

Εξελιγμένα δίκτυα συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας  
(7<sup>η</sup> ενότητα)

# Επίδραση ενσωμάτωσης ΔΠ στην ποιότητα ισχύος και στην αξιοπιστία

Παναγής Βοβός - Επίκ. Καθηγητής

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών

Πανεπιστήμιο Πατρών

- Τα σημερινά συστήματα διανομής εμφανίζουν συχνά μειωμένη ποιότητα ισχύος και αξιοπιστία διότι εμφανίζουν :
    - παραμόρφωση των χαρακτηριστικών της τάσης
    - παραμόρφωση των χαρακτηριστικών της συχνότητας
    - μικροδιακοπές της ισχύος.
  - Αυτά επηρεάζουν τη λειτουργία όλο και περισσότερων ευαίσθητων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών που χρησιμοποιεί ο σύγχρονος άνθρωπος.
- Ακριβή λύση με σημαντικές απώλειες ενέργειας: οι καταναλωτές προμηθεύονται τοπικές συσκευές βελτίωσης της ποιότητας ισχύος.
- Η ενσωμάτωση μικροδίκτυων με ΔΠ στο σύστημα διανομής μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα ισχύος και την αξιοπιστία.

Υπηρεσίες που παρέχουν και έχουμε αναφέρει ήδη είναι:

- 1) Η χρήση CHP συστημάτων αυξάνει την ενεργειακή απόδοση του συστήματος.
- 2) Η παραγωγή ενέργειας τοπικά από συστήματα ΔΠ είναι πιο αποδοτική για απομακρυσμένους καταναλωτές από κεντρικούς σταθμούς.
- 3) Οι ΔΠ μπορούν να λειτουργήσουν περιοδικά για να μειώσουν το φορτίο αιχμής και τις αντίστοιχες αυξήσεις στο κόστος της ενέργειας.

ΑΛΛΑ, ΕΠΙΠΛΕΟΝ:

- 1) Οι ΔΠ με ικανότητα αυτόνομης λειτουργίας συνεχίζουν να τροφοδοτούν κρίσιμα φορτία σε περιπτώσεις αποσύνδεσης του δίκτυο. Οι ΔΠ είναι ικανές να παρέχουν υψηλής ποιότητας ισχύ σε ευαίσθητα φορτία, μέσω των ηλεκτρονικών μετατροπέων διασύνδεσης που έχουν.

- Οι οικονομικές επιπτώσεις από τη μειωμένη αξιοπιστία και την ποιότητα ισχύος εξαρτώνται από: α) την ευαισθησία των συσκευών και β) τη λειτουργία που αυτές εξυπηρετούν σε κάθε καταναλωτή.
- Καταναλωτές που μπορούν να ανεχθούν βραχυχρόνιες διακοπές της τροφοδοσίας εγκαθιστούν εφεδρικές γεννήτριες για την τροφοδοσία κρίσιμων φορτίων.
- Καταναλωτές που έχουν σημαντικές ζημίες (οικονομικές ή άλλες) από τέτοιες διακοπές ή μεταβολές στην ποιότητα ισχύος εγκαθιστούν συσκευές: α) Αδιάλειπτης Παροχής Ισχύος (Uninterruptible Power Supply (UPS)) ή β) αποκατάστασης τάσης/συχνότητας.

Καταναλωτές με αυξημένες απαιτήσεις ποιότητας ισχύος είναι:

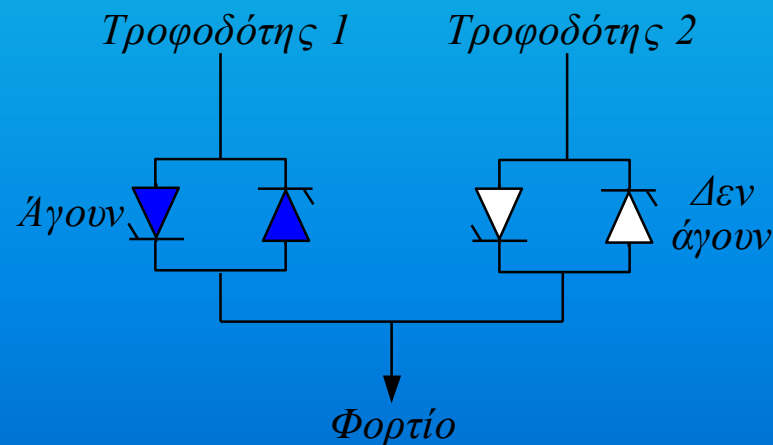
- Υπολογιστικά συστήματα κρίσιμης αποστολής.
- Εγκαταστάσεις τηλεπικοινωνιών.
- Εγκαταστάσεις κρίσιμων υπηρεσιών (π.χ. ιατρικής περίθαλψης).
- Μεγάλα εργαστήρια επεξεργασίας φωτογραφίας.
- Βιομηχανίες για παραγωγή προϊόντων που απαιτούν συνεχή λειτουργία.

- Για τη βελτίωση της αξιοπιστίας και ποιότητας ισχύος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία εναλλακτική πηγή ισχύος (δεύτερος τροφοδότης, εφεδρική γεννήτρια ή ΔΠ).
- Η βελτίωση εξαρτάται από την τεχνολογία σύνδεσης της εναλλακτικής πηγής.
- Έχουμε λοιπόν, σε σειρά ταχύτητας ελέγχου, αλλά και αυξανόμενου κόστους:

**Χειροκίνητος διακόπτης μεταφοράς:** Αποτρέπει μακροχρόνιες διακοπές (σε μερικά λεπτά).

**Αυτόματος διακόπτης μεταφοράς:** Ανακαλύπτει τα σφάλματα και συνδέει το δεύτερο τροφοδότη (σε μερικά δευτερόλεπτα). Προστατεύει από μακροχρόνιες διακοπές.

**Διακόπτης μεταφοράς στερεάς κατάστασης (SSTS):** Με αυτόν και οι πιο ευαίσθητες συσκευές ξεπερνούν τις διακοπές ισχύος χωρίς δυσλειτουργίες, γιατί η μεταφορά τροφοδοσίας γίνεται σε 5-10 ms.



Διακόπτης μεταφοράς στερεάς κατάστασης με θυρίστορ.

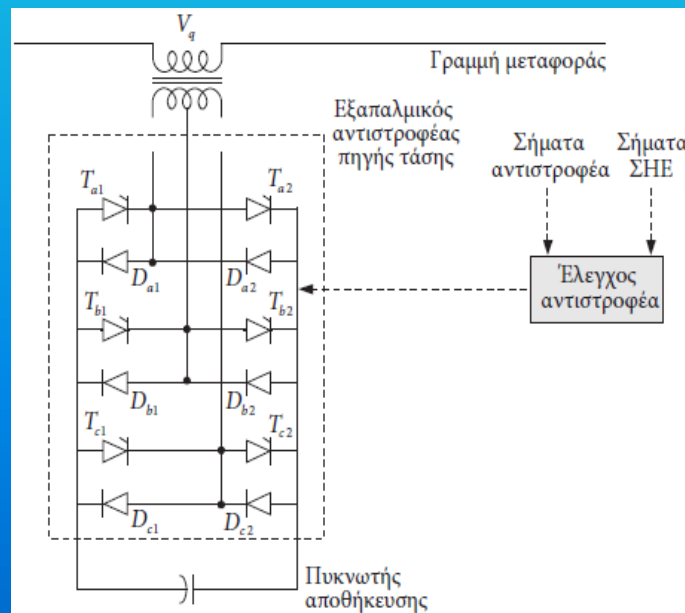
- Η βελτίωση της ποιότητας ισχύος γίνεται σε οποιαδήποτε θέση και έκταση στο ηλεκτρικό σύστημα.
- Το επίπεδο εξαρτάται από τον τύπο και το μέγεθος του κρίσιμου φορτίου.
- Ο εξοπλισμός βελτίωσης της ποιότητας ισχύος σε επίπεδο εγκατάστασης κατηγοριοποιείται στις εξής κλίμακες:
  - 1) Μικρής κλίμακας εξοπλισμό (μέχρι **3 kVA**), που περιλαμβάνει XT 1Φ εξοπλισμό, όπως: UPS, εκτροπείς κυματικών υπερτάσεων, βελτιωτές ισχύος, μετασχηματιστές απομόνωσης και ρυθμιστές τάσης.
  - 2) Μεσαίας κλίμακας εξοπλισμό (μέχρι **100 kVA**), για συστήματα διανομής μέσα σε **μία εγκατάσταση**, όπως: 1Φ (3-18 kVA) και 3Φ (μέχρι 100 kVA) UPS, 3Φ εκτροπείς κυματικών υπερτάσεων, 3Φ βελτιωτές ισχύος, μετασχηματιστές απομόνωσης και ρυθμιστές τάσης, ζεύγη παραγωγής και ενεργά και στατικά φίλτρα.

Μεγάλης κλίμακας εξοπλισμό (μεγαλύτερο από **100 kVA**), στην είσοδο της **εγκατάστασης**, όπως: μεγάλα 3Φ UPS, συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, XT SSTS (μέχρι 600 V), MT SSTS (μέχρι 35 KV), Δυναμικούς Αποκαταστάτες Τάσης (DVRs), εγκάρσιους στατικούς αντισταθμιστές (SVCs, STATCOMs).

Σημείωση: Επεξηγήσεις των SVCs και STATCOMs στην 1<sup>η</sup> ενότητα. Τον DVR θα τον δούμε παρακάτω.

Συσκευές για τη βελτίωση της ποιότητας ισχύος σε επίπεδο καταναλωτή είναι:

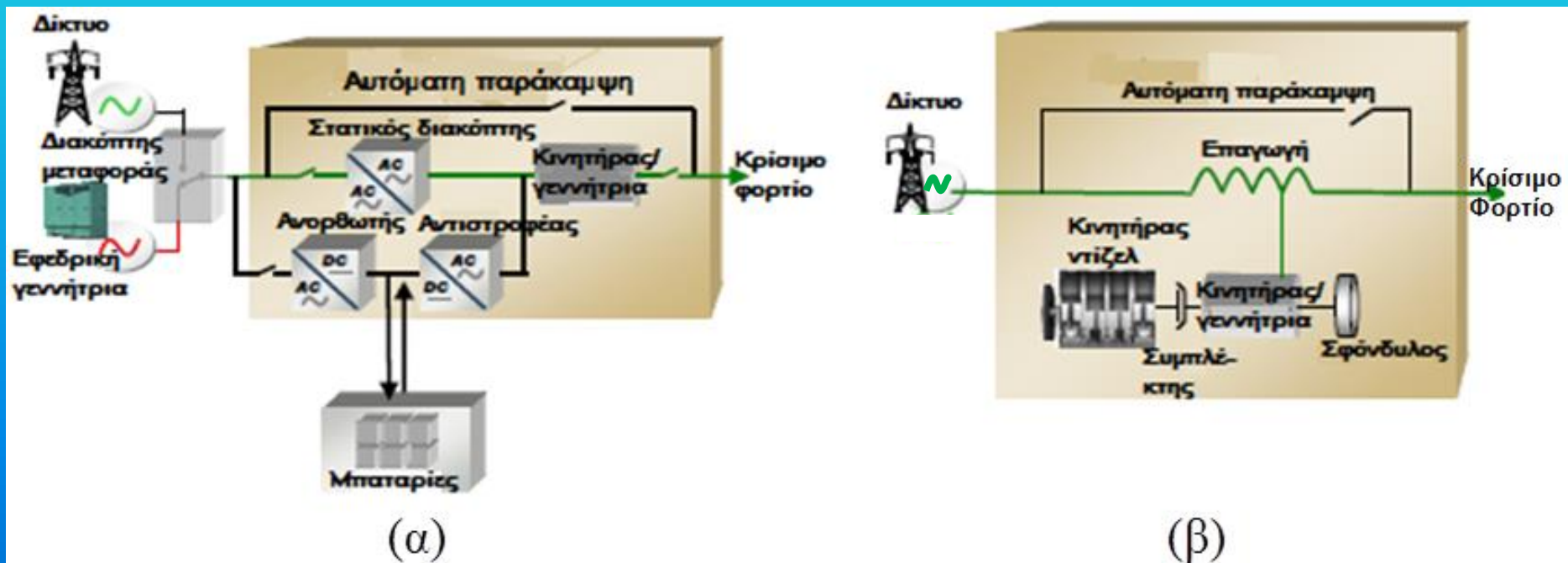
- *Κυματικοί Καταστολείς Μεταβατικών Υπερτάσεων (Transient Voltage Surge Suppressors, (TVSS))*: Αντιστάσεις από μεταλλικά οξειδία (Metal Oxide Varistors (MOVs)) με  $R \downarrow \sim V \uparrow$  ή ηλεκτρονικές συσκευές, μικρού ή μεγάλου μεγέθους.
- *Αντισταθμιστές VAR*: TSSC, TCSC, SVC, STATCOM και σύγχρονοι αντισταθμιστές, για αντιστάθμιση της άεργης ισχύος που προκαλεί διαταραχές τάσης (υπερτάσεις και βυθίσματα τάσης).
- *Δυναμικός αποκαταστάτης τάσης (DVR)*: Ένας DVR με ισχύ 30% του ονομαστικού φορτίου μπορεί να καλύψει περίπου το 95% των διαταραχών και ταιριάζει καλύτερα σε εφαρμογές MT ή YT (βιομηχανικοί/μεγάλοι καταναλωτές).



Δυναμικός αποκαταστάτης τάσης.

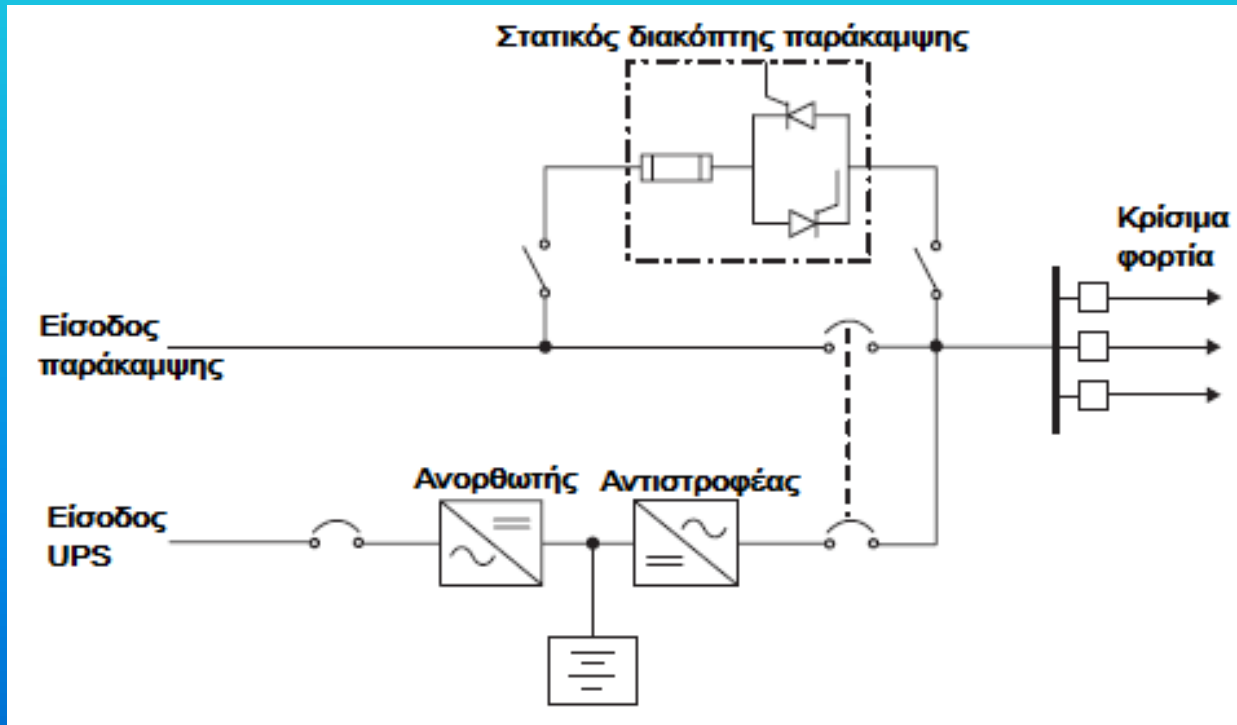


- *Μετασχηματιστής απομόνωσης*: Θωράκιση ευαίσθητου φορτίου από Ηλεκτρομαγνητικές Παρεμβολές (EMI), προστασία από έμμεσες επαφές, χωρίς να σταματά η λειτουργία του σε βραχυκυκλώματα γης.
- *Περιστρεφόμενα UPS*: Χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση της τάσης και την απόρριψη του θορύβου, εκμεταλλευόμενα την αδράνεια του ζεύγους (κινητήρας/γεννήτρια).



Περιστρεφόμενα UPS.

- Συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS) : Σε ένα UPS διπλής μετατροπής, το ΕΡ εισόδου ανορθώνεται σε ΣΡ και στη συνέχεια μετατρέπεται σε ρυθμιζόμενο ΕΡ, συγκεκριμένης συχνότητας για την τροφοδοσία του συνδεδεμένου κρίσιμου φορτίου.
- Σε περίπτωση δυσλειτουργίας των UPS ο στατικός διακόπτης παράκαμψης



UPS σύστημα διπλής μετατροπής.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης UPS είναι:

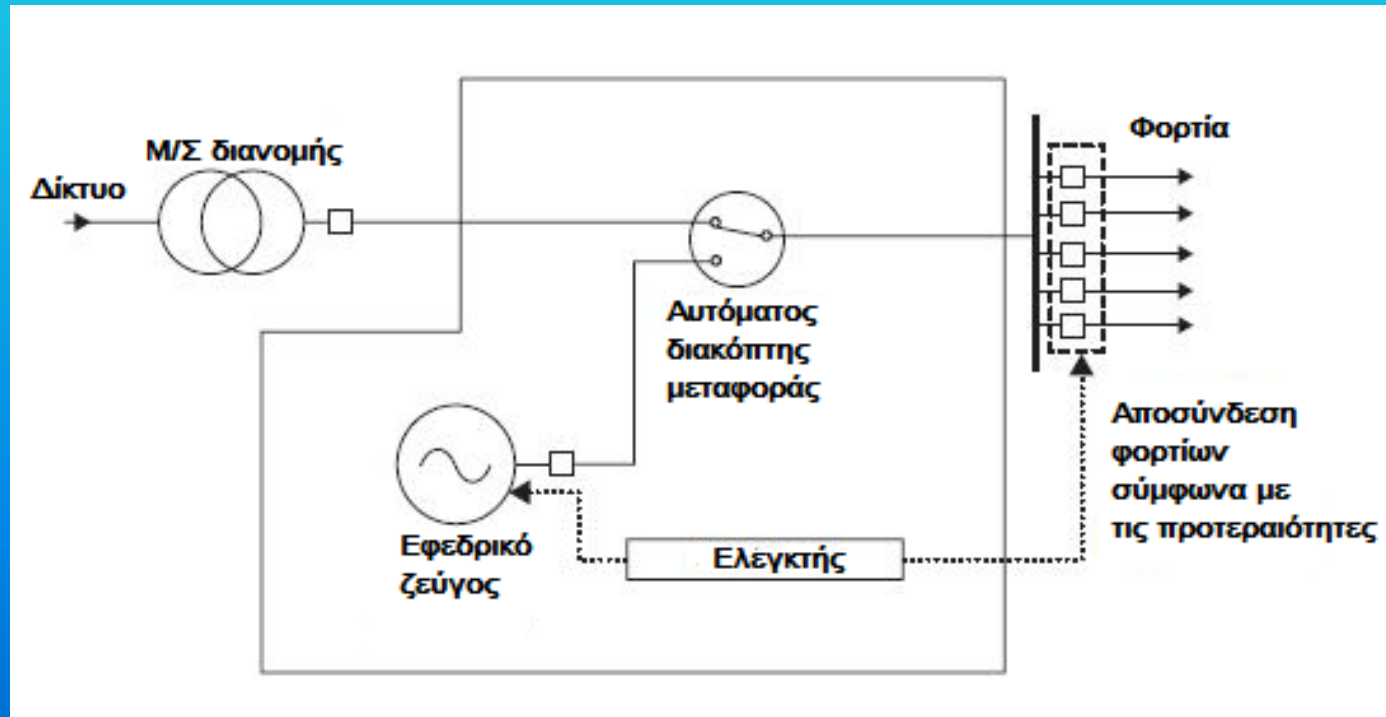
- Το κρίσιμο φορτίο είναι πλήρως απομονωμένο από την τροφοδοσία ΕΡ του δικτύου.
- Ο αντιστροφέας που τροφοδοτεί το φορτίο έχει πάντοτε ως είσοδο το ζυγό ΣΡ/μπαταρίας, οπότε σε περίπτωση διακοπής της κεντρικής τροφοδοσίας δεν υπάρχει καθόλου βύθισμα τάσης εξόδου.
- Ακόμα και αν υπάρχουν ταλαντώσεις συχνότητας και τάσης του δικτύου, αυτές δεν εμφανίζονται στην τάση εξόδου.
- Παρέχεται προστασία από το θόρυβο στο φορτίο, μέσω ενός Μ/Σ απομόνωσης στην έξοδο του αντιστροφέα του UPS συστήματος.

- Η ενσωμάτωση της ΔΠ με τη μορφή των μικροδίκτυων στα δίκτυα διανομής βελτιώνει την αξιοπιστία και την ποιότητα ισχύος.
- Οι ακόλουθες απαιτήσεις οδήγησαν σε αυτές τις βελτιώσεις:
  1. *Γρήγορη απόκριση* - Τα φορτία χρειάζονται γρήγορη απόκριση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για να αντιμετωπίζουν τις διακυμάνσεις της τάσης.
  2. *Καθαρή ενέργεια* - Η αποθηκευμένη ενέργεια πρέπει να μετατρέπεται σε καθαρή ενέργεια.
  3. *Συγχρονισμός* - Πρέπει να γίνεται με ομαλό έλεγχο.
    - *Ομαλή μεταβίβαση* - Οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας πρέπει να είναι ικανές για ομαλή ανάληψη φορτίου.

- *Απομόνωση* - Η ΔΠ πρέπει πολύ γρήγορα να περνά στην αυτόνομη λειτουργία σε περίπτωση σφάλματος της κεντρικής σύνδεσης.
- *Επαρκής αποθήκευση* - Πρέπει να αρκεί για υπερπήδηση διακοπών μέχρι την αποκατάσταση της κύριας ή εφεδρικής τροφοδοσίας.
- *Τροφοδοσία κρίσιμων φορτίων* - Το μικροδίκτυο πρέπει να είναι ικανό να τα τροφοδοτεί με καθαρή ενέργεια.
- *Κατανομή (dispatch) ισχύος* - Το μικροδίκτυο πρέπει να μπορεί να τροφοδοτεί ισχύ σε τοπικά μεταβαλλόμενα φορτία.
- *Απόδοση* - Το μικροδίκτυο πρέπει να λειτουργεί με καλή απόδοση.
- *Εκπομπές ρύπων* - Το μικροδίκτυο πρέπει να ελαττώνει δραστικά τις εκπομπές ρύπων των ΔΠ με σωστή διαχείρισή τους.

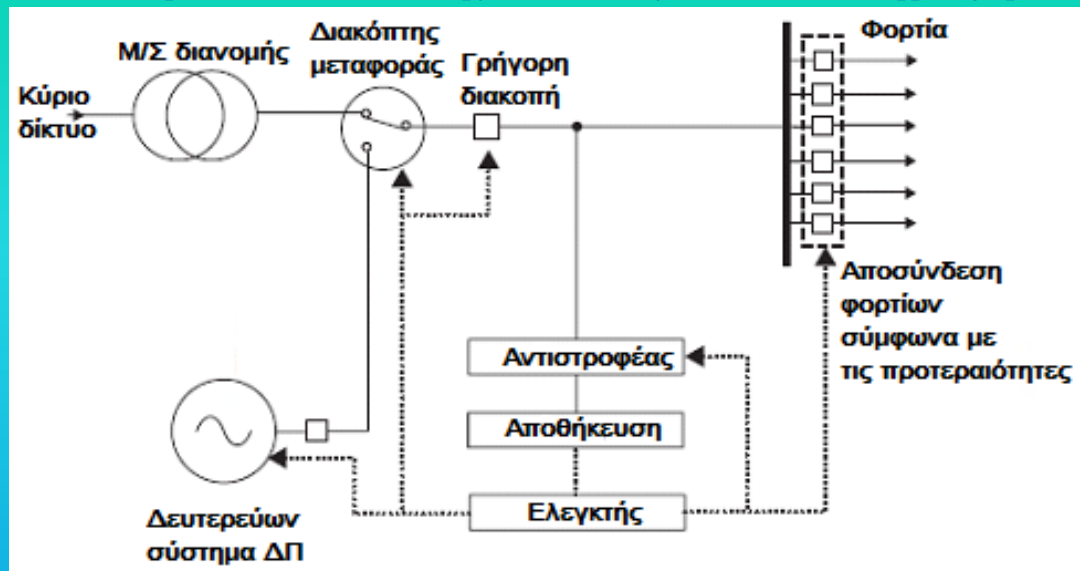
## Απλό σύστημα εφεδρικού ζεύγους

- Ο ελεγκτής ανακαλύπτει τη διακοπή στο κύριο δίκτυο, οπότε θέτει σε λειτουργία το ζεύγος και το συνδέει με τον αυτόματο διακόπτη στα φορτία, ενώ αποσυνδέονται τα μη κρίσιμα φορτία.
- Το ζεύγος χρειάζεται 10 s για να τροφοδοτήσει τα φορτία.



Απλό σύστημα εφεδρικού ζεύγους.

Δευτερεύον σύστημα ΔΠ με υποστήριξη ποιότητας ισχύος



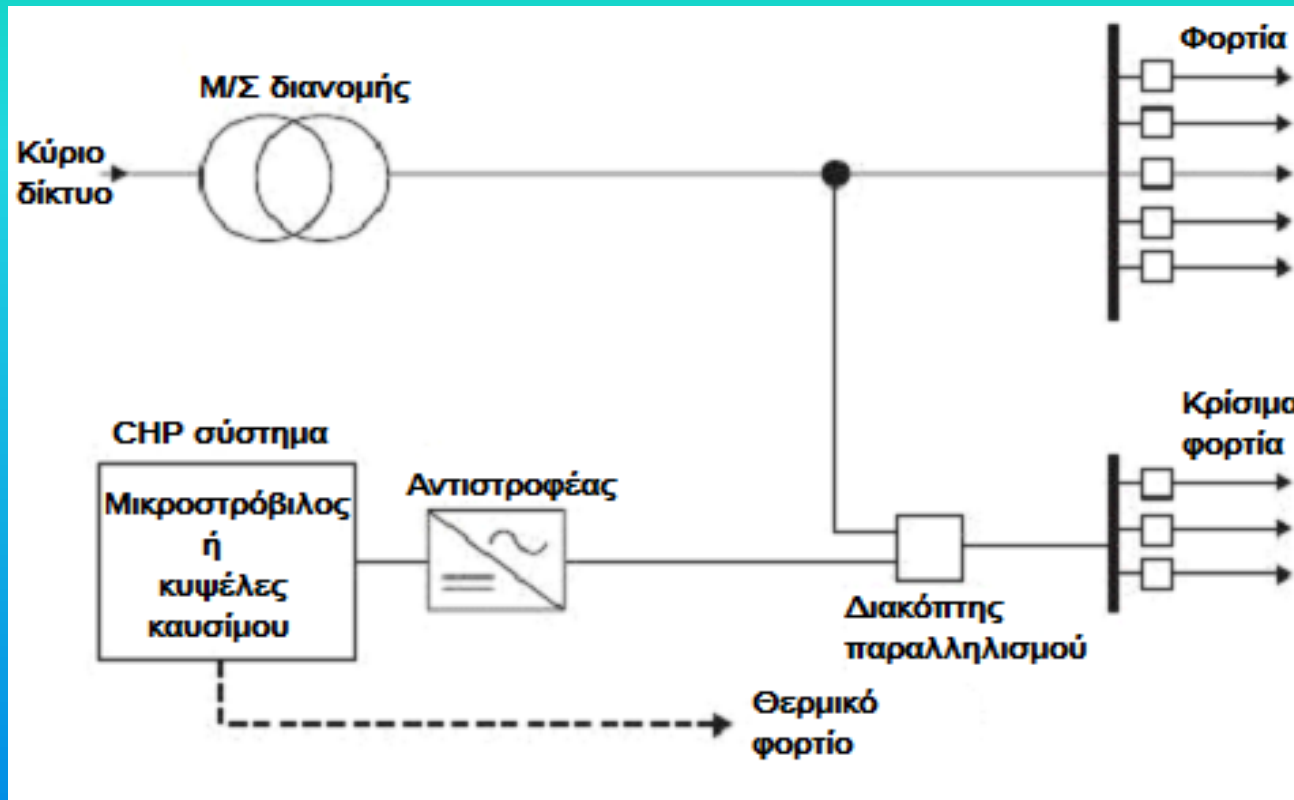
*Δευτερεύον σύστημα παραγωγής είναι αυτό που αρχίζει να παράγει μετά την απώλεια της κύριας παραγωγής.*

- Χρησιμοποιεί αποθήκευση ενέργειας για προστασία από βραχυχρόνιες διακοπές και στιγμιαίες διακυμάνσεις της τάσης, μέσω εξελιγμένου συστήματος ελέγχου.

Η αποθηκευμένη ενέργεια τροφοδοτεί τα κρίσιμα φορτία, μέχρι να ξεκινήσει το δευτερεύον σύστημα.

- Η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται για εξαιρετικά ευαίσθητα φορτία.
- Αν το δευτερεύον σύστημα αποτελείται από μικροστρόβιλους, τότε αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την κάλυψη φορτίων αιχμής.

- Πρωτεύον σύστημα ΔΠ με υποστήριξη ποιότητας ισχύος κρίσιμων φορτίων

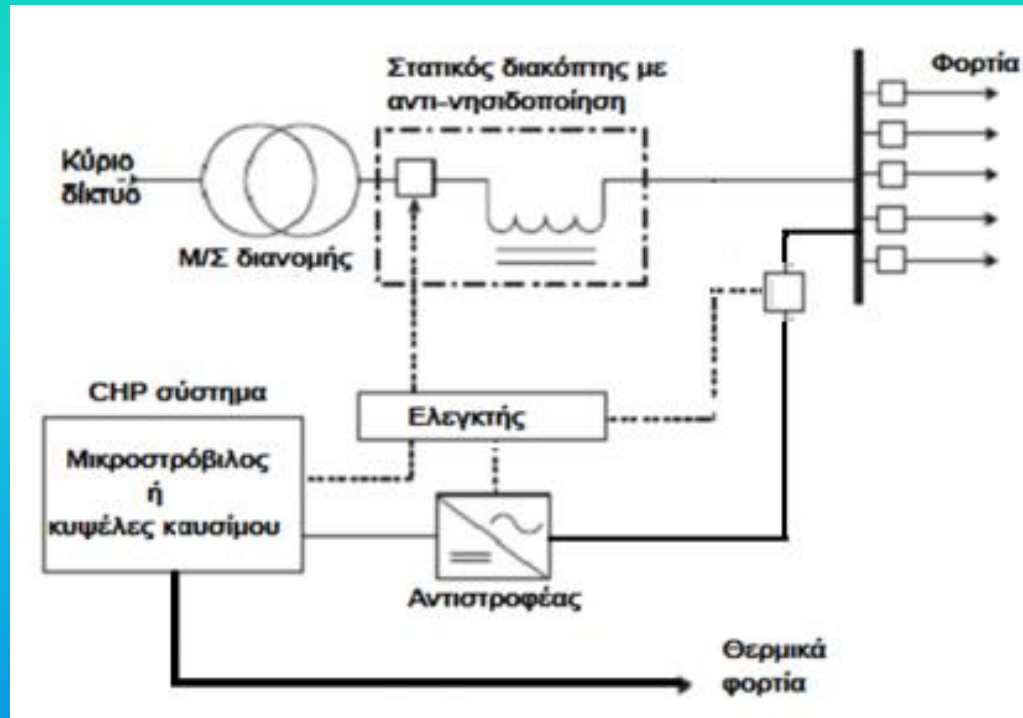


*Πρωτεύον σύστημα παραγωγής είναι αυτό που βρίσκεται σε συνεχή διαδικασία παραγωγής.*

- Το CHP σύστημα λειτουργεί παράλληλα με το δίκτυο.
- Αν το δίκτυο διακόψει την ισχύ, το CHP σύστημα λειτουργεί αυτόνομα και τροφοδοτεί τα κρίσιμα φορτία.



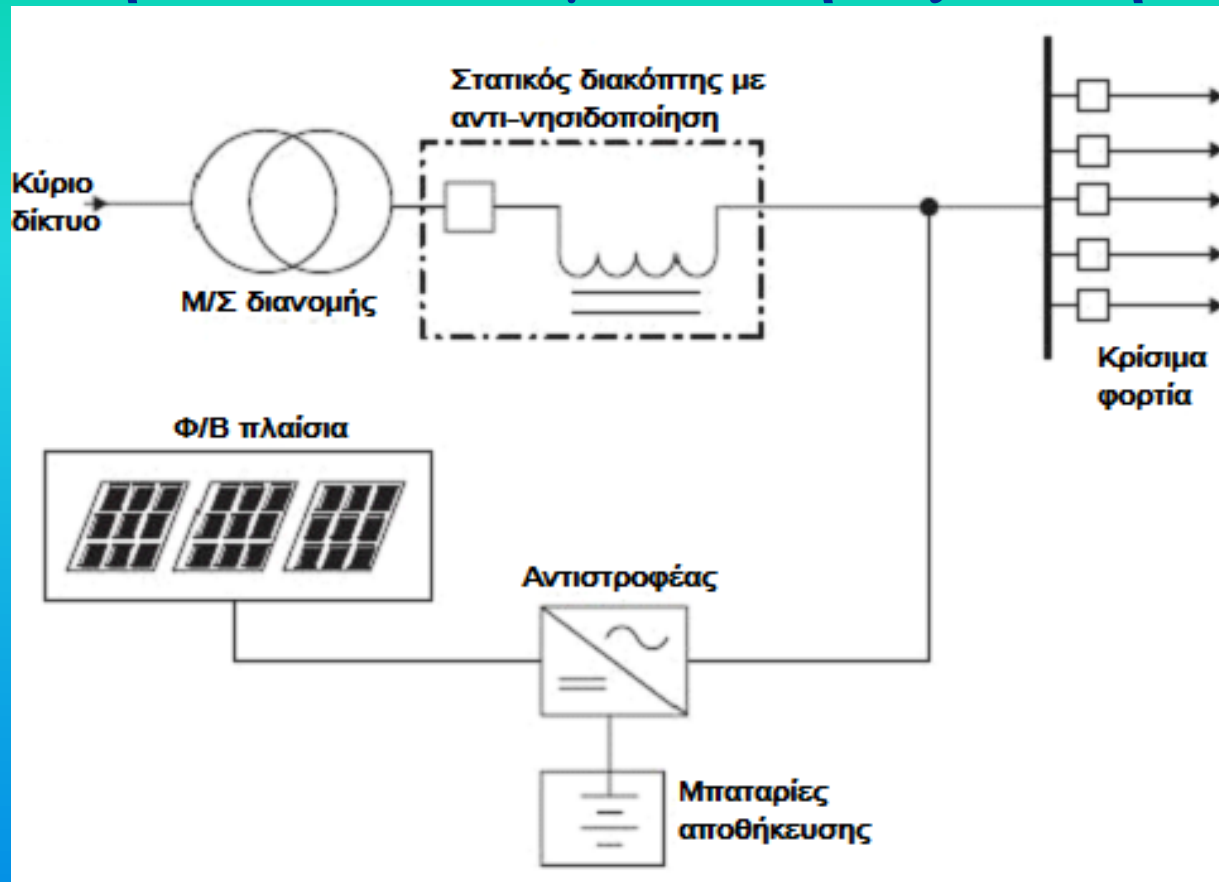
• Διασυνδεδεμένη ΔΠ με υποστήριξη ποιότητας ισχύος



Το σύστημα αυτό μοιάζει με το προηγούμενο, αλλά μπορεί να λειτουργεί πλήρως αυτόνομα (όλα τα φορτία) με προστασία αντι-νησιδοποίησης.

- Μπορεί να παρέχει την αξιοπιστία του εφεδρικού ζεύγους.
- Με την προσθήκη συστήματος UPS και αποθήκευση ενέργειας, μπορεί να λειτουργήσει ως σύστημα παροχής ισχύος εξασφαλισμένης ποιότητας.

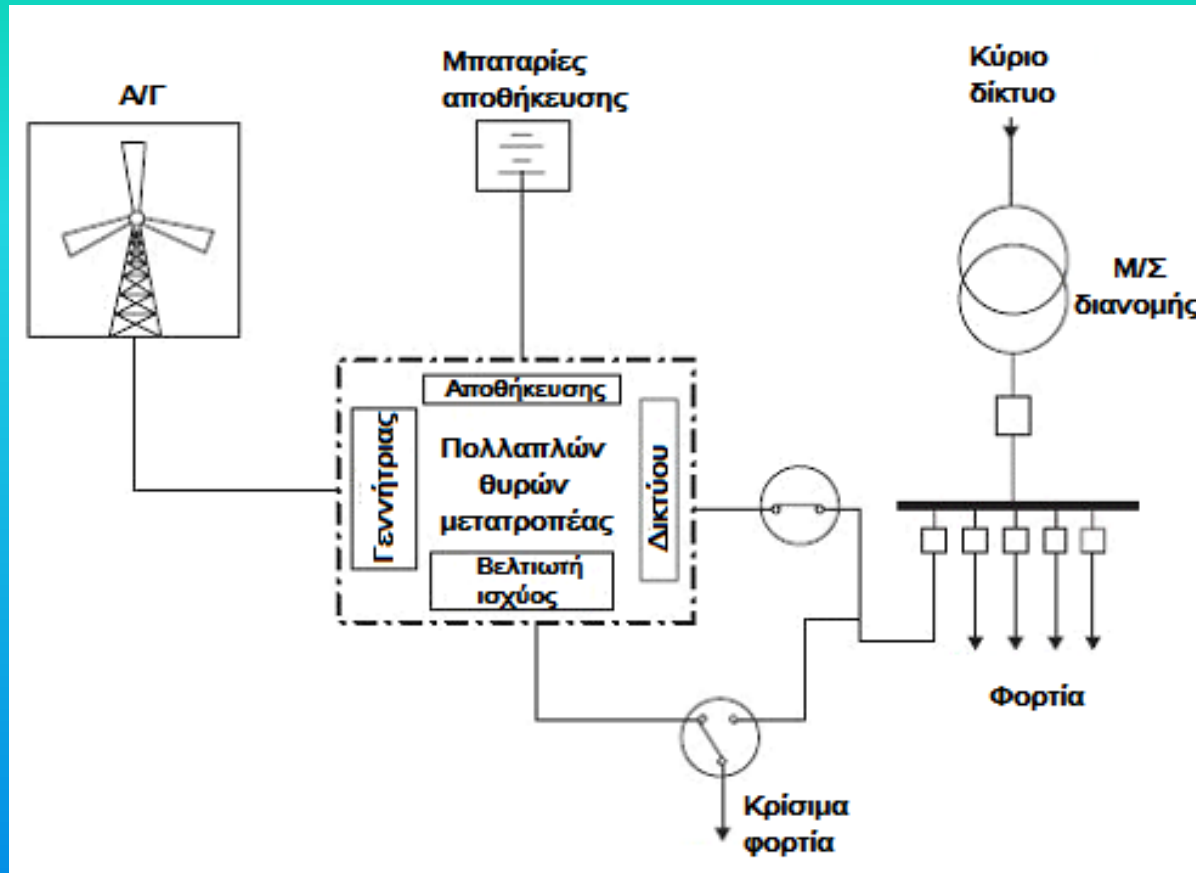
Σύνδεση Φ/Β σε δίκτυο με απαιτήσεις ποιότητας ισχύος



Η ισχύς των Φ/Β είναι μεταβαλλόμενη.

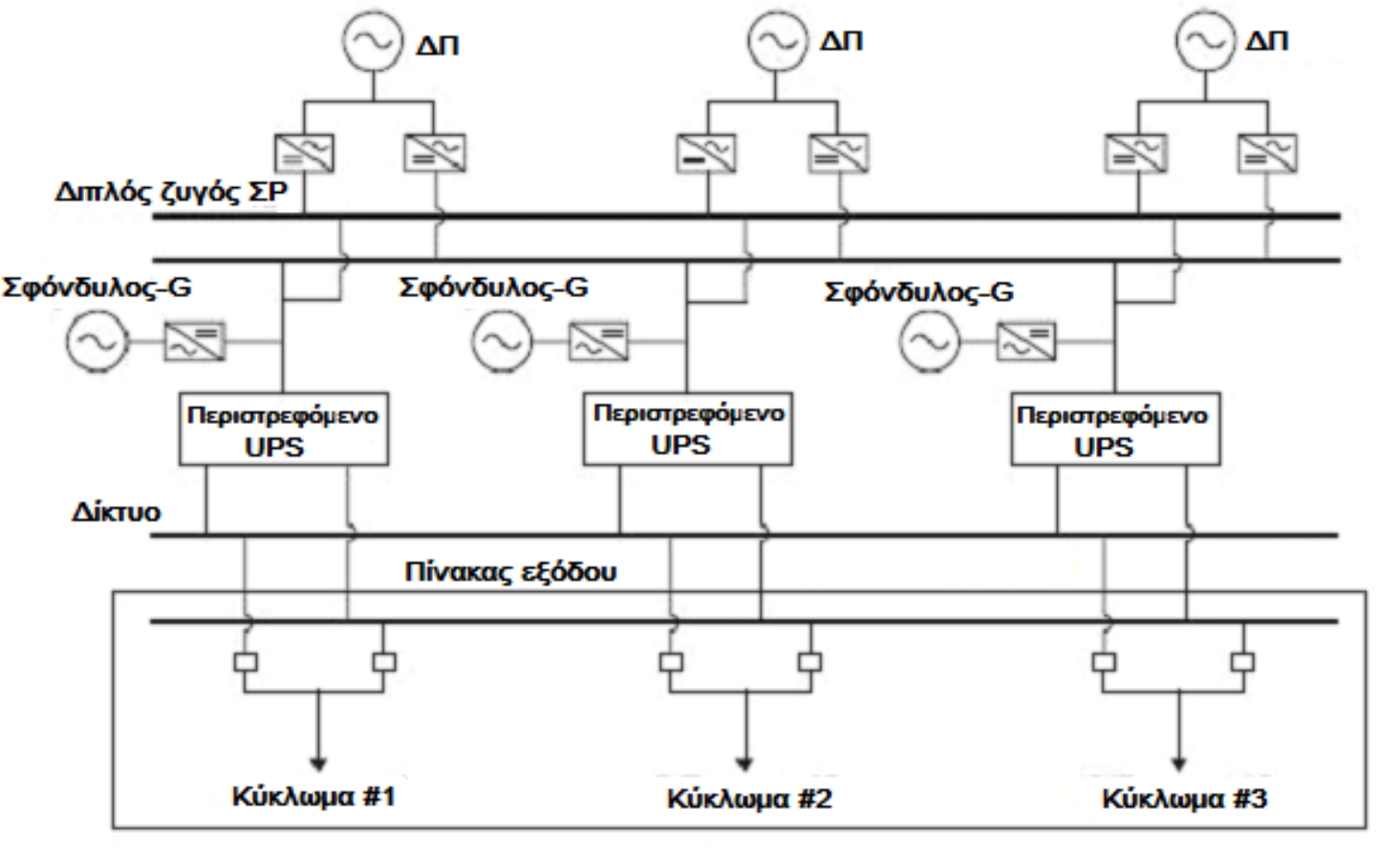
- Μαζί με τις μπαταρίες δημιουργούν ένα υβριδικό σύστημα ΑΠΕ.
- Εγγχεί ισχύ στο δίκτυο που περισσεύει από την κάλυψη του τοπικού φορτίου, αλλά όταν το απαιτεί η ποιότητα ισχύος αυτονομείται.

• Σύνδεση Α/Γ σε δίκτυο με απαιτήσεις ποιότητας ισχύος



- Και εδώ η ισχύς των Α/Γ είναι μεταβαλλόμενη.
- Διαθέτει βελτιωτή ισχύος και αποθήκευση, ώστε τα κρίσιμα φορτία να τροφοδοτούνται αδιαλείπτως με ποιοτική ισχύ ανεξάρτητα εάν εκείνη τη στιγμή είναι διασυνδεδεμένο το σύστημα με το δίκτυο ή όχι.

• Σύστημα πολύ υψηλής αξιοπιστίας με διπλό ζυγό σύνδεσης ΣΡ



*ΔΠ και περιστροφόμενα UPS δίνουν και στους δύο ζυγούς ΣΡ, από όπου παίρνουν και τα φορτία.*

- Χρησιμοποιούνται ΔΠ ως κύρια πηγή παροχής ισχύος, με το δίκτυο ως εφεδρική τροφοδοσία, χωρίς άμεση σύνδεση κατά την κανονική λειτουργία.
- Σφόνδυλοι καλύπτουν μεταβολές της ισορροπίας ισχύος από βλάβες στις ΔΠ και απότομες μεταβολές του φορτίου.

Αυτό το σύστημα έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Πολλαπλές γεννήτριες λειτουργούν παράλληλα και ανεξάρτητα μεταξύ τους.
- Δεν επιτρέπει αντίστροφη (προς το δίκτυο) ροή ισχύος.
- Σπανίζουν οι αποτυχημένοι συγχρονισμοί και τα διαδοχικά σφάλματα.
- Το σύστημα είναι ανθεκτικό σε βλάβες στο σύστημα ελέγχου.
- Μία πηγή με απώλεια τάσης, δεν τραβά ισχύ από τις άλλες πηγές.

Η ενσωμάτωση ΔΠ με UPS και άλλες συσκευές ποιοτικής ισχύος, για να έχει κατάλληλη λειτουργικότητα, πρέπει να εξετάσει τα ακόλουθα θέματα:

- (1) Η αποθηκευμένη ενέργεια πρέπει να καλύπτει τα φορτία μέχρι να αρχίσει την τροφοδοσία η εφεδρική τροφοδοσία.
- (2) Το σύστημα ΔΠ για τη τροφοδοσία κρίσιμων φορτίων πρέπει να διατηρεί πάντοτε τον έλεγχο της τάσης.
- (3) Διασυνδεδεμένα συστήματα ΔΠ πρέπει να έχουν την κατάλληλη προστασία για επιτυχή αποσύνδεση/σύνδεση, ρύθμιση τάσης/ρεύματος κ.α. κατά την εκκαθάριση βραχυκυκλώματος και επανακλείσιμο του διακόπτη.

Συστήματα ΔΠ με UPS και στατικά φίλτρα πρέπει να εξετάζουν τη δυνατότητα ελέγχου της τάσης κατά την υποφόρτιση του συστήματος, που έχει χωρητική συμπεριφορά και παρατηρείται υπέρταση.

- 5) Συστήματα ΔΠ πρέπει να έχουν ικανοποιητικό πλεονασματικό εξοπλισμό για να τροφοδοτούν με υψηλής αξιοπιστίας ισχύ τα ευαίσθητα φορτία, όπως διπλούς ζυγούς, SSTS, κ.α.
  - 6) Ομάδες συστημάτων ΔΠ πρέπει να διαχωρίζονται μεταξύ τους με αντιπυρικούς τοίχους για προστασία από τον κίνδυνο πυρκαγιάς.
  - 7) Τα συστήματα ΔΠ σε κατάσταση εφεδρείας πρέπει να έχουν διπλούς εκκινητές, ειδικά φίλτρα καυσίμου, κ.α., για αξιόπιστη εκκίνηση όποτε χρειαστούν.
- Τα συστήματα ΔΠ που χρησιμοποιούνται ως οι κύριοι τροφοδότες ισχύος πρέπει να πληρούν όλες τις προδιαγραφές για ποιότητα ισχύος και αξιοπιστία, αφού αυτά καθορίζουν ουσιαστικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά μόνιμης λειτουργίας του συστήματος.

- Για τα ευαίσθητα φορτία έχει πολύ μεγαλύτερη αξία η αύξηση της αξιοπιστίας και της ποιότητας ισχύος από τη προστασία από συσκοτίσεις (blackout), που συμβαίνουν σπάνια.
- Έχει αποδειχθεί ότι οι ΔΠ μπορούν να αξιοποιηθούν στην απαιτούμενη βελτίωση της ποιότητας ισχύος και της αξιοπιστίας.
- Στην οικονομική τεκμηρίωση για αποδοτική επένδυση σε ενσωματωμένες ΔΠ στο δίκτυο για παραγωγή ενέργειας, κάλυψη του μέγιστου φορτίου και άλλες βοηθητικές υπηρεσίες, πρέπει να προστεθεί και η ικανότητα για χρήση τους ως εφεδρικές παραγωγές και αποφυγή της επένδυσης σε ζεύγη κινητήρα ντίζελ-γεννήτριας.



Για να δώσει λύση η ενσωμάτωση της ΔΠ και στα προβλήματα ποιότητας ισχύος και αξιοπιστίας πρέπει να διευθετήσουμε τα ακόλουθα θέματα:

- (1) Τα προβλήματα ποιότητας ισχύος που προκαλούν οι ίδιες οι ΔΠ πρέπει στις μελλοντικές κατασκευές να μην υπάρχουν.
- (2) Οι κανόνες διασύνδεσης, που απαγορεύουν στις ΔΠ να παρέχουν εφεδρική ισχύ κατά τη διακοπή του δικτύου, πρέπει να επανεξεταστούν από τεχνική και οικονομική άποψη.
- (3) Οι καταναλωτές με ΔΠ πρέπει να ενθαρρύνονται να καλύπτουν έκτακτα φορτία του συστήματος και να επιτρέπεται να συμμετέχουν στη λιαν. αγορά. Εναλλακτικές τεχνικές, όπως η συμμετοχή μηχανών διπλού-καυσίμου χωρίς εκπομπές ρύπων στην οικονομική λειτουργία του συστήματος, η ενσωμάτωση ηλεκτρονικών ισχύος στις ΔΠ, UPS κ.α., χρειάζεται να ολοκληρωθούν για να βελτιωθούν οι ευκαιρίες αύξησης της αγοράς.

- 5) Η ενσωμάτωση ΔΠ πρέπει να εφαρμόζει αποτελεσματική, αλλά λογικού κόστους, προστασία.
- 6) Πρέπει να αναπτυχθούν αναλυτικότερες και κοινές πρακτικές οδηγίες για την αποτελεσματική μελλοντική ενσωμάτωση των ΔΠ.