



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ



ΒΟΥΤΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ, ΑΜ: 6846

ΣΧΩΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, ΑΜ:6751

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2022

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση των διαθέσιμων μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών με παράλληλη ανάδειξη των ιδιοτήτων που υπάρχουν στη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας λόγω των χαρακτηριστικών των φορτίων. Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή σχετικά με τους μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας και ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο όπου παρουσιάζονται τα είδη των μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αναλυτές δικτύου και στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας υπό μη ημιτονοειδής συνθήκες. Κατόπιν στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες για την ποιότητα ισχύος και στο έκτο κεφάλαιο αναλύονται τα πρωτόκολλα που ισχύουν για τη διασύνδεση και τη λειτουργία των μετρητών.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	I
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	II
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	V
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	VI
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	VI
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	1
1.1 Η έννοια της ηλεκτρικής ενέργειας.....	1
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	3
1.3 Ηλεκτρολυτικοί Μετρητές.....	5
1.4 Μετρητές εκκρεμούς.....	6
1.5 Μετρητές κινητήρα.....	7
1.6 Η εφεύρεση των μετασχηματιστών.....	8
1.7 Επαγωγικοί μετρητές.....	9
1.8 Μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας – περαιτέρω βελτιώσεις.....	12
1.9 Νέες λειτουργίες.....	12
1.10 Ηλεκτρονικοί μετρητές και τηλεμέτρηση.....	14
1.11 Απομακρυσμένη μέτρηση.....	14
1.12 Πρότυπα και ακρίβεια μέτρησης.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	16
2.1 Μετρητής ενέργειας.....	16
2.2 Διαφορά μεταξύ μετρητή ενέργειας και αναλυτή ενέργειας.....	16
2.3 Τύποι μετρητών ενέργειας.....	16
2.4 Μέθοδοι μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας.....	20
2.4.1 Επαγωγικοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας.....	20
2.4.2 Ηλεκτροδυναμικοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας.....	22
2.4.3 Συνδεσμολογίες επαγωγικών μετρητών.....	24
2.4.4 Εκτίμηση του σφάλματος μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας.....	25
2.4.5 Προσδιορισμός της ισχύος καταναλωτή, με τη βοήθεια μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας και χρονομέτρου.....	26
2.4.6 Ψηφιακός ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας.....	26
2.4.7 Έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας.....	27
2.4.7.1 Σύντομη Ιστορία.....	30
2.4.7.2 Τα οφέλη από τη χρήση έξυπνων μετρητών.....	30
2.4.7.3 Κριτική για την ανάπτυξη έξυπνων μετρητών στο Ηνωμένο Βασίλειο.....	33
2.4.7.4 Συνδεσιμότητα.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΝΑΛΥΤΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	37
3.1 Αναλυτής δικτύου πόρτας.....	37
3.1.1 Γενικά.....	37
3.1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	37
3.2 Αναλυτής δικτύου IoT ράγας.....	41
3.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	42
3.3 Αναλυτής δικτύου IoT πόρτας.....	45
3.3.1 Γενικά.....	45
3.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	46
3.4 Βασική έκδοση 1Φ & 3Φ μετρητών ενέργειας έως 40A.....	50
3.4.1 Γενικά.....	50
3.4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	51

3.4.3	Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα	52
3.5	Μετρητές ενέργειας (άμεση/έμμεση μέτρηση) σειράς B.....	53
3.5.1	Γενικά.....	53
3.5.2	Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	54
3.5.3	Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα	55
3.6	Διεπαφή (gateway) συστήματος	56
3.6.1	Τεχνικά / λειτουργικά χαρακτηριστικά.....	59
3.7	Συμβατοί μετρητές ενέργειας M-Bus ή Modbus RTU για άμεση και έμμεση μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας.....	60
3.7.1	Γενικά	60
3.7.2	Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	61
3.7.3	Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα	61
3.8	Πιστοποίηση ποιότητας	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΣΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΟ ΜΗ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΕΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....		64
4.1	Εισαγωγή	64
4.2	Ορισμοί Ισχύων	65
4.2.1	Ημιτονοειδή Συστήματα.....	65
4.2.2	Μη - Ημιτονοειδή Συστήματα.....	66
4.3	Μετρητικά Όργανα.....	68
4.3.1	Τεχνολογίες Μετρητικών Οργάνων.....	68
4.3.2	Μέτρηση Ωφέλιμης Ενέργειας (Watt-Hour Meters).....	68
4.3.3	Μέτρηση Αέργου Ενέργειας (Var-Hour Meters)	70
4.3.4	Μέτρηση Ενεργού Ισχύος (kW-Demand Meters).....	71
4.3.5	Μέτρηση Αέργου Ισχύος (kVar-Demand Meters).....	72
4.3.6	Μέτρηση Φαινόμενης Ισχύος (kVA-Demand Meters).....	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....		75
5.1	Επισκόπηση ποιότητας ενέργειας.....	76
5.2	Διάφορες κατηγορίες μέτρησης ποιότητας ισχύος	77
5.2.1	Ταξινόμηση ποιότητας ισχύος - Παράμετροι.....	77
5.3	Αλλαγή απαιτήσεων για ποιότητα ενέργειας.....	78
5.3.1	Παρακολούθηση Ποιότητας Ενέργειας σε Ανεμογεννήτριες σε Ιρλανδία	79
5.3.2	Συνεργασία μεταξύ του τοπικού διανομέα και βιομηχανίας όσον αφορά την παρακολούθηση της ποιότητας ισχύος.....	79
5.4	Το μελλοντικό πρότυπο IEC 61000-4-30	80
5.4.1	Τάξη A και B τάξη.....	80
5.4.2	Χρόνοι ολοκλήρωσης	80
5.4.3	Έννοια επισήμανσης	81
5.4.4	Συχνότητα	81
5.4.5	Τιμή RMS τάσης.....	81
5.4.6	Τρεμοπαίξιμο	81
5.4.7	Βύθιση και ανύψωση τάσης.....	82
5.5	Αρμονικές.....	82
5.5.1	Θεμελιώδης Συχνότητα	84
5.5.2	Σύνθετες κυματομορφές λόγω αρμονικών.....	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ.....		89
6.1	Τεχνικές προδιαγραφές εξοπλισμού έξυπνου μετρητή (SMETS)	90
6.2	Διαχείριση δεδομένων	90
6.3	Προηγμένη υποδομή μέτρησης.....	92
6.4	Αντίλογος και προβληματισμοί	93
6.5	Ασφάλεια	93
6.6	Υγεία και την ασφάλεια.....	95

6.7	Ανησυχίες για το απόρρητο	97
6.8	Επιλογές εξαίρεσης.....	98
6.9	Έλλειψη εξοικονόμησης αποτελεσμάτων.....	99
6.10	Ακανόνιστη ζήτηση	100
6.11	Στα μέσα	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		102
ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ		102

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1	Η δομή του ατόμου	2
Εικόνα 1-2	Τροχιές ηλεκτρονίων στο κέλυφος του ατόμου	2
Εικόνα 1-3	Ο χημικός μετρητής του Edison	3
Εικόνα 1-4	Ο «ηλεκτρικός μετρητής» του Edison	4
Εικόνα 1-5	Το εκκρεμόμετρο του Aron	6
Εικόνα 1-6	Το Wattmeter εγγραφής του Thomson	7
Εικόνα 1-7	Ο μετρητής του Ferraris	9
Εικόνα 1-8	Ο επαγωγικός μετρητής του Bláthy	11
Εικόνα 1-9	Ο μετρητής του Shallenberger	12
Εικόνα 1-10	Γραμμή παραγωγής της εταιρείας AEG το 1927	13
Εικόνα 2-1	Επαγωγικός μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας	20
Εικόνα 2-2	Ψηφιακός μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας	27
Εικόνα 2-3	Έξυπνος μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας	29
Εικόνα 3-1	Ενδεικτικός τύπος: ABB M1M 30 Modbus ή ισοδύναμος ..	41
Εικόνα 3-2	Ενδεικτικός τύπος: ABB M4M 2X Modbus PQ2+RTS ή M4M 2X Ethernet PQ2+RTS ή ισοδύναμος	45
Εικόνα 3-3	Ενδεικτικός τύπος: ABB M4M 30 ή ισοδύναμος	50
Εικόνα 3-4	Ενδεικτικός τύπος: Μονοφασικός ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας: C11 & Τριφασικός ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας: C13 ή ισοδύναμος	53
Εικόνα 3-5	Ενδεικτικός τύπος: Μονοφασικός ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας: B21, Τριφασικός ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας: B23 (απευθείας) & B24 (μέσω M/Σ) ή ισοδύναμος	56
Εικόνα 3-6	Ενδεικτικός τύπος: ABB QA/S x.16.1 (για έως και 16 μετρητές) και QA/S x.64.1 (για έως και 64 μετρητές)	59
Εικόνα 3-7	Ενδεικτικός τύπος: Μονοφασικός ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας: B21 (άμεσης μέτρησης έως 65A), Τριφασικός ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας: B23 (άμεσης μέτρησης έως 65A) & B24 (έμμεσης μέτρησης μέσω M/Σ)	62

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2-1	Κατασκευή επαγωγικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας	21
Σχήμα 2-2	Αρχή λειτουργίας ηλεκτροδυναμικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας	23
Σχήμα 2-3	Βασικές συνδεσμολογίες επαγωγικών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας.....	24
Σχήμα 2-4	Βασικές συνδεσμολογίες επαγωγικών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας με ΜΣ έντασης	24
Σχήμα 2-5	Τριφασικός μετρητής – Δομικό διάγραμμα	25
Σχήμα 5-1	Η έννοια της ποιότητας ισχύος	76

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 4-1	Κυματομορφές Τάσης Ρεύματος	70
Διάγραμμα 4-2	Κυματομορφές Τάσης Ρεύματος διαφόρων ενδεικτικών μη-ημιτονοειδών φορτίων.....	73
Διάγραμμα 5-1	Βασική θεμελιώδης ή 1η αρμονική κυματομορφή AC.....	84
Διάγραμμα 5-2	Κυματομορφές αρμονικών (μπλε) και πραγματική κυματομορφή στο φορτίο (κόκκινα)	85

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1 Η έννοια της ηλεκτρικής ενέργειας

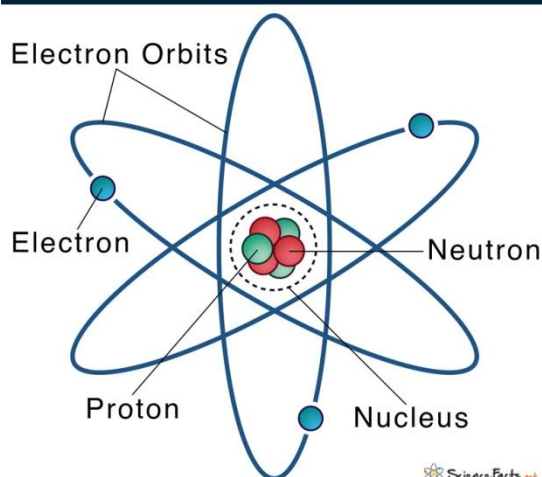
Η ηλεκτρική ενέργεια είναι παντού γύρω μας. Είτε είναι το φωτιστικό του υπνοδωματίου μας, το αγαπημένο μας σύστημα παιχνιδιών ή το ψυγείο που χωράει όλα τα αγαπημένα μας σνακ, ο ηλεκτρισμός τα τροφοδοτεί όλα. Αυτές τις μέρες τροφοδοτεί ακόμη και πολλά από τα αυτοκίνητά μας. Ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να βρεθεί στις πιο ακατοίκητες περιοχές της γης αλλά και στα σύννεφα κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας.

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι μια δευτερεύουσα πηγή ενέργειας που λαμβάνουμε από τη μετατροπή άλλων πηγών ενέργειας όπως ο άνθρακας, το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο, η πυρηνική ενέργεια κ.λπ. Αυτές οι πηγές είναι γνωστές ως «πρωτεύουσες πηγές». Οι πρωτογενείς πηγές μπορεί να είναι ανανεώσιμες ή μη, αλλά η ίδια η ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι τίποτα από τα δύο.

Όπως όλα τα άλλα, ο ηλεκτρισμός αποτελείται από άτομα. Έτσι, για να κατανοήσουμε τον ηλεκτρισμό, βοηθάμε να κατανοήσουμε βασικές πληροφορίες για τα άτομα.

Στο κέντρο ενός ατόμου βρίσκεται ο πυρήνας. Ο πυρήνας αποτελείται από σωματίδια που ονομάζονται πρωτόνια και νετρόνια. Τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα σε κελύφη. Τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια ενός ατόμου έλκονται μεταξύ τους και το καθένα φέρει ένα ηλεκτρικό φορτίο. Τα πρωτόνια έχουν θετικό φορτίο και τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό φορτίο. Το θετικό φορτίο των πρωτονίων είναι ίσο με το αρνητικό φορτίο των ηλεκτρονίων, καθιστώντας το άτομο ισορροπημένο όταν έχουν ίσο αριθμό πρωτονίων και ηλεκτρονίων. Τα νετρόνια δεν φέρουν ηλεκτρικό φορτίο και ο αριθμός τους μπορεί να ποικίλλει.

Atom



Εικόνα 1-1 Η δομή του ατόμου

Τα ηλεκτρόνια στο κέλυφος που βρίσκεται πιο κοντά στον πυρήνα έχουν ισχυρή έλξη προς τα πρωτόνια. Μερικές φορές τα ηλεκτρόνια στα εξωτερικά κελύφη ενός ατόμου δεν έχουν ισχυρή έλξη προς τα πρωτόνια και μπορούν να ωθηθούν έξω από τις τροχιές τους προκαλώντας τη μετατόπισή τους από το ένα άτομο στο άλλο. Αυτά τα μεταβαλλόμενα ηλεκτρόνια είναι ηλεκτρισμός.



Εικόνα 1-2 Τροχιές ηλεκτρονίων στο κέλυφος του ατόμου

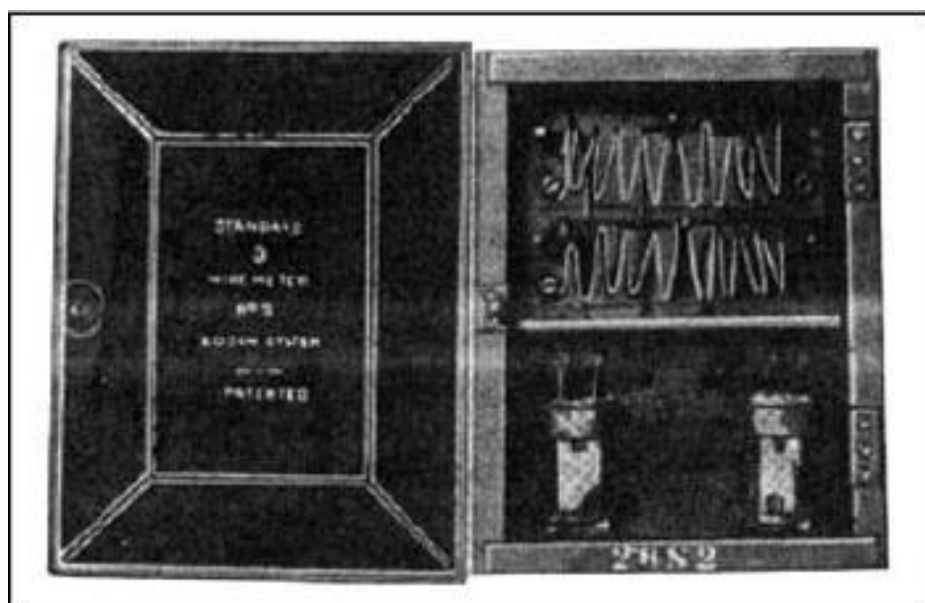
Η ηλεκτρική ενέργεια ταξιδεύει σε κλειστά κυκλώματα. Πρέπει να έχει μια πλήρη διαδρομή προτού τα ηλεκτρόνια μπορούν να κινηθούν μέσα από αυτό. Όταν ανάβει ένα φως γυρίζοντας έναν διακόπτη, κλείνει ένα κύκλωμα. Φυσικά, αυτό σημαίνει ότι κλείνοντας έναν διακόπτη,

ανοίγει ένα κύκλωμα. Η ηλεκτρική ενέργεια ρέει από το ηλεκτρικό καλώδιο, μέσω του φωτός και πίσω στο καλώδιο. Η ίδια ιδέα ισχύει για την τηλεόραση ή τις συσκευές – όταν ανάβουν, κλείνει ένα κύκλωμα για να ρέει ηλεκτρισμός μέσα από τα καλώδια και να τις τροφοδοτεί.

1.2 Ιστορική αναδρομή

«Η μεγάλη εφεύρεση του δέκατου ένατου αιώνα ήταν η μέθοδος της εφεύρεσης». Αυτό το αξίωμα από τον Άγγλο μαθηματικό και φιλόσοφο Alfred North Whitehead (1891-1947) εφαρμόζεται τέλεια στην ιστορία του μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας, που τελειοποιήθηκε μέσω μιας σειράς εφευρέσεων που βασίζονται σε επιτεύγματα και ενθαρρύνουν την περαιτέρω ανάπτυξη.

Το πρώτο μισό του 19ου αιώνα έφερε λαμπρές ανακαλύψεις στον ηλεκτρομαγνητισμό. Το 1820, ο Γάλλος André-Marie Ampère (1775-1836) ανακάλυψε την ηλεκτροδυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ των ρευμάτων. Το 1827, ο Γερμανός Georg Simon Ohm (1787-1854) ανακάλυψε τη σχέση μεταξύ τάσης και ρεύματος σε έναν αγωγό. Το 1831, ο Βρετανός Michael Faraday (1791-1867) ανακάλυψε τον νόμο της επαγωγής, στον οποίο βασίζεται η λειτουργία των γεννητριών, των κινητήρων και των μετασχηματιστών.



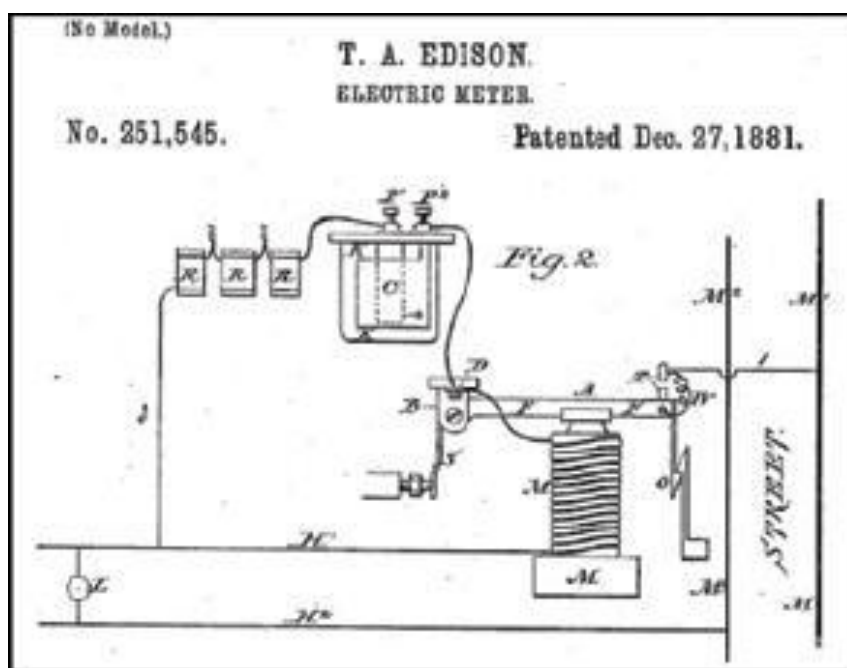
Edison's chemical meter, 1881

Εικόνα 1-3 Ο χημικός μετρητής του Edison

Μέχρι το δεύτερο μισό του αιώνα, το έδαφος ήταν καλά προετοιμασμένο για πρακτικές εφαρμογές. Τις ανακαλύψεις ακολούθησαν εφευρέσεις και πατέντες. Ο λαμπτήρας, το δυναμό, ο κινητήρας, ο μετασχηματιστής, ο μετρητής και η τουρμπίνα εφευρέθηκαν διαδοχικά. Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι μόλις ωριμάσει ο καιρός, οι εφευρέσεις-ορόσημα επιτυγχάνονται σχεδόν ταυτόχρονα σε διάφορα μέρη του κόσμου.

Ο Ούγγρος Ottó Titusz Bláthy, εφευρέτης του επαγωγικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας και συν-εφευρέτης του μετασχηματιστή, κοίταξε πίσω το 1930 αυτή τη συναρπαστική περίοδο με αυτά τα λόγια: «Στην εποχή μου ήταν εύκολο. Η επιστήμη ήταν σαν ένα τροπικό δάσος. Το μόνο που χρειαζόσουν ήταν ένα καλό τσεκούρι, και όπου κι αν χαϊδέψεις, μπορούσες να κόψεις ένα τεράστιο δέντρο».

Με την εφεύρεση του δυναμό (Anyos Jedlik το 1861, Werner von Siemens το 1867) μπορούσε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες ποσότητες. Η πρώτη μαζική εφαρμογή του ηλεκτρισμού ήταν ο φωτισμός. Όταν αυτό το νέο προϊόν – η ηλεκτρική ενέργεια – άρχισε να πωλείται, ήταν προφανές ότι έπρεπε να καθοριστεί το κόστος.



Εικόνα 1-4 Ο «ηλεκτρικός μετρητής» του Edison

Δεν ήταν σαφές, ωστόσο, ποιες θα έπρεπε να είναι οι μονάδες που τιμολογήθηκαν και ποιες θα ήταν οι καταλληλότερες αρχές μέτρησης. Ο παλαιότερος μετρητής ήταν ο λυχνόμετρο του Samuel Gardiner (ΗΠΑ) που κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1872. Μετρούσε το χρόνο κατά τον οποίο τροφοδοτούνταν ενέργεια στο φορτίο, καθώς όλοι οι λαμπτήρες που συνδέονται με αυτόν τον μετρητή ελέγχονταν από έναν διακόπτη. Η υποδιαίρεση των κυκλωμάτων φωτισμού έγινε πρακτική με την εισαγωγή του λαμπτήρα του Έντισον, και αυτός ο μετρητής έγινε ξεπερασμένος.

1.3 Ηλεκτρολυτικοί Μετρητές

Ο Thomas Alva Edison (1847-1931), ο οποίος εισήγαγε τα πρώτα ηλεκτρικά συστήματα διανομής για φωτισμό με συνεχές ρεύμα, υποστήριξε ότι η ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να πωλείται ακριβώς όπως το αέριο – επίσης χρησιμοποιήθηκε εκτενώς για φωτισμό εκείνη την εποχή.

Ο «ηλεκτρικός μετρητής» του που κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1881 (Δίπλωμα Ευρεσιτεχνίας ΗΠΑ No. 251.545) χρησιμοποίησε την ηλεκτροχημική επίδραση του ρεύματος.

Περιείχε μια ηλεκτρολυτική κυψέλη, στην οποία τοποθετήθηκε μια ακριβής ζυγισμένη λωρίδα χαλκού στην αρχή της περιόδου χρέωσης. Το ρεύμα που διέρχεται από τον ηλεκτρολύτη προκάλεσε εναπόθεση χαλκού. Στο τέλος της περιόδου χρέωσης, η λωρίδα χαλκού ζυγίστηκε ξανά και η διαφορά αντιπροσώπευε την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που είχε περάσει. Ο μετρητής βαθμονομήθηκε έτσι ώστε οι λογαριασμοί να μπορούν να αποδίδονται σε κυβικά πόδια αερίου.

Αυτοί οι μετρητές παρέμειναν σε χρήση μέχρι τα τέλη του 19ου αιώνα. Υπήρχε, ωστόσο, ένα μεγάλο μειονέκτημα - η ανάγνωση του μετρητή ήταν δύσκολη για το βοηθητικό πρόγραμμα και αδύνατη για τον πελάτη. Ο Έντισον αργότερα πρόσθεσε έναν μηχανισμό μέτρησης για να βοηθήσει την ανάγνωση του μετρητή.

Υπήρχαν και άλλοι ηλεκτρολυτικοί μετρητές, όπως ο γερμανικός μετρητής υδρογόνου Siemens-Shuckert και ο Schott&Gen. Μετρητής

υδραργύρου Jena. Οι ηλεκτρολυτικοί μετρητές μπορούσαν να μετρήσουν μόνο αμπέρ ώρες και δεν ήταν κατάλληλοι όταν η τάση κυμαινόταν.



Εικόνα 1-5 Το εκκρεμόμετρο του Aron

1.4 Μετρητές εκκρεμούς

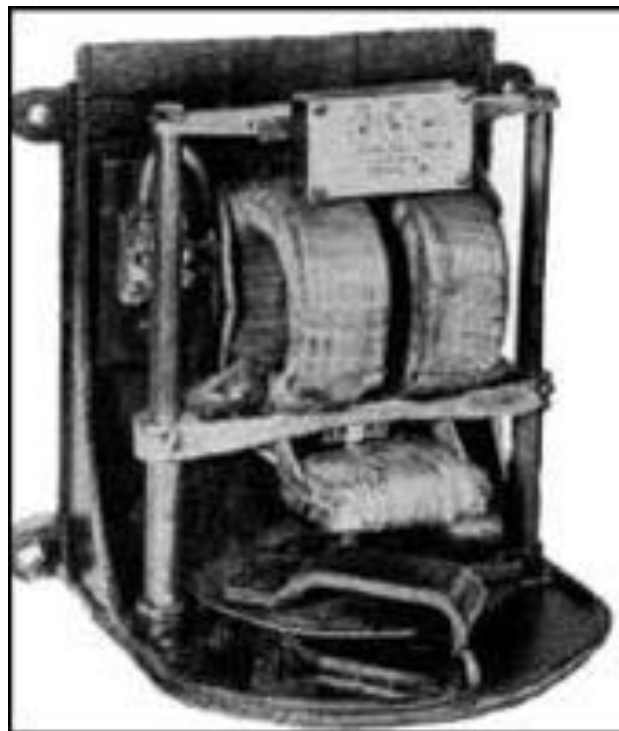
Μια άλλη πιθανή αρχή βάσει της οποίας να κατασκευαστεί ένας μετρητής ήταν να δημιουργηθεί κάποια κίνηση - ταλάντωση ή περιστροφή - ανάλογη με την ενέργεια, η οποία θα μπορούσε στη συνέχεια να οδηγήσει έναν καταχωρητή για ανάγνωση.

Η αρχή του εκκρεμομέτρου περιγράφηκε από τους Αμερικανούς William Edward Ayrton και John Perry το 1881. Το 1884, χωρίς να γνωρίζει την εφεύρεσή τους, ο Hermann Aron (1845-1902) στη Γερμανία κατασκεύασε ένα εκκρεμόμετρο.

Στην πιο προηγμένη μορφή του, αυτός ο μετρητής είχε δύο εκκρεμή, με ένα πηνίο και στα δύο εκκρεμή συνδεδεμένο με την τάση. Κάτω από τα εκκρεμή υπήρχαν δύο πηνία ρεύματος που τυλίγονταν σε αντίθετες κατευθύνσεις. Επομένως, το ένα εκκρεμές έτρεχε πιο αργά και το άλλο πιο γρήγορα από ό,τι χωρίς φορτίο.

Η διαφορά μεταξύ των χρόνων ταλάντωσης οδήγησε τον μηχανισμό μέτρησης. Ο ρόλος των δύο εκκρεμών εναλλάσσονταν κάθε λεπτό, έτσι ώστε να αντισταθμίζεται η αρχική διαφορά μεταξύ των χρόνων ταλάντωσης των εκκρεμών. Ταυτόχρονα, το ρολόι ολοκληρώθηκε.

Αυτοί οι μετρητές ήταν ακριβοί επειδή περιείχαν δύο ρολόγια και σταδιακά αντικαταστάθηκαν από μετρητές κινητήρα. Οι μετρητές εκκρεμούς μετρούσαν αμπέρ-ώρες ή watt-hours, αλλά μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μόνο για συνεχές ρεύμα.



The Thomson Recording Wattmeter, 1889

Εικόνα 1-6 Το Wattmeter εγγραφής του Thomson

1.5 Μετρητές κινητήρα

Μια άλλη δυνατότητα ήταν η χρήση κινητήρα για την κατασκευή ενός μετρητή. Σε τέτοιους μετρητές, η κινητήρια ροπή είναι ανάλογη με το φορτίο και εξισορροπείται από μια ροπή πέδησης, έτσι ώστε η ταχύτητα του ρότορα να είναι ανάλογη με το φορτίο όταν οι ροπές είναι σε ισορροπία.

Ο Αμερικανός Elihu Thomson (1853-1937) ανέπτυξε το «Wattmeter εγγραφής» του το 1889 για την General Electric. Ήταν ένας κινητήρας

χωρίς σίδηρο, με τον ρότορα να διεγείρεται από την τάση μέσω ενός πηνίου και μιας αντίστασης, χρησιμοποιώντας έναν μεταγωγέα.

Ο στάτορας διεγείρεται από το ρεύμα και η ροπή οδήγησης ήταν επομένως ανάλογη με το γινόμενο της τάσης και του ρεύματος. Η ροπή πέδησης παρεχόταν από έναν μόνιμο μαγνήτη που ενεργούσε σε έναν δίσκο αλουμινίου, στερεωμένο στον ρότορα. Αυτός ο μετρητής χρησιμοποιήθηκε κυρίως για DC. Το μεγάλο μειονέκτημα των μετρητών κινητήρα ήταν ο μεταγωγέας.

1.6 Η εφεύρεση των μετασχηματιστών

Στα πρώτα χρόνια της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, δεν ήταν ακόμη σαφές εάν τα συστήματα συνεχούς ρεύματος ή τα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος θα ήταν πιο συμφέροντα.

Ωστόσο, σύντομα έγινε εμφανές ένα σημαντικό μειονέκτημα των συστημάτων συνεχούς ρεύματος - η τάση δεν μπορούσε να αλλάξει και επομένως δεν ήταν δυνατή η κατασκευή μεγαλύτερων συστημάτων. Το 1884, ο Γάλλος Lucian Gaulard (1850-1888) και ο Άγγλος John Dixon Gibbs ανακάλυψαν τη «δευτερεύουσα γεννήτρια», τον πρόδρομο του σύγχρονου μετασχηματιστή.

Ένας πρακτικός μετασχηματιστής αναπτύχθηκε και κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την Ganz το 1885 από τρεις Ούγγρους μηχανικούς – τους Károly Zipernowsky, Ottó Titusz Bláthy και Miksa Déri. Την ίδια χρονιά, η Westinghouse αγόρασε το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας των Gaulard και Gibson και ο William Stanley (1858-1916) τελειοποίησε το σχέδιο. Ο George Westinghouse (1846-1914) αγόρασε επίσης τις πατέντες AC του Νίκολα Τέσλα.

Με αυτό, το ηλεκτρικό σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος έγινε εφικτό και από τις αρχές του 20ου αιώνα σταδιακά πήρε τη θέση του από τα συστήματα συνεχούς ρεύματος. Στη μέτρηση, έπρεπε να λυθεί ένα νέο πρόβλημα – η μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας AC.

1.7 Επαγωγικοί μετρητές

Το 1885, ο Ιταλός Galileo Ferraris (1847-1897) έκανε τη βασική ανακάλυψη ότι δύο πεδία εναλλασσόμενου ρεύματος εκτός φάσης θα μπορούσαν να κάνουν έναν συμπαγή οπλισμό όπως ένας δίσκος ή ένας κύλινδρος να περιστρέφεται. Ανεξάρτητα, ο Κροατοαμερικανός Nikola Tesla (1857-1943) ανακάλυψε επίσης το περιστρεφόμενο ηλεκτρικό πεδίο το 1888. Ο Shallenberger επίσης – τυχαία – ανακάλυψε την επίδραση των περιστρεφόμενων πεδίων το 1888 και ανέπτυξε έναν μετρητή AC.



The Ferraris motor, 1885

Εικόνα 1-7 Ο μετρητής του Ferraris

Η ροπή πέδησης δόθηκε από ανεμιστήρα. Αυτός ο μετρητής δεν είχε στοιχείο τάσης για να λάβει υπόψη τον συντελεστή ισχύος. επομένως δεν ήταν κατάλληλο για χρήση με κινητήρες. Αυτές οι ανακαλύψεις ήταν η βάση των επαγωγικών κινητήρων και άνοιξαν το δρόμο στους επαγωγικούς μετρητές. Το 1889, ο Ούγγρος Otto Titusz Bláthy (1860-1939), εργαζόμενος στα έργα Ganz στη Βουδαπέστη της Ουγγαρίας, κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τον «Ηλεκτρικό μετρητή για εναλλασσόμενα ρεύματα» (Γερμανία No 52.793, ΗΠΑ No 423.210).

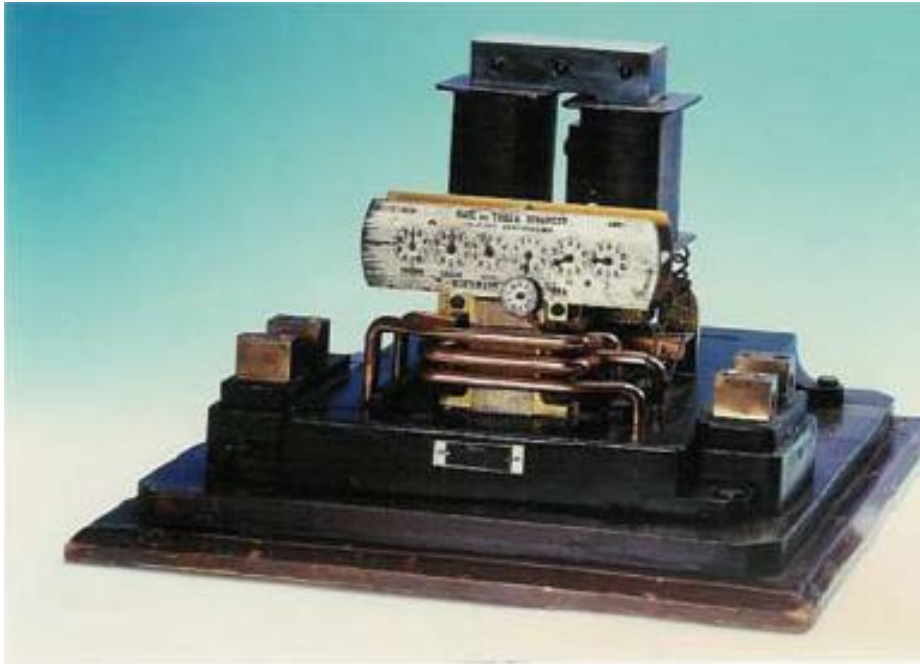
Όπως περιγράφει το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας: «Αυτός ο μετρητής, ουσιαστικά, αποτελείται από ένα μεταλλικό περιστρεφόμενο σώμα,

όπως ένας δίσκος ή ένας κύλινδρος, στον οποίο επιδρούν δύο μαγνητικά πεδία μετατοπισμένα σε φάση το ένα από το άλλο.

Η εν λόγω μετατόπιση φάσης των φάσεων προκύπτει από το γεγονός ότι ένα πεδίο παράγεται από το κύριο ρεύμα, ενώ το άλλο πεδίο διεγείρεται από ένα πηνίο μεγάλης αυτοεπαγωγής που διακλαδίζεται από εκείνα τα σημεία του κυκλώματος μεταξύ των οποίων πρόκειται να μετρηθεί η ενέργεια που καταναλώνεται. .

Τα μαγνητικά πεδία, ωστόσο, δεν διασχίζουν το ένα το άλλο μέσα στο στερεό της περιστροφής, όπως στη γνωστή διάταξη των Ferrari, αλλά περνούν από διαφορετικά μέρη του ίδιου, ανεξάρτητα το ένα από το άλλο».

Με αυτή τη διάταξη, ο Bláthy κατάφερε να επιτύχει μια εσωτερική μετατόπιση φάσης σχεδόν ακριβώς 90° , έτσι ο μετρητής έδειχνε τις watthours λίγο πολύ σωστά. Ο μετρητής χρησιμοποιούσε μαγνήτη φρένου για να εξασφαλίσει μεγάλο εύρος μέτρησης και ήταν εξοπλισμένος με κυκλομετρικό καταχωρητή. Η Ganz ξεκίνησε την παραγωγή την ίδια χρονιά. Τα πρώτα μέτρα ήταν τοποθετημένα σε ξύλινη βάση, που έτρεχαν με 240 στροφές το λεπτό και ζύγιζαν 23 κιλά. Μέχρι το 1914, το βάρος μειώθηκε στα 2,6 κιλά.



The Bláthy induction meter, 1889

Εικόνα 1-8 Ο επαγωγικός μετρητής του Bláthy

Ο Oliver Blackburn Shallenberger (1860-1898) ανέπτυξε έναν επαγωγικό μετρητή watt-hour για το Westinghouse το 1894. Είχε τα πηνία ρεύματος και τάσης τοποθετημένα στις αντίθετες πλευρές του δίσκου και δύο μόνιμους μαγνήτες που απόσβηναν τον ίδιο δίσκο. Ήταν επίσης μεγάλο και βαρύ, ζύγιζε 41 κιλά. Είχε καταχωρητή τύπου τυμπάνου.

Ο Ludwig Gutmann, που εργαζόταν για τη Sangamo, ανέπτυξε τον μετρητή watt-hour AC "Type A" το 1899. Ο ρότορας ήταν ένας κύλινδρος με σπειροειδή σχισμή τοποθετημένος στα πεδία των πηνίων τάσης και ρεύματος. Ένας δίσκος καρφωμένος στο κάτω μέρος του κυλίνδρου χρησιμοποιήθηκε για το φρενάρισμα με μόνιμο μαγνήτη. Δεν υπήρχε ρύθμιση του συντελεστή ισχύος.



Shallenberger's integration wattmeter, 1894

Εικόνα 1-9 Ο μετρητής του Shallenberger

1.8 Μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας – περαιτέρω βελτιώσεις

Τα επόμενα χρόνια επιτεύχθηκαν πολλές βελτιώσεις: μείωση βάρους και διαστάσεων, επέκταση του εύρους φορτίου, αντιστάθμιση μεταβολών του συντελεστή ισχύος, τάσης και θερμοκρασίας, εξάλειψη της τριβής με αντικατάσταση των ρουλεμάν περιστροφής από ρουλεμάν και στη συνέχεια με διπλά ρουλεμάν και μαγνητικά ρουλεμάν και βελτιώνοντας τη μακροπρόθεσμη σταθερότητα με καλύτερους μαγνήτες φρένων και εξαλείφοντας το λάδι από το ρουλεμάν και το μητρώο.

Μέχρι την αλλαγή του αιώνα, αναπτύχθηκαν τριφασικοί μετρητές επαγωγής χρησιμοποιώντας δύο ή τρία συστήματα μέτρησης διατεταγμένα σε έναν, δύο ή τρεις δίσκους.

1.9 Νέες λειτουργίες

Οι μετρητές επαγωγής, γνωστοί και ως μετρητές Ferraris και βασισμένοι στις αρχές του μετρητή Bláthy, εξακολουθούν να κατασκευάζονται σε μεγάλες ποσότητες και αποτελούν τους

κινητήριους πόρους της μέτρησης, χάρη στη χαμηλή τιμή και την εξαιρετική τους αξιοπιστία.

Καθώς η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας εξαπλώθηκε, η ιδέα του μετρητή πολλαπλών τιμολογίων με τοπικούς ή τηλεκατευθυνόμενους διακόπτες, του μετρητή μέγιστης ζήτησης, του μετρητή προπληρωμής και του μαξιγράφου γεννήθηκαν γρήγορα, όλα στο τέλος του αιώνα.

Το πρώτο σύστημα ελέγχου κυματισμού κατοχυρώθηκε το 1899 από τον Γάλλο César René Loubery και τελειοποιήθηκε από τις Compagnie des Compteurs (αργότερα Schlumberger), Siemens, AEG, Landis&Gyr, Zellweger και Sauter και Brown Boveri, για να αναφέρουμε μόνο μερικά. Το 1934, η Landis&Gyr ανέπτυξε τον μετρητή Trivector, μετρώντας την ενεργό και αντιδραστική ενέργεια και τη φαινομενική ζήτηση.



Manufacturing line in AEG in 1927

Εικόνα 1-10 Γραμμή παραγωγής της εταιρείας AEG το 1927

1.10 Ηλεκτρονικοί μετρητές και τηλεμέτρηση

Η μεγάλη περίοδος της αρχικής ανάπτυξης των μετρητών είχε τελειώσει. Όπως το έθεσε ο Bláthy, συνεχίζοντας τη μεταφορά του: «Τώρα περπατάς ολόκληρες μέρες χωρίς να βρεις ούτε θάμνο».

Οι ηλεκτρονικές τεχνολογίες δεν βρήκαν το δρόμο τους για τη μέτρηση έως ότου τα πρώτα αναλογικά και ψηφιακά ολοκληρωμένα κυκλώματα έγιναν διαθέσιμα τη δεκαετία του 1970. Αυτό μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητό αν σκεφτεί κανείς τους περιορισμούς κατανάλωσης ενέργειας στα κλειστά κουτιά μετρητών και την αναμενόμενη αξιοπιστία.

Η νέα τεχνολογία έδωσε νέα ώθηση στην ανάπτυξη μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας. Αρχικά, αναπτύχθηκαν στατικοί μετρητές υψηλής ακρίβειας, χρησιμοποιώντας κυρίως την αρχή του πολλαπλασιασμού της χρονικής διαίρεσης. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης κελιά αιθουσών, κυρίως για εμπορικούς και οικιακούς μετρητές. Οι υβριδικοί μετρητές που αποτελούνται από επαγωγικούς μετρητές και ηλεκτρονικές τιμολογιακές μονάδες κατασκευάστηκαν τη δεκαετία του 1980. Αυτή η τεχνολογία είχε σχετικά σύντομη διάρκεια.

1.11 Απομακρυσμένη μέτρηση

Η ιδέα της απομακρυσμένης μέτρησης γεννήθηκε τη δεκαετία του 1960. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε η απομακρυσμένη μετάδοση παλμών, αλλά σταδιακά αυτό αντικαταστάθηκε με τη χρήση διαφόρων πρωτοκόλλων και μέσων επικοινωνίας.

Σήμερα οι μετρητές με πολύπλοκη λειτουργικότητα βασίζονται στην τελευταία λέξη της ηλεκτρονικής τεχνολογίας, με χρήση ψηφιακής επεξεργασίας σήματος, με τις περισσότερες λειτουργίες να υλοποιούνται σε υλικολογισμικό.

1.12 Πρότυπα και ακρίβεια μέτρησης

Η ανάγκη για στενή συνεργασία μεταξύ κατασκευαστών και επιχειρήσεων κοινής ωφελείας επιτεύχθηκε σχετικά νωρίς. Το πρώτο πρότυπο μέτρησης, ο Κώδικας ANSI C12 για τη μέτρηση ηλεκτρικής

ενέργειας, αναπτύχθηκε ήδη από το 1910. Ο Πρόλογος του λέει: «Ενώ ο Κώδικας βασίζεται φυσικά σε επιστημονικές και τεχνικές αρχές, η εμπορική πλευρά της μέτρησης έχει διαρκώς ληφθεί υπόψη ως πολύ μεγάλης σημασίας».

Το πρώτο γνωστό πρότυπο μέτρησης IEC, Δημοσίευση 43, χρονολογείται από το 1931. Το υψηλό επίπεδο ακρίβειας είναι ένα εξαιρετικό χαρακτηριστικό που καθιερώθηκε και διατηρήθηκε από το επάγγελμα των μετρητών. Τα φυλλάδια ήδη από το 1914 διαθέτουν μετρητές με ακρίβεια 1,5% στο εύρος μέτρησης από 10% ή λιγότερο έως 100% του μέγιστου ρεύματος. Το IEC 43:1931 καθορίζει την κατηγορία ακρίβειας 2.0. Αυτή η ακρίβεια εξακολουθεί να θεωρείται επαρκής για τις περισσότερες οικιακές εφαρμογές σήμερα, ακόμη και για στατικούς μετρητές.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Μετρητής ενέργειας

Το υλικό που μπορεί να μετρήσει την παραγόμενη/καταναλωμένη ηλεκτρική ενέργεια είναι **μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας**. Εν συντομία, ο μετρητής ενέργειας μετρά την ηλεκτρική ισχύ και τον χρόνο εφαρμογής αυτής της ισχύος

2.2 Διαφορά μεταξύ μετρητή ενέργειας και αναλυτή ενέργειας

Τα μεγαλύτερα ανώτερα χαρακτηριστικά των μετρητών ενέργειας έναντι των αναλυτών ενέργειας είναι: κλειστή δομή, μνήμη/οθόνη που δεν μπορεί να διαγραφεί και δεν χρειάζεται βοηθητικό τροφοδοτικό. Για να μπορέσουμε να μιλήσουμε περισσότερο για αυτές τις δυνατότητες των μετρητών ενέργειας, πρέπει πρώτα να αναφέρουμε τους τύπους των μετρητών ενέργειας. Υπάρχουν πολλοί τύποι μετρητών ενέργειας. Μπορούμε να ομαδοποιήσουμε σε αυτούς τους τύπους ενέργειας σύμφωνα με τις τρέχουσες τιμές των σημείων μέτρησης, τη δομή των μετρητών ενέργειας και τη σύνδεση των σημείων μέτρησης.

2.3 Τύποι μετρητών ενέργειας

Σύμφωνα με τα σημεία μέτρησης τύπους ρεύματος.

- Μετρητής ενέργειας AC
- Μετρητής ενέργειας συνεχούς ρεύματος

Σύμφωνα με τη δομή του μετρητή ενέργειας.

- **Μηχανικός μετρητής ενέργειας:** Ο μετρητής ενέργειας λειτουργεί σύμφωνα με τη ροπή που δημιουργείται από το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από το ρεύμα που διέρχεται από το πηνίο ρεύματος και την τάση που πέφτει στο πηνίο τάσης στον δίσκο αλουμινίου. Οι αριθμοί στην τιμή του αριθμητή αυξάνονται όσο περιστρέφεται ο δίσκος.
- **Ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας:** Όπως γίνεται κατανοητό από το όνομα, είναι ο τύπος μετρητή που επιτρέπει τη μέτρηση

με ηλεκτρονικό κύκλωμα, πολύ πιο ακριβής από τους μηχανικούς μετρητές, το προηγμένο σύστημα και τις επιλογές επικοινωνίας που θα εξηγηθούν περαιτέρω. Αν και ο μετρητής έχει σχεδιαστεί ως τυπικό προϊόν όταν περιγράφεται με αυτόν τον τρόπο, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται ή δεν χρησιμοποιείται (μπομπίνα rogowski κ.λπ.) μπορεί να αλλάξει τόσο την ακρίβεια μέτρησης όσο και την εσωτερική κατανάλωση που δεν μπορεί να αναμένεται από έναν μετρητή. Ειδικά, τις τελευταίες στιγμές που η ενεργειακή απόδοση είναι πολύ σημαντική. Οι εταιρείες διανομής ενέργειας πρέπει να λάβουν υπόψη αυτό το γεγονός λόγω των τεράστιων επενδύσεών τους στο σύστημα μετρητών ενέργειας.

Σύμφωνα με τη φυσική σύνδεση

- **Απευθείας συνδεδεμένος μετρητής ενέργειας:** Είναι ένας τύπος μετρητή που μπορεί να συνδεθεί απευθείας στο κύκλωμα με 100 αμπέρ και 120 αμπέρ σε ορισμένους ειδικούς μετρητές χωρίς να χρειάζεται μετασχηματιστής ρεύματος ή τάσης.
- **Συνδεδεμένος μετρητής ενέργειας CT:** Αυτοί οι μετρητές ενέργειας λειτουργούν έως και το επίπεδο ρεύματος μέτρησης 5 αμπέρ και ανασυγκροτούνται ανάλογα με τη χρήση του μετασχηματιστή τάσης στο σημείο μέτρησης τάσης.
- **LV (χαμηλή τάση):** Αυτοί οι μετρητές ενέργειας χρησιμοποιούν μόνο μετασχηματιστές ρεύματος για μέτρηση. Δεν χρειάζονται μετασχηματιστές τάσης. Μπορούν να συνδεθούν απευθείας σε χαμηλή τάση.
- **HV (High Voltage):** Αυτοί οι μετρητές ενέργειας χρησιμοποιούν μετασχηματιστές ρεύματος και μετασχηματιστές τάσης.

Σημείωση: Οι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται στη μετάδοση ή σε οποιοδήποτε άλλο μέρος όπου απαιτείται ευαίσθητη μέτρηση πρέπει να είναι υψηλής ακρίβειας, ειδικά σε εγκαταστάσεις ηλιακών (GES), αιολικών (RES) και υδροηλεκτρικών (HES) όπου η παραγωγή, η μεταφορά ή η κατανάλωση γίνεται σε πολύ υψηλές τιμές.

Σύμφωνα με τη σύνδεση φάσης

- **Μονοφασική (Μονοφασική/διενσύρματη Μέτρηση):** Γενικά, οι μετρητές ενέργειας αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για κατανάλωση μικρών κατοικιών και χώρων φωτισμού.
- **Πολυφασική (Μέτρηση τριών φάσεων)**
 - **Σύνδεση τριφασικών/τριών καλωδίων (ARON):** Γενικά, χρησιμοποιείται σε ισορροπημένα φορτία.
 - **Τριφασική/Τετραφασική ενσύρματη σύνδεση:** Είναι ο τύπος σύνδεσης που μετράται χωριστά η ενέργεια κάθε φάσης και υπολογίζεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Σύμφωνα με τις παραμέτρους μέτρησης

- **Μετρητής Ενεργής Ενέργειας:** Οι μετρητές ενέργειας αυτού του τύπου μπορούν να μετρήσουν μόνο την ενεργή ενέργεια ως παράμετρο ενέργειας. Αυτοί οι μετρητές ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οικιακούς και μικρούς χώρους εργασίας.
- **Ενεργός/αντιδραστικός (Combi) μετρητής ενέργειας:** Μετρητές ενέργειας συνδυασμού μετρούν την ενεργή και την αντιδραστική ενέργεια μαζί. Αυτοί οι τύποι μετρητών ενέργειας χρησιμοποιούνται σε σημεία υψηλής κατανάλωσης ενέργειας όπως εργοστάσια, μεγάλα εμπορικά κέντρα, κ.λπ.... Υπάρχουν δύο τύπων άεργη ενέργεια ως επαγωγική και χωρητική. Ειδικά, λόγω της απαιτούμενης υψηλής άεργης ενέργειας, το σύστημα απαιτεί μια αντιδραστική αντιστάθμιση. Εάν ξεπεραστούν συγκεκριμένα όρια, μπορεί να υπάρξουν πολύ σοβαρές κυρώσεις. Για το λόγο αυτό, η άεργος ενέργεια πρέπει να μετρηθεί σε αυτά τα σημεία.

Σύμφωνα με το τιμολόγιο

- **Σύμφωνα με την Ισχύ ζήτησης:** Κατά την εγγραφή στην εταιρεία διανομής, οι συμβάσεις μπορούν να συναφθούν σε δύο μορφές, μονής διάρκειας και διπλής διάρκειας.

- **Συνδρομή Απλής Διάρκειας:** Είναι μόνο η χρέωση ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται σε συγκεκριμένη τιμή.
- **Συνδρομή Διπλής Διάρκειας:** Σε αυτόν τον τύπο συνδρομής, ο πελάτης πληρώνει επιπλέον επιπλέον τιμή ανάλογα με την ισχύ ζήτησης με την τιμή της ενέργειας που καταναλώνει. Για αυτόν τον τύπο χρήσης πρέπει να υπάρχει ένας μετρητής ενέργειας με μέτρηση ζήτησης.

Μειονεκτήματα: Στη διπλή διάρκεια συνδρομής, η τιμή μονάδας ενέργειας είναι χαμηλότερη από την απλή συνδρομή λόγω συμφωνίας σύμφωνα με την ισχύ ζήτησης. Ωστόσο, η τιμή μονάδας θα αυξηθεί ως τιμωρία εάν ξεπεραστεί το όριο ισχύος ζήτησης. Όταν η εταιρεία διανομής θεωρεί ότι η υποδομή είναι σχεδιασμένη, γίνονται σχέδια για την κάλυψη των υφιστάμενων δυνάμεων ζήτησης και αποφεύγονται οι περιττές επενδύσεις.

Σύμφωνα με τις χρεώσεις

- **Συνδρομή ενιαίας τιμολόγησης (Single Time Line):** Είναι τύπος συνδρομής που χρησιμοποιείται μόνο ενιαία τιμή μονάδας για όλες τις χρονογραμμές 7/24.
- **Συνδρομή πολλαπλών τιμών (Πολλαπλής Χρονικής Γραμμής):** Αυτός ο τύπος τιμολόγησης μπορεί να διαιρεθεί όπως ημερήσιες, νυχτερινές και ακραίες (μέγιστη χρονική γραμμή τιμής) σε 24 ώρες. Ο κύριος στόχος είναι να τραβήξετε την κατανάλωση των συνδρομητών από τον ρυθμό αιχμής της γραμμής χρόνου υψηλής κατανάλωσης (pquant) και να την κατευθύνετε στην τιμή μιας νύχτας, η οποία είναι λιγότερο γενική κατανάλωση.

Σύμφωνα με Μεταχειρισμένη Προμήθεια (Δίκτυο/Γεννήτρια)

Αυτού του τύπου τα συστήματα μετρητών ενέργειας που χρησιμοποιούνται γενικά σε εμπορικά κέντρα και οικιστικές κατασκευές. Στόχος σε αυτό το σύστημα τιμολογίων να διαχωρίσει την κανονική τιμή της ενέργειας του δικτύου και το ακριβό κόστος της ενέργειας της γεννήτριας σε μετρητή ενέργειας.

2.4 Μέθοδοι μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας

2.4.1 Επαγωγικοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας

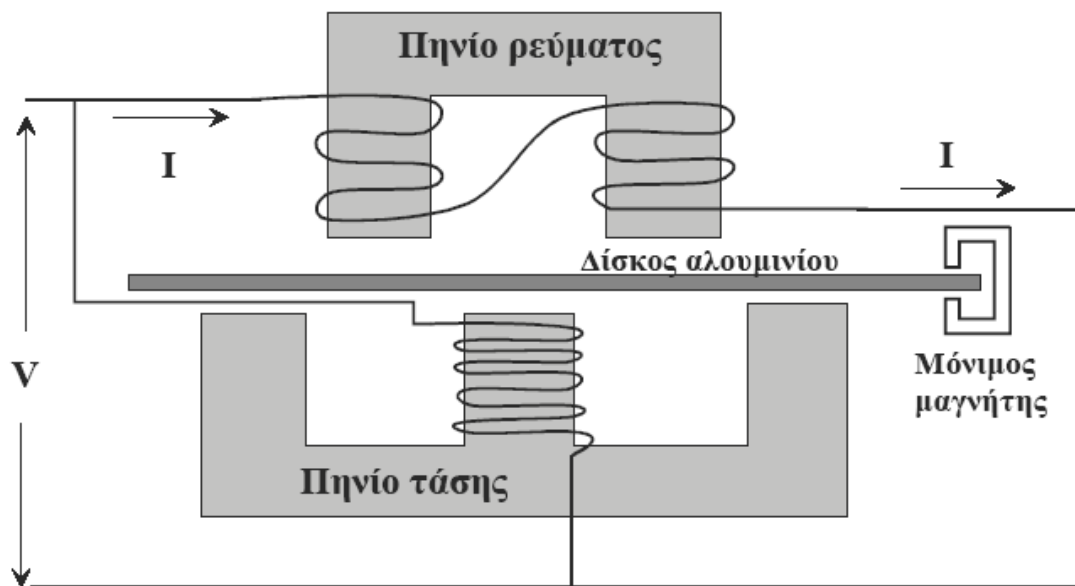
Η λειτουργία των επαγωγικών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στην ίδια αρχή με τα επαγωγικά όργανα. Υπάρχει όμως μία βασική διαφορά: το κινούμενο μέρος του οργάνου δεν διαθέτει επανατακτικά ελατήρια, άρα μπορεί να κάνει περιστροφή 360°. Κατά τα άλλα, τα βασικά μέρη τους είναι τα ίδια με αυτά των απλών επαγωγικών οργάνων: ένας λεπτός δίσκος αλουμινίου ο οποίος μπορεί να περιστρέφεται ανάμεσα στους πόλους δύο ηλεκτρομαγνητών (Εικόνα 2-1). Το πηνίο του ενός ηλεκτρομαγνήτη έχει λίγες χοντρές σπείρες, είναι συνδεδεμένο σε σειρά στο κύκλωμα (σύστημα έντασης) και δημιουργεί μαγνητικό πεδίο ανάλογο του ρεύματος του καταναλωτή. Αντίστοιχα, το άλλο πηνίο έχει πολλές λεπτές σπείρες, συνδέεται παράλληλα στο κύκλωμα (σύστημα τάσης) και δημιουργεί μαγνητικό πεδίο ανάλογο της τάσης του καταναλωτή. Λόγω της κατασκευής τους, το σύστημα τάσης παρουσιάζει ωμική αντίσταση ενώ το σύστημα έντασης επαγωγική αντίσταση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι μαγνητικές ροές των δημιουργούμενων πεδίων να έχουν φασική απόκλιση μεταξύ τους και να επάγουν ένα συνιστάμενο στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.



Εικόνα 2-1 Επαγωγικός μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας

Λόγω φαινομένων επαγωγής, δημιουργείται σύστημα δινορευμάτων γύρω από το σημείο που διαπερνά κάθε μαγνητική ροή τον δίσκο. Τα δινορεύματα που οφείλονται στο σύστημα τάσης τέμνουν την μαγνητική ροή του συστήματος έντασης και αντίστροφα. Άρα στο δίσκο θα ασκούνται δυνάμεις Laplace που θα επάγουν ροπή κίνησης η οποία θα δίνεται από μία σχέση της μορφής:

$$M_K = K \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi$$



Σχήμα 2-1 Κατασκευή επαγωγικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας

όπου V , I η τάση και το ρεύμα του καταναλωτή, φ η διαφορά φάσης μεταξύ τους και K μία σταθερά που εξαρτάται από την κατασκευή του οργάνου. Όμως το γινόμενο $VI \sin \varphi$ δίνει την ισχύ του καταναλωτή άρα η ροπή κίνησης είναι ανάλογη της ισχύος:

$$M_K = K \cdot P_K$$

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το όργανο δεν διαθέτει επανατακτικά ελατήρια και ο δίσκος μπορεί να κάνει πλήρη περιστροφή λόγω της ροπής κίνησης. Για τον έλεγχο της περιστροφής αυτής, ο δίσκος περιστρέφεται ανάμεσα στους πόλους ενός μόνιμου μαγνήτη. Τα συνεπαγόμενα δινορεύματα του σταθερού μαγνητικού πεδίου λειτουργούν σαν φρένο επάγοντας μία ροπή αντιτιθέμενη στην κίνηση που θα δίνεται από μία σχέση της μορφής:

$$M_{\alpha} = C_1 \cdot \omega = C_2 \cdot N$$

όπου C_1 και C_2 σταθερές εξαρτώμενες από την κατασκευή του οργάνου, ω η γωνιακή συχνότητα περιστροφής και N ο αριθμός των στροφών. Όταν οι δύο ροπές γίνουν ίσες, ο δίσκος θα περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα και θα ισχύει:

$$M_K = M_{\alpha} \Rightarrow P_K \cdot K = C_2 \cdot N \Rightarrow P_K = C_3 \cdot N$$

όπου C_3 σταθερά. Δηλαδή, για σταθερή γωνιακή ταχύτητα περιστροφής, η ισχύς είναι ανάλογη του αριθμού των στροφών. Αν η τροφοδοσία ισχύος πραγματοποιηθεί για χρόνο t , η αντίστοιχη ενέργεια που απορροφά ο καταναλωτής θα σχετίζεται με τον ολικό αριθμό των στροφών μέσω της σχέσης:

$$P_K \cdot t = C_3 \cdot N \cdot t \Rightarrow W_K = C_3 \cdot N_{ολ} \Rightarrow N_{ολ} = C \cdot W_K$$

όπου $N_{ολ}$ ο συνολικός αριθμός των στροφών σε χρόνο t . Από την τελευταία σχέση φαίνεται ότι ο συνολικός αριθμός των στροφών του μετρητή μέσα σε χρονικό διάστημα t είναι απ' ευθείας ανάλογος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώθηκε το διάστημα αυτό. Επομένως, μετρώντας τον αριθμό των στροφών του επαγωγικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας μπορούμε να μετρήσουμε την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώθηκε. Η σταθερά C ονομάζεται σταθερά του μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας και έχει μονάδες στροφές/kWh.

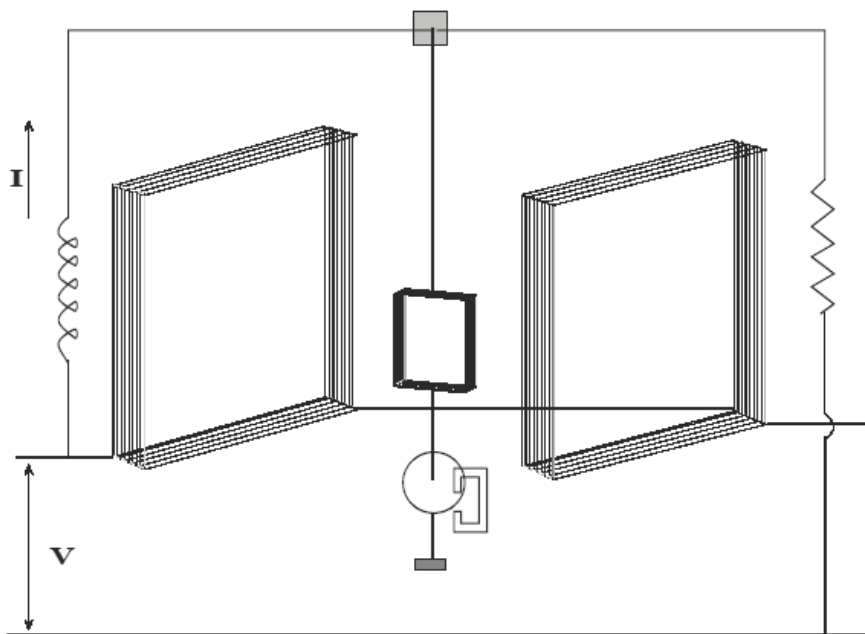
Οι επαγωγικοί μετρητές είναι οι πλέον διαδεδομένοι για μετρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας στο εναλλασσόμενο καθώς είναι φτηνοί και απλοί. Το βασικό τους όμως μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορούν να μετρήσουν την κατανάλωση (απώλειες) ενέργειας σε άεργους καταναλωτές.

2.4.2 Ηλεκτροδυναμικοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας

Μία άλλη εκδοχή μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στα ηλεκτροδυναμικά όργανα, με τη βασική διαφορά ότι το κινούμενο μέρος του οργάνου μπορεί να κάνει περιστροφή 360° . Κατά τα άλλα, τα βασικά μέρη του μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα ίδια με αυτά των απλών ηλεκτροδυναμικών οργάνων: ένα κινούμενο πηνίο μπορεί να

περιστρέφεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ένα μεγάλο ακίνητο πηνίο. Το ακίνητο πηνίο έχει λίγες χοντρές σπείρες, είναι συνδεδεμένο σε σειρά στο κύκλωμα (πηνίο έντασης) και δημιουργεί μαγνητικό πεδίο ανάλογο του ρεύματος του καταναλωτή. Αντίστοιχα, το κινούμενο πηνίο έχει πολλές λεπτές σπείρες, συνδέεται παράλληλα στο κύκλωμα (πηνίο τάσης) και δημιουργεί μαγνητικό πεδίο ανάλογο της τάσης του καταναλωτή. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η ροπή κίνησης που ασκείται στο κινούμενο πηνίο είναι απ' ευθείας ανάλογη της ενεργούς ισχύος. Κατά τρόπο αντίστοιχο με τους επαγωγικούς μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχει μικρός δίσκος αλουμινίου που περιστρέφεται ανάμεσα στους πόλους μόνιμου μαγνήτη για τον έλεγχο της περιστροφής του κινούμενου πηνίου. Τα συνεπαγόμενα δινορεύματα λειτουργούν σαν φρένο με μία ροπή που αντιτίθεται στην κίνηση. Σαν αποτέλεσμα, η λειτουργία του οργάνου περιγράφεται από την εξίσωση $P_K \cdot t = C_3 \cdot N \cdot t \Rightarrow W_K = C_3 \cdot N_{o\lambda} \Rightarrow N_{o\lambda} = C \cdot W_K$

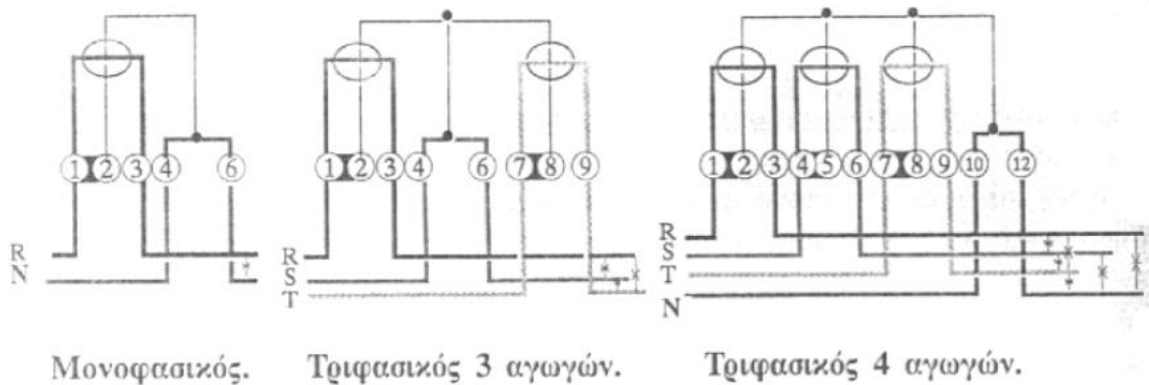
δηλαδή μετρώντας τον αριθμό των στροφών του ηλεκτροδυναμικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας μπορούμε να μετρήσουμε την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώθηκε. Οι ηλεκτροδυναμικοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται κυρίως στο συνεχές.



Σχήμα 2-2 Αρχή λειτουργίας ηλεκτροδυναμικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας

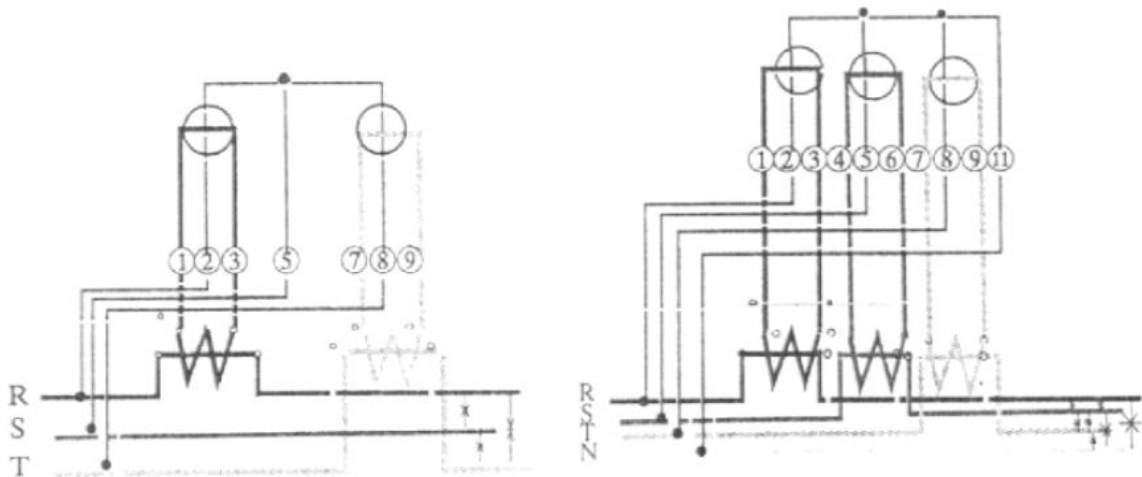
2.4.3 Συνδεσμολογίες επαγωγικών μετρητών

Όταν ο μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας είναι τριφασικός, χρησιμοποιούνται τρεις αμπερομετρικοί και τρεις βολτομετρικοί ηλεκτρομαγνήτες κατάλληλα συνδεδεμένοι, για να μπορεί ο μετρητής να μετράει ενέργεια που καταναλώθηκε από τριφασικό ή μονοφασικό φορτίο.



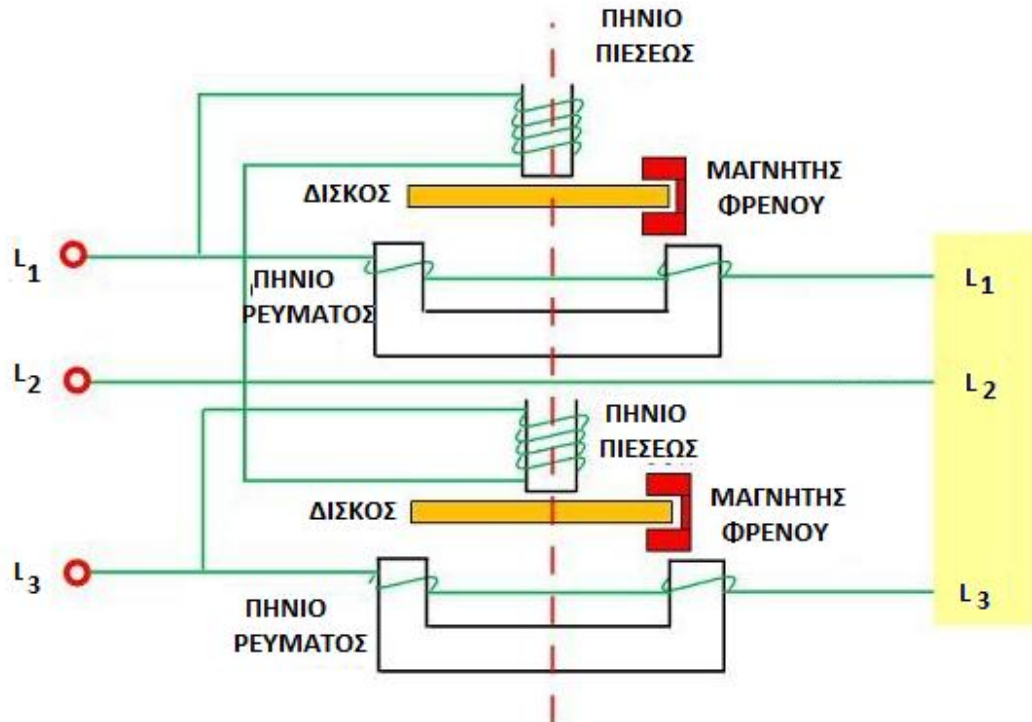
Σχήμα 2-3 Βασικές συνδεσμολογίες επαγωγικών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας.

Για μεγάλους καταναλωτές οι μετρητές συνοδεύονται με Μ/Σ έντασης.



Σχήμα 2-4 Βασικές συνδεσμολογίες επαγωγικών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας με ΜΣ έντασης

Σημείωση: Σε περιπτώσεις που έχουμε ειδικά τιμολόγια μέσης ή υψηλής τάσης, επειδή η επιβάρυνση έχει σχέση με τη μέγιστη ζήτηση ισχύος και την κατανάλωση άεργης ισχύος, τοποθετούνται μετρητές με δείκτη για την μέγιστη ζήτηση και μετρητές άεργης ισχύος.



Σχήμα 2-5 Τριφασικός μετρητής - Δομικό διάγραμμα

2.4.4 Εκτίμηση του σφάλματος μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας

Για τον υπολογισμό του σφάλματος σε ένα μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας γνωρίζουμε τη σταθερά c του μετρητή, την ισχύ του καταναλωτή σε KW και τις στροφές που φέρνει ο δίσκος, όταν ο καταναλωτής είναι συνδεδεμένος για ορισμένο χρονικό διάστημα στο κύκλωμα. Στην περίπτωση αυτή έχουμε:

$C' = n \cdot 3600 / P \cdot t$, όπου:

P = ισχύς της κατανάλωσης σε W.

t = χρόνος λειτουργίας σε sec.

n = στροφές που έφερε ο δίσκος στο χρόνο t .

Το σχετικό σφάλμα είναι: $F\% = (C' - C/C) \cdot 100$

Για $F > 0$ ζημιώνεται ο πελάτης.

Για $F < 0$ ζημιώνεται η Δ.Ε.Η.

Υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης μετρητή Η.Ε. με δύο τιμολόγια (ημερήσιο και νυκτερινό) Η αλλαγή των τιμολογίων γίνεται αυτόματα, συνήθως με εντολή που στέλνει η ΔΕΗ (με σύστημα

ακουστικής συχνότητας ΤΑΣ) σε ένα ηλεκτρονόμο κατά τις ώρες που δεν παρουσιάζεται αιχμή φορτίου. Ο μετρητής έχει δύο δίσκους

2.4.5 Προσδιορισμός της ισχύος καταναλωτή, με τη βοήθεια μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας και χρονομέτρου.

Αν για καταναλωτή άγνωστης ισχύος γνωρίζουμε την ΗΕ που κατανάλωσε (με τη βοήθεια μετρητή) σε χρόνο λειτουργίας t μπορούμε να υπολογίσουμε την ισχύ που απορροφά ο καταναλωτής από το δίκτυο από τη γνωστή σχέση $P = E/t$. Όταν ο καταναλωτής απορροφά πολύ μικρή ισχύ, είναι αδύνατη η ακριβής ανάγνωση από το μετρητή της ΗΕ που καταναλώθηκε, πλην όμως μπορούμε να εκτιμήσουμε αυτή μέσω της σταθεράς C . Μπορούμε να την υπολογίσουμε από τις στροφές που φέρνει ο δίσκος του μετρητή σε ορισμένο χρόνο λειτουργίας t του καταναλωτή όπως παρακάτω:

Αν για μία κιλοβατώρα ο δίσκος φέρνει C στροφές, για πόσες κιλοβατώρες ο δίσκος έφερε η στροφές; $X = E = \eta/c$ σε Kwh και $P = E/t$ σε KW. t σε ώρες

2.4.6 Ψηφιακός ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας

Σε ψηφιακούς ηλεκτρικούς μετρητές χρησιμοποιούνται ψηφιακοί επεξεργαστές σήματος ή μικροεπεξεργαστές υψηλής απόδοσης. Παρόμοια με τους αναλογικούς μετρητές, οι μετατροπείς τάσης και ρεύματος συνδέονται σε ADC υψηλής ανάλυσης. Μόλις μετατρέψει τα αναλογικά σήματα σε ψηφιακά δείγματα, τα δείγματα τάσης και ρεύματος πολλαπλασιάζονται και ενσωματώνονται με ψηφιακά κυκλώματα για τη μέτρηση της ενέργειας που καταναλώνεται.



Εικόνα 2-2 Ψηφιακός μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας

Ο μικροεπεξεργαστής υπολογίζει επίσης τη γωνία φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος, έτσι ώστε να μετρά και να υποδεικνύει την άεργο ισχύ. Είναι προγραμματισμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να υπολογίζει την ενέργεια σύμφωνα με το τιμολόγιο και άλλες παραμέτρους όπως συντελεστής ισχύος, μέγιστη ζήτηση κ.λπ. και αποθηκεύει όλες αυτές τις τιμές σε μια μη πτητική μνήμη EEPROM.

Περιέχει ρολόι πραγματικού χρόνου (RTC) για τον υπολογισμό του χρόνου για την ενσωμάτωση ισχύος, τους υπολογισμούς μέγιστης ζήτησης και επίσης σφραγίδες ημερομηνίας και ώρας για συγκεκριμένες παραμέτρους. Επιπλέον, αλληλεπιδρά με οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD), συσκευές επικοινωνίας και άλλες εξόδους μετρητών. Η μπαταρία παρέχεται για RTC και άλλα σημαντικά περιφερειακά για εφεδρική ισχύ.

2.4.7 Έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας

Ένας έξυπνος μετρητής είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που καταγράφει πληροφορίες όπως η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, τα επίπεδα τάσης, το ρεύμα και ο συντελεστής ισχύος. Οι έξυπνοι μετρητές κοινοποιούν τις πληροφορίες στον καταναλωτή για μεγαλύτερη

σαφήνεια της συμπεριφοράς κατανάλωσης και οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας για την παρακολούθηση του συστήματος και την τιμολόγηση των πελατών. Οι έξυπνοι μετρητές καταγράφουν συνήθως ενέργεια κοντά σε πραγματικό χρόνο και αναφέρουν σε τακτικά, μικρά διαστήματα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επιτρέπουν την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του μετρητή και του κεντρικού συστήματος. Μια τέτοια προηγμένη υποδομή μέτρησης (Advanced Measurement Instalation - AMI) διαφέρει από την αυτόματη ανάγνωση του μετρητή (Automatic measurement Reading - AMR) στο ότι επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του μετρητή και του προμηθευτή. Οι επικοινωνίες από τον μετρητή στο δίκτυο μπορεί να είναι ασύρματες ή μέσω σταθερών ενσύρματων συνδέσεων, όπως φορέας γραμμής τροφοδοσίας (Power Line Cable - PLC) . Οι επιλογές ασύρματης επικοινωνίας σε κοινή χρήση περιλαμβάνουν κυψελοειδείς επικοινωνίες, Wi-Fi (άμεσα διαθέσιμο), ασύρματα ad hoc δίκτυα μέσω Wi-Fi, ασύρματα δίκτυα πλέγματος, ασύρματα μεγάλης εμβέλειας χαμηλής ισχύος (LoRa), Wize (υψηλό ποσοστό διείσδυσης ραδιοφώνου, ανοιχτό, χρησιμοποιώντας τη συχνότητα 169 MHz) ZigBee (χαμηλή ισχύς, χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ασύρματη) και Wi-SUN (Έξυπνα δίκτυα βοήθειας).

Ο όρος Έξυπνος Μετρητής αναφέρεται συχνά σε μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά μπορεί επίσης να σημαίνει μια συσκευή που μετράει την κατανάλωση φυσικού αερίου, νερού ή τηλεθέρμανσης . Παρόμοιοι μετρητές, που συνήθως αναφέρονται ως μετρητές διαστήματος ή χρόνου χρήσης, υπάρχουν εδώ και χρόνια, αλλά οι "Έξυπνοι μετρητές" συνήθως περιλαμβάνουν αισθητήρες σε πραγματικό ή σχεδόν πραγματικό χρόνο, ειδοποίηση διακοπής ρεύματος και παρακολούθηση ποιότητας ρεύματος. Αυτές οι πρόσθετες λειτουργίες είναι κάτι περισσότερο από απλή αυτοματοποιημένη ανάγνωση μετρητή (AMR). Μοιάζουν από πολλές απόψεις με τους μετρητές (AMI). Μετρητές διαστήματος και χρόνου χρήσης έχουν εγκατασταθεί ιστορικά για τη μέτρηση εμπορικών και βιομηχανικών πελατών, αλλά ενδέχεται να μην έχουν αυτόματη ένδειξη



Εικόνα 2-3 Έξυπνος μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας

Έρευνα από την ομάδα καταναλωτών του Ηνωμένου Βασιλείου, έδειξε ότι ένας στους τρεις συγχέει τους έξυπνους μετρητές με τις ενεργειακές οθόνες, γνωστές και ως οθόνες οθόνης στο σπίτι. Η εγκατεστημένη βάση έξυπνων μετρητών στην Ευρώπη στα τέλη του 2008 ήταν περίπου 39 εκατομμύρια μονάδες, σύμφωνα με την εταιρεία αναλυτών Berg Insight. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η Pike Research διαπίστωσε ότι οι αποστολές έξυπνων μετρητών ήταν 17,4 εκατομμύρια μονάδες για το πρώτο τρίμηνο του 2011. Η Visiongain προσδιόρισε ότι η αξία της παγκόσμιας αγοράς έξυπνων μετρητών θα έφτανε τα 7 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ το 2012.

Από τον Ιανουάριο του 2018, πάνω από 99 εκατομμύρια μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας εγκαταστάθηκαν σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ εκτιμάται ότι θα εγκατασταθούν ακόμη 24 εκατομμύρια έως το τέλος του 2020. Η ΓΔ Ενέργειας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής εκτιμά ότι η εγκατεστημένη βάση του 2020 απαιτούσε επενδύσεις 18,8 δισεκατομμυρίων ευρώ, αυξάνοντας στα 40,7 δισεκατομμύρια ευρώ έως το 2030, με συνολική ανάπτυξη 266 εκατομμυρίων έξυπνων μετρητών.

Μέχρι το τέλος του 2018, οι ΗΠΑ είχαν εγκαταστήσει πάνω από 86 εκατομμύρια έξυπνους μετρητές. Το 2017, εγκαταστάθηκαν 665

εκατομμύρια έξυπνοι μετρητές παγκοσμίως. Η παραγωγή εσόδων αναμένεται να αυξηθεί από 12,8 δισεκατομμύρια δολάρια το 2017 σε 20 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2022. Οι έξυπνοι μετρητές μπορεί να αποτελούν μέρος ενός έξυπνου δικτύου, αλλά δεν αποτελούν οι ίδιοι ένα έξυπνο δίκτυο.

2.4.7.1 Σύντομη Ιστορία

Το 1972, ο Θεόδωρος Παρασκευάκος , ενώ εργαζόταν με την Boeing στο Huntsville της Αλαμπάμα , ανέπτυξε ένα σύστημα παρακολούθησης αισθητήρων που χρησιμοποιούσε ψηφιακή μετάδοση για συστήματα ασφαλείας, πυρκαγιάς και ιατρικού συναγερμού καθώς και δυνατότητες ανάγνωσης μετρητών. Αυτή η τεχνολογία ήταν μια απόσπαση από το αυτόματο σύστημα αναγνώρισης τηλεφωνικών γραμμών, που τώρα είναι γνωστό ως Αναγνωριστικό καλούντος .

Το 1974 απονεμήθηκε στον Παρασκευάκο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας των ΗΠΑ για αυτή την τεχνολογία. Το 1977, κυκλοφόρησε τη Metretek, Inc., η οποία ανέπτυξε και παρήγαγε τους πρώτους έξυπνους μετρητές. Δεδομένου ότι αυτό το σύστημα αναπτύχθηκε πριν από το Διαδίκτυο, η Metretek χρησιμοποίησε τον μίνι-υπολογιστή της σειράς 1 IBM. Για αυτήν την προσέγγιση, οι Παρασκευάκος και Metretek βραβεύτηκαν με πολλαπλές πατέντες.

2.4.7.2 Τα οφέλη από τη χρήση έξυπνων μετρητών

Από την έναρξη της απορρύθμισης της ηλεκτρικής ενέργειας και της τιμολόγησης βάσει της αγοράς σε όλο τον κόσμο, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας αναζητούν ένα μέσο για να συνδυάσουν την κατανάλωση με την παραγωγή. Οι μη έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας και αερίου μετρούν μόνο τη συνολική κατανάλωση, χωρίς να παρέχουν πληροφορίες για το πότε καταναλώθηκε η ενέργεια. Οι έξυπνοι μετρητές παρέχουν έναν τρόπο μέτρησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Αυτό επιτρέπει στις εταιρείες κοινής ωφέλειας να χρεώνουν διαφορετικές τιμές για κατανάλωση ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την εποχή. Διευκολύνει επίσης πιο ακριβή μοντέλα ταμειακών ροών για

επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας. Δεδομένου ότι οι έξυπνοι μετρητές μπορούν να διαβαστούν από απόσταση, το κόστος εργασίας μειώνεται για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας.

Η έξυπνη μέτρηση προσφέρει πιθανά οφέλη στους πελάτες. Αυτά περιλαμβάνουν, α) τερματισμό των εκτιμώμενων λογαριασμών, που αποτελούν σημαντική πηγή παραπόνων για πολλούς πελάτες β) ένα εργαλείο που βοηθά τους καταναλωτές να διαχειρίζονται καλύτερα τις αγορές ενέργειας τους—οι έξυπνοι μετρητές με οθόνη έξω από το σπίτι τους θα μπορούσαν να παρέχουν ενημερωμένες πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας και με τον τρόπο αυτό η διαχείριση της χρήσης της ενέργειας να γίνει ευκολότερη οπότε να επέλθει μείωση στους λογαριασμούς ενέργειας. Όσον αφορά τη μείωση της κατανάλωσης, αυτό είναι κρίσιμο για την κατανόηση των πλεονεκτημάτων των έξυπνων μετρητών, επειδή τα σχετικά μικρά ποσοστά οφέλη από την άποψη της εξοικονόμησης πολλαπλασιάζονται με εκατομμύρια χρήστες. Οι έξυπνοι μετρητές για την κατανάλωση νερού μπορούν επίσης να παρέχουν λεπτομερείς και έγκαιρες πληροφορίες σχετικά με τη χρήση νερού από τους πελάτες και έγκαιρη ειδοποίηση για πιθανές διαρροές νερού στις εγκαταστάσεις τους. Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας συνήθως κορυφώνεται σε συγκεκριμένες προβλέψιμες ώρες της ημέρας και της εποχής. Ειδικότερα, εάν η παραγωγή είναι περιορισμένη, οι τιμές μπορεί να αυξηθούν εάν η ηλεκτρική ενέργεια από άλλες δικαιοδοσίες ή η πιο δαπανηρή παραγωγή διατίθεται στο διαδίκτυο. Οι υποστηρικτές υποστηρίζουν ότι η τιμολόγηση των πελατών με υψηλότερο ρυθμό για τις ώρες αιχμής ενθαρρύνει τους καταναλωτές να προσαρμόσουν τις καταναλωτικές τους συνήθειες ώστε να ανταποκρίνονται περισσότερο στις τιμές της αγοράς και υποστηρίζουν περαιτέρω, ότι οι ρυθμιστικοί φορείς και οι φορείς σχεδιασμού της αγοράς ελπίζουν ότι αυτά τα « σήματα τιμών » θα μπορούσαν να καθυστερήσουν την κατασκευή πρόσθετης παραγωγής ή τουλάχιστον την αγορά ενέργειας από πηγές υψηλότερης τιμής, ελέγχοντας έτσι τη σταθερή και ταχεία αύξηση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας. Μια ακαδημαϊκή μελέτη βασισμένη σε

υπάρχουσες δοκιμές έδειξε ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των ιδιοκτητών σπιτιού μειώνεται κατά μέσο όρο κατά περίπου 3-5% όταν παρέχεται ανάδραση σε πραγματικό χρόνο.

Ένα άλλο πλεονέκτημα των έξυπνων μετρητών που ωφελεί τόσο τους πελάτες όσο και το βοηθητικό πρόγραμμα είναι η δυνατότητα παρακολούθησης που παρέχουν για ολόκληρο το ηλεκτρικό σύστημα. Ως μέρος ενός AMI, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από μετρήσεις έξυπνων μετρητών που σχετίζονται με ρεύμα, τάση και συντελεστή ισχύος για να ανιχνεύσουν ταχύτερα τις διακοπές του συστήματος, επιτρέποντας την άμεση διορθωτική δράση για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των πελατών, όπως οι διακοπές ρεύματος. Οι έξυπνοι μετρητές βοηθούν επίσης τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να κατανοήσουν τις ανάγκες του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας με μεγαλύτερη ευαισθησία από τους μετρητές παλαιού τύπου. Αυτή η μεγαλύτερη κατανόηση διευκολύνει τον προγραμματισμό του συστήματος για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των πελατών, ενώ μειώνει την πιθανότητα πρόσθετων επενδύσεων σε υποδομές, γεγονός που εξαλείφει τις περιττές δαπάνες ή τις αυξήσεις του ενεργειακού κόστους.

Αν και το έργο της κάλυψης της εθνικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας με ακριβή προσφορά γίνεται όλο και πιο δύσκολο καθώς οι διακοπόμενες ανανεώσιμες πηγές παραγωγής αποτελούν μεγαλύτερο ποσοστό του ενεργειακού μείγματος, τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο που παρέχονται από τους έξυπνους μετρητές επιτρέπουν στους διαχειριστές του δικτύου να ενσωματώσουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο δίκτυο προκειμένου να εξισορροπηθούν τα δίκτυα. Ως αποτέλεσμα, οι έξυπνοι μετρητές θεωρούνται μια βασική τεχνολογία για την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές του ενεργειακού συστήματος.

2.4.7.3 Κριτική για την ανάπτυξη έξυπνων μετρητών στο Ηνωμένο Βασίλειο

Η Citizens Advice είπε τον Αύγουστο του 2018 ότι το 80% των ατόμων με έξυπνους μετρητές ήταν ευχαριστημένοι με αυτούς. Ωστόσο, είχε 3.000 κλήσεις το 2017 για προβλήματα. Αυτά σχετίζονται με την απώλεια της λειτουργικότητάς τους από έξυπνους μετρητές πρώτης γενιάς, επιθετικές πρακτικές πωλήσεων και εξακολουθούν να πρέπει να στέλνουν μετρήσεις έξυπνων μετρητών.

Ο Ross Anderson του Ιδρύματος Έρευνας Πολιτικής Πληροφοριών επέκρινε το πρόγραμμα του Ηνωμένου Βασιλείου με το σκεπτικό ότι είναι απίθανο να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας, είναι βιαστικό και ακριβό και δεν προωθεί τον ανταγωνισμό μετρήσεων. Ο Anderson γράφει, «η προτεινόμενη αρχιτεκτονική διασφαλίζει τη συνεχή κυριαρχία της μέτρησης από κατεστημένους φορείς της ενεργειακής βιομηχανίας των οποίων τα οικονομικά συμφέροντα είναι να πουλήσουν περισσότερη ενέργεια παρά λιγότερη» και προέτρεψε τους υπουργούς «να σκοτώσουν το έργο και αντί να προωθήσουν τον ανταγωνισμό στην εγχώρια μέτρηση ενέργειας, όπως κάνουν οι Γερμανοί – και όπως έχει ήδη το Ηνωμένο Βασίλειο στη βιομηχανική μέτρηση. Κάθε καταναλωτής έχει το δικαίωμα να ορίσει τον χειριστή μετρητών της επιλογής του.

Σε μια υποβολή του 2011 στην Επιτροπή Δημόσιων Λογαριασμών, ο Άντερσον έγραψε ότι η Ofgem "έκανε όλα τα κλασικά λάθη που είναι γνωστό εδώ και χρόνια ότι οδηγούν σε αποτυχίες έργων πληροφορικής του δημόσιου τομέα" και ότι "το πιο κρίσιμο μέρος του έργου είναι το πόσο έξυπνο οι μετρητές θα συνομιλούν με οικιακές συσκευές για να διευκολύνουν την ανταπόκριση της ζήτησης — ουσιαστικά αγνοείται."

Ο υψηλός αριθμός εγκατεστημένων μετρητών SMETS1 έχει επικριθεί από τον Peter Earl, επικεφαλής ενέργειας στον ιστότοπο σύγκρισης τιμών comparethemarket.com. Είπε, «Η κυβέρνηση περίμενε ότι θα υπήρχε μόνο ένας μικρός αριθμός έξυπνων μετρητών πρώτης γενιάς πριν από την εμφάνιση του Smets II, αλλά η πραγματικότητα είναι ότι

τώρα υπάρχουν τουλάχιστον πέντε εκατομμύρια και ίσως έως και 10 εκατομμύρια μετρητές Smets I. "

Οι έξυπνοι μετρητές του Ηνωμένου Βασιλείου στη νότια Αγγλία και τα Μίντλαντς χρησιμοποιούν το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας για να επικοινωνούν, επομένως δεν λειτουργούν σωστά όταν η τηλεφωνική κάλυψη είναι ασθενής. Έχει προταθεί μια λύση, αλλά δεν ήταν λειτουργική από τον Μάρτιο του 2017.

Τον Μάρτιο του 2018, το Εθνικό Γραφείο Ελέγχου (NAO), το οποίο παρακολουθεί τις δημόσιες δαπάνες, άνοιξε μια έρευνα για το πρόγραμμα έξυπνων μετρητών, το οποίο μέχρι τότε είχε κοστίσει 11 δισεκατομμύρια λίρες, που είχαν πληρωθεί από τους χρήστες ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υψηλότερων λογαριασμών. Η Εθνική Υπηρεσία Ελέγχου δημοσίευσε τα ευρήματα της έρευνάς της σε μια έκθεση με τίτλο "Rolling out smartmeters" που δημοσιεύτηκε τον Νοέμβριο του 2018. Η έκθεση, μεταξύ άλλων ευρημάτων, ανέφερε ότι ο αριθμός των έξυπνων μετρητών που είναι εγκατεστημένοι στο το Ηνωμένο Βασίλειο θα υπολείπονταν ουσιαστικά από τις αρχικές φιλοδοξίες του Υπουργείου Επιχειρήσεων, Ενέργειας και Βιομηχανικής Στρατηγικής (BEIS) όλων των καταναλωτών του Ηνωμένου Βασιλείου που είχαν εγκαταστήσει έναν έξυπνο μετρητή έως το 2020. Τον Σεπτέμβριο του 2019, η κυκλοφορία έξυπνων μετρητών στο ΗΒ καθυστέρησε για τέσσερα χρόνια.

Ο Ross Anderson και ο Alex Henney έγραψαν ότι "ο Ed Miliband μαγείρεψε τα βιβλία" για να κάνει μια θήκη για έξυπνους μετρητές να φαίνεται οικονομικά βιώσιμη. Λένε ότι οι τρεις πρώτες αναλύσεις κόστους-οφέλους των οικιακών έξυπνων μετρητών διαπίστωσαν ότι θα κόστιζε περισσότερο από ό,τι θα εξοικονομούσε, αλλά «οι υπουργοί συνέχισαν να προσπαθούν μέχρι να πάρουν ένα θετικό αποτέλεσμα... Για να επιτευχθεί «κερδοφορία», η προηγούμενη κυβέρνηση επέκτεινε υποθέσεις ξεδιάντροπα».

Ένας οικονομολόγος στο Ofgem με επίβλεψη της ανάπτυξης του προγράμματος έξυπνων μετρητών που εξέφρασε ανησυχίες στον

διευθυντή του απειλήθηκε με φυλάκιση βάσει νόμου που αποσκοπούσε στην προστασία της εθνικής ασφάλειας. Το Employment Appeal Tribunal διαπίστωσε ότι ο νόμος ήταν αντίθετος με την Ευρωπαϊκή Σύμβαση για τα Ανθρώπινα Δικαιώματα.

2.4.7.4 Συνδεσιμότητα

Η επικοινωνία είναι μια κρίσιμη τεχνολογική απαίτηση για έξυπνους μετρητές. Κάθε μετρητής πρέπει να μπορεί να μεταδίδει αξιόπιστα και με ασφάλεια τις πληροφορίες που συλλέγονται σε μια κεντρική τοποθεσία. Λαμβάνοντας υπόψη τα διαφορετικά περιβάλλοντα και τα μέρη όπου βρίσκονται μετρητές, αυτό το πρόβλημα μπορεί να είναι τρομακτικό. Μεταξύ των λύσεων που προτείνονται είναι: η χρήση δικτύων κινητής τηλεφωνίας και τηλεϊδοποίησης , δορυφόρου , αδειοδοτημένου ραδιοφώνου , συνδυασμού αδειοδοτημένου και μη αδειοδοτημένου ραδιοφώνου και επικοινωνίας γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας. Δεν είναι μόνο το μέσο που χρησιμοποιείται για επικοινωνιακούς σκοπούς, αλλά και το είδος του δικτύου που χρησιμοποιείται, είναι κρίσιμο. Ως εκ τούτου, θα μπορούσε κανείς να βρει: σταθερό ασύρματο, ασύρματο δίκτυο πλέγματος και ασύρματα ad hoc δίκτυα, ή συνδυασμός των δύο. Υπάρχουν πολλές άλλες πιθανές διαμορφώσεις δικτύου, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης Wi-Fi και άλλων δικτύων που σχετίζονται με το Διαδίκτυο . Μέχρι σήμερα καμία λύση δεν φαίνεται να είναι η βέλτιστη για όλες τις εφαρμογές. Οι αγροτικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν πολύ διαφορετικά προβλήματα επικοινωνίας από τις αστικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ή τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που βρίσκονται σε δύσκολες τοποθεσίες, όπως ορεινές περιοχές ή περιοχές που δεν εξυπηρετούνται κακώς από εταιρείες ασύρματης επικοινωνίας και Διαδικτύου.

Εκτός από την επικοινωνία με το κεντρικό δίκτυο, οι έξυπνοι μετρητές μπορεί να πρέπει να αποτελούν μέρος ενός δικτύου οικιακής περιοχής , το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει μια οθόνη εσωτερικής εγκατάστασης και έναν διανομέα για τη διασύνδεση ενός ή περισσότερων μετρητών με το κεντρικό άκρο. Οι τεχνολογίες για αυτό το δίκτυο διαφέρουν από

χώρα σε χώρα, αλλά περιλαμβάνουν επικοινωνία με γραμμή ηλεκτρικού ρεύματος , ασύρματο ad hoc δίκτυο και ZigBee .

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΝΑΛΥΤΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

3.1 Αναλυτής δικτύου πόρτας

3.1.1 Γενικά

Οι αναλυτές δικτύου είναι ηλεκτρονικές μονάδες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση και ανάλυση όλων των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών μίας εγκατάστασης. Μπορούν να τοποθετηθούν σε πόρτα πίνακα. Η τοποθέτηση γίνεται εύκολα και οι διαστάσεις του οργάνου είναι 96x96 mm. Οι αναλυτές συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις των διεθνών προτύπων IEC 61557-12 (IEC 62053-22, IEC 62053-23), IEC 61010-1, καθώς και με το πρότυπο Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας EMC, IEC 61326-1 (IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3, IEC 61000-4-2, IEC 61000 61000-4-3, IEC 61000-4-4, IEC 61000-4-5, IEC 61000-4-6, IEC 61000-4-8, IEC 61000-4-11). Η ονομαστική τάση τροφοδοσίας τους είναι 100-230 V AC/DC $\pm 15\%$.

3.1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Οι αναλυτές δικτύου υποστηρίζουν την απευθείας σύνδεση σε κυκλώματα μέχρι τα 265 V AC, φάση – ουδέτερος με χρήση μετασχηματιστών έντασης με ονομαστικό ρεύμα στο δευτερεύον 5 ή 1 A.

Οι αναλυτές υποστηρίζουν True RMS μετρήσεις μέχρι και την 40η αρμονική, με ταυτόχρονη λήψη 128 δειγμάτων έντασης και τάσεως ανά κύκλο, με αδιάλειπτο τρόπο δειγματοληψίας (zero-blind).

Επίσης μετρούν τα παρακάτω ηλεκτρικά χαρακτηριστικά:

- Φασική τάση (φάση-ουδέτερο), Πολική τάση (φάση-φάση)
- Ένταση ρεύματος (L1, L2, L3, N=υπολογίζεται)
- Συχνότητα
- Συντελεστή ισχύος
- Ενεργός, άεργος και φαινόμενη ισχύς
- Μέγιστη ζήτηση ισχύος (ενεργός, άεργη και φαινόμενη)

- Ενεργός, άεργος και φαινόμενη ενέργεια
- Μέτρηση σε 4 τεταρτημόρια της ενεργούς, άεργου και φαινομένης ισχύος (παρακολούθηση της ενέργειας που απορροφάται και παράγεται από το σύστημα)
- Συνολική αρμονική παραμόρφωση τάσεως και έντασης ρεύματος
- Μέτρηση μέχρι την 40η αρμονική τάσεως και εντάσεως ρεύματος
- Μέτρηση ωρών λειτουργίας αυξανόμενης τιμής και λειτουργίας μειούμενης τιμής
- Ενέργεια αποτυπωμένη σε CO₂ kg

Οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες λειτουργίας των αναλυτών είναι μεταξύ των -25 και +70°C με βαθμό προστασίας IP 54 χωρίς την απαίτηση για οποιοδήποτε επιπλέον εξάρτημα.

Οι αναλυτές διαθέτουν έγχρωμη οθόνη αφής 3,5’’ (70x52 mm). Η παραμετροποίηση της συσκευής προστατεύεται από κωδικό χρήστη ενώ ο χρήστης θα μπορεί να ορίσει την οθόνη της επιλογής του, στην οποία θα επιστρέφει η συσκευή αυτόματα μετά από καθορισμένο χρόνο αναμονής. Επιπλέον πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα γραφικής απεικόνισης των βασικών μετρούμενων μεγεθών όπως οι κυματομορφές της τάσης, της έντασης, οι μετρούμενες αρμονικές όπως και τα διαγράμματα φάσεων και εντάσεων αποτυπώνοντας τη μεταξύ τους διαφορά.

Οι αναλυτές υποστηρίζουν 4 προγραμματιζόμενες I/O, οι οποίες μπορούν να παραμετροποιηθούν είτε έως ψηφιακές είσοδοι είτε έως ψηφιακές έξοδοι. Οι έξοδοι αυτές μπορούν να συσχετιστούν με παλμούς ενέργειας, με σήματα επικοινωνίας ή σήματα συναγερμού ορισμένα από τον χρήστη. Σε περίπτωση που απαιτείται, υπάρχει η δυνατότητα αύξησης των προγραμματιζόμενων I/O σε 6 με την προσθήκη επιπλέον 2 αναλογικών εξόδων. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα συσχέτισης των μετρήσεων με 0-20 mA ή 4-20 mA ρεύμα εξόδου στις αναλογικές εξόδους.

Οι αναλυτές πρέπει να υποστηρίζουν κάποιο από τα παρακάτω πρωτόκολλα επικοινωνίας:

- Modbus RTU,
- Modbus TCP/IP,
- Profibus DP-V0 ή
- BACnet/IP

Παράλληλα οι αναλυτές διαθέτουν ενσωματωμένο Bluetooth για την απεικόνιση των μετρήσεων σε PC ή έξυπνη συσκευή (smartphone/tablet). Η αναβάθμισή τους και η παραμετροποίηση θα μπορεί να γίνεται επίσης μέσω υπολογιστή χρησιμοποιώντας σύνδεση Bluetooth ή μέσω θύρας Ethernet.

Οι αναλυτές διαθέτουν εσωτερική μνήμη μέχρι και 32 MB για αποθήκευση του προφίλ των αναλυόμενων φορτίων, της min/max ζήτηση ενέργειας, των δεδομένων συντήρησης, του συνόλου των στιγμιότυπων όπως και των σημάτων συναγερμού. Επιπρόσθετα, είναι δυνατό να ανακαλεστεί η χρονική στιγμή κάποιας αλλαγής στη βασική παραμετροποίηση του αναλυτή (CT & VT λόγω μετασχηματισμού, τύπου δικτύου, firmware update).

Οι αναλυτές μπορούν να συνδεθούν με πλατφόρμα τεχνολογίας cloud, με αυτόματη αναγνώριση τους από αυτή. Η αυτόματη αναγνώρισή τους και η ενσωμάτωση τους στην πλατφόρμα θα δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη (1) παρακολούθησης μετρήσεων κατανάλωσης ενέργειας, (2) καλής λειτουργίας εγκατάστασης (ένδειξη σφαλμάτων, pre-alarm, κ.α.) αλλά και (3) παραμετροποίησης λειτουργίας του συστήματος διαχείρισης ενέργειας απομακρυσμένα ακόμα και εκτός πεδίου εγκατάστασης. Αναλυτικά η εφαρμογή απομακρυσμένης οπτικοποίησης μπορεί να παρέχει:

- Παρακολούθηση μετρήσεων και άλλων στοιχείων διαχείρισης ενέργειας της εγκατάστασης σε ειδικά παράθυρα και πίνακες (dashboards) με εύκολο και κατανοητό γραφικό περιβάλλον. Η

παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας θα γίνεται μέσω συλλογής δεδομένων από τους αναλυτές.

- Δυνατότητα εισαγωγής φωτογραφιών των γενικών πινάκων ή άλλων διαγραμμάτων που θα βοηθούν την παρακολούθηση της ομαλής λειτουργίας της εγκατάστασης (interactive diagrams, photos, technical drawings, plant synoptic panels).
- Δυνατότητα αλλαγής ενεργειακών προφίλ εγκατάστασης και ρυθμίσεων του συστήματος διαχείρισης ενέργειας.
- Κεντρικό μενού παρακολούθησης σφαλμάτων και συμβάντων στην εγκατάσταση.
- Εξαγωγή σε Excel στατιστικών στοιχείων (χειροκίνητα και αυτόματα σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα) trend κατανάλωσης ενέργειας, μετρήσεων, αρχείου χειρισμών ή άλλων στοιχείων της εγκατάστασης έτσι ώστε να ορίζονται προληπτικές συντηρήσεις του εξοπλισμού ή να γίνεται ανάλυση του ενεργειακού προφίλ της εγκατάστασης με στόχο την αλλαγή συνηθειών χρήσης και κατανάλωσης ενέργειας.

Οι αναλυτές πρέπει να υποστηρίζουν δυνατότητα ορισμού 25 σημάτων συναγερμού καθώς και 4 συνδυασμών αυτών μέσω λογικής AND/OR. Ο χρήστης μπορεί να καθορίζει τα σήματα συναγερμού για τις περιπτώσεις υπέρβασης των καθορισμένων κατωφλίων. Ρυθμίσεις σημάτων συναγερμού είναι διαθέσιμες για την πολιτική και φασική τάση, την ενεργό και άεργη ισχύ, τη συνολική αρμονική παραμόρφωση (THD) τάσης και ρεύματος. Η ενεργοποίηση των καθορισμένων σημάτων συναγερμού και των συνδυασμών αυτών μπορεί να καταγραφεί στη συσκευή ή να συνδεθεί με τις ψηφιακές εξόδους της.

Οι αναλυτές είναι εφοδιασμένοι με RTC (Real Time Clock) για καταγραφή στιγμιότυπων συναγερμού και ιστορική καταγραφή παραμέτρων.

Οι αναλυτές έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ώστε να αποσυναρμολογούνται και να ανακυκλώνονται στο τέλος του κύκλου ζωής τους σε συμφωνία με τις Ευρωπαϊκές οδηγίες RoHS και WEEE.

Ο προμηθευτής των αναλυτών δικτύου πρέπει να διατηρεί αποδεκτό σύστημα διασφάλισης ποιότητας προϊόντων και υπηρεσιών και να επιδεικνύει συμμόρφωση σε πιστοποίηση ISO 9001, η οποία παρέχεται από ανεξάρτητο πιστοποιημένο φορέα. Οι αναλυτές πρέπει να συνοδεύονται από δήλωση συμμόρφωσης CE.



Εικόνα 3-1 Ενδεικτικός τύπος: ABB M1M 30 Modbus ή ισοδύναμος

3.2 Αναλυτής δικτύου IoT ράγας

Οι αναλυτές δικτύου είναι ηλεκτρονικές μονάδες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση και ανάλυση όλων των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών μίας εγκατάστασης. Μπορούν να τοποθετηθούν σε ράγα DIN εντός του χώρου του πίνακα. Η τοποθέτηση γίνεται εύκολα και οι διαστάσεις του οργάνου είναι 96x96x77 mm. Οι αναλυτές συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις των διεθνών προτύπων IEC 61557-12 (IEC 62053-22, IEC 62053-23), IEC 61010-1, καθώς και με το πρότυπο Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας EMC, IEC 61326-1 (IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3, IEC 61000-4-2, IEC 61000 61000-4-3, IEC 61000-4-4, IEC 61000-4-5,

IEC 61000-4-6, IEC 61000-4-8, IEC 61000-4-11). Η ονομαστική τάση τροφοδοσίας τους είναι 48-240 V AC/DC $\pm 15\%$.

3.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Οι αναλυτές δικτύου υποστηρίζουν την απευθείας σύνδεση σε κυκλώματα μέχρι τα 690 V AC, φάση - φάση χωρίς τη χρήση μετασχηματιστών τάσης και να διαθέτουν 4 εισόδους ρεύματος από μετασχηματιστή ονομαστικής έντασης δευτερεύοντος 5 ή 1 A.

Οι αναλυτές υποστηρίζουν True RMS μετρήσεις μέχρι και την 40η αρμονική, με ταυτόχρονη λήψη 128 δειγμάτων έντασης και τάσεως ανά κύκλο, με αδιάλειπτο τρόπο δειγματοληψίας (zero-blind).

Επίσης μετρούν τα παρακάτω ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, τα οποία θα μπορούν να απεικονίζονται μέσω εφαρμογής app σε έξυπνη συσκευή, σε υπολογιστή ή και σε πόρτα πίνακα:

- Φασική τάση (φάση-ουδέτερο), Πολική τάση (φάση-φάση)
- Ένταση ρεύματος (L1, L2, L3, N)
- Συχνότητα
- Συντελεστή ισχύος
- Ενεργός, άεργος και φαινόμενη ισχύς
- Μέγιστη ζήτηση ισχύος (ενεργός, άεργη και φαινόμενη)
- Ενεργός, άεργος και φαινόμενη ενέργεια
- Μέτρηση σε 4 τεταρτημόρια της ενεργούς, άεργου και φαινομένης ισχύος (παρακολούθηση της ενέργειας που απορροφάται και παράγεται από το σύστημα)
- Ενέργεια κατανεμημένη σύμφωνα με τις διαθέσιμες ταρίφες (μέχρι 6)
- Συνολική αρμονική παραμόρφωση τάσεως και έντασης ρεύματος
- Μέτρηση μέχρι την 40^η αρμονική τάσεως και εντάσεως ρεύματος

- Μέτρηση ωρών λειτουργίας αυξανόμενης τιμής και λειτουργίας μειούμενης τιμής

Οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες λειτουργίας των αναλυτών είναι μεταξύ των -25 και $+70^{\circ}\text{C}$ και σε ύψος <2.000 m.

Οι αναλυτές υποστηρίζουν 4 προγραμματιζόμενες I/O, οι οποίες μπορούν να παραμετροποιηθούν είτε έως ψηφιακοί είσοδοι είτε έως ψηφιακοί έξοδοι. Οι έξοδοι αυτοί μπορούν να συσχετιστούν με παλμούς ενέργειας, με σήματα επικοινωνίας ή σήματα συναγερμού ορισμένα από τον χρήστη

Οι αναλυτές υποστηρίζουν κάποιο από τα παρακάτω πρωτόκολλα επικοινωνίας:

- Modbus RTU,
- Modbus TCP/IP,

Παράλληλα οι αναλυτές διαθέτουν ενσωματωμένο Bluetooth για την απεικόνιση των μετρήσεων σε PC ή έξυπνη συσκευή (smartphone/tablet). Η αναβάθμισή τους και η παραμετροποίηση θα μπορεί να γίνεται επίσης μέσω υπολογιστή χρησιμοποιώντας σύνδεση Bluetooth ή μέσω θύρας Ethernet.

Οι αναλυτές διαθέτουν εσωτερική μνήμη για αποθήκευση του προφίλ των αναλυόμενων φορτίων, των ηλεκτρικών μεγεθών (τάση, ρεύμα, συντελεστής ισχύος, ενέργεια κ.α., αλλά και δεδομένα ποιότητας ενέργειας (THD, αρμονικές έως την 40^η), καταγραφή ιστορικού και εξαγωγή για περαιτέρω επεξεργασία.

Οι αναλυτές μπορούν να συνδεθούν με πλατφόρμα τεχνολογίας cloud, με αυτόματη αναγνώριση τους από αυτή. Η αυτόματη αναγνώρισή τους και η ενσωμάτωση τους στην πλατφόρμα θα δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη (1) παρακολούθησης μετρήσεων κατανάλωσης ενέργειας, (2) καλής λειτουργίας εγκατάστασης (ένδειξη σφαλμάτων, pre-alarm, κ.α.) αλλά και (3) παραμετροποίησης λειτουργίας του συστήματος διαχείρισης ενέργειας απομακρυσμένα ακόμα και εκτός πεδίου

εγκατάστασης. Αναλυτικά η εφαρμογή απομακρυσμένης οπτικοποίησης μπορεί να παρέχει:

- Παρακολούθηση μετρήσεων και άλλων στοιχείων διαχείρισης ενέργειας της εγκατάστασης σε ειδικά παράθυρα και πίνακες (dashboards) με εύκολο και κατανοητό γραφικό περιβάλλον. Η παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας θα γίνεται μέσω συλλογής δεδομένων από τους αναλυτές.
- Δυνατότητα εισαγωγής φωτογραφιών των γενικών πινάκων ή άλλων διαγραμμάτων που θα βοηθούν την παρακολούθηση της ομαλής λειτουργίας της εγκατάστασης (interactive diagrams, photos, technical drawings, plant synoptic panels).
- Δυνατότητα αλλαγής ενεργειακών προφίλ εγκατάστασης και ρυθμίσεων του συστήματος διαχείρισης ενέργειας.
- Κεντρικό μενού παρακολούθησης σφαλμάτων και συμβάντων στην εγκατάσταση.
- Εξαγωγή σε Excel στατιστικών στοιχείων (χειροκίνητα και αυτόματα σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα) trend κατανάλωσης ενέργειας, μετρήσεων, αρχείου χειρισμών ή άλλων στοιχείων της εγκατάστασης έτσι ώστε να ορίζονται προληπτικές συντηρήσεις του εξοπλισμού ή να γίνεται ανάλυση του ενεργειακού προφίλ της εγκατάστασης με στόχο την αλλαγή συνηθειών χρήσης και κατανάλωσης ενέργειας.

Οι αναλυτές υποστηρίζουν δυνατότητα ορισμού 25 σημάτων συναγερμού, καθώς και 4 συνδυασμών σημάτων συναγερμού και σφαλμάτων μέσω λογικής AND/OR. Ο χρήστης θα μπορεί να καθορίζει το σήματα συναγερμού για τις περιπτώσεις υπέρβασης των καθορισμένων κατωφλίων. Ρυθμίσεις σημάτων συναγερμού είναι διαθέσιμες για την πολική και φασική τάση, την ενεργό και άεργη ισχύ, τη συνολική αρμονική παραμόρφωση (THD) τάσης και ρεύματος. Η ενεργοποίηση των καθορισμένων σημάτων συναγερμού και των συνδυασμών αυτών μπορεί να καταγραφεί στη συσκευή ή να συνδεθεί με τις ψηφιακές εξόδους της.

Οι αναλυτές είναι εφοδιασμένοι με RTC (Real Time Clock) για καταγραφή στιγμιότυπων συναγερμού και ιστορική καταγραφή παραμέτρων.

Οι αναλυτές έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ώστε να αποσυναρμολογούνται και να ανακυκλώνονται στο τέλος του κύκλου ζωής τους σε συμφωνία με τις Ευρωπαϊκές οδηγίες RoHS και WEEE.

Ο προμηθευτής των αναλυτών δικτύου διατηρεί αποδεκτό σύστημα διασφάλισης ποιότητας προϊόντων και υπηρεσιών και να επιδεικνύει συμμόρφωση σε πιστοποίηση ISO 9001, η οποία παρέχεται από ανεξάρτητο πιστοποιημένο φορέα. Οι αναλυτές συνοδεύονται από δήλωση συμμόρφωσης CE.



Εικόνα 3-2 Ενδεικτικός τύπος: ABB M4M 2X Modbus PQ2+RTS ή M4M 2X Ethernet PQ2+RTS ή ισοδύναμος

3.3 Αναλυτής δικτύου IoT πόρτας

3.3.1 Γενικά

Οι αναλυτές δικτύου είναι ηλεκτρονικές μονάδες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση και ανάλυση όλων των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών μίας εγκατάστασης. Μπορούν να τοποθετηθούν σε πόρτα πίνακα και το ωφέλιμο βάθος του οργάνου (εντός του χώρου του πίνακα) είναι μικρότερο των 58 mm για εξοικονόμηση χώρου. Η τοποθέτηση γίνεται

εύκολα, με απαιτούμενες διαστάσεις προτυπημένης οπής 92x92 mm και πραγματικές διαστάσεις οργάνου 96x96 mm. Οι αναλυτές θα συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις των διεθνών προτύπων IEC 61557-12 (IEC 62053-22, IEC 62053-23), IEC 61010-1, καθώς και με το πρότυπο Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας EMC, IEC 61326-1 (IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3, IEC 61000-4-2, IEC 61000 61000-4-3, IEC 61000-4-4, IEC 61000-4-5, IEC 61000-4-6, IEC 61000-4-8, IEC 61000-4-11). Η ονομαστική τάση τροφοδοσίας τους είναι 48-240 V AC/DC $\pm 15\%$.

3.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Οι αναλυτές δικτύου υποστηρίζουν την απευθείας σύνδεση σε κυκλώματα μέχρι τα 690 V AC, φάση - φάση χωρίς τη χρήση μετασχηματιστών τάσης καθώς και να διαθέτουν 4 εισόδους ρεύματος από μετασχηματιστή ονομαστικής έντασης δευτερεύοντος 5 ή 1 A.

Οι αναλυτές υποστηρίζουν True RMS μετρήσεις μέχρι και την 40η αρμονική, με ταυτόχρονη λήψη 128 δειγμάτων έντασης και τάσεως ανά κύκλο, με αδιάλειπτο τρόπο δειγματοληψίας (zero-blind).

Επίσης μετρούν τα παρακάτω ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τα οποία θα μπορούν να απεικονίζονται στην οθόνη τους:

- Φασική τάση (φάση-ουδέτερο), Πολική τάση (φάση-φάση)
- Ένταση ρεύματος (L1, L2,L3,N)
- Συχνότητα
- Συντελεστή ισχύος
- Ενεργός, άεργος και φαινόμενη ισχύς
- Μέγιστη ζήτηση ισχύος (ενεργός, άεργη και φαινόμενη)
- Ενεργός, άεργος και φαινόμενη ενέργεια
- Μέτρηση σε 4 τεταρτημόρια της ενεργούς, άεργου και φαινομένης ισχύος (παρακολούθηση της ενέργειας που απορροφάται και παράγεται από το σύστημα)

- Ενέργεια κατανομημένη σύμφωνα με τις διαθέσιμες ταρίφες (μέχρι 6)
- Συνολική αρμονική παραμόρφωση τάσεως και έντασης ρεύματος
- Μέτρηση μέχρι την 40η αρμονική τάσεως και εντάσεως ρεύματος
- Μέτρηση διανυσμάτων τάσεως και ρεύματος
- Μέτρηση ωρών λειτουργίας αυξανόμενης τιμής και λειτουργίας μειούμενης τιμής
- Ενέργεια αποτυπωμένη σε CO₂ kg

Οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες λειτουργίας των αναλυτών είναι μεταξύ των -25 και +70°C με βαθμό προστασίας IP 54 χωρίς την απαίτηση για οποιοδήποτε επιπλέον εξάρτημα.

Οι αναλυτές διαθέτουν έγχρωμη οθόνη αφής 3,5'' (70x52 mm). Η παραμετροποίηση της συσκευής προστατεύεται από κωδικό χρήστη ενώ ο χρήστης θα μπορεί να ορίσει την οθόνη της επιλογής του, στην οποία θα επιστρέφει η συσκευή αυτόματα μετά από καθορισμένο χρόνο αναμονής. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα γραφικής απεικόνισης των βασικών μετρούμενων μεγεθών όπως οι κυματομορφές της τάσης, της έντασης, οι μετρούμενες αρμονικές όπως και τα διαγράμματα φάσεων και εντάσεων αποτυπώνοντας τη μεταξύ τους διαφορά.

Οι αναλυτές θα υποστηρίζουν 4 προγραμματιζόμενες I/O, οι οποίες μπορούν να παραμετροποιηθούν είτε έως ψηφιακοί είσοδοι είτε έως ψηφιακοί έξοδοι. Οι έξοδοι αυτοί μπορούν να συσχετιστούν με παλμούς ενέργειας, με σήματα επικοινωνίας ή σήματα συναγερμού ορισμένα από τον χρήστη. Σε περίπτωση που απαιτείται, υπάρχει η δυνατότητα αύξησης των προγραμματιζόμενων I/O σε 6 με την προσθήκη επιπλέον 2 αναλογικών εξόδων. Θα υπάρχει επίσης η δυνατότητα συσχέτισης των μετρήσεων με 0-20 mA ή 4-20 mA ρεύμα εξόδου στις αναλογικές εξόδους.

Οι αναλυτές υποστηρίζουν κάποιο από τα παρακάτω πρωτόκολλα επικοινωνίας:

Modbus RTU,

- Modbus TCP/IP,
- Profibus DP-V0 ή
- BACnet/IP

Παράλληλα οι αναλυτές διαθέτουν ενσωματωμένο Bluetooth για την απεικόνιση των μετρήσεων σε PC ή έξυπνη συσκευή (smartphone/tablet). Η αναβάθμισή τους και η παραμετροποίηση θα μπορεί να γίνεται επίσης μέσω υπολογιστή χρησιμοποιώντας σύνδεση Bluetooth ή μέσω θύρας Ethernet.

Οι αναλυτές διαθέτουν εσωτερική μνήμη μέχρι και 32 MB για αποθήκευση του προφίλ των αναλυόμενων φορτίων, της min/max ζήτηση ενέργειας, των δεδομένων συντήρησης, του συνόλου των στιγμιότυπων όπως και των σημάτων συναγερμού. Επιπρόσθετα, είναι δυνατό να ανακαλεστεί η χρονική στιγμή κάποιας αλλαγής στη βασική παραμετροποίηση του αναλυτή (CT & VT λόγω μετασχηματισμού, τύπου δικτύου, firmware update).

Οι αναλυτές μπορούν να συνδεθούν με πλατφόρμα τεχνολογίας cloud, με αυτόματη αναγνώριση τους από αυτή. Η αυτόματη αναγνώρισή τους και η ενσωμάτωσή τους στην πλατφόρμα θα δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη (1) παρακολούθησης μετρήσεων κατανάλωσης ενέργειας, (2) καλής λειτουργίας εγκατάστασης (ένδειξη σφαλμάτων, pre-alarm, κ.α.) αλλά και (3) παραμετροποίησης λειτουργίας του συστήματος διαχείρισης ενέργειας απομακρυσμένα ακόμα και εκτός πεδίου εγκατάστασης. Αναλυτικά η εφαρμογή απομακρυσμένης οπτικοποίησης μπορεί να παρέχει:

Παρακολούθηση μετρήσεων και άλλων στοιχείων διαχείρισης ενέργειας της εγκατάστασης σε ειδικά παράθυρα και πίνακες (dashboards) με εύκολο και κατανοητό γραφικό περιβάλλον. Η παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας θα γίνεται μέσω συλλογής δεδομένων από τους αναλυτές.

Δυνατότητα εισαγωγής φωτογραφιών των γενικών πινάκων ή άλλων διαγραμμάτων που θα βοηθούν την παρακολούθηση της ομαλής

λειτουργίας της εγκατάστασης (interactive diagrams, photos, technical drawings, plant synoptic panels).

Δυνατότητα αλλαγής ενεργειακών προφίλ εγκατάστασης και ρυθμίσεων του συστήματος διαχείρισης ενέργειας.

Κεντρικό μενού παρακολούθησης σφαλμάτων και συμβάντων στην εγκατάσταση.

Εξαγωγή σε Excel στατιστικών στοιχείων (χειροκίνητα και αυτόματα σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα) trend κατανάλωσης ενέργειας, μετρήσεων, αρχείου χειρισμών ή άλλων στοιχείων της εγκατάστασης έτσι ώστε να ορίζονται προληπτικές συντηρήσεις του εξοπλισμού ή να γίνεται ανάλυση του ενεργειακού προφίλ της εγκατάστασης με στόχο την αλλαγή συνηθειών χρήσης και κατανάλωσης ενέργειας.

Οι αναλυτές υποστηρίζουν δυνατότητα ορισμού 25 σημάτων συναγερμού καθώς και 4 συνδυασμών αυτών μέσω λογικής AND/OR. Ο χρήστης θα μπορεί να καθορίζει το σήματα συναγερμού για τις περιπτώσεις υπέρβασης των καθορισμένων κατωφλίων. Ρυθμίσεις σημάτων συναγερμού είναι διαθέσιμες για την πολική και φασική τάση, την ενεργό και άεργη ισχύ, τη συνολική αρμονική παραμόρφωση (THD) τάσης και ρεύματος. Η ενεργοποίηση των καθορισμένων σημάτων συναγερμού και των συνδυασμών αυτών μπορεί να καταγραφεί στη συσκευή ή να συνδεθεί με τις ψηφιακές εξόδους της.

Οι αναλυτές είναι εφοδιασμένοι με RTC (Real Time Clock) για καταγραφή στιγμιότυπων συναγερμού και ιστορική καταγραφή παραμέτρων.

Οι αναλυτές έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ώστε να αποσυναρμολογούνται και να ανακυκλώνονται στο τέλος του κύκλου ζωής τους σε συμφωνία με τις Ευρωπαϊκές οδηγίες RoHS και WEEE.

Ο προμηθευτής των αναλυτών δικτύου διατηρεί αποδεκτό σύστημα διασφάλισης ποιότητας προϊόντων και υπηρεσιών και να επιδεικνύει συμμόρφωση σε πιστοποίηση ISO 9001, η οποία παρέχεται από

ανεξάρτητο πιστοποιημένο φορέα. Οι αναλυτές συνοδεύονται από δήλωση συμμόρφωσης CE.



Εικόνα 3-3 Ενδεικτικός τύπος: ABB M4M 30 ή ισοδύναμος

3.4 Βασική έκδοση 1Φ & 3Φ μετρητών ενέργειας έως 40A

3.4.1 Γενικά

Οι μετρητές ενέργειας είναι ηλεκτρονικές μονάδες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ενεργού ισχύος που απορροφάται από μια ηλεκτρική εγκατάσταση. Είναι κατάλληλοι για εφαρμογή σε σύστημα ράγας DIN (35 mm) σύμφωνα με το πρότυπο EN 60715 και να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις των διεθνών προτύπων IEC 62052-11, IEC 62053-21 class 1, EN 50470-1 και EN 50470-3 category B.

Οι μετρητές ενέργειας θα διαθέτουν οθόνη LCD για την εύκολη και ευανάγνωστη απεικόνιση των μετρούμενων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών καθώς και μπουτόν ελέγχου και προγραμματισμού στην μπροστινή τους πλευρά.

Οι μονοφασικοί ηλεκτρονικοί μετρητές ενέργειας είναι πλάτος 1 στοιχείο (18 mm) και οι τριφασικοί 3 στοιχεία πλάτος (54 mm). Είναι δυνατότητα απευθείας μέτρησης έως 40 A με κλάση ακρίβειας B(C1.1) πιστοποιημένη με MID.

Ο μετρητής ενέργειας θα πρέπει εκτός από τη μέτρηση της ενεργού ενέργειας (kWh) να εμφανίζει στην οθόνη του μετρήσεις:

- Τάσης
- Ρεύματος
- Συντελεστή ισχύος

Οι μετρητές ενέργειας διαθέτουν και μία έξοδο που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παλμική έξοδος για τηλεμέτρηση της καταναλισκόμενης ενέργειας (μεταφορά παλμών δε σύστημα BMS ή SCADA) ή ως έξοδος σήμανσης κατάστασης συναγερμού (alarm). Το κατώφλι ενεργοποίησης (alarm) μπορεί να ρυθμίζεται εύκολα χρησιμοποιώντας το μπουτόν ελέγχου της συσκευής. Η έξοδος αυτή θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον έλεγχο εξωτερικών συσκευών, όπως ένας επαφίας (ρελέ).

3.4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ονομαστική τάση	230 V AC (μονοφασικός), 3x230/400 V AC (τριφασικός)
Κατανάλωση ισχύος	< 1,5 VA
Ρεύμα αναφοράς I_{ref}	5 A
Μέγιστο ρεύμα προς μέτρηση I_{max}	40 A
Ελάχιστο ρεύμα I_{min}	0,25 A
Ρεύμα εκκίνησης I_{st}	< 20 Ma
Διατομή καλωδίου	Έως 10 mm ²
Ροπή σύσφιξης	0,8 Nm

3.4.3 Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα

Οι μετρητές ενέργειας συμμορφώνονται με τις κάτωθι απαιτήσεις ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας:

Δοκιμή με κρουστική τάση	6 kV 1,2/50 μ s (IEC 60060-1)
Δοκιμή υπέρτασης	4 kV 1,2/50 μ s (IEC 61000-4-5)
Δοκιμή ταχείας ηλεκτρικής μετάβασης/ριπής	4 kV (IEC 61000-4-4)
Ηλεκτρομαγνητική αντοχή σε πεδία υψηλών συχνοτήτων (HF)	80 MHz - 2 GHz σε 10 V/m (IEC 61000-4-3)
Αντοχή σε διαταραχές λόγω αγωγιμότητας	150 kHz - 80 MHz, (IEC 61000-4-6)
Αντοχή σε αρμονική διαταραχή	2 kHz - 150 kHz
Εκπομπή ραδιοσυχνοτήτων	EN 55022, κλάση B (CISPR22)
Ηλεκτροστατική εκκένωση	15 kV (IEC 61000-4-2)

Ο προμηθευτής των μετρητών ενέργειας διατηρεί αποδεκτό σύστημα διασφάλισης ποιότητας των προϊόντων και υπηρεσιών και να επιδεικνύει συμμόρφωση σε πιστοποίηση ISO 9001, η οποία παρέχεται από ανεξάρτητο πιστοποιημένο φορέα. Οι μετρητές συνοδεύονται από δήλωση συμμόρφωσης CE και πιστοποιητικό MID για την κλάση ακρίβειας.



Εικόνα 3-4 Ενδεικτικός τύπος: Μονοφασικός ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας: C11 & Τριφασικός ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας: C13 ή ισοδύναμος

3.5 Μετρητές ενέργειας (άμεση/έμμεση μέτρηση) σειράς B

3.5.1 Γενικά

Οι μετρητές ενέργειας είναι ηλεκτρονικές μονάδες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας που απορροφάται από μία εγκατάσταση. Είναι κατάλληλοι για εφαρμογή σε σύστημα ράγας DIN (35 mm), σύμφωνα με το πρότυπο EN 60715 και να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις των προτύπων IEC 62052-11, IEC 62053-21 class 1 & 2, IEC 62053-22 class 0,5 S, IEC 62053-23 class 2, IEC 62054-21, EN 50470-1 και EN 50470-3 category A, B & C.

Οι μετρητές ενέργειας διαθέτουν οθόνη LCD για την εύκολη και ευανάγνωστη απεικόνιση των μετρούμενων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών καθώς και μπουτόν ελέγχου και προγραμματισμού στην μπροστινή τους πλευρά. Είναι κατασκευασμένοι από πολυανθρακικό (polycarbonate) υλικό με διαφανές κάλυμμα εμπρός. Οι ακροδέκτες είναι κατασκευασμένοι από ενισχυμένο πολυανθρακικό.

Οι μονοφασικοί ηλεκτρονικοί μετρητές ενέργειας έχουν πλάτος 2 στοιχεία (36 mm) και οι τριφασικοί 4 στοιχεία πλάτος (72 mm). Είναι

δυνατότητα απευθείας μέτρησης έως 65 A με κλάση ακρίβειας B(C1.1) πιστοποιημένη με MID και έμμεσης μέτρησης μέσω μετασχηματιστών έντασης και ρυθμιζόμενο λόγο μετασχηματισμού με κλάση ακρίβειας B(C1.1) ή C(C1.0,5S).

Τα ηλεκτρικά μεγέθη προς μέτρηση των ψηφιακών μετρητών είναι:

- Ενεργός ισχύς
- Άεργος ισχύς
- Φαινόμενη ισχύς
- Τάση
- Ρεύμα
- Συντελεστής ισχύος
- Συχνότητα
- Πολλαπλές ταρίφες (1, 2 ή 4)
- Καταγραφή συμβάντος
- Λειτουργία συναγερμού
- Έξοδος παλμών
- Έξοδοι
- Είσοδοι
- Υπέρυθρη σειριακή επικοινωνία

3.5.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ονομαστική τάση	230 V AC (μονοφασικός), 3x230/400 V AC (τριφασικός)
Κατανάλωση ισχύος	< 1,5 VA
Ρεύμα αναφοράς I_{ref}	5 A
Μέγιστο ρεύμα προς	65 A (απευθείας), μέσω Μ/Σ /5 A με

μέτρηση I_{max}	προγραμματιζόμενο λόγο μετασχηματισμού
Ελάχιστο ρεύμα I_{min}	0,25 A
Ρεύμα εκκίνησης I_{st}	< 20 mA
Διατομή καλωδίου	Έως 25 mm ² (απευθείας μέτρηση)
Ροπή σύσφιξης	0,8 Nm

3.5.3 Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα

Οι μετρητές ενέργειας συμμορφώνονται με τις κάτωθι απαιτήσεις ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας:

Δοκιμή με κρουστική τάση	6 kV 1,2/50 μs (IEC 60060-1)
Δοκιμή υπέρτασης	4 kV 1,2/50 μs (IEC 61000-4-5)
Δοκιμή ταχείας ηλεκτρικής μετάβασης/ριπής	4 kV (IEC 61000-4-4)
Ηλεκτρομαγνητική αντοχή σε πεδία υψηλών συχνοτήτων (HF)	80 MHz - 2 GHz σε 10 V/m (IEC 61000-4-3)
Αντοχή σε διαταραχές λόγω αγωγιμότητας	150 kHz - 80 MHz, (IEC 61000-4-6)
Αντοχή σε αρμονική διαταραχή	2 kHz - 150 kHz
Εκπομπή ραδιοσυχνοτήτων	EN 55022, κλάση B (CISPR22)
Ηλεκτροστατική εκκένωση	15 kV (IEC 61000-4-2)

Ο προμηθευτής των μετρητών ενέργειας διατηρεί αποδεκτό σύστημα διασφάλισης ποιότητας των προϊόντων και υπηρεσιών και να επιδεικνύει συμμόρφωση σε πιστοποίηση ISO 9001 η οποία παρέχεται

από ανεξάρτητο πιστοποιημένο φορέα. Οι μετρητές συνοδεύονται από δήλωση συμμόρφωσης CE και πιστοποιητικό MID για την κλάση ακρίβειας.



Εικόνα 3-5 Ενδεικτικός τύπος: Μονοφασικός ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας: B21, Τριφασικός ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας: B23 (απευθείας) & B24 (μέσω Μ/Σ) ή ισοδύναμος

3.6 Διεπαφή (gateway) συστήματος

Η παρούσα τεχνική προδιαγραφή έχει στόχο να ορίσει τις βασικές απαιτήσεις ενός κεντρικού συστήματος που θα παρακολουθεί και θα οπτικοποιεί σε πραγματικό χρόνο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και άλλων σημαντικών πόρων με στόχο:

Αποτελεσματικότερη διαχείριση και χρήση της (ηλεκτρικής) ενέργειας που καταναλώνει η εγκατάσταση. Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της κανονικής λειτουργίας της εγκατάστασης, καταγραφή δεδομένων και εξαγωγή στατιστικών στοιχείων που θα βοηθήσουν στη δημιουργία ενός ενεργειακού προφίλ της εγκατάστασης.

Το σύστημα αποτελείται από μετρητές που είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους σε δίκτυο bus και θα μεταφέρουν μέσω πρωτοκόλλου M-Bus ή Modbus RTU τις μετρήσεις σε μια διεπαφή (gateway). Η διεπαφή είναι σε θέση να συγκεντρώνει όλες τις μετρήσεις από τις επιμέρους

συσκευές και μέσω Ethernet, να προσφέρει πρόσβαση για οπτικοποίηση των μετρήσεων, παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της κατανάλωσης ενέργειας της εγκατάστασης καθώς και αυξημένες δυνατότητες καταγραφής/αποθήκευσης και επεξεργασίας των αποθηκευμένων μετρούμενων μεγεθών.

Το σύστημα παρακολουθεί και να καταγράφει μετρήσεις κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, νερού, αερίου και συστημάτων θέρμανσης (σε kWh) εφόσον οι συσκευές μέτρησης που θα χρησιμοποιηθούν είναι συμβατές με πρωτόκολλο επικοινωνίας M-Bus ή Modbus RTU. Η ανίχνευση των συσκευών και η ενσωμάτωση τους στο σύστημα είναι plug & play χωρίς καμία απαίτηση για προγραμματισμό ή άλλη παραμετροποίηση που αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος καθώς και το συνολικό κόστος εγκατάστασης και θέσης σε λειτουργία. Το σύστημα μπορεί να συγκεντρώνει δεδομένα και να παρακολουθεί μετρήσεις από 1 έως και 64 μετρητές με δυνατότητα μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας (ενεργό, άεργο, φαινομένη ισχύ, ρεύμα, τάση, συχνότητα, συντελεστή ισχύος, στιγμιαίες τιμές, κόστος κατανάλωσης, CO₂), μέτρησης κατανάλωσης αερίου, νερού και θερμότητας (όγκος, ροή).

Η διεπαφή του συστήματος είναι κατάλληλη για τοποθέτηση σε ράγα DIN (35 mm), σύμφωνα με το πρότυπο EN 60715, θα συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις των προτύπων EN 13757-2, EN 60529, EN 61140, EN 60 664-1 και διαθέτει ενσωματωμένο web server. Πρόσβαση στον web server μέσω Ethernet (TCP/IP) θα μπορούν να έχουν μέχρι και 10 χρήστες ταυτόχρονα, ενώ θα διαθέτει IP security HTTPS με κρυπτογράφηση SSL. Η διεπαφή θα έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων μέχρι και 3 χρόνια με συνδεδεμένες 64 συσκευές (εφόσον χρησιμοποιούνται λιγότερες συσκευές αυτή η περίοδος αποθήκευσης των δεδομένων θα αυξάνεται), οι μετρήσεις θα μπορούν να εξαχθούν σε μορφή CSV, XLSX, PDF, JPG, PNG και διαθέτει και οπτική ένδειξη των παρακάτω καταστάσεων λειτουργίας μέσω ενδεικτικών LED:

- Σωστή τροφοδοσία με τάση της συσκευής

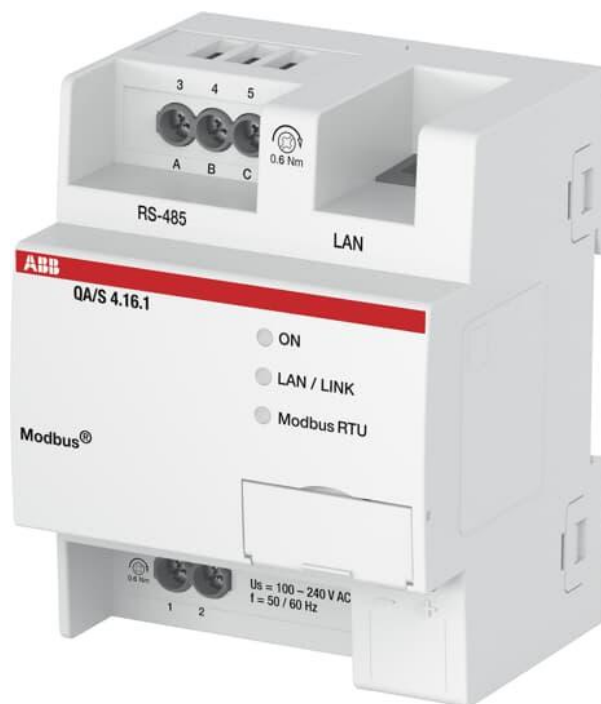
- Διακοπή τροφοδοσίας
- Εκκίνηση λειτουργίας της συσκευής
- Επανεκκίνηση λειτουργίας, εσωτερικό σφάλμα συσκευής
- Σύνδεση LAN σωστή, μεταφορά δεδομένων μέσω LAN
- Σφάλμα γραμμής LAN
- Σύνδεση δικτύου (M-Bus, Modbus) σωστή, μεταφορά δεδομένων
- Ανίχνευση συμβατών συσκευών
- Σφάλμα γραμμής δεδομένων, επανεκκίνηση

Το περιβάλλον οπτικοποίησης των δεδομένων επιτρέπει τη δημιουργία ομάδων μετρητών ενέργειας (groups) έτσι ώστε να μπορεί να γίνεται αθροιστική/συνολική παρακολούθηση της κατανάλωσης. Οποιαδήποτε προσθήκη, αλλαγή ή αποσύνδεση μετρητή από το δίκτυο θα καταγράφεται με χρονική σφραγίδα (time stamp) για λόγους ιστορικότητας. Για την ευκολότερη ανάγνωση και παρακολούθηση των μετρήσεων, παρέχονται οι κάτωθι γραφικές αναλύσεις και απεικονίσεις των δεδομένων:

- Επεξεργάσιμες πίτες απεικόνισης δεδομένων ‘dashboards’
- Απεικόνιση και ανάλυση του ιστορικού των δεδομένων (εργοστασιακή ρύθμιση: ημερήσια, εβδομαδιαία, μηνιαία, ετήσια, συνολική ή και κατ’ επιλογή του χρήστη).
- Ανάλυση των στιγμιαίων τιμών για επίβλεψη σε πραγματικό χρόνο της εγκατάστασης.
- Σύγκριση των δεδομένων των καταναλώσεων με προγενέστερες μετρήσεις (πριν/μετά) αντίστοιχης χρονικής περιόδου.
- Απεικόνιση κόστους κατανάλωσης με αναλυτική καταγραφή των καταναλώσεων ανά συσκευή.

3.6.1 Τεχνικά / λειτουργικά χαρακτηριστικά

Ονομαστική τάση τροφοδοσίας	100-200 V AC, 50/60 Hz
Βαθμός προστασίας	IP 20 (EN 60529)
Κλάση προστασίας	II (EN 61140)
Θερμοκρασία λειτουργίας	-5...+45 °C



Εικόνα 3-6 Ενδεικτικός τύπος: ABB QA/S x.16.1 (για έως και 16 μετρητές) και QA/S x.64.1 (για έως και 64 μετρητές)

3.7 Συμβατοί μετρητές ενέργειας M-Bus ή Modbus RTU για άμεση και έμμεση μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας

3.7.1 Γενικά

Οι μετρητές ενέργειας είναι ηλεκτρονικές μονάδες που θα χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει μια δεδομένη ηλεκτρική εγκατάσταση. Είναι κατάλληλοι για εφαρμογή σε σύστημα ράγας DIN (35 mm), σύμφωνα με το πρότυπο EN 60715 και να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις των προτύπων IEC 62052-11, IEC 62053-21 class 1 & 2, IEC 62053-22 class 0,5 S, IEC 62053-23 class 2, IEC 62054-21, EN 50470-1 και EN 50470-3 category A, B & C.

Οι μετρητές ενέργειας διαθέτουν ψηφιακή έξοδο με πρωτόκολλο M-Bus, οθόνη LCD για την εύκολη και ευανάγνωστη απεικόνιση των μετρούμενων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών καθώς και μπουτόν ελέγχου και προγραμματισμού στην μπροστινή τους πλευρά. Είναι κατασκευασμένοι από πολυανθρακικό (polycarbonate) υλικό με διαφανές κάλυμμα εμπρός.

Οι μονοφασικοί ηλεκτρονικοί μετρητές ενέργειας είναι πλάτος 2 στοιχεία (36 mm) και οι τριφασικοί 4 στοιχεία πλάτος (72 mm). Έχουν δυνατότητα απευθείας μέτρησης έως 65 A με κλάση ακρίβειας B(Cl.1), πιστοποιημένη με MID και έμμεσης μέτρησης μέσω μετασχηματιστών έντασης και ρυθμιζόμενο λόγο μετασχηματισμού με κλάση ακρίβειας B(Cl.1) ή C(Cl.0,5S).

Τα ηλεκτρικά μεγέθη προς μέτρηση των ψηφιακών μετρητών είναι:

- Ενεργός ισχύς
- Άεργος ισχύς
- Φαινόμενη ισχύς
- Τάση
- Ρεύμα
- Συντελεστής ισχύος
- Συχνότητα

- Πολλαπλές ταρίφες (1, 2 ή 4)
- Καταγραφή συμβάντος
- Λειτουργία συναγερμού
- Έξοδοι
- Είσοδοι

3.7.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ονομαστική τάση	230 V AC (μονοφασικός), 3x230/400 V AC (τριφασικός)
Κατανάλωση ισχύος	< 1,5 VA
Ρεύμα αναφοράς Iref	5 A
Μέγιστο ρεύμα προς μέτρηση Imax	65 A (απευθείας), μέσω M/Σ /5 A με προγραμματιζόμενο λόγο μετασχηματισμού
Ελάχιστο ρεύμα Imin	0,25 A
Ρεύμα εκκίνησης Ist	< 20 mA
Διατομή καλωδίου	Έως 25 mm ² (απευθείας μέτρηση)
Ροπή σύσφιξης	0,8 Nm

3.7.3 Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα

Οι μετρητές ενέργειας συμμορφώνονται με τις κάτωθι απαιτήσεις ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας:

Δοκιμή με κρουστική τάση	6 kV 1,2/50 μs (IEC 60060-1)
Δοκιμή υπέρτασης	4 kV 1,2/50 μs (IEC 61000-4-5)
Δοκιμή ταχείας ηλεκτρικής	4 kV (IEC 61000-4-4)

μετάβασης/ριπής	
Ηλεκτρομαγνητική αντοχή σε πεδία υψηλών συχνοτήτων (HF)	80 MHz - 2 GHz σε 10 V/m (IEC 61000-4-3)
Αντοχή σε διαταραχές λόγω αγωγιμότητας	150 kHz - 80 MHz, (IEC 61000-4-6)
Αντοχή σε αρμονική διαταραχή	2 kHz - 150 kHz
Εκπομπή ραδιοσυχνοτήτων	EN 55022, κλάση B (CISPR22)
Ηλεκτροστατική εκκένωση	15 kV (IEC 61000-4-2)



Εικόνα 3-7 Ενδεικτικός τύπος: Μονοφασικός ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας: B21 (άμεσης μέτρησης έως 65A), Τριφασικός ηλεκτρονικός μετρητής ενέργειας: B23 (άμεσης μέτρησης έως 65A) & B24 (έμμεσης μέτρησης μέσω M/Σ)

3.8 Πιστοποίηση ποιότητας

Ο προμηθευτής του συστήματος (διεπαφή-μετρητές ενέργειας) διατηρεί αποδεκτό σύστημα διασφάλισης ποιότητας των προϊόντων και υπηρεσιών και να επιδεικνύει συμμόρφωση σε πιστοποίηση ISO 9001, η οποία παρέχεται από ανεξάρτητο πιστοποιημένο φορέα. Οι συσκευές

συνοδεύονται από δήλωση συμμόρφωσης CE σε συμφωνία με την Οδηγία Χαμηλής Τάσης και αυτή της Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας (EMC). Επιπλέον οι μετρητές ενέργειας συνοδεύονται από πιστοποιητικό MID για την κλάση ακρίβειας.

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΣΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΟ ΜΗ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΕΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

4.1 Εισαγωγή

Η αύξηση των μη γραμμικών φορτίων που βρίσκονται στο ηλεκτρικό δίκτυο έχει σαν αποτέλεσμα τη μόλυνση του δικτύου με ανώτερες αρμονικές καθιστώντας τις κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος μη ημιτονοειδείς. Μία από τις πλέον σημαντικές επιπτώσεις που έχει η ύπαρξη των αρμονικών στα ηλεκτρικά συστήματα είναι η επίδραση τους στην ακρίβεια των μετρητικών οργάνων.

Από οικονομοτεχνική άποψη το θέμα είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς ουσιαστικά όλα τα συστήματα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζονται στην καταγραφή της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας που γίνεται από τους πελάτες. Μέσω της ορθής καταγραφής της κατανάλωσης γίνεται η αντίστοιχη χρέωσή της ως τελικό προϊόν. Αν δημιουργηθούν αμφιβολίες σχετικά με την αξιοπιστία της καταγραφής (άρα και χρέωσης) της ηλεκτρικής ενέργειας, τότε θα δημιουργηθούν σημαντικά προβλήματα στη λειτουργία του δικτύου.

Προβλήματα αξιοπιστίας δημιουργούνται όταν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού δικτύου περιέχουν ανώτερες αρμονικές. Τα προβλήματα οφείλονται στο γεγονός, ότι ο τρόπος χρέωσης των καταναλωτών και τα μετρητικά όργανα που είναι εγκατεστημένα, είναι σχεδιασμένα για να μετρούν ημιτονοειδείς ποσότητες, με αποτέλεσμα όταν υπάρχουν αρμονικές να οδηγούνται σε σημαντικά σφάλματα. Τα σφάλματα που εισάγονται οφείλονται κυρίως σε δύο λόγους. Αφενός, υπάρχει έλλειψη αναγνωρισμένων – κοινά αποδεκτών ορισμών για τα μη ημιτονοειδή συστήματα που έχει σαν αποτέλεσμα τη χρήση σε διάφορες περιπτώσεις διαφορετικών ορισμών που δίνουν προφανώς διαφορετικά αποτελέσματα. Αφετέρου εισάγονται σφάλματα από τα ίδια τα όργανα μέτρησης όταν μετρούν μη ημιτονοειδή μεγέθη.

Παρακάτω αναλύονται εκτενώς οι δύο αυτές αιτίες εισαγωγής σφαλμάτων. Τα μετρητικά όργανα κατατάσσονται ανάλογα με την ηλεκτρική ποσότητα που μετρούν και εξετάζεται το σφάλμα που εισάγεται σε κάθε κατηγορία λόγω της ύπαρξης αρμονικών.

4.2 Ορισμοί Ισχύων

4.2.1 Ημιτονοειδή Συστήματα

Σύμφωνα με το IEEE Std. 1459-2000 για τη γενική περίπτωση μονοφασικού κυκλώματος όπου μία ημιτονοειδής τάση

$$u(t) = 2 \cdot V \cdot \sin(\omega t)$$

εφαρμόζεται στα άκρα ενός γραμμικού φορτίου, παράγεται ημιτονοειδές ρεύμα της μορφής:

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin(\omega t - \theta)$$

Η ενεργός και άεργος ισχύς ενός μονοφασικού φορτίου δίνονται ως εξής:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta \text{ και } Q = V \cdot I \cdot \sin \theta$$

Η Φαινόμενη ισχύς ορίζεται αντίστοιχα ως:

$$S = V \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Για τα τριφασικά φορτία οι ισχυείς P και Q είναι ίσες με το άθροισμα των τριών μονοφασικών ισχύων. Όμως για την τριφασική Φαινόμενη Ισχύ υπάρχουν τρεις διαφορετικοί ορισμοί για τα ημιτονοειδή τριφασικά συστήματα, η αριθμητική (arithmetic SA), η διανυσματική (vector SV) και η effective apparent power Se.

Προκύπτει, ότι για ημιτονοειδή κυκλώματα οι τρεις ορισμοί της φαινόμενης ισχύος για τις περιπτώσεις των μονοφασικών και των τριφασικών συμμετρικών κυκλωμάτων συμπίπτουν κι έτσι δε δημιουργείται κανένα πρόβλημα από τη χρήση οποιουδήποτε από αυτούς.

Αντίθετα, στα τριφασικά μη συμμετρικά κυκλώματα οι τρεις ορισμοί των ισχύων δεν δίνουν τα ίδια αποτελέσματα. Αποδεικνύεται ότι κατά κανόνα μεταξύ των ορισμών της φαινόμενης ισχύος ισχύει η σχέση

$$S_V \leq S_a \leq S_e$$

Αν και κατά κύριο λόγο οι ορισμοί της αριθμητικής και της διανυσματικής φαινόμενης ισχύος είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται λόγω των απλών εκφράσεών τους, για την περίπτωση των μη συμμετρικών τριφασικών κυκλωμάτων η πραγματική φαινόμενη ισχύς υπολογίζεται με τον ορισμό της S_e . Αυτή η διαπίστωση στηρίζεται στο γεγονός ότι μόνο η S_e ικανοποιεί το κριτήριο που λέει ότι οι απώλειες στο ζυγό του συστήματος πρέπει να είναι γραμμική συνάρτηση του τετραγώνου της φαινόμενης ισχύος του φορτίου που τροφοδοτεί.

4.2.2 Μη - Ημιτονοειδή Συστήματα

Αν και υπάρχει έντονο επιστημονικό ενδιαφέρον για τη δημιουργία ενός κοινά αποδεκτού θεωρητικού υπόβαθρου σχετικά με τις ισχύεις των μη γραμμικών συστημάτων, δεν υπάρχει ακόμη κοινά αποδεκτή θεωρία που να τοπεριγράφει.

Όλες οι εργασίες που έχουν εκδοθεί πάνω στο θέμα προσανατολίζονται στον ορισμό μίας αέργου ισχύος που ονομάζεται distortion power D η οποία δεν έχει κάποια φυσική σημασία και ο λόγος ορισμού της είναι η αιτιολόγηση της αέργου ισχύος που μεταφέρεται από τις αρμονικές τάσης και ρεύματος .

Οι δύο κύριες θεωρίες που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα είναι οι εξής:

- Η μία πρόταση προτείνει τον ορισμό συνολικής αέργου ισχύος Q_B ίσης με το άθροισμα των αέργων ισχύων σε όλες τις αρμονικές

$$Q_B^2 = \left(\sum_h V_h \cdot I_h \cdot \sin \theta_h \right)^2$$

και μίας Distortion Power D που πρακτικά περιλαμβάνει τις άεργες ισχύεις που προκαλούνται μεταξύ όρων τάσης και ρεύματος διαφορετικών συχνοτήτων

$$D^2 = \sum_{\substack{n,n=1 \\ m \neq n}} V_m^2 \cdot I_n^2 + V_n^2 \cdot I_m^2 - 2 \cdot V_m V_n I_m I_n \cdot \cos(\theta_m - \theta_n)$$

Αυτές οι δύο ισχύεις σε συνδυασμό με τη συνολική ενεργό ισχύ σε όλες τις συχνότητες δίνουν τη φαινόμενη ισχύ

$$S^2 = P^2 + Q_B^2 + D^2$$

Η δεύτερη πρόταση υποστηρίζει ότι η παραπάνω θεωρία δεν έχει φυσική υπόσταση καθώς δεν μπορούν να αθροισθούν αλγεβρικά άεργες ισχύεις διαφορετικών συχνοτήτων. Προτείνει λοιπόν μία διαφορετική θεωρία στην οποία χωρίζει το συνολικό μη ημιτονοειδές ρεύμα σε δύο συνιστώσες και ορίζει την ενεργό και την άεργο ισχύ ως εξής

$$P = i_a \cdot V \text{ και } Q_F = i_r \cdot V$$

Οπότε

$$S = V_{rms} I_{rms} = \sqrt{P^2 + Q_F^2}$$

Επίσης προτείνεται ο διαχωρισμός της ισχύος στη θεμελιώδη συχνότητα και στις αρμονικές της, θεωρώντας την ισχύ στη θεμελιώδη κύριο προϊόν και στις αρμονικές παραπροϊόν, ή αλλιώς μόλυνση.

Έτσι ορίζεται η φαινόμενη ισχύς ως $S = V \cdot I$

η οποία χωρίζεται ως εξής:

$$S^2 = (VI)^2 = (V_1^2 + V_H^2)(I_1^2 + I_H^2) = S_1^2 + S_N^2$$

Όπου η S_1 είναι η φαινόμενη ισχύς που προκαλείται από την τάση και το ρεύμα στη θεμελιώδη συχνότητα και η S_N ορίζεται ως μη θεμελιώδης φαινόμενη ισχύς ίση με

$$S_N = \sqrt{S^2 - S_1^2}$$

4.3 Μετρητικά Όργανα

4.3.1 Τεχνολογίες Μετρητικών Οργάνων

Το πλέον διαδεδομένο μετρητικό όργανο που χρησιμοποιείται κατά κανόνα στην Ελλάδα για τη χρέωση καταναλωτών, είναι το επαγωγικό ή αλλιώς ηλεκτρομαγνητικό. Η λειτουργία του στηρίζεται στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργεί η ροή ρεύματος μέσα από ένα πηνίο και συγκεκριμένα στη ροπή που δημιουργείται μεταξύ δύο τέτοιων διασταυρούμενων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που βρίσκονται υπό γωνία. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται δύο διασταυρούμενα πηνία σε συνδεσμολογίες που ποικίλουν ανάλογα με την ποσότητα που μετριέται.

Τα επαγωγικά όργανα χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος αγοράς και συντήρησης καθώς και από ικανοποιητική ακρίβεια στη μέτρηση ημιτονοειδών μεγεθών σε μία συγκεκριμένη συχνότητα. Όμως, η απόκρισή τους σε άλλες αρμονικές συχνότητες είναι ιδιαίτερα προβληματική, κάτι που τους δίνει ένα σοβαρό μειονέκτημα σχετικά με τη χρήση τους στα σημερινά δίκτυα.

Εκτός από τα ηλεκτρομαγνητικά όργανα, σήμερα χρησιμοποιούνται και άλλα μετρητικά που εφαρμόζουν διαφορετικές αρχές λειτουργίας. Όλα τα καινούργια όργανα είναι πλέον ηλεκτρονικά χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικές διατάξεις σε διάφορα σημεία τους. Τα πλέον ακριβή εφαρμόζουν δειγματοληψία επί των στιγμιαίων τιμών των υπό μέτρηση ποσοτήτων. Η ακρίβεια των οργάνων είναι προφανώς συνάρτηση της συχνότητας δειγματοληψίας.

4.3.2 Μέτρηση Ωφέλιμης Ενέργειας (Watt-Hour Meters)

Η ακρίβεια των μετρητών ωφέλιμης ενέργειας ανεξαρτήτως της τεχνολογίας που εφαρμόζουν (επαγωγικοί, εξελιγμένοι επαγωγικοί, αναλογικοί, ψηφιακοί, solid-state) είναι σε ικανοποιητικά επίπεδα. Αυτό δεν οφείλεται τόσο στην ακρίβεια των ίδιων των οργάνων, αλλά στο γεγονός ότι ακόμα και όταν το δίκτυο εμφανίζει υψηλή αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος, η παραμόρφωση της τάσης είναι κατά κανόνα χαμηλή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ενεργός ισχύς στις

συχνότητες εκτός της θεμελιώδους να είναι ιδιαίτερα μικρή κι έτσι τα σφάλματα που οφείλονται στην αδυναμία των οργάνων να μετρήσουν τις αρμονικές δε μειώνουν σημαντικά την ακρίβεια των μετρήσεων.

Για να μελετηθεί η ακρίβεια των οργάνων πραγματοποιήθηκαν δοκιμές και τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

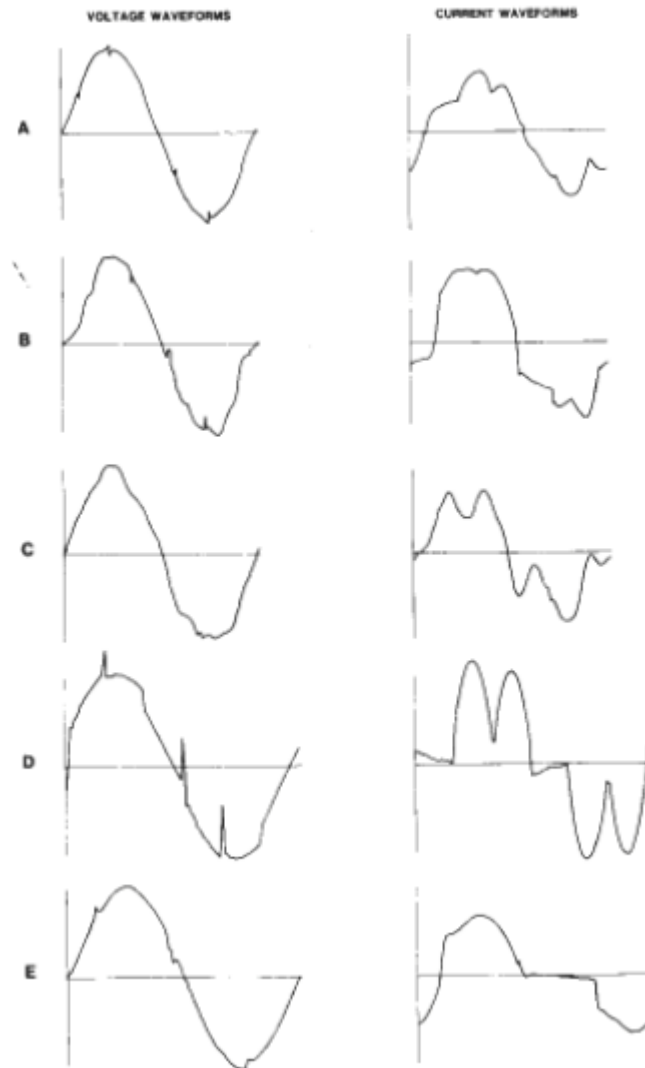
ΠΙΝΑΚΑΣ Ι
ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (%) ΤΩΝ WATT-HOUR METERS

Τύπος Οργάνου	Μονοφασικά Φορτία	Τριφασικά Φορτία	
		Συμμετρικά	Μη Συμμετρικά
Επαγωγικά	+9.14	-1.50 έως +2.00	-5.57 και -8,75
Solid-State	+7.97	---	-3.00 και -9.54
TDM Type	---	-0.09 έως +0.40	-0.04 και -2.56
Digital Sampling)	+9.46	+0.03 έως +0.80	-0.18 και -3.24

Τα όργανα κατηγοριοποιούνται στον Πίνακα Ι ανάλογα με την αρχή λειτουργίας που εφαρμόζουν για τη μέτρηση της ενέργειας. Έτσι εξετάζονται επαγωγικά όργανα καθώς και ηλεκτρονικά Solid-State, Time-Division Type και ψηφιακά που εφαρμόζουν δειγματοληψία (Digital sampling).

Η εξέταση των οργάνων για μέτρηση συμμετρικών τριφασικών φορτίων όπως φαίνεται στον Πίνακα Ι δείχνει ότι τα σφάλματα είναι μικρά για το σύνολο σχεδόν των μετρητικών οργάνων. Τα μέγιστα σφάλματα παρατηρούνται στα επαγωγικά όργανα (από -1.5% έως +2%), αλλά δεν ξεπερνούν κατά πολύ τις ανοχές των οργάνων.

Τα όργανα εξετάστηκαν στις παρακάτω πέντε κυματομορφές τάσης και ρεύματος, καθώς και για περιπτώσεις φορτίων που τροφοδοτούνται από ένα SCR υπό γωνίες έναυσης $\alpha=30^\circ$, 60° , 90° .



Διάγραμμα 4-1 Κοματομορφές Τάσης Ρεύματος

Τα σφάλματα των ίδιων οργάνων όταν χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση μη συμμετρικών τριφασικών φορτίων είναι σαφώς υψηλότερα.

4.3.3 Μέτρηση Αέργου Ενέργειας (Var-Hour Meters)

Ο τρόπος λειτουργίας των *Var-hour meters* (Μετρητών Αέργου Ενέργειας) δε διαφέρει από αυτόν των *Watt-hourmeters*, καθώς είναι ουσιαστικά τα ίδια όργανα με τη διαφορά ότι για να μετρηθεί η άεργος ενέργεια το διάνυσμα της τάσης στρέφεται τεχνητά κατά 90° ώστε να γίνει συμπασικό με το διάνυσμα του άεργου ρεύματος. Αυτό γίνεται είτε μηχανικά στα επαγωγικά όργανα (στροφή του αντίστοιχου πηνίου), είτε τεχνητά στα ψηφιακά όργανα (τεχνητή χρονική καθυστέρηση της κυματομορφής της τάσης και ένα τέταρτο της περιόδου).

Λόγω της έλλειψης κοινά αποδεκτής θεωρίας για την άεργο ενέργεια σε συστήματα με αρμονική παραμόρφωση κατά τη μέτρηση της αέργου ενέργειας πρέπει να αναφέρεται ο ορισμός που εφαρμόζεται. Συνήθως η χρήση διαφορετικών ορισμών είναι η κυριότερη αιτία σφαλμάτων. Σαν αποτέλεσμα δεν υπάρχουν αρκετές βιβλιογραφικές αναφορές σχετικές με την ακρίβεια των εν λόγω μετρητικών οργάνων

ΠΙΝΑΚΑΣ II
ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (%) ΤΩΝ VAR-HOUR METERS

	Μέτρηση Var-Hours		Μέτρηση PF	
	Επαγωγικό	Solid-State	Επαγωγικό	Solid-State
Ημιτονοειδείς κυματομορφές	2%	0,2%		
PWM Inverter	-25% έως -10%		25% έως 10%	
TRAC (α=60-90-120)	-40%		10% έως 40%	
Μη ελεγχόμενη γέφυρα ανόρθωσης	-10% έως -3%		2,5% έως 1%	

4.3.4 Μέτρηση Ενεργού Ισχύος (kW-Demand Meters)

Σύμφωνα με τη θεωρία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων η ηλεκτρική ισχύς σε ένα τριφασικό φορτίο δίνεται:

$$P = \sqrt{3} \cdot V_{\pi} \cdot I_{\pi} \cdot \cos \varphi$$

όπου η τάση είναι η πολική και το ρεύμα είναι το ρεύμα γραμμής.

Η παραπάνω σχέση υπολογισμού ισχύει μόνο για τριφασικά συστήματα πλήρως συμμετρικά. Σε αντίθετη περίπτωση για μη συμμετρικά φορτία ο υπολογισμός ανάλογα με το αν το σύστημα είναι συνδεδεμένο σε αστέρα ή σε τρίγωνο γίνεται σύμφωνα με τους τύπους:

$$P_Y = V_1 I_1 + V_2 I_2 + V_3 I_3$$

$$P_{\Delta} = V_{ab} I_1 + V_{bc} I_3$$

Διαπιστώνεται ότι ακόμη και για μεταβαλλόμενα ημιτονοειδή φορτία η μέτρηση ισχύος παρουσιάζει σοβαρές αποκλίσεις που φθάνουν μέχρι και -9.3%.

4.3.5 Μέτρηση Αέργου Ισχύος (kVar-Demand Meters)

Τα όργανα μέτρησης αέργου ισχύος όπως και τα αντίστοιχα της αέργου ενέργειας χαρακτηρίζονται από σημαντικά ποσοστά σφαλμάτων. Λόγω της έλλειψης κοινά αποδεκτής θεωρίας για την αέργο ισχύ οι βιβλιογραφικές αναφορές είναι επίσης περιορισμένες.

4.3.6 Μέτρηση Φαινόμενης Ισχύος (kVA-Demand Meters).

Η πλέον συνήθης πρακτική για τη χρέωση των καταναλωτών στο δίκτυο της Μέσης και Υψηλής Τάσης είναι η μέτρηση ενέργειας (ενεργού και αέργου). Σε ορισμένες χώρες (π.χ. στον Καναδά) η χρέωση των καταναλωτών στηρίζεται στη μέτρηση της ενέργειας και της φαινόμενης ισχύος. Γι' αυτό το λόγο υπάρχουν αρκετές βιβλιογραφικές αναφορές που ασχολούνται με την ακρίβεια της μέτρησης των *VA Demand Meters*. Το σφάλμα που παρουσιάζουν οι μετρητές φαινόμενης ισχύος μπορεί να φθάσει μέχρι και 30%. Αυτό το σφάλμα οφείλεται σε δύο κυρίως λόγους:

1. Τα όργανα σχεδιάζονται ώστε να μετρούν με ακρίβεια ημιτονοειδή μεγέθη στην πρώτη αρμονική, κι όχι μη ημιτονοειδείς ποσότητες.
2. Χρησιμοποιούνται διάφοροι ορισμοί φαινόμενης ισχύος που ταυτίζονται μόνο σε περιπτώσεις γραμμικών συμμετρικών φορτίων. Όταν τα φορτία είναι μη γραμμικά και μη συμμετρικά, η χρήση διαφορετικών ορισμών οδηγεί σε σφάλματα.

Οι ορισμοί της φαινόμενης ισχύος που εφαρμόζονται στα μετρητικά όργανα είναι οι εξής:

$$S_1 = V \cdot I, \quad S_2 = (1.11)^2 \cdot V_{avg} \cdot I_{avg} \text{ και } S_3 = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Ανάλογα με τον ορισμό της φαινόμενης ισχύος που χρησιμοποιείται από το κάθε όργανο, υπολογίζεται και ο αντίστοιχος συντελεστής ισχύος:

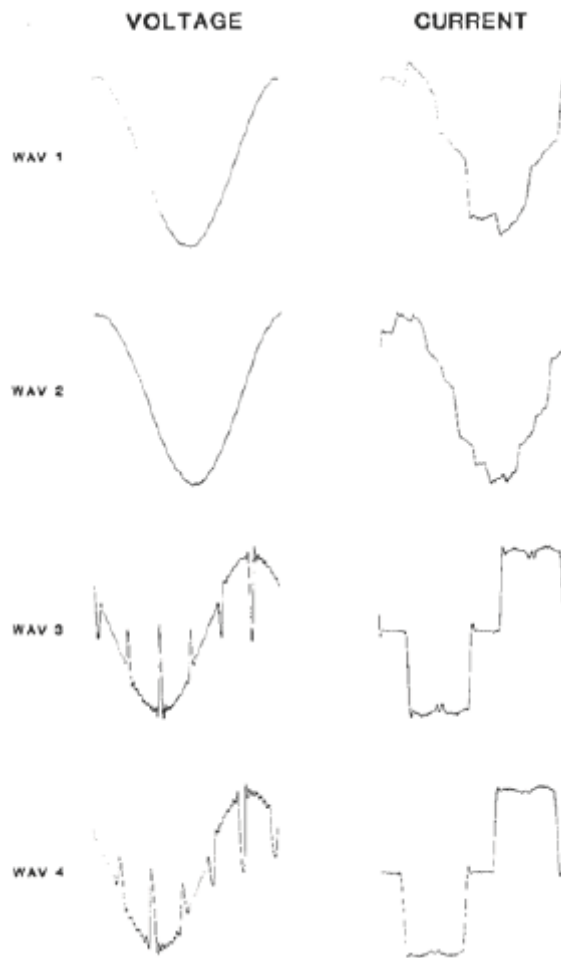
$$PF_1 = \frac{P}{S_1} \quad PF_2 = \frac{P}{S_2} \quad PF_3 = \frac{P}{S_3}$$

Από τους παραπάνω ορισμούς η S_I χρησιμοποιείται σαν ισχύς αναφοράς.

Τα μη-ημιτονοειδή φορτία που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις δίνονται στο Σχήμα 2

Τα σφάλματα που παρατηρήθηκαν ανά τύπο μετρητικού και ανά τύπο φορτίου δίνονται στον Πίνακα IV.

Τα σφάλματα των μετρητών φαινόμενης ισχύος είναι αρκετά υψηλά, ενώ αυτά που έχουν κυρίως πρακτικό ενδιαφέρον είναι αυτά των μη ημιτονοειδών κυματομορφών. Οι δοκιμές με SCRs έχουν κυρίως ερευνητικό ενδιαφέρον, αφού ένας καταναλωτής είναι μάλλον απίθανο να εμφανίζει τέτοια χαρακτηριστικά φόρτισης στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο (Point of Common Coupling - PCC).



Διάγραμμα 4-2

Κυματομορφές Τάσης Ρεύματος διαφόρων ενδεικτικών μη-ημιτονοειδών φορτίων

ΠΙΝΑΚΑΣ IV
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Φορτία	Τύπος οργάνου			
	1. Recti-thermal instrument	2. Επαγωγικά με μικροεπεξεργαστή	3. Time-division type	4. Digital Sampling type
Γραμμικά	-0.49	0.46	-0.06	0.07
Μη Γραμμικά	-30.00	-14.00	-4.80	-15.00
SCR ($\alpha=30^\circ$)	-6.50	-0.45	-0.11	-0.05
SCR ($\alpha=60^\circ$)	-19.00	-4.80	-0.64	-1.30
SCR ($\alpha=90^\circ$)	-35.00	-13.00	-0.97	-7.70

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Κατά την τελευταία δεκαετία, υπήρξε μια αυξανόμενη έρευνα σχετικά με την ποιότητα ισχύος (Power Quality,PQ). Το ενδιαφέρον και η ζήτηση για διασφάλιση ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας έχει πολλές αιτίες. Πρώτα απ'όλα, η ηλεκτρική ενέργεια θεωρείται προϊόν το οποίο προσφέρει σίγουρη ποιότητα και κίνητρα τόσο για τον αγοραστή όσο και για τον πωλητή. Δεύτερον, μεγάλα ποσά ενέργειας μπορούν να αποθηκευτούν παρακολουθώντας μόνιμα την ποιότητα ισχύος από το ηλεκτρικό δίκτυο. Ένας τρίτος λόγος για την αυξημένο ενδιαφέρον στην ποιότητα ισχύος είναι η απορρύθμιση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, κάτι που συμβαίνει σε παγκόσμια έκταση. Αυτό οδήγησε σε αυξημένη ευαισθητοποίηση σχετικά με ζητήματα ποιότητας ρεύματος από πελάτες απαιτώντας καλύτερες επιδόσεις από τους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας.

Για παράδειγμα, σε χώρες της Νότιας Αμερικής όπως η Αργεντινή, Χιλή και Περού και η νομοθεσία υποχρεώνει τον προμηθευτή να παρέχει ένα καλό επίπεδο ποιότητας ισχύος και υπάρχει ποινή εάν η ποιότητα είναι εκτός των καθορισμένων ορίων. Η Europe Electricité de France (EdF) προσφέρει εξατομικευμένες συμβάσεις ηλεκτρικής ενέργειας στις οποίες προσδιορίζεται η ποιότητα της προμήθειας και καταβάλλονται πρόστιμα για εκτέλεση εκτός εγγύησης. Η Γενική Ρυθμιστική Αρχή της Βικτώριας παρουσίασε πρόσφατα νομοθεσία στην Αυστραλία για την πρόβλεψη αποζημίωσης για ζημιά που προκαλείται από διακύμανση τάσης εκτός των καθορισμένων ορίων.

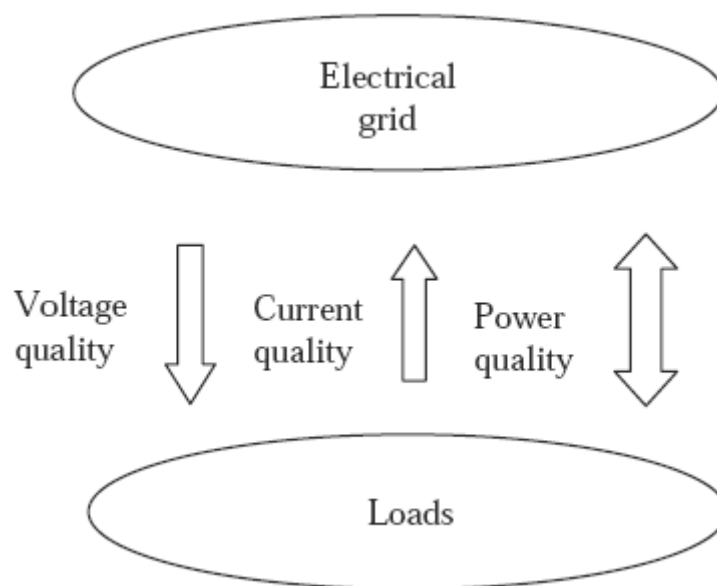
Συνοπτικά υπάρχει μια θεμελιώδης απαίτηση για μετρήσεις της ποιότητας ισχύος και για να σύγκριση με τιμές αναφοράς. Η αυξανόμενη ανάγκη για μέτρηση PQ έχει οδηγήσει στην απαίτηση για πρότυπα που περιγράφουν μεθόδους μέτρησης και παραμέτρους ποιότητας ισχύος . Υπάρχουν ήδη IEC πρότυπα που περιγράφουν τον τρόπο αρμονικών (IEC 61000-4-7)

Δυστυχώς, δεν υπάρχει ακόμα συνολικό πρότυπο διαθέσιμο που να καλύπτει τις τεχνικές μέτρησης και τους υπολογισμούς για άλλες

παραμέτρους ποιότητας ισχύος. Αυτό οδήγησε στην πρόσφατη ανάπτυξη του IEC 61000-4-30 (Δοκιμή και Τεχνικές Μέτρησης-Μέθοδοι Μέτρησης Ποιότητας Ισχύος) από το IEC. Το επερχόμενο IEC 61000-4-30 περιγράφει τον τρόπο υπολογισμού των παραμέτρων PQ . Επιπλέον, επίσης ταξινομεί αυτές τις παραμέτρους σε δύο διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με το πώς γίνονται οι υπολογισμοί. Οι κατασκευαστές οργάνων ποιότητας ισχύος μπορούν να επιλέξουν να αναπτύξουν όργανα που είναι Κανονιστικά (κατηγορία A) ή Ενδεικτικά (B τάξη).

5.1 Επισκόπηση ποιότητας ενέργειας

Η ανάλυση ποιότητας ισχύος είναι μια καθιερωμένη έννοια, που χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παραδίδεται στους πελάτες. Ένας απλοποιημένος τρόπος ορισμού της έννοιας PQ φαίνεται στο Σχήμα 5-1



Σχήμα 5-1 Η έννοια της ποιότητας ισχύος

Το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε ο προμηθευτής να εγγυάται μια ορισμένη ποιότητα τάσης. Όταν τα φορτία είναι συνδεδεμένα η ποιότητα ισχύος επηρεάζεται περισσότερο ή λιγότερο ανάλογα με το πώς σχεδιάζεται το ηλεκτρικό δίκτυο και στο τρέχον προφίλ των φορτίων. Από αυτή την άποψη, μια σειρά από βασικές παραμέτρους για την ποιότητα ισχύος που μπορούν να

μετρηθούν και να συγκριθούν τιμές αναφοράς. Οι τιμές αναφοράς μπορεί να είναι απόλυτες τιμές ή στατιστικές τιμές και μπορούν να ληφθούν από πρότυπα ή να συμφωνηθούν σε διμερή σύμβαση μεταξύ παρόχου και πελάτη.

Για παράδειγμα, ένας καλά αναγνωρισμένος ευρωπαϊκός κανόνας είναι το EN 50160: Χαρακτηριστικά τάσης ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται από δημόσια συστήματα διανομής, στα οποία οι παράμετροι που καταχωρούνται και συγκρίνονται είναι το μέγεθος της τάσης, συχνότητα, αρμονική παραμόρφωση, ανισορροπία τάσης, τρεμόπαιγμα, τάσεις σηματοδότησης. Το EN 50 160 δεν δίνει χαρακτηριστικά τάσης για γεγονότα όπως πτώσεις τάσης, διόγκωση, παροδικά κτλ. Το EN 50160 δεν αποτελεί απαίτηση για την ποιότητα της τάσης αλλά περισσότερο αποτελεί περιγραφή της υπάρχουσας κατάστασης.

5.2 Διάφορες κατηγορίες μέτρησης ποιότητας ισχύος

Οι μετρήσεις στο δίκτυο ισχύος μπορούν να χωριστούν σε διαφορετικές κατηγορίες. Τα πιο συνηθισμένα είναι η ανάλυση (μετρήσεις ισχύος και ενέργειας), μετρήσεις για τον εντοπισμό διαταραχών, στατιστικές μετρήσεις σχετικά με το ηλεκτρικό δίκτυο, μετρήσεις σύμφωνα με τα πρότυπα (EN50 160 κ.λπ.) και μετρήσεις απαραίτητες για το σχεδιασμό εξαρτημάτων όπως μετασχηματιστές, φίλτρα συστοιχίας πυκνωτών κ.λπ.

Οι διάφορες κατηγορίες μετρήσεων απαιτούν διαφορετικά όργανα. Με τις αυξανόμενες ανάγκες για μέτρηση PQ, υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για τυποποίηση. Το μελλοντικό πρότυπο IEC 61000-4-30 θα θέσει ένα νέο σημείο αναφοράς για την μέτρηση ποιότητας ισχύος και είναι σημαντικό και για τους δύο χρήστες και κατασκευαστές οργάνων.

5.2.1 Ταξινόμηση ποιότητας ισχύος - Παράμετροι

Για τον μέσο χρήστη είναι συνήθως δύσκολο να συγκρίνει όργανα. Το όργανο θα παράγει αξιόπιστα αποτελέσματα που είναι συγκρίσιμα με άλλες μάρκες. Όσο μεγαλύτερες είναι οι τεχνικές προδιαγραφές, τόσο το καλύτερο. Δυστυχώς αυτό ελάχιστη σχέση έχει με τις πελατοκεντρικές απαιτήσεις. Εδώ, το IEC 61000-4-30 είναι που

προσφέρει λύση ταξινομώντας τις παραμέτρους της ποιότητας ισχύος σε κλάση A (Κανονική) και B (Ενδεικτική). Τα όργανα μέτρησης για την κατηγορία B χρησιμοποιούνται ειδικά για ανάλυση ζήτησης και απλή αναζήτηση σφαλμάτων. Μπορεί να είναι είτε μονοφασικά είτε τριφασικά με περιορισμένη ακρίβεια ως πούμε +/-1% ανά κανάλι.

Όργανα που μετρούν τις παραμέτρους ποιότητας ισχύος σύμφωνα με την κατηγορία A αναγνωρίζονται ότι λειτουργούν με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια σε όλες τις μετρήσεις περιβάλλοντα/καταστάσεις. Το κανονιστικό μέσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το ίδιο είδος μέτρησης με το ενδεικτικό όργανο αλλά είναι ειδικά σχεδιασμένο για μεταφορά από τις κανονιστικές μετρήσεις έναντι των αναγνωρισμένων διεθνή ή τοπικά πρότυπα ή συμβάσεις. Απαιτούνται μετρήσεις σύμφωνα με την κατηγορία A κατά την επαλήθευση προτύπων και όταν πρόκειται για διαφορές μεταξύ πελάτη και προμηθευτή.

5.3 Αλλαγή απαιτήσεων για ποιότητα ενέργειας

Θεωρώντας την ηλεκτρική ενέργεια ως προϊόν είναι αυτονόητο ότι πρέπει να είναι διασφαλισμένη η ποιότητα. Παραδοσιακά αυτό έχει πραγματοποιηθεί με περιστασιακές μετρήσεις ποιότητας σε απομονωμένες θέσεις του δικτύου χρησιμοποιώντας φορητές συσκευές. Μερικά από αυτά τα όργανα παρήγαγαν δέσμες δεδομένων στο χαρτί, κάτι που ήταν δύσκολο αποθήκευση και ανάλυση. Η εφαρμογή της σύγχρονης ηλεκτρονικής για λήψη δεδομένων υψηλής ταχύτητας, επεξεργασία σήματος, αποθήκευση και η ανάλυση επιτρέπει μια πιο ολοκληρωμένη και φιλική προς το χρήστη προσέγγιση.

Το IEC 61000-4-30 περιέχει κατευθυντήριες γραμμές για εφαρμογές μετρήσεων ποιότητας ισχύος. Ενώ οι περισσότερες παράμετροι μπορούν να αξιολογηθούν σε μια περίοδο έρευνας της μιας εβδομάδας, υποθέτοντας ότι δεν υπάρχουν μη φυσιολογικές καταστάσεις όπως π.χ έντονες καιρικές συνθήκες, βιομηχανικές ενέργειες, παρεμβολές τρίτων, κ.λπ., η πτώση της τάσης και η διόγκωση πρέπει να αξιολογούνται σε μεγαλύτερη περίοδο – προτείνεται ένα έτος. Αυτό βγάζει νόημα, καθώς οι βυθίσεις προκαλούνται γενικά από σφάλματα

στο δίκτυο ή εγκαταστάσεις του πελάτη – είναι απρόβλεπτες, σε μεγάλο βαθμό τυχαία και η κατανομή τους σε ένα χρόνο μπορεί να είναι πολύ ακανόνιστες. Οι συνέπειες για την παρακολούθηση είναι βαθείς.

Τα ακόλουθα παραδείγματα δείχνουν πώς η εφαρμογή μόνιμων συστημάτων παρακολούθησης έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την αντιμετώπιση προβλημάτων ποιότητας ισχύος.

5.3.1 Παρακολούθηση Ποιότητας Ενέργειας σε Ανεμογεννήτριες σε Ιρλανδία

Ο αριθμός των ανεμογεννητριών στην Ιρλανδία αυξάνεται ραγδαία λόγω της καταλληλότητας του περιβάλλοντος για αυτού του είδους την παραγωγή ενέργειας. Είναι γνωστό ότι οι ανεμογεννήτριες μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στην ποιότητα ισχύος, ιδιαίτερα ένα αυξημένο τρεμούλιασμα. Προκειμένου να αποφευχθούν τέτοιου είδους προβλήματα, ένας από τους κύριους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ιρλανδία, έχει αποφάσισε να εγκαταστήσει μόνιμη εξοπλισμό παρακολούθησης ποιότητας ισχύος σε υποσταθμούς που συνδέονται με τις γεννήτριες. παρουσίαση.

5.3.2 Συνεργασία μεταξύ του τοπικού διανομέα και βιομηχανίας όσον αφορά την παρακολούθηση της ποιότητας ισχύος

Η πόλη Linköping στη Σουηδία έχει περίπου 150.000 πολίτες. Είναι πολύ γνωστό και για το πανεπιστήμιό της όπως και για τις μεγάλες βιομηχανικές μονάδες. Το βοηθητικό πρόγραμμα στο Linköping ήταν ένας από τους πρώτους που εγκατέστησαν μόνιμη παρακολούθηση ποιότητας ισχύος. Ξεκίνησε ως θέμα ποιότητας από το πανεπιστημιακό νοσοκομείο στο Λινκόπινγκ. Δεδομένου ότι το νοσοκομείο διαθέτει πολύ κρίσιμο εξοπλισμό, ανησυχούσαν πολύ για την ποιότητα της τροφοδοσίας τους. Μόνιμος εξοπλισμός παρακολούθησης της ποιότητας ισχύος εγκαταστάθηκε στον υποσταθμό που τροφοδοτεί το νοσοκομείο. Σήμερα, η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται στο νοσοκομείο είναι πλήρως εξασφαλισμένης ποιότητας.

Επιπλέον, οι μεγάλες βιομηχανικές μονάδες ανησυχούσαν σχετικά με την ποιότητα ισχύος. Ένα εργοστάσιο κινητής τηλεφωνίας και ένα με αεροδιαστημικές εγκαταστάσεις έχουν εγκαταστήσει τη δική τους μόνιμη μονάδα παρακολούθησης, αναθέτοντας σε εξωτερικούς συνεργάτες την αξιολόγηση των μετρήσεων. Αυτή η συνεργασία έχει πράγματι ενισχύσει τη σχέση μεταξύ της εταιρείας κοινής ωφέλειας και του πελάτη.

5.4 Το μελλοντικό πρότυπο IEC 61000-4-30

Οι παράμετροι ποιότητας ισχύος που περιγράφονται είναι η συχνότητα ισχύος, το μέγεθος τάσης τροφοδοσίας, το τρεμόπαιγμα, η βύθιση και η ανύψωση τάσης, οι διακοπές τάσης, οι παροδικές υπερτάσεις, οι αρμονικές τάσης και ρεύματος, οι γρήγορες αλλαγές τάσης.

5.4.1 Τάξη A και B τάξη

Το πρότυπο περιγράφει πώς οι παράμετροι ποιότητας ισχύος πληρούν την κατηγορία A. Για την τάξη B, δεν υπάρχουν περιορισμοί ως προς τον τρόπο που θα υπολογιστούν οι παράμετροι αλλά ο κατασκευαστής προσδιορίζει τις μεθόδους μέτρησης που χρησιμοποιούνται.

5.4.2 Χρόνοι ολοκλήρωσης

Για την κλάση A, το παράθυρο ολοκλήρωσης χρόνου κατά την εγγραφή είναι 10 κύκλοι σε σύστημα 50 Hz. Με αυτόν τον χρόνο ως βάση, τρία διαστήματα μέτρησης ορίζονται. Αυτοί είναι 150 κύκλοι, 10 λεπτά και 2 ώρες. Η τιμή RMS 150 κύκλων υπολογίζεται ως η μέση ρίζα των τετραγώνων δεκαπέντε τιμών RMS 10 κύκλων. Τα παράθυρα πρέπει να είναι συνεχή και να μην επικαλύπτονται έτσι ώστε να είναι εύκολο να αποδειχθεί ότι η υπολογιζόμενη τιμή 150 κύκλων είναι η σωστή τιμή RMS. Το άθροισμα των 150 κύκλων στα 10 λεπτά είναι πιο περίπλοκος από το πραγματικό διότι η συχνότητα θα ποικίλλει. Όταν η συχνότητα του συστήματος είναι ακριβώς 50 Hz, υπάρχουν ακριβώς 200 διαστήματα. Για συχνότητα 49,5 Hz οι 150 κύκλοι γίνονται κάθε 3,03 δευτερόλεπτα και είναι μόνο 198 σε διάστημα 10 λεπτών. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο αριθμός των διαστημάτων δεν είναι ακέραιος αριθμός και το τελευταίο διάστημα απορρίπτεται στυε

υπολογισμούς. Παρά τα απορριφθέντα δεδομένα, παραμένει ασφαλής ο υπολογισμός

5.4.3 Έννοια επισήμανσης

Η έννοια "επισήμανση" αποφεύγει την καταμέτρηση ενός μεμονωμένου συμβάντος περισσότερες από μία φορές για διαφορετικές παραμέτρους, π.χ. μετρώντας μια ενιαία βύθιση και ως βύθιση και ως διακύμανση συχνότητας. Όταν συμβαίνει ένα συμβάν όπως βύθιση τάσης, ανύψωση τάσης ή σύντομη διακοπή το όργανο θα καταγράψει μόνο το συγκεκριμένο γεγονός. Οι άλλες παράμετροι ποιότητας ισχύος δεν καταγράφονται. Αντίθετα, το διάστημα είναι με επισήμανση, που σημαίνει ότι επισημαίνεται για να δείχνει το συγκεκριμένο συμβάν και κανένα άλλο μετρούμενο στοιχείο.

5.4.4 Συχνότητα

Η συχνότητα υπολογίζεται κάθε 10 δευτερόλεπτα για όργανο κατηγορίας A. Για να υπολογίσετε τη συχνότητα μετρώνται μηδενικές διασταυρώσεις κατά τη διάρκεια 10 δευτερολέπτων. Η ακρίβεια για την κατηγορία A πρέπει να είναι καλύτερη ή ίση με ± 10 mHz και λιγότερο από ± 100 mHz για την κατηγορία B. Η συχνότητα μπορεί να υπολογιστεί μετρώντας το χρόνο που έχει παρέλθει μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας διασταύρωσης μηδενικής τάσης μέσα στο διάστημα των 10 δευτερολέπτων.

5.4.5 Τιμή RMS τάσης

Η τιμή RMS τάσης υπολογίζεται για κάθε 10 κύκλους για όργανα κατηγορίας A. Η ακρίβεια για την κατηγορία A είναι καλύτερη ή ίση με $\pm 0,10$ % της ονομαστικής τάσης και για την κατηγορία B $\pm 1,0$ %.

5.4.6 Τρεμοπαίξιμο

Οι υπολογισμοί τρεμοπαίξιματος για όργανα κατηγορίας A πρέπει να ακολουθούν τους περιορισμούς σύμφωνα με τον κανόνα IEC 61000-4-15 (Flickermeter – λειτουργικές και σχεδιαστικές προδιαγραφές)

5.4.7 Βύθιση και ανύψωση τάσης

Η καταγραφή των γεγονότων βύθισης/ανύψωσης θα βασίζεται στις τιμές RMS ενός κύκλου και θα ενημερώνονται κάθε $\frac{1}{2}$ κύκλου για την κατηγορία A. Όταν αυτή η τιμή RMS υπερβαίνει ή πέφτει κάτω ένα δηλωμένο επίπεδο ενεργοποίησης, το όργανο θα ξεκινήσει εγγραφή και συνεχίσει έως ότου οι τιμές RMS επιστρέψουν στο φυσιολογικό. Η πρώτη στιγμή αναφέρεται ως έναρξη της εκδήλωσης, η δεύτερη ως τέλος της εκδήλωσης, ο χρόνος μεταξύ της έναρξης και του τέλους του συμβάντος ονομάζεται διάρκεια της εκδήλωσης. Η χαμηλότερη τιμή RMS για πτώση τάσης ονομάζεται τάση διατήρησης. Η ακρίβεια για τα όργανα κατηγορίας A πρέπει να είναι εντός $\pm 0,2$ % της αναφερόμενης ονομαστική τάσης και $\pm 2,0$ % για την κατηγορία B.

5.5 Αρμονικές

Οι αρμονικές είναι ανεπιθύμητες υψηλότερες συχνότητες που υπερτίθενται στη βασική κυματομορφή δημιουργώντας ένα παραμορφωμένο κυματικό σχέδιο.

Σε ένα κύκλωμα AC, μια αντίσταση συμπεριφέρεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όπως σε ένα κύκλωμα DC. Δηλαδή, το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση είναι ανάλογο με την τάση σε αυτήν. Αυτό συμβαίνει επειδή μια αντίσταση είναι μια γραμμική συσκευή και εάν η τάση που εφαρμόζεται σε αυτήν είναι ημιτονοειδές κύμα, το ρεύμα που διαρρέει από αυτήν είναι επίσης ημιτονοειδές κύμα, επομένως η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο ημιτονίων είναι μηδέν.

Γενικά, όταν ασχολούμαστε με εναλλασσόμενες τάσεις και ρεύματα σε ηλεκτρικά κυκλώματα, θεωρείται ότι είναι καθαρά και ημιτονοειδή σε σχήμα με μία μόνο τιμή συχνότητας, που ονομάζεται «θεμελιώδης συχνότητα», αλλά αυτό δεν συμβαίνει πάντα.

Σε μια ηλεκτρική ή ηλεκτρονική συσκευή ή κύκλωμα που έχει ένα χαρακτηριστικό τάσης-ρεύματος που δεν είναι γραμμικό, δηλαδή το ρεύμα που το διαρρέει δεν είναι ανάλογο της εφαρμοζόμενης τάσης. Οι εναλλασσόμενες κυματομορφές που σχετίζονται με τη συσκευή θα είναι διαφορετικές σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό από αυτές μιας

ιδανικής ημιτονοειδής κυματομορφή. Αυτοί οι τύποι κυματομορφών αναφέρονται συνήθως ως μη ημιτονοειδείς ή σύνθετες κυματομορφές.

Οι σύνθετες κυματομορφές δημιουργούνται από κοινές ηλεκτρικές συσκευές, όπως πηνία με σίδηρο, μετασχηματιστές μεταγωγής, ηλεκτρονικά στραγγαλιστικά πηνία σε φώτα φθορισμού και άλλα τέτοια βαριά επαγωγικά φορτία, καθώς και από τις κυματομορφές τάσης και ρεύματος εξόδου εναλλασσόμενου ρεύματος, γεννητριών και άλλων τέτοιων ηλεκτρικών μηχανών. Το αποτέλεσμα είναι ότι η τρέχουσα κυματομορφή μπορεί να μην είναι ημιτονοειδής, παρόλο που η κυματομορφή τάσης είναι.

Επίσης τα περισσότερα ηλεκτρονικά κυκλώματα μεταγωγής τροφοδοσίας όπως ανορθωτές, ανορθωτές ελεγχόμενου πυριτίου (SCR), τρανζίστορ ισχύος, μετατροπείς ισχύος και άλλοι τέτοιοι διακόπτες στερεάς κατάστασης που κόβουν και κόβουν την ημιτονοειδή κυματομορφή των τροφοδοτικών για τον έλεγχο της ισχύος του κινητήρα ή για τη μετατροπή της ημιτονοειδούς παροχής AC στο DC. Αυτά τα κυκλώματα μεταγωγής τείνουν να αντλούν ρεύμα μόνο στις μέγιστες τιμές της παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος και δεδομένου ότι η κυματομορφή του ρεύματος μεταγωγής είναι μη ημιτονοειδής, το προκύπτον ρεύμα φορτίου λέγεται ότι περιέχει **Αρμονικές**.

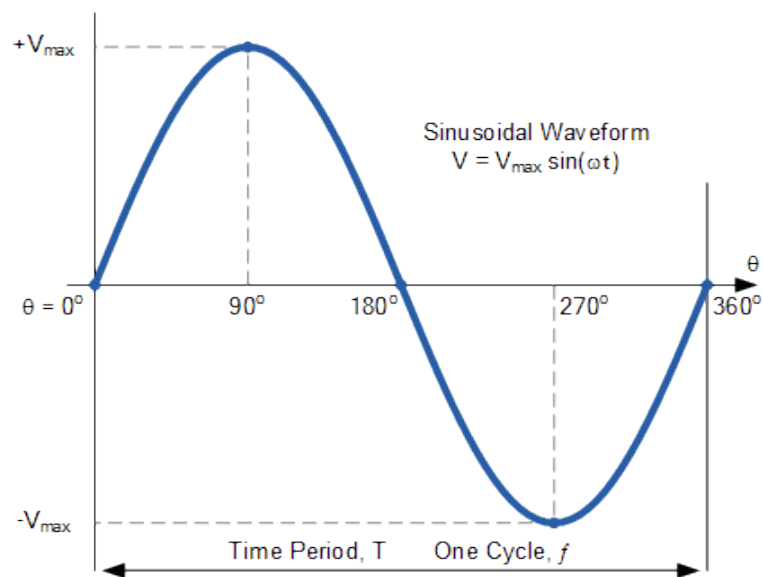
Οι μη ημιτονοειδείς μιγαδικές κυματομορφές κατασκευάζονται με την «προσθήκη» μιας σειράς συχνοτήτων ημιτονοειδών κυμάτων γνωστών ως «Αρμονικές». Αρμονικές είναι ο γενικευμένος όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την παραμόρφωση μιας ημιτονοειδούς κυματομορφής από κυματομορφές διαφορετικών συχνοτήτων.

Στη συνέχεια, ανεξάρτητα από το σχήμα της, μια σύνθετη κυματομορφή μπορεί να χωριστεί μαθηματικά στα επιμέρους συστατικά της που ονομάζονται θεμελιώδης συχνότητα και σε έναν αριθμό «αρμονικών συχνοτήτων». Τι εννοούμε όμως με τον όρο «θεμελιώδης συχνότητα».

5.5.1 Θεμελιώδης Συχνότητα

Μια θεμελιώδης κυματομορφή (ή πρώτη αρμονική) είναι η ημιτονοειδής κυματομορφή που έχει τη συχνότητα παροχής. Η θεμελιώδης είναι η χαμηλότερη ή βασική συχνότητα, f πάνω στην οποία είναι χτισμένη η μιγαδική κυματομορφή και ως εκ τούτου ο περιοδικός χρόνος, T της μιγαδικής κυματομορφής που προκύπτει θα είναι ίσος με τον περιοδικό χρόνο της θεμελιώδους συχνότητας.

Παρακάτω φαίνεται η βασική θεμελιώδης ή 1η αρμονική κυματομορφή AC



Διάγραμμα 5-1 Βασική θεμελιώδης ή 1η αρμονική κυματομορφή AC

Όπου: V_{\max} είναι η μέγιστη τιμή σε βολτ και f είναι η συχνότητα κυματομορφών σε Hertz (Hz).

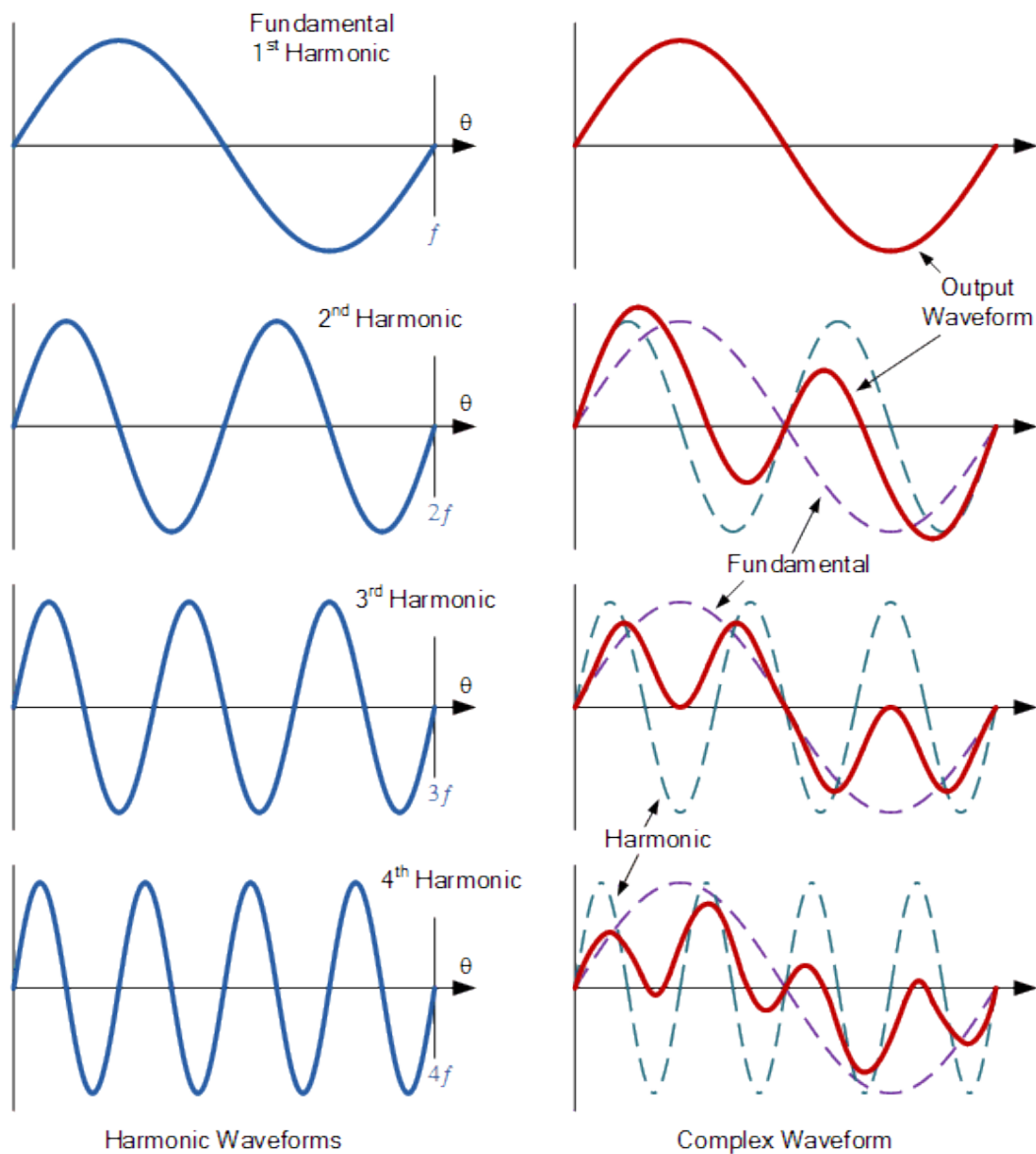
Μπορούμε να δούμε ότι μια ημιτονοειδής κυματομορφή είναι μια εναλλασσόμενη τάση (ή ρεύμα), η οποία μεταβάλλεται ως ημιτονοειδής συνάρτηση της γωνίας, $2\pi f$. Η συχνότητα των κυματομορφών, f καθορίζεται από τον αριθμό των κύκλων ανά δευτερόλεπτο. Στο Ηνωμένο Βασίλειο αυτή η θεμελιώδης συχνότητα ορίζεται στα 50 Hz ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι 60 Hz.

Οι αρμονικές είναι τάσεις ή ρεύματα που λειτουργούν σε συχνότητα που είναι ακέραιος (ακέραιος αριθμός) πολλαπλάσιο της θεμελιώδους συχνότητας. Με δεδομένη λοιπόν μια θεμελιώδη κυματομορφή 50Hz,

αυτό σημαίνει ότι μια 2η αρμονική συχνότητα θα είναι 100Hz (2 x 50Hz), μια 3η αρμονική θα είναι 150Hz (3 x 50Hz), μια 5η στα 250Hz, μια 7η στα 350Hz και ούτω καθεξής. Ομοίως, δεδομένης μιας θεμελιώδους κυματομορφής 60 Hz, η 2η, 3η, 4η και 5η αρμονική συχνότητα θα είναι στα 120Hz, 180Hz, 240Hz και 300Hz αντίστοιχα.

Με άλλα λόγια, μπορούμε να πούμε ότι οι «αρμονικές» είναι πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας και επομένως μπορούν να εκφραστούν ως: $2f$, $3f$, $4f$ κ.λπ. όπως φαίνεται.

5.5.2 Σύνθετες κυματομορφές λόγω αρμονικών



Διάγραμμα 5-2

Κυματομορφές αρμονικών (μπλε) και πραγματική κυματομορφή στο φορτίο (κόκκινα)

Οι κόκκινες κυματομορφές παραπάνω, είναι τα πραγματικά σχήματα των κυματομορφών όπως φαίνονται από ένα φορτίο λόγω του αρμονικού περιεχομένου που προστίθεται στη θεμελιώδη συχνότητα.

Η θεμελιώδης κυματομορφή μπορεί επίσης να ονομαστεί κυματομορφή 1ης αρμονικής. Επομένως, μια δεύτερη αρμονική έχει συχνότητα διπλάσια από τη θεμελιώδη, η τρίτη αρμονική έχει συχνότητα τριπλάσια της θεμελιώδους και μια τέταρτη αρμονική έχει μια τέσσερις φορές τη θεμελιώδη όπως φαίνεται στην αριστερή στήλη.

Η δεξιά στήλη δείχνει το σύνθετο σχήμα κύματος που δημιουργείται ως αποτέλεσμα της επίδρασης μεταξύ της προσθήκης της βασικής κυματομορφής και των αρμονικών κυματομορφών σε διαφορετικές αρμονικές συχνότητες. Σημειώστε ότι το σχήμα της προκύπτουσας μιγαδικής κυματομορφής θα εξαρτηθεί όχι μόνο από τον αριθμό και το πλάτος των αρμονικών συχνοτήτων που υπάρχουν, αλλά και από τη σχέση φάσης μεταξύ της θεμελιώδους ή βασικής συχνότητας και των επιμέρους αρμονικών συχνοτήτων.

Μπορούμε να δούμε ότι ένα σύνθετο κύμα αποτελείται από μια θεμελιώδη κυματομορφή συν αρμονικές, καθεμία με τη δική της τιμή κορυφής και γωνία φάσης. Για παράδειγμα, εάν η θεμελιώδης συχνότητα δίνεται ως $E = V_{\max}(2\pi ft)$, οι τιμές των αρμονικών θα δοθούν ως:

Για μια δεύτερη αρμονική:

$$E_2 = V_{2(\max)}(2 * 2\pi ft) = V_{2(\max)}(4\pi ft), = V_{2(\max)}(2\omega t)$$

Για μια τρίτη αρμονική:

$$E_3 = V_{3(\max)}(3 * 2\pi ft) = V_{3(\max)}(6\pi ft), = V_{3(\max)}(3\omega t)$$

Για μια τέταρτη αρμονική:

$$E_4 = V_{4(\max)}(4 * 2\pi ft) = V_{4(\max)}(8\pi ft), = V_{4(\max)}(4\omega t)$$

και ούτω καθεξής.

Τότε η εξίσωση που δίνεται για την τιμή μιας μιγαδικής κυματομορφής θα είναι:

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n \text{ κτλ}$$

$$E_T = V_{1\text{MAX}} \cdot \sin(2\pi ft) + V_{2\text{MAX}} \cdot \sin(4\pi ft) + V_{3\text{MAX}} \cdot \sin(6\pi ft) \text{ κτλ}$$

Οι αρμονικές ταξινομούνται γενικά με το όνομα και τη συχνότητά τους, για παράδειγμα, μια 2η αρμονική της θεμελιώδης συχνότητας στα 100 Hz, καθώς και με την ακολουθία τους. Η αρμονική ακολουθία αναφέρεται στην περιστροφή της φάσης των αρμονικών τάσεων και ρευμάτων σε σχέση με τη θεμελιώδη κυματομορφή σε ένα ισορροπημένο, τριφασικό σύστημα 4 συρμάτων.

Μια θετική αρμονική ακολουθίας (4η, 7η, 10η,...) θα περιστρέφεται προς την ίδια κατεύθυνση (εμπρός) με τη θεμελιώδη συχνότητα. Όπου ως αρνητική ακολουθία η αρμονική (2η, 5η, 8η, ...) περιστρέφεται προς την αντίθετη κατεύθυνση (αντίστροφη) της θεμελιώδους συχνότητας.

Γενικά, οι αρμονικές θετικής ακολουθίας είναι ανεπιθύμητες επειδή ευθύνονται για την υπερθέρμανση των αγωγών, των γραμμών ισχύος και των μετασχηματιστών λόγω της προσθήκης των κυματομορφών.

Από την άλλη πλευρά, οι αρνητικές αρμονικές ακολουθίας κυκλοφορούν μεταξύ των φάσεων δημιουργώντας πρόσθετα προβλήματα στους κινητήρες καθώς η αντίθετη περιστροφή της φάσης εξασθενεί το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που απαιτείται από τους κινητήρες, και ειδικά τους κινητήρες επαγωγής, αναγκάζοντάς τους να παράγουν λιγότερη μηχανική ροπή.

Ένα άλλο σύνολο ειδικών αρμονικών που ονομάζονται «τριπλές» (πολλαπλά από τρία) έχουν μηδενική περιστροφική ακολουθία. Τα *τριπλάσια* είναι πολλαπλάσια της τρίτης αρμονικής (3η, 6η, 9η,...), κ.λπ., εξ ου και το όνομά τους, και επομένως μετατοπίζονται κατά μηδέν μοίρες. Αρμονικές μηδενικής ακολουθίας κυκλοφορούν μεταξύ της φάσης και του ουδέτερου ή της γείωσης.

Σε αντίθεση με τα αρμονικά ρεύματα θετικής και αρνητικής ακολουθίας που αλληλοεξουδετερώνονται, οι αρμονικές τρίτης τάξης ή τριπλής τάξης δεν ακυρώνονται. Αντίθετα, αθροίστε αριθμητικά στο κοινό ουδέτερο καλώδιο που υπόκειται σε ρεύματα και από τις τρεις φάσεις.

Το αποτέλεσμα είναι ότι το πλάτος ρεύματος στο ουδέτερο καλώδιο λόγω αυτών των τριπλών αρμονικών θα μπορούσε να είναι έως και 3 φορές το πλάτος του ρεύματος φάσης στη θεμελιώδη συχνότητα, με αποτέλεσμα να γίνεται λιγότερο αποδοτικό και να υπερθερμαίνεται.

Στη συνέχεια, μπορούμε να συνοψίσουμε τα εφέ της ακολουθίας ως πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας των 50 Hz, στον παρακάτω πίνακα

Όνομα	Κεφάλαιο	2 ^ο	3η	4η	5η	6η	7η	8ο	9η
Συχνότητα, Hz	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Αλληλουχία	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Η ίδια αρμονική ακολουθία ισχύει και για τις θεμελιώδεις κυματομορφές 60Hz.

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ

Το ANSI C12.18 είναι ένα πρότυπο ANSI που περιγράφει ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για αμφίδρομες επικοινωνίες με μετρητή, που χρησιμοποιείται κυρίως στις αγορές της Βόρειας Αμερικής. Το Πρότυπο C12.18 είναι γραμμένο ειδικά για επικοινωνίες μετρητών μέσω οπτικής θύρας τύπου ANSI 2 και καθορίζει λεπτομέρειες πρωτοκόλλου χαμηλότερου επιπέδου. Το ANSI C12.19 καθορίζει τους πίνακες δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Το ANSI C12.21 είναι μια επέκταση του C12.18 που γράφτηκε για μόντεμ αντί για οπτικές επικοινωνίες, επομένως ταιριάζει καλύτερα στην αυτόματη ανάγνωση του μετρητή. Το ANSI C12.22 είναι το πρωτόκολλο επικοινωνίας για απομακρυσμένες επικοινωνίες.

Το IEC 61107 είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας για έξυπνους μετρητές που δημοσιεύεται από την IEC και χρησιμοποιείται ευρέως για μετρητές κοινής χρήσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Αντικαθίσταται από το IEC 62056, αλλά παραμένει σε ευρεία χρήση επειδή είναι απλό και καλά αποδεκτό. Στέλνει δεδομένα ASCII χρησιμοποιώντας μια σειριακή θύρα. Τα φυσικά μέσα είναι είτε διαμορφωμένο φως, αποστέλλονται με LED και λαμβάνονται με φωτοδίοδο, είτε ζεύγος καλωδίων, που συνήθως διαμορφώνονται από το EIA-485. Το πρωτόκολλο είναι half-duplex. Το IEC 61107 σχετίζεται και μερικές φορές λανθασμένα συγχέεται με το πρωτόκολλο FLAG. Ferrantikai Landis+Gyr ήταν οι πρώτοι υποστηρικτές ενός προτύπου διεπαφής που τελικά έγινε υποσύνολο του IEC1107.

Το Πρωτόκολλο Ανοικτού Έξυπνου Δικτύου (OSGP) είναι μια οικογένεια προδιαγραφών που δημοσιεύεται από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το πρότυπο δικτύωσης ελέγχου ISO/IEC 14908 για εφαρμογές έξυπνων μετρήσεων και έξυπνων δικτύων. Εκατομμύρια έξυπνοι μετρητές που βασίζονται στο OSGP αναπτύσσονται παγκοσμίως. Στις 15 Ιουλίου 2015, η OSGP Alliance ανακοίνωσε την κυκλοφορία ενός νέου πρωτοκόλλου ασφαλείας (OSGP-AES-128-PSK) και τη διαθεσιμότητά του από προμηθευτές OSGP. Αυτό καταργούσε το

αρχικό πρωτόκολλο ασφαλείας OSGP-RC4-PSK το οποίο είχε αναγνωριστεί ως ευάλωτο.

Υπάρχει μια αυξανόμενη τάση προς τη χρήση της τεχνολογίας TCP/IP ως κοινής πλατφόρμας επικοινωνίας για εφαρμογές Smart Meter, έτσι ώστε οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να μπορούν να αναπτύξουν πολλαπλά συστήματα επικοινωνίας, ενώ χρησιμοποιούν την τεχνολογία IP ως κοινή πλατφόρμα διαχείρισης. Μια καθολική διεπαφή μέτρησης θα επέτρεπε την ανάπτυξη και τη μαζική παραγωγή έξυπνων μετρητών και συσκευών έξυπνου δικτύου πριν από τον καθορισμό των προτύπων επικοινωνίας και στη συνέχεια την εύκολη προσθήκη ή εναλλαγή των σχετικών μονάδων επικοινωνίας όταν είναι. Αυτό θα μείωνε τον κίνδυνο επένδυσης σε λάθος πρότυπο, καθώς και θα επέτρεπε τη χρήση ενός μεμονωμένου προϊόντος παγκοσμίως, ακόμη και αν τα περιφερειακά πρότυπα επικοινωνίας διαφέρουν.

Ορισμένοι έξυπνοι μετρητές ενδέχεται να χρησιμοποιούν ένα δοκιμαστικό IR LED για τη μετάδοση μη κρυπτογραφημένων δεδομένων χρήσης που παρακάμπτουν την ασφάλεια του μετρητή μεταδίδοντας δεδομένα χαμηλότερου επιπέδου σε πραγματικό χρόνο.

6.1 Τεχνικές προδιαγραφές εξοπλισμού έξυπνου μετρητή (SMETS)

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, οι παραλλαγές των έξυπνων μετρητών ταξινομούνται ως Τεχνικές Προδιαγραφές Εξοπλισμού Έξυπνων Μετρητών (SMETS), με έξυπνους μετρητές πρώτης γενιάς κοινώς γνωστούς ως SMETS1 και έξυπνους μετρητές δεύτερης γενιάς γνωστούς ως SMETS2.

Τον Αύγουστο του 2020, ο εγκαταστάτης έξυπνου μετρητή SMS plc ήταν η πρώτη εταιρεία που τοποθέτησε τον νέο τριφασικό μετρητή SMETS2 – που αναπτύχθηκε από την Aclara Technologies – για λογαριασμό του βρετανικού προμηθευτή ενέργειας, Good Energy .

6.2 Διαχείριση δεδομένων

Η άλλη κρίσιμη τεχνολογία για τα συστήματα έξυπνων μετρητών είναι η τεχνολογία πληροφοριών στο βοηθητικό πρόγραμμα που ενσωματώνει τα δίκτυα Smart Meter με εφαρμογές κοινής ωφέλειας, όπως η χρέωση

και το CIS. Αυτό περιλαμβάνει το σύστημα διαχείρισης δεδομένων μετρητών.

Είναι επίσης σημαντικό για τις εφαρμογές έξυπνου δικτύου οι τεχνολογίες επικοινωνίας με γραμμή ηλεκτρικής ενέργειας (PLC) που χρησιμοποιούνται εντός του σπιτιού μέσω ενός δικτύου οικιακής περιοχής (HAN), να είναι τυποποιημένες και συμβατές. Το HAN επιτρέπει στα συστήματα HVAC και άλλες οικιακές συσκευές να επικοινωνούν με τον έξυπνο μετρητή και από εκεί στο βοηθητικό πρόγραμμα. Επί του παρόντος, υπάρχουν πολλά πρότυπα ευρυζωνικής ή στενής ζώνης που ισχύουν ή αναπτύσσονται, τα οποία δεν είναι ακόμη συμβατά. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST) ίδρυσε την ομάδα PAP15, η οποία μελετά και προτείνει μηχανισμούς συνύπαρξης με επίκεντρο την εναρμόνιση των προτύπων PLC για το HAN. Ο στόχος του ομίλου είναι να διασφαλίσει ότι όλες οι τεχνολογίες PLC που επιλέχθηκαν για το HAN συνυπάρχουν τουλάχιστον. Οι δύο κορυφαίες ευρυζωνικές τεχνολογίες PLC που επιλέχθηκαν είναι οι τεχνολογίες HomePlug AV / IEEE 1901 και ITU-T G.hn. Τεχνικές ομάδες εργασίας εντός αυτών των οργανισμών εργάζονται για την ανάπτυξη κατάλληλων μηχανισμών συνύπαρξης. Η HomePlug Powerline Alliance έχει αναπτύξει ένα νέο πρότυπο για επικοινωνίες έξυπνου δικτύου HAN που ονομάζεται προδιαγραφή HomePlug Green PHY . Είναι διαλειτουργικό και συνυπάρχει με τα ευρέως αναπτυγμένα Τεχνολογία HomePlug AV και με το πιο πρόσφατο παγκόσμιο πρότυπο IEEE 1901 και βασίζεται στην τεχνολογία Broadband OFDM . Η ITU-T ανέθεσε το 2010 ένα νέο έργο που ονομάζεται G.hnem, για να αντιμετωπίσει τις πτυχές οικιακής δικτύωσης της διαχείρισης ενέργειας, βασισμένο στις υπάρχουσες τεχνολογίες OFDM στενής ζώνης χαμηλής συχνότητας.

Το PowerMeter του Google.org , μέχρι το τέλος του 2011, ήταν σε θέση να χρησιμοποιήσει έναν έξυπνο μετρητή για την παρακολούθηση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας, όπως και το eMeter' Energy Engage όπως, για παράδειγμα, η ζήτηση PowerCentsDC(TM) πρόγραμμα ανταπόκρισης.

6.3 Προηγμένη υποδομή μέτρησης

Η προηγμένη υποδομή μέτρησης (AMI) αναφέρεται σε συστήματα που μετρούν, συλλέγουν και αναλύουν τη χρήση ενέργειας και επικοινωνούν με συσκευές μέτρησης όπως μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, μετρητές αερίου, μετρητές θερμότητας και μετρητές νερού, είτε κατόπιν αιτήματος είτε βάσει χρονοδιαγράμματος. Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν υλικό, λογισμικό, επικοινωνίες, οθόνες και ελεγκτές ενέργειας καταναλωτή, συστήματα που σχετίζονται με πελάτες, λογισμικό διαχείρισης δεδομένων μετρητών και επιχειρηματικά συστήματα προμηθευτών.

Οι κυβερνητικές υπηρεσίες και οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας στρέφονται προς τα προηγμένα συστήματα υποδομής μέτρησης (AMI) ως μέρος μεγαλύτερων πρωτοβουλιών «έξυπνου δικτύου». Η AMI επεκτείνει την τεχνολογία αυτόματης ανάγνωσης μετρητών (AMR) παρέχοντας αμφίδρομες επικοινωνίες μετρητών, επιτρέποντας την αποστολή εντολών προς το σπίτι για πολλαπλούς σκοπούς, συμπεριλαμβανομένων πληροφοριών τιμολόγησης βάσει χρόνου, ενεργειών απόκρισης ζήτησης ή απομακρυσμένων αποσυνδέσεων υπηρεσίας. Οι ασύρματες τεχνολογίες είναι κρίσιμα στοιχεία του δικτύου της γειτονιάς, συγκεντρώνοντας μια διαμόρφωση πλέγματος έως και χιλιάδων μέτρων για την επιστροφή στα κεντρικά γραφεία πληροφορικής της εταιρείας κοινής ωφέλειας.

Το δίκτυο μεταξύ των συσκευών μέτρησης και των επιχειρηματικών συστημάτων επιτρέπει τη συλλογή και διανομή πληροφοριών σε πελάτες, προμηθευτές, εταιρείες κοινής ωφέλειας και παρόχους υπηρεσιών. Αυτό δίνει τη δυνατότητα σε αυτές τις επιχειρήσεις να συμμετέχουν στις υπηρεσίες ανταπόκρισης στη ζήτηση. Οι καταναλωτές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις πληροφορίες που παρέχονται από το σύστημα για να αλλάξουν τα συνήθη καταναλωτικά πρότυπα για να επωφεληθούν από τις χαμηλότερες τιμές. Η τιμολόγηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον περιορισμό της αύξησης της κατανάλωσης αιχμής. Το AMI διαφέρει από την παραδοσιακή αυτόματη ανάγνωση του μετρητή (AMR) στο ότι επιτρέπει την

αμφίδρομη επικοινωνία με το μετρητή. Συστήματα με δυνατότητα μόνο μετρήσεων δεν πληρούν τις προϋποθέσεις ως συστήματα AMI.

6.4 Αντίλογος και προβληματισμοί

Ορισμένες ομάδες έχουν εκφράσει ανησυχίες σχετικά με το κόστος, την υγεία, τον κίνδυνο πυρκαγιάς, την ασφάλεια και τις επιπτώσεις της ιδιωτικής ζωής των έξυπνων μετρητών και του τηλεχειριζόμενου « διακόπτη kill » που περιλαμβάνεται στους περισσότερους από αυτούς. Πολλές από αυτές τις ανησυχίες αφορούν μόνο ασύρματους έξυπνους μετρητές χωρίς παρακολούθηση ή έλεγχο οικιακής ενέργειας ή χαρακτηριστικά ασφάλειας. Οι λύσεις μόνο για μετρήσεις, ενώ είναι δημοφιλείς στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας επειδή ταιριάζουν σε υπάρχοντα επιχειρηματικά μοντέλα και έχουν φθινό αρχικό κόστος κεφαλαίου, συχνά οδηγούν σε τέτοιες «αντιδράσεις». Συχνά ολόκληρη η ιδέα του έξυπνου δικτύου και του έξυπνου κτιρίου δυσφημίζεται εν μέρει από τη σύγχυση σχετικά με τη διαφορά μεταξύ οικιακού ελέγχου και τεχνολογία οικιακού δικτύου και AMI. Ο (τόρα πρώην) γενικός εισαγγελέας του Κονέκτικατ δήλωσε ότι δεν πιστεύει ότι οι έξυπνοι μετρητές παρέχουν κανένα οικονομικό όφελος στους καταναλωτές, ωστόσο, το κόστος της εγκατάστασης του νέου συστήματος απορροφάται από αυτούς τους πελάτες.

6.5 Ασφάλεια

Οι έξυπνοι μετρητές εκθέτουν το ηλεκτρικό δίκτυο σε κυβερνοεπιθέσεις που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε διακοπές ρεύματος, τόσο με τη διακοπή της ηλεκτρικής ενέργειας των ανθρώπων όσο και με την υπερφόρτωση του δικτύου. Ωστόσο, πολλοί ειδικοί στην ασφάλεια στον κυβερνοχώρο δηλώνουν ότι οι έξυπνοι μετρητές του Ηνωμένου Βασιλείου και της Γερμανίας έχουν σχετικά υψηλή ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και ότι οποιαδήποτε τέτοια επίθεση εκεί θα απαιτούσε επομένως εξαιρετικά υψηλές προσπάθειες ή οικονομικούς πόρους. Ο νόμος της ΕΕ για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο τέθηκε σε ισχύ τον Ιούνιο του 2019, ο οποίος περιλαμβάνει Οδηγία για τα Δίκτυα Ασφαλείας και τα Συστήματα

Πληροφοριών που θεσπίζει απαιτήσεις ειδοποίησης και ασφάλειας για τους φορείς εκμετάλλευσης βασικών υπηρεσιών.

Μέσω της Επιτροπής Κυβερνοασφάλειας Smartgrid, το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ δημοσίευσε κατευθυντήριες γραμμές κυβερνοασφάλειας για φορείς εκμετάλλευσης δικτύων το 2010 και τις ενημέρωσε το 2014. Οι κατευθυντήριες γραμμές «...παρουσιάζουν ένα αναλυτικό πλαίσιο που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι οργανισμοί για να αναπτύξουν αποτελεσματικές στρατηγικές κυβερνοασφάλειας...»

Η εφαρμογή πρωτοκόλλων ασφαλείας που προστατεύουν αυτές τις συσκευές από κακόβουλες επιθέσεις ήταν προβληματική, λόγω των περιορισμένων υπολογιστικών πόρων και της μεγάλης διάρκειας λειτουργίας τους.

Η τρέχουσα έκδοση του IEC 62056 περιλαμβάνει τη δυνατότητα κρυπτογράφησης, ελέγχου ταυτότητας ή υπογραφής των δεδομένων του μετρητή.

Μια προτεινόμενη μέθοδος επαλήθευσης δεδομένων έξυπνου μετρητή περιλαμβάνει την ανάλυση της κίνησης του δικτύου σε πραγματικό χρόνο για την ανίχνευση ανωμαλιών χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ανίχνευσης εισβολής (IDS). Με τον εντοπισμό των εκμεταλλεύσεων όπως αξιοποιούνται από τους εισβολείς, ένα IDS μετριάζει τους κινδύνους κλοπής ενέργειας των προμηθευτών από τους καταναλωτές και επιθέσεις άρνησης υπηρεσίας από χάκερ. Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ενέργειας πρέπει να επιλέξουν μεταξύ ενός κεντρικού IDS, ενός ενσωματωμένου IDS ή ενός αποκλειστικού IDS ανάλογα με τις μεμονωμένες ανάγκες της εταιρείας κοινής ωφέλειας. Οι ερευνητές ανακάλυψαν ότι για μια τυπική προηγμένη υποδομή μέτρησης, η κεντρική αρχιτεκτονική IDS είναι ανώτερη όσον αφορά την αποδοτικότητα του κόστους και τα κέρδη ασφαλείας.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η Data Communication Company, η οποία μεταφέρει τις εντολές από τον προμηθευτή στον έξυπνο μετρητή, εκτελεί έναν πρόσθετο έλεγχο ανωμαλιών σε εντολές που εκδίδονται (και υπογράφονται) από τον προμηθευτή ενέργειας.

Καθώς οι συσκευές Smart Meter είναι Ευφυείς Συσκευές Μέτρησης που καταγράφουν περιοδικά τις μετρούμενες τιμές και στέλνουν τα δεδομένα κρυπτογραφημένα στον Πάροχο Υπηρεσιών, επομένως στην Ελβετία αυτές οι συσκευές πρέπει να αξιολογηθούν από Εργαστήριο αξιολόγησης και να πιστοποιηθούν από τη METAS από 01.01.2020 σύμφωνα με στην Prüfmethologie (Μεθοδολογία δοκιμής για την αξιολόγηση της ασφάλειας δεδομένων ελβετικών εξαρτημάτων έξυπνης μέτρησης).

Σύμφωνα με μια έκθεση που δημοσιεύτηκε από τον Brian Krebs , το 2009 ένας προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας από το Πουέρτο Ρίκο ζήτησε από το FBI να ερευνήσει μεγάλης κλίμακας κλοπές ηλεκτρικής ενέργειας που σχετίζονται με τους έξυπνους μετρητές του. Το FBI διαπίστωσε ότι πρώην υπάλληλοι της εταιρείας ηλεκτρισμού και της εταιρείας που κατασκεύαζε τους μετρητές πληρώνονταν από τους καταναλωτές για να επαναπρογραμματίσουν τις συσκευές για να εμφανίσουν λανθασμένα αποτελέσματα, καθώς και να διδάξουν στους ανθρώπους πώς να το κάνουν οι ίδιοι.

6.6 Υγεία και την ασφάλεια

Οι περισσότερες ανησυχίες για την υγεία σχετικά με τους μετρητές προκύπτουν από την παλμική ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων (RF) που εκπέμπεται από ασύρματους έξυπνους μετρητές.

Μέλη της Συνέλευσης της Πολιτείας της Καλιφόρνια ζήτησαν από το Συμβούλιο Επιστήμης και Τεχνολογίας της Καλιφόρνια (CCST) να μελετήσει το ζήτημα των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία από τους έξυπνους μετρητές, ιδίως εάν τα τρέχοντα πρότυπα FCC προστατεύουν τη δημόσια υγεία. Η έκθεση CCST τον Απρίλιο του 2011 δεν βρήκε επιπτώσεις στην υγεία, με βάση τόσο την έλλειψη επιστημονικών στοιχείων για επιβλαβείς επιπτώσεις από τα κύματα ραδιοσυχνοτήτων (RF) όσο και ότι η έκθεση σε ραδιοσυχνότητες των ανθρώπων στα σπίτια τους σε έξυπνους μετρητές είναι πιθανό να είναι ελάχιστη σε σύγκριση με σε έκθεση σε ραδιοσυχνότητες σε κινητά τηλέφωνα και φούρνους μικροκυμάτων. Daniel Hirsch, συνταξιούχος διευθυντής του

προγράμματος για την περιβαλλοντική και πυρηνική πολιτική στο UC Santa Cruz, επέκρινε την έκθεση CCST με το επιχείρημα ότι δεν έλαβε υπόψη τις μελέτες που υποδηλώνουν τη δυνατότητα για μη θερμικές επιπτώσεις στην υγεία, όπως οι λανθάνοντες καρκίνοι από την έκθεση σε ραδιοσυχνότητες. Ο Hirsch δήλωσε επίσης ότι η έκθεση CCST απέτυχε να διορθώσει σφάλματα στη σύγκριση με κινητά τηλέφωνα και φούρνους μικροκυμάτων και ότι, όταν διορθωθούν αυτά τα σφάλματα, οι έξυπνοι μετρητές «μπορεί να παράγουν αθροιστική έκθεση ολόκληρου του σώματος πολύ υψηλότερη από αυτή των κινητών τηλεφώνων ή των φούρνων μικροκυμάτων. "

Η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) έχει υιοθετήσει το προτεινόμενο όριο επιτρεπόμενης έκθεσης (PEL) για όλους τους πομπούς ραδιοσυχνοτήτων (συμπεριλαμβανομένων των έξυπνων μετρητών) που λειτουργούν σε συχνότητες από 300 kHz έως 100 GHz. Αυτά τα όρια, με βάση την ένταση πεδίου και την πυκνότητα ισχύος, είναι κάτω από τα επίπεδα ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων που είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία.

Άλλες μελέτες τεκμηριώνουν το εύρημα του Συμβουλίου Επιστήμης και Τεχνολογίας της Καλιφόρνια (CCST). Το 2011, το Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας πραγματοποίησε μια μελέτη για τη μέτρηση της ανθρώπινης έκθεσης σε έξυπνους μετρητές σε σύγκριση με το FCC PEL. Η έκθεση διαπίστωσε ότι οι περισσότεροι έξυπνοι μετρητές μεταδίδουν σήματα ραδιοσυχνοτήτων μόνο το 1% του χρόνου ή λιγότερο. Με αυτόν τον ρυθμό, και σε απόσταση 1 ποδιού από το μετρητή, η έκθεση σε ραδιοσυχνότητες είναι σε ποσοστό 0,14% της FCC PEL.

Έχουν επίσης αναφερθεί ζητήματα σχετικά με τους έξυπνους μετρητές που προκαλούν πυρκαγιές, ιδίως όσον αφορά το Sensus του κατασκευαστή. Το 2012, Η PECO Energy Company αντικατέστησε τους μετρητές Sensus που είχε αναπτύξει στην περιοχή της Φιλαδέλφειας μετά από αναφορές ότι ορισμένες μονάδες είχαν υπερθερμανθεί και προκάλεσαν πυρκαγιές. Τον Ιούλιο του 2014, η SaskPower , η επαρχιακή εταιρεία κοινής ωφελείας της καναδικής επαρχίας

Σασκάτσουαν , διέκοψε την ανάπτυξη των μετρητών Sensus μετά την ανακάλυψη παρόμοιων, μεμονωμένων περιστατικών. Λίγο αργότερα, η Portland General Electric ανακοίνωσε ότι θα αντικαταστήσει 70.000 έξυπνους μετρητές που είχαν αναπτυχθεί στην πολιτεία του Ορεγκονμετά από παρόμοιες αναφορές. Η εταιρεία σημείωσε ότι είχε επίγνωση των ζητημάτων από τουλάχιστον το 2013 και περιοριζόταν σε συγκεκριμένα μοντέλα που είχε εγκαταστήσει μεταξύ 2010 και 2012. Στις 30 Ιουλίου 2014, μετά από συνολικά οκτώ πρόσφατα περιστατικά πυρκαγιάς που αφορούσαν μέτρα, η SaskPower έλαβε εντολή από την κυβέρνηση του Saskatchewan να τερματίσει αμέσως το πρόγραμμα έξυπνων μετρητών της και να αφαιρέσει τους 105.000 έξυπνους μετρητές που είχε εγκαταστήσει.

6.7 Ανησυχίες για το απόρρητο

Ένας τεχνικός λόγος για ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο είναι ότι αυτοί οι μετρητές στέλνουν λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το πόση ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται κάθε φορά. Οι πιο συχνές αναφορές παρέχουν πιο λεπτομερείς πληροφορίες. Οι σπάνιες αναφορές μπορεί να είναι ελάχιστα ωφέλιμες για τον πάροχο, καθώς δεν επιτρέπουν την καλή διαχείριση της ζήτησης για την ανταπόκριση στις μεταβαλλόμενες ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια. Από την άλλη πλευρά, οι ευρέως διαδεδομένες αναφορές θα επέτρεπαν στην εταιρεία κοινής ωφέλειας να συμπεράνει πρότυπα συμπεριφοράς για τους ενοίκους ενός σπιτιού, όπως όταν τα μέλη του νοικοκυριού πιθανώς κοιμούνται ή λείπουν. Επιπλέον, οι λεπτομερείς πληροφορίες που συλλέγονται από τους έξυπνους μετρητές εγείρουν αυξανόμενες ανησυχίες για παραβίαση της ιδιωτικής ζωής λόγω έκθεσης της προσωπικής συμπεριφοράς (ιδιωτική δραστηριότητα, καθημερινή ρουτίνα κ.λπ.). Οι τρέχουσες τάσεις είναι να αυξηθεί η συχνότητα των αναφορών. Μια λύση που ωφελεί τόσο το απόρρητο του παρόχου όσο και του χρήστη θα ήταν η δυναμική προσαρμογή του διαστήματος. Μια άλλη λύση περιλαμβάνει αποθήκευση ενέργειας που εγκαθίσταται στο νοικοκυριό που χρησιμοποιείται για την αναμόρφωση του προφίλ κατανάλωσης ενέργειας. Στη Βρετανική Κολομβία το ηλεκτρικό δίκτυο

ανήκει στην κυβέρνηση και ως εκ τούτου πρέπει να συμμορφώνεται με τους νόμους περί απορρήτου που εμποδίζουν την πώληση δεδομένων που συλλέγονται από έξυπνους μετρητές. Πολλά μέρη του κόσμου εξυπηρετούνται από ιδιωτικές εταιρείες που είναι σε θέση να πουλήσουν τα δεδομένα τους. Στην Αυστραλία οι εισπράκτορες χρεών μπορούν να κάνουν χρήση των δεδομένων για να γνωρίζουν πότε οι άνθρωποι είναι στο σπίτι. Χρησιμοποιήθηκε ως αποδεικτικό στοιχείο σε δικαστική υπόθεση στο Ώστιν του Τέξας, οι αστυνομικές υπηρεσίες συνέλεξαν κρυφά δεδομένα χρήσης ενέργειας από έξυπνους μετρητές από χιλιάδες κατοικίες για να προσδιορίσουν ποιες χρησιμοποιούσαν περισσότερη ισχύ από την «τυπική» για τον εντοπισμό επιχειρήσεων καλλιέργειας μαριχουάνας.

Τα μοτίβα χρήσης δεδομένων ισχύος του έξυπνου μετρητή μπορούν να αποκαλύψουν πολλά περισσότερα από το πόση ενέργεια καταναλώνεται. Η έρευνα έχει δείξει ότι οι έξυπνοι μετρητές που δειγματοληπτικά επίπεδα ισχύος σε διαστήματα δύο δευτερολέπτων μπορούν να αναγνωρίσουν αξιόπιστα πότε χρησιμοποιούνται διαφορετικές ηλεκτρικές συσκευές.

Ο Ross Anderson έχει γράψει για ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο. Γράφει «Δεν είναι απαραίτητο ο μετρητής μου να λέει στην εταιρεία ηλεκτρισμού, πόσο μάλλον στην κυβέρνηση, πόσα χρησιμοποίησα σε κάθε ημίωρο τον περασμένο μήνα». ότι οι μετρητές μπορούν να παρέχουν "πληροφορίες στόχευσης για διαρρήκτες": ότι το λεπτομερές ιστορικό χρήσης ενέργειας μπορεί να βοηθήσει τις ενεργειακές εταιρείες να πωλούν στους χρήστες συμβάσεις εκμετάλλευσης· και ότι μπορεί να υπάρχει «πειρασμός για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να χρησιμοποιήσουν έξυπνα δεδομένα μέτρησης για να στοχεύσουν τις απαραίτητες διακοπές ρεύματος».

6.8 Επιλογές εξαίρεσης

Οι αναθεωρήσεις προγραμμάτων έξυπνων μετρητών, μορατόριουμ, καθυστερήσεις και προγράμματα "εξαίρεσης" είναι μερικές απαντήσεις στις ανησυχίες των πελατών και των κυβερνητικών αξιωματούχων. Σε

απάντηση στους κατοίκους που δεν ήθελαν έναν έξυπνο μετρητή, τον Ιούνιο του 2012 μια εταιρεία κοινής ωφέλειας στη Χαβάη άλλαξε το πρόγραμμα έξυπνων μετρητών της σε "εξαίρεση". Το βοηθητικό πρόγραμμα είπε ότι μόλις το έργο εγκατάστασης έξυπνου δικτύου πλησιάζει στην ολοκλήρωση, το KIUC μπορεί να μετατρέψει την πολιτική αναβολής σε πολιτική ή πρόγραμμα εξαίρεσης και μπορεί να χρεώσει μια αμοιβή σε αυτά τα μέλη για την κάλυψη του κόστους συντήρησης των παραδοσιακών μετρητών. Οποιαδήποτε χρέωση θα απαιτούσε έγκριση από την Επιτροπή Δημοσίων Υπηρεσιών της Χαβάης.

Αφού έλαβε πολυάριθμα παράπονα για θέματα υγείας, πειρατείας και απορρήτου με τις ασύρματες ψηφιακές συσκευές, η Επιτροπή Δημόσιας Χρήσης της πολιτείας Μείν των ΗΠΑ ψήφισε να επιτρέψει στους πελάτες να εξαιρεθούν από την αλλαγή του μετρητή με κόστος 12 \$ το μήνα. Στο Κονέκτικατ , μια άλλη πολιτεία των ΗΠΑ που εξετάζει το ενδεχόμενο έξυπνης μέτρησης, οι ρυθμιστικές αρχές απέρριψαν αίτημα της μεγαλύτερης εταιρείας κοινής ωφέλειας της πολιτείας, Connecticut Light & Power , να εγκαταστήσει 1,2 εκατομμύρια από τις συσκευές, υποστηρίζοντας ότι η πιθανή εξοικονόμηση πόρων στους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος δεν δικαιολογεί το κόστος . Η CL&P προσφέρει ήδη στους πελάτες της τιμές βάσει χρόνου. Ο γενικός εισαγγελέας της πολιτείας Τζορτζ Τζέπσεναναφέρθηκε ότι η πρόταση θα αναγκάσει τους πελάτες να ξοδέψουν πάνω από 500 εκατομμύρια δολάρια σε μετρητές και να λάβουν λίγα οφέλη σε αντάλλαγμα, έναν ισχυρισμό που αμφισβητήθηκε η Connecticut Light & Power.

6.9 Έλλειψη εξοικονόμησης αποτελεσμάτων

Υπάρχουν ερωτήματα σχετικά με το εάν η ηλεκτρική ενέργεια είναι ή πρέπει να είναι κατά κύριο λόγο μια υπηρεσία "όταν τη χρειάζεστε", όπου η αναλογία ταλαιπωρίας/ κόστους-οφέλους της χρονικής μετατόπισης των φορτίων είναι κακή. Στην περιοχή του Σικάγο, η Commonwealth Edison πραγματοποίησε μια δοκιμή εγκαθιστώντας έξυπνους μετρητές σε 8.000 τυχαία επιλεγμένα νοικοκυριά μαζί με μεταβλητές τιμές και εκπτώσεις για να ενθαρρύνει τη μείωση κατά τη

διάρκεια της αιχμής χρήσης. Στο άρθρο του Crain's Chicago Business "Το τεστ έξυπνου δικτύου υποχωρεί. Στο πιλοτικό πρόγραμμα, λίγες τροφοδοσίες απενεργοποιήθηκαν για εξοικονόμηση χρημάτων.", αναφέρθηκε ότι λιγότερο από το 9% παρουσίασε οποιαδήποτε μείωση της αιχμής χρήσης και ότι το συνολικό ποσό μείωσης ήταν «στατιστικά ασήμαντο». Αυτό προέκυψε από μια έκθεση του Electric Power Research Institute, μιας δεξαμενής σκέψης της βιομηχανίας κοινής ωφέλειας που διεξήγαγε τη μελέτη και ετοίμασε την έκθεση. Η Σούζαν Σάτερ, ανώτερη βοηθός γενικού εισαγγελέα του Ιλινόις για τις δημόσιες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας είπε "Είναι καταστροφικό για το σχέδιό τους.....Η έκθεση δείχνει μηδενικά στατιστικά διαφορετικά αποτελέσματα σε σύγκριση με τις συνήθεις δραστηριότητες."

Μέχρι το 2016, οι 7 εκατομμύρια έξυπνοι μετρητές στο Τέξας δεν είχαν πείσει πολλούς ανθρώπους να ελέγξουν τα ενεργειακά τους δεδομένα καθώς η διαδικασία ήταν πολύ περίπλοκη.

Μια έκθεση από μια κοινοβουλευτική ομάδα στο Ηνωμένο Βασίλειο δείχνει ότι οι άνθρωποι που έχουν εγκαταστήσει έξυπνους μετρητές αναμένεται να εξοικονομήσουν κατά μέσο όρο £ 11 ετησίως στους λογαριασμούς ενέργειας τους, πολύ λιγότερο από ό,τι αρχικά αναμενόταν. Η ανάλυση κόστους-οφέλους του 2016 ενημερώθηκε το 2019 και υπολόγισε μια παρόμοια μέση εξοικονόμηση.

Ο Γενικός Ελεγκτής της Αυστραλίας Βικτώριας διαπίστωσε το 2015 ότι «οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας της Βικτώριας θα έχουν πληρώσει περίπου 2,239 δισεκατομμύρια δολάρια για υπηρεσίες μέτρησης, συμπεριλαμβανομένης της διάθεσης και της σύνδεσης έξυπνων μετρητών. Αντίθετα, ενώ ορισμένα οφέλη έχουν προκύψει στους καταναλωτές, η υλοποίηση των οφελών έχει καθυστερήσει και τα περισσότερα οφέλη δεν έχουν ακόμη πραγματοποιηθεί»

6.10 Ακανόνιστη ζήτηση

Οι έξυπνοι μετρητές μπορούν να επιτρέψουν την τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο και θεωρητικά αυτό θα μπορούσε να βοηθήσει στην ομαλή κατανάλωση ενέργειας, καθώς οι καταναλωτές προσαρμόζουν τη

ζήτηση τους ως απάντηση στις αλλαγές των τιμών. Ωστόσο, η μοντελοποίηση από ερευνητές στο Πανεπιστήμιο της Βρέμης υποδηλώνει ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, «οι διακυμάνσεις της ζήτησης ισχύος δεν μειώνονται αλλά ενισχύονται».

6.11 Στα μέσα

Το 2013, κυκλοφόρησε το *Take Back Your Power*, ένα ανεξάρτητο καναδικό ντοκιμαντέρ σε σκηνοθεσία Josh del Sol που περιγράφει τον "βρώμικο ηλεκτρισμό" και τα προαναφερθέντα προβλήματα με τους έξυπνους μετρητές. Η ταινία διερευνά τα διάφορα πλαίσια των υγειονομικών, νομικών και οικονομικών ανησυχιών. Περιλαμβάνει αφήγηση από τον δήμαρχο του Πίτερμπορο του Οντάριο, Ντάριλ Μπένετ, καθώς και τον Αμερικανό ερευνητή Ντε-Κουν Λι, τον δημοσιογράφο Μπλέικ Λέβιτ και τον Δρ Σαμ Μίλχαμ. Κέρδισε το βραβείο Leo για το καλύτερο ντοκιμαντέρ μεγάλου μήκους και το Ετήσιο Ανθρωπιστικό Βραβείο από το Indie Fest την επόμενη χρονιά.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

“Electricity Metering in Easy Steps: An outline book on smart energy meters for everyone”, Dr. Shashikant Bakre, Kindle Edition

Smart Metering Design and Applications, K.S.K Weranga, Sisil Kumarawadu, D. P. Chandima, SpringerLink Editions

8 ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

<https://docplayer.gr/6212580-Titlos-metrisi-ilektrikis-energeias-kai-ishyos-monofasikis-kai-trifasikis-katanalosis-me-trifasiko-metriti-ilektrikis-energeias-kai-hronometro.html>

<https://www.renovablesverdes.com/el/contadores-electricos/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_meter

https://unipower.se/wp-content/uploads/2016/02/cired2002_paper.pdf

<https://justenergy.com/learning-center/electricity/>

<https://7ad3lz9zmyhppfq26wugt151-wpengine.netdna-ssl.com/Files/curriculum/infobook/ElecMeaS.pdf>

https://www.gmc-instruments.de/media/95325/fa-ec-130221-p059-gb_meter-book-1.pdf

http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/EKDILOSEIS_P/EPISTHMONIKES_EVENTS/HLEKTROKINHTA%20ISXYOS/268/270/Z4%20DIMOYLIAS%20GOYRAMANIS%20PAPADOPOYLOS.pdf

<https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TH187/Chapter%2017.pdf>

<https://eclass.teicrete.gr/modules/document/file.php/TH131/Measuring equip.pdf>

https://unipower.se/wp-content/uploads/2016/02/cired2002_paper.pdf

<https://docplayer.gr/6212580-Titlos-metrisi-ilektrikis-energeias-kai-ishyos-monofasikis-kai-trifasikis-katanalosis-me-trifasiko-metriti-ilektrikis-energeias-kai-hronometro.html>

<https://www.electronics-tutorials.ws/accircuits/harmonics.html>

<https://aktif.net/en/energy-meters-and-types/>

<http://learn4electrical.altervista.org/types-of-energy-meter-and-their-working-principles/>