

Εξελιγμένα δίκτυα συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας
(3^η ενότητα)

Έλεγχος Μικροδικτύου

Παναγής Βοβός - Επίκ. Καθηγητής
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Πατρών

- Η βέλτιστη λειτουργία των μικροδίκτυων επιτυγχάνεται από τους Microsource Controllers (MCs) και τον Central Controller (CC).
- Οι MCs διεξάγουν τον τοπικό έλεγχο των μικροπαραγωγών και φορτίων/αποθηκών.
- Ο CC καθορίζει ...

μέσω του Energy Management Module (EMM):

1. τα σημεία αναφοράς των ελεγκτών που υπάρχουν στους MCs,
2. τον προγραμματισμό οικονομικής λειτουργίας των μικροπαραγωγών,
3. διατηρεί την εισαγόμενη ισχύ στις συμφωνηθείσες τιμές.

και μέσω του Protection Coordination Module (PCM) το συντονισμό της προστασίας.

Ο CC είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί αυτόματα, αλλά να δέχεται και παρέμβαση από τον χειριστή όταν κρίνεται απαραίτητο.

ΕΜΜ: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΦΟΡΤΙΩΝ & ΑΠΟΘΗΚΩΝ

Διαχείριση παραγωγής.

- Οι ΑΠΕ παράγουν ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες.
- Οι CHP μικροπαραγωγές πρέπει να καλύπτουν τα θερμικά και υπόλοιπα ηλεκτρικά φορτία με το μικρότερο δυνατόν κόστος.
- Πολύπλοκη διαδικασία γιατί εξαρτάται από το κόστος καυσίμου, τη διαφορά κόστους ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας και την επίδραση των εκπομπών ρύπων.
- Μερικές μικροπαραγωγές παρέχουν επιπλέον βοηθητικές υπηρεσίες:
 - ρύθμιση τάσης,
 - στρεφόμενη εφεδρεία,
 - εξομάλυνση των αιχμών φορτίου που «βλέπει» το κυρίως δίκτυο και
 - αντιμετώπιση των βυθίσεων στην τάση του δικτύου.
- Αυτές δίνουν σημαντικό επιπλέον κέρδος στο μικροδίκτυο !

Διαχείριση φορτίων.

- Ο EMM παρακολουθεί και ελέγχει συστήματα κεντρικής θέρμανσης/κλιματισμού, ψυγεία, ανεμιστήρες, υγραντές και αντλίες κτιρίων.
- Αυτά καλύπτονται από τις CHP μικροπαραγωγές.
- Ο EMM βελτιστοποιεί την παραγωγή τους σε ηλεκτρισμό και θερμότητα, λαμβάνοντας υπόψη και τις άλλες απαιτήσεις, όπως την παροχή βοηθητικών υπηρεσιών και τη μείωση των εκπομπών ρύπων και κόστους.
- Η παραγωγή θερμότητας από λέβητες και κλιβάνους αντί CHP είναι πιο οικονομική τις ώρες χαμηλού κόστους καυσίμου (π.χ. φυσικού αερίου).
- Είναι πιο οικονομικό να λειτουργούν τα CHP συστήματα με τη μέγιστη ισχύ κατά τις περιόδους αιχμής (κόστος ηλεκτρικής ενέργειας υψηλό).
- Έτσι, ο EMM πρέπει να συλλέγει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για:
 - τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου για τη σωστή διαχείριση των CHP,
 - να εκτιμά τη τοπική ζήτηση σε θερμική/ηλεκτρική ενέργεια και τη παραγωγή ΑΠΕ από βραχυχρόνιες προβλέψεις καιρού,
 - ώστε να εξασφαλίζει οικονομική/αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος.

Ρύθμιση (regulation) και μετατόπιση (load shifting) φορτίου

- Ρύθμιση : η συνεχής προσαρμογή της παραγωγής στο φορτίο.
- Το φορτίο του μικροδίκτυου είναι σχετικά μικρό και δεν το «εξομαλύνει» η στατιστική τόσο όσο στα μεγάλα συστήματα.
- Επομένως, περιλαμβάνει πολλές βραχυχρόνιες αιχμές, που εξομαλύνονται όσο μεγαλώνει το πλήθος των καταναλωτών.

Ο EMM πρέπει να προβλέπει τα μεγαλύτερα φορτία και να αξιολογεί την επίδρασή τους στο σύστημα.

Ο EMM εξομαλύνει το προφίλ του ηλεκτρικού φορτίου:

- A) με κατάλληλο προγραμματισμό των φορτίων και
- B) ρυθμίζοντας το χρόνο φόρτισης των συσκευών αποθήκευσης στις ώρες χαμηλού κόστους ενέργειας (εκτός αιχμών).

Σε απομονωμένη λειτουργία πρέπει:

- να αποσυνδέει τα φορτία χαμηλής προτεραιότητας και
- να τροφοδοτεί τα κρίσιμα φορτία με την υποστήριξη και του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, ώστε ...
- να αποφεύγουμε τη βύθιση τάσης και την κατάρρευση.

Διαχείριση αποθηκών ενέργειας

Ο EMM ελέγχει τις συσκευές αποθήκευσης ενέργειας ώστε να:

1. εξασφαλίζουν την αδιάλειπτη τροφοδοσία σημαντικών φορτίων.
2. απορροφούν το πλεόνασμα ΑΠΕ ή συμβατική παραγωγή όταν είναι φτηνή και να καλύπτουν φορτία αιχμής.
3. να βοηθούν τις μικροπαραγωγές κατά τη διάρκεια μεταβατικών καταστάσεων (έχουν μικρή αδράνεια, οπότε περιορισμένη ικανότητα υπερπήδησης βραχυκυκλωμάτων).

Οι περισσότερες συσκευές αποθήκευσης παράγουν τάση ΣΡ:

πρέπει να είναι συνδεδεμένες στους αντιστροφείς των μικροπαραγωγών για μετατροπή του ΣΡ σε ΕΡ...

η τη σύνδεση με το DC τοπικό δίκτυο.

Βοηθητικές υπηρεσίες

Το μικροδίκτυο μπορεί

- Α) να πουλάει ενέργεια στο κύριο δίκτυο κατά τις περιόδους αιχμής και
- Β) να παρέχει βοηθητικές υπηρεσίες για τη διατήρηση της ποιότητας ισχύος, όταν το σύστημα είναι υπό πίεση, με κατάλληλη αμοιβή.

Οι περισσότερες βοηθητικές υπηρεσίες αφορούν την εξασφάλιση ενεργειακής ισορροπίας σε πραγματικό χρόνο μεταξύ μικροπαραγωγών και φορτίων:

- Υπηρεσία εκκίνησης του συστήματος μετά από συνολική συσκότιση (black start).
- Κάλυψη των μεγάλων φορτίων κυρίως από τους πόρους του μικροδικτύου.

Προσοχή: Η μεγαλύτερη πρόκληση για το μικροδίκτυο, ώστε να μπορεί να συμμετέχει στην παροχή των βοηθητικών υπηρεσιών και τις αγοραπωλησίες ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η ταχύτητα του συστήματος επικοινωνίας !

Microsource Controller (MC)

- Οι MCs λειτουργούν με ή χωρίς παρέμβαση από τον CC.
- Ο έλεγχός τους εφαρμόζεται στα συστήματα ηλεκτρονικών ισχύος των συσκευών αποθήκευσης και των μικροπαραγωγών.

Οι MC εξασφαλίζουν ότι:

- Νέες μικροπαραγωγές μπορούν να προστεθούν στο σύστημα χωρίς μεταβολές στην υπάρχουσα ρύθμιση του μικροδίκτυου.
- Το μικροδίκτυο μπορεί να συνδέεται/αποσυνδέεται από το δίκτυο με γρήγορο και ομαλό τρόπο.
- Η παραγωγή πραγματικής και άεργης ισχύος μπορεί να ελεγχθεί ξεχωριστά.
- Οι βυθίσεις τάσης και μη κανονικές καταστάσεις του συστήματος μπορούν να διορθωθούν.
- Τα σφάλματα μπορούν να αντιμετωπιστούν χωρίς την απώλεια της ευστάθειας (οδηγεί σε διαδοχικό αποσυγχρονισμό μικροπηγών).

Βασικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού MCs

- Δεν πρέπει να υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των μικροπαραγωγών χωρίς την παρέμβαση του CC.
- Κάθε MC αποκρίνεται αποτελεσματικά στις μεταβολές του συστήματος χωρίς να χρειάζεται δεδομένα από τους άλλους MCs.
- Ο MC μπορεί να προσπερνά τις οδηγίες του CC εφόσον αυτές κρίνονται μη αποδεκτές για τη μικροπαραγωγή που ελέγχει ο MC.

Οι λειτουργίες ελέγχου του είναι:

1) Έλεγχος πραγματικής και άεργης ισχύος

(ή ισοδύναμα έλεγχος συχνότητας και τάσης).

2) Μοίρασμα φορτίου στις μικροπαραγωγές.

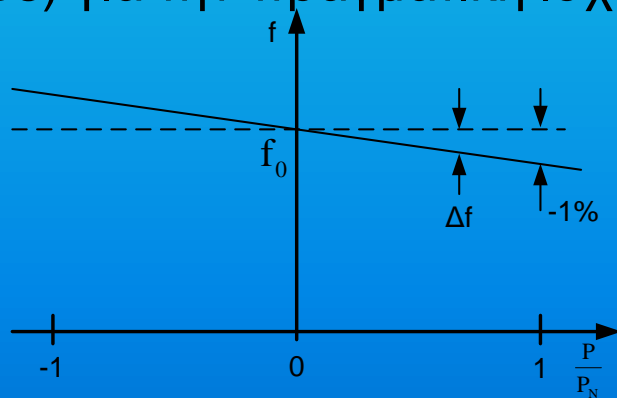
3) Ρύθμιση τοπικής αποθήκευσης για γρήγορη ικανοποίηση φορτίου.

Πρέπει να εξασφαλίζουν τη μεταγωγή από την διασυνδεδεμένη στην απομονωμένη κατάσταση λειτουργίας και αντίστροφα με την ελάχιστη διαταραχή και στα δύο συστήματα!

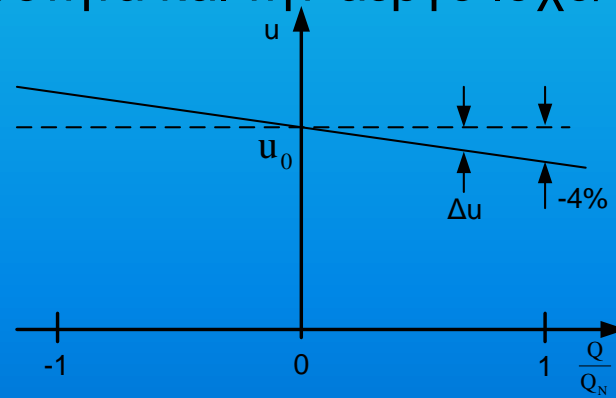
1) Έλεγχος πραγματικής και άεργης ισχύος

Οι μικροπαραγωγές είναι:

- είτε πηγές ΣΡ (Φ/Β, κυψέλες καυσίμου, μπαταρίες), οπότε η ΣΡ ισχύς μετατρέπεται σε ΕΡ ισχύ ονομαστικής συχνότητας,
- είτε πηγές ΕΡ (Α/Γ, μικροστρόβιλοι) με ισχύ σε όχι τυπική συχνότητα, οπότε η ισχύς ανορθώνεται αρχικά σε ΣΡ και στη συνέχεια μετατρέπεται σε ΕΡ ισχύ επιθυμητής συχνότητας.
- Η μετατροπή ΣΡ/ΕΡ και στις δύο περιπτώσεις πραγματοποιείται μέσω ενός αντιστροφέα πηγής τάσης (Voltage Source Inverter (VSI)).
- Για τον έλεγχο της ισχύος στους VSI χρησιμοποιούνται ελεγκτές στατισμού (droops) για την πραγματική ισχύ/συχνότητα και την άεργο ισχύ/τάση:

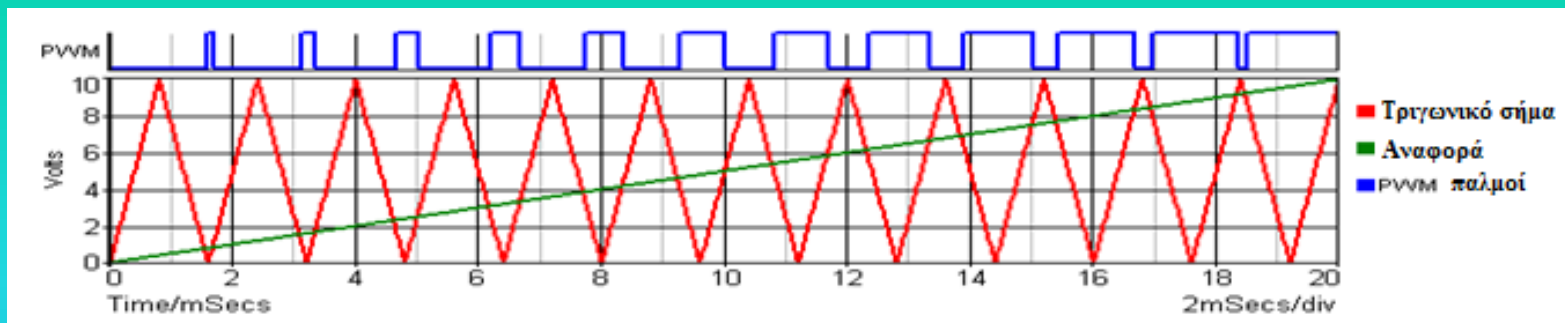


(α)



(β)

Χαρακτηριστικές στατισμού (α) Συχνότητας. (β) Τάσης.

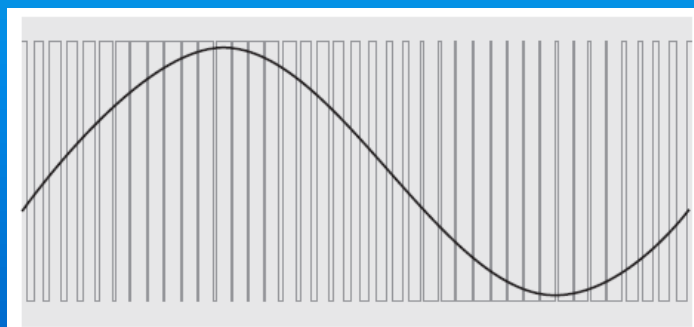


Διαμόρφωση πλάτους παλμών (PWM) σε VSIs.

Όταν το σήμα αναφοράς είναι μεγαλύτερο από την τριγωνική κυματομορφή ο παλμός παίρνει λογική στάθμη 1 (high) (το ελεγχόμενο στοιχείο άγει) και το αντίθετο συμβαίνει όταν είναι μικρότερο.

Η συχνότητα της τριγωνικής κυματομορφής επηρεάζει τη διακοπτική συχνότητα του μετατροπέα.

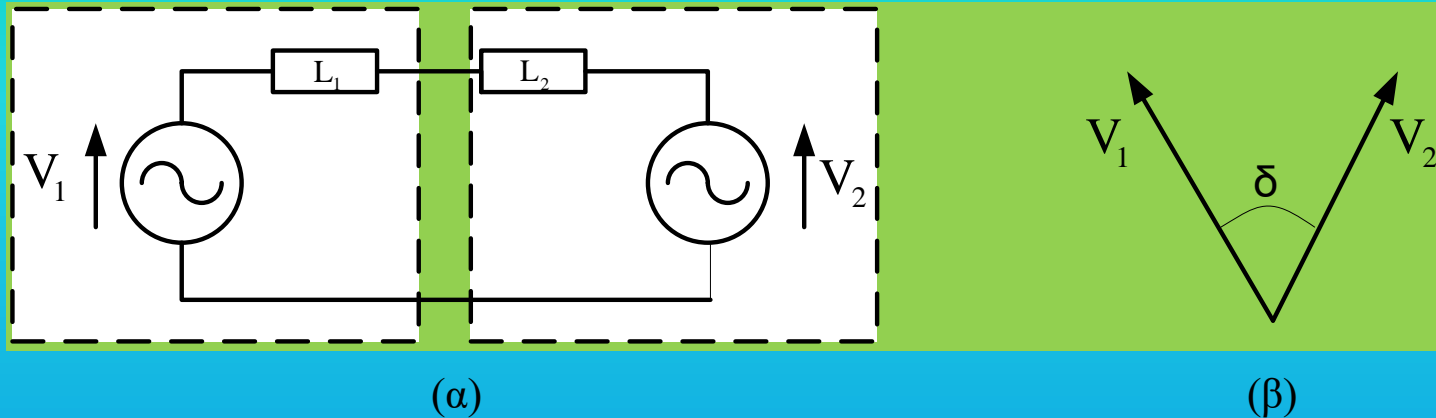
Η συχνότητα, το πλάτος και η μορφή του σήματος αναφοράς επηρεάζει τα αντίστοιχα μεγέθη της κυματομορφής εξόδου του μετατροπέα.



Έξοδος VSI και βασική αρμονική της.

- Αυτοί οι έλεγχοι δρουν παρόμοια με τους ελέγχους των συμβατικών γεννητριών: δεν απαιτούν συστήματα επικοινωνιών.
- Για τον έλεγχο των VSIs χρησιμοποιούνται οι τοπικές μεταβλητές του δικτύου (τάση και συχνότητα).
- Ο CC παρέχει μόνο τις βασικές παραμέτρους λειτουργίας για κάθε VSI (f_0 , u_0 , κλίσεις στατισμού κλπ).
- Οι VSIs συνδέουν τις μικροπαραγωγές στο δίκτυο μέσω των φίλτρων τους και των συνθέτων αντιστάσεων του δικτύου.
- Τα πλεονεκτήματα αυτής της διαδικασίας ελέγχου είναι:
 - Εύκολη επέκταση του συστήματος με νέες γραμμές/παραγωγές.
 - Αύξηση της διαθεσιμότητας του συστήματος και αποφυγή της εξάρτησης από τα συστήματα επικοινωνιών.
 - Βελτιστοποίηση βασισμένη σε ένα σύστημα με ένα απλό ζυγό.
 - Απλοποιημένος κεντρικός έλεγχος, αφού οι σύνθετες/ταχύτατες λειτουργίες ελέγχου ανατίθενται στους VSIs και MCs.

Στο Σχήμα φαίνονται δύο VSIs συνδεδεμένοι παράλληλα, όπου οι επαγωγές σύζευξης L_1 και L_2 οφείλονται κυρίως στα φίλτρα τους.



(α) VSIs συζευγμένοι μέσω επαγωγών: (α) Ισοδύναμο κύκλωμα.
(β) Διάγραμμα παραστατικών μιγάδων.

Στην έξοδό τους θεωρούμε μόνο την τάση στη θεμελιώδη συχνότητα (rms τιμή) και η πραγματική P και η άεργος Q ισχύς που μεταφέρονται μεταξύ των VSIs δίνονται από τις εξισώσεις:

$$P = \frac{|V_1||V_2|}{\omega(L_1 + L_2)} \sin \delta$$

$$Q = \frac{|V_1|^2}{\omega(L_1 + L_2)} - \frac{|V_1||V_2|}{\omega(L_1 + L_2)} \cos \delta$$

Παρατηρούμε ότι ροή πραγματικής ισχύος καθορίζεται από τη διαφορά των γωνιών των τάσεων δ , ενώ η άεργος ισχύς καθορίζεται από τη διαφορά των μέτρων των τάσεων $|V_1| - |V_2| \cos \delta$.

- Στα μεγάλα ΣΗΕ η εμπέδηση μεταξύ των γεννητριών είναι μεγάλη, μικρές διακυμάνσεις του μέτρου και της φασικής γωνίας των τάσεων δεν δημιουργούν άεργα κυκλικά ρεύματα.
- Επειδή η εμπέδηση μεταξύ των μικροπαραγωγών είναι μικρή, τέτοιες διακυμάνσεις μπορούν να δημιουργήσουν συνολικά ρεύματα μεγαλύτερα αυτών που μπορούν να δώσουν.
- Λόγω αυτής της ευαισθησίας ο έλεγχος των VSIs με σταθερή συχνότητα και τάση αποτυγχάνει, διότι υπάρχει πάντα μία μικρή διαφορά στα μέτρα των τάσεων, λόγω ...
- ανακριβειών των αισθητήρων, των τιμών αναφοράς, των επιδράσεων της θερμοκρασίας και της γήρανσης (περίπου 1-5%).

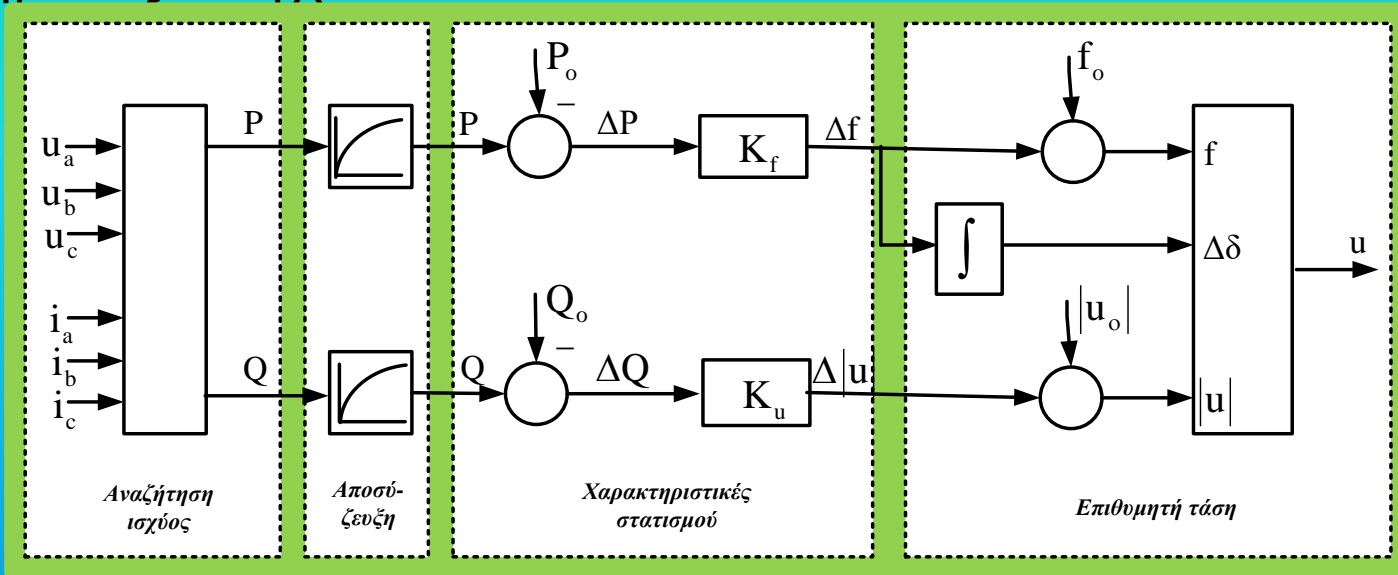
- Έχουμε δύο δυνατότητες: $P(f)$ και $f(P)$, δηλαδή να μετρούμαι τη συχνότητα και να ορίζουμε την πραγματική ισχύ ή αντίστροφα.
- Παρόμοια δυνατότητα ισχύει και για έλεγχο $V(Q)$ ή $Q(V)$.

Εφαρμογή των χαρακτηριστικών στατισμού στον έλεγχο VSI

- Στα μικροδίκτυα με μεγάλο αριθμό μικροπαραγωγών συνδεδεμένων μέσω VSIs δεν είναι εύκολη η ακριβής και συνεχόμενη μέτρηση της στιγμιαίας συχνότητας:
- προτιμάται η μέτρηση της πραγματικής ισχύος και ο καθορισμός της συχνότητας του VSI από την καμπύλη στατισμού.
- Ομοίως, επειδή ο έλεγχος σταθερής τάσης δημιουργεί λειτουργικά προβλήματα (βλ. προηγ. διαφάνεια), είναι πρακτικότερη η μέτρηση της άεργης ισχύος και ο καθορισμός της τάσης εξόδου του VSI από την καμπύλη στατισμού.
- Για αρνητική κλίση K των χαρακτηριστικών στατισμού και p_u τιμές των μεταβλητών, οι υπολογισμοί γίνονται από τις εξισώσεις:

$$\Delta f = K_f \Delta P \quad \Delta |u| = K_u \Delta Q$$

- Στο Σχήμα δείχνεται το παραστατικό διάγραμμα του προτεινόμενου συστήματος ελέγχου.



Στρατηγική ελέγχου βασισμένη στη μέτρηση ισχύων.

Στο ορθογώνιο «αποσύζευξη» χρησιμοποιείται φίλτρο πρώτης τάξης ως καθυστέρηση, για να επιτύχουμε αποσύζευξη των δύο βρόχων ελέγχου.

- Για τη βελτίωση της ευστάθειας του συστήματος εισάγεται μία διόρθωση της φασικής γωνίας της τάσης, από το χρονικό ολοκλήρωμα της διακύμανσης της συχνότητας.

Επίδραση των παραμέτρων της γραμμής στον ελεγκτή VSI με χαρακτηριστικές στατισμού

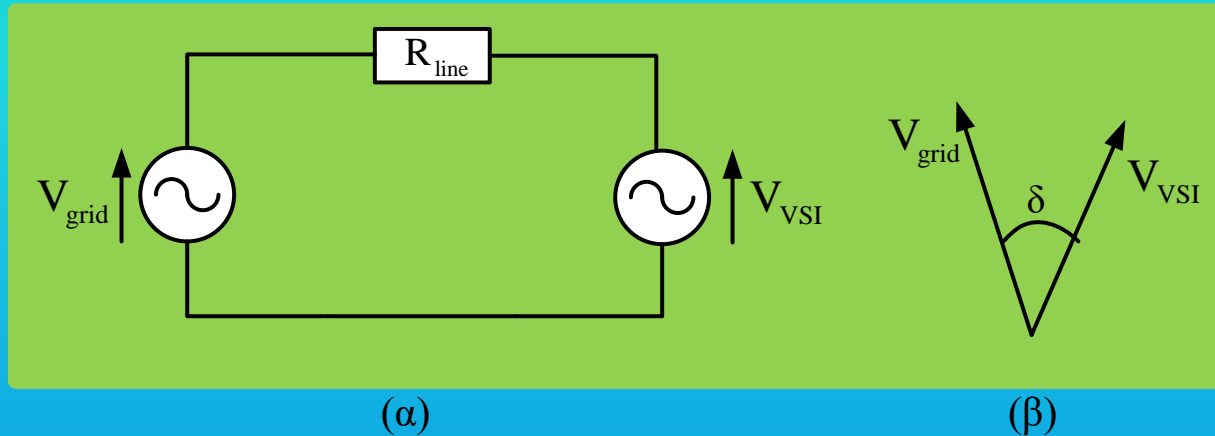
Τυπικές παράμετροι γραμμών

Τύπος γραμμών	R (Ω/Km)	X (Ω/Km)	I_N (A)	X/R
ΥΤ	0.060	0.191	580	3.180
ΜΤ	0.161	0.190	396	1.180
ΧΤ	0.642	0.083	142	0.129

Από τον πίνακα προκύπτει ότι ο επαγωγικός χαρακτήρας των γραμμών ισχύει μόνο για τις γραμμές ΥΤ.

- Δεν ισχύει για γραμμές ΜΤ.
- Για γραμμές ΧΤ ισχύει ακριβώς το αντίθετο, δηλαδή επικρατεί ο ωμικός χαρακτήρας των γραμμών.

- Συνεπώς, για γραμμές ΧΤ, δεχόμενοι το ισοδύναμο κύκλωμα του παρακάτω σχήματος, ισχύουν οι εξισώσεις:



*VSI συζευγμένος ωμικά: (α) Ισοδύναμο κύκλωμα.
(β) Διάγραμμα παραστατικών μιγάδων.*

$$Q_{VSI} = \frac{|V_{VSI}| |V_{grid}|}{R_{line}} \sin \delta$$

Δηλαδή στα δίκτυα διανομής (ΧΤ) η φασική διαφορά των τάσεων (δ) καθορίζει τη ροή άεργης ισχύος, ενώ η διαφορά των μέτρων των τάσεων ($|V_{VSI}| - |V_{grid}| \cos \delta$) καθορίζει τη ροή πραγματικής ισχύος.

$$P_{VSI} = \frac{|V_{VSI}|^2}{R_{line}} - \frac{|V_{VSI}| |V_{grid}|}{R_{line}} \cos \delta$$

- Το πιθανό συμπέρασμα από την προηγούμενη παρατήρηση είναι ότι καταλληλότερες χαρακτηριστικές στατισμού για γραμμή ΧΤ είναι η πραγματικής ισχύος/τάσης και άεργου ισχύος/συχνότητας.
- Αυτές θα ονομάζονται στη συνέχεια «χαρακτηριστικές αντίστροφου στατισμού», σε αντιδιαστολή με τις χρησιμοποιηθείσες «χαρακτηριστικές συμβατικού στατισμού».
- Όμως η χρήση των «χαρακτηριστικών αντίστροφου στατισμού» δεν επιτρέπει:
 - Α) την οικονομική κατανομή φορτίου στις παραγωγές και
 - Β) τη συμβατότητα των στρεφόμενων γεννητριών στη ΧΤ με τις αντίστοιχες γεννήτριες του κύριου δικτύου.

Επίσης, σκοπός του ελέγχου άεργης ισχύος/τάσης είναι να περιορίζει τις ροές άεργης ισχύος στο δίκτυο ΧΤ: η διατήρηση της τάσης εντός προδιαγραφών επιτυγχάνεται με κατάλληλη χωροταξική διευθέτηση των γραμμών ΧΤ.

- Παρακάτω συνοψίζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από τη χρήση του συμβατικού ή αντίστροφου στατισμού στα δίκτυα ΧΤ.

Σύγκριση συμβατικού και αντίστροφου στατισμού σε δίκτυα ΧΤ

	Συμβατικός στατισμός	Αντίστροφος στατισμός
Συμβατότητα με δίκτυα ΥΤ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Συμβατότητα με στρεφόμενες γεννήτριες	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Απευθείας έλεγχος τάσης	ΟΧΙ	ΝΑΙ
Κατανομή πραγματικής ισχύος	ΝΑΙ	ΟΧΙ

- Όμως, ο απευθείας έλεγχος της τάσης (P-V) θα ανάγκαζε κάθε φορτίο να τροφοδοτείται από την πλησιέστερη μικροπαραγωγή !

Αυτό γενικά δεν είναι δυνατόν, οπότε οι διακυμάνσεις της τάσης θα παρέμεναν.

- Αυτό πρακτικά εκμηδενίζει το μόνο πλεονέκτημα του αντίστροφου στατισμού.

- Αποδεικνύεται ότι με το συμβατικό στατισμό έχουμε ευσταθή λειτουργία και μπορεί να εφαρμοσθεί και στα δίκτυα ΧΤ, παρόλο που έχουμε ισχυρή σύζευξη μεταξύ των δύο βρόχων ελέγχου.
- Πρέπει να αντιμετωπίσουμε την εξάρτηση της αποτελεσματικότητας του ελέγχου των VSIs από τη σύνθετη αντίσταση (impedance) της γραμμής.
- Η μέθοδος της «φανταστικής σύνθετης αντίστασης» (fictitious impedance method) προτείνει την εισαγωγή μίας πλασματικής/φανταστικής σύνθετης αντίστασης στην έξοδο ελέγχου των VSIs, όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

Βελτίωση της ευστάθειας με χρήση της φανταστικής σύνθετης αντίστασης

- Προστίθεται μία πτώση τάσης στην επιθυμητή τάση του VSI (ΠΡΟΣΟΧΗ: σε επίπεδο υπολογισμών μόνο!).
- Υπολογίζεται από την εφαρμογή των ρευμάτων του VSI σε μία φανταστική σύνθετη αντίσταση.
- Οι τιμές της φανταστικής σύνθετης αντίστασης εξαρτώνται από τις χαρακτηριστικές παραμέτρους του δικτύου και την επιθυμητή λειτουργική απόκριση του VSI.

Με τη ρύθμιση αυτών των τιμών έχουμε ένα ευέλικτο τρόπο προσαρμογής του VSI στο δίκτυο, ακόμα και διανομής!

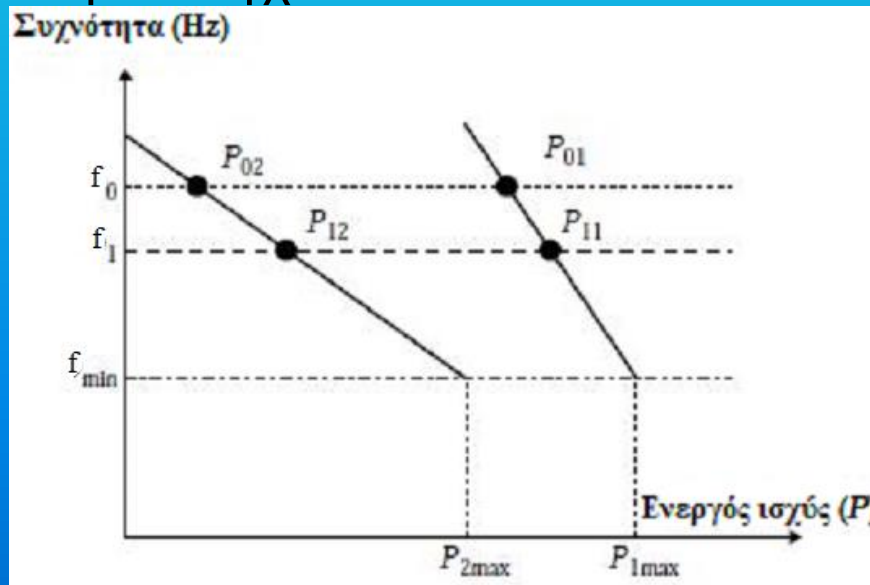
- Ουσιαστικά επιτυγχάνουμε την αποσύζευξη των βρόχων ελέγχου P/f και Q/V.

- Το μέτρο της φανταστικής σύνθετης αντίστασης συνήθως επιλέγεται μεγαλύτερο από το μέτρο της σύνθετης αντίστασης των φίλτρων, ώστε να επικρατεί στη συνολική σύνθετη αντίσταση εξόδου του VSI.
- Μία επαγωγική φανταστική σύνθετη αντίσταση μπορεί να αλλάξει σε επαγωγική την ωμική σύζευξη ενός δικτύου ΧΤ.
- Με το ωμικό τμήμα της μπορεί να αποσβέσει τις ταλαντώσεις μεγάλης συχνότητας, που εμφανίζονται όταν έχουμε επαγωγική σύζευξη των VSIs.

Επιλέγοντας το μέτρο της φανταστικής σύνθετης αντίστασης αντίστροφα ανάλογα με την ονομαστική ισχύ των VSIs, επιτυγχάνουμε αυτόματη κατανομή των ρευμάτων τους ανάλογα με την ισχύ τους στη μεταβατική και μόνιμη κατάσταση λειτουργίας τους.

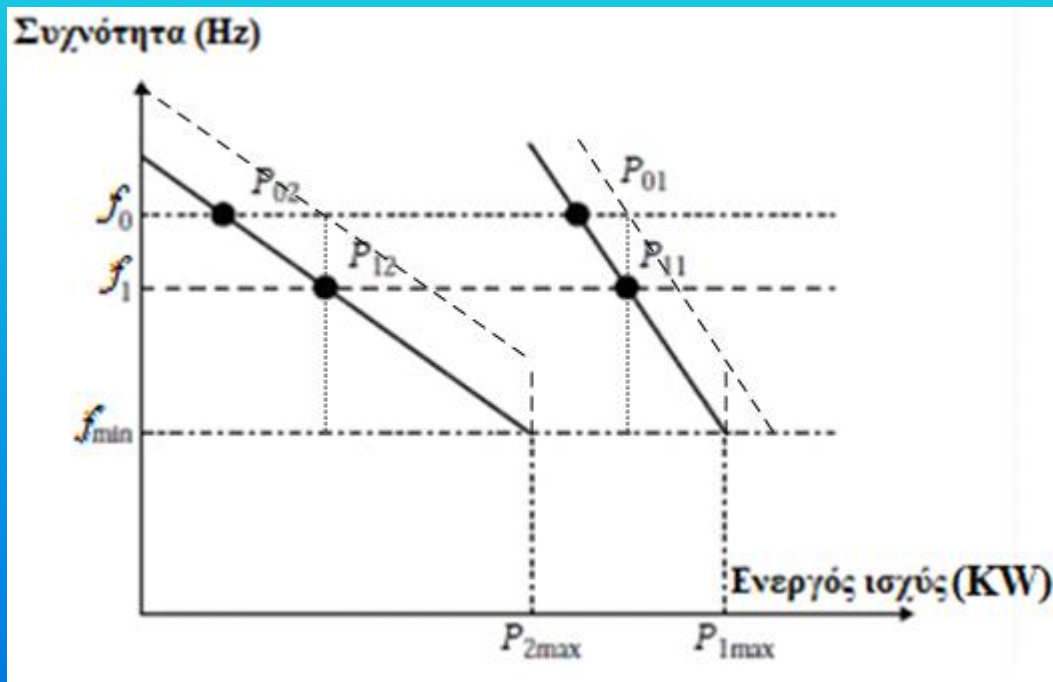
2) Μοίρασμα φορτίου και δευτερογενής έλεγχος παραγωγών

- Κατά τη μετάβαση σε αυτόνομη λειτουργία ή κατά την αυτόνομη λειτουργία και αλλαγή του φορτίου, μεταβάλλεται η γωνία φάσης των τάσεων των μικροπαραγωγών, οδηγώντας σε μεταβολή της παραγόμενης ισχύος τους. Έτσι, η συχνότητα μεταβάλλεται τοπικά και κάθε μικροπαραγωγή αναλαμβάνει το φορτίο που της αναλογεί, χωρίς καμία εντολή ρύθμισης από τον CC.
- Παρακάτω παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές στατισμού P-f των MCs δύο μικροπαραγωγών για έλεγχο P-f:



Χαρακτηριστική στατισμού για P-f ελεγκτή.

• Στην αυτόνομη λειτουργία, επειδή ο έλεγχος στατισμού μετά από κάθε μεταβολή του φορτίου οδηγεί σε συχνότητα λειτουργίας διαφορετική της ονομαστικής, ο MC πρέπει να ενσωματώνει ένα επιπλέον έλεγχο, που θα επαναφέρει την ονομαστική συχνότητα στο μικροδίκτυο:



Δευτερογενής έλεγχος για αποκατάσταση της ονομαστικής συχνότητας.

3) Αποθήκευση για γρήγορη ικανοποίηση φορτίου

- Για διασυνδεδεμένα μικροδίκτυα, η αρχική ισορροπία ισχύος μετά τη σύνδεση νέων φορτίων παρέχεται από την κινητική ενέργεια των κινούμενων μερών των γεννητριών του δικτύου.
- Όμως κατά την αυτόνομη λειτουργία του μικροδίκτυου, το μικροδίκτυο πρέπει να διασφαλίσει την αρχική ισορροπία ισχύος μέσω των συστημάτων αποθήκευσης.
- Ο MC εξασφαλίζει κατάλληλη αξιοποίηση των συσκευών αποθήκευσης για γρήγορη ικανοποίηση του φορτίου.

ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ (Central Controller (CC))

Ο CC αποτελείται από δύο μονάδες:

- Μονάδα διαχείρισης ενέργειας (Energy Management Module (EMM))
- Μονάδα συντονισμού προστασίας (Protection Co-ordination Module (PCM))

Μονάδα διαχείρισης ενέργειας (EMM)

Παρέχει τις βασικές λειτουργίες ελέγχου για τη βέλτιστη οικονομική λειτουργία του μικροδίκτυου.

Βασικές λειτουργίες ελέγχου του μικροδίκτυου

- Η EMM καθορίζει μόνο τα σημεία αναφοράς για την πραγματική ισχύ και την τάση των MCs, οι οποίοι πραγματοποιούν τον έλεγχο των μικροπαραγωγών.
- Τα σημεία αναφοράς για την πραγματική ισχύ των μικροπαραγωγών εξαρτώνται από την οικονομική εκτίμηση του κόστους καυσίμου, του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας, τις καιρικές συνθήκες και τις αναμενόμενες λειτουργικές απαιτήσεις.
- Το σημείο αναφοράς της τάσης διατηρείται σε μια καθορισμένη περιοχή για να εξασφαλιστεί κατάλληλη ρύθμιση της τάσης του μικροδίκτυου.

Αναλυτικότερα οι βασικές λειτουργίες ελέγχου είναι:

Έλεγχος τάσης

- Οι MCs παρακολουθούν συνεχώς την τοπική τάση και την ανατροφοδοτούν στην EMM, που υπολογίζει τις κατάλληλες τάσεις αναφοράς στους MCs, ώστε να πραγματοποιηθεί η απαιτούμενη ρύθμιση της τάσης.

Έλεγχος συντελεστή ισχύος (ΣΙ)

- Όλοι οι MCs περιλαμβάνουν τον έλεγχο του ΣΙ από τον EMM, ως μέρος της λειτουργίας τους για ικανοποίηση του φορτίου.
- Κάποιοι MCs, διαθέτουν έλεγχο του ΣΙ μέσω των ηλεκτρονικών ισχύος των μικροπαραγωγών: ορίζουν τη φασική γωνία του τροφοδοτούμενου ρεύματος (με ελάχιστη αρμονική παραμόρφωση).
- Σε αυτές τις περιπτώσεις ο ΣΙ ελέγχεται από τον MC της μικροπαραγωγής, χωρίς παρέμβαση της EMM πέραν της τάσης αναφοράς.

Ρύθμιση της συχνότητας.

- Στα μικροδίκτυα οι μικροπαραγωγές δύνανται να παράγουν ισχύ σε οποιαδήποτε επιθυμητή συχνότητα με τη βοήθεια των μετατροπέντων που ελέγχονται από τους MCs.
- Κατά τη διασυνδεδεμένη λειτουργία του μικροδίκτυου οι μεταβολές της συχνότητας καθορίζονται από το ισχυρό δίκτυο.
- Στην αυτόνομη λειτουργία, οι MCs εφαρμόζουν τον P-f έλεγχο για να διατηρούν σταθερή τη συχνότητα κατά τις μεταβολές του φορτίου.

Όμως τότε, αν μία πτώση της συχνότητας δεν αποκατασταθεί μέσα σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, η EMM αποσυνδέει φορτία ώστε να επιτευχθεί η ισορροπία ισχύος και να εξασφαλισθεί η ευστάθεια του μικροδίκτυου.

Ποιες είναι λοιπόν οι λειτουργίες της EMM σε ένα τυπικό μικροδίκτυο ;

Διασυνδεδεμένη λειτουργία

Τα σήματα ελέγχου της EMM περιορίζονται στην αποστολή των τιμών αναφοράς της πραγματικής ισχύος και της τάσης σε συγκεκριμένους κρίσιμης σημασίας ζυγούς του μικροδίκτυου.

Αυτόνομη λειτουργία

Ο κύριος σκοπός της EMM είναι να παρέχει τις τιμές αναφοράς για την τάση και την πραγματική ισχύ των MCs, ενώ η συχνότητα και η ροή άεργης ισχύος ελέγχεται αυτόνομα από τους MCs μέσω των χαρακτηριστικών στατισμού P-f και Q-V.

Έλεγχος των θερμικών φορτίων.

Το EMM ρυθμίζει το συντελεστή προτεραιότητας ως προς τη σχετική σημασία των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων για τις CHP μικροπαραγωγές .

Ενεργειακή βελτιστοποίηση με μέγιστη απόδοση.

Γιατί το κάνουν οι EMMs;

Γνωρίζουν τις λειτουργικές συνθήκες, τις καιρικές παραμέτρους, το πρόγραμμα παραγωγής των μικροπαραγωγών και των πληροφοριών για το καύσιμο (κόστος, διαθεσιμότητα, ρυθμός κατανάλωσης).

Σε συνθήκες ελαφριάς φόρτισης: η EMM εξασφαλίζει τη λειτουργία του βέλτιστου αριθμού μικροπαραγωγών (ιδιαίτερα των μικροστροβίλων) στην ονομαστική τους ισχύ...

αντί της λειτουργίας όλων των μικροπαραγωγών με ισχύ μικρότερης της ονομαστικής, ώστε να πετύχουμε βέλτιστη απόδοση.

Διαχείριση αποθηκευμένης ενέργειας σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης (βλάβες μικροπαραγωγών ή δικτύου)

- Οι συσκευές αποθήκευσης τροφοδοτούν μόνο τις βραχυπρόθεσμες (συνήθως λιγότερο από ένα λεπτό) απαιτήσεις ισχύος:
- αδιάλειπτη παροχή ισχύος στα κρίσιμα φορτία σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.
- Για μακροπρόθεσμες ενεργειακές ανάγκες (δεκάδες λεπτά), οι EMMs αποσυνδέουν φορτία χαμηλής προτεραιότητας.

Μονάδα συντονισμού προστασίας (Protection Coordination Module (PCM))

- Η PCM επιβλέπει τη συνολική προστασία για το μικροδίκτυο σε συνδεδεμένη και αυτόνομη λειτουργία.
- Η προστασία εκεί διαφέρει από την προστασία των συμβατικών δικτύων διανομής, γιατί:
 1. Τα μικροδίκτυα περιλαμβάνουν παραγωγές και φορτία, οπότε οι ροές ισχύος μπορεί να αλλάζουν κατεύθυνση.
 2. Το παθητικό δίκτυο διανομής μετατρέπεται σε ενεργό λόγω της παρουσίας των μικροπαραγωγών: επιδιώκεται η συνέχιση της τροφοδοσίας των κρίσιμων φορτίων.
 3. Κατά την αλλαγή από τη διασυνδεδεμένη στην αυτόνομη λειτουργία και αντίστροφα, αλλάζει δραστικά η αντοχή του μικροδικτύου σε βραχυκύκλωμα.

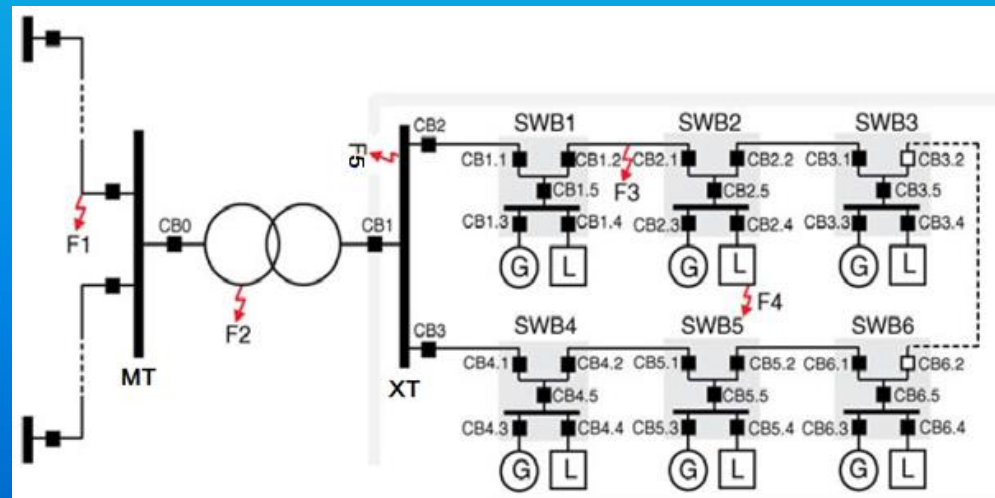
- Ο χρόνος αποσύνδεσης μικροπηγών σε καταστάσεις ανώμαλων τάσεων και συχνοτήτων ορίζεται από σχετικούς κανονισμούς.
- Σχετίζεται με την ένταση της διαταραχής, για παράδειγμα :

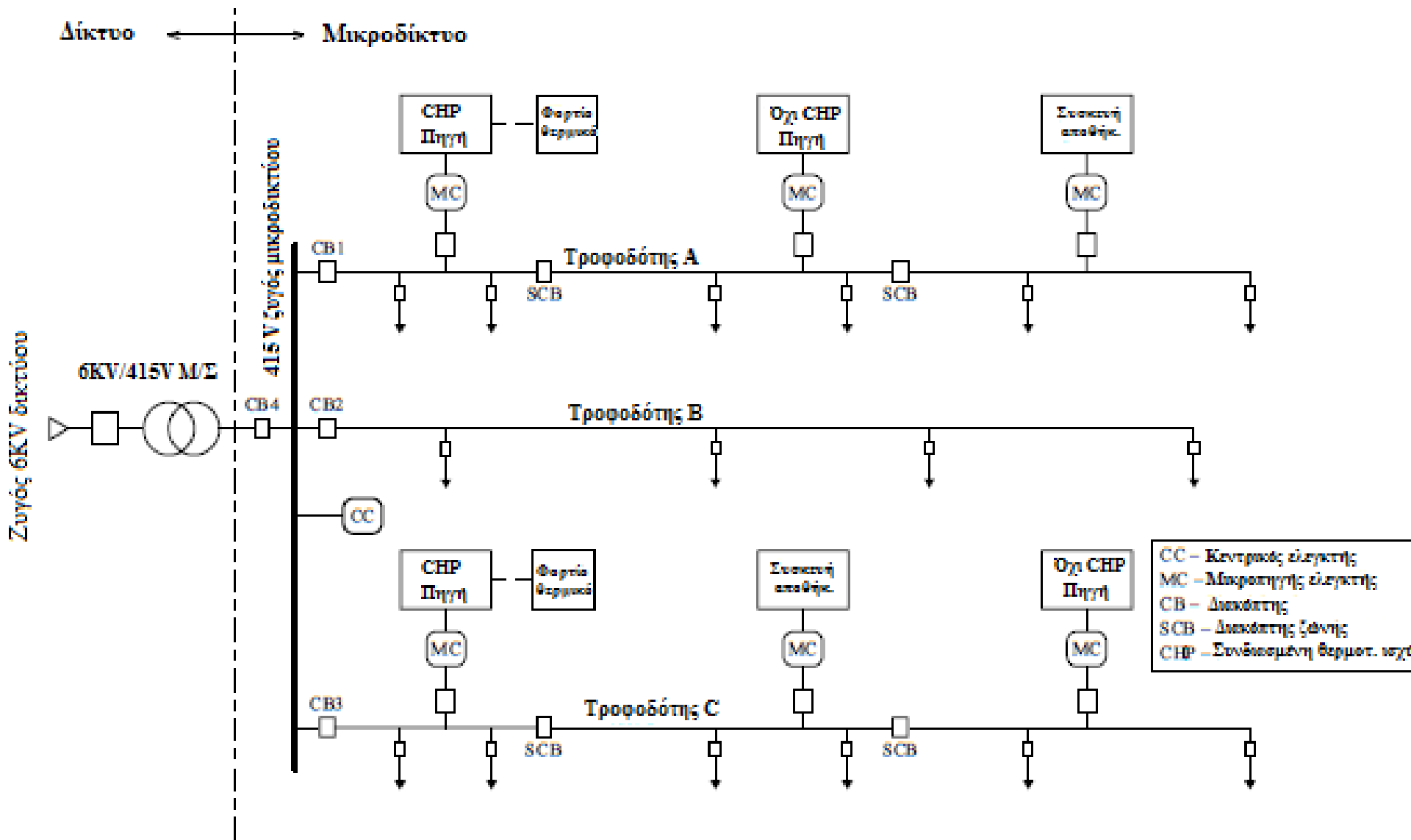
Πίνακας Χρόνοι αποσύνδεσης για ανώμαλη τάση και συχνότητα

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

Προστασία κατά τη διασυνδεδεμένη λειτουργία.

- Κατά τη διασυνδεδεμένη λειτουργία η PCM λαμβάνει υπόψη τους χρόνους απόκρισης της κάθε μικροπαραγωγής, καθώς και του διακόπτη CB1 στο σημείο κοινής σύζευξης (PCC) με το δίκτυο.
- Ανιχνεύει και δρα σε πέντε πιθανά γεγονότα:
 - Κανονική κατάσταση.
 - Βραχυκύκλωμα σε τροφοδότη του μικροδίκτυου (π.χ. **F3**).
 - Βραχυκύκλωμα στο κυρίως δίκτυο (π.χ. **F1**, **F2**).
 - Βραχυκύκλωμα στο ζυγό του μικροδίκτυου (π.χ. **F5**).
 - Επανασυγχρονισμός.





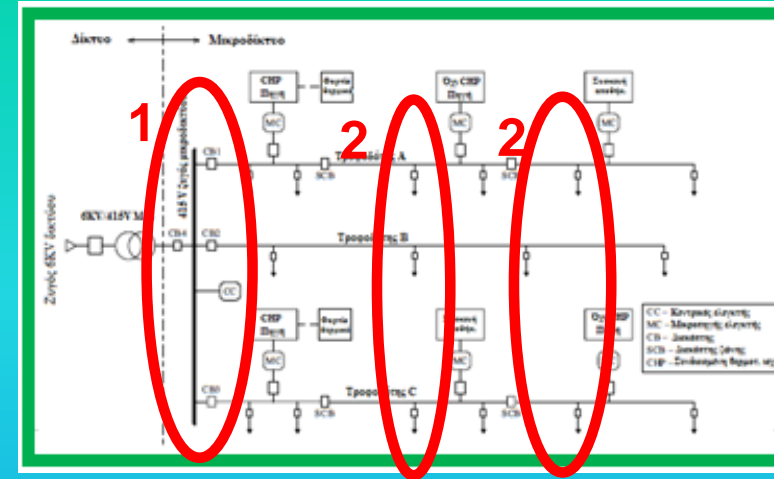
Μορφολογία ενός τυπικού μικροδίκτυου.

1) Κανονική κατάσταση λειτουργίας.

Το μικροδίκτυο συνδέεται με το δίκτυο μέσω του CB4 στο PCC.

Οι CB1, CB2, CB3 συνδέουν τους τροφοδότες A, B, C στο ζυγό του μικροδίκτυου.

Τα φορτία τροφοδοτούνται από τις μικροπαραγωγές και το κύριο δίκτυο.

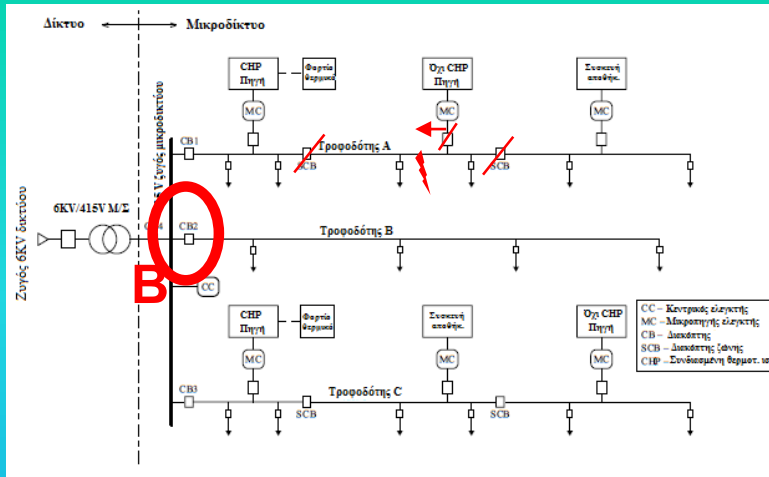


2) Βραχυκύκλωμα σε τροφοδότη του μικροδίκτυου.

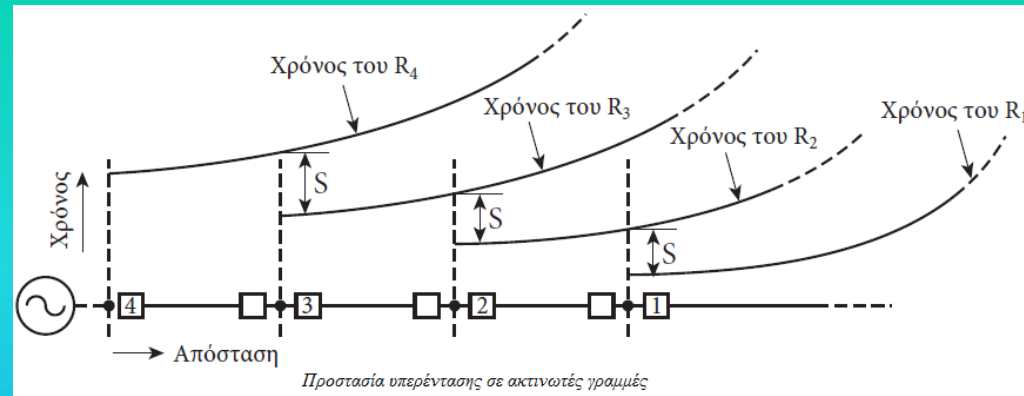
Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος σε τροφοδότη μικροδίκτυου το ρεύμα σφάλματος τροφοδοτείται και από τις δύο κατευθύνσεις του (γιατί;).

Αν δεν εκκαθαριστεί εγκαίρως, υπάρχει πιθανότητα να αποσυνδεθούν όλες οι μικροπαραγωγές.

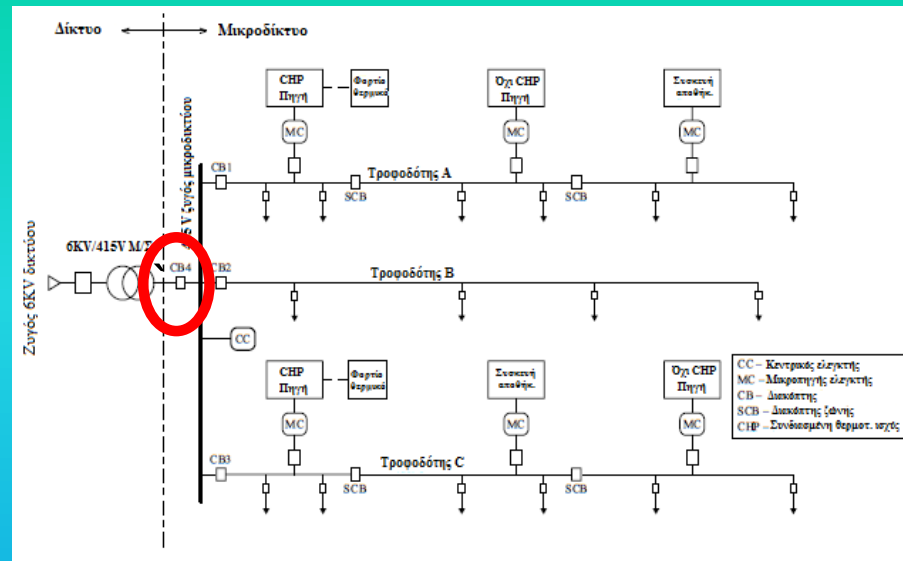
Για να αποφευχθεί αυτό, οι τροφοδότες A και C διαιρούνται σε ζώνες με διακόπτες, που επιτρέπουν την αποσύνδεση μικρών τμημάτων του τροφοδότη για την απομόνωση του βραχυκυκλώματος.



Μορφολογία ενός τυπικού μικροδίκτυου.

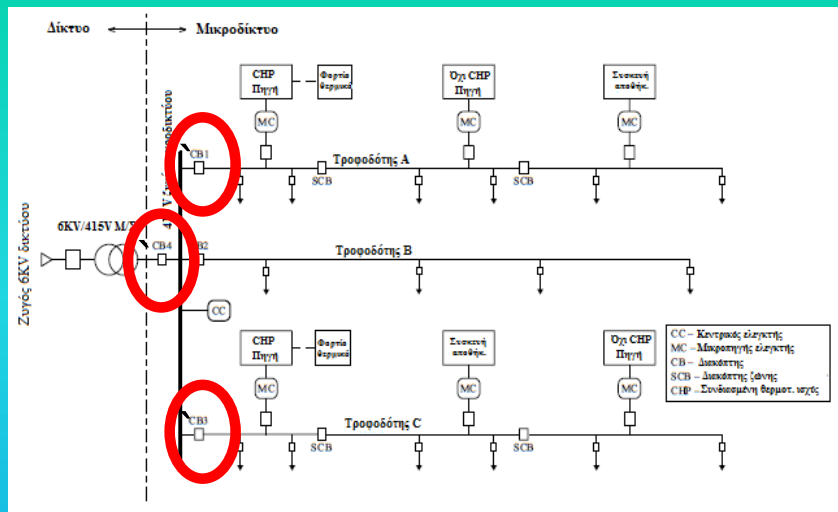


- Οι διακόπτες αυτοί περιλαμβάνουν ηλεκτρονόμους κατεύθυνσης-υπερέντασης για να ανιχνεύσουν τη ζώνη του σφάλματος και να το εκκαθαρίσουν.
 - Εάν αυτή η ζώνη περιλαμβάνει κάποια μικροπαραγωγή, τότε αυτή αποσυνδέεται από τη ζώνη μέσω του MC της, αλλά συνεχίζει να τροφοδοτεί τα τοπικά φορτία που είναι συνδεδεμένα στο ζυγό της μικροπαραγωγής.
- Για τη λειτουργία αυτή, η PCM ρυθμίζει τους ηλεκτρονόμους έτσι ώστε η ζώνη του σφάλματος να απομονώνεται προτού όλες οι μικροπαραγωγές αποσυνδεθούν από τον τροφοδότη ή προτού ολόκληρο το μικροδίκτυο αποσυνδεθεί από το κύριο δίκτυο.
- Επειδή ο τροφοδότης B δεν έχει μικροπαραγωγές τα βραχυκυκλώματά του εκκαθαρίζονται απλά με άνοιγμα του διακόπτη CB2 στην αρχή του.



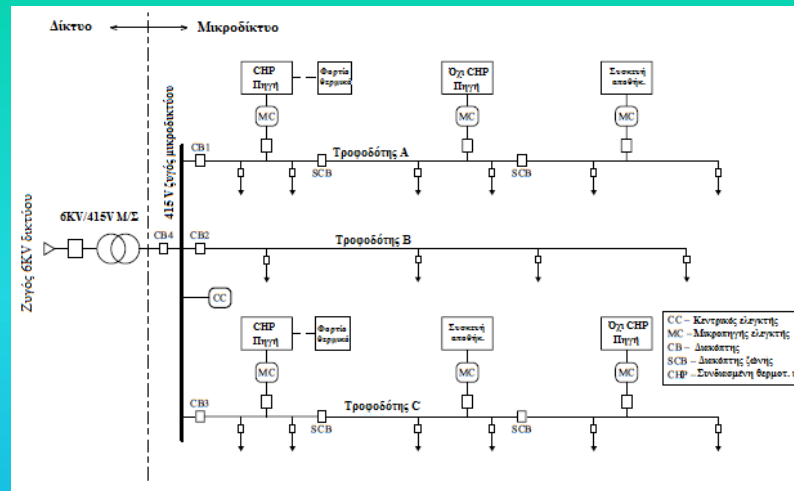
3) Βραχυκύκλωμα στο κυρίως δίκτυο.

- Ο ηλεκτρονόμος του CB4 παρακολουθεί το μέτρο και την κατεύθυνση του ρεύματος της κάθε φάσης.
- Ενεργοποιεί τον CB4 εάν το ρεύμα ξεπεράσει το επίπεδο επιλογής για προκαθορισμένο χρόνο.
- Η ρύθμιση του ηλεκτρονόμου γίνεται από την PCM ώστε:
 - α) Η διαταραχή από την αποσύνδεση να είναι ανεκτή από τα κρίσιμα φορτία.
 - β) να μην αποσυνδέονται οι μικροπαραγωγές.



4) Βραχυκύκλωμα στο ζυγό του μικροδίκτυου.

- Η εκκαθάριση του βραχυκυκλώματος γίνεται με το άνοιγμα του διακόπτη CB4 και των διακοπών CB1 και CB3, για την απομόνωση των μικροπαραγωγών. Ο 2^{ος} τροφοδότης δεν έχει μικροπαραγωγές. Για κάθε βραχυκύκλωμα μέσα στο μικροδίκτυο, η PCM ρυθμίζει τον ηλεκτρονόμο του CB4 σύμφωνα με:
 - A) τις ρυθμίσεις της προστασίας του κυρίως δικτύου,
 - B) την προστασία των μικροπαραγωγών, ώστε να ελαχιστοποιείται η απώλεια παραγωγής, η διακοπή τροφοδοσίας και οι λανθασμένες αποσυνδέσεις.



Μορφολογία ενός τυπικού μικροδίκτυου.

5) Επανασυγχρονισμός.

- Η PCM είναι υπεύθυνη για να συγχρονίσει και να επανασυνδέσει το μικροδίκτυο με το κύριο δίκτυο (μέσω του CB4).
- Συγκεκριμένα, πρώτα συγχρονίζει όλες τις μικροπαραγωγές με το δίκτυο, μετρώντας για κάθε φάση το μέτρο και τη φασική γωνία της τάσης, τη συχνότητα και την ακολουθία φάσεων και στις δύο πλευρές του διακόπτη CB4 και μετά κλείνει τον CB4.
- Μετά την ικανοποίηση των συνθηκών συγχρονισμού η PCM έχει τις επιλογές για αυτόματο και χειροκίνητο επανασυγχρονισμό με το δίκτυο.

Προστασία κατά την αυτόνομη λειτουργία

- Η αντοχή σε βραχυκύκλωμα στο ζυγό του μικροδίκτυου είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τη διασυνδεδεμένη λειτουργία, γιατί οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς των μικροπαραγωγών τροφοδοτούν μικρά ρεύματα βραχυκύκλωσης (π.χ. $2 \times I_N$).
- Αυτά τα χαμηλά ρεύματα βραχυκυκλώματος μπορεί να μην ανιχνεύονται από συμβατικούς ηλεκτρονόμους υπερέντασης.
- Τότε χρησιμοποιείται προστασία απόστασης, διαφορικοί ηλεκτρονόμοι ρεύματος/τάσης, ηλεκτρονόμοι μηδενικής ακολουθίας ρεύματος/τάσης ή σχήματα προστασίας που ανιχνεύουν τα ρεύματα γης με κατεύθυνσης-υπερέντασης ηλεκτρονόμους.

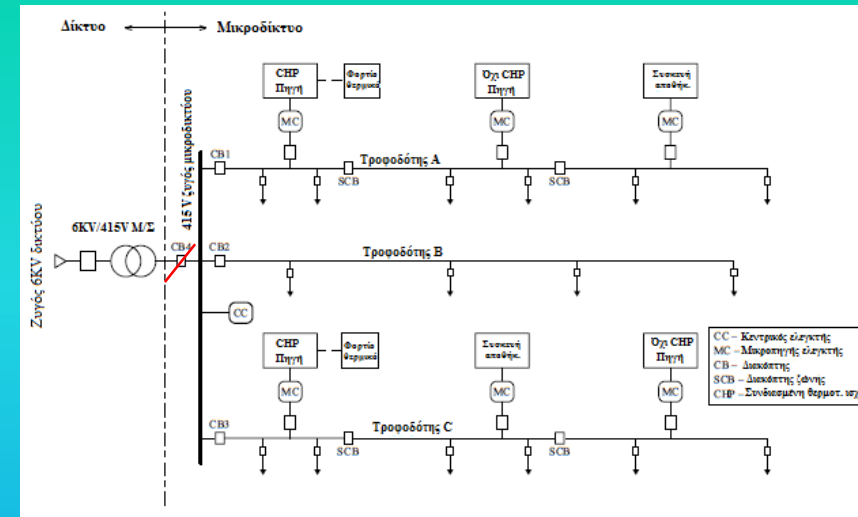
Η φιλοσοφία που καθορίζει τη λειτουργία της PCM σε σχέση με τις πιθανές καταστάσεις σε αυτόνομη λειτουργία είναι:

Κανονική λειτουργία.

- Ο διακόπτης CB4 στο PCC είναι ανοιχτός, οι τροφοδότες A, B και C είναι συνδεδεμένοι στο ζυγό του μικροδίκτυου και τα φορτία τροφοδοτούνται από τις μικροπαραγωγές.

Βραχυκύκλωμα σε τροφοδότη του μικροδίκτυου.

Η προστασία στους τροφοδότες είναι όμοια με αυτή κατά τη συνδεδεμένη λειτουργία, όμως οι ηλεκτρονόμοι ρυθμίζονται να είναι πολύ πιο ευαίσθητοι για να ανακαλύπτουν πολύ μικρότερα ρεύματα βραχυκυκλώματος.



Μορφολογία ενός τυπικού μικροδίκτυου.

Απαιτούμενες πληροφορίες για τη λειτουργία του κεντρικού ελεγκτή (CC)

Τιμολογιακές πολιτικές, τιμές καυσίμων και ρυθμιστικοί κανόνες.

Για την ελαχιστοποίηση του κόστους της ενέργειας του μικροδίκτυου πρέπει να συγκρίνεται το κόστος της ενέργειας από το δίκτυο και από το μικροδίκτυο.

Την απόδοση των μικροπαραγωγών.

- Η απόδοση των μικροπαραγωγών εξαρτάται από:
 - Α) από την περιοχή λειτουργίας τους,
 - Β) τις καιρικές συνθήκες,
 - Γ) την ηλικία τους και το πρόγραμμα συντήρησης
- Όλα αυτά πρέπει να αξιοποιούνται από τον CC για βέλτιστη λειτουργία.

Πρόβλεψη του φορτίου.

- Για να ελέγχει βέλτιστα την παραγωγή του μικροδίκτυου η EMM πρέπει να γνωρίζει:
 - Α) τον ενεργειακό τύπο και την ευελιξία τροφοδοσίας των φορτίων,
 - Β) την κατανομή της ζήτησής τους.

Πρόγνωση καιρού.

- Οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν την παραγωγή των ΑΠΕ και τα φορτία, γι αυτό ο CC αξιοποιεί την πρόβλεψη καιρού και τα στατιστικά δεδομένα.

Πληροφορίες για ετερογενείς υπηρεσίες προς φορτία.

- Για να εξασφαλίζει ο CC του μικροδίκτυου αξιόπιστες υπηρεσίες σε ετερογενή φορτία, τα ταξινομεί σε:
 - Α) Κρίσιμης σημασίας, δηλαδή φορτία που πρέπει να τροφοδοτούνται χωρίς διακοπή, ανεξαρτήτως κόστους και κατάστασης του συστήματος.
 - Β) Περιορισμένης σημασίας, δηλαδή φορτία που είναι αρκετά ευέλικτα ώστε να μπορούν να τροφοδοτηθούν τμηματικά, αν αυτό οδηγεί σε μείωση του ηλεκτρικού λογαριασμού.
 - Γ) Μη-κρίσιμα, που η τροφοδοσία τους μπορεί να προγραμματιστεί και να γίνει σε ώρες που διευκολύνουν την οικονομική/αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος.

Στρατηγικές ελέγχου για το σχεδιασμό του CC.

- Η επιλογή της στρατηγικής ελέγχου του CC εξαρτάται από την απόδοση και το κόστος της εφαρμογής της, όπως παρακάτω.

Βελτιστοποίηση σε πραγματικό χρόνο

- Το σύστημα εκφράζεται μαθηματικά ως μια συνάρτηση στόχου που υπόκειται σε κάποιους περιορισμούς και πρέπει να μεγιστοποιηθεί ή να ελαχιστοποιηθεί.
- Για τη στρατηγική βελτιστοποίησης, η EMM συλλέγει ουσιαστικά όλες τις πληροφορίες που αφορούν τις μεταβλητές του μικροδίκτυου: διαθεσιμότητα παραγωγών ηλεκτρισμού και θερμότητας, απαιτήσεις φορτίων, καιρικές συνθήκες, λειτουργική κατάσταση μικροδικτύου.
- Στη συνέχεια πρέπει να τις επεξεργαστεί σε πραγματικό χρόνο.
- Η πολυπλοκότητα κάνει το κόστος υλοποίησής της υψηλό.

Έμπειρα συστήματα

- Για το σχεδιασμό του CC εφαρμόζονται τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης, όπως η ασαφής λογική.
- Ο αλγόριθμος ελέγχου προγραμματίζεται από μια σειρά προτάσεων λήψης αποφάσεων "If-Then".
- Η EMM αξιολογεί την κατάσταση του μικροδίκτυου, ώστε να καθορίσει σε ποια προκαθορισμένη κατηγορία βρίσκεται η παρούσα κατάσταση και να υλοποιήσει τον κανόνα που σχετίζεται με την κατηγορία αυτή.
- Προσομοιώνει τη λογική ενός έμπειρου χειριστή.
- Για βελτιστοποίηση, οι καταστάσεις πρέπει πρώτα να κατηγοριοποιηθούν και να ορισθούν οι κανόνες για αυτές.
- Ύστερα, στρατηγικές προσαρμοστικού ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον επανακαθορισμό των κανόνων, ώστε οι τελευταίοι να ταιριάζουν στις απαιτήσεις του συστήματος διαχείρισης.

Αποκεντρωμένος και ιεραρχικός έλεγχος.

- Ένας πράκτορας (agent) συλλέγει προσφορές ζήτησης και παροχής ισχύος από πολλούς πράκτορες και λαμβάνει αποφάσεις αποστολής για μεμονωμένους πράκτορες σύμφωνα με προκαθορισμένους κανόνες.
- Οι κανόνες αυτοί μπορεί να καθορίζονται από έναν ελεγκτή υψηλότερου επιπέδου (π.χ. τον ανεξάρτητο διαχειριστή του συστήματος ISO).

Αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για:

- Την ενοποίηση μεμονωμένων μικροδίκτυων, ώστε συνολικά να δημοπρατούν το πλεόνασμα ισχύος στο κύριο δίκτυο.
- Την ενοποίηση μεμονωμένων μικροπαραγωγών ώστε να δημοπρατούν την παραγόμενη ισχύ τους σε καταναλωτές του μικροδίκτυου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

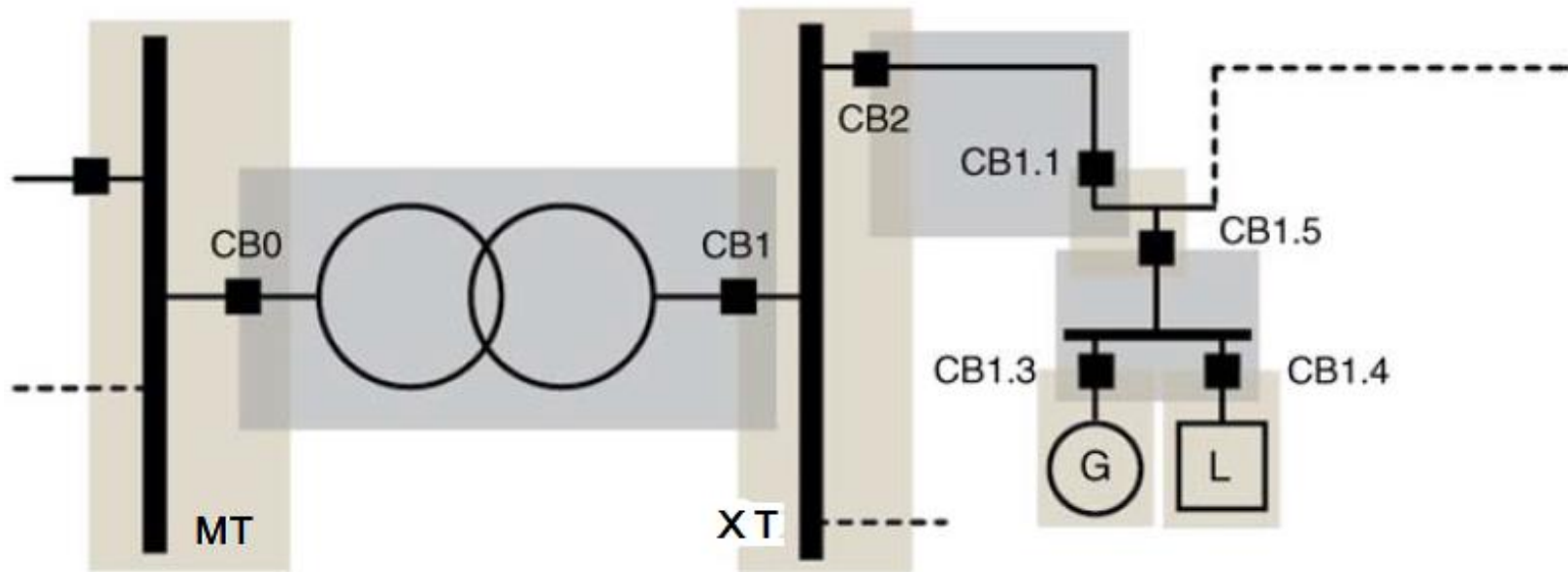
- Για να βελτιωθεί η σχεδίαση των συστημάτων διαχείρισης του μικροδίκτυου πρέπει να ληφθούν υπόψη :
 - Α) οι επιπτώσεις στο σύστημα διανομής,
 - Β) οι απαραίτητες υποδομές τηλεπικοινωνιών,
 - Γ) οι βοηθητικές υπηρεσίες και προφανώς ...
 - Δ) η προστασία.

Βασικές έννοιες των ηλεκτρονόμων προστασίας:

- **Επιλεκτικότητα** (Selectivity) είναι η ικανότητα της προστασίας να διακρίνει ένα βραχυκύκλωμα στη ζώνη που εποπτεύει από ένα βραχυκύκλωμα σε άλλη ζώνη.
- **Ευαισθησία** είναι η μικρότερη τιμή του ρεύματος που μπορεί να ενεργοποιήσει τον ηλεκτρονόμο.
- **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.
- **Επέκταση** (Reach) είναι το μακρύτερο σημείο στο οποίο επεκτείνεται η ζώνη προστασίας του ηλεκτρονόμου.
- **Χρόνος λειτουργίας** (Operating time) είναι ο χρόνος που παρέρχεται από τη στιγμή που θα επιτευχθεί το επίπεδο επιλογής μέχρις ότου ο ηλεκτρονόμος κλείσει τις επαφές του.
- **Προστασία υποστήριξης ή Εφεδρική προστασία** είναι μία επί πλέον προστασία του κυκλώματος, που λειτουργεί με κάποια καθυστέρηση, όταν δε λειτουργήσει η πρωτεύουσα προστασία.

Τα δίκτυα διανομής, όπως και τα μικροδίκτυα, χωρίζονται σε ζώνες προστασίας.

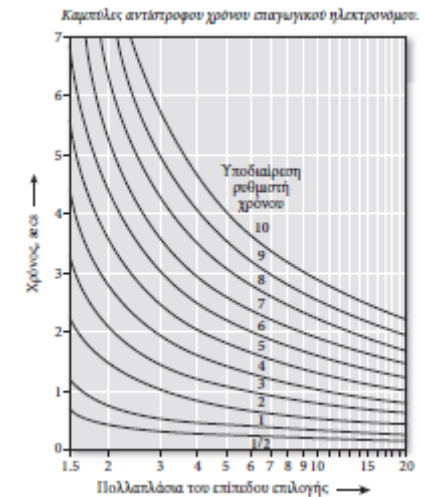
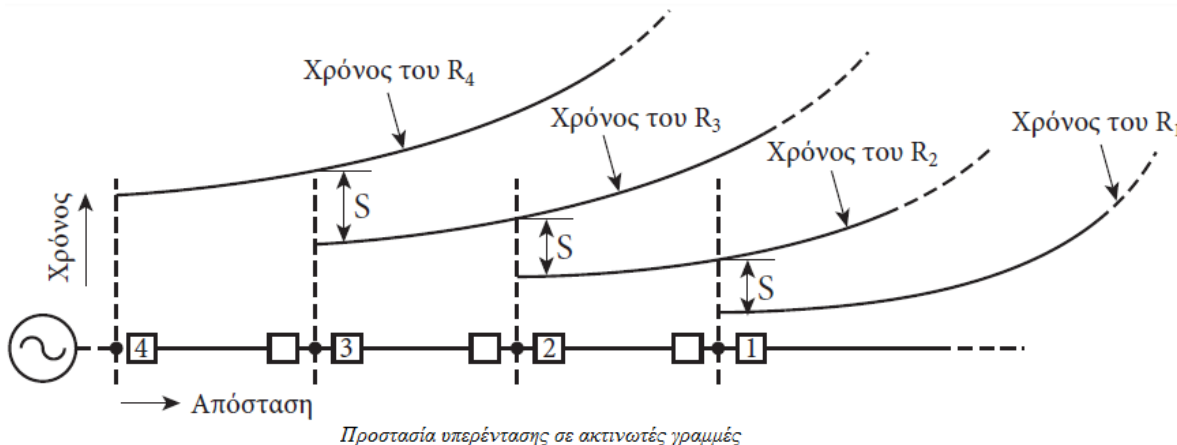
Αυτές περιλαμβάνουν μία εναέρια γραμμή ή καλώδιο ή μία συσκευή (π.χ. ζυγό, μετασχηματιστή, παραγωγή, φορτίο κ.λ.π.). Κάθε βραχυκύκλωμα που συμβαίνει μέσα σε μία ζώνη ανοίγει τους διακόπτες ισχύος μέσα σε αυτήν τη ζώνη.



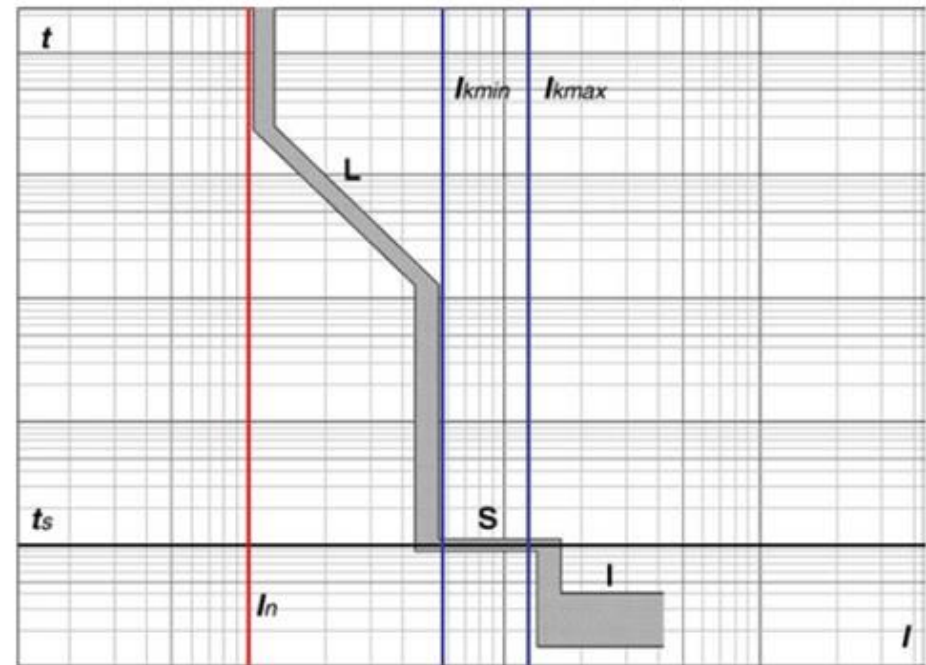
Ζώνες προστασίας στη MT και XT.

Υπερέντασης & κατεύθυνσης-υπερέντασης προστασία διανομής

- Η προστασία των δικτύων διανομής με τους ακτινικούς τροφοδότες 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.
- Πιο εξελιγμένοι ηλεκτρονόμοι κατεύθυνσης-υπερέντασης χρησιμοποιούνται στην προστασία βρόγχων.



- Στο Σχήμα δείχνεται η χαρακτηριστική λειτουργίας ενός σύγχρονου ηλεκτρονόμου υπερέντασης ορισμένου χρόνου, που 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 λειτουργίας (για κρίσιμα, πολύ μεγάλου ρεύματος βραχυκυκλώματα).
- Όλα τα τμήματα της χαρακτηριστικής λειτουργίας διαθέτουν ένα ευρύ φάσμα ρυθμίσεων, με μικρά βήματα ρύθμισης.



Χαρακτηριστική χρόνου-ρεύματος, σύγχρονου ηλεκτρονόμου υπερέντασης XT

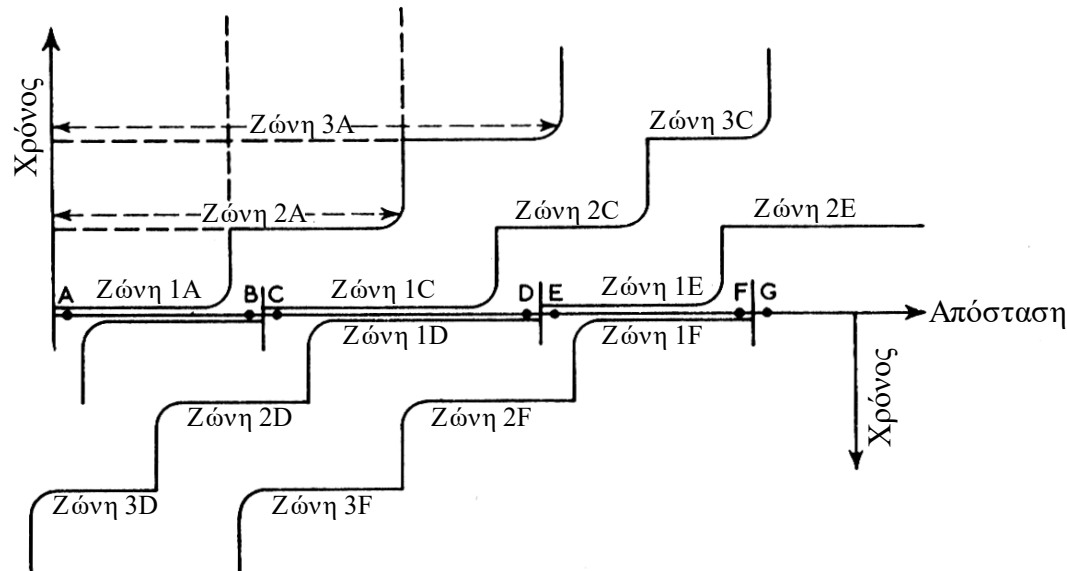
Προστασία απόστασης στη διανομή

- Χρησιμοποιείται για την προστασία σημαντικών γραμμών διανομής.

Για επιλεκτικότητα ο ηλεκτρονόμος συγκρίνει το V με το I και είναι ρυθμισμένος να ενεργοποιείται όταν $V < IZ_L$, όπου $V = IZ_L$ είναι η τάση για βραχυκύκλωμα στο τέλος της γραμμής.

Στην πραγματικότητα ο ηλεκτρονόμος μετρά συνέχεια το $Z = V / I$, που είναι ένα μέτρο της απόστασης του βραχυκυκλώματος και έτσι προήλθε ο όρος ηλεκτρονόμος απόστασης.

- Δυστυχώς, η προστασία απόστασης επηρεάζεται από την παρουσία των $\Delta\Pi$ και τα φορτία, που αλλάζουν τα ρεύματα βραχυκυκλώματος και άρα τη μετρούμενη σύνθετη αντίσταση, οπότε μπορεί να έχουμε λανθασμένη λειτουργία του ηλεκτρονόμου.
- Λόγω των ανακριβειών δεν γνωρίζουμε την ακριβή επέκταση αυτής της προστασίας, γι αυτό η προστασία γίνεται σε τρεις ζώνες, όπως φαίνεται στο Σχήμα.



Βηματικά χρονικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρονόμων απόστασης.

Η πρώτη ζώνη παρέχει μεγάλης ταχύτητας (20 ms) προστασία για ένα τμήμα της γραμμής (85-90%).

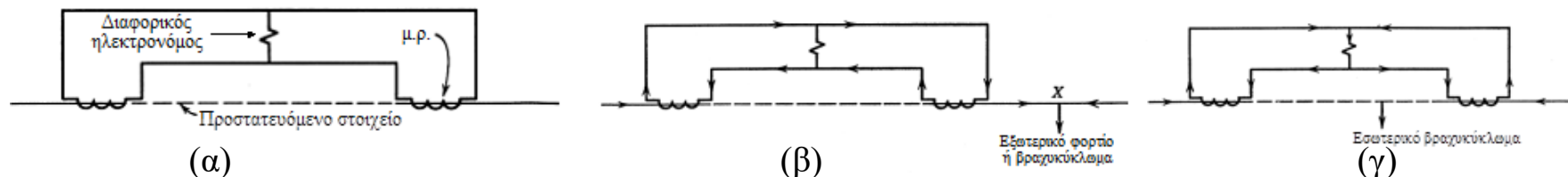
Η δεύτερη ζώνη εκτείνεται και μέχρι 20% μέσα στην επόμενη γειτονική γραμμή και έχει μία χρονική καθυστέρηση (0.3 s).

Η τρίτη ζώνη παρέχει εφεδρική προστασία στην επόμενη γραμμή και η χρονική της καθυστέρηση είναι 1–2 s.

Αυτή η λογική δημιουργίας τριών ζωνών εφαρμόζεται και στα δύο άκρα της γραμμής για τη μεταφορά.

Διαφορική προστασία ρεύματος

- Σε αυτό το είδος προστασίας, όπως δείχνεται στο Σχήμα, οι ηλεκτρονόμοι τοποθετούνται έτσι ώστε να συγκρίνουν το ρεύμα που εισέρχεται με το ρεύμα που εξέρχεται από τον προστατευόμενο εξοπλισμό, που είναι διαφορετικά μόνο 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.).
- 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.
- Λόγω πιθανού προβλήματος στις επικοινωνίες, απαιτεί μία ξεχωριστή εφεδρική προστασία, αυξάνοντας το κόστος του συστήματος προστασίας και περιορίζοντας τη χρήση του στα μικροδίκτυα.



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