός ουδετέρου), ενώ τα αντίστοιχα ρεύματα στην TT γείωση είναι πολύ μικρότερα γιατί τα ρεύματα βραχυκυκλώματος επιστρέφουν μέσω της μεγάλης αντίστασης γείωσης.

#### 4.5.4.1 Απαιτήσεις γείωσης ουδετέρου.

Το σύστημα γείωσης ουδετέρου για ένα μικροδίκτυο πρέπει να εξασφαλίζει αποτελεσματική προστασία από σφάλματα, ακεραιότητα μόνωσης και ασφάλεια σε αυτόνομη ή διασυνδεδεμένη λειτουργία. Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του συστήματος γείωσης του μικροδικτύου πρέπει να εξετάσει τα ακόλουθα:

1. Πώς να παρέχει αποτελεσματική γείωση ουδετέρου για το σύστημα MT σε ένα αυτόνομο μικροδίκτυο, όταν ο Μ/Σ διανομής MT/XT είναι συνδεδεμένος σε Δ-Y.
2. Πώς να παρέχει αποτελεσματική γείωση ουδετέρου για το σύστημα διανομής XT σε ένα αυτόνομο μικροδίκτυο, ειδικά όταν ο Μ/Σ διανομής MT/XT έχει σύνδεση Y-γειωμένο/Y-γειωμένο.
3. Πώς να διατηρήσει συμβατότητα μεταξύ της γείωσης της ζώνης MT (Σχ. 4.1) του μικροδικτύου και της γείωσης του τροφοδότη του δικτύου που τροφοδοτεί το μικροδίκτυο.
4. Αν το σύστημα γείωσης του μικροδικτύου συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις γείωσης των υπαρχόντων ΔΠ.



#### 4.5.4.2 Εναλλακτικές λύσης σύνδεσης των Μ/Σ διασύνδεσης.

Τα περισσότερα δίκτυα χρησιμοποιούν Μ/Σ διανομής υποβιβασμού τάσης με σύνδεση Υ-γειωμένο/Υ-γειωμένο, για τα πολλαπλών γειώσεων συστήματα διανομής ΜΤ. Αν και αυτή η σύνδεση παρέχει πλεονεκτήματα στην τροφοδοσία συμβατικών φορτίων, μπορεί να οδηγήσει σε κάποια προβλήματα στη λειτουργία του μικροδίκτυου με διασυνδεδεμένες μικροπαραγωγές. Για μικροδίκτυα, άλλες συνδέσεις όπως Υ-γειωμένος/Δ ή Δ/Δ πρέπει να εξετασθούν. Οι ακόλουθοι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν αποφασίζουμε τη σύνδεση του Μ/Σ διανομής:

1. Προδιαγραφές εκτροπέων υπερτάσεων (surge arresters) και κυματικών υπερτάσεων.
2. Συντονισμός των ηλεκτρονόμων γης.
3. Ασύμμετρα φορτία στις γραμμές τροφοδοσίας.
4. Ηλεκτρονόμοι γείωσης για γραμμές τροφοδοσίας.
5. Ανάγκη για γείωση Μ/Σ.
6. Μέτρο του ρεύματος βραχυκυκλώματος ΧΤ.

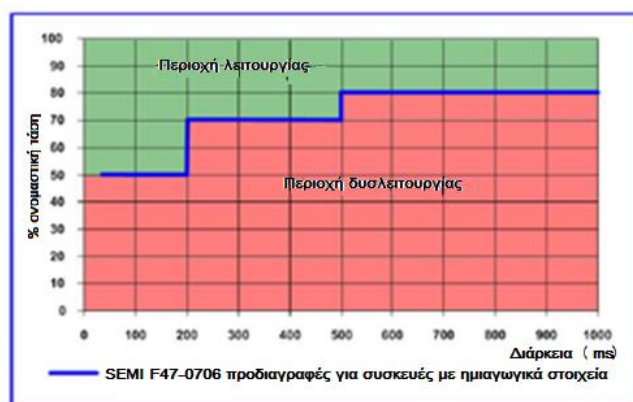
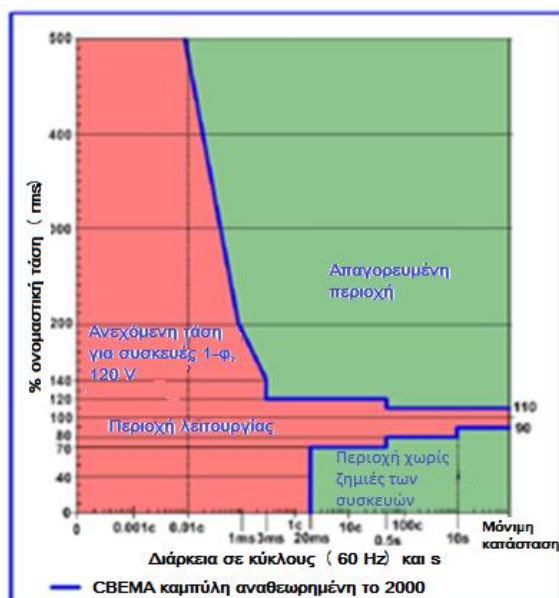
#### 4.5.4.3 Επιλογή του συστήματος γείωσης.

Επειδή δεν υπάρχει λόγος για επιλογή κάποιας συγκεκριμένης σύνδεσης για τους Μ/Σ μέσα στο μικροδίκτυο, το μικροδίκτυο θα πρέπει να σχεδιάσει το δικό του σύστημα γείωσης, ώστε να ταιριάζει με το σύστημα γείωσης των Μ/Σ διασύνδεσης. Εάν χρησιμοποιούνται Μ/Σ με Υ-γειωμένο/Δ, τότε το μικροδίκτυο παραμένει επαρκώς γειωμένο ακόμα και μετά τη νησιδοποίηση. Εάν χρησιμοποιούνται Μ/Σ με Υ-γειωμένο/Υ-γειωμένο, τότε η αποτελεσματικότητα του συστήματος γείωσης εξαρτάται από τα συστήματα γείωσης των μικροπαραγωγών, θεωρώντας ότι αυτές είναι απευθείας συνδεδεμένες σύγχρονες γεννήτριες. Εάν οι μικροπαραγωγές περιλαμβάνουν συστήματα ηλεκτρονικών μετατροπέων, τότε είναι δύσκολο να εξαχθεί συμπέρασμα για τα χαρακτηριστικά της εμπέδησης του συστήματος του μικροδίκτυου υπό συνθήκες μονοφασικού βραχυκυκλώματος.

Γενικότερα όμως, η επιλογή του συστήματος γείωσης δεν εξαρτάται μόνο από την σύνδεση του Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ, αλλά και από τον συντονισμό γείωσης που απαιτείται από το δίκτυο. Αν χρειάζεται μπορεί να προβλεφθεί να εισάγεται ένα γρήγορο σύστημα γείωσης στο ΡCC κατά την αποσύνδεση του μικροδίκτυου.

## 4.6 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ (CBEMA, SEMI F47)

Για να εξασφαλίσουμε ότι οι ευαίσθητες συσκευές είναι συμβατές με το ηλεκτρικό περιβάλλον τους πρέπει αυτές να είναι συμβατές με τα πρότυπα βύθισης τάσης. Το 1977 η CBEMA (Computer and Business Equipment Manufacturers' Association) ανέπτυξε ένα πρότυπο τάσης για την αντιμετώπιση της απόδοσης του ενεργειακού προφίλ των υπολογιστών. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων τριάντα ετών αυτή η καμπύλη CBEMA μετετράπη από απλή καμπύλη που περιέγραφε την απόδοση των υπολογιστών (τα PC δεν υπήρχαν), σε μία καμπύλη που χρησιμοποιείται για να ορίσει οτιδήποτε, από κριτήρια προδιαγραφών για ηλεκτρονικές συσκευές μέχρι τις συμβάσεις για την απόδοση ποιότητας ισχύος μεταξύ ηλεκτρικών εταιρειών και μεγάλων βιομηχανικών καταναλωτών. Με τη συνεργασία των κατασκευαστών ημιαγωγικών στοιχείων και των κατασκευαστών συσκευών που τα χρησιμοποιούν αναπτύχθηκε το πρότυπο SEMI F47, που προσδιορίζει το χρόνο που ένα ελάχιστο επίπεδο βύθισης τάσης δεν πρέπει να προκαλεί δυσλειτουργία αυτών των ευαίσθητων συσκευών.



Σχ. 4.9 Πρότυπο προστασίας ευαίσθητων φορτίων. Σχ. 4.10 Πρότυπο για επίπεδο βύθισης EP τάσης που δεν προκαλεί δυσλειτουργία των VSIs.

Το πρότυπο SEMI F47 (Σχ. 4.9) συνιστά οι ευαίσθητες συσκευές να ανέχονται: τάση 0% της ονομαστικής για 20 ms, 70% για 0.5 s, 80% για 10 s και 90% για συνεχή λειτουργία (χωρίς η τελευταία να είναι μέρος των απαιτήσεων). Για τις συσκευές με ημιαγωγικά στοιχεία (VSIs) απαιτεί να ανέχονται βυθίσματα της EP τά-

σης τους (Σχ. 4.10): 50% της ονομαστικής για 200 ms, τάση 70% της ονομαστικής για 0.5 s και τάση 80% της ονομαστικής για 1 s.

Ο χρόνος αποσύνδεσης σε καταστάσεις ανώμαλων τάσεων και συχνοτήτων ορίζεται από τους κανονισμούς IEC 61727 και IEEE 1547, όπως αναλυτικά καθορίζεται στον ακόλουθο Πίνακα.

**Πίνακας** Χρόνοι αποσύνδεσης για ανώμαλη τάση και συχνότητα

IEEE 1547		IEC 61727	
Εύρος τάσης %	Χρόνος Αποσύνδεσης s	Εύρος τάσης %	Χρόνος Αποσύνδεσης s
V<50	0.16	V<50	0.10
50≤V<88	2.00	50≤V<85	2.00
110<V<120	1.00	110<V<135	2.00
V≥120	0.16	V≥135	0.05

Εκτός εύρους Συχνότητας Hz	Χρόνος Αποσύνδεσης s	Εκτός εύρους Συχνότητας Hz	Χρόνος Αποσύνδεσης s
59.3<f<60.5	0.16	49<f<51	0.20

## 4.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι απαιτήσεις προστασίας για ένα μικροδίκτυο είναι πολύ διαφορετικές από αυτές ενός συμβατικού συστήματος διανομής και των συμβατικών ΔΠ. Αντίθετα με αυτές, ένα μικροδίκτυο πρέπει να εξασφαλίζει δύο κριτήρια προστασίας: (1) Τις προδιαγραφές διασυνδέσεις που επιβάλλονται από το δίκτυο ή ορίζονται από τις κατάλληλες τεχνικές τυποποιήσεις. (2) Η απαίτηση για έγκαιρη αποσύνδεση από το δίκτυο, ώστε να εξασφαλίζεται η επιθυμητή ποιότητα ισχύος και αξιοπιστία μέσα στο μικροδίκτυο. Αν υπάρχει κάποια αντίφαση μεταξύ αυτών των δύο κριτηρίων, τότε αυτή πρέπει να επιλύεται με διαπραγματεύσεις ή ανοχές.

Αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος προστασίας του μικροδίκτυου απαιτεί επαρκές ρεύμα βραχυκυκλώματος στην αυτόνομη λειτουργία του μικροδίκτυου, έτσι ώστε όλες οι συσκευές υπερέντασης του μικροδίκτυου να δέχονται ρεύμα βραχυκυκλώματος τουλάχιστον τρεις με πέντε φορές μεγαλύτερο από το μέγιστο ρεύμα φορτίου. Ένας λόγος ρεύματος βραχυκυκλώματος προς το ονομαστικό ρεύμα του μετασχηματιστή μικρότερος από τρία παραβιάζει επίσης τις προδιαγραφές προστασίας του μετασχηματιστή κατά NEC 450. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο αν το μικροδίκτυο περιέχει ένα μεγάλο ποσοστό από σύγχρονες γεννήτριες ή μετα-

τροπείς με ικανότητα παροχής μεγάλου ρεύματος σφάλματος. Για πολύ μικρό ρεύμα σφάλματος, πρέπει να αναπτυχθούν και να εγκατασταθούν συστήματα προστασίας που δεν στηρίζονται στην υπερένταση, παρά τις οποιεσδήποτε αμφιβολίες σχετικά με το κόστος - αποτελεσματικότητα και την απόδοσή τους.

Συσκευές προστασίας μεγάλης ταχύτητας είναι απαραίτητες για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος προστασίας στο μικροδίκτυο. Έτσι μεγάλης ταχύτητας τηλεπικοινωνίες μεταξύ του υποσταθμού του δικτύου και του κύριου διακόπτη στο PCC του μικροδίκτυου (Σχ. 4.1) πρέπει να εγκατασταθούν, για τη λειτουργία του προϋπάρχοντος εξοπλισμού που πιθανόν δεν έχει ανοχή στις εσφαλμένες αποσυνδέσεις του μικροδίκτυου. Επιπλέον, ένας διακόπτης στερεάς κατάστασης ίσως χρειάζεται να εγκατασταθεί στο PCC, αν ένας χρόνος αποσύνδεσης μικρότερος από 50 ms είναι απαραίτητος για την επιβίωση του μικροδίκτυου. Για γρήγορη αποσύνδεση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν μεγάλης ταχύτητας ηλεκτρονόμοι (με χρόνο λειτουργίας μικρότερο από μισό κύκλο) και διακόπτες κενού πολύ γρήγοροι.

Συντονισμός μεταξύ των συσκευών προστασίας στο PCC, του υποσταθμού του δικτύου και των μικροπαραγωγών του μικροδίκτυου μπορεί να εξασφαλιστεί με ένα ευφυή PCM στο CC, ώστε να εξασφαλίζεται αξιόπιστη λειτουργία του μικροδίκτυου και ελαχιστοποίηση των αποσυνδέσεων από το δίκτυο. Αυτό ίσως απαιτεί την ανάπτυξη ενός συστήματος διαφορικής προστασίας γραμμής με οδηγούς, κατάλληλο για τη διανομή. Επίσης, η ανάπτυξη του συστήματος προστασίας και της PCM απαιτεί την ανάπτυξη εφαρμογών προσομοίωσης και μοντέλων μικροδίκτυου σε εργαστήρια, για να μελετηθεί η μεταβατική απόκριση των τάσεων και ρευμάτων του μικροδίκτυου πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από ένα βραχυκύκλωμα.