

Εξελιγμένα δίκτυα συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας (5^η ενότητα)

Έξυπνοι μετατροπείς και μετρητές

Παναγής Βοβός - Επίκ. Καθηγητής

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών

Πανεπιστήμιο Πατρών

- Ηλεκτρονικοί μετατροπείς διασύνδεσης χρησιμοποιούνται σχεδόν σε όλες τις μικροπηγές: micro-CHP, Α/Γ, Φ/Β, κύτταρα καυσίμου.
- Τις ενσωματώνουν στο μικροδίκτυο και έχουν καλή απόδοση, όμως είναι αρκετά ακριβές διατάξεις για τις μονάδες που συνοδεύουν.
- Για να βελτιωθεί η οικονομική βιωσιμότητα τους στα μικροδίκτυα, η έρευνα εστιάζει στο δομοστοιχειωτό (modular) σχεδιασμό των μετατροπέων.
- Η δομική αρχιτεκτονική σχεδίασης περιλαμβάνει:
 1. Δομοστοιχειωτά μέρη του μετατροπέα, που ονομάζονται τούβλα ή μπλοκ (**Bricks**) και είναι τα βασικά τμήματα του μετατροπέα.
 2. Στοιχεία σύνδεσης, γνωστά και ως ζυγοί (**Buses**), για την απευθείας διασύνδεση των μπλοκ.
 3. Λογισμικό (**Software**) σχεδίασης, με τα οποία γραφικές τοπολογίες και βασικοί παράμετροι σχεδίασης του μετατροπέα μετατρέπονται σε κατασκευαστικό αρχείο.
- Από τα αρχικά γράμματα των επιμέρους τμημάτων σχεδίασης προέκυψε το πλαίσιο ανάπτυξης των μετατροπέων **BBS** (Bricks-Buses-Software).

- Στο παρελθόν απασχολούσαν θέματα βελτίωσης των συσκευών, όπως μικρότερο μέγεθος και αύξηση της διακοπτικής συχνότητας.
- Σήμερα την ανάπτυξη των μετατροπέων απασχολούν κυρίως βοηθητικά θέματα: δυνατότητες λειτουργίας, διεπαφές με τον ιδιοκτήτη και το μικροδίκτυο, συναρμολόγηση και διαχείριση των θερμικών απωλειών.
- Ενσωματώνοντας τα διακοπτικά στοιχεία ισχύος σε μία μονάδα (Integrated Power Modules (IPM)) αυξάνεται η απόδοση, η αξιοπιστία και η πυκνότητας ισχύος.
- Όλα αυτά μπαίνουν σε μία ενιαία “συσκευασία” μαζί με κάποιες ή όλες τις βοηθητικές συσκευές λειτουργίας: σύστημα έναυσης, προστασία, βοηθητικούς περιοριστές υπερτάσεων (snubbers), τροφοδοτικό, αισθητήρες, έλεγχο.

- Το πλαίσιο σχεδίασης BBS μεταφράζει αυτόματα την τοπολογική σχεδίαση των μετατροπών σε προδιαγραφές υλικού, για την απευθείας κατασκευή των μετατροπών με τυποποιημένα μπλοκ και ζυγούς.

• Κατά τον BBS σχεδιασμό πρέπει :

- 1) να εξασφαλίζεται η ορθή λειτουργία κάθε μπλοκ, βάσει των προδιαγραφών του,
- 2) να αποφεύγονται οι παρεμβολές (EMI) ανάμεσα στα μπλοκ,
- 3) να αποφεύγονται η υπερφόρτιση, η απώλεια δεδομένων, η υπερθέρμανση και η έλλειψη μηχανικής ευθυγράμμισης για το σύνολο του μετατροπέα.

Με τη BBS σχεδίαση:

- μειώνονται τα κόστη κατασκευής και επισκευής,
- βελτιώνονται οι απώλειες και επιταχύνονται/ενσωματώνονται οι κύκλοι σχεδίασης-ανάπτυξης-κατασκευής.

- Το κύριο μπλοκ είναι το **μπλοκ των διακοπών ισχύος** στερεάς κατάστασης: ανόρθωση, αντιστροφή ή μετατροπή τάσης.
- Περιλαμβάνει κάποιες βοηθητικές συσκευές λειτουργίας (σύστημα έναυσης, προστασία κ.λ.π.).
- Η απαγωγή θερμότητας του μπλοκ πρέπει να προλαμβάνει τη θέρμανση των γειτονικών μπλοκ.
- Οι ηλεκτρικές συνδέσεις ισχύος γίνονται μέσω ζυγών ισχύος.
- Λειτουργούν με σήματα από μπλοκ ελέγχου μέσω ζυγών ελέγχου.
- Η πόλωσή τους γίνεται από μπλοκ βοηθητικής ισχύος μέσω των βοηθητικών γραμμών ισχύος των ζυγών ελέγχου.

Το **μπλοκ βοηθητικών εφαρμογών** αποτελείται από φίλτρα προστασίας από ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή, ηλεκτρονόμους, διακόπτες, περιοριστές ρεύματος εισροής κ.λ.π.

- Μπορεί να περιλαμβάνει βοηθητική τροφοδοσία ισχύος για να τροφοδοτεί άλλα μπλοκ (όπως block διακοπών ισχύος), μέσω βοηθητικών γραμμών.

- Τα **μπλοκ ελέγχου** λαμβάνουν σήματα από αισθητήρες για να πάρουν «αποφάσεις» ελέγχου: είναι «εγκέφαλοι» των μετατροπέων.
- Αποτελείται από επεξεργαστές ψηφιακών σημάτων και μικροεπεξεργαστές με βοηθητικά στοιχεία, όπως μνήμη, εξωτερικές πύλες επικοινωνιών, ασύρματη επικοινωνία κ.λ.π.
- Το μπλοκ ελέγχου επικοινωνεί δεδομένα σε πραγματικό χρόνο μέσω του ζυγού ελέγχου με άλλα μπλοκ ελέγχου του μετατροπέα ή άλλων γειτονικών συσκευών (π.χ. τοπικός έξυπνος μετρητής).
- Συνήθως χρησιμοποιείται Δίκτυο Ελέγχου Περιοχής (Control Area Network (**CAN**)) και άλλα κατάλληλα πρωτόκολλα.

Η πόλωσή τους γίνεται κι εδώ από μπλοκ βοηθητικής ισχύος, μέσω των βοηθητικών γραμμών ισχύος των ζυγών ελέγχου.

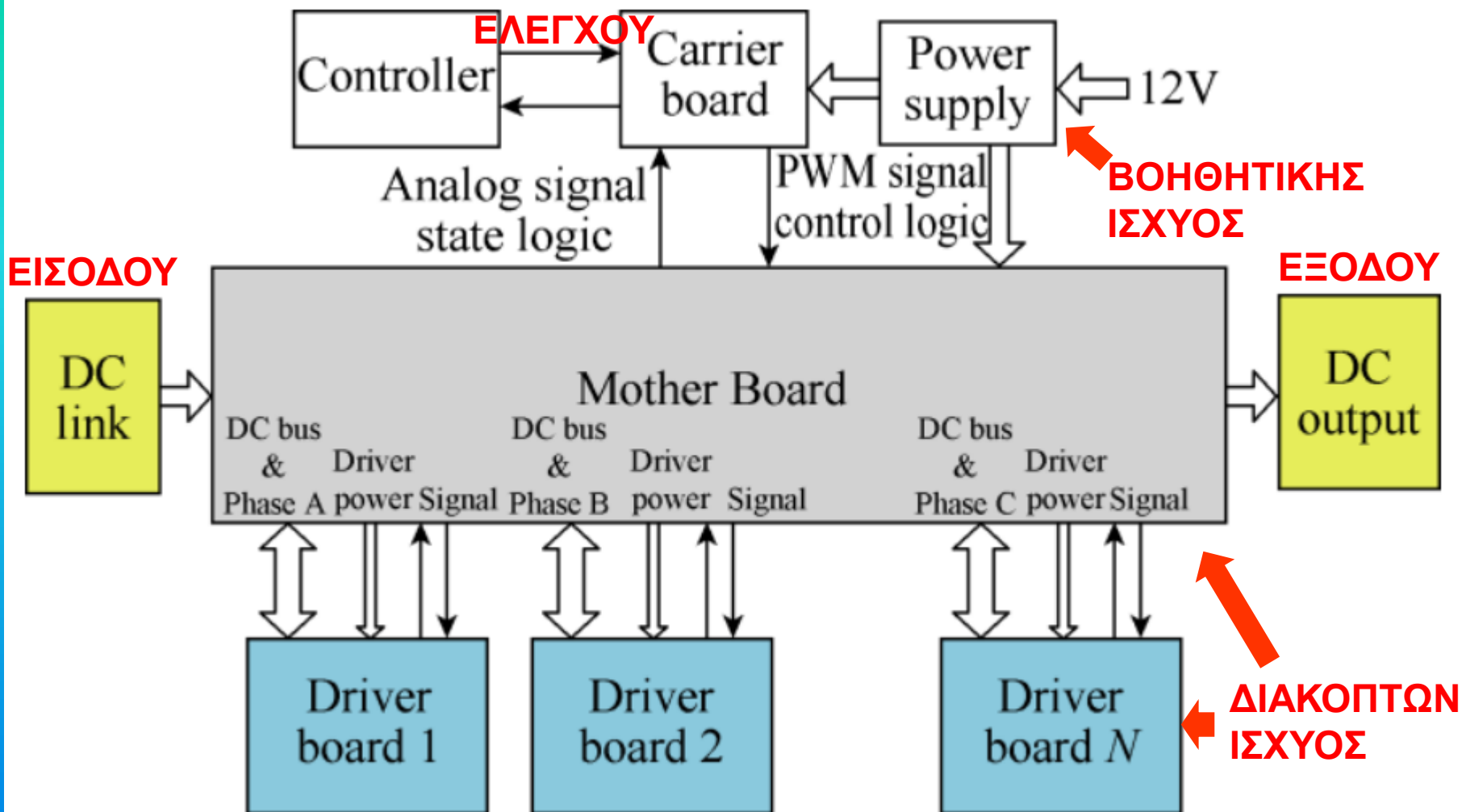
- Υπάρχει ξεχωριστό **μπλοκ αισθητήρων** όταν αυτοί είναι πολλοί και σύνθετοι ή δεν αρκούν αυτοί που υπάρχουν στα μπλοκ ελέγχου. Επικοινωνούν με τα μπλοκ ελέγχου με ψηφιακά σήματα σε ζυγό ελέγχου.

- Το **μπλοκ διατήρησης σταθερής τάσης** αποτελείται από κυκλώματα σταθεροποίησης τάσης, απομόνωσης και υψίσυχνα φίλτρα. Μπορεί να περιλαμβάνει αισθητήρες και έλεγχο για να επιτελέσει το έργο του. Συνδέεται με άλλα μπλοκ μέσω ζυγών ισχύος.
- Το **μπλοκ μετασχηματιστή**. Συνδέεται με άλλα μπλοκ μέσω ζυγών ισχύος.
- Τα **μπλοκ εισόδου/εξόδου** χρησιμοποιούνται για να περιλάβουν τις συνδέσεις ισχύος εισόδου/εξόδου του μετατροπέα. Μπορεί να περιλαμβάνει και συνδέσεις για εξωτερικά σήματα προς το μπλοκ ελέγχου.

- Οι **ζυγοί ισχύος** είναι οι κύριοι σύνδεσμοι ανάμεσα στα διαφορετικά μπλοκ του μετατροπέα.
- Η σχεδιάσή τους εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ τους.
- Προτιμάται η σχεδιάσή τους σε πλακέτες (όπως στα ηλεκτρονικά κυκλώματα), λόγω μικρών επαγωγών και αντιστάσεων σε υψηλές συχνότητες.
- Για μεγάλες ισχύες χρησιμοποιούνται χαραγμένες χάλκινες πλακέτες ή δέσμη χάλκινων ελασμάτων.

• Ο **θερμικός ζυγός** απορροφά θερμότητα από τα θερμά σημεία των μπλοκ με ροή ψυκτικού μέσου (αέρας ή νερό) και την αποβάλλει σε εξωτερικούς απαγωγείς θερμότητας.

Ο **δομικός ζυγός** είναι το μπλοκ συναρμολόγησης (κουτί) πάνω στο οποίο συνδέονται πολλοί ζυγοί και το μπλοκ του μετατροπέα.



 Ζυγός ισχύος

 Βοηθητική γραμμή ισχύος ζυγού ελέγχου

 Σήμα ζυγού ελέγχου

- Το πλαίσιο σχεδίασης μετατροπών BBS γίνεται με τη βοήθεια υπολογιστή (Computer Aided Design (**CAD**)).
- Το CAD μετασχηματίζει γραφικές παραστάσεις και σημαντικές παραμέτρους σχεδίασης σε ένα αρχείο με τα κατασκευαστικά δεδομένα τους (Converter Manufacturing Data (**CMD**)).
- Το CMD αρχείο περιγράφει με λεπτομέρειες τα επίπεδα του ψηφιακού συστήματος ολοκλήρωσης μεγάλης κλίμακας (Very Large Scale Integration (**VLSI**)) ή των πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων (Printed Circuit Board (**PCB**)).
- Περιέχει ένα κατάλογο των μπλοκ και τις απαραίτητες πληροφορίες διασύνδεσής τους μέσω των διάφορων ζυγών.
- Ο κατασκευαστής συναρμολογεί το μετατροπέα από το αρχείο CMD με τα τυποποιημένα μπλοκ και ζυγούς που χρησιμοποιεί ο σχεδιασμός BBS.

- Για να ενσωματωθεί μία νέα συνιστώσα στη διαδικασία σχεδίασης (π.χ. μετά από απαίτηση πελάτη), εισάγεται το αρχείο ορισμού του σχετικού μπλοκ από τη βιβλιοθήκη σχεδίασης και γίνεται η επιθυμητή αλλαγή στο δομικό αρχείο.
- Αν χρειάζεται η ανάλυση της απόκρισης του μετατροπέα πριν την κατασκευή του, χρησιμοποιείται για την επιβεβαίωση της σχεδίασης το αρχείο CMD, με τη βοήθεια αναγνωστών ηλεκτρικών κυκλωμάτων, θερμικών κυκλωμάτων, τοπολογίας ελέγχου, κλπ.
- Αν χρειάζεται, τα δεδομένα σχεδίασης χαμηλού επιπέδου εξάγονται για προσομοίωση ή ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων από σχετικά λογισμικά (PSPICE, SABER, EMTP, MATLAB/Simulink, SolidWorks κλπ).
- Βάσει των αποτελεσμάτων τους μπορούν να γίνουν τροποποιήσεις στη γραφική δομή.
- Επιτυγχάνουμε βέλτιστη σχεδίαση του μετατροπέα χρησιμοποιώντας τη **μέθοδο των επαναλήψεων**.

- Ο έξυπνος μετρητής μετράει συνεχώς την ενέργεια που χρησιμοποιεί ο καταναλωτής.
- Αυτήν την πληροφορία τη στέλνει στο κέντρο διαχείρισης και από αυτό επιστρέφουν πληροφορίες για την κατανάλωσή του και το αντίστοιχο κόστος της.
- Οι έξυπνοι μετρητές έχουν τη δυνατότητα εκτός της αμφίδρομης επικοινωνίας και του ελέγχου, δηλαδή μπορούν να λαμβάνουν εντολές.



Έξυπνος μετρητής.

- Συχνά, στόχος είναι οι χρεώσεις στους καταναλωτές να γίνονται ανάλογα με το κόστος παραγωγής, που μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας.
- Οι εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας με τον έξυπνο μετρητή μπορούν να προσφέρουν μειωμένες χρεώσεις ή προσφορές που καταναλώνουν με βολικό για αυτές προφίλ ή...
- με αύξηση της τιμής σε περιόδους αιχμής να μειώνουν τη ζήτηση.
- Αυτό αποτελεί μεγάλο όφελος για τον παραγωγό και τον καταναλωτή, όσο και τη γενικότερη πολιτική εξοικονόμησης ενέργειας.

• **Οφέλη από αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης**

Το σύστημα μετρητών αυτόματης ανάγνωσης (Automatic Meter Reading (**AMR**)) αναφέρεται στην αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης των πόρων που καταναλώνονται.

- Μπορεί να ενσωματώσει και άλλους μετρητές, όπως φυσικού αερίου και νερού.

- Το σύστημα AMR έχει τη δυνατότητα να απεικονίσει την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο :
 - 1) Ο κάθε καταναλωτής γνωρίζει τι καταναλώνει/πληρώνει.
Για παράδειγμα, όταν εγκαθιστά ένα ενεργειακά αποδοτικό ψυγείο, μπορεί να δει αμέσως την επίπτωση στην κατανάλωση.
 - 2) σε συνδυασμό με μία βάση δεδομένων επιτρέπει στους καταναλωτές να παρακολουθήσουν την ενεργειακή τους κατανάλωση και να προσδιορίσουν τρόπους για τη βελτιστοποίησή της.

Μπορεί να δημιουργηθεί ένα **ενεργειακό προφίλ** πελάτη/κτιρίου.

- Το προφίλ αυτό βοηθά:
 - 1) Στην εξοικονόμηση ενέργειας/χρημάτων, τόσο με τον εντοπισμό «περιττών» φορτίων, όσο και την μεταφορά φορτίων από ώρες αιχμής.
 - 2) Στην ορθή πρόβλεψη φορτίου κι αποδοτικότερη ένταξη μονάδων.
- Το AMR προσφέρει δυνατότητες χειρισμού φορτίων, ανίχνευσης σφαλμάτων στο δίκτυο και έγκαιρης ενημέρωσης του συστήματος (θα το δούμε και παρακάτω για τα οικιακά συστήματα).

- Η γερμανική ομοσπονδιακή κυβέρνηση έκανε την εισαγωγή των ευφυών μετρητών υποχρεωτική στη Γερμανία από το 2010.
- Στην Ελλάδα η διαδικασία αντικατάστασης όλων των συμβατικών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας με έξυπνους αναμένεται να έχει ολοκληρωθεί τα επόμενα χρόνια.
- Για την επικοινωνία με τους προμηθευτές τοποθετούνται στο ντουλάπι του μετρητή πρόσθετες συσκευές, μετατρέποντάς το σε κέντρο επικοινωνιών και για μελλοντικές εφαρμογές κεντρικής διαχείρισης.
- Με τους έξυπνους μετρητές καταργείται η επιτόπια καταγραφή της μέτρησης και μπορούν να εντοπιστούν πιθανές ζημιές στο δίκτυο.

- Σήμερα κατά τη διάρκεια μίας διακοπής η μόνη επιλογή του πελάτη είναι να καλέσει την τοπική εταιρεία ηλεκτρισμού και να δηλώσει τη διακοπή, περιμένοντας κατόπιν να αποκατασταθεί η παροχή ενέργειας.
- Με συστήματα Προηγμένων Υποδομών Μέτρησης (Advanced Metering Infrastructures (**AMI**)) το συμβάν διακοπής θα αναφέρεται αυτόματα στον διαχειριστή διανομής μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα.
- Ένα πρόγραμμα ανάλυσης διακοπής λειτουργίας, θα επεξεργάζεται τα εισερχόμενα μηνύματα, ώστε:
 - 1) να προσδιορίζει ακριβώς τη θέση της βλάβης και
 - 2) να ενημερώνει τους καταναλωτές για τον αναμενόμενο χρόνο επισκευής.

Επιπλέον, με τα διαθέσιμα στοιχεία από τους έξυπνους μετρητές, μπορούν να βελτιωθούν οι επόμενες λειτουργίες που σχετίζονται με βλάβες:

- Επαλήθευση.
- Αναγνώριση (πολλαπλές διακοπές στο ίδιο κύκλωμα, προσδιορισμός αγωγών που υπέστησαν βλάβη).
- Επιβεβαίωση αποκατάστασης.

- Οι **εκτιμητές κατάστασης** του δικτύου χρησιμοποιούν στατιστική ανάλυση και τεχνικές βελτιστοποίησης για τον προσδιορισμό της καλύτερης δυνατής εκτίμησης της κατάστασης του συστήματος.
- Αξιοποιούν όλες τις διαθέσιμες μετρήσεις που είναι πλεονασματικές, δηλαδή πολύ περισσότερες από τις μεταβλητές κατάστασης που θέλουμε να υπολογίσουμε.
- Από αυτήν την εκτίμηση προέρχεται το μοντέλο πραγματικού χρόνου, που χρησιμοποιείται από τους μηχανικούς για τον υπολογισμό των μεταβλητών του συστήματος.
- Μέχρι πρόσφατα η εκτίμηση κατάστασης δεν χρησιμοποιούνταν στα δίκτυα διανομής για δύο λόγους:
 1. Οι διαθέσιμες μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο ήταν λίγες (μόνο ένα ζευγάρι μετρήσεων κοντά στη γραμμή τροφοδοσίας).
 2. Η μοντελοποίηση ασύμμετρων πολυφασικών δικτύων διανομής αποτελεί μεγάλη πρόκληση για την ανάπτυξη αποτελεσματικών και ισχυρών αλγορίθμων (οι οποίοι να μπορούν κιόλας να χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους μετρήσεων).

- Η ενσωμάτωση των επιπλέον μετρήσεων που προέρχονται από τους έξυπνους μετρητές βοηθά ώστε να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα.
- Προσφέρουν τεράστιο όγκο μετρήσεων σε σχεδόν πραγματικό χρόνο σε κάθε σημείο σύνδεσης (συμπεριλαμβανομένων ισχύων, τάσεων και εντάσεων ηλεκτρικού ρεύματος).
- Με την ανάπτυξη πιο λεπτομερούς μοντέλου του συστήματος, μπορούν να γίνουν πιο αξιόπιστες:
 - 1) οι λειτουργίες βελτιστοποίησης της τάσης και της άεργης ισχύος,
 - 2) οι υπηρεσίες αποκατάστασης του συστήματος,
 - 3) η εξισορρόπηση του φορτίου και
 - 4) η βελτιστοποίηση ρύθμισης παραμέτρων του συστήματος.

- Τα Έξυπνα Συστήματα Διαχείρισης Διανομής (Distribution Management Systems (**DMS**)) βοηθούν στη βελτίωση της εξυπηρέτησης των πελατών, της συνολικής απόδοσης και του λειτουργικού κόστους συστήματος.
 - Η κύρια πηγή πληροφοριών που ήταν από το σύστημα SCADA, με την ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων αυξήθηκε κατά το πλήθος αισθητήρων με δυνατότητες επικοινωνίας και τις προηγμένες υποδομές μέτρησης.
 - Η διαθεσιμότητα πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο ενισχύει τις δυνατότητες των υπάρχουσών εφαρμογών και επιτρέπει την αξιοποίηση και προηγμένων εφαρμογών στα έξυπνα δίκτυα.
 - Ένας έξυπνος μετρητής είναι ένας ευφυής κόμβος στο έξυπνο δίκτυο.
 - Με τη βοήθειά του οι εφαρμογές του συστήματος διαχείρισης της διανομής μπορούν να λαμβάνουν πιο γρήγορα και πιο έξυπνα αποφάσεις για τον έλεγχο του δικτύου, με λιγότερο κόστος και μεγαλύτερη αξιοπιστία.
- Στη συνέχεια περιγράφεται πως βελτιώνουν την αποτελεσματικότητά τους οι εφαρμογές των έξυπνων δικτύων, όπως είναι η Απόκριση Ζήτησης, με τις μετρήσεις των έξυπνων μετρητών.

Ως απόκριση της ζήτησης (Demand Response - **DR**) ορίζονται οι βραχυπρόθεσμες αλλαγές στην ηλεκτρική κατανάλωση που αποφασίζουν οι καταναλωτές, ανταποκρινόμενοι :

- στις μεταβολές της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας
- σε κίνητρα για μείωση χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους υψηλής τιμής της ή όταν η αξιοπιστία του συστήματος είναι σε κίνδυνο.

Βοηθά τις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού να εξοικονομήσουν χρήματα με την αναβολή των επενδύσεων στην επέκταση της παραγωγής και του δικτύου διανομής, άρα :

- Παρέχει οικονομικά οφέλη στους πελάτες.
- Σταθεροποιεί τις ωριαίες τιμές της αγοράς.

- Τα προγράμματα DR μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:
 - A) Με βάση την τιμή που κερδίζουν οι τελικοί καταναλωτές αν μειώσουν το φορτίο τους, σύμφωνα με μηνύματα τιμών.
π.χ. η Τιμολόγηση σε Πραγματικό Χρόνο (Real-Time Pricing (RTP)), η Τιμολόγηση Αιχμής Ζήτησης (Critical Peak Pricing (CPP)) και η Τιμολόγηση με βάση τον Χρόνο Χρήσης (Time of Use (TOU)).
 - B) Με βάση την αξιοπιστία, όπου οι πελάτες συμφωνούν για τον περιορισμό της ζήτησης όταν ειδοποιηθούν, με αντάλλαγμα διάφορα κίνητρα.
π.χ. άμεσος έλεγχος φορτίου, διακοπτόμενου φορτίου, απόκριση ζήτησης έκτακτης ανάγκης.
 - Γ) Τα προγράμματα προσφορών, που ενεργοποιούνται όταν η επιχείρηση ηλεκτρισμού προβλέπει αδυναμία να καλύψει τη ζήτηση. Τότε ανοίγει η διαδικασία προσφορών, επιτρέποντας στους πελάτες να υποβάλουν προσφορές ή να περιορίσουν τη ζήτηση τους ή να πουλήσουν ενέργεια στην επιχείρηση με χρηματικά ανταλλάγματα.

- Για την εφαρμογή της απόκρισης της ζήτησης, η επιχείρηση ηλεκτρισμού διαθέτει ένα σύστημα λήψης αποφάσεων μέσω ενός μηχανισμού με αυτοματοποιημένες και ημιαυτοματοποιημένες λύσεις, που προσφέρονται απευθείας στους τελικούς καταναλωτές.
- Ο μηχανισμός απόκρισης της ζήτησης επικοινωνεί με το Σύστημα Πληροφοριών των Πελατών (Customer Information System (CIS)), όπου υπάρχουν οι όροι για τη συμμετοχή κάθε πελάτη (π.χ. ελάχιστος χρόνος για την κοινοποίηση απαιτήσεων, μέγιστος επιτρεπτός αριθμός διακοπών σε μία ημέρα, εβδομάδα ή εποχή, μέγιστη επιτρεπόμενη διάρκεια διακοπής κ.α.).
- Μέσω των συστημάτων AMR γίνεται ρεαλιστική και αποτελεσματική η εφαρμογή DR, γιατί έχουμε:
 - Α) ταχύτερους χρόνους απόκρισης,
 - Β) πιο ακριβή έλεγχο και, κατά συνέπεια,
 - Γ) ενισχυμένα οφέλη αξιοπιστίας για τους πελάτες και το δίκτυο.