

**«Μητροπολιτικά αλγοριθμικά συστήματα
διαχείρισης ενέργειας και δημιουργία πιλοτικού ηλεκτρονικού
δικτύου ενεργειακής – περιβαλλοντικής
εκπαίδευσης πολιτών»**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

του

Μαρκουλάκη Εμμανουήλ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών
και Μηχανικών Υπολογιστών**



Μία μελέτη που υποβάλλεται για την εκπλήρωση των απαιτήσεων για την

απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

από το Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2011©

Τριμελής Επιτροπή

Δρ. Σταυρακάκης Γεώργιος – Επιβλέπων Διατριβής

Δρ. Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος

Δρ. Αντωνιδάκης Εμμανουήλ

*Στους γονείς μου, στα αδέρφια μου,
Την σύζυγο μου
Αναστασία
και την κόρη μου Μαρία.*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	- 6 -
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	- 8 -
ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ	- 9 -
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	- 11 -
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	- 14 -
1. ΑΓΟΡΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 15 -
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΓΟΡΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 15 -
1.2 ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 19 -
1.3 Ε.Υ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΓΟΡΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 24 -
1.4 ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΣΤΙΣ ΑΓΟΡΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ Ε.Υ	- 28 -
1.5 ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	- 31 -
1.6 Η ΠΡΟΤΑΣΗ	- 41 -
2. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΩΝ.....	- 42 -
2.1 ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	- 42 -
2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΗΤΗ.....	- 44 -
2.3 ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΟΡΤΙΩΝ	- 47 -
3. ΔΙΑΔΡΑΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 50 -
3.1 ΟΙ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ	- 50 -
3.2 ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΣΥΝΑΛΛΑΓΗΣ	- 51 -
3.3 TELECOM.....	- 52 -
3.3.1 Διάγραμμα ακολουθίας τιμολόγησης	- 52 -
3.3.2 Διάγραμμα ροής τιμολόγησης	- 54 -
3.4 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	- 55 -
3.4.1 Γενικά χαρακτηριστικά επικοινωνιών	- 55 -
3.4.2 Πρωτόκολλο επικοινωνίας από IPNO σε EP	- 56 -
3.4.3 Πρωτόκολλο επικοινωνίας από EP σε IPNO	- 60 -
3.4.4 Αναλογικά Σήματα.....	- 64 -
3.4.5 Μετάδοση του Ιστορικού (όταν η επικοινωνία «σπάει» ή όποτε ζητηθεί)..	- 66 -
3.4.6 Data Link Layer	- 68 -
4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ TELECOM.....	- 70 -
4.1 PLC (POWER LINE CARRIER).....	- 70 -
4.1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ PLC.....	- 73 -
4.1.1.1 Τοπολογία δικτύου.....	- 73 -
4.1.1.2 Σύστημα Μετάδοσης	- 74 -
4.1.1.3 Υπηρεσίες PLC	- 75 -
4.1.2 PLC MAC LAYER.....	- 76 -
4.1.2.1 Πολλαπλό σχέδιο πρόσβασης.....	- 76 -
4.1.2.2 Στρατηγική μοιράσματος πόρων	- 78 -
4.1.2.3 Πρωτόκολλα Reservation MAC	- 79 -
4.1.2.4 Η μέθοδος Basic Polling Reservation.....	- 80 -
4.1.2.5 Ψηφοφορία με piggybacking	- 81 -

4.1.3	Ενεργή Ψηφοφορία.....	- 81 -
4.1.3.1	Η μέθοδος Active Polling	- 81 -
4.1.3.2	Μοντέλο απόδοσης	- 82 -
4.1.3.3	Χρησιμοποίηση δικτύου	- 83 -
4.1.3.4	Καθυστέρηση σηματοδότησης	- 84 -
4.1.4	Το πρωτόκολλο Two-Step.....	- 86 -
4.1.4.1	Η διαδικασία two-step reservation.....	- 86 -
4.1.4.2	Υβριδικό πρωτόκολλο two-step.....	- 89 -
4.1.4.3	Χρησιμοποίηση δικτύου	- 89 -
4.1.4.4	Καθυστέρηση σηματοδότησης	- 90 -
4.1.5	Συμπεράσματα PLC.....	- 92 -
4.2	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ EDI	- 94 -
4.2.1	Τα κατά της παραδοσιακής EDI	- 96 -
4.2.2	ΤΑ οφέλη από την παραδοσιακή EDI	- 98 -
4.3	FRAME RELAY.....	- 99 -
4.3.1	Η Τυποποίηση Frame Relay.....	- 100 -
4.3.2	Εικονικά Κυκλώματα Frame Relay.....	- 102 -
4.3.3	Μεταστρεφόμενα Εικονικά Κυκλώματα.....	- 103 -
4.3.4	Μόνιμα Εικονικά Κυκλώματα	- 104 -
4.3.5	Data-Link Connection Identifier.....	- 104 -
4.3.6	Μηχανισμοί Ελέγχου Συμφορέσεων	- 105 -
4.3.7	Επιλεκτική Απόρριψη (Frame Relay Discard Eligibility).....	- 106 -
4.3.8	Έλεγχος Λαθών στο Frame Relay	- 107 -
4.3.9	Frame Relay Local Management Interface	- 107 -
4.3.10	Υλοποίηση δικτύου Frame Relay.....	- 108 -
4.3.11	Δημόσια Δίκτυα	- 109 -
4.3.12	Ιδιωτικά Επιχειρησιακά Δίκτυα.....	- 110 -
4.3.13	Μορφή του Πλαισίου Frame Relay	- 110 -
4.3.14	Standard Frame Relay Frame	- 111 -
4.3.15	LMI Frame Format.....	- 113 -
4.3.16	Συμπεράσματα Frame Relay	- 114 -
5.	Η ΝΕΑ ΣΥΣΚΕΥΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	- 116 -
5.1	ΕΝΑΣ ΝΕΟΣ ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	- 116 -
5.2	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ.....	- 117 -
5.3	ΔΙΑΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΗΤΗ ΙΣΧΥΟΣ.....	- 118 -
6.	ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗΣ..	- 120 -
6.1	ΟΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 120 -
6.2	ΤΟ ΠΛΗΡΕΣ ΔΙΚΤΥΟ	- 123 -
6.3	ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	- 126 -
7.	ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	- 128 -
7.1	ΚΟΣΤΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	- 128 -
7.2	ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ	- 129 -
7.2.1	Βήματα για την ανάπτυξη του δικτύου δεδομένων	- 135 -
7.2.2	Σχεδίαση, αναβάθμιση και επέκταση του δικτύου δεδομένων μέσα στο δίκτυο ενέργειας	- 135 -
7.2.2.1	Οι απαραίτητες πτυχές της μελέτης	- 136 -
7.2.3	Υλοποίηση του δικτύου δεδομένων.	- 137 -
7.2.4	Το κόστος της μελέτης, του υλικού και των τηλεπικοινωνιών.....	- 137 -

ΕΠΙΛΟΓΟΣ	- 140 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 143 -
APPENDIX I: ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ	- 146 -
APPENDIX II: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ «ΕΞΥΠΝΟΥ» ΜΕΤΡΗΤΗ	- 150 -
APPENDIX III: ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΜΝΗΜΗΣ ΤΟΥ.....	-211-
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΜΕΤΡΗΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΔΙΑΒΛΗΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΜΕ PETRI NETS	
CD της διατριβής.....	

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

0.1	Η εγκατάσταση του πελάτη.....	-13-
1.1	Φορτίο-Συχνότητα παράδειγμα 1.....	-21-
1.2	Παραγωγή ενέργειας παράδειγμα 1.....	-21-
1.3	Φορτίο-Συχνότητα παράδειγμα 2.....	-22-
1.4	Παραγωγή Ενέργειας παράδειγμα 2.....	-22-
1.5	Δομή της Ελληνικής αγοράς ενέργειας	-33-
1.6	Πως αναμένεται να λειτουργήσει η αγορά ενέργειας.....	-37-
2.1	Μετρώντας N προμηθευτές στις εγκαταστάσεις του πελάτη.....	-43-
2.2	Εναλλαγή προμηθευτών και μετρήσεις.....	-44-
2.3	Το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων του πελάτη.....	-47-
2.4	Μεταγωγή φορτίων και μετρήσεις.....	-49-
3.1	Διάγραμμα ακολουθίας τιμολόγησης.....	-53-
3.2	Διάγραμμα ροής τιμολόγησης.....	-54-
3.3	Προμηθευτής-Διαχειριστής.....	-55-
3.4	Data link layer.....	-68-
4.1	Δίκτυο πρόσβασης PLC.....	-71-
4.2	Δομή δικτύου PLC.....	-73-
4.3	Τοπολογία διαύλου στο δίκτυο PLC.....	-74-
4.4	OFDM δομή καναλιού.....	-75-
4.5	Η μέθοδος ψηφοφορίας (polling).....	-80-
4.6	Average network utilization (συχνά αιτήματα).....	-84-
4.7	Average signaling delay (συχνά αιτήματα).....	-85-
4.8	Average signaling delay (σπάνια αιτήματα).....	-86-
4.9	Δομή της διαδικασίας two-step.....	-87-
4.10	Η διαδικασία Two-step reservation.....	-88-
4.11	Average network utilization (two-step, συχνά αιτήματα).....	-90-
4.12	Average signaling delay (two-step, συχνά αιτήματα).....	-91-
4.13	Average signaling delay (two-step, σπάνια αιτήματα).....	-92-
4.14	Γενικά τα DCEs αποτελούν τμήμα των WANs.....	-101-
4.15	Ένα frame relay εικονικό κύκλωμα.....	-105-

4.16	Απλό δίκτυο Frame Relay.....	-109-
4.17	Πέντε πεδία αποτελούν το Frame Relay πλαίσιο.....	-111-
4.18	Εννέα πεδία αποτελούν το LMI Frame Relay.....	-113-
5.1	Διάγραμμα Συνδέσεων.....	-117-
5.2	Περιφερειακά του μετρητή ισχύος.....	-118-
6.1	Οι επικοινωνίες στο δίκτυο ενέργειας.....	-120-
6.2	Το πλήρες δίκτυο.....	-123-
6.3	S/S (sub-station).....	-124-
6.4	L/S bridge for PLC.....	-125-
6.5	Το δίκτυο δεδομένων.....	-126-
7.1	Δίκτυο δεδομένων του δικτύου ενέργειας Κρήτης.....	-132-

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

1.1	Τιμές στην Ευρώπη.....	-20-
1.2	Ευρωπαϊκό καθεστώς στον τομέα της ενέργειας.....	-29-
1.3	Αιτήσεις για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	-34-
1.4	Άδειες.....	-35-
2.1	Οι απαριθμητές του μετρητή για κάθε προμηθευτή.....	-45-
3.1	Περιγραφή πρωτοκόλλου CCS σε EP.....	-56-
3.2	Πίνακας εντολών.....	-57-
3.3	Transmission of the hourly Schedule.....	-58-
3.4	Telecontrol.....	-58-
3.5	Request of daily history.....	-59-
3.6	Request of hourly statistics.....	-59-
3.7	Transmission of time.....	-59-
3.8	Περιγραφή πρωτοκόλλου EP σε SE.....	-60-
3.9	Πίνακας εντολών.....	-61-
3.10	Παράδειγμα Σήματος.....	-61-
3.11	Ψηφιακά Σήματα.....	-62-
3.12	Ψηφιακά Σήματα.....	-62-
3.13	Ψηφιακά Σήματα 2-bit.....	-63-
3.14	Ψηφιακά Σήματα 2-bit.....	-63-
3.15	Ψηφιακά Σήματα Ελέγχου.....	-63-
3.16	Αναλογικά Σήματα.....	-64-
3.17	Σήμα αποδοχής Set point.....	-65-
3.18	Σήμα αποδοχής ωριαίου προγράμματος ημέρας.....	-66-
3.19	Data history.....	-66-
3.20	Στατιστικά (ωριαία), απάντηση στον IPNO.....	-67-
3.21	Παρατηρήσεις.....	-68-
7.1	Κόστος Frame relay.....	-138-
7.2	Πρόσβαση στην επιχείρηση τηλεπικοινωνιών.....	-139-
7.3	Κόστος Μόνιμης πρόσβασης στο διαδίκτυο.....	-139-
7.4	Κόστος υλικού.....	-139-

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

ACK	Acknowledge
ANSI	American National Standards Institute
BECN	Backward Explicit Congestion Notification
CBR	Constant Bit Rate
CCITT	Consultative Committee on International Tel Central Computer System
CCS	Central Computer System
CRC	Cyclic Redundancy Check
DC	Data Concentrator
DCE	Data computer equipment
DE	Discard Eligibility
DEC	Digital Equipment Corporation
DLCI	Data Link Connection Identifier
DSS	Decision Support System
DT	Day Type
DTE	Data Terminal Equipment
E.C	European Council
E.U	European Union
EA	Extended Address
EDI	Electronic Data Interchange
EP	Energy Provider
FCS	Frame Check Sequence
FDM	Frequency Division Multiplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FECN	Forward Explicit Congestion Notification
IP	Internet Protocol
IPNO	Independent Power Network Operator
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	Independent System Operator
ITU-T	International Telecommunication Union-Telecommunications Section
L/S	Local Station
LMI	Local Management Interface
MAC	Media Access Control

NACK	Not Acknowledged
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PBX	Private Branch Exchange
PLC	Power Line Carrier
PPC	Public Power Company
PSN	Packet -Switched Network
PVC	Permanent Virtual Circuit
QoS	Quality of Service
RAE	Regulatory Energy Authority
RTU	Remote Terminal Unit
S/N	Serial Number
S/S	Sub-Station
SC	Sub-Carrier
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SEC	System for Energy Control
SVC	Switched Virtual Circuit
TDMA	Time Division Multiplexing Access
ToD	Time of Day
UTILMD	Utilities Master Data Message
VBR	Variable Bit Rate
WAN	Wide Area Network

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Θέμα: «Η διαχείριση ενέργειας των απελευθερωμένων δικτύων παροχής ηλεκτρισμού στις εγκαταστάσεις πελατών με τη χρήση του έξυπνου μετρητή κατανάλωσης ισχύος και την υποστήριξη από ένα Ηλεκτρονικό Δίκτυο Πληροφοριών (πχ. PLC Network, Διαδίκτυο)».

Για πολλές δεκαετίες η εγχώρια ηλεκτρική ενέργεια και η παράδοσή της γινόταν από έναν οργανισμό (μονοπωλιακή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας). Στην προηγούμενη δεκαετία εν τούτοις, η αναδόμηση και η ιδιωτικοποίηση πραγματοποιήθηκαν στην ηλεκτρική βιομηχανία. Η παραγωγή από πολλούς προμηθευτές και η μετάδοση/η διανομή διαχωριζόμενη από διαφορετικούς οργανισμούς απελευθέρωσαν πλήρως την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Η άρση των ελέγχων στα πλαίσια του πλήρους λιανικού ανταγωνισμού επιτρέπει στους πελάτες να επιλέξουν τους προμηθευτές τους. Ένας πελάτης ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αγοράσει την ηλεκτρική ενέργεια από πολλούς προμηθευτές. Ο πελάτης θα πρέπει να λάβει τον τιμοκατάλογο από όλους τους προμηθευτές περιοδικά (δηλ. μια φορά ανά ημέρα). Η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να ποικίλει ανάλογα με πολλές παραμέτρους όπως η ημέρα της εβδομάδας ή των ειδικών ημερών, της ώρας της ημέρας, των καιρικών συνθηκών στη περίπτωση της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, της προσφοράς και της ζήτησης κλπ.

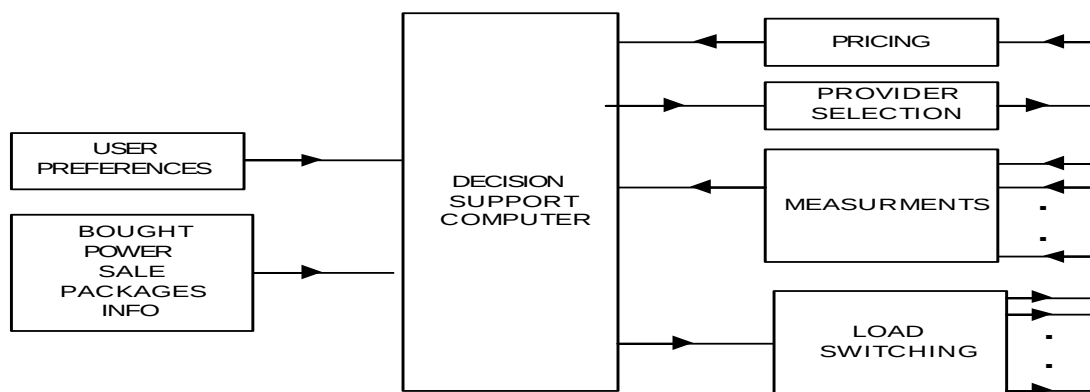
Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας εν τούτοις, θα παραμείνει σταθερή κατά τη διάρκεια μίας συγκεκριμένης κάθε φορά περιόδου (slot) τιμολόγησης που την καλούμε *αυλάκωση ώρας/ημέρας (time/day slot)*. Ο πελάτης μπορεί επίσης να αγοράσει ένα πακέτο πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από έναν ή περισσότερους διαφορετικούς προμηθευτές. Ειδικότερα ο πελάτης θα μπορούσε επιπλέον να αγοράσει (καταναλώσει) ηλεκτρική ενέργεια από πολλούς προμηθευτές ταυτόχρονα οπότε περαιτέρω σχεδιασμός απαιτείται που αφορά το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από κάθε προμηθευτή χωριστά, ανά χρονική στιγμή. Ένα σχέδιο ενός νέου μετρητή παροχής ηλεκτρικής ισχύος καταναλωτή απαιτείται που έχει τη δυνατότητα να εργαστεί στο ανωτέρω σενάριο της απελευθερωμένης μη μονοπωλιακής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Μερικά από τα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου μετρητή θα μπορούσαν να είναι τα ακόλουθα:

1. Καταγραφή των παραμέτρων της ηλεκτρικής ισχύος από κάθε προμηθευτή για κάθε αυλάκωση time/day slot.
2. ο πελάτης είναι σε θέση να επιλέξει ανά πάσα στιγμή ποιοι θα είναι οι προμηθευτές. Συγκεκριμένα, το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας επί του συνόλου που του παρέχει ο κάθε προμηθευτής χωριστά.
3. μπορεί να προγραμματιστεί από τον πελάτη για κάθε αυλάκωση day/time slot.
4. οι ρυθμίσεις μπορούν να αλλάξουν δυναμικά μέσω μιας διεπαφής με υπολογιστή.
5. να είναι σε θέση να δώσει, μέσω μιας διεπαφής υπολογιστή, στο DCE (Data Computer Equipment) του *προσωπικού μετρήσεων* κατανομής ηλεκτρικής ισχύος τους παραμέτρους για όλες τις καταγεγραμμένες καταστάσεις αυλάκωσης για κάθε προμηθευτή χωριστά.
6. να είναι σε θέση να δώσει, μέσω μιας διεπαφής υπολογιστή, στον DCE του πελάτη:
 - α. τους παραμέτρους ηλεκτρικής ισχύος για κάθε αυλάκωση time/day slot, για κάθε προμηθευτή
 - β. τη τιμολόγηση για όλους τους προμηθευτές για κάθε time/day slot που ο ίδιος ο μετρητής μπορεί να λαμβάνει περιοδικά μέσω των γραμμών μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας ή εναλλακτικά μέσω γραμμής τηλεφωνίας και του ιντερνέτ.

Ένα έμπειρο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων DSS (Decision Support System) θα είναι εξαιρετικά σημαντικό για τον πελάτη της ηλεκτρικής ενέργειας και το οποίο θα μπορούσε να είναι εγκατεστημένο στο DCE του πελάτη.

Το *σχήμα 0* παρουσιάζει το διάγραμμα εισόδου-εξόδου ενός τέτοιου συστήματος. Οι αποφάσεις απαιτούνται: (α) για το ποιος προμηθευτής θα επιλεγεί κάθε ώρα (*μέγιστη διακριτικότητα του συστήματος είναι η μία ώρα*) και (β) ποια ηλεκτρικά φορτία του πελάτη ίσως χρειαστούν να συνδεθούν ή να αποσυνδεθούν από το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας όταν δεν χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να εξοικονομηθεί ενέργεια. Οι πληροφορίες στις οποίες το έμπειρο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων θα στηριχθεί για την λήψη των αποφάσεων του είναι: (α) την τυποποιημένη (δημοσιευμένη) τιμολόγηση των προμηθευτών, (β) τα ηλεκτρικά φορτία που είναι συνδεδεμένα στην εγκατάσταση του πελάτη δηλαδή την συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος για κάθε

δεδομένη χρονική στιγμή και βασισμένη σε μετρήσεις, (γ) τις προτιμήσεις του πελάτη, και (δ) πιθανά ειδικά πακέτα πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας ή προσφορών από κάποιους προμηθευτές.



Σχήμα 0.1: Η εγκατάσταση του πελάτη

Για το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (DSC) να ξέρει τη σχετική κατανάλωση καθενός των ηλεκτρικών φορτίων, ένας αλγόριθμος μέτρησης θα μπορούσε να προστεθεί. Οι διακόπτες θα μπορούσαν να παρεμβληθούν μεταξύ κάθε ενός από τα φορτία και του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, και να ελεγχθούν από την μονάδα υπεύθυνη για την σύνδεση/αποσύνδεση των φορτίων **Load Switching** (βλέπε σχήμα). Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε time/day slot (π.χ. ώρα 3μμ – 6μμ Σαββατοκύριακα) από κάθε προμηθευτή μπορεί να φθάσει στον πελάτη μέσω των ηλεκτρικών καλωδίων του δικτύου παροχής, ή το Διαδίκτυο, ή τον τοπικό Τύπο.

Μια άλλη πτυχή του DCE (Data computer equipment) του πελάτη είναι να διαχειριστεί όλη την ισχύ που καταναλώνεται από τον πελάτη και να συνδέσει ή να αποσυνδέσει χαμηλής προτεραιότητας φορτία του πελάτη σύμφωνα με την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις πελατών, ο αλγόριθμος DCE θα μπορούσε να προτείνει το χρόνο της λειτουργίας των διαφορετικών φορτίων. Η ανεξάρτητη μέτρηση και έλεγχος των φορτίων μέσω της μονάδας **Switching** απαιτείται στις εγκαταστάσεις του πελάτη έτσι ώστε το DCE να είναι σε θέση να επιτύχει την αποτελεσματική διαχείριση φορτίων.

ΒΗΜΑΤΑ

- 1 Μελέτη των πλήρη απελευθερωμένων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας και αγορών
- 2 Μελέτη υπαρχουσών μεθόδων και συσκευών μετρολογίας της ηλεκτρικής ισχύος.

- 3 Μελέτη όλου του πρωτοκόλλου επικοινωνίας και σημάτων που απαιτείται.
- 4 καθορίστε τα χαρακτηριστικά και τις προδιαγραφές ενός νέου ψηφιακού μετρητή ηλεκτρικής ισχύος με τις ενισχυμένες δυνατότητες επικοινωνίας
- 5 Καθορίστε τις μεθόδους και σχεδιάστε τα πρωτόκολλα επικοινωνίας για όλες τις απαραίτητες συναλλαγές με τον πελάτη που παρουσιάζονται στο σχήμα 0.

Επιπρόσθετα, είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός ηλεκτρονικού δικτύου ενημέρωσης των πολιτών μέσω ιστοσελίδων του ιντερνέτ για θέματα που αφορούν την τιμολόγηση των διαφόρων πακέτων πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από διαφορετικούς προμηθευτές και τις διαφορετικές αυλακώσεις time/day slots της ημέρας, των ειδικών προσφορών πώλησης, και το *είδος της πηγής προέλευσης* της ηλεκτρικής ενέργειας όπως συμβατικές πηγές (πχ. λιγνίτης, υγρά-αέρια καύσιμα, πυρηνικά) ή από ανανεώσιμες πηγές (πχ. αιολική-ηλιακή).

Το τελευταίο είναι πολλή σημαντικό όσον αφορά την *εκπαίδευση των πολιτών* σε θέματα εξοικονόμησης της ενέργειας του πλανήτη και των ενεργειακών αποθεμάτων του και στην δημιουργία μίας υγιούς περιβαλλοντολογικής και οικολογικής συνείδησης μιας και θα μπορεί να επιλέξει αν το θελήσει επί το πλείστον ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές και να περάσει απευθείας τις προτιμήσεις του στο σύστημα (*βλέπε σχήμα 0*) ή να προγραμματίσει το *έμπειρο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων* DSS ώστε να **επιλέγει αυτόματα** τους προμηθευτές ανάλογα με τις προτιμήσεις και το οικονομικό συμφέρον του πελάτη/καταναλωτή χωρίς τη περεταίρω ανάμειξη του.

Η εισαγωγή των δεδομένων (προτιμήσεων) και του προγραμματισμού από τον πελάτη στο σύστημα μπορεί να γίνει είτε ενσύρματα με απευθείας σύνδεσης υπολογιστή μέσω θύρας (πχ. USB, LAN) ή μέσω ιντερνέτ και τηλεφωνικής γραμμής αλλά και με την χρήση ασύρματης θύρας όπως το Bluetooth ή ασύρματου δικτύου Wi-Fi .

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενέργεια είναι ένα βασικό προϊόν για την κοινωνία, είναι το βασικό στοιχείο έτσι ώστε όλες οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές μπορούν να λειτουργήσουν. Αυτό το βασικό στοιχείο παράγεται από τους ενεργειακούς παραγωγούς και πωλείται και διανέμετε στους καταναλωτές μέσω ενός ενεργειακού δικτύου, ολόκληρη αυτή η διαδικασία καλείται αγορά ενέργειας.

Η ενέργεια παράγεται με τη χρήση των πρώτων υλών όπως ο άνθρακας, πετρέλαιο, αέριο ή ακόμα και με τη χρήση των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας

όπως ο αιολική, ηλιακή ενέργεια κτλ.

Το κόστος παραγωγής για την ενέργεια διαφέρει από την ώρα σε ώρα και ακόμη και από ημέρα σε ημέρα, εξαρτάται από τον καιρό ή από το πρώτο (ακατέργαστο) υλικό. Για το λόγο αυτό υπάρχει η ανάγκη για μια τιμολόγηση που αλλάζει σύμφωνα με τις περιστάσεις, το σημερινό καθεστώς τιμολόγησης είναι αρκετά άδικο για τον καταναλωτή. Ο καταναλωτής καλείται για να καταβάλει μια μάλλον σταθερή τιμή για την ενέργεια που έχει καταναλώσει διάμεσο του έτους ενώ το κόστος παραγωγής της ενέργειας από την μεριά του προμηθευτή δεν είναι σταθερό. Μια άλλη πτυχή που πρέπει να πάρουμε υπό εξέταση είναι η παρουσία ανταγωνισμού, πολλοί παραγωγοί ενέργειας, σημαίνει φτηνότερη αγορά ενέργειας και πιο ενήμερη για την ικανότητά παροχής της ενέργειας στην αγορά κάθε στιγμή.

Έτσι στο πρώτο κεφάλαιο θα δούμε το καθεστώς που επικρατεί σήμερα στις αγορές ενέργειας γύρω από την Ευρώπη και ειδικά την Ελλάδα. Θα δούμε στην πρόταση που γίνεται σε αυτήν την έκθεση διατριβής όπου ο πελάτης θα είναι στη θέση για να επιλέξει με έναν δυναμικό τρόπο τους ενεργειακούς προμηθευτές του. Αυτό θα καταστεί σαφές στο δεύτερο κεφάλαιο. Στο τρίτο κεφάλαιο βλέπουμε τα σενάρια και τα πρωτόκολλα τηλεπικοινωνιών. Επίσης τον τρόπο με τον οποίο το δίκτυο της ενέργειας γίνεται διαδραστικό στο τμήμα της ενεργειακής απαίτησης. Το τέταρτο κεφάλαιο μας βοηθά να καταλάβουμε τις τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών που θα μας επιτρέψουν να ολοκληρώσουμε όλους τους ανωτέρω στόχους. Στο κεφάλαιο πέντε εισάγουμε το νέο μετρητή ενέργειας που επιτρέπει στον πελάτη να έχει τους διαφορετικούς προμηθευτές και τη διαφορετική τιμολόγηση ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Στο κεφάλαιο έξι βλέπουμε την ενσωμάτωση του δικτύου δεδομένων μέσα στο δίκτυο ενέργειας. Τέλος, στο κεφάλαιο σε επτά δίνονται το εκτιμώμενο κόστος του εξοπλισμού τηλεπικοινωνιών και το κόστος των γραμμών δεδομένων για την υλοποίηση αυτού του δικτύου.

1. ΑΓΟΡΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΓΟΡΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο καθεστώς που είχε επικρατήσει στη δεκαετία του '80 ήταν τα κρατικά μονοπώλια σε καίριους τομείς της οικονομίας μιας χώρας, το κράτος κατείχε και διοικούσε τομείς όπως η ηλεκτρική ενέργεια, το αέριο, οι τηλεπικοινωνίες αυτό οδήγησε στο

γεγονός ότι η αγορά είχε μόνο έναν συμμετέχων, που είχε το δικαίωμα να διαμορφώσει τις τιμές των υπηρεσιών του στο ύψος που κάθε φορά που αυτός πίστευε ότι ήταν το σωστό.

Στις αρχές της δεκαετίας του '90 αυτό άρχισε να αλλάζει με την είσοδο των ανεξάρτητων παραγωγών σε αυτές τις αγορές και ειδικά στις αγορές τηλεπικοινωνιών και ενέργειας σε ολόκληρη την Ευρώπη.

Στο δεύτερο μισό της δεκαετίας του '90 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει ήδη προωθήσει τη φιλελευθεροποίηση των βασικών βιομηχανιών δημόσιας χρήσης, όπως οι τηλεπικοινωνίες, ηλεκτρική ενέργεια και αέριο, καθορίζοντας μέσω διάφορων οδηγιών ένα κοινό πλαίσιο αρχών και κανόνων. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, οι χώρες μέλη έπρεπε για να καθορίσουν εντός μιας δεδομένης προθεσμίας την εθνική πολιτική φιλελευθεροποίησης. Τα σχετικά έγγραφα για τις αγορές ενέργειας ήταν το Directive 92/92/CE στην ηλεκτρική ενέργεια που έθεσαν μια προθεσμία τον Φεβρουάριο του 1999 για το εθνικό σχέδιο για κάθε κράτος μέλος.

Εκείνα τα έγγραφα αντιπροσωπεύουν το τελικό στάδιο μιας μακροχρόνιας και σύνθετης πολιτικής διαδικασίας, και συνοψίζουν έναν συμβιβασμό μεταξύ των διαφορετικών καταστάσεων και των προσεγγίσεων, με το Ηνωμένο Βασίλειο και τη Γαλλία στα δύο άκρα του πολιτικού φάσματος. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τέτοιες διαφορές, οι οδηγίες υιοθέτησαν συχνά γενικές αρχές που μπορούν να μεταφραστούν σε λίγο ή πολύ καινοτόμα μέτρα, αφήνοντας έναν ευρύ φάσμα δράσης στην διακριτικότητα της κάθε χώρας μέλους σε ότι αφορά βασικά σημεία κλειδιά που αναφέρονταν στη υλοποίηση του προγράμματος.

Το κεντρικό πρόβλημα που επιλύουν οι οδηγίες αυτές είναι η δημιουργία ενός πεδίου δραστηριότητας ίσων ευκαιριών για τους νεοεισερχόμενους στις βιομηχανίες που στις περισσότερες περιπτώσεις εξουσιάζστηκαν προηγουμένως από έναν μοναδικό συμμετέχοντα. Οι υποδομές μεταφορών και διανομής είναι μονόδρομα δίκτυα χωρίς τις σχετικές εξωτερικότητες δικτύων, που χαρακτηρίζονται ως φυσικό μονοπώλιο και με πιθανούς περιορισμούς. Η παραγωγή και τα τμήματα πωλήσεων εξαντλούν τις οικονομίες κλίμακας αρκετά σύντομα, αναγνωρίζοντας μια σχετικά τεμαχισμένη δομή. Οι βιομηχανικές δομές που μπορούν να φανταστούν σε μια φιλελευθεροποιημένη αγορά ενέργειας απαιτούν επομένως την σύνδεση των ανταγωνιστικών αγορών στην παραγωγή και τις πωλήσεις να συνδέονται μέσω ενός μονοπωλιακού τομέα δικτύων.

Η γενική αρχή που οι κοινοτικές οδηγίες προωθούν είναι το Third Party Access

(ΤΡΑ), από το οποίο ο ιδιοκτήτης του δικτύου (συνήθως το κράτος) υποχρεώνεται να πουλήσει την πρόσβαση σε όλα τα αιτήματα παράδοσης και εκμετάλλευσης του δικτύου από ιδιωτικές ή αλλοδαπές κρατικές επιχειρήσεις εφόσον βέβαια αυτές πληρούν τις προδιαγραφές, και μάλιστα η τιμή πώλησης της πρόσβασης και εκμετάλλευσης του δικτύου πρέπει να είναι ενιαία και ίδια για όλους τους συμμετέχοντες. Τρανταχτό παράδειγμα στην χώρα μας την Ελλάδα αποτελεί η συνεκμετάλλευση του δικτύου τηλεφωνίας του ΟΤΕ (Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών Ελλάδος) από τρίτους όπως η Forthnet, Tellas, Vodafone.

Οι κοινοτικές οδηγίες επέτρεψαν στις χώρες μέλη να επιλέξουν μεταξύ μιας τιμής πρόσβασης που διαπραγματεύθηκε από τα συμβαλλόμενα μέλη και μιας ρυθμισμένης τιμής που τέθηκε από κάποιο δημόσιο ίδρυμα. Οι κοινοτικές οδηγίες αποδέχονται μερικές εξαιρέσεις στη γενική αρχή ΤΡΑ, όπου μπορεί να αρνηθεί ο ιδιοκτήτης δικτύων να δώσει την πρόσβαση στους τρίτους. Στη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας ο τεχνικός όρος της συμφόρησης εισάγεται για να αποτραπεί ο υπερπληθυσμός των εταιριών ηλεκτρικής ενέργειας σε μία χώρα μέλος.

Λαμβάνοντας υπόψη τη διαδεδομένη χρήση των προτάσεων λήψη-ή-αμοιβής και των τεράστιων οικονομικών χαρτοφυλακίων των μακροπρόθεσμων συμβάσεων που κατέχουν οι δικαιούχοι, το ΤΡΑ από μόνο του δεν μπορεί να αποφύγει τη διαστρέβλωση που η επιβεβλημένη εταιρία μπορεί να δημιουργήσει για να αποκλείσει την είσοδο των νέων ανταγωνιστών. Κάποιο είδος διαχωρισμού των δραστηριοτήτων επομένως προωθείται, υπό το γενικό τίτλο της απελευθέρωσης της αγοράς.

Οι διαφορετικές λύσεις αφήνονται στη βούληση των χωρών μέλη, που μπορούν να επιλέξουν από την ριζικότερη και πιο συνηθισμένη στρατηγική, που είναι ο ιδιόκτητος διαχωρισμός και ανάληψη των πρώην μονοπωλιακών δραστηριοτήτων από τις ανταγωνιστικές ιδιωτικές εταιρείες, έναν ηπιότερο νομικό διαχωρισμό, που επιτυγχάνεται μέσω της δημιουργίας των διαφορετικών επιχειρήσεων κάτω από μια κοινή εκμετάλλευση, έως τέλος στην ασθενέστερη έκδοση αυτού του λογιστικού διαχωρισμού (μέτοχοι). Τρανταχτό παράδειγμα στην Ελλάδα είναι η επιχείρηση [ΔΕΣΜΗΕ](#) που έχει αναλάβει την τεχνική και οικονομική διαχείριση της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι πιθανότητες να αποκλεισθεί η αγορά και να μην επιτρέπεται η εισαγωγή νέων ανταγωνιστών ποικίλλουν αρκετά στις τρεις περιπτώσεις και μειώνονται μετά βίας στη περίπτωση του απλού διαχωρισμού λογιστικής. Συνεπώς, το πεδίο και οι

δυνάμεις των δικαιούχων εταιρειών δεν μπορούν να καθοριστούν χωρίς να λάβουμε υπόψη τον βαθμό ελευθερίας που αφήνονται σε αυτές.

Το τρίτο βασικό στοιχείο των κοινοτικών οδηγιών είναι η *απελευθέρωση σε ότι αφορά την πλευρά της ζήτησης*, μέσω της ιδέας των επιλέξιμων πελατών, δηλ. πελάτες ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν το δικαίωμα να στοχεύσουν για τον καταλληλότερο προμηθευτή. Αυτοί οι πελάτες προσδιορίζονται από την ετήσια κατανάλωσή τους και ένα χρονοδιάγραμμα τίθεται ως στόχος να διευρύνει τη μερίδα της φιλελευθεροποιημένης απαίτησης με τον καθορισμό των υψηλότερων και χαμηλότερων κατώτατων ορίων κατανάλωσης. Επιπλέον, ένας ενιαίος πωλητής για τους προνομιακούς πελάτες προτείνεται μεταξύ των πιθανών λύσεων.

Πολλά άλλα σημαντικά στοιχεία της εικόνας δεν περιγράφονται επαρκώς, αφήνοντας τον καθορισμό τους στη διακριτικότητα των χωρών μελών: μεταξύ αυτών των λύσεων, ο επιθυμητός βαθμός τεμαχισμού των ανταγωνιστικών τμημάτων της βιομηχανίας, το είδος της οργάνωσης της αγοράς (κεντρομορφικές αγορές, εναντίον των διμερών εμπορικών συναλλαγών) της βιομηχανίας, ο ρόλος της κρατικής ιδιοκτησίας στους διαφορετικούς τομείς.

Από τη συνοπτική αυτή περίληψη του ευρωπαϊκών κοινοτικών οδηγιών, αργότερα θα δούμε αυτές τις οδηγίες με έναν πιο αναλυτικό τρόπο, ειδικά όσο αφορά τις *βιομηχανίες ηλεκτρικής ενέργειας* πρέπει να αναφέρουμε την εξής παρατήρηση.

Η κύρια εστίαση των οδηγιών είναι στην παρεμπόδιση του αποκλεισμού των νέων ελθόντων με τη χορήγηση της πρόσβασης στο μονοπωλιακό τμήμα χωρίς μεροληπτικούς όρους. Η δυνατότητα του κατέχοντος μονοπωλητή να εμποδίσει την είσοδο με την άρνηση να δοθεί η πρόσβαση στις ουσιαστικές υποδομές θεωρείται σωστά ως πρώτο εμπόδιο στη φιλελευθεροποίηση. Εντούτοις, η δημιουργία ενός πεδίου δραστηριότητας ίσων ευκαιριών δεν είναι η μόνη προϋπόθεση για να προωθηθεί ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον, ειδικότερα όταν αρχίζει η διαδικασία ελευθέρωσης από μια κατάσταση που εξουσιάζεται από έναν κάθετο ενσωματωμένο κύριο κράτος μονοπωλητή.

Μεταξύ των ζητημάτων που αντιμετωπίζονται όχι αρκετά, μπορούμε να επισημάνουμε τη σχέση μεταξύ του συγχρονισμού της ιδιωτικοποίησης και της φιλελευθεροποίησης στις αγορές ενέργειας, του επιθυμητού βαθμού αποκεντρισμού στις φιλελευθεροποιημένες αγορές και τα διοικητικά όργανα για να τον επιτύχουμε (επιβεβλημένες αποστερήσεις πρώην μονοπωλιακών εξουσιών, ασυμμετρικός κανονισμός για να ευνοηθούν οι νεοεισερχόμενοι), και τέλος τον όλο σχεδιασμό μιας

συγκεντρωμένης ή αποκεντρωμένης αγοράς.

Θεωρείται ότι αυτά τα στοιχεία είναι σήμερα βασικής σπουδαιότητας όχι μόνο για να ενισχυθεί η διαδικασία νέων εισόδων στις βιομηχανίες δημόσιων αγαθών όπως είναι η ηλεκτρική ενέργεια, αλλά και έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι η είσοδος θα φέρει στο χώρο αγοράς έναν εντονότερο ανταγωνισμό παρά τις προσαρμοστικές στρατηγικές θέσεων των μικρών νέων ελθόντων, δίνοντας στους ενεργειακούς καταναλωτές τα σημαντικά πλεονεκτήματα στην τιμολόγηση και σε ότι αφορά το τμήμα της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών.

Σε παρακάτω τμήματα της διατριβής θα συζητήσουμε τα εθνικά σχέδια των χωρών μελών και τη πρώτη φάση υλοποίησης και τα πιθανά επόμενα βήματα στην εφαρμογή των πολιτικών φιλελευθεροποίησης, θα δούμε επίσης τις διάφορες πολιτικές τιμολόγησης που χρησιμοποιούνται για την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2 ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Αρχικά ας δούμε τι συμβαίνει μεταξύ των ευρωπαϊκών αγορών ενέργειας και την πολιτική τιμολόγησης που επικρατεί στον τομέα της ενέργειας, επίσης θα δούμε το κόστος παραγωγής και κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην Ελλάδα η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) είχε μονοπωλήσει την αγορά ενέργειας έτσι η μόνη πολιτική τιμολόγησης που υπάρχει τελικά είναι η πολιτική τιμολόγησης της ΔΕΗ.

Η ΔΕΗ υιοθετεί τρεις κατηγορίες δασμολογίου:

- 1 πελάτες υψηλής τάσης, μεγάλοι βιομηχανικοί χρήστες που παρέχονται 150 kV
- 2 πελάτες μέση τάσης, που παρέχονται με 6,6 kV, 15 kV, 20 kV, και 22 kV
- 3 πελάτες χαμηλής τάσης, που παρέχονται με 380/220 V

Ανάλογα με τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχουν άλλες τρεις βασικές κατηγορίες δασμολογίου:

- 1 Οικιακοί πελάτες
- 2 μη-οικιακοί πελάτες, όπως η γεωργία, έμποροι, γενική χρήση (δήμοι)
- 3 βιομηχανικοί πελάτες

Average Price of Electrical Energy by Use (in €/KWh ,at constant prices 2009)			
Use	1989	1999	2009
Residential	0.11289	0.10306	0.07454
Var 79/99	-0.03835		
Commercial	0.14867	0.13335	0.08586
Var 79/99	-0.06281		
Industrial	0.06236	0.07131	0.04407
Var 79/99	-0.01829		
Agricultural	0.10215	0.04724	0.03190
Var 79/99	-0.07025		

Πίνακας 1.1: Τιμές στην Ευρώπη

Πρέπει να σημειωθεί ότι η Ελλάδα και η Φινλανδία, έχουν τις χαμηλότερες τιμές κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα για την ενέργεια για την οικιακή (residential) και γεωργική (agricultural) χρήση. Καμία μείωση των δασμολογίων για την εγχώρια κατανάλωση δεν αναμένεται στα ερχόμενα έτη στην Ελλάδα από τη ΔΕΗ αντιθέτως προβλέπονται αυξήσεις. Από την άλλη μεριά είναι πιθανό να υπάρξει μια συγκράτηση των τιμών όσο αφορά την βιομηχανική κατανάλωση. Μάλιστα πρόσφατα το έτος 2010 η ΔΕΗ δήλωσε ότι είναι αποφασισμένη να προχωρήσει σε αύξηση των τιμών έως και 100%.

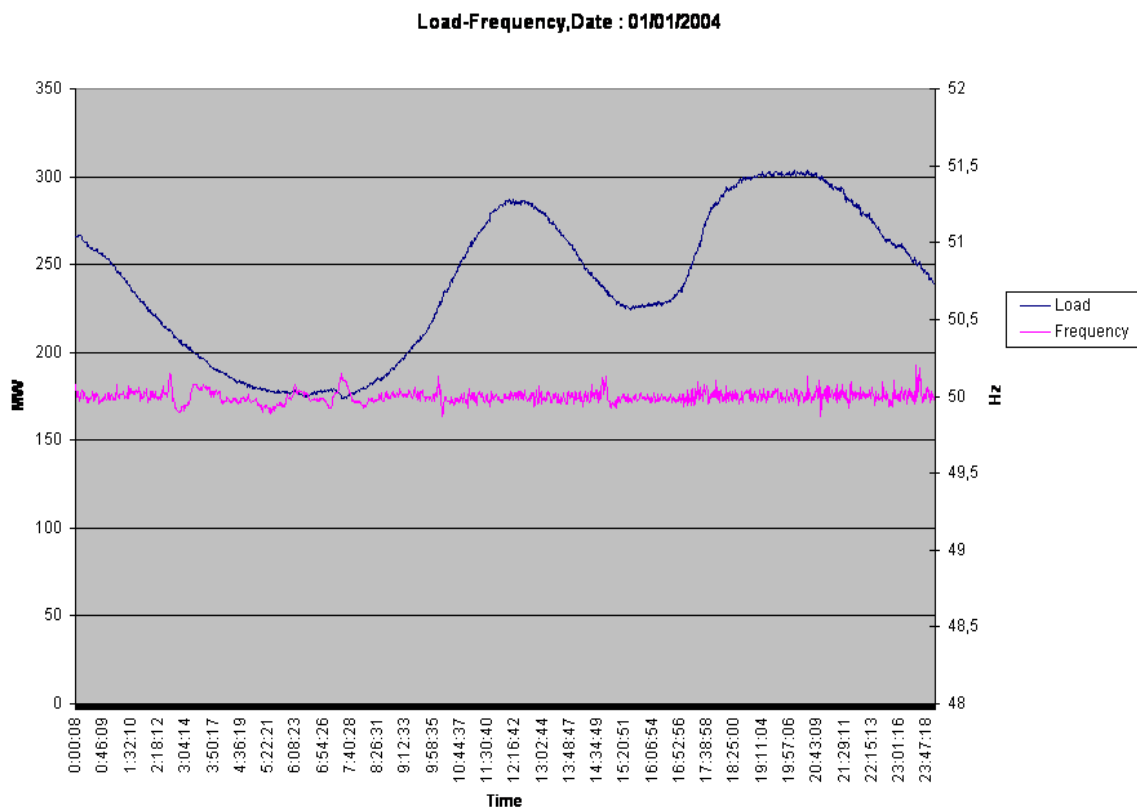
Αν και η τωρινή πολιτική τιμολόγησης της ΔΕΗ φαίνεται σχετικά ευνοϊκή για τους πελάτες υπάρχουν διάφορα ζητήματα που πρέπει να πάρουμε υπό εξέταση, όπως το κόστος παραγωγής της ενέργειας διαφέρει από ώρα σε ώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά το κόστος κατανάλωσης της ενέργειας παραμένει το ίδιο κατά την διάρκεια όλης της ημέρας.

Για να μειώσει αυτήν την αδικία η ΔΕΗ είχε εισαγάγει το νυχτερινό τιμολόγιο που πρέπει να πούμε είχε βοηθήσει να ισορροπήσει αυτήν την αδικία αλλά δεν είναι ακόμα αρκετό επειδή το κόστος παραγωγής της ενέργειας διαφέρει από ώρα σε ώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας.

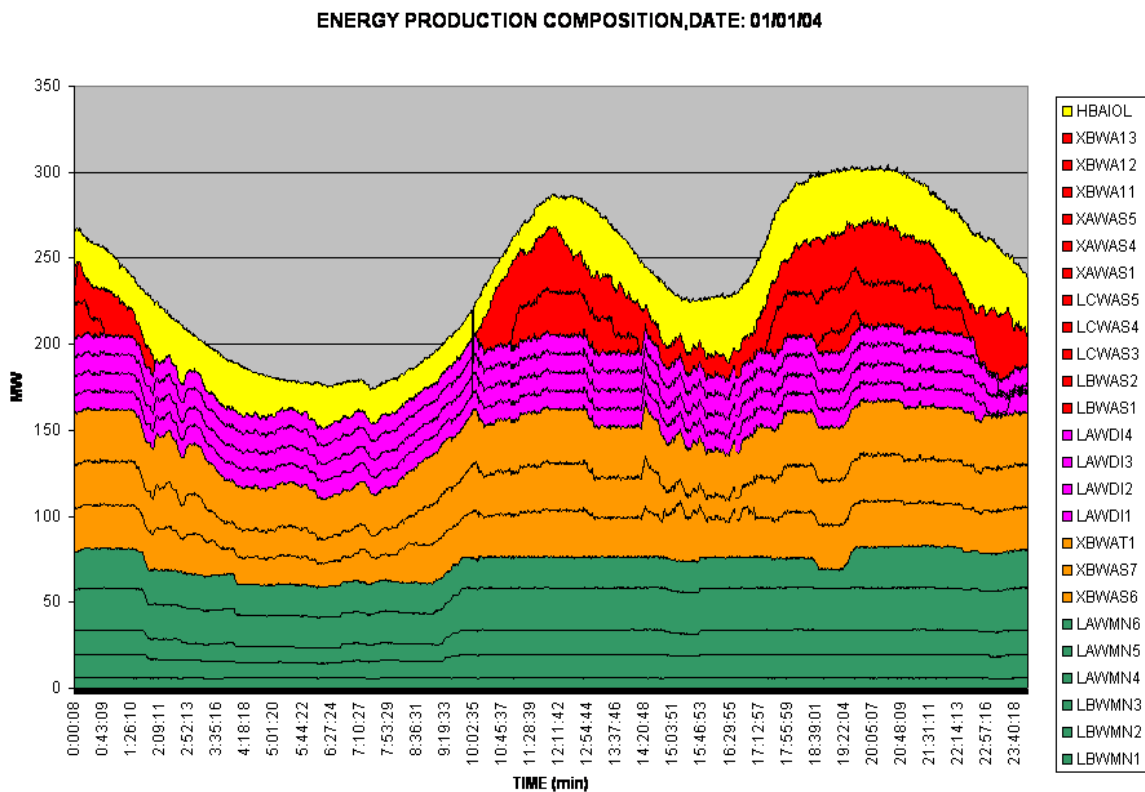
Για να το δούμε αυτό πιο σαφώς θα εξετάσουμε το καθεστώς της αγοράς της ενέργειας σε ένα παράδειγμα στο νησί της **Κρήτης** στην Ελλάδα.

Στα ακόλουθα διαγράμματα θα δούμε τη μέγιστη και ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας στο νησί Κρήτη και επίσης θα δούμε από όπου αυτή η ενέργεια

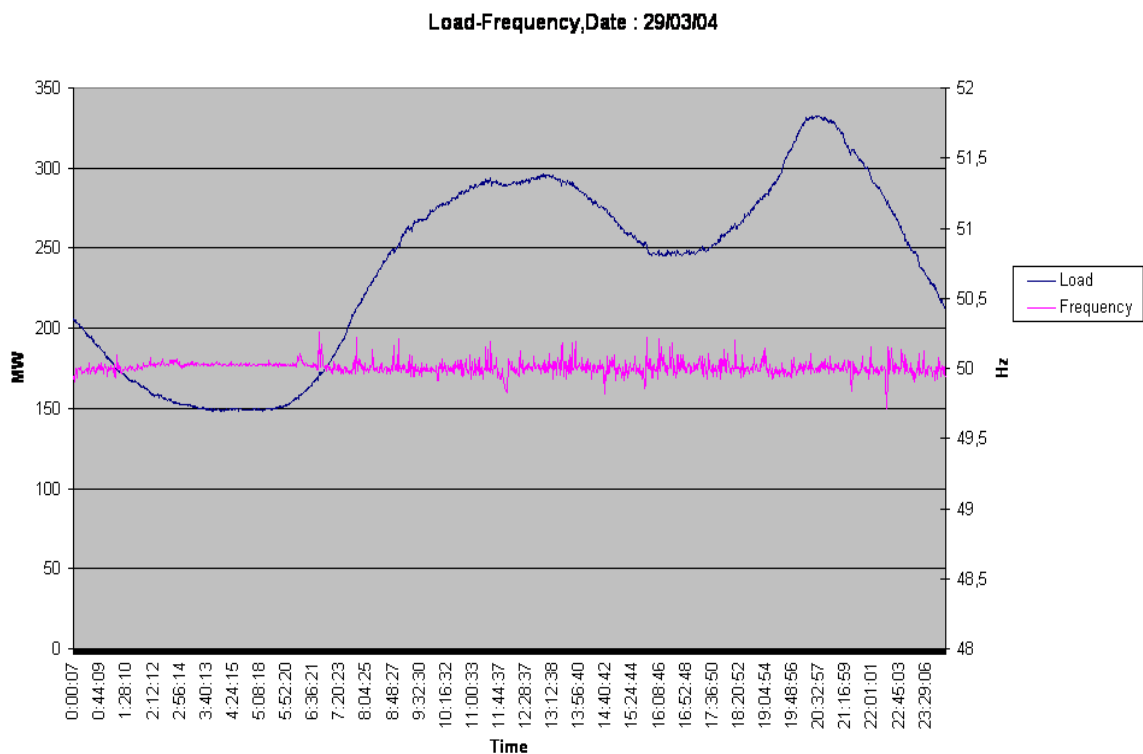
παράγεται (πετρέλαιο-γεννήτριες, ατμό-γεννήτριες, άνεμο-γεννήτριες κτλ)



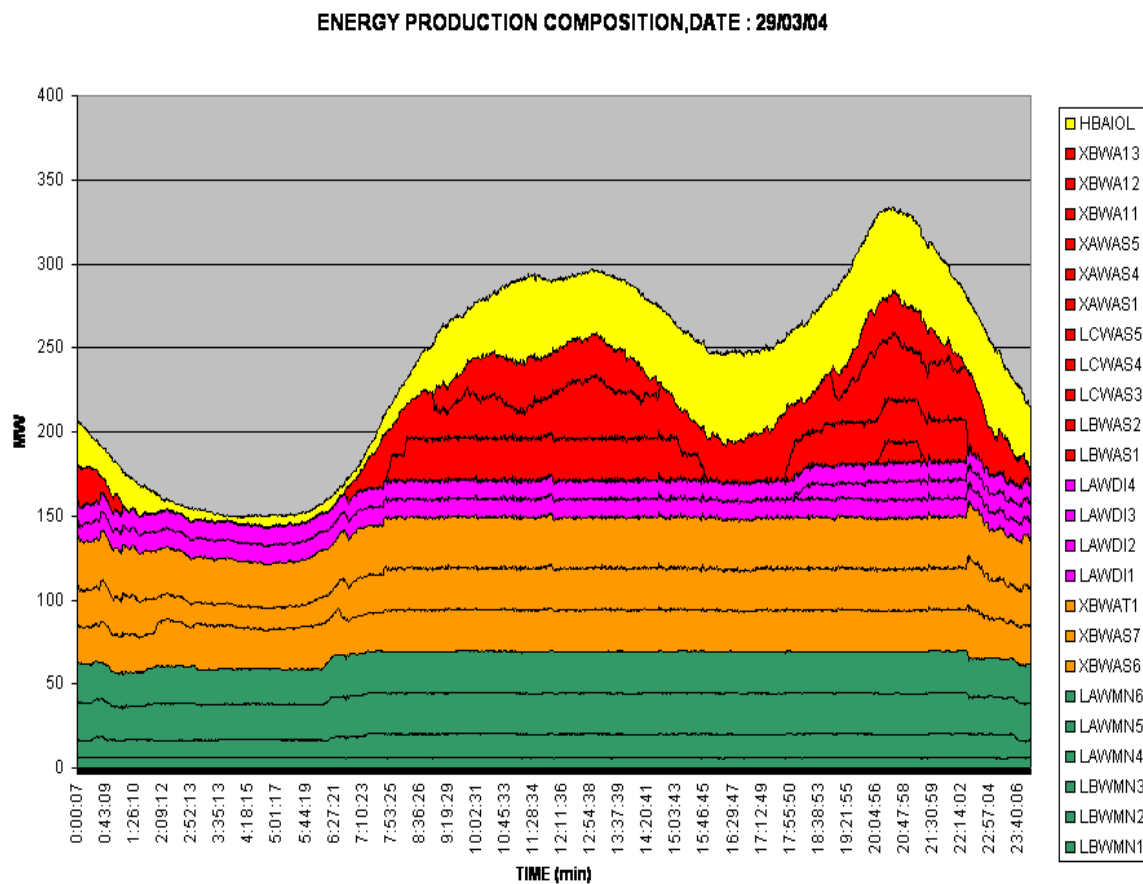
Σχήμα 1.1: Φορτίο-Συχνότητα παράδειγμα 1



Σχήμα 1.2: Παγωγή ενέργειας παράδειγμα 1



Σχήμα 1.3: Φορτίο-Συχνότητα παράδειγμα 2



Σχήμα 1.4: Παραγωγή Ενέργειας παράδειγμα 2

Όπως μπορούμε να δούμε από τα ανωτέρω διαγράμματα και όπως αναμέναμε η κατανάλωση ενέργειας διαφέρει από ώρα σε ώρα στη διάρκεια της ημέρας οπότε και η παραγωγή της ενέργειας δεν είναι σταθερή αλλά διαφοροποιείται, επειδή η απαίτηση για την ενέργεια αλλάζει συνεχώς, η παραγωγή της δεν μπορεί να γίνει από μόνο έναν τύπο ενεργειακής γεννήτριας αλλά από πολλές ανάλογα με το πόση ενέργεια απαιτείτε. Στην αντίθετη περίπτωση που η παραγωγή δεν καλύπτει την κατανάλωση τότε οδηγούμαστε στο λεγόμενο *Black out* και την διακοπή της παραγόμενης ενέργειας,

Αυτή η ανάγκη για διάφορους τύπους γεννητριών ενέργειας αναγκάζει την τιμή της ενέργειας να αυξηθεί ανάλογα με την ανάγκη. Στα ανωτέρω διαγράμματα βλέπουμε το ποσό ενέργειας που παράγεται από τις ατμό-γεννήτριες (πράσινο) , τις γεννήτριες με αεριοστρόβιλους μικτού κυκλώματος *combined cycles* (πορτοκάλι), τις γεννήτριες εσωτερικής καύσης πετρελαίου (μωβ), τις γεννήτριες συμπιεσμένου αέρα (κόκκινες) και τελικά από τις άνεμο γεννήτριες (κίτρινες).

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από τις ατμός-γεννήτριες, τους αεριοστρόβιλους και τις γεννήτριες εσωτερικής καύσης πετρελαίου είναι οι χαμηλότερου κόστους αλλά αφ' ετέρου η παραγωγή της ενέργειας από συμπιεσμένο αέρα ή τις άνεμο-γεννήτριες είναι η ακριβότερη.

Η κατανόηση ότι η ενεργειακή παραγωγή διαφέρει μας διευκολύνει να δούμε ότι η χωρισμένη σε δύο μόνο ζώνες (νυχτερινό ρεύμα) τιμολόγηση **είναι άδικη για τον καταναλωτή.**

Η τιμολόγηση πρέπει να γίνει σύμφωνα με την ώρα της κατανάλωσης της ενέργειας ή ακόμα και στον ακριβή χρόνο έτσι ώστε ο καταναλωτής , τελικά, θα πληρώσει την πραγματική τιμή της ενέργειας που έχει καταναλώσει.

Αυτό ηχεί αρκετά *εξωπραγματικό* και ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί αλλά όπως ν θα δούμε, μπορεί να γίνει μέσω μιας αλλαγής της υποδομής του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και του *μετρητή κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος* το λεγόμενο «ρολόι» στις εγκαταστάσεις του πελάτη/καταναλωτή της ηλεκτρικής ενέργειας.

1.3 Ε.Υ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΓΟΡΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Υπόβαθρο

Η επικύρωση της οδηγίας 96/92/EC από το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο και το ευρωπαϊκό συμβούλιο στην άρση των ελέγχων της εσωτερικής αγοράς στην ηλεκτρική ενέργεια, από το ίδρυμα των κοινοτικών κανόνων σχετικά με τις δραστηριότητες του τομέα συνολικά, τέθηκαν σε ισχύ στις 19 Φεβρουαρίου 1997, ενώ η πρώτη φάση στο άνοιγμα αυτής της αγοράς άρχισε τυπικά στις 19 Φεβρουαρίου 1999. Η οδηγία εφαρμόστηκε στην Ελλάδα στις 19 Φεβρουαρίου 2001 και είναι ακόμα υπό εξέλιξη και υλοποίηση.

Η οδηγία εισάγει τους κανόνες που επιτρέπουν τον πραγματικό ανταγωνισμό μεταξύ των παραγωγών της ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και εξυπηρετεί την άρση των ελέγχων της ηλεκτρικής αγοράς ενέργειας, συγχρόνως, δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην ανάπτυξη βοηθητικών υπηρεσιών (πχ. ΔΕΣΜΗΕ) με την παροχή των μηχανισμών για την δημιουργία αυτών των υπηρεσιών σε μια ανταγωνιστική αγορά.

Εφαρμογή

Από τον Φεβρουάριο του 1999, οποιοσδήποτε παραγωγός μπορεί να χτίσει, σύμφωνα με την οδηγία, τις νέες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας οπουδήποτε στην ευρωπαϊκή κοινότητα, βασισμένος είτε στο σύστημα διαδικασίας εγκρίσεων, είτε σε μια διαδικασία υποβολής προσφορών. Αν και η οδηγία παρέχει στα κράτη μέλη την ελευθερία της επιλογής μεταξύ των δύο τρόπων για την θέσπιση του ανταγωνισμού, καθίσταται σαφές ότι τα περισσότερα κράτη μέλη έχουν επιλέξει ή επέλεξαν ήδη τη διαδικασία έγκρισης για την κατασκευή των νέων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Ο λόγος για αυτήν την τάση βρίσκεται στο γεγονός ότι αυτή η διαδικασία θεωρείται ο αποτελεσματικότερος μηχανισμός για το άνοιγμα της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας στον ανταγωνισμό.

Άνοιγμα των αγορών

Για να γίνουν οι αγορές ενέργειας ανταγωνιστικές, είναι ουσιαστικό ότι αυτές θα αναδομηθούν και ότι νέα συστήματα συναλλαγών καθώς και νέοι μηχανισμοί πρέπει να καθιερωθούν. Απαιτείται επίσης χρόνος έτσι ώστε όλες οι επιχειρήσεις στον τομέα της ενέργειας να είναι σε θέση να προσαρμοστούν στο νέο ανταγωνιστικό περιβάλλον. Η οδηγία προσπαθεί να ισορροπήσει αυτούς τους δύο στόχους απαιτώντας από τα κράτη μέλη να ανοίξουν τις αγορές τους σταδιακά σε τρεις φάσεις: 26% μέχρι τις 19 Φεβρουαρίου 1999, 28% στο έτος 2000 και 33% στο έτος 2003.

Εντούτοις, ορισμένα κράτη μέλη με την ενσωμάτωση της οδηγίας της Κοινότητας μέσα στην κρατική νομοθεσία τους έχουν αποφασίσει να ανοίξουν τις αγορές ενέργειάς τους σε μια μεγαλύτερη έκταση από την ελάχιστη απαίτηση που τίθεται από την ΕΕ. Οι χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γερμανία, τη Σουηδία και τη Φινλανδία έχουν αναλάβει να ανοίξουν τις αγορές ενέργειάς τους κατά 100%, η Δανία ανοίγει την αγορά της στον ανταγωνισμό κατά 90%. Άλλες χώρες έχουν αποφασίσει επίσης να ανοίξουν τις αγορές τους σε μια μεγαλύτερη έκταση από την απαιτούμενη. Η Ολλανδία και η Ισπανία, ειδικότερα, αποφάσισαν να ανοίξουν την αγορά τους κατά 33% όπως τίθεται στην οδηγία, με την προοπτική της επίτευξης ενός ανοίγματος 100%, η Αυστρία αρχικά κατά 27%, με την προοπτική της επίτευξης του 50%, και της Ιταλίας κατά 30%. Η έκβαση αυτού του σεναρίου είναι ότι πάνω από το 60% της συνολικής απαίτησης για την ηλεκτρική ενέργεια στην ΕΕ πρέπει να φιλελευθεροποιηθεί μέσα στα επόμενα χρόνια σύμφωνα με τα υπάρχοντα σχέδια. Επιπλέον, πέρα από τα δύο τρίτα των καταναλωτών θα είναι σε θέση να επιλέξουν τον προμηθευτή τους.

Πρόσβαση στα δίκτυα

Σύμφωνα με την οδηγία, υπάρχουν τρεις μέθοδοι πρόσβασης στα δίκτυα: ρυθμισμένη πρόσβαση από τους τρίτους, διαπραγματευόμενη πρόσβαση, ή το μοντέλο του ενός ενιαίου αγοραστή. Όλα τα κράτη μέλη έχουν επιλέξει τη μέθοδο ρυθμισμένης πρόσβασης από τους τρίτους, ή τη διαπραγματευόμενη πρόσβαση, ενώ καμία χώρα δεν θα χρησιμοποιήσει το μοντέλο ενός ενιαίου αγοραστή. Μπορεί να υπάρξει άρνηση της πρόσβασης στα δίκτυα μετάδοσης, αλλά μόνο σε εκείνες τις περιπτώσεις όπου η ικανότητα για τη μετάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι επαρκής, ή όταν η πολλαπλή μετάδοση καθιστά την εκπλήρωση των υποχρεώσεων δημόσιων υπηρεσιών αδύνατη. Η Γερμανία και η Δανία, ειδικότερα, έχουν επιλέξει τη διαπραγματευόμενη διαδικασία πρόσβασης, ενώ τα άλλα κράτη μέλη συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας θα χρησιμοποιήσουν τη ρυθμισμένη διαδικασία πρόσβασης από τρίτους.

Διαχωρισμός

Η οδηγία της ΕΕ απαιτεί τρία βασικά μέτρα να επιβληθούν, στα κράτη μέλη ώστε να αποτραπεί τη δυνατότητα της διακρίσεως υπέρ των υποκαταστημάτων μιας μητρικής επιχείρησης: (α) τα μέλη πρέπει να εξασφαλίσουν το διαχωρισμό της διαχείρισης του δικτύου μετάδοσης της επιχείρησης, (β) πρέπει να εξασφαλιστεί ο λογιστικός και λειτουργικός διαχωρισμός μεταξύ των τομέων της παραγωγής,

μετάδοσης και διανομής από τους άλλους τομείς της επιχείρησης, (γ) πρέπει να εξασφαλίσει την καθιέρωση των κατάλληλων μηχανισμών προκειμένου να αποτραπεί η διανομή των πληροφοριών βαθμού ασφαλείας από το σύστημα μετάδοσης σε άλλους τομείς της επιχείρησης.

Επιπλέον, η οδηγία απαιτεί την εκπόνηση χωριστών προϋπολογισμών από τις κάθετα ενσωματωμένες επιχειρήσεις για τις δραστηριότητες παραγωγής, μετάδοσης και διανομής καθώς επίσης και για τις άλλες δραστηριότητες σχετικές με την ηλεκτρική ενέργεια.

Όλα τα κράτη μέλη θα ακολουθήσουν τις προτάσεις που αναφέρονται στην εκπόνηση των προϋπολογισμών για όλες τις κάθετα ενσωματωμένες επιχειρήσεις. Η πλειοψηφία των κρατών μελών έχει αποφασίσει να διαχωρίσει νομικά τις επιχειρήσεις ανεφοδιασμού από τις άλλες κάθετα ενσωματωμένες επιχειρήσεις. Αυτή η προσέγγιση θεωρείται η αποτελεσματικότερη στην εξασφάλιση ότι καμία πρακτική που επιτρέπει τη διάκριση δεν ακολουθείται. Η Ισπανία, το Ηνωμένο Βασίλειο (Αγγλία και Ουαλία), η Φινλανδία, η Σουηδία, η Δανία (Δυτικό), η Αυστρία (Ανατολικό), η Ολλανδία, η Πορτογαλία, η Ελλάδα, η Ιταλία και το Βέλγιο έχουν αποφασίσει να διορίσουν ένα ανεξάρτητο νομικό πρόσωπο ως οργάνωση που θα διαχειριστεί το σύστημα ανεφοδιασμού. Αφ' ετέρου, η Δανία (Ανατολικό), η Γερμανία, η Γαλλία, το Ηνωμένο Βασίλειο (Σκωτία και Ν. Ιρλανδία) και η Αυστρία (Δυτικό) θα εξασφαλίσουν ότι η οργάνωση αρμόδια για εκμετάλλευση του συστήματος μετάδοσης είναι ανεξάρτητη, από την άποψη της διαχείρισης, χωρίς ένα χωριστό ανεξάρτητο νομικό πρόσωπο που διορίζεται.

Πρόσφατα, έχουν υπάρξει αυξανόμενες ενδείξεις ότι η ΕΕ προτίθεται να προχωρήσει σύντομα σε νομοθετική ρύθμιση για την πλήρη άρση των ελέγχων της αγοράς στην ηλεκτρική ενέργεια των κρατών μελών της με την απελευθέρωση όλων των καταναλωτών (ανεξάρτητα από τον βαθμό της κατανάλωσης), ακόμη και για τους οικιακούς καταναλωτές.

Υποχρεώσεις δημόσιων υπηρεσιών

Τα κράτη μέλη μπορούν να καθορίσουν τις υποχρεώσεις των δημόσιων υπηρεσιών υπό το πρίσμα του κρατικού γενικά οικονομικού συμφέροντος μέσα από πέντε κατηγορίες σχετιζόμενες με την προστασία του περιβάλλοντος, την ασφάλεια, την συνέπεια και αξιοπιστία των υπηρεσιών, την ποιότητα τους, τους περιορισμούς των παρεχόμενων υπηρεσιών και της πολιτικής τιμολόγησης αυτών για κάθε κράτος. Κάθε κράτος μπορεί να εφαρμόσει όποια μέτρα θεωρούνται απαραίτητα για να

ολοκληρώσει τις υποχρεώσεις που περιγράφονται ανωτέρω. Παρόλα αυτά τα μέσα και οι μηχανισμοί που θα ενεργοποιηθούν από τα κράτη μέλη δεν πρέπει να περιορίσουν τις συναλλαγές και τον ανταγωνισμό περισσότερο από απαραίτητο.

Επομένως, η παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας σε απομονωμένους γεωγραφικά καταναλωτές (πχ. νησιά) σε λογικές τιμές, ο εγγυημένος εφοδιασμός ηλεκτρικής ενέργειας σε ανθρώπους με τα προβλήματα υγείας και ειδικές ανάγκες, ο περιορισμός της πρακτικής μιας επιχείρησης ηλεκτρικής ενέργειας για την αποσύνδεση των καταναλωτών από το δίκτυο εάν αποτυγχάνουν να πληρώσουν τους λογαριασμούς τους, και η εξασφάλιση ενός σταθερού ανεφοδιασμού της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μερικές από υποχρεώσεις που πρέπει να εκπληρωθούν στα πλαίσια μιας ενσωματωμένης αγοράς. Οι κυβερνήσεις μπορούν επίσης να αναγκάσουν τις επιχειρήσεις διανομής να εφοδιάσουν τους πελάτες τους με την ηλεκτρική ενέργεια. Τα κράτη μέλη είναι ελεύθερα να επιβάλουν παρόμοιες υποχρεώσεις στις ενεργειακές επιχειρήσεις όλης της χώρας τους. Εντούτοις, αυτές οι υποχρεώσεις πρέπει να είναι αντικειμενικές, διαφανείς και πρέπει να επιβληθούν εξίσου χωρίς διάκριση σε όλες τις επιχειρήσεις.

Αναλύθηκαν οι στόχοι και οι προσεγγίσεις που υιοθετούνται από κάθε κράτος μέλος προς τις υποχρεώσεις που περιγράφονται ανωτέρω. Η εμπειρία μας μέχρι τώρα έχει δείξει ότι καθώς ο ανταγωνισμός ασκείται, τα κράτη μέλη απαιτούν όλο και περισσότερο υψηλότερα πρότυπα σε αυτό το πεδίο, και ότι οι σχετικές επιχειρήσεις ανταποκρίνονται σε αυτήν την απαίτηση.

Μεταβατικά καθεστάτα (κρυφό κόστος)

Το γενικό συναίσθημα είναι ότι στην καθιέρωση ενός ανταγωνιστικού περιβάλλοντος όσον αφορά τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας θα οδηγήσει σε χαμηλότερες τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Εντούτοις, αυτές οι χαμηλότερες τιμές θα μπορούσαν να προκαλέσουν σημαντικά οικονομικά και διοικητικά προβλήματα στους παραγωγούς και στους προμηθευτές, οι οποίοι αντιμετωπίζουν σήμερα ένα κόστος βασισμένο στην κατάσταση που υπήρξε πριν από την καθιέρωση του ανταγωνισμού. Προκειμένου να λυθεί αυτό το πρόβλημα, η οδηγία απαιτεί τα κράτη μέλη να ενημερώσουν την ευρωπαϊκή επιτροπή για τα μεταβατικά καθεστάτα. Ο στόχος αυτών των καθεστώτων θα είναι να αντισταθμιστούν αυτές οι επιχειρήσεις για τις πρόσθετες δαπάνες τους, με τον περιορισμό του ανοίγματος της αγοράς στους νέους ανταγωνιστές, παραδείγματος χάριν, ή με την ευνοϊκότερη τιμολόγηση στη χρήση ορισμένων καυσίμων για την

παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας ή με την παροχή οικονομικής αποζημίωσης.

1.4 ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΣΤΙΣ ΑΓΟΡΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ Ε.Υ

Σχεδόν όλες οι χώρες μέλη έχουν οργανώσει και έχουν εγκρίνει τα εθνικά σχέδια φιλελευθεροποίησης εντός των προθεσμιών που τίθενται από τις κοινοτικές οδηγίες για την ηλεκτρική ενέργεια. Μέσα στα γενικά όρια που περιγράφονται στις οδηγίες μπορούμε έχουν υιοθετηθεί περισσότερο ή λιγότερο καινοτόμες επιλογές στα διαφορετικά ζητήματα σχετικά με την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας από τα διάφορα κράτη μέλη, και μια σχετικά ετερογενής εικόνα χαρακτηρίζει τα σχέδια και τις διαδοχικές εφαρμοσμένες πολιτικές.

Στον ακόλουθο πίνακα περιγράφουμε τα βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των σχεδίων φιλελευθεροποίησης των χωρών μελών όσον αφορά τους τρεις βασικούς τομείς της μεταρρύθμισης: η πρόσβαση στο δίκτυο, το άνοιγμα των μονοπωλημένων δραστηριοτήτων από τις ανταγωνιστικές, και το άνοιγμα από τη πλευρά της ζήτησης. Σε κάθε ένα από αυτά τα ζητήματα βρίσκουμε ένα φάσμα διαφορετικών λύσεων στις χώρες, με έναν λιγότερο ή περισσότερο αντίκτυπο στη διαδικασία της απελευθέρωσης.

Όσον αφορά την εφαρμογή της αρχής ΤΡΑ, τρία είναι τα βασικά ζητήματα που τίθενται: ο προσδιορισμός των τεχνικών και εμπορικών όρων για την πρόσβαση η λύση των διαφωνιών της πρόσβασης και του είδους του ρυθμιστικού καθεστώτος. Η οδηγία 96/92 άφησε τις χώρες μέλη ελεύθερες να επιλέξουν μεταξύ ενός διαπραγματευμένου και ενός ρυθμισμένου καθεστώτος στα πρώτα συμβαλλόμενα ανταγωνιστικά μέλη, δηλ. ο ιδιοκτήτης του δικτύου και ενός παραγωγού ή ένας λιανικός προμηθευτής συμφωνούν για τους τεχνικούς και εμπορικούς όρους της υπηρεσίας πρόσβασης. Η διαπραγματευτική δύναμη των δύο συμβαλλόμενων μελών είναι κρίσιμη στον καθορισμό του κόστους και του πεδίου της πρόσβασης. Εναλλακτικά, η τιμολόγηση και οι τεχνικοί όροι της πρόσβασης τίθενται κεντρικά από μια αρχή που μπορεί να είναι ένας τομεακός ρυθμιστής ή ένα υπουργείο, και είναι οι ίδιοι για όλα τα εμπόρια. Στον ακόλουθο πίνακα μπορούμε να δούμε ότι οι περισσότερες από τις χώρες μέλη έχουν επιλέξει ένα ρυθμισμένο καθεστώς πρόσβασης που προσφέρει περισσότερη προστασία και μια πιο ομοιόμορφη επεξεργασία στους νεοεισερχόμενους. Η μόνη σχετική εξαίρεση είναι Γερμανία,

όπου ένα διαπραγματευτικό καθεστώς έχει επιλεχτεί, και πού δεν υπάρχει καμία τομεακή-αρχή.

	Third Party Access			Type of Unbundling	Demand opening		Scores
	Access Price Setting	Disputes Solution	Type of Regulation		% eligible (2001)	Complete opening	
Austria	Regulator	Regulator	Ex-ante	Legal	100	2003	18
Belgium	Regulator	Regulator	Ex-ante	Legal	35	2007	14
Denmark	Regulator	Regulator	Ex-post	Legal	90	2003	17
Finland	Regulator	Regulator	Ex-post	Proprietary	100	1997	22
France	Ministry	Regulator	Ex-ante	Accounting	30	Unspecified	8
Germany	Negotiated	Antitrust	Ex-post	Accounting	100	1999	13
Greece	Ministry	Regulator	Ex-ante	Accounting	30	Unspecified	8
Ireland	Regulator	Regulator	Ex-ante	Legal	30	2005	14
Italy	Regulator	Regulator	Ex-ante	Proprietary	65	Unspecified	18
Luxemburg	Ministry	Ministry	Ex-ante	-	50	2007	10
Netherlands	Regulator	Regulator	Ex-ante	Legal	33	2003	15
Portugal	Regulator	Regulator	Ex-ante	Legal	30	Unspecified	12
Spain	Ministry	Regulator	Ex-ante	Legal	45	2003	15
Sweden	Regulator	Regulator	Ex-post	Proprietary	100	1998	22
UK	Regulator	Regulator	Ex-ante	Proprietary	100	1998	23

Scores:

- Access Price Setting: Regulator (3), Ministry (2), Negotiated (1)
- Disputes Solution: Regulator/Antitrust (2), Ministry (1)
- Type of Regulation: Ex-ante (2), Ex-post (1)
- Unbundling: Proprietary (8), Legal (4), Accounting (1)
- % Eligible 2001: 90-100 (4), 50-90 (3), 36-50 (2), <36 (1)
- Complete Opening <2000 (4), 2000-2003 (3), 2004-2007 (2), >2007 (1)

Πίνακας 1.2: Ευρωπαϊκό καθεστώς στον τομέα της ενέργειας

Μια δεύτερη βασική πτυχή TPA αναφέρεται στο ίδρυμα που εξετάζει τις διαφωνίες και ενεργεί ως διαιτητής. Με την αξιοσημείωτη εξαίρεση της Γερμανίας, όπου μία ειδική αρχή (antitrust) επεμβαίνει στις διαφωνίες, στις άλλες χώρες ο τομεακός ρυθμιστής ή το υπουργείο Βιομηχανίας (Ministry) που είναι υπεύθυνο για τη επίλυση της διαφωνίας. Αν και σε αυτές τις τελευταίες περιπτώσεις αναμένουμε ότι οι απαραίτητες τεχνικές ικανότητες διατίθενται, θεωρούμε πιο κατάλληλη, στο λεπτό ρόλο του διαιτητή, μια ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή που αφιερώνεται στη φιλελευθεροποίηση της βιομηχανίας παρά ένα υπουργείο, το οποίο είναι χαρακτηριστικά αρμόδιο μιας ευρύτερης σειράς πολιτικών στόχων.

Τέλος, τα εθνικά σχέδια φιλελευθεροποίησης διαφέρουν επίσης στο είδος κανονισμού που εκδίδεται για το ΤΡΑ: η πλειοψηφία των χωρών έχει επιλέξει έναν εκ των προτέρων (Ex-ante) κανονισμό, όπου ο ρυθμιστής θέτει την τιμή και τους τεχνικούς όρους εκ των προτέρων, παρά ένα εκ των υστέρων (Ex-post) καθεστώς, στο οποίο ο ρυθμιστής επεμβαίνει εκ των υστέρων στα δασμολόγια που θέτουν οι εταιρίες. Αν και και στις δύο περιπτώσεις ο ρυθμιστής έχει την τελική λέξη στους όρους πρόσβασης, υποστηρίζουμε ότι το εκ των προτέρων καθεστώς, που απαιτεί το ρυθμιστή για να ενεργήσει ως πρώτος ενεργών, τον αναγκάζει να κατανοήσει πιο αποτελεσματικά τα στοιχεία δαπανών. Ως εκ τούτου, θεωρούμε το εκ των προτέρων καθεστώς αποτελεσματικότερο.

Το δεύτερο κρίσιμο ζήτημα στο σχέδιο του σχεδίου φιλελευθεροποίησης είναι το καθεστώς διαχωρισμού (Unbundling) που επιλέγεται. Έχουμε σχολιάσει ήδη την αδύνατη αποτελεσματικότητα της λύσης του λογιστικού (Accounting) διαχωρισμού (μέτοχοι), σε σύγκριση με το νομικό (Legal) και, κυρίως, ιδιόκτητο διαχωρισμό. Από τον Πίνακα 1 μπορούμε να δούμε ότι η ιδιόκτητη λύση, που μπορεί να ακυρώσει το κίνητρο του ιδιοκτήτη του δικτύου να αποκλείσει τους νεοεισερχόμενους, έχει επιλεχτεί μόνο σε μια μειονότητα των περιπτώσεων (UK, Φινλανδία, Σουηδία, Ολλανδία και, εν μέρη, Ιταλία). Δύο από τις σημαντικότερες χώρες, Γαλλία και Γερμανία, έχουν επιλέξει το λογιστικό διαχωρισμό, ο οποίος αποτρέπει μετά βίας τη διαστρέβλωση από τον κατέχοντα το μεγαλύτερο μερίδιο (μέτοχο).

Η ταχύτητα υλοποίησης και τα ποσοστά απελευθέρωσης διαφέρουν από χώρα σε χώρα με την αξιοσημείωτη εξαίρεση της Γαλλίας, και συνήθως η διαδικασία είναι γρηγορότερη από τις αρχικές προθεσμίες που είχαν τεθεί στις κοινοτικές οδηγίες. Οι Σκανδιναβικές χώρες και το Ηνωμένο Βασίλειο (UK) είχαν ολοκληρώσει ήδη τη διαδικασία τους προτού εκδοθούν οι οδηγίες, ενώ στις περισσότερες χώρες το πλήρες άνοιγμα έχει σχεδόν υλοποιηθεί. Παρόλα αυτά σε μερικές σημαντικές χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Ιταλίας και της Γαλλίας, μια τελική ημερομηνία για τη ολοκλήρωση της διαδικασίας δεν έχει τεθεί.

Η ανομοιογενής εικόνα που μόλις σχολιάσαμε δεν προκύπτει από τις συστηματικές διαφορές μεταξύ των χωρών, και το πόσο κάποιες θεωρούνται πιο προηγμένες γενικά από τις άλλες. Αντίθετα, βρίσκουμε συχνά ισχυρές χώρες που έχουν επιλέξει τις πολύ ανοικτές λύσεις και σε μερικά από τα ζητήματα και πολύ κλειστές σε άλλα. Για να δοκιμάσουμε να συνοψίσουμε, μια γενική κρίση για την αποτελεσματικότητα

των σχεδίων φιλελευθεροποίησης από τις χώρες έχουμε χρησιμοποιήσει μια διαδικασία βαθμολόγησης (Scores), με τα υψηλότερα αποτελέσματα που αντιστοιχούν σε μια πιο προηγμένη λύση. Οι λεπτομέρειες αναφέρονται κάτω από τον πίνακα, ενώ οι λόγοι για τις σχετικές αξιολογήσεις μας προέρχονται άμεσα από τα ανωτέρω σχόλιά μας.

Διαπιστώνουμε ότι οι πιο προηγμένες λύσεις έχουν υιοθετηθεί στο UK, τη Φινλανδία και τη Σουηδία, που τονίζονται με πράσινο στο Πίνακα, ο οποίος λαμβάνει τα κορυφαία αποτελέσματα σε όλα τα τρία βασικά ζητήματα της φιλελευθεροποίησης. Ένας κίτρινος βαθμός προσδιορίζει τη δεύτερη ομάδα χωρών, η οποία περιλαμβάνει τη Δανία, την Ολλανδία, την Αυστρία, την Ιταλία και την Ισπανία, των οποίων τα σχέδια είναι πολύ αποτελεσματικά σε δύο από τα τρία ζητήματα. Η Γερμανία, το Βέλγιο, το Λουξεμβούργο, η Ιρλανδία και η Πορτογαλία (άσπρο χρώμα) εμφανίζουν ικανοποιητική λύση μόνο σε ένα ενιαίο ζήτημα ενώ στο χαμηλό όριο του δείγματος βρίσκουμε τη Γαλλία και την Ελλάδα (κόκκινο), των οποίων σχέδια χαρακτηρίζονται από τις λιγότερο αποτελεσματικές λύσεις.

1.5 ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Όπως μπορούμε να δούμε από τα ανωτέρω, η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι ακόμα αρκετά πίσω στον τομέα φιλελευθεροποίησης, αλλά πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι διάφορα σημαντικά βήματα έχουν γίνει προς την πλήρη άρση των ελέγχων της αγοράς ενέργειας. Ας εξετάσουμε ποιο διεξοδικά το ενεργειακό καθεστώς της Ελλάδας.

Η οδηγία εισάγει τους κοινούς κανόνες που αφορούν την παραγωγή και την εκμετάλλευση των δικτύων για τη μετάδοση και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη για μία προοδευτική εξέλιξη και ανάπτυξη μιας εσωτερικής αγοράς στην ηλεκτρική ενέργεια, έτσι ώστε οι επιχειρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι σε θέση να προσαρμοστούν στο νέο περιβάλλον και η σημερινή ανομοιογένεια της οργάνωσης των ηλεκτρικών δικτύων θα ληφθούν υπόψη. Λόγω των δομικών διαφορών μεταξύ των κρατών μελών, υπάρχουν αυτή τη στιγμή διαφορετικά συστήματα της οργάνωσης στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας.

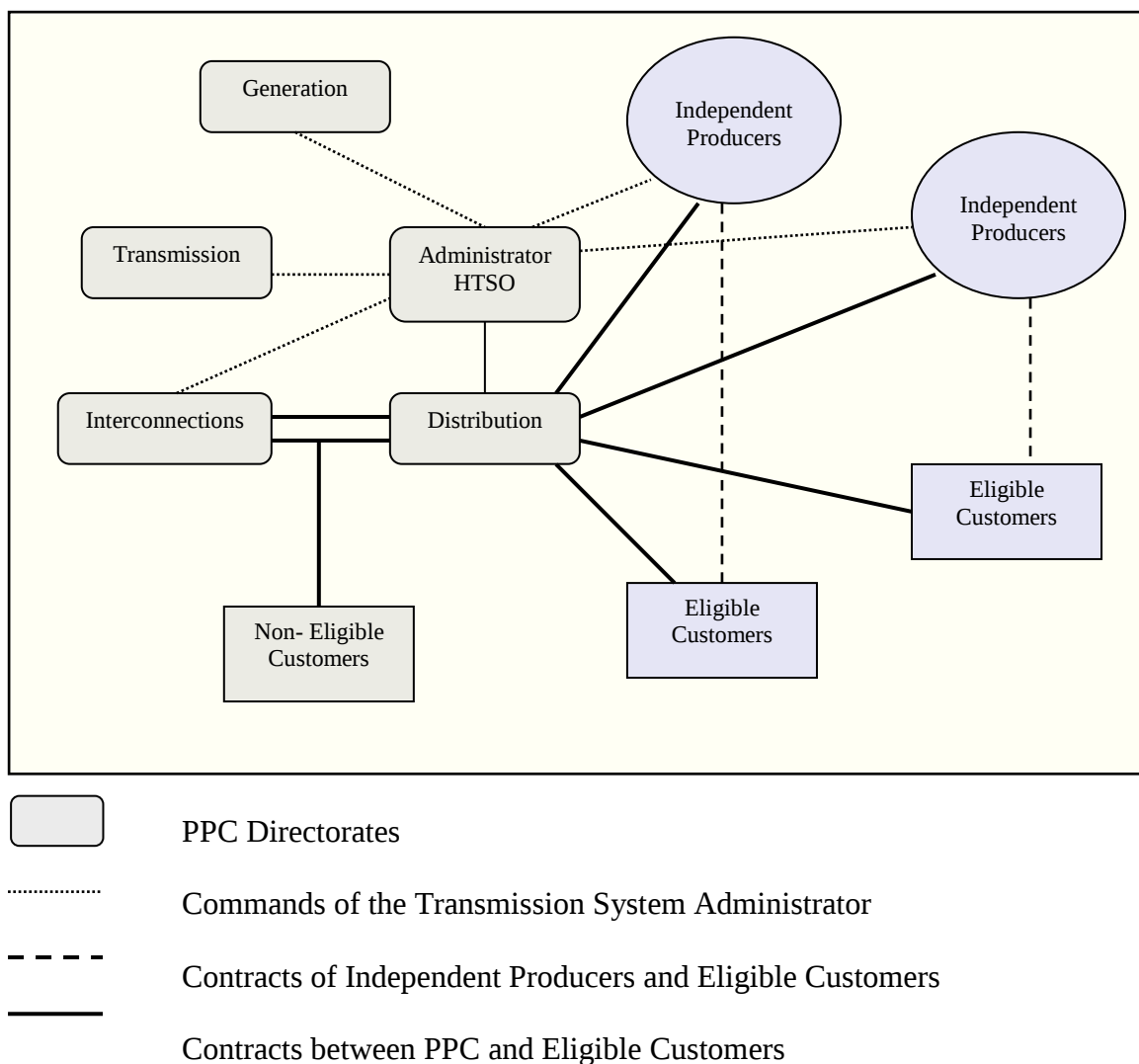
Τα κράτη μέλη έχουν θέσει ή θα θέσουν σε ισχύ τις απαραίτητες νομοθετικές

ρυθμιστικές και διοικητικές διατάξεις προκειμένου να συμμορφωθούν, με την κοινοτική οδηγία. Η Ελλάδα, λόγω των τεχνικών χαρακτηριστικών του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειάς της, έχει ένα πρόσθετο περιθώριο για την εφαρμογή της οδηγίας.

Η οδηγία και ο νομοθετικός κανονισμός που εκδίδονται από κάθε κράτος μέλος θα επιτρέψουν την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από τους ανεξάρτητους παραγωγούς, που επιλέγονται από τις ρυθμιστικές αρχές με τη χορήγηση των σχετικών αδειών, ή από μια διαδικασία υποβολής προσφορών με τα αντικειμενικά, διαφανή, και αμερόληπτα κριτήρια. Το υπουργείο ανάπτυξης της Ελλάδος έχει εφαρμόσει τις σχετικές διατάξεις και έχει ιδρύσει την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) σύμφωνα με το νομοσχέδιο 2773/99.

Ο νόμος 2773/99 ασχολείται ιδιαίτερα με τη διαφάνεια και το άνοιγμα των κάθετα ενσωματωμένων επιχειρήσεων παραγωγής, της μετάδοσης, και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κάθετα ενσωματωμένες επιχειρήσεις πρέπει να τηρήσουν χωριστούς προϋπολογισμούς και να δημοσιεύσουν χωριστούς ισολογισμούς για την παραγωγή, τη μετάδοση, και τη διανομή, ακριβώς σαν αυτές οι τρεις δραστηριότητες να εκτελούνται από τρεις διαφορετικές επιχειρήσεις. Η άρση των ελέγχων της ηλεκτρικής αγοράς ενέργειας στην Ελλάδα θα είναι βαθμιαία. Από το 2001, ισχύει για χρήστες των μέσων και μεγάλων τάσεων.

Το ακόλουθο διάγραμμα εμφανίζει τη δομή της ηλεκτρικής αγοράς ενέργειας μετά από τη αρχική φιλελευθεροποίησή του στην Ελλάδα το 2001:



Σχήμα 1.5: Δομή της Ελληνικής αγοράς ενέργειας

Το άνοιγμα της αγοράς επηρεάζει το τρόπο που η ΔΕΗ (Public Power Company PPC) δραστηριοποιείται ειδικά σε σχέση με τα κριτήριά της για την παραγωγή και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Στη ρυθμισμένη αγορά στην Ευρώπη (δηλ. η αγορά πριν από τη φιλελευθροποίηση) ο άρχων ρυθμιστής καθόριζε την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που παρήχθη από τις κάθετα οργανωμένες επιχειρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τα λειτουργικά έξοδα αυτών των οργανώσεων έτσι ώστε να υπολογιστεί μια λογική επιστροφή στις επενδύσεις που έγιναν από αυτές τις επιχειρήσεις. Καμία τέτοια διαδικασία δεν ακολουθήθηκε στην Ελλάδα. Η ΔΕΗ ήταν υποχρεωμένη (από κάθε διαδοχική κυβέρνηση) να λειτουργήσει ως κοινωνική επιχείρηση ενός κράτους κοινωνικής πρόνοιας μια επιλογή που απέκλεισε οποιαδήποτε έννοια του κέρδους ως νόμιμο στόχο επιχείρησης. Λαμβάνοντας υπόψη τον προσδοκώμενο ισχυρό ανταγωνισμό στον

τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, η ΔΕΗ σύντομα, θα αναγκαστεί να αλλάξει τους στόχους της λειτουργίας και διαχείρισης.

Όσον αφορά στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το θέμα της φιλελευθεροποίησης αφορά τους επιλεγμένους 8.500 πελάτες που χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια μέσης και υψηλής τάσης. Θεωρητικά αυτοί οι πελάτες έχουν τώρα την προαιρετική νομική δυνατότητα να λάβουν την ηλεκτρική ενέργειά τους από παραγωγούς εκτός τη ΔΕΗ. Υπολογίζεται ότι ο ανταγωνισμός θα αρχίσει πρώτα από τις εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας και στους πιο μακροπρόθεσμα από τις νέες εγκαταστάσεις που αναμένονται. Ως αποτέλεσμα της μεγάλης αύξησης στην απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται ότι από το έτος 2004 και μετά μια νέα μονάδα **450MW** απαιτείται κάθε νέο έτος να προστεθεί στο σύστημα κατά τη διάρκεια των επόμενων 10 ετών.

Η μεγάλη προβλεπόμενη ζήτηση για την ηλεκτρική ενέργεια αναμένεται για να οδηγήσει στο σοβαρό ανταγωνισμό και για να ενθαρρύνει την κατασκευή των νέων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (θερμοηλεκτρική, ανανεώσιμη).

Στις 19 Φεβρουαρίου ..2001 θεωρητικά το 34% της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας φιλελευθεροποιήθηκε. Μέχρι τον Μάρτιο του 2001 η ΡΑΕ είχε λάβει 966 αιτήσεις από τις επιχειρήσεις που επιθυμούν να παραγάγουν ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα με τις προτάσεις για μια συνολική εγκατεστημένη ικανότητα **20,130 MW**. Στον πίνακα που ακολουθεί οι δίνονται η συνοπτικά η ανάλυση των αιτήσεων που παρελήφθησαν από την ΡΑΕ για διαφορετικούς τύπους καυσίμων.

Applications for Electricity Generation		
	Number of Applications	Capacity (MW)
Total Number of Applications Subsite	966	20.130
Of which		
Thermoelectric Plants	56	6.896
Large Hydro	13	871
Small Hydro	267	637
Wind	692	10.490
Biomass	34	383
Geothermal	6	336
Solar	16	7
Other	1	0
Licenses	4	1.120

Πίνακας 1.3: Αιτήσεις για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Licenses	
Company	Capacity (MW)
ATEL HELLAS	360
CINERGY -ATE AE- ENERGA SA	300
ENELPOWER	250
ENRON POWER	210

Πίνακας 1.4: Άδειες

Τέσσερις από τις ανωτέρω αιτήσεις εγκρίθηκαν από την ΡΑΕ. Αναμένεται ότι η κατασκευή των πρώτων μεγάλων εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας που θα λειτουργήσουν στα πλαίσια της νέας αγοράς, δεν πρόκειται να συμβεί εν τούτοις πριν από το 2009. Παράλληλα η ΡΑΕ συνεργάζεται με τον ανεξάρτητο διαχειριστή συστήματος “Independent System Operator (ISO)” δηλαδή την Α.Ε. **ΔΕΣΜΗΕ** για να εισαγάγει κάποιο τύπο ανταγωνισμού στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των διαφορετικών μονάδων της ΔΕΗ βασισμένων ανά μία ώρα αναφορές τιμών στο σύστημα.

Συγχρόνως, προωθεί συστηματικά την ολοκλήρωση των εργασιών για την κατασκευή του δικτύου φυσικού αερίου καθώς επίσης και τον εκσυγχρονισμό της χώρας σε αυτό το πεδίο, παρά τη δεκαπενταετή εξαίρεση από την ευρωπαϊκή κοινοτική οδηγία και μια σειρά παρεκκλίσεων από την εφαρμογή των διατάξεων της σχετικής οδηγίας, λόγω ενός ειδικού καθεστώτος (προκύπτουσα αγορά, εξάρτηση σε έναν βασικό ξένο προμηθευτή, μη - συνδεδεμένο σύστημα, κ.λπ.). Επιπλέον, σημαντικές πρωτοβουλίες προωθούνται περιλαμβάνοντας την ενίσχυση συνεργασίας της Ελλάδας της στο ενεργειακό πεδίο με τις χώρες των περιοχών της Κασπίας και της Μαύρης Θάλασσας, καθώς επίσης και την ανάπτυξη μιας ανταγωνιστικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην νότιο ανατολική Ευρώπη. Οι ευνοϊκές προοπτικές είναι προφανείς για την ενίσχυση του ομίλου *Southern Energy Dimension* και της μεσογειακής συνεργασίας *European - Mediterranean Energy* όπου η Ελλάδα μπορεί και πρέπει να διαδραματίσει έναν αποφασιστικό ρόλο. Όσο αφορά τη δυνατότητα της Ελλάδος να εισάγει ηλεκτρική ενέργεια από τις χώρες που δεν είναι μέλη της ΕΕ προκειμένου να παρασχεθούν με ενέργεια μερικοί επιλεγμένοι πελάτες μεγάλης κατανάλωσης στην ελληνική αγορά, το καθεστώς στην Ελλάδα ως σήμερα έχει ως εξής.

Ο νόμος 2773/2212-1999, στο άρθρο 24, απαγορεύει την εισαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας για τον ανεφοδιασμό των επιλέξιμων πελατών, δεδομένου ότι υπάρχουν τρεις όροι που ένας προμηθευτής πρέπει να ικανοποιεί προκειμένου να χορηγηθεί μια άδεια για την παροχή:

- α) Άδεια λειτουργίας και να είναι εγκατεστημένος σε μέλος κράτος της ΕΕ.
- β) Ο προμηθευτής πρέπει να εγγυηθεί και να διατηρήσει την απαραίτητη συμφωνημένη παραγωγή ενέργειας στο εσωτερικό του μέλους κράτους που είναι εγκατεστημένος και ότι αυτή δεν θα μειωθεί με την εξαγωγή ενέργειας σε άλλο μέλος κράτος της ευρωπαϊκής ένωσης.
- γ) Εγγυημένη ικανότητα του δικτύου μετάδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας και των διασυνδέσεων του.

Με βάση τα παραπάνω η ΔΕΗ δεν θα είναι σε θέση πλέον να εισαγάγει ηλεκτρική ενέργεια από μια τρίτη χώρα η οποία δεν είναι μέλος της ΕΕ.

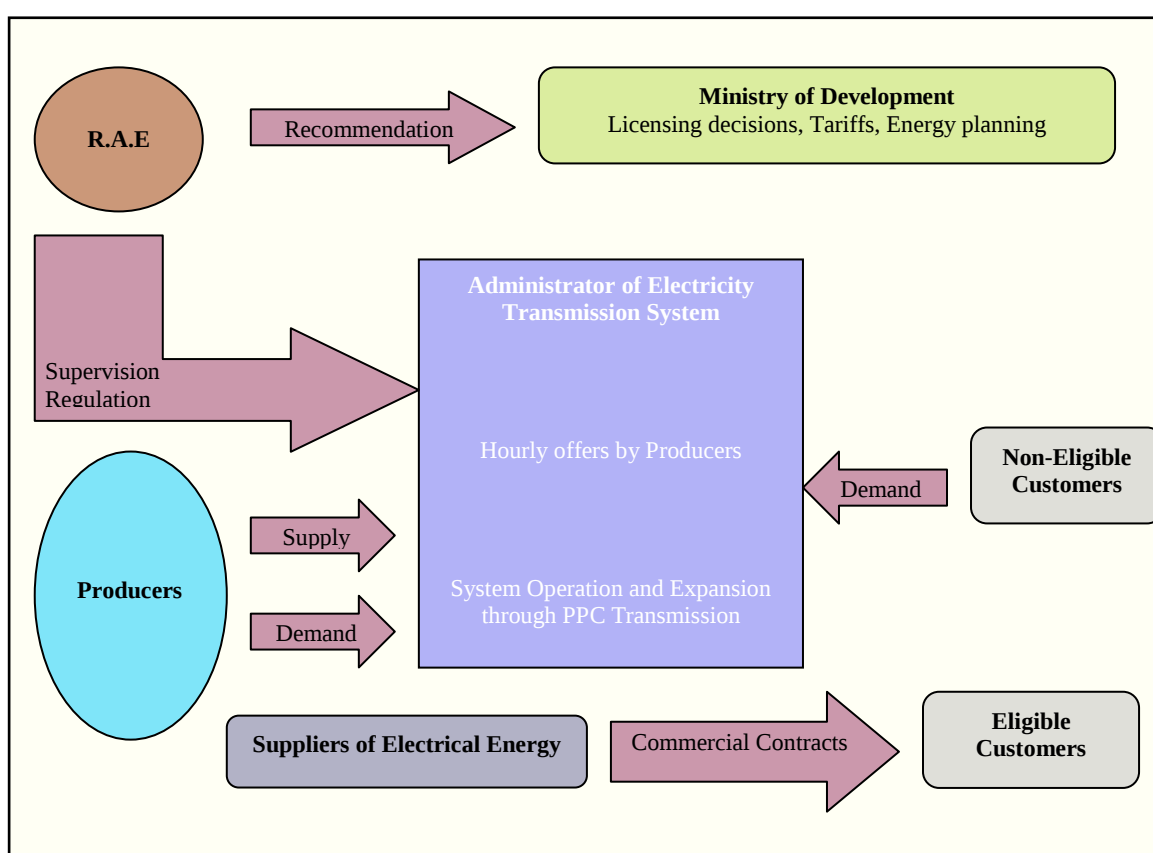
Ανεξάρτητα από τις ρητές διατάξεις του νόμου 2773/22-12-1999 που το απαγορεύουν αυτό, κύκλοι ελληνικοί αλλά και της Κοινότητας ασχολούνται με το ζήτημα εάν είναι πραγματικά επιτρεπτό να εισαχθεί η ηλεκτρική ενέργεια για τον ανεφοδιασμό ειδικών πελατών από κράτη όχι μέλη της ΕΕ. Μια θέση που υποστηρίζεται από το ευρωπαϊκό συμβούλιο εμφανίζεται στο έγγραφο που τιτλοφορείται “*Second Report to the Council and the European Parliament on Harmonization Requirements*”. Οδηγία 96/92/EC σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά στην ηλεκτρική ενέργεια.

Το συμβούλιο εκφράζει τη βασική άποψη ότι το κύριο χαρακτηριστικό του ανοίγματος της ηλεκτρικής αγοράς ενέργειας δυνάμει της οδηγίας 96/92 είναι η ύπαρξη της αμοιβαιότητας (ποιοτικής και ποσοτικής) μεταξύ των κρατών που αποφασίζουν να συμμετέχουν στις ανταλλαγές της ηλεκτρικής ενέργειας, και την τήρηση των ισοδύναμων προτύπων προστασίας περιβάλλοντος. Πέρα από αυτό, το συμβούλιο επιφυλάσσεται στο εάν οι παροχές ενέργειας αυτού του τύπου ορίζουν το πεδίο για την αμοιβαιότητα, και τελικά αφήνει την επίλυση του θέματος στις διαδικασίες διμερούς συμφωνίας.

Το λογικό συμπέρασμα που συνάγεται είναι ότι το ευρωπαϊκό συμβούλιο δεν θεωρεί τις παροχές ενέργειας αυτές των διμερών συμφωνιών κίνδυνο για το νέο καθεστώς της φιλελευθεροποιημένης αγοράς ενέργειας όπως αυτό περιγράφεται στην κοινοτική οδηγία 96/92 και, κατ' επέκταση, ανατρεπτικές για τις διατάξεις των νόμων με τις οποίες οι κοινοτικές οδηγίες έχουν ενσωματωθεί στην εθνική

νομοθεσία των κρατών μελών. Η περίπτωση διμερών συμφωνιών παραμένει μια ανοικτή ερώτηση. Στην περίπτωση της Ελλάδας, η δυνατότητα εισαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τις χώρες με τις οποίες μοιράζεται τα σύνορα της (Τουρκία, ΠΓΔΜ, Αλβανία) και που δεν ανήκουν στην ΕΕ εξαρτάται, συνεπώς, από τις πραγματικές δυνατότητες σύναψης διμερών συμφωνιών με αυτές τις χώρες υπό τους όρους που τίθενται από το ευρωπαϊκό συμβούλιο.

Το ακόλουθο σχήμα επιδεικνύει με γραφικούς όρους πώς η αγορά ενέργειας οργανώνεται και πώς αυτό αναμένεται να λειτουργήσει.



Σχήμα 1.6: Πώς αναμένεται να λειτουργήσει η αγορά ενέργειας

Σε αυτό το σημείο ας ρίξουμε μια ματιά στους ρόλους των συμμετεχόντων της ελληνικής αγοράς ενέργειας:

Υπουργείο Ανάπτυξης

Σύμφωνα με τον ελληνικό νόμο 2773/1999, που δημοσιεύτηκε στην εφημερίδα της κυβέρνησης Α286, το υπουργείο ανάπτυξης, ακολουθώντας την άποψη της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ), χορηγεί άδειες παραγωγής και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης και τις άδειες του Διαχειριστή του συστήματος μετάδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας και ορίζει την ΔΕΗ ως διαχειριστή του δικτύου διανομής. Εκδίδει επίσης, σύμφωνα με τις οδηγίες της ΡΑΕ, τις κανονιστικές διατάξεις που περιλαμβάνουν τα εξής:

- 1 κανονισμοί αδειών (εγκ. 1498/8-12-2000)
- 2 κανονισμοί παροχής στους πελάτες
- 3 κώδικας των συναλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας
- 4 κώδικας της διαχείρισης του συστήματος μετάδοσης
- 5 κώδικας της διαχείρισης του δικτύου παροχής

Το υπουργείο ανάπτυξης, με την σύμφωνη γνώμη της ΡΑΕ, εγκρίνει και ρυθμίζει όλα τα θέματα δασμολογίων πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στους μη-επιλέξιμους (non-eligible) πελάτες και τα θέματα τιμών και κόστους της διασύνδεσης στο σύστημα μετάδοσης και το δίκτυο γενικά.

Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ, ΡΑΕ)

Η ΡΑΕ (αγγλικός όρος είναι, Regulatory Energy Authority, RAE) είναι μία ανεξάρτητη διοικητική αρχή που λειτουργεί από την 1η Ιουλίου 2000. Ο ρόλος της είναι να υποβάλει απόψεις, και προτάσεις και έχει την επίβλεψη για όλους τους τομείς της ενέργειας.

Ο σκοπός της ΡΑΕ είναι να διευκολυνθεί ο ελεύθερος και υγιής ανταγωνισμός στην αγορά ενέργειας, με σκοπό την παροχή, μιας καλύτερης και πιο οικονομικής υπηρεσίας στους καταναλωτές (άτομα και επιχειρήσεις). Είναι επίσης υπεύθυνη για την επιτήρηση των επιχειρήσεων στον τομέα της ενέργειας έτσι ώστε να αναπτύσσονται κατά τρόπο υγιή και να αποτελέσουν όργανα για την ανάπτυξη και την απασχόληση. Ελέγχει και κάνει τις προτάσεις σχετικά με τις τιμές, τη λειτουργία της αγοράς, και τη χορήγηση των αδειών.

Σκοπός της ΡΑΕ είναι επίσης να εξυπηρετηθούν, στα πλαίσια της φιλελευθεροποιημένης αγοράς, οι μακροπρόθεσμοι στρατηγικοί στόχοι της

ενεργειακής πολιτικής και του δημόσιου ενδιαφέροντος. Τέτοιοι στόχοι είναι επαρκής, αξιόπιστος και δίκαιος ανεφοδιασμός όλων των καταναλωτών, ασφάλεια του ανεφοδιασμού της χώρας, το περιβάλλον, η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, νέες τεχνολογίες, η αποτελεσματική χρήση και ανεφοδιασμός της ενέργειας, και η εξασφάλιση μιας επαρκούς υποδομής για την ενέργεια. Η ενσωμάτωση στην αγορά των στόχων του μακροπρόθεσμου ενεργειακού προγραμματισμού είναι ίσως η δυσκολότερη και βασική εργασία της ΡΑΕ.

Η ΡΑΕ συμμετέχει επίσης με μορφές διεθνούς συνεργασίας και με τις χώρες των Βαλκανίων και της Ασιατικής Ευρώπης και με τις χώρες της ΕΕ, όπου σημαντικές νομικές αλλαγές πραγματοποιούνται, εν όψει της ύπαρξης μιας ενιαίας ανταγωνιστικής εσωτερικής αγοράς ενέργειας. Είναι φιλοδοξία της ΡΑΕ να αναπτυχθούν στο χώρο των Βαλκανίων ενιαίοι μηχανισμοί στο πλαίσιο της αγοράς ενέργειας, στόχος που αποτελεί για την Ελλάδα στρατηγικό σημείο ανάπτυξης της.

Η προώθηση της δημιουργίας μίας μελλοντικής διευρυμένης αγοράς ενέργειας είναι ένας από τους κύριους στόχους της ΡΑΕ, αλλά η οποία συνοδεύεται με εξομάλυνση των απότομων διακυμάνσεων στις τιμές και τις οικονομίες που μία διεύρυνση θα μπορούσε να επιφέρει, έτσι ώστε οι καταναλωτές να λαμβάνουν μια πιο οικονομική υπηρεσία, και το ρίσκο που οι ενεργειακοί προμηθευτές αναλαμβάνουν είναι μειωμένο.

Ανεξάρτητος Διαχειριστής Συστήματος (ISO)

Ο ανεξάρτητος διαχειριστής του συστήματος “Independent System Operator (ISO)” ιδρύθηκε όπως διατάζει η κοινοτική οδηγία μετά από το Ελληνικό Προεδρικό Διάταγμα 328/12-12-2000 (ε.κ. Α268) και είναι ήδη σε λειτουργία. Τον ρόλο αυτό τον έχει αναλάβει η *Ανώνυμη Εταιρία Α.Ε. ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μετάδοσης Ηλεκτρικής Ενέργειας)*. Η ΔΕΣΜΗΕ είναι μια μετοχική επιχείρηση με κύριο μέτοχο το ελληνικό δημόσιο και η κύρια αρμοδιότητα του είναι το σύστημα μετάδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας και τις διασυνδέσεις, που παρέχουν την ίση πρόσβαση σε όλους τους παραγωγούς και τους χρήστες του συστήματος.

Η ΔΕΣΜΗΕ λειτουργεί, συντηρεί και είναι αρμόδιο για την ανάπτυξη του συστήματος μετάδοσης σε όλη τη χώρα, καθώς επίσης και των διασυνδέσεων, με σκοπό την εξασφάλιση του ανεφοδιασμού της χώρας με την ηλεκτρική ενέργεια με έναν τρόπο που είναι επαρκής, ασφαλής, και οικονομικά αποδοτικός και

αξιόπιστος. Επιπρόσθετα, η ΔΕΣΜΗΕ συγγράφει και δημοσιεύει, τουλάχιστον κάθε δύο έτη αναλογιστικές μελέτες με προβλέψεις ως προς τη δυνατότητα της παραγωγής και της μετάδοσης έτσι ώστε να καλυφθεί πιθανή αύξηση στην ζήτηση για ενέργεια μελλοντικά, τις ανάγκες της διασύνδεσης με άλλα δίκτυα. Αυτές οι προβλέψεις καλύπτουν την επόμενη πενταετή περίοδο.

Η ΔΕΣΜΗΕ εφαρμόζει τους κανονισμούς σχετικά με την κρατική φορολόγηση για τις διαθέσιμες εγκαταστάσεις παραγωγής και αποκαθιστά τις οικονομικές συναλλαγές όταν υπάρχουν σε αυτές αποκλίσεις στην προσφορά και τη ζήτηση, καθώς επίσης διαχειρίζεται τις πληρωμές για τις βοηθητικές υπηρεσίες και τις άλλες υπηρεσίες δημόσιου-ενδιαφέροντος που σχετίζονται με την ενέργεια. Διαχειρίζεται τις νέες προτάσεις διασυνδέσεων και γενικά την χρήση των διασυνδέσεων, την παροχή των βοηθητικών υπηρεσιών, και των όλων προμηθειών του συστήματος μετάδοσης όποτε χρειαστεί.

Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ, PPC)

Από την αρχή του 2001, η ΔΕΗ λειτουργεί ως μετοχική επιχείρηση με κύριο μέτοχο το Ελληνικό Δημόσιο. Παραμένει μία κάθετα ενσωματωμένη επιχείρηση, αλλά διαιρείται στους τομείς λογιστικής, παραγωγής, μετάδοσης, διανομής και εξόρυξης πρώτων υλών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός ότι αποτελεί πλέον μια εμπορική επιχείρηση ηλεκτρισμού και όχι δημόσια επιχείρηση κοινωνικού ενδιαφέροντος (δηλ. την ενδιαφέρει το κέρδος), η ΔΕΗ έχει έναν σημαντικό νομικό ρόλο ως **αποκλειστικό ιδιοκτήτη** του συστήματος μετάδοσης, ως αποκλειστικό ιδιοκτήτη και διαχειριστή του δικτύου διανομής, και ως διαχειριστής των συστημάτων μετάδοσης και διανομής των αυτόνομων μη-διασυνδεμένων νησιών με το δίκτυο (πχ. Κρήτη). Συμπερασματικά, η ΔΕΗ έχει γίνει ένας ανεξάρτητος διαχειριστής δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, IPNO (Independent Power Network Operator).

1.6 Η ΠΡΟΤΑΣΗ

Αν και έχουν γίνει σημαντικά βήματα προς την πλήρη απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, ακόμα ο καταναλωτής δεν είναι σε θέση να επιλέξει έναν ή περισσότερους διαφορετικούς προμηθευτές κατά την διάρκεια της ημέρας ώστε να επιτύχει τις χαμηλότερες τιμές πώλησης της ενέργειας κάθε φορά και συνεπώς την βέλτιστη δυνατή οικονομία.

Μπορούμε να έχουμε ένα **δίκτυο ενέργειας που είναι διαδραστικό**. Ο καταναλωτής ανά πάσα στιγμή, γνωρίζει το ποσό της ενέργειας που έχει καταναλώσει και ξέρει την ακριβή αξία της καταναλώσας ηλεκτρικής ισχύος. Θα είναι σε θέση να επιλέξει τον παραγωγό ή τους παραγωγούς από τους οποίους αγοράζει την ενέργεια. Από τη άλλη πλευρά, ο παραγωγός ξέρει ακριβώς πόση ενέργεια πρέπει να παραγάγει και για ποιους. Για να έχουμε αυτό το είδος διαδραστικού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχουν μερικές σημαντικές πτυχές που πρέπει να πάρουμε υπό εξέταση όπως, το είδος της υποδομής τηλεπικοινωνιών που απαιτείται, το είδος των πληροφοριών που απαιτούνται μέσα στο δίκτυο ενέργειας, πώς αυτές οι πληροφορίες θα σταλούν και θα ληφθούν (πρωτόκολλα) από τους συμμετέχοντες αυτού του δικτύου (παραγωγός, καταναλωτής, διαχειριστής δικτύων ή πιθανών μεσάζον).

Τα ακόλουθα κεφάλαια θα μας βοηθήσουν να δούμε αυτήν την πρόταση με έναν πιο αναλυτικό τρόπο.

2. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΩΝ

Όταν μιλάμε για μια διαδραστική πλήρως απελευθερωμένης αγορά ενέργειας αναφερόμαστε σε μια πελατοκεντρική αγορά ενέργειας όπου ο πελάτης ενέργειας μπορεί να αγοράσει την ενέργεια από πολλούς προμηθευτές οποιαδήποτε στιγμή με την μορφή των συμβάσεων ή ακόμα και στη μορφή των προσφορών μέσω ιντερνέτ. Ο πελάτης θα πρέπει να λάβει τον τιμοκατάλογο για τη ενέργεια από όλους τους προμηθευτές περιοδικά (δηλ. μία φορά ανά ημέρα). Η τιμή της δύναμης μπορεί να ποικίλει ανάλογα με πολλές παραμέτρους όπως η εποχή, η ημέρα της εβδομάδας, ο χρόνος της ημέρας, οι καιρικές συνθήκες σε περίπτωση ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές, η προσφορά και η ζήτηση κ.λπ., αλλά η τιμή θα παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια εκείνης της περιόδου (αυλάκωση) που την καλούμε *αυλάκωση χρόνου/ περίπτωσης time/case slot*.

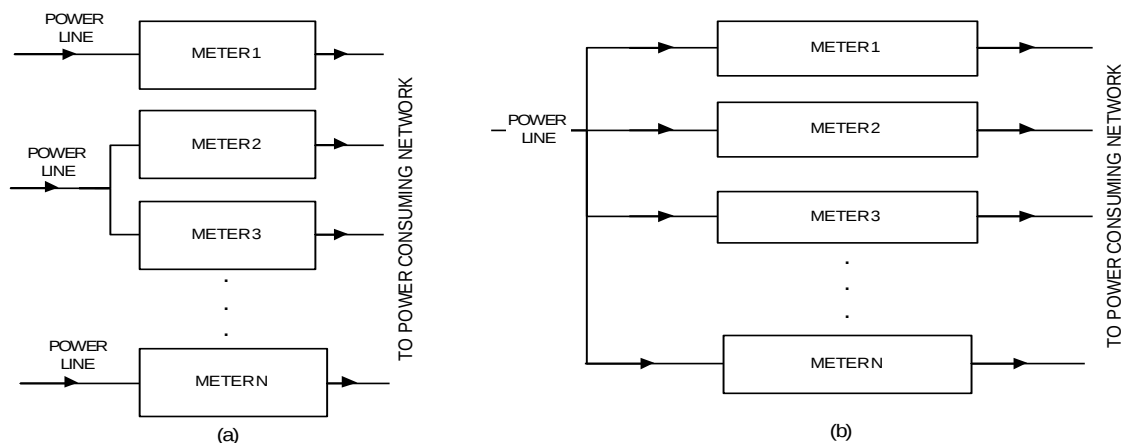
Ο πελάτης μπορεί επίσης να αγοράσει ένα πακέτο πώλησης της ενέργειας που θα περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους προμηθευτές, και συνεπώς θα μπορεί να αγοράσει (καταναλώσει) ενέργεια από πολλούς διαφορετικούς προμηθευτές.

Στη *παράγραφο 2.1* παρουσιάζονται οι μέθοδοι μεταγωγής (Switching) μεταξύ των πολλαπλών προμηθευτών καθώς και οι μέθοδοι μετρήσεων (metering) των χαρακτηριστικών της ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια στη *παράγραφο 2.2* περιγράφονται, τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά ενός μετρητή κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος πολλαπλών προμηθευτών που μπορεί να υποστηρίξει τις διαφορετικές καταγραφές αυλακώσεων χρόνου/περίπτωσης (time/case slot) για κάθε προμηθευτή. Στην *παράγραφο 2.3* περιγράφεται ο *σχεδιασμός το λογισμικού Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS)* καθώς και του *Αλγόριθμου* διαχείρισης ηλεκτρικών φορτίων του πελάτη στο μετρητή. Συγκεκριμένα περιγράφεται, το σχέδιο μεταγωγής προμηθευτών και σύνδεσης- αποσύνδεσης των ηλεκτρικών φορτίων του πελάτη.

2.1 ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Ένας πελάτης ενέργειας που επιθυμεί να αγοράσει τη ενέργεια από πολλούς προμηθευτές θα μπορούσε να έχει ένα μετρητή ηλεκτρικής ισχύος για κάθε προμηθευτή. Οι προμηθευτές θα μπορούσαν να διανείμουν τη ενέργεια τους μέσω πολλαπλών διαφορετικών δικτύων διανομής. Ένας πελάτης ενέργειας μπορεί να είναι συνδεδεμένος με περισσότερα από ένα δίκτυα διανομών (σπάνια περίπτωση), όπως

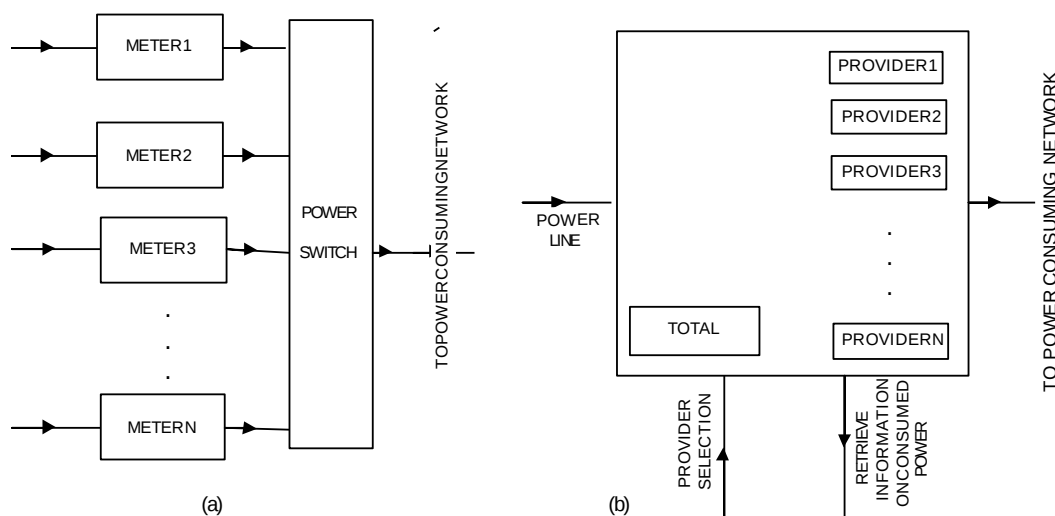
αυτό εμφανίζεται στο σχήμα 2.1.a, όπου κάθε δίκτυο διανομής μπορεί να παράσχει ενέργεια από έναν ή περισσότερους προμηθευτές στο δίκτυο κατανάλωσης του πελάτη. Η πιο συνηθισμένη περίπτωση εν τούτοις, είναι ο πελάτης να είναι συνδεδεμένος μόνο με ένα δίκτυο διανομής όπως εμφανίζεται στο σχήμα 2.1.b και όλοι οι N προμηθευτές τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια το δίκτυο κατανάλωσης στις εγκαταστάσεις του πελάτη μέσω του ίδιου ηλεκτροφόρου καλωδίου παροχής.



Σχήμα 2.1: Μετρώντας N προμηθευτές στις εγκαταστάσεις του πελάτη

Όταν μια ανεξάρτητη συσκευή μέτρησης χρησιμοποιείται για κάθε προμηθευτή, ένας μεταγωγέας απαιτείται για να συνδέει κάθε φορά τον πελάτη με τον προμηθευτή που θα του παράσχει την ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο κατανάλωσης του όπως αυτό απεικονίζεται στο σχήμα 2.2a. Το είδος του μεταγωγέα που χρησιμοποιείται δεν προκαλεί στιγμιαία διακοπή ισχύος κατά την μεταγωγή.

Στην πιο συνήθη περίπτωση, όπου υπάρχει ένα δίκτυο διανομής και όλοι οι προμηθευτές συμφωνούν για μια κοινή συσκευή μέτρησης κατανάλωσης, ένας διαφορετικός μετρητής προτείνεται και εμφανίζεται στο σχήμα 2.2b. όπου η **μεταγωγή λογιστικής πραγματοποιείται, αντί της μεταγωγής ηλεκτρικής ισχύος.**



Σχήμα2.2: Εναλλαγή προμηθευτών και μετρήσεις

2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΗΤΗ

Ο προτεινόμενος ψηφιακός μετρητής ηλεκτρικής ισχύος (Σχήμα 2.2b) κρατά διαφορετικούς απαριθμητές (counters) για κάθε έναν από τους προμηθευτές N καθώς επίσης και έναν απαριθμητή για τη συνολική καταναλωμένη ισχύ. Δύο θύρες διαεπικοινωνίας απαιτούνται για τη λειτουργία του μετρητή. Από την πρώτη θύρα, εισάγονται οι καταναλωτικές εντολές για την μεταγωγή στον επιλεγμένο προμηθευτή. Από την δεύτερη θύρα, εξάγονται οι αποθηκευμένες πληροφορίες σχετικά με τις μετρήσεις της καταναλωμένης ηλεκτρικής ισχύος των διαφόρων απαριθμητών που μπορούν να διαβαστούν από τον καταναλωτή ή από την αντιπροσωπία μετρήσεων/τιμολόγησης.

Η δεύτερη θύρα μπορεί να είναι διπλή προκειμένου να υπάρξουν οι χωριστές συνδέσεις για τον πελάτη και για την τιμολογούσα εταιρεία. Δεν θα χρειάζεται προσωπικό μετρήσεων θα μπορούσε η αντιπροσωπία να συλλέγει τα δεδομένα τιμολόγησης με την βοήθεια ενός μόνιμα συνδεδεμένου στον ψηφιακό μετρητή, modem και της τηλεφωνικής γραμμής ή μέσω ασύρματης απομακρυσμένης επικοινωνίας.

Κάθε προμηθευτής μπορεί να έχει έναν διαφορετικό καθημερινό τιμοκατάλογο σύμφωνα με την εποχή, την ημέρα της εβδομάδας ή τον τύπο ημέρας γενικά. Ο πίνακας 2.1 παρουσιάζει τους απαριθμητές που υπάρχουν στο μετρητή για κάθε έναν από τους προμηθευτές N που ο μετρητής μπορεί να υποστηρίξει, μαζί με την ωριαία αυλάκωση χρόνου/περίπτωσης (time/case slot). Κάθε απαριθμητής συσσωρεύει

τα καταναλωμένα ποσά ηλεκτρικής ισχύος, πραγματικής και άεργου, για κάθε ώρα της ημέρας (time/day slot), και για κάθε τύπο ημέρας (περίπτωση).

Ο καθορισμός του τύπου της ημέρας, που από εδώ και στο εξής θα τον καλούμε με την συντόμευση **DT** (Day Type), δηλαδή η στήλη του πίνακα που είναι ενεργός καθημερινά από κάθε προμηθευτή (πχ. Δευτέρα, Τρίτη...Κυριακή, ειδική ημέρα 1 κτλ) δίνεται στο μετρητή από το δίκτυο διανομής μέσω του καλωδίου παροχής του ηλεκτρισμού με την μορφή ψηφιακά κωδικοποιημένου σήματος, **σηματοδότηση PLC¹**. Επίσης η ενεργός αυλάκωση κάθε φορά της ώρας της ημέρας time/day slot, που θα την καλούμε από εδώ και στο εξής με την συντόμευση **ToD** (Time of Day), που αντιστοιχεί στο επιλεγμένο DT δίνεται στο μετρητή επίσης από το δίκτυο μέσω της σηματοδότησης PLC. Από τα N κελιά του πίνακα 2.1 μόνο ένα κελί είναι ενεργό κάθε χρονική στιγμή. Ο πελάτης μπορεί μόνο να επιλέξει τον προμηθευτή, με άλλα λόγια προσδιορίζει ποιος πίνακας προμηθευτή θα είναι ο ενεργός αφού μόνο ένας πίνακας επιτρέπεται να είναι ενεργός κάθε χρονική στιγμή.

Time/date	Mondays	Tuesdays	...	Sundays	Special 1	Special 2	...	Special L
00:00	234/23	0	...	322/32	234/43	0	...	0
01:00	254/34	0	...	365/43	435/31	0	...	0
02:00	265/54	0	...	354/56	345/42	3456/89	...	0
03:00	234/22	264/22	...	365/12	654/53	0	...	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
22:00	2345/102	3465/189	...	2346/198	7689/345	4356/89	...	0
23:00	2543/104	3645/198	...	3234/196	3333/124	7689/99	...	0

Πίνακας 2.1: Οι απαριθμητές του μετρητή για κάθε προμηθευτή

Το σύστημα προσδιορίζει αυτόματα την ενεργό σειρά (ToD) και τη στήλη (DT) κάθε φορά, στον επιλεγμένο πίνακα (προμηθευτή), ανά μία ώρα και στέλνει την πληροφορία πίσω στο σύστημα μέσω του δικτύου διανομής χρησιμοποιώντας την σηματοδότηση **PLC**.

¹ **σηματοδότηση PLC, Power Line Carrier (PLC) signaling.** Μέθοδος μεταφοράς ψηφιακής πληροφορίας δια μέσου ηλεκτροφόρου καλωδίου υψηλής τάσης.

Οι *ειδικές ημέρες (Special)* χρησιμοποιούνται σε ημέρες όπως εορτές, εθνικοί επέτειοι και άλλες αργίες γενικά αλλά όχι για τις Κυριακές που πρέπει να αντιμετωπίζονται διαφορετικά. Επίσης χρησιμοποιούνται από τους προμηθευτές, ηλεκτρικής ενέργειας από **Ανανεώσιμες Πηγές**, που μπορούν να έχουν διαφορετική *τιμολόγηση* βασισμένη στις καιρικές συνθήκες ή οποιοδήποτε άλλο λόγο.

Οι διάφοροι τιμοκατάλογοι προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν να αποσταλούν επίσης από το δίκτυο διανομής μέσω PLC signaling και για κάθε προμηθευτή σε συγκεκριμένους χρόνους κατά την διάρκεια της ημέρας. Επιπλέον, μπορούν να δημοσιευθούν στο διαδίκτυο ή στις τοπικές εφημερίδες για κάθε προμηθευτή. Μπορεί επίσης να δημοσιεύεται ο ισχύον μηνιαίος τιμοκατάλογος, για όλες τις ημέρες του τρέχων μήνα ή ακόμα της εποχής του χρόνου.

Εναλλακτικά στην *σηματοδότηση PLC* θα μπορούσε η *διαεπικοινωνία* του μετρητή με το δίκτυο διανομής να γίνει αυτοματοποιημένα και πάλι μέσω του ιντερνέτ και της τηλεφωνικής γραμμής συνδεδεμένη μόνιμα στο μετρητή ή μέσω μια μορφής ασύρματης απομακρυσμένης επικοινωνίας όπως ένα ευρύ δίκτυο Wi-fi.

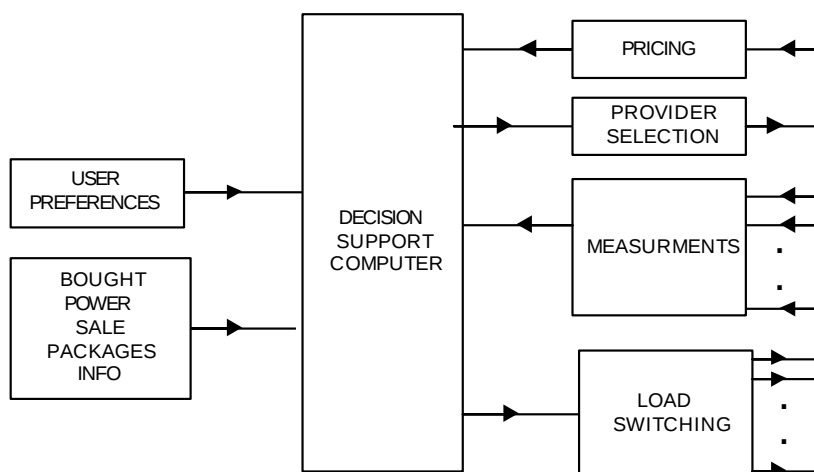
Ο προτεινόμενος μετρητής πρέπει να είναι σε θέση να :

1. Καταγράφει και να αποθηκεύει τις παραμέτρους της ηλεκτρικής ισχύος από κάθε προμηθευτή για κάθε αυλάκωση ToD/DT slot
2. Καταγράφει και να αποθηκεύει την κατανάλωση ισχύος αξιόπιστα
3. Δίνει τη δυνατότητα στον πελάτη να επιλέξει ανά πάσα στιγμή ποιος θα είναι ο προμηθευτής. Μπορεί να προγραμματιστεί από τον πελάτη για το ποιος θα είναι ο προμηθευτής για κάθε αυλάκωση ToD/DT
4. Δυναμικά να αλλάζει τις τιμές των παραμέτρων μέσω της θύρας επιλογής προμηθευτών
5. Δώσει, μέσω μιας θύρας διαεπικοινωνίας υπολογιστή (πχ.USB), στο DCE (Data Computer Equipment) του προσωπικού μετρήσεων του δικτύου διανομής τις παραμέτρους ηλεκτρικής ισχύος για κάθε αυλάκωση ToD/DT και για κάθε προμηθευτή
6. Ικανό να δώσει, μέσω μιας θύρας διαεπικοινωνίας υπολογιστή, στον υπολογιστή του πελάτη (α) τις αποθηκευμένες τιμές στους απαριθμητές (counters) ηλεκτρικής ισχύος για κάθε αυλάκωση ToD/DT και για κάθε προμηθευτή και (β) ως μια πρόσθετη δυνατότητα, την τιμολόγηση από όλους

τους προμηθευτές χωριστά, για κάθε χρονική αυλάκωση time slot (κάθε μία ώρα), την οποία ο ίδιος ο μετρητής λαμβάνει μέσω του δικτύου παροχής περιοδικά με την μέθοδο σηματοδότησης PLC.

2.3 ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΟΡΤΙΩΝ

Ένα έμπειρο λογισμικό σύστημα υποστήριξης αποφάσεων θα είναι εξαιρετικά σημαντικό για τον πελάτη καθώς το σενάριο γίνεται πιο περίπλοκο. Το *σχήμα 3* εμφανίζει διάγραμμα εισόδου/ εξόδου ενός τέτοιου συστήματος υποστήριξης και αποστολής εντολών «που τρέχει» σε έναν υπολογιστή. Οι αποφάσεις απαιτούνται για: (α) ποιος προμηθευτής θα επιλεγεί κάθε ώρα και (β) ποια φορτία ίσως πρέπει να συνδεθούν ή να αποσυνδεθούν από το δίκτυο κατανάλωσης του πελάτη. Οι πληροφορίες, το σύστημα υποστήριξης απόφασης θα βασιστεί, για τις αποφάσεις του, θα εξαρτηθούν από: (α) τη πρότυπη (δημοσιευμένη) τιμολόγηση των προμηθευτών, (β) τα φορτία που είναι συνδεδεμένα και την αντίστοιχη κατανάλωσή τους καθ' όλη την διάρκεια της ώρας βασισμένη σε μετρήσεις, (γ) τις προτιμήσεις του πελάτη, και (δ) πιθανή ειδική τιμολόγηση ή προσφορές πακέτων πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από συγκεκριμένους προμηθευτές.

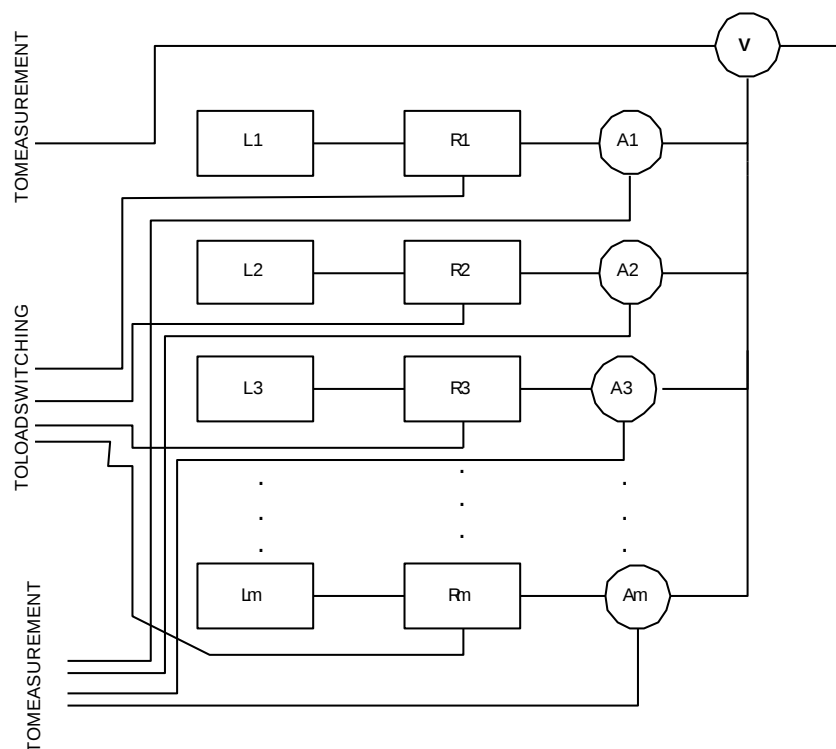


Σχήμα 2.3: Το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων του πελάτη

Για το σύστημα υποστήριξης απόφασης, να ξέρει τη σχετική κατανάλωση καθενός των φορτίων, ένα σχέδιο μέτρησης απεικονίζεται στο *σχήμα 4* όπου m φορτία L_1 έως L_m απεικονίζονται. Η μετρηθείς τιμή της τάσης V , στις εγκαταστάσεις του πελάτη, εισάγεται στη μονάδα μετρήσεων (βλέπε σχήμα, μπλοκ Measurements) καθώς επίσης

και το ηλεκτρικό ρεύμα που «τραβάει» το κάθε φορτίο A_1 έως A_m . Για το σύστημα υποστήριξης απόφασης σε θέση να συνδέσει / αποσυνδέσει τα φορτία, διακόπτες Relay R_1 μέχρι R_m παρεμβάλλονται μεταξύ κάθε ενός από τα φορτία m και του δικτύου κατανάλωσης ενέργειας του πελάτη, και ελέγχονται από την μονάδα διακοπής φορτίων (Load Switching).

Ένας **αλγόριθμος** υπολογιστή για το μέγιστο κέρδος για τον πελάτη μπορεί να εφαρμοστεί και «να τρέχει» στο Decision Support Computer (DSC) του πελάτη. Ο αλγόριθμος θα διαχειριστεί πολλούς προμηθευτές. Η τιμολόγηση κάθε προμηθευτή εξαρτάται από πολλές παραμέτρους που πρέπει να μελετηθούν. Τέτοιες παράμετροι μπορούν να είναι η ενεργός (πραγματική) και η άεργος ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής κατανάλωσης, ή κατά τη διάρκεια της χαμηλής ζήτησης ή κατά τη διάρκεια των ακραίων περιπτώσεων. Περιορισμοί μπορεί να τεθούν στην παρεχόμενη ενέργεια, από κάποιους προμηθευτές για κάποιες αυλακώσεις time/day slots και κατά την διάρκεια συγκεκριμένων εποχών (πχ. το καλοκαίρι). Αυτή όλοι οι νέοι παράμετροι της αγοράς ηλεκτρισμού που μπορεί να προκύψουν πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την δημιουργία του **αλγόριθμου**. Όταν πολλοί προμηθευτές αναμιγνύονται ο αλγόριθμος γίνεται πιο περίπλοκος, ειδικά εάν οι προμηθευτές έχουν διαμορφώσει μια **συμμαχία (καρτέλ)**. Σε περίπτωση που όπου ένας προμηθευτής πωλεί περισσότερη ενέργεια από ότι παράγει κατά τη διάρκεια μιας χρονικής αυλάκωσης, τότε λαμβάνει μέρος αυτό που λέμε στην αγορά **διαπρομήθευση**, όπου ο εν λόγω προμηθευτής μην μπορώντας να καλύψει τις απαιτήσεις του πελάτη σε ενέργεια δανείζεται από άλλο προμηθευτή το ποσό της ενέργειας που υπολείπεται για να καλύψει τις ανάγκες του.



Σχήμα 2.4: Μεταγωγή φορτίων και μετρήσεις

Μια άλλη πτυχή του DSC του πελάτη είναι η διαχείριση όλης της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από τον πελάτη και η σύνδεση ή αποσύνδεση των χαμηλής προτεραιότητας ηλεκτρικών φορτίων στις εγκαταστάσεις του πελάτη ή των χρονικά αδιάφορων φορτίων (συσκευές που δεν απαιτούν συνεχή 24ωρη λειτουργία πχ. ψυγείο), ανάλογα με την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας. από Στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις πελατών, ο αλγόριθμος DSC θα μπορούσε ακόμη και να προτείνει το χρόνο της λειτουργίας των διαφορετικών φορτίων.

Όσο πιο ασύμφορες είναι οι τιμές πώλησης της ενέργειας για τον πελάτη τόσο πιο επιτακτική η ανάγκη για μείωση της κατανάλωσης του διακόπτοντας πλήρως τις παροχές σε συσκευές που είναι σε κατάσταση αναμονής, stand-by.

3. ΔΙΑΔΡΑΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1 ΟΙ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ

Παλιότερα οι συμμετέχοντες στην αγορά ενέργειας ήταν σε μια μονοπωλιακή κατάσταση. Σήμερα οι συμμετέχοντες χωρίζονται σε διαφορετικές επιχειρήσεις με διαφορετικούς, διακριτούς ρόλους η καθεμία, όπως οι διαχειριστές δικτύου, προμηθευτές ενέργειας, οικονομοτεχνικές, τον έμπορο, το μεσίτη κ.λπ. Επιπλέον αυτές οι νέες επιχειρήσεις συγχωνεύονται σε μεγαλύτερες επιχειρήσεις, συχνά ως διεθνείς επιχειρήσεις με τις θυγατρικές σε διαφορετικές χώρες.

Η αλλαγή στη δομή της αγοράς και της νέας νομοθεσίας που περιγράφονται ανωτέρω έχει αυξήσει την ανάγκη για την ανταλλαγή πληροφοριών παρά πολύ. Αυτό μεταφράζεται σε στοιχεία συναλλαγής, όπως χρονοδιαγράμματα με την παραγωγή και την κατανάλωση μεταξύ των διαφορετικών συμβαλλόμενων μερών, άλλων σημαντικών δεδομένων, και αποτελεσματικότερων μεθόδων επικοινωνίας προς τους καταναλωτές.

Στα υψηλότερα κλιμάκια διαχείρισης της αγοράς ενέργειας ένα είδος μηνυμάτων με την διεθνή ονομασία **UTILMD** (Utilities master data message) χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή των σημαντικών δεδομένων (Master Data), ή δεδομένων κλειδιά, μακροπρόθεσμης ισχύος, μεταξύ των διαφορετικών συμβαλλόμενων μερών. Η χρήση του μηνύματος UTILMD εμπεριέχει πληροφορίες σχετικά την αλλαγή προμηθευτή της ενέργειας και την ανταλλαγή των Master Data που σχετίζονται με το μετρούμενο κάθε φορά σημείο ή εγκατάσταση πελάτη. Για τη ανταλλαγή των **χρονοδιαγραμμάτων** (που εκθέτουν τη χρονική σειρά αλληλοδιαδοχής μεταξύ των διαφορετικών συμμετεχόντων) το μήνυμα **UTILTS** (Utilities Time Series message) θα χρησιμοποιηθεί. Το χρονοδιάγραμμα είναι μία ακολουθία παρατηρήσεων (μετρήσεων, υπολογισμών) μιας διαδικασίας που λαμβάνεται συχνά σε ίσα χρονικά διαστήματα. Αυτές οι χρονικές σειρές μπορούν να περιέχουν τις μετρημένες τιμές, τις προβλέψεις, τις εκτιμήσεις, οικονομικά στοιχεία, κ.λπ. Επίσης στα **χρονοδιαγράμματα** αυτά μπορεί να αναφέρονται τεχνικές και διοικητικές πληροφορίες, όπως τα χαρακτηριστικά ενός μετρητή, συναλλαγματικές ισοτιμίες, κ.λπ. Συμπληρωματικά, υπάρχει ανάγκη για μηνύματα που χρησιμοποιούνται για το διμερές εμπόριο και το εμπόριο ανταλλαγής ενέργειας γενικά (REQUOTE QUOTES) και στην τιμολόγηση μεταξύ των συμμετεχόντων στα υψηλότερα κλιμάκια διαχείρισης της αγοράς (upstream market).

Παρακάτω, παρουσιάζουμε λεπτομερέστερα το ρόλο καθενός των συμμετεχόντων σε αυτό το νέο δίκτυο ενέργειας (παραγωγός, καταναλωτής, διαχειριστής δικτύου, μεσάζων, επιχείρηση τιμολόγησης).

Οι πρωταγωνιστές ενός δικτύου ενέργειας είναι οι ακόλουθοι:

Διαχειριστής Δικτύου (Grid Operator): Επίσης αποκαλούμενος ως ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Δικτύου, *IPNO (Independent Power Network Operator)* είναι το συμβαλλόμενο μέρος που είναι ιδιοκτήτης ενός ή περισσότερων τμημάτων του συνολικού δικτύου ενέργειας και είναι αρμόδιος για τις υπηρεσίες του δικτύου. Η βασική υποχρέωση του Grid Operator είναι να εξασφαλίσει την καλή λειτουργία του δικτύου και την σωστή διανομή της ενέργειας.

Προμηθευτής ενέργειας: Ένα συμβαλλόμενο μέρος που παράγει και πωλεί την ενέργεια στους καταναλωτές.

Καταναλωτής: Ένα συμβαλλόμενο μέρος που καταναλώνει την ηλεκτρική ενέργεια που αγοράζεται από ένα προμηθευτή ενέργειας. Ο καταναλωτής μπορεί να είναι μικρή οικογένεια ή μεγάλη πολυεθνική επιχείρηση με μια ή περισσότερες θυγατρικές σε μια ή περισσότερες χώρες.

Επιχείρηση Μετρήσεων: Ένα συμβαλλόμενο μέρος αρμόδιο για τη μέτρηση. Αυτό μπορεί να είναι ο ίδιος ο διαχειριστής δικτύου ή τρίτος. Αυτό το συμβαλλόμενο μέρος έχει την ευθύνη για τη σωστή μέτρηση της ηλεκτρικής ισχύος που έχει καταναλωθεί από τους καταναλωτές.

3.2 ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΣΥΝΑΛΛΑΓΗΣ

Σενάριο 1: Ο καταναλωτής κάνει με τον παραγωγό μια συμφωνία (προκαταβολή πληρωμής) για την ενέργεια που πρόκειται να καταναλώσει.

Σενάριο 2: Ο διαχειριστής δικτύου μιλά με τους παραγωγούς και τους καταναλωτές για το ποσό ενέργειας που πρόκειται να πωληθεί.

Σενάριο 3: Ένας μεσάζων μιλά με τους παραγωγούς και τους καταναλωτές, βρίσκει μια λογική τιμολόγηση συμφέρουσα και για τους δύο και κάνει τις ρυθμίσεις για τη συναλλαγή της ενέργειας.

3.3 TELECOM

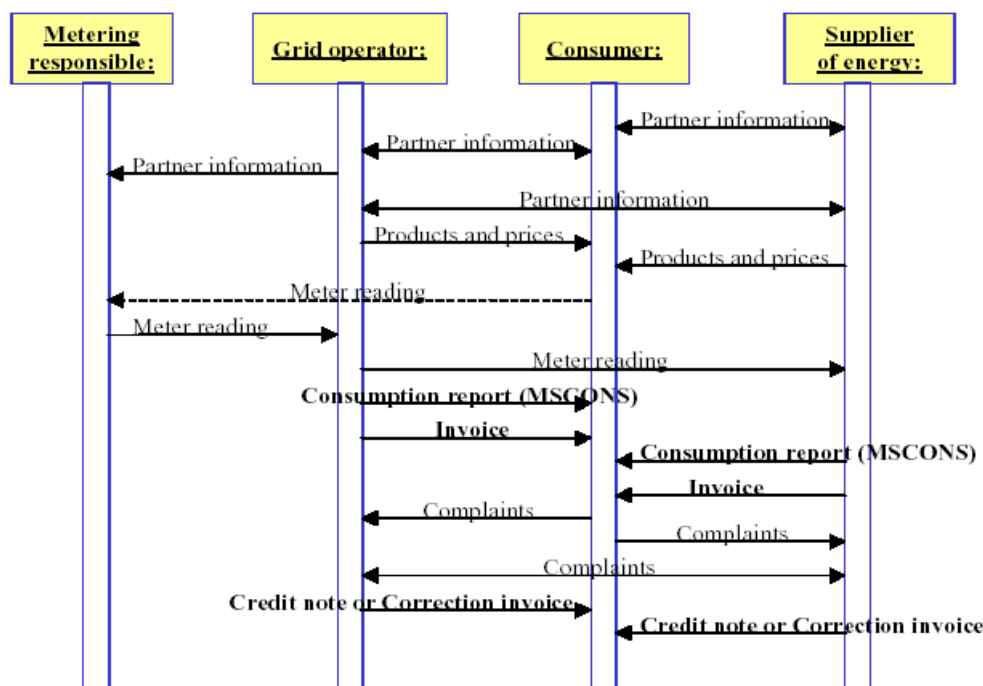
Master data

Πριν από τις ενάρξεις ανταλλαγής των πληροφοριών απαιτείται ότι τα συμβαλλόμενα μέρη ανταλλάσσουν τα σημαντικά στοιχεία απαραίτητα για να να πραγματοποιηθεί η επικοινωνίας τους. Τα master data αυτά περιέχουν τεχνικές και διοικητικές πληροφορίες, όπως:

- Συμβαλλόμενα μέρη συμβάσεων (αγοραστής/πωλητής)
- αριθμός μητρώου επιχείρησης
- αριθμός μητρώου Φ.Π.Α
- αριθμός τραπεζικού λογαριασμού (πωλητής/αγοραστής)
- πρόσωπα επαφών/τμήμα (τεχνικό/διοικητικό)
- διευθύνσεις
- τηλέφωνο, fax, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο
- όροι της πληρωμής
- δασμολόγια
- προσδιορισμός των σημείων μετρήσεων
- φορολογικός τύπος, φορολογικό ποσοστό, κλπ...
- για κάθε σημείο μέτρησης τα χαρακτηριστικά του μετρητή/καταγραφέα όπως η διακριτικότητα του μετρητή ισχύος (πχ. μπορεί να μετρήσει διαφορές καταναλωμένης ισχύος της τάξης του ενός δέκατου της κιλοβατώρας **KWh**).

3.3.1 Διάγραμμα ακολουθίας τιμολόγησης

Το κατωτέρω διάγραμμα ακολουθίας εμφανίζει τις πληροφορίες που ανταλλάσσονται μεταξύ των διαφορετικών φορέων στα υψηλότερα κλιμάκια της αγοράς ενέργειας. Οι μέτοχοι που προσδιορίζονται στο διάγραμμα ακολουθίας μπορούν να έχουν τους διαφορετικούς "υπό-ρόλους", όπως ο αγοραστής, πωλητής, εκδότης τιμολογίων κ.λπ. και μια επιχείρηση μπορεί να αναλάβει περισσότερους του ενός ρόλους.



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα ακολουθίας τιμολόγησης

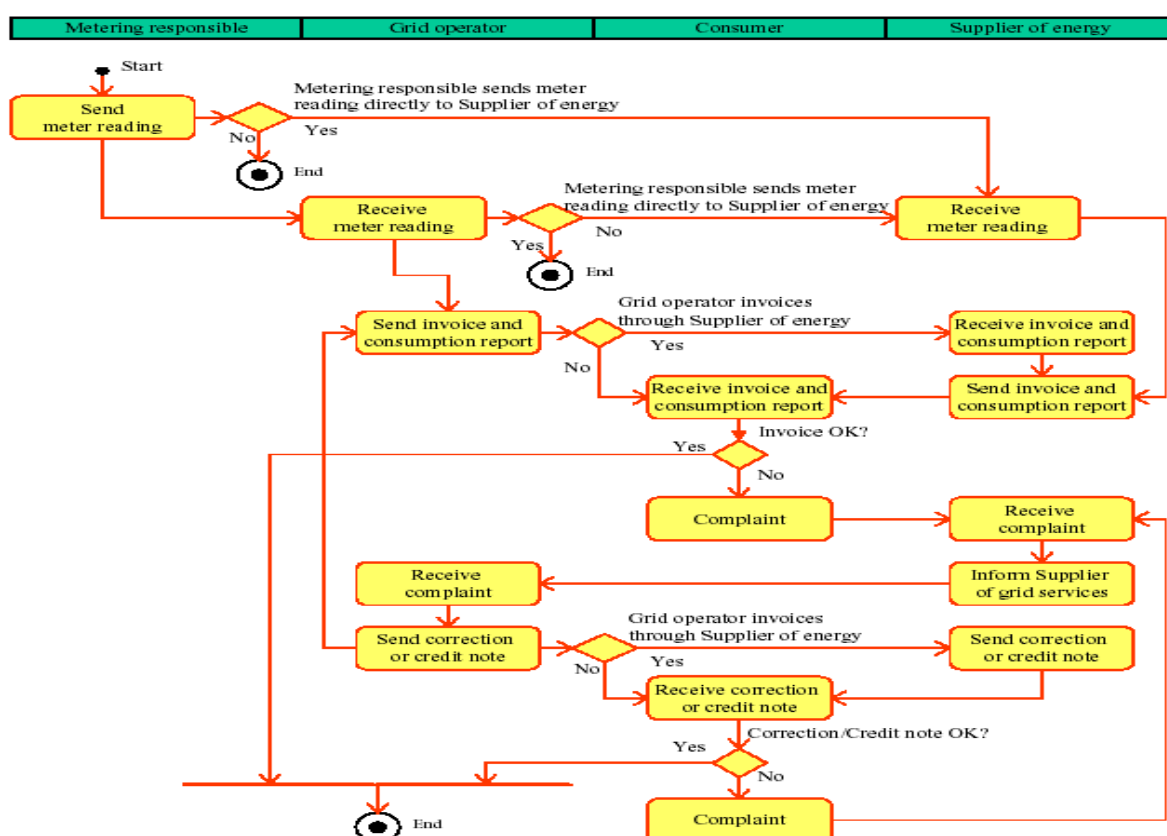
Σχόλια του διαγράμματος ακολουθίας:

- Η έκθεση κατανάλωσης συμπεριλαμβάνεται στο μήνυμα τιμολογίων.
- Οι ροές στοιχείων που εμφανίζονται ως μη-έντονο κείμενο δεν είναι ένα μέρος αυτού του μοντέλου
- Ένα συμβαλλόμενο μέρος μπορεί να μεταφέρει τη λειτουργία τιμολόγησης σε έναν τρίτο π.χ., ο Supplier της ενέργειας μπορεί να τιμολογήσει εξ ονόματος του χειριστή Grid.
- Ο χειριστής Grid (IPNO) είναι αρμόδιος για τη συλλογή των αναγνώσεων μετρητών. Αυτό θα μπορούσε να αναληφθεί από έναν τρίτο (Account αρμόδιο). Για το λόγο της απλοποίησης, αυτός ο ρόλος δεν απεικονίζεται στο διάγραμμα.
- Η έκθεση κατανάλωσης είναι απαραίτητη για τους μεγαλύτερους πελάτες που έχουν τη συνεχή ανάγνωση μετρητών (π.χ. μετρώντας ανά μία ώρα). Για τους μικρότερους καταναλωτές οι στάσεις μετρητών μπορούν να είναι ένα μέρος του τιμολογίου.
- Παράπονα μπορεί να εμφανιστούν οποιαδήποτε χρονική στιγμή, όλα τα παράπονα συνήθως δυσχεραίνουν την τιμολόγηση (invoice).
- Εάν ένας καταναλωτής διαφωνεί στην ανάγνωση μετρητών, είναι αρκετό να

μπορεί να παραπνεθεί σε ένα από τα συμβαλλόμενα μέρη (δηλ. το Supplier της ενέργειας ή του χειριστή Grid), σύμφωνα με το διάγραμμα ακολουθίας. Το συμβαλλόμενο μέρος που έρχεται σε επαφή με τον καταναλωτή πρέπει να ενημερώσει το άλλο συμβαλλόμενο μέρος (π.χ. ο Supplier της ενέργειας πρέπει να έρθει σε επαφή με το χειριστή Grid).

3.3.2 Διάγραμμα ροής τιμολόγησης

Κατωτέρω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ενός διαγράμματος ροής για την τιμολόγηση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Το διάγραμμα ροής παρουσιάζει την λειτουργική ακολουθία της διαδικασίας τιμολόγησης. Τα σημεία απόφασης χρησιμοποιούνται για να παρουσιάσουν εναλλακτικές ροές.



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα ροής τιμολόγησης

Για απλοποίηση ο πελάτης παραπονιέται πάντα στο προμηθευτή (Supplier) της ενέργειας στο ανωτέρω διάγραμμα ροής. Θα είναι επίσης δυνατό για τον καταναλωτή να παραπνεθεί και στον διαχειριστή δικτύου (Grid Operator, IPNO). Σε

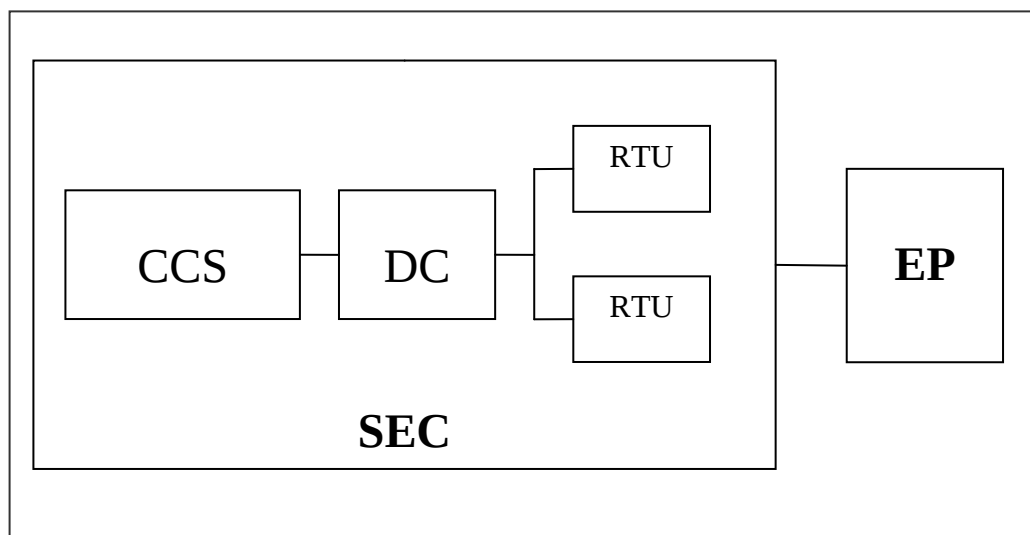
αυτήν την περίπτωση η **IPNO** πρέπει να προωθήσει τις πληροφορίες σχετικά με την καταγγελία στο προμηθευτή. Εάν μια καταγγελία έχει να κάνει με οικονομικής φύσεως πληροφορίες μόνο (τιμές κλπ...), το τιμολόγιο πληρωμής πρέπει να ενημερωθεί. Εάν μια καταγγελία θεωρήσει τις μετρήσεις λάθος, τότε και το αναλυτικό δελτίο κατανάλωσης και το τιμολόγιο θα πρέπει να ενημερωθούν.

3.4 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Σε αυτήν την παράγραφο θα δούμε μερικά *πρωτόκολλα επικοινωνίας* μεταξύ του κεντρικού συστήματος IPNO (ΔΕΗ) και των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα παραδείγματα είναι βασισμένα στο πρότυπο *αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από Αιολική (ανεμογεννήτριες)*, της νήσου *Κρήτης* στην Ελλάδα.

3.4.1 Γενικά χαρακτηριστικά επικοινωνιών

Ο κεντρικός υπολογιστής στο *Ηράκλειο* (Κρήτη) **SEC** επικοινωνεί με το **EP** μέσω της αντίστοιχης **RTU**



SEC System for Energy Control
EP Energy provider
CCS Central Computer System
DC Data Concentrator
RTU Remote Terminal Unit
IPNO Independent network operator

Σχήμα 3.3: Προμηθευτής-Διαχειριστής

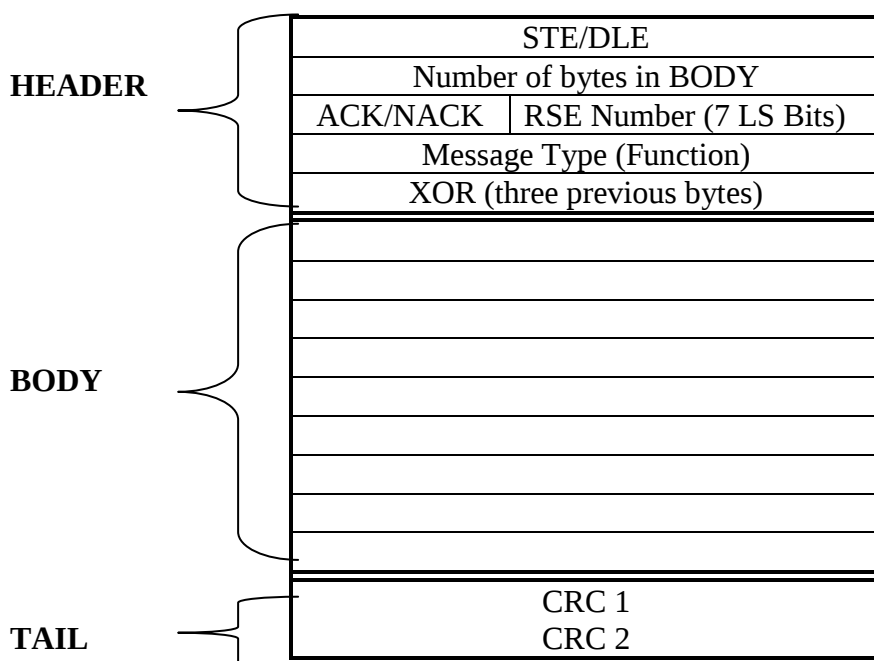
Ο τύπος επικοινωνίας είναι Master - Slave όπου το SEC είναι πάντα το Master.

Η ανταλλαγή πληροφοριών αρχίζει με μια κλήση από CCS. Μια ανταλλαγή μηνυμάτων αποτελείται από ένα μήνυμα κλήσης από το SEC στο EP και ένα μήνυμα απάντησης από το EP στο SEC.

Η επικοινωνία είναι ασύγχρονη (RS-232) full-duplex με 8 data bits, 1 start bit, 1 stop bit, 1 parity bit (even). Ο ρυθμός μετάδοσης μπορεί να κυμανθεί μεταξύ 300 και 9600 baud.

3.4.2 Πρωτόκολλο επικοινωνίας από IPNO σε EP

Format



Πίνακας 3.1: Περιγραφή πρωτοκόλλου CCS σε EP

Περιγραφή

Ο τηλεφωνικός αριθμός του προμηθευτή EP είναι ο αναγνωριστικός του κωδικός, ID.

Beginning of packet (DLE/STE)

Ένα byte ορίζει την έναρξη του πακέτου μετάδοσης. Το συγκεκριμένο byte είναι ο χαρακτήρας *ASCII* ">". Εάν αυτός ο χαρακτήρας εμφανιστεί κάπου στο κυρίως σώμα

του πακέτου (βλέπε σχήμα 3.1, BODY) πάλι μία ">" ψηφιολέξη θα προστεθεί (για να αποφευχθεί η αναμετάδοση) που στην συνέχεια θα αφαιρεθεί από το δέκτη (EP).

Number of Bytes in the BODY

Μια ψηφιολέξη (byte) που καθορίζει τον αριθμό ψηφιολέξεων στο κυρίως σώμα του πακέτου μηνύματος **BODY**. Μέγιστη τιμή είναι στα 256 bytes (ψηφιολέξεις).

ACK/NACK

Ένα bit

0=NACK

1=ACK

Καθορίζει εάν το προηγούμενο πακέτο μετάδοσης λαμβανόμενο έγινε αποδεκτό (ACK) ή δεν έγινε αποδεκτό (NACK) λόγω λάθους επικοινωνίας (Data Link Layer error).

XOR

Λογική πράξη XOR² των τριών προηγούμενων Bytes. Αλγόριθμος εκσφαλμάτωσης.

Message Type (Function)

Το Message Type καθορίζει το είδος της εντολής που θα εκτελεστεί και την μορφή των δεδομένων στο κύριο σώμα του μηνύματος BODY.

Function	Description
1	Request to update the signals (digital/analog)
2	Transmission of Set point
3	Transmission of the Hourly Schedule for the next day
4	Transmission of telecontrol (switch/digital)
5	Request of Daily History
6	Request of hourly statistics
7	Transmission of the Time (to synchronize EP with SEC)

Πίνακας 3.2: Πίνακας εντολών

Το BODY για τις ανωτέρω επτά εντολές έχει την ακόλουθη μορφή:

- 1 Δεν υπάρχει BODY ή CRC (εντολή που δεν συνοδεύεται με δεδομένα)
- 2 Χειροκίνητη επιλογή κομβικών σημείων λειτουργίας του δικτύου (Set points).

² $1 \oplus 1 = 0$, $1 \oplus 0 = 1$, η λογική πράξη XOR ($\oplus$)

Το Set Point υπερσχύει έναντι του προγραμματισμού που πιθανότητα έχει τεθεί προηγουμένως από το καθημερινό πρόγραμμα (daily schedule). Το Telecontrol S/N 2 καθορίζει εάν το σύστημα λειτουργεί κάτω από το καθημερινό πρόγραμμα ή το Set point.

Ο λόγος για ένα Set Point είναι η περίπτωση που ο προμηθευτής δεν έχει τη δυνατότητα να παραγάγει τη ζητούμενη ισχύς. Η επιστρεφόμενη τιμή από το σύστημα είναι η μέγιστη τιμή ηλεκτρικής ισχύος που ο προμηθευτής μπορεί να παραγάγει.

3 Μετάδοση του ωριαίου προγράμματος για την επόμενη ημέρα

Year
Month
Day
Power #1 (2 bytes)
.
.
Power #24 (2bytes)

Πίνακας 3.3: Transmission of the Hourly Schedule

4 Τηλεχειρισμός (διακόπτης, ψηφιακός)

S/N
Value

Πίνακας 3.4: Telecontrol

Όπου S/N (Serial Number) ο σειριακός αριθμός του τηλεχειριζόμενου διακόπτη (switch), τιμή Value=1 σημαίνει ανοιχτός διακόπτης ενώ Value=2 σημαίνει κλειστός.

Το S/N για κάθε διακόπτη ή αποζεύκτη (decoupler) στο EP ορίζεται σε συμφωνία με το IPNO

- ο διακόπτης με S/N = 1 είναι ο κύριος διακόπτης και χρησιμοποιείται για τη "μαλακή αποσύνδεση". Με την τιμή Value=1 (ανοικτός) ο προμηθευτής θα αρχίσει τη διαδικασία διακοπής της παροχής ενέργειας (shutting down) . Με την τιμή 0 (κλειστός) ο προμηθευτής λειτουργεί και παρέχει ενέργεια.
- ένας δεύτερος τηλεδιακόπτης S/N = 2 έχει προστεθεί για να υποδείξει εάν ο προμηθευτής λειτουργεί με χειροκίνητη επιλογή Set point ή σύμφωνα με το ημερήσιο ωριαίο πρόγραμμα (Hourly Schedule). Όταν το IPNO θέλει ο προμηθευτής να λειτουργήσει με Set point στέλνει ένα τηλεσήμα, Telecontrol

(μήνυμα με Function 4 από το SEC στο EP). Αυτό το μήνυμα έχει το S/N=2 και Value=2 έτσι ώστε η μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού να λειτουργήσει με Set point. Το πρώτο Set point που θα πάει ουσιαστικά, είναι η τρέχουσα παραγωγή, κατόπιν το IPNO θα στείλει τα υπόλοιπα Set points. Όταν ο IPNO θέλει τον προμηθευτή να επιστρέψει στο Hourly Schedule στέλνει ένα Telecontrol με το S/N=2 και Value=1. Κατόπιν το Provider πρέπει να παραγάγει σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα του Hourly Schedule. Είναι σοφό να προστεθεί και ένας τρίτος όρος ελέγχου "Local" (τοπικός) έτσι ώστε ο προμηθευτής να μπορεί να πάρει τον έλεγχο και να αλλάξει τα Set points. Αυτός ο τοπικός έλεγχος "Local" πρέπει να έχει προβλεφθεί στο *Scada* (*supervisory control and data acquisition*) λογισμικό ελέγχου και επίβλεψης στις εγκαταστάσεις του προμηθευτή.

5 Αίτημα του Ιστορικού της ημέρας

Year
Month
Day

Πίνακας 3.5: Request of Daily History

Αυτό ζητείται συνήθως εάν δεν υπήρξε επικοινωνία για σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα.

6 Αίτημα ωριαίων στατιστικών

Year
Month
Day

Πίνακας 3.6: Request of hourly statistics

7 Ώρα Μετάδοσης

Year
Month
Day
Hour
Minute
Second

Πίνακας 3.7: Transmission of Time

CRC (CCITT Standard)

Αλγόριθμος εκσφαλμάτωσης δεδομένων από λάθη μετάδοσης

Για τον υπολογισμό του CRC μόνο οι ψηφιολέξεις του BODY χρησιμοποιούνται.

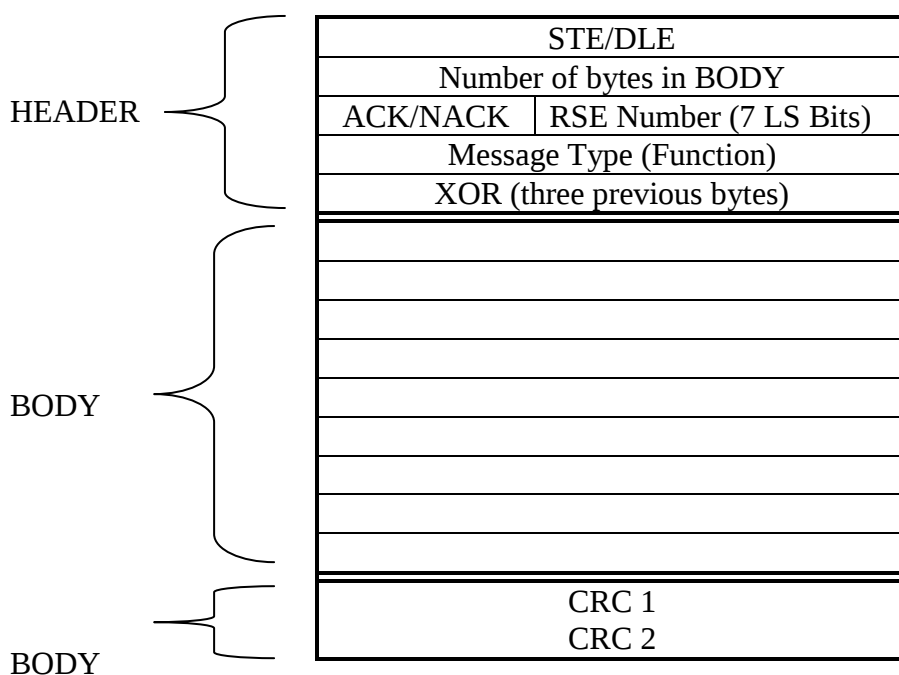
Το πολυώνυμο $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ χρησιμοποιείται

Εάν δεν υπάρχει BODY δεν υπάρχει CRC

3.4.3 Πρωτόκολλο επικοινωνίας από EP σε IPNO

Format

Η απάντηση του EP στον IPNO (SEC) έρχεται αμέσως μετά από την ερώτηση (οι ενημερώσεις συμβαίνουν συνήθως κάθε 10 sec). Η μορφή (format) του πακέτου μηνύματος είναι το ίδιο με την μορφή του πακέτου από το SEC σε RSE.



Πίνακας 3.8: Περιγραφή πρωτοκόλλου EP σε SEC

Περιγραφή

όπως την παράγραφο 3.4.2 με τις ακόλουθες αλλαγές

Function	Description
1	Signal update-current values (digital/analog/diagnostic)
2	Acceptance of Set point/Telecontrol
3	Acceptance of the Time/Hourly Schedule
4	Transmission of History
5	Request of hourly statistics

Πίνακας 3.9: Πίνακας εντολών

Signal Update (Reply for IPNO message 1)
 $1 < n < 256$

Number of digital signals (1bit)	number of digital (1bit) signals that follow
Digital 1bit signals (n bytes)	N x 8 digital 1bit signals
Number of digital (2bit) signals	number of digital (2bit) signals that follow
Digital 2bit signals (n bytes)	n x 4 digital (2 bits) signals (switches)
# of Diagnostic messages (1byte)(i.e. n)	diagnostic messages (Πίνακας look up)
Diagnostic message #1 (1 byte)	
Diagnostic message #2 (1 byte)	
:	
Diagnostic message #n (1 byte)	
Number of analog	number of analog signals that follow
Analog #1 (2bytes)	
Analog #2 (2bytes)	n analog (*)
.	
.	
Analog #n (2bytes)	

Πίνακας 3.10: Παράδειγμα Σήματος

Τα ψηφιακά σήματα του 1 bit και των 2 bits δίνουν βασικά στο IPNO την κατάσταση των διακοπών (on/off) του προμηθευτή. Κάθε τμήμα των εγκαταστάσεων του προμηθευτή που συνδέεται με τον IPNO χωριστά θεωρείται ως διαφορετικός παροχέας. Η κατάσταση των διακοπών φθάνει στο δίκτυο όχι ταξινομημένη αλλά με αυθαίρετη σειρά πχ. #5 ..6 ..21, και 22

Ένα παράδειγμα ενός προμηθευτή που έχει δύο ηλεκτρικές παροχές, Providers, $x=2$, (Prov #1 και Prov # 2) ακολουθεί:

Digital Signals One Bit

Το Apozeuktis και Geotis είναι τα ονόματα για τα δύο παροχές 20 kv που ο προμηθευτής ανοιγοκλείνει. Ο Apozeuktis ελέγχεται άμεσα από τη σύνδεση 5 του πλέγματος (κλειστή) με τιμή 1

<i>Provider 20 KV C.B.” #x</i>	<i>Apozeuktis #x</i>
<i>Closed (on)</i>	1
<i>Open (off)</i>	0

Πίνακας 3.11: Ψηφιακά Σήματα

Το Geotis ελέγχεται άμεσα από τη σύνδεση 6 πλέγματος (κλειστή) με τιμή 0. Αυτό είναι ένα ενεργό χαμηλό σήμα (active low signal). Δηλαδή η παροχή ενεργοποιείται με το λογικό σήμα 0 αντί του 1.

<i>Wind farm 20 KV C.B.” #x</i>	<i>Geotis #x</i>
<i>Closed (on)</i>	0
<i>Open (off)</i>	1

Number of digital signals (1 bit)	4							
Digital 1 bit signals					Apozeuktis #2	Apozeuktis #1	Geotis #2	Geotis #1

Πίνακας 3.12: Ψηφιακά Σήματα

Το ανωτέρω παράδειγμα είναι εάν ο προμηθευτής έχει δύο ηλεκτρικές παροχές. Εάν ο προμηθευτής είναι ηλεκτρικά μία παροχή τότε υπάρχει μόνο ένας διακόπτης IPNO.

Digital Signals Two Bit

Τα 2-bit ψηφιακά σήματα που ονομάζονται "IPNO Switch #n" ορίζουν την κατάσταση των κύριων διακοπών του προμηθευτή. Εάν προμηθευτής έχει δύο ηλεκτρικές παροχές, τότε θα έχει δύο κύρια Switches. Εάν ένα προμηθευτής είναι έχει μία παροχή, τότε θα έχει ένα κύριο Switch. Αυτό το σήμα είναι το ακόλουθο:

IPNO Switch	Explanation
01	OPEN (Prov disconnected)
10	CLOSED (Prov connected)
00	Undefined
11	Undefined

Πίνακας 3.13: Ψηφιακά Σήματα 2-bit

Ένα άλλο ψηφιακό σήμα 2-bit είναι το "MODE". Ο IPNO θέλει να ξέρει εάν ο υπολογιστής PROV SCADA του προμηθευτή δέχεται τις εντολές (Set Points) από τον IPNO (MODE 01), ή αν ο σταθμός παραγωγής «τρέχει» σε ωριαίο πρόγραμμα (IPNO program) ή ελέγχεται αποκλειστικά από τον προμηθευτή (PROV Local Control), οπότε και δεν έχει πρόσβαση ο IPNO.

MODE	Explanation
01	IPNO program or PROV Local Control
10	Set point (IPNO controls IPNO)
00	undefined
11	Undefined

Πίνακας 3.14: Ψηφιακά Σήματα 2-bit

Ένα παράδειγμα των ψηφιακών σημάτων 2-bit για προμηθευτή με δύο παροχές δείχνεται στον κατωτέρω πίνακα:

Number of digital signals (2 bit)	3			
Digital 2 bit signals		IPNO Switch #2	MODE	IPNO Switch #1

Πίνακας 3.15: Ψηφιακά Σήματα Ελέγχου

3.4.4 Αναλογικά Σήματα

Οι ακόλουθες τιμές θα μπορούσαν να διαβιβαστούν ως αναλογικά σήματα.

a/n	Description of Analog Measurement
1.	Active Power
2.	Reactive Power
3.	Voltage
4.	Number of available units
5.	Number of units in operation
6.	Maximum available power
7.	Minimum available power
8.	Restriction of Provider
9.	Wind Speed
10.	Wind Direction
11.	Temperature
12.	Reserved #1
...	...
...	...
32.	

Πίνακας 3.16: Αναλογικά Σήματα

Υπάρχουν διαφορετικά είδη σημάτων στο EP (προμηθευτής) που το SEC (IPNO) πρέπει να ξέρει. Αυτά είναι τεσσάρων διαφορετικών τύπων:

- υπάρχουν ψηφιακά σήματα 1-bit που δηλώνουν την κατάσταση μερικών διακοπών.
- υπάρχουν ψηφιακά σήματα 2-bit που δηλώνουν την κατάσταση μερικών διακοπών.
- οι πίνακες των 256 διαγνωστικών μηνυμάτων.
- αναλογικά (2-bytes) σήματα

- ενεργός ισχύ : Η συνολική πραγματική στιγμιαία παραγωγή από το προμηθευτή (Provider) σε μονάδες μέτρησης [KW]
- αντιδραστική δύναμη : Η συνολική άεργος στιγμιαία παραγωγή από το Provider σε μονάδες μέτρησης [KVA_r]
- τάση: Η στιγμιαία μέση τιμή από το Provider σε [V].
- αριθμός διαθέσιμων μονάδων: Συνολικός αριθμός μονάδων στροβίλων (turbines) μείον τον αριθμό των ελαττωματικών στροβίλων, που διαθέτει ο προμηθευτής στις εγκαταστάσεις του.

- αριθμός μονάδων σε λειτουργία: Αριθμός στρόβιλων on-line που χρησιμοποιούνται από τον προμηθευτή για την παραγωγή ηλεκτρισμού κάθε δεδομένη στιγμή.
- μέγιστη διαθέσιμη ισχύ : Η μέγιστη ηλεκτρική ισχύ που το ΕΡ μπορεί να παραγάγει εάν όλοι (χωρίς τους ελαττωματικούς) στρόβιλοι πηγαίνουν on-line υπό τις ίδιες υπάρχουσες συνθήκες ανέμου (αιολική ενέργεια) [KW]
- ελάχιστη διαθέσιμη δύναμη : Η ισχύς που ένας στρόβιλος μπορεί να παραγάγει [KW]

Παραδείγματος χάριν, για τις υπάρχουσες συνθήκες ανέμου, ο κάθε στρόβιλος μπορεί να παραγάγει 400 kW και αυτή τη στιγμή μόνο 12 στρόβιλοι είναι λειτουργικοί και 2 στρόβιλοι είναι υπό συντήρηση (Service). Συνεπώς, η μέγιστη διαθέσιμη ισχύ του σταθμού είναι 12x400 kW δηλαδή **4.8 MW**. Η ελάχιστη διαθέσιμη ισχύ είναι η ισχύ που ένας στρόβιλος μπορεί να παραγάγει υπό τις ίδιες συνθήκες ανέμου και είναι στην περίπτωση αυτή στα 400 kW.

Set point acceptance / telecontrol (Reply for IPNO message 2 or 4)

Accept No.	1. Set point Acceptance
Value (2bytes)	2. Set point Rejection
Value the accepted Set point (in case of acceptance) the suggested Set point (in case of rejection)	
3. Telecontrol Acceptance	
4. Telecontrol Rejection	
Value return the accepted value to acknowledge (in case of acceptance)	

Πίνακας 3.17: Σήμα αποδοχής Set point

Acceptance of time/daily schedule (Reply for IPNO message 3 or 7)

	Accept No.
Accept No.	1. Acceptance of time
	2. Rejection of time
	3. Acceptance of Daily Schedule
	4. Rejection of daily schedule

Πίνακας 3.18: Σήμα αποδοχής ωριαίου προγράμματος ημέρας

3.4.5 Μετάδοση του Ιστορικού (όταν η επικοινωνία «σπάει» ή όποτε ζητηθεί)**(Reply for IPNO message 5)**

Year
Month
Day
Scheduled Power for hour #1 (2bytes)
Produced Power for hour #1
(*)
#24
#24

Πίνακας 3.19: Data history

(*) FFFF: not calculated yet.

Scheduled power for Hour # [KW] (power)

Produced power for Hour # [KW] (power)

Η **προγραμματισμένη παραγωγή ισχύος (Scheduled power)** είναι η μέση (κατά τη διάρκεια του χρόνου, μετρούμενη ανά λεπτό) τιμή που προκύπτει με βάση του καθημερινού προγράμματος (daily schedule) και των Set points (εφόσον υπήρχαν Set points που εφαρμόστηκαν κατά τη διάρκεια εκείνης της ώρας).

Statistics (hourly) (Reply for IPNO message 6)

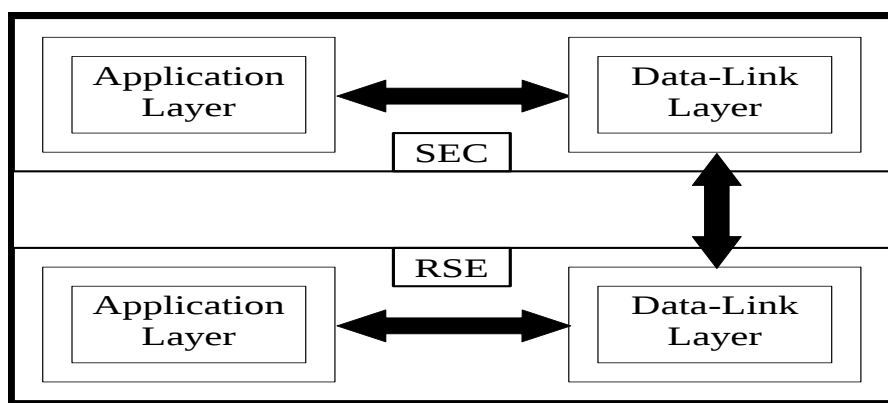
Year
Month
Day
Hourly Active Power #1 (2bytes)
Hourly Reactive Power #1 (2bytes)
.
. (*)
Hourly Active Power #24 (2bytes)
Hourly Reactive Power #24 (2bytes)
Power of 24hour (2bytes)
Power of month (2bytes)
Power of year (2bytes)

Πίνακας 3.20: Στατιστικά (ωριαία), απάντηση στον IPNO

(*) FFFF: not calculated yet.

Power for 24 hours	[KWh] (energy)
Power for month	[KWh] (energy)
Power for Year	[KWh] (energy)

3.4.6 Data Link Layer



Σχήμα 3.4: Data link layer

Εάν το ληφθέν πακέτο μηνύματος έχει ένα λάθος (data link layer error) και το οποίο εντοπίστηκε με τους αλγορίθμους εκσφαλμάτωσης XOR ή τον CRC, τότε το πακέτο απορρίπτεται και ένα σήμα NACK στέλνεται. Σε αυτήν την περίπτωση ο αποστολέας ξαναδοκιμάζει συνεχώς να διαβιβάσει το ίδιο πακέτο μέχρι 5 φορές.

Μετά από 5 διαδοχικά NACK ή μετά από ένα διάλειμμα time-out (τίποτα δεν λαμβάνεται για τουλάχιστον 3 sec), το σύστημα ενημερώνεται, η επικοινωνία σταματάει και οι χρήστες του λογισμικού συστήματος ειδοποιούνται.

Ο IPNO (ΔΕΗ) πρέπει να συνεχίσει τις προσπάθειες έως ότου αποκατασταθεί η επικοινωνία, ή αν υπάρχει τεχνικό πρόβλημα αυτό πρέπει να διορθωθεί.

Παρατηρήσεις

Α. Η ημέρα αποτελείται από τις μεταβλητές που απεικονίζονται κατωτέρω μαζί με τις επιτρεπτές τιμές μεταβολής τους, κάθε μεταβλητή έχει μήκος 1 byte:

Field	Accepted Values	Remarks
Second	0-59	
Minute	0-59	
Hour	0-23	
Day	1-31	
Month	1-12	
Year	0-255	

Πίνακας 3.21: Παρατηρήσεις

"Το έτος" (Year) στο πίνακα αναπαριστάται ως την απόσταση του από ένα προκαθορισμένο έτος πχ. το έτος 2000, έτσι για το έτος 2011 η μεταβλητή έχει την τιμή "Year"=11.

Β. Οι επιθυμητές τιμές των αναλογικών σημάτων (x) υπολογίζονται στον IPNO. Στον ΕΡ οι πραγματικές μετρούμενες τιμές (y) διαβιβάζονται προς τον IPNO μετά από επεξεργασία με την εξής φόρμουλα:

$$x = ay + b$$

Η αναλογική μέτρηση πρέπει να είναι σε θέση να καθορίσει τις παραμέτρους a, b καθώς επίσης και το τύπο μονάδας μέτρησης (π.χ. KW, MW κλπ....) , για κάθε αναλογικό σήμα.

Με άλλα λόγια εάν η αναλογική τιμή ενός σήματος που επιθυμεί ο IPNO να ρυθμίσει στον ΕΡ είναι X τότε αυτή η τιμή τίθεται στον σταθμό (ΕΡ) και η απάντηση με την μετρούμενη τιμή Y διαβιβάζεται από τον ΕΡ προς τον IPNO αφού πρώτα επεξεργαστεί από τον ΕΡ με τον τύπο $x=ay+b$ (X και Y όχι απαραίτητα ίσα). Οι παράμετροι α, β, καθώς επίσης και οι μονάδες (KW, MW, κλπ...) θα καθοριστούν για κάθε αναλογικό σήμα. Αυτή η υπολογιστική διόρθωση στο μετρούμενο Y συμβαίνει επειδή η ακρίβεια (δεκαδικά ψηφία πχ. 2.245kW) στη μετρούμενη τιμή Y του υπό μέτρηση αναλογικού σήματος πρέπει να αναπροσαρμοστεί για ψηφιακή μετάδοση με 12 bit κβάντωσης, scaling, (αριθμοί 0-4095) που διαθέτει ο σταθμός ΕΡ.

Το PPC – Driver λογισμικό υπολογιστή, πρέπει να γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι παράμετροι a, b, και ο τύπος των μονάδων μέτρησης (KW, MW, κτλ) να μπορούν να τροποποιηθούν από το διαχειριστή του αιολικού πάρκου (ΕΡ) οποιαδήποτε στιγμή αυτό είναι αναγκαίο.

Η ΔΕΗ δεν χρησιμοποιεί στην πραγματικότητα τα a, b αλλά χρησιμοποιεί τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές. Το μέγιστο αντιστοιχεί σε 4095 και το ελάχιστο σε 0. Η ακρίβεια θα είναι το (μέγιστο - ελάχιστο)/4095.

Οι αριθμοί a και b μπορεί να είναι δεκαδικοί και αρνητικοί αριθμοί.

Τα χειροκίνητα προκαθορισμένα σημεία παραγωγής ενέργειας του σταθμού (**Set points**) καθώς επίσης και το αυτόματο ημερήσιο πρόγραμμα παραγωγής ενέργειας (**Hourly**

Schedule), που στέλνει ο IPNO θα επεξεργαστούν (κβάντωση) και αυτά με τα ίδια a , b που χρησιμοποιούνται στα *Αναλογικά σήματα (Active Power Scaling)*.

Ωριαίο Active Power Scaling από στατιστικά, προγραμματισμένη ισχύ από το ιστορικό, παραγόμενη ενέργεια από το ιστορικό, όλα θα κβαντωθούν με τα ίδια a , b .

Τρία νέα σύνολα των a , b θα καθοριστούν για την χρήση στη στατιστική του συστήματος:

- a , b για την 24ωρη παραγωγή ενέργειας
- a , b για την μηνιαία παραγωγή ενέργειας
- a , b για την ετήσια παραγωγή ενέργειας

4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ TELECOM

4.1 PLC (Power Line Carrier)

Η χρήση των δικτύων παροχής ηλεκτρικού ρεύματος για λόγους επικοινωνίας είναι γνωστή από την αρχή του 20ού αιώνα. Η βασική ιδέα των *επικοινωνιών μέσω ηλεκτροφόρων καλωδίων (PLC)* είναι η χρήση των υπαρχόντων ηλεκτρικών πλεγμάτων επίσης και για τις τηλεπικοινωνίες ώστε να μειωθούν τις δαπάνες που προκαλούνται από την εγκατάσταση νέων δικτύων επικοινωνίας. Έτσι, ένα υψηλό, μέση ή ένα χαμηλής τάσης δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να γεφυρώσει μια μεγάλη απόσταση και να αποφευχθεί η κατασκευή ενός πρόσθετου δικτύου επικοινωνίας. Οι επικοινωνίες ηλεκτροφόρων καλωδίων μπορούν να εφαρμοστούν επίσης μέσα στα κτήρια/τα σπίτια (οικιακό PLC).

Το θέμα ενδιαφέροντός μας είναι το πεδίο εφαρμογής των συστημάτων PLC στις *ενσύρματες τηλεπικοινωνίες σχετικά μεγάλων αποστάσεων* λόγω της μείωσης δαπανών που αυτό μπορεί να επιφέρει (περίπου το 50% των συνολικών επενδύσεων απαιτείται για την κατασκευή μονάχα των δικτύων πρόσβασης) και της ευκολίας υλοποίησης του. Η απελευθέρωση της αγοράς τηλεπικοινωνιών προκαλεί μια ανάγκη για την πραγματοποίηση των δικτύων πρόσβασης από τους νέους προμηθευτές δικτύων. Υπάρχουν δύο δυνατότητες για την επέκταση των δικτύων πρόσβασης:

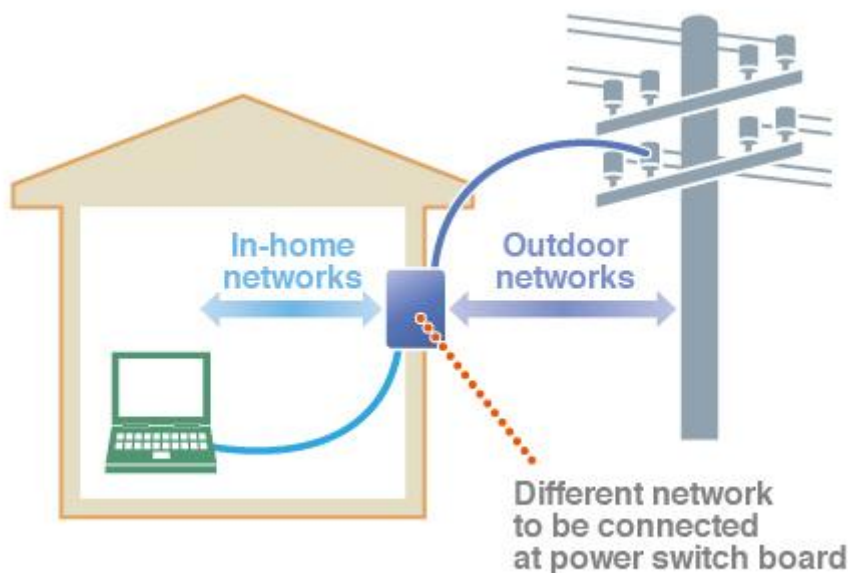
(α) κατασκευή των νέων δικτύων (πραγματοποίηση ασύρματων τοπικών συστημάτων βρόχων, χρήση των δορυφορικών συστημάτων και κατασκευή των νέων ενσύρματων

δικτύων πρόσβασης) και (β) χρήση μιας **υπάρχουσας υποδομής** (τεχνικές xDSL, χρήση δικτύου καλωδιακής τηλεόρασης CATV, των δικτύων πρόσβασης PLC).

Η οικοδόμηση των νέων συστημάτων πρόσβασης προκαλεί υψηλότερες δαπάνες και και είναι μακροχρόνιες. Λόγω αυτού, η επιλογή μιας υπάρχουσας υποδομής φαίνεται να είναι μια συμφέρουσα λύση. Εντούτοις, μία υπάρχουσα υποδομή δικτύου ανήκει συνήθως σε άλλον προμηθευτή δικτύου και χρειάζεται συμφωνία μαζί του και αδειοδότηση και δεν έρχεται δωρεάν.

Στην περίπτωση ενός συστήματος πρόσβασης PLC, ένα δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος χαμηλής τάσης χρησιμοποιείται για τη σύνδεση των τελικών χρηστών/συνδρομητών με ένα δίκτυο επικοινωνίας (σχήμα 4.1). Συνήθως, υπάρχουν πάρα πολλοί συνδρομητές σε ένα χαμηλής τάσης δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος που πρέπει να μοιραστούν την ικανότητα μετάδοσης ενός δικτύου πρόσβασης PLC (PLC Access Network).

Λόγω αυτού, πρέπει να πραγματοποιηθούν υψηλότερες απ' το κανονικό ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων για να εξασφαλίσουν μία ικανοποιητική ποιότητα προσφερόμενης υπηρεσίας, QoS (Quality of Service), στα δίκτυα PLC έτσι ώστε τα συστήματα PLC να μπορούν να είναι ανταγωνιστικά με τις άλλες τεχνολογίες πρόσβασης.



Σχήμα 4.1: Δίκτυο πρόσβασης PLC

Τα συστήματα πρόσβασης PLC χρησιμοποιούν ένα φάσμα συχνοτήτων μέχρι 30 MHz

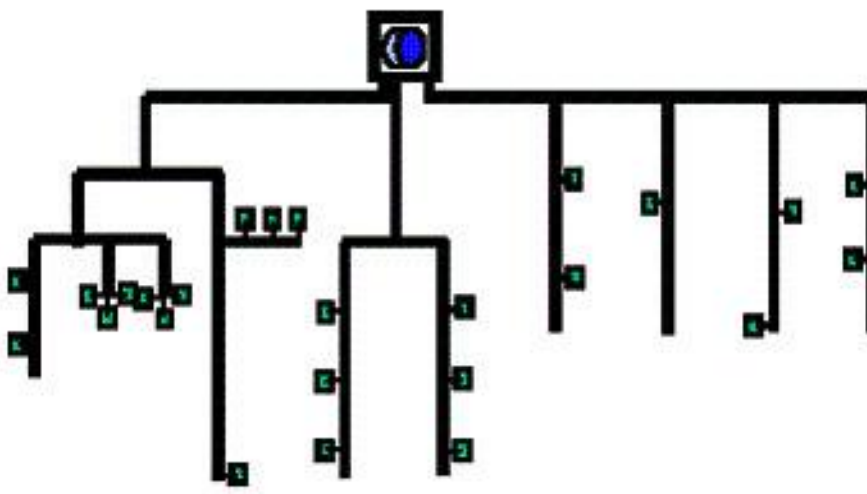
και επομένως ενεργούν ως κεραίες παράγοντας την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία προκαλεί τις διαταραχές σε άλλες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες που εργάζονται στο ίδιο αυτό φάσμα συχνοτήτων. Επομένως, τα δίκτυα PLC πρέπει να λειτουργήσουν με μια περιορισμένη ισχύ σημάτων που καθιστά τα συστήματα PLC πιο ευαίσθητα στις διαταραχές από το δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι γνωστοί μηχανισμοί χειρισμού σφάλματος μπορούν να εφαρμοστούν στα συστήματα PLC για να λύσουν το πρόβλημα των σφαλμάτων μετάδοσης που προκαλούνται από το θόρυβο (π.χ. FEC – Forward Error Correction και ARQ – Automatic Repeat reQuest mechanisms). Εντούτοις, η χρήση αυτών των μηχανισμών καταναλώνει ένα μέρος της ταχύτητας μετάδοσης, λόγω των επιπρόσθετων δεδομένων που απαιτούνται και της αναμετάδοσης (overhead, retransmission) και επομένως μειώνει το ήδη περιορισμένο ρυθμό μετάδοσης των συστημάτων PLC. Λόγω του κοινού μέσου μετάδοσης, (το ίδιο καλώδιο μεταφέρει και το ηλεκτρικό ρεύμα παροχής και την επικοινωνία PLC), τα δίκτυα PLC πρέπει να συνδυάσουν ένα μεγάλο αριθμό συνδρομητών με ένα ικανοποιητικό QoS. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρησιμοποίηση των αποδοτικών μεθόδων για τη μοίρασμα χωρητικότητας δικτύων – Πρωτόκολλα MEDIA Access Control (MAC). Σε αυτήν την μελέτη ερευνάμε την εφαρμογή πρωτοκόλλων MAC βασισμένα σε ψηφοφορία (pooling) που απευθύνονται στα ευρυζωνικά δίκτυα πρόσβασης PLC και συγκρίνουμε τις αποδόσεις τους. Κατ' αρχάς, δίνουμε μια σύντομη περιγραφή του ερευνημένου δικτύου PLC η τοπολογία , το σύστημα μετάδοσης και οι υπηρεσίες επικοινωνίας που προσφέρονται στα δίκτυα PLC. Περιγράφουμε μεθόδους πολλαπλής πρόσβασης **OFDMA / TDMA** που μπορούν να εφαρμοστούν στα δίκτυα πρόσβασης PLC και συζητούμε διάφορες λύσεις για την οργάνωση και στρατηγική του σχεδίου μοιράσματος κοινών πόρων (πρωτόκολλο της MAC). Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα **πρωτόκολλα MAC βασισμένα σε ψηφοφορία (pooling based reservation MAC)** είναι τα κατάλληλα για το **PLC**. Τα ενεργά πρωτόκολλα ψηφοφορίας συγκρίνονται με τις βασικές λύσεις ψηφοφορίας. Η εφαρμογή της *piggybacking* μεθόδου προσπέλασης που συνδυάζεται με τις παραλλαγές μεθόδων ψηφοφορίας εξετάζεται, επίσης. Για να βελτιώσουμε την απόδοση του δικτύου PLC, εισάγουμε μία σε δύο στάδια διαδικασία ψηφοφορίας και αναλύουμε την συμπεριφορά της.

4.1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ PLC

4.1.1.1 Τοπολογία δικτύου

Τα δίκτυα πρόσβασης PLC συνδέονται με τα δίκτυα φορείς (backbone) μέσω ενός σταθμού μετασχηματιστών. Τα χαμηλής τάση συστήματα παροχής είναι τοπολογίες δικτύων που έχουν μια ιεραρχική δομή (tree structure) (σχήμα 4.2). Υπάρχουν γενικά διάφορα τμήματα δικτύων με διαφορετικές τοπολογίες το καθένα που συνδέουν με μια μονάδα μετασχηματιστών τους χρήστες του δικτύου PLC. Σύμφωνα με τις έρευνές μας και, μπορούμε να υποθέσουμε ότι σε μέσο όρο υπάρχουν μέχρι 250 πιθανοί συνδρομητές σε ένα δίκτυο PLC που τοποθετείται σε μια αγροτική περιοχή και μέχρι 800 συνδρομητές σε ένα δίκτυο PLC που φαίνεται να είναι χαρακτηριστικό για τις ευρωπαϊκές αστικές περιοχές (πλην της Ελλάδος που δεν είναι διαδεδομένο ακόμη και σήμερα).

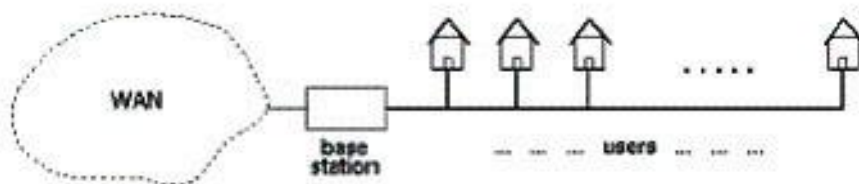


Σχήμα 4.2: Δομή δικτύου PLC

Ανεξάρτητα της τοπολογίας δικτύων, η επικοινωνία μεταξύ των χρηστών ενός δικτύου PLC και ενός δικτύου ευρείας περιοχής (WAN) πραγματοποιείται μέσω ενός κύριου σταθμού, που τοποθετείται συνήθως στη μονάδα μετασχηματιστών. Υποθέτουμε ότι η εσωτερική επικοινωνία μεταξύ των χρηστών ενός δικτύου PLC γίνεται επίσης μέσω ενός κύριου σταθμού. Έτσι, μπορούμε να αναγνωρίσουμε δύο κατευθύνσεις μετάδοσης μέσα στο δίκτυο PLC:

- Κατιούσα σύνδεση (downlink) – για τη μετάδοση από το κύριο σταθμό προς τους συνδρομητές του δικτύου PLC
- Ανιούσα σύνδεση (Uplink) – παρέχει την μετάδοση από κάθε συνδρομητή PLC προς τον κύριο σταθμό

Ένα σήμα μετάδοσης που στέλνεται από το σταθμό βάσης στην κατεύθυνση κατιούσων συνδέσεων διαβιβάζεται σε όλες τις υποενότητες δικτύων. Επομένως, παραλαμβάνεται από όλους τους χρήστες στο δίκτυο. Στη Uplink κατεύθυνση, ένα σήμα που στέλνεται από έναν χρήστη διαβιβάζεται όχι μόνο στο σταθμό βάσης, αλλά και σε όλους τους άλλους χρήστες στο δίκτυο (σχήμα 4.3).



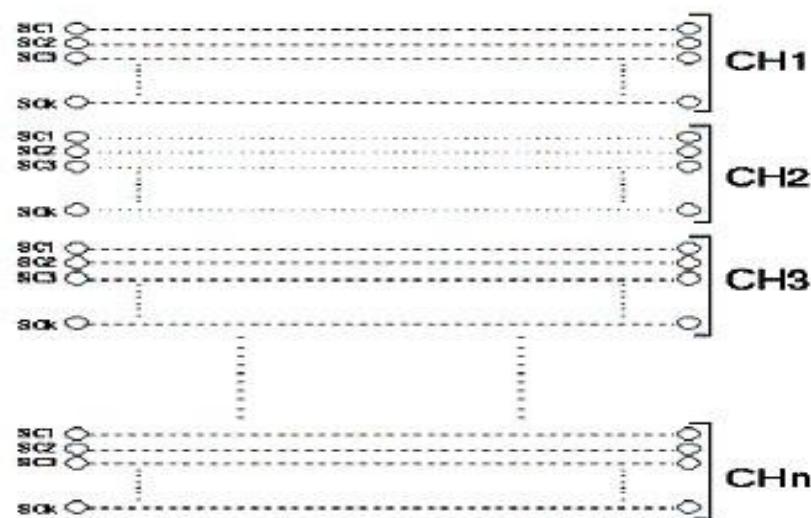
Σχήμα 4.3: Τοπολογία διαύλου στο δίκτυο PLC

Αυτός σημαίνει ότι το δίκτυο πρόσβασης PLC κρατά μια λογική δομή διαύλων (Bus topology) παρά το γεγονός ότι τα χαμηλής τάσης δίκτυα παροχής έχουν συνήθως μια τοπολογία ιεραρχική (tree). Το παραπάνω ισχύει επίσης εάν εξετάζουμε μεμονωμένα οποιοδήποτε υπομήνυμα του δικτύου PLC. Επομένως, είναι λογικό να θεωρούμε τη δομή δικτύων PLC ως τοπολογία διαύλων (Bus topology).

4.1.1.2 Σύστημα Μετάδοσης

Υπάρχουν διάφορες πολλαπλές μέθοδοι διαμόρφωσης που ερευνώνται για να εφαρμοστούν στα συστήματα μετάδοσης PLC. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) περιγράφεται ως ένας από τους καλύτερους υποψηφίους για την εφαρμογή στα συστήματα μετάδοσης PLC με τις υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, λόγω του άριστου εύρους ζώνης συχνοτήτων που επιτυγχάνεται. OFDM παρέχει την δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων μέσω μεγάλου αριθμού διαφορετικών φερουσών συχνοτήτων (sub-carriers) που κάνει την πιθανή απόκλιση από κρίσιμες

συχνότητες για την αποφυγή παρεμβολών (σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4: OFDM δομή καναλιού

Κάθε υποφέρουσα (SC) που μεταφέρει τα διαμορφωμένα δεδομένα έχει και ένα καθορισμένο εύρος ζώνης συχνοτήτων (Bandwidth), είναι δυνατό να γίνει ομαδοποίηση των υποφερουσών σε κανάλια μετάδοσης (CH) αυξάνοντας κατακόρυφα το εύρος ζώνης της μετάδοσης και άρα και την ταχύτητα μετάδοσης. Η ομαδοποίηση και δημιουργία του καναλιού θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, όπως αναφέρεται μέσα, αλλά υποθέτουμε για αυτήν την έρευνα ότι ένα κανάλι μετάδοσης προσφέρει μία σταθερή ταχύτητα μετάδοσης στα 256 kbps. Έτσι, θεωρούμε κατάλληλη και προτεινόμενη μέθοδο πολυπλεξίας την **FDM** (Frequency Division Multiplexing).

4.1.1.3 Υπηρεσίες PLC

Τα δίκτυα PLC πρέπει να προσφέρουν μια μεγάλη παλέτα τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών με μια ικανοποιητική ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) για να είναι σε θέση να ανταγωνιστούν με άλλες τεχνολογίες πρόσβασης. Θεωρούμε το σύστημα μετάδοσης PLC ως φορέας τηλεξυπηρετήσεων και απομακρυσμένου τηλε-ελέγχου που κάνει εφικτή και ανέξοδη μια ομάδα πιθανών εφαρμογών επικοινωνίας, όπως η πρόταση της παρούσας μελέτης. Το πρωτόκολλο MAC που εφαρμόζεται σε ένα σύστημα PLC πρέπει να παρέχει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα για την πραγματοποίηση των διαφορετικών τηλεξυπηρετήσεων που μπορούν να ομαδοποιηθούν ως εξής:

- Υπηρεσίες συνδέσεων, όπως την τηλεφωνία και άλλες σταθερού ρυθμού μετάδοσης CBR (Constant Bit Rate) υπηρεσίες
- Χωρίς σύνδεση (χρέωση) υπηρεσίες χωρίς εγγυήσεις QoS (π.χ. Διαδίκτυο)
- Ειδικές υπηρεσίες PLC
- Μετάδοση δεδομένων με εγγυήσεις QoS (όπως μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης, VBR Variable Bit Rate – υπηρεσίες)

Τα δίκτυα PLC πρέπει να υποστηρίζουν την κλασσική τηλεφωνική υπηρεσία, λόγω της σημασίας της και της μεγάλης διείσδυσής της στον κόσμο των επικοινωνιών. Μια άλλη σημαντική υπηρεσία είναι μετάδοση πληροφοριών/δεδομένων, η οποία επιτρέπει τη χρήση του Διαδικτύου. Επίσης, μια δυνατότητα για τη μετάδοση των περιπλοκότερων υπηρεσιών, με υψηλότερες απαιτήσεις QoS (π.χ. VBR, CBR με υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης) καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα για τις **ειδικές υπηρεσίες PLC** (οικιακή αυτοματοποίηση, **διαχείριση ενέργειας**, ασφάλεια ...) πρέπει να συμπεριληφθούν στο πρωτόκολλο MAC που χρησιμοποιεί το PLC (PLC MAC layer).

4.1.2 PLC MAC LAYER

4.1.2.1 Πολλαπλό σχέδιο πρόσβασης

Το πολλαπλό σχέδιο πρόσβασης που περιγράφει το πρωτόκολλο **MAC** (Media Access Control) ορίζει μια μέθοδο για το μοίρασμα των πόρων μετάδοσης σε προσβάσιμα τμήματα. Τα κανάλια μετάδοσης, που καθορίζονται στη λογική μας δομή των συστημάτων PLC (σχήμα 4.4), αντιπροσωπεύουν τα τμήματα που είναι προσβάσιμα από το πρωτόκολλο MAC. Η στοιχειώδης εργασία ενός πρωτοκόλλου MAC είναι να ρυθμιστεί η κατανομή/αναδιανομή των καναλιών μεταξύ των διάφορων συνδρομητών PLC και η μετάδοση των διαφορετικών ειδών υπηρεσιών. Στο εξεταζόμενο σύστημα PLC, τα κανάλια μετάδοσης διανέμονται σε ένα φάσμα συχνοτήτων, και χρησιμοποιείται η μέθοδος FDMA (Frequency Division Multiple Access) για την πολυπλεξία τους. Λόγω της δομής της μεθόδου OFDM που επίσης προτείνουμε να χρησιμοποιήσουμε σε συνδυασμό με την FDMA και των διάφορων υποφερουσών σε κάθε ένα από τα κανάλια μετάδοσης, αυτή η μέθοδος πολλαπλής προσπέλασης που προτείνουμε, για τον σκοπό της παρούσας μελέτης, καλείτε **OFDMA**

(OFDM Access).

Προτείνουμε τη χωρισμένη μεταχείριση των διαφορετικών τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών που μεταδίδονται μέσω από τα δίκτυα PLC. Αυτό επιτρέπει την εκπλήρωση των ιδιαίτερων εγγυήσεων QoS για κάθε μια από τις υπηρεσίες. Παρέχουμε την κατανομή καναλιών στις υπηρεσίες CBR (π.χ. η ανάγκη φωνητικής τηλεφωνικής σύνδεσης απαιτεί ένα κανάλι μετάδοσης των 64 kbps) καθ' όλη τη "διάρκεια" μιας σύνδεσης με μια πιο υψηλή προτεραιότητα. Τα υπόλοιπα ελεύθερα κανάλια μετάδοσης χρησιμοποιούνται για άλλες υπηρεσίες δεδομένων.

Για να προφυλάξουμε τα δίκτυα PLC από τις αναμενόμενες παρεμβολές (ειδικά στην περίπτωση δικτύων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης) προτείνουμε μια κατάτμηση των δεδομένων των χρηστών σε μικρότερες μονάδες δεδομένων, PLC τμήματα δεδομένων με ένα σταθερό μήκος. Έτσι, εάν μια διαταραχή εμφανίζεται, και ένα ή περισσότερα τμήματα δεδομένων PLC είναι χαλασμένα τότε μόνο τα χαλασμένα τμήματα δεδομένων PLC πρέπει να αναμεταδοθούν (π.χ. από έναν μηχανισμό εκσφαλμάτωσης ARQ).

Με τον τρόπο αυτό **σπαταλείται** λόγω αναμεταδόσεων, **μικρότερο** ποσοστό από την συνολική διαθέσιμη χωρητικότητα δεδομένων του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας που είναι ο φορέας του PLC. Αποτέλεσμα του ανωτέρω είναι ότι η χωρητικότητα του δικτύου που εξοικονομείται με τον τρόπο αυτό μεταφράζεται σε υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης των δεδομένων του PLC. Η κατάτμηση στοιχείων εξασφαλίζει επίσης μια απλούστερη πραγματοποίηση των εγγυήσεων QoS.

Τα τμήματα δεδομένων PLC διαβιβάζονται μέσα από τα κανάλια παράλληλα (ταυτόχρονα). Κάθε κανάλι διαιρείται σε χρονικές αυλακώσεις που φέρουν τα τμήματα δεδομένων PLC. Έτσι, εάν εξετάζαμε τα τμήματα δεδομένων σαν μεμονωμένα ξεχωριστά κανάλια μετάδοσης, για κάθε τμήμα αντιστοιχούμε ένα κανάλι, αυτά τα κανάλια/τμήματα πολυπλέκονται στο χρόνο με την μέθοδο της πολυπλεξίας στο χρόνο, TDMA (Time Division Multiple Access) .

Εν συνεχεία, τα διάφορα αυλακωμένα χρονικά κανάλια μετάδοσης πολυπλέκονται και στην συχνότητα με την μέθοδο OFDMA που μας οδηγεί στην τελική επιλογή της μεθόδου πολλαπλάσιας πρόσβασης της μελέτης αυτής, την **OFDMA / TDMA**.

4.1.2.2 Στρατηγική μοιράσματος πόρων

Η οργάνωση της μετάδοσης κατιούσων συνδέσεων downlink (από το σταθμό βάσης προς τους συνδρομητές, (σχήμα 4.3) φαίνεται να είναι εύκολη, επειδή ελέγχεται πλήρως από το σταθμό βάσης. Το σημείο ενδιαφέροντός μας είναι η ανάπτυξη και η μελέτη μοιράσματος των πόρων μετάδοσης (πρωτόκολλα MAC) όχι για το downlink αλλά στο uplink. Στις προηγούμενες έρευνες, ανακαλύψαμε τα εξής:

- Οι σταθερές στρατηγικές πρόσβασης δεν είναι κατάλληλες για την μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων και σε υψηλές ταχύτητες.
- Τα δυναμικά πρωτόκολλα συνδέσεων δεν μπορούν να εξασφαλίσουν ικανοποιητικές εγγυήσεις QoS και η πλήρης εξάντληση της υπάρχουσας χωρητικότητας δεδομένων σε ένα δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορεί να επιτευχθεί.
- Η μέθοδος του λαχνού (**Token passing**) και της ψηφοφορίας (**polling**), επιτρέπει την πραγματοποίηση των εγγυήσεων QoS, αλλά για μεγάλο αριθμό σταθμών βάσης του δικτύου, ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών λαχνών ή ψήφων στο σύστημα (μετ'επιστροφής χρόνος, round-trip, των λαχνών ή των μηνυμάτων ψήφησης) γίνεται μεγαλύτερος, το οποίο δεν είναι κατάλληλο για τις χρονικά κρίσιμες υπηρεσίες.

Αφ' ετέρου, τα συστήματα μετάδοσης με μέθοδο πρόσβασης με **προκράτηση (reservation access)** είναι κατάλληλα να φέρουν την υβριδική κυκλοφορία (μίγμα των τύπων κυκλοφορίας που προκαλούνται από τις διάφορες υπηρεσίες) με μία μεταβλητή ταχύτητα μετάδοσης.

Οι διάφορες απαιτήσεις QoS μπορούν να πραγματοποιηθούν και η καλή χρήση της χωρητικότητας δεδομένων των δικτύων μπορεί να επιτευχθεί, επίσης. **Επομένως, προτείνουμε την εφαρμογή των πρωτοκόλλων Reservation MAC στα δίκτυα πρόσβασης PLC.**

4.1.2.3 Πρωτόκολλα Reservation MAC

Στην περίπτωση των πρωτοκόλλων *reservation MAC*, ένα είδος προκράτησης ενός δεδομένου ποσοστού χωρητικότητας της γραμμής μετάδοσης γίνεται για τον κάθε online χρήστη χωριστά ή μια υπηρεσία. Για αυτόν το λόγο, ένα ή περισσότερα κανάλια μετάδοσης χρησιμοποιούνται μόνο για τη σηματοδότηση - μετάδοση των αιτημάτων χρηστών στο σταθμό βάσης και τα μηνύματα αποδοχής/δικαιωμάτων μετάδοσης από τους σταθμούς βάσεων. Αφότου τελειώσει τη διαδικασία προκράτησης (*reservation*), ακολουθεί η μετάδοση δεδομένων που δεν έχει ογκοχρέωση ή άλλου είδους περιορισμούς (*connection free services* πχ. *ιντερνέτ*). Η πρόσβαση στο καλούντος κανάλι μπορεί να οργανωθεί με τους διαφορετικούς τρόπους. Μια ομάδα πρωτοκόλλων προκράτησης χρησιμοποιεί την τυχαία μέθοδο προσπέλασης (*random access method*).

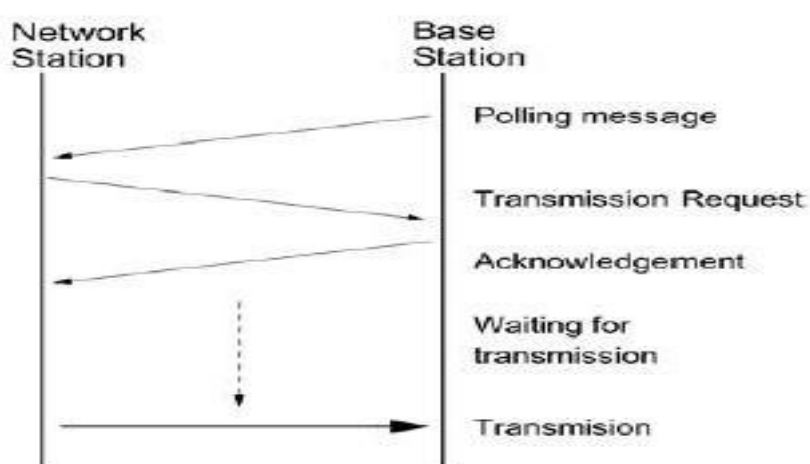
Οι περαιτέρω λύσεις είναι εφαρμογή της μεθόδου προσπέλασης ψηφοφορίας, συνδυασμός ψηφοφορίας και πρωτοκόλλων ALOHA³ (υβριδικές μέθοδοι) καθώς επίσης και χρήση των διάφορων επεκτάσεων πρωτοκόλλου (*piggybacking*, προσαρμοστικά πρωτόκολλα, κ.λπ.).

Τα πρωτόκολλα ALOHA και της MAC προκράτησης ψηφοφορίας (**polling reservation MAC**) ερευνώνται ως δύο διαφορετικές λύσεις για την εφαρμογή στα ευρυζωνικά δίκτυα πρόσβασης PLC. Το πρωτόκολλο ψηφοφορίας παρουσιάζει καλύτερη απόδοση εάν τα αιτήματα μετάδοσης είναι συχνά και εάν το δίκτυο φορτώνεται ιδιαίτερα (μεγάλος όγκος δεδομένων). Στη χαμηλή περιοχή φορτίων, το πρωτόκολλο ALOHA παρέχει τις μικρότερες καθυστερήσεις κλήσεων (αιτήματα μετάδοσης) ανεξάρτητα από τον αριθμό τους. Εάν εξετάζουμε το δίκτυο για μικρό αριθμό αιτημάτων, το πλεονέκτημα της μεθόδου ψηφοφορίας εξαφανίζεται και το πρωτόκολλο ALOHA παρέχει πάντα τις πιο σύντομες καθυστερήσεις. Τα ALOHA πρωτόκολλα έχουν επίσης μεγαλύτερη **ανοσία** ενάντια στις παρεμβολές (σφάλματα μετάδοσης) λόγω της τυχαίας φύσης που χαρακτηρίζει αυτήν την μέθοδο προσπέλασης. **Σε αυτήν την έρευνα εξετάζουμε τις δυνατότητες για τη βελτίωση της απόδοσης των βασισμένων στη ψηφοφορία λύσεων πρωτοκόλλου.**

³ πρωτόκολλο επικοινωνίας υπολογιστών που αναπτύχθηκε από το “University of Hawaii” το έτος 1971

4.1.2.4 Η μέθοδος Basic Polling Reservation

Μια διαδικασία ψηφοφορίας που πραγματοποιείται από ένα σταθμό βάσης PLC, διαβιβάζει τα αποκαλούμενα **μηνύματα ψηφοφορίας** σε κάθε σταθμό δικτύων σύμφωνα με τη διαδικασία Round Robin (γενική διαδικασία όπου ένα μήνυμα με ένα αποστολέα έχει πολλούς παραλήπτες). Ένας σταθμός που λαμβάνει ένα μήνυμα ψηφοφορίας έχει το δικαίωμα να στείλει ένα αίτημα μετάδοσης και κατόπιν ο σταθμός βάσης απαντά με τις πληροφορίες σχετικές με τα δικαιώματα πρόσβασης του μέσου (σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5: Η μέθοδος ψηφοφορίας (polling)

Προτείνουμε μια **μέθοδο προκράτησης ανά-πακέτο** δεδομένων (per-packet reservation) για να βελτιώσουμε την αδιάκοπη λειτουργία του δικτύου αποφεύγοντας τις ανενεργούς περιόδους «σιωπής» που εμφανίζονται στη μέθοδο προκράτησης με ανά-σύνδεση ή ανά-μετάδοση. Συνεπώς, ένας δικτυακός σταθμός (Network Station) ζητά διάφορα τμήματα πληροφοριών PLC να διαβιβαστούν, ο αριθμός των οποίων ποικίλει ανάλογα με τον αριθμό των αφιχθέντων πακέτων στον σταθμό, (π.χ. πακέτα IP). Εάν το αίτημα είναι επιτυχές, ο σταθμός βάσης (Base Station) απαντά στον δικτυακό σταθμό (Network Station), στέλνοντας του τον **αριθμό** των πακέτων μηνυμάτων που πρέπει ο σταθμός να αφήσει να περάσουν, μένοντας ανενεργός, προτού να αρχίσει να στέλνει τα δικά του (σχήμα 4.5).

Να σημειώσουμε εδώ ότι όλα τα πακέτα μηνυμάτων έχουν το ίδιο χρονικό παράθυρο (time slot) μέσα στο οποίο πρέπει να γίνει η εκπομπή ή η λήψη τους από τον σταθμό και ότι όλοι οι σταθμοί του δικτύου είναι **συγχρονισμένοι**. Ο αριθμός των χρονικών

παραθύρων (time slots) και άρα ο χρόνος για τον οποίο ένας δικτυακός σταθμός διατάζεται από τον σταθμό βάσης να παραμείνει ανενεργός χρησιμοποιείται από άλλους δικτυακούς σταθμούς που θέλουν να στείλουν τα πακέτα τους.

4.1.2.5 Ψηφοφορία με piggybacking

Μελετήσαμε τη χρήση piggybacking⁴ μέσα σε ένα δίκτυο πρόσβασης PLC. Υπάρχει μια σημαντική βελτίωση των χαρακτηριστικών των πρωτοκόλλων μεγάλα φορτία δικτύων, ειδικά στην περίπτωση των συχνών αιτημάτων μετάδοσης. Έτσι, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η χρήση piggybacking μέσα στο πρωτόκολλο πρόσβασης ψηφοφορίας φαίνεται να βελτιώνει την απόδοση του πρωτοκόλλου.

Στην περίπτωση της εφαρμογής *piggybacking*, ένας σταθμός που διαβιβάζει το τελευταίο τμήμα δεδομένων ενός πακέτου μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτό το τμήμα για να ζητήσει επίσης μια μετάδοση για ένα νέο πακέτο, εφόσον υπάρχει και άλλο πακέτο για μετάδοση στη λίστα αναμονής του σταθμού. Συνεπώς, το καλούν κανάλι δεν χρησιμοποιείται για το αίτημα μετάδοσης και ο σταθμός αίτησης δεν είναι απαραίτητο να περιμένει μια επιπλέον χρονική αυλάκωση (time slot) που αυξάνει τις καθυστερήσεις του σήματος αίτησης.

4.1.3 Ενεργή Ψηφοφορία

4.1.3.1 Η μέθοδος Active Polling

Με τον αυξανόμενο αριθμό σταθμών στο δίκτυο οι μετ'επιστροφής χρόνοι (round-trip) των μηνυμάτων ψηφοφορίας – αφιερωμένες αυλακώσεις αιτήσεων – αυξάνεται επίσης. Ένας σταθμός στέλνει ένα αίτημα μόνο για τη μετάδοση ενός πακέτου και μετά από την αποδοχή (acknowledgment, ACK) από το σταθμό βάσης περιμένει ένα επιτρεπτό χρονικό διάστημα για να διαβιβάσει το πακέτο. Αμέσως μετά από μια επιτυχή μετάδοση πακέτων, ο σταθμός μπορεί να διαβιβάσει ένα αίτημα για το επόμενο πακέτο, εάν υπάρχει στη λίστα αναμονής του. Στο ενδιάμεσο χρόνο, οι αφιερωμένες αυλακώσεις αιτήσεων για το σταθμό παραμένουν αχρησιμοποίητες (σχήμα 4.5). Για να αποφευχθεί αυτή η κατάσταση και για να μειωθούν οι

⁴ μια αμφίδρομη τεχνική μετάδοσης δεδομένων σε δίκτυο

καθυστερήσεις πρόσβασης, η αποκαλούμενη μέθοδος της ενεργής ψηφοφορίας (**Active polling**) μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Σε αυτήν την περίπτωση, μετά που ένας σταθμός στέλλει ένα αίτημα μετάδοσης, το μήνυμα ψηφοφορίας, που καθορίζει την αφιερωμένη χρονική αυλάκωση που θα περιέχει το συγκεκριμένο αίτημα, δεν διαβιβάζεται από τον σταθμό βάσης προς τους ήδη καλούντες (ζητώντας μετάδοση) σταθμούς δικτύων έως ότου αυτοί τελειώσουν τη μετάδοση. Τα **μηνύματα ψηφοφορίας στέλνονται μόνο στους σταθμούς που είναι ανενεργοί** προς στιγμήν, δηλαδή που δεν διαβιβάζουν δεδομένα ή που δεν περιμένουν ένα δικαίωμα μετάδοσης (μετά από ένα επιτυχές αίτημα). Έτσι, μπορούμε να μειώσουμε τους μετέπιστροφής χρόνους ψηφοφορίας και συνεπώς γενικά της καθυστερήσεις κλήσεων.

4.1.3.2 Μοντέλο απόδοσης

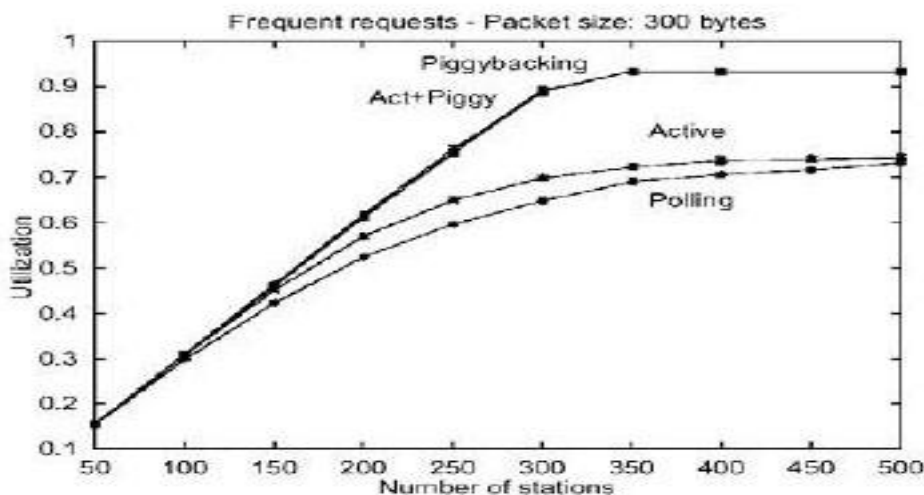
Για να ερευνήσουμε την απόδοση του πρωτοκόλλου χρησιμοποιούμε το μοντέλο προσομοίωσης. Μελετάμε ένα δίκτυο με έναν μεταβλητό αριθμό χρηστών (50-500) χρησιμοποιώντας μία υπηρεσία δεδομένων που αντιπροσωπεύει την κυκλοφορία του Διαδικτύου (internet). Οι χρήστες Διαδικτύου διαβιβάζουν συνήθως στη uplink κατεύθυνση μόνο μικρά πακέτα που αντιπροσωπεύουν τα αιτήματα για το «κατέβασμα» ιστοσελίδων.. Επομένως, υποθέτουμε ένα χαμηλό προσφερθέν φορτίο κυκλοφορίας ανά χρήστη που ανέρχεται σε 2.5 kbps. **Προτείνουμε την ίδια διαδικασία αίτησης για όλες τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα PLC.** Οι χρόνοι μετάδοσης των φωνητικών κλήσεων (περίπου 30 sec) είναι πολύ πιο μακροχρόνιοι από τους χρόνους μετάδοσης των πακέτων δεδομένων των χρηστών και μια σύνδεση τηλεφωνίας καταλαμβάνει μια σχετικά μικρή σταθερή χωρητικότητα μετάδοσης (ένα κανάλι των 64 kbps). Έτσι, υποθέτουμε ότι δεν υπάρχει καμία μεγάλη επιρροή της υπηρεσίας τηλεφωνίας στην απόδοση του πρωτοκόλλου και έτσι μόνο η κυκλοφορία δεδομένων μοντελοποιείται για προσομοίωση. Καθορίσαμε τον αριθμό καναλιών μετάδοσης σε 15 (ένα από τα κανάλια είναι αφιερωμένο για τη σηματοδότηση δηλαδή την κλίση), κάθε ένα κανάλι έχει μία ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων στα 64 kbps. Σημειώστε ότι τα σημερινά συστήματα PLC παρέχουν ταχύτητα μετάδοσης γύρω στα 4Mbps. Έτσι, υποθέτουμε ότι τα 3/4 της συνολικής χωρητικότητας δικτύων χρησιμοποιείται για συνδέσεις δεδομένων (Data).

Εξετάζουμε δύο μέσα μεγέθη πακέτων χρηστών που διαβιβάζονται στη uplink κατεύθυνση 1500 και 300 bytes αντίστοιχα. Τα μεγέθη πακέτων διανέμονται γεωμετρικά καθώς επίσης και ο χρόνος μετάδοσης των πακέτων. Σύμφωνα με το επιλεγμένο προσφερθέν φορτίο κυκλοφορίας οι μέσοι χρόνοι μετάδοσης είναι στα 4.8 και 0.96 δευτερόλεπτα για τα 1500 και 300 bytes πακέτα χρηστών αντίστοιχος. Έτσι, μπορούμε να εξετάσουμε τα μοντέλα δικτύων με σπάνια και συχνά αιτήματα μετάδοσης. Η προσφερθέν ταχύτητα μετάδοσης ανά χρήστη είναι η ίδια και για τις δύο περιπτώσεις έτσι ώστε να μπορούν να συγκριθούν.

4.1.3.3 Χρησιμοποίηση δικτύου

Ορίζουμε τον όρο **χρησιμοποίηση δικτύου** ως τη σχέση μεταξύ, της τρέχουσας χρησιμοποιημένης χωρητικότητας του δικτύου για τη μετάδοση δεδομένων και της μέγιστης συνολικής χωρητικότητας του δικτύου PLC. Ερευνάμε τα δίκτυα με τέσσερις παραλλαγές των πρωτοκόλλων προκράτησης ψηφοφορίας (polling reservation): βασική ψηφοφορία, ψηφοφορία με piggybacking, ενεργός ψηφοφορία, και ενεργός ψηφοφορία με piggybacking. Εάν αναλύουμε τα δίκτυα με σπάνια τα αιτήματα μετάδοσης – μεγαλύτερα πακέτα χρηστών, 1500 bytes – δεν υπάρχει καμία διαφορά μεταξύ και των τεσσάρων ερευνημένων παραλλαγών της μεθόδου προσπέλασης ψηφοφορίας και μια σχεδόν πλήρης **χρησιμοποίηση δικτύου** επιτυγχάνεται.

Το σχήμα 4.6 εμφανίζει την **χρησιμοποίηση δικτύου** στην περίπτωση των συχνών αιτημάτων μετάδοσης (μικρότερα πακέτα χρηστών, 300 bytes) και για τις τέσσερις ερευνημένες παραλλαγές πρωτοκόλλου. Η χρήση της ενεργού ψηφοφορίας αυξάνει τη **χρησιμοποίηση δικτύου** πολύ ελαφρώς. Παρόλα αυτά, η **χρησιμοποίηση δικτύου** παραμένει χαμηλή, λιγότερο από 75%.

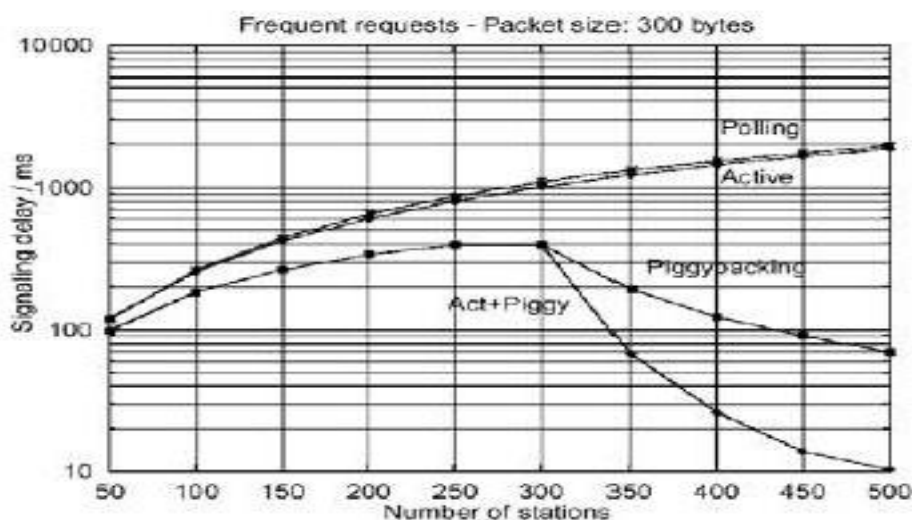


Σχήμα 4.6: Average network utilization (συχνά αιτήματα)

*Η εφαρμογή **riggybacking** αυξάνει σημαντικά τη χρησιμοποίηση δικτύου*, κοντά στη στη μέγιστη τιμή 100% που μπορεί να επιτευχθεί όπως είχαμε στην περίπτωση των σπανίων αιτημάτων μετάδοσης. Συνεπώς, μια *συνδυασμένη χρήση της ενεργού ψηφοφορίας (Active polling) και riggybacking εξασφαλίζει* έναν αποτέλεσμα κοντά στην πλήρη 100% χρησιμοποίηση της χωρητικότητας του δικτύου, και για τους δύο τύπους μεγέθους πακέτων δεδομένων, δηλαδή μικρά (πχ. 300 bytes) και μεγάλα (πχ. 1500 bytes).

4.1.3.4 Καθυστέρηση σηματοδότησης

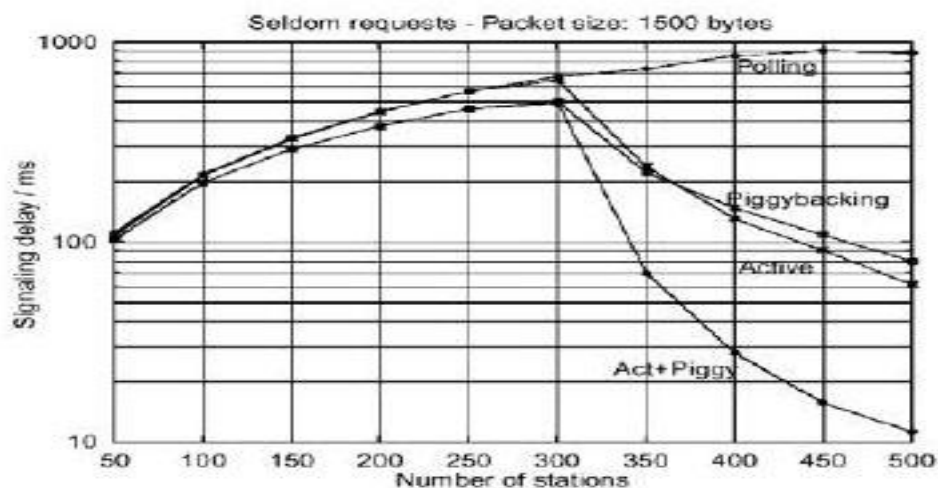
Μετράμε την καθυστέρηση σηματοδότησης (**signaling delay**) ως το χρόνο που απαιτείται για την πραγματοποίηση της διαδικασίας αίτησης για τη μετάδοση ενός αφιχθέν πακέτου στο σταθμό δικτύου. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τη μετάδοση ενός μηνύματος αιτήματος στο σταθμό βάσης και τη λήψη της απάντησής για τα δικαιώματα πρόσβασης. Το σχήμα 4.7 εμφανίζει τις μέσες τιμές των καθυστερήσεων σηματοδότησης (**signaling delay**) για δίκτυο με συχνά αιτήματα μετάδοσης.



Σχήμα 4.7: Average signaling delay (συχνά αιτήματα)

Η βελτίωση που επιτυγχάνεται από τη χρήση της ενεργού ψηφοφορίας (Active polling) είναι εμφανές. Αφ' ετέρου, παρατηρούμε τις σημαντικά μικρότερες τιμές καθυστέρησης, εάν piggybacking χρησιμοποιείται, ειδικά στην υψηλότερη περιοχή φορτίων δικτύου. Σημειώστε, ότι η καθυστέρηση μετριέται από την άφιξη ενός πακέτου στο σταθμό έως τη στιγμή που ο σταθμός λαμβάνει το σήμα αποδοχής (ACK) από το σταθμό βάσης. Περιλαμβάνει τις καθυστερήσεις που επάγονται από ολόκληρη την διαδικασία σηματοδότησης που περιγράφεται στο πρωτόκολλο επικοινωνίας αλλά όχι τις καθυστερήσεις πρόσβασης και διάδοσης (access and propagation delays) που οφείλονται καθαρά στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό του δικτύου.

Επομένως, είναι δυνατό οι καθυστερήσεις να μειώνονται στην υψηλή περιοχή φορτίων δικτύου λόγω piggybacking. Στην περίπτωση των σπάνια αιτημάτων μετάδοσης οι καθυστερήσεις μειώνονται επίσης, εάν εφαρμόσουμε είτε την ενεργό ψηφοφορία είτε piggybacking (σχήμα 4.8). Η θετική επιρροή της ενεργού ψηφοφορίας είναι σημαντικότερη στα μεγαλύτερα πακέτα χρηστών. Ο λόγος για αυτό είναι, μια αναλόγως πιο μακροχρόνια απουσία αφιερωμένων χρονικών (time slots) αυλακώσεων αιτήσεων για τους σταθμούς που στέλνουν ή που περιμένουν τα δικαιώματα πρόσβασης, που προκαλείται λόγω των ποιο μεγάλων χρόνων μετάδοσης των μεγαλύτερων πακέτων. Αυτό μειώνει τους γενικούς μετ'επιστροφής χρόνους (round-trip) των μηνυμάτων ψηφοφορίας και γενικά τις καθυστερήσεις σηματοδότησης.



Σχήμα 4.8: Average signaling delay (σπάνια αιτήματα)

Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα της ενεργού ψηφοφορίας γίνεται σημαντικότερο, εάν η μετάδοση των πακέτων χρηστών έχει μια πιο μακροχρόνια διάρκεια που συμβαίνει στην πολύ υψηλή περιοχή φορτίων δικτύων (επάνω από 350-400 σταθμούς δικτύων). Έτσι, σε αυτήν την περιοχή φορτίων η ενεργός ψηφοφορία εμφανίζει καλύτερα χαρακτηριστικά από τη χρήση piggybacking μέσα στο βασικό πρωτόκολλο ψηφοφορίας.

4.1.4 Το πρωτόκολλο Two-Step

4.1.4.1 Η διαδικασία two-step reservation

Για να βελτιώσουμε τις επιδόσεις του πρωτοκόλλου εισάγουμε μια βασισμένη στην ψηφοφορία διαδικασία προκράτησης που αποτελείται από τις ακόλουθες δύο φάσεις:

- Καταχώρηση του αποδεχόμενου από το σταθμό βάσης αιτήματος μετάδοσης. Η καταχώρηση είναι κωδικοποιημένη με 1 bit (σημαία)
- προκράτηση (reservation) μιας αφιερωμένης χρονικής αυλάκωσης (time slot) που θα φέρει το παρεχόμενο της αιτούμενης μετάδοσης, και που επιλέγεται έπειτα από ψηφοφορία.

Για αυτόν το λόγο, κάθε αυλάκωση σηματοδότησης κατιούσων συνδέσεων (downlink signaling) **διαίρεται σε τρία τμήματα** (σχήμα 4.9). Το μήνυμα ψηφοφορίας, προ-αιτήματος, **Pre-request polling message**, προσδιορίζει μια ομάδα σταθμών δικτύων που μπορεί να θέσει ένα δυαδικό ψηφίο αιτήματος (σημαία) στην επόμενη uplink signaling, ανιούσα σηματοδότηση. Το μήνυμα ψηφοφορίας, αιτήματος (**Request Message**) προσδιορίζει **έναν σταθμό δικτύου** που στέλνει ένα αίτημα μετάδοσης στην επόμενη αυλάκωση ανιούσας (uplink) σηματοδότησης (δεύτερη φάση). Το τρίτο τμήμα του μηνύματος της downlink σηματοδότησης είναι διατηρημένο για τις σημαίες αποδοχής-εγκρίσεις (ACK) που έρχονται από το σταθμό βάσης.



Σχήμα 4.9: Δομή της διαδικασίας two-step

Στο Uplink υπάρχουν διάφορα δυαδικά ψηφία προ-αιτήματος (**Pre-Request Bits**) και καθένα είναι διατηρημένο (αντιστοιχισμένο) για έναν σταθμό δικτύων που είναι μέλος μιας ομάδας που προσδιορίζεται στο μήνυμα προ-αιτήματος. Στην έρευνα που παρουσιάζεται κατωτέρω υποθέτουμε ότι υπάρχουν 50 σταθμοί μέσα σε μια ομάδα.

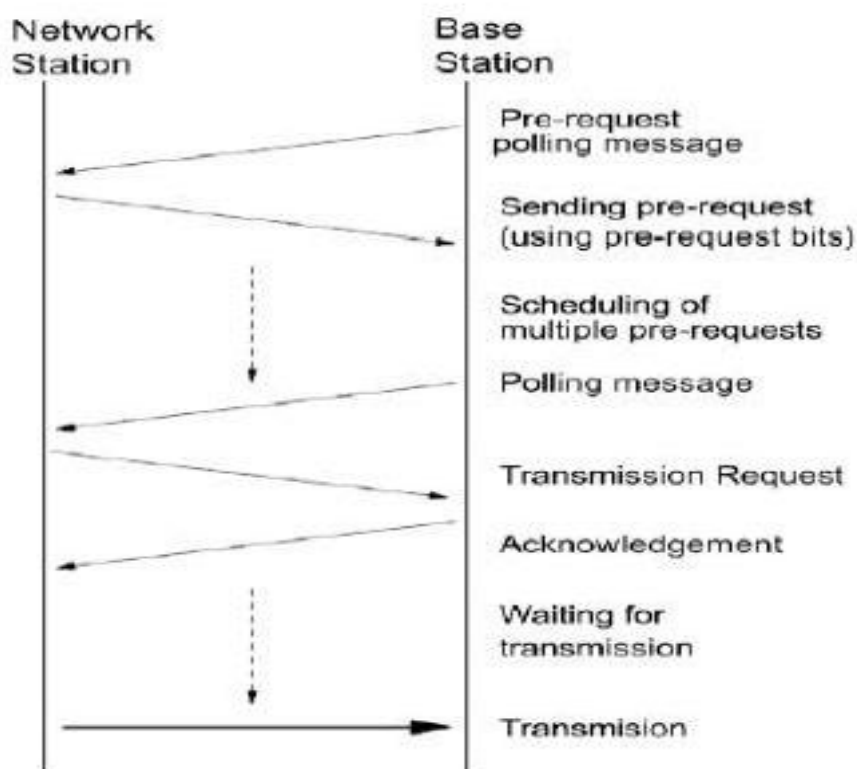
Εντούτοις, ο μέγιστος αριθμός σταθμών που μπορεί να τεθεί με τα δυαδικά ψηφία προ-αιτήματος εξαρτάται έντονα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του συστήματος μετάδοσης και είναι ένα θέμα για τις περαιτέρω έρευνες. Το πεδίο αιτήματος (**Request Field**) χρησιμοποιείται για τη μετάδοση του αιτήματος αφότου ο σταθμός λάβει μέρος στην ψηφοφορία.

Η σε δύο στάδια διαδικασία προκράτησης παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.10. Αφότου λαμβάνει ένας σταθμός ένα μήνυμα ψηφοφορίας προ-αιτήματος που απευθύνεται στην ομάδα του, χρησιμοποιεί ενός από τα δυαδικά ψηφία προ-αιτήματος στην επόμενη uplink αυλάκωση για να θέσει ένα προ-αίτημα. Σημειώστε, ότι μέσα σε μια ομάδα σταθμών, υπάρχουν αφιερωμένα δυαδικά ψηφία προ-αιτήματος για

κάθε έναν από τους σταθμούς έτσι ώστε να εξασφαλισθεί ότι δεν θα έχουμε διενέξεις και συγκρούσεις στην μετάδοση των **προ-αιτημάτων (prerequests)**. Μετά από αυτό, ο σταθμός βάσης στέλνει ένα μήνυμα ψηφοφορίας στο σταθμό αίτησης.

Ο σταθμός βάσης μπορεί να λάβει τα **πολλαπλά prerequests**, αλλά μπορεί να στείλει **μόνο ένα μήνυμα ψηφοφορίας** μέσα σε μια αυλάκωση σηματοδότησης (σχήμα 4.9). Επομένως, υπάρχει ανάγκη για το σωστό προγραμματισμό των αφιχθέντων προ-αιτημάτων.

Ως αποτέλεσμα του παραπάνω, αυτό μπορεί να καθυστερήσει τη μετάδοση των μηνυμάτων ψηφοφορίας στους σταθμούς που έστειλαν ήδη τα προ-αιτήματα (σχήμα 4.10).



Σχήμα 4.10: Η διαδικασία Two-step reservation

Αφότου λάβει ένας σταθμός ένα μήνυμα ψηφοφορίας, διαβιβάζει ένα αίτημα μετάδοσης (request) στην επόμενη uplink χρονική αυλάκωση όπως στις ενός βήματος διαδικασίες προκράτησης. Μετά από αυτό ακολουθεί ένα σήμα αποδοχής (ACK) από το σταθμό βάσης που εγκρίνει τα δικαιώματα πρόσβασης για τον αιτούντα σταθμό δικτύου.

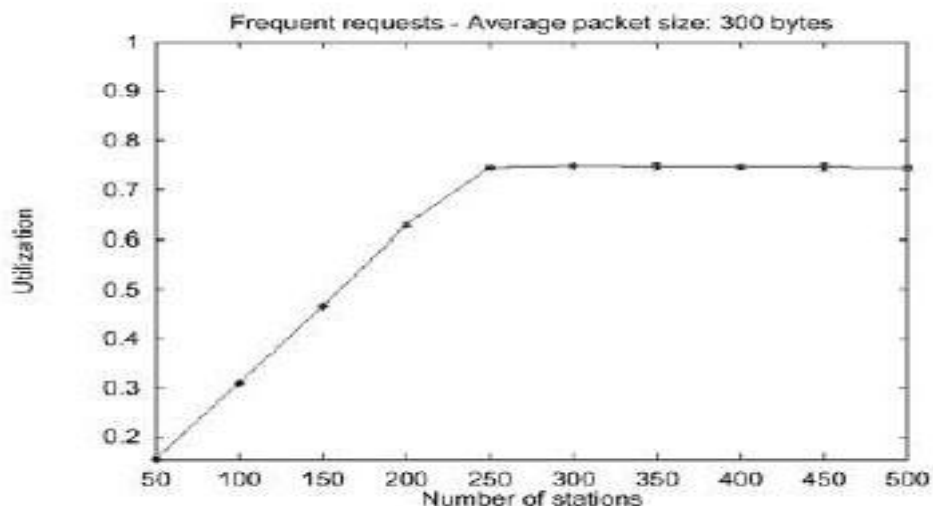
4.1.4.2 Υβριδικό πρωτόκολλο two-step

Η εισαγωγή της έννοιας του *τυχαίου* στην διαδικασία προκράτησης με ψηφοφορία μπορεί να βελτιώσει την απόδοση δικτύου στη χαμηλή περιοχή φορτίων. Στο σε δύο στάδια πρωτόκολλο προκράτησης, υπάρχει μια πιθανότητα ότι κανένας άλλος σταθμός δεν στέλνει ένα προ-αίτημα. Σε αυτήν την περίπτωση και εάν ο σταθμός βάσης προγραμματίσει ήδη όλα τα προηγούμενα λαμβανόμενα προ-αιτήματα, κανένας σταθμός δεν ψηφίζεται για ένα αίτημα, και το πεδίο αιτήματος στην επόμενη uplink αυλάκωση σηματοδότησης παραμένει αχρησιμοποίητο (σχήμα 4.9).

Επεκτείνουμε το σε δύο στάδια πρωτόκολλο επιτρέποντας στους σταθμούς να χρησιμοποιήσουν τέτοιες κενές αυλακώσεις αιτήματος με το να παράσχουμε την τυχαία πρόσβαση τους. Έτσι στις περιπτώσεις αυτές, ολόκληρη η διαδικασία προκράτησης ακυρώνεται, πράγμα που μειώνει τις καθυστερήσεις σηματοδότησης. Στην περίπτωση της σύγκρουσης (collision) μεταξύ των αιτημάτων ή εάν το πεδίο της αίτησης δεν είναι ελεύθερο, τότε οι εμπλεκόμενοι σταθμοί προχωρούν σύμφωνα με τη σε δύο στάδια μέθοδο προκράτησης (σχήμα 4.10).

4.1.4.3 Χρησιμοποίηση δικτύου

Εάν αναλύσουμε τα δίκτυα χρησιμοποιώντας τη σε δύο στάδια πρωτόκολλο προκράτησης (two-step reservation) με σπάνια τα αιτήματα μετάδοσης, δεν βρίσκουμε καμία διαφορά από άλλες ερευνημένες παραλλαγές της μεθόδου προσπέλασης ψηφοφορίας και σχεδόν η πλήρης χρησιμοποίηση δικτύων επιτυγχάνεται. Αφ' ετέρου, το μέγιστο 75% χρησιμοποίησης δικτύων επιτυγχάνεται στην περίπτωση των συχνών αιτημάτων μετάδοσης (σχήμα 4.11).



Σχήμα 4.11: Average network utilization (two-step, συχνά αιτήματα)

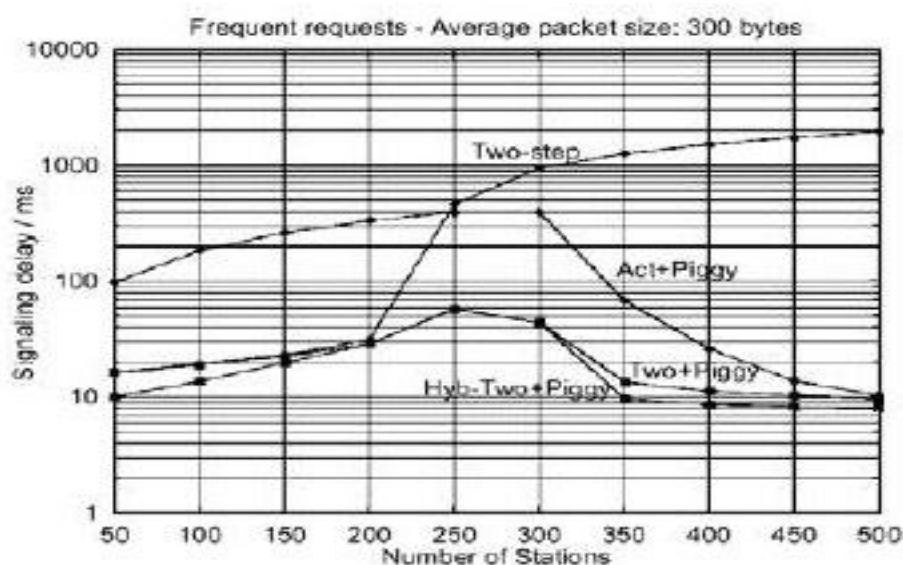
Στη μέση περιοχή φορτίων δικτύου, το σε δύο στάδια πρωτόκολλο εμφανίζει σταθερότερη συμπεριφορά από τη βασική και ενεργό ψηφοφορία χωρίς piggybacking (Σχήμα 4.6). Εντούτοις, και η βασική και ενεργός ψηφοφορία με piggybacking συμπεριφέρεται πολύ καλύτερα.

4.1.4.4 Καθυστέρηση σηματοδότησης

Συγκρίνουμε το σε δύο στάδια πρωτόκολλο προκράτησης με την ενεργό ψηφοφορία που επεκτείνεται με piggybacking σε δίκτυο με συχνά αιτήματα μετάδοσης (σχήμα 4.12). Η σε δύο στάδια διαδικασία προκράτησης μειώνει τις καθυστερήσεις σηματοδότησης στη χαμηλή περιοχή φορτίων δικτύου, σημαντικά. Εντούτοις, στις μέσες και υψηλές περιοχές φορτίων, η ενεργός ψηφοφορία με piggybacking συμπεριφέρεται πολύ καλύτερα. Αυτό το μειονέκτημα του σε δύο στάδια πρωτοκόλλου μπορεί να λυθεί με τη χρήση piggybacking (Two Piggy). Η εισαγωγή του υβριδικού συστατικού στα σε δύο στάδια πρωτόκολλα προκράτησης μειώνει επιπρόσθετα την καθυστέρηση σηματοδότησης στη χαμηλή περιοχή φορτίων. Σε αυτήν την περίπτωση, οι αυλακώσεις αιτήματος συνήθως προσεγγίζονται τυχαία και η σε δύο στάδια διαδικασία προκράτησης ακυρώνεται, γεγονός που μειώνει την καθυστέρηση. Συνεπώς, το υβριδικό πρωτόκολλο συμπεριφέρεται όπως την ALOHA βασισμένα πρωτόκολλα προκράτησης στη χαμηλή περιοχή φορτίων.

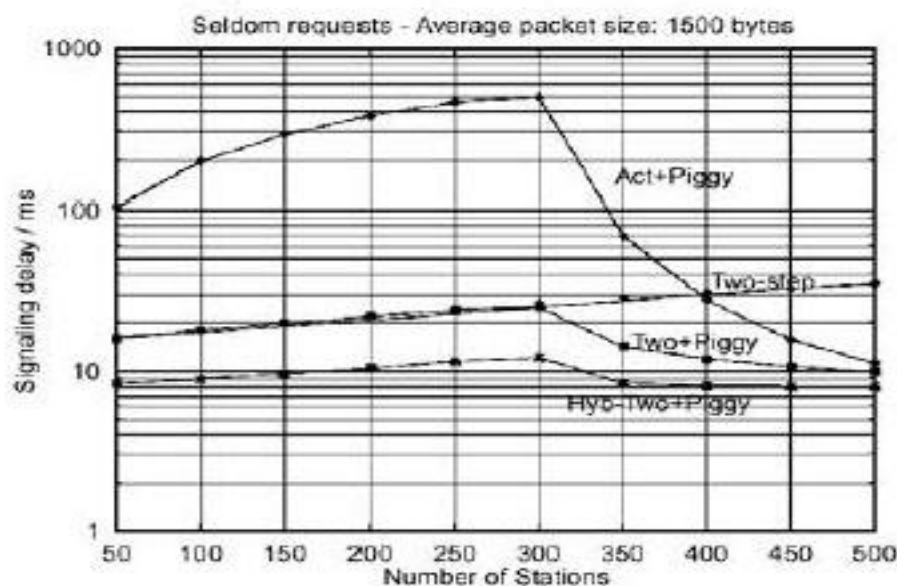
Η εφαρμογή του υβριδικού πρωτοκόλλου που συνδυάζει ALOHA και προσπέλαση με μεθόδους ψηφοφορίας δεν βελτιώνει τις επιδόσεις δικτύου στην υψηλή περιοχή φορτίων. Εντούτοις, η *riggybacking* μέθοδος προσπέλασης χρησιμοποιείται συχνά για υψηλότερο φορτίο δικτύου και οδηγεί στην αποσυμφόρηση του καναλιού σηματοδότησης. Επίσης, υπάρχουν ελεύθερες αυλακώσεις αιτήματος που μπορούν να προσεγγιστούν τυχαία.

Επομένως τελειώνοντας, υπάρχει μια μείωση της καθυστέρησης σηματοδότησης εάν η μέθοδος *piggybacking* και οι *υβριδικές τυχαίες* προσβάσεις συνδυάζονται μέσα στο *σε δύο στάδια πρωτόκολλο προκράτησης* (σχήμα 4.12).



Σχήμα 4.12: Average signaling delay (two-step, συχνά αιτήματα)

Στην περίπτωση των σπάνια αιτημάτων μετάδοσης (Σχήμα 4.13), η σε δύο στάδια διαδικασία προκράτησης παρέχει τις πιο σύντομες καθυστερήσεις από ότι με την ενεργό ψηφοφορία για μέχρι 400 σταθμούς στο δίκτυο. Αφ' ετέρου, η σε δύο στάδια διαδικασία με *riggybacking* συμπεριφέρεται καλύτερα σε ολόκληρη την ερευνημένη σειρά φορτίων.



4.13: Average signaling delay (two-step, σπάνια αιτήματα)

Το υβριδικό σε δύο στάδια πρωτόκολλο με piggybacking μειώνει σημαντικά τις καθυστερήσεις σε ολόκληρη την ερευνημένη σειρά φορτίων και την κρατά σχετικά σταθερή. Τα μετρούμενα αποτελέσματα για το **υβριδικό σε δύο στάδια πρωτόκολλο** είναι καλύτερα από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο προσπέλασης βασισμένη στην μέθοδο *ALOHA* που ερευνάται υπό τους ίδιους όρους.

4.1.5 Συμπεράσματα PLC

Ερευνήσαμε διάφορα βασισμένα σε ψηφοφορία - προκράτηση πρωτόκολλα **reservation MAC** για την εφαρμογή τους στα ευρυζωνικά δίκτυα πρόσβασης **PLC**. Ένα βασικό πρωτόκολλο ψηφοφορίας που εφαρμόζεται σε ένα κανάλι σηματοδότησης, είναι ανεπαρκές λόγω των μεγάλων μετ'επιστροφής (round-trip) χρόνων του μηνύματος ψηφοφορίας. Μπορεί να βελτιωθεί με την εφαρμογή **piggybacking** που εξασφαλίζει μία κοντά στην **πλήρη χρησιμοποίηση δικτύου 100%** της μέγιστης χωρητικότητας μετάδοσης δεδομένων και παράλληλα μειώνει την καθυστέρηση σηματοδότησης (signaling delay) στα μέσα και υψηλά φορτωμένα δίκτυα. Η **ενεργός μέθοδος προσπέλασης ψηφοφορίας (Active polling)** βελτιώνει επίσης τις επιδόσεις δικτύων, αλλά τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται εάν συνδυάζεται με piggybacking.

Εντούτοις, η **ανεπάρκεια** των βασισμένων στην ψηφοφορία μεθόδων προσπέλασης στη **χαμηλή περιοχή φορτίων** δικτύων παραμένει και η **καθυστέρηση σηματοδότησης** στη **μέση περιοχή φορτίων** είναι ακόμα απαράδεκτη. Για να βελτιώσουμε τις αποδόσεις πρωτοκόλλου βασισμένων των στην ψηφοφορία λύσεων εισάγουμε μια σε **δύο στάδια διαδικασία προκράτησης (two-stage reservation procedure)**. Ένα μήνυμα προ-κράτησης, που δείχνει ότι ένας σταθμός δικτύου έχει ένα πακέτο που θέλει να στείλει, διαβιβάζεται μέσα από μικρά χρονικά παράθυρα (time slots) που μπορούν να προσπελαστούν **χωρίς διαμάχη**⁵. Αφότου, ακολουθεί ένα μήνυμα ψηφοφορίας από το σταθμό βάσης και ο σταθμός αίτησης μπορεί να στείλει ένα αίτημα μετάδοσης. Αυτή η μέθοδος **βελτιώνει σημαντικά** τις αποδόσεις δικτύων στη **χαμηλή περιοχή φορτίων**. Εάν η σε δύο στάδια διαδικασία συνδυάζεται με *riggybacking* η συμπεριφορά πρωτοκόλλου στις **μέσες και υψηλές περιοχές φορτίων** δικτύων βελτιώνεται περαιτέρω έναντι άλλων βασισμένων στην ψηφοφορία λύσεων.

Το σε δύο στάδια προκράτηση πρωτόκολλο μπορεί να επεκταθεί με μία υβριδική *τυχαίας ψήφου* μέθοδο, εάν η χρονική αυλάκωση (time slot) που θα φέρει την αίτηση μετάδοσης, είναι ελεύθερη (κενή). Δηλαδή με άλλα λόγια, κανένας άλλος σταθμός δικτύου δεν μεταδίδει αίτημα μετάδοσης προς τον σταθμό βάσης εκείνη την χρονική αυλάκωση, πράγμα που αποτελεί και την αρχή πρόσβασης του πρωτοκόλλου ALOHA. Το υβριδικό σε δύο στάδια πρωτόκολλο βελτιώνει την απόδοση δικτύων σημαντικά και συμπεριφέρεται καλύτερα από οποιαδήποτε βασισμένη στην αποκλειστική ALOHA λύση πρωτοκόλλου. Ο αντίκτυπος των διαταραχών στη σε δύο στάδια διαδικασία προκράτησης είναι υψηλότερος απ' ό τι στην περίπτωση των ενός βήματος μεθόδων προκράτησης. Εντούτοις, προηγούμενος παρουσιάσαμε μια απλή μέθοδο για το χειρισμό σφάλματος που εφαρμόζεται μέσα στο σε δύο στάδια πρωτόκολλο για να εμφανίσει ανοσία ενάντια στις διαταραχές. Συγκεντρώνουμε τις περαιτέρω έρευνές μας για το **σε δύο στάδια πρωτόκολλο της MAC reservation - polling** όσο αφορά την δυνατότητα εφαρμογής της μέσα στα συστήματα **μετάδοσης PLC** λαμβάνοντας υπόψη και την εφαρμοσιμότητα όσον αφορά τις διάφορες μεθόδους διαμόρφωσης (modulation) και πολυπλεξίας σημάτων (multiplex).

⁵ εξασφαλίζεται ότι δεν θα έχουμε μετάδοση δύο διαφορετικών μηνυμάτων μέσα στο ίδιο χρονικό παράθυρο προς το ίδιο προορισμό, κατάσταση σύγκρουσης (collision).

Ειδικά, η πραγματοποίηση και ο αριθμός των χρονικών μικρό - αυλακώσεων που απαιτούνται για την βέλτιστη μετάδοση των προ-αιτημάτων θα μελετηθούν.

4.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ EDI

Electronic Data Interchange (EDI) είναι ένας ηλεκτρονικός τρόπος για τις επιχειρήσεις να ανταλλάξουν τα επιχειρησιακά έγγραφα, όπως οι εντολές αγοράς και τα τιμολόγια, μέσω των τηλεφωνικών γραμμών, Intranet⁶ και Διαδικτύου. Επειδή το EDI εξαλείφει την ανάγκη αποστολής έντυπων εγγράφων μέσω των παραδοσιακών μέσων -- συμπεριλαμβανομένου του ταχυδρομείου, των fax, ή των τηλετύπων -- το EDI είναι σημαντικός συνεισφέρων στη δημιουργία ενός "χωρίς χαρτί" περιβάλλοντος γραφείων. Αυτό που θέτει το EDI διαφορετικό από όλα τα άλλα ηλεκτρονικά εργαλεία είναι ότι τα έγγραφα EDI είναι τυποποιημένα.

Οι επιχειρήσεις που ανταλλάσσουν έγγραφα μέσω του EDI καλούνται εμπορικοί εταίροι. Η εφαρμογή του EDI απαιτεί τους εμπορικούς εταίρους να αξιολογήσουν τις επιχειρησιακές διαδικασίες και για να επενδύσει στην εκπαίδευση του προσωπικού στο ειδικό λογισμικό και το υλικό καθώς επίσης και τις επικοινωνίες, τα τυποποιημένα πρότυπα, τα ζητήματα λογιστικού ελέγχου, και τις νομικές ανάγκες υποστήριξης.

Στην περίπτωσή μας το EDI μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις συναλλαγές B2B όπως οι συναλλαγές μεταξύ των προμηθευτών και του IPNO. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις συναλλαγές B2C μεταξύ προμηθευτών και σημαντικών πελατών. Αν και η εφαρμογή του EDI απαιτεί μία αρχική επένδυση, τα οφέλη αντισταθμίζουν γενικά τις δαπάνες.

Η έννοια και η τεχνολογία του EDI ήταν γύρω από πολλή παλιά. Πολλές μεγάλες εταιρίες χρησιμοποιούν εδώ και καιρό το EDI, μερικές για τουλάχιστον 25 έτη. Τα τελευταία χρόνια, το EDI έχει τραβήξει την προσοχή του πολύ κόσμου, δεδομένου ότι οι κυβερνήσεις και οι ιδιωτικές βιομηχανίες προσπαθούν να γίνουν ανταγωνιστικότερες διεθνώς και να αυξήσουν την αποδοτικότητα και το κέρδος.

⁶ Intranet είναι ένα ιδιωτικό δίκτυο υπολογιστών που χρησιμοποιεί τεχνολογίες πρωτοκόλλου διαδικτύου για να μοιραστεί με ασφάλεια οποιοδήποτε μέρος των πληροφοριών μιας οργάνωσης ή λειτουργικό σύστημα δικτύων μέσα σε εκείνη την οργάνωση..

Επειδή το EDI είναι ένα απαραίτητο συστατικό στον πλέον σύγχρονο κατασκευαστικό κλάδο και των στρατηγικών προμηθειών και γενικά της επιχειρησιακής έννοιας, *Just In time (JIT)*, η ζήτηση για τις λύσεις EDI έχει αυξηθεί κατακόρυφα. Παγκοσμίως, οι επιχειρήσεις συνειδητοποιούν ότι το EDI ως τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει να μειώσει τα διοικητικά έξοδα, να επιταχύνει την επεξεργασία πληροφοριών, και να εξασφαλίσει ακρίβεια στοιχείων. Και το EDI δεδομένου ότι ένα στρατηγικό εργαλείο μπορεί να ελαχιστοποιήσει ή να εκμηδενίσει ορισμένες χρονοβόρες και συνήθως περιττές επιχειρησιακές συναλλαγές, να βελτιώσει τις επιχειρησιακές διαδικασίες, αναδιαρθρώσει τον επιχειρησιακό προγραμματισμό και γενικά σφίγγει τις σχέσεις προμηθευτών/ πελατών.

Σήμερα, οι περισσότερες επιχειρήσεις έχουν εφαρμόσει το EDI ως έναν ορισμένο βαθμό. Πολλές επιχειρήσεις βρίσκονται αντιμέτωπες με τις προκλήσεις σχετικά με την περαιτέρω ή υπάρχουσα επένδυση στο EDI τους. Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζεις ένας διαχειριστής του συστήματος EDI, είναι να πείσει πείθει τους εμπορικούς εταίρους να χρησιμοποιήσουν EDI. Πολλές επιχειρήσεις μέσης-αγοράς έχουν αρχίσει τη δραστηριότητα EDI λόγω της πίεσης από μια μεγαλύτερη επιχείρηση πολυεθνική που συνεργάζονται. Οι μεγάλες πολυεθνικές επιχειρήσεις αρχίζουν συχνά με ένα επιθετικό σχέδιο διείσδυσης εμπορικών εταίρων, αλλά συνειδητοποιούν γρήγορα ότι η επέκταση του EDI στους εμπορικούς εταίρους δεν είναι τόσο εύκολο όσο το είχαν σκεφτεί.

Αν και οι σημαντικότερες πολυεθνικές χρησιμοποιούν το EDI με τους προμηθευτές πρώτης-σειράς τους, αγωνίζονται να επεκτείνουν το EDI και στη δεύτερη σειρά προμηθευτών που συνεργάζονται. Οι περισσότερες οργανώσεις μέσης-αγοράς δεν μπορούν να παρέχουν την οικονομική υποστήριξη για τα προγράμματα EDI στους μικρότερους εμπορικούς εταίρους τους, αλλά πολλές πολυεθνικές παρέχουν την υποστήριξη αυτή απευθείας στους μικρότερους. Άλλες πάλι τιμωρούν με άρση κάποιων προνομίων εκείνους που δεν χρησιμοποιούν το EDI. Πρέπει να παρατηρήσουμε εδώ ότι, η επένδυσή στο EDI αφορά μια μακροπρόθεσμη προοπτική και μια διαρκής υποχρέωση. Παραδείγματος χάριν, μπορεί να επεκταθεί η επένδυση σε EDI με τη χρησιμοποίηση του με άλλες τεχνολογίες ηλεκτρονικού εμπορίου.

Στην έναρξη, πολλοί θεωρούν ότι το EDI θα είναι εύκολο να εφαρμοστεί. Εντούτοις, μόλις αρχίσουν, συνειδητοποιείτε πόσα ολοένα και περισσότερα μπορούν να κάνουν με το EDI. Το EDI περιλαμβάνει το υλικό και το λογισμικό υπολογιστών

και απαιτεί τον επαναπροσδιορισμό των χαρακτηριστικών επιχειρησιακών στοιχειωδών εργασιών, που κυμαίνονται από τη διατήρηση των αρχείων εγγράφων έως την προσαρμογή των διαδικασιών λογιστικού ελέγχου. Το EDI είναι ένα στρατηγικό εργαλείο που μειώνει τις δαπάνες, βελτιώνει τις επιχειρησιακές διαδικασίες, και δημιουργεί ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Επειδή το EDI διασχίζει πολλά όρια μέσα σε μια οργάνωση, χρειάζεστε μια υγιή εκπαίδευση EDI για τη βέβαια λήψη αποφάσεων. Η ενσωμάτωση του EDI με τις επιχειρησιακές διαδικασίες σε μια επιχείρηση απαιτεί την αξιολόγηση των παρουσών διαδικασιών σε μια προσπάθεια να καθοριστούν και να δοθούν προτεραιότητα οι εφαρμογές EDI. Είναι σημαντικό να αναπτυχθεί μια μακροπρόθεσμη στρατηγική EDI για να εξασφαλίσει ένα μακροπρόθεσμο επιτυχές πρόγραμμα.

Το EDI ήταν τριγύρω από το τέλος της δεκαετίας του '60. Η βιομηχανία των μεταφορών ήταν πρώτιστα αρμοδία για την καθιέρωση του EDI σε μια προσπάθεια να παραμείνει ανταγωνιστική στην παγκόσμια αγορά. Καθώς το EDI κέρδιζε σε δημοτικότητα, διαδόθηκε και σε άλλες βιομηχανίες και είναι τώρα ένα μέρος της επιχείρησης σε όλες τις βιομηχανίες σε όλο τον κόσμο. Η ερώτηση δεν είναι πλέον εάν η επιχείρησή σας πρέπει να χρησιμοποιήσει το EDI η ερώτηση είναι εάν μπορείτε να αντέξετε οικονομικά ή όχι. Εάν δεν χρησιμοποιείτε το EDI, θα είστε σύντομα. Και εάν χρησιμοποιείτε το EDI, μπορεί να πρέπει να το εφαρμόσετε εκτενέστερα ή να κινηθείτε προς τις προηγμένες μορφές του EDI.

4.2.1 Τα κατά της παραδοσιακής EDI

Αν και αυτά τα οφέλη είναι προκλητικά, και επαναλήφθηκαν στις αίθουσες συνεδριάσεων σε όλο τον κόσμο, η πραγματική αποδοχή και η εφαρμογή του EDI ήταν κατά μακρά λιγότερο επιτυχής από ότι αναμενόταν, επειδή για όλα τα αναγνωρισμένα οφέλη, η τεχνολογική πολυπλοκότητα του EDI παρουσίασε διάφορα σημαντικά εμπόδια.

ΚΟΣΤΟΣ

Οι υπολογιστές, ειδικά οι κεντρικοί υπολογιστές, και τα συστήματα επιχειρησιακής εφαρμογής τους ήταν σύνθετα και ακριβά. Πρώτιστα εξυπηρετώντας τις απομακρυσμένες λειτουργίες μιας επιχείρησης, δεν

θεωρήθηκε αναγκαίο η πλήρη ενσωμάτωση του σε όλες τις επιχειρησιακές δραστηριότητες.

Παραδοσιακά, το υπολογιστικό περιβάλλον κεντρικών υπολογιστών (mainframes) εμφανίστηκε ως αποθήκη πληροφοριών. Το EDI απαίτησε ότι η τεχνολογία πληροφοριών επεκτείνεται πέρα από τις λειτουργίες πυρήνων. Έτσι ενώ υπήρξε ουσιαστική αποταμίευση που κερδίζεται από τη χρήση του EDI, το κόστος για τις εφαρμογές λογισμικού ώστε να ενσωματωθεί το EDI σε ένα υπάρχον χαρτοφυλάκιο των επιχειρησιακών εφαρμογών ήταν αρκετά υψηλό για να αντισταθμίσει τα προσδοκώμενα οφέλη.

ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ

Η ανάγκη για την εκτενή χωρητικότητα τηλεπικοινωνιών έθεσε ένα δεύτερο σημαντικό εμπόδιο στη διαδεδομένη εφαρμογή EDI. Πέρα από το ίδιο τον υπολογιστή, μια βασική προϋπόθεση του EDI είναι ένας τρόπος να διαβιβαστούν και να παραληφθούν οι πληροφορίες από μια ευρεία ποικιλία των πελατών ή των προμηθευτών. Αυτό απαίτησε μια βαριά επένδυση στα δίκτυα υπολογιστών.

Αντίθετα από το ταχυδρομείο, για να στείλει το EDI τα ηλεκτρονικά έγγραφα πρέπει να υπάρξει ένα συγκεκριμένο σημείο σε σημείο ηλεκτρονικό μονοπάτι για το έγγραφο που θα σταλεί. Έτσι οι επιχειρήσεις είτε έπρεπε για να αναπτύξουν τα εκτενή και ακριβά δίκτυα, είτε να στηριχθούν στη υπάρχουσα από σημείο σε σημείο επικοινωνία διαποδιαμορφωτών (modem).

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ

Λόγω της τεχνολογικής πολυπλοκότητας και του κόστους της εφαρμογής, οι φτηνότερες εναλλακτικές λύσεις εμπόδισαν την τότε διαδεδομένη χρησιμοποίηση του EDI. Για να αποκομίσουν μερικά από τα πλεονεκτήματα του EDI χωρίς την υψηλή τιμή του υλικού, του λογισμικού και των δικτύων υπολογιστών, πολλές καινοτόμες εναλλακτικές λύσεις αναπτύχθηκαν. Η ολονύκτια υπηρεσία αγγελιαφόρων, οι μηχανές αντιγράφων, και η δυνατότητα να δοθεί στους πελάτες περιορισμένη πρόσβαση στους κεντρικούς υπολογιστές μέσω «κουτών» τερματικών (dumb terminals) παρείχαν βολικές, γρήγορες, φτηνές εναλλακτικές λύσεις και εύλογα εξασθένησαν την πρόκληση για μια σημαντικής τροποποίησης των επιχειρησιακών περιβαλλόντων που θα επέφερε το EDI στην καθολική εφαρμογή του.

4.2.2 ΤΑ οφέλη από την παραδοσιακή EDI

Ανεξάρτητα με το εάν η εφαρμογή του EDI ήταν στον τομέα των εντολών αγοράς, ή της πρόωρης ανακοίνωσης αποστολών, ή την αυτόματη τιμολόγηση, προέκυπταν διάφορα άμεσα πλεονεκτήματα από την ανταλλαγή των εγγραφών ηλεκτρονικά.

- **TAXYTHTA**

- Οι πληροφορίες που κινούνται μεταξύ των υπολογιστών κινούνται γρηγορότερα, και με ελάχιστη ή καμία ανθρώπινη επέμβαση.
- Η αποστολή ενός ηλεκτρονικού μηνύματος σε ολόκληρη τη χώρα παίρνει διαρκεί λεπτό ή λιγότερο.
- Η ταχυδρόμηση του ίδιου εγγράφου θα έπαιρνε συνήθως ένα ελάχιστο μιας ημέρας.
- Οι υπηρεσίες αγγελιαφόρων μπορούν να μειώσουν το χρόνο (αισθητά αυξάνοντας το κόστος) αλλά στην καλύτερη περίπτωση μπορούν να κονταίνουν τον κύκλο σε ώρες.
- Οι μεταδόσεις αντιγράφων (fax) λειτουργούν καλά για τα μικρά έγγραφα, αλλά για αρκετές σελίδες, δεν είναι μια εφικτή λύση.

- **AKΡΙBEIA**

Ακόμα και όταν χρησιμοποιούνται τα εναλλακτικά μέσα της μεταφοράς εγγράφων αυτά πάσχουν από το σημαντικότερο μειονέκτημα, της απαίτησης της επανεγγραφής στο σύστημα αρχειοθέτησης των πελατών, διαδικασία που όταν δεν γίνεται αυτοματοποιημένα είναι ευάλωτη σε ανθρώπινα σφάλματα. Αλλά οι πληροφορίες που περνούν άμεσα μεταξύ των υπολογιστών χωρίς να πρέπει να καταγραφούν χειροκίνητα, αποβάλλουν την πιθανότητα του σφάλματος μεταγραφής. Δεν υπάρχει σχεδόν καμία πιθανότητα ότι ο λαμβάνων χειριστής υπολογιστή θα αναστρέψει τα ψηφία, ή θα προσθέσει ένα πρόσθετο ψηφίο.

- **OIKONOMIA**

Το κόστος ενός ηλεκτρονικού εγγράφου δεν είναι πολύ περισσότερο από τα κανονικά ταχυδρομικά τέλη. Προσθέστε σε αυτός τις μειώσεις του κόστους από την εξάλειψη της μετεγγραφής των στοιχείων, του ανθρώπινου

χειρισμού, της δρομολόγησης, και της παράδοσης. Το καθαρό αποτέλεσμα είναι μια ουσιαστική μείωση του κόστους μιας συναλλαγής.

4.3 FRAME RELAY

Το *Frame Relay* (αναμετάδοση πλαισίου) είναι ένα υψηλής απόδοσης πρωτόκολλο WAN που λειτουργεί στο φυσικό (physical) επίπεδο και στο επίπεδο συνδέσεων δεδομένων (data link) του μοντέλου αναφοράς της OSI⁷. Το *Frame Relay* αρχικά σχεδιάστηκε για τη χρήση στις περιφερειακές συσκευές δικτύου ISDN (Integrated Services Digital Network). Σήμερα, χρησιμοποιείται σε ποικίλα άλλα περιφερειακά δίκτυα επίσης. Αυτό το κεφάλαιο εστιάζει στις προδιαγραφές και τις εφαρμογές *Frame Relay* στα πλαίσια των υπηρεσιών WAN.

Το πλαίσιο *Relay* είναι ένα παράδειγμα μιας πακέτων – μεταγωγής (packet-switched) τεχνολογίας. Τα packet-switched δίκτυα επιτρέπουν στους τερματικούς σταθμούς να μοιραστούν δυναμικά το μέσο μετάδοσης των δικτύων και το διαθέσιμο εύρος ζώνης (bandwidth, χωρητικότητα του δικτύου). Οι ακόλουθες δύο τεχνικές χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία μεταγωγής πακέτων:

- Πακέτα μεταβλητού-μήκους
- Στατιστική πολυπλεξία

Τα πακέτα μεταβλητού-μήκους χρησιμοποιούνται για τις αποδοτικότερες και εύκαμπτες μεταφορές δεδομένων. Αυτά τα πακέτα μεταστρέφονται μεταξύ των διάφορων τμημάτων του δικτύου έως ότου φτάσουν στον προορισμό τους.

Οι στατιστικές τεχνικές πολυπλεξίας ελέγχουν την πρόσβαση σε ένα μεταγωγής πακέτων (packet-switched) δίκτυο. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι αυξάνει την ευελιξία και αποδοτικότερη χρήση της χωρητικότητας του δικτύου. Το μεγαλύτερο μέρος του σημερινού δημοφιλούς LANs, όπως το Ethernet και Token Ring, είναι packet-switched δίκτυα.

Το *Frame Relay* συχνά περιγράφεται ως μία «κομμένη» σε δυνατότητες έκδοση του πρωτοκόλλου X.25, και ότι δεν προσφέρει δυνατότητες όπως, windowing και την αναμετάδοση των τελευταίων δεδομένων που προσφέρονται στη X.25. Αυτό είναι

⁷ Γενικό μοντέλο επικοινωνίας υπολογιστών

επειδή στην Frame Relay τέτοιου είδους δυνατότητες είναι *άχρηστες* αφού λειτουργεί χαρακτηριστικά σε εγκαταστάσεις WAN που προσφέρουν τις πιο αξιόπιστες υπηρεσίες σύνδεσης και ένα υψηλότερο βαθμό αξιοπιστίας από τις εγκαταστάσεις που ήταν διαθέσιμες κατά τη διάρκεια του τέλους της δεκαετίας του '70 και τις αρχές της δεκαετίας του '80 που χρησίμεψαν ως οι κοινές πλατφόρμες για τη X.25 WANs. Όπως αναφέρεται νωρίτερα, η Frame Relay είναι αυστηρά μία *επιπέδου 2 OSI* (Layer 2) ακολουθία πρωτοκόλλου, ενώ η X.25 παρέχει τις υπηρεσίες σε Layer 3 (το επίπεδο OSI του δικτύου). Αυτό επιτρέπει στη Frame Relay να προσφέρει υψηλότερη απόδοση και τη μεγαλύτερη αποδοτικότητα μετάδοσης από τη X.25, και κάνει την Frame Relay κατάλληλη για τις παρούσες εφαρμογές WAN, όπως η διασύνδεση του τοπικού LAN.

4.3.1 Η Τυποποίηση Frame Relay

Οι αρχικές προτάσεις για την τυποποίηση Frame Relay υποβλήθηκαν στην “Consultative Committee on International Telephone and Telegraph (CCITT)” το 1984. Λόγο της έλλειψης διαλειτουργικότητας και την έλλειψη πλήρους τυποποίησης, εντούτοις, η Frame Relay δεν παρουσίασε σημαντική αποδοχή έως το τέλος της δεκαετίας του '80.

Μια σημαντική εξέλιξη στην ιστορία Frame Relay εμφανίστηκε το 1990 όταν η εταιρεία Cisco, η Digital Equipment Corporation (DEC), η Northern Telecom, και η Strata Com συγκρότησαν μια κοινοπραξία για να εστιάσει στην ανάπτυξη της τεχνολογίας Frame Relay. Αυτή η *κοινοπραξία* ανέπτυξε μια προδιαγραφή που προσαρμόστηκε στο βασικό πρωτόκολλο Frame Relay που συζητούταν στην CCITT, αλλά επέκτεινε παράλληλα το πρωτόκολλο με τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που παρέχουν τις πρόσθετες ικανότητες για τα σύνθετα περιβάλλοντα σύνδεσης μέσω δικτύων. Αυτές οι επεκτάσεις Frame Relay αναφέρονται συλλογικά ως Local Management Interface (LMI).

Δεδομένου ότι η προδιαγραφή της κοινοπραξίας αναπτύχθηκε και δημοσιεύθηκε, πολλοί προμηθευτές ανήγγειλαν την υποστήριξή τους σε αυτού του εκτεταμένου καθορισμού της Frame Relay. Το ίδρυμα ANSI και η CCITT τυποποίησαν στη συνέχεια τις δικές τους παραλλαγές τους για την αρχική προδιαγραφή LMI, και αυτές οι τυποποιημένες προδιαγραφές τώρα χρησιμοποιούνται συχνότερα από την αρχική έκδοση.

Διεθνώς, το πρωτόκολλο **Frame Relay** τυποποιήθηκε από το “*International Telecommunication Union—Telecommunications Standards Section*” (ITU-T).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το Frame Relay αποτελεί και εκεί πρότυπο που τυποποιήθηκε από το Αμερικανικό ίδρυμα ANSI (National Standards Institute).

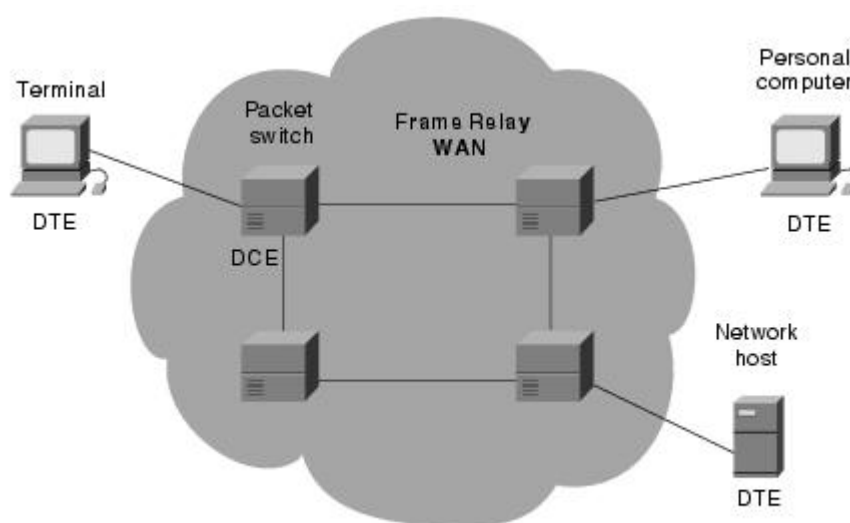
Συσκευές Frame Relay

Οι συσκευές που συνδέονται με ένα Frame Relay WAN εμπίπτουν στις ακόλουθες δύο γενικές κατηγορίες:

- Τερματικός εξοπλισμός δεδομένων (DTE)
- Τερματισμού κυκλώματος εξοπλισμός δεδομένων (DCE)

DTEs γενικά θεωρείται ο εξοπλισμός για ένα συγκεκριμένο δίκτυο και συνήθως βρίσκεται στις εγκαταστάσεις ενός πελάτη. Στην πραγματικότητα, μπορούν να ανήκουν και στην ιδιοκτησία του πελάτη. Τα παραδείγματα των συσκευών DTE είναι τερματικά, προσωπικοί υπολογιστές, δρομολογητές (routers), και γέφυρες (bridges).

Τα DCEs είναι κύριες συσκευές σύνδεσης μέσω δικτύων που ανήκουν στον φορέα ιδιοκτήτη του όλου δικτύου. Ο σκοπός του εξοπλισμού DCE είναι να παρασχεθούν οι υπηρεσίες συγχρονισμού και μεταγωγής σε ένα δίκτυο, είναι δηλαδή στην πραγματικότητα οι συσκευές που διαβιβάζουν πραγματικά τα δεδομένα των πελατών/χρηστών μέσω του WAN. Στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτοί είναι διακόπτες πακέτων (packet switches). Το σχήμα 4.14 εμφανίζει τη σχέση μεταξύ των δύο κατηγοριών συσκευών.



Σχήμα 4.14: Γενικά τα DCEs αποτελούν τμήμα των WANs

Η σύνδεση μεταξύ μιας συσκευής DTE και μιας συσκευής DCE συντελείται τόσο στο φυσικό επίπεδο (physical layer) της αναφοράς OSI όσο και στο επίπεδο συνδέσεων (link layer) του πρωτοκόλλου. Το φυσικό επίπεδο καθορίζει τις μηχανικές, ηλεκτρικές, λειτουργικές, και διαδικαστικές προδιαγραφές για τη σύνδεση μεταξύ των συσκευών. Μια από τις συνηθέστερα χρησιμοποιημένες φυσικές προδιαγραφές περιφερειακής συσκευής δικτύου, είναι η τυποποιημένη προδιαγραφή διασύνδεσης RS-232. Το επίπεδο συνδέσεων, καθορίζει το πρωτόκολλο που επιτυγχάνει τη σύνδεση μεταξύ της συσκευής DTE, όπως ένας δρομολογητής (router), και της συσκευής DCE, όπως ένα Switch⁸. Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει μια συνήθως χρησιμοποιημένη προδιαγραφή πρωτοκόλλου που χρησιμοποιείται στη δικτύωση WAN: το πρωτόκολλο Frame Relay.

4.3.2 Εικονικά Κυκλώματα Frame Relay

Το Frame Relay παρέχει την επικοινωνία προσανατολισμένη στο επίπεδο συνδέσεων των δεδομένων (Data link layer communication). Αυτό σημαίνει ότι μια καθορισμένη επικοινωνία υπάρχει μεταξύ κάθε ζευγαριού συσκευών δικτύου και ότι αυτές οι συνδέσεις αντιστοιχούνται με ένα μοναδικό αναγνωριστικό σύνδεσης (connection identifier) η καθεμία. Αυτή η υπηρεσία εφαρμόζεται με τη χρησιμοποίηση ενός **εικονικού κυκλώματος** (virtual circuit) Frame Relay, το οποίο είναι μια λογική σύνδεση που δημιουργείται μεταξύ δύο συσκευών τερματικού εξοπλισμού δεδομένων (DTE) μέσω ενός μεταγωγής πακέτων (packet-switched) δίκτυο Frame Relay (PSN).

Τα εικονικά κυκλώματα παρέχουν ένα αμφίδρομο μονοπάτι επικοινωνίας από την μια συσκευή DTE στην άλλη και προσδιορίζονται μεμονωμένα από ένα data-link αναγνωριστικό σύνδεσης (DLCI). Διάφορα εικονικά κυκλώματα μπορούν να πολυπλεχθούν σε ένα ενιαίο φυσικό κύκλωμα για τη μετάδοση μέσα στο δίκτυο.

⁸ Το Switch (διακόπτης) είναι μία συσκευή δικτύωσης υπολογιστών που συνδέει τμήματα δικτύου. Ο όρος αναφέρεται συνήθως στη γέφυρα δικτύων που επεξεργάζεται τις συνδέσεις στα δεδομένα στο επίπεδο συνδέσεων (επίπεδο 2) του μοντέλου OSI. Διακόπτες που επεξεργάζονται πρόσθετα επίπεδα (επίπεδο 3 και άνω) αναφέρονται συχνά ως Layer 3 διακόπτες ή (multilayer switches)

Αυτή η τεχνική μπορεί συχνά να μειώσει την πολυπλοκότητα εξοπλισμού και δικτύων που απαιτείται για να συνδέσει τις πολλαπλές συσκευές DTE.

Ένα εικονικό κύκλωμα μπορεί να περάσει μέσω οποιουδήποτε αριθμού ενδιάμεσων συσκευών DCE (switches) που βρίσκονται μέσα στο δίκτυο Frame Relay PSN. Τα εικονικά κυκλώματα Frame Relay εμπίπτουν σε δύο κατηγορίες: μεταστρεφόμενα εικονικά κυκλώματα, switched virtual circuits (SVCs) και τα μόνιμα εικονικά κυκλώματα, permanent virtual circuits (PVCs).

4.3.3 Μεταστρεφόμενα Εικονικά Κυκλώματα

Μεταστρεφόμενα εικονικά κυκλώματα (SVCs) είναι προσωρινές συνδέσεις που χρησιμοποιούνται στις καταστάσεις που απαιτούν μόνο τη σποραδική μεταφορά δεδομένων μεταξύ των συσκευών DTE μέσα στο δίκτυο Frame Relay. Μια περίοδος επικοινωνίας μέσα σε ένα SVC αποτελείται από τις ακόλουθες τέσσερις λειτουργικές καταστάσεις:

- **Οργάνωσης κλήσης (call setup)** — Το εικονικό κύκλωμα μεταξύ δύο συσκευών DTE Frame Relay δημιουργείται.
- **Η μεταφορά στοιχείων (data transfer)** — Δεδομένα διαβιβάζονται μεταξύ των συσκευών DTE μέσα το εικονικό κύκλωμα.
- **Ανενεργό (idle)** — Η σύνδεση μεταξύ των συσκευών DTE είναι ακόμα ενεργή, αλλά κανένα δεδομένο δεν μεταφέρεται. Εάν ένα SVC παραμένει σε *idle* για μια καθορισμένη χρονική περίοδο, η κλήση μπορεί να τερματιστεί.
- **Λήξης κλήσης (call termination)** — Το εικονικό κύκλωμα μεταξύ των συσκευών DTE τερματίζεται.

Αφότου τερματιστεί το εικονικό κύκλωμα, οι συσκευές DTE πρέπει να καθιερώσουν ένα νέο SVC εάν υπάρχουν πρόσθετα δεδομένα για ανταλλαγή. Να σημειώσουμε εδώ, ότι το SVC θα δημιουργηθεί, θα διατηρηθεί, και θα τερματιστεί χρησιμοποιώντας τα ίδια πρωτόκολλα σηματοδότησης που χρησιμοποιούνται και στο ISDN.

Λίγοι κατασκευαστές συσκευών Frame Relay DCE μέχρι το πρόσφατο παρελθόν υποστήριζαν τα εικονικά κυκλώματα μεταστροφής. *Επομένως, η πραγματική χρησιμοποίησή τους ήταν ελάχιστη στα έως πρωτίστως δίκτυα Frame Relay.*

Το σκηνικό όμως αυτό αλλάζει και η χρησιμοποίηση των SVCs στο καινούριο εξοπλισμό Frame Relay σήμερα είναι ο κανόνας. Οι επιχειρήσεις έχουν διαπιστώσει ότι τα SVCs εξοικονομούν χρήματα τελικά, επειδή το κύκλωμα δεν είναι ανοικτό όλη την ώρα.

4.3.4 Μόνιμα Εικονικά Κυκλώματα

Μόνιμα εικονικά κυκλώματα (PVCs) είναι μόνιμα καθιερωμένες συνδέσεις που χρησιμοποιούνται για τις συχνές και συνεπείς μεταφορές δεδομένων μεταξύ των συσκευών DTE μέσα στο δίκτυο Frame Relay. Η επικοινωνία μέσα στο PVC δεν απαιτεί την οργάνωση κλήσης και η λήξη της, όπως γίνεται με τα SVCs. Τα PVCs λειτουργούν πάντα σε μία από τις ακόλουθες δύο λειτουργικές καταστάσεις:

- **Η μεταφορά στοιχείων (data transfer)** — Δεδομένα διαβιβάζονται μεταξύ των συσκευών DTE μέσα στο εικονικό κύκλωμα.
- **Ανενεργό (idle)** — Η σύνδεση μεταξύ των συσκευών DTE είναι ενεργή, αλλά κανένα δεδομένο δεν μεταφέρεται. Αντίθετα από την SVC, τα *μόνιμα εικονικά κυκλώματα PVCs* δεν θα τερματιστούν σε καμία περίπτωση όταν είναι σε ένα κατάσταση idle.

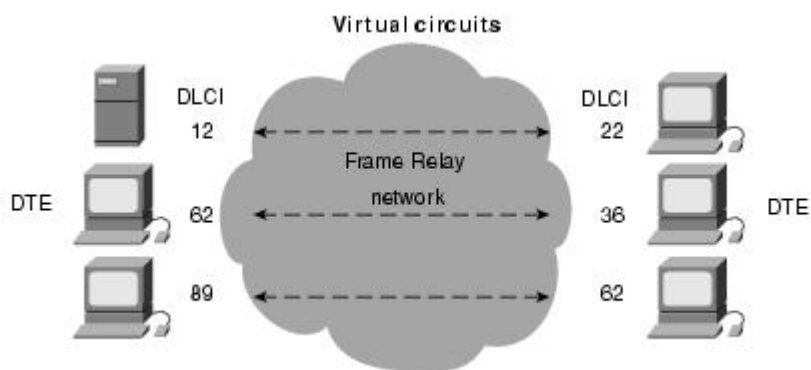
Οι συσκευές DTE μπορούν να αρχίσουν να μεταφέρουν δεδομένα αμέσως, χωρίς καθυστερήσεις επειδή το κύκλωμα τους είναι μόνιμα συνδεδεμένο στο δίκτυο.

4.3.5 Data-Link Connection Identifier

Τα εικονικά κυκλώματα Frame Relay έχουν το καθένα ένα μοναδικό αναγνωριστικό σύνδεσης (*DLCIs*). Οι τιμές DLCI χαρακτηριστικά ανατίθενται από το φορέα παροχής υπηρεσιών Frame Relay (παραδείγματος χάριν, η τηλεφωνική επιχείρηση).

Τα αναγνωριστικό σύνδεσης, Frame Relay DLCIs, έχουν μία τοπική σημασία, το οποίο σημαίνει ότι οι τιμές τους είναι μοναδικές στο τοπικό LAN, αλλά όχι απαραίτητως στο ευρύτερο δίκτυο Frame Relay WAN.

Το σχήμα 4.15 επεξηγεί πώς σε δύο διαφορετικές συσκευές DTE μπορεί να ανατεθεί η ίδια τιμή DLCI μέσα σε ένα Frame Relay WAN.



Σχήμα 4.15: Ένα frame relay εικονικό κύκλωμα

Σε ένα μοναδικό εικονικό κύκλωμα (VC) Frame Relay μπορεί να ορισθούν δύο διαφορετικά DLCI, ένα για κάθε άκρο του εικονικού κυκλώματος VC (βλέπε σχήμα 4.15)

4.3.6 Μηχανισμοί Ελέγχου Συμφορέσεων

Το Frame Relay μειώνει το **overhead** των δικτύων, πληροφορίες σηματοδότησης, δηλαδή όλες αυτές τις πληροφορίες άσχετες με το καθαρά δεδομένα του χρήστη αλλά που είναι απαραίτητες για να γίνει η μεταφορά των δεδομένων του χρήστη στο δίκτυο. Η μείωση αυτή επιτυγχάνεται με την εφαρμογή απλών μηχανισμών συμφόρησης-ανακοίνωσης (*congestion-notification*) αντί τον λεπτομερή έλεγχο ροής ανά εικονικό κύκλωμα. Το Frame Relay χαρακτηριστικά εφαρμόζεται σε αξιόπιστα μέσα δικτύων, έτσι η ακεραιότητα των δεδομένων δεν θυσιάζεται ο έλεγχος ροής (flow control) μπορεί να αφαιρεθεί στα υψηλότερου επιπέδου OSI πρωτόκολλα. Το Frame Relay εφαρμόζει δύο μηχανισμούς συμφόρησης-ανακοίνωσης:

- Forward-explicit congestion notification (FECN)
- Backward-explicit congestion notification (BECN)

FECN και BECN κάθε μία ελέγχεται από ένα bit που περιλαμβάνεται στην αρχή (header) του μηνύματος του πλαισίου μετάδοσης, Frame Relay. Το header του Frame Relay περιέχει επίσης ένα κομμάτι Discard Eligibility (DE), το οποίο χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τη λιγότερο σημαντική κυκλοφορία που μπορεί να απορριφτεί κατά τη διάρκεια των περιόδων συμφόρησης έτσι ώστε να γίνει η αποσυμφόρηση του δικτύου.

Το *FECN* bit περιέχεται μέσα στο τμήμα διευθυνσιοδότησης (address) στην επικεφαλίδα (header) του πλαισίου μετάδοσης Frame Relay. Ο μηχανισμός FECN αρχίζει όταν στέλνει μια συσκευή DTE τα πλαίσια Frame Relay στο δίκτυο. Εάν το δίκτυο είναι κορεσμένο, οι συσκευές DCE (διακόπτες, switches) θέτουν την τιμή του bit (σημαία) FECN σε λογικό 1. Όταν τα πλαίσια φθάσουν στη συσκευή DTE προορισμού, και το τμήμα Address (με το bit FECN καθορισμένο 1) δείχνει ότι το πλαίσιο δοκίμασε τη συμφόρηση στην πορεία από την πηγή στον προορισμό τότε συσκευή DTE μπορεί να αναμεταδώσει αυτές τις πληροφορίες σε ένα πρωτόκολλο υψηλότερου επιπέδου OSI για την επεξεργασία. Ανάλογα με την υλοποίηση, ο έλεγχος ροής μπορεί να αρχίσει ή η ένδειξη (ανακοίνωση) συμφόρησης να αγνοηθεί.

Το bit *BECN* είναι και αυτό μέρος του τμήματος Address στο header πλαισίου Frame Relay. Η διαφορά εδώ με την FECN είναι ότι στην BECN οι συσκευές DCE θέτουν την τιμή του bit BECN σε 1 στα πλαίσια που ταξιδεύουν στην αντίθετη κατεύθυνση των πλαισίων με FECN bit 1. Αυτό ενημερώνει τη λαμβάνουσα συσκευή DTE όχι μόνο για το ποια κατεύθυνση αλλά και σε ποια φορά αυτής υπάρχει κορεσμός μετάδοσης στο δίκτυο. Η συσκευή DTE μπορεί έπειτα να αναμεταδώσει αυτές τις πληροφορίες σε ένα πρωτόκολλο υψηλού επιπέδου OSI για την επεξεργασία. Ανάλογα με την υλοποίηση, το flow-control μπορεί να αρχίσει, ή η ένδειξη συμφόρησης να αγνοηθεί.

4.3.7 Επιλεκτική Απόρριψη (Frame Relay Discard Eligibility)

Το bit ελέγχου *Discard Eligibility (DE)* χρησιμοποιείται για να δείξει ότι ένα πλαίσιο έχει τη χαμηλότερη σημασία από άλλα πλαίσια. Το DE bit είναι μέρος του τομέα Address στην επικεφαλίδα, header των πλαισίων Frame Relay.

Οι συσκευές DTE μπορούν να θέσουν την τιμή του DE bit ενός πλαισίου σε 1 για να δείξουν ότι το πλαίσιο έχει τη χαμηλότερη σημασία από άλλα πλαίσια. Όταν το δίκτυο γίνεται κορεσμένο, οι συσκευές DCE θα απορρίψουν **πρώτα** τα πλαίσια με το DE bit 1 πριν απορρίψουν αν χρειαστεί εκείνα, με DE 0. Αυτό μειώνει την πιθανότητα της απόρριψης των κρίσιμων δεδομένων από τις συσκευές Frame Relay DCE κατά τη διάρκεια των περιόδων συμφόρησης.

4.3.8 Έλεγχος Λαθών στο Frame Relay

Το Frame Relay χρησιμοποιεί έναν κοινό αλγόριθμο εκσφαλμάτωσης γνωστό ως *κυκλικός έλεγχος πλεονασμού, cyclic redundancy check (CRC)*. Το κέντρο ανίχνευσης και ελέγχου συγκρίνει δύο υπολογισμένες τιμές για να καθορίσει εάν τα λάθη εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια της μετάδοσης από την πηγή στον προορισμό. Το Frame Relay μειώνει το overhead δικτύων με την εφαρμογή του ελέγχου λάθους και όχι τη διόρθωση λάθους. Το Frame Relay χαρακτηριστικά εφαρμόζεται στα αξιόπιστα μέσα δικτύων, έτσι η ακεραιότητα δεδομένων δεν θυσιάζεται επειδή η διόρθωση λάθους μπορεί να αφεθεί στα πρωτόκολλα υψηλού επιπέδου που «τρέχουν» πάνω από το πρωτόκολλο Frame Relay.

4.3.9 Frame Relay Local Management Interface

Το *Local Management Interface (LMI)* είναι ένα σύνολο βελτιώσεων στη βασική προδιαγραφή Frame Relay. Το LMI αναπτύχθηκε το 1990 από Cisco Systems, Strata COM, Northern Telecom, και Digital Equipment Corporation. Προσφέρει διάφορα χαρακτηριστικά γνωρίσματα (αποκαλούμενα επεκτάσεις) για τη διαχείριση των σύνθετων διασυνδέσεων δικτύων. Οι βασικές επεκτάσεις Frame Relay LMI περιλαμβάνουν τη γενική σφαιρική διευθυνσιοδότηση (global addressing), τα μηνύματα κατάστασης εικονικών κυκλωμάτων (virtual circuit status messages), και το multicasting. Η *global addressing* επέκταση LMI προσδίδει στο *αναγνωριστικό σύνδεσης*, Frame Relay Data-Link Connection Identifier (**DLCI**), μία ευρεία σφαιρική χρήση σε επίπεδο WAN αντί την περιορισμένη τοπική σημασία τιμών που είχαμε εξετάσει νωρίτερα. Οι τιμές DLCI γίνονται διευθύνσεις DTE που είναι μοναδικές στο Frame Relay WAN. Η *σφαιρική επέκταση* προσθέτει τη λειτουργία και την διαχειριστικότητα που απαιτείτε στις σημερινές διασυνδέσεις δικτύων Frame Relay. Οι μεμονωμένες διεπαφές δικτύων και οι τερματικοί κόμβοι που συνδέονται μαζί τους, παραδείγματος χάριν, μπορούν να προσδιοριστούν με τη χρησιμοποίηση των τυποποιημένων τεχνικών διευθυνσιοδότησης και ιχνηλάτησης. Επιπλέον, ολόκληρο το δίκτυο Frame Relay εμφανίζεται ως ένα τυπικό τοπικό LAN στους περιφερειακούς δρομολογητές του. Τα μηνύματα κατάστασης εικονικών κυκλωμάτων (virtual circuit status messages) παρέχουν την επικοινωνία και το συγχρονισμό μεταξύ των *πλαισίων αναμετάδοσης* (Frame Relay) των συσκευών DTE και DCE. Αυτά τα μηνύματα χρησιμοποιούνται

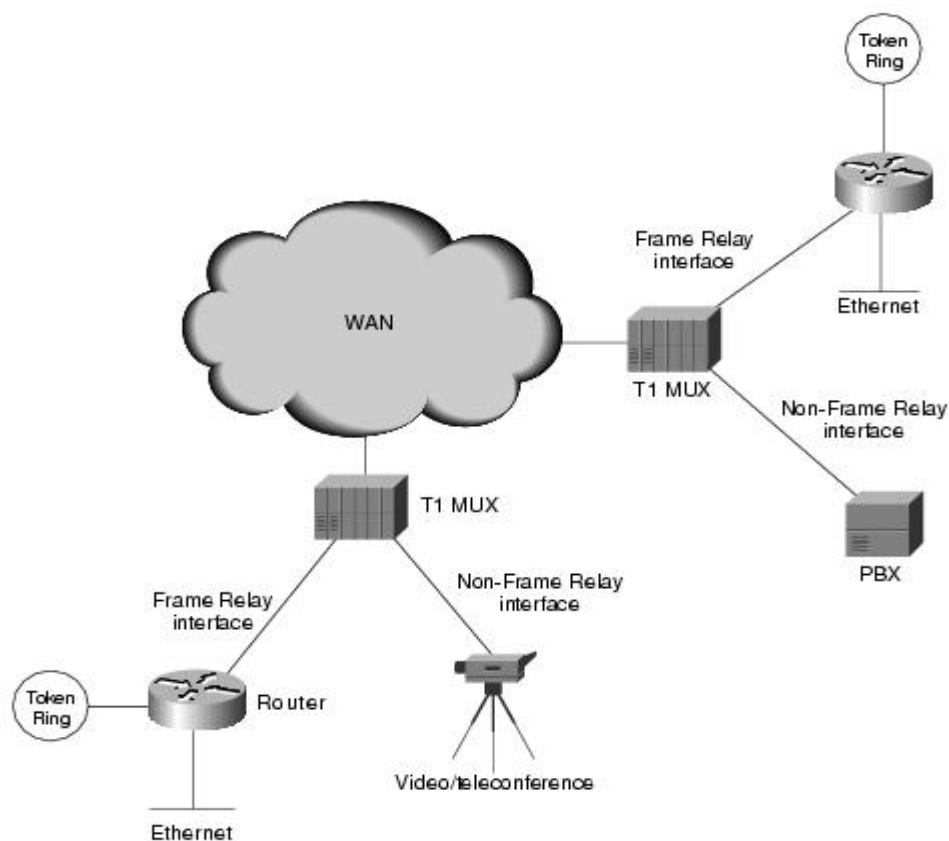
για να υποβάλουν έκθεση περιοδικά σχετικά με τη θέση των εικονικών κυκλωμάτων PVCs, ώστε να αποτραπεί τα δεδομένα να αποσταλούν στις «μαύρες τρύπες» (δηλαδή σε PVCs που δεν υπάρχουν πλέον).

Η *multicasting LMI επέκταση* επιτρέπει την **δημιουργία ομάδων πολλαπλής διανομής**. Η Multicasting τεχνική εξοικονομεί εύρος ζώνης και χωρητικότητα από το δίκτυο επιτρέποντας ενημερώσεις δρομολόγησης και μηνύματα διευθυνσιοδότησης να αποσταλούν μονάχα σε συγκεκριμένες ομάδες δρομολογητών (**routers**). Η επέκταση υποβάλλει επίσης τις εκθέσεις σχετικά με τη θέση των πολλαπλής διανομής ομάδων (multicast groups) μέσω μηνυμάτων ενημερώσεων.

4.3.10 Υλοποίηση δικτύου Frame Relay

Μια τυπική ιδιωτική υλοποίηση δικτύων Frame Relay είναι να εξοπλιστεί ένας πολυπλέκτης (multiplexer) T1 και με διεπαφές (περιφερειακές συσκευές) Frame Relay και με μη- Frame Relay. Η κυκλοφορία Frame Relay διαβιβάζεται έξω από την περιφερειακή συσκευή Frame Relay και προς το δίκτυο δεδομένων. Η κυκλοφορία μη- Frame Relay διαβιβάζεται στην κατάλληλη εφαρμογή ή την υπηρεσία, όπως μια ανταλλαγή ιδιωτικών κλάδων (PBX) για την τηλεφωνική υπηρεσία ή σε μια εφαρμογή τηλεσυνεδριάσεων με εικόνα (video-teleconferencing).

Ένα τυπικό δίκτυο Frame Relay αποτελείται από διάφορες συσκευές DTE, όπως οι δρομολογητές, που συνδέονται με τους απομακρυσμένες θύρες στον εξοπλισμό πολυδιαυλωτών (multiplexers) μέσω των παραδοσιακών από σημείο σε σημείο υπηρεσιών όπως το T1, τα κλασματικά κυκλώματα T1, ή τα 56-KB κυκλώματα. Ένα παράδειγμα ενός απλού δικτύου Frame Relay παρουσιάζεται στο σχήμα 4.16.



Σχήμα 4.16: Απλό δίκτυο Frame Relay

Ένα απλό δίκτυο Frame Relay συνδέει τις διάφορες συσκευές με τις διαφορετικές υπηρεσίες για έναν WAN.

Η πλειοψηφία των δικτύων Frame Relay που υπάρχουν σήμερα παρέχονται από φορείς παροχής υπηρεσιών που σκοπεύουν να προσφέρουν υπηρεσίες μετάδοσης στους πελάτες. Αυτό αναφέρεται συχνά ως δημόσιες υπηρεσίες Frame Relay. Το Frame Relay εφαρμόζεται και στα παρεχόμενα στα κοινό δημόσια δίκτυα και στα ιδιωτικά επιχειρηματικά δίκτυα. Παρακάτω εξετάζουμε τις δύο μεθοδολογίες για την ανάπτυξη των Frame Relay.

4.3.11 Δημόσια Δίκτυα

Στα παρεχόμενα στα κοινό δημόσια δίκτυα Frame Relay, ο εξοπλισμός διακοπών (switching) βρίσκεται στις κεντρικές εγκαταστάσεις ενός μεταφορέα τηλεπικοινωνιών. Οι συνδρομητές χρεώνονται βάσει της χρήσης του δικτύων που κάνουν αλλά απαλλάσσονται από τα κόστη διαχείρισης και συντήρησης του εξοπλισμού και της υπηρεσίας δικτύων Frame Relay.

Γενικά, ο εξοπλισμός DCE επίσης αποτελεί ιδιοκτησία του προμηθευτή τηλεπικοινωνιών. Ο εξοπλισμός DTE είτε είναι ιδιοκτησία του πελάτη ή θα είναι του προμηθευτή τηλεπικοινωνιών και θα προσφέρεται ως υπηρεσία στον πελάτη.

Η πλειοψηφία των σημερινών δικτύων Frame Relay είναι δημόσια παρεχόμενα δίκτυα.

4.3.12 Ιδιωτικά Επιχειρησιακά Δίκτυα

Όλο και πιο συχνά, οι οργανώσεις παγκοσμίως επεκτείνουν τα ιδιωτικά δίκτυα Frame Relay. Στα ιδιωτικά δίκτυα Frame Relay, η διοίκηση και η συντήρηση του δικτύου είναι ευθύνες της επιχείρησης (μια ιδιωτική επιχείρηση). Όλος ο εξοπλισμός, συμπεριλαμβανομένου του εξοπλισμού μεταγωγής (switching equipment), είναι ιδιοκτησία του πελάτη.

4.3.13 Μορφή του Πλαισίου Frame Relay

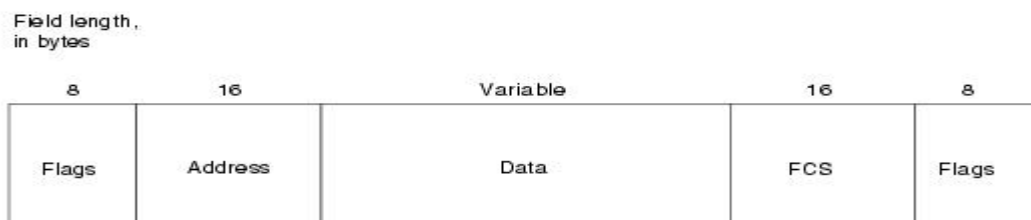
Για να καταλάβει κάποιος ένα μεγάλο μέρος της λειτουργίας του Frame Relay, είναι χρήσιμο να γίνει κατανοητή η δομή του Frame Relay. Το *σχήμα 4.17* απεικονίζει τη βασική δομή του πλαισίου Frame Relay, και *σχήμα 4.18* επεξηγεί την έκδοση LMI του πλαισίου Frame Relay.

Οι σημαίες (Flags) δείχνουν την αρχή και το τέλος του πλαισίου. Τρία βασικά συστατικά αποτελούν το πλαίσιο Frame Relay: η περιοχή επικεφαλίδας (header) και διευθύνσεων (address), τα δεδομένα του χρήστη (user-data), και η ακολουθία ελέγχου πλαισίων (Frame Check Sequence, FCS). Η περιοχή διευθύνσεων, που είναι χρήστη (user-data), και η ακολουθία ελέγχου πλαισίων (Frame Check Sequence, FCS).

Η περιοχή διευθύνσεων, που είναι 2 bytes σε μήκος, αποτελείται από 10 10 bits που αντιπροσωπεύουν το αναγνωριστικό κυκλώματος και 6 bit αφιερωμένα στη διαχείριση συμφόρησης. Αυτό το αναγνωριστικό συνήθως αναφέρεται ως data-link connection identifier (DLCI). Κάθε ένα από αυτά τα τμήματα συζητείται στις περιγραφές που ακολουθούν.

4.3.14 Standard Frame Relay Frame

Τα τυποποιημένα πλαίσια Frame Relay αποτελούνται από τα τμήματα που διευκρινίζονται στο σχήμα 4.17,



Σχήμα 4.17: Πέντε πεδία αποτελούν το Frame Relay πλαίσιο

Οι ακόλουθες περιγραφές συνοψίζουν τους βασικούς τομείς πλαισίων Frame Relay που διευκρινίζονται σε σχήμα 4.17,

- **Σημαίες** — Καθορίζουν η αρχή και το τέλος του πλαισίου. Η τιμή αυτού του τομέα είναι πάντα η ίδια και αντιπροσωπεύεται είτε ως δεκαεξαδικός αριθμός 7E είτε ως δυαδικός αριθμός 01111110.
- **Διεύθυνση** — Περιέχει τις ακόλουθες πληροφορίες:
 - **DLCI** — Το 10-bit DLCI είναι στην ουσία η επικεφαλίδα (header) του πλαισίου Frame Relay. Αυτή η τιμή αντιπροσωπεύει την εικονική σύνδεση μεταξύ της συσκευής DTE και του switch. Κάθε εικονική σύνδεση που πολυπλέκεται επάνω στο φυσικό κανάλι θα αντιπροσωπευθεί από ένα μοναδικό DLCI. Οι τιμές DLCI έχουν τοπική σημασία μόνο, το οποίο σημαίνει ότι είναι μοναδικές μόνο στο φυσικό κανάλι στο οποίο αναφέρονται. Επομένως, οι συσκευές στις αντίθετες άκρες μιας σύνδεσης μπορούν να χρησιμοποιήσουν διαφορετικές τιμές DLCI για να αναφερθούν στην ίδια εικονική σύνδεση.
 - **Extended Address (EA)**— Η επεκταμένη διεύθυνση EA χρησιμοποιείται για να δείξει εάν η ψηφιολέξη (byte) στην οποία η EA έχει τιμή 1, είναι το τελευταίο τμήμα της διεύθυνσης. Εάν η τιμή είναι 1, τότε η τρέχουσα ψηφιολέξη καθορίζεται να είναι το τελευταίο DLCI byte. Αν και στις τρέχουσες εφαρμογές όλες οι Frame Relay χρησιμοποιούν δύο bytes DLCI, αυτή η δυνατότητα επιτρέπει

στο μέλλον αν είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθεί μακρύτερο DLCI. Το όγδοο bit κάθε ψηφιολέξης του τομέα Address χρησιμοποιείται για να δείξει την τιμή EA.

- **C/R**— Το C/R είναι το bit που υποδεικνύει τη σημαντικότερη ψηφιολέξη (Most Significant Byte, MSB) DLCI στον τομέα Address.
- **Congestion Control**— Ο έλεγχος συμφόρησης αποτελείται από τα 3 bit που ελέγχουν τους μηχανισμούς συμφόρησης-ανακοίνωσης Frame Relay. Αυτοί είναι το FECN, το BECN, και το DE bit, οι οποίοι είναι τα τελευταία 3 bit στον τομέα Address.

Το *FECN* είναι ένα τμήμα του ενός bit που μπορεί να τεθεί στην τιμή 1 και να δείξει σε μια τερματική συσκευή DTE, όπως ένας δρομολογητής, ότι η υπήρξε συμφόρηση στην κατεύθυνση της μετάδοσης πλαισίων από την πηγή στον προορισμό. Το βασικό όφελος της χρήσης των τομέων FECN και BECN είναι η ικανότητα των πρωτοκόλλων υψηλών-επιπέδων να αντιδράσουν έξυπνα σε αυτούς τους δείκτες συμφόρησης. Σήμερα, DECnet και το OSI είναι τα μόνα πρωτόκολλα υψηλών-επιπέδων που εφαρμόζουν αυτές τις δυνατότητες.

Το *BECN* είναι ένα τμήμα του ενός bit που μπορεί να τεθεί στην τιμή 1 και να δείξει σε μια τερματική συσκευή DTE, όπως ένας δρομολογητής, ότι η υπήρξε συμφόρηση στην κατεύθυνση **αντίθετη** της μετάδοσης πλαισίων από την πηγή στον προορισμό.

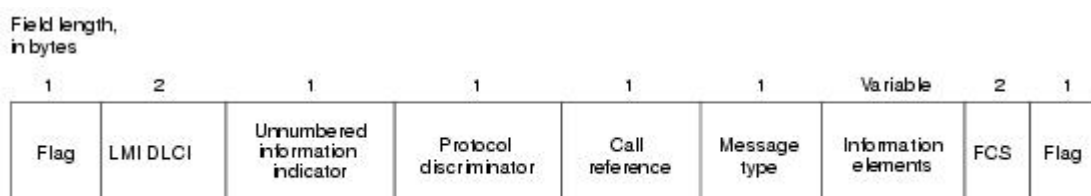
Discard eligibility (DE) τίθεται από τη συσκευή DTE, όπως ένας δρομολογητής, για να δείξει ότι το συγκεκριμένο πλαίσιο είναι μικρότερης σπουδαιότητας σχετικά με άλλα πλαίσια που διαβιβάζονται. Τα πλαίσια που είναι χαρακτηρισμένα ως "επιλεκτικά απορριπτέα" DE, πρέπει να απορριφθούν πριν από τα άλλα πλαίσια σε ένα κορεσμένο δίκτυο. Αυτό επιτρέπει έναν βασικό μηχανισμό καθορισμού προτεραιοτήτων στα δίκτυα Frame Relay.

- **Data (Δεδομένα)** — περιλαμβάνει τα ανώτερου επιπέδου δεδομένα. Κάθε πλαίσιο σε αυτόν τον τομέα μεταβλητού-μήκους περιλαμβάνει δεδομένα χρηστών ή έναν τομέα ωφέλιμων φορτίων που θα ποικίλουν στο μήκος με μέγιστο μήκος στα 16000 bytes. Αυτός ο τομέας χρησιμεύει στο να μεταφέρει το πακέτο πρωτοκόλλου υψηλού-επιπέδου (PDU) μέσω ενός δικτύου Frame Relay.
- **Frame Check Sequence (εκσφαλμάτωση)** — Εξασφαλίζει την ακεραιότητα των διαβιβασθέντων δεδομένων. Αυτή η τιμή υπολογίζεται από τη συσκευή

πηγής και ελέγχεται από το δέκτη για να εξασφαλιστεί ακεραιότητα της μετάδοσης.

4.3.15 LMI Frame Format

Τα πλαίσια Frame Relay που προσαρμόζονται στις προδιαγραφές LMI αποτελούνται από τους τομείς που διευκρινίζονται στο σχήμα 4.18,



Σχήμα 4.18: Εννέα πεδία αποτελούν το LMI Frame Relay

Οι ακόλουθες περιγραφές συνοψίζουν τους τομείς που διευκρινίζονται στο σχήμα 4.18,

- **Flag**— Οριοθετεί την αρχή και το τέλος του πλαισίου.
- **LMI DLCI**— Προσδιορίζει το πλαίσιο ως πλαίσιο LMI αντί ενός βασικού πλαισίου Frame Relay. Η LMI-συγκεκριμένη τιμή DLCI που καθορίζεται στην προδιαγραφή κοινοπραξίας LMI είναι $DLCI = 1023$,
- **Unnumbered Information Indicator**— Θέτει την το τελικό bit ψηφοφορίας LMI DLCI στο μηδέν.
- **Protocol Discriminator**— Πάντα περιέχει μια τιμή που δείχνει ότι το πλαίσιο είναι ένα πλαίσιο LMI.
- **Call Reference**— Πάντα περιέχει μηδενικά. Αυτός ο τομέας αυτήν την περίοδο δεν χρησιμοποιείται για οποιοδήποτε σκοπό.
- **Message Type**— Ονομάζει το πλαίσιο ως έναν από τους ακόλουθους τύπους μηνυμάτων:
 - **Status-inquiry message** — Επιτρέπει σε μια συσκευή χρηστών να ερευνήσει για τη κατάσταση (status) του δικτύου.

- **Status message** — Αποκρίνεται στα μηνύματα έρευνας – κατάστασης του χρήστη. Τα μηνύματα κατάστασης περιλαμβάνουν τα keeralives και τα μηνύματα κατάστασης PVC.
- **Information Elements**— Περιλαμβάνει έναν μεταβλητό αριθμό μεμονωμένων πληροφοριών (IEs). Τα IEs αποτελούνται από τους ακόλουθους τομείς:
- **IE Identifier**— Αναγνωριστικό IE
- **IE Length**— Δείχνει το μήκος του αναγνωριστικού IE
- **Data**— Αποτελείται από 1 ή περισσότερα bytes που περιέχουν τα δεδομένα.
- **Frame Check Sequence (FCS)** — Εξασφαλίζει την ακεραιότητα των διαβιβασθέντων στοιχείων.

4.3.16 Συμπεράσματα Frame Relay

Το Frame Relay είναι ένα πρωτόκολλο δικτύωσης που λειτουργεί στα κατώτατα δύο επίπεδα του προτύπου αναφοράς της OSI: τα στρώματα φυσικών (physical layer) και συνδέσεων δεδομένων (data link layer). Είναι ένα παράδειγμα της τεχνολογίας μεταγωγής πακέτων, το οποίο επιτρέπει στους τερματικούς σταθμούς για να μοιραστούν δυναμικά τους πόρους δικτύων.

Οι συσκευές Frame Relay εμπίπτουν στις ακόλουθες δύο γενικές κατηγορίες:

- Τερματικός εξοπλισμός δεδομένων (DTEs), τα οποία περιλαμβάνουν τα τερματικά, τους προσωπικούς υπολογιστές, τους δρομολογητές, και τις γέφυρες
- Τερματισμού κυκλώματος δεδομένων εξοπλισμός (DCEs), τα οποία διαβιβάζουν τα δεδομένα μέσω του δικτύου και είναι συχνά ιδιοκτησία του παροχέα μετάδοσης (αν και, όλο και περισσότερο, οι επιχειρήσεις αγοράζουν DCEs τους και τα εφαρμόζουν στα δίκτυά τους)

Τα δίκτυα Frame Relay χρησιμοποιούν ένας από τους ακόλουθους δύο τύπους σύνδεσης:

- Μεταστρεφόμενα εικονικά κυκλώματα (SVCs), τα οποία είναι προσωρινές συνδέσεις που δημιουργούνται για κάθε μεταφορά δεδομένων και έπειτα τερματίζονται όταν η μεταφορά δεδομένων ολοκληρωθεί (όχι μια ευρέως χρησιμοποιημένη μέθοδος)

- Μόνιμα εικονικά κυκλώματα (PVCs), τα οποία είναι μόνιμες συνδέσεις

Το DLCI είναι μια τιμή που ορίζεται σε κάθε εικονικό κύκλωμα και σημείο σύνδεσης συσκευών DTE στο Frame Relay WAN. Δύο διαφορετικές συνδέσεις μπορεί να οριστούν με την ίδια τιμή DLCI μέσα στο ίδιο Frame Relay WAN — μία σε κάθε πλευρά της εικονικής σύνδεσης.

Το 1990, η CiscoSystems, Strata COM, Northern Telecom, και Digital Equipment Corporation ανέπτυξαν ένα σύνολο βελτιώσεων του πρωτοκόλλου Frame Relay αποκαλούμενο Local Management Interface (LMI). Οι βελτιώσεις LMI προσφέρουν διάφορα χαρακτηριστικά γνωρίσματα (καλούμενα ως επεκτάσεις) για τη διαχείριση των σύνθετων διασυνδέσεων δικτύων, συμπεριλαμβανομένων των εξής:

- Global addressing
- Virtual circuit status messages
- Multicasting

5. Η ΝΕΑ ΣΥΣΚΕΥΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1 ΕΝΑΣ ΝΕΟΣ ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Υπάρχει η ανάγκη σχεδιασμού ενός **νέου μετρητή κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος** που μπορεί να χειριστεί τις πληροφορίες και τις ανάγκες των συμμετεχόντων σε μία φιλελευθεροποιημένη αγορά ενέργειας, όπως έχουμε δει στο κεφάλαιο 2.

Αυτός ο νέος μετρητής ισχύος θα είναι η καρδιά για ολόκληρη την αγορά ενέργειας με το να στέλνει τις πληροφορίες τιμολόγησης στο φορέα παροχής υπηρεσιών μετρήσεων περιοδικά, ή μετά από απαίτηση, μέσω ενός **PLC** (Power Line Carrier) δικτύου ή ακόμα και με τη χρήση της τεχνολογίας **EDI** (Electronic Data Interchange) και του **διαδικτύου**.

Επίσης, ο μετρητής θα εξοπλιστεί με όλη τη χρήσιμη διαεπικοινωνία (τουλάχιστον με μία σειριακή θύρα) έτσι ώστε ο πελάτης να μπορεί να επικοινωνήσει με τη συσκευή για να εγγράψει τις προτιμήσεις σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας (από ποιο παραγωγό θα αγοράσει την ενέργεια) επίσης μια περιφερειακή θύρα ή άλλου είδους διαεπικοινωνία, για τη σύνδεση της συσκευής με το **διαχειριστή του δικτύου** (Grid Operator) και κάθε παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας (που χρησιμοποιεί το EDI) για την πληροφόρηση της συσκευής σχετικά με την ημερήσια τιμολόγηση (τιμοκατάλογος) και τις καθημερινές προσφορές κάθε παραγωγού (ειδικά πακέτα πώλησης ενέργειας). Να **επισημάνουμε** ξανά εδώ, ότι αυτό το **ηλεκτρονικό δίκτυο πληροφοριών** μπορεί να υλοποιηθεί μέσω ενός **PLC δικτύου** ή μέσω του **διαδικτύου** (με ενσύρματη ή ασύρματη διαεπικοινωνία).

Ο **μετρητής κατανάλωσης ισχύος** που προτείνουμε, επίσης θα ενεργεί ως **πολλαπλός μετρητής** (multi-power meter) που θα μετρήσει και θα καταχωρήσει τα δεδομένα για την κατανάλωση ισχύος για κάθε παραγωγό από τον οποίο ο καταναλωτής έχει επιλέξει να αγοράσει την ενέργεια.

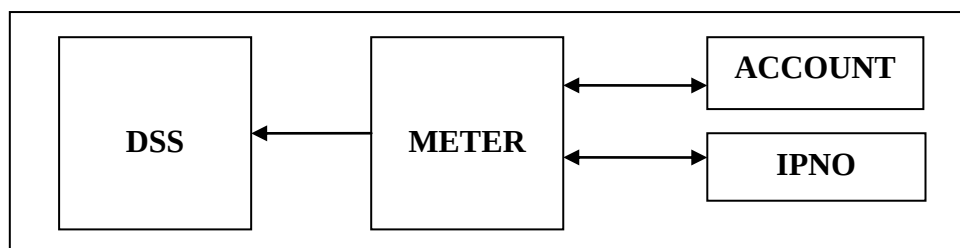
Αυτή η συσκευή μετρήσεων θα εξοπλιστεί επίσης με μια **μονάδα υποστήριξης αποφάσεων (DSS)** που θα προγραμματιστεί με τον κατάλληλο **αλγόριθμο** και που θα ελέγχει τις αποφάσεις του καταναλωτή θα μάθει από εκείνες τις αποφάσεις (έμπειρο σύστημα λογισμικού) και θα τον βοηθάει **επιλέγοντας αυτόματα** κάθε φορά την καλύτερη οικονομική προσφορά έτσι ώστε να κάνει την **καλύτερη δυνατή διαχείριση της ενέργειας** που καταναλώνει στις εγκαταστάσεις του, εξοικονομώντας σε κατανάλωση, χρήματα, πολύτιμο χρόνο και προσπάθεια.

Επιπρόσθετα, ο πελάτης με την βοήθεια του **DSS** και του νέου προτεινόμενου από την μελέτη αυτή, μετρητή, αν το θελήσει θα μπορεί να επιλέγει (επιλέγοντας κάθε φορά τους κατάλληλους προμηθευτές) *συμφέρουσες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας* συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στην «*εκπαίδευση και καλλιέργεια μίας ενεργειακής και περιβαλλοντικής συνείδησης των πολιτών*» εξοικονομώντας φυσικούς ενεργειακούς πόρους του πλανήτη και παράλληλα προστατεύοντας το περιβάλλον από τη μόλυνση και ρύπανση που σχετίζονται με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος, με τον νέο μετρητή και τις πληροφορίες κατανάλωσης του πελάτη, που η συσκευή «στέλνει πίσω» στο δίκτυο διανομής του ηλεκτρισμού, ο κάθε *προμηθευτής* ηλεκτρικής ενέργειας θα *ξέρει ακριβώς* τις απαιτήσεις και την ζήτηση σε ενέργεια (μιας και η αγορά ενέργειας πραγματοποιείται μέσω συστήματος παραγγελιών) και θα προσαρμόζει κατάλληλα την παραγωγή του προσδίδοντας του σημαντικά οφέλη και κέρδη.

5.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ

Στο ακόλουθο διάγραμμα βλέπουμε πώς ο *μετρητής ισχύος* συνδέεται με τους συμμετέχοντες της αγοράς ενέργειας.



DSS: Decision support system
METER: Metering unit
IPNO: Independent network operator
ACCOUNT: Accounting responsible

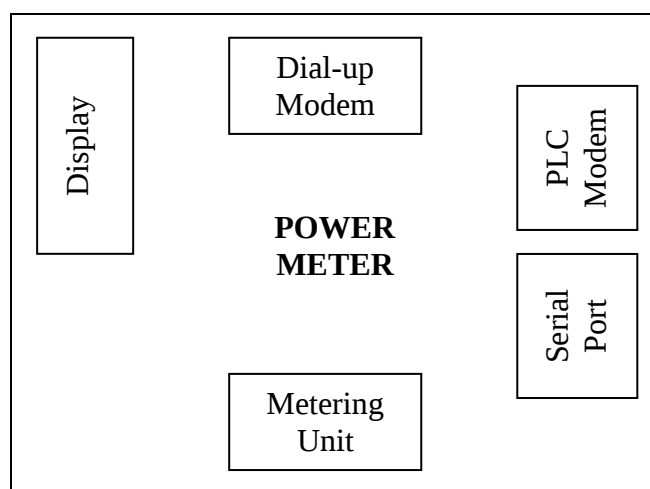
Σχήμα 5.1: Διάγραμμα Συνδέσεων

Όπως μπορούμε να δούμε από το διάγραμμα επάνω, η *μονάδα μετρήσεων (Meter)* επικοινωνεί με *Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS)* στο οποίο στέλνει τις μετρήσεις του για να ενημερώσει τον πελάτη και το έξυπνο σύστημα για την κατανάλωση ενέργειας στις εγκαταστάσεις του πελάτη. Επίσης η μονάδα μετρήσεων

επικοινωνεί με τον **Διαχειριστή του Δικτύου**, Independent System Operator (IPNO πχ. ΔΕΗ) για να δώσει τις χρήσιμες πληροφορίες για την κατανάλωση ενέργειας του πελάτη που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη **σταθερότητα** του ενεργειακού δικτύου και περιέχει επιπλέον οφέλη για τον παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας όπως αναλύσαμε νωρίτερα. Τελικά ο μετρητής επικοινωνεί με τη **λογιστική μονάδα (Account)** αρμόδια για την τιμολόγηση της καταναλωμένης ενέργειας έτσι ώστε η υπηρεσία τιμολόγησης αργότερα να εκδώσει την κατάλληλη χρέωση στον πελάτη.

5.3 ΔΙΑΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΗΤΗ ΙΣΧΥΟΣ

Οι απαραίτητες περιφερειακές διαεπικοινωνίες που ο νέος μετρητής κατανάλωσης ισχύος (**Power Meter**) πρέπει να έχει έτσι αυτό να μπορεί να μετρήσει την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνεται με έναν ασφαλή και αδιάβλητο τρόπο.



Σχήμα 5.2: Περιφερειακά του μετρητή ισχύος

- Η μονάδα PLC Modem χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ του **μετρητή ισχύος (Power Meter)** του πελάτη και της **υπηρεσίας τιμολόγησης**. Αυτό γίνεται στέλνοντας τις **πληροφορίες** μέσω των ηλεκτροφόρων καλωδίων του δικτύου παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας με την τεχνολογία **PLC (Power Line Carrier)**, όπως αναλύσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ο μετρητής ισχύος στέλνει τις πληροφορίες του στη υπηρεσία τιμολόγησης μέσω αυτού του δικτύου με έναν πολύ ασφαλή τρόπο. Πρέπει να

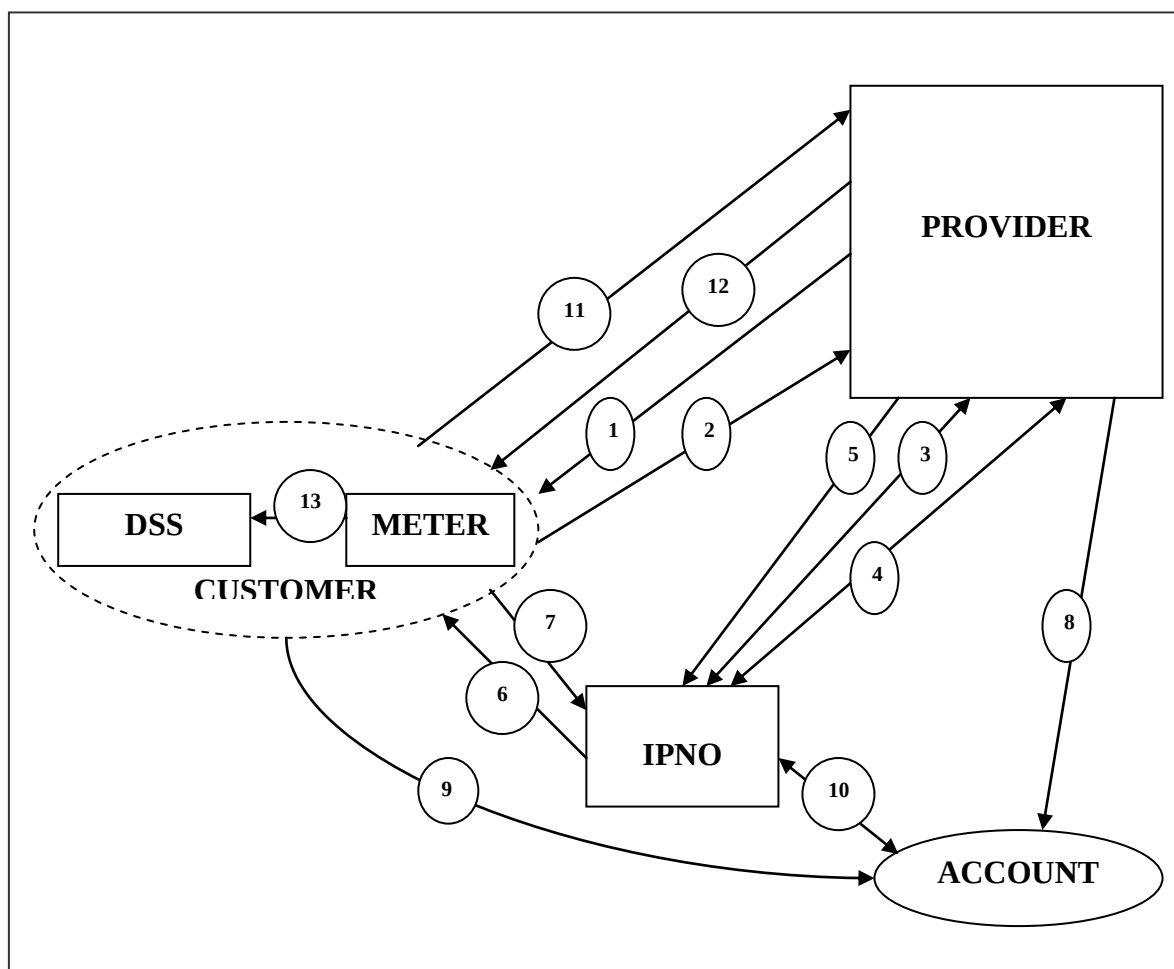
σημειωθεί ότι ένας **μοναδικός αναγνωριστικός αριθμός** δίνεται σε καθένα των μετρητών ισχύος έτσι ώστε κανένα σφάλμα δεν γίνεται στον τομέα της τιμολόγησης.

- Η **μονάδα μετρήσεων (Metering Unit)** είναι αρμόδια για το συνεχή και ακριβές μέτρηση της ηλεκτρικής ισχύος που καταναλώνεται από τον πελάτη. Αυτή η μονάδα δεν είναι προσιτή στον καταναλωτή έτσι ώστε ένας «κακόβουλος» πελάτης να μην έχει την δυνατότητα να διαβάσει τις μετρήσεις. Η **υπηρεσία τιμολόγησης** είναι η μοναδική που μπορεί να διαγνώσει τη λειτουργία της και μπορεί να παρέμβει σε περίπτωση λάθους.
- Η κατανάλωση ισχύος παρουσιάζεται σε μια **οθόνη (Display)** στο μετρητή ισχύος. Επίσης άλλες χρήσιμες πληροφορίες παρουσιάζονται όπως οι ενεργειακές προσφορές από τους παραγωγούς.
- Η **σειριακή θύρα** (πχ. RS-232, USB ή ασύρματη Bluetooth) χρησιμοποιείται από τον πελάτη για την εισαγωγή των προτιμήσεών του στο σύστημα. Επίσης οι συμφωνίες που ο πελάτης είχε κάνει με τους ενεργειακούς προμηθευτές δίνονται στο σύστημα μέσω αυτής της περιφερειακής διαεπικοινωνίας. Η εισαγωγή των προτιμήσεων του πελάτη μπορεί να γίνει σε συνδυασμό με το **DSS** (Decision Support System) που βοηθά το χρήστη για να προγραμματίσει τις απαιτήσεις του για ενέργεια.
- Ο **διαποδιαμορφωτής (dial-up modem)** χρησιμοποιείται από το μετρητή ισχύος για να «κατεβάσει» τις ενεργειακές προσφορές (πακέτα πώλησης της ενέργειας) που δίνονται από τους προμηθευτές. Να σημειωθεί εδώ, ότι το dial-up modem συνδέεται στο δίκτυο PLC για την μετάδοση των πληροφοριών ή στην τηλεφωνική γραμμή αν επιλεγεί η λύση του διαδικτύου (internet) ως μέθοδος επικοινωνίας. Φυσικά η διαεπικοινωνία μέσω internet και τηλεφωνικής γραμμής έχει το μειονέκτημα ότι *πιθανότατα* ο πελάτης χρειαστεί να έχει *τηλεφωνική σύνδεση ISDN* που έχει ένα παραπάνω κόστος.

6. ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗΣ

6.1 ΟΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σε αυτήν την παράγραφο θα προσπαθήσουμε να αναλύσουμε το είδος επικοινωνιών που γίνονται στο δίκτυο ενέργειας που προτείνουμε, μεταξύ των συμμετεχόντων της αγοράς ενέργειας.



DSS: Decision support system
METER: Metering unit
IPNO: Independent system operator
PROVIDER: Energy provider
ACCOUNT: Accounting responsible

Σχήμα 6.1: Οι επικοινωνίες στο δίκτυο ενέργειας

1. Μακροπρόθεσμη τιμολόγηση , Προμηθευτής (Provider) σε Πελάτη (Customer)
Μέσω αυτής της επικοινωνίας ο προμηθευτής ενημερώνει τον πελάτη για τις "ενεργειακές προσφορές". Αυτές δίνονται από τον προμηθευτή για να παροτρύνουν τον πελάτη να κάνει μακροπρόθεσμες συμφωνίες με τον προμηθευτή (ελάχιστο συμβόλαιο ενός έτους). Αυτό δίνει την ευκαιρία στον πελάτη να διαλέξει τελικά την καλύτερη προσφορά μέσα από πολλές και να κλείσει μια συμφωνία.
2. Συμφωνία , πελάτης στον προμηθευτή
Ο πελάτης μετά την εξέταση των διάφορων προσφορών ενεργειακών πακέτων πώλησης της ενέργειας από τον *προμηθευτή*, αποφασίζει ποιο πακέτο πώλησης ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες του και μαζί με την βοήθεια από το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων DSS *απαντάει* στην προσφορά του αποδεχόμενος την ή μη.
3. Ζήτηση ενέργειας – σταθερότητα του δικτύου , IPNO σε Προμηθευτή
Με αυτή την επικοινωνία ο διαχειριστής του δικτύου (IPNO) πχ. η ΔΕΗ, ρωτά τον προμηθευτή για τη δυνατότητά του να δώσει ενέργεια στο δίκτυο και σε τι βαθμό (Kwh). Αυτά είναι ουσιαστικές πληροφορίες για τη διοίκηση του δικτύου ενέργειας επειδή τον βοηθά να ελέγξει τη *σταθερότητα* του δικτύου.
4. Πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας , Προμηθευτής σε IPNO
Ο προμηθευτής ενημερώνει το διαχειριστή του δικτύου ενέργειας για τις συμφωνίες που έχει συνάψει με τους πελάτες του. Αυτό δίνει στο IPNO μια πρόβλεψη για την κατανάλωση ενέργειας . Συνεπώς, ο IPNO είναι σε θέση να έχει μια εικόνα για τη μελλοντική κατανάλωση ενέργειας όλων των πελατών της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
5. Τιμοκατάλογος (γενικός) , Προμηθευτής σε IPNO
Ο προμηθευτής στέλνει έναν τιμοκατάλογο στο διαχειριστή δικτύου για να τον ενημερώσει για την πολιτική τιμολόγησής του.
6. Τιμοκατάλογος (μέσω Διαδικτύου) , IPNO σε Πελάτη
Το IPNO συλλέγει όλους τους τιμοκαταλόγους από όλους τους προμηθευτές και τους αποστέλλει στο Διαδίκτυο σε ένα συγκεκριμένο ιστότοπο. Σε εκείνο τον χώρο διαδικτύου ο καθένας έχει πρόσβαση , έτσι ώστε οποιοσδήποτε μπορεί να ενημερωθεί για τις πολιτικές τιμολόγησης κάθε προμηθευτή και μπορεί να έχει τη σαφή άποψη των τιμών που επικρατούν στην αγορά ενέργειας. Ο

πελάτης μπορεί έπειτα να επιλέξει τον προμηθευτή που του δίνει το οικονομικότερο ή το καταλληλότερο για τις απαιτήσεις του, ενεργειακό πακέτο.

7. Μετρήσεις μέσω του PLC , Πελάτης σε IPNO

Ο διαχειριστής δικτύων ενημερώνεται για την ενεργειακή κυκλοφορία στο δίκτυο ενέργειας με την χρήση της τεχνολογίας PLC. Αυτό δίνει στο διαχειριστή μια σαφή εικόνα για την πραγματική (Real-Time) κατανάλωση της ενέργειας στο δίκτυο και την σταθερότητα του δικτύου (κίνδυνος blackout ή υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας) .

8. Περιεχόμενο συμφωνίας για κάθε έναν από τους πελάτες προμηθευτών , Προμηθευτής σε υπηρεσία τιμολόγησης (Account)

Ο προμηθευτής δίνει τις πληροφορίες για κάθε μια από τις συμφωνίες που γίνεται μεταξύ του προμηθευτή και τους πελάτες . Αυτές στέλνονται έτσι ώστε η υπηρεσία τιμολόγησης να μπορεί να εκτελέσει τις μελλοντικές συμφωνίες τιμολόγησης.

9. Μετρήσεις , Πελάτης σε Υπηρεσία Τιμολόγησης

Οι αναγνώσεις του μετρητή στέλνονται στην υπηρεσία τιμολόγησης μέσω της σηματοδότησης PLC. Οι μετρήσεις αυτές μαζεύονται σε έναν κεντρικό υπολογιστή όπου, μετά από επεξεργασία στέλνεται στον πελάτη μέσω του κανονικού ταχυδρομείου ο λογαριασμός πληρωμής.

10. Πληροφορίες ενεργειακών συναλλαγών, IPNO προς και από Υπηρεσία Τιμολόγησης

Ο διαχειριστής δικτύου και η υπηρεσία τιμολόγησης ενημερώνονται συνεχώς η μια από την άλλη για τις ενεργειακές συναλλαγές έτσι ώστε μπορούν να έχουν μια σαφή εικόνα της πραγματικής τρέχουσας κατάστασης της αγοράς ενέργειας.

11. Ποιο πακέτο ενεργειακής προσφοράς θέλει ο πελάτης , Πελάτης σε Προμηθευτή

Ο πελάτης απαντά στον προμηθευτή ποιο ενεργειακό πακέτο προτίθεται να αγοράσει.

12. Προσφορές πακέτων πώλησης ενέργειας, Προμηθευτής σε Πελάτη

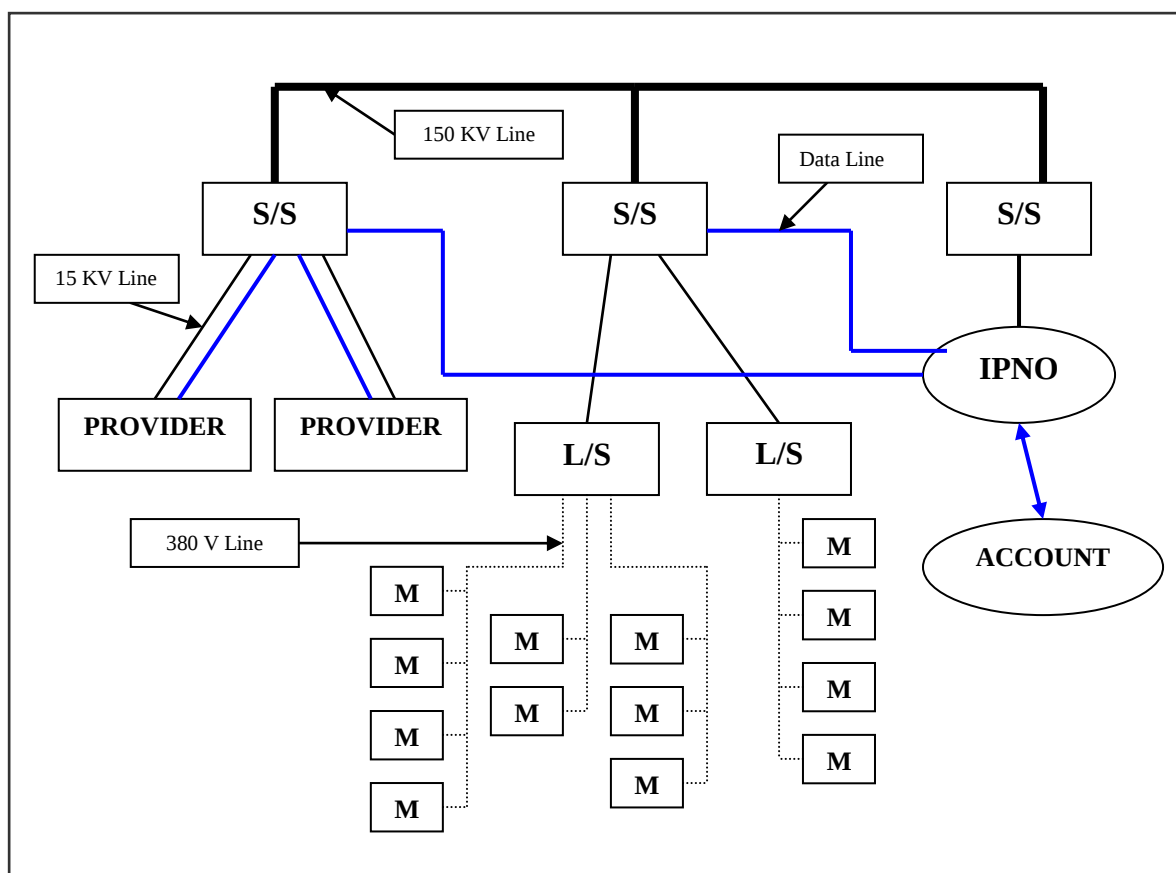
Ο προμηθευτής ενημερώνει τον πελάτη για τις προσφορές ενεργειακών πακέτων που υποβάλλονται περιοδικά ή μόνο μία φορά.

13. Μετρήσεις για τον πελάτη και το DSS , Πελάτης

Οι αναγνώσεις των μετρήσεων καταναλωμένης ισχύος στις εγκαταστάσεις του πελάτη στέλνονται στο DSS όπου ο πελάτης μπορεί να γνωρίζει κάθε χρονική στιγμή την κατανάλωση του.

Οι επικοινωνίες που είδαμε ανωτέρω είναι οι απόλυτα απαραίτητες για τη σωστή λειτουργία του δικτύου. Άλλες επικοινωνίες μπορούν να προστεθούν όπως η ανάδραση του πελάτη (αξιολόγηση, παρατηρήσεις, παράπονα, βλάβες) στο διαχειριστή του δικτύου για τη σωστή λειτουργία του δικτύου ή την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών.

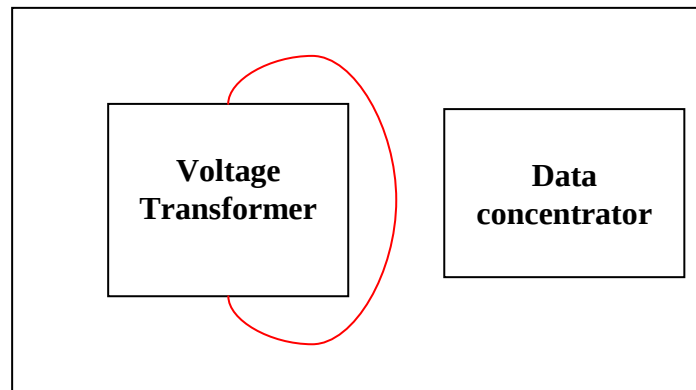
6.2 ΤΟ ΠΛΗΡΕΣ ΔΙΚΤΥΟ



L/S: Local-Station
IPNO: Independent Network Operator
ACCOUNT: Accounting Responsible
M: Metering Unit
Provider: Energy producer
S/S: Sub-Station

Σχήμα 6.2: Το πλήρες δίκτυο

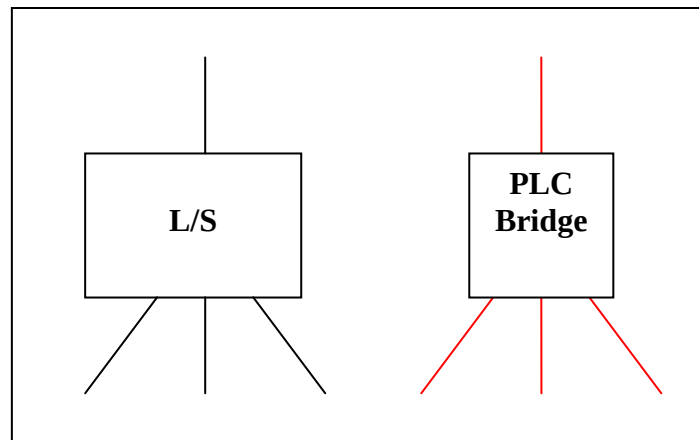
- Το **S/S (Sub-Station)** είναι ο υποσταθμός όπου η ηλεκτρική ισχύς μετασχηματίζεται από 150KV (γραμμή υψηλής τάσης) σε 15KV (γραμμή μέσης τάσης) και το ανάποδο.
- Όπως μπορούμε επίσης να δούμε στο πιο κάτω σχήμα 6.3, σε αυτόν τον υποσταθμό υπάρχει μια **γέφυρα PLC** (αντιπροσωπεύεται με την κόκκινη γραμμή). Αυτή η γέφυρα PLC επιτρέπει στα **σήματα PLC** να «ταξιδέψουν» **αμφίδρομα** πάνω στις δύο γραμμές παροχής ηλεκτρισμού, την υψηλής 150KV και την μέσης των 15KV. Αυτά τα σήματα φέρουν τις πληροφορίες παντού γύρω από το δίκτυο ηλεκτροδότησης.



Σχήμα 6.3: S/S (Sub-station)

- Στο S/S υπάρχει μια μονάδα **υπολογιστή** (Data concentrator) που είναι αρμόδια για να συλλέξει τα δεδομένα (Data) που φέρουν τα σήματα PLC και που προέρχονται από τις **συσκευές μέτρησης (Metering Units)** κάθε πελάτη. Αυτά τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν την κατανάλωση ενέργειας που έχει γίνει. Αυτή η συγκέντρωση των δεδομένων γίνεται για μια συγκεκριμένη **χρονική αulάκωση (time slot)** για κάθε χρήστη του δικτύου ενέργειας. Επίσης γίνεται **περιοδικά** σε χρόνο που ορίζει η υπηρεσία τιμολόγησης.
- Τελικά τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από όλους τους υποσταθμούς S/S συγκεντρώνονται από το IPNO, που δρα εκ μέρους της υπηρεσίας τιμολόγησης, μέσω μιας ξεχωριστής γραμμής δεδομένων **Data Line** (βλέπε σχήμα 6.2, μπλε γραμμή). Ο διαχειριστής του δικτύου (IPNO) μετά την συγκέντρωση των δεδομένων, τα στέλνει στην υπηρεσία τιμολόγησης. Τα δεδομένα των πελατών τους, τα

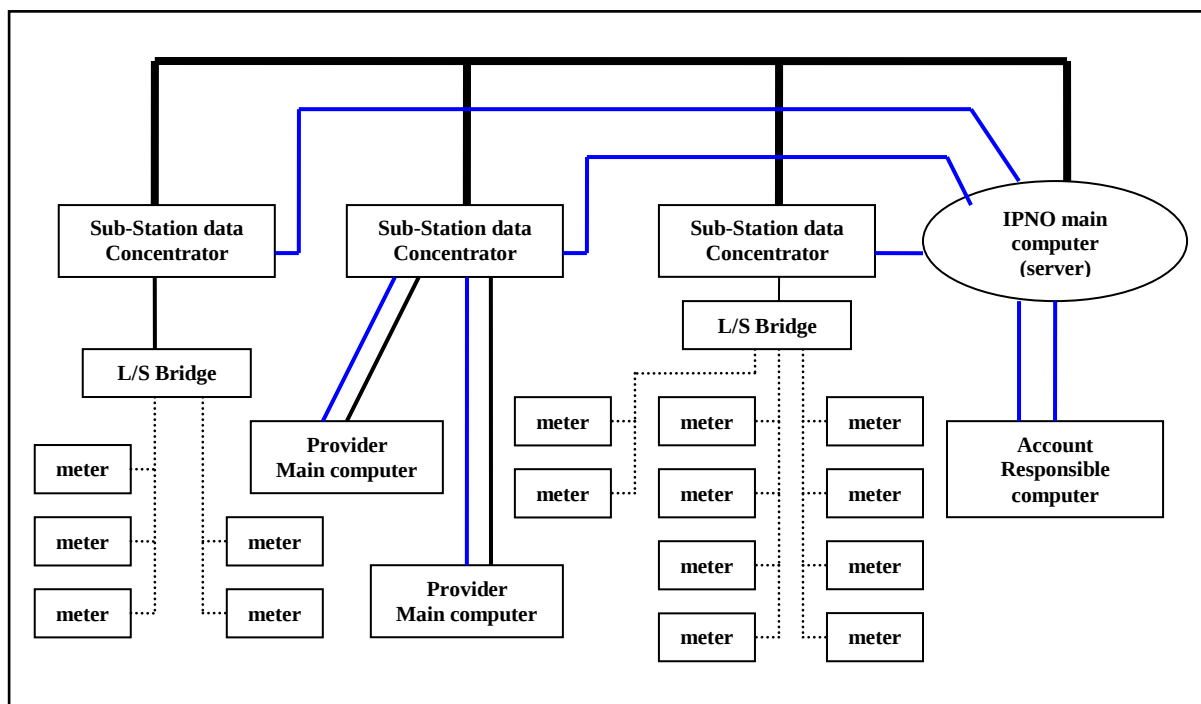
λαμβάνουν μέσω γραμμής δεδομένων από τους υποσταθμούς, και οι προμηθευτές ενέργειας (Providers).



Σχήμα 6.4: L/S Bridge για το PLC

- Τα **L/S (Local Station)** είναι τοπικοί σταθμοί, διάσπαρτοι σε διάφορες γεωγραφικές τοποθεσίες που αποτελούν κομβικά σημεία του δικτύου ηλεκτροδότησης. Σε κάθε L/S υπάρχει ένας μετασχηματιστής ισχύος και μια γέφυρα PLC. Ο μετασχηματιστής μειώνει την τιμή της τάσης από μέση 15KV σε χαμηλή 380V όπου ο τελικός πελάτης μπορεί να επιλέξει μεταξύ μονοφασικής σύνδεσης με το δίκτυο ή τριφασικής. Η γέφυρα PLC είναι αρμόδια για τη ροή δεδομένων, μέσω των σημάτων PLC, από το 15KV δίκτυο ισχύος στο δίκτυο των 380V, ειδάλλως ο μετασχηματιστής θα έκοβε τα σήματα PLC.

6.3 ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ



Σχήμα 6.5: Το δίκτυο δεδομένων

Μπορούμε να δούμε στο παραπάνω σχήμα το πώς οι υπολογιστές στο δίκτυο ενέργειας συνδέονται. Οι μαύρες γραμμές, όπως έχουμε αναφέρει νωρίτερα, αντιπροσωπεύουν το δίκτυο ηλεκτροδότησης, όπου έχουμε μία 150KV, 15KV και μία ηλεκτροφόρο γραμμή 380V.

Από τα ηλεκτροφόρα καλώδια αυτά, εκτός από την ηλεκτρική ενέργεια περνούν επίσης τα **μηνύματα PLC** για να διαβιβαστούν στους υπολογιστές μετρήσεων (metering computer) των πελατών. Τα μηνύματα από τον κεντρικό υπολογιστή της υπηρεσίας τιμολόγησης (Account) ή τον κεντρικό υπολογιστή IPNO προς τις μονάδες μετρήσεων των πελατών μπορεί να είναι αιτήματα-εντολές για την ανάγνωση των αποθηκευμένων μετρήσεων ή ακόμα και εντολή για το κλείσιμο της μονάδας μετρήσεων του πελάτη, εάν πχ. ο πελάτης δεν πληρώνει τους λογαριασμούς του.

Αφ' ετέρου η μπλε γραμμή αντιπροσωπεύει τη γραμμή επικοινωνίας μεταξύ του IPNO, της υπηρεσίας τιμολόγησης του υποσταθμού και του παραγωγού ενέργειας (Provider).

- Το IPNO επικοινωνεί με την υπηρεσία τιμολόγησης για να ενημερώσει και για να ενημερωθεί για την κατανάλωση ενέργειας των πελατών.

Επίσης ο IPNO (πχ. ΔΕΗ) ανακτά τις πληροφορίες για τη σταθερότητα του δικτύου. Πρέπει επίσης να πούμε ότι μια δεύτερη γραμμή δεδομένων είναι παρούσα ως εφεδρική, για την περίπτωση μιας αποτυχίας επικοινωνίας της πρώτης γραμμής.

- Ο IPNO επικοινωνεί με κάθε έναν από τους υποσταθμούς S/S όπου τα δεδομένα των μετρήσεων ζητούνται, για να διαβιβαστούν στην υπηρεσία τιμολόγησης. Πρέπει να αναφέρουμε ότι στην περίπτωση αυτή, ως *εφεδρική γραμμή* ώστε να διασφαλιστεί σε περίπτωση βλάβης, η συνεχή επικοινωνία μεταξύ του IPNO και του S/S, χρησιμοποιείται η γραμμή ηλεκτροδότησης για την μεταφορά των ψηφιακών δεδομένων με την βοήθεια της τεχνολογίας PLC. Μέσω των ηλεκτροφόρων καλωδίων του δικτύου ηλεκτροδότησης τα σήματα PLC μπορούν να περάσουν, το μόνο *μειονέκτημα* είναι ότι η ταχύτητα μετάδοσης των ψηφιακών δεδομένων μέσω των ηλεκτροφόρων καλωδίων είναι αρκετά αργή σε σύγκριση με τις αμιγές γραμμές δεδομένων.
- Τελικά η επικοινωνία μεταξύ των προμηθευτών και του υποσταθμού εκτελείτε μέσω των γραμμών δεδομένων και ως εφεδρική λύση, μέσω των ηλεκτροφόρων καλωδίων.

Το περιεχόμενο των επικοινωνιών που γίνονται σε αυτό το δίκτυο δεδομένων είναι αυτό που αναλύθηκε στην παράγραφο 6.1.

7. ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

7.1 ΚΟΣΤΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για να υπολογίσουμε το κόστος της γραμμής, που σημαίνει την απαραίτητη χωρητικότητα που απαιτείται για τη σωστή επικοινωνία, πρέπει να υπολογίσουμε πρώτα το εύρος ζώνης (bandwidth) της γραμμής για να δούμε πόσες πληροφορίες μπορούν να περάσουν μέσω των γραμμών δεδομένων.

Υποθέτουμε ότι έχουμε μια αγορά δύναμης όπου υπάρχουν 10 προμηθευτές και 100.000 πελάτες που "γαντζώνονται επάνω" σε 10 S/S υποσταθμούς του ενεργειακού δικτύου.

Έτσι για τη σωστή ενεργειακή τιμολόγηση σε *κάθε πελάτη* ένας πίνακας στέλνεται, στο οποίο οι στήλες αντιπροσωπεύουν τα ενεργειακά πακέτα που προσφέρονται από τον προμηθευτή και οι σειρές αντιπροσωπεύουν τις χρονικές αυλακώσεις (timeslots) που τίθενται από την υπηρεσία τιμολόγησης, κάθε αυλάκωση αντιπροσωπεύει μια ώρα της ημέρας. Πρέπει να σημειώσουμε ότι αυτός ο πίνακας δεδομένων στέλνεται παντού, σε κάθε συσκευή μετρήσεων των πελατών. Το πίνακα αυτό ο «έξυπνος μετρητής» τον συμπληρώνει αναγράφοντας σε αυτόν τις καταναλώσεις του πελάτη και τον στέλνει πίσω συμπληρωμένο στην υπηρεσία τιμολόγησης. Ο όγκος των δεδομένων που πρέπει να μεταφερθούν υπολογίζεται από την κατωτέρω εξίσωση.

$$(1) \quad Y=2*A*B*D*Z*E$$

$$(2) \quad \Omega=(Y*P)/f$$

Όπου στην πρώτη εξίσωση το A είναι ο τύπος της ηλεκτρικής ισχύος που γράφεται στο πίνακα (ενεργός ισχύ ή άεργος ισχύ), το B είναι ο αριθμός ενεργειακών πακέτων που προσφερθήκαν στον πελάτη από τον προμηθευτή, το D είναι ο αριθμός χρονικών αυλακώσεων στις οποίες διαιρείται η ημέρα, το Z είναι ο αριθμός πελατών που είναι μέλη της αγοράς ενέργειας, το E είναι ο αριθμός των προμηθευτών. Τελικά ο συνολικός αριθμός Y πολλαπλασιάζεται επί δύο ως ένα περιθώριο ασφαλείας για να εξασφαλιστεί ότι όλα τα δεδομένα θα διαβιβάζονται ή

θα αναμεταδίδονται κανονικά στην περίπτωση που θα υπάρξει ένα πρόβλημα με τη ροή δεδομένων της γραμμής.

Στη δεύτερη εξίσωση το P αντιπροσωπεύει τον αριθμό δυαδικών ψηφίων (bits) που απαιτούνται για να αντιπροσωπεύσουν έναν αριθμό στο πίνακα, έτσι εάν έχουμε έναν αριθμό με 20 ψηφία (συμπεριλαμβανομένου και της υποδιαστολής στην περίπτωση δεκαδικού αριθμού) τότε χρειαζόμαστε 10 bytes που σημαίνει δηλαδή 80 bits, το f είναι ο αριθμός δευτερολέπτων που μια ημέρα περιέχει.

Ο τελικός αριθμός Ω μας δίνει την **ελάχιστη αποδεκτή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων (Kbps)** που απαιτείται για τη σωστή μετάδοση των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας.

Υποθέτοντας ότι έχουμε 24 χρονικές αυλακώσεις, μέγιστο 10 πακέτα ενεργειακών προσφορών και 2 τύπους ενέργειας, μπορούμε να υπολογίσουμε τις τιμές των εξισώσεων (1) και (2).

Έτσι:

$$Y = 2 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 24 \cdot 1.000.000 \cdot 10 = 9.600.000.000$$

$$\Omega = (9.600.000.000 \cdot 80) / 2.592.000 = 296,296 \text{ Kbps}$$

Έχουμε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι μια ελάχιστη ταχύτητα 296,3 kbps απαιτείται που είναι μία ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων που μπορεί να επιτευχθεί εύκολα με τη σημερινή τεχνολογία. Αν και ότι υπάρχουν πολλοί άλλοι τύποι επικοινωνίας μεταξύ των συμμετεχόντων της αγοράς ενέργειας (βλέπε παράγραφος 6.1), υπολογίσαμε το συγκεκριμένο αυτό τύπο επειδή είναι αυτός που φέρει το μεγαλύτερο όγκο δεδομένων.

7.2 ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Πριν υπολογίσουμε το απαραίτητο **κόστος** για την υποδομή του προτεινόμενου δικτύου δεδομένων, ας κοιτάξουμε πώς είναι ένα σημερινό δίκτυο δεδομένων ενός PPC πχ. της ΔΕΗ.

Το σημερινό δίκτυο χρησιμοποιεί ένα σύστημα **σηματοδότησης PLC** πάνω στο υπάρχον δίκτυο της ηλεκτροδότησης. Το δίκτυο δεδομένων είναι στην πραγματικότητα ένα **σύστημα SCADA** μιας ιδιωτικής επιχείρησης με κλειστά πρωτόκολλα επικοινωνίας, κατά συνέπεια έχουμε ένα πολύ υψηλό κόστος συντήρησης (73.360

€) από την ιδιωτική επιχείρηση. Η ταχύτητα μετάδοσης του συστήματος είναι μικρή, 600 baud, λόγω ότι το σύστημα είναι πολύ παλαιό (30 έτη σύμφωνα με ανώτερους υπαλλήλους της ΔΕΗ). Αυτή η περιορισμένη ταχύτητα μετάδοσης θα προκαλούσε τα προβλήματα στη χρήση των πληροφοριών που το σύστημα μπορεί να διαβιβάζει στους S/S (υποσταθμοί) και τελικά στον πελάτη από το κέντρο ελέγχου του IPNO.

Προτείνουμε ότι απαιτείται ο σχεδιασμός, ανάπτυξη και λειτουργία ενός **νέου δικτύου** δεδομένων με την ικανότητα της διαβίβασης, δεδομένων, φωνής και εικόνες προσαρμοσμένα στις ανάγκες ελέγχου του IPNO.

Αυτό το νέο δίκτυο δεδομένων θα ακολουθεί σε φυσικό επίπεδο την τοπολογία του δικτύου ενέργειας και θα έχει την ακόλουθη μορφή.

(Θα χρησιμοποιήσουμε για παράδειγμα το δίκτυο ενέργειας του νησιού Κρήτη που είναι απλούστερο και θα μας βοηθήσει να καταλάβουμε ευκολότερα την έννοια της πρότασης μας)

Πρώτα ας δούμε πώς το βασικό S/S συνδέεται με το άλλα S/S του νησιού.

- **Οι συνδέσεις από Hrakleio2 με άλλα κομβικά σημεία.**

Hrakleio2 προς:

Sitia
Ierapetra
Moires
Rethimno
Chania

- **Οι συνδέσεις των βασικών με δευτερεύουσα κομβικά σημεία.**

Hrakleio2 to:

Hrakleio1 (3Km)
Hrakleio3 (5Km)
Stallida
Linoperamata

Sitia to:

Toplou

Maronia

Wind park ⁹ 1 (5-15 Km from Sitia)

Wind park 2 (5-15 Km from Sitia)

.

.

Wind park 6 (5-15 Km from Sitia)

Ierapetra to:

Ag.Nicolaos

Paxeia Ammo

Atherinolakos

Moires to:

Praitoria

Rethimno:

Spili

Georgioupoli

Chania to:

Casteli

Agia

Chania 2

Candanos

Εκτός από από τα ανωτέρω επίσης μια σύνδεση μεταξύ του δικτύου δεδομένων της Κρήτης και της Αθήνας απαιτείται . Στο σχήμα 7.1 απεικονίζεται πώς ο βασικός σταθμός Ηrakleio 2 συνδέεται με άλλα βασικά κομβικά σημεία (κόκκινη γραμμή) και επίσης τα δευτερεύοντα κομβικά σημεία που τα περιβάλλουν (μπλε γραμμή).

⁹ Αιολικό Πάρκο



Σχήμα 7.1: Δίκτυο δεδομένων του δικτύου ενέργειας Κρήτης

- **Services**

Οι συνολικές υπηρεσίες διασύνδεσης κομβικών σημείων που προσφέρονται και μπορούν να εκτελεστούν καθημερινά από το δίκτυο της ΔΕΗ Ηρακλείου (Κρήτη) είναι οι ακόλουθες.

Ηρακλείο-Sítia:

Μεταφορά των πληροφοριών SCADA, η ύπαρξη ενός τοπικού δικτύου PC, απομακρυσμένος έλεγχος του ψηφιακού εξοπλισμού, δυνατότητα για δύο τηλεφωνήματα με εικόνα ταυτόχρονα.

Ηρακλείο-Ierapetra, Moires, Rethimno:

Μεταφορά των πληροφοριών SCADA, η ύπαρξη ενός τοπικού δικτύου PC, απομακρυσμένος έλεγχος του ψηφιακού εξοπλισμού, δυνατότητα για δύο τηλεφωνήματα με εικόνα ταυτόχρονα.

Hrackleio-Chania:

Μεταφορά των πληροφοριών 2 x SCADA, η ύπαρξη ενός τοπικού δικτύου PC, δυνατότητα για δύο τηλεφωνήματα με εικόνα ταυτοχρόνως.

Περιορισμός: Τα τηλεφωνήματα που γίνονται στον ίδιο χρόνο μεταξύ Ηρακλείου και τα άλλα κομβικά σημεία πρέπει να είναι τουλάχιστον τέσσερα.

Hrackleio-Athens:

Μεταφορά των πληροφοριών SCADA, η ύπαρξη ενός τοπικού δικτύου PC, δυνατότητα για ένα τηλεφώνημα.

Hrackleio 2-Hrackleio 1:

Μεταφορά των πληροφοριών SCADA, η ύπαρξη ενός τοπικού δικτύου PC, απομακρυσμένος έλεγχος του ψηφιακού εξοπλισμού, δυνατότητα για δύο τηλεφωνήματα ταυτοχρόνως.

Hrackleio 2-Hrackleio 3:

Μεταφορά των πληροφοριών SCADA, η ύπαρξη ενός τοπικού δικτύου PC, απομακρυσμένος έλεγχος του ψηφιακού εξοπλισμού, δυνατότητα για δύο τηλεφωνήματα ταυτοχρόνως.

Hrackleio 2-Limnoperamata:

Μεταφορά των πληροφοριών SCADA, η ύπαρξη ενός τοπικού δικτύου PC, απομακρυσμένος έλεγχος του ψηφιακού εξοπλισμού, δυνατότητα για ένα τηλεφώνημα.

Hracleio 2-Tsalikaki:

Μεταφορά των πληροφοριών SCADA, η ύπαρξη ενός τοπικού δικτύου PC, απομακρυσμένος έλεγχος του ψηφιακού εξοπλισμού, δυνατότητα για ένα τηλεφώνημα.

Hracleio 2-Stalida:

Μεταφορά των πληροφοριών SCADA, η ύπαρξη ενός τοπικού δικτύου PC, απομακρυσμένος έλεγχος του ψηφιακού εξοπλισμού, δυνατότητα για ένα τηλεφώνημα.

Hracleio 2-Ag.Nikolaos:

Μεταφορά των πληροφοριών SCADA, η ύπαρξη ενός τοπικού δικτύου PC, απομακρυσμένος έλεγχος του ψηφιακού εξοπλισμού, δυνατότητα για ένα τηλεφώνημα.

Hracleio 2-Paxeia Ammos:

Μεταφορά των πληροφοριών SCADA, η ύπαρξη ενός τοπικού δικτύου PC, απομακρυσμένος έλεγχος του ψηφιακού εξοπλισμού, δυνατότητα για ένα τηλεφώνημα.

Hracleio 2-Atherinolakos:

Μεταφορά των πληροφοριών 2 x SCADA, η ύπαρξη ενός τοπικού δικτύου PC, δυνατότητα για δύο τηλεφωνήματα με εικόνα ταυτόχρονα.

7.2.1 Βήματα για την ανάπτυξη του δικτύου δεδομένων

Για το κατάλληλο σχεδιασμό και την υλοποίηση του νέου δικτύου δεδομένων τα ακόλουθα βήματα απαιτούνται :

- 1 Μια μελέτη πρέπει να γίνει με το θέμα "Σχεδιασμός, Αναβάθμιση και επέκταση του δικτύου δεδομένων μέσα στο δίκτυο ενέργειας".
- 2 Υλοποίηση του δικτύου δεδομένων.
- 3 Λειτουργία, Έλεγχος και προσαρμογή του δικτύου δεδομένων στις ανάγκες του διαχειριστή (IPNO) του Κρητικού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας "

7.2.2 Σχεδίαση, αναβάθμιση και επέκταση του δικτύου δεδομένων μέσα στο δίκτυο ενέργειας

Εάν το IPNO που κατέχει το δίκτυο στην Κρήτη θέλει να ελέγξει καλύτερα και ικανοποιητικότερα το δίκτυο ενέργειας χρειάζεται ένα καλύτερο και πιο αξιόπιστο δίκτυο δεδομένων και φωνής. Αυτό το νέο δίκτυο πρέπει να προσαρμοστεί εντελώς στις ανάγκες του IPNO.

Η ανάγκη αυτής της μελέτης, με τίτλο τον τίτλο τη παρούσας παραγράφου 7.2.2, είναι απαραίτητη σήμερα για τους ακόλουθους λόγους:

- Έχουμε έναν μεγάλο αριθμό δικτυακών αρχιτεκτονικών για τα δεδομένα και τη φωνή.
- Υπάρχουν πολλοί προμηθευτές τηλεπικοινωνιών
- Για να επιλέξει τα κατάλληλα πρωτόκολλα από τα υπάρχοντα , ειδικά για τις ανάγκες του IPNO.
- Πάρα πολλοί τρόποι υλοποίησης. Πρέπει να επιλεγεί ο πιο κατάλληλος.
- Πολλοί τρόποι διαχείρισης του δικτύου.
- Το κόστος για την υλοποίηση και τη λειτουργία.
- Η ανάγκη για το IPNO να είναι στην κορυφή της τεχνολογίας και όχι απαρχαιωμένος.

7.2.2.1 Οι απαραίτητες πτυχές της μελέτης

- Ανάλυση της παρούσας κατάστασης και των γεγονότων που επικρατούν.
- Παρουσίαση των νόμων για το σχεδιασμό του επιθυμητού δικτύου.
- Οι υπηρεσίες που το νέο δίκτυο υποστηρίζει (SCADA, τηλεφωνία, κάμερες παρακολούθησης, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και άλλες υπηρεσίες δικτύων, πρόσβαση στο Διαδίκτυο, ικανότητα της χρήσης ενός κεντρικού αυτοματοποιημένου ελέγχου για την αποφυγή blackout)
- Σύγκριση των προμηθευτών τηλεπικοινωνιών.
- Εύκολη διαχείριση.
- Επέκταση του υπάρχοντος φυσικού δικτύου σύμφωνα με τις νέες ανάγκες.
- Η έρευνα αγοράς για τα προϊόντα είναι διαθέσιμα σήμερα στον τομέα της ενέργειας και των ψηφιακών δεδομένων.
- Η κοστολόγηση της προτεινόμενης λύσης με βάση των οικονομικών στοιχείων με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης λύσης για τα διαθέσιμα κεφάλαια, έτσι ώστε η λύση αυτή να μπορεί να επιφέρει μια μείωση των δαπανών αλλά δίχως να θυσιάζεται η ποιότητα της υπηρεσίας.

Επίσης κατά την μελέτη της διασύνδεσης του μελλοντικού δικτύου δεδομένων με το υπαρκτό, θα πρέπει να πάρουμε υπό εξέταση τις ακόλουθες πτυχές:

- Η αναβάθμιση/αντικατάσταση των ενεργών και παθητικών εξαρτημάτων του κύριου δικτύου ηλεκτροδότησης.
- Η αναβάθμιση/αντικατάσταση των ενεργών και παθητικών εξαρτημάτων για τη διασύνδεση των υποδικτύων και τις υπο—δικτυακών τομέων του δικτύου ενέργειας.
- Η χρήση του υπάρχοντος δικτύου ως εναλλακτικό εφεδρικό δίκτυο ή ως δίκτυο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί συγχρόνως.
- Η ομαλή μετάβαση στο νέο δίκτυο με όσο το δυνατόν λιγότερα προβλήματα και τις διαταραχές.

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του προτεινόμενου δικτύου όλα τα βασικά

στοιχεία πρέπει να ληφθούν υπό εξέταση έτσι ώστε να είναι σε συμμόρφωση με τις σύγχρονες απαιτήσεις συστημάτων για την επικοινωνία, όπως τη μέτρηση της απόστασης, τη μέγιστη κυκλοφορία, το απαραίτητο εύρος ζώνης (CIR¹⁰), την ελάχιστη απώλεια ισχύος από το ίδιο το δίκτυο και UPS¹¹, προγραμματισμός των μελλοντικών αναβαθμίσεων του δικτύου, των αναγκών για μελλοντικές εφαρμογές και της συμμόρφωσης στα διεθνή πρότυπα.

7.2.3 Υλοποίηση του δικτύου δεδομένων.

Στη φάση υλοποίησης του δικτύου τηλεπικοινωνιών η επιχείρηση που θα υλοποιήσει το δίκτυο θα επιλεχτεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές της μελέτης. Αυτή η επιχείρηση θα υποχρεωθεί για να κατασκευάσει τις απαραίτητες γραμμές επικοινωνίας μεταξύ των κομβικών σημείων του δικτύου, να τις ενεργοποιήσει και για να τις παραδώσει στον IPNO.

7.2.4 Το κόστος της μελέτης, του υλικού και των τηλεπικοινωνιών

Κατά τη διάρκεια της φάσης της κατασκευής οι εφαρμογές (SCADA συστήματα, διασύνδεση στα κομβικά σημεία των τοπικών δικτύων, έλεγχος των ψηφιακών συσκευών, διασκέψεις κτλ) θα ενεργοποιηθούν, θα ελεγχθούν και θα προσαρμοστούν στις ανάγκες του IPNO.

Επομένως η αγορά του απαραίτητου υλικού (hardware) μπορεί να καλυφθεί με τη μορφή της μίσθωσης (leasing) από την επιχείρηση τηλεπικοινωνιών που θα επιλεχτεί. Μέσω αυτού του τρόπου η αλλαγή του παλαιού υλικού είναι δυνατή και η απόλυτη συμμόρφωση του νέου δικτύου δεδομένων με το υλικό της επιχείρησης τηλεπικοινωνιών εξασφαλίζεται (στην περίπτωση ακατάλληλου υλικού το κόστος αλλαγής ελαχιστοποιείται).

Η εκτίμηση του κόστους του υλικού με τη βάση όλων αυτών που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα τμήματα (10 προμηθευτές, 100.000 πελάτες) υπολογίζεται σε 50.000€.

¹⁰ **Committed Information Rate** ή CIR σε ένα Frame relay δίκτυο είναι η μέση τιμή του εύρους ζώνης (bandwidth) που εγγυάται ο παροχέας του δικτύου ότι θα λειτουργήσει υπό κανονικές συνθήκες. Για κάθε δεδομένη στιγμή το εύρος ζώνης δεν πρέπει να πέσει κάτω από αυτή την τιμή. Συνήθως το CIR εκφράζεται σε kilobits per second (kbit/s).

¹¹ **Uninterruptible Power Supply** ή UPS με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στην αδιάκοπη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας

Πρέπει να αναφέρουμε ότι η τηλεπικοινωνιακή δαπάνη (σύμφωνα με το τιμοκατάλογο του οργανισμού τηλεπικοινωνιών της Ελλάδας, ΟΤΕ – Αύγουστος 2009) για το δίκτυο Frame Relay χωρίς πρόσβαση Διαδικτύου είναι μέχρι 7500 €/μήνα (90.000 €/έτος). Εάν το δίκτυο Frame Relay επιλεγεί από έναν άλλο προμηθευτή τηλεπικοινωνιών η μείωση δαπανών είναι δυνατή σε περίπου 20% (72.000 €/έτος) με την υπηρεσία Διαδικτύου.

Έτσι:

- Το σημερινό κόστος για τη συντήρηση του παλαιού δικτύου δεδομένων είναι μέχρι: 73.360€/έτος
- Κόστος της μελέτης: 15.000€.
- Κόστος των απαραίτητων ρυθμίσεων: 3.000€.
- Τηλεπικοινωνιακή δαπάνη για το Frame Relay από τον οργανισμό τηλεπικοινωνιών της Ελλάδας ΟΤΕ: 90.000€/έτος
- Η προκαταβολή εγγύησης (**Lump Cost**) στον οργανισμό τηλεπικοινωνιών της Ελλάδας ΟΤΕ: 7.200€
- Τηλεπικοινωνιακή δαπάνη για Frame Relay από μια άλλη επιχείρηση τηλεπικοινωνιών: 72.000€/έτος
- Η προκαταβολή εγγύησης σε μια άλλη επιχείρηση τηλεπικοινωνιών: 5.000€.

Σαν παράδειγμα εμφανίζουμε κάτω τους πίνακες της οικονομικής πρότασης από την επιχείρηση τηλεπικοινωνιών που δόθηκε στον IPNO, επίσης εμφανίζονται οι τιμές για τις προσφερόμενες υπηρεσίες και το υλικό. Αυτή η οικονομική πρόταση έχει να κάνει με μια γραμμή δεδομένων μεταξύ δύο υποσταθμών S/S.

Frame Relay cost

TOWN	SPEED OF ACCESS	CIR
Hrakleio 2	384 Kbps	
Limnoperamata	256 Kbps	256 Kbps

TOTAL LUMP COST	MONTHLY COST
1.060,00€	457,00€

Πίνακας 7.1: Κόστος Frame relay

Access to the telecommunication company

TOWN	CIRCUIT	SPEED	LUMP COST	MONTHLY COST
Hrakleio 2	M1020	384 Kbps	460,00€	97,00€
Linnoperamata	H/C	256 Kbps	1.940,00€	256,70€

Πίνακας 7.2: Πρόσβαση στην επιχείρηση τηλεπικοινωνιών

Permanent access to the internet over frame relay

ACCESS SPEED	MONTHLY COST WITH INTERNET ACCESS
64 Kbps	376,00€

Πίνακας 7.3: Κόστος Μόνιμης πρόσβασης στο διαδίκτυο

Hardware

DESCRIPTION OF THE DESIRABLE ROUTER	PIECES	PRICE
TOWN: Hrakleio		
CISCO1751-V 10/100 Modular Router w/Voice,32f/64D 1-Port ISDN WAN Interface Card for backup 1-Port Serial WAN Interface Card 2-Port Voice Interface card-FXS(for Europe) Power Cord Eupore X21 Cable,DTE,Male,10 feet Cisco 1700 IOS IP/VOX PLUS 4-Channel packet Voice/fax DSP Module	2	6.544\$

DESCRIPTION OF THE DESIRABLE MODEM	PIECES	PRICE
TOWN :Hrakleio		
ADC PAIRGAIN HRS BASEBAND MODEM WITH X21 INTERFACE	1	960\$

Πίνακας 7.4: Κόστος υλικού

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η αγορά ενέργειας είναι μια αγορά που συνεχίζει να εξελίσσεται συνεχώς. Σε όλη την Ευρώπη, τα κράτη μέλη έχουν θεσμοθετήσει νόμους σχετικά με τις αγορές ενέργειας προσπαθώντας να τις απελευθερώσουν. Σε περίπτωση που οι αγορές ενέργειας είναι ήδη φιλελευθεροποιημένες, μπορούν ακόμα να γίνουν δικαιότερες στον τελικό πελάτη.

Με αυτήν την έκθεση διατριβής προσπαθήσαμε να εμφανίσουμε σημερινό κράτος στις αγορές ενέργειας σε ολόκληρη την Ευρώπη και ειδικά στην Ελλάδα. Στην οποία μερικά σημαντικά βήματα έχουν γίνει προς την κατεύθυνση της πλήρως απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας της.

Οι αγορές ενέργειας όπου ο πελάτης μπορεί να επιλέξει οποιαδήποτε στιγμή τους προμηθευτές του πρέπει να υποστηριχθούν από μία καλή υποδομή τηλεπικοινωνιών και πληροφορικής στο δίκτυο καθώς επίσης και στην πλευρά του πελάτη. Το κόστος παραγωγής της ενέργειας ποικίλλει κατά τη διάρκεια των εποχών και των ωρών της ημέρας. Είναι πολύ σημαντικό ότι αυτή η συνεχής παραλλαγή των τιμών κόστους παραγωγής να περνά και στον πελάτη. Οι συναλλαγές και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας απαιτούνται για την επικοινωνία όλων των φορέων, συμπεριλαμβανομένων των πελατών, του δικτύου ενέργειας.

Έχουμε προτείνει ένα σχέδιο και έχουμε δει ολόκληρη την εικόνα για τη λειτουργία ενός τέτοιου δικτύου ενέργειας. Στις εγκαταστάσεις του πελάτη ένας νέος μετρητής κατανάλωσης ισχύος έχει προταθεί, ο οποίος δίνει στον πελάτη την "απόλυτη ελευθερία" να επιλέξει τον προμηθευτή του από μια ομάδα προμηθευτών οποιαδήποτε στιγμή. Επιπλέον, προτείνουμε τροποποιήσεις που απαιτούνται στις εγκαταστάσεις πελατών όπου ένα έμπειρο σύστημα (Expert System) μπορεί να βοηθήσει στη λήψη απόφασης για τον πιο οικονομικό προϋπολογισμό ενέργειας. Το έμπειρο σύστημα βοηθά να επιλέξει τον προμηθευτή οποιαδήποτε στιγμή και καθορίζει επίσης ποια (μη κρίσιμα) ηλεκτρικά φορτία του πελάτη μπορούν να συνδεθούν ή να αποσυνδεθούν από το δίκτυο οποιαδήποτε στιγμή.

Αφ' ετέρου, όσον αφορά την πλευρά δικτύων έχουμε προτείνει τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και τις συναλλαγές που απαιτούνται μεταξύ όλων των συμμετεχόντων της αγοράς ενέργειας (πελάτες, προμηθευτές, IPNO, υπηρεσία τιμολόγησης).

Περαιτέρω έχουμε προτείνει την υποδομή δικτύων δεδομένων απαραίτητη για τη λειτουργία τέτοιου δικτύου ενέργειας. Έχουμε παρουσιάσει την τεχνολογία τηλεπικοινωνιών και ορίσαμε το κόστος λειτουργίας τηλεπικοινωνιών που απαιτούνται.

Οι προτεινόμενες συναλλαγές και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας μας όταν εφαρμόζονται στην αγορά ενέργειας θα είναι οι δικαιότερες για την πλευρά προμηθευτών και πελατών. Θα φέρει την πραγματική τιμή της ενέργειας στον πελάτη οποιαδήποτε στιγμή (πελάτης-κεντρική αγορά).

Οι προμηθευτές τώρα, δεν δίνουν απλά την ενέργεια στο δίκτυο και τελικά στον πελάτη. Αλλά πρέπει να είναι ανταγωνιστικοί ο ένας στον άλλο με την προσφορά των ειδικών ενεργειακών πακέτων και των υπηρεσιών στον πελάτη. Ο πελάτης είναι ο τελικός νικητής, σε ένα δίκτυο ενέργειας όπου καθένας προσπαθεί να έχει την εμπιστοσύνη του και φυσικά τα χρήματά του.

Επίσης, επειδή το προτεινόμενο σύστημα στηρίζεται στην μέθοδο *παραγγελιών της ενέργειας* προς κατανάλωση και όχι απλώς στην κατανάλωση της υπάρχουσας στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, είναι πολύ πιο εύκολο για τον παραγωγό να ξέρει ποια είναι η ακριβής ζήτηση της ανά πάσα στιγμή γεγονός που προσδίδει ένα πρόσθετο κέρδος για τον παραγωγό. Το ίδιο και ο διαχειριστής του δικτύου (IPNO) επωφελείται αφού γνωρίζοντας την ακριβή ζήτηση μπορεί να ελέγξει πολλή καλύτερα την σταθερότητα του δικτύου.

Τέλος, λόγω της συγκεκριμένης ιδιομορφίας του προτεινόμενου δικτύου ενέργειας, ο πελάτης δεν μπορεί μόνο να *επιλέξει* τους προμηθευτές του αλλά και την πηγή προέλευσης της ενέργειας που αγοράζει. Έτσι μπορεί να *επιλέξει* ανάμεσα από προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας που την παράγουν αποκλειστικά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ως άμεσο αποτέλεσμα με το *καινοτόμο* αυτό δίκτυο ενέργειας που προτείνουμε συμβάλουμε στην *εκπαίδευση των πολιτών* για την δημιουργία μιας ενεργειακής και περιβαλλοντικής συνείδησης εξοικονόμησης των φυσικών πόρων του

πλανήτη και της προστασίας του περιβάλλοντος από την ρύπανση που σχετίζεται με την παραγωγή της ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Borenstein S., Bushnell J. and Wolak F. (1999) "Diagnosing Market Power in California's Deregulated Wholesale Electricity Market" Working paper, POWER, Program on Workable Energy Regulation, University of California at Berkeley, Energy Institute
2. Borenstein S., Bushnell J. and Wolak F. (2002) "Measuring Market Inefficiencies in California's Restructured Wholesale Electricity Market," *American Economic Review*, 92, forthcoming.
3. European Commission (2002), *First Benchmarking Report on the Implementation of the Internal Electricity and Gas Market*, Commission Staff WP.
4. Schuler, R., "The Dynamics of Customers Switching Suppliers in Deregulated Power Markets," present at Bulk Power Systems Dynamics and Control IV - Restructuring, Santorini, Greece, Aug. 24-28, 1998.
5. Energy market competition the EU and G7: The relative extent of energy market competition in the EU and G7 report by OXERA on behalf of the UK department of trade and industry, September 2003
6. Commission white paper "An energy policy for the EU" 13 Dec 95 COM/95/682
7. First report on harmonization requirements linked to electricity market 17 Mar 98 COM/98/167
8. Communication on deregulation of energy legislation 20 Jul 96 COM/96/320
9. Decision 1254/96/EC on TENs Guidelines for energy 5 Jun 96 OJ/96/L161
10. EDI Transaction Scenarios, 2001 Commonwealth Edison Company
11. E. Antonidakis, D. Koulouriotis, A. Manitis, I. Kaliakatsos, G. Plokamakis, D. Tsechpenakis, "Meter design and load management in deregulated power networks", *3rd International Conference on New Horizons in Industry and Education*, Santorini Island, Greece, 18-31 August 2003
12. Chao, H.P., and S. Peck (1996) "A Market Mechanism for Electric Power Transmission," *Journal of Regulatory Economics*,
13. (1996) "The Electricity Contract Market," mimeo, University of Cambridge, Department of Applied Economics.
14. Public Power Company.
15. www.6-6.com/66/paper/edi.html

16. www.anu.edu.au/people/Roger.Clarke/EC/EDIIntro.html
17. www.itl.nist.gov/fipspubs/fip161-2.htm
18. www.webopedia.com/TERM/E/EDI.html
19. www.dcbnet.com/notes/framerly.html
20. www.webopedia.com/TERM/F/Frame_Relay.html
21. www.frame-relay-resource.com/tutorials.asp
22. Power market analysis and potential revenues of new transmission lines in a deregulated environment, Vladimir S. Koritarov, Thomas D. Veselka, Bruno Trouille, 2002
23. Communication Diversity Architecture for Smart Meter Networks, Rop Kopmeiners, Presentation at the ETSI M@M Workshop on 19 October 2010, Sophia Antipolis, France
24. Analysis of Energy Savings using Smart Metering System and IHD (In-Home Display) Tae-Seop Choi, Kyung-Rok Ko, Seong-ChanPark, Young-Sik Jang, Yong-Tae Yoon, *Member, IEEE*, Sang-Kug Im, March 2009
25. NETWORKS OPTIMIZATION WITH ADVANCED METER INFRASTRUCTURE AND SMART METERS Enrico VALIGI Eugenio DI MARINO ENEL – Italy 20th International Conference on Electricity Distribution Prague, 8-11 June 2009
26. Smart Metering for the Future Energy Systems in the Netherlands L. O.AlAbdulkarim, Z. Lukszo, *Member, IEEE*, January 7 2009
27. End-to-end Communication Architecture for Smart Grids Thilo Sauter, *Senior Member, IEEE*, Maksim Lobashov, *IEEE 2010*
28. British Gas “Smart Metering Systems” Final Report v4.0 2010 03 39, http://www.centrica.co.uk/files/pdf/29032010_smart_metering_part_1.pdf, March 2010
29. Smart Energy Metering, White Paper, Horstmann Controls Ltd, <http://www.horstmann.co.uk/downloads/HorstmannSmartMeteringWhitePaper.pdf>, October 2006
30. EU SmartGrids Framework “Electricity Networks on the future 2020 and beyond” Dr Maher Chebbo, Chairman EU SmartGrids “Demand Metering, *IEEE 2007*
31. Smart Metering Tariff Schemes Combined with Distributed Energy Resources . Deconinck, B. Decroix *K.U.Leuven, ESAT/ELECTA (Belgium), May 2009*

32. Software architecture for Smart Metering systems with Virtual Power Plant Srdan Vukmirovic, Aleksandar Erdeljan, Filip Kulic Slobodan Lukovic, *IEEE* 2010
33. Trends in Smart Metering Faouzi Derbl, 6th International Multi-Conference, Signals and Devices, 2009
34. IMPACT OF SMART METERING ON ENERGY EFFICIENCY LONG ZHOU, FANG-YUAN XU, YING-NAN MA Proceedings of the Ninth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Qingdao, 11-14 July 2010
35. Design and Emulation of high-speed narrowband PLC system for Smart meter reading Liang Dong Xi'an Jiaotong University Xi'an, China, *IEEE* 2009
36. Smart metering Factsheet by Geoff Milne, posted at 5th Aug 2008
<http://yourdevelopment.org/factsheet/view/id/56>
37. Assessment of Smart Metering Models: The Case of Hungary, *ATKEARNEY*, Improved Final Report, 18 June 2010
38. Smart Metering Implementation Programme: Prospectus, Department of Energy & Climate Change, ,U.K. 27 July 2010
www.decc.gov.uk/assets/decc/Consultations/smart-meter-imp-prospectus/220-smart-metering-prospectus-condoc.pdf
39. A Smart Guide to Smart Metering, London, 22nd October 2008
<http://onzo.com/2008/10/a-smart-guide-to-smart-metering/>
40. “Smart Electricity Metering System” for greenhouse-conscious homes, Ryan Alexander, Australia 12/4/2008
<http://titania.ctie.monash.edu.au/ugrad-projects/ryan-smart-meter.pdf>
41. Smart Metering Communications Issues and Technologies, IET – Smart Metering, Alistair Morfey, 19 February 2009.
www.slideshare.net/livemetering/smart-metering-communications-issues-and-technologies

APPENDIX I: EYPETHPIO OPΩN

A

Accounting responsible, - 117 -, - 120 -
ACK, - 9 -, - 56 -, - 57 -, - 60 -, - 81 -, - 85 -, - 87 -, - 88
Acknowledge, - 9 -
Active Power Scaling, - 70 -
ALOHA, - 79 -, - 90 -, - 91 -, - 92 -, - 93 -
American National Standards Institute, - 9 -
ANSI, - 9 -, - 100 -, - 101 -
antitrust, - 29 -

B

Backward-explicit congestion notification, - 105 -
Backward-Explicit Congestion Notification, - 9 -
BECN, - 9 -, - 105 -, - 106 -, - 112 -
Bluetooth, - 14 -, - 119 -

C

CATV, - 71 -
CBR, - 9 -, - 76 -, - 77 -
CCITT, - 9 -, - 60 -, - 100 -
CCS, - 8 -, - 9 -, - 55 -, - 56 -
Central Computer System, - 9 -, - 55 -
CIR, - 137 -, - 138 -
Constant Bit Rate, - 9 -, - 76 -
CRC, - 9 -, - 56 -, - 57 -, - 60 -, - 68 -, - 107 -
Cyclic Redundancy Check, - 9 -

D

Data computer equipment, - 9 -, - 13 -
Data Concentrator, - 9 -, - 55 -
Data Line, - 124 -
Data Link Connection Identifier, - 9 -
data link layer, - 68 -, - 114 -
Data Terminal Equipment, - 9 -
data transfer, - 103 -, - 104 -
data-link connection identifier, - 110 -
Day Type, - 9 -, - 45 -
DCE, - 9 -, - 12 -, - 13 -, - 46 -, - 101 -, - 102 -, - 103 -, -
106 -, - 107 -, - 110 -
DEC, - 9 -, - 100 -
Decision Support System, - 9 -, - 12 -, - 119 -
dial-up modem, - 119 -
Digital Equipment Corporation, - 9 -, - 100 -, - 107 -, -
115 -
Discard Eligibility, - 9 -, - 105 -, - 106 -
DLCI, - 9 -, - 102 -, - 104 -, - 105 -, - 107 -, - 110 -, -
111 -, - 112 -, - 113 -, - 115 -
downlink, - 74 -, - 78 -, - 87 -
DSS, - 9 -, - 12 -, - 14 -, - 42 -, - 116 -, - 117 -, - 119 -, -
120 -, - 121 -, - 122 -
DTE, - 9 -, - 101 -, - 102 -, - 103 -, - 104 -, - 106 -, - 107
-, - 108 -, - 110 -, - 111 -, - 112 -, - 115 -, - 139 -

E

E.C, - 9 -
E.U, - 9 -, - 24 -, - 28 -
EDI, - 9 -, - 94 -, - 95 -, - 96 -, - 97 -, - 98 -, - 116 -, -
143 -, - 144 -
Electronic Data Interchange, - 9 -, - 94 -, - 116 -
Energy Provider, - 9 -
EP, - 8 -, - 9 -, - 55 -, - 56 -, - 57 -, - 58 -, - 59 -, - 60 -, -
64 -, - 65 -, - 69 -
European Council, - 9 -
European Union, - 9 -
Extended Address, - 9 -

F

FCS, - 9 -, - 110 -, - 114 -
FDM, - 9 -, - 75 -
FDMA, - 9 -, - 76 -
FECN, - 9 -, - 105 -, - 106 -, - 112 -
Forward Explicit Congestion Notification, - 9 -
Forward-explicit congestion notification, - 105 -
Frame Check Sequence, - 9 -, - 110 -, - 112 -, - 114 -
Frame Relay, - 7 -, - 99 -, - 100 -, - 101 -, - 102 -, - 103
-, - 104 -, - 105 -, - 106 -, - 107 -, - 108 -, - 109 -, -
110 -, - 111 -, - 112 -, - 113 -, - 114 -, - 115 -, - 138 -
Frequency Division Multiple Access, - 9 -, - 76 -
Frequency Division Multiplexing, - 9 -, - 10 -

G

Grid Operator, - 51 -, - 54 -, - 116 -

I

Independent Power Network Operator, - 9 -, - 40 -, - 51
-
Independent System Operator, - 9 -, - 35 -, - 39 -, - 118
-
Integrated Services Digital Network, - 9 -, - 99 -
International Telecommunication Union-
Telecommunications Section, - 9 -
Internet Protocol, - 9 -
Intranet, - 94 -
IP, - 9 -, - 80 -, - 139 -
IPNO, - 8 -, - 9 -, - 40 -, - 51 -, - 53 -, - 54 -, - 55 -, - 56 -,
- 58 -, - 60 -, - 61 -, - 62 -, - 63 -, - 64 -, - 65 -, - 66 -,
- 67 -, - 68 -, - 69 -, - 70 -, - 94 -, - 117 -, - 118 -, -
120 -, - 121 -, - 122 -, - 123 -, - 124 -, - 126 -, - 127 -,
- 130 -, - 135 -, - 137 -, - 138 -, - 141 -
ISDN, - 9 -, - 99 -, - 103 -, - 119 -, - 139 -
ISO, - 9 -, - 35 -, - 39 -
ITU-T, - 9 -, - 101 -

J

Just In time, - 95 -

L

L/S, - 7 -, - 9 -, - 123 -, - 125 -
LMI, - 7 -, - 9 -, - 100 -, - 107 -, - 108 -, - 110 -, - 113 -, - 115 -
Load Switching, - 13 -, - 48 -
Local Management Interface, - 9 -, - 100 -, - 107 -, - 115 -
Local Station, - 9 -, - 125 -

M

MAC, - 9 -, - 72 -, - 75 -, - 76 -, - 78 -, - 79 -, - 92 -, - 93 -
-
master data, - 50 -, - 52 -
Media Access Control, - 9 -, - 76 -
Metering unit, - 117 -, - 120 -
multiplex, - 93 -

N

NACK, - 10 -, - 56 -, - 57 -, - 60 -, - 68 -
Not Acknowledged, - 10 -

O

OFDM, - 6 -, - 10 -, - 74 -, - 75 -, - 76 -
OSI, - 99 -, - 100 -, - 102 -, - 105 -, - 106 -, - 112 -, - 114 -
-
overhead, - 72 -, - 105 -, - 107 -

P

Packet-Switched Network, - 10 -
PBX, - 10 -, - 108 -
Permanent Virtual Circuit, - 10 -
piggybacking, - 72 -, - 79 -, - 81 -, - 83 -, - 84 -, - 85 -, - 86 -, - 90 -, - 91 -, - 92 -
PLC, - 6 -, - 7 -, - 10 -, - 11 -, - 45 -, - 46 -, - 47 -, - 70 -, - 71 -, - 72 -, - 73 -, - 74 -, - 75 -, - 76 -, - 77 -, - 78 -, - 79 -, - 80 -, - 81 -, - 82 -, - 83 -, - 92 -, - 93 -, - 116 -, - 118 -, - 119 -, - 122 -, - 124 -, - 125 -, - 126 -, - 127 -, - 129 -
pooling based reservation MAC, - 72 -
Power Line Carrier, - 10 -, - 45 -, - 70 -, - 116 -, - 118 -
PPC, - 10 -, - 33 -, - 40 -, - 69 -, - 129 -
Private Branch Exchange, - 10 -
PSN, - 10 -, - 102 -, - 103 -
Public Power Company, - 10 -, - 33 -, - 143 -
PVC, - 10 -, - 104 -, - 114 -

Q

QoS, - 10 -, - 71 -, - 72 -, - 75 -, - 76 -, - 77 -, - 78 -
Quality of Service, - 10 -, - 71 -

R

RAE, - 10 -, - 38 -
Regulatory Energy Authority, - 10 -, - 38 -
Remote Terminal Unit, - 10 -, - 55 -
reservation, - 6 -, - 72 -, - 78 -, - 79 -, - 80 -, - 83 -, - 86 -, - 88 -, - 89 -, - 92 -, - 93 -

RS-232, - 102 -, - 119 -
RTU, - 10 -, - 55 -

S

S/N, - 10 -, - 58 -
S/S, - 7 -, - 10 -, - 123 -, - 124 -, - 127 -, - 128 -, - 130 -, - 138 -
SC, - 10 -, - 75 -
SCADA, - 10 -, - 63 -, - 129 -, - 132 -, - 133 -, - 134 -, - 136 -, - 137 -
Scheduled power, - 66 -
SEC, - 10 -, - 55 -, - 56 -, - 57 -, - 59 -, - 60 -, - 64 -
Serial Number, - 10 -, - 58 -
Set points, - 57 -, - 59 -, - 66 -, - 69 -
signaling delay, - 6 -, - 84 -, - 85 -, - 86 -, - 91 -, - 92 -
Sub-Carrier, - 10 -
Sub-Station, - 10 -, - 123 -, - 124 -
Supervisory Control And Data Acquisition, - 10 -
SVC, - 10 -, - 103 -, - 104 -
Switch, - 63 -, - 102 -
Switched Virtual Circuit, - 10 -
System for Energy Control, - 10 -, - 55 -

T

TDMA, - 10 -, - 72 -, - 77 -
Time Division Multiplexing Access, - 10 -
Time of Day, - 10 -, - 45 -
time/case slot, - 42 -, - 44 -
ToD, - 10 -, - 45 -, - 46 -

U

Unbundling, - 29 -, - 30 -
Uninterruptible Power Supply, - 137 -
Uplink, - 74 -, - 87 -
UPS, - 137 -
USB, - 14 -, - 46 -, - 119 -
Utilities Master Data Message, - 10 -
UTILMD, - 10 -, - 50 -

V

Variable Bit Rate, - 10 -, - 76 -
VBR, - 10 -, - 76 -

W

WAN, - 10 -, - 73 -, - 99 -, - 100 -, - 101 -, - 102 -, - 104 -, - 107 -, - 109 -, - 115 -, - 139 -
Wide Area Network, - 10 -
Wi-Fi, - 14 -

X

X.25, - 99 -
xDSL, - 71 -
XOR, - 56 -, - 57 -, - 60 -, - 68 -

Α

Άδειες, - 8 -, - 35 -
Αίτημα ωριαίων στατιστικών, - 59 -
Αιτήσεις για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, - 8 -, - 34 -
αλγόριθμος, - 13 -, - 48 -, - 49 -
αναβάθμιση, - 135 -, - 136 -
Αναλογικά Σήματα, - 8 -, - 64 -
ανανεώσιμες πηγές, - 11 -, - 14 -, - 141 -
απαριθμητές, - 8 -, - 44 -, - 45 -, - 46 -
απελευθέρωσης της αγοράς, - 17 -
αυτάκωσες, - 12 -, - 48 -, - 86 -
αυτόματα, - 14 -, - 45 -, - 116 -

Γ

γραμμής τηλεφωνίας, - 12 -

Δ

ΔΕΗ, - 19 -, - 20 -, - 33 -, - 34 -, - 35 -, - 36 -, - 38 -, - 40 -, - 55 -, - 68 -, - 69 -, - 118 -, - 121 -, - 127 -, - 129 -, - 130 -, - 132 -
ΔΕΣΜΗΕ, - 17 -, - 24 -, - 35 -, - 39 -, - 40 -
Δημόσια Δίκτυα, - 109 -
Διάγραμμα ακολουθίας, - 6 -, - 52 -, - 53 -
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ, - 117 -
διαδραστική, - 42 -
ΔΙΑΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ, - 118 -
διαεπικοινωνίες, - 118 -
διανομής, - 16 -, - 26 -, - 27 -, - 32 -, - 38 -, - 40 -, - 42 -, - 43 -, - 45 -, - 46 -, - 108 -, - 117 -
διαπρομήθευση, - 48 -
Διαχειριστής, - 6 -, - 39 -, - 51 -, - 55 -
διαχειριστής δικτύου, - 51 -, - 122 -
διαχωρισμού, - 17 -, - 30 -
διεπαφής, - 12 -
ΔΙΚΤΥΟ, - 120 -, - 123 -, - 126 -
ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ, - 126 -
Δίκτυο δεδομένων του δικτύου ενέργειας Κρήτης, - 7 -, - 132 -
δικτύου ηλεκτροδότησης, - 125 -, - 127 -
Δομή της διαδικασίας two-step, - 6 -, - 87 -
Δομή της Ελληνικής αγοράς ενέργειας, - 6 -, - 33 -

Ε

εγκατάσταση του πελάτη, - 6 -, - 12 -, - 13 -
Εικονικά Κυκλώματα, - 102 -, - 103 -, - 104 -
εκπαίδευση των πολιτών, - 14 -, - 141 -
εκσφαλμάτωσης, - 57 -, - 60 -, - 68 -, - 77 -, - 107 -
Έλεγχος Λαθών, - 107 -
έμπειρο σύστημα, - 12 -, - 14 -, - 116 -
εξοικονόμησης των φυσικών πόρων, - 141 -
έξυπνος μετρητής, - 128 -
επικοινωνίες στο δίκτυο ενέργειας, - 7 -, - 120 -
Επιλεκτική Απόρριψη, - 106 -
Ευρωπαϊκό καθεστώς στον τομέα της ενέργειας, - 8 -, - 29 -

Η

ηλεκτρικής ενέργειας, - 11 -, - 12 -, - 13 -, - 14 -, - 17 -, - 18 -, - 23 -, - 24 -, - 25 -, - 27 -, - 31 -, - 32 -, - 33 -, - 34 -, - 35 -, - 36 -, - 37 -, - 38 -, - 39 -, - 40 -, - 41 -, - 42 -, - 46 -, - 47 -, - 49 -, - 54 -, - 55 -, - 77 -, - 78 -, - 116 -, - 117 -, - 118 -, - 121 -, - 122 -, - 135 -, - 137 -, - 141 -
ηλεκτροφόρου καλωδίου, - 43 -, - 45 -

Θ

θύρα, - 44 -, - 116 -, - 119 -

Ι

Ιδιωτικά Επιχειρησιακά Δίτυα, - 110 -
ιντερνέτ, - 12 -, - 14 -, - 42 -, - 46 -, - 79 -

Κ

Καθυστέρηση σηματοδότησης, - 84 -
καταναλωτή, - 11 -, - 14 -, - 15 -, - 23 -, - 44 -, - 54 -, - 116 -, - 119 -
Κόστος, - 8 -, - 138 -, - 139 -
ΚΟΣΤΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ, - 128 -
ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ, - 129 -

Μ

μέθοδος Active Polling, - 81 -
μέθοδος ψηφοφορίας, - 6 -, - 80 -
Μεταβατικά καθεστώτα, - 27 -
Μεταγωγή φορτίων, - 6 -, - 49 -
Μετάδοση του Ιστορικού, - 66 -
ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ, - 116 -
Μηχανισμοί Ελέγχου Συμφορέσεων, - 105 -
Μοντέλο απόδοσης, - 82 -

Ν

νομοθεσίας, - 50 -

Π

Παραγωγή ενέργειας, - 6 -
παραγωγή της ενέργειας, - 142 -
παραγωγούς, - 14 -, - 27 -, - 32 -, - 34 -, - 39 -, - 41 -, - 51 -, - 119 -
παραμέτρους, - 11 -, - 12 -, - 42 -, - 46 -, - 48 -, - 69 -
πελάτη, - 6 -, - 12 -, - 13 -, - 14 -, - 15 -, - 23 -, - 42 -, - 43 -, - 44 -, - 46 -, - 47 -, - 48 -, - 49 -, - 50 -, - 101 -, - 110 -, - 117 -, - 118 -, - 119 -, - 121 -, - 122 -, - 123 -, - 124 -, - 126 -, - 128 -, - 130 -, - 140 -, - 141 -
πηγής προέλευσης της ηλεκτρικής ενέργειας, - 14 -
Πίνακας εντολών, - 8 -, - 57 -, - 61 -
πληροφορίες, - 12 -, - 41 -, - 44 -, - 47 -, - 50 -, - 52 -, - 55 -, - 80 -, - 97 -, - 98 -, - 105 -, - 106 -, - 111 -, - 116 -, - 117 -, - 118 -, - 119 -, - 121 -, - 122 -, - 124 -, - 127 -, - 128 -
Πολλαπλό σχέδιο πρόσβασης, - 76 -
προγραμματισμένη παραγωγή ισχύος, - 66 -

προμηθευτές, - 6 -, - 11 -, - 12 -, - 13 -, - 14 -, - 15 -, -
27 -, - 39 -, - 41 -, - 42 -, - 43 -, - 44 -, - 46 -, - 47 -, -
48 -, - 50 -, - 70 -, - 95 -, - 100 -, - 117 -, - 119 -, -
121 -, - 125 -, - 128 -, - 135 -, - 137 -, - 140 -, - 141 -
Προμηθευτής, - 6 -, - 51 -, - 55 -, - 121 -, - 122 -
Πρόσβαση στην επιχείρηση τηλεπικοινωνιών, - 8 -, -
139 -
προστασίας του περιβάλλοντος, - 142 -
Πρωτόκολλα Reservation, - 79 -
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ, - 55 -
πρωτόκολλο, - 72 -, - 75 -, - 76 -, - 79 -, - 81 -, - 85 -, -
86 -, - 89 -, - 90 -, - 91 -, - 92 -, - 93 -, - 99 -, - 100 -,
- 101 -, - 102 -, - 106 -, - 107 -, - 114 -
Πρωτόκολλο επικοινωνίας, - 56 -, - 60 -

Ρ

ΡΑΕ, - 32 -, - 34 -, - 35 -, - 38 -, - 39 -
ρύπανση, - 117 -, - 142 -

Σ

Σήμα αποδοχής Set point, - 8 -, - 65 -
σήματα PLC, - 124 -, - 127 -
σηματοδότησης, - 45 -, - 47 -, - 84 -, - 85 -, - 87 -, - 88 -,
- 89 -, - 90 -, - 91 -, - 92 -, - 103 -, - 105 -, - 122 -, -
129 -
Στατιστικά, - 8 -, - 67 -
συναλλαγές, - 14 -, - 27 -, - 40 -, - 94 -, - 95 -, - 122 -, -
140 -, - 141 -
σύνδεση/αποσύνδεση των φορτίων, - 13 -
Σύστημα Μετάδοσης, - 74 -
σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, - 6 -, - 12 -, - 14 -, -
47 -

Τ

τιμοκατάλογο, - 11 -, - 42 -, - 44 -, - 121 -, - 138 -
τιμολόγησης, - 6 -, - 11 -, - 15 -, - 19 -, - 20 -, - 26 -, - 44
-, - 51 -, - 52 -, - 53 -, - 54 -, - 116 -, - 118 -, - 119 -, -
121 -, - 122 -, - 124 -, - 126 -, - 127 -, - 128 -, - 141 -
Τοπολογία δικτύου, - 73 -

Υ

Υλοποίηση δικτύου, - 108 -
υπηρεσία τιμολόγησης, - 118 -, - 124 -, - 128 -
υπολογιστή, - 12 -, - 14 -, - 46 -, - 47 -, - 48 -, - 69 -, -
97 -, - 98 -, - 122 -, - 124 -, - 126 -

Φ

φιλελευθεροποίησης, - 16 -, - 18 -, - 19 -, - 28 -, - 30 -, -
31 -, - 34 -
Φορτίο-Συχνότητα, - 6 -, - 21 -, - 22 -

Χ

Χρησιμοποίηση δικτύου, - 83 -, - 89 -
χρονοδιαγραμμάτων, - 50 -

Ψ

Ψηφιακά Σήματα, - 8 -, - 62 -, - 63 -
ψηφιακού μετρητή ηλεκτρικής ισχύος, - 14 -
Ψηφοφορία, - 81 -

APPENDIX II: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ «ΕΞΥΠΝΟΥ» ΜΕΤΡΗΤΗ

APPENDIX II

**ΣΧΕΔΙΑΣΗ
«ΕΞΥΠΝΟΥ» ΜΕΤΡΗΤΗ
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**



ΓΕΝΙΚΑ

Ένας «έξυπνος» **μετρητής** (smart meter) ορίζεται συνήθως ως ένα ψηφιακό ηλεκτρονικό όργανο μέτρησης και εγγραφής της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας ανά χρονικά διαστήματα της μίας ώρας ή λιγότερο και που στην συνέχεια μεταδίδει τις πληροφορίες αυτές τουλάχιστον σε καθημερινή βάση μέσω ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου πίσω σε μία υπηρεσία παρακολούθησης και τιμολόγησης της κατανάλωσης (τηλεμετρία). [1]

Τα **smart meters** διαθέτουν δυνατότητες αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ αυτών και κεντρικών συστημάτων ελέγχου του δικτύου ηλεκτροδότησης καθώς και μεταξύ αυτών και των πελατών της ηλεκτρικής ενέργειας στους οποίους αυτά είναι εγκαταστημένα. Φυσικά στην περίπτωση αυτή τα όργανα είναι προστατευμένα ώστε να εξασφαλίζεται το αδιάβλητο των μετρήσεων από τυχόν «κακόβουλους» πελάτες[14].



Τα **smart meters** είναι απαραίτητο στοιχείο της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (**Deregulated Energy Market**) και των «έξυπνων» δικτύων ηλεκτροδότησης (**smart grids**),[2][3][4][11] όπου έχουμε **ταίριασμα** της κατανάλωσης με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και όπου αντίθετα με τους παραδοσιακούς μετρητές, παρέχουν πληροφορίες όχι μόνο για το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώθηκε αλλά και για το πότε αυτή η ενέργεια καταναλώθηκε επιτρέποντας και κάνοντας δυνατή με τον τρόπο αυτό την **μεταβλητή τιμολόγηση (multi-tariff)**[5][6] των πελατών σύμφωνα με την ώρα της ημέρας αλλά και εποχή του έτους. Αυτού τους είδους η τιμολόγηση της καταναλώσας ενέργειας στο πελάτη είναι ποιο δίκαιη και συμφέρουσα για τον πελάτη αφού διαφοροποιείται σύμφωνα με το κόστος παραγωγής της ενέργειας στο χρόνο, σε αντίθεση με την **σταθερή τιμολόγηση (flat-rate)** που είναι άδικη. Παράλληλα πιστεύεται ότι οι έξυπνοι μετρητές συμβάλουν στην δημιουργία καταναλωτικής συνείδησης στον πελάτη ενέργειας και θα φρενάρουν την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση σε ενέργεια.

Οι έξυπνοι μετρητές διαφοροποιούνται και από τους **μετρητές αυτόματης ανάγνωσης AMR** (automated meter reading) που υπάρχουν εδώ και δεκαετία σε βιομηχανικούς πελάτες ενέργειας, λόγω των επιπρόσθετων δυνατοτήτων τους όπως μέτρηση σε πραγματικό ή σχεδόν πραγματικό χρόνο (μέτρηση ανά ώρα ή λιγότερο), προειδοποίηση επερχόμενου blackout (power outage notification)[13], παρακολούθηση των ποιοτικών κριτηρίων της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος, εξ' αποστάσεως διακοπή της ηλεκτροδότησης στις εγκαταστάσεις του πελάτη στις περιπτώσεις που ο πελάτης δεν πληρώνει, χαρακτηριστικά όμοια κατά πολλή με τους μετρητές **προχωρημένης υποδομής μετρήσεων AMI** (advanced metering infrastructure)[4]. Επίσης είναι κατάλληλοι για εγκατάσταση σε οικιακούς πελάτες ηλεκτρικής ενέργειας και παράλληλα για μέτρηση κατανάλωσης φυσικού αερίου και νερού. [1][4][6][7][11][13]

Παράδειγμα προς μίμηση αποτελεί η **Ιταλία** και ο κύριος παροχέας ηλεκτρικής ενέργειας της Ιταλίας **Enel SpA** με άνω από 27 εκατομμύρια πελάτες. Μεταξύ του 2000 και 2005 η Enel εγκατέστησε smart meters σε όλους τους πελάτες της.[7] Οι μετρητές είναι εξ' ολοκλήρου ψηφιακοί, έξυπνοι, με αμφίδρομη επικοινωνία, τεχνολογία **AMI** τόσο στην

μέτρηση όσο και στην διαχείριση, με ενσωματωμένο λογισμικό διακοπής σύνδεσης και ολοκληρωμένη σχεδίαση και υλοποίηση solid-state. Οι μετρητές αυτοί επικοινωνούν με την υπηρεσία τιμολόγησης και ελέγχου μετρητών μέσω της γραμμής ηλεκτροδότησης χαμηλής τάσης και κάνοντας χρήση της τεχνολογίας μετάδοσης **PLC** (Power Line Communication) έως του σημείου που βρίσκονται οι σταθμοί των **συσσωρευτών δεδομένων (data concentrators)** από εκεί και πέρα η επικοινωνία με τα υπολογιστικά συστήματα servers της υπηρεσίας τιμολόγησης εκτελείτε με πρωτόκολλο **ιντερνέτ TCP/IP**. Το σύστημα παρέχει ένα ευρύ φάσμα από εξελιγμένες δυνατότητες που περιλαμβάνουν την απομακρυσμένη σύνδεση και διακοπή της ηλεκτροδότησης του πελάτη[7], απομακρυσμένη τιμολόγηση της κατανάλωσης του πελάτη, απομακρυσμένη ανίχνευση βλάβης ή δυσλειτουργίας ή παραβίασης του μετρητή[14], τον απομακρυσμένο έλεγχο και περιορισμό της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος[7] που μπορεί να ζητήσει ο πελάτης ανά πάσα στιγμή και την απομακρυσμένη ρύθμιση του μετρητή από σταθερή τιμολόγηση (flat-rate) σε μεταβλητή (multi-tariff) και το αντίστροφο. [5][6][7][8][9][14]

Άλλες χώρες που είναι πρωτοπόρες στην εφαρμογή των **smart meters** είναι η Ιαπωνία, η Ηνωμένες Πολιτείες, και η Σουηδία.[7] Δυστυχώς η Ελλάδα έχει μείνει πίσω στην φιλελευθεροποίησης της αγοράς ενέργειας και την υπόθεση των **smart grids** και **smart meters** που αυτό συνεπάγεται. Ένας χώρος που συνεχώς εξελίσσεται και που είναι πλούσιος και ανοιχτός για επιστημονική έρευνα.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Προτού παρουσιάσουμε το παράδειγμα μας, **σχεδίασης smart meter**, πρέπει να αναλύσουμε τις διαφορετικές και επικρατέστερες τεχνολογικές προτάσεις σχεδίασης και υλοποίησης που υπάρχουν στον χώρο το **smart meters** σήμερα.

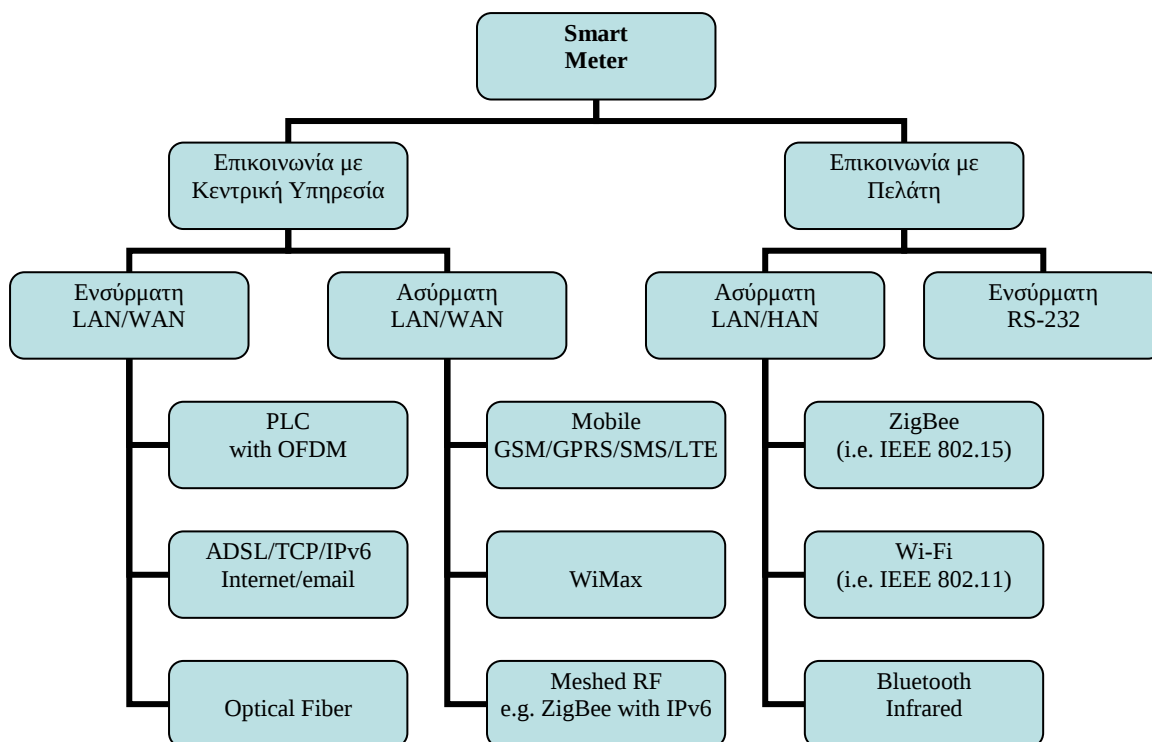
Πέρα από την **υπολογιστική επεξεργασία** και τον **αυτοματισμό** που διαθέτει ένα **smart meter** ίσως το πιο διακριτό κομμάτι της λειτουργίας του έχει να κάνει με την **επικοινωνία** και είναι εκεί ακριβώς που παρατηρούμε τις περισσότερες διαφοροποιήσεις στην σχεδίαση τους. [7]

Το πρόβλημα της επικοινωνίας είναι κρίσιμο και επιτακτικό αφού κάθε smart meter πρέπει να είναι σε θέση να επικοινωνεί πάντα, με αξιόπιστο και ασφαλή τρόπο τις πληροφορίες που έχει συλλέξει, με μία κεντρική τοποθεσία ελέγχου στο δίκτυο ηλεκτροδότησης (π.χ. υπηρεσία τιμολόγησης). Αν λάβει κάποιος υπόψη του τις αντίξοες γεωγραφικές θέσεις και περιβάλλοντα που μπορούν να βρεθούν αυτοί οι **έξυπνοι μετρητές** τότε καταλαβαίνει την σοβαρότητα του προβλήματος που καλείται να βρει λύση ο σχεδιαστής του **smart meter**. [7][9]

Δύο είναι οι βασικές κατηγορίες επικοινωνιών που καλείτε να εκτελέσει ένα smart meter:

- Αμφίδρομη επικοινωνία με απομακρυσμένη κεντρική υπηρεσία(π.χ.τιμολόγησης)
- Αμφίδρομη επικοινωνία με πελάτη ενέργειας στον οποίο είναι εγκαταστημένος

Στην πρώτη περίπτωση, με την κεντρική υπηρεσία, το είδος της επικοινωνίας μπορεί να είναι **ενσύρματο ή ασύρματο** ή μπορεί να παρέχονται και τα δύο αυτά είδη επικοινωνίας από τον μετρητή ως επιλογή. Ενώ στην επικοινωνία με τον πελάτη αυτή έχει επικρατήσει σήμερα να γίνεται αποκλειστικά **ασύρματα** με κάποιες εξαιρέσεις ενσύρματα με RS-232.



Σχήμα I: Πιθανές επιλογές στον σχεδιασμό της επικοινωνίας του smart meter

Πρέπει να τονίσουμε εδώ, σε ότι αφορά το σκέλος της επικοινωνίας του «έξυπνου» **μετρητή** με την **κεντρική υπηρεσία** (βλέπε σχήμα I), η τεχνολογία που θα επιλέξουμε τελικά πρέπει φυσικά να είναι ίδια με αυτή που υποστηρίζεται από το εκάστοτε «έξυπνο» δίκτυο, **smart grid**. Έτσι μπορούμε π.χ. να επιλέξουμε για το **smart meter** μας την μετάδοση **PLC** πάνω στο δίκτυο χαμηλής τάσης και με διαμόρφωση **OFDM**[10] για καλύτερα χαρακτηριστικά θορύβου και εύρους ζώνης (SNR και BER). Η επιλογή αυτή είναι σήμερα και η πιο δημοφιλής λόγω ότι σε αντίθεση με τις άλλες ενσύρματες, όπως γραμμής τηλεφωνίας **ADSL** και **οπτικής ίνας**, χρησιμοποιεί την υπάρχουσα υποδομή του δικτύου ηλεκτροδότησης με πολλή μικρές προσθήκες/αλλαγές. Αποτελεί όμως, λόγω της σχετικής ευπάθειας της στο θόρυβο μια περιορισμένη γεωγραφικά τεχνολογία δικτύωσης, **LAN**, και για αυτό χρησιμοποιείται μόνο για την επικοινωνία μέχρι τον κοντινότερο σταθμό συσσωρευτή δεδομένων (**PLC Data Concentrator**). Από κει η πληροφορία μεταδίδεται με την βοήθεια μιας τεχνολογίας **WAN** όπως η **ADSL** τηλεφωνίας, ή **dial up** ή με **οπτική ίνα (Optical Fiber)** καθώς και με **ασύρματο WAN** όπως οι τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας **GSM/GPRS** (βλέπε σχήμα II) και **LTE** ή ασύρματου ιντερνέτ **WiMax**. Προσοχή, όλες οι παραπάνω τεχνολογίες πλην της κινητής τηλεφωνίας, πρέπει να έχουν την διευθηνσιοδότηση προτύπου **IPv6** για να μην έχουμε διένεξη με τις υπόλοιπες διευθύνσεις του παγκόσμιου ιστού ιντερνέτ. Η πληροφορία που φτάνει τελικά την κεντρική υπηρεσία μπορεί να είναι συν των άλλων, σε μορφή **email** ή **μηνύματος SMS** κινητής τηλεφωνίας. [6][9][10][11][12]

Εναλλακτικά της **PLC** μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια τεχνολογία **LAN** που ολοένα κερδίζει έδαφος, αυτή της **αναμετάδοσης ραδιοσυχνοτήτων** από γειτονικούς μετρητές, **Meshed RF**[10], η πληροφορία φτάνει στον τελικό προορισμό της δίχως την ανάγκη ύπαρξης κεντρικού σταθμού **data concentrator**. Παράδειγμα υλοποίησης αυτής της τεχνολογίας είναι με την χρήση της χαμηλής ισχύος τεχνολογίας **ZigBee** με

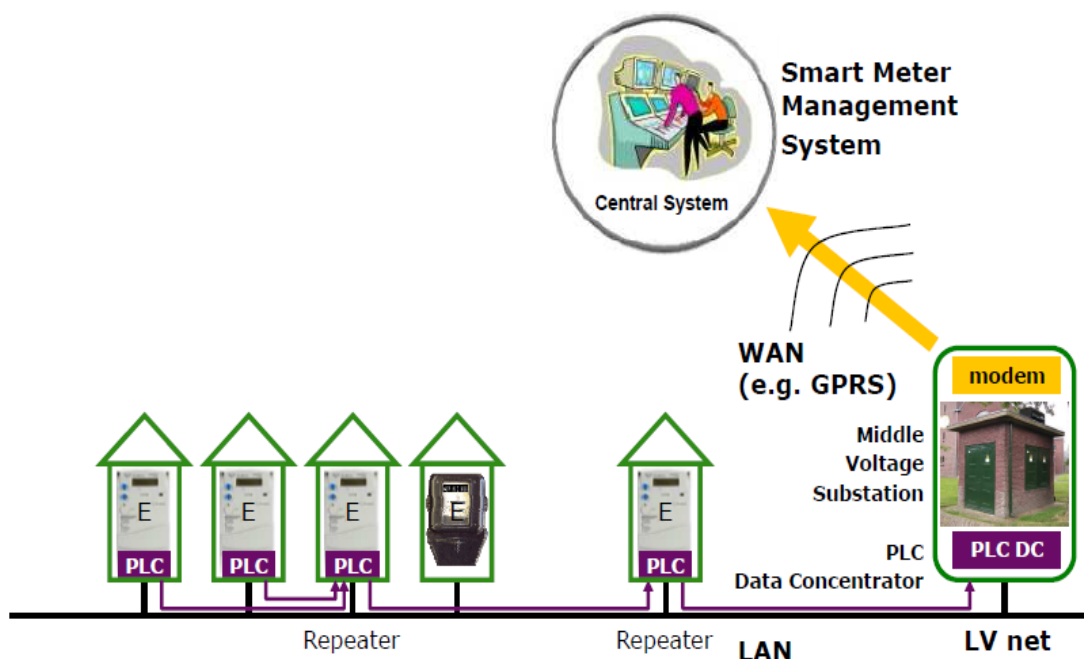
διευθηνσιοδότηση **IPv6** στους **900MHz** με καλή διεισδυτικότητα στους εσωτερικούς χώρους. Παρόλα αυτά υπόκειται σε παρεμβολές και μεγάλο σχετικά **overhead** (καθυστέρηση σηματοδότησης). [6][9][10][12]

Όσο αφορά το σκέλος της αμφίδρομης επικοινωνίας του **smart meter** με τον πελάτη διάφορες τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Στην **ενσύρματη** επικοινωνία στις λίγες αυτές περιπτώσεις που χρησιμοποιείται ακόμα, παραμένει η **RS-232** λόγω της απλότητας και μικρού κόστους υλοποίησης της και της υπάρχουσας μεγάλης βιβλιοθήκης έτοιμου λογισμικού. Σε αντίθεση η **USB** και το **καλωδιακό Ethernet** είναι ποιο δαπανηρές λύσεις και κρίνονται υπερβολικές για τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης επικοινωνίας. Στην περίπτωση που ο υπολογιστής του πελάτη δεν έχει θύρα RS-232 τότε ένα καλώδιο RS-232 σε USB χρησιμοποιείται. Στις δυνατές επιλογές **peer-to-peer** επικοινωνίας μεταξύ πελάτη και smart meter συγκαταλέγονται και οι ασύρματες επικοινωνίες με **Bluetooth** και **Infrared** (υπέρυθρες) που χρησιμοποιούνται συχνά πλέον στα smart meters. [6][9][12]

Η ποιο δημοφιλής μέθοδος επικοινωνίας με τον πελάτη σήμερα είναι η **ασύρματη επικοινωνία** σε δίκτυο **LAN** ή **HAN (Home Area Network)**, εφόσον ο μετρητής είναι εγκαταστημένος σε οικία (η έκφραση LAN χρησιμοποιείται περισσότερο για μεγάλες εγκαταστάσεις πχ εργοστάσιο). Παραδείγματα τέτοιας υλοποίησης αποτελούν και πάλι το **ZigBee (i.e. IEEE 802.15)** στους 900MHz χωρίς να υπάρχει η ανάγκη αυτή την φορά να υποστηρίζεται το πρότυπο **IPv6** που είχαμε στην περίπτωση της απομακρυσμένης επικοινωνίας με την κεντρική υπηρεσία όπως αυτή περιγράφηκε νωρίτερα. Εναλλακτική πρόταση **HAN** είναι το γνωστό σε όλους μας από τα **laptops** ασύρματο ιντερνέτ **Wi-Fi (i.e. IEEE 802.11)**. Εξ' αιτίας όμως της σχετικά μεγάλης του κατανάλωσης ισχύος, συγκρινόμενο με το **ZigBee**, και της μειωμένης του, συγκριτικά, διεισδυτικότητα (λειτουργεί στους 2.4GHz έναντι των 900MHz του ZigBee), η λύση αυτή έρχεται σε δεύτερη μοίρα. [9][12]

Φυσικά, ένα **smart meter** μπορεί να υποστηρίζει παραπάνω του ενός τρόπου επικοινωνίας με την κεντρική υπηρεσία καθώς και με τον πελάτη.

«Επίσης μια πρόταση της παρούσας διατριβής που δεν έχει διερευνηθεί ακόμα από την επιστημονική κοινότητα είναι να καταργηθεί πλήρως ο κλάδος της άμεσης επικοινωνίας του πελάτη με το smart meter (βλέπε σχήμα I) και να υπάρχει η επικοινωνία μόνο του smart meter με την απομακρυσμένη κεντρική υπηρεσία ελέγχου και τιμολόγησης. Ο πελάτης θα επικοινωνεί μέσω της κανονικής σύνδεσης του στο ιντερνέτ και θα κάνει login σε μια αποκλειστική διαδραστική ιστοσελίδα ελέγχου του smart meter του η οποία θα υπάρχει στους servers της κεντρικής υπηρεσίας και θα μπορεί από εκεί να ενημερωθεί για την κατανάλωση του, την χρέωση και να προγραμματίσει το smart meter εισάγοντας τις προτιμήσεις του, με εμφανή οφέλη στην υλοποίηση και κόστος του μετρητή αλλά και στην ασφάλεια του αδιάβλητου των μετρήσεων».



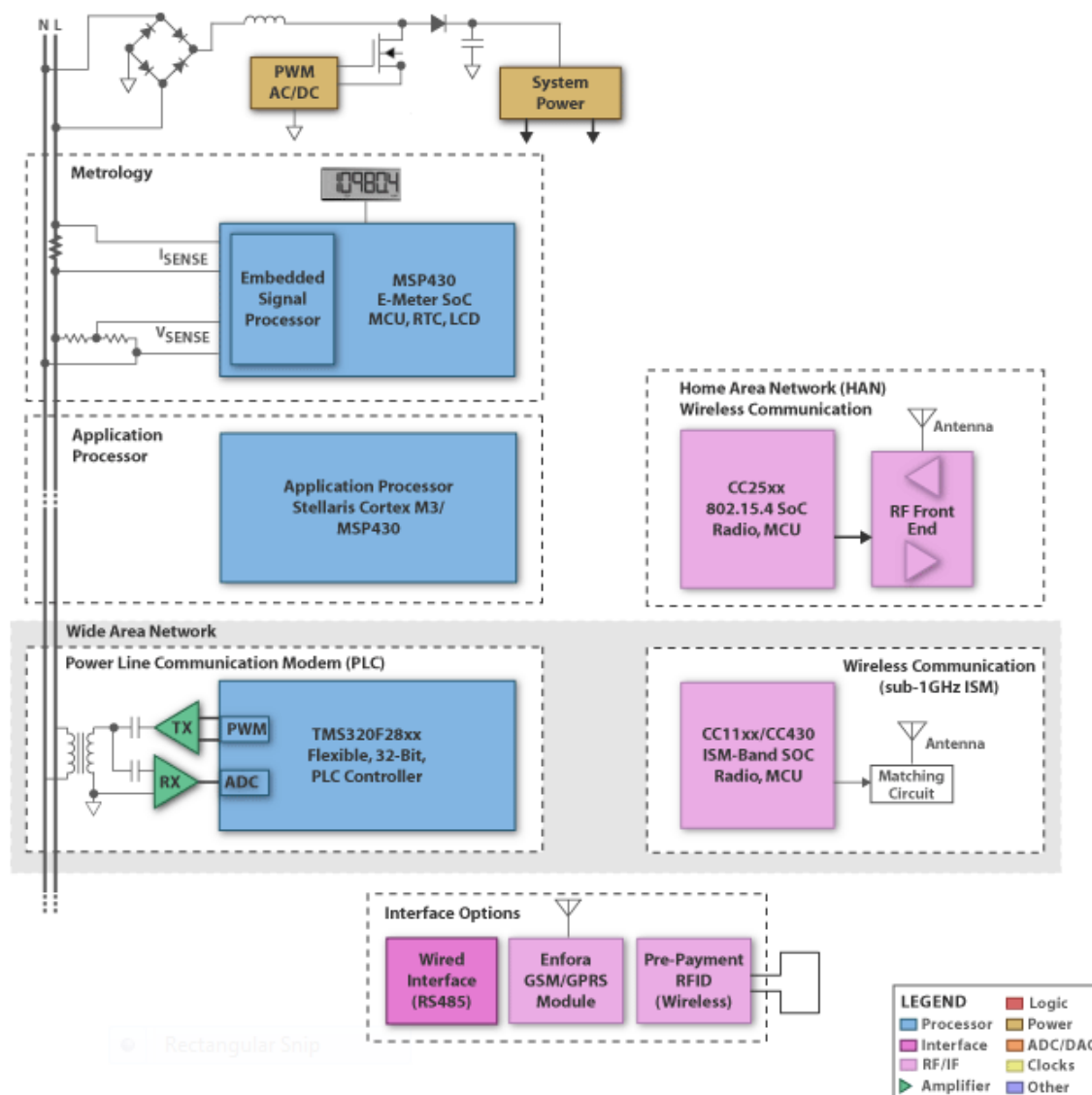
Σχήμα II: Παράδειγμα επικοινωνίας μετρητών με την κεντρική υπηρεσία [9]

Αλλάζοντας θέμα και μιλώντας για το **υπολογιστικό-επεξεργαστικό-αυτοματοποίηση** τμήμα της σχεδίασης ενός **smart meter**, αυτό δεν έχει κάποιες ιδιαίτερες απαιτήσεις και μπορεί να υλοποιηθεί με επίκεντρο οποιοδήποτε σημερινό εμπορικό **Μικροελεγκτή MC γενικής χρήσης (Microcontroller)** και τον κατάλληλο **κώδικα**.

Βέβαια εδώ πρέπει να πούμε ότι στην περίπτωση που επιλέξουμε έναν **MC γενικής χρήσης** για το **smart meter** μας, πρέπει **επιπρόσθετα** να σχεδιάσουμε διακριτά τα ξεχωριστά **κυκλώματα των αισθητήρων μετρήσεων** της ηλεκτρικής ενέργειας, τα **κυκλώματα επικοινωνιών και διεπαφών** του μετρητή καθώς και οποιοδήποτε άλλο **κύκλωμα αυτοματισμού** αυτός θα διαθέτει πχ. διακοπή της ηλεκτροδότησης στις εγκαταστάσεις του πελάτη, σύνδεση/αποσύνδεση ανενεργών φορτίων[8] στις εγκαταστάσεις του πελάτη, προστασία από απόπειρα παραβίασης του μετρητή[14] κ.τ.λ.

Εναλλακτικά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα **ASIC (Application Specific Integrated Circuit) Ολοκληρωμένα chip και Microcontrollers**, ειδική κατηγορία **solid-state** ολοκληρωμένων και **MC** για εφαρμογές σε **smart meters**. Τα **ολοκληρωμένα** αυτά εμπεριέχουν το μεγαλύτερο μέρος του **Hardware** που απαιτείται για την υλοποίηση ενός «έξυπνου» μετρητή συμπεριλαμβανόμενου και των **κυκλωμάτων αισθητήρων μέτρησης και επικοινωνιών** καθώς και υποστηρικτικών κυκλωμάτων **αυτοματισμού** που απαιτούνται. Μία αξιόπιστη, γρήγορη, εύκολη και σχετικά φθηνή σχεδιαστική λύση.

Δύο τέτοια παραδείγματα είναι τα **chip** των εταιρειών **Texas Instruments (TI)** και **ATMEL**, **ASIC** ολοκληρωμένα προσαρμοσμένα ειδικά για εφαρμογές **smart meters**.



Σχήμα III: Σχεδιαστική πρόταση smart meter με ASIC chips από την TI [15]

Κορωνίδα του κυκλώματος *smart meter* στου σχήματος III από την TI είναι ο ASIC Microcontroller **MSP430**[15] ο οποίος περιέχει ολόκληρο το κύκλωμα των *αισθητήρων* μέτρησης. Παρατηρούμε επίσης το **TMS320F28xx** άλλο *ολοκληρωμένο ASIC* της εταιρείας που είναι ένα ***solid-state PLC modem***. Η συγκεκριμένη σχεδίαση προτείνει το ολοκληρωμένο **CC25xx** για την επικοινωνία με τον πελάτη μέσω ασύρματου δικτύου **HAN** και του προτύπου **ZigBee (IEEE 802.15.4)**. Επίσης, προβλέπει ακόμη απομακρυσμένη επικοινωνία **WAN mobile** με το πρότυπο **GSM/GPRS** καθώς και ενσύρματη σχετικά μεγάλης απόστασης (1 Kkm) *διεπαφή* πελάτη κυρίως σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις με το πρότυπο **RS-485**. Το όλο κύκλωμα του **smart meter** συνδέεται πάνω στην υπό μέτρηση *φάση* (βλέπε σχήμα III N&L) της γραμμής ηλεκτροδότησης στις εγκαταστάσεις του πελάτη της ηλεκτρικής ενέργειας. [15]

Ομοίως, το **ATmega128RFA1**[16] υβριδικό ολοκληρωμένο, αποτελεί την σχεδιαστική **solid-state** πρόταση της εταιρείας **ATMEL** για την υλοποίηση ενός **Electricity Smart Meter**.

Περιέχει όπως και στην περίπτωση της **TI** έναν **Microcontroller** αλλά σε αντίθεση με τον **MSP430** εδώ περιέχεται όχι ένα **PLC modem** αλλά ένα κύκλωμα επικοινωνίας **ZigBee/IEEE 802.15.4** στα **2.4 GHz** με υποστήριξη του πρωτοκόλλου **IPv6**[9] γεγονός που το κάνει κατάλληλο όπως εξηγήσαμε παραπάνω (βλέπε σχήμα I) για απομακρυσμένη επικοινωνία μέσω δικτύου **Meshed RF**. [9][10][16]

Βέβαια για ένα σχεδιαστή **πρότυπων συστημάτων** οι έτοιμες ολοκληρωμένες λύσεις του εμπορίου δεν προσφέρουν την μέγιστη **ευελιξία** και **ελευθερία** στην σχεδίαση. Σε αυτή την περίπτωση η **διακριτή** σχεδίαση παραμένει η καλύτερη επιλογή.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Το παράδειγμα σχεδίασης **smart meter** που θα εκθέσουμε παρακάτω δεν θα γίνει κατανοητό αν δεν αναλύσουμε πρώτα τον **σχεδιασμό** και τις **ιδιαίτερες απαιτήσεις** σε **κώδικα (software/firmware)** που έχει ένας **έξυπνος μετρητής** ηλεκτρικής ενέργειας.

Το λογισμικό στον μετρητή είναι η ψυχή και το μυαλό του και κατευθύνει στην ουσία την όλη **λειτουργία** του. Θα πρέπει να σχεδιαστεί το λογισμικό για τους διαφορετικούς **τομείς λειτουργίας** του και να γραφτεί ο απαιτούμενος **κώδικας** στην μνήμη **EEPROM** του **microcontroller** (MC). Αυτό μπορεί να γίνει είτε γράφοντας τον κώδικα απευθείας στη γλώσσα **Assembly** του χρησιμοποιούμενου **MC** ή για να εξασφαλίσουμε την φορητότητα (portability) του λογισμικού το γράφουμε σε μια γλώσσα **υψηλού επιπέδου** όπως π.χ. **C**, **C++**, **python** και στην συνέχεια με την βοήθεια μιας πλατφόρμας μεταφραστή **Assembly Interpreter** γράφουμε τον κώδικα μέσα στο microcontroller και τον προγραμματίζουμε.

Οι βασικοί **τομείς λειτουργίας** του smart meter για τους οποίους πρέπει να γραφτεί κώδικας είναι:

- a) τομέας μετρήσεων της ηλεκτρικής ενέργειας
- b) τομέας επικοινωνιών και διεπαφών
- c) τομέας αυτοματισμών
- d) τομέας προγραμματισμού του μετρητή από την κεντρική υπηρεσία
- e) τομέας προγραμματισμού του μετρητή από τον πελάτη
- f) τομέας αυτοδιάγνωσης βλάβης (self-diagnostics) του μετρητή
- g) τομέας ασφάλειας
- h) κεντρικός συντονισμός της όλης λειτουργίας του smart meter

Ο **αλγόριθμος** του **τομέα μετρήσεων (a)** είναι υπεύθυνος για την μέτρηση της καταναλωμένης ηλεκτρικής ισχύς (KW ενεργό ισχύ, KVA άεργος ισχύ), ενέργειας KWh, και των ποιοτικών χαρακτηριστικών της ηλεκτρικής ενέργειας (πχ.V, I, Hz) με μία συχνότητα δειγματοληψίας π.χ. 1 Hz (μία μέτρηση κάθε δευτερόλεπτο) και στην συνέχεια η συλλογή των μετρήσεων, η επεξεργασία τους (πχ. άθροισμα, ολοκλήρωμα,

μέσος όρος) και η παρουσίαση και καταγραφή τους σε συνολικά αποτελέσματα ανά τακτά χρονικά διαστήματα πχ. ανά **μία ώρα** ή λιγότερο (**διακριτικότητα του smart meter**).

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος μπορεί επίσης να σχεδιαστεί έτσι ώστε να κρατάει **ιστορικό** μετρήσεων να το επεξεργάζεται **στατιστικά** και να παρουσιάζει τα αποτελέσματα όποτε αυτό του ζητηθεί (πχ. σε **μηνιαία** ή **εβδομαδιαία** βάση) σε μορφή **γραφημάτων** και **πίνακες** πάνω στη ενσωματωμένη **TFT** ή **LCD** οθόνη του smart meter ή μέσω **ασύρματης επικοινωνίας** με τον πελάτη της ηλεκτρικής ενέργειας και ενός προγράμματος συνεργασίας και επικοινωνίας με γραφικό περιβάλλον **GUI** (Graphical User Interface) που θα είναι εγκατεστημένο στον υπολογιστή του πελάτη.

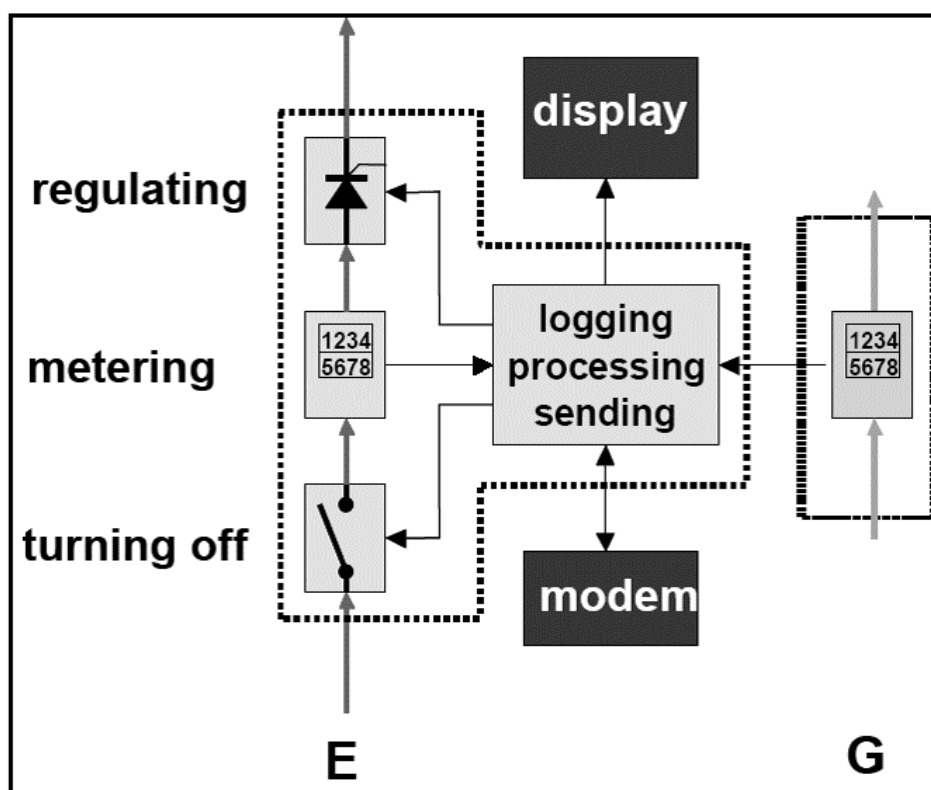


Σχήμα IV: Γραφική απεικόνιση των στατιστικών στοιχείων κατανάλωσης [17]

Με την παρουσίαση των παραπάνω στατιστικών στοιχείων πιστεύεται ότι παρακινείται ο πελάτης που παρακολουθεί την κατανάλωση του, να την μειώσει δημιουργώντας έτσι μια ενεργειακή καταναλωτική συνείδηση και συμβάλλοντας στην μείωση της ζήτησης της ενέργειας παγκοσμίως.

Ο αλγόριθμος του **τομέα επικοινωνιών και διεπαφών (b)** περιλαμβάνει όλες τις «ρουτίνες» υποπρογράμματα που υλοποιούν τα **πρωτόκολλα επικοινωνιών** δικτύου ενσύρματων και ασύρματων του **smart meter** με το **smart grid** και τον πελάτη π.χ. **ZigBee IEEE/802.15.4, PLC, Wi-Fi/IEEE 802.11, GSM/GPRS** αλλά και των **διεπαφών** όπως πχ. η **θύρα RS-232, Bluetooth και infrared** και για τις δύο κατευθύνσεις μετάδοσης. Εκπομπής, **Transmit (Tx)** και λήψης, **Receive (Rx)**.

Ο αλγόριθμος του **τομέα αυτοματισμών (c)** του smart meter υλοποιεί λειτουργίες που μπορεί να έχει ο μετρητής όπως την απομακρυσμένη διακοπή της ηλεκτροδότησης όταν ο πελάτης δεν πληρώνει, κατόπιν εντολής από την κεντρική υπηρεσία τιμολόγησης και ελέγχου του μετρητή, ή όταν ανιχνευθεί παραβίαση του μετρητή, φυσικά ο αλγόριθμος αυτός συνεργάζεται με τους άλλους αλγορίθμους όπως των αλγορίθμων αυτών των επικοινωνιών και της ασφάλειας του μετρητή.



Σχήμα V: Αυτόματη διακοπή της ηλεκτροδότησης από το smart meter [14]

Το παραπάνω σχήμα δείχνει πως αυτό είναι εφικτό με την χρήση «ρελέ» (**relay**) πάνω στην γραμμή ηλεκτροδότησης που περνάει μέσα από τον έξυπνο μετρητή. Άλλοι αυτοματισμοί που μπορεί πιθανόν να υπάρχουν είναι η σύνδεση/αποσύνδεση μη κρίσιμων και ανενεργών φορτίων στην εγκατάσταση του, το μέγιστο όριο κατανάλωσης του πελάτη που τίθεται από την κεντρική υπηρεσία καθώς και η μεταγωγή του μετρητή από σταθερή **flat-rate** χρέωση σε μεταβλητή χρέωση **multi-tariff**, ανάλογα την ώρα της ημέρας και την εποχή του έτους.

Ο αλγόριθμος του τομέα προγραμματισμού του μετρητή από την **κεντρική υπηρεσία (d)** επεξεργάζεται όλες τις **εντολές** και **δεδομένα** που λαμβάνει το **smart meter** από την απομακρυσμένη κεντρική υπηρεσία τιμολόγησης και ελέγχου που μπορούν να ποικίλουν από την λήψη του **τιμοκαταλόγου** για την **multi-tariff** χρέωση του πελάτη μέχρι και την **αναβάθμιση** του λογισμικού του smart meter.

Ο αλγόριθμος του τομέα **προγραμματισμού του μετρητή από τον πελάτη (e)** για λόγους ασφαλείας και αδιαβλητότητας των μετρήσεων δεν μπορεί να επέμβει και να επαναπρογραμματίσει το λογισμικό αυτό καθεαυτό του smart meter αλλά περιορίζεται στην εισαγωγή των προτιμήσεων του πελάτη που μπορεί να αφορούν την επιλογή κάποιων οικονομικών ειδικών πακέτων προσφορών πώλησης της ενέργειας για συγκεκριμένες ώρες της ημέρας ή εποχής του έτους ή ποσό κατανάλωσης δίχως να χρειαστεί να συνεννοηθεί πρώτιστος ο πελάτης με τον προμηθευτή της ενέργειας αλλά επιλέγοντας τα πακέτα απευθείας από τον μετρητή.

«Επίσης κάτι πολλή σημαντικό που αποτελεί και πρόταση αυτής της διατριβής, είναι να παρέχεται η δυνατότητα στον πελάτη της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του έξυπνου μετρητή και έξυπνου δικτύου ηλεκτροδότησης (smart grid) να επιλέγει κατά την διάρκεια της ημέρας (ακόμη και ανά ώρα) τον προμηθευτή της ενέργειας του (βλέπε προηγούμενα κεφάλαια της διατριβής). Αυτή η μικρή αλλαγή στο λογισμικό του smart meter και του smart grid που θα την υποστηρίξει και δίχως ιδιαίτερο επιπρόσθετο κόστος και που αποτελεί κυρίως μία πολιτική απόφαση και βούληση των χωρών που συμμετέχουν στην απελευθερωμένη αγορά ενέργειας, έχει ένα τεράστιο όφελος για τον πελάτη/καταναλωτή της ενέργειας μιας και που θα συμβάλει στην πλήρη απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας στην ενίσχυση του ανταγωνισμού μεταξύ των προμηθευτών της ενέργειας και συνεπώς στην μείωση των τιμών πώλησης της ενέργειας, είτε στις υπάρχουσες τιμές είτε με την πώληση των ειδικών πακέτων προσφορών. Έτσι ο πελάτης θα μπορεί να βρίσκει πάντα, αυξάνοντας το πεδίο επιλογών του, κατά την διάρκεια της ημέρας (ανά ώρα) το «φθηνότερο ρεύμα» μεγιστοποιώντας έτσι το οικονομικό του όφελος. Επιπρόσθετα ο πελάτης θα μπορεί να επιλέξει τώρα με μεγαλύτερη ευελιξία ενέργεια από προμηθευτές ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και σε καλύτερες τιμές (κατά κανόνα η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές είναι ακριβότερη) λόγω του μεγαλύτερου ανταγωνισμού που θα έχει δημιουργηθεί συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στην μεγαλύτερη προστασία των ενεργειακών πόρων του πλανήτη και του περιβάλλοντος».

Η εισαγωγή στο **smart meter** των **προτιμήσεων του πελάτη** ηλεκτρικής ενέργειας και **ειδικότερα η επιλογή των προμηθευτών** του μπορεί να **αυτοματοποιηθεί** για την διευκόλυνση και την εξοικονόμηση του χρόνου του, προσθέτοντας στο λογισμικό του μετρητή έναν **Έμπειρο Αλγόριθμο (Expert System Programming)** για την υποστήριξη των αποφάσεων του πελάτη.[8] Με τον τρόπο αυτό ο πελάτης δεν θα χρειάζεται να προγραμματίζει την επιλογή των προμηθευτών του ανά ώρα της ημέρας, πράγμα δύσκολο αφού νέοι τιμοκατάλογοι των διαφόρων προμηθευτών μπορεί να αποστέλλονται καθημερινά στον μετρητή αλλά θα αρκεί να δώσει γενικές κατευθυντήριες οδηγίες και **κριτήρια** στο σύστημα του τύπου π.χ. βρες μου τον φθηνότερο προμηθευτή γενικά για κάθε ώρα της ημέρας, ή τον φθηνότερο προμηθευτή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ή στην περίπτωση που οι τιμοκατάλογοι αποστέλλονται σε ετήσια ή μηνιαία βάση μόνο, βρες το φθηνότερο καλοκαιρινό ρεύμα, το φθηνότερο απογευματινό κ.τ.λ.

Συνεχίζοντας την ανάλυση μας σε ότι αφορά τον αλγόριθμο **(e)**, οι προτιμήσεις του πελάτη εκτός από την δυναμική επιλογή προμηθευτή και ενεργειακών πακέτων προσφορών, μπορεί να αφορούν και άλλες λειτουργίες του έξυπνου μετρητή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας όπως π.χ. να αφορά τον τρόπο και χρόνο παρουσίασης των στατιστικών δεδομένων του ιστορικού μετρήσεων, δηλαδή ας πούμε, γραφική αναπαράσταση ανά μήνα ή αριθμητική αναπαράσταση σε πίνακα ανά εβδομάδα καθώς και τον τρόπο παρουσίασης των ενδείξεων και τις μονάδες μέτρησης στην ενσωματωμένη **οθόνη** του **smart meter**.

Ο αλγόριθμος του τομέα των **self-diagnostics (f)** του μετρητή εκτελεί έλεγχο της καλής λειτουργίας του μετρητή ανιχνεύει τυχόν βλάβη και σφάλματα και τα αναφέρει αυτόματα τόσο στην κεντρική υπηρεσία όσο και στο πελάτη είτε μέσω της οθόνης του μετρητή ή μέσω της διεπαφής και επικοινωνίας με τον πελάτη.

Ο **αλγόριθμος του τομέα ασφαλείας (g)** του smart meter ανιχνεύει, μπλοκάρει και αναφέρει στην κεντρική υπηρεσία οποιαδήποτε προσπάθεια παραβίασης του μετρητή, διαβλητού και αλλοίωσης των μετρήσεων του μετρητή, καθώς και κάθε προσπάθεια παράκαμψης του.

Κεντρικός Αλγόριθμος

Ο **κεντρικός, γενικός, αλγόριθμος (h)** συντονίζει και διευθύνει όλους τους επιμέρους αλγόριθμους που αναλύσαμε παραπάνω. Για να καταλάβουμε και να **σχεδιάσουμε** τον **κεντρικό αλγόριθμο** θα πρέπει πρώτα να **εξηγήσουμε την βασική λειτουργία** του **smart meter**. Εδώ θα πρέπει να διακρίνουμε **δύο πιθανές διαφορετικές** βασικές **λειτουργίες** ενός **smart meter**, που υπαγορεύουν δύο ελαφρά διαφορετικές και συμπληρωματικές προσεγγίσεις στην σχεδίαση του **κεντρικού αλγορίθμου**:

i. Smart meter σε λειτουργία single-provider και multi-tariff χρέωση:

Σε αυτό τον τρόπο λειτουργίας και σε μια **απελευθερωμένη αγορά ενέργειας** ο πελάτης της ηλεκτρικής ενέργειας έχει υπογράψει συμβόλαιο (συνήθως ετήσιο) με έναν προμηθευτή ενέργειας (**single-provider**) της επιλογής του.

Επίσης έχουν συμφωνήσει σε μία **μεταβλητή τιμολόγηση multi-tariff**[5][6] ανάλογα την ώρα της ημέρας και την εποχή του έτους.

Ο multi-tariff τιμοκατάλογος αυτός μπορεί να είναι σταθερός καθόλα την διάρκεια του συμβολαίου ή να μεταβάλλεται (προς τα κάτω) κατά βούληση από τον προμηθευτή.

Ο εκάστοτε ισχύον **τιμοκατάλογος** αυτός από τον συγκεκριμένο προμηθευτή με τον οποίο έχει συνάψει συμβόλαιο ο πελάτης αποστέλλεται στην ανεξάρτητη **κεντρική υπηρεσία τιμολόγησης**[5][6][9] η οποία ενημερώνεται για το συμβόλαιο και τους όρους του συμβολαίου με τον πελάτη.

Ο τιμοκατάλογος αυτός μπορεί να σταλεί ή και να μην σταλεί από την κεντρική υπηρεσία τιμολόγησης στο smart meter του πελάτη ανάλογα με της δυνατότητες, τις απαιτήσεις και την υλοποίηση του εκάστοτε smart grid και smart meter ή και της συμφωνίας που έχει επέλθει με τον πελάτη.

Στην περίπτωση που δεν αποστέλλεται ο τιμοκατάλογος στον μετρητή του πελάτη, ο μετρητής στην περίπτωση αυτή αρκείται στο να στείλει τα δεδομένα κατανάλωσης π.χ. **KWh/ώρα της ημέρας** πίσω στην κεντρική υπηρεσία η οποία με βάση τον ενημερωμένο τιμοκατάλογο εκτελεί την διαδικασία της χρέωσης. Στην περίπτωση όμως αυτή ο πελάτης δεν έχει τρόπο να ενημερωθεί από τον μετρητή για το χρηματικό ποσό που αντιστοιχεί στην κατανάλωση του (**βλέπε σχήμα IV**). Εκτός βέβαια της περίπτωσης που εισάγει ο πελάτης ο ίδιος χειροκίνητα τον τιμοκατάλογο στον μετρητή μέσω μιας διεπαφής του με τον μετρητή.

Στην αντίθετη τώρα περίπτωση που η κεντρική υπηρεσία αποστέλλει κάθε φορά τον ενημερωμένο τιμοκατάλογο στο **smart meter** του πελάτη, ο μετρητής εκτός από τις κιλοβατώρες **KWh/ώρα** που καταναλώθηκαν υπολογίζει και τις **χρηματικές χρεώσεις** στον πελάτη και ενημερώνει τον πελάτη και την κεντρική υπηρεσία (**πίνακας I**)[6]. Επίσης υπάρχει η περίπτωση ο συμβαλλόμενος προμηθευτής να αποστέλλει παράλληλα περισσότερους από έναν multi-tariff τιμοκαταλόγους (**πακέτα προσφορών**) στο μετρητή του πελάτη ώστε ο πελάτης να μπορεί να επιλέγει δυναμικά τον πιο συμφέρον τιμοκατάλογο προσαρμοσμένο ειδικά στις ανάγκες του και στις καταναλωτικές του συνήθειες, π.χ. καταναλώνει περισσότερο ενέργεια τις ώρες μεταξύ 11πμ-3μμ, ή τα σαββατοκύριακα, ή κατά τους θερινούς μήνες κτλ. Και πάλι αυτές οι επιλογές του πελάτη μπορούν να παίρνονται αυτόματα χωρίς την ανάμειξη του πελάτη από ένα **έμπειρο αλγόριθμο** υποστήριξης αποφάσεων (**Expert System Algorithm**) όπου ο πελάτης θα έχει εισάγει στο σύστημα αρχικά κάποια γενικά μόνο κριτήρια.

Date	Time	Amount (kWh)	Tariff (c/kWh)	Cost (ZAR)
12-Oct	12:00	2.3	0.23	0.529
13-Oct	22:00	1.9	0.33	0.627
13-Oct	23:00	7	0.12	0.84
13-Oct	0:00	4.33	0.6	2.598
14-Oct	1:00	7.8	0.7	5.46
14-Oct	2:00	4	0.4	1.6
14-Oct	3:00	1	0.11	0.11

Πίνακας I: Δεδομένα κατανάλωσης και χρηματικής χρέωσης του πελάτη που αποστέλλει το smart meter

ii. Smart meter σε λειτουργία multi-tariff και multi-provider επιλογής προμηθευτή:

Το συγκεκριμένο σενάριο λειτουργίας του «έξυπνου» μετρητή αποτελεί και την ουσιαστική πρόταση αυτής της διατριβής (διάβασε προηγούμενα κεφάλαια). Ο πελάτης της ενέργειας μπορεί να επιλέγει δυναμικά μέσω του μετρητή του διαφορετικό κάθε φορά προμηθευτή ανά ώρα της ημέρας με την βοήθεια ενός έξυπνου, έμπειρου λογισμικού υποστήριξης αποφάσεων, expert system, με κύριο γνώμονα την μεγιστοποίηση του οικονομικού του οφέλους.

Η ανάλυση του αλγορίθμου που απαιτείτε δεν διαφέρει από αυτήν που έγινε στην προηγούμενη ενότητα (i) παρά μόνο σε δύο σημεία.

Πρώτον, στην περίπτωση της **multi-tariff & multi-provider** λειτουργίας σε αντίθεση με την (i) που δεν ήταν απαραίτητο, εδώ όλοι οι συμβαλλόμενοι προμηθευτές ενέργειας **πρέπει** να στέλνουν τους ενημερωμένους τιμοκαταλόγους τους μέσω της κεντρικής υπηρεσίας τιμολόγησης στους μετρητές των πελατών.

Δεύτερον, ο έξυπνος μετρητής τώρα δεν καταγράφει, υπολογίζει και αποστέλλει **μόνχα** τα δεδομένα της κατανάλωσης και της χρηματικής χρέωσης του πελάτη ανά ώρα της ημέρας, **αλλά και το όνομα του προμηθευτή** από τον οποίο ο πελάτης αγοράζει την ενέργεια για κάθε ώρα της ημέρας. Συνεπώς στον **πίνακα I** προστίθεται άλλη μία στήλη, αυτής με τα **ονόματα των προμηθευτών** για να καταλήξουμε στην τελική μορφή του **πίνακα II**,

Provider	Date	Time	Amount (KWh)	Tariff (c/KWh)	Cost (EUR)
Dias AE	27-Nov	21:00	1.2	0.19	0.228
Dias AE	27-Nov	22:00	1.6	0.15	0.24
Kentauros AE	27-Nov	23:00	0.8	0.11	0.088
KRHTH WINDPARK AE	27-Nov	00:00	0.5	0.08	0.040
KRHTH WINDPARK AE	28-Nov	01:00	0.2	0.08	0.016
KRHTH WINDPARK AE	28-Nov	02:00	0.2	0.08	0.016
Blitz SpA	28-Nov	03:00	0.2	0.06	0.012

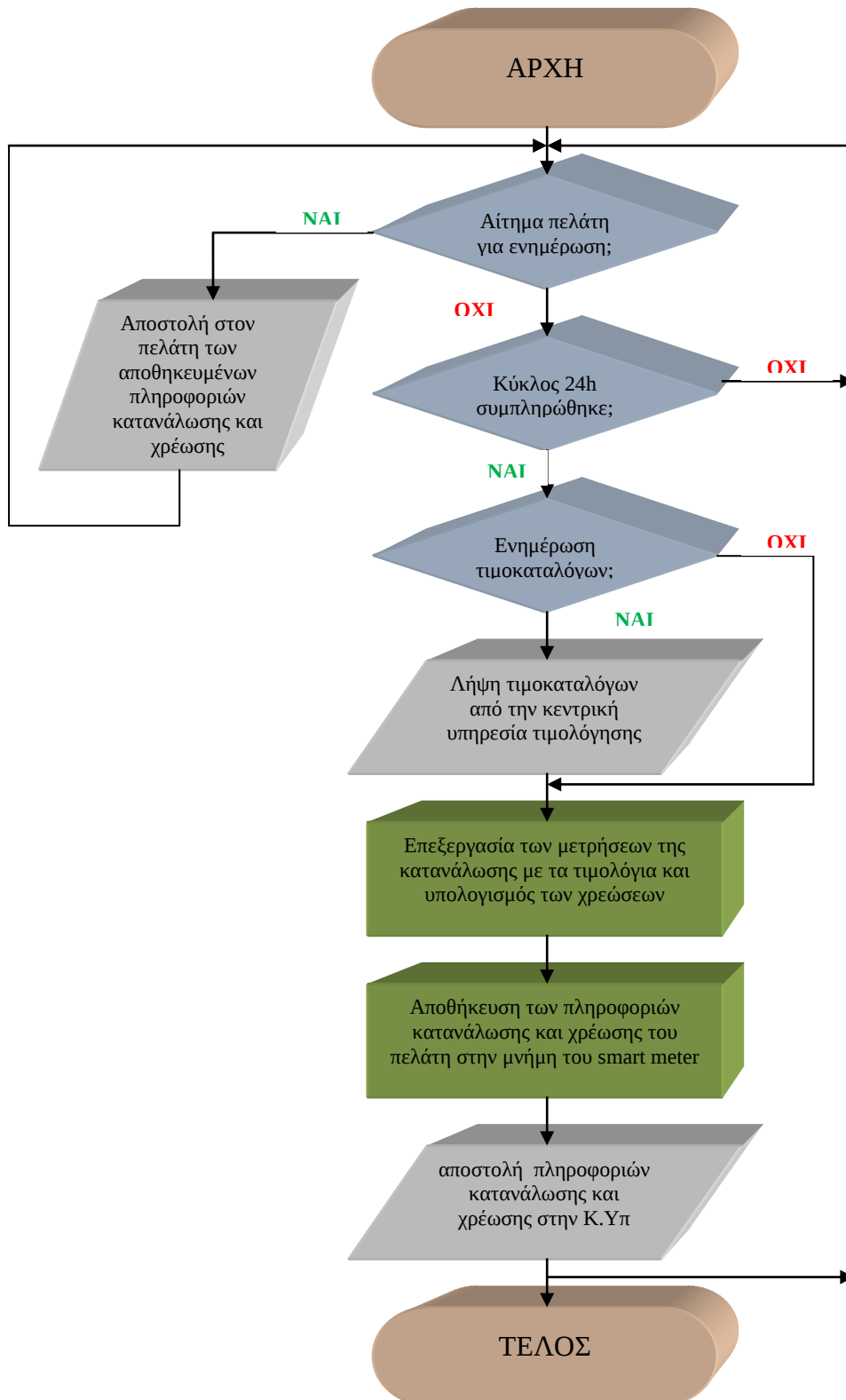
Πίνακας II: Παράδειγμα δεδομένων αποστολής ενός μετρητή multi-provider&multi-tariff

Μια σημαντική διευκρίνιση:

Εδώ πρέπει να αποσαφηνίσουμε το γεγονός ότι στην περίπτωση της σχεδίασης ενός smart meter multi-provider η μεταγωγή στον διαφορετικό κάθε φορά προμηθευτή δεν είναι ηλεκτρική, δηλαδή ο μετρητής δεν συνδέεται με φυσικό τρόπο σε άλλη γραμμή ηλεκτροδότησης, αλλά είναι καθαρά λογιστική μεταγωγή. Δηλαδή όλοι οι προμηθευτές της ηλεκτρικής ενέργειας «ρίχνουν» το ρεύμα που παράγουν στον ίδιο αγωγό του Εθνικού δικτύου ηλεκτροδότησης και η επιλογή του προμηθευτή γίνεται

μόνο σε λογιστικό επίπεδο, δηλαδή μόνο μέσα από τα δεδομένα (βλέπε πίνακα II) που αποστέλλει το smart meter στην κεντρική υπηρεσία τιμολόγησης. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι εξαλείφει οποιαδήποτε ανάγκη επικοινωνίας του smart meter του πελάτη με τον προμηθευτή.

Μια πιθανή σχεδίαση τμήματος του **αλγορίθμου (ii)** θα μπορούσε να είναι ως εξής:



Σχήμα VI: Παράδειγμα διαγράμματος ροής αλγορίθμου τιμολόγησης multi-provider στο smart meter

Ο παραπάνω **αλγόριθμος** που απεικονίζεται στο **διάγραμμα ροής** (flow chart) του **σχήματος VI**, εκτελεί την τιμολόγηση της καταναλώσας ενέργειας του πελάτη σε καθημερινή 24ωρη βάση και με βάση τους πλέον **ενημερωμένους** πάντα τιμοκαταλόγους από όλους τους προμηθευτές τους οποίους λαμβάνει το **smart meter** από **την Κεντρική Υπηρεσία (Κ. Υπ)** και ενημερώνει πίσω την κεντρική υπηρεσία με τα υπολογισμένα δεδομένα **κατανάλωσης και χρηματικής χρέωσης** του πελάτη που αφορούν το τελευταίο 24ωρο. Τέλος αποστέλλει τα ίδια αυτά δεδομένα **κατανάλωσης και χρέωσης** του τελευταίου 24ώρου και στον πελάτη εφόσον όμως και όποτε αυτός το ζητήσει.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Αναλύσαμε τις περισσότερες από τις σχεδιαστικές προσεγγίσεις, επιλογές και πιθανές λειτουργίες ενός «έξυπνου» μετρητή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που είναι κατάλληλος ακόμη και για οικιακή χρήση. Μιλήσαμε διεξοδικά τόσο για την σημερινή τεχνολογία του υλικού και των επικοινωνιών των smart meters και για την ολοκλήρωση και ενσωμάτωση τους σε ένα «έξυπνο» δίκτυο, smart grid, όσο και για τον σχεδιασμό και υλοποίηση του λογισμικού τους. Προτείναμε πρωτότυπες **καινοτόμες** λύσεις που αφορούν τον σχεδιασμό του υλικού και των επικοινωνιών των smart meters αλλά και του λογισμικού τους, και κατά προέκταση των λειτουργιών – δυνατοτήτων που προσφέρουν τα smart meters. Εισάγαμε και αναπτύξαμε την καινοτόμα έννοια της λειτουργίας του smart meter ως multi-provider[8], επιλογής προμηθευτή. Το τελευταίο αποτελεί ένα πεδίο ανοιχτό στην επιστημονική έρευνα πολλά υποσχόμενο με άμεση εμπορική και τεχνολογική εφαρμογή και με ελάχιστο κόστος αλλά συντριπτικά πλεονεκτήματα τόσο για τον πελάτη της ενέργειας όσο και για την αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας συνολικά.

Τελειώνοντας την εργασία μας, προτείνουμε στις παρακάτω σελίδες ένα **συγκεκριμένο** παράδειγμα σχεδίασης [4][5][6][7][8][9][10][11][12], [13][14][15][16][17][18] & υποσημειώσεις^{1,3,4,5,6,7,8,10,11,12,13,14,15,19} ενός **smart meter** που υλοποιεί μερικές από τις πιθανές δυνατότητες που μπορούν να προσφέρουν τα smart meters γενικά και τις οποίες αυτές τις προδιαγραφές αναλύσαμε νωρίτερα, καθώς και ενσωματώνει προτάσεις της διατριβής.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] A Smart Guide to Smart Metering, London, 22nd October 2008
<http://onzo.com/2008/10/a-smart-guide-to-smart-metering/>
- [2] Power market analysis and potential revenues of new transmission lines in a deregulated environment, Vladimir S. Koritarov, Thomas D. Veselka, Bruno Trouille, 2002
- [3] NETWORKS OPTIMIZATION WITH ADVANCED METER INFRASTRUCTURE AND SMART METERS Enrico VALIGI Eugenio DI MARINO ENEL – Italy 20th International Conference on Electricity Distribution Prague, 8-11 June 2009
- [4] End-to-end Communication Architecture for Smart Grids Thilo Sauter, Senior Member, IEEE, Maksim Lobashov, IEEE 2010
- [5] Smart Metering Tariff Schemes Combined with Distributed Energy Resources . Deconinck, B. Decroix K.U.Leuven, ESAT/ELECTA (Belgium), May 2009
- [6] Design of a smart electricity meter Final Report P. S. G.Botha Submitted as partial fulfilment of the requirements of Project EPR400 in the Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering University of Pretoria November 2008
- [7] Wikipedia “Smart Meter”
- [8] E. Antonidakis, D. Koulouriotis, A. Manitis, I. Kaliakatsos, G. Plokamakis, D. Tsechpenakis, “Meter design and load management in deregulated power networks”, 3ed International Conference on New Horizons in Industry and Education, Santorini Island, Greece, 18-31 August 2003
- [9] Communication Diversity Architecture for Smart Meter Networks Rob Kopmeiners Presentation at the ETSI M2M Workshop on 19 October 2010, Sophia Antipolis, France
- [10] Assessment of Communication Methods for Smart Electricity Metering in the U.K. Richard Peter Lewis*, Dr Petar Igit*, Dr Zhongfu Zhou#, April 2010, Electronic Systems Design Centre School of Engineering Swansea University Wales, SA2 8PP U.K

- [11] Assessment of Smart Metering Models: The Case of Hungary, ATKEARNEY, Improved Final Report, 18 June 2010.
http://www.eh.gov.hu/gcpdocs/201006/smartmetering_improved_final_report_mod.PDF
- [12] Smart Electricity Metering System for greenhouse conscious homes Ryan Alexander, 2010.
<http://titania.ctie.monash.edu.au/ugrad-projects/ryan-smart-meter.pdf>
- [13] Technical and Operation Considerations in Using Smart Metering for Outage Management, Hahn Tram, Senior Member, IEEE, 2008.
- [14] A Solution to Remote Detecting of Illegal Electricity Usage Based on Smart Metering A. Pasdar, S. Mirzakuchaki, Industrial and Science University of Iran, IEEE 2007
- [15] Smart Electricity Meter: AMR/AMI Solutions from Texas Instruments
<http://focus.ti.com/docs/solution/folders/print/407.html>
- [16] ATMEL, Electricity Meters, 2010
http://www.atmel.com/applications/metering/electricity_meters.asp?AppID=1024
ATMEL, ATmega128RFA1
http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?part_id=4692
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8266.pdf
- [17] 'Smart meters': some thoughts from a design point of view by DAN LOCKTON-JUNE 18 , 2009.
<http://architectures.danlockton.co.uk/2009/06/18/smart-meters-some-thoughts-from-a-design-point-of-view/>
- [18] "Measurement of electrical power", chauvin-arnoux group
http://www.chauvin-arnoux.com/fiches/pdf/uk/Measurement_of_electrical_power.pdf

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΕΞΥΠΝΟΥ ΜΕΤΡΗΤΗ

του Μαρκουλάκη Εμμανουήλ, 2011©

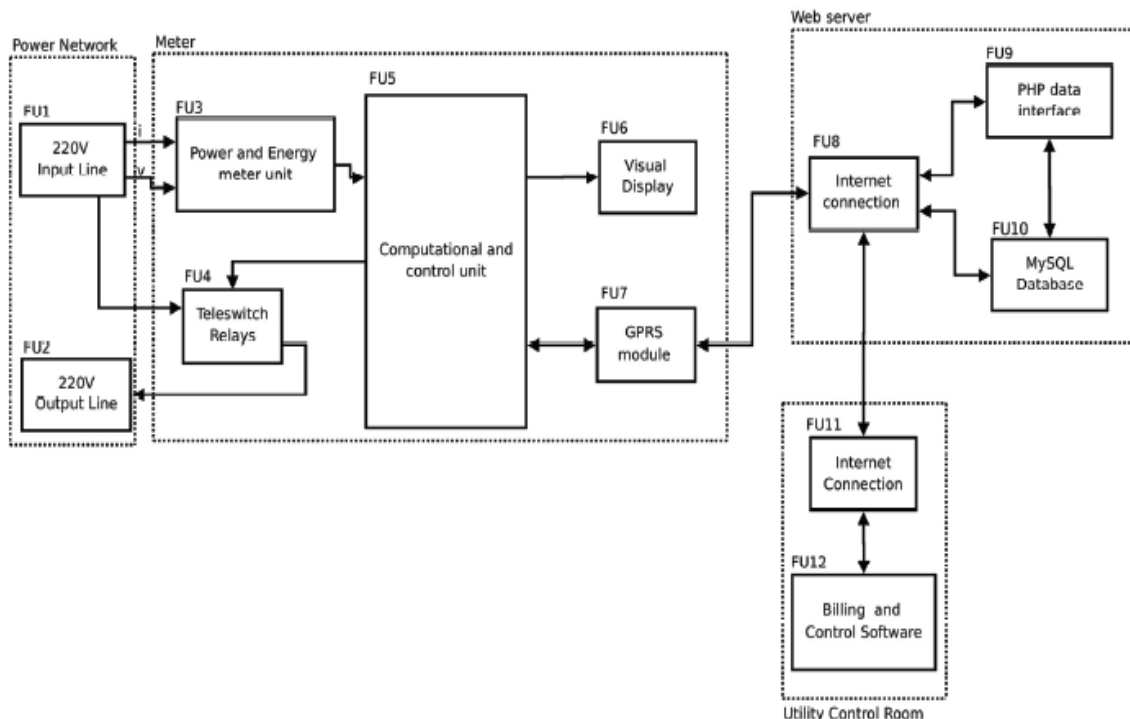
Στόχοι

Ο σχεδιαζόμενος έξυπνος μετρητής (**smart meter**) κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται να υλοποιήσει τις παρακάτω στόχους:

- να εκτελεί *οικιακή* μέτρηση της καταναλώσας ηλεκτρικής ενέργειας,
- να υπακούει στις διεθνείς τεχνικές προδιαγραφές IEC 61036 Class II¹,
- να παράγει μία ψηφιακή έξοδο ανάλογη της καταναλώσας ηλεκτρικής ενέργειας (KWh),
- να καταγράφει αυτή την ψηφιακή έξοδο (μετρήσεις) και να την αποστέλλει σε μια *απομακρυσμένη* βάση δεδομένων βασισμένη στο ιντερνετ (κέντρο τιμολόγησης) σε προκαθορισμένα τακτά χρονικά διαστήματα,
- να λαμβάνει ψηφιακές πληροφορίες τιμοκαταλόγων και σημάτων ελέγχου μέσω του ιντερνετ από το κέντρο τιμολόγησης σε προκαθορισμένα τακτά χρονικά διαστήματα,
- να επικοινωνεί με τον πελάτη της ηλεκτρικής ενέργειας τις σχετικές πληροφορίες κατανάλωσης και τιμολόγησης-χρέωσης μέσω της ενσωματωμένης στον μετρητή οθόνης LCD,
- να είναι ικανός να διακόψει την ηλεκτροδότηση σε μη-κρίσιμα ηλεκτρικά φορτία του πελάτη ή γενικά την ηλεκτροδότηση του πελάτη.

¹ Οι Class II αναφέρονται ουσιαστικά σε μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα μέτρησης λιγότερο από 2%

Ανάλυση Λειτουργίας



Σχήμα VII: Μπλοκ διάγραμμα της λειτουργίας του συστήματος

Στο ανωτέρω σχήμα διακρίνουμε τις βασικές μονάδες του όλου συστήματος. **1)** Το **δίκτυο ηλεκτροδότησης (Power Network)** με την γραμμή εισόδου FU1 (**220V Input Line**) στον μετρητή και την γραμμή εξόδου FU2 (**220V Output Line**) από τον μετρητή προς την οικία του πελάτη. Η γραμμή FU1 αποτελείται από το καλώδιο της **φάσης L** (μονοφασική εγκατάσταση) και το καλώδιο του **ουδετέρου N**, (δεν απεικονίζονται στο σχήμα). Η γραμμή εξόδου FU2 ομοίως φέρει το καλώδιο του ουδετέρου N αλλά αντί για μία παροχή φάσης L προς την οικία του πελάτη, φέρει δύο ξεχωριστές παροχές φάσης. Μία παροχή φάσης L_1 220V για τα κανονικά ηλεκτρικά φορτία του πελάτη και μία L_2 220V για τα πιθανά **μη-κρίσιμα** ηλεκτρικά φορτία του. **2)** Τον **έξυπνο μετρητή (meter)** με τις υπομονάδες μέτρησης της ηλεκτρικής ισχύος και ενέργειας FU3 (**Power and Energy meter unit**), τους τηλεδιακόπτες FU4 (**Teleswitch Relays**) σύνδεσης/ αποσύνδεσης των δύο προαναφερόμενων παροχών φάσης L_1 και L_2 , τον μικροελεγκτή FU5 (**Computational and control unit**), την οθόνη LCD FU6 (**Visual Display**), και την μονάδα ασύρματης επικοινωνίας κινητής τηλεφωνίας FU7 (**GPRS module**). **3)** τον απομακρυσμένο **εξυπηρετητή ιστοσελίδων των μετρητών (Web Server)** με τις υπομονάδες σύνδεσης στο ίντερνετ FU8 (**Internet Connection**), τον επεξεργαστή PHP ιστοσελίδων FU9 (**PHP Data Interface**), και την SQL βάση δεδομένων FU10 (**MySQL Database**) και τέλος την, **4)** τον απομακρυσμένη **κεντρική υπηρεσία τιμολόγησης και ελέγχου (Utility Control Room)** με τις υπομονάδες σύνδεσης στο ίντερνετ FU11 (**Internet Connection**) και την πλατφόρμα λογισμικού τιμολόγησης και ελέγχου των μετρητών FU12 (**Billing and Control Software**).

Η όλη λειτουργία του συστήματος περιγράφεται ως εξής:

Η FU3 μέσω ενός βραχυκλωτήρα (current shunt, δεν φαίνεται στο σχήμα)) μεταξύ της φάσης L και της αναλογικής-ψηφιακής γης GND του smart meter (δεν υπάρχει φυσική σύνδεση της GND με τον ουδέτερο N ή την γείωση του δικτύου ηλεκτροδότησης) και ενός διαιρέτη τάσης, μετράει το εξαλλασσόμενο ρεύμα και τάση ηλεκτροδότησης και στέλνει παλμούς στην μονάδα FU5 συχνότητας ανάλογη με την μετρούμενη καταναλώσα ενέργεια. Η μονάδα FU5 μετράει αυτούς τους παλμούς και υπολογίζει την καταναλώσα ηλεκτρική ενέργεια σε KWh (πλην της ενέργειας που καταναλώνει ο ίδιος ο μετρητής) και αποθηκεύει τα αποτελέσματα στην μνήμη. Επίσης μέσω των δύο ξεχωριστών της κυκλωμάτων αισθητήρων μέτρησης, εναλλασσόμενου ρεύματος και τάσης (current and voltage transducers), βλέπε γραμμές i και v, παρακολουθεί την FU1. Οι γραμμές αυτές i και v δειγματοληπτούντε απευθείας από τον μικροελεγκτή FU5 ο οποίος συνεχώς υπολογίζει την τρέχων καταναλώσα ηλεκτρική ισχύ σε KW.

Η FU5 είναι επίσης υπεύθυνη για τον έλεγχο της FU4, την οδήγηση του display FU6 και την επεξεργασία των δεδομένων και των εντολών μέσω της αμφίδρομης ασύρματης σύνδεσης GPRS από την μονάδα FU7.

Αναλυτικά, η FU5 ελέγχει τους δύο **τηλεδιακόπτες² FU4 (teleswitch relays)** των παροχών **L₁** για τα **κανονικά ηλεκτρικά φορτία** του πελάτη και **L₂** για τα **μη-κρίσιμα ηλεκτρικά φορτία** του, αντίστοιχα. Βάση ενός αλγορίθμου και των εντολών που λαμβάνει από την κεντρική υπηρεσία τιμολόγησης και ελέγχου (Utility Room) ή τον πελάτη, μέσω της ιστοσελίδας ελέγχου του μετρητή που υπάρχει στον απομακρυσμένο web server. Έτσι π.χ. μπορεί να διακόψει την ηλεκτροδότηση στον πελάτη που δεν πληρώνει, κατόπιν εντολής από την κεντρική υπηρεσία τιμολόγησης, ή ο πελάτης να διακόψει την ηλεκτροδότηση μη-κρίσιμων ηλεκτρικών φορτίων όπως του καυστήρα θέρμανσης κατά τους θερινούς μήνες.

Η FU6 είναι μία **128X64bit μονόχρωμη LCD** οθόνη υπεύθυνη για την πληροφόρηση του πελάτη όσο αφορά την κατανάλωση και τιμολόγηση του.

Η GPRS μονάδα FU7 διαχειρίζεται την ασύρματη αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του έξυπνου μετρητή και του internet. Η FU7 διαθέτει ένα **Class 10 GPRS** modem και έναν αποκλειστικό επεξεργαστή που «τρέχει» τοπικά αλγόριθμο που ελέγχει το περιεχόμενο της GPRS σύνδεσης (parsing) όπως την εκσφαλμάτωση των λαθών της επικοινωνίας που αφορούν τα δεδομένα τιμολόγησης, τιμοκαταλόγων και κατανάλωσης του πελάτη μεταξύ της FU5 και της βάσης δεδομένων στο internet FU10.

Η μονάδα FU8 εκτελεί μέσω ενός router την σύνδεση του Web server (εξυπηρετητής ιστοσελίδων) με το internet. Αυτή η μονάδα συνήθως παρέχεται και εγγυάται η καλή λειτουργία της από την εταιρία παροχής internet από την οποία συνήθως νοικιάζεται (leasing) και ο Web server.

Για τον καλύτερο δυναμικό και διαδραστικό έλεγχο του έξυπνου μετρητή και των δεδομένων του τόσο από την κεντρική υπηρεσία όσο και από τον πελάτη, ο Web server είναι εξοπλισμένος με λογισμικό επεξεργασίας **ιστοσελίδων PHP**, βλέπε μονάδα FU9,

² Ηλεκτρικός διακόπτης που ελέγχεται εξ' αποστάσεως

και η οποία μονάδα FU9 συνεργάζεται με μία **SQL** βάση δεδομένων FU10. Έτσι λοιπόν κάθε έξυπνος μετρητής έχει την δικιά του αποκλειστική ιστοσελίδα ελέγχου PHP με πλήρη δικαιώματα πρόσβασης από την κεντρική υπηρεσία τιμολόγησης και περιορισμένα δικαιώματα από τον πελάτη του μετρητή. Ο πελάτης, αφού πρώτα κάνει login στην ιστοσελίδα του μετρητή του, θα μπορεί να πληροφορηθεί εκτενέστερα για την κατανάλωση και τιμολόγηση του, να διαλέξει τιμοκατάλογο (πακέτα προσφορών, multi-tariff) που ταιριάζει περισσότερο στις καταναλωτικές του συνήθειες (βλέπε σελίδα 155) ή να αποσυνδέσει μη-κρίσιμα ηλεκτρικά φορτία στις εγκαταστάσεις του. Βέβαια εδώ πρέπει να τονίσουμε και πάλι ότι όλη η διαδικασία του πελάτη με την ιστοσελίδα ελέγχου του μετρητή, μπορεί να αυτοματοποιηθεί χωρίς να απαιτείται η ανάμειξη του, με την χρήση λογισμικού υποστήριξης αποφάσεων **Expert System** (βλέπε σελίδα 161) στις εγκαταστάσεις του πελάτη και με την εισαγωγή μονάχα των γενικών προτιμήσεων-κριτηρίων του. Εδώ δίνεται και η δυνατότητα ο Expert αλγόριθμος να συμπεριλαμβάνεται στον PHP κώδικα της ιστοσελίδας ελέγχου.

Η FU10 αποτελείται από μια βάση δεδομένων **MySQL** που τρέχει σε έναν κεντρικό υπολογιστή δικτύου MySQL. Η FU10 χρησιμεύει ως η καρδιά της επεξεργασίας δεδομένων του συστήματος, της διαχείρισης και της αποθήκευσης. Όλες οι σχετικές πληροφορίες που αφορούν την τιμολόγηση και την διατήρηση του πελατολογίου, δεδομένα ελέγχου και τα φυσικά στοιχεία κατανάλωσης ενέργειας αποθηκεύονται σε αυτήν την βάση δεδομένων.

Η μονάδα FU11 εκτελεί την σύνδεση μέσω internet του λογισμικού τιμολόγησης και ελέγχου των μετρητών FU12, που είναι εγκαταστημένο στους υπολογιστές της κεντρικής υπηρεσίας (Utility Room), με τον Web server και την βάση δεδομένων του FU10.

Η μονάδα FU12 αποτελείται από ένα ειδικευμένο λογισμικό πακέτο με ένα φιλικό στον χρήστη περιβάλλον επικοινωνίας (user friendly front-end), ικανό να συνδέεται με την FU10 και να εξάγει πληροφορίες τιμολόγησης και να εισάγει σήματα ελέγχου του έξυπνου μετρητή και τιμοκαταλόγους πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Το λογισμικό της μονάδας FU12 παράγει επίσης σε μορφή PDF τους λογαριασμούς χρέωσης των πελατών για τους προσυμφωνηθέντες περιόδους κατανάλωσης.

Συνοψίζοντας, το smart meter, επικοινωνεί καθημερινά με την κεντρική υπηρεσία τιμολόγησης στέλνοντας δεδομένα κατανάλωσης και τιμολόγησης του πελάτη καθώς και λαμβάνει τιμοκαταλόγους (multi-tariff) από την κεντρική υπηρεσία αλλά και εντολές ελέγχου. Ο πελάτης μπορεί όποτε θελήσει να κάνει login στην σελίδα του smart meter και να ενημερωθεί για την κατανάλωση και χρέωση του αλλά και να στείλει τις δικές του εντολές – προτιμήσεις στο smart meter. Το smart meter δείχνει επίσης χρήσιμες πληροφορίες κατανάλωσης και τιμολόγησης και κατάσταση λειτουργίας του στην οθόνη του.

Προδιαγραφές του Συστήματος

Είσοδοι – Εξοδοι

- Ο μετρητής έχει δύο εισόδους, το καλώδιο της φάσης L και το καλώδιο του ουδετέρου N που προέρχονται από τον υποσταθμό διανομής χαμηλής τάσης του δικτύου ηλεκτροδότησης.
- Ο μετρητής έχει τρεις εξόδους, ένα καλώδιο ουδετέρου N που διατρέχει όλα τα ηλεκτρικά φορτία του πελάτη, και δύο καλώδια φάσης 220V, L₁ για την ηλεκτροδότηση των κανονικών ηλεκτρικών φορτίων του πελάτη και ένα καλώδιο φάσης L₂ για την ηλεκτροδότηση των μη-κρίσιμων ηλεκτρικών φορτίων του πελάτη της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ο μετρητής διαθέτει και καλώδιο για σύνδεση με την γείωση της εγκατάστασης του πελάτη.
- Ο μετρητής είναι εξοπλισμένος με μια εσωτερική κοντή κεραία τύπου stub για την κανονική πρόσβαση στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας GSM, εντούτοις, σε κακές συνθήκες υποδοχής GSM, η κεραία stub πρέπει να αποσυνδεθεί και να αντικατασταθεί με άλλη εξωτερική κεραία υψηλού κέρδους λήψης.

Γενικές Προδιαγραφές

- Ο μετρητής πρέπει να είναι σε θέση να εργαστεί με μονοφασική ηλεκτροδότηση 220V 50Hz και για οικιακούς πελάτες ενέργειας.
- Ο μετρητής πρέπει να είναι σε θέση να μετρήσει την κατανάλωση ενέργειας 220V 50Hz μονοφασικό με ελάχιστη επιτρεπτή ακρίβεια Class II.
- Ο μετρητής πρέπει να είναι συμβατός με τη χρησιμοποίηση κάποιας μορφής μεταβλητής τιμολόγησης multi-tariff.
- Ο μετρητής πρέπει να έχει AMR (αυτοματοποιημένη ανάγνωση μετρητή) απαλείφοντας την ανάγκη για χειροκίνητη ανάγνωση του.
- Ο μετρητής πρέπει να είναι σε θέση να αποσυνδέσει την ηλεκτροδότηση στα **μη-κρίσιμα** ηλεκτρικά φορτία του πελάτη, υπακούοντας στις εντολές της απομακρυσμένης κεντρικής υπηρεσίας τιμολόγησης **ή του πελάτη**.
- Ο μετρητής πρέπει να είναι σε θέση να **αποσυνδέσει γενικά** την ηλεκτροδότηση του πελάτη, υπακούοντας στις εντολές της απομακρυσμένης κεντρικής υπηρεσίας τιμολόγησης.

Αναλυτικές Προδιαγραφές

Αναφερθείτε στο λειτουργικό διάγραμμα μπλοκ (σχήμα VII).

- Ο έξυπνος μετρητής πρέπει να διασυνδεθεί με το ηλεκτροφόρο καλώδιο εισόδου FU1 με τον ίδιο τρόπο όπως και οι παραδοσιακοί απλοί μετρητές που αντικαθιστά.
- Η έξοδος της γραμμής ηλεκτροδότησης FU2 από τον έξυπνο μετρητή πρέπει να συνδέεται με παρόμοιο τρόπο που συνδέονται και οι απλοί παραδοσιακοί

μετρητές, με την διαφορά ότι πρέπει να δίνεται η δυνατότητα στο μετρητή για διπλή διανομή της γραμμής φάσης 220V του δικτύου ηλεκτροδότησης (L σε L₁, L₂) στις εγκαταστάσεις του πελάτη. Με τον τρόπο αυτό είναι εφικτή η ξεχωριστή και αποκλειστική διακοπή των μη-κρίσιμων ηλεκτρικών φορτίων του πελάτη μέσω του τηλεδιακόπτη FU4.

- Η μονάδα μέτρησης της ενέργειας FU3 πρέπει να είναι σε θέση να μετρήσει την κατανάλωση της ενέργειας ηλεκτρικής τάσης 220V και συχνότητας 50Hz και με σφάλμα ακριβείας μικρότερο του 2% (Class II Accuracy).
- Η υπολογιστική μονάδα και μονάδα ελέγχου (μικροελέγκτης) FU5 πρέπει να είναι σε θέση εκτελεί όλες τις εργασίες της παράλληλα (multitasking) όπως η απαρίθμηση των παλμών που εισάγονται από το κύκλωμα μέτρησης, η οδήγηση της οθόνης LCD και η επικοινωνία με την μονάδα GPRS, δίχως αυτό να επηρεάζει την ορθή λειτουργία του smart meter (π.χ. να μετρήσει λάθος τους ενεργειακούς παλμούς επειδή ταυτόχρονα ενημερώνει και την οθόνη LCD).
- Εκτός από αυτό, FU5 πρέπει να δώσει μια λογική εκτίμηση των υπολογισμών
- διενεργηθεί από FU5 όπως η τρέχων κατανάλωση ισχύος και το τρέχων κόστος της ενέργειας ανά χρονική μονάδα π.χ. 6 KW ή 50 cents/ώρα . Αυτά τα δεδομένα δεν χρειάζεται να είναι ακριβή, αφού όλοι οι σημαντικοί υπολογισμοί είναι διενεργηθεί σε άλλα μέρη του συστήματος και χρησιμοποιούν υπολογισμούς κινητής υποδιαστολής.
- Η οθόνη FU6 πρέπει να παρέχει στο πελάτη τις σχετικές πληροφορίες με τις εκτιμήσεις κατανάλωσης και τιμολόγησης όπως αυτές υπολογίζονται από την FU5 με στόχο την καλύτερη διαχείριση της ζήτησης της ενέργειας από τον πελάτη, Demand Side Management (DSM), ώστε ο πελάτης να ενθαρρυνθεί να μειώσει την κατανάλωση του κατά τις ώρες αιχμής π.χ. μεσημέρι, αφού κατά τις ώρες αυτές η χρέωση ανά KWh, cents/KWh, είναι υψηλότερη και συνεπώς και το όλο χρηματικό κόστος για τον πελάτη της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η μονάδα GPRS FU7 πρέπει αξιόπιστα να εκτελεί την ασύρματη επικοινωνία με τη βάση δεδομένων FU10 όποτε αυτό ζητείται από την FU5. Σε περίπτωση αθέμιτης διακοπής της σύνδεσης, πρέπει σαφώς να ενημερώνεται η FU5 και να αποκαθιστάτε η σύνδεση.
- Η FU9 πρέπει να καταγράψει όλα τα δεδομένα που παραλαμβάνονται από τον ενεργειακό μετρητή σωστά και να τον παρέχει με όλα τα ζητούμενα δεδομένα γρήγορα και σωστά.
- Η FU10 πρέπει να είναι ανά πάσα στιγμή προσβάσιμη αν και αυτό εξαρτάται κατά ένα μεγάλο μέρος από την FU8 και πρέπει επίσης να είναι προσβάσιμη από πολλαπλούς χρήστες ταυτόχρονα χωρίς να δημιουργούνται διενέξεις και συγκρούσεις.
- Η FU12 πρέπει να είναι σε θέση να συνδεθεί με τη βάση δεδομένων FU10 και να εκτελεί όλες τις επιθυμητές από την κεντρική υπηρεσία μεταφορές δεδομένων και εντολών ελέγχου γρήγορα και αξιόπιστα δίχως σφάλματα.

Hardware Design

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζουμε την σχεδίαση του υλικού (Hardware) στην τελική φάση της υλοποίησης του πρωτοτύπου του smart meter.

Τρία είναι τα μπλοκ που απαρτίζουν το smart meter και που μπορούν να αντιστοιχηθούν σε ισάριθμες υλοποιήσεις πλακετών PCB. Το κύκλωμα ελέγχου (control circuit), το ενεργειακό κύκλωμα μέτρησης (energy metering circuit) και η μονάδα ασύρματης επικοινωνίας GPRS.

Το **κύκλωμα ελέγχου** πέρα από τον γενικό συντονισμό του συστήματος είναι υπεύθυνο και για την μέτρηση της καταναλώσας ισχύς (ενέργεια/δευτερόλεπτο) σε μονάδες KW. Μια οικονομική λύση είναι η χρήση ενός μικροελεγκτή όπως ο PIC18F4550 ο οποίος δειγματοληπτεί τα εναλλασσόμενα σήματα ρεύματος i και τάσης v από τις εξόδους των δύο αντίστοιχων αισθητήρων και κάνει τον υπολογισμό[18],

$$P = \frac{V \times I}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

Όπου P είναι η ενεργός (active) τιμή της καταναλώσας ισχύς, V και I οι μέγιστες θετικές τιμές **peak** των σημάτων της τάσης v και του ρεύματος i που μετριοούνται κατά την διάρκεια της περιόδου τους (1/50 sec για συχνότητα δικτύου ηλεκτροδότησης 50Hz). **Θεωρούμε στην παραπάνω εξίσωση (1) ότι το $\cos\phi = 1$, γεγονός που ισχύει για όλες τις οικιακές εγκαταστάσεις.** Στην συνέχεια ο μικροελεγκτής υπολογίζει το μέσο όρο σε όλες αυτές τις στιγμιαίες καταναλώσεις ισχύος για συνολικό χρόνο 1 δευτερολέπτου ώστε τελικά να υπολογίσει την τρέχων κατανάλωση ισχύς σε μονάδες KW και να ενημερώσει την οθόνη LCD του smart meter.

Θα μπορούσε ο μικροελεγκτής να συνεχίσει με την ίδια μέθοδο και να ολοκληρώσει την μετρούμενη P από την σχέση (1) βάση του τύπου,

$$E = \int P dt \quad (2)$$

και να υπολογίσει σε χρονικό διάστημα 1 ώρας την καταναλώσα ηλεκτρική ενέργεια (όχι ισχύ) σε μονάδες KWh αλλά θα συσσωρευόταν μεγάλο σφάλμα μέτρησης επειδή οι ενσωματωμένοι ADCs του μικροελεγκτή PIC18F4550 είναι σχετικά μικρές, για τους σκοπούς της σχεδίασης μας, ακριβείας 10-bit. Για να καλύψουμε τις απαιτήσεις του δυναμικού εύρους των πιθανών τιμών μέτρησης των σημάτων τάσης και ιδίως του ρεύματος (έως 60A) του δικτύου ηλεκτροδότησης, ADCs με ακρίβεια τουλάχιστον 14-bit απαιτούνται. Πράγμα απαγορευτικό για το οικονομικό κόστος του εγχειρήματος μας.

Η παραπάνω αυτή λύση της εξίσωσης (1) είναι αυτή που προτείνεται από την σχεδίαση μας για την ενημέρωση του πελάτη για την τρέχων κατανάλωση ισχύος του σε KW πάνω στην οθόνη LCD του smart meter, αποτελεί όμως μόνο μία ένδειξη για τον πελάτη και δεν χρησιμοποιείται στην τιμολόγηση και χρέωση συνεπώς δεν χρειάζεται να είναι και ακριβείς. Σε καμιά όμως περίπτωση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την (2), όπως εξηγήσαμε λόγο μεγάλου σφάλματος μέτρησης εξαιτίας των χαμηλής

ακρίβειας 10-bit ADCs του χρησιμοποιούμενου μικροελεγκτή, για των υπολογισμό της ενέργειας (KWh) και κατά προέκταση της χρέωσης του πελάτη.

Ούτε όμως και η λύση της χρησιμοποίησης μεγαλύτερης ακρίβειας 14-bit ADCs είναι θεμιτή που αυτό συνεπάγεται και την χρήση άλλου από τον προτεινόμενο, ισχυρότερου με μεγαλύτερη συχνότητα δειγματοληψίας και μεγαλύτερου κόστους μικροελεγκτή πράγμα που θα ανέβαζε σημαντικά το κόστος υλοποίησης του smart meter και πιθανά ασύμφορο για μαζική παραγωγή.

Για όλους τους παραπάνω λόγους μία άλλη σχεδιαστική προσέγγιση απαιτείται.

Εδώ ακριβώς έρχεται το **ενεργειακό κύκλωμα μέτρησης** του smart meter να δώσει την λύση. Το κύκλωμα αυτό στηρίζεται στο φθινό υβριδικό **ολοκληρωμένο chip MCP3905** και δίνει μια ακριβή και γρήγορη μέτρηση της καταναλώσας ηλεκτρικής ενέργειας. Αναλυτική περιγραφή του ενεργειακού κυκλώματος και της λειτουργίας του μπορεί να βρει κάποιος τόσο στην προηγούμενη ενότητα «Ανάλυση λειτουργίας, σελ. 170» όσο και στην συνέχεια.

Επίσης παρακάτω δίνουμε μία αναλυτική περιγραφή της μονάδας ασύρματης επικοινωνίας GPRS.

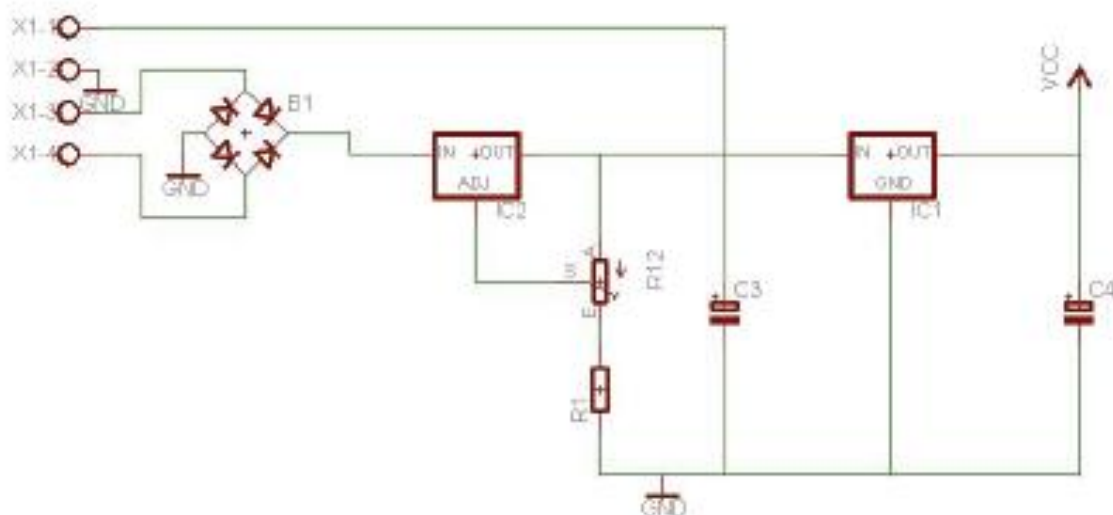
Control circuitry design

Το κύκλωμα ελέγχου είναι υπεύθυνο για την οδήγηση της οθόνης LCD, μετράει τους παλμούς από το ενεργειακό κύκλωμα μέτρησης για τον υπολογισμό της καταναλώσας ηλεκτρικής ενέργειας (KWh) , εκτελεί την επικοινωνία με την μονάδα GPRS, δειγματοληπτεί τα σήματα τάσης και ρεύματος με την βοήθεια των αντίστοιχων αισθητήρων και κάνει τους υπολογισμούς για την εκτίμηση της καταναλώσας ηλεκτρικής ισχύος (KW) και της χρέωσης.

Το κύκλωμα ελέγχου χτίζεται γύρω από το μικροελεγκτή PIC18F4550 και τα περιφερειακά ολοκληρωμένα κυκλώματα ICs. Τα περιφερειακά αυτά ICs είναι ο μετατροπέας επιπέδων τάσης MAX232, ο τελεστικός ενισχυτής LF347, το LEM LTS-25 αισθητήρας ρεύματος (με προενισχυτή) και τα 7805 και LM317T γραμμικοί σταθεροποιητές τάσης.

Υλοποίηση της τροφοδοσίας

Η τροφοδοσία του κυκλώματος ελέγχου του smart meter γίνεται από τροφοδοτικό εναλλακτικής τροφοδοσίας με είσοδο από το δίκτυο ηλεκτροδότησης των 220V ή στην περίπτωση blackout από μία εφεδρική μπαταρία επαναφορτιζόμενη.



Σχήμα VIII: Η τροφοδοσία του κυκλώματος ελέγχου

Το κύκλωμα τροφοδοσίας συνδέεται στις εισόδους του X1-3 και X1-4 είτε με μία εναλλασσόμενη πηγή ισχύος AC ή με μία συνεχή πηγή DC (μπαταρία), τάσης και στις δύο περιπτώσεις μέχρι 20V (στην περίπτωση της AC πηγής χρησιμοποιείται ένα μετασχηματιστής υποβιβασμού τάσης από τα 220V). Αυτή η ισχύς εισόδου (AC ή DC) περνάει μέσα από την γέφυρα ανόρθωσης (για την ανόρθωση της AC κυματομορφής ή για την προστασία από ανάστροφη DC πολικότητα). Το DC που προκύπτει μετά την γέφυρα περνάει μέσα από τον σταθεροποιητή τάσης LM317T και τον πυκνωτή AC απόζευξης και εξομάλυνσης C3. Η σταθεροποιημένη πλέον DC τάση μπορεί να ρυθμιστεί με το ποτενσιόμετρο R12 από 6V έως 14V (θεωρώντας ότι η τάση εισόδου είναι πάντα κατά 2V μεγαλύτερη) ώστε να είναι εφικτό το τροφοδοτικό να μπορεί να συνδεθεί με διαφορετικούς τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών (π.χ. 9V, 12V). Η έξοδος του τροφοδοτικού X1-1 X1-2 αποτελεί το σημείο σύνδεσης για την επαναφόρτιση της μπαταρίας αλλά και την τροφοδοσία της μονάδας GPRS.

Το 7805 ολοκληρωμένο κύκλωμα σταθεροποίησης, στην συνέχεια σταθεροποιεί την τάση Vcc στα 5V και τροφοδοτεί με την τιμή της τάσης αυτή όλο το ψηφιακό κύκλωμα ελέγχου (control circuitry). Όπως στο LM317T έτσι και στην έξοδο του 7805 χρησιμοποιείται ένας ηλεκτρολυτικός πυκνωτής AC απόζευξης και εξομάλυνσης C4. Και οι δύο σταθεροποιητές τοποθετούνται σε ψύχτρες.

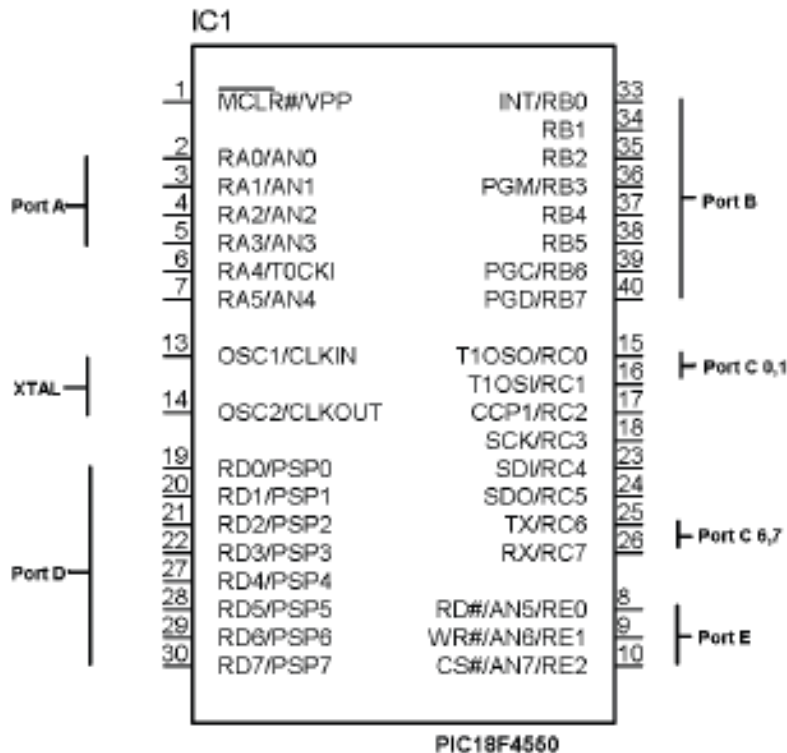
Για την συμμετρική τροφοδοσία του τελεστικού ολοκληρωμένου ενισχυτή LF347 (OPAMP), που χρησιμοποιείται στο αναλογικό τμήμα του κυκλώματος ελέγχου, χρησιμοποιούμε την συμμετρική έξοδο τροφοδοσίας (+10V, -10V) ενός ολοκληρωμένου

κυκλώματος (IC) MAX232, που κατά τα άλλα χρησιμοποιείται για την υλοποίηση της σειριακής επικοινωνίας RS-232. Με τον οικονομικό τρόπο αυτό δεν απαιτείται η υλοποίηση συμμετρικού διπλού σταθεροποιημένου τροφοδοτικού. Το LF347 απαιτεί πολλή μικρό ρεύμα (<3mA).

Υλοποίηση του PIC18F4550

Το PIC18F4550 είναι ένας δεκαεξάμπιτος μικροελεγκτής με 5 λογικούς διαύλους των οποίων 3 είναι πλήρεις οκτάμπιτοι δίαυλοι I/O. Το PIC18F4550 έχει πολλαπλούς ADCs (10-bit), και ενσωματωμένες ικανότητες επικοινωνίας UART και άφθονους timer και interrupt registers.

Ο μικροελεγκτής PIC18F4550 εφαρμόζεται στο κύκλωμα με την ακόλουθη διάταξη. Το PIC18F4550 είναι σε θέση να λειτουργήσει με μία ταχύτητα ρολογιού μεταξύ 8MHz και 48MHz όταν παρέχεται από ένα 8MHz κρύσταλλο. Ο κρύσταλλος συνδέεται με την είσοδο XTAL και αποζευγνύεται ως προς γη με πυκνωτές 22pF. Ο ακροδέκτης (pin) MCLR στο μικροελεγκτή επανακινεί (reset) το λογισμικό του μικροελεγκτή όταν εφαρμοστεί λογικό χαμηλό (0V) στο pin αυτό, έτσι πρέπει να κρατείται σε λογικό υψηλό (5V) για την σωστή λειτουργία του μικροελεγκτή. Επειδή ο μικροελεγκτής κάνει reset επίσης όταν εφαρμοστεί πάνω του η τροφοδοσία και δεν θα απαιτηθεί ποτέ από έναν χρήστη να επανεκκινήσει χειροκίνητα τον μικροελεγκτή μέσα στο smart meter, το pin αυτό συνδέεται μόνιμα στη τροφοδοσία Vcc (5V) με μία pull-up αντίσταση.

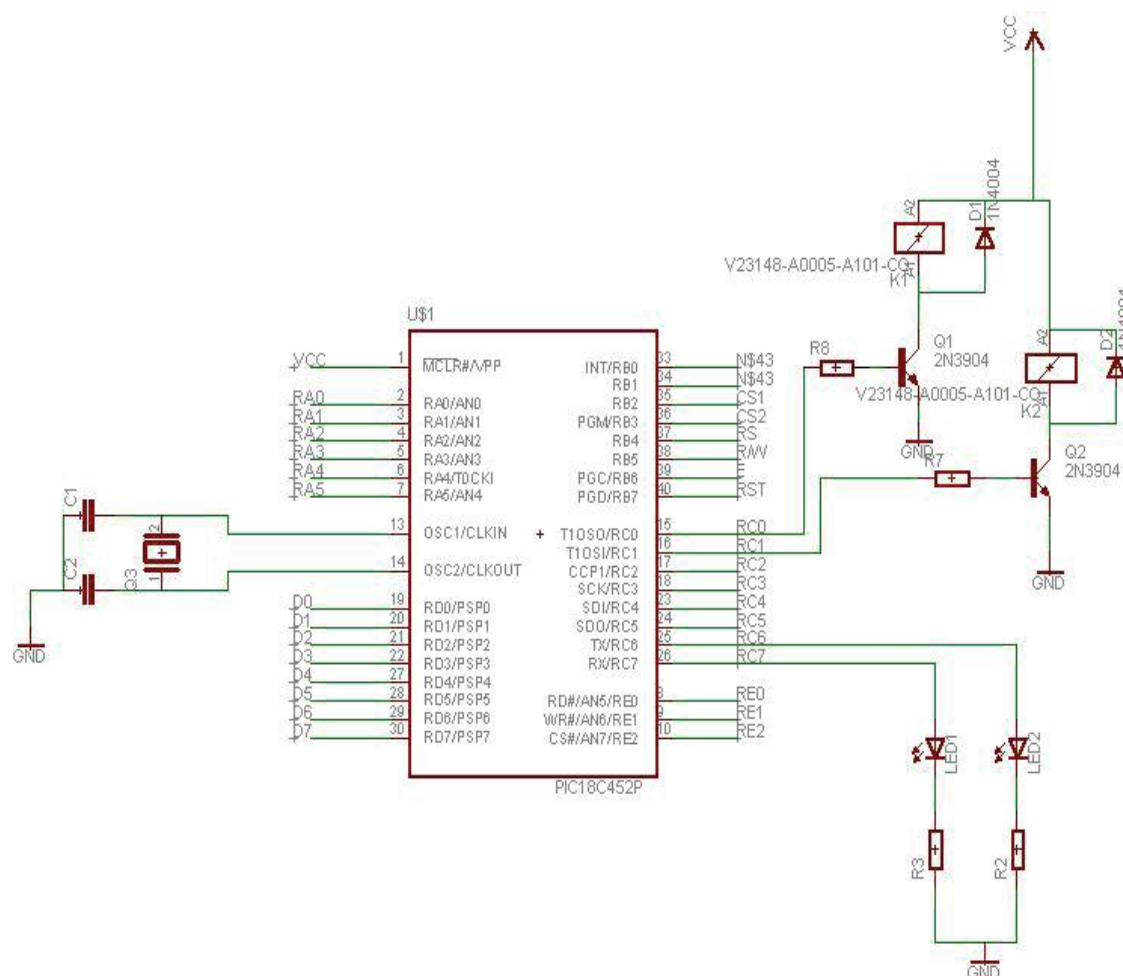


Σχήμα IX: Ο μικροελεγκτής PIC18F4550

Το LCD συνδέεται και με την θύρα B καθώς επίσης και την θύρα D, με τη θύρα B αρμόδια για τα σήματα ελέγχου όπως "reset" και "chip-select" και χρησιμοποιώντας το θύρα D ως την παράλληλη θύρα δεδομένων. Η σειριακή λειτουργία USART και των 40pin του PIC18F'S πραγματοποιείται μέσω των δύο pin της θύρας C (RC6 και RC7) και τα οποία συνδέονται με το MAX232. Τα πρώτα δύο pin της θύρας C (RC0 και RC1) χρησιμοποιούνται ως λογικοί έξοδοι για να ελέγξουν τους τηλεηλεκτρονόμους teleswitch relays την λειτουργία των οποίων αναλύσαμε νωρίτερα.

Όλη η θύρα A μπορεί να τεθεί ως είσοδος του μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (ADC) και επομένως σύνδεσης με τα κυκλώματα των αισθητήρων τάσης και ρεύματος (voltage and current transducer).

Η θύρα Ε χρησιμοποιείται για την μέτρηση των παλμών που προέρχονται από το ενεργειακό κύκλωμα μέτρησης.

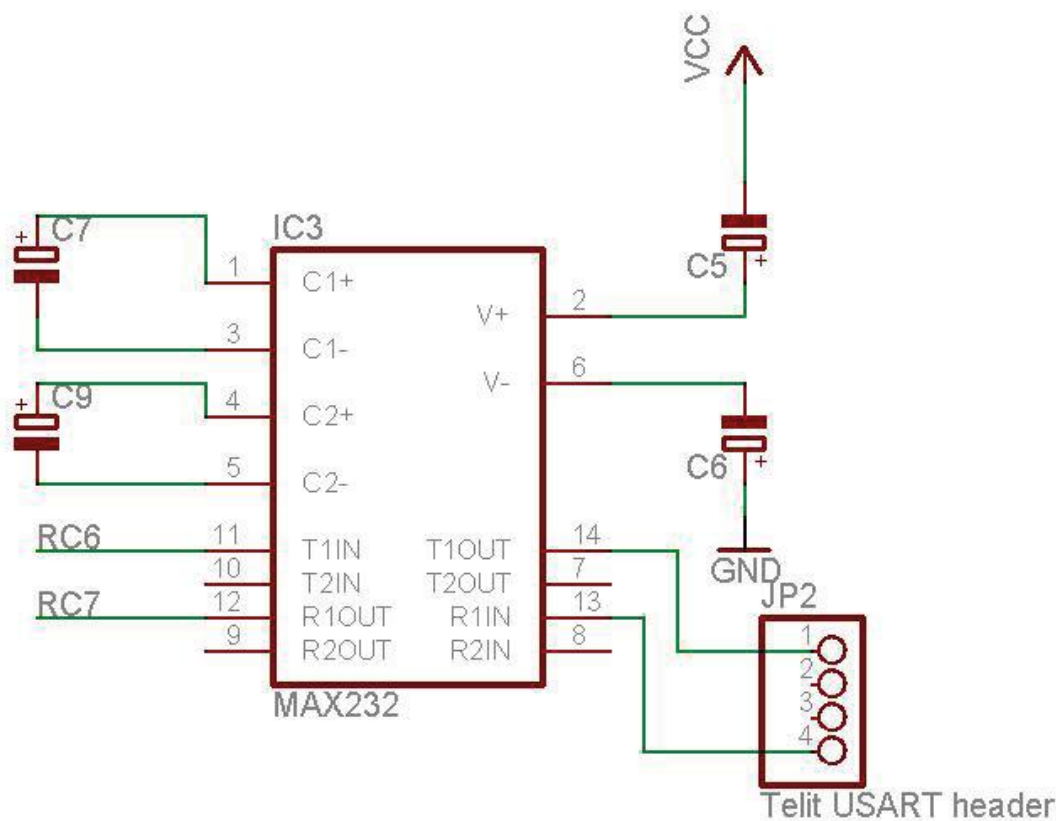


Σχήμα X: Το κύκλωμα του PIC18F4550

Υλοποίηση του MAX232

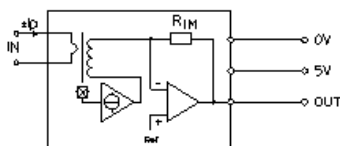
Το ολοκληρωμένο κύκλωμα μετατροπής επιπέδων τάσης MAX232 εφαρμόστηκε ακριβώς όπως καθορίζεται από το data sheet του κατασκευαστή του με εξαίρεση τη

μεγαλύτερη του αντλία ρεύματος (current pump) που καθορίζεται από τους πυκνωτές C7 C9, και AC απόζευξη των πυκνωτών C5 C6 (100uF αντί 1uF) από αυτούς που προτείνει ο κατασκευαστής για να επιτρέψουν την αύξηση της δυνατότητας παροχής ρεύματος του MAX 232 στις εξόδους συμμετρικής τροφοδοσίας V+ V- ,(+10V -10V). Αυτό έγινε για να καλυφθούν οι απαιτήσεις για πρόσθετο ρεύμα τροφοδοσίας που απαιτείται για την λειτουργία του τελεστικού ενισχυτή LF347 και ο οποίος τροφοδοτείται από τις εξόδους συμμετρικής τροφοδοσίας V+ V- , του MAX232.



Σχήμα XI: Το κύκλωμα του MAX232

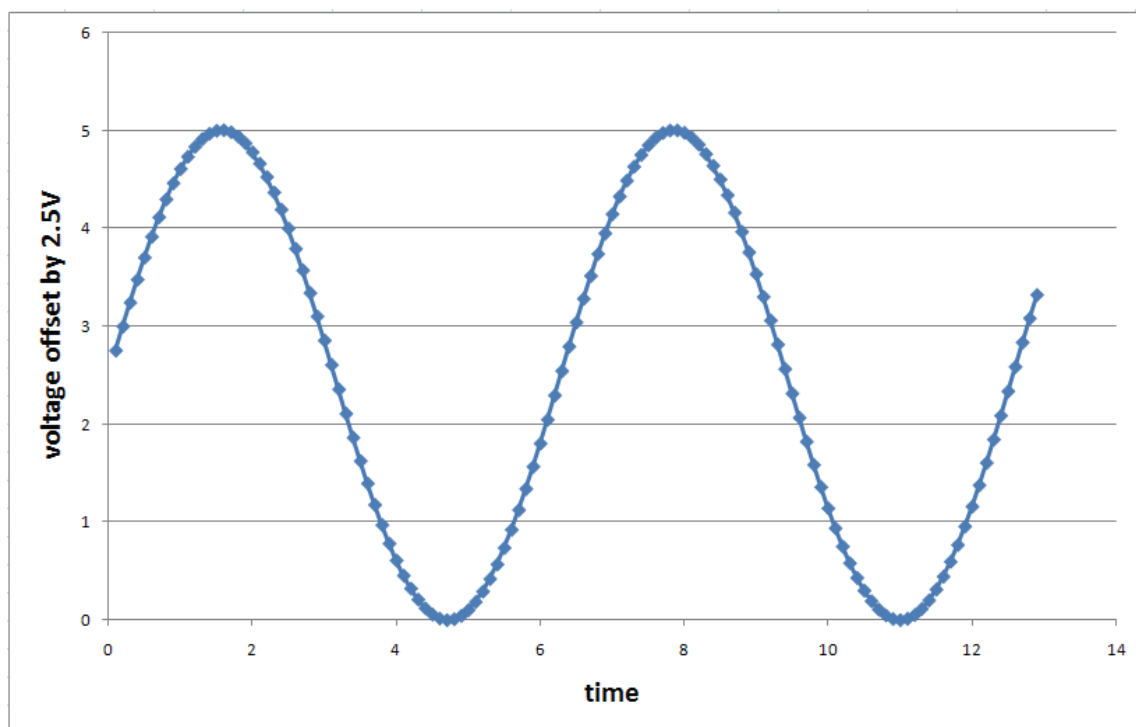
Υλοποίηση των κυκλωμάτων αισθητήρων τάσης και ρεύματος



Το αισθητήριο LEM LTS-25 μετατροπέας ρεύματος (current transducer), βλέπε φωτογραφία, χρησιμοποιείται. Αυτό το εξάρτημα, είναι ιδανικό για την ψηφιοποίηση και μέτρηση του ρεύματος που περνάει από το δίκτυο

ηλεκτροδότησης του πελάτη και που μαζί με την μέτρηση της τάσης αυτά τα δύο μεγέθη χρησιμοποιούνται από το smart meter για τον υπολογισμό της καταναλώσας ηλεκτρικής ισχύς. Η μέτρηση αυτή δεν θα ήταν αλλιώς δυνατή εξαιτίας των μεγάλων ρευμάτων στην εγκατάσταση του πελάτη που δεν ενδείκνυνται για ψηφιακή μέτρηση. Αυτό που κάνει λοιπόν το αισθητήριο ρεύματος LEM LTS-25 είναι ότι μετατρέπει το μεγάλο AC ρεύμα σε ένα αντιστοίχως ανάλογο μικρό AC σήμα τάσης ιδανικό για ψηφιακή μέτρηση (βλέπε

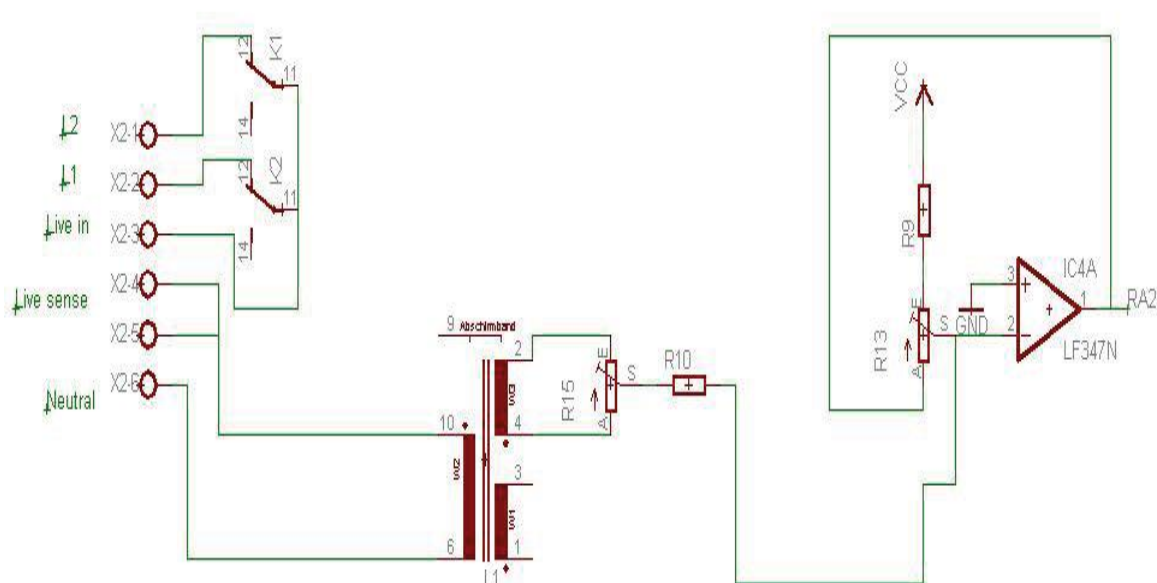
σχήμα XII). Το μέγιστο πλάτος peak-peak του σήματος αυτού είναι +5V (το LEM LTS-25 προσθέτει αυτόματα μία τάση αντιστάθμισης στη αρνητική ημιπερίοδο του σήματος +2.5V) που αντιστοιχεί στο μέγιστο ρεύμα στην εγκατάσταση του πελάτη που μπορεί να μετρήσει το smart meter. Το δυναμικό αυτό εύρος της εξόδου του αισθητηρίου ταυτίζεται με το δυναμικό εύρος των σημάτων που μπορεί να ψηφιοποιήσει και ο ADC του smart meter.



Σχήμα XII: Η έξοδος του αισθητηρίου ρεύματος LEM LTS-25

Ομοίως το ίδιο αποτέλεσμα επιδιώχτηκε για το αισθητήριο τάσης ή αλλιώς μετατροπέα τάσης (voltage transducer). Το κύκλωμα του αισθητηρίου τάσης πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας έναν μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσης (μετατροπέας τάσης), στην συνέχεια με την βοήθεια ενός κυκλώματος αναλογικού αθροιστή που υλοποιείται με έναν τελεστικό ενισχυτή LF347, και τα ποτενσιόμετρα R15 και R13 ρυθμίζουμε το δυναμικό εύρος της εξόδου του LF347 να είναι όσο και αυτό του αισθητηρίου ρεύματος LEM LTS-25, δηλαδή 0V έως 5V. Το εύρος αυτό είναι αντιστοίχως ανάλογο με δυναμικό εύρος της πιθανής διακύμανσης της τάσης ηλεκτροδότησης που θέλουμε να μετρήσουμε π.χ. $210\text{VAC} \div 240\text{VAC}$ και είναι κατάλληλο για ψηφιοποίηση από τον ADC (Analog to Digital Converter).

Στο παραπάνω σχήμα διακρίνουμε επίσης, πέρα από την είσοδο της φάσης ηλεκτροδότησης (μονοφασική) Live in και τον ουδέτερο Neutral, τις δύο ξεχωριστές παροχές L_1 και L_2 του smart meter που ελέγχονται από του τηλεηλεκτρονόμους (teleswitch relays) που προαναφέραμε K1 και K2.



Σχήμα VIII: Το κύκλωμα του αισθητηρίου τάσης

Υλοποίηση της μονάδας GPRS



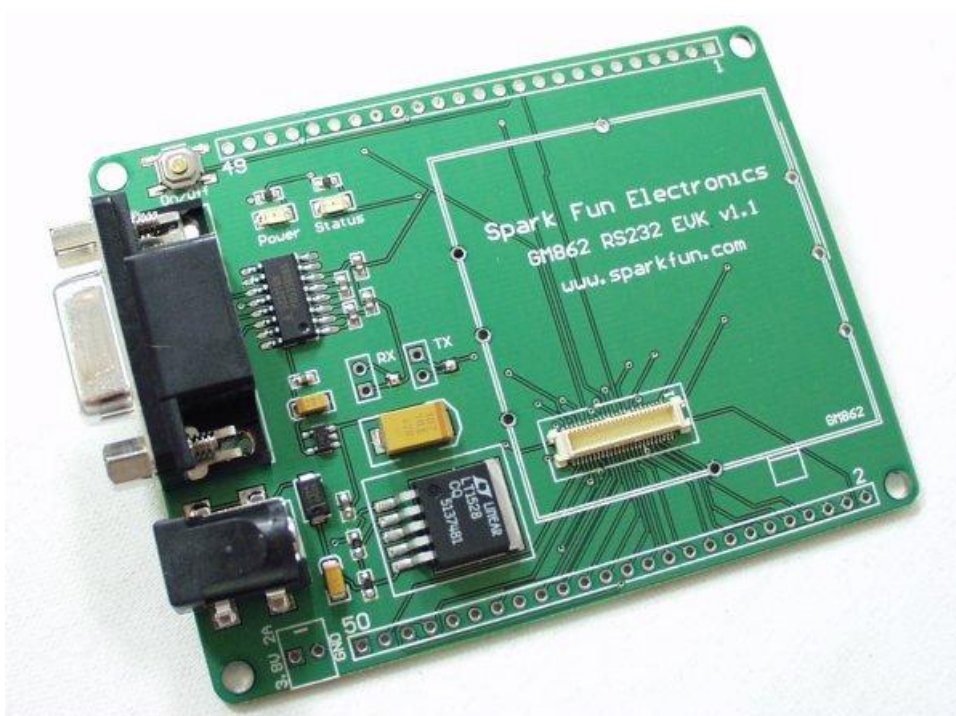
Η μονάδα GPRS χρησιμοποιεί την μονάδα Telit GM862³ μαζί με το λογισμικό προγραμματισμού της. Η μονάδα αυτή είναι πλήρως RF θωρακισμένη σε μεταλλική θήκη και διασυνδέεται με τον έξω κόσμο μέσω ενός συνδετήρα Molex 52991-0508 για τα δεδομένα και ενός MMCX θηλυκού βύσματος RF ως σύνδεση κεραίας. Μία πλήρης εξοπλισμένη αναπτυξιακή PCB της SparkFun⁴ διασύνδεσης GPRS με RS-232 χρησιμοποιείται για την διασύνδεση της μονάδας GPRS με το υπόλοιπο κύκλωμα του smart meter. Η αναπτυξιακή πλακέτα διαθέτει τον σταθεροποιητή τάσης LT1528⁵ στα 3.8V και 3A για να μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις σε εκρήξεις ρεύματος που απαιτεί η GPRS μετάδοση. Επειδή το GM862 χρησιμοποιεί για σειριακή επικοινωνία USART 3.3V στις γραμμές του Rx και Tx, η αναπτυξιακή πλακέτα χρησιμοποιεί το ολοκληρωμένο IC μετατροπέα επιπέδων τάσης RS232, MAX3232⁶ για την σειριακή επικοινωνία USART του GPRS με τον μικροελεγκτή του smart meter.

³ http://www.coolcomponents.co.uk/catalog/product_info.php?cPath=26&products_id=46

⁴ <http://www.sparkfun.com/products/477>

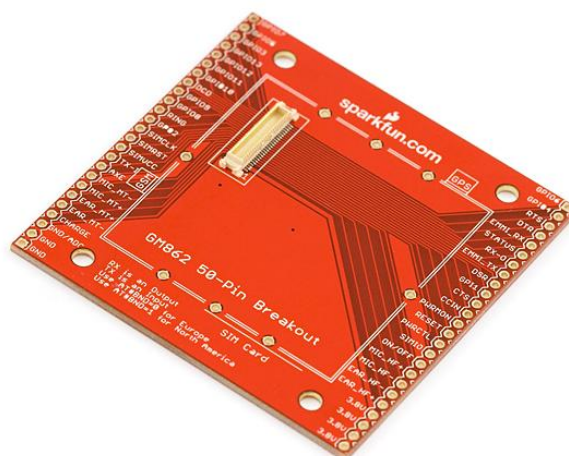
⁵ <http://www.linear.com/pc/productDetail.jsp?navId=H0,C1,C1003,C1040,C1055,P1048>

⁶ <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/MAX3222-MAX3241.pdf>



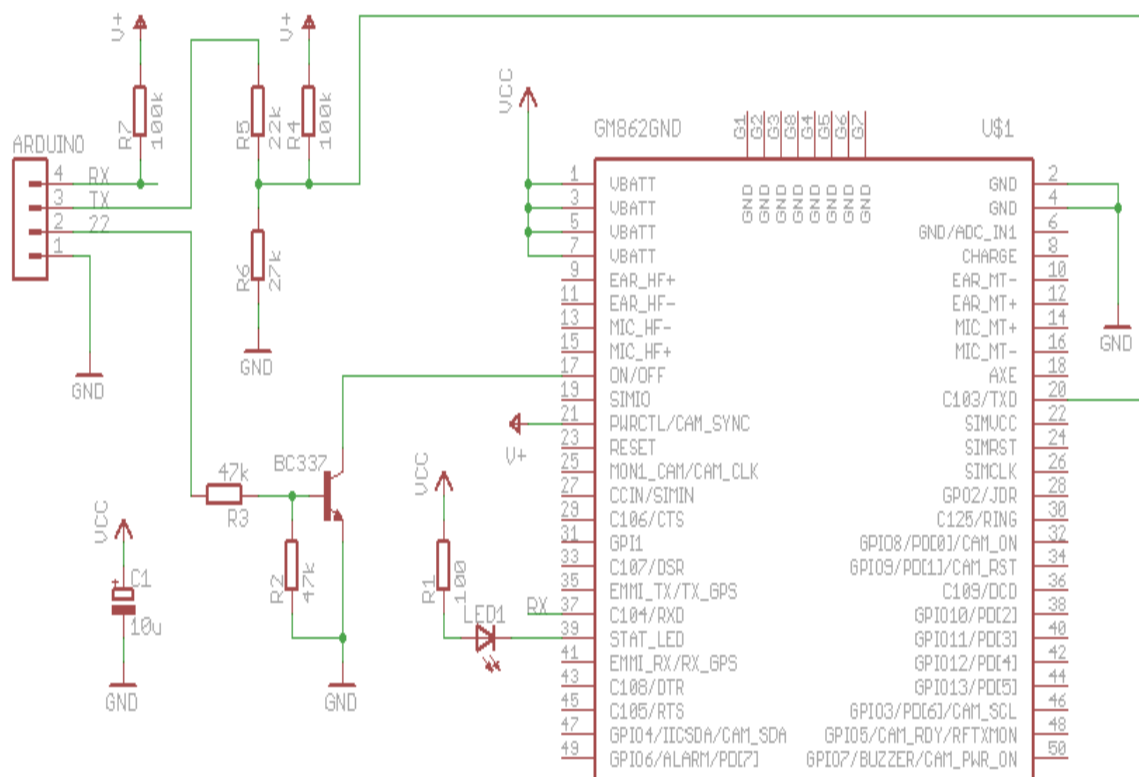
Σχήμα IXIV: Πλακέτα ανάπτυξης εφαρμογής GM862 σε RS-232 της Spark Fun

Εναλλακτικά, για να μειώσουμε το κόστος υλοποίησης της GPRS μονάδας μπορούμε να κατασκευάσουμε οι ίδιοι το κύκλωμα διασύνδεσης του GM862 σε RS-232 χρησιμοποιώντας τα IC του εμπορίου MAX3232, LT1528 και την βασική breakout πλακέτα SparkFun Basic, δίχως τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα κολλημένα πάνω της παρά μονάχα το βύσμα σύνδεσης Molex για τη σύνδεση της με το GM862.



Σχήμα XV: Η έτοιμη βασική πλακέτα της Spark Fun

Το βασικό κύκλωμα της πλακέτας διασύνδεσης (interface board) του GM862 φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα XVI: Το βασικό κύκλωμα διασύνδεσης του GM862⁷

Η σύνδεση του μικροελεγκτή με το GM862 είναι εύκολη. Μόνο τρεις συνδέσεις απαιτούνται.

- Tx (pin 3 βύσμα)
- Rx (pin 4 βύσμα)
- Gnd (pin 1 βύσμα)

Οι ακροδέκτες Tx και Rx συνδέονται απευθείας με το MAX3232 της μονάδας GPRS. Το pin 2 (βλέπε βύσμα) είναι το on/off του GM862 και συνδέεται μόνιμα με την γη (αντίσταση R2) μέσω ενός τρανζίστορ ώστε να εξασφαλιστεί η συνεχή λειτουργία του GM862. Στο παραπάνω κύκλωμα **δεν απαιτείται** και πρέπει να **παραληφθεί** ο διαιρέτης τάσης των αντιστάσεων R5 – R6 αφού στην υλοποίηση μας χρησιμοποιούμε το MAX3232 για την μετατροπή των τάσεων σε επίπεδα RS-232. Η τάση τροφοδοσίας Vcc είναι η σταθεροποιημένη τάση εξόδου 3.8V του LT1528. Η τροφοδοσία της όλης

⁷ <http://tinkerlog.com/2009/05/15/interfacing-arduino-with-a-telit-gm862/>

μονάδας GPRS γίνεται από τα σημεία X1-1 & X1-2 του κυκλώματος ελέγχου όπως προαναφέραμε (βλέπε σχήμα VIII σελίδα 177).

Energy metering circuitry design

Το ενεργειακό κύκλωμα μέτρησης είναι βασισμένο στο Microchip MCP3905⁸ ολοκληρωμένο κύκλωμα. Το MCP3905 είναι ένας DSP⁹ ολοκληρωτής ισχύος που παράγει μία παλμική έξοδο ανάλογη προς το ποσό ενέργειας που καταναλώθηκε. Το MCP3905 χρησιμοποιεί στο εσωτερικό του δύο 14-bit ADCs για να δειγματολογήσει την τάση και το ρεύμα. Το μεγάλο πλεονέκτημα του MCP3905 είναι ότι παρουσιάζει σχεδόν μηδενικό σφάλμα γραμμικότητας για όλο το δυναμικό εύρος των τιμών ισχύος του smart meter που καλείται να μετρήσει και είναι σχετικά πολλή φθηνό IC, ποιο φθηνό ακόμη και από ένα μεμονωμένο ολοκληρωμένο ADC 14-bit τύπου διαδοχικής προσέγγισης. Το χαμηλό του κόστος το οφείλει βασικά στο ότι οι δύο ADC που περιλαμβάνει είναι τύπου Σ-Δ (χρησιμοποιούν την πράξη της ολοκλήρωσης) που όπως είναι γνωστό είναι ένα από τα μικρότερα και λιγότερο πολύπλοκα κυκλώματα μετατροπέα που παράλληλα επιτυγχάνουν μεγάλης ακρίβειας μετατροπή και είναι ιδανικά όταν δειγματοληπτούμε αναλογικά σήματα χαμηλής συχνότητας όπως στην περίπτωση μας 50 Hz.

Το MCP3905 χρειάζεται τα διάφορα περιφερειακά υποσυστήματα για να λειτουργήσει κατάλληλα. Αξίζει να αναφέρουμε, εντούτοις, ότι το MCP3905 απαιτεί μια άμεση ωμική σύνδεση (connector shunt) αλλά και μέσω διαιρέτη τάσης της φάσης L (Live) 220V του δικτύου ηλεκτροδότησης με την αναλογική και ψηφιακή του γη (GND) θέτοντας τον καθορισμένο κίνδυνο βραχυκυκλώματος με οτιδήποτε εξωτερικό κύκλωμα (π.χ κύκλωμα ελέγχου) συνδέεται μεταξύ των ουδέτερο N (Neutral) ή τη γείωση του δικτύου ηλεκτροδότησης και του MCP3905. Αυτή η πιθανότητα κάνει την χρήση οπτοζευκτών απαραίτητη.

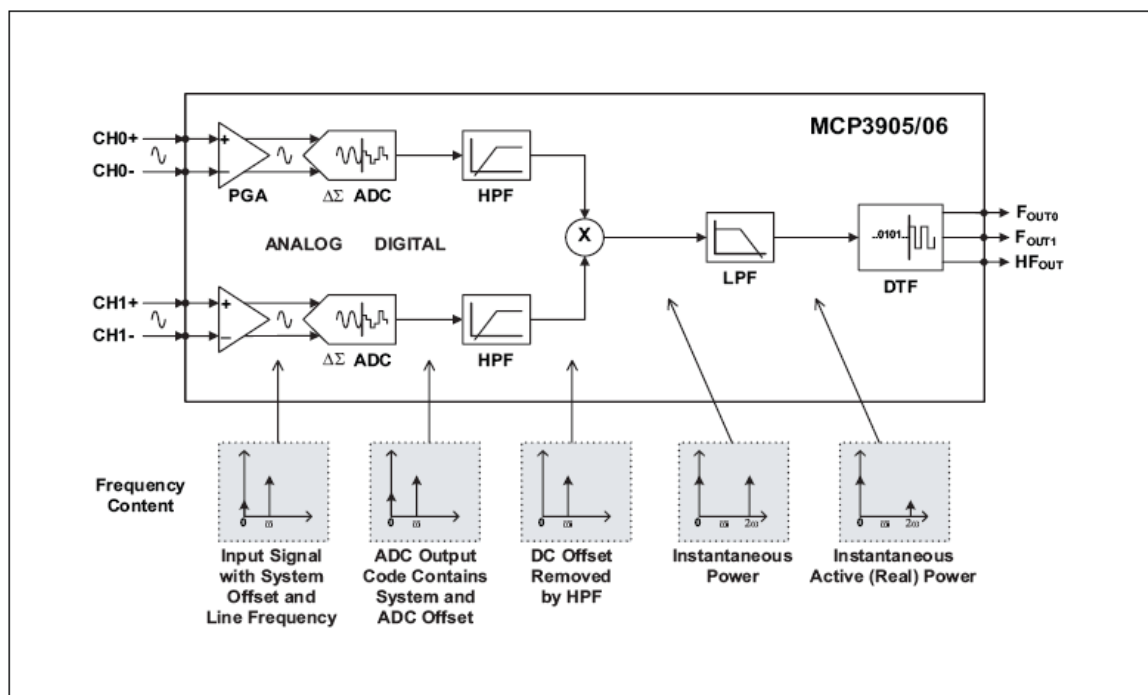
Η σωστή υλοποίηση του MCP3905 απαιτεί μερικά πολύ ακριβά περιφερειακά ηλεκτρικά εξαρτήματα από τα οποία το ακριβότερο είναι ένας βραχυκλωτήρας current shunt¹⁰ ακρίβειας (315 $\mu\Omega$). Για λόγους περιορισμού τους κόστους υλοποίησης του smart meter μία εναλλακτική λύση στο πρόβλημα επιλέχτηκε. Η λύση αυτή είναι η αντικατάσταση του εν λόγω βραχυκλωτήρα με ένα υποκατάστατο υπολογισμένο μήκος ηλεκτρικού αγωγού που παρουσιάζει μια παρόμοια ωμική αντίσταση. Η αντικατάσταση με αυτό το μήκος αγωγού θα μειώσει το μέγιστο ρεύμα¹¹ (60A) που το smart meter θα είναι σε θέση να χειριστεί αλλά δεν θα έχει επιπτώσεις στα αποτελέσματα του συστήματος ειδικά.

⁸ <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/51565a.pdf>
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/51567a.pdf>
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00994a.pdf>
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/51567b.pdf>

⁹ Digital Signal Processing

¹⁰ Ειδικής κατασκευής βραχυκλωτήρας εμπορίου συγκεκριμένης μικρής ωμικής αντίστασης μεγάλης ακρίβειας η οποία όμως δεν αλλάζει τιμή λόγω θερμικής ολίσθησης αλλά παραμένει πρακτικά σταθερή καθώς αυξάνεται το ρεύμα που τον διαρρέει, κατάλληλος για μέτρηση μεγάλων ρευμάτων με την έμμεση μέθοδο $I=V/R$.

¹¹ Επειδή το κομμάτι του χάλκινου αγωγού με το οποίο θα υποκαταστήσουμε το current shunt του εμπορίου θα έχει μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής ολίσθησης της αντίστασης του με άμεσο κίνδυνο οι μετρήσεις μας να μην είναι αξιόπιστες για όλο το εύρος μεταβολής του ρεύματος ηλεκτροδότησης, περιορίζουμε το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να χειριστεί το smart meter από τα 60A που είχαν αρχικά οι προδιαγραφές στα 30A τελικά ώστε το φαινόμενο της θερμικής ολίσθησης να θεωρηθεί αμελητέο.



Σχήμα XVII: Το MCP3905 ολοκληρωμένο κύκλωμα IC

Το παραπάνω σχηματικό συνοψίζει την λειτουργία του MCP3905.

Τα κανάλια εισόδου **CH0** και **CH1** συνδέονται με το current shunt και τον διαιρέτη τάσης αντίστοιχα (βλέπε σχήματα XIX & XX σελ. 189&191). Έτσι το CH0 συνδέεται παράλληλα με το *χειροποίητο* μας current shunt για την μέτρηση του ρεύματος **i** ηλεκτροδότησης (το pin CH0+ συνδέεται με το άνω άκρο του current shunt το οποίο ενώνεται με τα 220V του δικτύου ηλεκτροδότησης ενώ το pin CH0- συνδέεται με το άλλο άκρο του current shunt που είναι ενωμένο με την γη του αναλογικού τμήματος του κυκλώματος του ενεργειακού μετρητή, AGND).

Ομοίως, το CH1 συνδέεται παράλληλα στα άκρα της τελευταίας αντίστασης στη σειρά του διαιρέτη τάσης για την μέτρηση της τάσης **v** του δικτύου ηλεκτροδότησης (το pin CH1+ συνδέεται με το άνω άκρο της αντίστασης ενώ το pin CH1- συνδέεται με το άλλο άκρο της αντίστασης που είναι ενωμένο με την AGND).

Στην συνέχεια αφού, τα αναλογικά σήματα **i** και **v** ενισχυθούν κατάλληλα από τους προγραμματιζόμενους κέρδους ενισχυτές PGA ώστε να ταιριάζουν με το δυναμικό εύρος μέτρησης του MCP3905, δειγματοληπτιθούν, ψηφιοποιηθούν από τους Σ - Δ ADCs και επεξεργαστούν κατάλληλα από τα υπερπερατά HPF φίλτρα, είναι έτοιμα να πολλαπλασιαστούν μεταξύ τους ψηφιακά. Το παράγωγο είναι η στιγμιαία ισχύς ενώ με την βοήθεια ενός χαμηλοπερατού ψηφιακού φίλτρου LPF μετατρέπουμε την στιγμιαία τιμή της μετρούμενης ισχύος σε ενεργό (πραγματική) τιμή της καταναλώσας ισχύος.

Τέλος, ένας μετατροπέας ψηφιακού σήματος σε συχνότητα **DTF** διαμορφώνει την μετρούμενη πραγματική ισχύ σε σήμα *τετραγωνικών παλμών* στην έξοδο του MCP3905 συχνότητας ανάλογη με την μετρούμενη ενεργό τιμή, βλέπε εξίσωση (1), της ισχύος.

Το συγκεκριμένο ολοκληρωμένο MCP3905 εξάγει την ώρα 1000 παλμούς για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ίση με 1 KWh. Έτσι ένας παλμός ισοδυναμεί με 1/1000 της KWh.

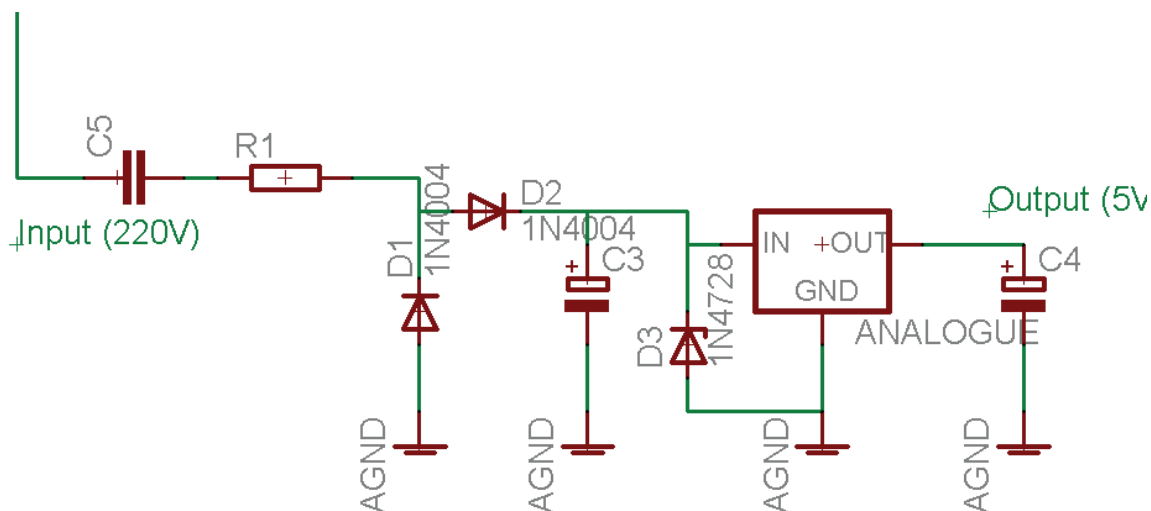
Από τη προηγούμενη παράγραφο προκύπτει ότι είναι εύκολο για τον μικροελεγκτή να μετρήσει τους παλμούς που εξάγει το MCP3905 σε διάστημα μιας ώρας και να υπολογίσει την καταναλώσα από τον πελάτη ηλεκτρική ενέργεια και φυσικά κατά προέκταση να κάνει την χρέωση βάση των τιμοκαταλόγων που έχει λάβει το smart meter.

«Πρέπει να τονίσουμε όμως στο σημείο αυτό ότι επειδή ο PIC18F4550 μικροελεγκτής δεν διαθέτει μονάδα πράξεων κινητής υποδιαστολής (floating point), η διαδικασία που προτείνεται είναι να μετράει τους παλμούς, να αναφέρει στην οθόνη για την απλή ενημέρωση του πελάτη (δεν χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια) την εκτίμηση του για την χρέωση του ανά ώρα (π.χ. 50 cents / h) και να αποστέλλει στη απομακρυσμένη βάση δεδομένων μέσω του GPRS, τον αριθμό των παλμών που μέτρησε και από εκεί και πέρα η Κεντρική Υπηρεσία Τιμολόγησης να κάνει τους ακριβείς υπολογισμούς».

Το πλεονέκτημα της παραπάνω μεθόδου είναι ότι απλουστεύεται έτσι η σχεδίαση του smart meter και το κόστος υλοποίησης, όλες οι βαριές πράξεις της χρέωσης γίνονται κεντρικά, και παράλληλα μπορούν να υπολογιστούν και διάφορα στατιστικά στοιχεία και γραφήματα που αφορούν την κατανάλωση και χρέωση του πελάτη οι οποίες αυτές πληροφορίες θα αποστέλλονται πίσω στον πελάτη που θα ενημερώνεται από την οθόνη ή και σαν συνοδευτικά όταν θα τυπώνεται ο λογαριασμός του.

Υλοποίηση της τροφοδοσίας του MCP3905

Δεδομένου ότι το MCP3905 χρησιμοποιεί μια άμεση σύνδεση βραχυκλωτήρα (current shunt) και διαιρέτη τάσης και όλο το ενεργειακό κύκλωμα γενικά χρησιμοποιεί μία πλωτή¹² γη AGND (floating ground) πρακτικά στα 220V ως προς την γείωση του δικτύου ηλεκτροδότησης, η χρήση κυκλώματος τροφοδοσίας είτε με μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσης ή παλμοτροφοδοτικό αποκλείεται αφού το πρωτεύων τύλιγμα του μετασχηματιστή του τροφοδοτικού θα ήταν βραχυκυκλωμένο. Μια άλλη σχεδιαστική προσέγγιση δίχως την χρήση μετασχηματιστή είναι αναγκαία για να παραχθεί η χαμηλή τάση τροφοδοσίας (5V) DC που απαιτεί το MCP3905 για την λειτουργία του.



Σχήμα XI: Το κύκλωμα τροφοδοσίας του MCP3905

Αυτό το είδος παροχής ηλεκτρικού ρεύματος βρίσκεται συχνά σε οικιακές συσκευές αυτοματοποίησης και ελέγχου που απαιτούν ένα μικρό ποσό συνεχούς ρεύματος για τα στοιχεία του κυκλώματος ελέγχου τους όπως αυτά που βρίσκονται στους αυτόματους λαμπτήρες ημέρας/νύκτας. Η βασική διάταξη αποτελείται από μια πηγή ρεύματος, μια ανόρθωση με εξομάλυνση και μία σταθεροποίηση. Η πηγή ρεύματος που αποτελείται από τον πυκνωτή C5 και την αντίσταση R1 εξασφαλίζει ότι μόνο ένα μικρό κλάσμα της φάσης L ηλεκτροδότησης των 220V εναλλασσομένου θα εφαρμοστεί πάνω στην διάταξη απλής ανόρθωσης που αποτελείται από τις διόδους D1 και D2.

Στην συνέχεια έχουμε την ανόρθωση του εναλλασσομένου AC σε συνεχές DC από την ανορθωτική διάταξη αφού μονάχα η θετική ημιπερίοδος (απλή ανόρθωση έχει στην καλύτερη των περιπτώσεων 50% απόδοση) του περνάει και εφαρμόζεται πάνω στον ηλεκτρολυτικό πυκνωτή εξομάλυνσης DC. Ο πυκνωτής εξομαλύνει αρκετά το κυμαινόμενο DC σήμα που προέρχεται από την ανορθωτική διάταξη αλλά το οποίο έχει αρκετή κυμάτωση και είναι ακόμη ακατάλληλο για τον σκοπό της τροφοδοσίας του MCP3905. Το τελικό ρόλο του φιλτραρίσματος της κυμάτωσης από το DC και την σταθεροποίηση της τιμής τάσης του στα 5V, αναλαμβάνει ο solid-state σταθεροποιητής

¹² Κύκλωμα με πλωτή γη. Η γείωση του κυκλώματος δεν συνδέεται με την ουδετερογείωση του δικτύου ηλεκτροδότησης των 220V.

τάσης 7805T. Ο ηλεκτρολυτικός πυκνωτής C4 είναι για συμπληρωματικό φιλτράρισμα ενώ η διόδος D3 Zener είναι για την προστασία της εισόδου του 7805T από πιθανή υπερβολική τάση που μπορεί να καταστρέψει τον σταθεροποιητή αλλά και για συμπληρωματική σταθεροποίηση.

Υλοποίηση των μετρήσεων με current shunt και διαίρετη τάσης

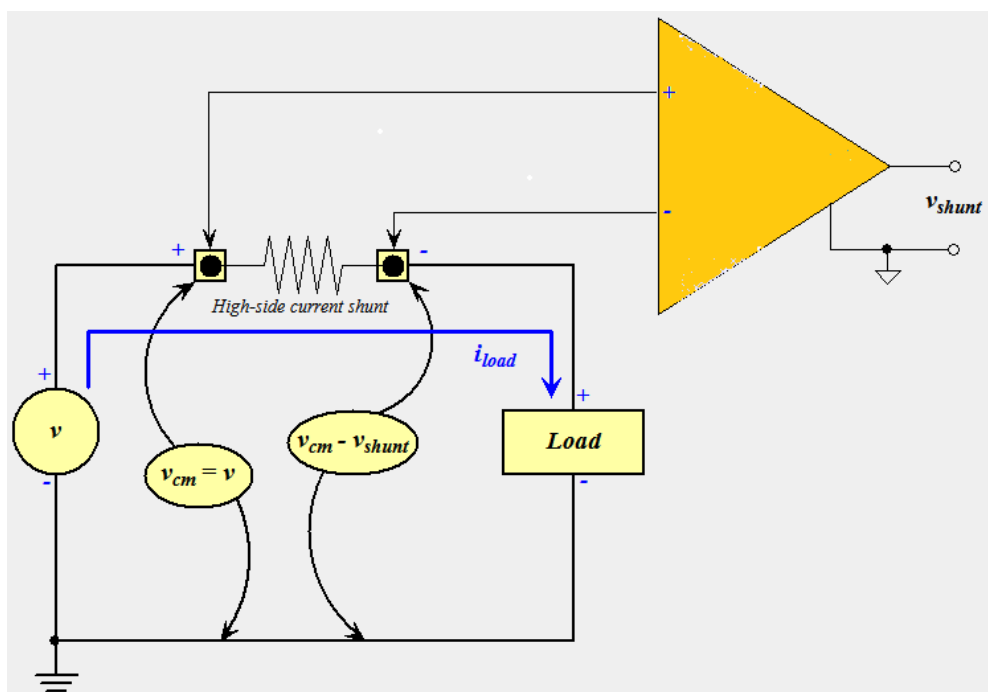


Όπως είδαμε νωρίτερα, για το MCP3905, το ρεύμα μετριέται κατά μήκος ενός δικιάς μας κατασκευής χειροποίητου (όχι του εμπορίου βλέπε εικόνα δίπλα) βραχυκλωτήρα current shunt¹³. Αυτό συνίσταται από ένα μονωμένο χάλκινο μονόκλωνο καλώδιο σταθερής διατομής και ορισμένου μήκους ώστε να παρουσιάζει συγκεκριμένη ωμική και μόνο (δεν του κάνουμε σπείρες) αντίσταση της τάξης των micro Ohm ($\mu\Omega$). Ο βραχυκλωτήρας ενεργεί ως μία πολύ μικρή αντίσταση πάνω στην οποία μία μικρή πτώση τάσης διαμορφώνεται, ανάλογη προς το ρεύμα που τον διαπερνά σύμφωνα με την σχέση του νόμου του Ohm.

$$V = I \times R \quad (3)$$

Από την σχέση (3) συμπεραίνω ότι, μετρώντας την V λαμβάνοντας υπόψη την R είναι ουσιαστικά ένας έμμεσος τρόπος μέτρησης του ρεύματος I . Με την παραπάνω αυτή μέθοδο το smart meter μετράει το ρεύμα του δικτύου ηλεκτροδότησης στην εγκατάσταση του πελάτη.

Η μέθοδος αυτή μέτρησης με βραχυκλωτήρα current shunt φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα XIX: Μέθοδος μέτρησης με current shunt

¹³ <http://www.rc-electronics-usa.com/current-shunt.html>
[http://en.wikipedia.org/wiki/Shunt_\(electrical\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Shunt_(electrical))

Το current shunt παρεμβάλλεται όσο το δυνατό πιο κοντά στην φάση στα 220V της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου ηλεκτροδότησης στην εγκατάσταση του πελάτη (βλέπε πηγή v) ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι παρασιτικές αντιστάσεις λόγω του πρόσθετου μήκους του αγωγού, $v_{cm} = v$. **Load** είναι το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο του πελάτη το οποίο συνδέεται σε σειρά με το current shunt. Current shunt και Load διαρρέονται από το ίδιο ηλεκτρικό ρεύμα i_{load} και καθώς το ρεύμα διαρρέει το current shunt δημιουργείται μία πτώση τάσης v_{shunt} μεταξύ των άκρων του ανάλογη του μεγέθους του ρεύματος υπό μέτρηση i_{load} που το διαρρέει. Η επιστροφή του κυκλώματος από το φορτίο **Load** προς την πηγή v (ουδέτερος) συνδέεται με την γείωση της εγκατάστασης του πελάτη (ουδετερογείωση).

Το σήμα μέτρησης του ηλεκτρικού ρεύματος v_{shunt} στα άκρα του current shunt οδηγείται απευθείας στο κανάλι εισόδου CH0 (CH0+ CH0-) του MCP3905 σε έναν διαφορικό ενισχυτή. Λόγο της πολλής μικρής αντίστασης του current shunt (πρακτικά βραχυκύκλωμα) και οι δύο εισόδου του διαφορικού ενισχυτή «βρίσκονται» στα 220V ως κοινό σήμα (common-mode signal). Ο διαφορικός ενισχυτής θα απορρίψει το κοινό σήμα και θα αφήσει να περάσει και θα ενισχύσει μόνο το διαφορικό σήμα στις εισόδους του, v_{shunt} .



ΠΡΟΣΟΧΗ ΕΔΩ: ΕΧΟΥΝ ΑΝΑΦΕΡΘΕΙ ΠΟΛΛΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΚΦΡΕΣΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΕΣ ΣΕ ΤΕΧΝΙΚΟΥΣ ΠΟΥ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΑΝ ΝΑ ΚΑΝΟΥΝ ΜΙΑ “ΑΠΛΗ” ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΤΙΘΕΜΕΝΩΝ 50mV ΠΑΝΩ ΣΤΟ CURRENT SHUNT ΑΓΝΩΝΤΑΣ ΟΜΩΣ ΤΟ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟ ΚΟΙΝΟ ΣΗΜΑ ΤΩΝ 220V!!

Σημαντική παρατήρηση είναι, όπως φαίνεται και στο σχήμα XIX (διαφορετικά σύμβολα για την γη), ότι η γη του MCP3905 και κατά προέκταση όλου του ενεργειακού κυκλώματος σε αντίθεση με το κύκλωμα ελέγχου και την μονάδα GPRS, δεν συνδέεται με την ουδετερογείωση του δικτύου ηλεκτροδότησης, πλωτή γη (floating ground). Αυτή η σχεδίαση είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την λειτουργία του MCP3905.

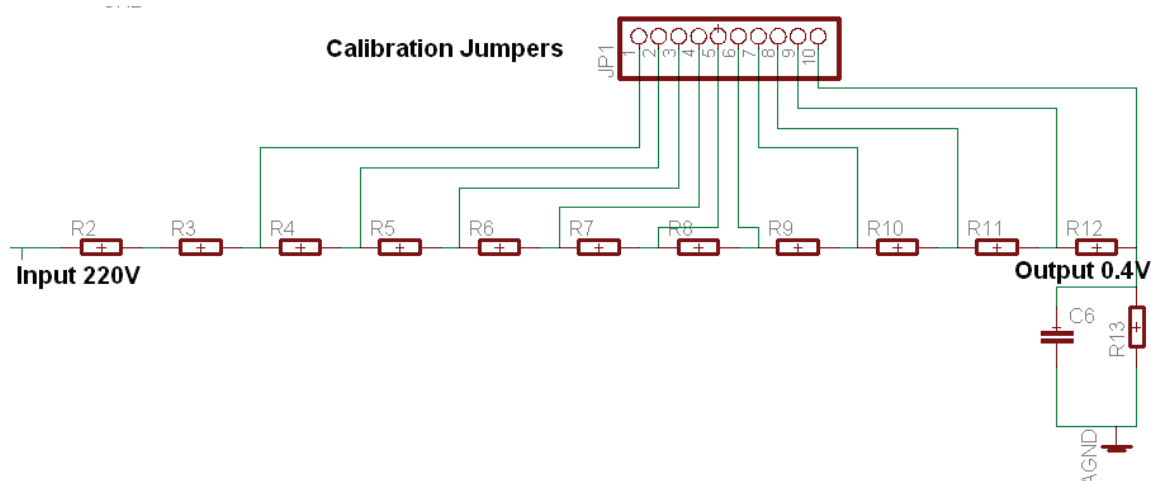
Ο ενσωματωμένος διαφορικός ενισχυτής στο κανάλι μέτρησης του ρεύματος του MCP3905 είναι προγραμματιζόμενος κέρδους τάσης και έτσι υποστηρίζει μια ευρεία γκάμα τιμών βραχυκλωτήρων current shunt. Τα current shunts του εμπορίου είναι πολλοί

ακριβιά, έτσι για λόγους περιορισμού των δαπανών ένα μήκος μονωμένου καλωδίου χαλκού χρησιμοποιείται.

Το μήκος αυτό του αγωγού **current shunt** υπολογίστηκε να παρουσιάζει ονομαστική τιμή αντίστασης **315μΩ** και συν τις όποιες παρασιτικές αντιστάσεις παρουσιαστούν, να δημιουργεί μια πτώση τάσης στα άκρα του ίση με $v_{shunt} = 10\text{mV}$ όταν διαρρέεται από ρεύμα **40 A** που είναι και το μέγιστο ρεύμα για το οποίο έχει σχεδιαστεί το smart meter και μπορεί να μετρήσει. Η σχεδιαστική αυτή μας επιλογή για μια τόσο μικρή τιμή αντίστασης του χρησιμοποιούμενου current shunt και συνεπώς τάσης v_{shunt} είναι και αυτό που προτείνει ο κατασκευαστής του MCP3905 στα Application notes¹⁴, του οποίου chip, προφανώς η είσοδος του CH0 (βλέπε σχήμα XVII σελ.186) που συνδέεται στα άκρα του current shunt μπορεί να χειριστεί ένα τόσο μικρό σήμα και να το ενισχύσει επιτυχώς.

Η επιλογή μιας τόσο μικρής αντίστασης current shunt έχει το άμεσο πλεονέκτημα της μικρής κατανάλωσης ισχύος από το smart meter που για το current shunt η στιγμιαία κατανάλωση είναι $10\text{mV} \times 30\text{A}$ ίση με 0.3 Watt ενώ ή συνολική μέση ισχύ που καταναλώνει το smart meter από το δίκτυο ηλεκτροδότησης για την λειτουργία του δεν ξεπερνά τα 5 Watt.

Για την μέτρηση της τάσης του δικτύου ηλεκτροδότησης από το MCP3905 στο κανάλι του μέτρησης της τάσης, ένας ωμικός διαιρέτης τάσης χρησιμοποιείται.



Σχήμα XX: Ο διαιρέτης τάσης που χρησιμοποιεί το MCP3905

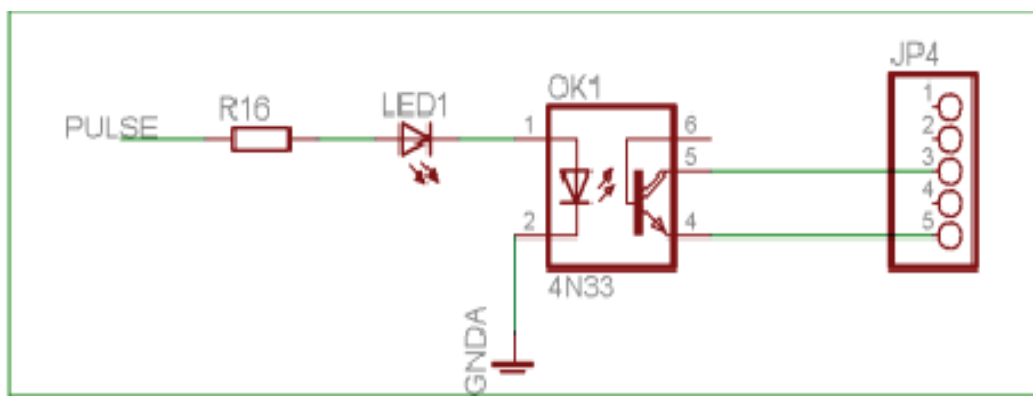
Το κανάλι μέτρησης της τάσης του MCP3905 συνδέεται με τα άκρα της αντίστασης R13. Όλος ο διαιρέτης είναι υπολογισμένος ώστε για είσοδο 220V να παράγει μια πτώση τάσης 0.4V στα άκρα της R13. Ο πυκνωτής C6 φιλτράρει το σήμα μέτρησης στα άκρα της R13 από επικίνδυνες αρμονικές που μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια του MCP3905 ενώ όλος ο διαιρέτης μπορεί να ρυθμιστεί είτε με *calibration jumpers* ή με *ποτενσιόμετρα*¹⁴ ώστε να επιτύχουμε το επιθυμητό κάθε φορά αποτέλεσμα.

¹⁴ <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/51565a.pdf>
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/51567a.pdf>
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00994a.pdf>
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/51567b.pdf>

Υλοποίηση του κυκλώματος οπτοζεύκτη

Ακριβώς όπως συζητήθηκε στην προηγούμενη ενότητα, επειδή η γη (AGND, DGND) του ενεργειακού κυκλώματος είναι πλωτή (floating ground) ενώ τα άλλα δύο κυκλώματα του smart meter, το κύκλωμα ελέγχου με τον μικροελεγκτή PIC18F4550 και την μονάδα GPRS, χρησιμοποιούν κανονική, κοινή γείωση με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (ουδετερογείωση), είναι απαραίτητο να **απομονώσουμε** την έξοδο παλμών (F_{OUT} βλέπε σχήμα XVII σελ.186) του MCP3905 προς την είσοδο του μικροελεγκτή PIC18F4550.

Η λύση ενός κυκλώματος οπτοζεύκτη¹⁵ (optocoupler) με φωτοτρανζίστορ προτείνεται.



Σχήμα XXI: Το κύκλωμα οπτοζεύξης με φωτοτρανζίστορ στην έξοδο του ενεργειακού κυκλώματος

¹⁵ <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/51567b.pdf>

Software Design

Στην ενότητα αυτή αναλύουμε τα παραδείγματα των αλγορίθμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προγραμματισμό των μονάδων, του κυκλώματος ελέγχου (μικροελεγκτής PIC18F4550) και της μονάδας GPRS, του smart meter.

Microcontroller software design

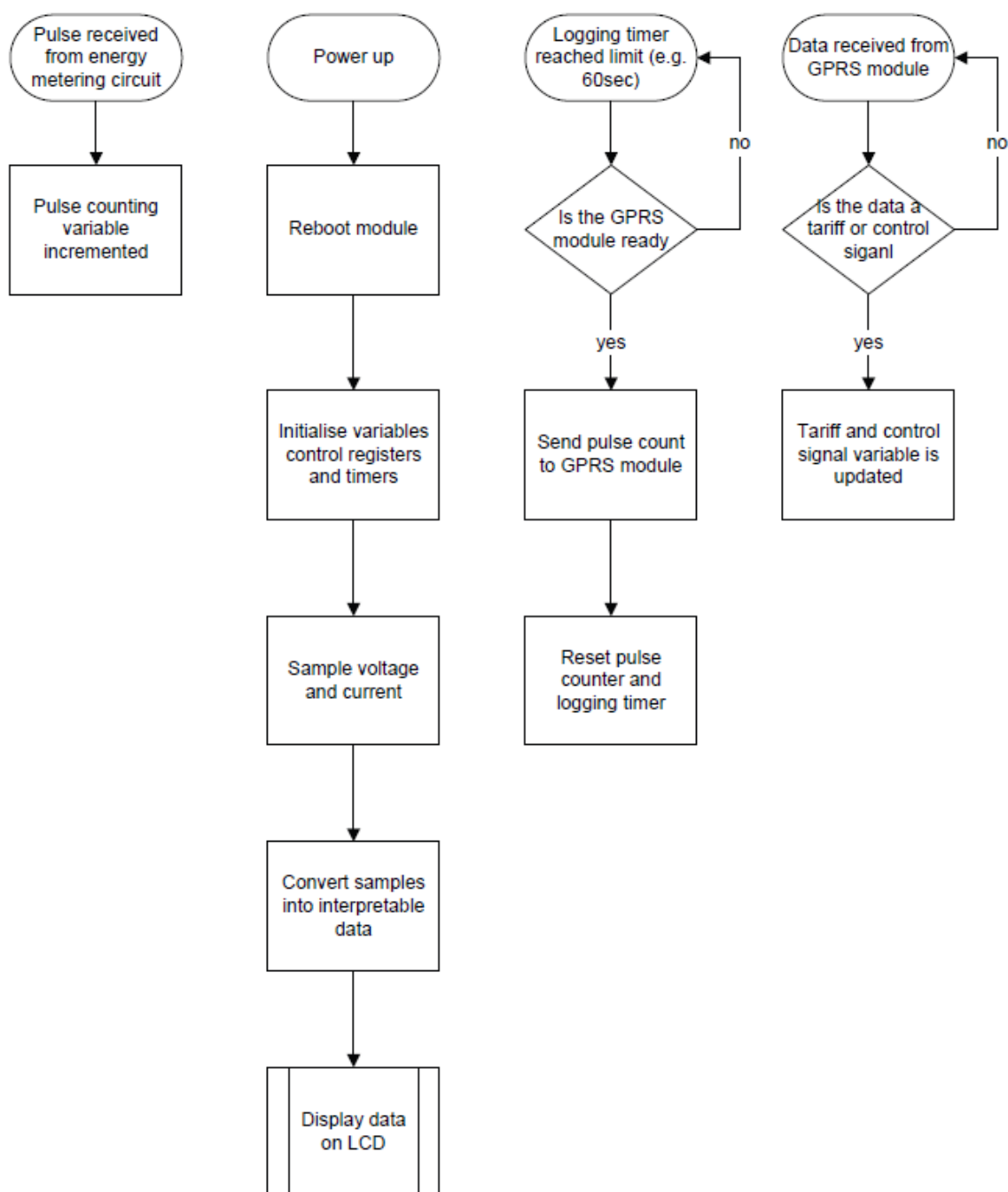
Όλο το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί από τον PIC18F4550 του κυκλώματος ελέγχου μπορεί να αναπτυχθεί σε μια πλατφόρμα ανάπτυξης λογισμικού όπως η MikroPascal 8.1 IDE¹⁶ της Mikroelektronika. Το IDE χρησιμοποιεί έναν προσανατολισμένο προς την PASCAL ενσωματωμένο διερμηνέα (interpreter) high-level για να συντάξει τον κώδικα κάτω στο επίπεδο assembly και τελικά σε δεκαεξαδικό κώδικα μηχανής, ο οποίος προγραμματίζεται μέσα στον μικροελεγκτή με την βοήθεια ενός αναπτυξιακού σταθμού προγραμματισμού μικροελεγκτών όπως ο EasyPIC3 της Mikroelektronika.

Όπως συζητήθηκε λεπτομερώς νωρίτερα, η χρησιμοποίηση ενός μικροελεγκτή αντί ενός DSP οδηγεί σε χαμηλότερο γενικό κόστος λόγω του κόστους των εξαρτημάτων και της λιγότερης πολυπλοκότητας του σχεδίου. Θέτει επίσης μερικές σχεδιαστικές προκλήσεις που δεν θα είχαν αντιμετωπιστεί κατά την χρησιμοποίηση DSP. Το ζήτημα που προκαλεί την μεγαλύτερη ανησυχία είναι το γεγονός ότι οι μικροελεγκτές δεν κατέχουν ιδιαίτερες ικανότητες πολυεπεξεργασίας (multithreading). Αυτό σημαίνει ότι οι μικροελεγκτές είναι καταλληλότεροι για απλή σειριακή εκτέλεση μεμονωμένων εντολών.

Οι διαδικασίες που εκτελούνται από τον έξυπνο μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούν παράλληλη εκτέλεση και σπάνια έχουν ακολουθιακή λογική: η οθόνη μπορεί να είναι στη μέση της διαδικασίας ενημέρωσης της όταν η μονάδα GPRS αποφασίζει να ανταλλάξει τα δεδομένα τιμολόγησης, όλα αυτά την στιγμή που απαιτείται να καταμετρηθούν από τον μικροελεγκτή οι ενεργειακοί παλμοί εξόδου του ενεργειακού κυκλώματος.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτό, το λογισμικό για το μικροελεγκτή πρέπει να σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας αποτελεσματικά όλους τους διαθέσιμους υπολογιστικούς πόρους του όπως καταχωρητές διακοπών (interrupt registers) και χρονομετρητές (timers), ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα νημάτωσης (threading). Το ακόλουθο διάγραμμα ροής επεξηγεί τη βασική λειτουργική ροή του λογισμικού του μικροελεγκτή. Αξίζει να σημειωθεί ότι το σύστημα λειτουργεί περισσότερο, αντιδρώντας σε γεγονότα ή αλλιώς καταστάσεις (event-driven programming) παρά με μία προκαθορισμένη διαδοχική ροή.

¹⁶ Integrated Development Environment
http://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_development_environment



Σχήμα XXII: Διάγραμμα ροής για τον PIC18F4550

Όλες οι πιθανές καταστάσεις που μπορούν να εμφανιστούν δηλώνονται από τα blocks στην κορυφή του διαγράμματος ροής.

Η κατάσταση (state) της αρχικής εκκίνησης (power-up) έναρξη τροφοδότησης του συστήματος μπορεί να εμφανιστεί κατά την αρχική του εγκατάσταση, μετά από συντήρηση του ή μεγάλες διακοπές του δικτύου ηλεκτροδότησης (η μπαταρία του smart meter εξαντλείται). Το power-up state αναγκάζει το μικροελεγκτή να επανεκκινήσει (reboot) όλα το υλικό και το λογισμικό του, και μετά το γεγονός αυτό αρχίζει η εκτέλεση

του κώδικα (αλγόριθμος). Ο κώδικας θέτει τις τιμές σε όλους τους καταχωρητές registers του μικροελεγκτή (όπως η κατεύθυνση θυρών I/O) και δηλώνει τις μεταβλητές και τις ρουτίνες που θα χρησιμοποιηθούν. Όταν ο μικροελεγκτής ξεκινά, η μονάδα GPRS δεν είναι συνήθως διαθέσιμη ακόμα, έτσι το αρχικό χρησιμοποιούμενο τιμολόγιο είναι μια αποθηκευμένη υπόθεση του πιο κοινού τιμολογίου και ο ηλεκτρονόμος teleswitch συνδέει την εγκατάσταση του πελάτη με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (power on). Ο μικροελεγκτής θα αρχίσει αμέσως να εκτελεί τον κύριο βρόγχο του προγράμματος, την δειγματοληψία των σημάτων τάσης και ρεύματος και την επίδειξη των υπολογισμένων δεδομένων στην οθόνη LCD. Η ακολουθία ξεκινήματος αρχίζει επίσης το χρονόμετρο αναγραφών (logging timer) από το μηδέν.

Όταν το σύστημα φτάσει αυτή σταθερό κατάσταση λειτουργίας του, θα συνεχίσει να δειγματοληπτεί τα σήματα τάσης και ρεύματος για τους υπολογισμούς της καταναλώσας ισχύος αλλά και να αποκρίνεται σε οποιοδήποτε απομακρυσμένο γεγονός που εμφανίζεται. Ο timer ο οποίος συνιστά έναν απαριθμητή (counter) δευτερολέπτων, χρησιμοποιείται από τον μικροελεγκτή επίσης για να ελέγξει για τους εισερχόμενους ενεργειακούς παλμούς από το κύκλωμα ενεργειακής μέτρησης 38 φορές κάθε δευτερόλεπτο (δηλαδή 38Hz), συχνότητα δειγματοληψίας της εξόδου του ενεργειακού κυκλώματος από τον μικροελεγκτή που είναι περισσότερο από αρκετή (**δεδομένου ότι η μέγιστη συχνότητα ενεργειακών παλμών από την έξοδο του ενεργειακού κυκλώματος είναι 5.6Hz δηλαδή 20160 παλμούς/ώρα, 20.16 KWh κατανάλωση**). Εντολές ελέγχου κατάστασης (polling commands) συμπεριλαμβάνεται επίσης τόσο στο βρόγχο δειγματοληψίας των σημάτων τάσης και ρεύματος όσο και στην ρουτίνα που ενημερώνει το LCD, για να ελεγχθεί αν υπάρχουν αιτήματα μεταφοράς δεδομένων από την μονάδα GPRS. Η μέθοδος των εντολών polling χρησιμοποιείται αντί των σημάτων interrupts εξαιτίας του γεγονότος ότι τα interrupts σειριακής επικοινωνίας USART δεν κάνουν διάκριση μεταξύ του χαρακτήρα ελέγχου "ready status" που η μονάδα GPRS διαβιβάζει συνεχώς και του χαρακτήρα αιτήματος δεδομένων (data request character).

Όταν η μονάδα GPRS σηματοδοτεί ότι υπάρχουν απομακρυσμένα (από την κεντρική υπηρεσία) δεδομένα τιμοκαταλόγου και ελέγχου για το smart meter διαθέσιμα, οι εντολές polling (κώδικας μικροελεγκτή) ενεργοποιούν μια υπορουτίνα που λαμβάνει τις πληροφορίες τιμοκαταλόγου και ελέγχου, κατόπιν ο μικροελεγκτής προχωρά στην ενημέρωση των μεταβλητών τιμοκαταλόγου του και της κατάστασης των ηλεκτρονόμων teleswitch εφόσον αυτό ενδείκνυται (π.χ. εντολή διακοπής, από την κεντρική υπηρεσία, της ηλεκτροδότησης του πελάτη).

Όταν ο χρονομετρητής αναγραφών (logging timer) συμπληρώσει τον κύκλο του (κάθε 60sec), μια υπορουτίνα προκαλείται, η οποία αρχικά ελέγχει εάν η μονάδα GPRS είναι έτοιμη (περιμένει το χαρακτήρα ελέγχου "ready status"), εάν αυτό δεν βεβαιωθεί μέσα σε ένα δευτερόλεπτο, ο logging timer μηδενίζει (resets) και περιμένει την συμπλήρωση του επόμενου κύκλου του (μετά από 1 λεπτό) για να στείλει τα δεδομένα κατανάλωσης στην μονάδα GPRS. Εάν όμως ο χαρακτήρας "ready status" ληφθεί μέσα στο ένα αυτό δευτερόλεπτο, ο μικροελεγκτής προχωρά στην αποστολή των δεδομένων απαρίθμησης των ενεργειακών παλμών προς την μονάδα GPRS και έπειτα μηδενίζει τον απαριθμητή παλμών.

GPRS module software design

Η μονάδα GPRS που χρησιμοποιείται σε αυτή την σχεδίαση, το Telit GM862, είναι μία πλήρης λειτουργική GSM¹⁷ Class 10 συσκευή GPRS¹⁷ που διασυνδέεται μέσω AT εντολών¹⁸. Η μονάδα είναι επίσης εξοπλισμένη με έναν συνεπεξεργαστή ικανό να τρέξει Python¹⁹ scripts²⁰ με τα οποία μπορούν να ελεγχθούν τόσο AT όσο και σειριακής επικοινωνίας (USART) περιφερειακές συσκευές.

Η υποστήριξη γλώσσας προγραμματισμού Python από την μονάδα GPRS δίνει την δυνατότητα στην μονάδα να ελέγχει μόνη της τις διασυνδέσεις της καθώς και κάποιες ρουτίνες επικοινωνίας που σχετίζονται με καταχωρήσεις δεδομένων data logging²¹, αφαιρώντας υπολογιστικό φορτίο και διευκολύνοντας έτσι τον μικροελεγκτή και την σχεδίαση και ανάπτυξη τμηματικών συστημάτων (modular systems)²².

Το ακόλουθο διάγραμμα ροής λογισμικού επεξηγεί τη βασική ροή του python script κώδικα που τρέχει στην μονάδα GPRS.

¹⁷ Global System for Mobile Communications
http://en.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications

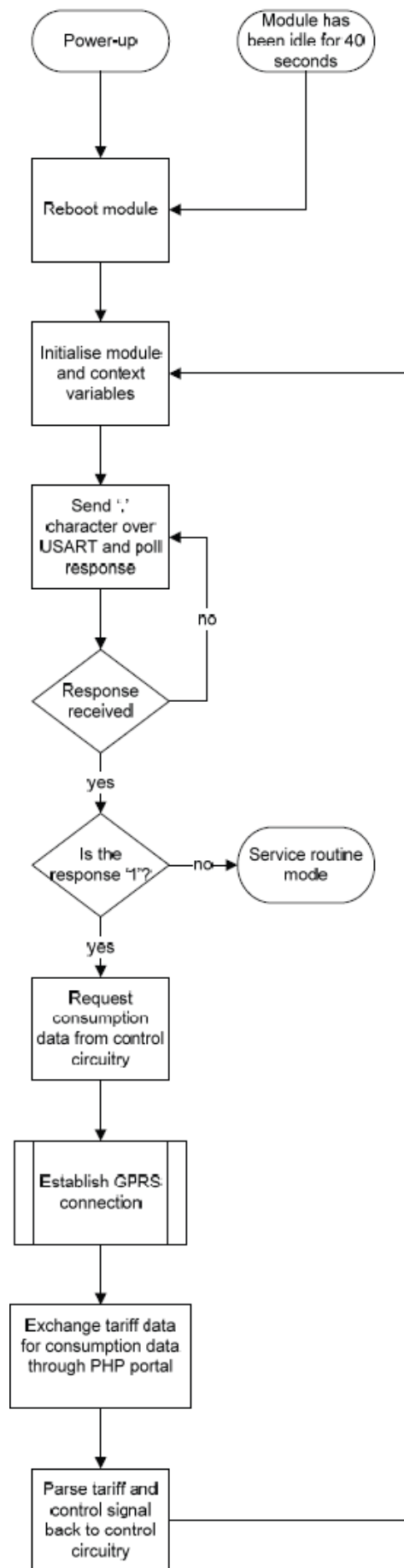
¹⁸ Hayes command set
http://en.wikipedia.org/wiki/Hayes_command_set

¹⁹ [http://en.wikipedia.org/wiki/Python_\(programming_language\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Python_(programming_language))

²⁰ http://en.wikipedia.org/wiki/Scripting_language

²¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_data_logging

²² http://en.wikipedia.org/wiki/Modular_design



Σχήμα XXIII:
Διάγραμμα ροής της
μονάδας GPRS

Copyright© Polytechnio Kritis. Manolis Markoulakis. Chania 2011

ΓΕΝΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ MATHEMATICA

Παρακάτω, παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα γενικής προσομοίωσης της προτεινόμενης μεθόδου μέτρησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από το παράδειγμα σχεδίασης *smart meter* της παρούσας διατριβής, όπως αυτά πάρθηκαν από το **Mathematica** ως μία πρώτη εισαγωγή και οπτικοποίηση της μεθόδου.

Διακρίνουμε ευδιάκριτα την μεταβολή της συχνότητας του ενεργειακού σήματος μέτρησης που χρησιμοποιείται στην μέτρηση της καταναλωμένης ηλεκτρικής ενέργειας, σύμφωνα με το ποσό της ηλεκτρικής ισχύος (ηλεκτρικό ρεύμα από μηδέν έως 40 A). Αυτή η έμμεση μέθοδος μέτρησης, μετρώντας την **συχνότητα** ενός σήματος αναφοράς, ελαχιστοποιεί το εγγενή και συσσωρευόμενο σφάλμα μέτρησης που αναπόφευκτα προκύπτει με την χρήση του απευθείας και **άμεσου υπολογισμού** της ενέργειας από το γινόμενο της ηλεκτρικής ισχύος με τον χρόνο. Περισσότερη ανάλυση επί τούτου βρίσκουμε σε παραπέρα ειδικευμένη προσομοίωση της μεθόδου σε περιβάλλον **Matlab/Simulink**.

In[41]:=

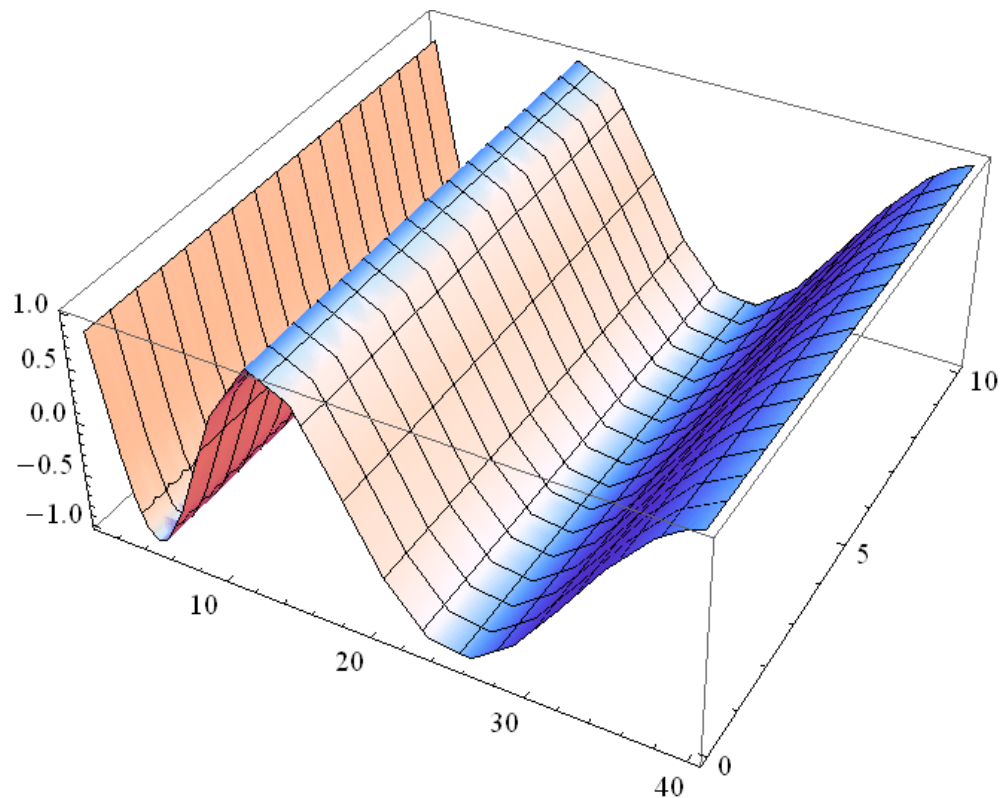
Vline = 220

```
Pow[x_] := Vline *  $\sqrt{x}$ 
fout[x_, y_] := Sin[0.01 Pow[x] * y]
Plot3D[Evaluate@fout[IL, t], {IL, 1, 40}, {t, 0, 10}, PlotRange -> Full]
Animate[Plot[Evaluate@fout[IL, t], {IL, 1, 40}, PlotPoints -> 300],
{t, 0, 10}, AnimationRunning -> False]
DensityPlot[fout[IL, t], {IL, 0, 40}, {t, 0, 10}, PlotRange -> Full]
(*Manipulate[Plot[Sin[10 Pow[IL] * t], {IL, 0, 40}, PlotPoints -> 200], {t, 0, 10}]*)
```

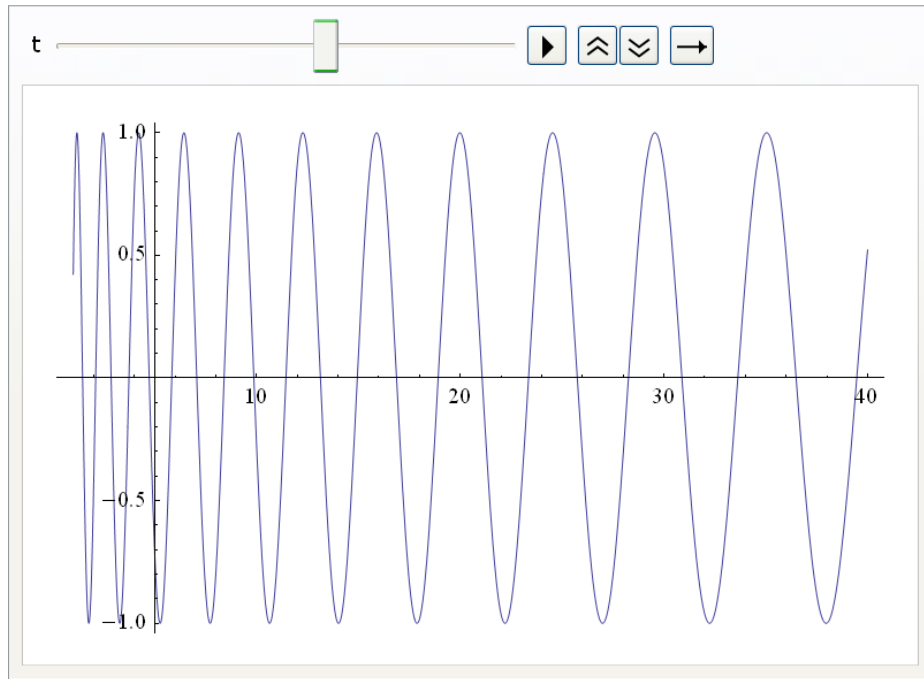
Out[41]=

220

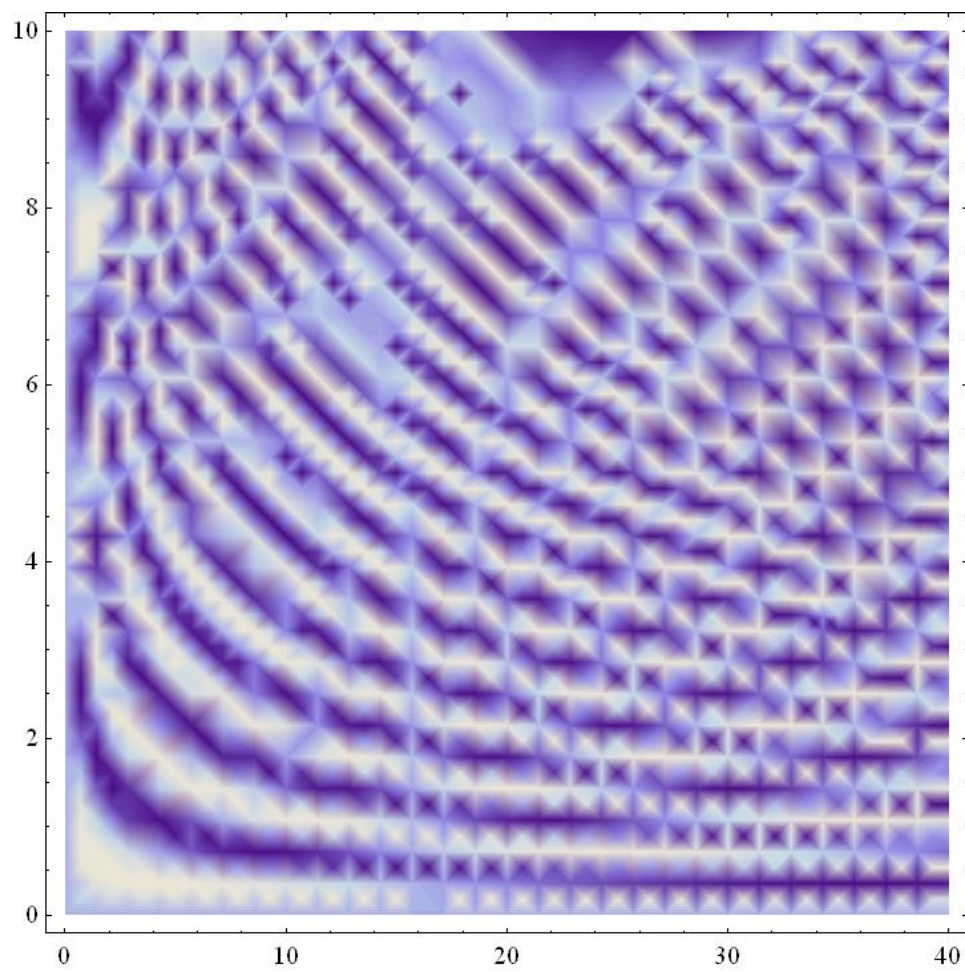
Out[44]=



Out[45]=



Out[46]=



In[32]:=

```
Vline = 220
```

```
t = 1
```

```
Plot[Sin[.1 * Vline *  $\sqrt{t}$  * t], {t, 1, 20}, PlotPoints -> 300]
```

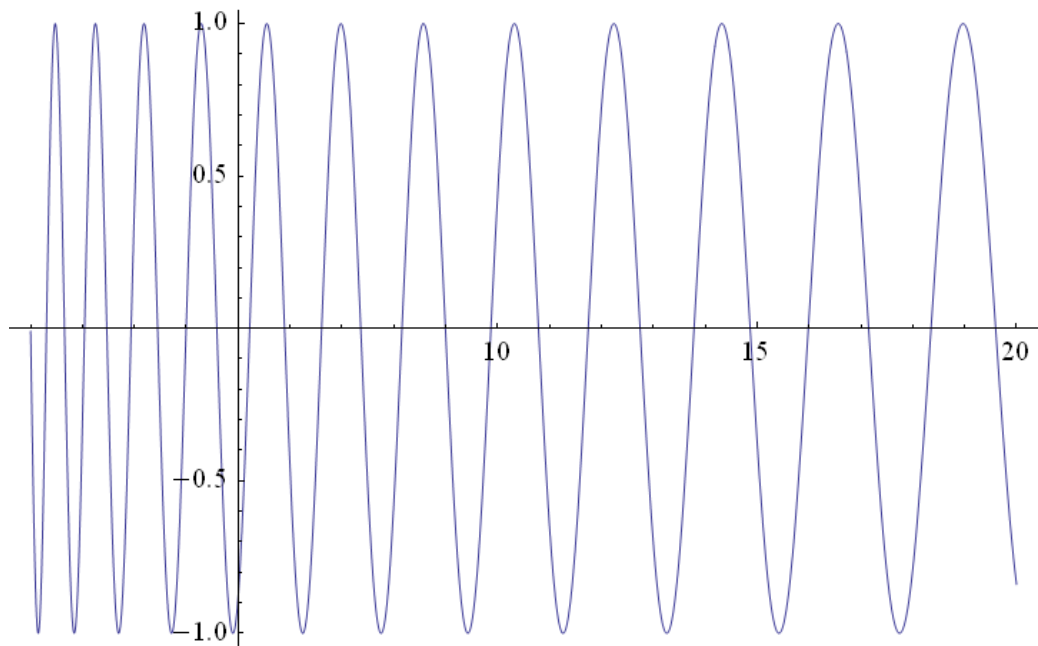
Out[32]=

220

Out[33]=

1

Out[34]=



Created with [Wolfram Mathematica 7.0](#)

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ MATLAB/SIMULINK

του

Μαρκουλάκη Εμμανουήλ

(Beng. MSc. Electronic and VLSI Systems Engineer UMIST. U.K.)

Keywords: *energy measurement, smart meter, energy circuit, digital to frequency, voltage to frequency, energy pulses, digital signal processing.*

Εισαγωγή

Η παρακάτω ανάλυση και παρουσίαση συνοψίζει την υλοποίηση σε περιβάλλον **Matlab/Simulink** ενός πρότυπου ψηφιακού ενεργειακού κυκλώματος μέτρησης, της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου ηλεκτροδότησης στις εγκαταστάσεις του πελάτη της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τμήμα οποιουδήποτε «έξυπνου» μετρητή (smart meter) κατανάλωσης.

Σκοπός

Η μέθοδος του άμεσου υπολογισμού της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ως γινόμενο της ηλεκτρικής ισχύος επί τον χρόνο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά σε μόνιμα εγκαταστημένο στον πελάτη της ηλεκτρικής ενέργειας ατέρμονο μετρητή κατανάλωσης, λόγω του προσθετικού συσσωρευόμενου εγγενούς σφάλματος που εμπεριέχει η προαναφερθέντα μέθοδος των συνεχών πράξεων κινητής υποδιαστολής και στρογγυλοποίησης αυξανόμενης με τον χρόνο κατανάλωσης [6][11].

Μία άλλη μέθοδος μέτρησης πρέπει να αναζητηθεί και να εφαρμοστεί στην περίπτωση αυτή που θα δίδει ακριβείς, και αξιόπιστες μετρήσεις ανεξαρτήτου του χρόνου μέτρησης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Στις παρακάτω σελίδες προτείνουμε αναλύουμε και προσομοιώνουμε ένα τέτοιο ενεργειακό κύκλωμα σε επίπεδο blog συστήματος που στηρίζεται στην μέτρηση της συχνότητας παραγόμενων ενεργειακών παλμών που αντιστοιχούν στην καταναλώσα ηλεκτρική ενέργεια κάθε φορά. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μαζί με γραφικές παραστάσεις παραθέτονται και αποδεικνύουν την ακρίβεια, σταθερότητα και αξιοπιστία της προτεινόμενης συχνοτικής μεθόδου.

Ανάλυση

Το ενεργειακό κύκλωμα της προσομοίωσης είναι αυτό του σχήματος 1. Δεν θα αναφερθούμε εδώ στην λεπτομερή *παραμετρική* σχεδίαση του κυκλώματος της προσομοίωσης σε **Matlab/Simulink** την οποία παραθέτουμε στο αρχείο της προσομοίωσης που «ανεβάσαμε» στο διαδίκτυο και το οποίο είναι διαθέσιμο από τις παρακάτω διευθύνσεις:

<https://rapidshare.com/files/451257962/em9.mdl>

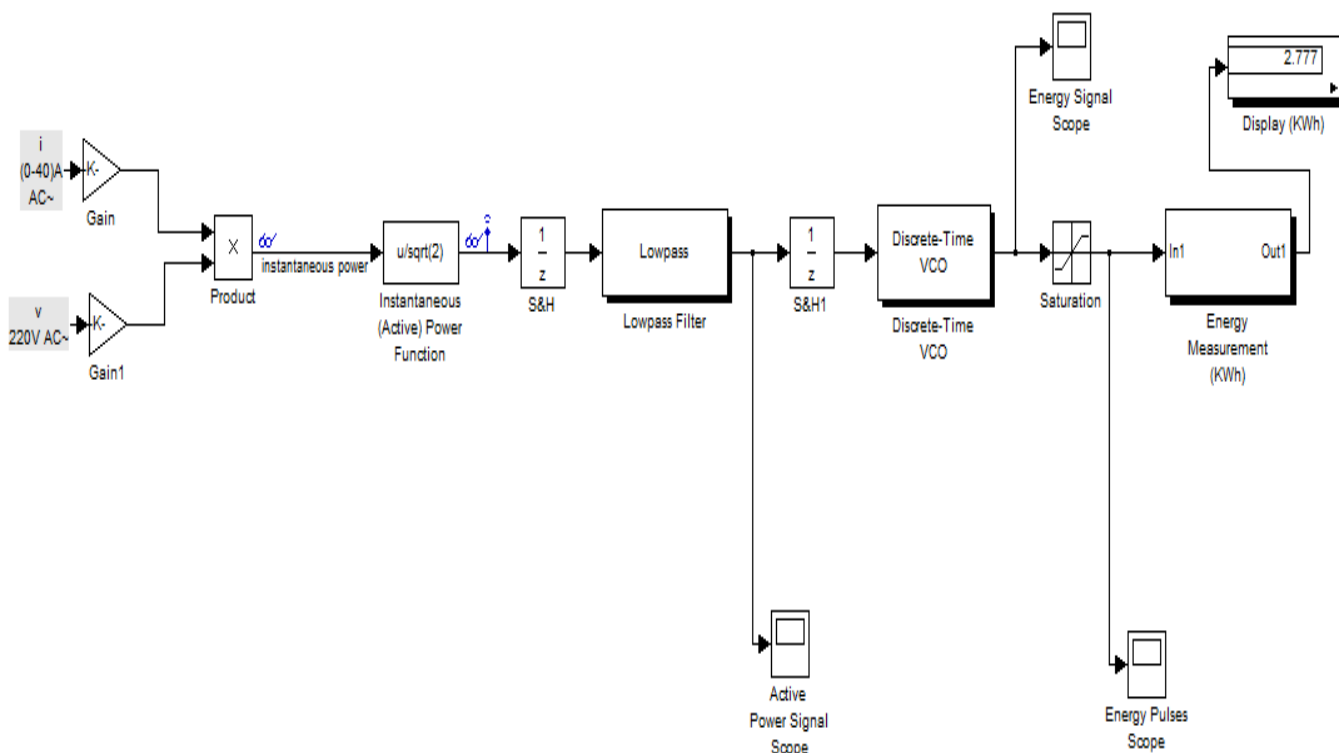
<http://depositfiles.com/files/wygsrt4dn>

καθώς και μέσω του e-mail μου, markoulg@gmail.com.

Ο χρόνος της προσομοίωσης δίδεται σε δευτερόλεπτα και το εν λόγω μοντέλο προσομοίωσης που δημιουργήθηκε μπορεί να προσομοιώσει οποιονδήποτε συνδυασμό ηλεκτρικής ισχύος και χρόνου και να μετρήσει την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώθηκε σε μονάδες KWh.

Η συγκεκριμένη σχεδίαση του προτεινόμενου παραδείγματος smart meter προβλέπει **μέγιστο** ρεύμα δικτύου στις εγκαταστάσεις του πελάτη στα 40 A RMS και **μέγιστης** επιτρεπτής μονοφασικής τάσης στα 240 V RMS. Εφόσον ξεπεραστούν τα όρια αυτά ο μετρητής «κόβει» την παροχή για λόγους προστασίας. Τα **i** και **v** στο σχήμα 1 είναι τα εναλλασσόμενα σήματα μέτρησης ρεύματος και τάσης στην εγκατάσταση (στον προσομοιωτή δίνονται οι τιμές peak των σημάτων αυτών), που παρέχονται από τους αντίστοιχους αισθητήρες ρεύματος και τάσης του μετρητή (current and voltage transducers). Οι εξασθενητές σήματος **Gain** και **Gain 1** ►

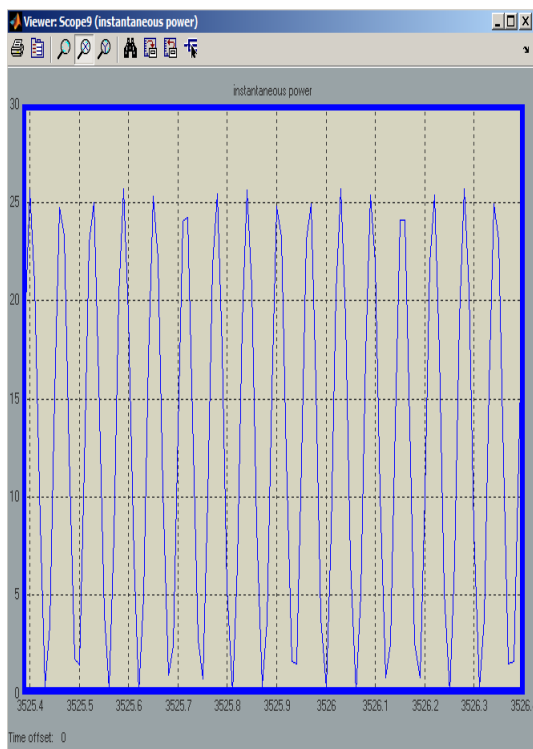
► μετατρέπουν την στάθμη των σημάτων αυτών σε στάθμες κατάλληλες για ψηφιοποίηση (0-5V). Εν συνεχεία με την βοήθεια **ψηφιακού πολλαπλασιαστή (Product)** και της μονάδας εξασθένησης σήματος κατά λόγο $1/\sqrt{2}$ (**u/sqrt(2)**), εξάγονται τα δύο σήματα μέτρησης ισχύος, της **στιγμιαίας ισχύος instantaneous power**, και των **ενεργών** τιμών της, **Instantaneous (Active) Power**. Το τελευταίο σήμα μπορεί να οδηγηθεί απευθείας σε υπολογιστική μονάδα (π.χ. μικροελεγκτής) να επιλεγεί η θετική τιμή peak του κάθε φορά, και η οποία να πολλαπλασιάζεται συνεχώς με τον χρόνο της κατανάλωσης για να δώσει την ενέργεια.



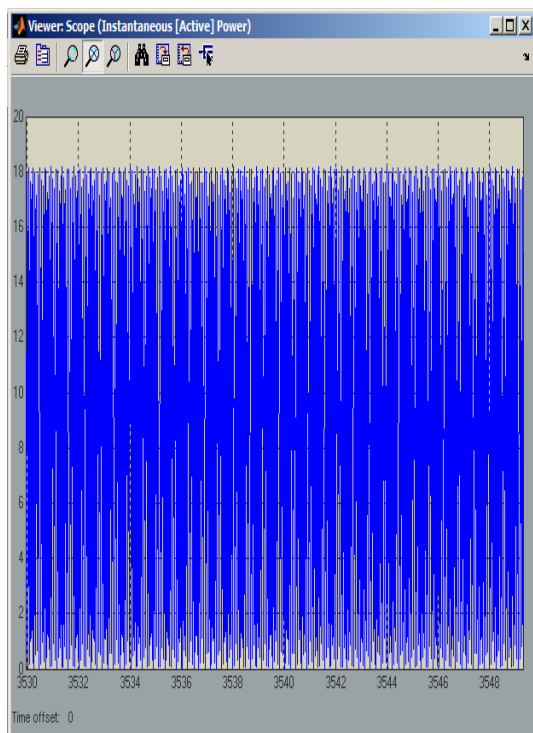
Σχήμα 1. Το Ενεργειακό Κύκλωμα

Η υπολογιστική όμως αυτή μέθοδος όπως προαναφέραμε συσσωρεύει συνεχώς με τον χρόνο σφάλμα στρογγυλοποίησης από τις συνεχείς πράξεις κινητής υποδιαστολής και κρίνεται ακατάλληλη για τον σκοπό μας. Εναλλακτικά, μία συχνωτική μέθοδος υλοποιείται, εύρεσης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι αν λάβουμε τα full-scale σήματα **i** και **v** του εν λόγω μετρητή δηλαδή 40 A RMS και 240V RMS που ισοδυναμούν με 9.6KW RMS ισχύ →

→ κατανάλωσης προκύπτουν από την προσομοίωση τα full-scale σήματα των σχημάτων 2&3 παρμένα στα αντίστοιχα σημεία του ενεργειακού κυκλώματος. Το σήμα του σχήματος 3 στην συνέχεια οδηγείτε μέσω μίας μονάδας δειγματοληψίας S&H (sample and hold) στην είσοδο ενός διακριτού ψηφιακού βαθυπερατού φίλτρου (**Lowpass filter**) το οποίο εξάγει κάθε φορά την **μέση τιμή (average)** της εισόδου του.



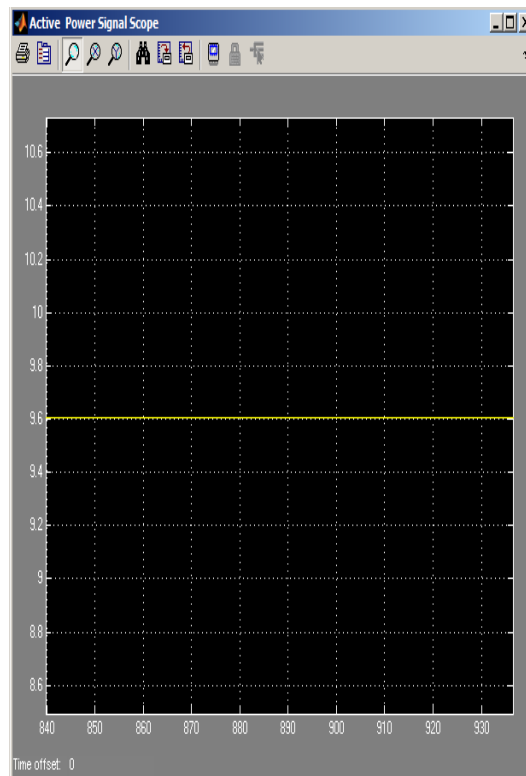
Σχήμα 2. Instantaneous Power



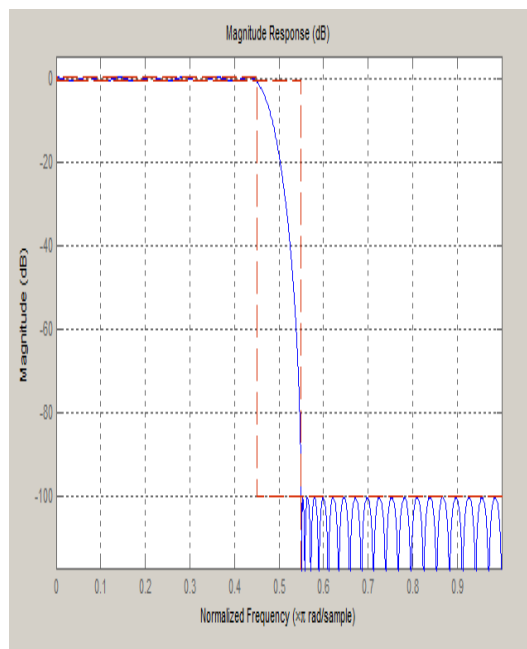
Σχήμα 3. Instantaneous (Active) Power

Με τον τρόπο αυτό, κάθε μετρούμενη τιμή ηλεκτρικής ισχύος εισόδου στο ενεργειακό κύκλωμα αντιστοιχείται με μία μοναδική μέση τιμή τάσης στη έξοδο του φίλτρου (Active Power Signal). Στην προκειμένη περίπτωση μας, στην full-scale λειτουργία του ενεργειακού κυκλώματος με 9.6KW

(40A, 240V) ισχύς εισόδου, η έξοδος του φίλτρου έχει ρυθμιστεί στα 9.6V (βλέπε σχήμα 4).



Σχήμα 4. Active Power Signal

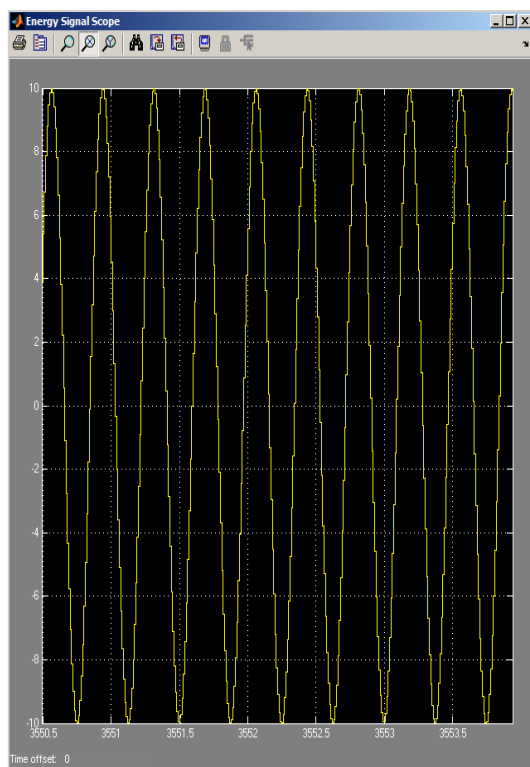


Σχήμα 5. Filter Response

Ακολουθώς, η μέση αυτή τιμή αυτή εξόδου του φίλτρου οδηγεί έναν ψηφιακό ταλαντωτή ημιτόνου, η συχνότητα του οποίου ελέγχεται από την τάση του σήματος

εξόδου του φίλτρου (**VCO, Voltage Controlled Oscillator**).

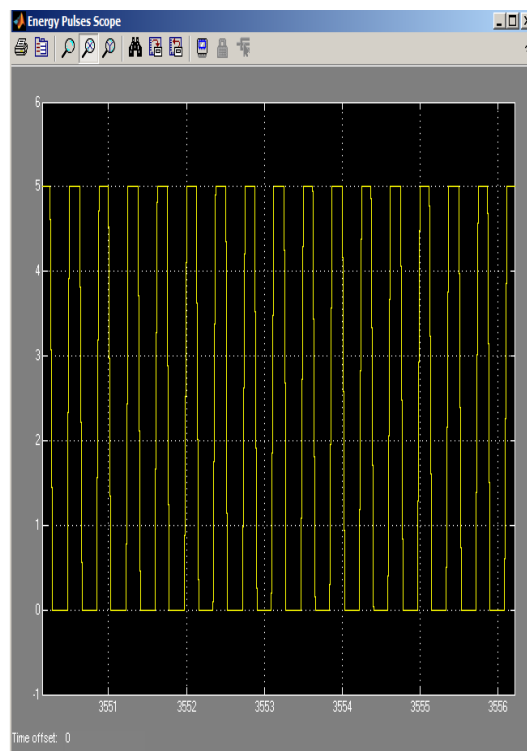
Η ευαισθησία του ταλαντωτή VCO, **Hz/V**, έχει ρυθμιστεί έτσι ώστε για ισχύ εισόδου στο ενεργειακό κύκλωμα **1KW** να παράγει σήμα με 1000 ημητονικούς κύκλους την ώρα (3600 sec) που ισοδυναμούν με κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας **μία κιλοβατώρα 1KWh**. Τέλος, το ημητονικό σήμα εξόδου του ταλαντωτή (**Energy Signal**), οδηγεί ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα διακόπτη (**Saturation**) αφού πρώτα εξαλειφθεί η αρνητική του ημιπερίοδος, για την παραγωγή των ενεργειακών τετραγωνικών παλμών (**Energy Pulses, 50:50 duty cycle, 5V Amplitude**) μέτρησης της καταναλώσας ηλεκτρικής ενέργειας στην εγκατάσταση. Η αναλογία και εδώ είναι πάλι **1000 παλμοί/KWh**.



Σχήμα 6. Energy Signal

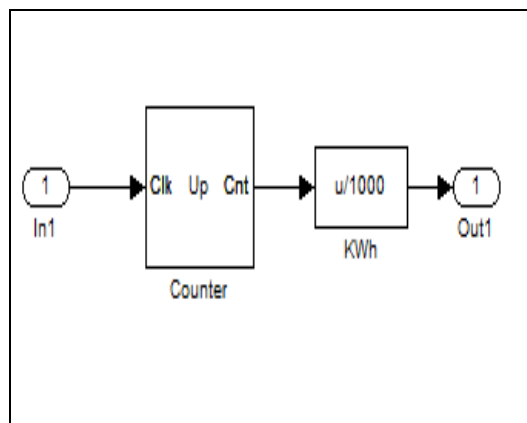
Οι ενεργειακοί αυτοί παλμοί μπορούν στην συνέχεια να οδηγηθούν απευθείας σε ένα μικροελεγκτή του μετρητή smart meter ή άλλο απομακρυσμένο υπολογιστικό σύστημα για καταμέτρηση και τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ενέργειας κατανάλωσης σε μονάδες KWh.

Το προτεινόμενο όμως ενεργειακό κύκλωμα μέτρησης διαθέτει πλήρη αυτονομία και εξάγει μόνο του την μέτρηση της ενέργειας σε μονάδες **KWh** μέσω ενός **display LCD** με κωδικοποίηση **BCD to 7 segment** και ακρίβεια τρία δεκαδικά ψηφία (π.χ. 23.589 KWh).



Σχήμα 7. Energy Pulses

Έτσι λοιπόν οι Energy Pulses εισάγονται στην μονάδα υπολογισμού της ενέργειας σε KWh, Energy Measurement.



Σχήμα 8. Energy measurement subsystem

Η οποία αποτελείται από ένα σκανδαλιζόμενο **απαριθμητή** (counter) BCD και μονάδα ψηφιακού διαιρέτη (**u/1000**) για την μετατροπή σε KWh.

Αποτελέσματα

Διάφορα σενάρια προσομοίωσης εκτελέστηκαν για να αποδειχτεί η ακρίβεια σταθερότητα και αξιοπιστία του προτεινόμενου ενεργειακού κυκλώματος. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται αναλυτικά στην ενότητα αυτή με την μορφή πινάκων και γραφικών παραστάσεων που δείχνουν το ποσοστιαίο σφάλμα ($\pm\text{error} \%$) της μετρούμενης τιμής Energy Value Simulated από την αναμενόμενη θεωρητική τιμή της, Energy Value Expected για διάφορους

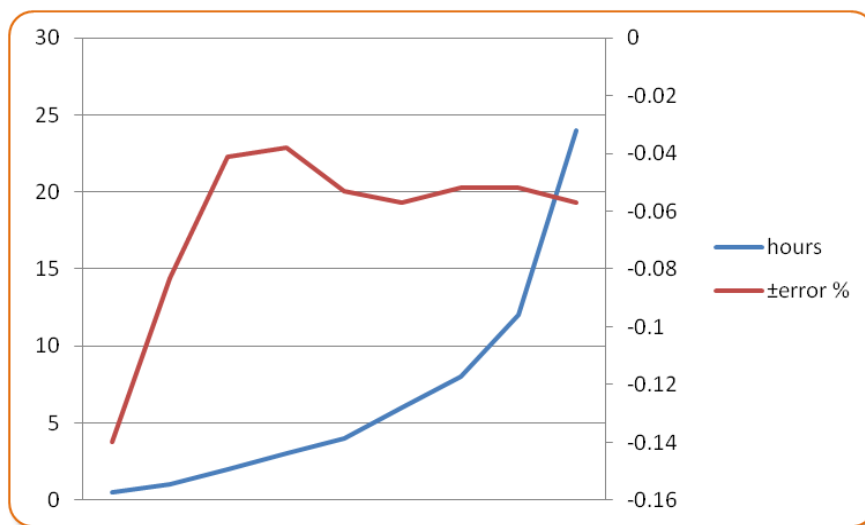
συνδυασμούς χρόνου κατανάλωσης και ισχύς εισόδου.

Έτσι έχουμε προσομοιώσεις για χρόνους κατανάλωσης από ένα λεπτό της ώρας έως μία βδομάδα και ισχύς από 22W (100mA, 220V) έως και το μέγιστο επιτρεπτό του μετρητή 9.6KW (40A, 240V).

Τα αποτελέσματα της εν λόγω προσομοίωσης συνοψίζονται ως εξής:

Scenario 1: $\pm\text{Error} \%$ vs Time $I=40A, V=240V, P=9.6KW$

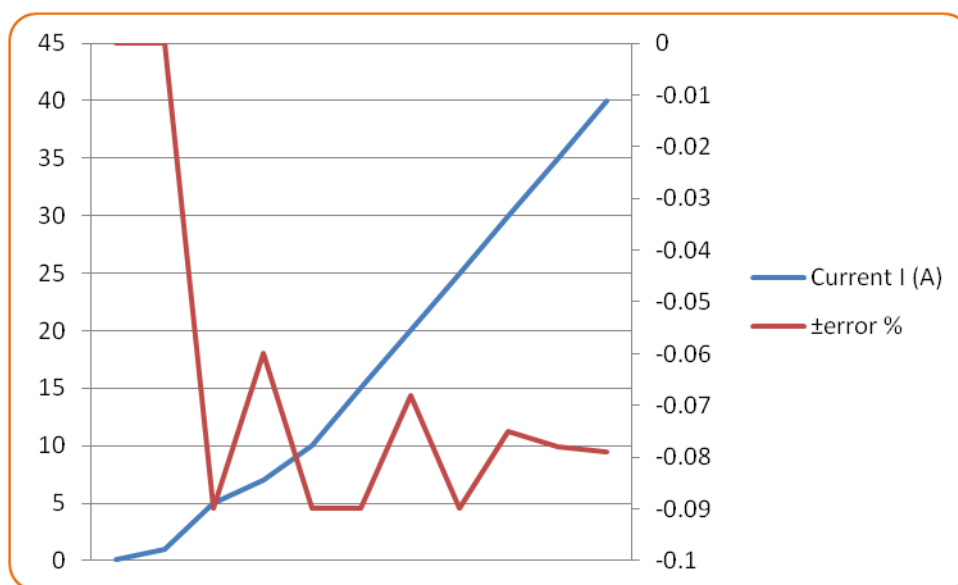
Consumption Time (sec)	hours	Energy Expected (KWh)	Energy Simulated (KWh)	$\pm\text{error} \%$
60	0.0166	0.16	0.158	-1.25
1800	0.5	4.8	4.793	-0.14
3600	1	9.6	9.592	-0.083
7200	2	19.2	19.192	-0.041
10800	3	28.8	28.798	-0.038
14400	4	38.4	38.379	-0.053
21600	6	57.6	57.567	-0.057
28800	8	76.8	76.76	-0.052
43200	12	115.2	115.14	-0.052
86400	24	230.4	230.268	-0.057



Σχήμα 9. Αποτελέσματα προσομοίωσης $\pm\text{Error} \%$ vs Time

Scenario 2: $\pm$ Error % vs Power $V=220V$, Consumption Time $T=3600s$ (1hour)

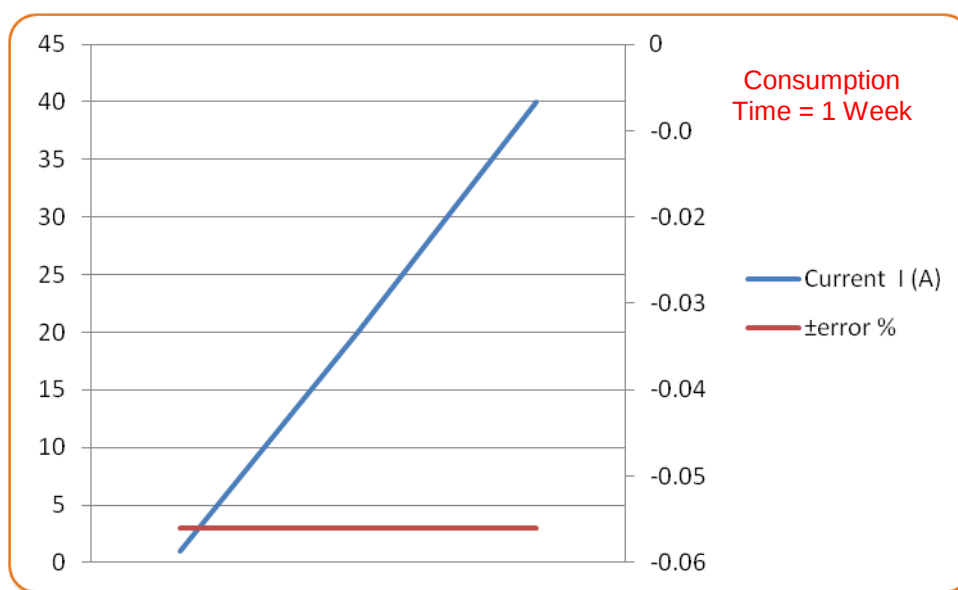
Current I (A)	Energy Expected (KWh)	Energy Simulated (KWh)	$\pm$ error %
0.1	0.022	0.022	0
1	0.22	0.22	0
2	0.44	0.439	-0.227
5	1.1	1.099	-0.09
7	1.54	1.539	-0.06
10	2.2	2.198	-0.09
15	3.3	3.297	-0.09
20	4.4	4.397	-0.068
25	5.5	5.495	-0.09
30	6.6	6.595	-0.075
35	7.7	7.694	-0.078
40	8.8	8.793	-0.079

Σχήμα 10. Αποτελέσματα προσομοίωσης $\pm$ Error% vs Power

Scenario 3: $\pm$ Error % vs Power vs Time(long)

V=220V, Consumption Time(long) T=604800 sec (1 Week)

Current I (A)	Energy Expected (KWh)	Energy Simulated (KWh)	$\pm$ error %
1	36.96	36.939	-0.056
20	739.2	738.779	-0.056
40	1478.4	1477.558	-0.056

Σχήμα 11. Αποτελέσματα προσομοίωσης $\pm$ Error% vs Power vs Time(long)

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν γενικά ένα ομοιόμορφο πολλή μικρό σφάλμα της τάξης του $-0.05\% \div -0.09\%$ σε όλο το εύρος των πιθανών ηλεκτρικών φορτίων και ισχύος στον μετρητή καθώς και χρονικούς περιόδους μέτρησης που ποικίλουν στην συγκεκριμένη προσομοίωση, από 60 seconds έως μία εβδομάδα.

Ιξού, το εν λόγω ενεργειακό κύκλωμα και μέθοδο μέτρησης που προτείνουμε, επιδεικνύει όπως αποδείχτηκε μεγάλη ακρίβεια, σταθερότητα και αξιοπιστία και το σπουδαιότερο όπως επίσης αποδείχτηκε **δεν συσσωρεύει σφάλμα** μέτρησης με τον χρόνο. Αντιθέτως, το ήδη **πολλή μικρό σφάλμα** του μετρητή **παρουσιάζει πτωτική τάση με την αύξηση των χρονικών περιόδων μέτρησης της καταναλώσας ηλεκτρικής ενέργειας** και τείνει να γίνει σταθερό ανεξάρτητου ηλεκτρικής ισχύος στην εγκατάσταση (βλέπε σχήμα 11, προσομοίωση για μία εβδομάδα).

Πρακτικά, το ενεργειακό μας κύκλωμα έχει **μηδενικό σφάλμα** για μεγάλους χρόνους μέτρησης 1 Μήνα, 2 Μήνες... 4 Μήνες που είναι και το φυσιολογικό για έναν μόνιμα εγκαταστημένο στον πελάτη της ηλεκτρικής ενέργειας μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας δικτύου ηλεκτροδότησης μιας και υπηρεσία τιμολόγησης κάνει μετρήσεις και εκδίδει λογαριασμούς συνήθως ανά διαστήματα όχι λιγότερο των 2 μηνών.

Επίλογος

Προτάθηκε και υλοποιήθηκε με επιτυχία σε προσομοιωτή, ένα πρότυπο ενεργειακό κύκλωμα μέτρησης της ηλεκτρικής ενέργειας ηλεκτροδότησης μονοφασικής παροχής στις εγκαταστάσεις του πελάτη της ηλεκτρικής ενέργειας. Με άμεση εφαρμογή σε όλα τα Energy Smart Meters.

Τεκμηριώθηκαν η δυνατότητες του και αποδείχτηκαν τα πλεονεκτήματα συγκεκριμένης συχνοτικής μεθόδου μέτρησης της ενέργειας που προτείναμε και υλοποιήσαμε.

«Η ελαχιστοποίηση του σφάλματος μέτρησης της ενέργειας στην μέθοδο αυτή έναντι της συμβατικής υπολογιστικής μεθόδου έγκειται στο γεγονός ότι η μέτρηση της ενέργειας ότι δεκαδικά κινητής υποδιαστολής αυτή και αν εμπεριέχει (π.χ. 3.296 KWh), αντιστοιχείται στην μέθοδο αυτή με **ακέραιο** αριθμό ενεργειακών παλμών μέτρησης».

APPENDIX III

ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΜΝΗΜΗΣ
ΤΟΥ
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΜΕΤΡΗΤΗ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΔΙΑΒΛΗΤΗΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΜΕ PETRI NETS

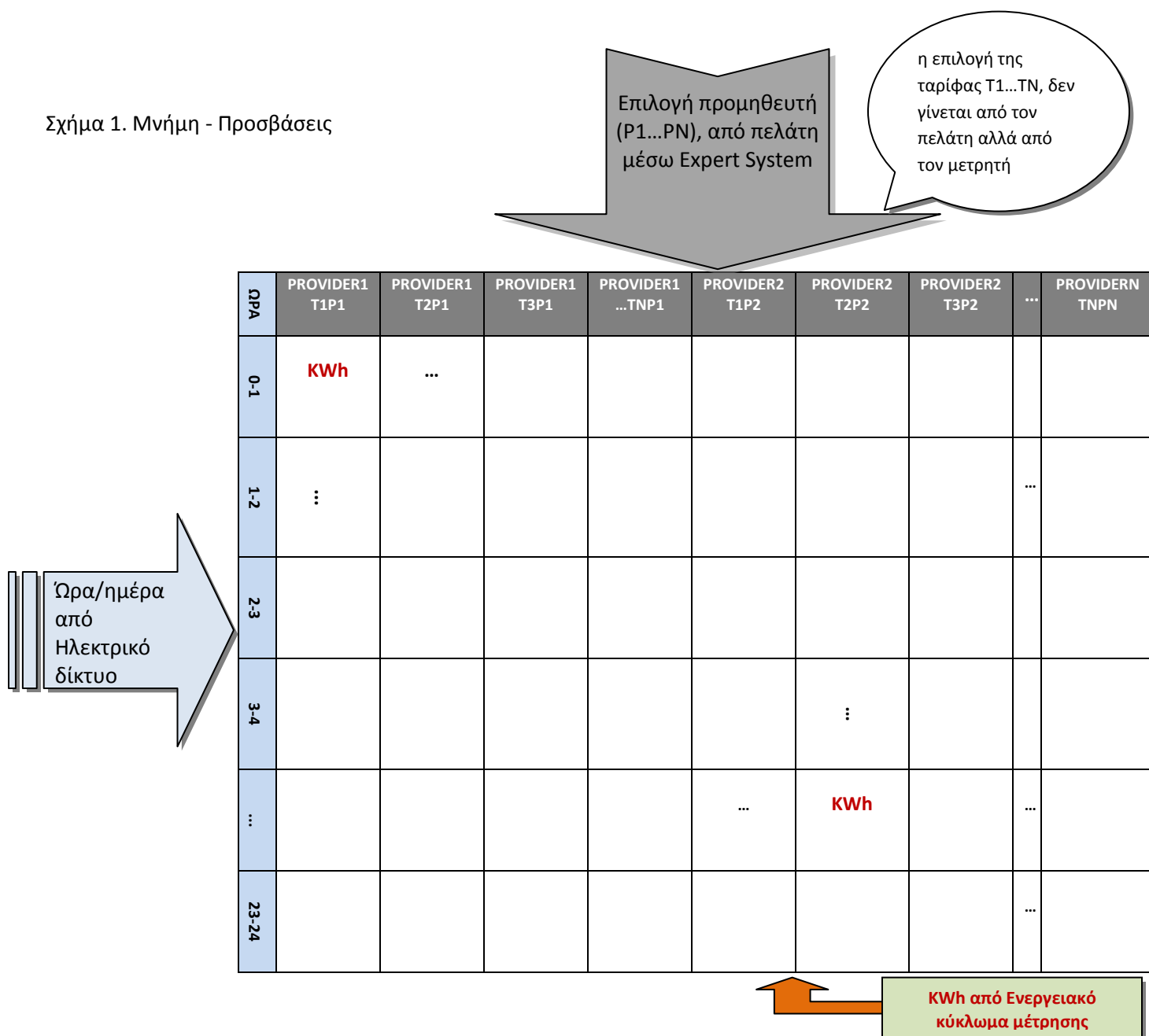
ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις παρακάτω σελίδες αναλύουμε την οργάνωση μνήμης του προτεινόμενου μετρητή από όπου και προκύπτει η αδιαβλητότητα του.

Ο μετρητής μέσω του μικροελεγκτή του θα πρέπει να καταγράφει στην μνήμη του σε πίνακα, την κατανάλωση της ενέργειας σε KWh που διαβάζει από το προτεινόμενο ενεργειακό του κύκλωμα μέτρησης (βλέπε APPENDIX II) ανά ώρα, για κάθε καταχωρημένο προμηθευτή PROVIDER(1...N) ενέργειας και ταρίφα T(1...N) τιμολόγησης, που αντιστοιχεί στον εκάστοτε επιλεγμένο προμηθευτή, π.χ. ΔΙΑΣ ΑΕ, 3:00μμ-4:00μμ, Τιμολόγιο Δευτέρες(T1), 2.1KWh,...ΚΡΗΤΗ ΑΕ, 00:00-01:00πμ, Τιμολόγιο 7 Κυριακές(T7), 0.3KWh,...ΑΙΟΛΟΣ ΑΕ, 8:00μμ-9:00μμ, Τιμολόγιο 2 Αργίες(T2), 1.5 KWh...ΗΛΙΟΣ ΑΕ, 4:00μμ-5:00μμ, Τιμολόγιο 3μμ-6μμ καθημερινές(T6), 0.8KWh... κ.τ.λ.

212

Σχήμα 1. Μνήμη - Προσβάσεις



Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Ο «έξυπνος» μετρητής λαμβάνει αποκλειστικά την ώρα (σε ωριαία βάση) και ημερομηνία από τον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου σε πραγματικό χρόνο (real time), είτε μέσω του ίδιου του ηλεκτρικού δικτύου (PLC) ή άλλο τρόπο επικοινωνίας ασύρματο ή ενσύρματο, αφού πρωτίστως έχει λάβει από τον διαχειριστή τους διάφορους τιμοκαταλόγους (ταρίφες) ανά ώρα της ημέρας και ημέρα, όλων των προμηθευτών ενέργειας και έχει αποθηκεύσει τις επιλογές προμηθευτών από τον πελάτη ανά ώρα της εκάστοτε ημέρας με την βοήθεια του αυτόματου «έξυπνου» αλγορίθμου υποστήριξης αποφάσεων, Expert System (φυσικά αυτό δεν σημαίνει ότι ο πελάτης/expert system δεν μπορεί να έχει επιλέξει τον ίδιο προμηθευτή για περισσότερο από μία συνεχόμενες ή διαφορετικές ώρες κατά την διάρκεια της ημέρας).

213

Ο μικροελεγκτής του μετρητή στην συνέχεια με τη συμπλήρωση μιας ώρας, διαβάζει την ολική κατανάλωση ενέργειας από το ενεργειακό κύκλωμα μέτρησης την αφαιρεί από την ένδειξη της προηγούμενης ώρας και προσθέτει το αποτέλεσμα κάθε φορά, σε μονάδες KWh, στην ήδη υπάρχουσα ή όχι τιμή του αντίστοιχου κελιού του παραπάνω πίνακα (**βλέπε σχήμα 1**). Η θέση του κελιού προκύπτει κάθε φορά βάσει της ώρας της ημέρας (*γραμμή*) και της εκάστοτε επιλογής προμηθευτή/ταρίφας (*στήλη*).

Προσοχή, για να παραμείνει το σύστημα αδιάβλητο, ο πελάτης δεν μπορεί να επιλέξει την τελική στήλη στον παραπάνω πίνακα παρά μόνο το όνομα του προμηθευτή. Η τελική στήλη που εκάστοτε επιλέγεται και επομένως και κελί, προκύπτει από την αντιπαραβολή του ονόματος του προμηθευτή από τον πελάτη με την ώρα και ημερομηνία από τον διαχειριστή του δικτύου ηλεκτροδότησης και τους αποθηκευμένους τιμοκαταλόγους ανά ώρα και ημέρα, των προμηθευτών της ενέργειας.

Στο τέλος, ο συμπληρωμένος πίνακας ή αφού πρώτα κοστολογηθεί $\{KWhs * (cents/1KWh)\}$ αποστέλλεται από τον «έξυπνο» μετρητή (smart meter) με την συμπλήρωση του 24ώρου ή άλλης εύλογης χρονικής περιόδου (π.χ. ανά δίμηνο) στην Κεντρική Υπηρεσία Τιμολόγησης για την έκδοση του λογαριασμού κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Το όλο σύστημα του μετρητή είναι αδιάβλητο (αμφίδρομο) εάν *αποδείξουμε* κατά **πρώτον** ότι, **τόσο** πελάτης δεν έχει την δυνατότητα να επέμβει και να επιλέξει ώρα και ημέρα (γραμμή πίνακα) **όσο** και ο διαχειριστής του δικτύου ηλεκτροδότησης, προμηθευτή/ταρίφα (στήλη πίνακα), και κατά **δεύτερον** ότι, η επιλογή της στήλης δεν γίνεται αποκλειστικά από τον πελάτη της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παραπάνω ζητούμενη τεκμηρίωση της **αδιαβλητότητας** του μετρητή αποτελεί και τον τελικό στόχο της παρακάτω ενότητας, δηλαδή της αναλυτικής σχεδίασης – οργάνωσης μνήμης του προτεινόμενου μετρητή της παρούσας διατριβής.

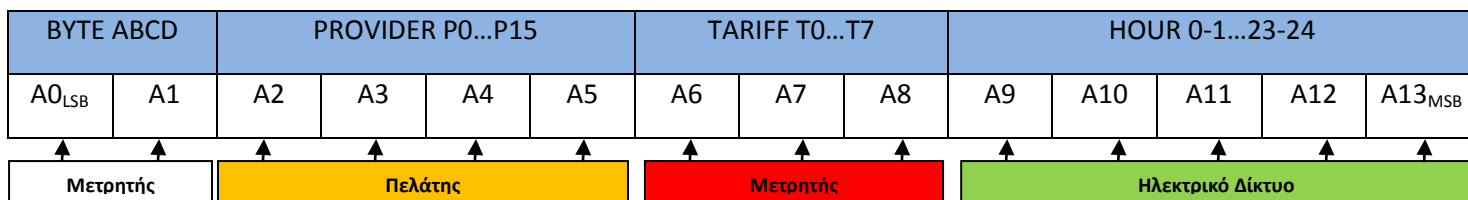
ΑΝΑΛΥΣΗ

Ας θεωρήσουμε παράδειγμα του πίνακα του **σχήματος 1**, με $2^7 = 128$ στήλες προμηθευτές/ταρίφες {T0P0, T1P0, T2P0, T3P0..., TNP0, T0P1, T1P1, T2P1, T3P1, ..., TNP1} σύνολο και 24 γραμμές ώρες της ημέρας {0-1, 1-2, 2-3..., 23-24} σύνολο. Η μήτρα που προκύπτει δίδει, $24 \times 128 = 3072$ **κελιά** στο σύνολο διαθέσιμα για την καταχώρηση των επιμέρους καταναλώσεων σε KWh της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια του 24ώρου.

Αν θεωρήσουμε ότι χρησιμοποιείται 32-bit BCD double precision floating point ψηφιοποίηση της τιμής της καταναλώσεως ενέργειας σε KWh από το ενεργειακό κύκλωμα μέτρησης (βλέπε APPENDIX II) **τότε**, η ηλεκτρονική μνήμη που θα χρησιμοποιήσουμε για την καταχώρηση των καταναλώσεων στα κελιά του πίνακα του **σχήματος 1** πρέπει να είναι οργανωμένη σε ψηφιακές λέξεις των 32-bits = 4 Bytes εύρος δεδομένων. Συνεπώς το μέγεθος της **ελάχιστης απαιτούμενης** μνήμης του «έξυπνου» μετρητή μας υπολογίζεται στα $4 \text{ Bytes} \times 3072 \text{ Κελιά} = 12288 \text{ Bytes} = 12 \text{ Kbytes}$ χωρητικότητα μνήμης. Θα χρησιμοποιήσουμε για τον σκοπό μας μία ηλεκτρονική μνήμη του εμπορίου λίγο μεγαλύτερης χωρητικότητας **16384 Bytes** δηλαδή 16 Kbytes (θα μείνει κενός χώρος στην μνήμη).

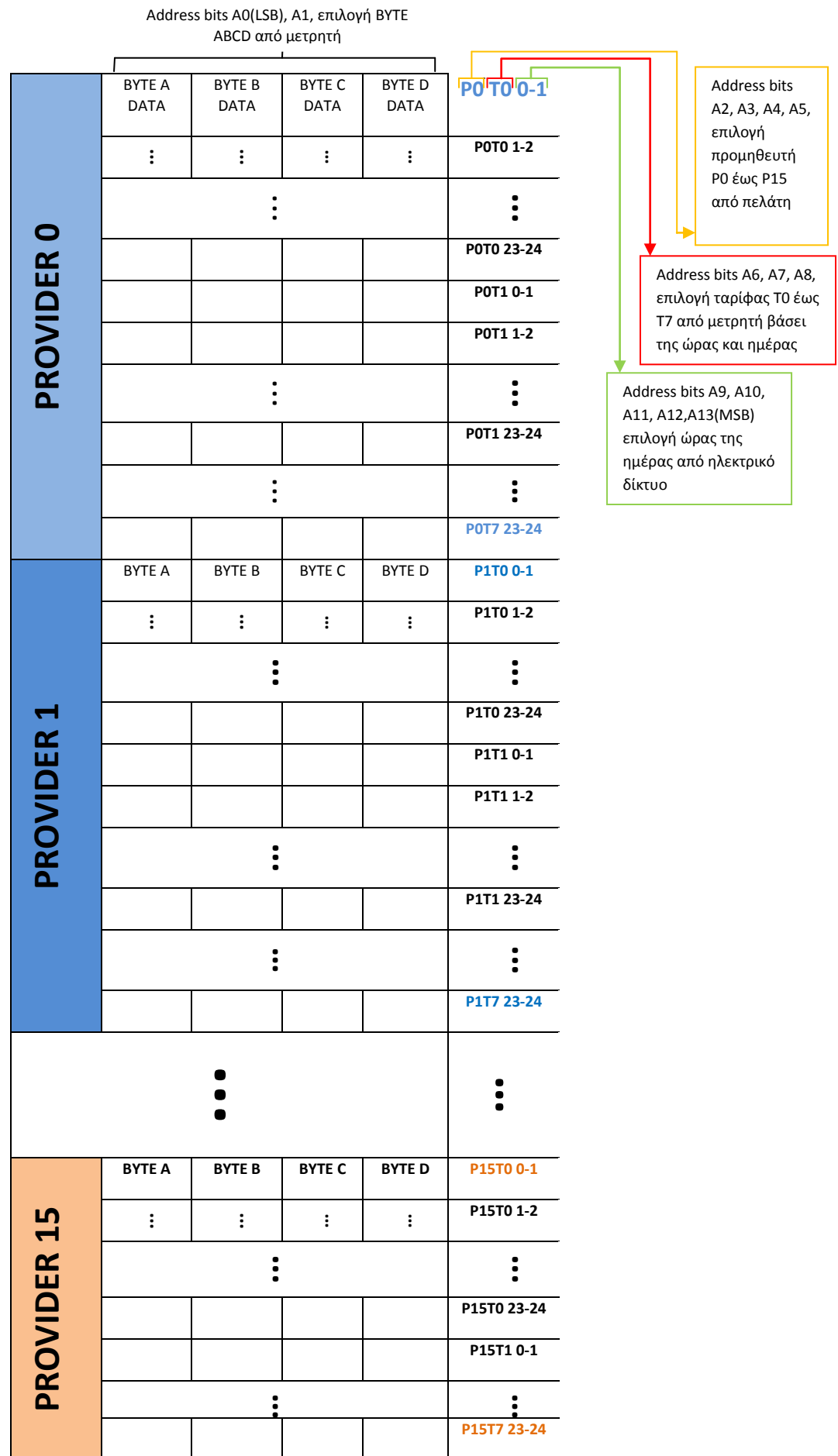
Θεωρούμε ότι ο μετρητής έχει δυνατότητα επιλογής μεταξύ **16 προμηθευτών με 8 διαθέσιμες ταρίφες** στον καθένα, $16 \times 8 = 2^4 \times 2^3 = 128$ επιλογές προμηθευτή/ταρίφας στο σύνολο άρα χρειαζόμαστε 4 γραμμές διευθυνσιοδότησης (Address bits) για την επιλογή του εκάστοτε προμηθευτή, 3 Address bits για την επιλογή από τον μετρητή (όχι τον πελάτη) της ταρίφας του εκάστοτε επιλεγμένου προμηθευτή. Η επιλογή από τον έξυπνο μετρητή, της ταρίφας του προμηθευτή γίνεται βάσει των τιμοκαταλόγων ανά ώρα και ημερομηνία που έχει δώσει ο επιλεγμένος από τον πελάτη προμηθευτής και της τρέχουσας ώρας και ημερομηνίας που έρχεται από τον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου. Συνεχίζοντας, χρειαζόμαστε επίσης 5 Address bits για την επιλογή της ώρας της ημέρας {0-1, 0-2, ..., 23-24} και τέλος 2 Address bits για την επιλογή από τον έξυπνο μετρητή του BYTE (A,B,C,D) από τα τέσσερα που απαρτίζουν την 32-bit ψηφιακή λέξη που κρατάει τα δεδομένα της κατανάλωσης σε KWh. **Συνεπώς**,

$2^2 + 2^4 + 2^3 + 2^5 = 2^{14} = 16384$ θέσεις μνήμης δεδομένων του 1 Byte η κάθε μία, από τις οποίες χρησιμοποιούνται από τον μετρητή του παραδείγματος οι **12288**. Οι υπόλοιπες θέσεις μνήμης του μετρητή μένουν κενές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μελλοντική αναβάθμιση του. Οι 12288 αυτές θέσεις μπορούν να αποθηκεύσουν 3072 μετρήσεις κατανάλωσης ενέργειας σε KWh από το ενεργειακό κύκλωμα μέτρησης όπως προαναφέραμε. Ο δίαυλος διευθύνσεων (Address Bus) της μνήμης του μετρητή του παραδείγματος διαμορφώνεται ως κάτωθιν στο **Σχήμα 2**.



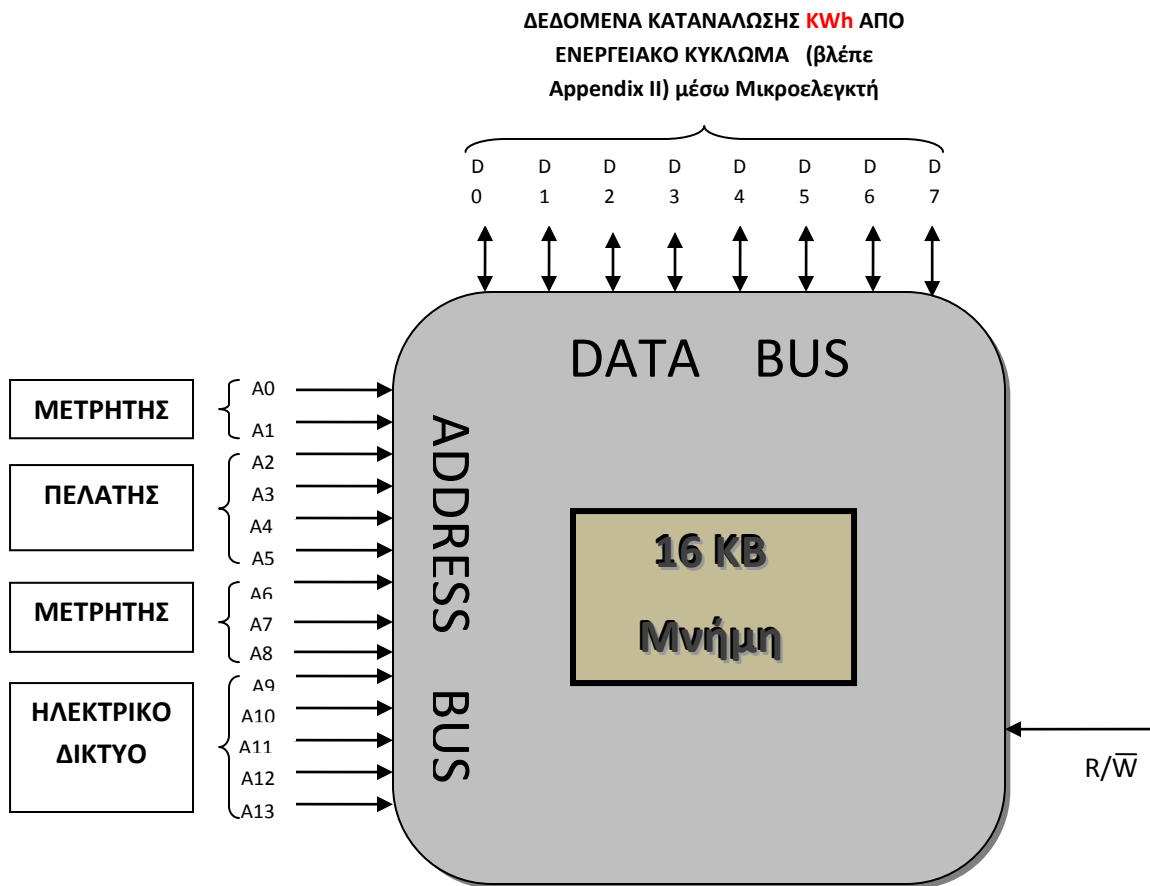
Σχήμα 2. Το Address Bus του Μετρητή και οι αποκλειστικές προσβάσεις

Στο **Σχήμα 3** απεικονίζεται η οργάνωση μνήμης του μετρητή του παραδείγματος:



Σχήμα 3. Η Οργάνωση Μνήμης του Μετρητή Multi-tariff & Multi-provider

Η 16Kbyte ηλεκτρονική μνήμη του εμπορίου που χρησιμοποιούμε είναι **μονοδιάστατης μήτρας** (1 Byte X 16384 θέσεις), δηλαδή έχει έναν **8-bits** (1 Byte) ευρύ, δίαυλο δεδομένων (Data Bus) και έναν 14-bits ευρύ δίαυλο διευθύνσεων, Address Bus. Επίσης χρησιμοποιείται και μία γραμμή (1 bit), Read/Write ($R/\overline{W}$) για την ανάγνωση ή εγγραφή στην μνήμη. Το μπλοκ διάγραμμα της μνήμης του μετρητή **του παραδείγματος** του Appendix III φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 4. Το μπλοκ διάγραμμα της μνήμης του smart meter

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Εξηγήσαμε αναλυτικά και με την βοήθεια παραδείγματος , την σχεδίαση και οργάνωση της μνήμης του «έξυπνου» μετρητή.

Τεκμηριώσαμε με την παραπάνω ανάλυση την **λειτουργικότητα** και **αδιαβλητότητα** του μετρητή αφού όπως αποδείχτηκε στις παραπάνω σελίδες η πρόσβαση στην μνήμη μετρήσεων δεν γίνεται αποκλειστικά από τον διαχειριστή του δικτύου ηλεκτροδότησης ή τον πελάτη μέσω του expert system ή τον μετρητή τον ίδιο, αλλά απαιτεί την συνεργασία και των τριών δίνοντας **μέρος** της διευθυνσιοδότησης της μνήμης ο καθένας χωριστά και αποκλειστικά.

«Η περίπτωση μας ομοιάζει με την περίπτωση της θυρίδας σε τράπεζα, όπου απαιτούνται δύο κλειδιά για να ανοίξει, ένα κλειδί του πελάτη και ένα του τραπεζικού υπάλληλου μόνο που στην δικιά μας περίπτωση απαιτούνται τρία στον αριθμό κλειδιά».

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα επιδείξουμε τον high-level χρονισμό του προτεινόμενου συστήματος για **πιθανό σενάριο** παράδειγμα κύκλου εργασίας του με παράλληλες διαδικασίες που μπορεί να έχουμε, με την βοήθεια διαγράμματος PETRI NET. Για τον low-level χρονισμό δεν τίθεται θέμα αφού εκεί έχουμε έλεγχο από μικροελεγκτή με σειριακή εκτέλεση εντολών νημάτωσης, threading, (βλέπε Appendix II). Η παρακάτω ανάλυση θα αποδείξει την **αξιοπιστία** του προτεινόμενου συστήματος.

218

ΑΝΑΛΥΣΗ

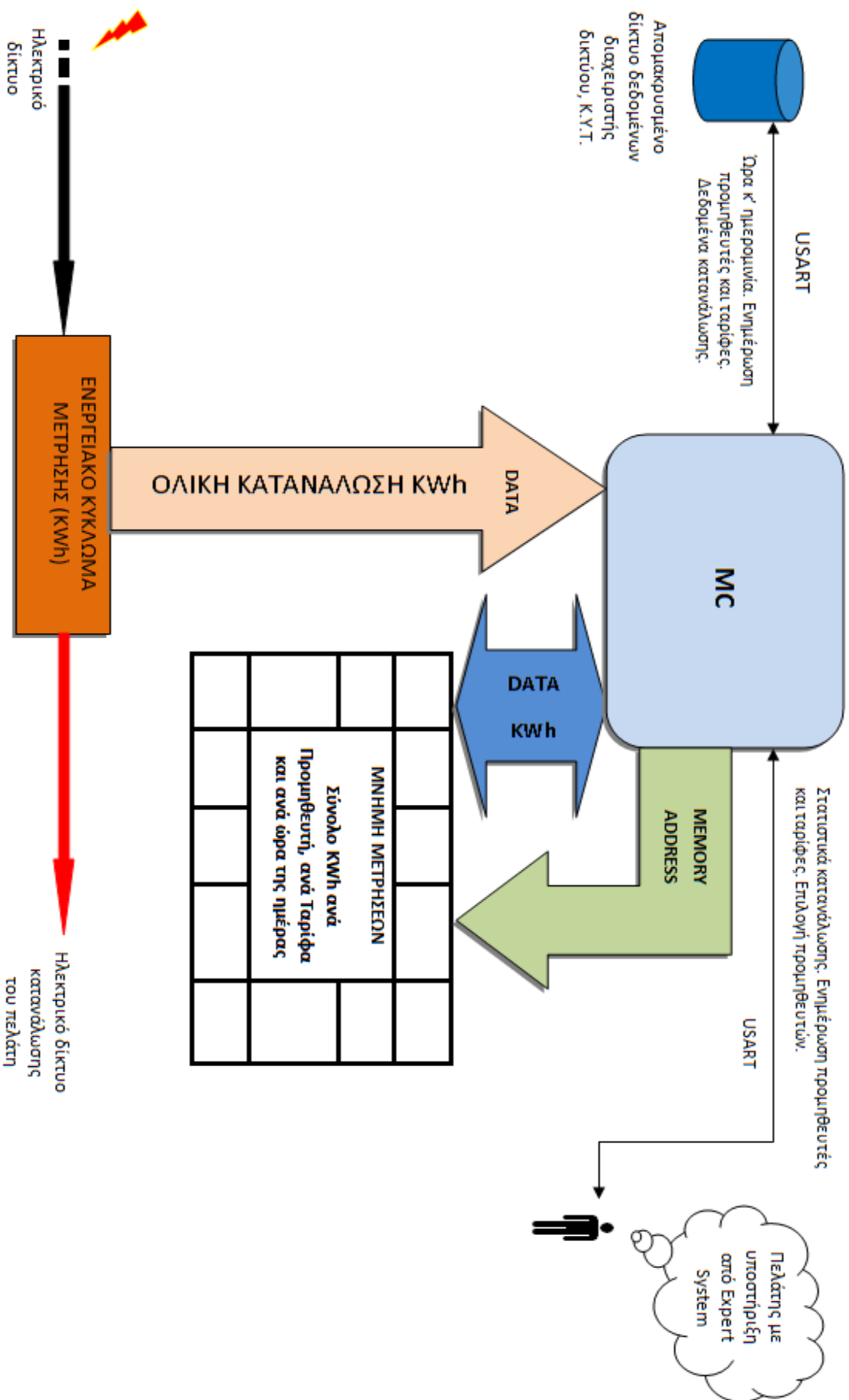
Το Σχήμα 5, μπλοκ, περιγράφει το σύστημα του μετρητή για τον σκοπό της ανάλυσης μας.

Ο μικροελεγκτής (MC) παρακολουθεί συνεχώς μέσω σειριακής επικοινωνίας (USART) τις πληροφορίες που έρχονται από το απομακρυσμένο δίκτυο πληροφοριών του διαχειριστή του δικτύου και την κεντρική υπηρεσία τιμολόγησης (Κ.Υ.Τ) όπως ενημερώσεις της λίστας των υπαρχόντων προμηθευτών και τις διαφορετικές ταρίφες τους τιμολόγησης που αυτοί μπορούν να έχουν σύμφωνα με την ώρα και ημερομηνία του έτους καθώς και εντολές ελέγχου του μετρητή π.χ. την διακοπή της ηλεκτροδότησης του πελάτη. Για λόγους συγχρονισμού και ασφάλειας των μετρήσεων και αδιαβλητότητας η ώρα και ημερομηνία μεταδίδεται σε ωριαία βάσει αποκλειστικά από το διαχειριστή του δικτύου στον μετρητή. Ο MC πρέπει να «περνά» αμέσως τους ενημερωμένους τιμοκαταλόγους στο expert system για να αποφευχθεί η περίπτωση να έχει επιλεχθεί προμηθευτής που εκείνη την ώρα ή ημέρα έχει διακοπή των υπηρεσιών του, **στην αντίθετη περίπτωση ο μετρητής θα χρεώνει τον πελάτη σε ανύπαρκτο προμηθευτή.**

Οι ενημερώσεις αυτές μπορούν να έρθουν οποιαδήποτε στιγμή από το απομακρυσμένο δίκτυο δεδομένων.

Οι ενημερώσεις των τιμοκαταλόγων (ταρίφες) των προμηθευτών πρέπει να έχουν, το όνομα του προμηθευτή, την ονομασία της ταρίφας (π.χ. T2), το ακριβές ποσό της ταρίφας (π.χ. 3 cents/KWh), την ώρα ή ώρες του 24ώρου για την οποία θα ισχύει η συγκεκριμένη ταρίφα του συγκεκριμένου προμηθευτή (π.χ. 3μμ-6μμ) και την ημερομηνία του έτους για την οποία ισχύει η ταρίφα. Ο προμηθευτής έχει δικαίωμα να αλλάξει το ποσό μιας ταρίφας του (π.χ. T2 3cents/KWh) από μέρα σε μέρα **για λόγους ανταγωνισμού** αλλά όχι κατά την διάρκεια της ημέρας. Αυτό συμβαίνει επειδή ο μετρητής δεν κάνει την τελική κοστολόγηση αυτή γίνεται από την Κεντρική Υπηρεσία Τιμολόγησης (π.χ. $3C/KWh * 6KWh = 18 \text{ cents}$), αλλά στέλνει στο δίκτυο δεδομένων και την Κ.Υ.Τ. μονάχα την ονομασία της ταρίφας και ημερομηνία (π.χ. ΑΙΟΛΟΣ ΑΕ, 3:00μμ-4:00μμ, T2, 6KWh, 24-6-2011).

Παράλληλα ο μετρητής «διαβάζει» σε ωριαία βάσει την ολική κατανάλωση σε **KWh** από το ενεργειακό κύκλωμα και «γράφει» τα δεδομένα της κατανάλωσης στην 24ώρη μνήμη μετρήσεων με την διαδικασία όπως αυτή αναλύθηκε νωρίτερα σε προηγούμενες σελίδες του Appendix III της διατριβής. Με την διαφορά μόνο ότι για το συγκεκριμένο σενάριο κύκλου εργασίας του μετρητή που αναλύουμε εδώ οι ωριαίες καταναλώσεις σε KWh **δεν** προστίθενται η μία πάνω στην άλλη αφού πρόκειται καθαρά και μόνο για 24ώρη μνήμη μετρήσεων την οποία το σύστημα «σβήνει» μετά την συμπλήρωση του 24ώρου. Παράλληλα σε ξεχωριστή μνήμη του, ο MC κρατάει και τις ακριβείς ημερομηνίες του έτους στις οποίες ανταποκρίνονται τα δεδομένα κατανάλωσης στην μνήμη μετρήσεων τα οποία αυτά μαζί συνιστούν τα **στατιστικά δεδομένα κατανάλωσης** του πελάτη και τα όποια ο μετρητής αποστέλλει στο τέλος του 24ώρου στον αλγόριθμο του **expert system** για επεξεργασία ώστε σε συνδυασμό με την είσοδο των προτιμήσεων (**κριτήρια**) του πελάτη στο expert system και τους ενημερωμένους τιμοκαταλόγους αυτό να αποφασίζει και να επιλέγει κάθε φορά



Σχήμα 5. Το Σύστημα του Μετρητή

αυτόματα τους «κατάλληλους» προμηθευτές ανά ώρα και ημερομηνία του έτους και να τους αποστέλλει στον MC για την εγγραφή των δεδομένων κατανάλωσης KWh στην μνήμη μετρήσεων. Το ποσό της ταρίφας χρησιμοποιείται μόνο για να αποφασίσει το expert system και να επιλέξει τον προμηθευτή.

«Πρέπει να τονίσουμε εδώ, ότι ο MC προτού γράψει οτιδήποτε στην μνήμη μετρήσεων πρέπει πρώτα να «κοιτάζει» αν υπάρχει λήψη ενημερωμένων εκδόσεων τιμοκαταλόγων από τον διαχειριστή του δικτύου να τις διαβιβάζει στο expert system και αφού πάρει την έξοδο του τότε και μόνο να προβεί στην εγγραφή της μνήμης μετρήσεων». 220

Το expert system με άλλα λόγια λειτουργεί σε **Real-time** και κάθε φορά (κάθε ώρα) που πρέπει να γραφτεί από το σύστημα μία κατανάλωση KWh στην μνήμη μετρήσεων σύμφωνα, με τους διαθέσιμους ενημερωμένους τιμοκαταλόγους – ταρίφες, την λίστα των διαθέσιμων προμηθευτών (με αυτούς που έχει συνάψει συμβόλαια ο πελάτης) και τις προτιμήσεις του πελάτη, αποφασίζει και επιλέγει τον κατάλληλο προμηθευτή. Να τονίσουμε ότι δεν έχει νόημα το expert system να προγραμματίζει π.χ. την εβδομαδιαία λίστα προμηθευτών του πελάτη επειδή τα δεδομένα των προμηθευτών και τιμοκαταλόγων μπορούν να αλλάζουν ανά πάσα στιγμή. Επίσης σε ένα **δυναμικό multi-provider & multi-tariff** πιθανό μελλοντικό δίκτυο στο οποίο απευθύνεται ο προτεινόμενος μετρητής, δεν είναι δυνατόν να υπάρχουν **πάγιες χρεώσεις** στους λογαριασμούς των πελατών από τους προμηθευτές καθώς μάλιστα θα υπάρχει η **πιθανότητα** σύναψης ενός **ανοιχτού συμβολαίου** με τον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου που θα περιλαμβάνει όλους τους εκάστοτε προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην αντίθετη περίπτωση των επιμέρους συμβολαίων του πελάτη με τους προμηθευτές, το **expert system** πρέπει να γνωρίζει έκτων προτέρων αποκλειστικά και μόνο από τον διαχειριστή του δικτύου (σε καμιά περίπτωση από τον πελάτη) με ποιους προμηθευτές ο πελάτης έχει συνάψει συμβόλαια. Στην τελευταία περίπτωση μάλιστα, θα μπορούσε το απομακρυσμένο δίκτυο δεδομένων του διαχειριστή, να αποστέλλει στον μετρητή του πελάτη κάθε φορά μόνο τους τιμοκαταλόγους και τα ονόματα εκείνων των προμηθευτών με τους οποίους αυτός έχει συνάψει συμβόλαια.

Το ενδιαφέρον είναι όταν στα συμβόλαια αυτά υπάρχουν και ειδικά **πακέτα προσφορών** και εκπτώσεων στην τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. μείωση 30% όταν ο πελάτης ξεπεράσει ένα ποσό κατανάλωσης και άνω). Τότε το expert system για να αποφασίσει σωστά και να ικανοποιήσει π.χ. το κριτήριο (προτίμηση) που του έχει εισάγει ο πελάτης π.χ. βρίσκει πάντα το ποιο συμφέρον (φθηνό) προμηθευτή, πρέπει να ξέρει και το περιεχόμενο των συμβολαίων καθώς και τα **στατιστικά δεδομένα κατανάλωσης** του πελάτη που προαναφέραμε νωρίτερα στην ανάλυση μας για τουλάχιστον μία περίοδο κατανάλωσης ένα μήνα. Τα αγορασμένα από τον πελάτη αυτά πακέτα προσφορών μπορεί να τα εισάγει χειροκίνητα ο πελάτης στο expert system ή απλώς να τα αγοράζει και αυτά να εισάγονται αυτόματα στο expert system μέσω του δικτύου δεδομένων του διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου (βλέπε σχήμα 5).

Λίγα λόγια ακόμη για το expert system, που μπορεί για τον έξυπνο μετρητή που προτείνουμε, να αποτελέσει κάλλιστα αντικείμενο διατριβής από μόνο του. Αυτό μπορεί, ανάλογα με τις απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, να είναι

ενσωματωμένο στον μετρητή είτε σαν μέρος του κώδικα του **MC** ή σε άλλον ξεχωριστό επεξεργαστή μέσα στον μετρητή ή σε έναν απομακρυσμένο server. Στην πρώτη περίπτωση ο πελάτης εισάγει της προτιμήσεις του απευθείας στον μετρητή μέσω διεπαφής (π.χ. θύρα RS-232, USB, Bluetooth) ή μέσω τοπικής δικτύωσης του με τον μετρητή (π.χ. wi-fi, ZigBee, HAN) ή στην περίπτωση του απομακρυσμένου server, αυτός ανήκει στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου όπου ο πελάτης κάνει login σε ιστοσελίδα (web) παρακολούθησης και ελέγχου (κριτήρια επιλογής προμηθευτών) του μετρητή του. Στην δεύτερη περίπτωση, του server, και η επιλογή του προμηθευτή από το απομακρυσμένο αυτό expert system έρχεται μέσω του δικτύου δεδομένων του διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου (βλέπε σχήμα 5). Στην πιθανότητα που ο πελάτης δεν εισάγει ποτέ προτιμήσεις στο expert system αυτό θα ενεργοποιεί αρχικά (default) κριτήρια επιλογής προμηθευτών. Εδώ **τελειώνει** και η αναφορά μας στο expert system. **Συνεχίζουμε με το υπόλοιπο σύστημα του μετρητή.**

Όσον αφορά την επικοινωνία του μετρητή με το δίκτυο δεδομένων του διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου, αυτή μπορεί να γίνει ενσύρματα με ευρυζωνικό PLC OFDM, με ADSL/TCP IP, ή ασύρματα με κινητή τηλεφωνία GPRS/GSM, με wiMAX, είναι μερικοί από τους τρόπους.

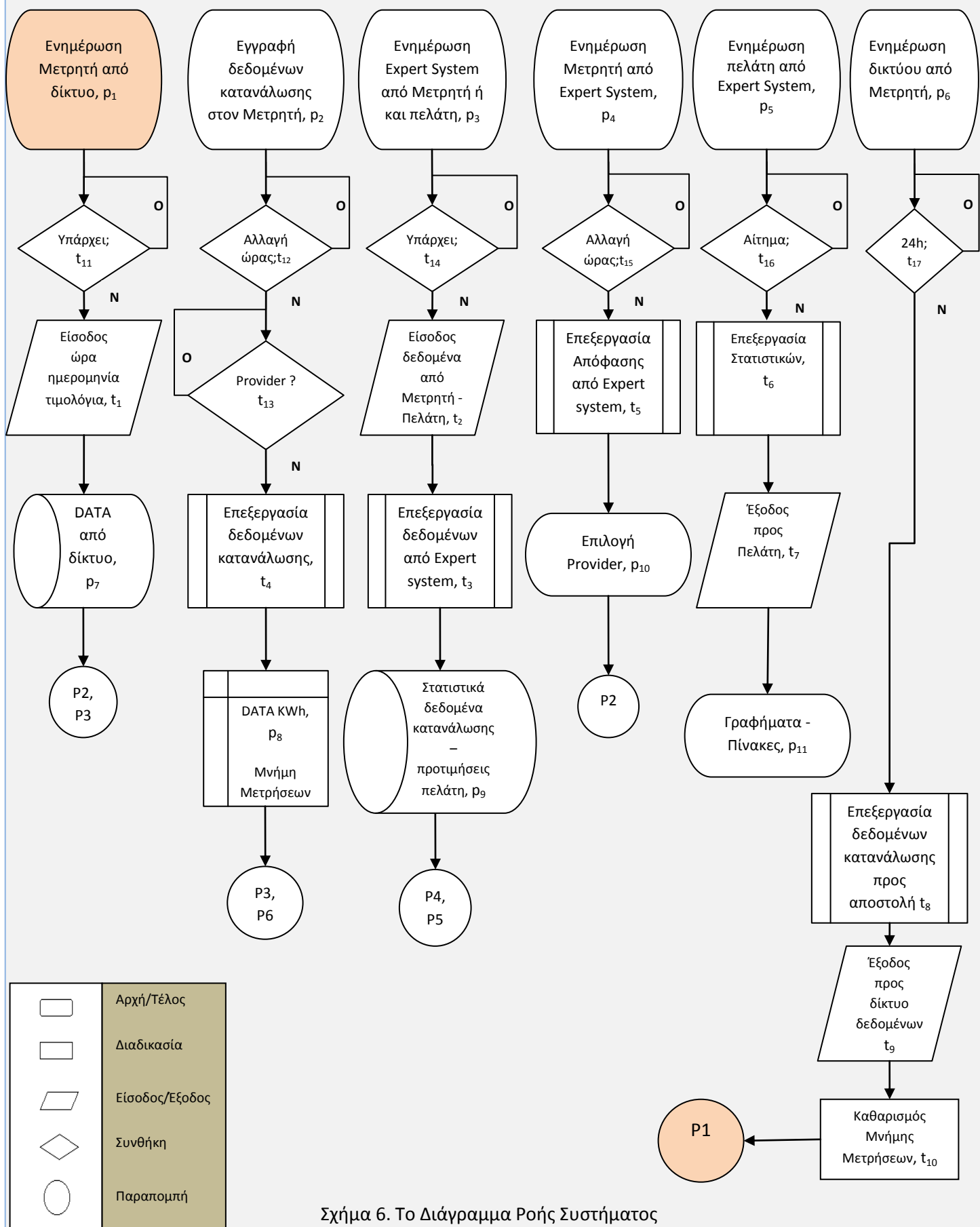
Στο τέλος κάθε 24ώρου ο MC του μετρητή αποστέλλει μέσω του δικτύου δεδομένων τα δεδομένα κατανάλωσης του πελάτη για το 24ώρο (ήμερα), στην Κεντρική Υπηρεσία Τιμολόγησης (Κ.Υ.Τ.) που είναι υπεύθυνη για την τελική κοστολόγηση του πελάτη και συνήθως εκδίδει λογαριασμό κάθε δίμηνο. «Καθαρίζει» την μνήμη μετρήσεων και ένας **νέος ημερήσιος κύκλος** εργασίας του μετρητή ξεκινά. Μία επισήμανση εδώ, σε αντίθεση με την μνήμη μετρήσεων ο καταχωρητής στο ενεργειακό κύκλωμα μέτρησης (βλέπε σχήμα 5) που κρατάει την ολική κατανάλωση ενέργειας του πελάτη σε KWh, δεν μηδενίζει (32-bit register).

Οι **προτιμήσεις** του πελάτη στο expert (έμπειρο) system δεν αναφέρονται σε απευθείας επιλογές των ονομάτων των προμηθευτών (αν και θα δίνεται και αυτή η δυνατότητα κυρίως για ειδικές συμφωνίες με μεγαλοπελάτες) αλλά στην εισαγωγή κριτηρίων βάσει των οποίων το expert system θα κάνει την επιλογή των προμηθευτών και δεν σημαίνουν πάντοτε τον φθηνότερο προμηθευτή. Μερικά παραδείγματα πέρα του πασιφανές για τον φθηνότερο πάντα προμηθευτή είναι, π.χ. μόνο προμηθευτές ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (ηλιακή, αιολική), ή όχι πυρηνική ενέργεια, ή ανανεώσιμες πηγές για συγκεκριμένες ώρες της ημέρας ή ημέρες, ή συνδυασμός των άνω, ο φθηνότερος πάντα προμηθευτής ανανεώσιμων κ.τ.λ.

Προφανώς για να μπορεί να σταθεί το όλο προτεινόμενο σύστημα ή **Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.)** για την αποφυγή **αθέμιτου ανταγωνισμού** θα ορίζει σε όλους τους προμηθευτές που συμμετέχουν στο δίκτυο ηλεκτρισμού την ίδια για όλους, ελάχιστη τιμή ταρίφας. Επίσης επειδή το προτεινόμενο έξυπνο δίκτυο είναι **δυναμικό** με την έννοια ότι ο προμηθευτής μπορεί να αλλάξει ταρίφες από την μια στιγμή στην άλλη αν το κρίνει, οι τιμές αυτών δεν μπορούν να ανακοινωθούν πριν την εφαρμογή τους.

Τέλος, δεν τίθεται θέμα και δεν είναι πρόβλημα όταν ένας προμηθευτής δεν μπορεί να καλύψει την ζήτηση της ενέργειας μια δεδομένη ώρα της ημέρας, στην περίπτωση αυτή αγοράζει την ενέργεια που του υπολείπεται από άλλον προμηθευτή που είναι στο ίδιο δίκτυο ηλεκτροδότησης (λογιστική μεταφορά ενέργειας).

Το παρακάτω διάγραμμα ροής του **Σχήματος 6** αποκαλύπτει την high-level λειτουργία του προτεινόμενου συστήματος μετρητή της ανάλυσης μας:



Σχήμα 6. Το Διάγραμμα Ροής Συστήματος

Εισαγωγή στα Petri Net

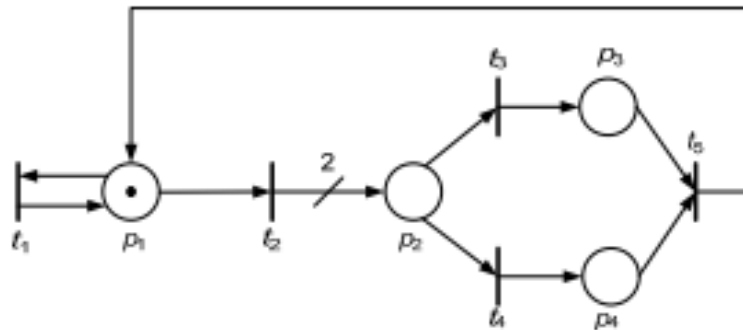
Προκειμένου να περιγραφεί μια αλυσίδα των γεγονότων (π.χ., η λειτουργία ενός συστήματος προστασίας) είναι συχνά απαραίτητο να αντιπροσωπευθούν οι δραστηριότητες που εμφανίζονται ή μια παράλληλα με την άλλη, αλλά όχι ανεξάρτητα: παραδείγματος χάριν, ένα δεδομένο γεγονός δεν μπορεί να επιτραπεί για να εμφανιστεί ή να ενεργοποιηθεί εκτός αν άλλες δραστηριότητες ολοκληρώνουν ή μία συνθήκη εκπληρωθεί. Στα συστήματα ισχύος τα PNs έχουν χρησιμοποιηθεί ήδη για να αξιολογήσουν την αξιοπιστία και την ασφάλεια, και για να μιμηθούν τη συμπεριφορά των συστημάτων προστασίας [1][2][3]. Petri Net (PN) είναι ένα μαθηματικό μοντέλο που επιτρέπει την αντιπροσώπευση και την περιγραφή μιας γενικής διαδικασίας, αλλά και τη διαμόρφωση της εξέλιξης της διαδικασίας από την άποψη της νέας κατάστασης της που θα παρέλθει η διαδικασία αυτή μετά το περιστατικό κάθε γεγονότος. Τα PNs μπορούν να αντιπροσωπευθούν από μια γραφική παράσταση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οπτικό βοήθημα επικοινωνίας με τη δυνατότητα να μιμηθούν οι δυναμικές και ταυτόχρονες δραστηριότητες του ελλοχεύοντος συστήματος. Σαν μαθηματικό εργαλείο, ένα PN επιτρέπει την προδιαγραφή των εξισώσεων εξέλιξης κατάστασης, μαζί με τις αλγεβρικές σχέσεις που κυβερνούν τη συμπεριφορά του συστήματος [4]. Γραφικά, PNs μπορεί να προσδιοριστεί ως κατευθυνόμενη διμερής γραφική παράσταση με δύο σύνολα κόμβων, θέσεων (κύκλοι) και μεταβάσεων (ράβδοι), και κατευθυνόμενων τόξων (βέλη) που συνδέουν θέσεις με μεταβάσεις και το ανάποδο. Ένα παράδειγμα ενός petri net εμφανίζεται στο **Σχήμα 7**.

Αποτελείται από τέσσερις θέσεις, που αντιπροσωπεύονται από τους κύκλους, πέντε μεταβάσεις, που απεικονίζονται από τις ράβδους, και τα κατευθυνόμενα βέλη που συνδέουν θέσεις με μεταβάσεις και μεταβάσεις με θέσεις. Οι θέσεις, οι μεταβάσεις και τα βέλη αντιπροσωπεύουν, την κατάσταση της διαδικασίας, τα γεγονότα που εμφανίζονται και τους κανόνες εξέλιξης της διαδικασίας, αντίστοιχα. Η τρέχων κατάσταση της διαδικασίας προσδιορίζεται κάθε φορά από τη θέση σημείων (κουκίδων). Ο αριθμός σημείων στις θέσεις αλλάζει όταν συμβαίνει κάποιο γεγονός (πυροδότηση μετάβασης). Χαρακτηριστικά, οι θέσεις εισόδου ($O \rightarrow I$) αντιπροσωπεύουν τη διαθεσιμότητα δεδομένων, οι μεταβάσεις αντιπροσωπεύουν τη χρησιμοποίησή τους, και οι θέσεις εξόδου ($O \leftarrow I$) αντιπροσωπεύουν την έκδοση των δεδομένων. Σε πολλές περιπτώσεις οι κουκίδες αντιπροσωπεύουν τα ίδια τα δεδομένα.

Στο PN του σχήματος 7, παραδείγματος χάριν, η θέση p1 είναι και είσοδος και θέση εξόδου της μετάβασης t1 και μια θέση εισόδου της t2 μετάβασης. Η θέση p2 είναι η θέση εξόδου της t2 μετάβασης και η θέση εισόδου των μεταβάσεων t3 και t4, και ούτω καθεξής. Σημειώστε ότι από την t2 μετάβαση στην θέση p2 υπάρχουν δύο τόξα, το οποίο δείχνεται μερικές φορές από ένα μονό τόξο βάρους 2. Όταν η t2 μετάβαση πυροδοτήσει (βέλος /2), αυτή αφαιρεί μία κουκίδα από τη θέση p1 και τοποθετεί δύο κουκίδες στη θέση p2, έπειτα οι κουκίδες στην θέση p2 διατίθενται στις μεταβάσεις t3 και t4. Προκειμένου να αναλυθεί η δυναμική συμπεριφορά του μοντέλου αυτού του συστήματος με την εξέταση της εξέλιξής της τρέχων κατάστασης του κάθε φορά της (αριθμός κουκίδων αλλάζει στις θέσεις), πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι κάθε θέση **μπορεί να κρατάει έναν μη αρνητικό αριθμό κουκίδων**, που απεικονίζονται από τα μικρά στερεά σημεία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7. Η παρουσία ή η απουσία μίας κουκίδας σε μια θέση (p) δείχνει εάν μία συνθήκη

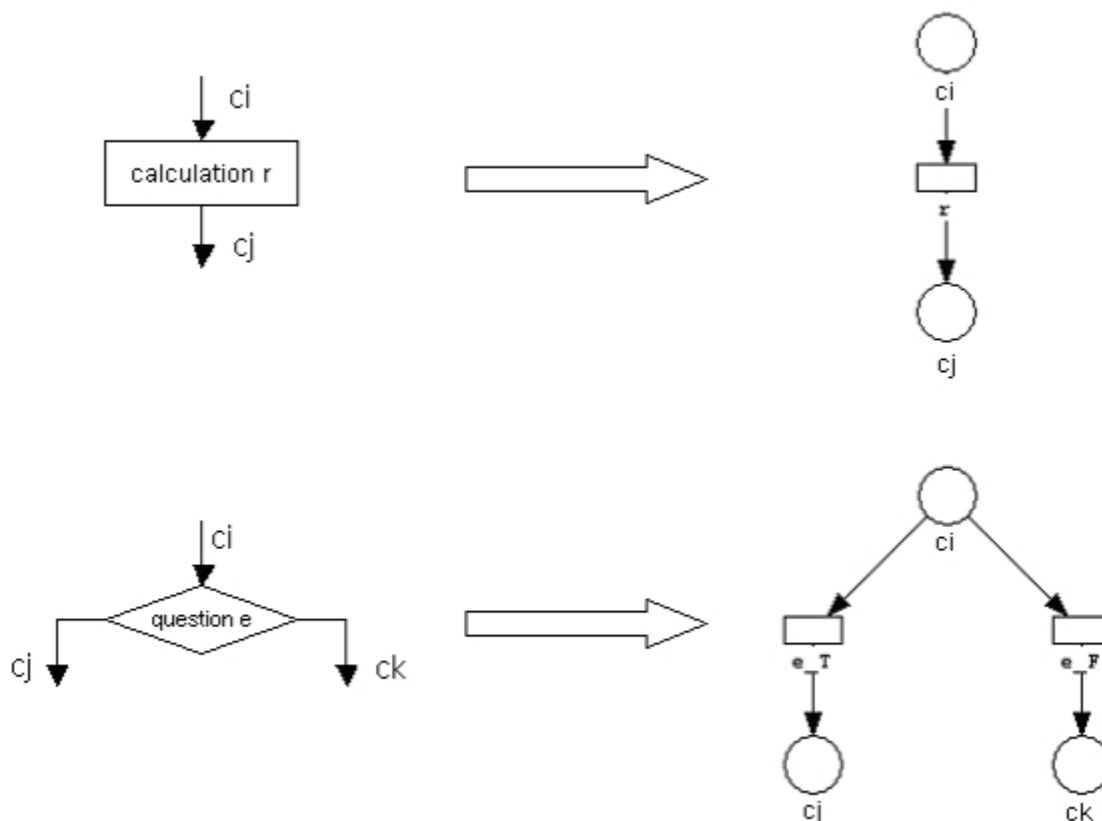
που συνδέεται με την κατάσταση της διαδικασίας αυτής είναι αληθής ή ψεύτικη ή, για μια θέση που αντιπροσωπεύει τη διαθεσιμότητα δεδομένων, ο αριθμός των κουκίδων δείχνει τον αριθμό των διαθέσιμων πόρων δεδομένων. Για οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή η κατανομή των κουκίδων στις θέσεις του PN καλείται φάση Petri Net (Marking) και καθορίζει την παρούσα κατάσταση του συστήματος [4][5].

224



Σχήμα 7. Παράδειγμα Petri Net [1]

Στο **Σχήμα 8** βλέπουμε μερικούς μετασχηματισμούς διαγράμματος ροής σε PETRI NET:



Σχήμα 8. Μετασχηματισμοί σε Petri Net [6]

Τα Petri net χαρακτηρίζονται από τη δυνατότητά τους να χειριστούν την ακολουθία λειτουργίας, παράλληλη λειτουργία, σύγκρουση και αμοιβαίος αποκλεισμός στα συστήματα. Αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα τους κάνουν ένα δυνατό εργαλείο ανάλυσης σε παράλληλα καθώς και πραγματικού χρόνου Real-time συστήματα.

Εκτός από τη δύναμη μοντελοποίησης τους, τα petri net περιγράφονται και ως γραφικό εργαλείο και ως μαθηματικό εργαλείο. Σαν γραφικό εργαλείο, παρέχουν ένα οπτικό μέσο για τον σχεδιαστή για να περιγράψει το σύνθετα σύστημα και να το παρουσιάσει. Σαν μαθηματικό εργαλείο, το μοντέλο σε petri net μπορεί να αντιπροσωπευθεί από γραμμικές αλγεβρικές εξισώσεις, δημιουργώντας την δυνατότητα για τον επίσημη ανάλυση του προτύπου μοντέλου ενός συστήματος [Zurawski και Zhou 1994]. Οι μαθηματικές ιδιότητες του petri net μπορούν να διακριθούν σε (1) δομικές που εξαρτώνται από την τοπολογία του συστήματος που περιγράφεται και σε (2) λειτουργικές που εξαρτώνται από τον αλγόριθμο, ακολουθία εκτέλεσης, που συμβολίζεται στο petri net με την διαδοχή των κουκίδων (βλέπε σχήμα 7), markings. Από μαθηματική άποψη, η ανάλυση petri των δικτύων μπορεί να βασιστεί στην απαρίθμηση όλων των πιθανών κουκίδων για την διαμορφώσει των δέντρων εφικτότητας (reachability graph) ή/και μέσω μαθηματικών θεωριών όπως αυτή της θεωρίας πινάκων. Συνοψίζουμε τις λειτουργικές ιδιότητες των petri net όπως κατωτέρω:

1. Reachability (εφικτότητα)— αυτό καθορίζει εάν ένα σύστημα μπορεί να φθάσει σε μία δεδομένη κατάσταση (state) λειτουργίας ή να εκθέσει μια ιδιαίτερη λειτουργική συμπεριφορά. Η εφικτότητα διατυπώνεται με τον όρο $R(M_0)$, όπου M_0 είναι η αρχική κατάσταση λειτουργίας του συστήματος (κουκίδα στο διάγραμμα petri net).
2. Liveness (ζωντάνια)— αυτό ανιχνεύει εάν η κατάσταση αδιεξόδου (deadlock) θα εμφανιστεί στο σύστημα ή όχι.
3. Boundedness (περατότητα) και Safeness (ασφάλεια) — ένα petri net λέγεται ότι είναι πεπερασμένο και ασφαλές εάν κανένας όρος υπερχειλίσσης (overflow) δεν ανιχνεύεται.
4. Conservativeness (συντηρητικότητα) — το petri net περιγράφεται ως συντηρητικό εάν ο συνολικός αριθμός των κουκίδων σε αυτό παραμένει σταθερός ανεξάρτητα από τις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του
5. Reversibility (αντιστρεψιμότητα) — ένα petri net είναι αντιστρέψιμο εάν,

$$\forall M \in R(M_0), M_0$$

όπου M είναι μία δεδομένη κατάσταση λειτουργίας του συστήματος (marking). Αυτή η ιδιότητα καθορίζει εάν η επανεκκίνηση του συστήματος είναι δυνατή ή όχι.

Όσον αφορά την μοντελοποίηση, τα petri net προσφέρουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Η χρησιμοποίηση των petri net για την μοντελοποίηση χαρακτηριστικών γνωρισμάτων όπως τη σχέση προτεραιότητας εκτέλεσης, παράλληλη λειτουργία, σύγκρουση και αμοιβαίος αποκλεισμός σε συστήματα πραγματικού χρόνου real-time είναι απλή και κατανοητή.

- Η επίσημη γραφική αναπαράσταση (διάγραμμα petri net) παρέχει ένα μέσο οπτικοποίησης σύνθετων συστημάτων και για τους σχεδιαστές αλλά και για τους χρήστες του συστήματος.

Όσον αφορά την ανάλυση, τα petri net έχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Έχοντας ένα καλά αναπτυγμένο μαθηματικό υπόβαθρο, η ανάλυση μπορεί να πραγματοποιηθεί για να ανιχνεύσει λάθη όπως αδιέξοδο, υπερχείλιση, μη αναστρέψιμες καταστάσεις κ.τ.λ.

υπερχείλιση και αμετάκλητες καταστάσεις, κ.λπ.

- Η αξιολόγηση απόδοσης είναι δυνατή μέσω της μαθηματικής ανάλυσης του μοντέλου του συστήματος (χρησιμοποιώντας Deterministic Timed Petri Nets ή Stochastic Timed Petri Nets).

Οι σημαντικότερες αδυναμίες των petri net είναι: (1) είναι η μοντελοποίηση της έννοιας του χρόνου, δεν είναι άμεσα κατανοητή [Rembold et Al 1993] (2) καθώς το μέγεθος και η πολυπλοκότητα των συστημάτων αυξάνονται, οι πιθανές καταστάσεις (state-space) του petri-net αυξάνονται εκθετικά, που από ένα σημείο και μετά καθιστά το petri net ακατάλληλο τόσο για γραφική αναπαράσταση όσο και για μαθηματική ανάλυση (3) μικρές αλλαγές στο σύστημα επιφέρουν σχεδόν ολοκληρωτική αλλαγή στο petri net πράγμα που το καθιστά σχετικά «δύσκαμπτο». Πολλή έρευνα έχει διεξαχθεί προκειμένου να αντιμετωπίσουν, ειδικότερα οι πρώτες δύο αδυναμίες. Οι περισσότεροι από τους ερευνητές προσπαθούν να εμπλουτίσουν τη δύναμη μοντελοποίησης των συνηθισμένων petri net με την ενσωμάτωση της έννοιας του χρόνου, η οποία οδηγεί στα **Timed petri net** και της αναπαράστασης και συσχετισμού των δεδομένων (Data) του συστήματος με την «κουκίδα» (**token**), που οδηγεί στα high-level petri net υψηλού επιπέδου στο όπως τα Coloured Petri net (CPNs), τα Fuzzy petri net, κ.λ.π...

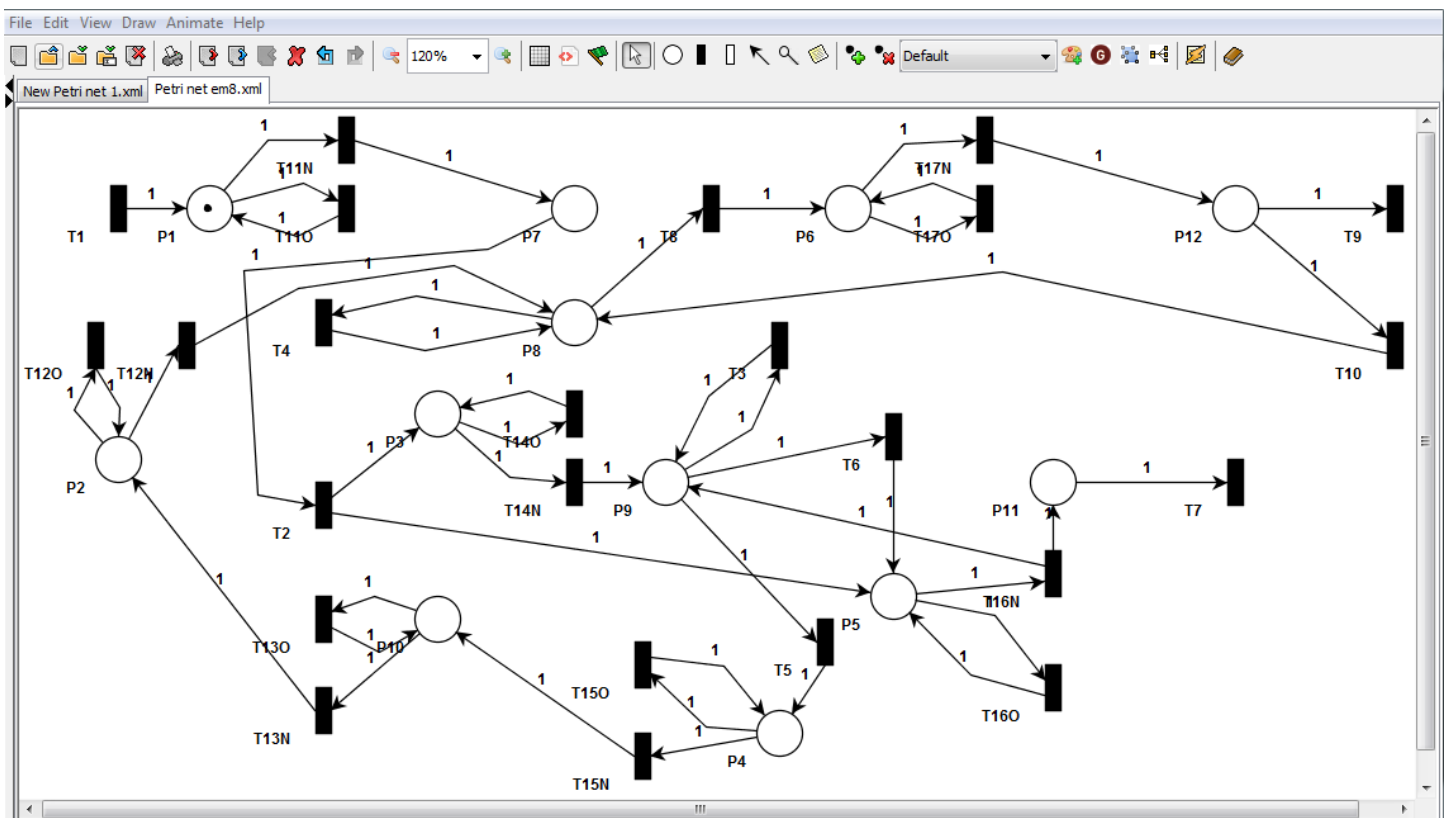
ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΤΗ MULTI-TARIFF & MULTI-PROVIDER

ΜΕ

PETRI NET

227

Στο **σχήμα 9** βλέπουμε το Petri net του αλγορίθμου που περιγράψαμε νωρίτερα με το διάγραμμα ροής (σχήμα 6):

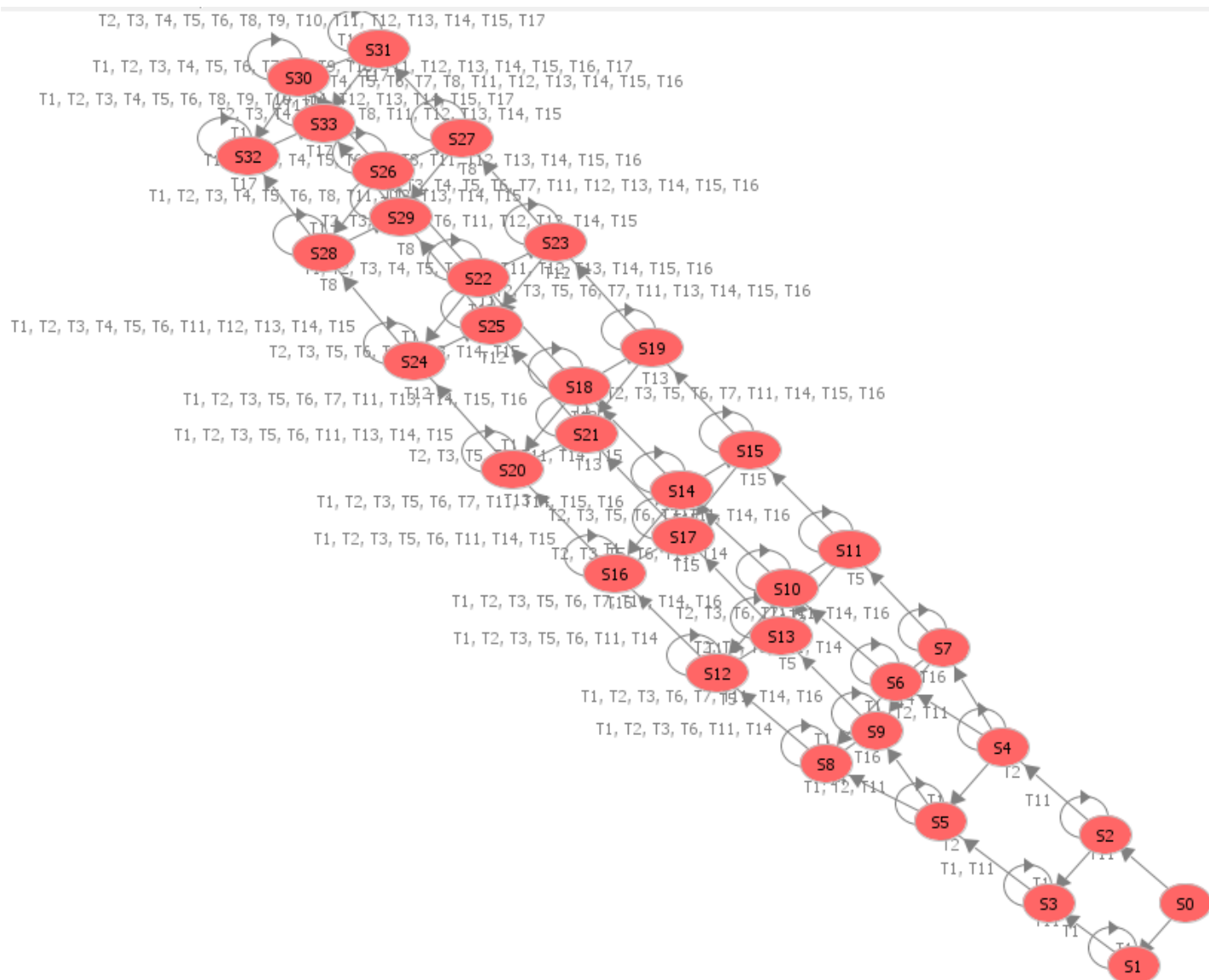


Σχήμα 9. Το PETRI NET

Τα εργαλεία **ανάλυσης** και **προσομοίωσης** που χρησιμοποιήθηκαν είναι το **Netedit** (W. Nauber, TU Dresden) και **INA** (P. Starke, Humboldt-Universität zu Berlin) καθώς και το **PIPE 3** (Unified Platform-Independent Petri Net Editor).

Παρακάτω, παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα που πήραμε:





Σχήμα 10. Reachability/Coverability Graph με το PIPE 3

Το Reachability Graph είναι ένα διάγραμμα ακολουθίας όλων των πιθανών καταστάσεων (states $s_0, s_1, \dots, s_n$) που μπορεί να επέλθει το σύστημα μας κατά τις διάφορες μεταβάσεις του (transitions) σε θέσεις λειτουργίας (places) κατά τον σκανδαλισμό (firings) του από γεγονότα (events). Χρήσιμα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από την χάραξη του όπως αν το υπό εξέταση σύστημα μας είναι περατό (έχει πεπερασμένο αριθμό states) και συνεπώς bounded, όλες οι δυνατές καταστάσεις του, προκύπτουν δηλαδή ως ακολουθία από τον σκανδαλισμό από την αρχική του κατάσταση s_0 . Αν είναι safe δηλαδή ότι κάθε state πλην του αρχικού s_0 έχει τουλάχιστον μία είσοδο και μία έξοδο και συνεπώς μπορεί να ανιχνευθεί αν το σύστημα μας είναι live δηλαδή ότι δεν έχει αδιέξοδα deadlocks όπου το σύστημα μας «κωλύει» σε μια κατάσταση και δεν έχουμε συνέχεια της ακολουθίας σκανδαλισμών, firings ή επίσης μπορεί να ανιχνευθούν καταστάσεις υπερχειλίσσης overflow, εφόσον μία κατάσταση έχει πολλή μεγαλύτερο αριθμό εισόδων από εξόδους. Συνήθως τα συστήματα που έχουν και τις τρεις ιδιότητες bounded, safe live χαρακτηρίζονται ως «υγιή» [6]. Το παραπάνω petri net επιδεικνύει και τις τρεις ιδιότητες bounded, safe και live και άρα είναι υγιές.

Petri net incidence and marking (PIPE 3)

Forwards incidence matrix I^+

	T 1	T1 0	T11 0	T12 0	T13 0	T14 0	T15 0	T16 0	T17 0	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T11 N	T14 N	T15 N	T12 N	T13 N	T16 N	T17 N
P1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1 0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P1 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P1 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
P3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0

Backwards incidence matrix I

	T 1	T1 0	T11 0	T12 0	T13 0	T14 0	T15 0	T16 0	T17 0	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T11 N	T14 N	T15 N	T12 N	T13 N	T16 N	T17 N
P1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P1 0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
P1 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1 2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Combined incidence matrix I

	T 1	T1 0	T11 0	T12 0	T13 0	T14 0	T15 0	T16 0	T17 0	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T11 N	T14 N	T15 N	T12 N	T13 N	T16 N	T17 N
P1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0

P1 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0
P1 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P1 2	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1
P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0
P5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
P6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1
P7	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0

230

Inhibition matrix *H*

	T 1	T1 0	T11 0	T12 0	T13 0	T14 0	T15 0	T16 0	T17 0	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T11 N	T14 N	T15 N	T12 N	T13 N	T16 N	T17 N
P1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Marking

	P1	P10	P11	P12	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Initial	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Enabled transitions

	T 1	T1 0	T11 0	T12 0	T13 0	T14 0	T15 0	T16 0	T17 0	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T11 N	T14 N	T15 N	T12 N	T13 N	T16 N	T17 N
yes	no	yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	yes	no	no	no	no	no	no

Παραπάνω βλέπουμε την μαθηματική αναπαράσταση σε πίνακες αληθείας, **incidence and marking** (κατανομή κουκίδων tokens στο petri net) του εν λόγω petri net, στάδιο απαραίτητο για την παραπέρα μαθηματική ανάλυση και προσομοίωση του [6]. Παρατηρούμε ότι ο Inhibitor πίνακας είναι γεμάτος με μηδενικά πράγμα φυσικό αφού στο petri net του συστήματος μας δεν χρησιμοποιούμε βέλη Inhibitor arcs που χρησιμοποιούνται ως συνθήκη μετάβασης σε μία θέση (place) μόνο όταν αυτή είναι άδεια από κουκίδες tokens [9].

Petri net simulation results (PIPE 3)

Place Average number of tokens 95% confidence interval (+/-)

P1	5.27575	5.09457
P10	0.39203	1.28463
P11	5.37209	3.55509
P12	0.24585	0.22362
P2	0.25249	0.95492
P3	1.40864	2.80067
P4	0.6412	4.18321
P5	2.95017	4.00031
P6	0.40532	1.73785
P7	1.39535	2.16361
P8	0.23588	0.56032
P9	9.08306	6.75588

Η οπτική βηματική προσομοίωση της μετακίνησης των tokens (κουκίδες) στις διάφορες θέσεις (places) του petri net μας επιτρέπει τον έλεγχο και εκσφαλμάτωση του αλγορίθμου λειτουργίας του συστήματος καθώς και προβλέπει καταστάσεις deadlocks και overflow. Στον παραπάνω στατιστικό πίνακα απεικονίζεται η συχνότητα εμφάνισης tokens ανά place του petri ανά αριθμό firings. Αν ο αριθμός αυτός σε ένα συγκεκριμένο place είναι σχετικά μεγάλος τότε υπάρχει ο κίνδυνος για υπερχείλιση στην θέση αυτή.

Minimal Siphons and Minimal Traps (PIPE 3)

Minimal siphons

{P1, P10, P12, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9}

Minimal traps

{P1, P10, P12, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9}

Analysis time: 0.016s

Τα minimal siphons και minimal traps είναι ένα άλλο είδος μαθηματικής ανάλυσης των petri nets ειδικά όταν το petri είναι σχετικά μεγάλο και δεν είναι εφικτή η χάραξη το reachability graph. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση καταστάσεων αδιεξόδου deadlocks στο σύστημα που συμβαίνει όταν τα δύο σύνολα Minimal siphons και Minimal traps δεν είναι τα ίδια. Στην περίπτωση αυτή το σύστημα παρουσιάζει κατάσταση αδιεξόδου και συνεπώς δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως ζωντανό, live [6].

Petri net classification results

State Machine	false
Marked Graph	false
Free Choice Net	true
Extended Free Choice Net	true
Simple Net	true
Extended Simple Net	true

232

Petri net invariant analysis results

T-Invariants

T1 T10 T110 T120 T130 T140 T150 T160 T170 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 T9 T11N T14N T15N T12N T13N T16N T17N

0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2

The net is covered by positive T-Invariants, therefore it might be bounded and live.

P-Invariants

P1 P10 P11 P12 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 P9

The net is not covered by positive P-Invariants, therefore we do not know if it is bounded.

Η Petri net Ανάλυση Σταθερών, Invariant Analysis, είναι άλλη μία μαθηματική μέθοδος ανάλυσης των petri nets στην οποία με τον υπολογισμό των σταθερών T-Invariants των μεταβάσεων (transitions) και των P-Invariants των θέσεων (places) του συστήματος εκτιμάται αν το σύστημα μπορεί να είναι bounded και live (αποκλειστικά θετικές μόνο τιμές των P και T σταθερών). Πάντως, αρκετές φορές η μέθοδος αυτή δεν καταλήγει σε σίγουρο συμπέρασμα οπότε χρησιμοποιείται απλώς ως μία ένδειξη [6][9].

Petri net state space analysis results

Bounded false

Safe false

Deadlock false



Όλα τα αρχεία της ανάλυσης & προσομοίωσης μπορούν να βρεθούν στο **CD-ROM** της διατριβής.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Επαληθεύσαμε την λειτουργία και ορθότητα του προτεινόμενου συστήματος μέσω **προσομοίωσης με Petri net** και τεκμηριώσαμε την αξιοπιστία του μέσω **μαθηματικής ανάλυσης**. Η **invariant ανάλυση** δεν μπόρεσε να αποδείξει ότι το σύστημα είναι **περατό bounded** και **ζωντανό live** χωρίς να το αποκλείει όμως. Η **state-space** ανάλυση έδειξε ότι το προτεινόμενο σύστημα δεν έχει **αδιέξοδα, deadlocks** (τιμή false) άρα και είναι **ζωντανό, live**, δεν μπορούσε όμως να αποδείξει και να φτάσει στο τελικό συμπέρασμα αν το σύστημα μας πέσει σε καταστάσεις **υπερχείλισης, overflow** (bounded false, safe false). Αυτό συνέβη επειδή το συγκεκριμένο σύστημα που μοντελοποιήθηκε με το Petri net είναι **high-level** περιγραφή όπου μία θέση (place) στο μοντέλο petri net μπορεί πιθανά να αναπαριστά τόσο ένα πόρο (resource) του συστήματος όσο και ένα γεγονός (event) το ίδιο συμβαίνει και με μία μεταγωγή (transition). [6][7][8]

Η απορία μας αυτή τελικά λύθηκε με την επιτυχή χάραξη του γραφήματος εφικτότητας **Reachability Graph** που χαράζεται από το εργαλείο ανάλυσης μονάχα όταν το σύστημα δεν έχει καταστάσεις υπερχειλίσης overflow, συνεπώς αποδείξαμε ότι το σύστημα μας είναι και **bounded** και **safe** και **live**. [9]

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στην μελέτη στο **Appendix III** της μεταπτυχιακής μας διατριβής σχεδιάσαμε και αναλύσαμε την οργάνωση μνήμης του προτεινόμενου πιθανού παραδείγματος ενός multi-tariff & multi-provider μετρητή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και αποδείξαμε μέσω της ανάλυσης μας αυτής την αδιαβλητότητα του μετρητή. Επίσης προσομοιώσαμε με Petri net την high-level περιγραφή του συστήματος του μετρητή και τεκμηριώσαμε και επαληθεύσαμε την ορθή λειτουργία του καθώς και την αξιοπιστία του με την μαθηματική ανάλυση του δικτύου Petri.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Failure Identification in Smart Grids based on Petri Net Modeling Vito Calderaro, Member, IEEE, Christoforos N. Hadjicostis, Senior Member, IEEE, Antonio Piccolo, Member, IEEE, and Pierluigi Siano Member, IEEE, 10-0791-TIE.R1 IEEE 2011.
- [2] G. Ramos, J.L. Sanchez, A. Torres, M.A. Rios, “Power systems security evaluation using Petri nets,” IEEE Trans. Power Delivery, v. 25, n. 1, pp. 316–322, Jan. 2010.
- [3] L. Jenkins, H.P. Khincha, “Deterministic and stochastic Petri net models of protection schemes,” IEEE Trans. Power Delivery, v. 7, n. 1, pp. 84–90, Jan. 1992.
- [4] C.G. Cassandras and S. Lafortune, “Introduction to discrete event systems,” Springer, 2007.
- [5] R. Zurawski, Zhou MengChu, “Petri nets and industrial applications: a tutorial,” IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. 41, n. 6, pp. 567–583, Dec. 1994
- [6] Design and Analysis with Petri Nets DR. WALTER NAUBER TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN FACULTY OF COMPUTER SCIENCE INSTITUTE FOR THEORETICAL COMPUTER SCIENCE SUMMER SEMESTER 2010
- [7] Department of Computer Science Science and Engineering, Indian institute of Technology Delhi, “An Informal Introduction to Petri Nets”, <http://www.cse.iitd.ernet.in/esproject/docs/hldm-2004/petri-netimplonfpga/references&presn/PN1.pdf>
- [8] INA Integrated Net Analyzer Manual, <http://www2.informatik.hu-berlin.de/~starke/ina.html>
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/Petri_net#Boundedness

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

«Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές και ειλικρινείς μου ευχαριστίες μου στους καθηγητές μου του τμήματος ΗΜΜΥ του Πολυτεχνείου Κρήτης, καθηγητή Γεώργιο Σταυρακάκη – επιβλέπων διατριβής και τους καθηγητές Εμμανουήλ Αντωνιδάκη και Κωνσταντίνο Καλαϊτζάκη, για την πολύτιμη επιστημονική τους βοήθεια αλλά και αμέριστη ψυχολογική συμπαράσταση κατά την διάρκεια της παρούσας διατριβής.»

ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ



Ο κος Μαρκουλάκης Εμμανουήλ ξεκίνησε τις σπουδές του σαν Ηλεκτρονικός Μηχανικός (Τ.Ε.) το 1988 στο ΤΕΙ Κρήτης Τμήμα Ηλεκτρονικής και αποφοίτησε το 1992 με βαθμό άριστα και δύο κρατικούς χρηματικούς επαίνους για την απόδοση του κατά την διάρκεια των σπουδών. Στην συνέχεια μεταφέρεται στο Μάντσεστερ της Μ. Βρετανίας στο Victoria University of Manchester και το UMIST με υποτροφία σπουδών και το 1994 αποκτά τον τίτλο B.Eng with Honors in Electronic System Engineering και το 1995 τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών με υποτροφία SERC, MSc. In VLSI Systems Engineering από το ίδιο πανεπιστήμιο. Απόσπασε την υψηλότερη βαθμολογία που έχει δοθεί ποτέ, σε δύο projects στο UMIST και συστατικές επιστολές με έπαινο από του Άγγλους καθηγητές του. Οι τίτλοι σπουδών αναγνωρίζονται από το ΔΙΚΑΤΣΑ ισότιμοι και αντίστοιχοι με τον τίτλο του ΕΜΠ του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών.

Επιστρέφει στην Ελλάδα το ίδιο έτος όπου και τελεί την στρατιωτική του θητεία και στην συνέχεια εργάζεται ως έκτακτος καθηγητής Μέσης και Τεχνολογικής εκπαίδευσης ΤΕΙ. Το 2004 διορίζεται σαν μόνιμος καθηγητής μέσης εκπαίδευσης με οργανική θέση το 6^ο Γυμνάσιο Χανίων ενώ παράλληλα εργάζεται σαν έκτακτος καθηγητής στο ΤΕΙ Κρήτης και το ΙΕΚ Χανίων έως και σήμερα.

Το 2009 ξεκινά μεταπτυχιακές σπουδές στο τμήμα ΗΜΜΥ του Πολυτεχνείου Κρήτης έχοντας πάρει υπηρεσιακή άδεια μετά αποδοχών και χρηματική αποζημίωση από το Υπουργείο Παιδείας.

Ο κος Μαρκουλάκης Εμμανουήλ είναι παντρεμένος με την κα Παντελάκη Αναστασία Φυσικός και είναι πατέρας ενός παιδιού.

Κος Μαρκουλάκης Εμμανουήλ, (markoul@otenet.gr)

Καθηγητής Μέσης και Τεχνολογικής Εκπαίδευσης ΤΕΙ

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών (ΕΜΠ ΔΙΚΑΤΣΑ)

B.Eng. Electronic Systems Engineering, Victoria University of Manchester – UMIST UK.

M.Sc. VLSI Systems Engineering UMIST, UK.

Ηλεκτρονικός Μηχανικός ΤΕΙ Κρήτης