

# Εξελιγμένα δίκτυα συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας (1<sup>η</sup> ενότητα)

## Εισαγωγή - Η εξέλιξη των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας

Παναγής Βοβός - Επίκ. Καθηγητής

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών

Πανεπιστήμιο Πατρών

## ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

- Η αναβάθμιση των Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΜΗΕ) άρχισε το 1954 με τη χρήση μετατροπέων AC/DC βαλβίδων υδραργύρου σε υποθαλάσσια DC διασύνδεση στη Σουηδία.
- Το 1972 χρησιμοποιήθηκαν βαλβίδες θυρίστορ, στην ασύγχρονη διασύνδεση (Back to Back) στον Καναδά.
- Μέχρι το τέλος του 20<sup>ου</sup> αιώνα κυριάρχησαν οι μετατροπείς φυσικής μεταγωγής (line commutated - τι είναι;) με βαλβίδες θυρίστορ, με θεαματική ανάπτυξη των διακοπτικών στοιχείων ισχύος στερεάς κατάστασης.

Αναπτύχθηκε πλήθος ελεγκτών με στόχο τον έλεγχο ροής άεργης και πραγματικής ισχύος στα ΣΜΗΕ και αύξηση της μεταφορικής τους ικανότητας.

- Αυτοί ενσωματώθηκαν ήδη από το 1986 στα ΣΜΗΕ, τα οποία ονομάστηκαν Ευέλικτα Συστήματα Μεταφοράς AC (Flexible AC Transmission System (FACTS)).

- Τα FACTS αξιοποιούν μεγάλης ταχύτητας διακόπτες ισχύος στερεάς κατάστασης, προχωρημένη θεωρία ελέγχου, σύγχρονους επεξεργαστές και επικοινωνίες οπτικών ινών για αποστολή και λήψη σημάτων σε επίπεδο υψηλών τάσεων.
- Από το 1990 καθιερώθηκε η ιδέα εφαρμογής αντίστοιχων ελεγκτών στα συστήματα διανομής, για βελτίωση της Ποιότητας Ισχύος προς τους τελικούς καταναλωτές.
- Ο όρος Ποιότητα Ισχύος περιγράφει την αυξημένης αξίας ισχύ προς τους καταναλωτές: ουσιαστικά χωρίς διακοπές και διακυμάνσεις.
- Ευέλικτο Σύστημα Διανομής (FDS) είναι αυτό που χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικούς ελεγκτές καθιστά τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας πιο ποιοτική, περισσότερο ελέγξιμη και πιο αποδοτική.
- Οι λόγοι που επέβαλαν αυτή την εξέλιξη είναι:
  - α) Τα νέα αυτοματοποιημένα συστήματα παραγωγής και επεξεργασίας της πληροφορίας στις βιομηχανίες είναι ευαίσθητα σε κακής ποιότητας ισχύ.
  - β) Εκτεταμένη αξιοποίηση των διαθέσιμων τοπικών πηγών ενέργειας/ΑΠΕ. Εμφανίζουν έντονη διακοψιμότητα, μεταβλητότητα και δυσκολία στην πρόβλεψη.
  - γ) Η σύνδεση απομακρυσμένων φορτίων (ασθενή/weak δίκτυα διανομής).
  - δ) Η τροφοδοσία μικρών, απομονωμένων/νησιώτικων φορτίων.
  - ε) Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας «προς όλους» (:).

- Όμως, από τις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα έχουμε εφαρμογές ηλεκτρονικών ισχύος ΚΑΙ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μικρές Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).
- Τα Φ/Β συστήματα (και οι λιγότερο διαδεδομένες κυψέλες καυσίμου) απαιτούν μετατροπή από DC σε AC.
- Α/Γ και μικροί υδροστρόβιλοι έχουμε μεταβλητές στροφές, οπότε χρησιμοποιούνται μετατροπείς AC/DC/AC για να τροφοδοτούν ισχύ στη συχνότητα του δικτύου.
- Η χρήση των ηλεκτρονικών ισχύος αναβάθμισε τεχνολογικά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και μαζί με τις κρατικές επιχορηγήσεις ώθησαν στη ραγδαία ανάπτυξη τους (αφού έγιναν προσιτές οικονομικά).
- Ως κατανεμημένη ή Δισσπαρμένη Παραγωγή (ΔΠ) ορίζεται η διείσδυση της παραγωγής σε τοπικό επίπεδο με σύνδεση στο δίκτυο διανομής.

Η ΔΠ μετέτρεψε το μίας κατεύθυνσης ισχύος, παθητικό δίκτυο διανομής σε διπλής κατεύθυνσης ισχύος, ενεργητικό δίκτυο.

Ενεργά Δίκτυα Διανομής (Active Distribution Networks - ADNs): περιλαμβάνουν επικοινωνίες και αυτοματοποίηση για τον έλεγχο φορτίων και ΔΠ.

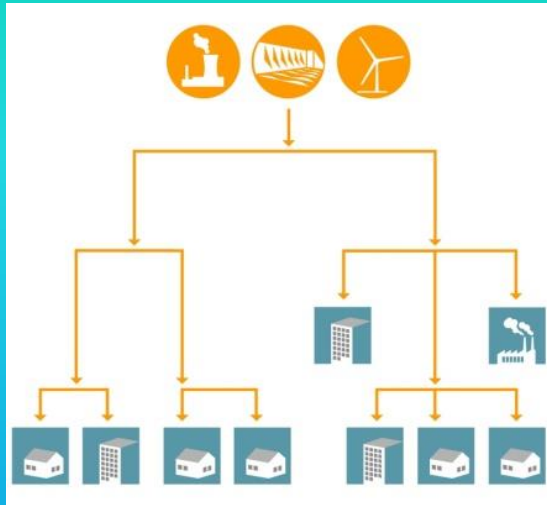
- Τα Ενεργά Δίκτυα Διανομής χρειάζονται ευέλικτο και ευφυή έλεγχο, για να καρπωθούμε ποιοτική ηλεκτρική ενέργεια από τις ΑΠΕ.
- Τα σύγχρονα δίκτυα που έχουν αυτές τις ιδιότητες και εξελίχθηκαν από τα Ενεργά Δίκτυα ονομάστηκαν «μικροδίκτυα» ή «έξυπνα δίκτυα».
- Η εμπορική εκμετάλλευση τέτοιων προηγμένων δικτύων προαπαιτεί λύση προβλημάτων στους ακόλουθους τομείς:
  - 1) εξελιγμένους αισθητήρες και μετρήσεις.
  - 2) κατανεμημένες επικοινωνίες.
  - 3) ενεργός έλεγχος εκτεταμένων περιοχών.
  - 4) προσαρμοστική προστασία και έλεγχος.
  - 5) αξιόπιστες/εμπορικές συσκευές διαχείρισης δικτύων.
  - 6) προσομοίωση δικτύων σε πραγματικό χρόνο.
  - 7) ευφυείς μεθόδους εξαγωγής γνώσης.
  - 8) νέα σχεδίαση συστημάτων μεταφοράς και διανομής.

- Καθοριστική είναι η συνεισφορά των ηλεκτρονικών ισχύος στην ανάπτυξη των συσκευών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στα μικροδίκτυα.
- Έχουν αποθηκευτική ικανότητα μερικών δεκάδων MJ και μπορούν για μερικές εκατοντάδες ms να τροφοδοτήσουν φορτία ισχύος μερικών MW (αξιοποιούνται στα FACTS και τα FDS).

Η αποθήκευση της ενέργειας γίνεται σε μπαταρίες, υπερπυκνωτές, υπεραγώγιμα πηνία και σφονδύλους με υπεραγώγιμη έδραση.

# Ανακεφαλαίωση: Από τα παραδοσιακά στα έξυπνα δίκτυα

Παραδοσιακά  
δίκτυα



- Κεντρική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Μίας κατεύθυνσης ροή ισχύος
- Η παραγωγή ακολουθεί το φορτίο
- Από πάνω προς τα κάτω προγραμματισμός λειτουργίας
- Λειτουργία βασισμένη στην εμπειρία

Έξυπνα δίκτυα



- Κεντρική και κατακεκομημένη παραγωγή
- Μεταβλητή παραγωγή ανανεώσιμων πηγών
- Πολλών κατευθύνσεων ροή ισχύος
- Ευελιξία στη ζήτηση – το φορτίο παρακολουθεί την παραγωγή
- Λειτουργία βασισμένη σε δεδομένα πραγματικού χρόνου

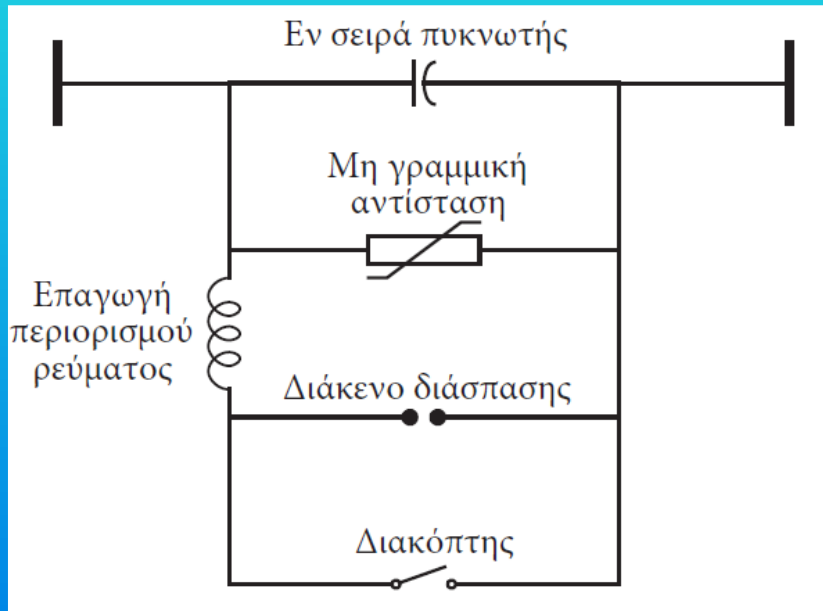
## ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΑ FACTS

- Η δημιουργία των FACTS επιτυγχάνεται με τη συλλογική δράση πολλών ελεγκτών, τοποθετημένων σε διάφορα σημεία του δικτύου.
- Για το λόγο αυτό ο κεντρικός έλεγχος και συντονισμός όλων των ελεγκτών είναι απαραίτητος για να επιτύχουμε το βέλτιστο αποτέλεσμα.
- Επομένως, απαραίτητη ιδιότητα ελεγκτή επιτήρησης FACTS: δυνατότητα για σύνθετο, απομακρυσμένο έλεγχο.
- Για την ελαχιστοποίηση του κόστους των ελεγκτών, μπορεί σε κάποια τμήματα των FACTS να χρησιμοποιούνται μηχανικοί διακόπτες και σε άλλα ηλεκτρονικοί διακόπτες (ανάλογα με την απαιτούμενη ταχύτητα δράσης).
- Έχει αποδειχτεί ότι ο ηλεκτρονικός έλεγχος τμήματος μόνο του ελεγκτή επιτυγχάνει το επιθυμητό αποτέλεσμα.



## Χωρητική αντιστάθμιση

- Η διαδοχική σύνδεση πυκνωτών εν σειρά σε γραμμές μεταφοράς μειώνει βηματικά την εν σειρά επαγωγική αντίδραση της γραμμής.

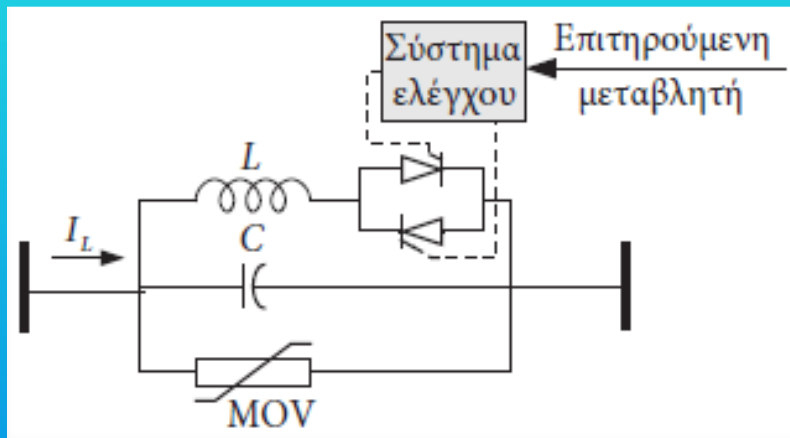


Σχηματική παράσταση τυπικής χωρητικής αντιστάθμισης σειράς.

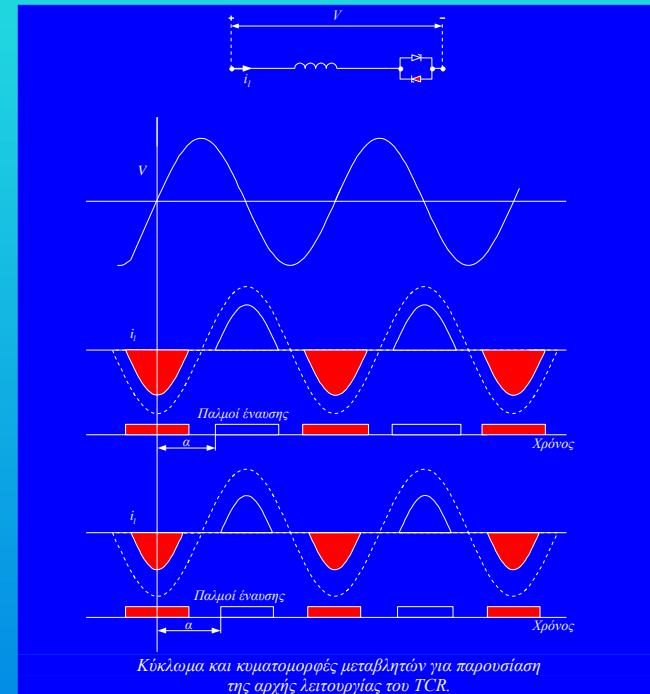


Τράπεζες πυκνωτών υψηλής τάσης.

- Μικροί χρόνοι σύνδεσης-αποσύνδεσης πυκνωτών επιτυγχάνονται με διακόπτες στερεάς κατάστασης (όπως θυρίστορ) και η συσκευή που προκύπτει ονομάζεται «πυκνωτής σειράς συνδεόμενος με θυρίστορ» (Thyristor Switched Series Capacitor (TSSC)).

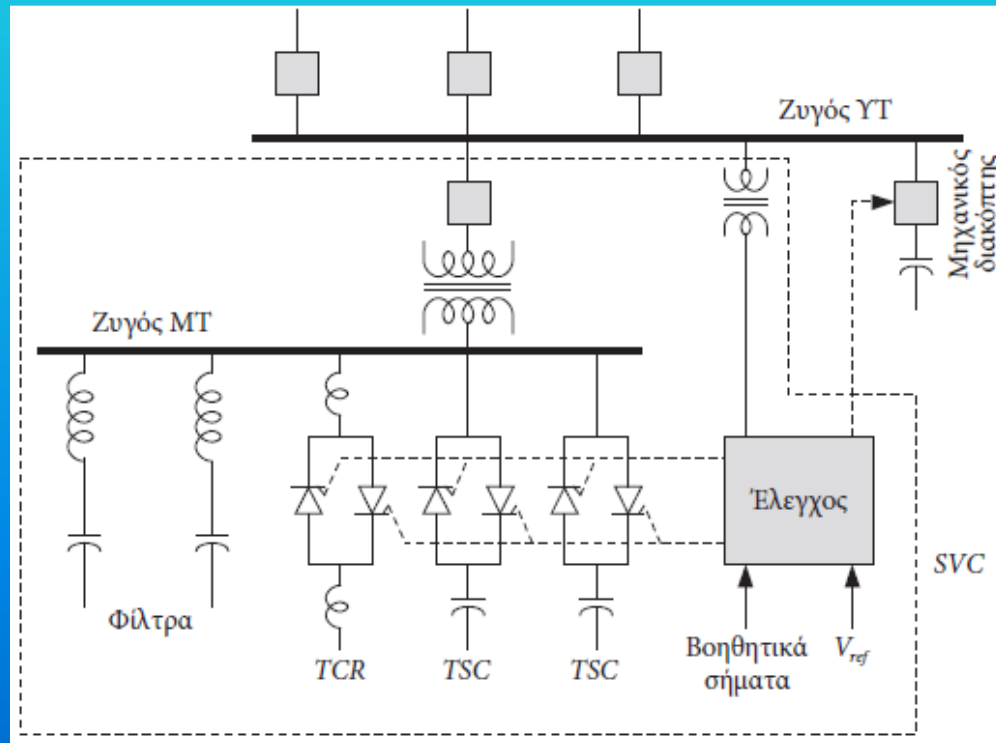


Πυκνωτής σειράς ελεγχόμενος με θυρίστορ.



- Μία συνεχής μεταβολή της εν σειρά επαγωγικής αντίστασης της γραμμής επιτυγχάνεται με τους πυκνωτές/επαγωγές εν σειρά ελεγχόμενους με θυρίστορ (Thyristor Controlled Series Capacitor/Reactor (TCSC/TCSR)).

- Η εγκάρσια χωρητική και επαγωγική αντιστάθμιση αντιμετωπίζει προβλήματα αντιστάθμισης της άεργης ισχύος.
- Η χρήση στατικών διακοπών με θυρίστορ οδήγησε στην ανάπτυξη των στατικών αντισταθμιστών var (Static Var Compensator (SVC)) το 1960.



Τυπικό στατικό σύστημα VAR.

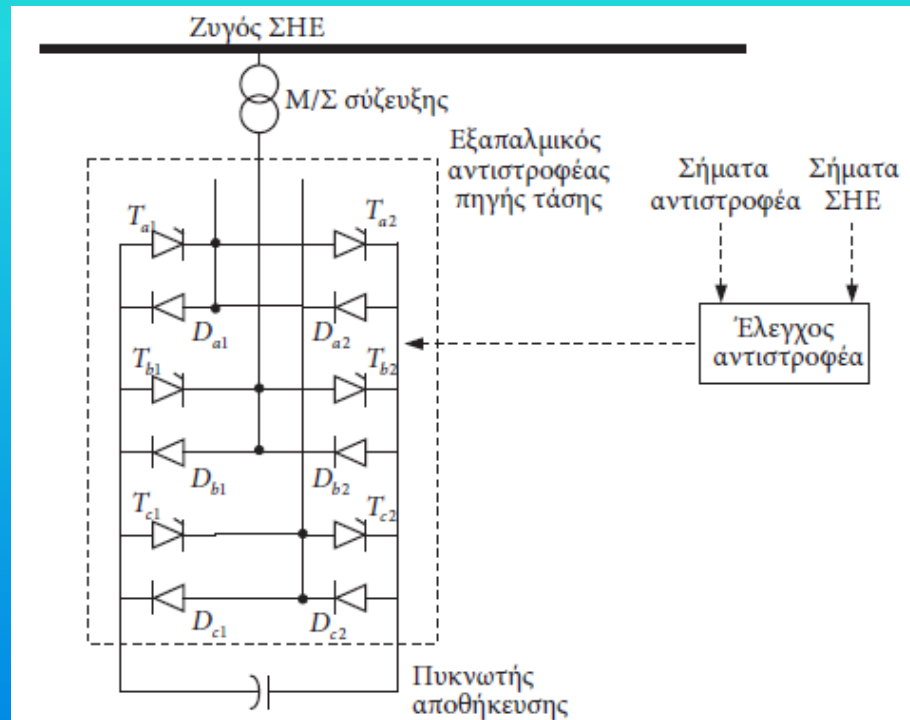


*Σταθμός SVC στο Λονδίνο.*

Η άεργη ισχύς που αποδίδει είναι ίση με το τετράγωνο της τάσης διηρημένη με τη συνολική μιγαδική αντίσταση του SVC:

- μειώνεται δραστικά κατά τη βύθιση της τάσης: τότε δηλαδή που τη χρειαζόμαστε περισσότερο !

- Ο στατικός σύγχρονος αντισταθμιστής (Static Synchronous Compensator, STATCOM) παρέχει άεργη ισχύ που είναι ίση με το γινόμενο της τάσης με το ρεύμα: σε βύθιση της τάσης τροφοδοτεί σημαντική άεργη ισχύ (πώς;).



Στατικός σύγχρονος αντισταθμιστής (STATCOM)

- Όταν διαθέτει και σύστημα αποθήκευσης, μπορεί να τροφοδοτεί το σύστημα με πραγματική ισχύ για μικρό (;) χρονικό διάστημα.

- Ο STATCOM επιτυγχάνει:
  - έλεγχο της τάσης σε μόνιμες, μεταβατικές και δυναμικές συνθήκες λειτουργίας,
  - αντιμετωπίζει τις γρήγορες διακυμάνσεις της τάσης,
  - συμβάλει στην απόσβεση των ταλαντώσεων και μπορεί να αποτρέψει τον υποσύγχρονο συντονισμό.
- Η κατασκευή του σε μεγάλες ισχύες, με μικρές απώλειες και λογικό κόστος είναι ακόμα αντικείμενο έρευνας.

(χρειαζόμαστε κατάλληλους ηλεκτρονικούς διακόπτες μεγάλης ισχύος, με μεγάλη συχνότητα αναβοσβησίματος, στην περιοχή των KHz)

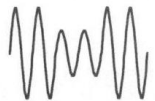
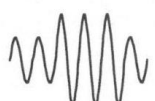
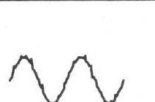
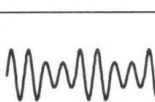




## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΑ FDS ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ

- Κατά IEC(1000-2-2/4) και CENELEC (EN50160), ως «Ποιότητα ισχύος (Power Quality) ορίζεται το χαρακτηριστικό του ηλεκτρισμού που παρέχεται στους καταναλωτές, βάσει του οποίου υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, δεν ενοχλούνται και δε διακόπτονται οι διαδικασίες τους».
- Μία παροχή ισχύος μπορεί να θεωρηθεί **αξιόπιστη**, όταν δεν παρουσιάζει διακοπές ή όταν οι διακοπές που παρουσιάζονται είναι ελάχιστες και μικρής διάρκειας.
- Για να θεωρηθεί **ποιοτική**, δεν αρκεί να είναι αξιόπιστη: η κυματομορφή της τάσης πρέπει να είναι σχεδόν ιδανική (;).

Συνολικά: για τα σημερινά, «ευαίσθητα» φορτία, μεγάλη σημασία έχει ο συνολικός αριθμός των διακοπών και η συχνότητα, η διάρκεια και το μέγεθος των βυθίσεων τάσης.

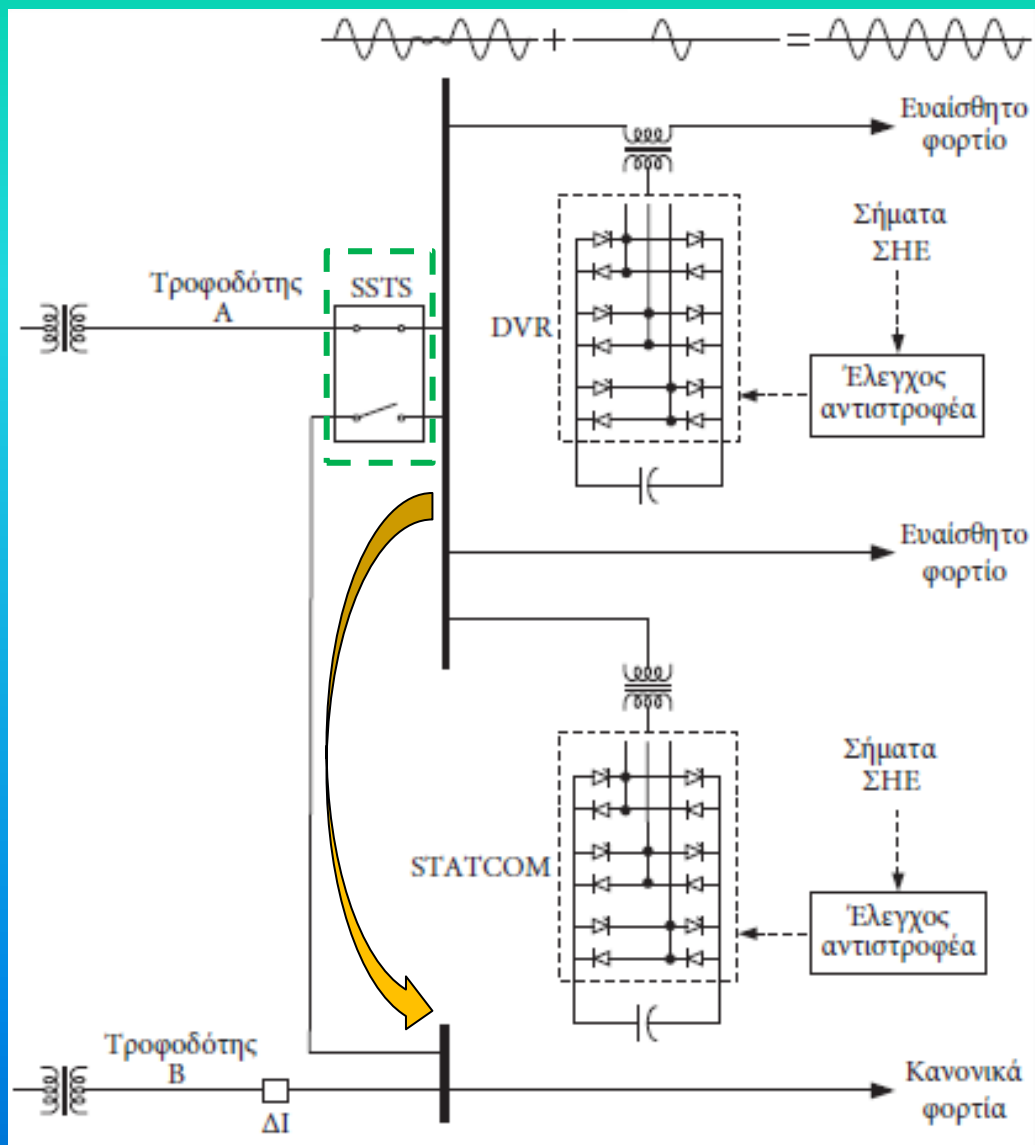


## Διαταραχές τάσης και συχνότητας

Τύπος διαταραχής		Πιθανές αιτίες πρόκλησης	Επιπτώσεις
Βύθισμα τάσης (Voltage dip or sag)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Επιτυχή εκκαθάριση βραχυκυκλωμάτων, που προεκλήθησαν από κεραυνούς, υπερπήδηση μονωτήρων κ.λ.π.</li> <li>Εκκίνηση μεγάλων κινητήρων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Διακοπή λειτουργίας εξοπλισμού, ιδιαίτερα ηλεκτρονικών συσκευών</li> </ul>
Υπέρταση (Overvoltage or swell)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Βραχυκύκλωμα σε άλλη φάση</li> <li>Πτώση κεραυνού στο δίκτυο</li> <li>Λανθασμένη ρύθμιση σε υποσταθμό (διατηρούμενη υπέρταση)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Πιθανή ζημιά εξοπλισμού με ανεπαρκείς ανοχές σχεδίασης</li> </ul>
Παραμόρφωση αρμονικών (Harmonics distorsion)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Μη γραμμικά φορτία</li> <li>Συντονισμοί</li> <li>Κορεσμός μετασχηματιστή</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Επιπρόσθετη θέρμανση μηχανών</li> <li>Διαταραχή στη λειτουργία ηλεκτρονικού εξοπλισμού</li> </ul>
Αναλαμπές ή Διακυμάνσεις τάσης (Flicker or fluctuations)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Εκκίνηση μεγάλων κινητήρων</li> <li>Κάμιοι ηλεκτρικού τόξου</li> <li>Επαναλαμβανόμενα μεγάλα φορτία (π.χ. συγκόλληση ηλεκτρικού τόξου)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εξασθένιση εξοπλισμού</li> <li>Δυσλειτουργίες</li> </ul>
Μεταβατικές υπερτάσεις (Transient overvoltages or impulse)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Πτώση κεραυνού</li> <li>Διακοπτική λειτουργία</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Διάσπαση μόνωσης</li> <li>Μείωση χρόνου ζωής μετασχηματιστών, κινητήρων, κ.λ.π.</li> </ul>
Διακοπή (Interruption or outage)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Κοντινά βραχυκυκλώματα</li> <li>Εσφαλμένη διακοπτική λειτουργία</li> <li>Αυτόματη απόρριψη φορτίων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Διακοπή λειτουργίας εξοπλισμού</li> </ul>
Ανισοροπία φάσης (Phase unbalance)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Μονοφασικά φορτία</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Υπερθέρμανση μηχανών</li> </ul>
Μεταβολή συχνότητας (Frequency variation)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Υπερφόρτιση ή υποφόρτιση του ΣΗΕ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Επίδραση στη λειτουργία όλων των συσκευών, που επηρεάζονται από τη συχνότητα.</li> </ul>



- Μία κεντρική λύση για την αντιμετώπιση των διαταραχών της τάσης με λογικό κόστος δίνεται από τον εξοπλισμό για τη δημιουργία των FDS.
- Αυτός ο εξοπλισμός χρησιμοποιεί την ίδια τεχνολογία με τους ελεγκτές των FACTS (δηλ. τοπικά), αλλά εξυπηρετεί διαφορετικούς σκοπούς με διαφορετική οικονομική αιτιολόγηση (δηλ. κεντρικά).
- Σκοπός των ελεγκτών είναι να εξασφαλίζουν ότι ευαίσθητα φορτία θα αντιλαμβάνονται διακοπές ή διαταραχές της τάσης για χρονικό διάστημα μικρότερο π.χ. του ενός κύκλου.
- Λόγω της μικρής ισχύος τους, μπορούν να αξιοποιούν όλους τους τύπους διακοπών στερεάς κατάστασης για βέλτιστη σχεδίαση (σε απόδοση και κόστος).
- Για βραχυχρόνια κάλυψη του πραγματικού φορτίου χρησιμοποιούν συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.



Ελεγκτές για τη διασφάλιση ευαίσθητων φορτίων από διακοπές και διαταραχές της τάσης

## ΔΙΚΤΥΑ ΜΕ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

40% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διεθνώς παράγεται από καύσιμα που προέρχονται από άνθρακα, γι αυτό και είναι ο μεγαλύτερος και ταχύτερα αυξανόμενος ρυπογόνος τομέας σε  $CO_2$  .

Τα καύσιμα αυτά εξαντλούνται γρήγορα, έχουν χαμηλή απόδοση (20% συνολικά) και είναι ρυπογόνα, γι αυτό υπάρχει η τάση για παραγωγή ενέργειας τοπικά, σε τάση διανομής, χρησιμοποιώντας ΑΠΕ.

Αυτός ο τύπος παραγωγής ενέργειας ονομάζεται ΔΠ και η ενσωμάτωσή της στα δίκτυα διανομής τα μετατρέπει σε ενεργά δίκτυα διπλής κατεύθυνσης, από παθητικά μονής κατεύθυνσης, που ήταν ο αρχικός τους σχεδιασμός.

Κάποια κοινά χαρακτηριστικά της ΔΠ είναι:

- 1) Ο σχεδιασμός της εγκατάστασης και της διαχείρισής της δεν γίνεται κεντρικά.
- 2) Είναι συνήθως μικρότερης ισχύος από 50 MW.
- 3) Η ΔΠ συνήθως είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής με τάση μεταξύ 230/415 V μέχρι 150 kV.

- Στη βιβλιογραφία ορίζονται ως Ενεργά Δίκτυα Διανομής (ΕΔΔ) (Active Distribution Networks (ADN)) αυτά που περιλαμβάνουν επικοινωνίες, αυτοματοποίηση, **τον έλεγχο του φορτίου και της παραγωγής**, την αποθήκευση ενέργειας και την αξιοποίηση των ηλεκτρονικών ισχύος.
  - Σήμερα, ο ρυθμός αύξησης της παραγωγής από ΑΠΕ είναι υψηλός, αλλά η συνεισφορά τους στην συνολικά χρησιμοποιούμενη ενέργεια παραμένει σχετικά μικρός.
  - Επειδή οι ΑΠΕ είναι μη προβλέψιμες και μεταβαλλόμενες, υπάρχει ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας και συντονισμό των παραγωγών με τη μεταβαλλόμενη κατανάλωση, ενώ ...
  - η μεταβλητότητα των ΑΠΕ επιβάλλει υποστήριξη από το δίκτυο.
- Γι' αυτό επιβάλλονται περιορισμοί στο ποσοστό της ΔΠ που μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο, ώστε να μην επηρεαστούν η ευστάθεια, η αξιοπιστία και η ποιότητα ισχύος του συστήματος.

- Απαιτούνται σημαντικές αλλαγές στη δομή, στον τρόπο λειτουργίας και στη διαχείριση του ηλεκτρικού συστήματος, ώστε να υποστηρίζεται η σύνδεση περισσότερων μονάδων ΔΠ.
- Σήμερα αν συμβεί κάποιο σφάλμα στο δίκτυο διανομής, η τοπική ΔΠ αποσυνδέεται, μέχρι να εκκαθαριστεί το σφάλμα (αντι-νησιδοποίηση)...
- ενώ για την καλύτερη εκμετάλλευση του δικτύου πρέπει η ΔΠ να παραμένει συνδεδεμένη και να βοηθά το σύστημα!
- **Μερικά βασικά προβλήματα που δημιουργεί η ΔΠ και χρειάζονται διερεύνηση είναι:**
  - Περιορισμοί στα ρεύματα μόνιμης κατάστασης και βραχυκυκλώματος.
  - Ποιότητα ισχύος.
  - Προφίλ τάσης, άεργη ισχύς και έλεγχος τάσης.
  - Συνεισφορά της ΔΠ στις βοηθητικές υπηρεσίες (ancillary services).
  - Ευστάθεια και ικανότητα της ΔΠ στην αντιμετώπιση διαταραχών.
  - Θέματα προστασίας.
  - Απομονωμένη (islanding) και διασυνδεδεμένη λειτουργία της ΔΠ.
  - Ασφάλεια συστήματος.

- Για να βελτιωθεί η απόκριση ενός δικτύου διανομής με σημαντική ΔΠ χρειάζεται ένα επικοινωνιακό σύστημα μεταξύ φορτίου-κέντρου διαχείρισης-ΔΠ.
- Τότε ο Διαχειριστής του Συστήματος Διανομής (ΔΣΔ) μπορεί να θεωρήσει τη ΔΠ ως μία επιπλέον παράμετρο ελέγχου στο προγραμματισμό της λειτουργίας του συστήματος.
- Η Τεχνολογία Πληροφορικής και Επικοινωνιών δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης και ελέγχου της ΔΠ και την μετατρέπει από αίτιο των αντίστοιχων προβλημάτων...
- σε αποδοτική μέθοδο παροχής ισχύος και αποτροπής απωλειών ευστάθειας, αξιοπιστίας και ποιότητας ισχύος.

- Τα μικροδίκτυα είναι ένα παράδειγμα δραστηκής αλλαγής από τη φιλοσοφία του κεντρικού ελέγχου σε ένα κατανεμημένο έλεγχο, όπου ενσωματώνονται οι τεχνολογίες του μέλλοντος.
- Μπορούν να λειτουργούν χωρίς αυτονομία, όταν είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ή αυτόνομα όταν είναι αποσυνδεδεμένα από το δίκτυο.
- Για να έχουν ευσταθή και ασφαλή λειτουργία απαιτείται σημαντική έρευνα, ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών, καθώς και υποδομή πληροφορικής και επικοινωνιών, ώστε να εξασφαλίζουν σημαντικά ωφέλει σε σύγκριση με την παραδοσιακή (καθετοποιημένη/κεντρική) πολιτική ελέγχου.

**Στα μικροδίκτυα η ΔΠ συνήθως περιλαμβάνει συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (Combined Heat and Power (CHP)) και ΑΠΕ.**

- Η τοπική παραγωγή μπορεί να καλύπτει τα φορτία μίας μικρής κοινότητας, τουλάχιστον εν μέρει: τα πιο «κρίσιμα», «ευαίσθητα», «ακριβά» !

- Όλες οι ΔΠ είναι εφοδιασμένες με ηλεκτρονικά ισχύος και έλεγχο, ώστε να λειτουργούν σαν ένα ενιαίο σύστημα και να διατηρούν συγκεκριμένη ποιότητα ισχύος και ενέργεια εξόδου.
- Με αυτά τα χαρακτηριστικά το μικροδίκτυο αντιμετωπίζεται από το κύριο σύστημα ως μία ενιαία ελεγχόμενη μονάδα (**VPP;**) που πληροί τις τοπικές ενεργειακές ανάγκες με αξιοπιστία και ασφάλεια.
- **Οι βασικές διαφορές ανάμεσα σε ένα μικροδίκτυο και ένα συμβατικό σταθμό παραγωγής ενέργειας είναι:**
  1. Οι μικροπαραγωγές είναι πολύ μικρότερης ισχύος (<100 kW).
  2. Η ενέργεια που παράγεται από τις ΔΠ τροφοδοτείται απευθείας στη διανομή.
  3. Οι ΔΠ εγκαθίστανται συνήθως κοντά στους καταναλωτές, ώστε τα φορτία να έχουν σχεδόν σταθερή τάση/συχνότητα και η τροφοδοσία τους να επιφέρει αμελητέες απώλειες γραμμής.



- Με το μικροδίκτυο οι καταναλωτές καλύπτουν αδιάλειπτα τις ανάγκες τους σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια με:
  - αυξημένη τοπική αξιοπιστία,
  - ελαττωμένες απώλειες τροφοδοσίας,
  - υποστήριξη της τοπικής τάσης και
  - αυξημένη απόδοση από την αξιοποίηση της αποβαλλόμενης θερμότητας (CHP μονάδες).
- Η λειτουργία και διαχείριση του μικροδίκτυου σε διασυνδεδεμένη και αυτόνομη λειτουργία ελέγχεται και συντονίζεται μέσω:
  - A) τοπικών ελεγκτών στις μικροπαραγωγές (Microsource Controller **(MC)**),
  - B) μέσω του κεντρικού ελεγκτή (Central Controller **(CC)**).

## Οι βασικές λειτουργίες των MC είναι:

- Ο ανεξάρτητος έλεγχος (χωρίς επικοινωνία με τον CC) της ροής ισχύος και της τάσης στα φορτία κατά τις μεταβολές τους ή σε διαταραχές.
- Συμμετοχή στον προγραμματισμό οικονομικής λειτουργιάς και στον έλεγχο των συσκευών αποθήκευσης ενέργειας, που ανταποκρίνονται στην απόκριση του φορτίου (Demand Response (DR)).
- Ρύθμιση της παραγωγής σε κάθε μικροπαραγωγή ανάλογα με το φορτίο που της αναλογεί σε αυτόνομη λειτουργία.
- Αυτόματη επαναφορά στη διασυνδεδεμένη λειτουργία, όταν οι συνθήκες το επιτρέψουν.

Ο MC εξασφαλίζει ότι οι μικροπαραγωγές μπορούν να συνδέονται και να λειτουργούν (plug and play) σε οποιαδήποτε θέση του μικροδίκτυου χωρίς να επηρεάζουν τον έλεγχο και την προστασία των υπόλοιπων μικροπαραγωγών.

- Ο MC μπορεί να παρακάμψει τις οδηγίες από τον CC, όταν κρίνονται εσφαλμένες/παράλογες/επικίνδυνες για τη μικροπαραγωγή.

## Οι βασικές λειτουργίες του CC είναι:

- Έχει το συνολικό έλεγχο της λειτουργίας και της προστασίας του μικροδίκτυου μέσω των MCs.
- Στόχοι του είναι: i) Η διατήρηση της τάσης και της συχνότητας του μικροδίκτυου, μέσω τεχνικών ελέγχου της τάσης και του βρόχου P-f. ii) Η εξασφάλιση ενεργειακής βελτιστοποίησης για το μικροδίκτυο.
- Έχει δύο μονάδες:
  1. ο καθορισμός των σημείων λειτουργίας για ισχύ και τάση σε κάθε MC γίνεται με το Energy Management Module (EMM) και
  2. ο συντονισμός των συστημάτων προστασίας γίνεται με το Protection Coordination Module (PCM).

- **Οι βασικοί λόγοι για την ανάπτυξη των μικροδίκτυων είναι:**

- 1) Μικρότερη περιβαλλοντική επίδραση, λόγω μειωμένων εκπομπών αερίων και σωματιδίων.
- 2) Η μείωση της απόστασης μεταξύ των φορτίων και των μικροπαραγωγών που οδηγεί σε:
  - Βελτίωση του προφίλ της τάσης, λόγω καλύτερης στήριξης από την άεργο ισχύ.
  - Μείωση των απωλειών σε μεταφορά και διανομή.
  - Μείωση της συμφόρησης ισχύος στη μεταφορά και διανομή.
  - Μείωση επενδύσεων για επέκταση των συστημάτων παραγωγής και μεταφοράς.
- 3) Βελτίωση της ποιότητας ισχύος και της αξιοπιστίας, μέσω:
  - Αποκέντρωσης της παραγωγής.
  - Καλύτερης αντιστοίχισης παροχής και ζήτησης ενέργειας.
  - Μείωση των επιπτώσεων από τις μεγάλες διακοπές λειτουργίας στη μεταφορά και την παραγωγή.
  - Μείωση του χρόνου διακοπών και βελτίωση του χρόνου επανεκκίνησης της παραγωγής με χρήση της ισχύος των μικροπαραγωγών.

- 4) Εξοικονόμηση χρημάτων μέσω:
  - Χρησιμοποίησης της αποβαλλόμενης θερμότητας όταν λειτουργούν CHP μονάδες.
  - Ενσωμάτωσης πολλών μικροπαραγωγών, ώστε να αυξηθεί η τοπική παραγωγή και να μειωθεί το κόστος απωλειών διανομής και μεταφοράς.
- 5) Κέρδη από τη συμμετοχή στην αγορά ενέργειας:
  - Μείωση της πίεσης που ασκούν οι εταιρείες παραγωγής ενέργειας.
  - Παροχή βοηθητικών υπηρεσιών (εφεδρεία, εξισορρόπηση κλπ).
  - Η ευρεία εφαρμογή μικροπαραγωγών με σύνδεση και άμεση λειτουργία (plug'n'play) μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της τιμής της ενέργειας στην αγορά.
  - Το κατάλληλο οικονομικό ισοζύγιο ανάμεσα σε επενδύσεις για το δίκτυο και τη χρησιμοποίηση μονάδων κατακευματισμένης παραγωγής είναι πιθανό να οδηγήσει σε μείωση της τιμής της ενέργειας των καταναλωτών.

## Μειονεκτήματα από την ανάπτυξη των μικροδίκτυων:

- 1) Υψηλά κόστη ανά kW των μονάδων ΔΠ.
- 2) Τεχνικές δυσκολίες από την απειρία ελέγχου μεγάλου αριθμού μικροπαραγωγών.
- 3) Έλλειψη προτύπων αναφορικά με τη λειτουργία και την προστασία των μικροδίκτυων.
- 4) Νομικά και διαχειριστικά ζητήματα, λόγω έλλειψης νομοθεσίας και κανονισμών σχετικά με τη λειτουργία των μικροδίκτυων.
- 5) Θέματα της αγοράς ενέργειας, όπως ρύθμιση της τιμής της ενέργειας που παρέχει το μικροδίκτυο κατά την αυτόνομη λειτουργία του.

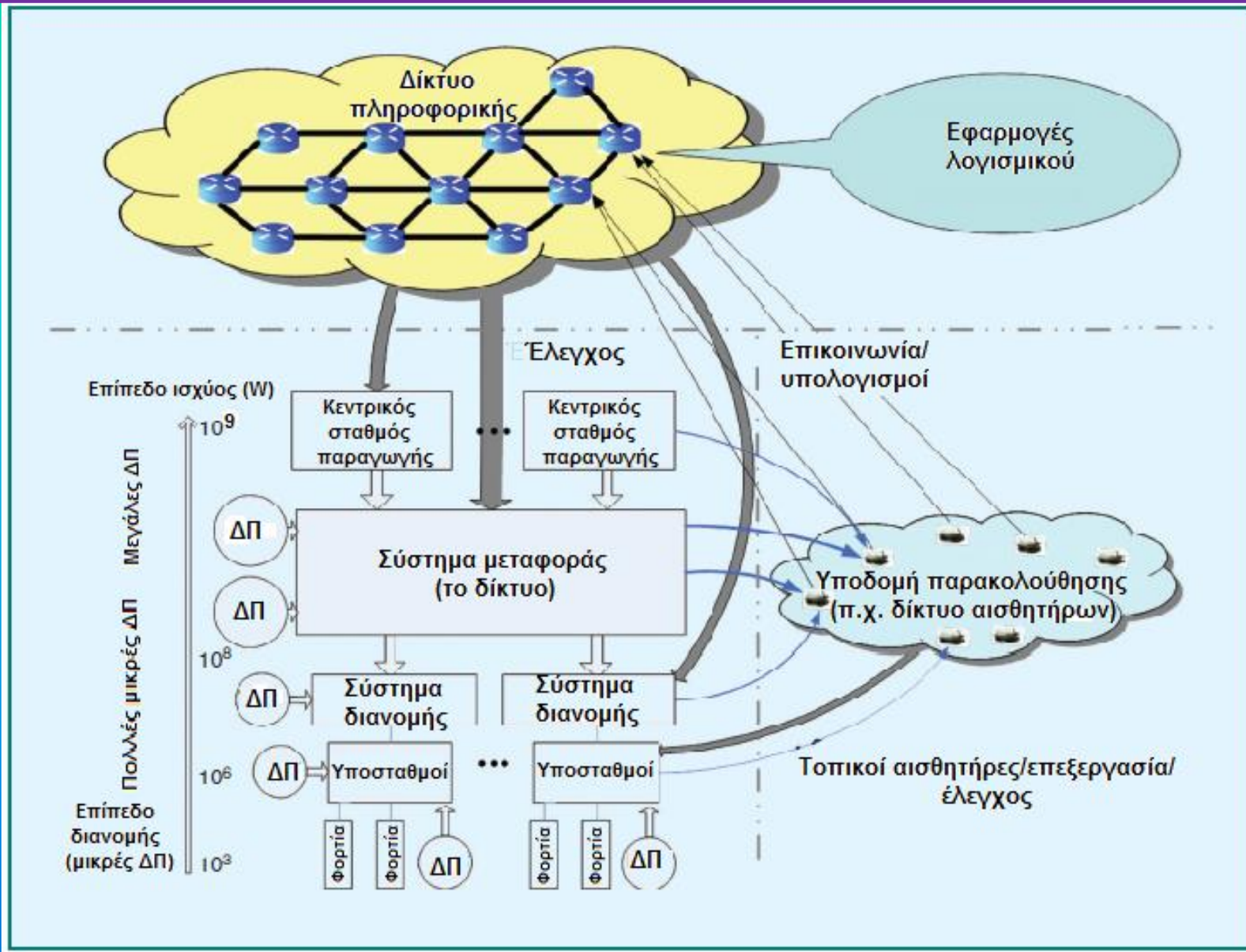
Κατά το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (International Energy Agency (IEA)) ορίζεται ως έξυπνο δίκτυο ένα ηλεκτρικό δίκτυο που :

- 1) χρησιμοποιεί ψηφιακές και άλλες προηγμένες τεχνολογίες για να παρακολουθεί και να διαχειρίζεται τη μεταφορά ενέργειας από όλες τις πηγές παραγωγής ώστε να ικανοποιεί τα μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά φορτία των καταναλωτών.
- 2) συντονίζει τις ανάγκες και τις δυνατότητες όλων των γεννητριών, τους χειριστές του δικτύου, τους καταναλωτές και όλους όσους σχετίζονται με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας για να λειτουργούν όλα τα μέρη του συστήματος όσο γίνεται πιο αποδοτικά ...
- 3) δηλαδή ελαχιστοποιώντας τα κόστη και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενώ μεγιστοποιεί την αξιοπιστία του συστήματος, την ευελιξία και την ευστάθεια.

- **Για τις ΗΠΑ το έξυπνο δίκτυο έχει:** δυνατότητα αυτόματης επιδιόρθωσης (self-healing), συμμετοχή του καταναλωτή στην απόκριση της ζήτησης (demand response), παροχή ποιότητας ισχύος, συνδέεται με όλες τις παραγωγές και συσκευές αποθήκευσης ενέργειας και προωθεί νέα προϊόντα αγοράς.
- **Για την Ευρώπη το έξυπνο δίκτυο είναι:** ευέλικτο, προσπελάσιμο, αξιόπιστο, παρέχει ποιότητα ισχύος και είναι οικονομικά ελκυστικό.
- Τα έξυπνα δίκτυα είναι απαραίτητη προϋπόθεση για να γίνει δυνατή η διείσδυση μεγάλων ποσοτήτων ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, γιατί:
  - i) μπορούν να βοηθήσουν στο ζήτημα της μεταβαλλόμενης ισχύος των ΑΠΕ, ii) στη ρύθμιση τάσης και συχνότητας, καθώς και στα προβλήματα αστάθειας που προκαλούν οι ΑΠΕ.



- Οι νέες απαιτήσεις των ΣΗΕ μπορούν να ικανοποιηθούν με τη μετατροπή σε έξυπνα δίκτυα (smart grid) των ήδη υπαρχόντων δικτύων, τα οποία ήδη εμφανίζουν σημάδια παλαίωσης.
- Για να μετασχηματίσουμε τα κλασσικά δίκτυα σε έξυπνα χρειάζονται επεξεργαστές και αισθητήρες σε κάθε συσκευή, υποσταθμό και μονάδα παραγωγής.
- Κάθε επεξεργαστής με το λογισμικό του πρέπει να εκτιμά τις λειτουργικές συνθήκες, να επικοινωνεί και να συνεργάζεται με τους υπόλοιπους επεξεργαστές, σχηματίζοντας μία μεγάλη υπολογιστική πλατφόρμα.
- Οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ευρωπαϊκή Ένωση και η Κίνα δαπανούν ήδη μεγάλα ποσά στην έρευνα για την εξέλιξη των έξυπνων δικτύων.



Παράδειγμα αρχιτεκτονικής έξυπνου δικτύου

Μέσα από το μετασχηματισμό των δικτύων σε έξυπνα επιδιώκεται η επίλυση των ακόλουθων τεχνολογικών προβλημάτων:

- Η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος του δικτύου, ελαχιστοποιώντας το κόστος, αλλά και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
  - Η διασύνδεση των τοπικών και των απομονωμένων ΑΠΕ στο δίκτυο και η διαχείριση της διακοπτόμενης παραγωγής.
  - Η βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων του δικτύου, με έλεγχο και διαχείριση της ροής ισχύος.
  - Η ελάττωση των απωλειών ισχύος και της αιχμής της ζήτησης στα συστήματα μεταφοράς και διανομής, μέσω του ελέγχου της ροής ισχύος.
  - Η ενσωμάτωση μέσω αποθήκευσης ενέργειας, με στόχο τη μείωση της ζητούμενης εγκατεστημένης ισχύος.
- Η ενσωμάτωση μη-κρίσιμων φορτίων (π.χ. ηλεκτρικές λέβητες), και ευέλικτων φορτίων, τα οποία μπορούν να λειτουργούν ως πηγές/αποθήκες (π.χ. ηλεκτρικά αυτοκίνητα), τα οποία ...
- μπορούν να μειώνουν την πίεση στο δίκτυο, με σωστή διαχείριση.

- Η διαχείριση της ζήτησης, ώστε να μην υπερφορτιστεί το δίκτυο και να βελτιστοποιηθεί η αξιοποίηση των πόρων.
- Ο περιορισμός του κινδύνου γενικής διακοπής (blackout) ...
- αλλά και στην περίπτωση που αυτή συμβεί, η ανίχνευση και απομόνωση της διαταραχής, καθώς και η γρήγορη αποκατάσταση του συστήματος.
- Σε μία πρόταση ...
- το έξυπνο δίκτυο συνδυάζει τη βασική υποδομή του ενεργειακού συστήματος, την τεχνολογία πληροφοριών και τους κανόνες της αγοράς (τιμολογιακή πολιτική) σε μία ολοκληρωμένη διαδικασία, με σκοπό την καλύτερη παροχή, τον έλεγχο και, γενικότερα, τη διαχείριση της ενέργειας.