



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ**  
**AC ΚΑΙ DC ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ**

**Δ Ι Π Λ Ω Μ Α Τ Ι Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α**  
ΤΟΥ

**ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Γ. ΣΤΡΑΤΙΝΑΚΗ**

Επιβλέπων: Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, φεβρουάριος 2016





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑC ΚΑΙ DC ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ

Δ Ι Π Λ Ω Μ Α Τ Ι Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α  
Τ Ο Υ

**ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Γ. ΣΤΡΑΤΙΝΑΚΗ**

Επιβλέποντες: Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την .....2016.

.....  
Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Γεώργιος Κορρές  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Πάυλος Γεωργιλάκης  
Επίκουρος καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2016

.....  
**ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Γ. ΣΤΡΑΤΙΝΑΚΗ**

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

© 2016 – All rights reserved



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία καλούμαστε να αναλύσουμε και να παρουσιάσουμε όλες τις διαφορετικές εκφάνσεις ενώ **μικροδικτύου** και ειδικότερα ενός **οικιακού μικροδικτύου** το οποίο βασίζεται ,όχι μόνο από την άποψη παροχής αλλά και σχεδιαστικά, στο **συνεχές ρεύμα(DC)**. Βασικός όμως στόχος δεν είναι μόνο η παρουσίαση ενός τέτοιου μικροδικτύου αλλά και κατά πόσο βιώσιμη και αποδοτική είναι μια τέτοια εγκατάσταση για έναν καταναλωτή, και όσον αφορά την ποιότητα της παρεχόμενης ενέργειας αλλά και των οικονομικών οφελών που θα προσέφερε μια τέτοια εγκατάσταση σε αντίθεση με την υπάρχουσα δομή παροχής ενέργειας αλλά και ενός μικροδικτύου που θα βασίζεται στο εναλλασσόμενο ρεύμα. Το 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή στις **μονάδες καταναλωμένης παραγωγής** που χρησιμοποιούνται από ένα μικροδίκτυο αλλά και παρουσιάζεται ένας γενικός ορισμός του τι είναι ένα μικροδίκτυο. καθώς και ιστορικά στοιχεία για την εξέλιξη του, κάποια γενικά χαρακτηριστικά του, και εφαρμογές του σήμερα.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο έχουμε μια ιστορική αναδρομή στην πορεία των δυο τύπων ρευμάτων (**AC-DC**) ,και πως οδηγηθήκαμε στο παρόν σύστημα διανομής και παραγωγής ενεργειας. Επίσης αρχίζουμε και μπαίνουμε στην έννοια του **DC οικιακού μικροδικτύου**.

Το 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στις διάφορες διατάξεις **ηλεκτρονικών ισχύος** που θα πρέπει να αξιοποιηθούν σε ένα DC μικροδίκτυο.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μονάδες παραγωγής ενός μικροδικτύου με έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο απαντάται το ερώτημα κατά πόσο η σημερινή αγορά είναι προσφιλής για την υιοθέτηση ενός DC οικιακού περιβάλλοντος από την άποψη των **DC οικιακών συσκευών** που προσφέρονται στον καταναλωτή

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο έχουμε παρουσίαση των τεχνικών και οικονομικών στοιχείων των πηγών που θα χρησιμοποιήσουμε στην μελέτη μας.

Στο 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο μπαίνουμε στην μελέτη μιας σύγχρονης αστικής κατοικίας η οποία αξιοποιεί ένα μικροδίκτυο. Εφαρμόζουμε διάφορα πιθανά σενάρια εγκαταστάσεων βασισμένα σε διαφορετικά επίπεδα τάσης AC και DC ,και υπολογίζουμε την κατανάλωση και τις απώλειες ενέργειας που θα είχε ο καταναλωτής σε κάθε περίπτωση.

Στο 8<sup>ο</sup> κεφάλαιο μελετάμε το κόστος της κάθε διαφορετικής εγκατάστασης που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στην μελέτη αυτή παρουσιάζουμε το απαιτούμενο κεφάλαιο ,το κόστος ενέργειας, και την απόσβεση της κάθε επένδυσης. Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα **HOMER ENERGY**.

Στο 9<sup>ο</sup> κεφάλαιο έχουμε μια τελική σύγκριση των παραπάνω εγκαταστάσεων και προσομοιώσεων καθώς και γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την εργασία σαν σύνολο.

Το 10<sup>ο</sup> κεφάλαιο είναι η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

## ABSTRACT

In this paper we analyze and present all the different aspects of a **microgrid** and especially a home microgrid based ,not only in terms of supply and design, but also on the **direct current (DC)**. But the main objective is not only the presentation of such a microgrid ,but whether such facility is sustainable and efficient for a consumer, and as regards the quality of the energy and the economic benefits that would offer such a facility as opposed to the existing power structure and a microgrid based on **alternating current**.To this end, together with the need for more clean and "green energy" we would consider such a facility in conjunction with use of the most **efficient renewable energy technologies**.

The 1<sup>st</sup> chapter is an introduction to **distributed generation units** used by a microgrid and a general definition of what is a microgrid, as well as historical data on the evolution of some general characteristics, and applications of today, are presented.

In the 2<sup>nd</sup> chapter we have a throwback to the way the two types of currents (**AC-DC**) led us to this distribution system and energy production. Also enters the concept of **home DC microgrid**.

The 3<sup>rd</sup> chapter is devoted to various **power electronic devices** which are used in a DC microgrid.

In the 4<sup>th</sup> chapter the production units of a microgrid with emphasis on renewable energy sources are presented.

In the 5<sup>th</sup> chapter the question is answered of how the current market is treasured for the adoption of a DC home environment in terms of **DC home appliances** offered to consumers.

In the 6<sup>th</sup> chapter we present the technical and financial data sources that we use in our study regarding the renewable energy technologies.

In the 7<sup>th</sup> chapter we have several possible scenarios installations based on different voltage levels AC and DC, and calculate the consumption and energy losses which would have the consumer in each case.

In the 8<sup>th</sup> chapter we study the cost of each different installation presented in the previous chapter. In this study we present the required capital, energy costs, and the depreciation of any investment. The liens were realized with the **HOMER ENERGY** program.

In the 9<sup>th</sup> chapter we have a final comparison of the above facilities and underwritings and general conclusions arising from the work as a whole.

The 10th chapter is the literature used in this work.



## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ/KEYWORDS

Μικροδύκτια, Κατανεμημένη παραγωγή, AC/DC, Ηλεκτρονικά ισχύος, Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Μονάδες αποθήκευσης, Προσομοίωση, Εγκατάσταση, Φορτία

Microgrids, distributed energy resources, Power electronics, Renewable resources,

Electrical batteries, simulation, loads, HOMER ENERGY

## Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΜΙΚΡΟΔΥΚΤΙΑ .....	17
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	17
1.2 ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ .....	17
1.2.1 Εισαγωγή.....	17
1.2.2 Ιστορικό.....	18
1.2.3 Ανάπτυξη ΚΠ.....	19
1.2.4 Κατηγοριοποίηση μονάδων ΚΠ.....	20
1.2.5 Τεχνολογίες ΚΠ.....	20
1.2.6 Επιδράσεις κατανεμημένης παραγωγής .....	23
1.2.7 Πλεονεκτήματα ΚΠ.....	24
1.2.8 Μειονεκτήματα ΚΠ.....	25
1.2.9 Το μέλλον .....	26
1.3 ΜΙΚΡΟΔΥΚΤΙΑ .....	27
1.3.1 Ορισμός - εισαγωγή.....	27
1.3.2 Ιστορικό και εξέλιξη.....	29
1.3.3 Γενικά χαρακτηριστικά μικροδικτύου.....	30
1.3.4 Peer to peer - plug and play.....	33
1.3.5 Ένα τυπικό μικροδίκτυο .....	34
1.3.6 Θέματα διαχείρισης και λειτουργίας μικροδικτύου .....	39
1.3.7 Οικονομικά και τεχνικά πλεονεκτήματα μικροδικτύων .....	40
1.3.8 Μειονεκτήματα και προκλήσεις της χρήσης μικροδικτύων .....	42
1.3.9 Εφαρμογές των μικροδικτύων σήμερα.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 DC ΟΙΚΙΑΚΟ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ .....	48
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	48
2.2 AC - DC.....	49
2.2.1 Ορισμός AC.....	49
2.2.2 Ορισμός DC.....	50
2.2.3 AC παραγωγή και δίκτυο μεταφοράς.....	50
2.2.4 Ο πόλεμος των ρευμάτων και η επικράτηση του εναλλασσόμενου ρεύματος .....	51
2.2.5 Σημερινή κατάσταση δικτύου .....	53
2.2.6 Σύγκριση AC δικτύου με DC .....	54
2.2.7 Η επιστροφή του DC .....	59
2.3 ΟΙΚΙΑΚΟ DC ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ.....	62

2.3.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα DC μικροδικτύου .....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ.....	69
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	69
3.2 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	69
3.2.1 Στρατηγική διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) .....	70
3. 3 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ .....	71
3.3.1 Κατηγορίες και τύποι ηλεκτρονικών διακοπών.....	71
3.3.2 Δίοδος επαφής (P-N).....	72
3.3.3 Διπολικό transistor επαφής (BJT) .....	73
3.3.4 MOSFET ισχύος.....	73
3.3.5 IGBT.....	74
3.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΙΣΧΥΟΣ.....	74
3.5 ΑΝΟΡΘΩΤΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (AC-DC) .....	75
3.5.1 Μονοφασικοί ανορθωτές πλήρους κύματος.....	75
3. 5.2 Ο ανορθωτής με μετασχηματιστή μεσαίας λήψης .....	75
3.5.3 Ο ανορθωτής γέφυρας με διόδους.....	76
3.6 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ(DC-DC).....	77
3.6.1 Κατηγορίες μετατροπών συνεχούς ρεύματος.....	77
3.6.2 Αρχή λειτουργίας μετατροπών συνεχούς ρεύματος .....	77
3.6.3 Τροφοδοτικά συνεχούς ρεύματος.....	77
3.6.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη των τροφοδοτικών .....	78
3.6.5 Ο Μετατροπέας υποβιβασμού τάσης (Buck ή Step-Down Converter) .....	79
3.6.6 Ο Μετατροπέας ανύψωσης τάσης (Boost ή Step-Up Converter).....	79
3.6.7 Ο μετατροπέας υποβιβασμού-ανύψωσης τάσης (Buck- Boost Converter).....	80
3.6.8 Ο μετατροπέας συνεχούς ρεύματος με πλήρη γέφυρα .....	80
3.7 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΔΙΑΚΟΠΤΟΜΕΝΟΥ ΤΥΠΟΥ(DC-AC) .....	81
3.7.1 Αντιστροφείς πηγής τάσης .....	82
3.7.2 Αντιστροφείς πηγής ρεύματος.....	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ .....	85
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	85
4. 2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	85
4.2.1 Γενικά Στοιχεία .....	85
4.2.2 Είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	86
4.2.3 Πλεονεκτήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	87

4.2.4 Μειονεκτήματα.....	88
4.3 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ.....	89
4.3.1 Τεχνολογίες ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων-φωτοβολταϊκών κυψελών.....	90
4.3.2 Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών μονάδων .....	92
4.3.3 Συστήματα στήριξης.....	94
4.3.4 Απολογισμός οικιακών Φ/Β .....	94
4.4 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	95
4.4.1 Χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών .....	95
4.4.2 Απόδοση ανεμογεννήτριας.....	97
4.4.3 Διάκριση Α/Γ ανάλογα με τις αρχές λειτουργίας και ελέγχου τους.....	97
4.4.4 Οι μικρές ανεμογεννήτριες.....	98
4.4.5 Προκλήσεις εγκατάστασης οικιακής ανεμογεννήτριας.....	99
4.5 ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	100
4.5.1 Γενικά χαρακτηριστικά .....	100
4.5.2 Τεχνολογίες συμπαραγωγής.....	101
4.5.3 Ενσωμάτωση στα ενεργειακά συστήματα του κτιρίου .....	102
4.5.4 Οικονομικά πλεονεκτήματα και εμπόδια .....	102
4.6 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.....	103
4.6.1 Αρχή Λειτουργίας.....	104
4.6.2 Είδη κυψελών καυσίμου.....	106
4.6.2.1 Κυψέλη καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (PEM) .....	106
4.6.2.2 Κυψέλη καυσίμου τηγμένου άνθρακα (MCFC) .....	106
4.6.2.3 Κυψέλη καυσίμου μεθανόλης (DMFC) .....	106
4.6.2.4 Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC) .....	107
4.6.2.5 Οι κυψέλες του τύπου PAFC .....	107
4.6.3 Πλεονεκτήματα .....	108
4.6.4 Μειονεκτήματα.....	108
4.7 ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ .....	109
4.7.1 Γενικά στοιχεία.....	109
4.7.2 Είδη μονάδων αποθήκευσης.....	110
4.7.2.1 Μηχανές υψηλής στρεφόμενης αδράνειας – Flywheel.....	110
4.7.2.2 Πυκνωτές μεγάλης χωρητικότητας – Super Capacitors .....	110
4.7.2.3 Υπεραγώγιμα πηνία .....	111
4.7.2.4 Πεπιεσμένος αέρας – αντλίες – υδρογόνο .....	111

4.7.2.5 Ηλεκτρικοί συσσωρευτές (Μπαταρίες) .....	111
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΣΚΕΥΕΣ DC ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ .....	114
5.1 ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΓΟΡΑ ΓΙΑ DC ΣΥΣΚΕΥΕΣ .....	114
5.1.1 DC Μονάδες κλιματισμού (AC).....	114
5.1.2 DC Φωτισμός .....	116
5.1.3 DC Ψυγεία.....	119
5.1.4 Άλλες συσκευές DC .....	121
5.2 ΠΡΟΣΕΧΗ DC ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΓΙΑ ΟΙΚΙΑΚΑ ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ .....	121
5.2.1 DC προϊόντα για υβριδικά ac-dc συστήματα .....	122
5.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ DC ΠΡΟΪΟΝΤΑ .....	122
5.3.1 Μελέτη τεχνολογιών .....	123
5.3.2 Απόδοση AC-DC μετατροπής.....	125
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ DC ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ .....	129
6.1 ΠΑΡΟΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ DC ΚΑΙ ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ .....	129
6.1.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα .....	130
6.1.2 Ανεμόγεννητριες .....	133
6.1.3 Μικρά υδροηλεκτρικά.....	134
6.1.4 Κυψέλες καυσίμου .....	135
6.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ.....	135
6.2.1 GRID-INTERACTIVE INVERTER.....	135
6.2.2 INVERTERS χωρίς μπαταρίες.....	136
6.2.3 INVERTERS με μπαταρία .....	137
6.2.4 DC-DC μετατροπείς .....	138
6.2.5 MPPT.....	139
6.2.6 Διακόπτες φορτίου .....	140
6.3 ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ .....	141
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ .....	144
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	144
7.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ .....	144
7.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ. ....	148
7.4 ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΟΙΚΙΑΣ .....	152
7.4.1 AC οικία 230/120Vac.....	152
7.4.2 DC οικία 120/24Vdc .....	155

7.4.3 DC οικία 120/24Vdc με χρήση τεχνολογιών.....	158
7.4.4 DC οικία 380Vdc με χρήση μετατροπέων και τεχνολογιών .....	161
7.4.5 DC οικία 380/24Vdc με χρήση μετατροπέων και τεχνολογιών .....	162
7.4.6 Υβριδική εγκατάσταση 230/120Vac/24Vdc .....	164
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ HOMER ENERGY .....</b>	<b>167</b>
<b>8.1 HOMER ENERGY .....</b>	<b>167</b>
8.1.1 Φορτία .....	167
8.1.2 Μονάδες παραγωγής .....	168
8.1.3 Φωτοβολταϊκές συστοιχίες.....	168
8.1.4 Ανεμογεννήτριες .....	168
8.1.5 Γεννήτριες .....	169
8.1.6 Μικρά υδροηλεκτρικά.....	169
8.1.7 Επιπλέον εξαρτήματα.....	169
<b>8.2 ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>170</b>
8.2.1 Γενικά δεδομένα προσομοιώσεων.....	170
8.2.2 Φωτοβολταϊκά.....	171
8.2.3 Ανεμογεννήτριες .....	173
8.2.4 Μπαταρίες .....	174
8.2.5 ELECTROLYZER .....	176
8.2.6 Δεξαμενή υδρογόνου.....	176
8.2.7 Γεννήτριες .....	177
8.2.8 Μετατροπείς.....	178
8.2.9 Δίκτυο.....	178
8.2.10 Φορτία .....	178
<b>8.3 ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ .....</b>	<b>179</b>
8.3.1 AC οικία με ΑΠΕ και σύνδεση στο δίκτυο .....	179
8.3.1.1 Φορτία και εγκατάσταση .....	179
8.3.1.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης .....	181
8.3.2 AC οικία με ΑΠΕ χωρίς σύνδεση με το δίκτυο.....	184
8.3.3 AC οικία με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο με χρήση κύκλου υδρογόνου .....	186
8.3.4 DC οικία με ΑΠΕ και σύνδεση στο δίκτυο .....	189
8.3.5 DC οικία με ΑΠΕ χωρίς σύνδεση με το δίκτυο.....	193
8.3.6 DC οικία με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο με χρήση κύκλου υδρογόνου .....	195

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	199
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	208





## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΜΙΚΡΟΔΥΚΤΙΑ**

### **1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

*Ως μικροδίκτυο ορίζεται ένα υποσύστημα του κεντρικού δικτύου συνδεδεμένο σε ένα σημείο με το δίκτυο διανομής, το οποίο περιλαμβάνει μονάδες παραγωγής, φορτία και στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας, ενώ μπορεί και λειτουργεί είτε συνδεδεμένο με το κεντρικό δίκτυο είτε αυτόνομα [12].*

Ανά την υφήλιο ένα σημαντικό κομμάτι του πληθυσμού στερείται πρόσβασης στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ οι ενεργειακές ανάγκες ενός άλλου σημαντικού κομματιού αυξάνονται ραγδαία, με αποτέλεσμα την ανάγκη επέκτασης των συστημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και την κατασκευή νέων σταθμών παραγωγής. Ειδικά με την ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στην παραγωγή ενέργειας έγινε και πιο επίκαιρος ο όρος μικροδίκτυο (microgrid). Η μικρό-παραγωγή, όπως ονομάζεται η παραγωγή αυτού του είδους, δεν είναι μια νέα έννοια στην ηλεκτρική παραγωγή και διανομή ενέργειας αλλά βασίζεται στην καταναμημένη παραγωγή (ΚΠ) η οποία ορίζεται ως η παραγωγή ενέργειας μικρής κλίμακας, άμεσα συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής, με τιμές που κατά κανόνα κυμαίνονται από 1kW μέχρι 100MW.[7]

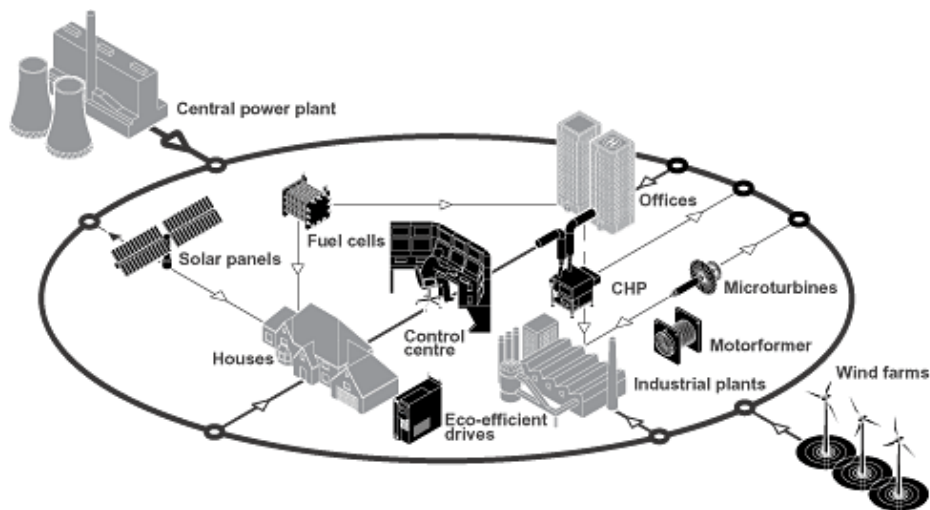
Λόγω της μεγάλης συσχέτισης των μικροδικτύων με την καταναμημένη παραγωγή, αλλά και για την καλύτερη κατανόηση αυτών, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν κάποια βασικά χαρακτηριστικά και έννοιες της καταναμημένης παραγωγής.

### **1.2 ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ**

#### **1.2.1 Εισαγωγή**

Η γενική αρχιτεκτονική της ΚΠ έγκειται στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σύστημα από πολλές μικρές ενεργειακές εγκαταστάσεις. Εάν θέλαμε να δώσουμε ένα ενιαίο ορισμό που μπορεί να γίνει γενικά αποδεκτός θα μπορούσαμε να πούμε ότι *καταναμημένη παραγωγή είναι οποιαδήποτε πηγή παραγωγής ηλεκτρικής*

ενέργειας συνδεδεμένη άμεσα στο δίκτυο διανομής ή στη θέση κατανάλωσης ή πιο απλά οι μονάδες παραγωγής ενέργειας έχουν εγκατασταθεί κοντά στο σημείο κατανάλωσης (φορτίο) [7].



Εικόνα 1-0-1 τυπική δομή κατακεντρωμένης παραγωγής

Συχνά συναντάται και με τους εναλλακτικούς ελληνικούς όρους: *διανεμημένη παραγωγή*, *διάσπαρτη παραγωγή*, *επί τόπου παραγωγή*, *ενσωματωμένη παραγωγή*, *αποκεντρωμένη παραγωγή*.

Στα αγγλικά ονομάζεται «Distributed Generation» ενώ συναντάται επίσης με ένα πλήθος εναλλακτικών όρων όπως: *'embedded generation'*, *'dispersed generation'*, *'decentralised generation'*.

### 1.2.2 Ιστορικό

Όταν πρωτάρχησε η παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας σε ευρύ επίπεδο, η κατακεντρωμένη παραγωγή αποτελούσε κανόνα και όχι εξαίρεση, όπως έχει εξελιχθεί σήμερα. Εκείνη την εποχή τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παρείχαν ηλεκτρισμό σε καταναλωτές οι οποίοι βρίσκονταν κοντά σε αυτές καθώς μέχρι τότε δεν υπήρχε κεντρικό δίκτυο διανομής. Αυτά τα πρώιμα ηλεκτρικά δίκτυα παρείχαν συνεχές ρεύμα(DC) με αποτέλεσμα η τάση παροχής αλλά και η απόσταση μεταφοράς της ισχύος να είναι περιορισμένα. Ακόμη προκειμένου να υπάρχει ισορροπία ανάμεσα σε ζήτηση και κατανάλωση χρησιμοποιούνταν τοπικά μέσα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας(συσσωρευτές) οι οποίοι συνδέονταν άμεσα με το δίκτυο παροχής.

Αργότερα όμως, καθώς οι καταναλωτές και οι ενεργειακές απαιτήσεις αυξάνονταν, δημιουργήθηκε η ανάγκη για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας που

καλούνταν να εξυπηρετήσουν ένα διευρυμένο δίκτυο μεταφοράς-διανομής. Αυτή η ανάγκη για μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος χωρίς απώλειες σε μεγάλες αποστάσεις ήταν αυτό που αντικατέστησε την χρήση dc ρεύματος με ac (λιγότερες θερμικές απώλειες στις γραμμές μεταφοράς) και οδήγησε στην σημερινή μορφή του δικτύου παροχής και στην σημερινή ηλεκτρική παραγωγή που ονομάζεται κεντρική παραγωγή.

### 1.2.3 Ανάπτυξη ΚΠ

Για πολλά χρόνια, τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούσαν ως καθετοποιημένα. Οι μεγάλες μονάδες παραγωγής(εργοστάσια λιγνίτη, πυρηνικές μονάδες) παρήγαγαν το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας. Η ενέργεια αυτή μεταφέρονταν προς τα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης σε μεγάλες αποστάσεις χρησιμοποιώντας διαφορετικά επίπεδα υψηλής τάσης. Αυτή η λειτουργική δομή αναπτύχθηκε βασιζόμενη σε λόγους οικονομικούς, ασφάλειας και ποιότητας της παρεχόμενης ισχύος. Αυτή η δομή χειρίζονταν από ιεραρχημένα κέντρα ελέγχου που επέτρεπαν τον συνεχή χειρισμό και έλεγχο του συστήματος. Η παραγωγή προσαρμόζεται άμεσα στις ανάγκες της κατανάλωσης με τον έλεγχο της συχνότητας και της τάσης μέσω ειδικών εξοπλισμών(μετασχηματιστές με αλλαγή λήψης φορτίου(taps), ρυθμιστές άεργου ισχύος κτλ) αλλά και με χρήση αρκετά εξεζητημένων μοντέλων πρόβλεψης φορτίων.

Σήμερα, αυτό το μοντέλο αρχίζει να αλλάζει. Καθώς ο κόσμος οδεύει σε ένα μέλλον αυξημένων ενεργειακών απαιτήσεων, που όλο και περισσότερο βασίζεται στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, θέτοντας την σαν κυρίαρχο «αγαθό», διαφαίνεται η ανάγκη αλλαγής της ήδη υπάρχουσας αρχιτεκτονικής δικτύου. Ενόψει της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης και της αλλαγής των ενεργειακών, οικονομικών, οικολογικών, πολιτικών (π. χ. απελευθέρωση ενεργειακής αγοράς) συσχετίσεων πολλά κράτη αρχίζουν να στρέφονται και πάλι προς την κατακεμημένη παραγωγή.

Συνοπτικά οι λόγοι επανένταξης της κατακεμημένης παραγωγής είναι:

- Κορεσμός του υπάρχοντος δικτύου διανομής (δυσκολία κατασκευής νέων γραμμών)
- Γεωγραφικοί περιορισμοί. Οι μικρές μονάδες ΚΠ απαιτούν μικρές εκτάσεις γης που είναι πιο εύκολο να βρεθούν σε σχέση με τις εκτάσεις που θα απαιτούνταν για μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής

- Προβληματισμοί για τις κλιματικές αλλαγές (δημιουργία νομικού πλαισίου και κανονισμών σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος, πρωτόκολλο Κιότο)
- Μείωση του κόστους (οικονομικό και ενεργειακό), όπως της μεταφοράς, καθώς η παραγωγή βρίσκεται σχετικά κοντά στο φορτίο, χρήση νέων αποδοτικότερων και φθηνότερων πηγών ενέργειας
- Συνεχής αύξηση της ζήτησης αξιόπιστης ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα σε Αναπτυσσόμενες χώρες
- Ιδιωτικοποίηση, απελευθέρωση ενεργειακής αγοράς
- Ανάπτυξη των ήδη υπαρχόντων τεχνολογιών καταναμημένης παραγωγής αλλά και εμφάνιση νέων ορθολογικών τεχνικών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μικρής κλίμακας (πχ ΑΠΕ) η οποία μπορεί να συνδυαστεί με παραγωγή θερμότητας, οικολογικά οφέλη και αυξημένη κερδοφορία

#### **1.2.4 Κατηγοριοποίηση μονάδων ΚΠ**

Όσον αφορά τον διαχωρισμό των μονάδων ΚΠ, υπάρχει μια διεθνής σύμβαση η οποία κάνει ένα διαχωρισμό στις μονάδες ανάλογα με το μέγεθος της παραγόμενης ισχύος των μονάδων. Σύμφωνα με αυτή την διάκριση έχουμε

Πολύ Μικρής κλίμακας : Από 1 W έως 5 kW

Μικρής κλίμακας : Από 5kW έως 5 MW

Μεσαίας κλίμακας : Από 5 MW έως 50 MW

Μεγάλης κλίμακας : Από 50 MW έως 300 MW[4]

Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλα αυτά, η ισχύς μιας μονάδας παραγωγής που μπορεί να συνδεθεί σε ένα δίκτυο εξαρτάται από το μέγεθος και την χωρητικότητα του δικτύου διανομής. Συνεπώς, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η εκάστοτε εγκατεστημένη ισχύς διότι η χωρητικότητα είναι ανάλογη του επίπεδου τάσης λειτουργίας. Ο σχεδιασμός του κάθε συστήματος διανομής είναι ξεχωριστός και επομένως δεν μπορεί να δοθεί ένα σαφές όριο στις μονάδες παραγωγής που μπορούν να συνδεθούν με αυτό.

#### **1.2.5 Τεχνολογίες ΚΠ**

Οι τεχνολογίες καταναμημένης παραγωγής αποτελούνται κυρίως από συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και σύστημα α παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

που μπορεί να βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα, Ανανεώσιμες πηγές αλλά και υβριδικά συστήματα. Όλα αυτά τα συστήματα τοποθετούνται σχετικά κοντά στον καταναλωτή.

Οι κύριες τεχνολογίες κατανεμημένης παραγωγής που χρησιμοποιούνται σήμερα συνοψίζονται ως εξής:

**ΜΙΚΡΟΤΟΥΡΜΠΙΝΕΣ.** οι μικροτουρμπίνες είναι μικρές τουρμπίνες (ισχύος 25 έως 500 kW) οι οποίες αποτέλεσαν μετεξέλιξη τουρμπίνων μεγάλων φορτηγών αλλά και αεροσκαφών

**ΤΟΥΡΜΠΙΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.** Παραγόμενη ισχύς 500kW έως 25MW για ΚΠ και μέχρι 250MW για κεντρική παραγωγή. Το καύσιμο μπορεί να είναι αέριο, πετρέλαιο η και συνδυασμός καυσίμων. Απόδοση από 20% έως 45% στο πλήρες φορτίο

**ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.** Μηχανές περιστροφικού άξονα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας καύσιμα όπως βενζίνη, φυσικό αέριο και diesel. Είναι διαθέσιμες από μικρά μεγέθη(5kW) κυρίως για εφεδρεία σε κατοικίες μέχρι μεγάλες γεννήτριες(7MW).

**ΜΗΧΑΝΕΣ STIRLING.** είναι μηχανές εξωτερικής καύσης μικρής ισχύος(1-25kW) που χρησιμοποιούνται προς το παρόν σε διαστημική και θαλάσσια βιομηχανία. Είναι σφραγισμένα συστήματα που χρησιμοποιούν ένα αδρανές αέριο (συνήθως Ήλιο ή υδρογόνο) που θέτει σε λειτουργία την μηχανή

**ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.** Αθόρυβα, καθαρά και αποδοτικά τοπικά συστήματα παραγωγής ισχύος που χρησιμοποιούν μια ηλεκτροχημική διεργασία (όχι καύση)για την μετατροπή του καυσίμου σε ηλεκτρισμό. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για παροχή θερμότητας χώρου και νερού ή για ψύξη απορρόφησης. Προσφέρουν μειωμένο κόστος για τις υπηρεσίες ηλεκτρισμού της τάξεως του 20%έως 40%.

**ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ(ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ)/ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ UPS.** Αυτές οι τεχνολογίες αποθήκευσης δεν παράγουν καθαρή ενέργεια αλλά προμηθεύουν ηλεκτρική ενέργεια για μικρά χρονικά διαστήματα. Συνήθως χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση πτώσεων τάσης, flicker και έντονης κυμάτωσης που συμβαίνουν όταν η εταιρία παροχής ή οι πελάτες αλλάζουν προμηθευτές ή φορτίο. Ακόμα

χρησιμοποιούνται σαν Συστήματα Αδιάλειπτου Τροφοδοσίας(UPS). Σαν τέτοια, οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας θεωρούνται τεχνολογίες ΚΠ.

**ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.** Ηλιακά κελιά(PV) τα οποία μετατρέπουν το φώς του ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια χωρίς κινούμενα μέλη, αθόρυβα και χωρίς εκπομπές. Τοποθετούνται σε ηλιόλουστες περιοχές.

**ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.** Ανεμογεννήτριες ποικίλων μεγεθών που χρησιμοποιούν τον άνεμο για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τοποθετούνται κυρίως σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο για να είναι απαλλαγμένες από την μεσολάβηση εμποδίων όπως λόφοι, δάση και κτίρια. Ανάλογα με το μέγεθος έχουμε παραγόμενη ισχύς από λίγα kW έως και πάνω από 5MW

**ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.** περιλαμβάνουν τεχνολογίες που συνδυασμένου κύκλου παραγωγής με σκοπό την βελτίωση της απόδοσης των μονάδων.

Παραδείγματα υβριδικών συστημάτων:

- Μηχανή stirling συνδυασμένη με ηλιακό πιάτο.
- Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου συνδυασμένη με μια τουρμπίνα αέριου ή μικροτουρμπίνα
- Ανεμογεννήτριες με μπαταρία αποθήκευσης και εφεδρικές γεννήτριες diesel.

Εκτός από αυτές τις τεχνολογίες που προαναφέρθηκαν αξιοποιούνται και άλλες μορφές και πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά σε μικρότερη κλίμακα, όπως υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, ηλιακή θερμική ενέργεια, γεωθερμία, ενέργεια του ωκεανού κτλ. Στην συνέχεια παραθέτονται κάποια ενδεικτικά επίπεδα παραγόμενης ισχύος από διάφορες τεχνολογίες κατανεμημένης παραγωγής

Είδος Τεχνολογίας	Τυπικό διαθέσιμο μέγεθος ισχύος ανά δομική μονάδα
Μονάδες καύσης φυσικού αερίου συνδυασμένου κύκλου	35 – 400MW
Μηχανές εσωτερικής καύσης	5kW – 10MW
Στρόβιλοι καύσης	1 – 250MW
Μίκρο-Στρόβιλοι	35kW – 1MW
<b>Ανανεώσιμες</b>	
Μικρά Υδροηλεκτρικά	1 – 100MW
Πολύ Μικρά Υδροηλεκτρικά	25kW – 1MW
Ανεμογεννήτριες	200Watt – 3MW
Φωτοβολταϊκές συστοιχίες	20Watt – 100kW
Συστήματα κεντρικού λήπτη ηλιακής θερμικής ενέργειας	1 – 10MW
Συστήματα Lutz ηλιακής θερμικής ενέργειας	10 – 80MW
Βιομάζα βασισμένη στην αεριοποίηση	100kW – 20MW
Κυψέλες καυσίμου, φωσφορικού οξέος	200kW – 2MW
Κυψέλες καυσίμου, άνθρακα	250kW – 2MW
Κυψέλες καυσίμου, ανταλλαγής πρωτονίων	1kW – 250kW
Κυψέλες καυσίμου, solid oxide	250kW – 5MW
Γεωθερμία	5 – 100MW
Ενέργεια του ωκεανού	100kW – 1MW
Μηχανή Stirling	2 – 10kW
Αποθήκευση ενέργειας σε συσσωρευτές	500kW – 5MW

Εικόνα 1-2 ισχύς μονάδων καταναμημένης παραγωγής

### 1.2.6 Επιδράσεις καταναμημένης παραγωγής

Με βάση την υπάρχουσα δομή του δικτύου, τα συστήματα διανομής, είτε είναι ακτινικά συστήματα που συναντώνται σε αγροτικές ή ημιαστικές περιοχές είτε είναι βροχοειδή συστήματα (που βρίσκονται σε αστικές περιοχές), είναι γενικά σχεδιασμένο να λειτουργεί χωρίς την ύπαρξη παραγωγής ενέργειας στο δίκτυο διανομής η στην πλευρά του καταναλωτή. Η εισαγωγή πηγών παραγωγής στο σύστημα διανομής (όπως συμβαίνει με την καταναμημένη παραγωγή) μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη ροή φορτίου, τα επίπεδα τάσης στους καταναλωτές καθώς και το εξοπλισμό του δικτύου (μετασηματιστές, ρυθμιστές κτλ). Αυτές οι επιδράσεις μπορούν να έχουν είτε αρνητικές είτε θετικές επιπτώσεις, ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος διανομής και της εγκατεστημένης ΚΠ. Οι πηγές της ΚΠ πρέπει εκπληρώνουν πολλά κριτήρια, όπως να είναι αξιόπιστες, να έχουν δυνατότητα άμεσης αποσύνδεσης, κατάλληλο μέγεθος και να είναι συνδεδεμένες σε κατάλληλες θέσεις. Γενικά λοιπόν προκύπτουν ζητήματα που σχετίζονται με την ρύθμιση της τάσης, την ταχεία αυξομείωση της τάσης, τη εμφάνιση μη επιθυμητών αρμονικών, θέματα γειώσεων και προστασίας από υπερτάσεις, όρια ισχύος, αξιοπιστία και πολλοί άλλοι παράγοντες. Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς της ΚΠ σε ένα δίκτυο, σε σχέση με τη μέγιστη απαιτούμενη ισχύ από το δίκτυο, τόσο μεγαλύτερες είναι και οι επιδράσεις της στην συνολική λειτουργία του συστήματος.

### 1.2.7 Πλεονεκτήματα ΚΠ

Όπως προαναφέραμε, σήμερα, υπάρχουν πολλοί λόγοι για επανένταξη και περαιτέρω ανάπτυξη της κατανεμημένης παραγωγής. Αυτοί οι λόγοι προέκυψαν από τα πολλαπλά πλεονεκτήματα που σχετίζονται με αυτό το είδος παραγωγής.

Όσον αφορά την λειτουργία της κατανεμημένης παραγωγής, μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερη αξιοπιστία και ποιότητα ισχύος, ειδικά σε περιοχές που η παροχή από το κεντρικό δίκτυο δεν είναι επαρκής αλλά και όπου οι διακυμάνσεις τάσης είναι συχνές.

Προσφέρει και άλλα οφέλη στην λειτουργία του δικτύου όπως σταθερότητα, διασφάλιση από απρόοπτα, επίσης οι μονάδες παραγωγή που συμμετέχουν στην ΚΠ έχουν την δυνατότητα κατά την διάρκεια αποκατάστασης του συστήματος να μεταβαίνουν από απενεργοποιημένη κατάσταση σε κατάσταση λειτουργίας και να αρχίσουν την παραγωγή ενέργειας χωρίς να απαιτούν βοήθεια από το κεντρικό δίκτυο.

Ακόμα μειώνει την υπερφόρτωση των γραμμών διανομής παρέχοντας ισχύ κοντά στα φορτία, ενώ για απομακρυσμένες, απομονωμένες περιοχές, αποτελεί βασική πηγή τροφοδοσίας αφού το υπάρχον δίκτυο διανομής είναι πολλές φορές δύσκολο ως και αδύνατο να της καλύψει.

Η κατανεμημένη παραγωγή διευκολύνει την βελτίωση της απόδοσης των διαφόρων μονάδων της καθώς προσφέρει την δυνατότητα για συμπαραγωγή (π. χ. θερμότητα). Επίσης λόγω της εύκολης τοποθέτησης μονάδων της όπου χρειάζεται, έχουμε γρηγορότερη και πιο εύκολη ανταπόκριση σε νέες απαιτήσεις ισχύος. Σε αυτό βοηθά και το γεγονός ότι στις μονάδες παραγωγής της ΚΠ έχουμε δυνατότητα για ευκολότερη ρύθμιση (αυξομείωση) της εγκατεστημένης ισχύος έτσι ώστε να βρισκόμαστε σε πλήρη εναρμόνιση με την ζήτηση από την πλευρά των καταναλωτών. Πράγμα που, με τις μεγάλες εγκαταστάσεις των μονάδων παραγωγής που ανήκουν στο κεντρικό δίκτυο θα ήταν εξαιρετικά δύσκολο. Επίσης γενικά αυξάνουν την αξιοπιστία του δικτύου λόγω και του εφεδρικού χαρακτήρα τους.

Εκτός από αυτά τα πλεονεκτήματα που σχετίζονται με καθαρά την λειτουργία της κατανεμημένης παραγωγής, εμφανίζονται και άλλα οφέλη που σχετίζονται με άλλους τομείς.



Όσον αφορά τα οικονομικά οφέλη, βλέπουμε ότι η κατανεμημένη παραγωγή οδηγεί σε μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς μειώνει την ζήτηση αιχμής σε εγκαταστάσεις του κεντρικού το οποίο έχει ως επακόλουθο και μείωση στις χρεώσεις ζήτησης. Ακόμα λόγω του εύρους των τεχνολογιών που εφαρμόζονται στην ΚΠ (κυρίως ότι έχει να κάνει με Ανανεώσιμες πηγές) όχι μόνο μειώνεται το κόστος με την χρήση πιο φτηνών καυσίμων αλλά προσφέρεται πιο προβλέψιμο ενεργειακό κόστος άρα και μικρότερο οικονομικό ρίσκο.

Όπως έχουν δείξει και διάφορες έρευνες, οι μονάδες ΚΠ έχουν μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον (μειωμένες εκπομπές CO<sub>2</sub>) γεγονός που εναρμονίζεται με το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την προστασία του περιβάλλοντος.

Εμφανίζονται και άλλα πλεονεκτήματα λιγότερης σημασίας όπως αισθητικά (μειώνονται οι ογκώδεις εγκαταστάσεις και το πλήθος εναέριων καλωδίων μεταφοράς) αλλά και πιο πρακτικά όπως ότι οι διάφορες άδειες που απαιτούνται για την εγκατάσταση μονάδων ΚΠ είναι πιο εύκολο να χορηγηθούν από αυτές που χρειάζονται για επέκταση του δικτύου διανομής.

### **1.2.8 Μειονεκτήματα ΚΠ**

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα της εφαρμογής κατανεμημένης παραγωγής, κύριο ρόλο κατέχουν, πρώτον οι επιδράσεις που έχουν οι μονάδες κατανεμημένης παραγωγής στο ήδη υπάρχον δίκτυο, και δεύτερον στο αυξημένο κεφάλαιο που απαιτεί η αρχική επένδυση.

Οι επιδράσεις αυτές όπως προαναφέρθηκαν σχετίζονται με αυξομειώσεις τάσης, με δημιουργία περεταίρω απωλειών αλλά και λόγω της αμφίδρομης ροής ισχύος στο δίκτυο. Ακόμη ενδέχεται να υπάρξουν προβλήματα και από επιπρόσθετες εκπομπές αρμονικών συχνοτήτων αλλά και γενικά αλλαγές στις συχνότητες του δικτύου. Δημιουργούνται και άλλες επιπλοκές όπως ανάγκη για ανασχεδιασμό γειώσεων σε εγκαταστάσεις αλλά και θέματα προστασίας λόγω ενδεχόμενων βραχυκυκλωμάτων. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι όλες αυτές οι επιδράσεις μπορούν να αποφευχθούν με περαιτέρω μελέτη και θέσπιση σαφών κανόνων γύρω από την εγκατάσταση μονάδων κατανεμημένης παραγωγής.

Το άλλο μειονέκτημα είναι το αυξημένο κόστος. Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα το κόστος ανά εγκατεστημένο kW ισχύος είναι πολύ μεγαλύτερο συγκριτικά με τα

μεγάλα κεντρικά εργοστάσια παραγωγής αλλά και τα κόστη κεφαλαίου για διαφορετικές τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής μπορούν να ποικίλουν αλλά είναι γενικά αυξημένα, π. χ. έχουμε κόστη από 1000ευρω/kW και 20000ευρω/kW στις τουρμπίνες καύσης και τις κυψέλες καυσίμου αντίστοιχα[9].

### **1.2.9 Το μέλλον**

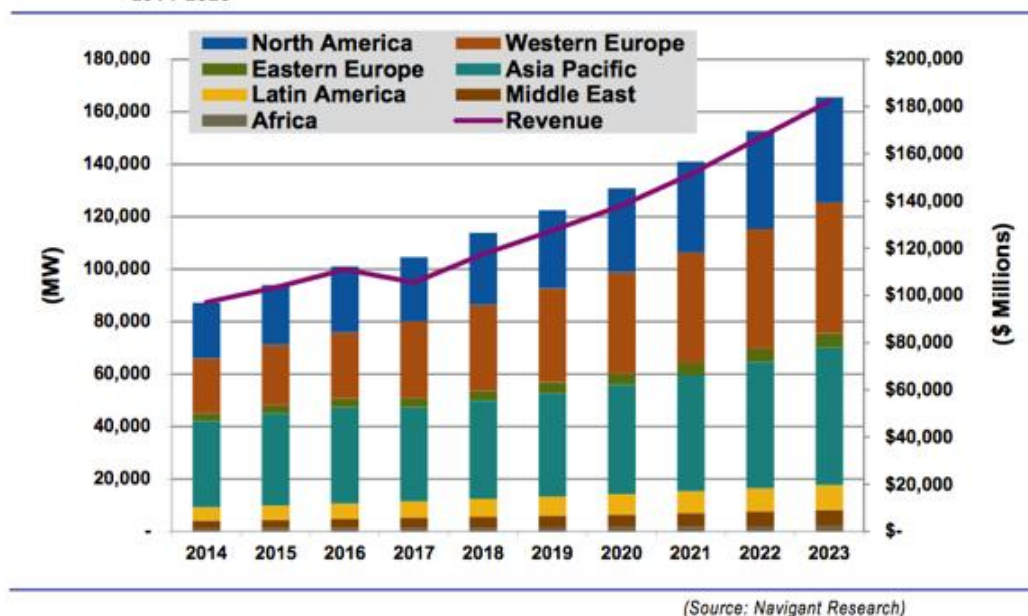
Τα υπάρχοντα δίκτυα, ανά τον κόσμο συνεχίζουν να βασίζονται στο κεντρικό σύστημα διανομής αλλά και στις μεγάλες κεντρικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες συνδέονται στην υψηλή τάση. Η κυριότητα αυτών των μονάδων αλλά και του δικτύου μεταφοράς ανήκει σε δημόσιους φορείς είτε σε μονοπωλιακές επιχειρήσεις και υπάρχει λίγη έως καθόλου συμμετοχή του καταναλωτή και καθόλου επικοινωνία.

Καθώς αυτού του είδους παραγωγή και διανομή ηλεκτρική ενέργειας όλο και περισσότερο αρχίζει να μην καλύπτει τις ενεργειακές αλλά και τις οικονομικές ανάγκες των καταναλωτών, διαφαίνεται η ανάγκη μορφοποίησης και εξέλιξης του. Το μελλοντικό μοντέλο δικτύου διανομής θα έχει περισσότερο ενεργητικό ρόλο και θα πρέπει να εξασφαλίζει την αμφίδρομη ροή ισχύος. Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να εναρμονιστούν με ένα μοντέλο αγοράς στο οποίο οι μονάδες παραγωγής θα διανέμονται ανάλογα με τις απαιτήσεις και με τη ζήτηση, ενώ το παλιό κέντρο δικτύου θα έχει μόνο εποπτικό ρόλο. Στα πλαίσια της οικονομικότερης παραγωγής αλλά και της προστασίας του περιβάλλοντος η παραγωγή θα ξεφύγει από τις παλιές ογκώδεις και ρυπογόνες εγκαταστάσεις και να αντικατασταθεί από μονάδες κατακεντρωμένης παραγωγής και κυρίως ΑΠΕ.

Ήδη πολλά κράτη έχουν στραφεί στην κατακεντρωμένη παραγωγή με αρκετά σεβαστό ποσοστό εγκατεστημένης ισχύος σε σχέση με το κεντρικό τους δίκτυο, ενώ ενδέχεται περαιτέρω επέκταση στα επόμενα χρόνια, στα πλαίσια αυτής της αλλαγής.

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε την Αναμενόμενη ισχύ που οφείλεται σε κατακεντρωμένη παραγωγή μέχρι το έτος 2023 σε κεντρικά γεωγραφικά διαμερίσματα, καθώς επίσης και την αντιστοιχία σε αξία επενδύμενου κεφαλαίου.[8]

Chart 1.1 Annual Distributed Generation Installed Capacity and Revenue by Region, World Markets: 2014-2023



Εικόνα 1-3 αναμενόμενη ισχύς και επενδύσιμο κεφάλαιο σε εγκαταστάσεις καταναμημένης παραγωγής μέχρι το 2023

## 1.3 ΜΙΚΡΟΔΥΚΤΙΑ

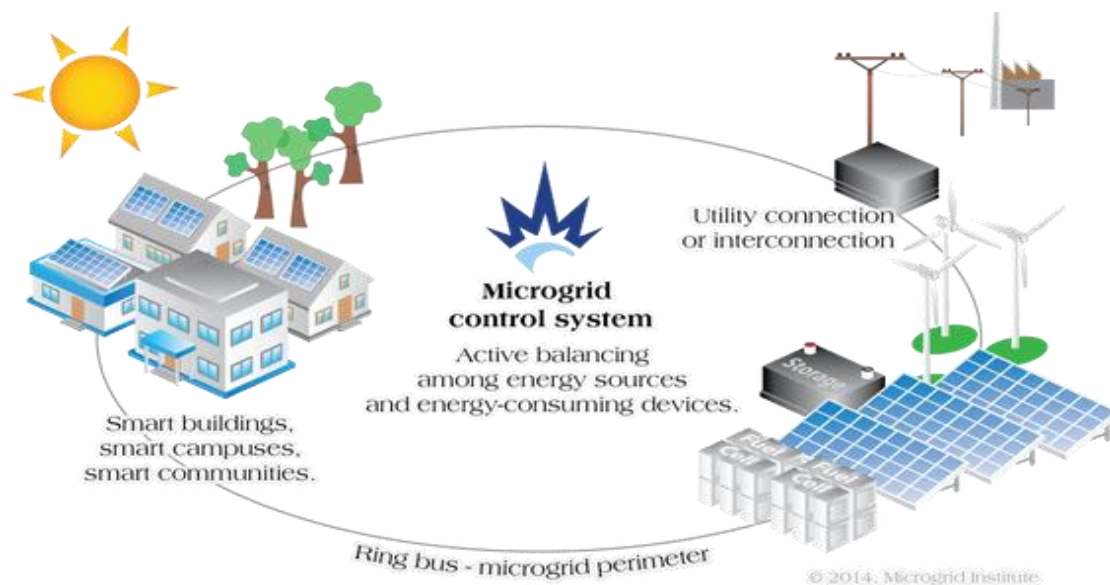
### 1.3.1 Ορισμός - εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια ένας μεγάλος αριθμός μονάδων καταναμημένης παραγωγής όπως φωτοβολταϊκά, κυψέλες καυσίμου, ανεμογεννήτριες και μονάδες συμπαραγωγής έχουν εγκατασταθεί στο κεντρικό δίκτυο τα τελευταία χρόνια. Παρόλα τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα των μονάδων καταναμημένης παραγωγής, προβλήματα υπερτάσεων, πτώσης τάσης αλλά και προστασίας ενδέχεται να δημιουργηθούν με την σύνδεση τέτοιων μονάδων στα συμβατικά κεντρικά δίκτυα διανομής. Μια λύση θα ήταν η ανακατασκευή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας από την αρχή αλλά αυτό δεν είναι εφικτό όχι μόνο λόγω κόστους αλλά και λόγω διάφορων άλλων τεχνικών και κοινωνικών παραγόντων. Μια πιο απλή και εφαρμόσιμη λύση αποτελούν τα μικροδίκτυα.

Αφού λοιπόν στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύσαμε τις έννοιες που σχετίζονται με την καταναμημένη παραγωγή, μπορούμε να ασχοληθούμε και πάλι με τα μικροδίκτυα και να καταλάβουμε καλύτερα την δομή τους και την λειτουργία τους.

Τώρα μπορούμε να δώσουμε έναν καλύτερο και πιο συγκεκριμένο ορισμό για τα μικροδίκτυα

*Ένα μικροδίκτυο ορίζεται ως ένα σύνολο από διασυνδεδεμένα φορτία και πηγές καταναλωμένης παραγωγής το οποίο έχει ξεκάθαρα ηλεκτρικά «όρια» και λειτουργεί σαν μια συγκεκριμένη οντότητα σε εναρμόνιση με το υπόλοιπο δίκτυο, η οποία μπορεί να συνδέεται και να αποσυνδέεται από αυτό έχοντας έτσι την δυνατότητα να λειτουργεί και σαν συνδεδεμένο(grid connected) αλλά και σαν απομονωμένο(island) σύστημα.[15]*



**Εικόνα 1-4 τυπική μορφή μικροδικτύου**

Σαν περαιτέρω εξήγηση της έννοιας ενός μικροδικτύου, μπορούμε να πούμε ότι ένα μικροδίκτυο αποτελεί μια μικρογραφία του κεντρικού δικτύου, που περιέχει τις δικές του μονάδες παραγωγής, αποθήκευσης και τα δικά του φορτία. Οι μονάδες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι καταναλωμένης παραγωγής μικρής ισχύος και περιλαμβάνουν μικροτουρμπίνες, κυψέλες καυσίμων, συμβατικές ή υβριδικές γεννήτριες παραγωγής και οποιονδήποτε αριθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Ένα μικροδίκτυο μπορεί να πάρει την μορφή ενός νοσοκομείου, ενός εμπορικού κέντρου, ενός πανεπιστημιακού campus αλλά και ενός βιομηχανικού πάρκου. Για το κεντρικό δίκτυο, το μικροδίκτυο μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα επιπλέον ‘φορτίο’ το οποίο μπορεί να είναι συνεχές ή να αυξάνει, π. χ. κατά τις νυχτερινές ώρες όπου η ζήτηση είναι χαμηλή ή μπορεί να μειώνεται, έως και να μηδενίζεται κατά την διάρκεια της αιχμής. Οι μονάδες παραγωγής σε ένα μικροδίκτυο, όπως

προαναφέρθηκε, αποτελούνται από μικρές μονάδες οι οποίες συνδέονται σε γραμμές χαμηλής τάσης και βρίσκονται κοντά στην κατανάλωση.

Τα πλεονεκτήματα της αρχιτεκτονικής του μικροδικτύου υπερσχύουν όλων των πλεονεκτημάτων της κατανεμημένης παραγωγής, ενώ έχουν και όλα τα οφέλη της παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε μικρή κλίμακα. Ένα μικροδίκτυο, σε συνδυασμό με χρήση ηλεκτρονικών ισχύος (μετατροπείς) αποτελεί ένα πλήρως ολοκληρωμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με δυνατότητα αυτόνομου έλεγχου και λειτουργίας. Είναι ικανό να συνεισφέρει στο δίκτυο διανομής αλλά και να λειτουργεί απομονωμένα σε περιπτώσεις που το κεντρικό δίκτυο δεν μπορεί να ανταπεξέλθει.

Συγκεντρωτικά λοιπόν, ένα μικροδίκτυο αποτελείται από ένα δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης με ενσωματωμένες μια ποικιλία μονάδων κατανεμημένης παραγωγής όπως φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, γεννήτριες καυσίμου (ορυκτά καύσιμα, βιομάζα) και κυψέλες καυσίμου, μια πληθώρα αποθηκευτικών μονάδων ηλεκτρικής ενέργειας και ελεγχόμενα φορτία, το οποίο λειτουργεί σαν ένα ξεχωριστό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας εξελιγμένα συστήματα ηλεκτρονικών ισχύος και ελέγχου.[17]

### **1.3.2 Ιστορικό και εξέλιξη**

Όπως και με την κατανεμημένη παραγωγή, έτσι και τα μικροδίκτυα, ή μικροπαραγωγή όπως αναφέρεται, δεν είναι καινούργια έννοια. Ήδη το πρώτο εργοστάσιο ηλεκτρικής ενέργειας, που κατασκευάστηκε από τον Thomas Edison το 1882 (The Manhattan Pearl Street Station) ήταν ουσιαστικά ένα μικροδίκτυο καθώς ένα εθνικό δίκτυο διανομής δεν υπήρχε μέχρι τότε. Μέχρι το 1886, η εταιρία που είχε ο Edison, είχε εγκαταστήσει πάνω από 58 μικροδίκτυα συνεχούς ρεύματος (DC)[9]. Παρόλα αυτά, μετά από λίγο, η εξέλιξη της βιομηχανίας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε κρατική μονοπωλιακή αγορά αποτέλεσε Ανασταλτικό παράγοντα για την περαιτέρω διάδοση και εξέλιξη των μικροδικτύων.

Σήμερα η παραδοσιακή σχεδίαση και λειτουργία συστημάτων παραγωγής ενέργειας βασίζεται στην υπόθεση ότι η επιλογή, η ανάπτυξη και η χρηματοδότηση της παραγωγής είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις και ότι οι αποφάσεις θα πρέπει να προέρχονται από μια κεντρική αρχή. Το άνοιγμα της αγοράς ενέργειας και η αυξανόμενη χρήση της κατανεμημένης παραγωγής είναι το πρώτο

βήμα προς την σταδιακή απομάκρυνση από το κεντρικό πρότυπο, ενώ η πιθανή εξέλιξη των μικροδικτύων ίσως το επόμενο.

Τα μικροδίκτυα θα αναπτύξουν ανεξάρτητα λειτουργικά πρότυπα και σχέδια επέκτασης. Η ανάπτυξη των μικροδικτύων θα επηρεάσει σημαντικά την επέκταση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και αυτό θα επιτευχθεί λόγω των σημαντικών κινήτρων των καταναλωτών να τα υιοθετήσουν, καθώς τα διάφορα στοιχεία του μικροδικτύου επιλέγονται και λειτουργούν με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους τροφοδοσίας της ζήτησης ηλεκτρισμού και θέρμανσης, σύμφωνα με τις επικρατούμενες συνθήκες της αγοράς, διατηρώντας παράλληλα ισορροπία ισχύος και προσφέροντας ασφάλεια και ποιότητα κατά την λειτουργία.

Έτσι το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα εξαπλωθεί με βάση τους διεσπαρμένους στόχους των καταναλωτών και όχι σύμφωνα με τους συγκεντρωμένους, γενικούς στόχους που στοιχειοθετούνται από μια κεντρική αρχή. Διεσπαρμένα ενεργειακά συστήματα και διεσπαρμένες αποθήκες ενέργειας αναμένεται να εγκατασταθούν μαζικά στο κοντινό μέλλον ως αποτέλεσμα της αυξανόμενης ζήτησης στα διεσπαρμένα συστήματα.

Προσπαθώντας να καλύψουν τα ζητήματα που έχουν να κάνουν με την αποδοτική λειτουργία γεννητριών συμβατικών καυσίμων, τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τη μείωση των απωλειών μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με την αύξηση της αξιοπιστίας, τα μικροδίκτυα αποτελούν ένα μοντέλο έρευνας που μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στην εξέλιξη των ενεργειακών συστημάτων.

### **1.3.3 Γενικά χαρακτηριστικά μικροδικτύου**

Όπως είπαμε, ένα μικροδίκτυο μπορεί να αξιοποιεί μια ποικιλία από μονάδες παραγωγής, ισχύς μέχρι λίγα MW. Τυπικές πηγές ενέργειας ενός δικτύου είναι οι γεννήτριες ντίζελ ή φυσικού αερίου, συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (γεννήτριες, μικροστρόβιλοι), οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά, οι κυψέλες καυσίμου, οι γεωθερμικοί και ηλιοθερμικοί σταθμοί, τα μικρά υδροηλεκτρικά, οι μονάδες που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη βιομάζα, βιοντίζελ και γενικά όλες οι μονάδες κατανεμημένης παραγωγής

Ο σχεδιασμός του μικροδικτύου είναι ανεξάρτητος από το κεντρικό δίκτυο, ωστόσο μπορεί να υπάρχει σύνδεση με αυτό, για ανταλλαγή ενέργειας. Ένα μικροδίκτυο μπορεί να αναπτυχθεί εκεί όπου υπάρχει διαθέσιμη μια από τις παραπάνω φυσικές πηγές ενέργειας και να καλύπτει τις καταναλώσεις της περιοχής που εγκαθίσταται.

Η κλίμακα του μικροδικτύου ποικίλει, από μια οικία που χρησιμοποιεί ένα υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών και γεννήτρια ντίζελ ή βιοκαυσίμων, ένα νοσοκομείο που χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού, μέχρι και μια ολόκληρη πόλη που τροφοδοτείται από σταθμούς βιομάζας, γεννήτριες ντίζελ και αιολικά πάρκα. Μια συνδυασμένη χρήση των τεχνολογιών συμπαραγωγής και ανανεώσιμων πηγών, θα μπορούσε ίσως να κάνει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στο μικροδίκτυο ανταγωνιστική αυτής των κεντρικών δικτύων.

Η αξιόπιστη λειτουργία ενός μικροδικτύου συνεπάγεται εκτός από την κάλυψη των απαιτήσεων ενεργού και άεργου ισχύος, και τη συνεχή ρύθμιση της τάσης και της συχνότητας αυτού. Παράλληλα θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις κατάλληλες διατάξεις προστασίας από σφάλματα, βραχυκυκλώματα ή διαρροές.

Δεδομένης της μικρής ισχύος των περισσότερων μονάδων ενός μικροδικτύου, η παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι προτιμότερο να γίνεται στη χαμηλή τάση καθώς, αφού η παραγωγή βρίσκεται κοντά στο φορτίο, δεν απαιτείται η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Το μέγεθος δηλαδή των μονάδων παραγωγής είναι ουσιαστικά αυτό που καθορίζει τη στάθμη λειτουργίας του μικροδικτύου, ενώ το μέγεθος των μονάδων αλλά και των φορτίων καθορίζει και τον τρόπο διασύνδεσης του με αλλά μικροδίκτυα ή με το κεντρικό δίκτυο, στην μέση τάση ή στην χαμηλή τάση. Προφανώς σε μεγαλύτερη ισχύ απαιτείται διασύνδεση στην μέση τάση.

Ένα μικροδίκτυο μπορεί να έχει την δυνατότητα διασύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής διανομής. Σε μια τέτοια παραλληλισμένη λειτουργία είναι δυνατή η ανταλλαγή ενέργειας. Παροχή πλεονάζουσας ενέργειας σε αυτό, ή απορρόφηση ενέργειας όταν οι μονάδες του μικροδικτύου δεν επαρκούν να καλύψουν τη ζήτηση. Ακόμα, σε περίπτωση διακοπής της διασυνδεδεμένης λειτουργίας(νησιδοποίηση-island) είναι δυνατή η αξιόπιστη τροφοδότηση των φορτίων του μικροδικτύου από τις δικές του μονάδες σε περίπτωση κατάρρευσης του κεντρικού δικτύου.

Πρέπει να τονιστεί ότι σε περιπτώσεις παραλληλισμένης λειτουργίας με το κεντρικό δίκτυο, αυτό που πρωτίστως επιδιώκεται είναι να μην προκαλεί το μικροδίκτυο προβλήματα. Η ποιότητα της τάσης πρέπει να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του δικτύου ενώ η απορροφημένη ενέργεια να μην ξεπερνά τις απαιτήσεις ενός τυπικού καταναλωτή. Σε ένα δεύτερο στάδιο, ένα μικροδίκτυο μπορεί να συνεργάζεται με το κεντρικό δίκτυο. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να συμβαίνει αν το μικροδίκτυο ρυθμιζόταν ώστε να μπορεί να υποστηρίξει το κεντρικό δίκτυο, π. χ. να παρέχει ή να απορροφά ενεργό ή άεργο ισχύ όταν απαιτείται, ακόμη και σε μικρά χρονικά διαστήματα. Στην δεύτερη αυτή περίπτωση απαιτείται προφανώς και μια μορφή επικοινωνίας μεταξύ των κέντρων ελέγχου μικροδικτύου και κεντρικού δικτύου.

Νέες τεχνολογίες υπόσχονται πολλά στην διαχείριση των μεταβατικών φαινομένων. Για την κάλυψη υψηλών αιχμών ζήτησης και την αποθήκευση περίσσειας ενέργειας, ένα μικροδίκτυο, ιδιαίτερα όταν βρίσκεται σε απομονωμένη λειτουργία, μπορεί να χρησιμοποιεί ενέργεια που αποθηκεύεται σε υπερπυκνωτές, υπεραγωγία πηνία, μηχανές υψηλής στρεφόμενης αδράνειας (flywheels), συσσωρευτές, ή με τη μορφή δυναμικής ενέργειας μέσω συμπιεστών αέρα ή υδραντλιοταμιευτικών συστημάτων.

Τονίζεται ότι ένας πολύπλοκος έλεγχος ενός τέτοιου συστήματος με την παρούσα διαθέσιμη τεχνολογία απαιτεί την χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών ισχύος, για την διασύνδεση των περισσοτέρων πηγών ενέργειας του μικροδικτύου στους ζυγούς. Είτε η παραγόμενη ισχύς είναι διαρκώς μεταβαλλόμενη όπως στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών, είτε ελεγχόμενη όπως των υδροηλεκτρικών σταθμών και των ντιζελογεννητριών, η διοχέτευση αυτής μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων κάνει εφικτό τον έλεγχο των πιο σημαντικών μεγεθών αυτής, δηλαδή της τάσης και της συχνότητας, μέσω της ροής ενεργού και άεργου ισχύος. Πολλές φορές η χρήση ηλεκτρονικών μετατροπέων είναι επιβεβλημένη καθώς πολλές μονάδες ΑΠΕ παράγουν συνεχές ρεύμα. Ο έλεγχος των ηλεκτρικών αντιστροφών ισχύος στοχεύει στο ισοζύγιο ισχύος στο μικροδίκτυο. Αυτό μπορεί να γίνεται είτε με την οδήγηση μιας ελεγχόμενης γεννήτριας, είτε με την διαχείριση συσσωρευτών ή μικροστροβίλων, είτε με τον έλεγχο των ηλεκτρονικών ισχύος των άλλων μικρομονάδων παράγωγης ενέργειας.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μικροδικτύου το κάνουν κατάλληλο για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε απομακρυσμένες περιοχές όπου το κεντρικό δίκτυο δεν



μπορεί να καλύψει είτε λόγω γεωγραφικής θέσης, είτε λόγω διαταραχών του δικτύου μεταφοράς από καιρικά φαινόμενα, είτε για άλλους λόγους.

Από την άποψη του κεντρικού δικτύου, το βασικό πλεονέκτημα του μικροδικτύου είναι ότι θεωρείται σαν μια ελεγχόμενη ξεχωριστή οντότητα. Μπορεί να λειτουργήσει σαν ένα καλά ορισμένο φορτίο. Αυτό το κάνει εύκολο να ελεγχθεί και να εναρμονιστεί με τους κανονισμούς του δικτύου χωρίς να επιδρά στην αξιοπιστία και την ασφάλεια του κεντρικού δικτύου.

Από την πλευρά των καταναλωτών, τα μικροδίκτυα πλεονεκτούν στην διαχείριση των ενεργειακών αλλά και των θερμικών Αναγκών τους. Μπορούν να παρέχουν συνεχή ισχύ, βελτιώνουν την ποιότητα τάσης και μειώνουν τις απώλειες γραμμών.

Από την περιβαλλοντική πλευρά, τα μικροδίκτυα μειώνουν την περιβαλλοντική μόλυνση χρησιμοποιώντας τεχνολογίες με μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Παρόλα αυτά, για να επιτευχθεί σταθερή και ασφαλής λειτουργία, ένας αριθμός από οικονομοτεχνικά θέματα θα πρέπει να ρυθμιστούν πριν η χρήση μικροδικτύων εξαπλωθεί περαιτέρω. Κάποια από αυτά τα ζητήματα που επείγουν προσοχής είναι η εξάρτηση πολλών μονάδων κατανεμημένης παραγωγής από κλιματικές συνθήκες, η χαμηλή ενεργειακή απόδοση των καυσίμων αλλά και η απουσία κανόνων και οδηγιών για την λειτουργία των μικροδικτύων σε συγχρονισμό με το υπάρχον δίκτυο. Η έρευνα τέτοιων ζητημάτων απαιτεί και μελέτη θεωρητική αλλά και σε πραγματικές συνθήκες, αν και πολλά πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα έχουν δώσει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα.[21]

#### **1.3.4 Peer to peer - plug and play**

Ένα από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά των μικροδικτύων είναι η ιδιότητα του λεγόμενου plug and play και η σύνδεση των μονάδων στην λογική peer to peer. Ο δεύτερος όρος εμφανίζεται στα δίκτυα υπολογιστών δηλώνοντας την ομότιμη συμμετοχή και διάθεση των πόρων τους. Με την ίδια λογική ο όρος peer to peer χρησιμοποιείται και στα ηλεκτρονικά δίκτυα. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται ότι δεν υπάρχουν μονάδες, όπως ένας κεντρικός ελεγκτής ή μια κεντρική μονάδα αποθήκευσης, που να έχουν κρίσιμο ρόλο στην λειτουργία του μικροδικτύου. Αυτό σημαίνει ότι το μικροδίκτυο μπορεί να λειτουργεί ανεξάρτητα από τις μονάδες που

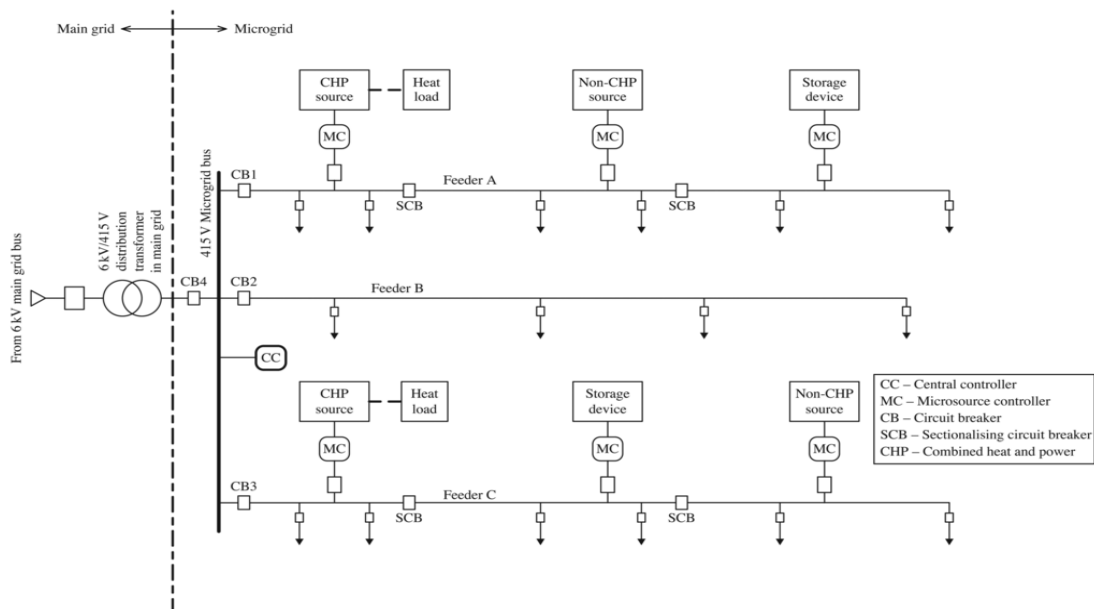
είναι συνδεδεμένες ή την απώλεια κάποιας από τις μονάδες. Η ιδέα δηλαδή μιας μονάδας που λειτουργεί σαν master και των υπολοίπων σαν slave έχει εγκαταλειφθεί και υπάρχει μια multi-master λειτουργία, όπου στο μικροδίκτυο υπάρχουν πολλές μονάδες –οδηγοί χωρίς να χρειάζονται επιπλέον τρόποι επικοινωνίας.

Με τον όρο plug and play εννοούμε την δυνατότητα που έχει το μικροδίκτυο να μην χρειάζεται επαναπρογραμματισμό των ελέγχων του αν προστεθεί κάποια από τις μονάδες τους, είτε αποθήκευσης, είτε παραγωγής, είτε φορτίο. Οι μονάδες έτσι μπορούν να συνδέονται σε οποιοδήποτε σημείο του μικροδικτύου. Τον πρωταγωνιστικό ρόλο στο να επιτευχθεί η λειτουργία plug and play, αλλά και στον έλεγχο είναι οι μετατροπείς που χρησιμοποιούν στο μικροδίκτυο. Κάθε μονάδα παραγωγής και ο έλεγχος της πρέπει να μπορεί να ανταποκρίνεται στις αλλαγές του συστήματος, είτε των χαρακτηριστικών του δικτύου είτε του φορτίου, χωρίς να απαιτεί δεδομένα από τα φορτία ή από τις άλλες μονάδες παραγωγής.

Τα χαρακτηριστικά αυτά δίνουν στα μικροδίκτυα την δυνατότητα επέκτασης τους, καθώς και την ικανότητα να προσαρμόζονται σε όλες τις καταστάσεις ζήτησης και τροφοδοσίας. Έτσι με μικρό κόστος μπορεί να προστεθούν φορτία και μονάδες παραγωγής όσο οι ανάγκες το απαιτούν.

### **1.3.5 Ένα τυπικό μικροδίκτυο**

Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα βλέπουμε την τυπική μορφή ενός μικροδικτύου. Αποτελείται από ηλεκτρικά και θερμικά φορτία και μονάδες παραγωγής συνδεδεμένες σε γραμμές χαμηλής τάσης. Τα φορτία, ειδικά τα θερμικά, και οι πηγές τοποθετούνται κοντά μεταξύ τους έτσι ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες. Οι μονάδες παραγωγής (μικροπηγές) έχουν plug and play δυνατότητες. Επίσης διαθέτουν ηλεκτρονικά ισχύος για τον έλεγχο, την μέτρηση και την προστασία και όταν το μικροδίκτυο λειτουργεί απομονωμένα αλλά και όταν είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο. Επίσης βοηθούν στην ήπια μετάβαση από την μια λειτουργία στην άλλη.



Εικόνα 1-6 κυκλωματική δομή μικροδικτύου

Το μικροδίκτυο αποτελείται από τρεις ζυγούς (feeders A B C) στους οποίους συνδέονται τα διάφορα φορτία. Στο συγκεκριμένο σχέδιο, υπάρχουν και δύο μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP) και δύο non-CHP μονάδες καθώς και αποθηκευτικές μονάδες. Οι μικροπηγές και οι αποθηκευτικές μονάδες είναι συνδεδεμένες στους ζυγούς A και C μέσω μικροελεγκτών (microcontrollers MCs). Κάποια φορτία τα οποία συνδέονται στους ζυγούς A και C θεωρούνται τα φορτία με μεγαλύτερη προτεραιότητα (αυτά που χρειάζονται αδιάλειπτη παροχή), ενώ στον ζυγό B συνδέονται τα δευτερεύοντα φορτία.

Το μικροδίκτυο συνδέεται στην γραμμή μέσης τάσης του κεντρικού δικτύου μέσω του σημείου κοινής σύνδεσης (ΣΚΣ-PCC point of common coupling) και ενός διακόπτη CB4 (circuit breaker) σύμφωνα με τους προβλεπόμενους κανονισμούς. Ο CB4 παρέχει την δυνατότητα για αλλαγή της λειτουργίας του μικροδικτύου από απομονωμένη λειτουργία σε συνδεδεμένη λειτουργία. Οι ζυγοί του συστήματος (A B C) μπορούν και αυτοί να αποσυνδεθούν και να συνδεθούν μέσω των διακόπτων CB1, CB2, CB3 αντίστοιχα. Οι μικροπηγές στους ζυγούς A και C είναι σχετικά απομακρυσμένες μεταξύ τους έτσι ώστε να έχουμε περαιτέρω μείωση των απωλειών μεταφοράς, καλύτερη ποιότητα τάσης αλλά και καλύτερη διαχείριση της απορρίπτουσας θερμότητας. Παρόλο που ο έλεγχος της ροής ισχύος αλλά και των επιπέδων τάσης στους διάφορους ζυγούς του συστήματος είναι δύσκολος, όταν ειδικά είναι συνδεδεμένες σε αυτό πολλές μονάδες παραγωγής και αποθήκευσης σε διαφορετικούς ζυγούς, αυτή η τοπολογία είναι απαραίτητη για να διατηρηθεί το plug and play χαρακτηριστικό του μικροδικτύου.

Όπως αναφέραμε το μικροδίκτυο λειτουργεί σε δύο μορφές, συνδεδεμένο και απομονωμένο. Σε διασυνδεδεμένη λειτουργία, το μικροδίκτυο παραμένει συνδεδεμένο στο κεντρικό δίκτυο είτε πλήρως είτε μερικώς, και επιτρέπει την εναλλαγή ισχύος (μεταφορά) μεταξύ αυτού και του δικτύου. Σε περίπτωση διαταραχής του κεντρικού δικτύου, το μικροδίκτυο αλλάζει σε απομονωμένη λειτουργία ενώ συνεχίζει να παρέχει συνεχή ηλεκτρική ενέργεια στα πρωτεύοντα φορτία. Αυτό πραγματοποιείται είτε αποσυνδέοντας το μικροδίκτυο πλήρως μέσω του διακόπτη CB4, είτε αποσυνδέοντας μόνο τους ζυγούς A και C μέσω των διακοπών CB1 και CB3. Στην πρώτη περίπτωση, το μικροδίκτυο θα λειτουργεί σαν αυτόνομο σύστημα με όλες τις μονάδες παραγωγής του να τροφοδοτούν όλα τα φορτία του σε όλους τους ζυγούς, ενώ κατά την δεύτερη περίπτωση, οι ζυγοί A και C θα τροφοδοτούνται (πρωτεύοντα φορτία) ενώ ο ζυγός B θα παραμείνει στην «κυριότητα» του κεντρικού δικτύου μέχρι το τέλος των διαταραχών.

Η λειτουργία αλλά και η διαχείριση του μικροδικτύου στις δύο αυτές λειτουργίες, πετυχαίνεται μέσω τοπικών μικροελεγκτών αλλά και ενός κεντρικού ελεγκτή (CC-central controller) οι λειτουργίες των οποίων αναφέρονται στην συνέχεια.

**Μικροελεγκτής μικροπηγών (MC):** Η κεντρική λειτουργία του μικροελεγκτή ο οποίος συνδέεται στις διάφορες μονάδες που αποτελούν το μικροδίκτυο, είναι ο ανεξάρτητος έλεγχος της ροής ισχύος αλλά και της παρεχόμενης ή απορροφούμενης τάσης της εκάστοτε μικροπηγής σε περίπτωση διαταραχών και αλλαγής των φορτίων. Λειτουργεί ανεξάρτητα από τον κεντρικό ελεγκτή ενώ συμμετέχει και στην μέτρηση και στην οικονομικά βέλτιστη λειτουργία της μονάδας που συνδέεται μέσω της σωστής διαχείρισης της λειτουργίας της (generation scheduling, load tracking/management, demand side management).

Ακόμη κατά την αποσυνδεδεμένη λειτουργία του μικροδικτύου, οι μικροελεγκτές φροντίζουν έτσι ώστε η κάθε πηγή να αρχίζει να λειτουργεί τροφοδοτώντας το φορτίο που της αναλογεί αλλά και διευκολύνουν τη διαδικασία επιστροφής σε συνδεδεμένη λειτουργία με την βοήθεια του κεντρικού ελεγκτή(CC).

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό των μικροελεγκτών είναι η γρήγορη τους αντίδραση στην ρύθμιση της τάσης και του ρεύματος σε συνεννόηση με τους υπόλοιπους μικροελεγκτές του συστήματος. Αυτό το χαρακτηριστικό επιτρέπει στις μικροπηγές να λειτουργούν σαν plug and play μονάδες και βοηθά στην σύνδεση νέων

μονάδων στο μικροδίκτυο χωρίς να διαταράσσετε η λειτουργία αλλά και η προστασία των υπολοίπων μονάδων. Άλλα δύο βασικά χαρακτηριστικά των μικροελεγκτών στα μικροδίκτυα είναι ότι δεν λειτουργούν ανεξάρτητα από τους άλλους μικροελεγκτές και ότι αν είναι ανάγκη μπορούν να απηφήσουν ενδεχόμενες «εντολές» του κεντρικού ελεγκτή οι οποίες θα έθεταν τις μονάδες του μικροδικτύου σε κίνδυνο.

**Κεντρικός ελεγκτής (Central controller):** Ο κεντρικός ελεγκτής εκτελεί τον γενικό έλεγχο και την προστασία του μικροδικτύου μέσω των μικροελεγκτών. Οι κεντρικές του λειτουργίες είναι να διατηρεί συγκεκριμένες τιμές τάσης και συχνότητας στα φορτία του δικτύου μέσω ελέγχου της ισχύος-συχνότητας και ελέγχου τάσης και γενικότερα να διασφαλίζει την ποιότητα και την διαχείριση της ενέργειας στο μικροδίκτυο. Ο κεντρικός ελεγκτής παρέχει επίσης τις απαραίτητες οδηγίες στους περειαίρω μικροελεγκτές. Είναι σχεδιασμένος ώστε να λειτουργεί και αυτόνομα από τους μικροελεγκτές και να δέχεται εντολές από τον καταναλωτή. Δύο από τα κύρια πρότυπα λειτουργίας του είναι το Πρότυπο διαχείρισης ενέργειας (Energy Management Module-EMM) και το Πρότυπο προστασίας και συγχρονισμού (Protection Co-ordination Module-PCM).

- **Energy management module.** Αυτό το πρότυπο παρέχει τις ρυθμίσεις για την κατάλληλη παραγωγή, ενεργού και άεργου ισχύος, τάσης και συχνότητας των μικροελεγκτών. Αυτή η λειτουργία επιτυγχάνεται μέσω εξελιγμένων συστημάτων επικοινωνίας και τεχνητής νοημοσύνης. Αυτές οι τιμές θέτονται ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε μικροδικτύου. Το EMM πρέπει να λάβει υπόψη του :

- A) Οι μικροπηγές του συστήματος να παρέχουν θερμικό και ηλεκτρικό φορτίο σε αντιστοιχία των Αναγκών του καταναλωτή
- B) Το μικροδίκτυο να λειτουργεί αποτελεσματικά σύμφωνα με τους υπάρχοντες κανονισμούς αλλά και σε εναρμόνιση με το υπόλοιπο κεντρικό δίκτυο
- Γ) Το μικροδίκτυο να λειτουργεί με την μέγιστη απόδοση, μειώνοντας τις απώλειες αλλά και να λειτουργεί σύμφωνα με τους κανόνες περιβαλλοντικής προστασίας.

- **Protection Co-ordination Module.** Αυτό το πρότυπο ενεργοποιείται σε περιπτώσεις διαταραχής είτε του μικροδικτύου είτε του κεντρικού δικτύου έτσι ώστε να διασφαλιστεί η σωστή προστασία και ο συγχρονισμός της λειτουργίας του μικροδικτύου. Ακόμη ενεργοποιείται στην περίπτωση που έχουμε αλλαγή των

επιπέδων τάσεως και της παροχής ρεύματος κατά την μεταφορά από συνδεδεμένη σε αποσυνδεδεμένη λειτουργία.

Για να επιτευχθεί αυτό, υπάρχει αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ του PCM και των μικροελεγκτών. Κατά την διάρκεια διαταραχής ή και διακοπής του κεντρικού δικτύου, το PCM άμεσα μεταφέρει το μικροδίκτυο σε απομονωμένη λειτουργία και φροντίζει ώστε να παρέχεται η απαιτούμενη ενέργεια στα πρωτεύοντα φορτία. Όταν συμβαίνουν όμως μικρές διαταραχές, το PCM δεν διακόπτει την σύνδεση με το κεντρικό δίκτυο αλλά παραμένει σε διασυνδεδεμένη λειτουργία για κάποιο διάστημα μέχρι να κρίνει ότι πρέπει να αποσυνδεθεί από το κεντρικό δίκτυο. Αν το PCM διαπιστώσει ότι η διαταραχή του δικτύου μπορεί να προκαλέσει ζημιές στις μονάδες του μικροδικτύου είναι ικανό να αποσυνδέσει τις μονάδες πλήρως από το δίκτυο. Αν υπάρξει διαταραχή στο εσωτερικό του μικροδικτύου(π. χ. σε κάποιον ζυγό), το μικρότερο δυνατόν κομμάτι του δικτύου αποσυνδέεται έτσι ώστε να διατηρηθεί η παροχή στα υπόλοιπα υγιή κομμάτια του. Επίσης το PCM διαθέτει επιπλέον προστασία για τα «ευαίσθητα» φορτία σε περίπτωση μη επιθυμητών διαταραχών στην συχνότητα ή στην τάση. Ακόμη βοηθά στον εκσυγχρονισμό του μικροδικτύου με το κεντρικό δίκτυο κατά την μετάβαση από απομονωμένη σε συνδεδεμένη λειτουργία.

Οι κύριες λειτουργίες του κεντρικού ελεγκτή σε συνδεδεμένη λειτουργία συνοψίζονται ως εξής:

- Έλεγχος της διαχείρισης του συστήματος μέσω της συγκέντρωσης δεδομένων από τις μικροπηγές και τα φορτία
- Επιβλέπει και παίρνει αποφάσεις για την κατάλληλη παραγωγή ενεργού και άεργου ισχύος των μικροπηγών αλλά και για την παροχή στα φορτία
- Εξασφαλίζει την συγχρονισμένη λειτουργία με το κεντρικό δίκτυο και κατά την απομονωμένη λειτουργία
- Ελέγχει την παραγωγή ισχύος έτσι ώστε να παρέχει σταθερή τάση και συχνότητα στα φορτία
- Υιοθετεί σχέδια παραγωγής ενέργειας σύμφωνα με τις ανάγκες του καταναλωτή σε συνδυασμό με την χρήση μονάδων αποθήκευσης για την οικονομικότερη και αποδοτικότερη λειτουργία

- Επαναφέρει το μικροδίκτυο σε συνδεδεμένη λειτουργία, όταν τελειώσουν οι διαταραχές του κεντρικού δικτύου χωρίς να δημιουργούνται επιπτώσεις στην σταθερότητα είτε του μικροδικτύου, είτε του κεντρικού δικτύου.

### 1.3.6 Θέματα διαχείρισης και λειτουργίας μικροδικτύου

Για την σωστή και αποδοτική λειτουργία ενός μικροδικτύου πρέπει να διευθετούνται ορισμένα κύρια θέματα τα οποία παρουσιάζονται συνοπτικά :

- Για την διατήρηση της επιθυμητής ποιότητας ισχύος, η παραγωγή ενεργού και άεργου ισχύος θα πρέπει να ελέγχεται αρκετά συχνά στο μικροδίκτυο
- Το μικροδίκτυο θα πρέπει να λειτουργεί και σε απομονωμένη αλλά και σε συνδεδεμένη λειτουργία. Ο διαχειριστής θα πρέπει να είναι σε θέση να επιλέγει το κατάλληλο είδος λειτουργίας ανάλογα με τους κανόνες αλλά και την περίσταση
- Οι ρυθμοί παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στο μικροδίκτυο πρέπει να είναι σωστά σχεδιασμένοι σύμφωνα με την ζήτηση των φορτίων αλλά και την μακροπρόθεσμη γενικότερη ενεργειακή ισορροπία του συστήματος.
- Τα συστήματα ελέγχου και μετρήσεων(SCADA-supervisory control and data acquisition), καθώς και ότι έχει να κάνει με θέματα διαχείρισης της προστασίας του μικροδικτύου πρέπει να ενσωματωθούν στον κεντρικό ελεγκτή του μικροδικτύου και τους υπόλοιπους μικροελεγκτές. Δεδομένα πρέπει να καταγράφονται σε σταθερά χρονικά διαστήματα για την καλύτερη απόδοση και μελέτη του μικροδικτύου.
- Η ασφάλεια του συστήματος θα πρέπει να ελέγχεται μέσω συνεχών μετρήσεων αλλά και με την χρήση διαφόρων ενεργειών που συμβάλλουν σε αυτή (όπως σχεδιασμό της ζήτησης, απομόνωση ή διακοπή της λειτουργίας κάποιας μονάδας). Σε περίπτωση μη προσδοκώμενων γεγονότων, ο οικονομικός επανασχεδιασμός της παραγωγής του συστήματος θα πρέπει να έχει ως πρωταρχικό μέλημα την ικανοποίηση του φορτίου αλλά και στην επίτευξη κατάλληλων επιπέδων τάσης και συχνότητας.
- Οι οποιεσδήποτε διαταραχές στο ενεργειακό ισοζύγιο του συστήματος θα πρέπει να διευθετούνται μέσω της σωστής πρόβλεψης και διαχείρισης του φορτίου. Η επανατοποθέτηση των πηγών αλλά και των φορτίων του

συστήματος μπορεί να μειώσει την καμπύλη ζήτησης και μαζί με αυτό να μειώσει την απαιτούμενη χωρητικότητα του αποθηκευτικού συστήματος.

- Τα κατάλληλα πρότυπα αλλά και πλατφόρμες επικοινωνίας πρέπει να υιοθετούνται για την καλύτερη διαχείριση της ενέργειας, την προστασία και τον έλεγχο του συστήματος.

### **1.3.7 Οικονομικά και τεχνικά πλεονεκτήματα μικροδικτύων**

Σε αυτό το κεφάλαιο παραθέτονται τα πολλαπλά οικονομικοτεχνικά πλεονεκτήματα της χρήσης και της ανάπτυξης των μικροδικτύων.

#### *ΣΤΟΝ ΤΕΧΝΙΚΟ ΤΟΜΕΑ:*

- Απόδοση ενέργειας: Η συνολική απόδοση της ενέργειας αυξάνεται με τις εφαρμογές συμπαραγωγής, που αποτελούν βασικό χαρακτηριστικό των μικροδικτύων. Έτσι, ενώ μέχρι τη δημιουργία των μικροδικτύων είχαμε μεγάλη κεντρική παραγωγή ισχύος και τοπική παραγωγή θερμότητας, με την δημιουργία των μικροδικτύων τόσο η παραγωγή ισχύος όσο και θερμότητας γίνεται τοπικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η κατανάλωση της ενέργειας που βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα να μειώνεται κατά το 1/3.[11]
- Ελαχιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας
- Αποκέντρωση της παραγωγής
- Αυξημένη αξιοπιστία και προσαρμοστικότητα του συστήματος ενέργειας
- Καλύτερη εναρμόνιση παραγωγής και κατανάλωσης
- Υψηλή μείωση των απωλειών από μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, αφού η παραγωγή γίνεται τοπικά
- Οφέλη για το δίκτυο όπως δυνατότητα τοπικής παραγωγής, ελέγχου τάσης και συχνότητας
- Σε περιόδους αιχμής φορτίου αποτρέπει την κατάρρευση μειώνοντας το φορτίο του δικτύου ενώ έχει και εφεδρικό χαρακτήρα.
- Μειώνονται οι διαταραχές και διακυμάνσεις κατά την επαναφορά της λειτουργίας του μικροδικτύου λόγω ότι δεν βασίζεται στο κεντρικό δίκτυο(black start)



#### *ΣΤΟΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ:*

Είναι αυτονόητο ότι η χρήση μικροδικτύων θα έχει αρκετά μικρότερη επιβάρυνση στην μόλυνση του περιβάλλοντος σε σχέση με τις μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες κυρίως βασίζονται στην καύση ορυκτών καυσίμων. Παρόλα αυτά θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι πολλά υποσχόμενες καινούργιες τεχνολογίες μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (carbon capture and storage-CCS) που έχουν αρχίσει να εφαρμόζονται σε μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενδέχεται να μειώσουν δραματικά τις επιπτώσεις και των συμβατικών μονάδων παραγωγής στο περιβάλλον. Όπως και να έχει κάποια από τα οφέλη των μικροδικτύων όσον αφορά το περιβάλλον είναι :

- Σημαντική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα
- Τα μικροδίκτυα ενισχύουν την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ)
- Οι επιπτώσεις από την χρήση μεγάλων γεωγραφικών εκτάσεων (για εγκαταστάσεις κτλ) αποφεύγονται
- Μείωση του όγκου του συστήματος διανομής και μεταφοράς
- Μείωση ρυπογόνων εκπομπών λόγω του συνεχή και κοντινού ελέγχου της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Η φυσική παρουσία των μονάδων παραγωγής κοντά στους καταναλωτές ενδέχεται να αυξήσει την ευαισθησία των καταναλωτών σε θέματα περιβαλλοντικής προστασίας

#### *ΣΤΟΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ:*

- Μείωση κόστους για τον καταναλωτή με την χρήση μονάδων συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικού ρεύματος που βρίσκονται κοντά στην κατανάλωση. Ακόμα δεν απαιτείται ξεχωριστό δίκτυο μεταφοράς θερμότητας, πράγμα που οδηγεί σε περαιτέρω οικονομικά οφέλη.
- Μειωμένο κόστος επίσης μέσω της ενσωμάτωσης πολλών μικρών μονάδων παραγωγής με plug and play χαρακτηριστικά. Τα έξοδα για δίκτυο διανομής και μεταφοράς πρακτικά μηδενίζονται με την παραγωγή κοντά στο φορτίο.
- Ευρέως διαδεδομένη χρήση μικροδικτύων με plug and play μονάδων ενδέχεται να μειώσει την κυριαρχία των υπάρχοντων εταιριών παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πράγμα που θα οδηγήσει σε μείωση της τιμής της

παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και μείωση των τιμών των διάφορων υπηρεσιών που σχετίζονται με την διανομή της.

### **1.3.8 Μειονεκτήματα και προκλήσεις της χρήσης μικροδικτύων**

Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα, η εξέλιξη και διάδοση της χρήσης των μικροδικτύων, παρουσιάζει κάποια βασικά μειονεκτήματα και προκλήσεις.

- Μεγάλο κόστος των μονάδων κατανεμημένης παραγωγής. Το μεγάλο αρχικό κεφάλαιο που απαιτείται για την εγκατάσταση των μονάδων κατανεμημένης παραγωγής στα μικροδίκτυα αποτελεί ένα μεγάλο μειονέκτημα. Αυτό θα μπορούσε να μειωθεί θεσπίζοντας κάποια μορφή επιδότησης ή κρατικής επιχορήγησης για την ενθάρρυνση επενδύσεων.
- Τεχνικές δυσκολίες. Αυτές έχουν να κάνουν με την απουσία όχι μόνο εμπειρίας σχετικά και με τις μονάδες παραγωγής σε ένα μικροδίκτυο αλλά και γενικά της μορφής ενός μικροδικτύου αλλά και με την απουσία τεχνικών κανόνων για την εισαγωγή μονάδων κατανεμημένης παραγωγής και την χρήση μικροδικτύων, ειδικά σε σχέση με την σύνδεση με το υπάρχον κεντρικό δίκτυο. Αυτοί οι κανόνες θα πρέπει να περιλαμβάνουν θέματα προστασίας και ασφάλειας του δικτύου και γενικότερα της εγκατάστασης, όρια ισχύος, πτώσης τάσης, εκπομπών αρμονικών κ. τ. λ.
- Νομικά πλαίσια. Στις περισσότερες χώρες, δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη και ξεκάθαρη νομοθεσία που έχει να κάνει με την χρήση και εγκατάσταση μικροδικτύων. Κάποιες κυβερνήσεις αρχίζουν να ενθαρρύνουν την χρήση και εγκατάσταση περιβαλλοντικά φιλικών μικροδικτύων αλλά ξεκάθαροι κανόνες δεν έχουν ακόμα θεσπιστεί για περεταίρω ενσωμάτωση μικροδικτύων στο μέλλον.
- Σημερινό μονοπωλιακό καθεστώς. Εάν με την χρήση μικροδικτύων αρχίζουν να δημιουργούνται όλο και περισσότερα αυτόνομα συστήματα, δημιουργείται το ερώτημα του ποιος θα ελέγχει αυτή την παραγωγή. Αφού η χρήση του κεντρικού δικτύου θα αρχίσει να μειώνεται, η σημερινή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας θα χάσει τον έλεγχο της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της τιμής λόγω ανταγωνισμού ή σε μια νέα μορφή μονοπωλίου όπου τα μικροδίκτυα θα παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε υψηλές τιμές εκμεταλλευόμενοι την αστάθεια της αγοράς. Έτσι πρέπει να δημιουργηθεί και να

διαμορφωθεί το κατάλληλο μοντέλο αγοράς πριν την περαιτέρω εξάπλωση των μικροδικτύων.

### **1.3.9 Εφαρμογές των μικροδικτύων σήμερα**

Σήμερα η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση «αξιόπιστης» και οικονομικής ενέργειας και η αδυναμία του υπάρχοντος δικτύου να ικανοποιήσει αυτές τις ανάγκες, γεγονός που σε συνδυασμό με τα πολλαπλά πλεονεκτήματα που προαναφέρθηκαν έχει επαναφέρει στο προσκήνιο την χρησιμότητα των μικροδικτύων. Ήδη γνωρίζουν αρκετές εφαρμογές, κυρίως σε Αμερική και Ιαπωνία, ενώ αρχίζουν να δημιουργούνται πολλά υποσχόμενες αγορές για μικροδίκτυα και στον υπόλοιπο κόσμο καθώς εξελίσσονται τεχνολογικά και πληθαίνουν τα πεδία εφαρμογής τους.

Τα μικροδίκτυα σήμερα διαχωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με την παραγόμενη ισχύ αλλά και το είδος του φορτίου που ικανοποιούν. Έτσι έχουμε :

#### **A) Μικροδίκτυα μονής εγκατάστασης**

Αυτά τα μικροδίκτυα περιλαμβάνουν εγκαταστάσεις όπως βιομηχανικά και εμπορικά κτίρια, καθώς και οικιακές κατοικίες και νοσοκομεία, με φορτία που δεν ξεπερνούν τα 2MW. Αυτά τα συστήματα έχουν μικρή μεταβλητότητα και απαιτούν εφεδρική παραγωγή κατά την μη συνδεδεμένη λειτουργία. Τα μικροδίκτυα αυτής της κατηγορίας θα εξελιχθούν έτσι ώστε να παρέχουν αυξημένη ποιότητα ισχύος και καλύτερη λειτουργία κατά την μετάβαση από συνδεδεμένη λειτουργία σε απομονωμένη

#### **B) Πολλαπλής εγκατάστασης μικροδίκτυα**

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει μικροδίκτυα που εκτείνονται σε πολλά κτίρια και εγκαταστάσεις με συνολικά φορτία που βρίσκονται ανάμεσα στα 2 με 5MW. Εγκαταστάσεις όπως νοσοκομειακές, στρατιωτικές και βιομηχανικά και εμπορικά κέντρα. Και πάλι η εξέλιξη αυτών θα έχει ως στόχο την καλύτερη ποιότητα ισχύος των συστημάτων.

### Γ) Μικροδίκτυα τροφοδοσίας

Σε αυτό το είδος ανήκουν μικροδίκτυα που τροφοδοτούν σχετικά μεγάλες γεωγραφικές περιοχές που περιλαμβάνουν πολλά διαφορετικά φορτία αλλά και μικρότερα μικροδίκτυα. Συνήθως βρίσκονται ανάμεσα στα 5 με 10MW.

### Δ) Μικροδίκτυα υποσταθμών

Τα μικροδίκτυα υποσταθμών είναι αυτά που διαχειρίζονται όλη την παραγωγή και την ζήτηση των συσκευών και των διατάξεων που βρίσκονται σε διάφορους απομακρυσμένους υποσταθμούς. Συνήθη φορτία από 5 μέχρι πάνω από 10MW.

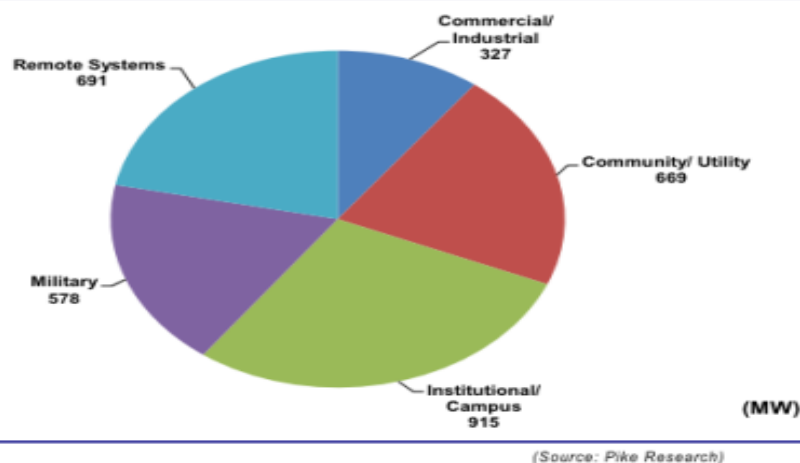
Ενώ ανάλογα με τον τομέα χρησιμοποίησης έχουμε πέντε κύριους τομείς:

- **ΚΟΙΝΟΤΙΚΑ (Community/Utility)**: η λέξη κοινοτικά Αναφέρεται σε μία γεωγραφική περιοχή η οποία περιέχει οικιακούς καταναλωτές. Οι περισσότεροι μελετητές πιστεύουν ότι αυτή η κατηγορία μικροδικτύων δεν πρόκειται να έχει ευρεία εφαρμογή μέχρι να θεσμοθετηθεί κάποιο νομικό πλαίσιο και σύνολο κανόνων εγκατάστασης στο εκάστοτε εθνικό επίπεδο.
- **ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ/ ΕΜΠΟΡΙΚΑ (Commercial/Industrial)** : διάφορες βιομηχανικές εγκαταστάσεις ανά τον κόσμο (ορυχεία, πετρελαιοχημικές εγκαταστάσεις, κτλ. ) χρησιμοποιούν μικροδίκτυα για την κάλυψη των ενεργειακών τους Αναγκών καθώς σε πολλές περιπτώσεις λόγω της απομακρυσμένης τοποθεσίας τους δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν από το υπάρχον δίκτυο διανομής. Επίσης μέσω των μικροδικτύων τους παρέχεται μεγαλύτερη ασφάλεια και αυτονομία. Ήδη στην Αμερική υπάρχουν εγκατεστημένα μικροδίκτυα ισχύος πάνω από 455 MW σε τέτοιους τομείς[14]. Αντίστοιχα πολλά εμπορικά κέντρα και οργανισμοί κοινωνικής ωφέλειας ( νοσοκομεία, κλινικές κτλ. )επωφελούνται από τη χρήση μικροδικτύων είτε για ανεξαρτησία από δίκτυο είτε για εφεδρεία.
- **ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ/ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ (Institutional Campus)** : λόγω του καθεστώτος ιδιοκτησίας ( δημόσια-ιδιωτικά) των διάφορων πανεπιστημίων και ερευνητικών κέντρων αυτός ο τομέας εφαρμογής μικροδικτύων είναι σήμερα και για τα άμεσο μέλλον ο ποιο προσφιλής. Ήδη πολλά πανεπιστήμια λειτουργούν με αυτόνομα εγκατεστημένα μικροδίκτυα (πάνω από 1200 MW ισχύς μικροδικτύων στην Αμερική)[14].

- **ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ( Off-Grid) :** αυτός ο τομέας αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό χρησιμοποίησης μικροδικτύων παγκοσμίως. Περιλαμβάνει απομακρυσμένους οικισμούς (π. χ. νησιά) καθώς και εγκαταστάσεις (τηλεπικοινωνιακοί δίαυλοι) μέρη στα οποία δεν είναι εύκολη η σύνδεση με το εθνικό δίκτυο διανομής. Παρόλα αυτά η ισχύς αυτών των μικροδικτύων παραμένει μικρή.
- **ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΑ (Military) :** η ανάγκη των διάφορων στρατιωτικών εγκαταστάσεων για αυτονομία των ενεργειακών τους Αναγκών από το εθνικό δίκτυο διανομής έχει οδηγήσει στη χρήση μικροδικτύων τα οποία όχι μόνο δεν εξαρτώνται από το υπόλοιπο δίκτυο, ούτε βασίζονται σε τροφοδοσία ορυκτών καυσίμων αλλά χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές.

Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα βλέπουμε το ύψος της εγκατεστημένης ισχύος μικροδικτύων ανάλογα με τον τομέα αξιοποίησης τους.

Chart 1.2 Microgrid Capacity by Market Segment, World Markets: 4Q 2012



Εικόνα 1-7 εγκατεστημένη ισχύς μικροδικτύων ανάλογα τον τομέα

### 1.3.10 Τα μικροδίκτυα στο μέλλον

Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα η αγορά μικροδικτύων αρχίζει να επεκτείνεται, με συνεχώς καινούργιες εγκαταστάσεις να δημιουργούνται παγκοσμίως, με όλο και περισσότερες εφαρμογές να αναπτύσσονται. Η βιομηχανία παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αλλάζει φιλοσοφία και πρακτικές με την απόφαση να επενδύσει όλο και περισσότερο σε σχέδια και τεχνολογίες με στόχο τις οικονομικές απολαβές και την ικανοποίηση της ζήτησης.

Καθώς η αγορά μικροδικτύων μεγαλώνει και εξελίσσεται, εμφανίζονται και άλλες χρήσεις. Νέοι τομείς και τεχνολογίες όπως τα μικροδίκτυα συνεχούς ρεύματος και τα έξυπνα δίκτυα (smart grids) εμφανίζονται και προσελκύουν το ενδιαφέρον της αγοράς. Πολλοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι το κλειδί για την μελλοντική ανάπτυξη της βιομηχανίας του ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και γενικότερα του κόσμου θα βρεθεί με την αλλαγή όχι μόνο της μορφής της αγοράς και των επιχειρηματικών σχεδίων που υπάρχουν σήμερα αλλά και με την γενικότερη αλλαγή του τρόπου που λειτουργούν τα πράγματα και από κοινωνική ματιά.

Ενώ η βόρεια Αμερική έχει το μεγαλύτερο ποσοστό σε εγκατεστημένα μικροδίκτυα, ποσοστό που ενδέχεται να αυξηθεί μέχρι το 2020, Η περιοχή της Ασίας-Ειρηνικού θα αναδυθεί σαν ο ηγέτης της εξέλιξης και χρήσης των μικροδικτύων μέχρι το 2035 λόγω της μεγάλης αύξησης του πληθυσμού και της ανικανότητας του κεντρικού δικτύου να ικανοποιήσει τις ανάγκες αυτού του πληθυσμού. Στην Ευρώπη η ένταξη των μικροδικτύων είναι προς το παρόν μικρή λόγω ότι το κεντρικό δίκτυο είναι αρκετά αξιόπιστο σε σχέση με αυτό της βόρειας Αμερικής αλλά στο μέλλον σίγουρα θα αναγκαστεί να ακολουθήσει. Μελετητές υπολογίζουν ότι σε παγκόσμιο επίπεδο η εγκατεστημένη ισχύς μικροδικτύων θα αυξηθεί από 685MW που είναι σήμερα σε πάνω από 4GW μέχρι το 2020, σύμφωνα με το πιο ήπιο σενάριο.[18]



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 DC ΟΙΚΙΑΚΟ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο τα μικροδίκτυα αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη λύση στο σημερινό ενεργειακό πρόβλημα που εκφράζει την ανάγκη των σύγχρονων καταναλωτών για μια υψηλή αξιοπιστία στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και την ανάγκη για υψηλή ποιότητα ισχύος, με οικονομικά προσιτά μέσα. Τα μικροδίκτυα αποτελούν τον τελευταίο καιρό αντικείμενο περαιτέρω επιστημονικής έρευνας και εξελίσσονται συνεχώς και γνωρίζουν εφαρμογές σε πολλούς τομείς, πράγμα που έχει διευρύνει την εξάπλωση τους.

Παρόλα αυτά το επόμενο βήμα όχι μόνο από τεχνολογικής αλλά και από οικονομικής και κοινωνικής πλευράς είναι να υιοθετηθούν πέρα από τα μικροδίκτυα που περιλαμβάνουν ολόκληρες πόλεις, τα λεγόμενα οικιακά μικροδίκτυα. Έννοια που περιλαμβάνει ένα μικροδίκτυο το οποίο θα λειτουργεί στα όρια μιας κατοικίας ή ενός οικοδομικού τετραγώνου και θα διαχειρίζεται από τον καταναλωτή ανάλογα με τις δικές του ανάγκες. Ένα τέτοιο μικροδίκτυο θα περιέχει μονάδες κατανεμημένης παραγωγής και αποθηκευτικές μονάδες οι οποίες θα έχουν την δυνατότητα να ικανοποιούν πλήρως την ζήτηση. Το μικροδίκτυο θα έχει την δυνατότητα είτε να συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο είτε να λειτουργεί ικανοποιητικά και σε απομονωμένη λειτουργία.

Ένα τέτοιο μικροδίκτυο θα έχει όλα τα οφέλη ενός τυπικού μικροδικτύου. Χρήση μονάδων κατανεμημένης παραγωγής (κυρίως ΑΠΕ), αποθηκευτικές μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας για περαιτέρω αξιοπιστία, πλήρη έλεγχο του φορτίου και της παραγωγής, μεγαλύτερη προστασία του συστήματος και ίσως το πιο σημαντικό, ότι θα ελέγχεται πλήρως από τον καταναλωτή. Αυτό το μοντέλο προωθείται και με καινούργιες έννοιες όπως τα έξυπνα δίκτυα (smart-grids) αλλά και τα λεγόμενα πράσινα σπίτια (green-house), έννοιες που έχουν σαν βάση ένα ασφαλέστερο και πιο αξιόπιστο σύστημα διαχείρισης και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας με ευαισθησία σε θέματα περιβάλλοντος αλλά και με γνώμονα το μειωμένο κόστος.

Πριν όμως αρχίσει κάποιος να σχεδιάζει ένα τέτοιο μικροδίκτυο πρέπει να απαντήσει πρώτα σε ένα βασικό ερώτημα. Τι είδους μικροδίκτυο θα είναι καταλληλότερο. Ένας



αρκετά σημαντικός διαχωρισμός και προβληματισμός είναι αν το μικροδίκτυο αυτό θα είναι συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος.

Σχεδόν σε όλες τις χώρες του κόσμου το δίκτυο που χρησιμοποιείται είναι εναλλασσόμενου ρεύματος(ac), και η παραγωγή και η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας είναι βασισμένη στο εναλλασσόμενο ρεύμα. Όπως όμως αναφέραμε, αυτό το είδος παραγωγής και διανομής δεν καλύπτει τις σημερινές ανάγκες, και οι διάφοροι ερευνητές εκτός από την αμφισβήτηση της γενικότερης αρχιτεκτονικής του δικτύου έχουν αρχίσει να αμφισβητούν και την καταλληλότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος, με αποτέλεσμα να ξαναστρέφονται και να επαναφέρουν στο προσκήνιο την χρήση συνεχούς ρεύματος και γενικά dc συστημάτων και στην προκειμένη περίπτωση τα dc οικιακά μικροδίκτυα.

Πριν αναλύσουμε όμως την μορφή ενός τέτοιου μικροδικτύου θα αναφέρουμε κάποια χαρακτηριστικά αυτών των δύο μορφών ρευμάτων και παραγωγής.

## **2.2 AC - DC**

Και οι δύο αυτές μορφές αποτελούν τρόπους παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Όλοι οι μηχανικοί περιγράφουν το ρεύμα σαν την κίνηση ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων μέσω ενός αγωγού, όπως ένα χάλκινο σύρμα. Το συνεχές ρεύμα έχει ως αποτέλεσμα όλα τα φορτισμένα σωματίδια να ρέουν σταθερά. Το εναλλασσόμενο ρεύμα παράγεται, σε αντίθεση με το συνεχές, όταν τα φορτισμένα σωματίδια ρέουν προς μια κατεύθυνση και μετά από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα ρέουν προς την αντίθετη κατεύθυνση, εναλλάσσοντας κατευθύνσεις συνέχεια.

### **2.2.1 Ορισμός AC**

Εναλλασσόμενη ονομάζεται η διαφορά δυναμικού (τάση), η πολικότητα της οποίας μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου. Ανάλογα με τον τρόπο μεταβολής της πολικότητας της εναλλασσόμενης τάσης μπορούμε να έχουμε σταθερά μεταβαλλόμενη τάση, όταν η απόλυτη τιμή της διαφοράς δυναμικού παραμένει σταθερή κατά τις αλλαγές πολικότητας, είτε μεταβαλλόμενη εναλλασσόμενη τάση όταν η πολικότητα συνοδεύεται από παράλληλη μεταβολή της απόλυτης τιμής της διαφοράς δυναμικού. Και οι δύο αυτές μορφές εναλλασσόμενης τάσης μπορούν να είναι περιοδικές (αλλάζουν τιμή σε τακτά χρονικά διαστήματα) είτε μη περιοδικές. Οι

περιοδικές εναλλασσόμενες τάσεις έχουν ημιτονοειδή κυματομορφή είτε παλμική και παρουσιάζουν ενδιαφέρον μιας και μπορούν να περιέχουν πληροφορίες σε μορφή σήματος.

Εάν μια εναλλασσόμενη τάση εφαρμοστεί στα άκρα ενός καταναλωτή σχηματίζοντας ένα κλειστό κύκλωμα, αυτό θα διαρρέεται από ρεύμα η φορά του οποίου δεν θα είναι σταθερή συναρτήσει του χρόνου αλλά θα μεταβάλλεται. Ένα τέτοιο ρεύμα ονομάζεται εναλλασσόμενο ρεύμα. Ανάλογα με τον τρόπο μεταβολής της φοράς του ρεύματος αλλά και της τιμής της έντασης του διακρίνουμε σταθερά και μεταβαλλόμενα εναλλασσόμενα ρεύματα που είναι με την σειρά τους περιοδικά ή μη περιοδικά. Η ακριβής μεταβολή του ρεύματος ακολουθεί σε γενικές γραμμές την τάση αλλά εξαρτάται από το είδος του καταναλωτή που τροφοδοτεί.

### **2.2.2 Ορισμός DC**

Ως συνεχές ρεύμα θεωρείται η σταθερή ροή των ηλεκτρονίων σε μία ενιαία κατεύθυνση, π. χ. σε ένα καλώδιο, αλλά μπορεί επίσης να είναι μέσω ημιαγωγών και μέσω κενού όπως το ηλεκτρόνιο ή οι ιονικές ακτίνες. Στο συνεχές ρεύμα, τα ηλεκτρόνια ρέουν προς την ίδια κατεύθυνση. Ένας όρος που χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν για το συνεχές ρεύμα ήταν το γαλβανικό ρεύμα. Συνήθως το συνεχές ρεύμα έχει σταθερό μέτρο έντασης, με το οποίο λειτουργούν τα περισσότερα κυκλώματα και το οποίο παράγουν οι μπαταρίες. Αυτά τα κυκλώματα είναι μικρά ηλεκτρικά κυκλώματα ή ηλεκτρονικά κυκλώματα. Επειδή έχει σταθερή ένταση, υποχρεωτικά παράγεται από σταθερή τάση, δεδομένου ότι το κύκλωμα δεν αλλάζει σημαντικά με την πάροδο του χρόνου. Με τον όρο σταθερή τάση εννοούμε, σε αντίθεση με την εναλλασσόμενη, ότι η πολικότητα της δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο. Η κυματομορφή της συνεχούς τάσης έχει μορφή ευθείας γραμμής και παρόμοια έχει και το ρεύμα. Ένα ρεύμα του οποίου η τιμή αλλά όχι η πολικότητα μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου θεωρείται συνεχές και όχι εναλλασσόμενο.

### **2.2.3 AC παραγωγή και δίκτυο μεταφοράς**

Σήμερα, η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας από τις μεγάλες παραγωγικές μονάδες μέχρι τους οικιακούς, βιομηχανικούς και εμπορικούς καταναλωτές γίνεται μέσω καλωδίων υψηλής τάσης που διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα, με χρήση μετασχηματιστών που έχουν ως στόχο τη μείωση των απωλειών και γενικότερα του κόστους μεταφοράς. Η μείωση αυτή η οποία κατέστησε την μέχρι πρόσφατα

κυριαρχία του εναλλασσόμενου ρεύματος σε σχέση με το συνεχές οφείλεται στον περιορισμό των απωλειών ισχύος στις γραμμές μεταφοράς.

Γενικά η φαινόμενη ισχύς που παράγεται δεν εξαρτάται μόνο από την τάση αλλά και από το ρεύμα με βάση τον τύπο:

$$S=V*I$$

Για μια δεδομένη ισχύ, μια χαμηλή τάση απαιτεί υψηλό ρεύμα ενώ υψηλή τάση απαιτεί μικρό ρεύμα. Μια γραμμή μεταφοράς, όμως που αποτελείται από αγωγό μεταλλικά σύρματα, εμφανίζει αντίσταση η οποία όταν διαρρέεται από ρεύμα προκαλεί απώλεια ισχύος σε μορφή θερμότητας. Αυτή η απώλεια σε έναν αγωγό είναι ανάλογη του τετραγώνου του ρεύματος του αγωγού και της αντίστασης του με βάση τον τύπο:

$$P_{απ}=R*I^2$$

Όσο μακρύτερος είναι ο αγωγός τόσο μεγαλύτερη αντίσταση έχουμε και όσο μεγαλύτερο το ρεύμα που τον διαρρέει τόσο μεγαλύτερες απώλειες εμφανίζονται.

#### **2.2.4 Ο πόλεμος των ρευμάτων και η επικράτηση του εναλλασσόμενου ρεύματος**

Στα τέλη του 1880 ξέσπασε στις ΗΠΑ ένας «πόλεμος» μεταξύ του εναλλασσόμενου ρεύματος και του συνεχούς ρεύματος. Από την μεριά του Τ. Έντισον που είχε επένδυση πολλά λεφτά στο συνεχές ρεύμα μετά την πρώτη του λάμπα και από την άλλη μεριά ο πολύ πλούσιος και έξυπνος εφευρέτης, ο Τζωρτζ Γουεστίνγκχαους που είχε κάνει την τύχη του εφευρίσκοντάς τα αερόφρενα για τρένα.

Το πρόβλημα με το συνεχές ρεύμα ήταν ότι ενώ παραγόταν στα 120V, αρχικά ενώ κάλυπτε τις μικρές ενεργειακές απαιτήσεις των πρώτων εγκαταστάσεων, αργότερα με την περαιτέρω επέκταση του δικτύου απαιτούνταν μεγαλύτερη ισχύς, πράγμα που αποτελούσε πρόβλημα για το συνεχές ρεύμα καθώς δεν μπορούσε να αλλάξει η τάση του αφού μετασχηματιστές για την συνεχή τάση δεν υπήρχαν μέχρι τότε. Έτσι, σύμφωνα και με τις σχέσεις που αναφέρθηκαν για τις απώλειες μεταφοράς βλέπουμε ότι η μεταφορά ισχύος χαμηλής τάσης απαιτούσε μεγάλο ρεύμα το οποίο σε συνδυασμό με μακρύτερους αγωγούς καθιστούσε τις θερμικές απώλειες τόσο μεγάλες που έκανε την παραγωγή ασύμφορη. Για να έχει κάθε κτίριο ηλεκτρισμό έπρεπε να υπάρχει σταθμός παραγωγής σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο.

Όταν όμως εφευρέθηκε ο μετασχηματιστής, το εναλλασσόμενο ρεύμα μπορούσε να ανυψωθεί σε χιλιάδες βολτ σε ένα κεντρικό σταθμό παραγωγής, από εκεί να μεταφερθεί με σύρματα χωρίς μεγάλες απώλειες σε μακρινές αποστάσεις με υψηλή τάση και στη συνέχεια να υποβιβαστεί στον τρόπο χρήσης.

Το πρώτο βήμα το έκανε ο Γουεστινχάουζ μπαίνοντας στον κόσμο του ηλεκτρισμού το 1885, ήταν να αγοράσει τα δικαιώματα από την πατέντα του μετασχηματιστή. Έτσι ενώ ο Έντισον ηλεκτροδοτούσε την πόλη της Νέας Υόρκης, ο Γουεστινχάουζ εγκαθιστούσε συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος στις υπόλοιπες περιοχές των ΗΠΑ. Το μεγάλο πρόβλημα του Γουεστινχάουζ ήταν ότι το εναλλασσόμενο ρεύμα δεν μπορούσε να κινήσει του ηλεκτροκινητήρες. Αυτοί κινούνταν με συνεχές. Το 1888, ο Σέρβος Νικολάι Τέσλα, που τον είχε φέρει ο Έντισον το 1884 από το Παρίσι αλλά η συνεργασία τους δεν κράτησε για πολύ λόγω διαφωνιών, εφευρίσκει τον κινητήρα επαγωγής εναλλασσόμενου ρεύματος.

Ένα εκατομμύριο δολάρια άλλαξαν χεριά και ο Γουέστινχαουζ είχε πλέον ότι χρειαζόταν για να αναμετρηθεί με τον Έντισον. Όμως ο Έντισον είχε ένα ακόμα πρόβλημα. Το συνεχές ρεύμα απαιτούσε μεγάλη ποσότητα χαλκού και κάποιοι επιδέξιοι χρηματιστές υπερδιπλασίασαν την τιμή του. Η αυτοκρατορία του Έντισον άρχισε να κλονίζεται ενώ ο Γουέστινχαουζ με την βοήθεια του μεγάλου μυαλού του Νικολάι Τέσλα συνέχιζε να ηλεκτροδοτεί την υπόλοιπη χώρα. Η τελική μάχη δόθηκε στο Σικάγο το 1893, όπου ο Γουέστινχαουζ υπόγραψε συμβόλαιο για το φωτισμό μεγάλης έκθεσης. Το φθινόπωρο του ιδίου έτους η Ηλεκτρική εταιρία Γουεστινχαουζ επιβραβεύεται με το συμβόλαιο για την ανάθεση του πρώτου υδροηλεκτρικού εργοστασίου στον κόσμο, στους καταρράχτες του Νιαγάρα, για να εφοδιάσει με ηλεκτρισμό την πόλη του Buffalo.[6]

Από αυτό το σημείο και μετά το εναλλασσόμενο ρεύμα και τάση επικράτησε του συνεχούς, λόγω του κύριου αυτού πλεονεκτήματος. Την ικανότητα του να μετασχηματίζεται σε αλλά επίπεδα τάσης και έτσι να μειώνει τις απώλειες μεταφοράς με αποτέλεσμα την γενικότερη μείωση του κόστους παραγωγής και διανομής.

### 2.2.5 Σημερινή κατάσταση δικτύου

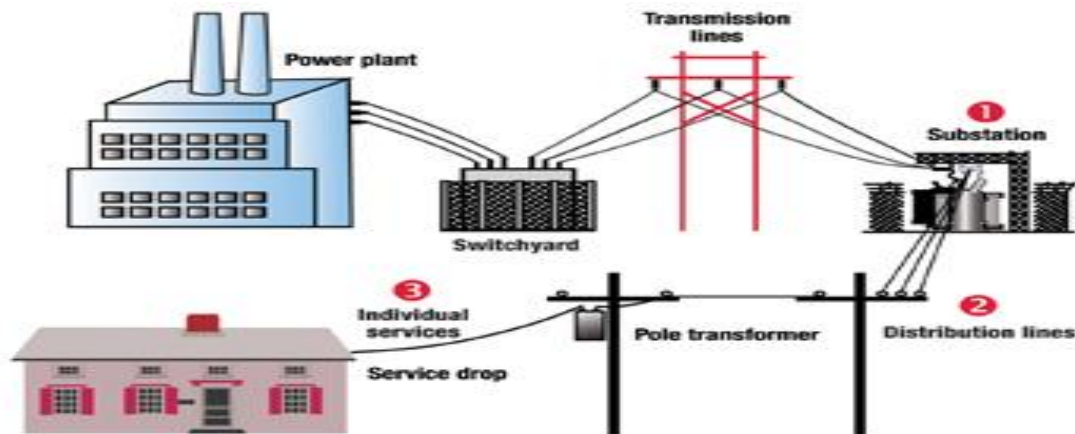
Τα σημερινά δίκτυα διανομής και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνουν τριφασικές γεννήτριες παραγωγής εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι γεννήτριες αυτές είναι δύο ειδών :

- α) οι σύγχρονες γεννήτριες ή εναλλακτήρες
- β) οι ασύγχρονες γεννήτριες

Ο διαχωρισμός αυτός έχει να κάνει με την ταχύτητα που περιστρέφεται ο δρομέας της γεννήτριας στην οποία μπορεί να παράγει ισχύ η γεννήτρια. Οι σύγχρονες γεννήτριες παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής ενώ η διέγερση τους (κατάσταση κατά την οποία ξεκινούν) τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα. Οι ασύγχρονες γεννήτριες παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα του οποίου η συχνότητα είναι ανεξάρτητη της ταχύτητας περιστροφής και η διέγερση τους τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Στους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται πάντοτε σύγχρονες γεννήτριες ενώ οι ασύγχρονες χρησιμοποιούνται σπάνια.

Έτσι οι γεννήτριες αυτές παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα το οποίο μεταφέρεται μέσω τριών γραμμών (φάσεων) στις οποίες ρέει ρεύμα ίδιας τιμής αλλά με διαφορά φάσης 120 μοίρες. Στην συνέχεια η τάση του ρεύματος ανυψώνεται μέσω μετασχηματιστών και μεταφέρεται μέσω του δικτύου διανομής υψηλής, μέσης και χαμηλής τάσης μέσω τεσσάρων γραμμών, μια για κάθε φάση και μια για το ουδέτερο. Εάν στις τρεις φάσεις έχουμε ίδια τιμή ρεύματος και φάσης, ο ουδέτερος δεν διαρρέεται από ρεύμα. Όταν είναι κοντά στο φορτίο μέσω ενός μετασχηματιστή τριγώνου – αστέρα η τάση υποβιβάζεται σε επίπεδα φορτίου, ενώ ο ουδέτερος γειώνεται. Για μικρούς καταναλωτές μπορεί να παρέχεται μόνο μια φάση και ο ουδέτερος ή δύο φάσεις και ο ουδέτερος. Για μεγαλύτερους καταναλωτές παρέχονται και οι τρεις φάσεις και ο ουδέτερος, οι οποίες καταλήγουν στο κεντρικό πίνακα της εγκατάστασης, από εκεί και μπορούμε να έχουμε και μονοφασικές και τριφασικές παροχές.



Εικόνα 2-0-1 σημερινό δίκτυο διανομής

### 2.2.6 Σύγκριση AC δικτύου με DC

Όπως είδαμε λοιπόν το εναλλασσόμενο ρεύμα μέσω των μετασχηματιστών που του επέτρεπαν ανύψωση τάσης επικράτησε του συνεχούς. Παρόλο που το εναλλασσόμενο ρεύμα όπως είδαμε επικράτησε λόγω της δυνατότητας του να μεταφέρεται με σχετικά μικρές θερμικές απώλειες δημιουργεί άλλα προβλήματα. Τα οποία έχουν δημιουργήσει τάση αμφισβήτησης της καταλληλότητας τους για την διανομή και την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφέρουμε τα προβλήματα που διέπουν την παραγωγή και διανομή του εναλλασσόμενου ρεύματος και την αντιστοιχία τους με το συνεχές ρεύμα

#### ΟΓΚΟΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ

Αυτός ο τρόπος παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργεια, όπως αναφέρθηκε απαιτεί μεγάλο όγκο καλωδίων. Και για την μεταφορά, και για την διανομή στους καταναλωτές αλλά και για τους απαιτούμενους μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται μεγάλοι αριθμός καλωδίων, πράγμα το οποίο αυξάνει το κόστος εγκατάστασης. Σε αντίθεση με την παροχή συνεχούς ρεύματος το οποίο απαιτεί μόνο δύο γραμμές, άνοδο και κάθοδο. Έτσι με την χρήση του συνεχούς ρεύματος μειώνεται αισθητά το κόστος του ίδιου του δικτύου παροχής, είτε είναι για γραμμές μεταφοράς, είτε για οικιακές και άλλες εγκαταστάσεις.

#### ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Όσον αφορά τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος, μπορούμε να πούμε ότι από άποψη λειτουργίας και παραγωγής είναι ανώτερες από τις αντίστοιχες συνεχούς

ρεύματος αλλά με την εξέλιξη της τεχνολογίας έχουν αρχίσει να δημιουργούνται γεννήτριες συνεχούς ρεύματος το ίδιο αποτελεσματικές και αποδοτικές με αυτές του εναλλασσόμενου.[1]

### *ΑΕΡΓΗ ΙΣΧΥΣ*

Η Άεργη ισχύς (reactive power) είναι μέρος της συνολικής ισχύος σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα, η οποία εμφανίζεται όταν η κυματομορφή της τάσης δεν ακολουθεί, όμοια στο χρόνο, τη κυματομορφή της έντασης σε αυτό, όταν δηλαδή εμφανίζεται διαφορά φάσης μεταξύ των δύο. Η άεργη ισχύς εμφανίζεται στην περίπτωση που υπάρχουν επαγωγικά στοιχεία (πηνία) ή χωρητικά στοιχεία (πυκνωτές), ως φορτία, στο κύκλωμα που διατρέχει το εναλλασσόμενο ρεύμα.

Τα στοιχεία αυτά αποθηκεύουν ενέργεια σε μαγνητικό ή ηλεκτρικό πεδίο αντίστοιχα, κατά τις ημιπεριόδους του εναλλασσόμενου ρεύματος, χωρίς, θεωρητικά, να την καταναλώνουν. Την ενέργεια αυτή την αποδίδουν πάλι στο κύκλωμα, τα στοιχεία αυτά, με την ολοκλήρωση μιας περιόδου.

Το αποτέλεσμα της κράτησης άεργης ισχύος στα επαγωγικά και χωρητικά στοιχεία ενός κυκλώματος είναι η παλινδρόμηση ρευμάτων πάνω στους αγωγούς μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος και η κατανάλωση αυτών από τις ωμικές συνιστώσες της σύνθετης αντίστασης (εμπέδησης) του κυκλώματος.

Το φαινόμενο αυξάνει τις, θερμικές, απώλειες ενέργειας στο κύκλωμα λόγω της αναφαίρετης ωμικής συνιστώσας όλων των ηλεκτρικών στοιχείων και αγωγών που απαρτίζουν οποιοδήποτε μη υπεραγωγίμο ηλεκτρικό κύκλωμα. Η άεργη ισχύς πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των επαγωγικών και χωρητικών στοιχείων οποιοδήποτε κυκλώματος, καθώς τα επιβαρύνει αισθητά, παρόλο που δεν παράγεται χρήσιμο έργο από αυτήν. Το φαινόμενο της άεργης ισχύος εμφανίζεται και σε καθαρά ωμικές διατάξεις κυκλωμάτων, καθώς κανένα αμιγώς ωμικό ηλεκτρικό κύκλωμα δεν είναι ιδανικό, δηλαδή απαλλαγμένο από χωρητικές και επαγωγικές αντιστάσεις.

Η άεργη ισχύς προέρχεται από οποιαδήποτε συσκευή με ηλεκτροκινητήρα ή μετασχηματιστή τάσης, ενώ οικιακά από συσκευές όπως τα ψυγεία και τα κλιματιστικά.

Οι επιδράσεις της άεργης ισχύος εξουδετερώνονται, μερικώς, με την παράλληλη τοποθέτηση στα ηλεκτρικά κυκλώματα, ειδικών διατάξεων με επαγωγικά και χωρητικά στοιχεία. Με τις διατάξεις αυτές μέρος της ενέργειας παγιδεύεται και ανταλλάσσεται ανάμεσα στα στοιχεία τους, ώστε να γίνονται το δυνατόν και πάλι συμφασικές η τάση και η ένταση στο συνολικό κύκλωμα, αλλά και να απορροφώνται όποιες βλαπτικές συχνότητες πέραν της κύριας ημιτονοειδούς μέσα στο κύκλωμα (αρμονικές), όπως να αποσβένονται για παράδειγμα αιχμές τάσης. Το μειονέκτημα της χρήσης τέτοιων διατάξεων είναι πως επιβαρύνουν με ωμικό φορτίο το συνολικό κύκλωμα, και άρα την κατανάλωση. Στην περίπτωση δηλαδή που χρησιμοποιούνται σε κύκλωμα με καθαρά ωμικό φορτίο αυξάνουν την κατανάλωση της ενεργής ισχύος, που είναι και αυτή που μετράται ως κατανάλωση στους μετρητές χρέωσης.

Βλέπουμε λοιπόν ότι η ύπαρξη άεργου ισχύος, γεγονός που δεν μπορεί να αποφευχθεί με το εναλλασσόμενο ρεύμα, προκαλεί περαιτέρω απώλειες και καταπονήσεις στους αγωγούς και στα διαφορά φορτία. Με το συνεχές ρεύμα από την άλλη δημιουργείται, άεργος ισχύς μικρότερης έντασης, αλλά κυρίως ενεργός ισχύ η οποία είναι και η λεγόμενη ωφέλιμη ισχύ. Με το συνεχές ρεύμα λοιπόν δεν επιβαρύνονται τα στοιχεία ενός κυκλώματος και μειώνονται και οι απώλειες κατά την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμη λόγω ότι η ισχύς που χρεώνεται σε έναν καταναλωτή είναι και η ισχύς η οποία πραγματικά καταναλώνεται, μειώνεται και το κόστος για τον χρήστη.

### *ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ*

Όπως αναφέραμε το εναλλασσόμενο ρεύμα αλλάζει κατεύθυνση ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Σε αυτή την εναλλαγή ροής αναφέρεται ένα βασικό μέγεθος του εναλλασσόμενου ρεύματος και τάσης το οποίο είναι η συχνότητα.

Η συχνότητα στην οποία παρέχεται το εναλλασσόμενο ρεύμα στους καταναλωτές ποικίλει ανά χώρα αλλά συνήθως κυμαίνεται από 50 έως 60Hz, συχνότητα που λειτουργούν τα περισσότερα φορτία, ενώ σε συγκεκριμένες εγκαταστάσεις όπως στρατιωτικές, βιομηχανικές, διαστημικά κέντρα και μεγάλες εγκαταστάσεις



υπολογιστών μπορεί να απαιτείται μεγαλύτερη συχνότητα η οποία μπορεί να αγγίζει τα 400Hz.

Μια χαμηλότερη συχνότητα διευκολύνει τον σχεδιασμό των ηλεκτροκινητήρων, κυρίως για στρεφόμενες διεργασίες. Ακόμη η μικρή συχνότητα μειώνει τις απώλειες αντίστασης όπως θα δούμε παρακάτω. Παρόλα αυτά, η μικρή συχνότητα προκαλεί αισθητό τρεμόπαιγμα στους διάφορους λαμπτήρες φωτισμού(flicker) γεγονός το οποίο γίνεται αισθητό από τους καταναλωτές και είναι ανεπιθύμητο.

Το εναλλασσόμενο ρεύμα, όμως οποιαδήποτε συχνότητας, όταν ρέει σε έναν αγωγό, τα ηλεκτρικά φορτία μετακινούνται από το κέντρο του αγωγού προς την επιφάνεια. Αυτό γίνεται καθώς η επιτάχυνση του ηλεκτρικού φορτίου σε ένα εναλλασσόμενο ρεύμα παράγει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία απομακρύνει τα φορτία από το κέντρο υλικών με μεγάλη αγωγιμότητα. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται επιδερμικό φαινόμενο.

Σε πολύ μεγάλες συχνότητες το ρεύμα δεν ρέει στο εσωτερικό των αγωγών αλλά στην επιφάνεια τους σε βάθος λίγων μόνο χιλιοστών. Το βάθος αυτό είναι εκείνο στο οποίο η πυκνότητα ρεύματος είναι μειωμένη κατά 63%. Ακόμα και σε σχετικά μικρές συχνότητες (όπως 50 και 60Hz), έχουμε έντονο επιδερμικό φαινόμενο ειδικά σε αγωγούς με μεγάλο πάχος. Για παράδειγμα, το βάθος στο οποίο ρέει εναλλασσόμενο ρεύμα σε χάλκινους αγωγούς είναι περίπου 8. 57mm στα 60Hz[7], έτσι αγωγοί που διαρρέονται από ρεύματα μεγάλης τιμής είναι συνήθως κούφιοι σε μια προσπάθεια να μειωθεί η μάζα τους και κατ' επέκταση το κόστος τους.

Καθώς λοιπόν το ρεύμα ρέει στην περιφέρεια των αγωγών, απαιτούνται λοιπόν αγωγοί με μεγαλύτερη διάμετρο, άρα και μεγαλύτερη αντίσταση, καθώς όσο μεγαλύτερο το πάχος ενός αγωγού τόσο αυξάνεται και η αντίσταση του, άρα και μεγαλύτερες απώλειες σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν για τις θερμικές απώλειες στις γραμμές.

Με το συνεχές ρεύμα δεν έχουμε να κάνουμε με συχνότητες καθώς η φορά και η πολικότητα του ρεύματος και της τάσης παραμένουν σταθερές. Έτσι αποφεύγεται το επιδερμικό φαινόμενο, καθώς το συνεχές ρεύμα ρέει μέσω του κέντρου ενός αγωγού,

ενώ επίσης δεν παρατηρείται και τρεμόπαιγμα στους λαμπτήρες πράγμα που είναι ενοχλητικό για τους καταναλωτές. Λόγω της μη ανάγκης για αγωγούς με μεγαλύτερη διάμετρο έχουμε περαιτέρω μείωση του κόστους του δικτύου διανομής.

Άλλη μια σοβαρή δυσκολία που συνδέεται με την ύπαρξη συχνότητας στο εναλλασσόμενο ρεύμα είναι και το γεγονός ότι εάν θέλουμε να συνδέσουμε κάποια μονάδα παραγωγής σε ένα υπάρχον δίκτυο εκτός από τα επίπεδα τάσης, θα πρέπει να επιτύχουμε και τον συγχρονισμό της συχνότητας εναλλασσόμενης τάσης της μονάδας με την συχνότητα που λειτουργεί το προς σύνδεση δίκτυο ή η γραμμή μεταφοράς. Πράγμα που απαιτεί λεπτομερείς και ακριβείς χειρισμούς από τους μηχανικούς και με την σειρά του δημιουργεί και περισσότερα προβλήματα όχι μόνο στην διασύνδεση αλλά και στις προδιαγραφές λειτουργίας της ίδιας της μονάδας παραγωγής. Όλη αυτή η διαδικασία αποφεύγεται σε ένα dc δίκτυο διανομής αφού το μόνο που πρέπει να επιτευχθεί είναι τα κατάλληλα επίπεδα τάσης.

#### *ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ*

Όπως αναφέραμε η κυματομορφή της εναλλασσόμενης τάσης και ρεύματος είναι στην ιδανική ημιτονοειδή της μορφή . Η κυματομορφή της τάσης ή του ρεύματος μπορεί να αναλυθεί κατά Fourier σε σειρά ημιτονοειδών συνιστωσών διάφορων συχνοτήτων, οι οποίες αποτελούν τις αρμονικές συνιστώσες του σήματος. Η βασική αρμονική συνιστώσα (των 50Hz) ονομάζεται θεμελιώδης ενώ οι συνιστώσες οι οποίες είναι για συχνότητες που αποτελούν ακέραιο πολλαπλάσιο της θεμελιώδης ονομάζονται αρμονικές. Κάθε αρμονική συνιστώσα χαρακτηρίζεται από τη συχνότητα, το πλάτος και την φασική της γωνία.

Η ύπαρξη σε ένα δίκτυο μη γραμμικών στοιχείων και φορτίων (ηλεκτρονικές διατάξεις, μετασχηματιστές, ρυθμιστές στροφών κινητήρων, ανορθωτές, ηλεκτρονικά ballast, συστήματα ups, λαμπτήρες εκκένωσης, τροφοδοτικά υπολογιστών) προκαλεί παραμόρφωση στην κυματομορφή της τάσης και του ρεύματος με αποτέλεσμα την δημιουργία αρμονικών σε διαφορετική συχνότητα από την θεμελιώδη. Τα μη γραμμικά στοιχεία λοιπόν με τις παραγόμενες τους αρμονικές λειτουργούν σαν επιπλέον πηγές ρεύματος διαφορετικής συχνότητας με αποτέλεσμα την παραμόρφωση των κυματομορφών του ρεύματος.

Αυτές οι παραμορφώσεις δημιουργούν πολλά προβλήματα στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία επιγραμματικά είναι:

- A) Μείωση των συντελεστών ισχύος των μηχανών και των φορτίων του συστήματος
- B) Αύξηση των απωλειών των γραμμών μεταφοράς
- Γ) Αύξηση απωλειών των μετασχηματιστών
- Δ) Συντονισμός πυκνωτών –μετασχηματιστών με αποτέλεσμα την καταστροφή τους
- E) Παρεμβολές σε δίκτυα τηλεπικοινωνιών καθώς και σε μονάδες ελέγχου.

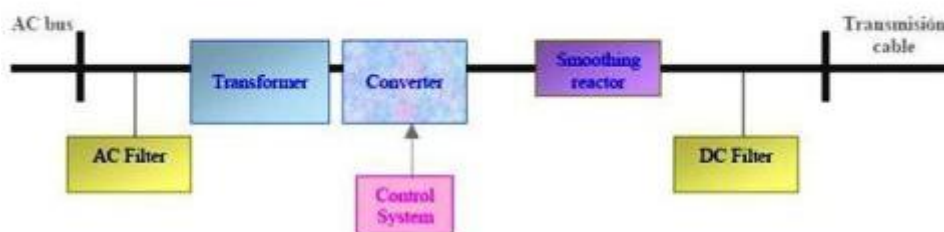
Όλα οι παραπάνω επιδράσεις στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αποφεύγονται με το συνεχές ρεύμα καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας αρμονικών συνιστωσών αφού το ρεύμα και η τάση είναι σταθερά μεγέθη και δεν χαρακτηρίζονται από κάποια συχνότητας. Η δημιουργία αρμονικών ρευμάτων αλλά και τάσεων στο συνεχές ρεύμα δεν έχει να κάνει με τις ιδιότητες του dc ρεύματος αλλά με την ροή του μέσω ημιαγωγικών διατάξεων .

### **2.2.7 Η επιστροφή του DC**

Από τα παραπάνω βλέπουμε ότι η χρήση του εναλλασσόμενου ρεύματος στην παραγωγή και την διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργεί πολλά προβλήματα. Μέχρι πρότινος όμως η αδυναμία της συνεχούς τάσης να μετασχηματιστεί σε υψηλότερα επίπεδα, την καθιστούσε ακατάλληλη για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς η εναλλασσόμενη τάση παρόλο που δημιουργεί και αυτή απώλειες κατά την μεταφορά και αλλά προβλήματα, η ικανότητα μετασχηματισμού που έχει την είχε καταστήσει μονόδρομο. Όσον αφορά τα επιπλέον προβλήματα που δημιουργεί, αντιμετωπίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό με διάφορες διατάξεις και συστήματα.

Με την ανάπτυξη και την εξέλιξη όμως τον ηλεκτρονικών ισχύος τις τελευταίες δεκαετίες αρχίζει να αλλάζει το σκηνικό. Τώρα πια είναι δυνατή η μετατροπή από ac σε dc και αντίστροφα, ενώ με dc-dc μετατροπείς μπορούμε να αλλάξουμε το επίπεδο της παραγόμενης συνεχούς τάσης. Το αποτέλεσμα ήταν να αρχίσουν μελέτες και έρευνες για γραμμές μεταφοράς και παροχής dc ρεύματος. Το 1954 η πρώτη γραμμή υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος(HVDC) εγκαταστάθηκε ανάμεσα στην ηπειρωτική Σουηδία και το νησί του Gotland με χαρακτηριστικά 20Mw, 200A και 100kV.[32]

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε την δομή μιας γραμμής HVDC, η οποία αποτελείται από



Εικόνα 2-2 τμήματα μιας γραμμής HVDC

Ένα μετατροπέα AC-DC (χρησιμοποιώντας IGBT ή MOSFET thyristors) ο οποίος επιτελεί την μετατροπή από την παραγόμενη ac τάση σε dc. Αξίζει να σημειωθεί ότι όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές μονάδες, οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος είναι πιο επιθυμητές από τις αντίστοιχες συνεχούς. Μια διάταξη εξομάλυνσης(smoothing reactor) η οποία περιορίζει τις διαταραχές ρεύματος και αρμονικά φίλτρα, στην ac πλευρά τα οποία απορροφούν τις εκπομπές αρμονικών ρευμάτων που δημιουργούνται από τον μετατροπέα και παράγουν άεργο ισχύ. Η γραμμή κάθε αυτή περιλαμβάνει διατάξεις προστασίας υπερτάσεων και γείωσης καθώς και συστήματα ελέγχου.

Ένα HVDC σύστημα μπορεί να είναι είτε μονοπολικό είτε διπολικό. Το μονοπολικό χρησιμοποιεί έναν αγωγό υψηλής τάσης και μια επιστροφή με την μορφή γείωσης. Αυτό από οικονομικής πλευράς είναι προτιμότερο αλλά, αυτή η διάταξη είναι απαγορευμένη σε πολλά κράτη λόγω ότι το ρεύμα που διοχετεύεται στην γη μέσω της γείωσης μπορεί να προκαλέσει διάβρωση σε σωλήνες και σε άλλες μεταλλικές φυτεμένες εγκαταστάσεις και εξοπλισμούς. Οι διπολικές γραμμές χρησιμοποιούν δύο αγωγούς, ο ένας με θετική πολικότητα και ο άλλος με αρνητική. Υπάρχει και τρίτος αγωγός ο οποίος είναι γειωμένος. Στην συνηθισμένη λειτουργία, το ρεύμα διαρρέει τους δύο αγωγούς υψηλής τάσης χωρίς να περνάει ρεύμα από την γείωση. Σε περίπτωση σφάλματος το σύστημα μπορεί να μεταφέρει μέχρι και την μισή ισχύ του σε μονοπολική μορφή για περιορισμένο χρονικό διάστημα.

Συνοψίζοντας λοιπόν τα πλεονεκτήματα της υιοθέτησης ενός dc συστήματος έχουμε;

- Μειωμένο κόστος. Μια γραμμή HVDC στοιχίζει λιγότερο από μια AC γραμμή ενώ και τα κόστη συντήρησης και διαχείρισης είναι χαμηλότερα. Παρόλα αυτά οι υποσταθμοί που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για μεταφορά με dc είναι ακριβότεροι από τους αντίστοιχους ac λόγω ότι πρέπει να διαθέτουν τις κατάλληλες διατάξεις για την μετατροπή από ac σε dc και αντίστροφα.
- Πιο αποδοτικές γραμμές μεταφοράς μεγάλου μήκους. Οι απώλειες της γραμμής ενός ac συστήματος διανομής αυξάνονται όσο πιο μακρύτερος είναι ο αγωγός, πράγμα που δεν εμφανίζεται σε σύστημα dc καθώς οι απώλειες δεν εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος της γραμμής. Στην ac διανομή η άεργος ισχύς που ρέει τον αγωγό λόγω της αυξημένης χωρητικότητας του αγωγού περιορίζει την μέγιστη απόσταση που μπορεί να γίνει η διανομή. Ακόμα έχουμε καλύτερη απόδοση σε υπόγειες και υποθαλάσσιες γραμμές
- Μειωμένες απώλειες. Ένα σωστά διαμορφωμένο και ρυθμισμένο σύστημα dc διανομής έχει συνολικά μικρότερες απώλειες από ένα αντίστοιχο ac. Οι απώλειες κατά την μετατροπή από ac σε dc πρέπει να ληφθούν υπόψη αλλά είναι και πάλι πολύ μικρές, της τάξεως του 0. 6% της μεταφερόμενης ισχύος.[7]
- Ευκολότερη διασύνδεση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Σε κάποιες περιπτώσεις είναι πολύ δύσκολο έως και αδύνατο να συνδεθούν δύο ac συστήματα λόγω θεμάτων συγχρονισμού και ευστάθειας. Σε περίπτωση dc συστήματος δεν υπάρχει τέτοια δυσκολία ενώ πολλές φορές αποτελεί την μόνη περίπτωση σύνδεσης. Πολλοί ερευνητές θεωρούν αυτό ως το κυρίαρχο πλεονέκτημα ενός dc συστήματος.
- Ευκολία στον χειρισμό και στην διαχείριση. Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα ενός dc δικτύου είναι η ευκολία που διαθέτει στην ρύθμιση της ισχύος και γενικά στο ισοζύγιο ενέργειας.

- Περιορισμός ρευμάτων βραχυκυκλώσεως. Μια γραμμή μεταφοράς dc δεν συνεισφέρει στο ρεύμα βραχυκύκλωσης των υπολοίπων συνδεδεμένων ac συστημάτων.
- Θετικές επιδράσεις στο περιβάλλον. Αυτό επιτυγχάνεται με το σύστημα dc μέσω της καλύτερης απόδοσης του δικτύου άρα και καλύτερη αξιοποίηση των υπαρχόντων εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Με την καλύτερη αξιοποίηση των μονάδων μειώνεται η ανάγκη επέκτασης τους άρα και η επιπρόσθετη επιβάρυνση του περιβάλλοντος που προκαλείται από εγκατάσταση νέων μονάδων. Υπάρχουν όμως και πολλοί άλλοι παράγοντες, που έχουν να κάνουν κυρίως με τους σταθμούς και τις διατάξεις μετατροπής (θόρυβος, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, επιβλαβής γείωση σε μονοπωλιακά συστήματα κ. τ. λ. ), που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν έτσι ώστε το dc δίκτυο να είναι πιο ωφέλιμο για το περιβάλλον.

### **2.3 ΟΙΚΙΑΚΟ DC ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ**

Όπως είδαμε, μέχρι τώρα το ac ρεύμα κυριαρχεί. Εάν και έχει χάσει το προνόμιο της μεταφοράς ενέργειας με μικρές απώλειες, με τις νέες γραμμές HVDC, ακόμα ο κύριος όγκος των φορτίων τροφοδοτείται με ac ρεύμα.

Στην συνηθισμένη μορφή το ρεύμα σε μια κατοικία, αφού μετασχηματιστεί στα επιθυμητά επίπεδα τάσης διοχετεύεται στα φορτία που χρησιμοποιούν ac ρεύμα, φορτία όπως φωτισμός, διάφοροι κινητήρες όπως είναι ένα κλιματιστικό, μια κουζίνα, ένα ψυγείο.

Υπάρχουν όμως και πολλά φορτία τα οποία απαιτούν συνεχές ρεύμα για την λειτουργία τους. Το πιο μεγάλο ποσοστό αυτών των φορτίων είναι οι διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές (υπολογιστές, τηλεοράσεις, ψηφιακά τηλέφωνα) που αξιοποιούνται σε ένα σπίτι, ενώ σε αυτά τα φορτία συγκαταλέγονται και οι λαμπτήρες φθορισμού και γενικά άλλες οικιακές συσκευές. Το ήδη υπάρχον δίκτυο τροφοδοτεί τέτοιου είδους φορτία χρησιμοποιώντας μετατροπείς και τροφοδοτικά που μετατρέπουν το ac ρεύμα σε dc.

Άρα λοιπόν για την τροφοδότηση μιας τέτοιας κατανάλωσης η πορεία του ρεύματος είναι η εξής: Πρώτα μετασχηματίζεται το ac ρεύμα του δικτύου χαμηλής τάσης σε ac ρεύμα χαμηλότερου επιπέδου τάσης κατάλληλο για κατανάλωση και μετά έχουμε μετατροπή από ac σε dc για κατανάλωση από τις συσκευές που χρησιμοποιούν dc. Όπως κάποιος καταλαβαίνει, αυτές οι διαδοχικές εναλλαγές απαιτούν την χρήση μη ιδανικών μετατροπέων οι οποίοι έχουν απώλειες. Μπορεί σε μια μεμονωμένη συσκευή να μην είναι τόσο σημαντικές αλλά αν αναλογιστεί κάποιος τον όγκο των συσκευών που απαιτούν για την λειτουργία τους τέτοια μετατροπή, ειδικά σε ένα σύγχρονο σπίτι, το ποσοστό των συνολικών απωλειών αυξάνει σημαντικά. Πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα απαίτηση μεγαλύτερης ισχύος (για κάλυψη απωλειών) και σαν επακόλουθο μεγαλύτερο κόστος για τον καταναλωτή. Αυτές οι απώλειες μετατροπής αυξάνονται ακόμη περισσότερο αν αναλογιστεί κανείς την παρούσα κατάσταση όπου η παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές (κυρίως φωτοβολταϊκά) και η χρήση μονάδων αποθήκευσης σε οικιακό επίπεδο έχει αρχίσει να γίνεται ευρέως διαδεδομένη. Άρα λοιπόν σε περίπτωση ενός φωτοβολταϊκού και μιας μονάδας αποθήκευσης σε ένα σπίτι θα είχαμε : παραγωγή dc από το φωτοβολταϊκό, μετατροπή σε ac για την μεταφορά στο οικιακό δίκτυο, ξανά μετατροπή σε dc από την κάθε συσκευή που χρησιμοποιεί συνεχές ρεύμα αλλά και μετατροπή ac-dc για την αποθηκευτική μονάδα. Ακόμη για να χρησιμοποιηθεί η ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στην μονάδα θα πρέπει να μετατραπεί πάλι σε ac για μεταφορά στο δίκτυο. Προσθέτεται δηλαδή άλλο ένα τουλάχιστον στάδιο μετατροπής και οι απώλειες αυξάνονται κατακόρυφα.

Έτσι λοιπόν σε ένα περιβάλλον όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει αρχίσει να στρέφεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά και σε μονάδες καταναλωμένης παραγωγής, αξιοποιήσιμες σε οικιακό επίπεδο, σε συνδυασμό με όλο και περισσότερο χρήση ηλεκτρονικών συσκευών στην καθημερινότητα αλλά και λόγω της ανάγκης για αξιοπιστία στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και στην μείωση του κόστους της, έχουν αρχίσει να μελετώνται οικιακά δίκτυα τα οποία θα βασίζονται είτε μερικώς στη dc παροχή, είτε εξ ολοκλήρου.

Τα πλεονεκτήματα ενός dc οικιακού δικτύου δεν περιορίζονται μόνο στα οφέλη του dc ρεύματος και της χρήσης του αλλά και σε άλλους παράγοντες οι οποίοι έχουν κυρίως να κάνουν με την εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση του κόστους.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τον παραπάνω ισχυρισμό θα μιλήσουμε πιο συγκεκριμένα για την μορφή και τις ιδιότητες ενός dc μικροδικτύου καθώς όμως και για τις δυσκολίες που λειτουργούν ως ανασταλτικοί παράγοντες.

### **2.3.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα DC μικροδικτύου**

Σαν πρώτο βήμα θα ασχοληθούμε με τα οφέλη που θα διαθέτει ένα dc οικιακό μικροδίκτυο στην παροχή ενέργειας στα διάφορα ηλεκτρικά dc φορτία ενός συγχρόνου καταναλωτή.

Οι διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές αντιπροσωπεύουν πάνω από το 50% του συνόλου του φορτίου ενός σπιτιού και ακόμη περισσότερο σε εμπορικούς καταναλωτές. Μέσα σε 50 χρόνια από τότε που ξεκίνησε η χρήση ημιαγωγών σε καταναλωτικά προϊόντα, οι ηλεκτρονικές συσκευές χρησιμοποιούνται καθολικά. Η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και του διαδικτύου έχει ήδη αρχίσει να κατακλύζει την αγορά με εφαρμογές σε πάρα πολλές συσκευές, ενώ και στο κομμάτι του φωτισμού οι συμβατικές λάμπες πυρακτώσεως αντικαθίστανται σταδιακά από ενεργειακά αποδοτικότερες λάμπες φθορισμού και LED λαμπτήρες. Πληθώρα ηλεκτρικών φορητών συσκευών αξιοποιούνται σήμερα από την μεγαλύτερη μερίδα του πληθυσμού. Ένα άλλο είδος αυξανόμενου dc φορτίου σήμερα αποτελούν και τα συστήματα inverter και ειδικότερα τα Variable Speed Drives (VFD), συστήματα που αξιοποιούνται στους κινητήρες και τα moter διαφόρων οικιακών και μη συσκευών.

Τέτοια συστήματα έχουν εγκατασταθεί κατά εκατομμύρια σήμερα με στόχο την βελτίωση της απόδοσης των ευρέως διαδεδομένων επαγωγικών κινητήρων. Με την εγκατάσταση VFD στην είσοδο των ac κινητήρων, οι καταναλωτές μπορούν να ελέγχουν την ταχύτητα του κινητήρα, γεγονός το οποίο δημιουργεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα: για κάθε 1/8 που μειώνεται η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα εξοικονομείται 1/3 ενέργειας[1]. Έτσι, όταν η ταχύτητα ενός κινητήρα π. χ. μιας αντλία ή ενός ανεμιστήρα μπορεί όποτε απαιτείται να περιοριστεί, ένα μεγάλο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας εξοικονομείται για τον καταναλωτή. Το δίκτυο επωφελείται και αυτό διότι αποφεύγονται οι στιγμιαίες αιχμές φορτίου που δημιουργούνται όταν συμβατικοί ac κινητήρες λόγω της αδυναμίας τους για έλεγχο στροφών, εκκινούν ή σταματούν.



Ένα VFD δεν είναι απλά μια ac συσκευή που διαρρέεται από ac ρεύμα αλλά στο εσωτερικό του υπάρχει μετατροπή ac-dc-ac. Γεγονός που υποδηλώνει ότι τα συστήματα VFD μπορούν να γίνουν dc συσκευές όπου θα γίνεται μόνο μια μετατροπή από dc σε ac στην έξοδο τους. Έτσι και οι διάφοροι ac κινητήρες μπορούν εν δυνάμει να θεωρηθούν σαν συσκευές που καταναλώνουν dc ρεύμα, και έτσι να εξυπηρετούνται από ένα dc μικροδίκτυο και μάλιστα αποδοτικότερα από ένα αντίστοιχο ac δίκτυο.

Όσον αφορά τις σημερινές απαιτήσεις των καταναλωτών, όπως η αξιοπιστία και η αποδοτικότητα του δικτύου παροχής, ένα dc μικροδίκτυο μπορεί να τις καλύψει. Η καλύτερη απόδοση του dc μικροδικτύου σε σχέση με ένα ac αρχίζει με την απουσία σταδίων μετατροπής κατά την τροφοδοσία των ηλεκτρονικών φορτίων. Η μετατροπή ac σε dc που σε ένα ac δίκτυο απαιτούνταν για την τροφοδότηση dc φορτίων αποφεύγεται σε ένα dc μικροδίκτυο με επακόλουθο την μείωση των απωλειών. Οι απώλειες αυτές σε μια συνηθισμένη ηλεκτρονική συσκευή είναι της τάξεως του 15% με 40%. Σε ένα dc μικροδίκτυο, με χρήση ηλεκτρονικών ισχύος μεγάλης απόδοσης, οι απώλειες μειώνονται σε 10% έως 15%. [11]

Ένα άλλο γεγονός που ενισχύει την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία των dc μικροδικτύων είναι η ευκολία που παρέχουν στην αξιοποίηση μονάδων αποθήκευσης, καθώς τέτοιου είδους μονάδες έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύουν μόνο dc ρεύμα. Κατά την διάρκεια διακοπών και διαταραχών του κεντρικού δικτύου, ερευνητές έχουν αποφανθεί ότι η ανάπτυξη και εγκατάσταση μεγάλων μονάδων αποθήκευσης στο κεντρικό δίκτυο διανομής μπορεί να μειώσει τις επιδράσεις των διαταραχών και γενικά να αυξήσει την γενικότερη αξιοπιστία του. Η ιδέα όμως μιας μεγάλης αποθηκευτικής μονάδας σε απομακρυσμένο από την κατανάλωση σημείο δημιουργεί δυσκολίες λόγω απωλειών αλλά και λόγω αυξημένου κόστους. Από την άλλη η εγκατάσταση μικρών μονάδων αποθήκευσης σε ένα dc μικροδίκτυο μεγιστοποιεί την απόδοση της μπαταρίας αποφεύγοντας τις μετατροπές dc-ac, και μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς τοποθετώντας την μπαταρία κοντά στο φορτίο. Υπολογίζεται ότι οι απώλειες που θα είχε ένα σύστημα που αξιοποιεί μια μεγάλη αποθηκευτική μονάδα σε σύνδεση με το κεντρικό δίκτυο θα έφταναν μέχρι και 41%. [16]

Ακόμη σε ένα dc δίκτυο δίνεται η δυνατότητα περαιτέρω αποδοτικότερης αξιοποίησης μονάδων παραγωγής dc όπως φωτοβολταϊκών, μικρών ανεμογεννητριών και κυψελών καυσίμων. Σε αντίθεση με ένα ac δίκτυο τέτοιου είδους πηγές μπορούν να λειτουργήσουν καλύτερα σε ένα dc περιβάλλον όχι μόνο λόγω της μη ανάγκης μετατροπής από dc σε ac αλλά και λόγω του γεγονότος ότι σε ένα dc δίκτυο οι διαφορές πηγές και φορτία μπορούν να συνεργαστούν πιο εύκολα και να συνδεθούν διότι το μόνο που απαιτείται είναι τα σωστά επίπεδα τάσης και αποφεύγονται θέματα συγχρονισμού μονάδων.

Αλλά πλεονεκτήματα που δημιουργούνται από ένα dc μικροδίκτυο είναι η απουσία flicker στον φωτισμό αλλά και η έλλειψη ηλεκτρονικού θορύβου, φαινόμενο που δημιουργείται από την παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος στις ηλεκτρονικές συσκευές.

Παρόλα αυτά η ιδέα ενός dc μικροδικτύου ειδικά στον οικιακό τομέα έχει να αντιμετωπίσει κάποια προβλήματα τα σημαντικότερα από τα οποία περιγράφονται παρακάτω.

- **Μετατροπή σε ac για ορισμένες συσκευές.**

Όπως αναφέρθηκε, σχεδόν όλες οι συσκευές που απαιτούν κινητήρα, όπως ψυγεία, κλιματιστικά, ανεμιστήρες, χρησιμοποιούν ac κινητήρες. Αυτό γίνεται διότι ένας ac κινητήρας είναι πολύ περισσότερο αποδοτικός και προσαρμοστικός από έναν dc κινητήρα. Η ρύθμιση τέτοιου είδους κινητήρα δεν βασίζεται στο επίπεδο τάσης, σε αντίθεση με dc κινητήρες, έτσι σε ένα dc περιβάλλον θα είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν μετατροπείς dc-ac, οι οποίοι έχουν απώλειες. Παρόλο που αυτό το στάδιο μετατροπής δεν μπορεί να αποφευχθεί σε ένα dc μικροδίκτυο γίνεται αποδεκτό καθώς σε συσκευές ac κινητήρων με συστήματα inverter και VFD αποφεύγονται το επιπλέον στάδιο μετατροπής.

- **Απουσία μετασχηματιστών**

Σε ένα dc οικιακό μικροδίκτυο, προκειμένου να τροφοδοτούνται τα φορτία, χρησιμοποιούνται μετατροπής dc-dc οι οποίοι δεν είναι ιδανικοί και έχουν και αυτοί τις απώλειες τους. Το dc ρεύμα όπως προαναφέρθηκε δεν μπορεί να μετασχηματιστεί όπως μπορεί το ac. Γενικά ο μετασχηματισμός ac-ac αποτελεί τον πιο ασφαλή και αποδοτικό (έχει απώλειες) είδος μετασχηματισμού. Έτσι σε ένα dc μικροδίκτυο στα

στάδια μετατροπής που απαιτούνται για την λειτουργία του δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μετασχηματιστές, ένα πολύ αποδοτικό εργαλείο στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

#### • **Απουσία εγκαταστάσεων**

Ένα μεγάλο πρόβλημα που έχουν να αντιμετωπίσουν τα dc μικροδίκτυα είναι το γεγονός ότι δεν είναι διαδεδομένα ακόμη. Αυτό έχει το αποτέλεσμα ότι σε περίπτωση ενός εγκατεστημένου dc μικροδικτύου ο καταναλωτής θα μπορούσε να αξιοποιήσει μια πληθώρα μονάδων παραγωγής και αποθήκευσης αλλά θα δυσκολευόταν πάρα πολύ να βρει οικιακές συσκευές που θα μπορούν να συνδεθούν σε αυτό, καθώς η συντριπτική πλειοψηφία των συσκευών έχουν σχεδιαστεί να χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ρεύμα. Ακόμη και οι συσκευές οι οποίες καταναλώνουν dc ρεύμα κατασκευάζονται με ενσωματωμένο μετατροπέα ac-dc. Τα τελευταία χρόνια όμως έχουν αρχίσει να κατασκευάζονται καθαρά dc συσκευές, όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο.

#### • **Απώλειες ρεύματος**

Στα ηλεκτρονικά σαν απώλεια ρεύματος ορίζεται η σταδιακή απώλεια ενέργειας από ένα φορτισμένο συσσωρευτή[40]. Αυτή η απώλεια οφείλεται στις ηλεκτρονικές διατάξεις που είναι συνδεδεμένες με τον συσσωρευτή, διατάξεις όπως transistor και δίοδοι, οι οποίες αφήνουν να ‘περάσει’ μικρή τιμή ρεύματος ακόμα και όταν είναι απενεργοποιημένη η συσκευή στην οποία λειτουργούν. Αν και η τιμή του ρεύματος αυτού είναι πολύ πιο μικρή σε σχέση με το ρεύμα λειτουργίας, σιγά σιγά αποφορτίζει τον συσσωρευτή. Άλλος ένας παράγοντας που δημιουργεί απώλεια ρεύματος είναι το γεγονός ότι τα διηλεκτρικά υλικά ενός κυκλώματος δεν είναι απόλυτα μονωμένα με αποτέλεσμα να έχουμε διαφεύγον ρεύμα και εκφόρτιση. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται σε κάθε είδους δικτύου και το dc μικροδίκτυο δεν αποτελεί εξαίρεση. Τα μη ιδανικά transistor ενός dc μικροδικτύου αλλά και τα φορτία θα επέτρεπαν σε κάποια τιμή ρεύματος να διαφύγει. Γενικά όσο περισσότερα στοιχεία έχει ένα δίκτυο και όσο υψηλότερα επίπεδα τάσης, τόσο μεγαλύτερη απώλεια ρεύματος. Γεγονός που μειώνει την απόδοση του συστήματος.

Στα επόμενα κεφάλαια θα περιγράψουμε τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται σε ένα μικροδίκτυο και θα σταθούμε περισσότερο σε αυτές οι οποίες θα αξιοποιηθούν στην παρούσα εργασία.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ**

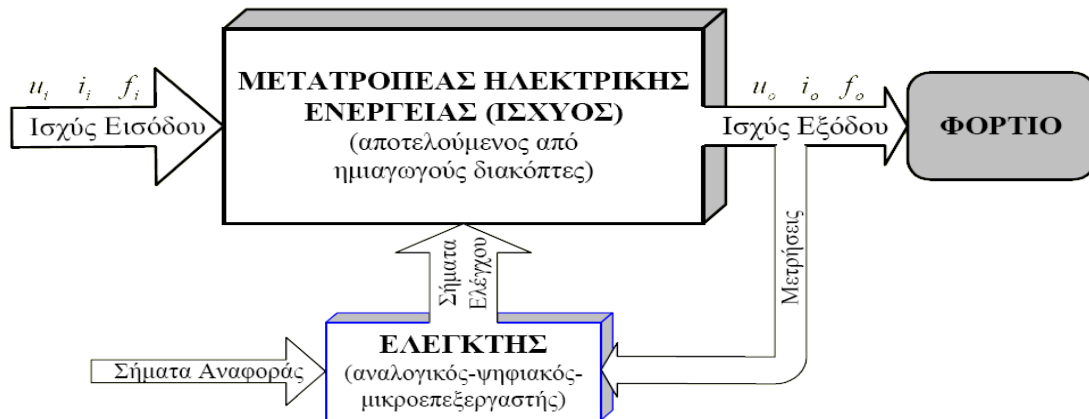
### **3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Τα συστήματα παραγωγής των μικροδικτύων, κυρίως ότι έχει να κάνει με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα τελευταία χρόνια χαίρουν ιδιαίτερης ανάπτυξης καθώς και μεγάλης αποδοχής από την ευρύτερη αγορά. Σε μεγάλο βαθμό αυτό οφείλεται στην ανάπτυξη των συσκευών που είναι υπεύθυνες για την σωστή διαχείριση παραγομένης ενέργειας, τα συστήματα ηλεκτρονικών ισχύος. Πρόκειται για εκείνες τις ηλεκτρονικές συσκευές που αναλαμβάνουν να επεξεργαστούν την ηλεκτρική ενέργεια που τους παρέχουν τα συστήματα παραγωγής ενός μικροδικτύου και με την σειρά τους να την αποδώσουν προς τα συνδεδεμένα φορτία ή το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο με τον τρόπο που θεωρείται ασφαλέστερος και αποδοτικότερος.

### **3.2 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Οι σύγχρονες κατασκευές μετατροπών ισχύος είναι σχετικά φθηνές, μικρές αλλά και ταχύτερης απόκρισης, είναι δε ικανές να διαχειριστούν πολύ αξιόπιστα, μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ισχύος. Σε αυτό βοήθησαν και βοηθούν οι μελέτες πάνω στην χημεία των ημιαγωγικών εξαρτημάτων και οι μεγάλες επενδύσεις στη σχετική τεχνολογική έρευνα που δημιούργησαν στοιχεία ικανά να άγουν και να διακόπτουν τεραστία ρεύματα σε πολύ μικρούς χρόνους αντέχοντας συγχρόνως μεγάλες τάσεις στα άκρα τους.

Υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας, τα εξαρτήματα διεγείρονται κατάλληλα ώστε να μεταβαίνουν ακαριαία μεταξύ δύο 'οριακών' καταστάσεων (on και off), λειτουργώντας ως διακόπτες. Έτσι ελέγχουν τη ροή ισχύος που τα διαπερνά αλλάζοντας τις χρονικές διάρκειες κατά τις οποίες άγουν ή όχι. Συνήθως οι συχνότητες λειτουργίας τους είναι πολύ υψηλότερες από αυτές του σήματος που θέλουν να ελέγξουν (τουλάχιστον υπερδιπλάσιες βάσει της θεωρίας του Nyquist και πρακτικά τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες). Έτσι, ένας πλήρης κύκλος (από την κατάσταση on, στην κατάσταση off έως και λίγο πριν την αποκατάσταση του on ξανά) διαρκεί κλάσματα της 'ιδιοπεριόδου' του ελεγχόμενου μεγέθους, φροντίζοντας ώστε η όποια αλλαγή γίνεται, να γίνεται ομαλά και με τους ελάχιστους δυνατούς παρασιτικούς θορύβους.



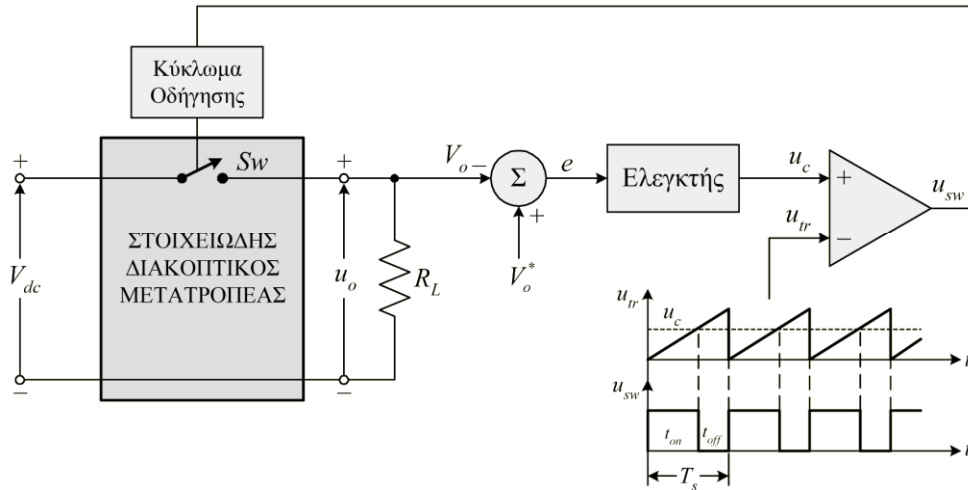
Εικόνα 3-1 γενική μορφή ηλεκτρονικών ισχύος

Οι διακόπτες αυτοί αποτελούν την καρδιά μιας διάταξης ηλεκτρονικών ισχύος καθώς μέσω του ελέγχου της αγωγής και αποκοπής τους επιτυγχάνετε η επιθυμητή μετατροπή και η διαχείριση ισχύος. Η στρατηγική ελέγχου αυτών των διακοπτικών εξαρτημάτων ονομάζεται *Διαμόρφωση Εύρους Παλμών (PWM)* και οι αρχές λειτουργίας της, αναπτύσσονται σε επομένη παράγραφο.

### 3.2.1 Στρατηγική διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM)

Αυτή η τεχνική ελέγχου του διακόπτη ονομάζεται, *διαμόρφωση εύρους παλμών (Pulse Width Modulation ή PWM)* και είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη σε όλους τους τύπους διακοπτικών μετατροπέων.

Η τάση εξόδου του μετατροπέα συγκρίνεται με την επιθυμητή τιμή της τάσης. Το σήμα σφάλματος επεξεργάζεται από έναν ελεγκτή, συνήθως τύπου PID ή FLC. Ο ελεγκτής παράγει το σήμα ελέγχου, το οποίο συγκρίνεται με μια περιοδική κυματομορφή, συνήθως πριονωτής ή τριγωνικής μορφής που εισάγει και λιγότερες αρμονικές. Από τη σύγκριση του σήματος ελέγχου με την περιοδική κυματομορφή, παράγονται οι παλμοί οδήγησης του διακόπτη. Η συχνότητα της περιοδικής κυματομορφής καθορίζει τη συχνότητα μετάβασης του μετατροπέα. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται εν συντομία το κύκλωμα που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο συστημάτων με τη χρήση αυτής της τεχνικής.[4]



Εικόνα 3-2 διάταξη διαμόρφωσης PWM

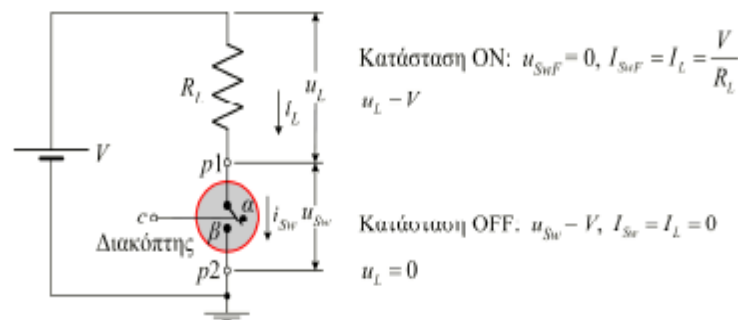
Τα συστατικά και οι συνήθεις διατάξεις από τις οποίες αποτελούνται τα ηλεκτρονικά κυκλώματα των μετατροπέων ισχύος παρουσιάζονται εν συντομία στις επόμενες παραγράφους.

### 3. 3 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ

#### 3.3.1 Κατηγορίες και τύποι ηλεκτρονικών διακοπών

Ένας ηλεκτρονικός διακόπτης ονομάζεται ιδανικός όταν :

- σε κατάσταση αγωγής έχει μηδενική τάση στα άκρα
- σε κατάσταση αποκοπής έχει μηδενική ροή ρεύματος
- ο χρόνος μετάβασης μεταξύ των δύο καταστάσεων είναι μηδενικός.



Εικόνα 3-3 στοιχειώδες ηλεκτρονικό σχέδιο κυκλώματος ισχύος με ιδανικό διακόπτη.

Η διαδικασία μετάβασης ενός διακόπτη από την κατάσταση αποκοπής, στην οποία ο διακόπτης δεν επιτρέπει τη ροή του ρεύματος, στην κατάσταση αγωγιμότητας όπου ο διακόπτης διαρρέεται από το υψηλό ρεύμα του φορτίου, ονομάζεται *ένανση* (turn

on). Η μετάβαση του διακόπτη από την κατάσταση αγωγής στην κατάσταση αποκοπής ονομάζεται **σβέση** (*turn off*). Ανάλογα με τον τρόπο έναυσης και σβέσης διακρίνονται οι εξής τρεις κατηγορίες ημιαγωγικών διακοπών.

- **Μη ελεγχόμενοι διακόπτες** : Η έναυση και η σβέση επιβάλλονται από το κύκλωμα ισχύος. Οι μη ελεγχόμενοι διακόπτες δεν έχουν ακροδέκτη ελέγχου.
- **Πλήρως ελεγχόμενοι διακόπτες** : Η έναυση και η σβέση ορίζονται από ένα σήμα οδήγησης με μορφή παλμού, το οποίο επιβάλλεται στον ακροδέκτη ελέγχου. (*Δίπολικό transistor BJT, MOSFET, IGBT, GTO*)
- **Μερικώς ελεγχόμενοι ή ημιελεγχόμενοι διακόπτες** : Μέσω του ακροδέκτη ελέγχου ορίζεται μόνο η έναυση. Η σβέση του διακόπτη επιβάλλεται από την τάση ή το ρεύμα του κυκλώματος ισχύος. (*SCR, TRIAC*).

Σε κάθε ηλεκτρονική διάταξη μετατροπέων, η χρησιμοποίηση διαφορετικού είδους εξαρτημάτων επιδρά στην γενικότερη απόδοση και λειτουργία του κυκλώματος. Οι κυριότερες επιδράσεις έχουν να κάνουν με:

- Η τάση και αντίσταση αγωγιμότητας καθορίζουν τις απώλειες αγωγιμότητας
- Οι χρόνοι μετάβασης καθορίζουν τις απώλειες μετάβασης
- Οι ονομαστικές τάσεις και ρεύματα καθορίζουν την ικανότητα διαχείρισης ισχύος
- Η ισχύς στο κύκλωμα ελέγχου καθορίζει την ευκολία έλεγχου
- Ο θερμοκρασιακός συντελεστής της αντίστασης αγωγιμότητας καθορίζει την ευκολία παραλληλισμού
- Κόστος

Τα χαρακτηριστικά μερικών εκ' των κυριότερων διακοπτικών ελεγκτικών μηχανισμών που προαναφέρθηκαν, παρουσιάζονται παρακάτω.

### 3.3.2 Δίοδος επαφής (P-N)

Στην ηλεκτρονική, η δίοδος είναι ένα στοιχείο που περιορίζει τη κατευθυντήρια ροή των φορέων αγωγιμότητας (*charge carriers*). Ουσιαστικά, η δίοδος επιτρέπει στο ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει από τη μια διεύθυνση, αλλά μπλοκάρει την κίνηση από την αντίθετη διεύθυνση. Έτσι, η δίοδος μπορεί να θεωρηθεί ως μια ηλεκτρονική εκδοχή της βαλβίδας. Τα κυκλώματα που απαιτούν ροή προς μία μόνο κατεύθυνση περιλαμβάνουν μία ή περισσότερες διόδους στη σχεδίαση του κυκλώματος. Η δίοδος

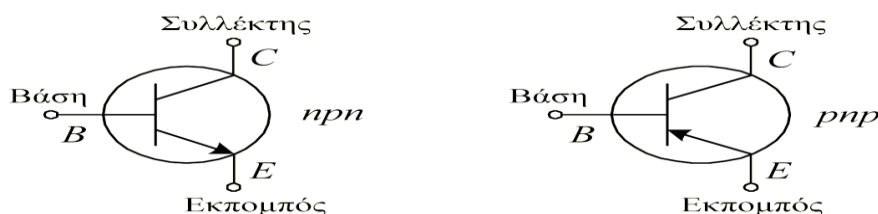


αποτελεί την πρώτη προσέγγιση για τη κατασκευή ενός ηλεκτρικού διακόπτη. Οι περισσότερες σύγχρονες διόδους είναι κατασκευασμένες από υλικά ημιαγωγών όπως πυρίτιο ή γερμάνιο. Οι περισσότερες σύγχρονες διόδους βασίζονται στον ημιαγωγό p-n επαφών.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη μιας διόδου ισχύος είναι η *ανάστροφη τάση διάσπασης RBD V (reverse breakdown)*, δηλαδή η μέγιστη δυνατή τάση ανάστροφης πόλωσης, το *ρεύμα αγωγής  $I_f$*  και η *τάση κατωφλιού  $V_{th}$  (threshold voltage)*, δηλαδή η τάση στην οποία αρχίζει να άγει το στοιχείο MOS (metal oxide semiconductor). Για τάσεις μικρότερες της τάσης κατωφλιού το κανάλι βρίσκεται σε κατάσταση αποκοπής.

### 3.3.3 Διπολικό transistor επαφής (BJT)

Το τρανζίστορ ενώσεως σχηματίζεται όταν στον κρύσταλλο ημιαγωγού ενός τύπου παρεμβληθεί σώμα κρυστάλλου διαφορετικού τύπου ημιαγωγού. Δημιουργείται έτσι μια διπλή ένωση pnp ή npn. Η ένωση μεταξύ των δύο διαφορετικού τύπου ημιαγωγών διέπεται από τις ίδιες ιδιότητες που περιγράφηκαν στην ένωση μιας απλής διόδου. Η δομή της κατασκευής ενός τρανζίστορ (με την τεχνολογία της διαχύσεως) καθώς και το σύμβολό του παριστάνονται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3-4 δομή κατασκευής τρανζίστορ npn και pnp

Το βέλος στο ένα άκρο που λέγεται *εκπομπός* δείχνει τη φορά του ρεύματος. Τα άλλα δύο ηλεκτρόδια είναι η *βάση* (στο μέσο) και ο *συλλέκτης*. Η ένωση του εκπομπού-βάσης πολώνεται ορθά, ενώ η ένωση συλλέκτη-βάσης ανάστροφα.

### 3.3.4 MOSFET ισχύος

Στα MOSFET ο ακροδέκτης της πύλης είναι απομονωμένος από τον ημιαγωγό με ένα στρώμα μονωτικού υλικού. Έτσι, η οδήγηση του στοιχείου γίνεται με σήμα της τάσης στην πύλη, αντί για ρεύμα όπως στα BJT, με αποτέλεσμα η ισχύς ενεργοποίησης να

είναι πολύ μικρή. Η τάση της πύλης πρέπει να υπερβεί μια τιμή *κατωφλιού*  $V_{GSth}$  για την έναυση του στοιχείου. Τα MOSFET έχουν, λόγω κατασκευής, μια εσωτερική δίοδο (*intrinsic diode*) σε αντιπαράλληλη σύνδεση με την κυρίως δομή τους, η οποία είναι πολύ χρήσιμη σε κάποια είδη μετατροπών, όπως είναι οι αντιστροφείς. Επομένως, η ροή του ρεύματος μέσω του στοιχείου είναι αμφίδρομη. Στην πράξη τα MOSFET ισχύος συνήθως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές χαμηλής τάσης (200V και λιγότερο).

### 3.3.5 IGBT

Το διπολικό *transistor* μονωμένης πύλης (*Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT*) είναι ένας διακόπτης που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των MOSFET με τις μικρές τάσεις αγωγιμότητας των BJT σε τάσεις μεγαλύτερες από 300V. Οι τρεις ακροδέκτες του είναι η πύλη (*gate*), ο εκπομπός (*emitter*) και ο συλλέκτης (*collector*), αντί της πύλης (*gate*), του απαγωγού (*drain*) και της πηγής (*source*) του MOSFET, αντίστοιχα. Οι παράμετροι και τα σύμβολα είναι ίδια με εκείνα του MOSFET εκτός από το ότι οι δείκτες για πηγή και απαγωγό τροποποιούνται σε εκπομπό και συλλέκτη αντίστοιχα. Οι προδιαγραφές ενός απλού IGBT φτάνουν τα 400 A, 1200 V με συχνότητα οδήγησης τα 20 KHz. Τα IGBT κατασκευάζονται συνήθως ως καναλιού-n ή καναλιού-p και διακρίνονται ανάλογα με την κατασκευή τους σε IGBT με διάτρηση (PT- IGBT ) και σε IGBT χωρίς διάτρηση (NPT- IGBT ). Κάποια είδη IGBT υποστηρίζουν και ανάστροφες τάσεις.

## 3.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

Οι μετατροπείς ισχύος ανάλογα με τη μορφή ισχύος εισόδου και εξόδου χωρίζονται σε 4 μεγάλες κατηγορίες (με τις υποκατηγορίες τους) :

- **AC-DC ή Rectifiers** (Ανορθωτές – εναλλασσόμενο σε συνεχές)
  - Μονοφασικοί και πολυφασικοί (συνήθως τριφασικοί).
  - Ελεγχόμενοι και μη ελεγχόμενοι.
- **DC-AC ή Inverters** (Αντιστροφείς - συνεχές σε εναλλασσόμενο)
  - Μονοφασικοί και πολυφασικοί.
  - Με ρύθμιση είτε μόνο της συχνότητας εξόδου ή και της τάσης (PWM).
- **DC-DC ή Converters** (Μετατροπείς - συνεχές σε συνεχές)
  - Υποβιβασμού (*step down*) ή/και ανύψωσης (*step up*) τάσης.

(Buck, Boost, BuckBoost)

- Χωρίς απομόνωση και με απομόνωση της εξόδου.

• **AC-AC ή Cycloconverters** (Κυκλομετατροπείς – εναλλ. σε εναλλ. )

- Υποβιβασμού συχνότητας και ανύψωσης συχνότητας

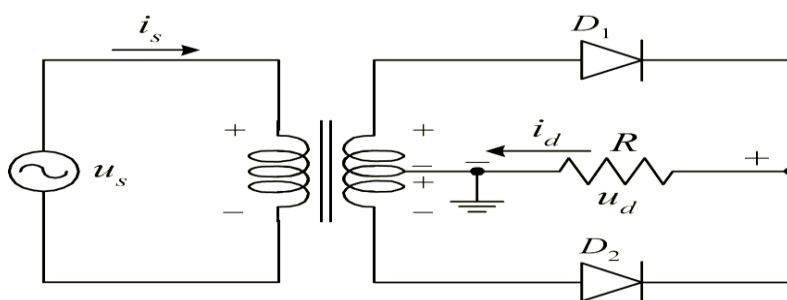
### 3.5 ΑΝΟΡΘΩΤΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (AC-DC)

#### 3.5.1 Μονοφασικοί ανορθωτές πλήρους κύματος

Οι διατάξεις **απλής ανόρθωσης** (μισού κύματος) δεν παρουσιάζουν πρακτικό ενδιαφέρον, καθώς εμφανίζουν δύο σημαντικά μειονεκτήματα. Πρώτον, η μέση τιμή του ρεύματος στο δίκτυο είναι μη-μηδενική και δεύτερον κατά τη μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή, εκμεταλλευόμαστε μόνο τη μία από τις ημιπεριόδους της τάσης του δικτύου. Τα μειονεκτήματα αυτά εξαλείφονται με τους μετατροπείς **διπλής ανόρθωσης** ή αλλιώς **πλήρους κύματος (full wave)**. Οι μετατροπείς διπλής ανόρθωσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, στους **μετατροπείς με μετασχηματιστή μεσαίας λήψης** και στους **μετατροπείς γέφυρας**.

#### 3.5.2 Ο ανορθωτής με μετασχηματιστή μεσαίας λήψης

Ο ανορθωτής με μετασχηματιστή, το δευτερεύον τύλιγμα του οποίου έχει μεσαία λήψη, περιλαμβάνει δύο διατάξεις απλής ανόρθωσης οι οποίες είναι παράλληλα συνδεδεμένες. Οι τάσεις στα δύο τυλίγματα του δευτερεύοντος έχουν διαφορά φάσης

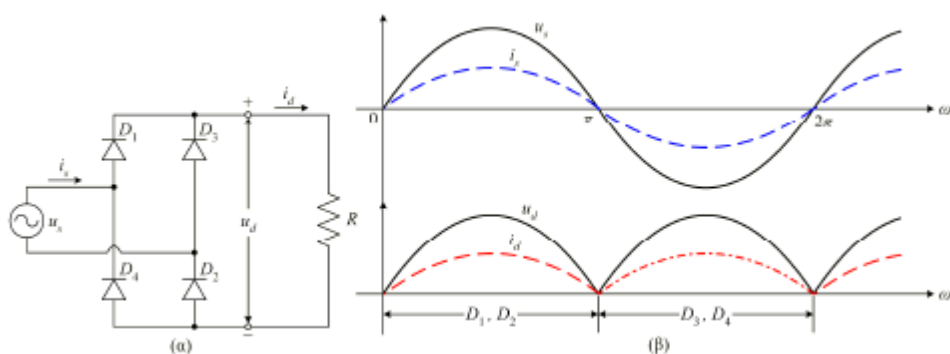


Εικόνα 3-5 Ανορθωτής με Μ/Σ μεσαίας λήψης

Το μειονέκτημα των ανορθωτών με Μ/Σ Μεσαίας λήψης είναι ότι η τάση στο φορτίο είναι η μισή της τάσης στο δευτερεύον τύλιγμα.

### 3.5.3 Ο ανορθωτής γέφυρας με διόδους

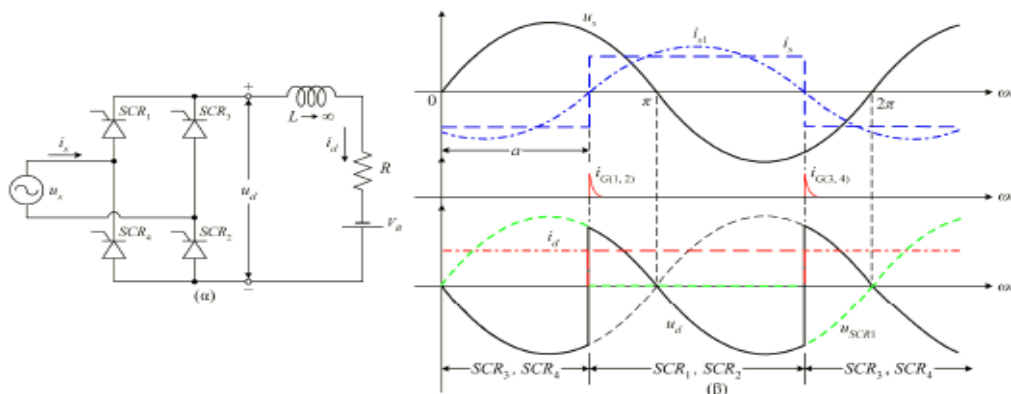
Οι ανορθωτές γέφυρας είναι οι περισσότερο διαδεδομένοι μετατροπείς της εναλλασσόμενης τάσης του δικτύου σε συνεχή τάση. Δεν απαιτούν μετασχηματιστή για τη λειτουργία τους, αλλά χρησιμοποιούν για τη μετατροπή της AC τάσης 4 διακόπτες. Όταν δεν απαιτείται η ρύθμιση της τάσης εξόδου, χρησιμοποιούνται ως διακόπτες οι δίοδοι ισχύος. Σε εφαρμογές όπου ο έλεγχος του πλάτους της συνεχούς τάσης είναι αναγκαίος, οι ανορθωτές γέφυρας αποτελούνται από SCR (*Silicon Controlled Rectifiers*). Η μέση τιμή της τάσης εξόδου είναι η διπλάσια από εκείνου του απλού ανορθωτή, για την ίδια τάση  $u_s$ .



Εικόνα 3-6 (α) ανορθωτής γέφυρας με διόδους και ωμικό φορτίο. (β) κυματομορφές των τάσεων και των ρευμάτων

### 3.5.4 Αναστροφή ισχύος

Η αναστροφή ισχύος (power inversion) στο μετατροπέα γέφυρας συμβαίνει συνεχώς, μόνο όταν στην έξοδο του μετατροπέα υπάρχει μια πηγή ισχύος με την κατάλληλη πολικότητα  $V_b$ . Η πηγή  $V_b$  παρέχει την Αναγκαία DC ισχύ, την οποία ο μετατροπέας μεταφέρει στο δίκτυο. Η πηγή  $V_b$  με εσωτερική αντίσταση  $R$ , μπορεί να είναι μια μπαταρία, η τάση από φωτοβολταϊκά στοιχεία ή από μια ανεμογεννήτρια.



Εικόνα 3-7 (α) μετατροπέας γέφυρας κατάλληλος για την αναστροφή ισχύος. (β) κυματομορφές μετατροπέα γέφυρας κατά την αναστροφή ισχύος

### 3.6 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ(DC-DC)

Οι μετατροπείς συνεχούς ρεύματος επιτελούν τη μετατροπή μιας τάσης συνεχούς μορφής, σε συνεχή τάση με ρυθμιζόμενο σταθερό πλάτος ή και πολικότητα. Ειδικότερα, η συνεχής τάση εισόδου μετατρέπεται σε μεταβαλλόμενη τάση υψηλής συχνότητας, με τη χρήση διακοπών. Η ελεγχόμενη συνεχής τάση εξόδου λαμβάνεται με το φιλτράρισμα ή/και την ανόρθωση της εσωτερικά παραγόμενης τάσης υψηλής συχνότητας.

#### 3.6.1 Κατηγορίες μετατροπέων συνεχούς ρεύματος

Οι μετατροπείς συνεχούς ρεύματος διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με το αν η τάση εξόδου τους είναι γαλβανικά απομονωμένη από την είσοδο. Σε **μετατροπείς συνεχούς ρεύματος χωρίς γαλβανική απομόνωση** και σε **μετατροπείς συνεχούς ρεύματος με μετασχηματιστή απομόνωσης**. Οι δύο κύριες κατηγορίες μετατροπέων συνεχούς ρεύματος χωρίς απομόνωση είναι ο **μετατροπέας υποβιβασμού τάσης** (*step-down*, *buck*) και ο **μετατροπέας ανύψωσης τάσης** (*step-up*, *boost*). Παραλλαγές των μετατροπέων αυτών είναι οι **μετατροπείς υποβιβασμού- ανύψωσης τάσης** (*buck-boost*) με ένα ή δύο διακόπτες ελέγχου. Ακόμη, ο **μετατροπέας πλήρους γέφυρας** (*full bridge*) χρησιμοποιείται ως μετατροπέας συνεχούς ρεύματος.

#### 3.6.2 Αρχή λειτουργίας μετατροπέων συνεχούς ρεύματος

Ο στοιχειώδης διακοπτικός μετατροπέας συνεχούς ρεύματος αποτελείται από ένα διακόπτη και τροφοδοτεί ένα ωμικό φορτίο. Η συνεχής τάση στην είσοδο του μετατροπέα προέρχεται από μπαταρίες ή (συνηθέστερα) από την ανόρθωση της τάσης του δικτύου, η οποία εξομαλύνεται με πυκνωτές. Σκοπός του μετατροπέα είναι η ρύθμιση της τάσης εξόδου στην επιθυμητή τιμή, η οποία πρέπει να διατηρείται σταθερή ανεξάρτητα από τις μεταβολές της τάσης εισόδου και του φορτίου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με έλεγχο των χρόνων αγωγής και αποκοπής του διακόπτη, οπότε η τάση εξόδου αποκτά παλμική μορφή.

#### 3.6.3 Τροφοδοτικά συνεχούς ρεύματος

Οι μετατροπείς συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούνται στην υλοποίηση διατάξεων τροφοδοσίας, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως **διακοπτικά τροφοδοτικά** ή **παλμοτροφοδοτικά**. Η δεύτερη κατηγορία τροφοδοτικών διατάξεων είναι τα

**γραμμικά τροφοδοτικά**, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για τις ανάγκες τροφοδοσίας των ηλεκτρονικών διατάξεων με συνεχές ρεύμα. Τα διακοπτικά τροφοδοτικά άρχισαν να εκτοπίζουν τα γραμμικά τα τελευταία χρόνια, με τη ραγδαία πρόοδο στην τεχνολογία κατασκευής ημιαγωγών διακοπών ικανών να λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες. Στα γραμμικά τροφοδοτικά η ηλεκτρική απομόνωση της συνεχούς τάσης εξόδου από την τάση του δικτύου εξασφαλίζεται με ένα μετασχηματιστή. Ο μετασχηματιστής λειτουργεί στη συχνότητα του δικτύου (50Hz) και ο λόγος μετασχηματισμού του, επιλέγεται ανάλογα με την επιθυμητή τιμή της τάσης εξόδου.

### **3.6.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη των τροφοδοτικών**

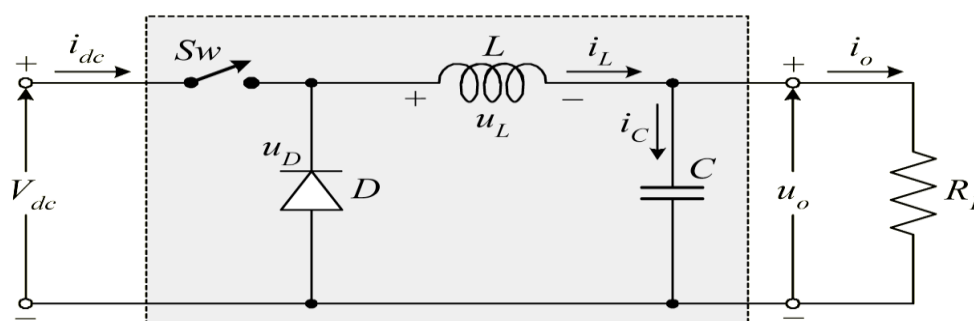
Σε μια διάταξη τροφοδοσίας πέντε είναι τα χαρακτηριστικά μεγέθη που καθορίζουν την ποιότητα λειτουργίας :

- ο βαθμός απόδοσης (efficiency -  $\eta$ )
- η κυμάτωση της τάσης εξόδου (ripple –  $u_0$ )
- η ρύθμιση εισόδου (line regulation - *Regline*)
- η ρύθμιση φορτίου (load regulation - *Regload*) και
- η δυναμική απόκριση (line, load transient response)

Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει την ικανότητα μετατροπής ισχύος της διάταξης. Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης, τόσο λιγότερες είναι οι απώλειες ισχύος στο μετατροπέα. Η κυμάτωση της τάσης εξόδου ( $u_0$ ) ορίζεται σε ορισμένη τάση εισόδου ( $V_{dc}$ ) και ρεύμα εξόδου ( $i_0$ ). Η ρύθμιση εισόδου (*Regline*) Αναφέρεται στη μεταβολή της τάσης εξόδου του μετατροπέα, λόγω μεταβολής της τάσης εισόδου. Η ρύθμιση φορτίου (*Regload*) Αναφέρεται στη μεταβολή της τάσης εξόδου, εξαιτίας της μεταβολής του ρεύματος στο φορτίο, σε κάποια ορισμένη τάση εισόδου. Η δυναμική συμπεριφορά του μετατροπέα ορίζεται από τη διαταραχή στην τάση εξόδου, την οποία προκαλούν βηματικές μεταβολές της τάσης εισόδου ή του ρεύματος φορτίου. Στη δυναμική απόκριση των διακοπτικών μετατροπέων καθοριστικός παράγοντας είναι η συχνότητα μετάβασης.

### 3.6.5 Ο Μετατροπέας υποβιβασμού τάσης (Buck ή Step-Down Converter)

Ο μετατροπέας υποβιβασμού τάσης (Buck ή Step-Down ή Forward Converter) είναι ένας DC-DC μετατροπέας ο οποίος υποβιβάζει την DC τάση από τη σταθερή υψηλή τιμή της σε μια επιθυμητή, χαμηλότερης τιμής. Αποτελείται από τον κύριο διακόπτη(MOSFET), τη δίοδο ελεύθερης ροής και το βαθυπερατό LC φίλτρο. Η κυκλωματική δομή του μετατροπέα δίνεται στο ηλεκτρονικό σχέδιο του παρακάτω σχήματος.



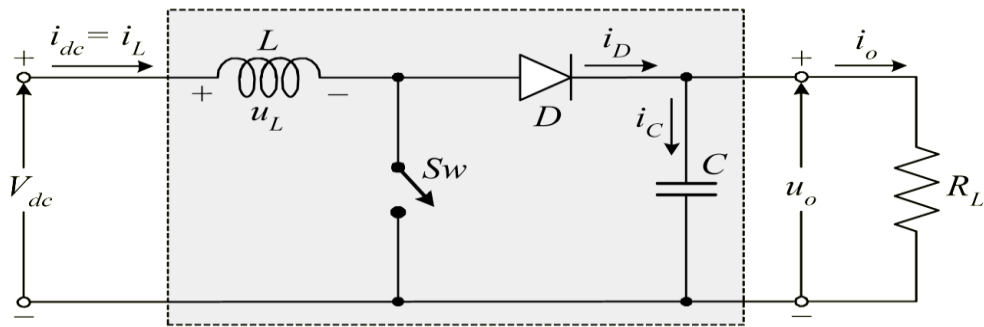
Εικόνα 3-8 κυκλωματική δομή του μετατροπέα υποβιβασμού τάσης

Το πηνίο βοηθάει στον έλεγχο της επί τοις εκατό κυμάτωσης του ρεύματος και καθορίζει αν αυτό θα είναι διακοπτόμενο ή συνεχές. Ο πυκνωτής C φιλτράρει την τάση εξόδου με αποτέλεσμα την εξομάλυνση του ρεύματος του φορτίου. Η τάση εξόδου του μετατροπέα υποβιβασμού είναι ανάλογη της σχετικής διάρκειας αγωγής και της τάσης της πηγής.

Επομένως, αφού η σχετική διάρκεια αγωγής του στοιχείου είναι μικρότερη της μονάδας, η τάση εξόδου είναι μικρότερη από την τάση της πηγής (τάση εισόδου). Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ο DC-DC μετατροπέας υποβιβασμού τάσης λέγεται και *step-down converter*. Εφόσον η ροή της ισχύος γίνεται από τη πηγή προς το φορτίο και δεν υπάρχει ροή ισχύος πίσω προς την πηγή, ο μετατροπέας αυτός ονομάζεται και *forward converter*.

### 3.6.6 Ο Μετατροπέας ανύψωσης τάσης (Boost ή Step-Up Converter)

Ο μετατροπέας ανύψωσης τάσης (Boost ή Step-Up Converter) είναι ένας DC-DC μετατροπέας ο οποίος ανυψώνει την DC τάση από τη σταθερή χαμηλή τιμή της σε μια επιθυμητή, υψηλότερης τιμής. Επίσης ονομάζεται και *fly-back converter* επειδή η μεταφορά της ενέργειας, από την πηγή προς το φορτίο γίνεται μόνο κατά τη διάρκεια της περιόδου αποκοπής του διακόπτη. Η κυκλωματική δομή του μετατροπέα δίνεται στο ηλεκτρονικό σχέδιο του σχήματος.

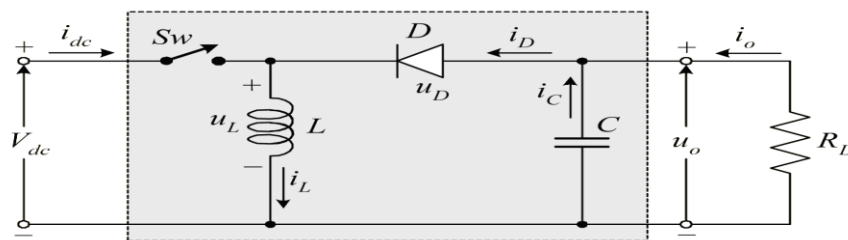


Εικόνα 3-9 κυκλωματική δομή μετατροπέα ανύψωσης τάσης

### 3.6.7 Ο μετατροπέας υποβιβασμού-ανύψωσης τάσης (Buck- Boost Converter)

Ο μετατροπέας υποβιβασμού-ανύψωσης τάσης ή αλλιώς μικτός μετατροπέας (Buck-Boost Converter) είναι ένας DC-DC μετατροπέας, ο οποίος έχει τη δυνατότητα υποβιβασμού ή ανύψωσης της τάσης εξόδου του σε σχέση με την τάση εισόδου. Με άλλα λόγια, η τάση εξόδου

(output voltage) μπορεί να είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη της τάσης εισόδου (ή τάσης πηγής – input voltage or source voltage). Ο συγκεκριμένος μετατροπέας χαρακτηρίζεται και ως έμμεσος μετατροπέας, καθώς η τάση πηγής ποτέ δεν συνδέεται άμεσα με το φορτίο. Το πηνίο στο κύκλωμα του μικτού DC-DC μετατροπέα είναι αυτό που ελέγχει τη ροή ενέργειας από την πλευρά της εισόδου στην πλευρά της εξόδου.



Εικόνα 3-10 κυκλωματική δομή μετατροπέα υποβιβασμού - ανύψωσης τάσης

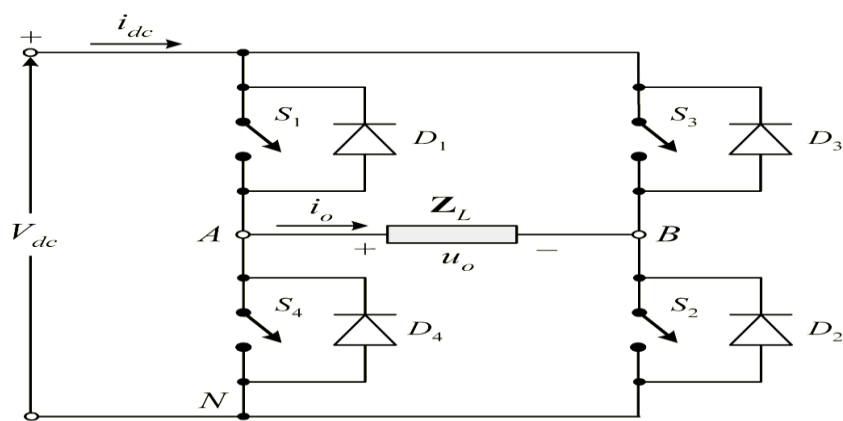
Το σχήμα παρουσιάζει το κύκλωμα του μικτού DC-DC μετατροπέα στην απλούστερη μορφή του. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις φορές των ρευμάτων που ρέουν στον πυκνωτή και στην αντίσταση φορτίου, καθώς και στην πολικότητα της τάσης εξόδου.

### 3.6.8 Ο μετατροπέας συνεχούς ρεύματος με πλήρη γέφυρα

Ο μετατροπέας πλήρους γέφυρας (Full- Bridge DC-DC Converter), αποτελείται από δύο σκέλη (legs), το A και το B. Κάθε σκέλος περιλαμβάνει δύο διακόπτες, αντιπαράλληλα με τους οποίους συνδέονται δύο διόδους. Από τους δύο διακόπτες κάθε



σκέλους, ο ένας πρέπει να βρίσκεται σε κατάσταση αγωγιμότητας και ο άλλος σε αποκοπή.



Εικόνα 3-11 κυκλωματική δομή μετατροπέα συνεχούς ρεύματος με πλήρη γέφυρα

Αν στο μετατροπέα γέφυρας χρησιμοποιηθούν ως διακόπτες τα MOSFET ισχύος, τότε η παρασιτική διάοδος του MOSFET εκπληρώνει το ρόλο της αντιπαράλληλης διάοδου. Ακόμη, τα IGBT κατασκευάζονται με ενσωματωμένη την αντιπαράλληλη διάοδο, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα στους μετατροπέες γέφυρας. Ο μετατροπέας πλήρους γέφυρας μπορεί να επιτελέσει κάθε είδους μετατροπή ενέργειας και να χειρισθεί μεγάλα ποσά ισχύος. Με το μετατροπέα πλήρους γέφυρας είναι δυνατή η μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη, της εναλλασσόμενης σε συνεχή και η μετατροπή της συνεχούς τάσης σε συνεχή με ρυθμιζόμενο πλάτος και πολικότητα. Το είδος της μετατροπής, εξαρτάται από τον τρόπο ελέγχου των τεσσάρων διακοπών. Στον έλεγχο των διακοπών αυτού του είδους μετατροπέα, χρησιμοποιούνται δύο τεχνικές. Η διαμόρφωση εύρους παλμών με διπολική τάση εξόδου (*PWM with bipolar voltage switching*) και η διαμόρφωση εύρους παλμών με μονοπολική τάση εξόδου (*PWM with unipolar voltage switching*).

### 3.7 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΔΙΑΚΟΠΤΟΜΕΝΟΥ ΤΥΠΟΥ(DC-AC)

Οι διατάξεις ισχύος που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς μορφής (DC), σε εναλλασσόμενη μορφή (AC), ονομάζονται αντιστροφείς (inverters). Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούνται μεταξύ άλλων, σε εφαρμογές ελέγχου της ταχύτητας των AC κινητήρων, (όπως των επαγωγικών και των σύγχρονων, *adjustable speed AC drives*), στην επαγωγική θέρμανση (*induction heating*), στο φωτισμό με λυχνίες φθορισμού και στα τροφοδοτικά αδιάλειπτης παροχής (*uninterruptible power*

*supplies, UPS*). Οι αντιστροφείς διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες, ανάλογα με τη μορφή της πηγής εισόδου :

- τους **αντιστροφείς πηγής τάσης**
- τους **αντιστροφείς πηγής ρεύματος**

### **3.7.1 Αντιστροφείς πηγής τάσης**

Οι αντιστροφείς πηγής τάσης (*voltage- source, voltage-fed inverters*) τροφοδοτούνται από μια πηγή συνεχούς τάσης, ιδανικά με μηδενική εσωτερική σύνθετη αντίσταση. Η τάση της πηγής εισόδου μπορεί να είναι σταθερή ή μεταβλητή. Η συνεχής τάση εισόδου προέρχεται από μπαταρίες, από φωτοβολταϊκά στοιχεία, ή συνηθέστερα από την ανόρθωση της τάσης του δικτύου. Η έξοδος των αντιστροφέων πηγής τάσης εμφανίζει χαρακτηριστικά πηγής τάσης. Οι αντιστροφείς διακρίνονται ακόμη σε **μονοφασικούς** και **πολυφασικούς**, ανάλογα με τη μορφή της εναλλασσόμενης εξόδου. Από τους πολυφασικούς αντιστροφείς, οι τριφασικοί είναι οι πλέον διαδεδομένοι. Σε όλους τους αντιστροφείς υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης της συχνότητας εξόδου. Η ρύθμιση του πλάτους των τάσεων εξόδου επιτυγχάνεται είτε με κατάλληλο έλεγχο των διακοπών του αντιστροφέα, ή με έλεγχο της συνεχούς τάσης εισόδου. Αντίθετα, στην έξοδο των αντιστροφέων που χρησιμοποιούνται στα UPS υπάρχει συνήθως ένας μετασχηματιστής απομόνωσης και φίλτρα, για την παραγωγή ημιτονοειδούς τάσης με πολύ μικρή *ολική αρμονική παραμόρφωση (THD)*.

#### **3.7.1.2 Έλεγχος αντιστροφέων πηγής τάσης**

Ο έλεγχος της συχνότητας της τάσης εξόδου του αντιστροφέα είναι πολύ απλός. Για τη ρύθμιση του πλάτους της τάσης εξόδου χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι : ο έλεγχος των διακοπών του αντιστροφέα πηγής τάσης και ο έλεγχος της συνεχούς τάσης στην είσοδο του αντιστροφέα. Στην πρώτη περίπτωση ο έλεγχος της τάσης εξόδου επιτελείται εντός του αντιστροφέα. Έτσι, η συνεχής τάση στην είσοδο των PWM αντιστροφέων είναι σταθερή. Στην δεύτερη περίπτωση, ο αντιστροφέας ελέγχει μόνο τη συχνότητα της τάσης εξόδου. Το πλάτος της AC τάσης εξόδου καθορίζεται από τη DC τάση εισόδου. Οι διακόπτες του αντιστροφέα λειτουργούν σε χαμηλή συχνότητα, ίση με τη συχνότητα της AC τάσης εξόδου. Επειδή η τάση εξόδου έχει τετραγωνική μορφή, οι μετατροπείς αυτοί ονομάζονται αντιστροφείς με τετραγωνική κυματομορφή (*square- wave inverters*).

### 3.7.2 Αντιστροφείς πηγής ρεύματος

Οι αντιστροφείς πηγής ρεύματος (*current- source ή current-fed inverters*) τροφοδοτούνται από μια μεταβλητή πηγή συνεχούς ρεύματος, ιδανικά με άπειρη εσωτερική σύνθετη αντίσταση. Αντίστοιχα με τους αντιστροφείς πηγής τάσης, η εναλλασσόμενη έξοδος των αντιστροφέων πηγής ρεύματος παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά πηγής ρεύματος. (Οι αντιστροφείς αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται κυρίως στον έλεγχο AC κινητήρων πολύ μεγάλης ισχύος). Η συχνότητα των AC ρευμάτων εξόδου, εξαρτάται από την ταχύτητα μετάβασης των διακοπών του αντιστροφέα. Το πλάτος των AC ρευμάτων καθορίζεται από το μέγεθος του συνεχούς ρεύματος εισόδου. Έτσι, η τεχνική PWM χρησιμοποιείται μόνο για τη βελτίωση της κυματομορφής των ρευμάτων εξόδου στις χαμηλές συχνότητες, και όχι στη ρύθμιση του πλάτους της θεμελιώδους συνιστώσας. Η τάση εξόδου σε αυτούς τους αντιστροφείς εξαρτάται από την απόκριση του φορτίου στο επιβαλλόμενο ρεύμα.

#### 3.7.2.1 Έλεγχος αντιστροφέων πηγής ρεύματος

Μια ελεγχόμενη πηγή συνεχούς ρεύματος υλοποιείται μέσω μιας ρυθμιζόμενης πηγής συνεχούς τάσης, σε σειρά με ένα πηνίο υψηλής αυτεπαγωγής. Το πηνίο εξασφαλίζει την εξομάλυνση του ρεύματος της πηγής. Προκειμένου το ρεύμα της πηγής να είναι ανεξάρτητο από τις μεταβολές του φορτίου, η τάση πρέπει να ρυθμίζεται μέσω ενός κλειστού βρόχου ρεύματος. Στην υλοποίηση μιας πηγής ρεύματος από την AC τάση του δικτύου χρησιμοποιείται είτε ένας ελεγχόμενος ανορθωτής με SCR, είτε ένας ανορθωτής με διόδους ακολουθούμενος από ένα μετατροπέα συνεχούς ρεύματος. Και στις δύο περιπτώσεις ένας κλειστός βρόχος ρεύματος και μια αυτεπαγωγή μεγάλης τιμής, χρησιμοποιείται στην υλοποίηση της πηγής συνεχούς ρεύματος. Οι αντιστροφείς πηγής ρεύματος, όπως και οι αντιστροφείς πηγής τάσης, επιτρέπουν την αμφίδρομη ροή της ισχύος. Όμως, η μεταφορά της ενέργειας από την πέδηση (*regenerated power*) στο AC δίκτυο γίνεται χωρίς πρόσθετες διατάξεις, καθώς πρέπει να αντιστραφεί η πολικότητα της τάσης εισόδου, ενώ το ρεύμα στο DC-link έχει μόνο μια φορά.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια του προς μελέτη dc μικροδικτύου, σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις διάφορες μονάδες παραγωγής που είναι πιο προσφιλής για χρήση σε ένα οικιακό μικροδίκτυο (είτε ac είτε dc). Αυτές, περιλαμβάνουν συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μονάδες αποθήκευσης της αλλά και συστήματα συμπαραγωγής. Παρόλο που το είδος αυτών των μονάδων ποικίλει, στην παρούσα εργασία μας ενδιαφέρουν περισσότερο συστήματα βασισμένα σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στα πλαίσια μιας όσο το δυνατόν οικονομικότερης και περιβαλλοντολογικά ωφέλιμης οικίας.

Στις επόμενες παραγράφους λοιπόν θα αναφερθούμε περισσότερο σε διατάξεις όπως φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες και κυψέλες καυσίμου, ενώ αρχικά κρίνεται απαραίτητο να αναφερθούμε γενικότερα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στα οφέλη που δημιουργούνται από την αξιοποίηση τους.

### 4.2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### 4.2.1 Γενικά Στοιχεία

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν εν αφθονία στο φυσικό περιβάλλον και πρακτικά είναι ανεξάντλητες.[24]

Συνήθως για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια έντονα ενεργητική παρέμβαση (πχ εξόρυξη, άντληση, καύση) όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η αξιοποίηση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον και η αξιοποίησή τους έγκειται μόνο στην ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα δεσμεύουν το δυναμικό τους. Ως "ανανεώσιμες πηγές" θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π. χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική.

Οι ΑΠΕ στη σύγχρονη εποχή χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε έμμεσα μετατρέπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρική ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό

δυναμικό απ' τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας.[19] Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση του παρόντος status quo στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού..

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας πρωτοεκδηλώθηκε ουσιαστικά τη δεκαετία του 1970, προκαλούμενο κυρίως από τις απανωτές πετρελαϊκές κρίσεις της εποχής, αλλά και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση των κλασικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Ωστόσο, σήμερα οι ΑΠΕ λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας μειώνεται προοδευτικά τα τελευταία είκοσι χρόνια. Έτσι ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται επί ίσοις όροις παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια.

#### 4.2.2 Είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

- **Αιολική ενέργεια :** Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π. χ. την άλεση στους ανεμόμυλους). Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή.
- **Ηλιακή ενέργεια :** (με υποτομείς τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, τα παθητικά ηλιακά συστήματα και τη φωτοβολταϊκή μετατροπή). Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση.
- **Υδατοπτώσεις :** Πρόκειται για τα υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή Ανανεώσιμης ενέργειας. Παλιότερα χρησιμοποιήθηκε

επίσης για μηχανικές εφαρμογές (π. χ. άλεση σε υδρόμυλους ή λειτουργία μικρών βιοτεχνιών κυρίως στην Ευρώπη).

- **Βιομάζα :** Πρόκειται για παραγωγή θερμικής ή χημικής ενέργειας με την επεξεργασία βιοκαυσίμων, τη χρήση υπολειμμάτων δασικών εκμεταλλεύσεων και την αξιοποίηση βιομηχανικών αγροτικών (φυτικών και ζωικών) και αστικών αποβλήτων. Τα παράγωγα (όπως π. χ. βιοαιθανόλη και βιοαέριο) είναι, σε σχέση με τα παραδοσιακά καύσιμα, πιο φιλικά προς το περιβάλλον.
- **Γεωθερμική ενέργεια:** Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται απ' τη ραδιενεργό μετάπτωση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π. χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού.
- **Ενέργεια από παλίρροιες :** Αξιοποίηση των φαινομένων που προκαλεί η βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, ανυψώνοντας τη στάθμη του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει Αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό.
- **Ενέργεια από κύματα :** Αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας των κυμάτων της θάλασσας, συνήθως με τη χρήση ειδικών πλωτήρων.
- **Ενέργεια από τους ωκεανούς :** Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. Βρίσκεται στο στάδιο εντατικών ερευνών.

#### 4.2.3 Πλεονεκτήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

- Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ διατίθενται σε μικρά μεγέθη και έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της

προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας, με επαναλαμβανόμενα συστήματα σε πολλές περιπτώσεις.

- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο. Έτσι, μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση επενδύσεων που στηρίζονται στη συμβολή των ΑΠΕ (π. χ. θερμοκηπιακές καλλιέργειες με γεωθερμική ενέργεια).
- Είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας. Υπό αυτή την έννοια είναι η ουσιαστική απάντηση στο πρόβλημα της ενεργειακής αυτονομίας την νησιωτικής Ελλάδας.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ είναι εντάσεως εργασίας, δημιουργώντας πολλές θέσεις απασχόλησης ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.

#### **4.2.4 Μειονεκτήματα**

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% [23] ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας. Για τον ίδιο λόγο δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων είναι ακόμη υψηλό (μεγάλος χρόνος απόσβεσης).
- Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης. Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους.



- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος, να μεταφερθεί και να αποθηκευθεί.
- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για μεγάλες ισχύς απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Προβληματισμοί του κοινού σχετικά με την αισθητική των χώρων (ειδικά για τις αιολικές μηχανές και τα φωτοβολταϊκά) καθώς και για τον ακουστικό θόρυβο. Ωστόσο, με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π. χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.

### **4.3 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ**

Η ενέργεια του ήλιου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Φ/Β είναι ο τεχνικός όρος για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με τη χρήση του ονομαζόμενου Φ/Β ή ηλιακής κυψέλης. Χρησιμοποιούνται στην καθημερινή ζωή σε μικρούς υπολογιστές, ρολόγια χειρός, μηχανές πληρωμής στάθμευσης και σε μεγαλύτερα συστήματα στις στέγες κτιρίων εδώ και αρκετό καιρό.

Συνδέοντας μεμονωμένες κυψέλες σε module δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές μονάδες που μπορούν να παράγουν ηλεκτρισμό από λίγα μέχρι 100W συνεχούς ρεύματος (DC). Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών ή με την μετατροπή του ρεύματος σε εναλλασσόμενο να τροφοδοτηθεί στο δίκτυο. Τα φ/β συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν ως αυτόνομες λύσεις. Η παραγόμενη ενέργεια χρησιμοποιείται απευθείας ή αποθηκεύεται προσωρινά σε μπαταρίες –πχ για να χρησιμοποιηθεί το βράδυ, όταν δεν υπάρχει ήλιος. Παρ' όλα αυτά τα διασυνδεδεμένα συστήματα αναπτύσσονται πολύ τελευταία.

Η τεχνολογική αρχή των φ/β σιλικόνης βασίζεται στην ημιαγωγό σιλικόνη που συνδέεται σε διάφορες στρώσεις δημιουργώντας ηλεκτρικό πεδίο. Οι ημιαγωγοί είναι

υλικά που γίνονται ηλεκτρικά αγωγά όταν τροφοδοτούνται με φως ή θερμότητα, αλλά γίνονται μονωτές σε χαμηλές θερμοκρασίες. Όταν τροφοδοτηθούν από ηλιακό φως, το ηλεκτρικό πεδίο διαχωρίζει τα αρνητικά και θετικά φορτία που υπάρχουν στους πόλους της κυψέλης – όπως σε μια κανονική μπαταρία. Οι φ/β κυψέλες λειτουργούν ακόμα και χωρίς απευθείας ηλιακό φως, η ενέργεια που παράγεται τότε είναι σημαντικά μικρότερη.

#### **4.3.1 Τεχνολογίες ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων-φωτοβολταϊκών κυψελών**

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία - πλαίσια χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες

##### **4.3.1.1 PV Κρυσταλλικού πυριτίου**

Το πυρίτιο, ανάλογα με την επεξεργασία του, δίνει μονοκρυσταλλικά , πολυκρυσταλλικά ή άμορφα υλικά, από τα οποία παράγονται τα φωτοβολταϊκά (photovoltaic) στοιχεία. Ουσιαστικά με την επεξεργασία του πυριτίου παράγεται κρυσταλλική σιλικόνη από την οποία κατασκευάζονται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Χωρίζονται σε:

- **Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου πλαίσια (στοιχεία)**

Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί από ένα κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Αποτελούν τα πιο αποδοτικά φωτοβολταϊκά με αποδόσεις της τάξεως του 14, 5% έως 21%. Η κατασκευή τους όμως είναι πιο πολύπλοκη γιατί απαιτεί την κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος κατασκευής.

- **Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου πλαίσια (στοιχεία)**

Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλομένου πυριτίου. Για την παραγωγή τους οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών με αποτέλεσμα το φθηνότερο κόστος παραγωγής. Παρουσιάζουν όμως σε γενικές γραμμές μικρότερη απόδοση της τάξεως του 13% έως 14, 5%.

- **Άμορφου Πυριτίου πλαίσια (στοιχεία)**

Τα φωτοβολταϊκά αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα πυριτίου που έχει εναποτεθεί ομοιόμορφα σε κατάλληλο υπόβαθρο. Σαν υπόβαθρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη γκάμα υλικών από δύσκαμπτα μέχρι ελαστικά με αποτέλεσμα να βρίσκει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών, ιδιαίτερα σε καμπύλες ή εύκαμπτες επιφάνειες. Ενώ το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απορρόφηση του φωτός, εντούτοις η φωτοβολταϊκή απόδοση του είναι του μικρότερη των κρυσταλλικών, περίπου 7%. Το φθηνό όμως κόστος κατασκευής τους τα κάνει ιδανικά σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται υψηλή απόδοση.

#### **4.3.1.2 PV λεπτών μεμβρανών (*thin film pv*)**

- **Φωτοβολταϊκά από Χαλκοπυρίτες CIS / CIGS**, ονομαστική απόδοση από 7% έως 11%.

- **Λεπτό φιλμ**

Το modules λεπτού φιλμ κατασκευάζονται με την εναπόθεση εξαιρετικά λεπτών στρώσεων φωτοευαίσθητων υλικών σε χαμηλού κόστους στηρίγματα όπως γυαλί, ανοξείδωτο ατσάλι ή πλαστικό τα οποία εγγυώνται χαμηλό κόστος παραγωγής. Αν και οι κυψέλες λεπτού φιλμ έχουν οικονομικό πλεονέκτημα, λειτουργούν με χαμηλότερους δείκτες απόδοσης και δεν έχουν δοκιμαστεί τόσο όσο η κρυσταλλική σιλικόνη. Όλες οι διαθέσιμες μέχρι σήμερα κυψελίδες λεπτού φιλμ, έχουν ενεργές στρώσεις πάχους μόνο λίγα μm . Το μερίδιο αγοράς αυτών των κυψελών είναι ακόμα μικρό, αλλά αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον.

Η κρυσταλλική σιλικόνη (δηλαδή το πυρίτιο) είναι ακόμη το σημαντικότερο στοιχείο των φ/β. Αν και δεν είναι πραγματικά το ιδανικό υλικό για τις κυψέλες, είναι το δεύτερο σε αφθονία στοιχείο στο φλοιό της γης και ευρέως διαθέσιμο, έχει υποστεί δοκιμές για αρκετά χρόνια και χρησιμοποιεί την ίδια τεχνολογία που αναπτύχθηκε για άλλους σκοπούς. Περισσότερο από 20% εξοικονόμησης ενέργειας έχει επιτευχθεί με τις κυψέλες σιλικόνης στους ελέγχους, ενώ στην πραγματική παραγωγή επιτυγχάνεται ανάμεσα στο 13% και 17%. Το θεωρητικό όριο για τις κυψέλες κρυσταλλικής σιλικόνης φθάνει το 30 %.

Τα λεπτά υλικά είναι ένας τρόπος να μειωθεί το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων και να αυξηθεί η απόδοσή τους. Η τεχνολογία φωτοβολταϊκών πλαισίων thin film βρίσκεται σε αναπτυσσόμενο στάδιο αφού με διάφορες μεθόδους επεξεργασίας και χρήση διαφορετικών υλικών αναμένεται αύξηση της απόδοσης, σταθεροποίηση των χαρακτηριστικών τους και αύξηση της διείσδυσης στην αγορά. Σήμερα πάντως αποτελούν την πιο φθηνή επιλογή φωτοβολταϊκών πλαισίων.

#### 4.3.2 Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών μονάδων

Συνήθως τα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία σε μια βασική μονάδα συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά. Αυτό οφείλεται στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κάθε ηλιακού φωτοβολταϊκού στοιχείου. Ένα τυπικό (διαμέτρου 4 ιντσών) ηλιακό στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου ή ένα (10 cm \* 10 cm) πολυκρυσταλλικό στοιχείο θα παρέχουν κάτω από κανονικές συνθήκες ισχύ μεταξύ 1 και 1.5 W, εξαρτώμενη από την απόδοση του ηλιακού στοιχείου. Αυτή η ισχύς παρέχεται συνήθως υπό τάση 0.5 ή 0.6 V. Από τη στιγμή που υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές, οι οποίες εκτελούνται σε αυτή την τάση, η άμεση λύση είναι να συνδεθούν τα ηλιακά στοιχεία σε σειρά. Ο αριθμός των ηλεκτρικών φωτοβολταϊκών στοιχείων μέσα σε μια βασική μονάδα ρυθμίζεται από την τάση της βασικής μονάδας. Η ονομαστική τάση λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος συνήθως πρέπει να ταιριάζει με την ονομαστική τάση του υποσυστήματος αποθήκευσης. Οι περισσότερες εκ των φωτοβολταϊκών βασικών μονάδων, που κατασκευάζονται βιομηχανικά έχουν, επομένως, σταθερές διατάξεις, οι οποίες μπορούν να συνεργασθούν ακόμη και με μπαταρίες των 12Volt / 6Volt/ 2Volt. Προβλέποντας πιθανότητα υπέρτασης προκειμένου να φορτισθεί η φωτοβολταϊκή μπαταρία και να αντισταθμιστεί χαμηλότερη έξοδος, κάτω από συνθήκες χαμηλότερες των κανονικών, έχει βρεθεί ότι μια ομάδα των 33 έως 36 ηλιακών στοιχείων σε σειρά συνήθως εξασφαλίζουν αξιόπιστη λειτουργία.[24]



Εικόνα 4-1 φωτοβολταϊκή συστοιχία σε σκεπή οικίας

Τα τρία περισσότερο σημαντικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας βασικής μονάδας είναι το ρεύμα βραχυκυκλώματος, η τάση ανοικτού κυκλώματος και το σημείο μέγιστης ισχύος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την ακτινοβολία.

Η θερμοκρασία είναι μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Ο συντελεστής θερμοκρασίας για την τάση ανοικτού κυκλώματος είναι κατά προσέγγιση ίσος με  $-2.3 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$  για καθένα ηλιακό στοιχείο. Ο συντελεστής τάσης μιας βασικής μονάδας είναι επομένως αρνητικός και πολύ μεγάλος από τη στιγμή που συνδέονται σε σειρά 33 έως 36 ηλιακά στοιχεία. Ο συντελεστής ρεύματος, από την άλλη πλευρά, είναι θετικός και μικρός  $+6 \text{ }\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$  περίπου ανά τετραγωνικό εκατοστό της βασικής μονάδας. Συνεπώς, μόνο η μεταβολή τάσης σε σχέση με αυτή της θερμοκρασίας λαμβάνεται υπόψη για πρακτικούς κυρίως υπολογισμούς. Όπως και για καθένα ηλιακό φωτοβολταϊκό στοιχείο, το ρεύμα βραχυκυκλώματος μιας βασικής μονάδας είναι ανάλογο προς την ακτινοβολία και επομένως θα ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας κατά τον ίδιο τρόπο. Εφόσον η τάση είναι μια λογαριθμική συνάρτηση του ρεύματος, θα εξαρτάται επίσης λογαριθμικά και από την ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια της ημέρας επομένως η τάση θα μεταβάλλεται λιγότερο από ότι το ρεύμα. Στο σχεδιασμό της φωτοβολταϊκής γεννήτριας (φωτοβολταϊκού πλαισίου) είναι συνηθισμένο να παραμελείτε η μεταβολή της τάσης και να λαμβάνεται το ρεύμα βραχυκυκλώματος ανάλογο προς την ακτινοβολία.

Η λειτουργία μιας βασικής φωτοβολταϊκής μονάδας θα πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σημείο μέγιστης ισχύος. Είναι ένα σημαντικό γνώρισμα της χαρακτηριστικής της βασικής μονάδας, το ότι η τάση του σημείου μέγιστης ισχύος είναι σχεδόν ανεξάρτητη από την ακτινοβολία. Η μέση τιμή αυτής της τάσης κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να εκτιμηθεί στο 80% της τάσης ανοικτού κυκλώματος κάτω από κανονικές συνθήκες ακτινοβολίας. Αυτή η ιδιότητα είναι χρήσιμη για τη σχεδίαση της μονάδας ελέγχου της ισχύος της συσκευής.

Η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψέλης (*Nominal Operating Cell Temperature -NOCT*) (συνήθως μεταξύ  $42^{\circ}\text{C}$  και  $46^{\circ}\text{C}$ ) χρησιμοποιείται για να καθορίσει τη θερμοκρασία του ηλιακού ηλεκτρικού φωτοβολταϊκού στοιχείου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας βασικής μονάδας. Συνήθως υποθέτουμε ότι η διαφορά

μεταξύ θερμοκρασίας φωτοβολταϊκού και θερμοκρασίας περιβάλλοντος εξαρτάται γραμμικά από την ακτινοβολία .

Σημαντικό κατά την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι να στερεωθούν οι σταθερές βάσεις με γωνία 30-35 μοίρες και νότιο προσανατολισμό ή οι προσανατολισμοί των φωτοβολταϊκών ιχνηλατών ( trackers) θα ακολουθούν την κίνηση του ηλίου.

Στις περισσότερες διατάξεις οι βασικές μονάδες φωτοβολταϊκών στερεώνονται σε ένα σταθερό κεκλιμένο επίπεδο με την πρόσοψη προς τον ισημερινό. Αυτό έχει την αρετή της απλότητας, δηλαδή κανένα κινούμενο τμήμα και χαμηλό κόστος. Η άριστη γωνία κλίσης εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος, την αναλογία της διάχυτης ακτινοβολίας στην τοποθεσία και το είδος του φορτίου.

#### **4.3.3 Συστήματα στήριξης**

Στερεώνοντας τα φωτοβολταϊκά πάνω σε σύστημα με δύο άξονες παρακολούθησης του Ηλίου, μπορεί να συλλεχθεί μέχρι 25% περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός έτους, σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης. Κάτι τέτοιο όμως αυξάνει την πολυπλοκότητα και έχει ως αποτέλεσμα μια χαμηλότερης αξιοπιστίας και υψηλότερου κόστους συντήρησης. Η μονού άξονα παρακολούθηση tracker είναι λιγότερο σύνθετη αλλά παρουσιάζει μικρότερο κέρδος. Ο προσανατολισμός μπορεί να ρυθμίζεται χειροκίνητα, εκεί που η προσφορά εργασίας είναι διαθέσιμη, αυξάνοντας έτσι τις όποιες απολαβές. Έχει υπολογιστεί ότι σε κλίματα με ηλιοφάνεια μια διάταξη επίπεδης κινούμενης πλάκας που έχει κατάλληλη ρύθμιση ώστε να στρέφεται προς τον ήλιο δύο φορές την ημέρα και να παίρνει την κατάλληλη κρίση τέσσερις φορές το χρόνο, μπορεί να συλλαμβάνει το 95% της ενέργειας, που συλλέγετε με ένα σύστημα δύο αξόνων παρακολούθησης πλήρως αυτοματοποιημένο.[20]

#### **4.3.4 Απολογισμός οικιακών Φ/Β**

Το πιο προφανές πλεονέκτημα των φ/β είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού χωρίς εκπομπές. Επιπλέον, το απαιτούμενο καύσιμο, η ηλιακή ενέργεια, παρέχεται χωρίς κόστος από τη φύση. Τεχνικά, τα modules μπορούν εύκολα να εγκατασταθούν και είναι εύκολα στη χρήση καθώς μπορούν να προστεθούν περισσότερα οποιαδήποτε

στιγμή χρειαστεί. Μια ελάχιστη συντήρηση είναι απαραίτητη για να διατηρεί το σύστημα σε καλή κατάσταση και μια μεγάλη διάρκεια ζωής είναι πρόσθετο πλεονέκτημα για την εφαρμογή μιας φ/β μονάδας. Εξ' άλλου ο ιδιοκτήτης έχει να υπολογίσει το υψηλό κόστος επένδυσης και την εγκατάσταση ενός συστήματος backup που θα εξασφαλίζει την ασφάλεια τροφοδοσίας κάθε στιγμή. Τα φ/β δεν μπορούν να εγκατασταθούν οπουδήποτε μια και χρειάζονται μεγάλες επιφάνειες. Το κόστος των φ/β συστημάτων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το μέγεθος, τον τύπο του φ/β και την κατάσταση του κτιρίου υπό εξέταση. Το μέγεθος του συστήματος εξαρτάται από την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια, αν και τα περισσότερα οικιακά συστήματα εγκαθίστανται με ισχύ ανάμεσα στο 1.5 και τα 3 kW. Τα φ/β στέγης-κεραμίδια είναι πιο ακριβά από τα συμβατικά πάνελ και τα πάνελ που ενσωματώνονται στην στέγη είναι πιο ακριβά από εκείνα που τοποθετούνται στην κορυφή.

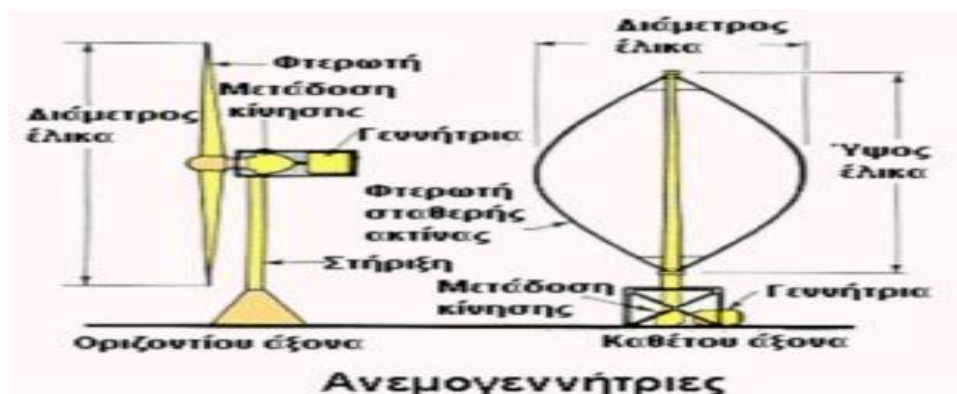
#### **4.4 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ**

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό τους ανέμους. Είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, πρακτικά ανεξάντλητη. Σήμερα η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με ανεμογεννήτριες. Το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει την "πρώτη" περίοδο ωριμότητας, καθώς είναι πλέον ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών ενέργειας.

##### **4.4.1 Χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών**

Οι ανεμογεννήτριες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

τις **ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα**, όπου ο δρομέας είναι τύπου έλικας και ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται συνεχώς παράλληλα προς τον άνεμο, και τις **ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα** ο οποίος παραμένει σταθερός.



Εικόνα 4-2μορφή ανεμογεννητριών

Ενώ τα συστήματα τους περιλαμβάνουν τα παρακάτω τμήματα:

- **Μηχανικό σύστημα:** Περιλαμβάνει τον ανεμοκινητήρα (σύστημα μετατροπής της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική). Κύρια μέρη του συστήματος είναι η έλικα με το σύστημα ελέγχου του βήματός της (αν υπάρχει). Συνήθως μεταξύ του ανεμοκινητήρα και της γεννήτριας μεσολαβεί ένας πολλαπλασιαστής στροφών (κιβώτιο ταχυτήτων)
- **Ηλεκτρικό σύστημα:** Περιλαμβάνει τη γεννήτρια και ενδεχομένως ένα μετατροπέα ισχύος (π. χ., AC/DC/AC), που παρεμβάλλεται μεταξύ της γεννήτριας και του φορτίου
- **Σύστημα ελέγχου Α/Γ:** Προσαρμόζει τη λειτουργία της προς της εκάστοτε συνθήκες ανέμου, επιτηρεί την ασφάλεια και μεγιστοποιεί την απόδοσή της.

Στην παγκόσμια αγορά έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα σε ποσοστό περίπου 90%. Η ισχύς τους ξεπερνά τα 700 kW και είναι δυνατή η απευθείας σύνδεσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο, καθιστώντας μία συστοιχία ανεμογεννητριών (αιολικό πάρκο) ως αυτόνομη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Κατά την λειτουργία τους, ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια της φτερωτής της ανεμογεννήτριας τα οποία είναι συνδεδεμένα στον περιστρεφόμενο οριζόντιο άξονα. Ο άξονας οδηγείται σε ένα κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης όπου αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής. Η κίνηση μεταφέρεται μέσω άξονα μεγάλης ταχύτητας περιστροφής σε μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Για να αποφευχθεί η φθορά του στροβίλου στις περιπτώσεις πολύ μεγάλων ταχυτήτων του ανέμου, η όλη διάταξη περιλαμβάνει ένα μειωτήρα (φρένο) που περιορίζει την υπερβολική αύξηση περιστροφής των πτερυγίων. Η ταχύτητα του ανέμου πρέπει να υπερβαίνει τους 15 kph για να είναι δυνατή η ηλεκτροπαραγωγή από μία συνήθη ανεμογεννήτρια. Η



ονομαστική τους ισχύς κυμαίνεται από 50 - 750 kW. Η παραγόμενη τάση είναι της τάξης των 25kV και απαιτείται μετασχηματιστής για τη μεταφορά του ρεύματος στο δίκτυο.

#### 4.4.2 Απόδοση ανεμογεννήτριας

Στην πραγματικότητα η Α/Γ εκμεταλλεύεται ένα ποσοστό από την ισχύ του αέρα. Το ποσοστό αυτό καθορίζεται από τον *συντελεστή ισχύος*  $C_p$  της Α/Γ, ο οποίος αποτελεί στην ουσία τον αεροδυναμικό βαθμό της πτερωτής. Ακόμα και για μια ιδανική πτερωτή, ο συντελεστής ισχύος δεν μπορεί να υπερβεί το όριο του Betz (59, 3%), δηλαδή:

$$C_p \leq (16/27) = 0,593$$

Η ισχύς  $P_{a/\gamma}$  που αποδίδει η Α/Γ είναι τελικά:

$$P_{a/\gamma} = \frac{1}{2} \times C_p \times \rho \times A \times V^3 \times \eta_{H/M}$$

όπου  $\eta_{H/M}$  είναι ο ηλεκτρικός και μηχανικός βαθμός απόδοσης της Α/Γ και  $\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα (εξαρτάται από την ατμοσφαιρική πίεση  $P$  και την (απόλυτη) θερμοκρασία  $T$  του μέρους),  $A$  η επιφάνεια σάρωσης των πτερυγίων της και  $V$  η ταχύτητα του ανέμου. Εκτός από τα όσα Αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχουν και άλλοι περιορισμοί που μειώνουν σημαντικά το πραγματικά αξιοποιήσιμο αολικό δυναμικό μιας περιοχής από μία Α/Γ. Για μικρές ταχύτητες ανέμου η ανεμογεννήτρια δεν περιστρέφεται επειδή οι απώλειες κενού φορτίου (τριβές στον άξονα, μειωτήρα, κλπ) είναι μεγαλύτερες από την παραγόμενη ισχύ της μηχανής. Η ταχύτητα στην οποία αρχίζει η λειτουργία της Α/Γ ονομάζεται *ταχύτητα έναρξης λειτουργίας*  $V_{in}$  (τυπικές τιμές  $V_{in}$ : 2÷5 m/sec ). Από μια τιμή της ταχύτητας του ανέμου και μετά η ωφέλιμη ισχύς της Α/Γ παραμένει για λειτουργικούς λόγους περίπου σταθερή, με αποτέλεσμα να χάνεται ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας του ανέμου ιδιαίτερα σε υψηλές ταχύτητες. Η μικρότερη ταχύτητα του ανέμου στην οποία έχουμε ονομαστική ισχύ της μηχανής ονομάζεται *ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας*  $V_R$  (συνήθως  $V_R=10\div 15$  m/sec ). Λόγοι ασφάλειας της εγκατάστασης επιβάλλουν τη διακοπή λειτουργίας της μηχανής σε πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμου. Η *ταχύτητα διακοπής λειτουργίας*  $V_{out}$  κυμαίνεται μεταξύ 20 m/sec και 25 m/sec . [9]

#### 4.4.3 Διάκριση Α/Γ ανάλογα με τις αρχές λειτουργίας και ελέγχου τους

**Σταθερών στροφών:** Λειτουργούν σε ένα στενό εύρος ταχύτητας περιστροφής, λίγο πάνω από τη σύγχρονη ταχύτητα (που σχετίζεται με τη συχνότητα του δικτύου). Η

σύνδεση Α/Γ αυτού του τύπου με το δίκτυο γίνεται απευθείας και δεν υπάρχει άμεσος έλεγχος της ποιότητας ισχύος που εγχέεται στο δίκτυο. Α/Γ σταθερών στροφών με ασύγχρονη γεννήτρια

**Μεταβλητών στροφών:** Λειτουργούν σε μεγάλο εύρος στροφών πάνω και κάτω από τη σύγχρονη ταχύτητα. Η ταχύτητα περιστροφής βελτιστοποιείται με βάση την τιμή του εισερχόμενου ανέμου με στόχο την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητη η χρήση ηλεκτρονικών ισχύος (AC/DC/AC μετατροπέα)

Έτσι λοιπόν τα συνηθέστερα μοντελα ανεμογεννητριών περιλαμβάνουν:

- Α/Γ σταθερών στροφών με ασύγχρονη γεννήτρια
- Α/Γ μεταβλητών στροφών με ασύγχρονη γεννήτρια διπλής τροφοδότησης
- Α/Γ μεταβλητών στροφών με σύγχρονη γεννήτρια
- Α/Γ DC με μόνιμους μαγνήτες (Συνήθως συναντάται σε μικρές Α/Γ έως 10kW. Η παροχή DC χρειάζεται μετατροπέα για σύνδεση στο δίκτυο. Χρειάζεται προσοχή στη μεταφορά διότι αν χτυπηθεί η Α/Γ μπορεί να προκληθεί βλάβη στους μόνιμους μαγνήτες. ) [6]

#### 4.4.4 Οι μικρές ανεμογεννήτριες

Οι περισσότερες μικρές ανεμογεννήτριες παράγουν συνεχές ρεύμα (DC). Τα συστήματα που δεν είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο απαιτούν την εγκατάσταση μπαταρίας και μετατροπέα συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Τα αιολικά συστήματα μπορούν επίσης να συνδεθούν με το ηλεκτρικό δίκτυο. Ένας ειδικός ελεγκτής και μετατροπέας, μετατρέπει το ρεύμα σε εναλλασσόμενο με τις απαραίτητες προδιαγραφές του δικτύου. Σε αυτή την περίπτωση δεν απαιτείται μπαταρία. Το ποσό της ενέργειας που δεν χρησιμοποιείται εξάγεται στο δίκτυο και πωλείται στην τοπική εταιρεία ηλεκτρισμού.

Υπάρχουν δύο είδη ανεμογεννητριών:

- Αυτές που βρίσκονται σε ιστό – που τοποθετούνται κοντά στο κτίριο που θα χρησιμοποιεί την παραγόμενη ενέργεια.
- Αυτές που βρίσκονται στην στέγη – που τοποθετούνται στην στέγη του σπιτιού ή άλλων σπιτιών.

Οι μεμονωμένες ανεμογεννήτριες ποικίλουν στο μέγεθος και την ισχύ από μερικές εκατοντάδες W έως 2 ή 3 MW (ενδεικτικά μια τυπική οικιακή ανεμογεννήτρια είναι 1 - 6 kW).

#### **4.4.5 Προκλήσεις εγκατάστασης οικιακής ανεμογεννήτριας**

Τα παρακάτω θέματα θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη όταν πρόκειται για την εγκατάσταση μιας μικρής ανεμογεννήτριας:

- Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος οπότε είναι καλύτερα η ανεμογεννήτρια να τοποθετείται ψηλά στον ιστό ή στην στέγη.
- Γενικά, η ιδανική τοποθεσία είναι μια επίπεδη κορυφή λόφου με καθαρό προσανατολισμό, χωρίς υπερβολικούς στροβιλισμούς και εμπόδια όπως μεγάλα δέντρα, σπίτια ή άλλα κτίρια.
- Οι μικρές ανεμογεννήτριες είναι ειδικές για απομονωμένες περιοχές εκτός δικτύου όπου οι συμβατικές μέθοδοι ηλεκτροδότησης δεν είναι οικονομικά ή τεχνικά αποδεκτές.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ενέργεια που παράγεται κάθε στιγμή από την ανεμογεννήτρια εξαρτάται από την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου. Η ταχύτητα απ' την άλλη, εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, όπως η τοποθεσία, την απόσταση της ανεμογεννήτριας από την έδαφος, και τα κοντινά εμπόδια. Ιδανικά, πριν προχωρήσει κάποιος στην εγκατάσταση θα πρέπει να ζητήσει ανεμολογικά δεδομένα για ένα χρόνο για τη συγκεκριμένη τοποθεσία από ειδική υπηρεσία. Στην πράξη, αυτό μπορεί να είναι δύσκολο, ακριβό και χρονοβόρο. Γι' αυτό, αν κάποιος εξετάζει την εγκατάσταση μιας οικιακής ανεμογεννήτριας με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρισμού, συνιστάται να προχωρήσει αν υπάρχουν οι παρακάτω συνθήκες:

- Ο τοπικός ετήσιος μέσος όρος της ταχύτητας του ανέμου είναι 6 m/s ή περισσότερο.
- Δεν υπάρχουν σημαντικά γειτονικά εμπόδια όπως κτίρια, δέντρα ή λόφοι που πιθανόν να μειώσουν την ταχύτητα του ανέμου ή να δημιουργήσουν στροβιλισμούς.

Πρέπει επίσης να εξετασθούν θέματα οπτικής όχλησης, θορύβου και συντήρησης. Η εγκατάσταση του συστήματος συνήθως απαιτεί άδεια από τις τοπικές αρχές, έτσι τα παραπάνω θέματα θα πρέπει να έχουν λυθεί πριν την αίτηση για την άδεια εγκατάστασης.

## 4.5 ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ

Ο συμβατικός τρόπος κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών Αναγκών είναι η αγορά ηλεκτρισμού από το δίκτυο ή η καύση κάποιου καυσίμου (σε λέβητα, κλίβανο, κλπ) για την παραγωγή ενέργειας. Όμως, η ολική κατανάλωση καυσίμων μειώνεται σημαντικά εάν εφαρμοσθεί η τεχνολογία συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού.

### 4.5.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Η αρχή της συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ) είναι η βελτιωμένη απόδοση του καυσίμου. Η ίδια ποσότητα καυσίμου παράγει περισσότερη ενέργεια. Παράλληλα, λιγότερη ενέργεια χάνεται σε σύγκριση με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής αφού η παραγόμενη θερμότητα από την καύση για την παραγωγή ηλεκτρισμού δεσμεύεται και χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, νερού ή για ψύξη.

Με την βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση, η συμπαραγωγή βοηθά στην αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub>, αφού η περίσσεια θερμότητας από την παραγωγή ηλεκτρισμού χρησιμοποιείται απευθείας, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> μειώνονται γύρω στο 34% σε σύγκριση με τη συμβατική παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Στους συμβατικούς σταθμούς, περίπου το 35% του «ενεργειακού δυναμικού» του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό ενώ το υπόλοιπο χάνεται ως απορριπτόμενη θερμότητα. Ακόμα και οι πιο προωθημένες τεχνολογίες δεν μετατρέπουν πάνω από το 55% του καυσίμου σε χρήσιμη ενέργεια. Συγκριτικά, με την συμπαραγωγή επιτυγχάνεται μέχρι και 90% εξοικονόμηση ενέργειας που σημαίνει ότι μόνο ένα 10% από το καύσιμο που χρησιμοποιείται μετατρέπεται σε απώλεια ενέργειας.[23]

Τα πλεονεκτήματα της ΣΗΘ είναι προφανή. Γι' αυτό η Ευρωπαϊκή Ένωση και τα κράτη μέλη προτίθενται να αυξήσουν αξιοσημείωτα το ποσοστό της ΣΗΘ για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας τα επόμενα χρόνια.

Οι μονάδες συμπαραγωγής έχουν διαφορετικά μεγέθη που κυμαίνονται από ηλεκτρική ισχύ μικρότερη των 5 kWe (π. χ για μονοκατοικία) μέχρι 500 MWe (πχ για τηλεθέρμανση ή βιομηχανική συμπαραγωγή). Οι μονάδες μικρής ή πολύ μικρής ΣΗΘ

είναι αυτές που έχουν ισχύ εξόδου μέχρι 50 kWe ( Kilowatt-electric=1000W χωρητικότητας). Οι μονάδες παραγωγής βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση από το χρήστη, αφού κάτι τέτοιο μειώνει τις απώλειες δικτύου στο ελάχιστο και επιτρέπει στους παραγωγούς οικονομικό όφελος.

Σ' αυτήν την αποκεντρωμένη παραγωγή, πολλές φορές παράγεται περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από την απαιτούμενη. Η περίσσεια ηλεκτρισμού μπορεί να πουληθεί στο τοπικό δίκτυο ή να δοθεί σε άλλο πελάτη μέσω του συστήματος διανομής.

Ένας σταθμός ΣΗΘ αποτελείται από μια μονάδα ΣΗΘ και ένα λέβητα θέρμανσης ώστε να εξισορροπεί τις αιχμές στην ενεργειακή κατανάλωση τις πολύ κρύες μέρες ή ένα blackout ή μία τεχνική επισκευή.

Η ΣΗΘ μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλούς τρόπους. Ξενοδοχεία, εστιατόρια, σχολεία, νοσοκομεία, συγκροτήματα κατοικιών ή δημόσια κτίρια χρησιμοποιούν ήδη ΣΗΘ. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε υπάρχει ανάγκη θέρμανσης και ηλεκτρισμού. Κάθε ιδιοκτήτης θα πρέπει να αποτιμήσει τις ανάγκες του για θέρμανση και ηλεκτρισμό για να διαστασιολογήσει τη μονάδα σωστά ώστε να λειτουργεί οικονομικά. Τα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν, με την προσθήκη ενός ψύκτη, να παρέχουν ψύξη για συστήματα κλιματισμού όπως θέρμανση-τέτοια συστήματα ονομάζονται «τριπαραγωγής».

#### **4.5.2 Τεχνολογίες συμπαραγωγής**

Ένα εύρος τεχνολογιών μπορεί να εφαρμοστεί για τη συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Όλα τα σχήματα συμπαραγωγής περιλαμβάνουν μια γεννήτρια και σύστημα ανάκτησης θερμότητας. Οι περισσότερο γνωστές τεχνολογίες είναι ατμοστρόβιλοι, αεροστρόβιλοι, συνδυασμένου κύκλου (αέριο και ατμοστρόβιλοι), μηχανές Diesel and Otto. Τρεις άλλες τεχνολογίες εμφανίστηκαν πρόσφατα στην αγορά: Μικρό-στρόβιλοι, κυψέλες καυσίμου και μηχανές Stirling, οι οποίες χρησιμοποιούνται περισσότερο για συμπαραγωγή μικρής κλίμακας.

### **4.5.3 Ενσωμάτωση στα ενεργειακά συστήματα του κτιρίου**

Τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής τα οποία λειτουργούν σε σπίτια ή μικρές εμπορικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται βασικά για την κάλυψη θερμικών αναγκών έχοντας τον ηλεκτρισμό ως δεύτερο προϊόν. Εξ' αιτίας αυτού του μοντέλου λειτουργίας, συχνά παράγεται μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας απ' αυτήν που στιγμιαία είναι απαραίτητη.

Μέχρι σήμερα, τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής, είναι ελκυστικά στους καταναλωτές κι αυτό γιατί μέσω του συστήματος net metering πωλούν την περίσσεια ηλεκτρικού ρεύματος στην τοπική επιχείρηση ηλεκτρισμού. Ένα άλλο πλεονέκτημα του net metering είναι η ευκολία του στη χρήση. Ο ηλεκτρικός μετρητής του χρήστη μπορεί να καταγράφει την εξερχόμενη ενέργεια όπως και την εισερχόμενη. Έτσι, υπολογίζεται η καθαρή ενέργεια που εισέρχεται στο σπίτι.

Σε ένα δίκτυο όπου υπάρχουν λίγοι χρήστες συστημάτων μικρής συμπαραγωγής δεν χρειάζεται να γίνουν αλλαγές. Η μικρής κλίμακας συμπαραγωγή, για να είναι βιώσιμη σε οικιακές εφαρμογές, είναι απαραίτητο να είναι συμβατή με τις άλλες λειτουργικές παραμέτρους της κεντρικής θέρμανσης όπως τα επίπεδα ροής του νερού και τις θερμοκρασίες έτσι ώστε να μην απαιτείται η τοποθέτηση, για παράδειγμα μεγάλων δεξαμενών αποθήκευσης για θερμική απορρόφηση. Είναι επίσης σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη, ότι η μικρή συμπαραγωγή δεν ανταποκρίνεται καλά σε γρήγορους κύκλους ανοίγματος-κλεισίματος και ότι οι μηχανές είναι συνήθως σχεδιασμένες να καλύπτουν το 60% του φορτίου αιχμής. Αυτό μεγιστοποιεί τις χρήσιμες ώρες λειτουργίας κάτω από κατά μέσο όρο χειμερινές συνθήκες και κανονικά οδηγεί στην αύξηση των ετήσιων αναγκών που καλύπτονται από το βασικό σύστημα. Παρ' όλα αυτά, κάποιας μορφής πρόσθετη πηγή θερμότητας μπορεί να απαιτηθεί σε πολύ κρύες μέρες του χειμώνα ή όταν το σπίτι είναι ακατοίκητο για αρκετό καιρό και χρειάζεται γρήγορη θέρμανση.

### **4.5.4 Οικονομικά πλεονεκτήματα και εμπόδια**

Η οικονομική βιωσιμότητα της μικρής συμπαραγωγής εξαρτάται από την επένδυση κεφαλαίου (σε σύγκριση με ενός λέβητα αερίου) και από την αξία του ηλεκτρισμού που παράγεται από τη μονάδα. Για οποιοδήποτε δεδομένο σύστημα, λοιπόν, η

απόσβεση βασίζεται στις ώρες λειτουργίας και συνεπώς στις συνολικές kWh που παράγονται ετησίως.

Ένα από τα πιο σημαντικά πιθανά εμπόδια της μικρής συμπαραγωγής είναι η δυνατότητα σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο. Αν και είναι δυνατό να λειτουργούν τα συστήματα αυτά και απομονωμένα (με κατάλληλο σύστημα αποθήκευσης και ελέγχου) κάτι τέτοιο θα ελαχιστοποιούσε τα οικονομικά πλεονεκτήματα.

Τα οικιακά ηλεκτρικά φορτία είναι εξαιρετικά ασταθή με βάση γύρω στα 100 W, μέσο όρο στα 400-600W και φορτία αιχμής πάνω από 15-20kW. Η απλούστερη λύση γι' αυτό είναι η χρήση του δικτύου ως συστήματος εξισορρόπησης όπου θα εξάγεται η όποια περίσσεια ρεύματος και θα εισάγεται όποτε υπάρχει ανάγκη κάτι που είναι και η συνηθέστερη πρακτική.

#### **4.6 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ**

Η κυψέλη καυσίμου (fuel cell) είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή που μετατρέπει τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρισμό χωρίς τη μεσολάβηση της καύσης. Στη βασική της μορφή, λειτουργεί ως εξής: υδρογόνο και οξυγόνο αντιδρούν με την παρουσία ηλεκτρολύτη και παράγουν νερό, ενώ ταυτόχρονα Αναπτύσσεται ένα ηλεκτροχημικό δυναμικό που προκαλεί ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα (φορτίο). Καθώς η αντίδραση είναι εξώθερμη, παράγεται θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα.

Το απαιτούμενο υδρογόνο παράγεται από ορυκτά καύσιμα και συνήθως μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) που αποτελεί το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου. Ορισμένοι τύποι κυψελών μπορούν να λειτουργήσουν επίσης και με μονοξείδιο του άνθρακα ή υδρογονάνθρακες. Η συνήθης θερμοκρασία λειτουργίας τους (περίπου 200 °C) περιορίζει τη θερμοκρασία της ανακτώμενης θερμότητας. Υπάρχουν σήμερα τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής με θερμότητα που είναι διαθέσιμη σε θερμοκρασία 80-90 °C, αλλά και πειραματικές διατάξεις υψηλότερων θερμοκρασιών.

Οι κυψέλες καυσίμου είναι κατάλληλες για συμπαραγωγή στο βιομηχανικό και εμπορικό-κτιριακό τομέα (ιδιαίτερα σε συνδυασμό με το φυσικό αέριο).

Χάρη στον υψηλό βαθμό απόδοσης και τα καθαρά καύσιμα που χρησιμοποιούνται, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub> είναι κατά 10-100 φορές χαμηλότερες από εκείνες άλλων συστημάτων. Οι χαμηλές εκπομπές ρύπων και η χαμηλή στάθμη θορύβου κάνουν τις κυψέλες καυσίμου πιο κατάλληλες από άλλα συστήματα για εγκατάσταση και λειτουργία σε κατοικημένες περιοχές και σε κτίρια όπως ξενοδοχεία, νοσοκομεία, κ. λ. π.

#### **4.6.1 Αρχή Λειτουργίας**

Οι κυψέλες καυσίμων λειτουργούν παρόμοια με μια μπαταρία. Μπορούν να ταξινομηθούν βάσει του τύπου του ηλεκτρολύτη τον οποίο χρησιμοποιούν. Το πιο γνωστό είδος είναι η κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίου (**PEM**). Η δομή και η αρχή λειτουργίας του αντιπροσωπευτικού αυτού τύπου κυψέλης καυσίμου έχει ως εξής:

Δύο ηλεκτρόδια διαχωρίζονται από μία μεμβράνη η οποία έχει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Μεταξύ αυτής της πολυμερισμένης μεμβράνης και των ηλεκτροδίων υπάρχει ένα στρώμα καταλύτη. Συνοπτικά, η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρισμού περιγράφεται από τα παρακάτω επιμέρους στάδια.

Το υδρογόνο τροφοδοτεί την άνοδο της κυψέλης, το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια. Η άνοδος και ο καταλύτης είναι τέτοιας κατασκευής ώστε η διάχυση των ατόμων του υδρογόνου να γίνεται με ομογενή τρόπο. Τα ηλεκτρόνια τα οποία απελευθερώθηκαν μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την άνοδο δημιουργώντας ηλεκτρισμό αφού η μεμβράνη αποτρέπει τη διέλευση τους μέσω αυτής. Για αυτό το λόγο άνοδος και καταλύτης διαλέγονται αγωγίμα υλικά.

Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου (στην ουσία αναφερόμαστε σε μεμονωμένα πρωτόνια) διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτεί την κάθοδο, το θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, και παράγεται νερό. Όπως και πριν, την ομογενή διάχυση του οξυγόνου στον καταλύτη εξασφαλίζει η κατασκευή του ηλεκτροδίου. Ο καταλύτης αναλαμβάνει την επιτάχυνση της δημιουργίας του νερού από τα συστατικά του.



Στο σχηματισμό του νερού συμμετέχουν εκτός των μορίων του οξυγόνου και των ιόντων του υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύτηκαν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος στην κάθοδο, στην αρχή της διαδικασίας.

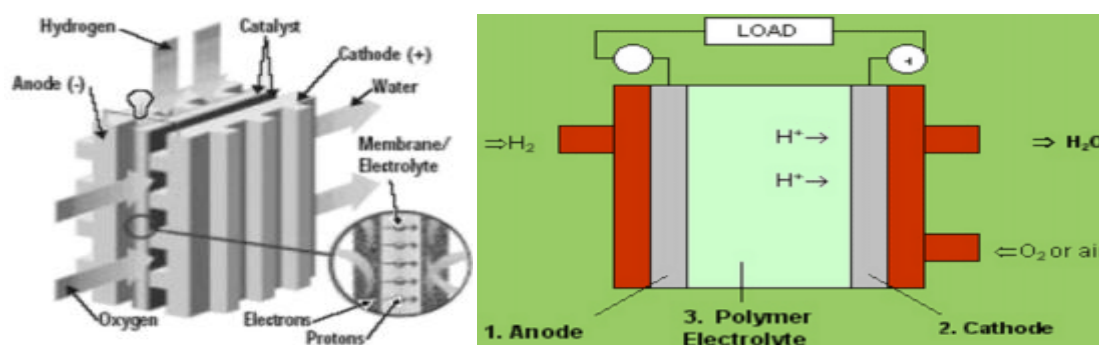
Τα δύο στρώματα (στηριζόμενου) καταλύτη χρησιμεύουν στην αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων διάσπασης του μορίου του υδρογόνου και της ένωσης υδρογόνου οξυγόνου για τη δημιουργία νερού, στην άνοδο και στην κάθοδο αντίστοιχα. Συνήθως αποτελείται από ένα πολύ λεπτό στρώμα λευκόχρυσου (Pt) πάνω σε επιφάνεια άνθρακα. Το στρώμα αυτό είναι και το μέρος του καταλύτη το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τη μεμβράνη. Ο καταλύτης είναι τραχύς και πορώδης ώστε να μεγιστοποιεί η εκτεθειμένη επιφάνεια του. Οι χημικές αντιδράσεις οι οποίες χαρακτηρίζουν τα παραπάνω βήματα, συνοψίζονται παρακάτω.

Στην άνοδο:  $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+$

Στην κάθοδο:  $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Ολική αντίδραση:  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Οι παραπάνω αντιδράσεις σε μία απλή κυψέλη καυσίμου παράγει περίπου στα 0, 7 Volts. Προκειμένου να παραχθούν μεγαλύτερες (και πρακτικά αξιοποιήσιμες) τάσεις, χρησιμοποιούνται περισσότερες κυψέλες σε σειρά (fuel cell stack). Τα κυριότερα μέρη της κυψέλης καυσίμου καθώς και μία ιδέα του τρόπου λειτουργίας τους παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα.



Εικόνα 4-3 μορφή και κυριότερα μέρη κυψέλης καυσίμου PEM

## **4.6.2 Είδη κυψελών καυσίμου**

### **4.6.2.1 Κυψέλη καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (PEM)**

Αυτές οι κυψέλες (κυψέλες καυσίμου ανταλλαγής πρωτονίων (proton exchange membrane fuel cells, PEM) λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και παράγουν ισχύ αρκετή για την εφαρμογή τους για την ικανοποίηση καθημερινών ενεργειακών Αναγκών, όπως αυτή για την κίνηση ενός οχήματος. Σε αυτό βοηθά η ικανότητα τους να προσαρμόζονται σε γρήγορες αυξομειώσεις στην απαίτηση ισχύος. Η ισχύς που παράγει μια τέτοια κυψέλη κυμαίνεται μεταξύ των 50 και 250 kW. Ο συγκεκριμένος τύπος κυψέλης είναι αρκετά ευαίσθητος σε μη καθαρά καύσιμα.

### **4.6.2.2 Κυψέλη καυσίμου τηγμένου άνθρακα (MCFC)**

Αυτές οι κυψέλες (molten carbonate fuel cells, MCFC) χρησιμοποιούν για ηλεκτρολύτη ενώσεις του άνθρακα με λίθιο, νάτριο και κάλιο σε υγρή μορφή εμποτισμένες σε κατάλληλο υλικό. Ενώ χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλά επίπεδα απόδοσης λόγω των θερμοκρασιών όπου λειτουργούν (περίπου 650 C) δεν προσφέρονται για καθημερινή χρήση. Ωστόσο, αυτή η υψηλή θερμοκρασία, η οποία απαιτείται προκειμένου ο ηλεκτρολύτης να γίνει ιοντικά αγωγίμος, επιτρέπει τη χρήση φτηνών καταλυτών αφού οι χημικοί δεσμοί καταστρέφονται και δημιουργούνται πολύ πιο εύκολα σε τέτοιες θερμοκρασίες. Η ίδια όμως υψηλή θερμοκρασία ευθύνεται για την αυξημένη διάβρωση και καταστροφή των μελών της κυψέλης. Ως καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, φυσικό αέριο, προπάνιο και άλλα. Η ισχύς η οποία χαρακτηρίζει αυτόν τον τύπο κυψέλης κυμαίνεται ανάλογα τη χρήση από 10 kW μέχρι και 2 MW.

### **4.6.2.3 Κυψέλη καυσίμου μεθανόλης (DMFC)**

Σε όλες τις παραπάνω κυψέλες ως καύσιμο χρησιμοποιείται το υδρογόνο. Ωστόσο, ο συγκεκριμένος τύπος κυψελών (direct methanol fuel cells, DMFC) χρησιμοποιεί ως καύσιμο μεθανόλη χωρίς να απαιτεί τη μετατροπή της σε υδρογόνο. Σε αυτή την περίπτωση η μεθανόλη είναι αυτή που οξειδώνεται στην άνοδο. Η κατηγορία αυτή είναι πιο πρόσφατη των κυψελίδων PEM με αρκετά ακόμα προβλήματα προς επίλυση όπως η μεγάλη ποσότητα καταλύτη που απαιτείται. Ωστόσο, εάν η συγκεκριμένη τεχνολογία επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί στη θέση των PEM κυψελών δε θα υπήρχε η ανάγκη αναζήτησης εναλλακτικών τρόπων αποθήκευσης του καυσίμου όπως

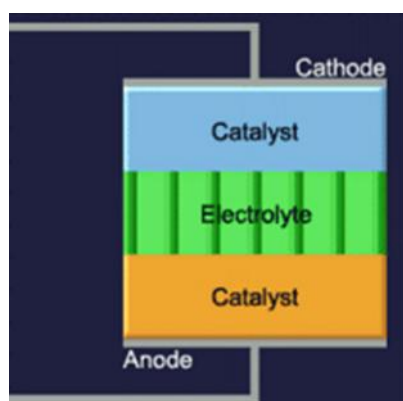
γίνεται στη δεύτερη περίπτωση με το υδρογόνο ενώ δε θα ήταν αναγκαία και η ανάπτυξη αναμορφωτών.

#### **4.6.2.4 Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC)**

Ο συγκεκριμένος τύπος κυψελών (solid oxide fuel cells, SOFC), όπως και ο προηγούμενος, ενδείκνυται για αυξημένες ενεργειακές ανάγκες, με απόδοση στο 60% και παραγόμενη ισχύ μέχρι και 100kW. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν συνήθως ως ηλεκτρολύτη ένα σκληρό κεραμικό υλικό στερεού οξειδίου ζirkονίου και μια μικρή ποσότητα νατρίου, αντί για ηλεκτρολύτη υγρής μορφής, επιτρέποντας έτσι θερμοκρασίες μέχρι και 1000 βαθμούς.

#### **4.6.2.5 Οι κυψέλες του τύπου PAFC**

Οι κυψέλες του τύπου φωσφορικού οξέος -PAFC, είναι από τις πιο προηγμένες τεχνολογικά και εμπορικά. Μπορούν να λειτουργούν σε υψηλή θερμοκρασία και ταιριάζουν έτσι με τις συνθήκες που επικρατούν συνήθως. Το φωσφορικό οξύ είναι σε υψηλή συγκέντρωση το οποίο ενώνεται με ένα τζελ που παίζει το ρόλο του καταλύτη.



Εικόνα 4-4 εσωτερική μορφή κυψέλης τύπου PAFC

Το PAFC θέλει ατμοσφαιρικό οξυγόνο και υδρογόνο σαν αέρια Αναγωγής. Υπάρχει όμως ένα μειονέκτημα. Το φωσφορικό οξύ χαλάει όταν η θερμοκρασία βρίσκεται κάτω από τους 42°. Τότε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ενεργειακή κυψέλη.

Η ενεργειακή κυψέλη στην πάνω μορφή αποτελείται από δύο ξεχωριστά τμήματα -- τους δύο καταλύτες-- ανάμεσα στα οποία υπάρχει ένας ηλεκτρολύτης (διάλυμα

υδροξειδίου του καλίου). Οι καταλύτες περιέχουν πλατίνα, για την διευκόλυνση των χημικών αντιδράσεων που ακολουθούν. Το τμήμα που εισάγεται το υδρογόνο θα αποτελέσει την άνοδο και στο τμήμα που εισάγεται το οξυγόνο θα αποτελεί την κάθοδο. Στους δύο πόλους συνδέεται η συσκευή που θέλουμε να λειτουργήσει.

#### **4.6.3 Πλεονεκτήματα**

- Ελάχιστες εκπομπές ρύπων. Προστασία της ατμόσφαιρας, φιλικός προς το περιβάλλον ηλεκτρισμός
- Οι κυψέλες δεν έχουν κινητά μέρη οπότε ήσυχη λειτουργία και μικρή συντήρηση.
- Μεγάλη απόδοση στην μετατροπή ηλεκτρισμού της τάξης του 40-65% άρα εξοικονόμηση ενέργειας.
- Προσαρμοζόμενος σχεδιασμός για εφαρμογές από watt μέχρι megawatt.
- Σαν αέριο ή υγρό, το υδρογόνο μπορεί εύκολα να μεταφερθεί, να φυλαχθεί και τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε εφαρμογή όπου χρησιμοποιούνται σήμερα τα καύσιμα.
- Κοστίζει λιγότερο για να μετακινηθεί το υδρογόνο σε άλλες ηπείρους ως συμπιεσμένο αέριο με τη βοήθεια σωλήνων, από ένα ίσο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας. Το υγρό υδρογόνο είναι η ασφαλέστερη και πιο οικονομική επιλογή για την κίνηση της ενέργειας από τους ωκεανούς.
- Το υδρογόνο είναι το πιο ασφαλές από όλα τα καύσιμα. Το αέριο υδρογόνο είναι 14 φορές ελαφρύτερο από τον αέρα και για αυτό διαχέεται ταχέως στην ατμόσφαιρα στην περίπτωση ενός ατυχήματος. Ενώ τα άλλα καύσιμα έχουν μεγάλο χρόνο επικινδυνότητας έως ότου αυτά ξεφύγουν από την θέση τους.

#### **4.6.4 Μειονεκτήματα**

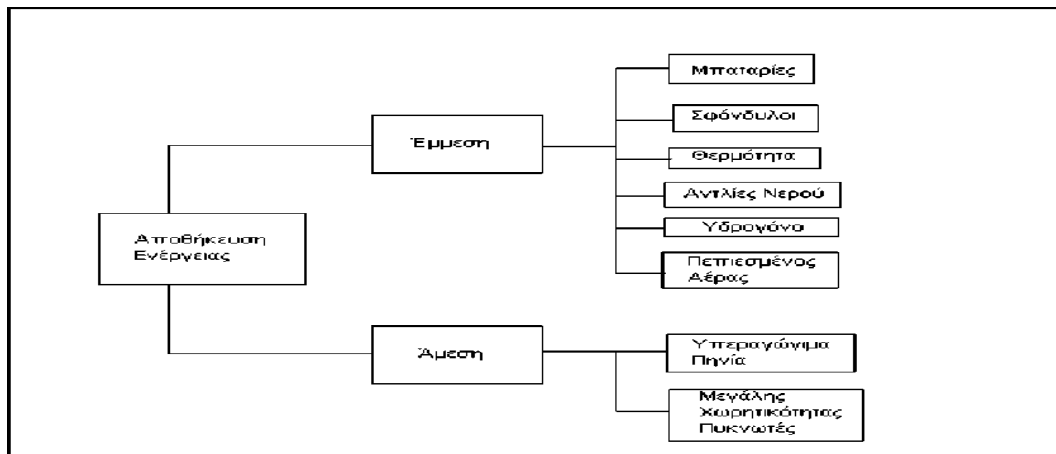
- "Πράσινος" κίνδυνος Η χρήση του υδρογόνου ως πηγή ενέργειας τις επόμενες δεκαετίες ίσως βλάψει σημαντικά το στρώμα του όζοντος. Η ερευνητικές ομάδες υποστηρίζουν ότι το υδρογόνο που διαρρέει στο περιβάλλον θα ανεβαίνει πολύ γρήγορα στη στρατόσφαιρα - το υδρογόνο είναι το πιο ελαφρύ στοιχείο - όπου θα αντιδρά με το οξυγόνο για το σχηματισμό νερού.

- Άγνωστες παράμετροι. Σύμφωνα με υπολογισμούς, η διαρροή από τις μονάδες παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής του καυσίμου θα αντιστοιχεί στο 20% της ολικής ποσότητας υδρογόνου.
- Τέλος ένα μεγάλο μειονέκτημα των κυψελών καυσίμου είναι το μεγάλο οικονομικό κόστος που συνεπάγεται η χρήση τους.

## 4.7 ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

### 4.7.1 Γενικά στοιχεία

Οι μονάδες αποθήκευσης έχουν πολύ σημαντικό ρόλο στα μικροδίκτυα, ειδικά στην αυτόνομη λειτουργία τους αφού υποκαθιστούν τις μονάδες παραγωγής. Η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί είτε με άμεσο είτε με έμμεσο τρόπο με τους τρόπους που φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 4-4 κατηγορίες μονάδων αποθήκευσης

Οι συσκευές άμεσης αποθήκευσης έχουν μεγαλύτερες αποδόσεις λόγω των λιγότερων μετατροπών ενέργειας και απαιτούνται λιγότερες συσκευές. Ανάλογα με το είδος της αποθηκευτικής μονάδας, ποικίλουν τα χαρακτηριστικά της και οι επιδόσεις της σε ένα ηλεκτρικό σύστημα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποια στοιχεία απόδοσης κάθε είδους μονάδων αποθήκευσης ενώ στην συνέχεια γίνεται Αναφορά στην δομή και σε κάποια βασικά γνωρίσματα καθενός από αυτά.

	Μέγιστα επίπεδα ισχύος	Χρόνος εκφόρτισης	Χρόνος Απόκριση	Απόδοση	Χρόνος Ζωής
Lead Acid	20MW	8 ώρες	<5msec	0.85	5 χρόνια
Σφόνδυλοι	750kW/1650kW	1 ώρα/3 - 120sec	<20msec	0.9/0.93	20 χρόνια
Ποικνωτές Μεγάλης Χωρητικότητας	100kW	10 sec	<5msec	0.9	10.000κυκλοι
Υπεραγωγία Πηνία	6-100MW	~ 5ώρες	<5msec	0.95	30 χρόνια
Πεπιεσμένος Αέρας	220M	μέρες	Sec-min	0.79	30 χρόνια
Αντλίες Νερού	4.000MW	~12 ώρες	min	0.87	30 χρόνια

Εικόνα 4-5 χαρακτηριστικά μεγέθη μονάδων αποθήκευσης

## 4.7.2 Είδη μονάδων αποθήκευσης

### 4.7.2.1 Μηχανές υψηλής στρεφόμενης αδράνειας – *Flywheel*

Οι μηχανές υψηλής στρεφόμενης αδράνειας (ή σφόνδυλοι) είναι ταχέως περιστρεφόμενοι δίσκοι ή κύλινδροι που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση κινητικής ενέργειας, που μετατρέπεται εύκολα σε ηλεκτρική με τη σύζευξη τους σε μια γεννήτρια. Η πρόσφατη ανάπτυξη της υπεραγωγίμης έδρασης, ελαττώνει την τριβή, που υπήρχε στα έδρανα στήριξης του σφονδύλου, με αποτέλεσμα να μπορεί να αποθηκευτεί ενέργεια της τάξης των 10kWh. Έχουν εύρος ισχύος από 40kW έως 1, 6MW, για 5 δευτερόλεπτα μέχρι 120 δευτερόλεπτα. Οι σφόνδυλοι όταν συνδυάζονται με γεννήτριες μπορούν και ικανοποιούν τις ανάγκες αιχμής ενός μικροδικτύου και τις διακυμάνσεις που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα παρεχόμενης ενέργειας. Είναι ιδανικοί για εφαρμογές που χρειάζονται ενέργεια σε διαστήματα από 5 δευτερόλεπτα έως 5 λεπτά.

### 4.7.2.2 Ποικνωτές μεγάλης χωρητικότητας – *Super Capacitors*

Είναι μεγάλης χωρητικότητας ηλεκτροχημικές συσκευές οι οποίες αποθηκεύουν ενέργεια με ηλεκτροστατικό τρόπο. Αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια που τοποθετούνται πολύ κοντά. Η αποθηκευμένη ενέργεια εξαρτάται από τις διαστάσεις της επιφάνειάς τους. Η αποθηκευμένη ενέργεια εμφανίζεται σαν ένα συνεχές πεδίο και απαιτείται ένας μετατροπέας για την διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης. Έχουν μεγάλο βάθος εκφόρτισης και μπορούν να ανταπεξέλθουν πολύ γρήγορα όταν υπάρχει εναλλαγή φορτίου σε ένα μικροδίκτυο. Αυτό γιατί μπορούν να ανταποδώσουν σημαντική ποσότητα ενέργειας σε μικρό χρόνο. Οι τιμές χωρητικότητάς τους είναι των εκατοντάδων Farad, αρκετές φορές μεγαλύτερες από τις συμβατικές μπαταρίες. Η απόδοσή τους είναι της τάξης του 85% με 98% σε

μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και υγρασίας. Υπάρχουν στο εμπόριο συσκευές της τάξης των 2 MVA και με δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας της τάξης των 400kJ.

#### **4.7.2.3 Υπεραγώγιμα πηνία**

Η μαγνητική ενέργεια αποθηκευμένη σε υπεραγώγιμα πηνία χρησιμοποιείται όταν χρειαζόμαστε μεγάλη ισχύ (της τάξης των MW) σε μικρό χρονικό διάστημα της τάξης των μερικών δευτερολέπτων. Η ενέργεια αποθηκεύεται σε έναν ηλεκτρομαγνήτη, που δημιουργείται από τη ροή συνεχούς ρεύματος σε ένα πηνίο από υπεραγώγιμα υλικά. Η δυναμική τους απόδοση είναι εξαιρετική, έχοντας πολύ μικρούς χρόνους ανταπόκρισης, λιγότερο από ms. Τα υπεραγώγιμα πηνία είναι περισσότερο κατάλληλα για εφαρμογές που η αποθηκευμένη ενέργεια απαιτείται για μερικά δευτερόλεπτα, με απαιτήσεις ισχύος 1 με 2 MW.

#### **4.7.2.4 Πεπιεσμένος αέρας – αντλίες – υδρογόνο**

Η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί στην μορφή πεπιεσμένου αέρα, αποθήκευσης νερού μέσω αντλιών ή παραγωγής υδρογόνου για τη χρήση σε κυψέλες καυσίμου. Ο πεπιεσμένος αέρας αποθηκεύεται και μετά χρησιμοποιείται μέσω ενός στροβίλου για την παραγωγή ενέργειας με ηλεκτρομηχανική μετατροπή. Με παρόμοιο έμμεσο τρόπο μπορεί να αποθηκεύεται νερό στην περίσσεια ενέργειας και μετά χρησιμοποιείται σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Το νερό αντλείται σε ταμιευτήρες υψηλότερης στάθμης και όταν χρειάζεται ενέργεια, οι κινητήρες άντλησης χρησιμοποιούνται ως γεννήτριες, παρέχοντας ισχύ στο μικροδίκτυο. Τέλος η ενέργεια μπορεί να είναι αποθηκευμένη στη μορφή καυσίμου για χρήση σε κυψέλες καυσίμου.

#### **4.7.2.5 Ηλεκτρικοί συσσωρευτές (Μπαταρίες)**

Οι μπαταρίες είναι συσκευές που αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια με ηλεκτροχημική μορφή. Τα κύρια συστατικά της εγκατάστασης είναι: μια συστοιχία μπαταριών, ένας εξοπλισμός ρύθμισης ισχύος και ο έλεγχος. Ενώ η μπαταρία σαν στοιχείο περιλαμβάνει τα παρακάτω τμήματα:

**Ενεργό Υλικό (Active Material):** Το ενεργό υλικό από τη θετική και την αρνητική πλάκα είναι ένας συνδυασμός υλικών τα οποία, είναι οι βασικοί συντελεστές της ηλεκτροχημικής αντίδρασης μέσα στην κυψελίδα.

**Ηλεκτρολύτης:** Ο ηλεκτρολύτης είναι το αγώγιμο μέσο που επιτρέπει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της ιοντικής ανταλλαγής ή της ανταλλαγής ηλεκτρονίων, επάνω στις πλάκες της κυψελίδας.

**Πλέγμα (Grid):** Σε μία μπαταρία μολύβδου, το πλέγμα συνήθως είναι ένα πλαίσιο από κράμα μολύβδου το οποίο υποστηρίζει το ενεργό υλικό επάνω στις πλάκες και είναι αγωγός ηλεκτρικού ρεύματος.

**Πλάκες (Plates):** Οι πλάκες, που συνίστανται από το πλέγμα και από το ενεργό υλικό, είναι το βασικό στοιχείο της μπαταρίας και συνήθως αναφέρονται ως ηλεκτρόδια.

**Διαχωριστής (Separator):** Ο διαχωριστής είναι ένα πορώδες απομονωτικό μέσο μεταξύ των πλακών της μπαταρίας που εμποδίζει την αγωγή επαφή μεταξύ θετικού και αρνητικού ηλεκτροδίου.

**Πόλοι ή Τερματικοί Πόλοι (Terminal Poles):** Οι πόλοι είναι οι εξωτερικές θετικές ή αρνητικές, ηλεκτρικές συνδέσεις της μπαταρίας. Ένα φορτίο ή ένα φωτοβολταϊκό σύστημα συνδέεται με τη μπαταρία μέσω των πόλων.

Ανάλογα με το χημικό που χρησιμοποιείται στην μπαταρία έχουμε τα παρακάτω είδη:

- Οι μπαταρίες οξειδίων μολύβδου
- Οι μπαταρίες Νικελίου καδμίου (Ni-Cd)
- Οι μπαταρίες Nickel - metal Hydride (NiMH)
- Οι μπαταρίες θεικού νάτριου (NaS)
- Οι μπαταρίες λιθίου (Li-Ion )
- Οι πολυμερείς μπαταρίες λιθίου





## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΣΚΕΥΕΣ DC ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ**

Στο παρόν κεφάλαιο μελετάμε τις παρούσες και της προς παραγωγή συσκευές που είναι σχεδιασμένες για σύνδεση σε ένα dc δίκτυο παροχής. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρουσιάζονται μόνο συσκευές που λειτουργούν σε dc περιβάλλον χωρίς να υπολογίζουμε την πληθώρα συσκευών που υπάρχουν σήμερα οι οποίες ουσιαστικά λειτουργούν με dc αλλά διαθέτουν εσωτερικό μετατροπέα ac-dc. Τέτοιες συσκευές μπορούν άνετα να ενσωματωθούν σε ένα dc σύστημα χωρίς ιδιαίτερη διεργασία .

### **5.1 ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΓΟΡΑ ΓΙΑ DC ΣΥΣΚΕΥΕΣ**

Η παρούσα αγορά σε συσκευές και εφαρμογές που λειτουργούν αποκλειστικά σε dc είναι ακόμη περιορισμένη. Όπως προαναφέραμε δεν λαμβάνουμε υπόψη συσκευές καθημερινής χρήσης οι οποίες διαθέτουν εσωτερικό μετατροπέα ac-dc. Τέτοιες συσκευές είναι εύκολο να ενσωματωθούν σε ένα dc δίκτυο και να συνδεθούν απευθείας με την παροχή. Θα ασχοληθούμε αρχικά με συσκευές οι οποίες είναι διαθέσιμες αυτή την στιγμή στις αγορές και η χρήση τους καλύπτει τρεις βασικούς τομείς κατανάλωσης σε ένα σπίτι : ψύξη-θέρμανση, φωτισμός και αποθήκευση τροφίμων (ψυγείο-καταψύκτης). Αυτές οι τρεις καταναλώσεις αποτελούν περίπου το 40% της συνολικής κατανάλωσης σε ένα σύγχρονο σπίτι. Και για αυτές τις τρεις συσκευές παρέχονται χαρακτηριστικά λειτουργίας, ανάλυση αγοράς αλλά και σύγκριση απόδοσης με τις αντίστοιχες συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για σύνδεση με ac δίκτυο.

#### **5.1.1 DC Μονάδες κλιματισμού (AC)**

##### **ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΓΟΡΑΣ**

Βασίζόμενοι σε έρευνα στο διαδίκτυο , βρεθήκαν τέσσερις εταιρίες που παράγουν dc κλιματιστικές μονάδες, κινητού και σταθερού τύπου. Οι όροι κινητού και σταθερού τύπου αναφέρονται στο περιβάλλον τοποθέτησης τους για το οποίο είναι σχεδιασμένες. Κινητού τύπου είναι οι κλιματιστικές μονάδες οι οποίες χρησιμοποιούνται σε αυτοκίνητα και αλλά οχήματα και πλοία, ενώ ακόμη αυτός ο τύπος μονάδας περιλαμβάνει και συσκευές που τοποθετούνται σε εγκαταστάσεις τηλεπικοινωνίας. Οι σταθερού τύπου μονάδες περιλαμβάνουν συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται σε οικιακές και μικρές εμπορικές εγκαταστάσεις. Έτσι έχουμε τις

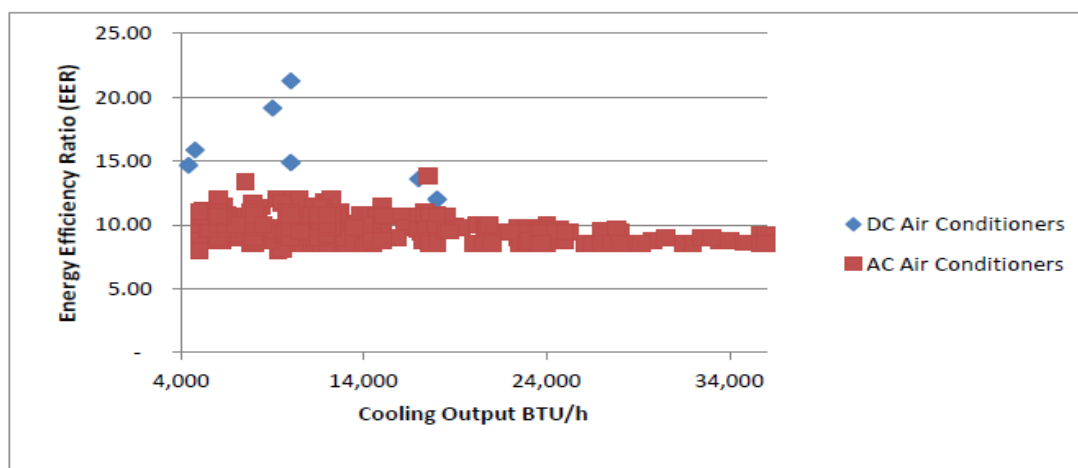
εταιρίες DC Airco και Dc Breeze οι οποίες κατασκευάζουν μικρές μονάδες κινητού τύπου με ισχύ μέχρι 5000Btu/hr . Εταιρίες όπως η SplitCool και η Securus παράγουν κλιματιστικά για οικιακή και εμπορική χρήση τα οποία φτάνουν μέχρι και τα 18000 Btu/hr , τα οποία διαφημίζονται ότι συνδυάζονται κατάλληλα με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά στοιχεία (χρησιμοποιώντας τέσσερα ή και παραπάνω στοιχεία 200w)

Κατασκευαστής	Εφαρμογή	Τάση λειτουργίας	Πηγή
DC Airco	Κινητή (οχήματα)	12V/24V	<a href="http://www.outdoorgb.com/p/12v_air_condit ioners/">http://www.outdoorgb.com/p/12v_air_condit ioners/</a>
DC Airco	Κινητή (επικ.)	24V/48V	<a href="http://www.dcairco.com">http://www.dcairco.com</a>
DC Breeze	Κινητή (πλοιάρια)	12V/24V	<a href="http://www.dcbreeze.com/specifications.htm">http://www.dcbreeze.com/specifications.htm</a>
SplitCool	Σταθερή	12V/48V	<a href="http://www.solarpanelsplus.com/dc-air-conditioning">http://www.solarpanelsplus.com/dc-air-conditioning</a>
SEcurus	Σταθερή	48V	<a href="http://www.austinsales.net/products/solcool/index.html">http://www.austinsales.net/products/solcool/index.html</a>

Πίνακας 5-1 κατασκευαστές DC κλιματιστικών

## ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε την ενεργειακή απόδοση dc κλιματιστικών μονάδων σε σχέση με ac υπάρχουσες μονάδες. Παρόλο που όπως είδαμε υπάρχουν πολύ λιγότερα dc μοντέλα, η απόδοσή τους είναι πολύ πιο καλή από τα αντίστοιχα ac. Αυτό οφείλεται σε πολλούς λόγους αλλά ο πιο σημαντικός είναι ότι επειδή η ανάπτυξη αυτών των προϊόντων συμβαδίζει με την ανάπτυξη και εξέλιξη της παραγωγής χρησιμοποιώντας καταναμημένες πηγές, σε περιπτώσεις είδαμε ότι κάποιες συσκευές διαφημίζονται σαν κατάλληλες για χρήση με ΑΠΕ, παραγωγή η οποία όσον αφορά το αρχικό κόστος εγκατάστασης δεν είναι φτηνή. Έτσι έχουν σχεδιαστεί να έχουν μεγάλη απόδοση ώστε να είναι πιο προσφιλές στους καταναλωτές. Όπως και να έχει η υψηλή τους απόδοση προέρχεται σε μεγάλο βαθμό και από τα εξελιγμένα και αποδοτικά συστήματα ηλεκτρονικών ισχύος που συνοδεύουν τέτοιες συσκευές.[18]



Εικόνα 5-1 διάγραμμα απόδοσης-BTU/h κλιματιστικών

Οι σύγχρονες κλιματιστικές μονάδες χρησιμοποιούν τεχνολογίες ψύξης –συμπίεσης υδρατμών(vapor-compression refrigeration),η οποίες απαιτούν αντλίες που κινούνται από κινητήρες. Οι κινητήρες μεταβλητών στροφών είναι πολύ πιο αποδοτικοί από τους αντίστοιχους σταθερών στροφών (30% περίπου καλύτερη απόδοση), διότι αντί να σταματούν και να ξεκινούν τον κινητήρα για την διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας ,δημιουργούν με την αυξομείωση των στροφών μια ισορροπία στην παραγωγή και στην ζήτηση, μειώνοντας έτσι την αυξημένη κατανάλωση ενέργειας του κινητήρα κατά την διάρκεια της εκκίνησης. Ο τυπικός κινητήρας μεταβλητών στροφών τροφοδοτείται με μεταβλητής συχνότητας εναλλασσόμενη τάση η οποία προέρχεται από σύστημα inverter που επιτελεί την διαδοχική μετατροπή ac-dc-ac ,στην ουσία όπως είχαμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο ο inverter είναι ένα σύστημα που λειτουργεί εσωτερικά με dc τάση, άρα μπορεί να γίνει εύκολα dc συσκευή. Οι πιο αποδοτικοί από του κινητήρες μεταβλητών στροφών χρησιμοποιούν dc κυκλώματα μονίμου μαγνήτη.

### 5.1.2 DC Φωτισμός ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΓΟΡΑΣ

Η αγορά λαμπτήρων και τεχνολογιών φωτισμού για dc παροχή περιλαμβάνει πολλές εταιρίες και μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων σε σχέση με αγορές για άλλες dc συσκευές. Αλλά και πάλι σε σχέση με τα αντίστοιχα προϊόντα για ac ο αριθμός παραμένει μικρός, τουλάχιστον στην πλειονότητα της αγοράς εκτός ίσως από την αγορά που σχετίζεται με τον φωτισμό εξωτερικών χώρων. Με βάση πάλι έρευνας στο διαδίκτυο βρεθήκαν έξι κυρίαρχες εταιρίες που παράγουν τεχνολογίες dc φωτισμού:

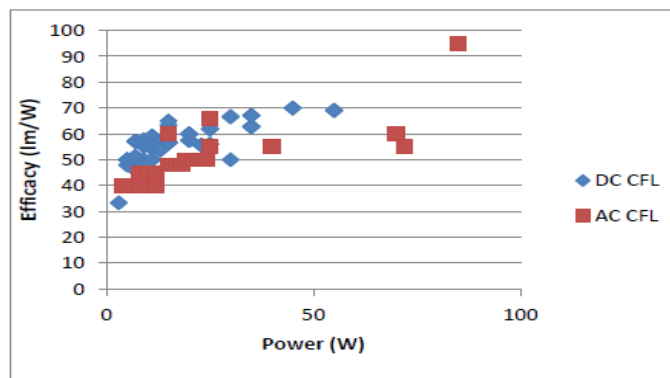
Ablamp, Nextek Power Systems, Phocos , Steca, Thin-Light και SunWize. Αυτές οι εταιρίες παράγουν προϊόντα όπως dc λαμπτήρες φθορισμού και συμπαγής λαμπτήρες φθορισμού(CFL),λαμπτήρες LED(light-emitting diode) για διάφορες εφαρμογές,DC ballast και φωτιστικά σχεδιασμένα για dc λαμπτήρες. Ενώ η τάση λειτουργίας αυτών των προϊόντων είναι είτε 12V είτε 24V είτε 48V.

Κατασκευαστής	Εφαρμογή	Προϊόν	Τάση λειτουργίας	Πηγή
Ablamp Ltd	Εσωτερικοί-εξωτερικοί οικιακοί	CFL Edison Socket lamps	12V	<a href="http://www.ablamp.com">http://www.ablamp.com</a>
Ablamp Ltd	Εσ. εξ. Εμπορικοί και οικιακοί	LED Edison socket and pin lamps	12V/24V	<a href="http://www.ablamp.com">http://www.ablamp.com</a>
Ablamp Ltd	Εξ.	LED floodlamp	12V/24V	<a href="http://www.ablamp.com">http://www.ablamp.com</a>
Ablamp Ltd	Εσ. Οικιακοί εμπορικοί οχήματα	T8-LED fixture, tube, source	12V	<a href="http://www.ablamp.com">http://www.ablamp.com</a>
Nextek Power Systems	Εσ. Εμπορικοί οικιακοί	Ballasts for T5, T8, and CFL lamps	24V/48V	<a href="http://www.nextekpower.com/power-shop/direct-current-ballasts.html">http://www.nextekpower.com/power-shop/direct-current-ballasts.html</a>
Phocos	Εσ. Εξ. Οικιακοί	CFL lamps	12V/24V	<a href="http://www.phocos.com">http://www.phocos.com</a>
Phocos	Εσ. Οικιακοί	LED lamp	12V	<a href="http://www.phocos.com">http://www.phocos.com</a>
Steca	Εσ. Οικιακοί	CFL floodlight	12V	<a href="http://www.altestore.com">http://www.altestore.com</a>
SunWize	Εξ.(πάρκα-πινακίδες κ.τ.λ.)	Fluorescent, CFL	12V/24V	<a href="http://www.sunwize.com">http://www.sunwize.com</a>
SunWize	Εξ. Οικιακοί	LED	12V/24V	<a href="http://www.sunwize.com">http://www.sunwize.com</a>
Thin-Lite	Εσ. Εξ. Οικιακοί εμπορικοί βιομηχανικοί	Fluorescent and CFL fixtures and ballasts	12V	<a href="http://www.thinlite.com">http://www.thinlite.com</a>
Thin-Lite	Εσ. Εξ.	Incandescent, halogen fixtures	12V	<a href="http://www.thinlite.com">http://www.thinlite.com</a>

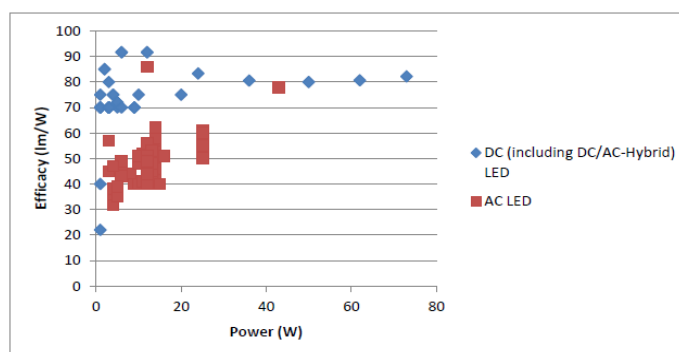
Πίνακας 5-2 κατασκευαστές DC λαμπτήρων

## ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

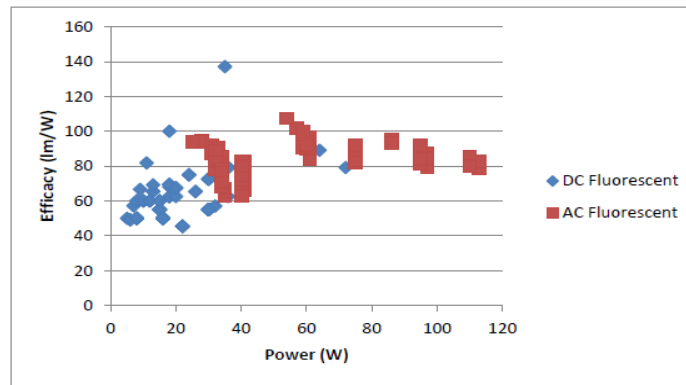
Στα παρακάτω διαγράμματα συγκρίνονται οι αποδόσεις των CFL,LED και DC λαμπτήρων φθορισμού με τα αντίστοιχα προϊόντα ac. Όπως και με τις κλιματιστικές μονάδες ,έτσι και εδώ η απόδοση των dc συσκευών είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των ac. Πιο συγκεκριμένα για τα CFL παρατηρούμε αυξημένη απόδοση της τάξεως του 10% για την ίδια κατανάλωση ενέργειας με την αντίστοιχη ac τεχνολογία. Για τα LED ,η αύξηση της απόδοσης είναι ακόμη μεγαλύτερη αν και εξαρτάται από την φωτεινότητα του συγκεκριμένου λαμπτήρα. Για τις άλλες μη συμπαγής λάμπες φθορισμού δεν μπορούμε να κάνουμε ακριβής σύγκριση διότι αντίστοιχο ac προϊόν με ίδια ενεργειακή κατανάλωση δεν είναι εύκολο να βρεθεί. Αξίζει να σημειωθεί ότι όσον αφορά τους λαμπτήρες πυρακτώσεως η διαφορά απόδοσης ανάμεσα σε dc και ac είναι ασήμαντη καθώς η τεχνολογία λειτουργίας των λαμπτήρων πυρακτώσεως δεν εξαρτάται από το είδος του ρεύματος. Πάντως οι λαμπτήρες πυρακτώσεως έχουν γενικά πολύ χαμηλότερη απόδοση από CFL ή LED και γενικά θα πρέπει να αποφευχθούν σε ένα dc δίκτυο.[27]



Εικόνα 5-2 διάγραμμα απόδοσης- W CFL λαμπτήρων



Εικόνα 5-3 διάγραμμα απόδοσης- W LED λαμπτήρων



Εικόνα5-4 διάγραμμα απόδοσης- W Fluorescent λαμπτήρων

### 5.1.3 DC Ψυγεία ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΓΟΡΑΣ

Στον επόμενο πίνακα έχουμε τους κύριους κατασκευαστές dc ψυγείων, τα επίπεδα τάση λειτουργίας για τον κάθε κατασκευαστή αλλά και το είδος του καταναλωτή που απευθύνεται κάθε προϊόν. Εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν οικίες, οχήματα πλοιαρία, ενώ τα προϊόντα χωρίζονται και πάλι σε κινητά (φορητά) και σταθερά ανάλογα με την εφαρμογή. Για μικρής ισχύς εφαρμογές όπως ένα μικρό ψυγείο ενός πλοιαρίου πολλές φορές προτιμούνται συσκευές που λειτουργούν με προπάνιο από αυτές που λειτουργούν με ρεύμα λόγω του υψηλού ρεύματος που αναπτύσσετε σε γραμμές μεταφοράς σε δίκτυα χαμηλής dc τάση, όπως 12V και 48V.

Κατασκευαστής	Εφαρμογή	Τάση λειτουργίας	Πηγή
Phocos	Οικιακές ιδανικά με pv στοιχεία	12V/24V	<a href="http://www.phocos.com">http://www.phocos.com</a>
Norcold	Φορητά	12V/24V	<a href="http://www.thetford.com">http://www.thetford.com</a>
Sun Frost	Οικιακά	12V/24V	<a href="http://www.sunfrost.com">http://www.sunfrost.com</a>
SunDanzer	Οικιακά φορητά	12V/24V	<a href="http://www.eco-distributing.com">http://www.eco-distributing.com</a>
Dometic	Οικιακά φορητά	12V/24V	<a href="http://www.dometic.com/enus/Americas/USA/Start">http://www.dometic.com/enus/Americas/USA/Start</a>

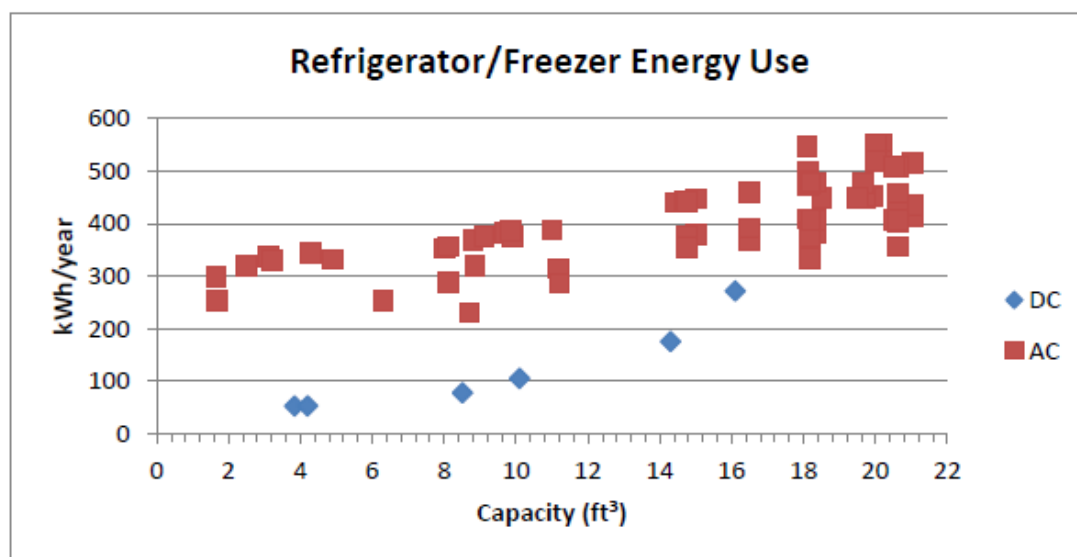
Πίνακας 5-3 κατασκευαστές DC ψυγείων

### ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

Η απόδοση μιας μονάδας διατήρησης τροφίμων εξαρτάται από δυο κύριους παράγοντες :την απόδοση του κινητήρα(compressor) και τη θερμική μονωτική ικανότητα της μονάδας. Όπως και με τα κλιματιστικά, λόγω αυξημένου αρχικού

κόστους εγκατάστασης μονάδων καταναμημένης παραγωγής, οι κατασκευαστές έχουν προτιμήσει τεχνολογίες μεγάλης απόδοσης. Όσον αφορά τους κινητήρες έχουμε πάλι χρήση των κινητήρων μεταβλητών στροφών μόνιμων μαγνητών. Παρόλο που πληροφορίες για τις ακριβείς τεχνολογίες που αξιοποιούνται σε αυτές τις συσκευές δεν είναι διαθέσιμες, το μοντέλο της Sun Frost χρησιμοποιεί κινητήρα μεταβλητών στροφών μοντέλου Danfoss BD35 και BD50 ανάλογα με την χωρητικότητα της μονάδας, ενώ ο συνδυασμός ψυγείου και καταψύκτη χρησιμοποιεί δυο κινητήρες (έναν για την κάθε συσκευή) επιτρέποντας έτσι στον κάθε ένα να λειτουργεί στο κατάλληλο σημείο λειτουργίας με την καλύτερη απόδοση.

Προκειμένου να γίνει σύγκριση απόδοσης ανάμεσα σε συσκευές dc με ac πάρθηκαν στοιχεία από τους κατασκευαστές. Στο επόμενο διάγραμμα συγκρίνονται μόνο συσκευές dc με συσκευές ac ίδιου μεγέθους (χωρητικότητας). Γενικά τα περισσότερα dc ψυγεία που υπάρχουν διαθέσιμα αυτήν την στιγμή στην αγορά είναι μικρότερου μεγέθους από τα καθημερινά οικιακά ψυγεία που χρησιμοποιούνται σε μια σύγχρονη κατοικία. Ακόμη η σύγκριση αφορά μόνο μονάδες που διαθέτουν και ψυγείο και καταψύκτη.[1]



Εικόνα 5-5 διάγραμμα χωρητικότητας- κατανάλωσης kWh/yr ψυγείων

Ενώ οι dc μονάδες είναι και πάλι πιο αποδοτικές από τις αντίστοιχες ac αξίζει να σημειωθεί ότι είναι πολύ πιο ακριβές. Αυτό οφείλεται στις εξελιγμένες τεχνολογίες μεγαλύτερης απόδοσης που αξιοποιούν τέτοιες συσκευές αλλά και στο γεγονός της περιορισμένης παραγωγής και ανταγωνισμού. Ενδεχομένως σε περαιτέρω άνοιγμα



της αγοράς θα έχουμε και ανάλογη πτώση τιμών .Στον παρακάτω πίνακα έχουμε σύγκριση ανάμεσα σε ορισμένα μοντέλα dc και ac ίδιας χωρητικότητας, όσον αφορά τις τιμές αλλά και την ενεργειακή κατανάλωση σε kWh/yr.

κατασκευαστής	Μοντέλο	AC/DC	Χωρητικότητα (ft3)	kWh/yr	Τιμή(\$)
Sun Frost	RF19	DC	16	272	3295
GE	GTH16BBX	AC	15.5	363	859
Sun Frost	RF16	DC	14	175	3210
Whirlpool	W5TXEWFV	AC	14.6	354	649

Πίνακας 5-5 σύγκριση τιμών AC-DC ψυγείων

#### 5.1.4 Άλλες συσκευές DC

Μια πληθώρα συσκευών είναι έπεισες διαθέσιμη στις σημερινές αγορές. Συσκευές όπως ανεμιστήρες, καφετιέρες, σεσουάρ, mixers και άλλες συνηθισμένες οικιακές συσκευές. Το μεγαλύτερο μέρος από αυτές έχει σχεδιαστεί για λειτουργία στα 12V και αυτό διότι προορίζονται για λειτουργία σε οχήματα με φόρτιση από την μπαταρία του αυτοκινήτου. Όπως αναφέρθηκε τέτοιου είδους συσκευές είναι εύκολο να επανασχεδιαστούν ώστε να ενσωματωθούν σε ένα dc οικιακό δίκτυο και να λειτουργούν σε υψηλότερα επίπεδα τάσης (24V ή 48V).

#### 5.2 ΠΡΟΣΕΧΗ DC ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΓΙΑ ΟΙΚΙΑΚΑ ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ

Οι dc συσκευές οι οποίες μελετούνται και έχουν προγραμματιστεί να εισέρθουν στις αγορές τα επόμενα χρόνια μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες :1)dc ηλεκτρονικές συσκευές σχεδιασμένες να λειτουργούν σε υβριδικά ac-dc δίκτυα και 2)ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα(EVs,PEVs) και σταθμοί φορτίσεως τους. Όπως έδειξαν όμως και οι παραπάνω αναφορές σε συσκευές ,ένα μεγάλο μείον αυτής της αγοράς είναι ότι ακόμη δεν υπάρχουν κάποιοι κανονισμοί όσον αφορά την λειτουργία και πιο συγκεκριμένα την τάση ενός dc δικτύου άρα οι συσκευές αυτές δεν έχουν σχεδιαστεί για κάποια συγκεκριμένα επίπεδα τάση. Λόγο αυτού του γεγονότος ο όγκος της παραγωγής dc συσκευών ωχριά μπροστά σε ac συσκευές.[10]

### **5.2.1 DC προϊόντα για υβριδικά ac-dc συστήματα**

Πολλές εταιρίες έχουν ασχοληθεί με αυτή την κατηγορία συσκευών καθώς είναι πιο πιθανό το σενάριο της υιοθέτησης ενός υβριδικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σε μια οικία. Αυτό το σύστημα προϋποθέτει την ύπαρξη δυο βασικών ζυγών σε ένα σπίτι, ο ένας ac και ο άλλος dc. Αυτοί οι ζυγοί θα συνδέονται μεταξύ τους με μετατροπέα ενώ στον κάθε ένα από αυτούς θα συνδέονται και τα κατάλληλα φορτία. Δηλαδή στον dc ζυγό θα μπορούν να συνδεθούν οι υπάρχοντες στην αγορά dc συσκευές καθώς και μονάδες καταναλωμένης παραγωγής που παράγουν συνεχές τάση και μονάδες αποθήκευσης. Ενώ στον ac ζυγό θα συνδέονται συσκευές οι οποίες μέχρι στιγμής δεν έχουν αντίστοιχο για dc ή το αντίστοιχο είναι πολύ πιο ακριβό. Μια λίστα από τέτοιες ανερχόμενες συσκευές (λειτουργία στα 24Vdc) αναφέρεται στην βιβλιογραφία. Τα ανερχόμενα αυτά προϊόντα μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες: προϊόντα εγκατάστασης (καλώδια, μπρίζες κ.τ.λ.), προϊόντα ισχύος (power supply modules), περιφερειακά (συσκευές) και ηλεκτρονικά προϊόντα χειρισμού (τηλεχειριστήρια, σένσορες κ.τ.λ.). Στους βασικούς κατασκευαστές περιλαμβάνονται οι εταιρίες Cooper Lighting , Finelite , Lunera Lighting, Nextek Power Systems, Northwire, OSRAM SYLVANIA, και ROAL Electronics.

### **5.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ DC ΠΡΟΪΟΝΤΑ**

Σε αυτό το σημείο θα μελετήσουμε ποιες από τις συσκευές καθημερινής χρήσης μπορούν να αξιοποιήσουν τεχνολογίες συμβατές με dc δίκτυα αλλά και τις επιπτώσεις υιοθέτησης τέτοιων τεχνολογιών όσον αφορά την απόδοση και γενικά την ενεργειακή κατανάλωση. Με σκοπό να καθορίσουμε την ενδεχόμενη εξοικονόμηση ενέργειας ενός συστήματος dc σε σχέση με ένα ac ,σε επίπεδο συσκευών, θα μελετήσουμε ξεχωριστά τις απώλειες και την εξοικονόμηση ενέργειας από την αξιοποίηση τεχνολογιών dc και από την αποφυγή της μετατροπής ac-dc. Τέτοιες τεχνολογίες περιλαμβάνουν ηλεκτρονικό φωτισμό, χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων και dc κινητήρων. Η μελέτη και αυτού του κομματιού είναι εξίσου ενδιαφέρον διότι όπως θα δούμε εκτός μόνο από την αποφυγή των απωλειών μετατροπής έχουμε και το όφελος χρήσης τεχνολογιών μεγάλης απόδοσης ,το οποίο έχει αποτέλεσμα παραπάνω οφέλη για τον καταναλωτή.

Σαν πρώτη φάση λοιπόν θα αναφέρουμε υπάρχουσες dc τεχνολογίες οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν σε οικιακές συσκευές και φορτία και θα αναφέρουμε τις

αναμενόμενες αποδόσεις από την μετάβαση από ac τεχνολογίες σε dc. Για τα φορτία αυτά υποθέτουμε ότι και οι συμβατικές συσκευές αλλά και οι dc συσκευές λειτουργούν σε ac δίκτυο. Αυτό διότι, προκειμένου να υπολογίσουμε το όφελος αξιοποίησης τεχνολογιών dc ,δεν αρκεί μόνο ο υπολογισμός της απόδοσης από πλευράς συσκευής αλλά και από την πλευρά του συστήματος παροχής, έτσι με την επιλογή συσκευών που λειτουργούν και οι δυο σε ac μικροδίκτυο δεν θα έχουμε την ανάγκη να υπολογίσουμε και απώλειες όπως γραμμών και μετατροπής dc-dc, έχοντας έτσι πιο ξεκάθαρα αποτελέσματα.

Σε δεύτερο στάδιο θα αναφερθούμε σε απώλειες μετατροπής για τα ίδια φορτία ,χωρίς να υπολογίσουμε και πάλι άλλου είδους απώλειες ώστε να δούμε και αυτό το κομμάτι εξοικονόμησης ενέργειας που προσφέρει ένα dc μικροδίκτυο.

### **5.3.1 Μελέτη τεχνολογιών**

Σε αυτό το στάδιο βλέπουμε φορτία τα οποία μπορούν να τροφοδοτηθούν με dc τάση χωρίς απώλειες ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα θα λάβουμε υπόψη υπάρχουσες και εφαρμόσιμες dc τεχνολογίες. Με τον όρο εφαρμόσιμες εννοούμε τεχνολογίες οι οποίες έχουν εφαρμοστεί ήδη σε προϊόντα τα οποία υπάρχουν στην αγορά. Σε περίπτωση πολλών διαφορετικών κατασκευαστών για την ίδια συσκευή θα υπολογίσουμε μόνο τις αποδοτικότερες όσον αφορά την τεχνολογία.

Ενώ οποιαδήποτε συσκευή μπορεί να λειτουργήσει ,με την χρήση μετατροπέα dc-ac ,σε ένα dc δίκτυο δεν λαμβάνονται υπόψη τέτοιες περιπτώσεις λόγω των πρόσθετων απωλειών που δημιουργεί ο μετατροπέας. Έτσι θα μελετήσουμε συσκευές οι οποίες είτε δουλεύουν εσωτερικά (μετατροπή ac-dc) είτε αποκλειστικά με dc.

Προκειμένου να μπορούμε να κάνουμε πιο καλή σύγκριση, θα χωρίσουμε συσκευές (και τεχνολογίες) ανάλογα με την χρήση τους, δηλαδή το είδος της κατανάλωσης που καλύπτουν. Άρα έχουμε συσκευές και τεχνολογίες για :φωτισμό, θέρμανση, ψύξη, μηχανικές διεργασίες και υπολογιστές. Όπως φαίνετε στον παρακάτω πίνακα όλοι αυτοί οι τομείς μπορούν να εξυπηρετηθούν από dc τεχνολογίες είτε χωρίς διαφορά στην απόδοση είτε με μείωση απωλειών. Πιο συγκεκριμένα ,όλες οι υπάρχουσες τεχνολογίες φωτισμού σε κτήρια είναι είτε αδιάφορες σε σχέση με το είδος του ρεύματος (λαμπτήρες πυρακτώσεως) είτε μπορούν να λειτουργήσουν εσωτερικά με dc.(λαμπτήρες φθορισμού,LED). Αντίστοιχα ,η θέρμανση μπορεί να επιτευχτεί από “αδιάφορες” συσκευές αντιστάσεως ή από dc συσκευές τεχνολογίας αντλίας(dc

κινητήρες μεταβλητών στροφών λειτουργούν αντλίες θερμότητας σε αντιστοιχία με έναν αντίστροφο κύκλο ενός ψυγείου). Η ψύξη επιτυγχάνεται με dc ανεμιστήρες και κλιματιστικές μονάδες(dc κινητήρες μεταβλητών στροφών). Όλες οι συσκευές που επιτελούν μηχανικές εργασίες μπορούν να αξιοποιήσουν dc κινητήρες ενώ όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα λειτουργούν εσωτερικά με dc.[16]

Λειτουργία	Συσκευές	Συμβατική τεχνολογία	DC-εσ. αποδοτικότερη τεχνολογία
Φωτισμός	Πυρακτώσεως, φθορισμού,LED	Πυρακτώσεως	Ηλεκτρονική (φθορισμού-LED)
Θέρμανση	Θέρμανση μέσω ηλεκτρικής αντίστασης	Ηλεκτρική αντίσταση	Αντλίες για θέρμανση χώρων και νερού, κινητήρες DC μόνιμου μαγνήτη για λειτουργία VSD,ηλεκτρικές αντιστάσεις
Ψύξη	Κινητήρες που λειτουργούν, κομπρέσορες, αντλίες, ανεμιστήρες		DC κινητήρες μόνιμου μαγνήτη για λειτουργία vsd
Μηχανική λειτουργία	Κινητήρες	Επαγωγικοί κινητήρες, κομπρεσορες σταθερών στροφών ,αντλίες, ανεμιστήρες	DC κινητήρες μόνιμου μαγνήτη
υπολογιστές	Ηλεκτρονικά συστήματα	Ψηφιακά κυκλώματα	Ψηφιακά κυκλώματα

**Πίνακας 5-6 αντιστοιχία τεχνολογίας AC με αποδοτικότερη DC**

Στον επόμενο πίνακα βλέπουμε τα αναμενόμενα οφέλη από την αλλαγή υπάρχουσών τεχνολογιών σε αποδοτικότερες dc τεχνολογίες. Δεν αναφέρουμε τις συσκευές που μπορούν να λειτουργούν με τεχνολογία dc αλλά δεν προσφέρουν διαφορά στην απόδοση σε σχέση με αυτές με ac τεχνολογία.[13]

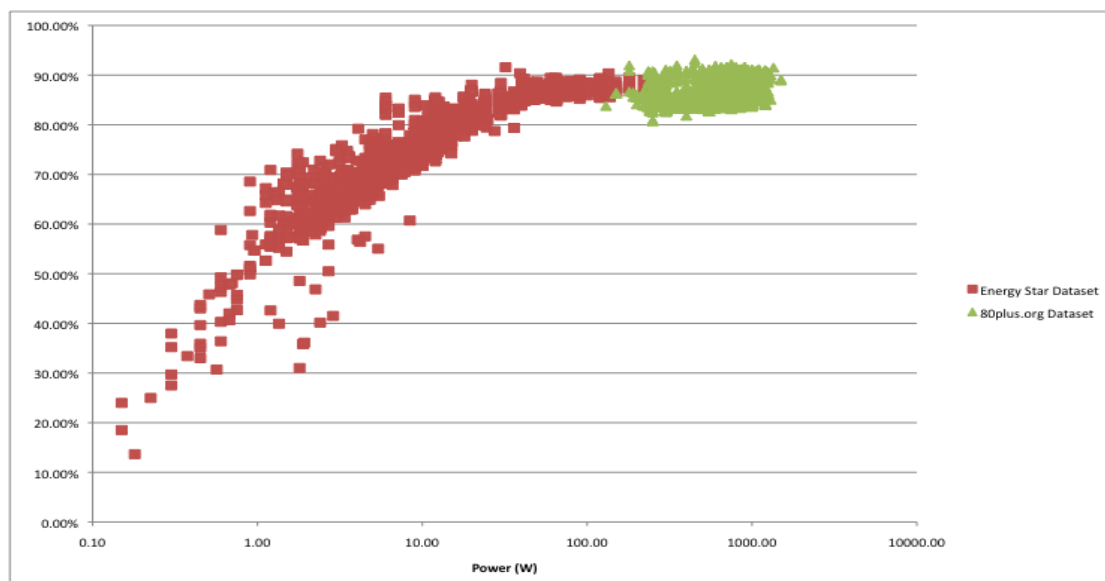
Συσκευή	Αποδοτικότερη dc τεχνολογία	Αναμενόμενη εξοικονόμηση ενέργειας
Κεντρική κλιματιστική μονάδα	DC Κινητήρες μόνιμου μαγνήτη για λειτουργία VSD και ανεμιστήρων	47%
Κλιματιστική μονάδα δωματίου	Κομπρεσορες μεταβλητών στροφών	35%
Φωτισμός-πυρακτώσεως	14LPW πυρακτώσεως σε CFL(ballast) στα 52LPW	73%
Φωτισμός-ανακλάσεως	15LPW πυρακτώσεως σε CFL(ballast) στα 52LPW	71%
Φωτισμός-Torchiere	14LPW πυρακτώσεως σε CFL(ballast) στα 52LPW	69%
Θερμοσίφωνας	Αντλία θερμότητας	50%
Ψυγεία	Κομπρεσορας μεταβλητών στροφών	53%
Ηλεκτρικό θερμαντικό σώμα	Αντλία θερμότητας	50%

Στεγνωτήριο	Αντλία θερμότητας	45%
Πλυντήριο πιάτων	DC κινητήρας	51%
Καταψύκτης	Dc συμπιεσoras	53%
Πλυντήριο ρούχων	BDCPM μεταβλητών στροφών	30%
Ανεμιστήρας οροφής	BDCPM μεταβλητών στροφών	30%
Ανεμιστήρες μαγειρέματος και βραστήρες	BDCPM μεταβλητών στροφών	30%
Ηλεκτρικές κουζίνες	Επαγωγικές εστίες	12%

Πίνακας 5-7 αναμενόμενη εξοικονόμηση ενέργειας από υιοθέτηση DC τεχνολογιών

### 5.3.2 Απόδοση AC-DC μετατροπής

Σε ένα dc μικροδίκτυο όπως προαναφέραμε ,δεν θα υπάρχει η ανάγκη για μετατροπή ac-dc στο εσωτερικό των dc συσκευών. Γλιτώνουμε έτσι ένα στάδιο μετατροπής. Παρόλα αυτά σε περίπτωση διασυνδεδεμένης λειτουργίας με το ac δίκτυο , π.χ. λόγω ενδεχόμενης μη ικανοποίησης του φορτίου από τις μονάδες καταναλωμένης παραγωγής του μικροδικτύου, θα έχουμε ένα στάδιο μετατροπής .Στο επόμενο διάγραμμα βλέπουμε τις αποδόσεις μετατροπής ac-dc για συσκευές που λειτουργούν εσωτερικά με dc ανάλογα με την ισχύ λειτουργίας της συσκευής. Παρουσιάζεται συγκεντρωτικό διάγραμμα για διάφορες συσκευές από διάφορους κατασκευαστές σύμφωνα με μελέτη αξιολόγησης από την Energy star και την 80plus.Αξίζει να σημειωθεί ότι η απόδοση της μετατροπής αυξάνει ανάλογα με την ισχύ λειτουργίας της συσκευής. Για συσκευές με μικρή κατανάλωση έχουμε μικρή απόδοση που φτάνει μέχρι τα 20% ενώ για συσκευές με μεγάλη ισχύ λειτουργίας έχουμε μετατροπείς με απόδοση έως και 94%. [19],[33]



Εικόνα 5-0-1 απόδοση μετατροπής AC-DC σε σχέση με την κατανάλωση της συσκευής

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες συνήθεις συσκευές σε σχέση με την απόδοση του μετατροπέα τους, σύμφωνα με τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο προηγούμενο διάγραμμα και παρουσιάζονται στην βιβλιογραφία. Η εξοικονόμηση λόγω απουσίας μετατροπής που παρουσιάζεται για κάθε συσκευή έχει υπολογιστεί με βάση την αξιοποίηση των πιο αποδοτικών τεχνολογιών dc. Έτσι π.χ. για τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, η αναμενόμενη εξοικονόμηση ενέργειας προέρχεται από την αποφυγή της μετατροπής ac-dc για χρήση λαμπτήρων φθορισμού. Για τις περισσότερες συσκευές ο υπολογισμός της εξοικονομούμενης ενέργειας είναι προφανής και εύκολος, για συσκευές όμως όπου έχουμε και standby ή low power λειτουργία χρησιμοποιήθηκαν πίνακες πληροφοριών από κατασκευαστές που παρουσιάζονται στην βιβλιογραφία.[4]

Συσκευή	dc-εσωτερική ισχύς λειτουργίας	Μέση απόδοση ac-dc μετατροπής	Εξοικονόμηση ενέργειας από αποφυγή μετατροπής ac-dc
Ανεμιστήρες οροφής	88	0.87	13%
Κεντρική μονάδα κλιματισμού	1900/6500/9200	0.89	11%
Πλυντήριο ρούχων	350-500	0,87	13%
καφετιέρα	900-1200	0.87	13%
τηλεόραση	45/100/147/175/286(on) 3/7(standy)	0.85	15%
DVD/VCR	20(on) 3/7(standby)	0.69	31%
Πλυντήριο πιάτων	1200-2400	0.88	12%
στεγνωτήριο	2790	0.89	11%
Ηλεκτρικές συσκευές εστίασης	Τοστιέρα:800-1400 Φούρνος:1220 Άλλες:200-1500	0.88	12%
Ηλεκτρική αντλία θερμότητας	1000-2000	0.88	12%
Διάφορες ηλεκτρικές συσκευές	CD Player:85 Ψηφιακό ρολοι:2 Σεσουσαρ:1200 Σιδερο:1100 Ηλεκτρική σκούπα: 630	0.87	13%
αερόθερμο	1500	0.89	11%
Άλλοι τύποι θερμαντικών σωμάτων	1000-2000	0.88	12%
Ηλεκτρικός θερμοσίφωνας	1000-2000	0.88	12%
καταψύκτης	540/700	0.87	13%
Σtereοφωνικό σύστημα	20(on) 3/7(standby)	0.79	21%
Φωτισμός-φθορισμού	11/16/20/30	0.79/0.81/0.82/0.84	18%
Φωτισμός-πυρακτώσεως	11/16/20/30	0.79/0.81/0.82/0.84	18%
Φωτισμός-reflecto	11/16/20/30	0.79/0.81/0.82/0.84	18%
Φωτισμός-torchiere	11/16/20/30	0.79/0.81/0.82/0.84	18%
Φούρνος μικροκυμάτων	750-1100	0.87	13%
Προσωπικός υπολογιστής και παρόμοια συστήματα	200(on) 20(standby)	0.8	20%
Επαναφορτιζόμενες ηλεκτρονικές συσκευές	10-20	0.8	20%
ψυγεία	380/420/600/800	0.87	13%
Κλιματιστικές μονάδες δωματίου	1000-1800	0.89	11%
Συστήματα security	20-30	0.83	17%
Ηλιακοί θερμοσίφωνες	1000-2000	0.88	12%

Πίνακας 5-8 εξοικονόμηση ενέργειας από αποφυγή μετατροπής για συνήθης συσκευές





## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ DC ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ**

Για να καταλάβουμε καλύτερα τα συστήματα dc από ενεργειακή και οικονομική πλευρά, σε αυτό το στάδιο θα ασχοληθούμε συνοπτικά με τα οικονομικά και ενεργειακά χαρακτηριστικά των διαθέσιμων πηγών ενός dc μικροδικτύου, των συστημάτων έλεγχου και διαχείρισης ενέργειας σε ένα οικιακό περιβάλλον και σε συστήματα ηλεκτρονικής φύσης τα οποία έχουν να κάνουν με την διανομή και τον χειρισμό της ενέργειας σε ένα dc περιβάλλον

### **6.1 ΠΑΡΟΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ DC ΚΑΙ ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ**

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τις πηγές πρώτα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα dc μικροσύστημα όπως παρουσιάστηκαν στο πρώτο κομμάτι της εργασίας. Στα πλαίσια ενός πιο οικολογικού και οικονομικού μικροδικτύου θα ασχοληθούμε με πηγές ανανεώσιμης ενέργειας.

Όσον αφορά τις πηγές ,παρόλο που οι ανεμογεννήτριες είναι το πιο συνηθισμένο μέσω παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές σε κλίμακα κεντρικού δικτύου, τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι αυτά τα οποία έχουν κυριαρχήσει όσον αφορά την παραγωγή από ΑΠΕ σε μεμονωμένες οικίες και εγκαταστάσεις. Σύμφωνα με έρευνες ,στις ηνωμένες πολιτείες Αμερικής ,για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ σε οικίες ,έχουμε φωτοβολταϊκά συστήματα σε ποσοστό 95% ,μικρά υδροηλεκτρικά σε ποσοστό 3% ενώ σε οικιακές ανεμογεννήτριες έχουμε ποσοστό 2%.[13]

Σε ένα καθεστώς net metering όλες αυτές οι πηγές θεωρούνται αδιάφορες από άποψη ac ή dc παραγωγής, αλλά με περεταίρω ανάπτυξη και θεμελίωση dc εγκαταστάσεων θα αρχίσει να γίνεται διαχωρισμός πάνω σε αυτή την βάση.

Στην συνέχεια παρουσιάζουμε τις υπάρχουσες τεχνολογίες και τα χαρακτηριστικά τους όσον αφορά την αγορά κυρίως για φωτοβολταϊκά συστήματα και λιγότερο για ανεμογεννήτριες και μικρό υδροηλεκτρικά ,λόγο ότι τα φωτοβολταϊκά θα συνεχίσουν να κυριαρχούν στην αγορά για το προσεχές μέλλον. Εκτός από τις προαναφερθέντες πηγές θα ασχοληθούμε και με τις κυψέλες καυσίμου, που παρόλο ότι δεν χαρακτηρίζονται σαν ΑΠΕ αποτελούν και αυτές μια συμπληρωματική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας για ένα μικροδίκτυο.

## 6.1.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα

### 6.1.1.1 Κατάσταση αγοράς

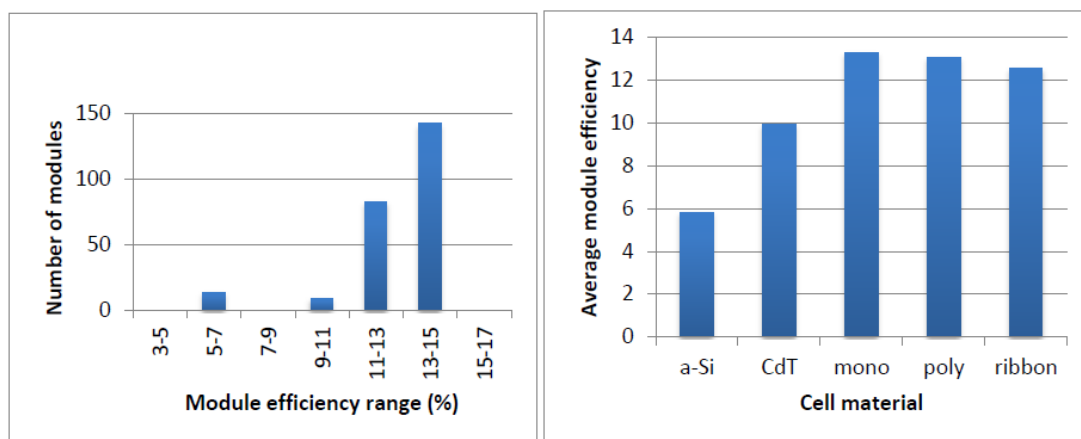
Στην βιβλιογραφία προσφέρονται οικονομικά δεδομένα για περισσότερα από 250 φωτοβολταϊκά προϊόντα από διάφορους κατασκευαστές. Η ενεργειακή παραγωγή των πάνελ που αναφέρονται στην βιβλιογραφία κυμαίνεται από 20w έως τα 380w, αλλά τα περισσότερα βρίσκονται ανάμεσα στα 150 με 250w. Η τάση λειτουργίας ξεκινάει από τα 11V μέχρι και τα 93V αλλά και πάλι τα περισσότερα συστήματα βρίσκονται ανάμεσα στα 30V με 50V. Όσον αφορά τις εταιρίες παραγωγής, στον επόμενο πίνακα βλέπουμε, σύμφωνα με τον όμιλο Forbes τους 10 κατασκευαστές για το 2014 που κατέχουν το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας αγοράς σε αντιστοιχία με το ποσοστό που κατέχει ο κάθε κατασκευαστής. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι 6 από τους 10 κατασκευαστές έχουν την έδρα τους και τις παραγωγικές τους εγκαταστάσεις στην Κίνα.[14]

Εταιρία	Ποσοστό	Εταιρία	Ποσοστό
Yingli(Κίνα)	8.2%	Renesola	4.5%
Trina Solar	6.7%	First Solar	4.2%
Sharp	5.4%	Hanwha Solar	3.3%
Canadian Solar	4.9%	JA Solar	3.2%
Jinko Solar	4.6	Kyocera	3.1%

Πίνακας 6-1 κύριοι κατασκευαστές φωτοβολταϊκών

### 6.1.1.2 Απόδοση πάνελ

Από τον ίδιο κατάλογο εξάγοντας τις αποδόσεις από διάφορα μοντέλα και κατασκευαστές έχουμε τα παρακάτω διαγράμματα, τα οποία παρουσιάζουν τις μέσες τιμές αποδόσεων των πάνελ σε σχέση με το είδος του υλικού του φωτοβολταϊκού-άμορφη σιλικόνη(amorphous silicon), τελλουριούχου καδμίου( cadmium telluride), μονοκρυσταλικά(monocrystalline), μονοκρυσταλικά(polycrystalline), φωτοβολταϊκά κορδέλας(gibbon). Όσον αφορά την απόδοση έχουμε πολύ μικρή αύξηση της με τα χρόνια με σχεδόν όλες τις τεχνολογίες να έχουν μια απόδοση που κυμαίνεται ανάμεσα στο 11-17%, ενώ σήμερα το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς των φωτοβολταϊκών αποτελούν τα φωτοβολταϊκά μονοκρυσταλικής και πολυκρυσταλικής σιλικόνης.[7]



Εικόνα 6-1 διαγράμματα απόδοσης φωτοβολταϊκών πάνελ

### 6.1.1.3 Διάρκεια ζωής και αξιοπιστία

Τα μονοκρυσταλικά και πολυκρυσταλικά φωτοβολταϊκά πάνελ σύμφωνα με τους κατασκευαστές έχουν ένα χρόνο ζωής που κυμαίνεται γύρω στα 35 χρόνια ενώ οι περισσότεροι κατασκευαστές προσφέρουν εγγύηση διάρκειας 25 χρονών. Αυτή η διάρκεια ζωής υπολογίζεται υποθέτοντας ότι κατά την λειτουργία του πάνελ η τάση κατά την μέγιστη παραγωγή ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη τάση που απαιτεί το φορτίο. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι εξαιρετικά ανθεκτικά σε υπεριώδης και υπέρυθρες ακτινοβολίες ,αν και σε τελική ανάλυση η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος επηρεάζεται από την διαφάνεια του γυαλιού του πάνελ ,καθώς και από τυχόν γρατζουνιές και διαβρώσεις του υλικού της κυψέλης. Τα παλιότερα μοντέλα φωτοβολταϊκών μπορούν ακόμη να χρησιμοποιηθούν για εγκαταστάσεις με μικρές απαιτήσεις ενώ σχεδόν όλα τα νέα μοντέλα πάνελ διαθέτουν εγκαταστάσεις υπόγειων καλωδίων(underground service entrance-USE-2) οδηγούς καλωδίων και πολλαπλούς ακροδέκτες ,καθώς και συστήματα προστασίας από υπεριώδεις ακτινοβολίες, υγρασία, και προστασία στις τριβές.

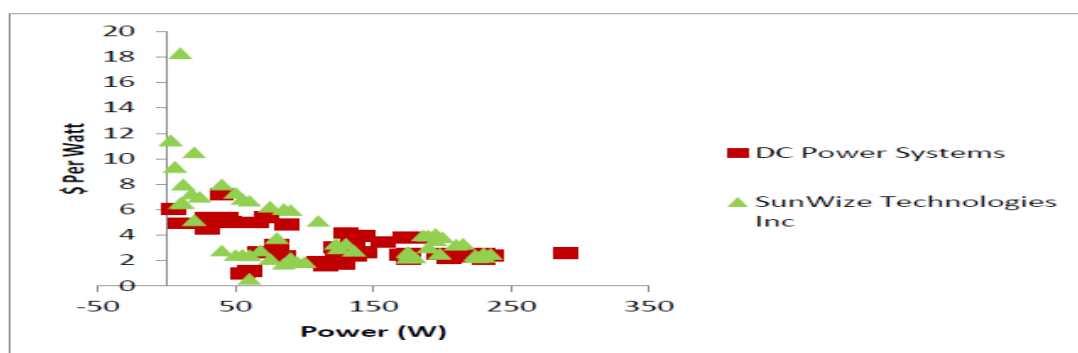
### 6.1.1.4 Τοποθέτηση και τράκτορες

Ενώ η πλειονότητα των πάνελ που εγκαθίστανται σε οικίες είναι τοποθετημένα απευθείας στις οροφές των κτιρίων, ή διαθέτουν σταθερούς άξονες και βάσεις στήριξης, υπάρχουν διαθέσιμοι στην αγορά τράκτορες μονού και διπλού άξονα, οι οποίοι είναι είτε αυτόματοι ή χειροκίνητοι. Από ότι έχει παρατηρηθεί σε πολλές εγκαταστάσεις οι χειροκίνητοι τράκτορες είναι πιο αξιόπιστοι σε σχέση με τους αυτόματους, ενώ οι σταθερές βάσεις αποτελούν την πιο αξιόπιστη λύση. Γενικά όσο πιο ψηλό το υψόμετρο της εγκατάστασης τόσο πιο μεγάλη γίνεται η ανάγκη για τράκτορες. Ηλεκτρονικά συστήματα ιχνηλατών(electronic maximum power point

tracking-MPPT) έχουν τώρα πια ενσωματωθεί στους περισσότερους inverters γεγονός το οποίο προσφέρει μεγαλύτερες αποδόσεις από την χειροκίνητη μέθοδο. Άλλη μια τάση σήμερα για τις οικιακές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις είναι η τοποθέτηση φυτευτών βάσεων στις οροφές του κτιρίου. Γενικά ο χρόνος ζωής ενός συστήματος στήριξης κυμαίνεται ανάμεσα στα 35 με 50 χρόνια.[12]

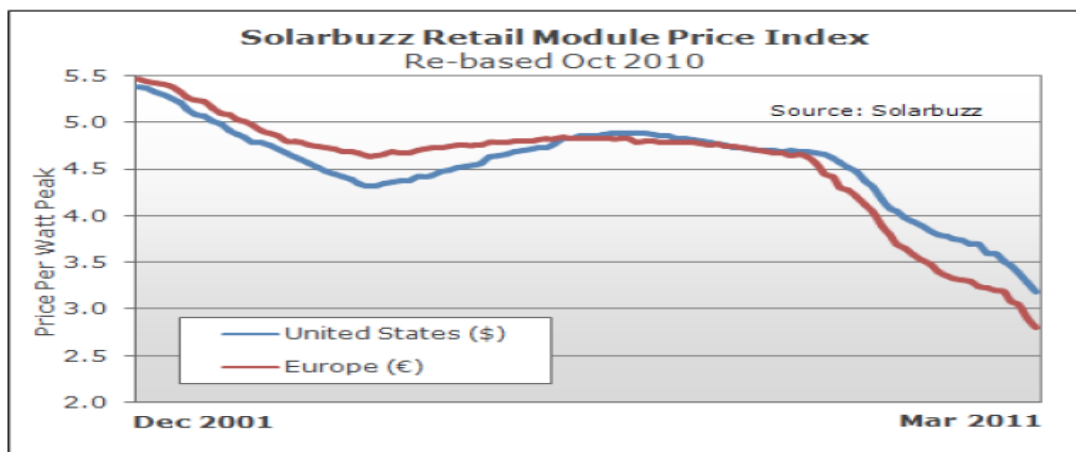
#### 6.1.1.5 Τιμές πάνελ

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε τις τιμές των πάνελ σε \$/W ,όπου σαν ενέργεια υπολογίζουμε την αποδιδόμενη και όχι την εγκατεστημένη. Οι τιμές αυτές είναι με βάση τους κατασκευαστές SunWize Technologies και DC Power Systems οι οποίες είναι αντιπροσωπευτικές για όλη την αγορά. Παρατηρούμε ότι η τιμή ανά Watt είναι αντιστρόφως ανάλογη με το μέγεθος της εγκατάστασης. Για εγκαταστάσεις με αποδιδόμενη ενέργεια 150-250W έχουμε τιμές της τάξεως των 2,7\$/W



Εικόνα 6-2ενδεικτικό διάγραμμα τιμές ανά παραγόμενη ενέργεια πάνελ

Γενικά οι τιμές των φωτοβολταϊκών πάνελ έχουν πέσει αισθητά με τα χρόνια, όπως δείχνει και το παρακάτω διάγραμμα στο οποίο βλέπουμε την τιμή σε \$/W και €/W από το 2001 έως το 2011. Αυτή η πτώση τιμών οφείλεται στον αυξανόμενο ανταγωνισμό στην αγορά αλλά και στο γεγονός ότι έχουν μειωθεί τα έξοδα κατασκευής ειδικά μετά από την εισαγωγή κινέζικων εταιριών στο προσκήνιο, αλλά και με την προώθηση και μελέτη νέων τεχνολογιών (άμορφης σιλικόνης και κορδέλας) που έχουν ως στόχο την περαιτέρω μείωση του κόστους παραγωγής. [16]



Εικόνα 6-3 διάγραμμα μείωσης τιμής φωτοβολταϊκών πάνελ με την πάροδο των χρόνων

## 6.1.2 Ανεμογεννητριες

### 6.1.2.1 Κατάσταση αγοράς

Ενώ τις προηγούμενες δεκαετίες βλέπαμε μικρές ανεμογεννήτριες να έχουν αρχίσει να εντάσσονται σε οικιακές και εμπορικές εγκαταστάσεις, οι ευκαιρίες για περαιτέρω αύξηση του αριθμού των εγκαταστάσεων σε κτίρια έχουν αρχίσει να μειώνονται ειδικά σε σχέση με φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. Η τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας σε ένα αστικό περιβάλλον είναι μια δύσκολη διαδικασία όχι μόνο από άποψη χώρου αλλά και απόδοσης καθώς η ροή του ανέμου περιορίζεται από τα διπλανά κτίρια ενώ ο θόρυβος και οι ταλαντεύσεις των ανεμογεννητριών δημιουργούν περαιτέρω προβλήματα. Παρόλο που μεγάλες ανεμογεννήτριες μπορούν να τοποθετηθούν σε μεγάλα και ψηλά κτίρια (ουρανοξύστες) χωρίς να παρουσιάζουν τα εμπόδια που θα είχαν για μικρότερες εγκαταστάσεις, στην σημαντική αύξηση του αριθμού των ανεμογεννητριών σε κτιριακές εγκαταστάσεις θα συμβάλει η ανάπτυξη των λεγόμενων μικροτουρμπίνων. Από τις εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών που υπάρχουν σήμερα σχεδόν οι μισές βρίσκονται σε συνδεδεμένη λειτουργία με το κεντρικό δίκτυο ενώ οι άλλες μισές αξιοποιούνται σε μικροδίκτυα. Σύμφωνα με τον κατάλογο Home Power magazine's 2014 Wind Generator[79] που παρουσιάζεται στην βιβλιογραφία, έχουμε μια σύγκριση τιμών για ανεμογεννήτριες που είναι σχεδιασμένες για τοποθέτηση σε πύργους αλλά θα μπορούσαν να ενσωματωθούν και σε ένα οικιακό σύστημα. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζουμε κάποιες ενδεικτικές τιμές από διάφορες εταιρίες χωρίς να υπολογίζουμε το κόστος πύργου και εγκατάστασης. Ενώ μικρότερης χωρητικότητας συστήματα τείνουν να κοστίζουν περισσότερο ανά χωρητικότητα από τα μεγαλύτερα συστήματα οι τιμές παραμένουν πρακτικά ίδιες. Οι τυπικές ανεμογεννήτριες παράγουν ac ,το οποίο συνήθως

μετατρέπεται σε dc προς αποθήκευση σε μπαταρίες ,κυρίως για απομονωμένα συστήματα.

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Χωρητικότητα(kW)	Κόστος	Κόστος/W	Ιστοσελίδα
Kestrel	e300i	1.0	\$6,440	\$6.44	www.kestrelwind.co.za
Raum	Raum 1.3	1.3	\$3,650	\$2.81	www.raumenergy.com
Cascade Wind	ARE 110	2.5	\$12,650	\$5.06	www.cascadewindcorp.com
Kestrel	e400i	3.0	\$11,178	\$3.73	www.kestrelwind.co.za
Raum	Raum 3.5	3.5	\$7,000	\$2.00	www.raumenergy.com
Fortis	Montana	5.0	\$15,800	\$3.16	www.fortiswind.com
Cascade Wind	ARE 442	10.0	\$39,600	\$3.96	www.cascadewindcorp.com
Fortis	Alize	10.0	\$31,100	\$3.11	www.fortiswind.com
Bergey Windpower	Excel-S	24.0	\$29,500	\$1.23	www.bergey.com

Πίνακας 6-2 χαρακτηριστικά συνήθη μοντέλων ανεμογεννητριών

### 6.1.2.2 Διάρκεια ζωής

Όντας οι ανεμογεννήτριες μηχανές οι οποίες επιτελούν κινητικές διεργασίες ο αναμενόμενος χρόνος ζωής τους είναι μικρότερος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, γεγονός το οποίο φαίνεται και από την παρεχόμενη εγγύηση από τους κατασκευαστές. Ενώ στα φωτοβολταϊκά έχουμε εγγυήσεις 25 χρονών ,για τις ανεμογεννήτριες έχουμε συνήθως 5 χρόνια εγγύηση. Οι μηχανικές τους αυτές διεργασίες έχουν επίσης ως αποτέλεσμα αυξημένα κόστη συντήρησης .

### 6.1.3 Μικρά υδροηλεκτρικά

Ενώ τα μικρά υδροηλεκτρικά προσφέρουν μικρό κόστος εγκατάστασης σε κατάλληλες τοποθεσίες ,η αγορά και ο αριθμός των εγκαταστάσεων παραμένει μικρός. Αυτό είναι εύλογο καθώς για την πραγματοποίηση της εγκατάστασης απαιτείται να υπάρχει κοντά πηγή νερού σε ορισμένο υψόμετρο σε σχέση με τον στρόβιλο και ορισμένης ροής. Όπως και στις ανεμογεννήτριες η παραγόμενη τάση είναι ac.Μπορεί να μετασχηματιστεί σε dc ,είτε σε συνεχή ή μεταβλητή ac(ακατάλληλη για οικιακές εγκαταστάσεις). Σύμφωνα με τις κυρίαρχες απόψεις της βιομηχανίας ενέργειας ,ο μεγαλύτερος αριθμός μικρών υδροηλεκτρικών είναι σε απομονωμένες εγκαταστάσεις και ενδέχεται να μην μπορούν να ενσωματωθούν σε πλαίσια net metering.Λόγο της μικρής εφαρμογής τους και των χαρακτηριστικών τους τα μικρά υδροηλεκτρικά έχουν μικρές πιθανότητες να προσφέρουν στην ανάπτυξη ενός ευρύτερου dc δικτύου αλλά και μικροδικτύων.

#### **6.1.4 Κυψέλες καυσίμου**

Οι κυψέλες καυσίμου μετατρέπουν την χημική ενέργεια ενός καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια, δημιουργώντας dc τάση και θερμότητα. Σταθερές κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούνται σήμερα από νοσοκομεία, πανεπιστήμια και μεγάλα εμπορικά κτίρια, παρέχοντας back up παραγωγή ενέργειας. Κατά την λειτουργία, ένας μετατροπέας μεθανίου χρησιμοποιείται για να μετατρέψει φυσικό αέριο σε υδρογόνο, το οποίο αποτελεί το καύσιμο της κυψέλης. Όσον αφορά τον χαρακτηρισμό των κυψελών καυσίμου σαν ΑΠΕ ,συχνά αυτές παρουσιάζονται σαν μέρος του αποθηκευτικού συστήματος ενός δικτύου που τροφοδοτείται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο οποίο σύστημα η ενέργεια από τις πηγές χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό του υδρογόνου από το νερό ,το οποίο τροφοδοτεί στην συνέχεια την κυψέλη ώστε να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Το κόστος της εγκατάστασης παραμένει υψηλό, και αποτελεί το μεγαλύτερο εμπόδιο για περαιτέρω χρησιμοποίηση κυψελών προς την παραγωγή ενέργειας. Έτσι από την λογική της συνεισφοράς στην εξέλιξη ενός dc συστήματος, οι κυψέλες καυσίμου θα έχουν μικρή επίδραση για τα επόμενα χρόνια ,εκτός ίσως από την αξιοποίηση τους σαν μορφή back up με χρήση φυσικού αερίου.[6]

### **6.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ**

Σε αυτό το κομμάτι παρουσιάζονται τα συστήματα ισχύος που χρησιμοποιούνται σε υπάρχοντα ac οικιακά συστήματα και αυτά που μπορούν να ενσωματωθούν με ένα ενδεχόμενο dc μικροδίκτυο. Σε αυτά περιλαμβάνονται συστήματα inverter μονής και διπλής κατεύθυνσης(uni-bi-directional),dc-dc μετατροπής,MPPT,διακόπτες φορτίου και μπαταρίες. Το βάρος θα δοθεί σε αυτά τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν σε ένα dc δίκτυο ενώ τα υπόλοιπα θα αναφερθούν συνοπτικά.

#### **6.2.1 GRID-INTERACTIVE INVERTER**

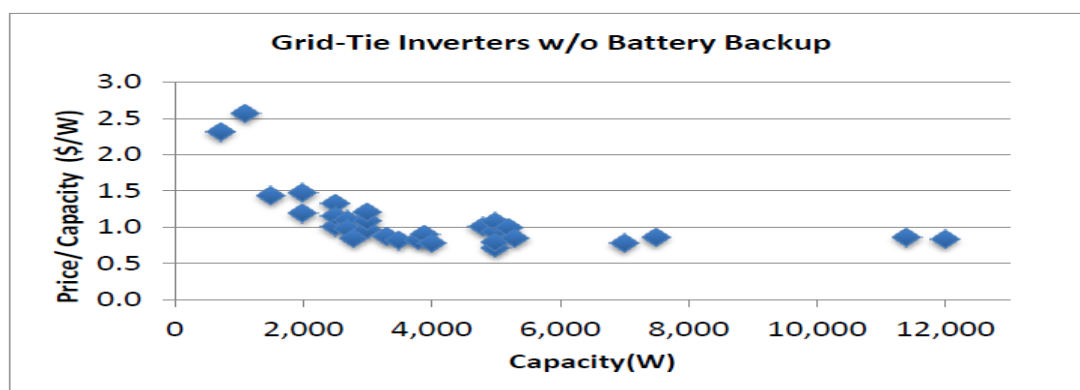
Αυτοί οι inverters μετατρέπουν την dc ισχύ που προέρχεται από τις πηγές του μικροδικτύου (φωτοβολταϊκά) σε ac συγχρονισμένη με το δίκτυο. Έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, οι σύγχρονοι inverters διαθέτουν συστήματα MPPT .Σαν διαχωρισμό στους inverters έχουμε αυτούς που έχουν σχεδιαστεί για διασυνδεδεμένη λειτουργία με το δίκτυο σε πλαίσιο net metering ,και είναι σχεδιασμένοι για λειτουργία σε συστήματα που είτε διαθέτουν αποθηκευτικές διατάξεις είτε όχι. Η τελευταία κατηγορία είναι και η πιο διαδεδομένη

,ενώ οι inverters που λειτουργούν διασυνδεδεμένα χωρίζονται περαιτέρω σε κεντρικούς inverters και micro-inverters.

### 6.2.2 INVERTERS χωρίς μπαταρίες

Συνήθως σε τέτοιου είδους περιπτώσεις έχουμε ένα κεντρικό inverter ο οποίος συνδέεται και ελέγχει την παραγωγή μιας ολόκληρης συστοιχίας φωτοβολταϊκών. Για την μείωση των απωλειών μεταφοράς αυτοί οι inverters έχουν σχεδιαστεί να δέχονται υψηλή τάση εισόδου. Μια άλλη μέθοδο για μείωση των απωλειών είναι η χρησιμοποίηση micro-inverters οι οποίοι συνδέονται σε κάθε πάνελ με σκοπό την ρύθμιση του κάθε πάνελ στο σημείο μέγιστης λειτουργίας. Όπως είπαμε οι κεντρικοί inverters δέχονται υψηλή τάση εισόδου (μέχρι 600VDC3) αλλά οι περισσότεροι κυμαίνονται σε τάσεις 120V/240VAC. Έτσι προσφέρουν στον καταναλωτή μεγάλη ποικιλία επιλογής πάνελ. Οι micro-inverters έχουν σχετικά μικρές τάσεις εισόδου αλλά είναι συμβατοί με τα περισσότερα πάνελ που κυκλοφορούν στην αγορά για οικιακές και εμπορικές εγκαταστάσεις. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των inverter διασυνδεδεμένης λειτουργίας είναι ότι όταν το σύστημα απομονωθεί παύουν να λειτουργούν.

Όσον αφορά τον χρόνο ζωής τους, ένας inverter αναμένεται να αντικατασταθεί τουλάχιστον μια φορά κατά τον χρόνο ζωής του φωτοβολταϊκού (25-30 χρόνια). Τα τελευταία χρόνια όμως οι κατασκευαστές έχουν αυξήσει τον χρόνο ζωής και προσφέρουν εγγυήσεις μέχρι και 15 χρόνια. Η τιμή τους σε \$/W φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, ενώ υπολογίζεται ότι το κόστος του inverter αποτελεί περίπου το 9% της συνολικής εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος.[1]



Εικόνα 6-1 διάγραμμα τιμής - ικανότητας μετατροπής inverter



Η μέγιστες αποδόσεις των inverters σύμφωνα με τους κατασκευαστές κυμαίνονται γύρω στο 98%.Αλλα σύμφωνα με έρευνες από την California Energy Commission η πραγματική τους απόδοση είναι 1-2% πιο κάτω από τιμή που αναφέρουν οι κατασκευαστές. Στην πράξη η απόδοση ενός inverter για χωρητικότητα 10kW κυμαίνεται ανάμεσα σε 84,5% με 98%. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η απόδοση των inverters πέφτει κατακόρυφα για μικρά φορτία.

### 6.2.3 INVERTERS με μπαταρία

Οι inverters σε συνδυασμό με αποθηκευτικές μονάδες μετατρέπουν την dc ισχύ που προέρχεται από μια μπαταρία ,ή κατευθείαν από ένα φωτοβολταϊκό σε ac ,και την κατευθύνουν προς τα φορτία ή το δίκτυο(net metering).Επιτελούν επίσης και την αντίθετη διαδικασία μετατρέποντας το ac του δικτύου σε dc προς φόρτιση των μπαταριών ,εξού και η αναφορά σε αυτούς σαν δυο κατευθύνσεων inverters(bi-directional).Έχουν συνήθως μικρή τάση εισόδου που κυμαίνεται στα 24 ή 48 VDC, έτσι ώστε να εναρμονίζονται με τις μπαταρίες. Σε περίπτωση απομονωμένης λειτουργίας δεν παύουν να λειτουργούν αλλά συνεχίζουν να τροφοδοτούν τα φορτία μέσω των μπαταριών. Ο χρόνος ζωής τους είναι αισθητά μικρότερος από τους παραπάνω inverters λόγω κυρίως ότι πρόκειται για πιο πολύπλοκα συστήματα με περισσότερα εξαρτήματα. Οι εγγυήσεις που προσφέρονται είναι ανάμεσα στα 2 με 5 χρόνια. Οι τιμές τους κυμαίνονται σε ίδια επίπεδα με τους inverters χωρίς μπαταρίες αλλά ένα τέτοιο σύστημα απαιτεί και άλλο εξοπλισμό ,όπως διακόπτες φορτίου, προστασίες γειώσεων και τις ίδιες τις μπαταρίες αρά το κόστος ανεβαίνει. Στον επόμενο πίνακα έχουμε κάποια τυπικά μοντέλα inverter που ανήκουν σε αυτήν τη κατηγορία με κάποια βασικά χαρακτηριστικά τους. Η απόδοση είναι σχετικά μικρότερη από τους άλλους inverters και κυμαίνεται κοντά στο 91%.

Κατασκευαστής	μοντέλο	Χωρητικότητα(kW)	Τιμή αγοράς(\$)	\$/kW
Outback Power	GTFX2524	2.5	2,369	0.95
Outback Power	GTFX3048	3.0	2,369	0.79
Outback Power	GTFX3524	3.5	2,569	0.73
Outback Power	GTFX3648	3.6	2,569	0.71
Schneider Electric	XW4024	4.0	3,250	0.81
Schneider Electric	XW4548	4.5	3,600	0.80
Schneider Electric	XW6048	6.0	4,500	0.75

Εικόνα 6-3 χαρακτηριστικά inverter χωρίς μπαταρίες

#### 6.2.4 DC-DC μετατροπείς

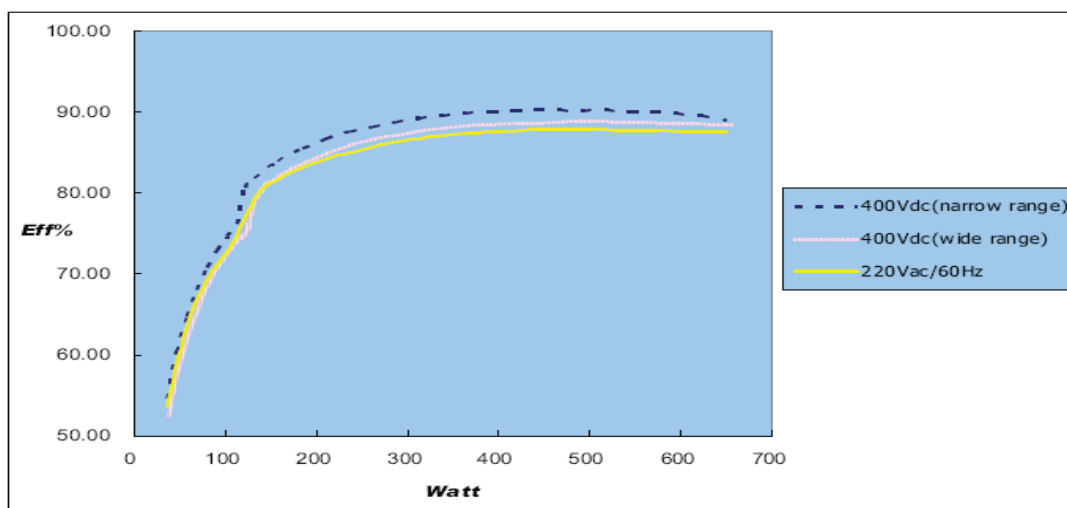
Οι dc-dc μετατροπείς είναι συσκευές που μετατρέπουν την dc ενέργεια από ένα επίπεδο τάσεις σε ένα άλλο και χρησιμοποιούνται σε συσκευές που αξιοποιούν ηλεκτρονικά κυκλώματα. Η κύρια λειτουργία ενός dc-dc μετατροπέα σε ένα dc μικροδίκτυο είναι η μετατροπή τάσεις στον κεντρικό ζυγό φορτίου από τα 380VDC στα 24VDC έτσι ώστε να τροφοδοτηθούν τα φορτία μικρής ισχύος. Αυτού του είδους μετατροπή σε επίπεδο εξέλιξης και μελέτης βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο αλλά ενδέχεται ανάπτυξη του στο εγγυήσι μέλλον.

Αυτοί οι μετατροπείς που υπάρχουν σήμερα στην αγορά έχουν κατασκευαστεί στην πλειοψηφία τους για παροχή σε συσκευές μικρής τάσεις και ισχύς εξόδου. Οι κατασκευαστές μετατροπέων για μεγαλύτερες τιμές τάσης εισόδου, που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα, προσφέρουν εγγύηση από 3 μέχρι 10 χρόνια. Θεωρητικά ένας τέτοιος μετατροπέας ο οποίος βρίσκεται σε ένα εξ ολοκλήρου dc περιβάλλον ενδέχεται να έχει αυξημένη διάρκεια ζωής. Όσον αφορά το κόστος μπορούμε να περιμένουμε ότι θα είναι αντίστοιχο με αντίστοιχα συστήματα ac ,μόλις αρχίσει να δημιουργείται μαζική παραγωγή. Πέρα από αυτό αναμένεται το κόστος να είναι χαμηλότερο λόγω της απλότητας της διάταξης που έχει ένας τέτοιος μετατροπέας σε αντιστοιχία με τα συστήματα ac. Αν το δούμε όμως με μια άλλη οπτική γωνία μπορούμε να υποθέσουμε ότι το κόστος εγκατάστασης μπορεί να είναι μεγαλύτερο λόγω ακριβότερων συστημάτων γείωσης και απομόνωσης που απαιτούνται σε τέτοια συστήματα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι κατασκευαστές dc-dc μετατροπέων με υψηλές τάσεις εισόδου οι οποίοι μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται σήμερα σε βιομηχανίες και στρατιωτικές εγκαταστάσεις και δεν προορίζονται ακόμη για οικιακά συστήματα.

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ισχύς(kW)	Τάση εισόδου(V)	Τάση εξόδου(V)	Απόδοση (%)	Ιστοσελίδα
Absopulse Electronics	BAP 5K	5.0	Min:24 Max:145	Min:12 Max:300	94	www.absopulse.com
Analytic Systems	VTC1000	1.0	Min:110 Max:360	Min:12 Max:48	85	www.analytic systems.com
Mean Well	SD-1000	1.0	Min:19 Max:72	Min:12 Max:48	92	www.meanwell.com
Schaefer Power	Series C / B 5200	5.0	Min:80 Max:800	Min:5 Max:400	95	www.schaeferpower.com
TDI Power	Mercury Series	0.8-4.3	Min:90 Max:300+	Min:12 Max:390	<93	www.tdi power.com

Πίνακας 1-5 χαρακτηριστικά DC-DC μετατροπέων

Η απόδοση των μετασχηματιστών dc-dc υποβιβασμού είναι εξαιρετικά αποδοτικές συσκευές με αποδώσεις οι οποίες κυμαίνονται στο 95%. Στο επόμενο διάγραμμα βλέπουμε την καμπύλη απόδοσης ενός υπάρχοντος μετασχηματιστή ισχύς 700W για διάφορες τιμές τάσης εισόδου ενώ οι αποδώσεις των μελλοντικών μοντέλων που μελετούνται ενδέχεται να είναι υψηλότερες.[1]



Εικόνα 6-4 απόδοση DC-DC μετατροπέων ανάWatt

### 6.2.5 MPPT

Το mppt είναι ένας μεγάλης απόδοσης μετασχηματιστής dc-dc ο οποίος ελέγχει και ρυθμίζει τα χαρακτηριστικά του φορτίου που «βλέπει» μια συστοιχία φωτοβολταϊκών έτσι ώστε αυτή να λειτουργεί στο σημείο μέγιστης λειτουργίας και έτσι να παράγει την μέγιστη ισχύ αλλά και μια συνεχή και σταθερή τάση που απαιτείται από το φορτίο. Στην παρούσα κατάσταση λόγω ότι η παραγωγή από φωτοβολταϊκά (η τάση εξόδου και η ισχύς) εξαρτάται από εξωτερικές συνθήκες (καιρός), η τάση εξόδου θα πρέπει να ρυθμίζεται ώστε να διασφαλίζεται η καλή ποιότητα ισχύος στο φορτίο. Το mppt λοιπόν επιτελεί αυτήν ακριβώς την λειτουργία και φροντίζει ώστε το φωτοβολταϊκό να παράγει την μέγιστη ισχύ του για κάθε κατάσταση του καιρού. Από την πλευρά του φωτοβολταϊκού το mppt αλλάζει την φαινόμενη αντίσταση ώστε να επιτευχτεί το μέγιστο σημείο λειτουργίας ενώ από την πλευρά του φορτίου παρέχει την απαιτούμενη τάση λειτουργίας. Σε ένα dc μικροδίκτυο η κύρια λειτουργία του mppt είναι να δέχεται την τάση από τις συστοιχίες φωτοβολταϊκών και να την μετασχηματίζει σε 380VDC και να την παρέχει στους ζυγούς της οικίας. Μια τέτοια

συσκευή δεν υπάρχει ακόμη στην αγορά αλλά βρίσκεται σε στάδιο μελέτης και ανάπτυξης.

Σήμερα mppts περιέχονται σε inverters διασυνδεδεμένης λειτουργίας χωρίς μπαταρίες (κεντρικούς και micro)και σε διακόπτες φορτίου. Πρόσφατα έχουν κατασκευαστεί mppt σαν αυτούσιες συσκευές για απευθείας σύνδεση με φωτοβολταϊκά στοιχεία. Αυτές οι συσκευές αναφέρονται σαν dc-dc optimizers και έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τους micro-inverters αν και έχουν απλούστερο σχεδιασμό. Έτσι υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από mppt στην αγορά με τάσεις εισόδου που κυμαίνονται από 12VDC έως και 600VDC ενώ η ισχύς κυμαίνεται από λίγα watts για dc-dc optimizers σε αρκετά kW για μεγάλους inverters.Οι τάσεις εξόδου βρίσκονται συνήθως ανάμεσα στα 12VDC με 48VDC,εξαρτώμενα από τα χαρακτηριστικά της αποθηκευτικής διάταξης του συστήματος.

Όσον αφορά την διάρκεια ζωής των mppt ,στις περισσότερες περιπτώσεις ενδέχεται να είναι μεγαλύτερη από τους περισσότερους inverters που λειτουργούν σε διασυνδεδεμένη λειτουργία. Οι περισσότεροι dc-dc optimizers προσφέρονται στην αγορά με εγγύηση 20-25 χρόνια. Η τιμή ενός mppt που προορίζεται για dc μικροδίκτυο ενδέχεται να είναι μικρότερη από το κόστος ενός ίδιου μεγέθους διακόπτη φορτίου λόγω του απλούστερου κυκλώματος του μετατροπέα. Στον επόμενο πίνακα έχουμε κάποιους κατασκευαστές με ορισμένα μοντέλα mppt και τα χαρακτηριστικά τους.[36]

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ισχύς εισόδου(W)	Μέγιστη τάση εισόδου (V)	Συνηθισμένη τάση εξόδου(V)	Μέγιστη απόδοση(%)
eIQ energy	Vboost 250	250	50	250-350	98.0
National Semiconductor	SM1230	230	100	89	98.5
Tigo Energy	MM-EP35	200	55	375	97.5
Tigo Energy	MM-ES170	300	170	variable	99.6
Xantrex	SunMizer	350	80	65	>99.0

Πίνακας 6-6 χαρακτηριστικά mppt ανά κατασκευαστή

### 6.2.6 Διακόπτες φορτίου

Οι διακόπτες φορτίου είναι συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται σε μπαταρίες και ρυθμίζουν το ρεύμα που προέρχεται ή πηγαίνει προς την μπαταρία. Έτσι ένας διακόπτης φορτίου με mppt εκτελεί τις λειτουργίες ενός mppt σε συνδυασμό με έλεγχο ρεύματος.

Τα χαρακτηριστικά του διακόπτη φορτίου είναι παρόμοια με έναν mppt, ενώ τα συνηθισμένα ρεύματα των μπαταριών που χρησιμοποιούν τέτοια συστήματα στην αγορά κυμαίνονται ανάμεσα στα 4.5 με 8.0Α. Ο χρόνος ζωής ενός υψηλής ποιότητας διακόπτη φορτίου είναι 16 με 25 χρόνια σε αντιστοιχία με τα περισσότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Αλλά σύμφωνα με παρατηρήσεις σε εγκαταστάσεις η διάρκεια ζωής είναι αρκετά μικρότερη για τους περισσότερους διακόπτες στο εμπόριο. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση βλάβης του διακόπτη φορτίου η μπαταρία καταστρέφεται άρα το κόστος βλάβης του διακόπτη ανεβαίνει αισθητά. Η απόδοση ενός διακόπτη υψηλών προδιαγραφών κυμαίνεται ανάμεσα στο 97 με 99%. Στον επόμενο πίνακα έχουμε τιμές και χαρακτηριστικά για τα συνήθη μοντέλα στην αγορά για διακόπτες φορτίου με mppt. [47]

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Μέγιστη τιμή ρεύματος εξόδου (A)	Μέγιστη τιμή τάσης εισόδου Voc(V)	Τιμή αγοράς(\$)
Apollo	T80	80	140	849
Apollo	T80HV	80	200	949
Morningstar	TriStar-MPPT-45	45	150	531
Morningstar	TriStar-MPPT-60	60	150	669
Morningstar	SunSaver	15	75	292
Outback	Flexmax-60	60	150	749
Outback	Flexmax-80	80	150	849

Πίνακας 6-7 χαρακτηριστικά διακοπτών φορτίου ανά κατασκευαστή

### 6.3 ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Τα αποθηκευτικά συστήματα για εγκαταστάσεις διασυνδεδεμένης λειτουργίας είναι συνήθως σχεδιασμένα για να παρέχουν ισχύ σε καίρια φορτία σε περίπτωση βλάβης του δικτύου. Στο μέλλον, εάν υπάρξει ακόμη μεγαλύτερη διείσδυση φωτοβολταϊκών στην αγορά, οι μπαταρίες μπορεί να αρχίσουν να αξιοποιούνται σαν ένας τρόπος αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας του δικτύου η οποία θα προέρχεται από την υψηλή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά. Οι μπαταρίες είναι η μόνη λύση για αποθήκευση ενέργειας σε μικροδίκτυα, εάν υπολογίσουμε και το αυξημένο κόστος των άλλων τεχνολογιών που προσφέρουν την ίδια υπηρεσία, εάν και συστήματα flywheels χρησιμοποιούνται σε κάποιους εγκαταστάσεις. Οι μπαταρίες τροφοδοτούνται μέσω ενός διακόπτη φορτίου από την φωτοβολταϊκή συστοιχία σε περιόδους πλεονάζοντος ενέργειας και με την σειρά τους τροφοδοτούν τα φορτία του συστήματος σε περιπτώσεις μη επαρκούς ισχύος από τις πηγές ή το κεντρικό δίκτυο. Πολλές πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες μπαταριών υπάρχουν στην

αγορά ,αλλά οι πιο διαδεδομένες είναι οι μπαταρίες τύπου μολύβδου-οξέος(lead-acid).

Αυτού του τύπου οι μπαταρίες αλλά και τα άλλα είδη τα οποία έχουν σχεδιαστεί για κατάλληλη λειτουργία με φωτοβολταϊκά ,έχουν συνήθη τάση 12V,24V ή 48V.Η τάση της μπαταρίας που επιλέγεται για μια εγκατάσταση εξαρτάται από τον υπόλοιπο εξοπλισμό που περιλαμβάνει η εγκατάσταση(inverter,διακόπτης φορτίου, πηγές παραγωγής) αλλά και το μέγεθος του αποθηκευτικού χώρου. Η μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας της μπαταρίας είναι Amp-hours.

Ο χρόνος ζωής μιας μπαταρίας μολύβδου-οξέος εξαρτάται κυρίως από την χρήση της μπαταρίας. Συχνές και ακαριαίες αποφορτίσεις, θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 75F και μη καλή συντήρηση μειώνουν αισθητά τον χρόνο ζωής της μπαταρίας. Επίσης διαφορετικές μπαταρίες από άποψη χαρακτηριστικών έχουν ως αποτέλεσμα διάφορους χρόνους ζωής. Κάποιες συνηθισμένες τιμές είναι 10 με 15 χρόνια

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τυπικές τιμές για μπαταρίες μολύβδου-οξέος που συναντάμε στην αγορά .Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές των μπαταριών δεν έχουν την ίδια διακύμανση σε σχέση με αυτές των φωτοβολταϊκών λόγω της ήδη ωριμότητας της αγοράς και των σταδίων ανάπτυξης των μπαταριών.[6]

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Τάση(V)	Χωρητικότητα(A-h)	Βάρος(lbs)	Τιμή αγοράς(\$)	Τιμή (\$/Whr)
Trojan	L16RE-A	6	325	115	445	0.23
Trojan	L16RE-B	6	370	118	505	0.23
Rolls	S-460	6	350	117	450	0.21
Rolls	S-530	6	400	125	497	0.21
East Penn	MK 8L-16	6	370	113	410	0.18

Πίνακας 6-8 χαρακτηριστικά συνήθων μοντέλων μπαταριών

Η απόδοση μιας μπαταρίας δεν ποικίλει μόνο λόγω τεχνολογίας αλλά αλλάζει ανάλογα με την κατάσταση της μπαταρίας. Γενικά για τις μπαταρίες μολύβδου-οξειδίου έχουμε βαθμούς απόδοσης που κυμαίνονται από 70-80%.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ**

### **7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάσαμε όλες τις συσκευές και τις διατάξεις που θα μπορούν να αξιοποιηθούν σε ένα dc μικροδίκτυο. Τις συσκευές που υπάρχουν σήμερα στην αγορά, τις συσκευές που είναι σε αρχικά στάδια παραγωγής αλλά και αυτές που βρίσκονται σε στάδιο μελέτης. Πέραν από τις συσκευές παρουσιάσαμε και όλες τις διατάξεις που έχουν να κάνουν με την διαχείριση και την λειτουργία γενικότερα ενός dc μικροδικτύου, είτε έχει να κάνει με τις αποθηκευτικές μονάδες, είτε έχει να κάνει με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που μπορούν να ενταθούν σε αυτό.

Βλέποντας τα μεγέθη και τα οικονομικά και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων που παρουσιάστηκαν μπορούμε να φτάσουμε στο συμπέρασμα εύκολα ότι όλες οι διατάξεις που σχετίζονται με την λειτουργία και εφαρμογή ενός dc μικροδικτύου αναμένεται να είναι πιο αποδοτικές σε σχέση με τις αντίστοιχες ac διατάξεις. Ακόμη και να μην λάβουμε υπόψη τις απώλειες μετατροπής που αποφεύγονται, μόνο από την αξιοποίηση των τεχνολογιών dc σε συσκευές και διατάξεις, ενδέχεται να έχουμε μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας σε οικιακό περιβάλλον αλλά και σε άποψη δικτύου και γενικής κρατικής οικονομίας (σε πρώτες ύλες προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και καλύτερη ένταξη ΑΠΕ στο δίκτυο).

Παρόλα αυτά η μελέτη αυτή δεν είναι πλήρης και δεν μπορούμε ακόμη να βγάλουμε ακριβή συμπεράσματα. Αν κοιτάξουμε τα οικονομικά δεδομένα που παρουσιάστηκαν βλέπουμε ότι η μετατροπή από ac σε dc σε ένα δίκτυο μιας οικίας, μαζί με ένταξη ΑΠΕ προς την δημιουργία ενός μικροδικτύου, είναι μια εξαιρετικά ακριβή επένδυση. Προς αυτήν την κατεύθυνση πρέπει να μελετήσουμε κατά πόσο αυτή η επένδυση θα αξίζει να γίνει, με βάση την ουσιαστική απόδοση που μπορεί να προσφέρει στον καταναλωτή και τον χρόνο αποπληρωμής της.

### **7.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ**

Ένας πρώτος προβληματισμός είναι ότι οι συσκευές που παρουσιάστηκαν, οι οποίες είναι διαθέσιμες σήμερα στην αγορά, δεν ενδείκνυνται στην πλειονότητα τους για οικιακή χρήση, με την έννοια της σταθερής κατοικίας. Πρόκειται για συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για χρήση σε περιβάλλοντα μικρότερων απαιτήσεων, όπως



τροχόσπιτα, πλοιάρια και παρόμοιες εγκαταστάσεις. Παρόλο που αναφέρθηκαν συσκευές με χωρητικότητες που θα μπορούσαν να λειτουργήσουν σε ένα οικιακό περιβάλλον ακόμη είναι λίγες και από οικονομικής πλευράς πολύ ακριβές. Πρέπει λοιπόν να μελετηθεί κατά πόσο η αγορά και η εγκατάσταση μιας τέτοιας συσκευής σε ένα σπίτι θα είναι συμφέρουσα σε σχέση με την εξοικονόμηση που προσφέρει.

Άλλος ένας παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι και το γεγονός ότι αυτές οι συσκευές που αναφέρθηκαν ,έχουν σχεδιαστεί για μικρές εγκαταστάσεις και έχουν μικρές τάσεις λειτουργίας. Αυτό σε μια οικία ενδέχεται να δημιουργήσει προβλήματα όσον αφορά τις απώλειες καλωδίων. Αυτό συνδυάζεται με το γεγονός της έλλειψης προτύπων και κανονισμών που έχουν να κάνουν με την εγκατάσταση και τη λειτουργία τέτοιων διατάξεων. Δεν έχει ακόμη θεσπιστεί τι τάση λειτουργίας και εγκατάστασης θα έχει ένα τέτοιο μικροδίκτυο, τι περιορισμούς καλωδίων, τι προστασίες γείωσης και τι όρια αντοχής.

Ένας άλλος προβληματισμός είναι επίσης το γεγονός ότι σε ένα οικιακό περιβάλλον δεν μπορείς να συγκρίνεις την απόδοση μόνο από τα τεχνικά χαρακτηριστικά αλλά πρέπει να λάβεις υπόψη και τον χρόνο λειτουργίας της κάθε συσκευής. Για παράδειγμα ,μέσω της αποφυγής μετατροπής στις ηλεκτρονικές συσκευές ενδέχεται να έχω εξοικονόμηση ενέργειας 13% σε κάθε συσκευή, αλλά αυτή η συσκευή σε ένα dc των 24V σύστημα δεν θα καταναλώνει το ίδιο ρεύμα με ένα ac σύστημα των 120V.Ακόμη μπορεί να μειώνεται η κατανάλωση ηλεκτρονικών συσκευών αλλά αυτές οι συσκευές έχουν πολύ μικρότερη ισχύ λειτουργίας και μπορεί να χρησιμοποιούνται πολύ μικρότερο χρόνο από μια ηλεκτρική κουζίνα η οποία είναι ac συσκευή.

Οπότε για την καλύτερη αξιολόγηση ενός dc μικροδικτύου σε σχέση με ένα ac δίκτυο το οποίο λειτουργεί σε συνδεδεμένη λειτουργία με το δίκτυο θα πρέπει να μελετήσουμε ποιες θα είναι οι καταναλώσεις σε κάθε περίπτωση και πως μεταφράζονται αυτές σε χρήματα.

Έτσι σαν πρώτη φάση συγκεντρώθηκαν τα φορτία και οι καταναλώσεις που υπάρχουν σε ένα συνηθισμένο σπίτι μιας τετραμελούς οικογένειας το οποίο βρίσκεται σε ένα αστικό περιβάλλον. Για κάθε συσκευή παρουσιάζονται ενδεικτικά η ισχύς λειτουργίας τους (σύμφωνα με τις υπάρχουσες συσκευές) και ο χρόνος λειτουργίας τους ανά ημέρα. Τα μεγέθη αυτά δεν είναι σε καμιά περίπτωση απόλυτα και

αποτελούν ενδεικτικά μεγέθη. Παραδείγματος χάρη στην παρακάτω μελέτη έχουμε χρήση του ηλιακού θερμοσίφωνα 1 ώρα ανά ημέρα για 6 μήνες. Σε κάποια νοικοκυριά έχουμε περισσότερη χρήση και σε κάποια αλλά λιγότερη. Ακόμη η ισχύς λειτουργίας ποικίλει, για μια τετραμελή οικογένεια απαιτείται θερμοσίφοντας με μεγάλη χωρητικότητα ενώ για μια οικογένεια με λιγότερα μέλη απαιτείται μικρότερη χωρητικότητα και έτσι μικρότερη ισχύς λειτουργίας ,αυτά τα φορτία τα οποία είναι καθαρά αντίστασης έχουν σταθερή κατανάλωση ενώ για τα φορτία όπου η κατανάλωση κυμαίνεται έχουμε λάβει υπόψη μέσες τιμές.

Ακόμη κρίνεται απαραίτητο να κάνουμε κάποιες υποθέσεις:

Θεωρούμε αποδώσεις για μετασχηματιστές (ac-dc,dc-ac) παρόμοιες και χρησιμοποιούμε τους πίνακες από το προηγούμενο κεφάλαιο.

Χωρίζουμε τις συσκευές σε αυτές που λειτουργούν εσωτερικά με dc και σε αυτές που λειτουργούν με ac,ενώ υπάρχει και η κατηγορία συσκευών οι οποίες που η λειτουργία τους είναι αδιάφορη ως προς το είδος (συσκευές που έχουν να κάνουν με θέρμανση χρησιμοποιώντας αντιστάσεις, και οι οποίες είναι εύκολο να ενταθούν είτε σε ac,είτε σε dc σύστημα)

Όσον αφορά τις ισχύς λειτουργίας των dc συσκευών ,επειδή δεν έχουμε ακόμη πραγματικά μεγέθη για όλες τις συσκευές που βρίσκονται σε στάδιο ανάπτυξης υποθέτουμε την αναμενόμενη ισχύς λειτουργίας με βάση την εξοικονόμηση ενέργειας από την αποφυγή μετατροπής ac-dc και από την χρήση τεχνολογιών.

Και έτσι έχουμε το παρακάτω πίνακα όπου βλέπουμε συγκεντρωμένα τα φορτία ενός σύγχρονου σπιτιού ,με τα χαρακτηριστικά μεγέθη που έχουμε υποθέσει, τάση λειτουργίας στο ac,είδος εσωτερικής λειτουργίας, μήκος καλωδίου , από το κεντρικό πίνακα μέχρι την συσκευή, τις απώλειες που προκύπτουν από μετατροπή είτε ac-d είτε dc-ac,το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας (ισχύς κατανάλωσης) με χρήση τεχνολογιών κατάλληλες για dc,και την λειτουργία ανά ημέρα της κάθε συσκευής.[4]

Συσκευή	Είδος τάσεις	Ισχύς στο ac(w)	Μήκος καλωδίων	Απώλειες μετατροπής AC-DC, DC-AC (%)	Εξοικονόμηση με χρήση dc τεχνολογιών (%)	Ώρες λειτουργίας ανά ημέρα
Ηλεκτρικός φούρνος	AC	2000	20	12	12	1
Μεγάλο μάτι	DC	2000	20	12	12	1
2 μεσαία μάτια	DC	2×1000	20	12	12	1
Μικρό μάτι	DC	500	20	12	12	1
Φούρνος μικροκυμάτων	DC	1000	20	12	-	0,5
Τοστιέρα	Αδιάφ.	750	20	13	30	0,1
Φρυγανιέρα	Αδιάφ.	900	20	12	30	0,1
Βραστήρας	Αδιάφ.	1500	20	12	30	0,2
Καφετιέρα	Αδιάφ.	1000	20	13	30	0,5
Πλυντήριο πιάτων	AC	2000	20	12	51	0,55
Ψυγείο νέου τύπου	AC	125	20	13	53	12
Ηλιακός θερμοσίφωνα	AC	4000	100	12	50	1(6 μήνες)
Πλυντήριο ρούχων	AC	2200	50	13	30	0,65
Στεγνωτήριο	AC	2000	50	12	30	0,65
Σεσουάρ	AC	1200	50	13	30	0,2
Σίδερο ρούχων	AC	1000	50	13	30	0,2
Σίδερο μαλλιών	AC	1200	50	13	30	0,2
Πρέσα	AC	2000	50	13	30	0,2
Ηλεκτρική σκούπα	AC	1500	50	13	30	0,42
Αερόθερμο	AC	1500	50	12	50	4(4 μήνες)
3 κλιματιστικά 9000 btu inverter	Dc	3 750	50	11	35	4(8 μήνες)
(10 οικονομικές)	Αδιάφ.	200	50	18	73	12
10 πυρακτώσεως)	Αδιάφ.	1000	50	18	73	12
Pc desktop(οθόνη TFT)	DC	220-5standby	50	20	-	7-17 standby
2 Laptop	DC	200-5standby	50	20	-	7-17 standby
2 ψηφιακές τηλεοράσεις lcd 40"	DC	280-5standby	50	15	-	5-19 standby
Router	DC	15	50	31	-	24
Dvd player	DC	20-3standby	50	31	-	0,85-23standby
Ενισχυτής κεραίας	DC	30	50	20	-	24
Επαναφορτιζόμενα ηλεκτρονικά	DC	100	50	20	-	5
Ψηφιακές συσκευές	DC	100	50	20	-	24

Πίνακας 7-1 χαρακτηριστικά καταναλώσεων σύγχρονης οικίας

Σαν διευκρινίσεις έχουμε ότι :

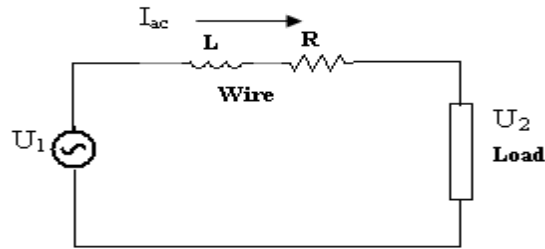
Οι γραμμές τροφοδοσίας τοποθετούνται σε ένα σπίτι έτσι ώστε οι φάσεις κεντρικής παροχής να βρίσκονται κοντά σε αυτές τις συσκευές μεγάλης ισχύος. Το μήκος των φάσεων σε ένα σπίτι εξαρτάται από το μέγεθος των φορτίων και το μέγεθος του δωματίου που αυτά βρίσκονται. Άρα το μήκος των γραμμών παροχής ποικίλει για τα διάφορα φορτία ανάμεσα σε 12 m και 80 m (για μεγάλες κατοικίες). Για τον σκοπό αυτής της μελέτης θα λάβουμε υπόψη σαν μήκος γραμμής μέσες τιμές, περίπου 10 m για γραμμές φορτίων που βρίσκονται στην κουζίνα ενός σπιτιού, και 25 m για τις υπόλοιπες καταναλώσεις με εξαίρεση τον ηλιακό θερμοσίφωνα, ο οποίος βρίσκεται συνήθως εκτός σπιτιού άρα έχουμε μήκος γραμμής 50 m.

Στον παραπάνω πίνακα, όλες οι ισχύς λειτουργίας έχουν δοθεί σε watt ενώ στις ηλεκτρονικές συσκευές έχουμε αριθμούς που βρίσκονται σε παρενθέσεις. Αυτοί οι αριθμοί υποδηλώνουν την ισχύς που καταναλώνεται από την συσκευή όταν αυτή βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής (standby mode), και ο αντίστοιχος χρόνος λειτουργίας που παρουσιάζεται σε αυτές τις συσκευές μέσα σε παρένθεση είναι ο χρόνος στον οποίο η εκάστοτε συσκευή βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής μέσα στην μέρα. Σημειώνεται ότι οι standby καταναλώσεις πάρθηκαν από έρευνες που παρουσιάζονται στην βιβλιογραφία και ασχοληθήκαμε με συσκευές στις οποίες συγκριτικά με την ισχύς λειτουργίας τους είτε παίρνουν σημαντικές τιμές. Είτε έχουν μεγάλη διάρκεια μέσα στην μέρα.

Άλλες διαφοροποιήσεις βλέπουμε στους χρόνους λειτουργίας του ηλιακού θερμοσίφωνα και των αερόθερμων και των κλιματιστικών μονάδων όπου αυτοί οι χρόνοι δηλώνουν την λειτουργία των συσκευών ανά ημέρα αλλά όχι για όλη την διάρκεια του χρόνου. Έτσι παραδείγματος χάριν ο ηλιακός θερμοσίφωνα λειτουργεί κατά μέσο όρο 1 ώρα την ημέρα για περίπου 6 μήνες τον χρόνο.

### 7.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ.

Όσον αφορά τον υπολογισμό των απωλειών θερμότητας στις γραμμές μεταφοράς του οικιακού δικτύου, υπολογίζονται με βάση το παρακάτω ισοδύναμο κύκλωμα ανά φάση αγωγού.



Θεωρητικά η τάση του φορτίου και η πτώση τάσης σε μια γραμμή μεταφοράς υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\widehat{U}_1 = \widehat{U}_2 + (R + jX)\widehat{I}_{ac} = \widehat{U}_2 + Z\widehat{I}_{ac}$$

Όπου  $U_1$  είναι η RMS τάση στο κεντρικό ζυγό του συστήματος και  $I_{ac}$  είναι το ρεύμα στο κυκλώμα και  $R$  η αντίσταση του καλωδίου. Το  $X=2\pi fL$  είναι η επαγωγική αντίδραση του καλωδίου όπου  $L$  η επαγωγή και  $f$  η συχνότητα του δικτύου. Εάν θεωρήσουμε ως τάση αναφοράς την  $U_2$  τότε το ρεύμα μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\widehat{I}_{ac} = |\widehat{I}_{ac}|\cos\varphi - j|\widehat{I}_{ac}|\sin\varphi$$

Όπου  $\varphi$  η γωνιά ανάμεσα στην τάση φορτίου και στο ρεύμα. Η τάση μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\widehat{U}_1 = \widehat{U}_2 + (R + jX)(|\widehat{I}_{ac}|\cos\varphi - j|\widehat{I}_{ac}|\sin\varphi)$$

$$\widehat{U}_1 = \widehat{U}_2 + (R|\widehat{I}_{ac}|\cos\varphi + X|\widehat{I}_{ac}|\sin\varphi)$$

$$+j(R|\widehat{I}_{ac}|\sin\varphi - X|\widehat{I}_{ac}|\cos\varphi)$$

Η ενεργός ισχύς που καταναλώνεται από το φορτίο είναι:

$$P_2 = |\widehat{U}_2||\widehat{I}_{ac}|\cos\varphi$$

Και η άεργος ισχύς:

$$Q_2 = |\widehat{U}_2||\widehat{I}_{ac}|\sin\varphi$$

Έτσι έχουμε:

$$\widehat{U}_1 = \widehat{U}_2 + \frac{RP_2 + jXP_2}{|U_2|} = \widehat{U}_2 + \frac{\hat{Z}P_2}{|U_2|}$$

$$|U_1||U_2| = |U_2|^2 + \hat{Z}P_2$$

$$|U_2|^2 - |U_1||U_2| = \hat{Z}P_2$$

$$|U_2| = \frac{|U_1|}{2} \pm \sqrt{\frac{|U_2|^2}{4} - |\hat{Z}|P_2}$$

$$\text{εκατωστιαία πτώση τάσης} = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \times 100\%$$

Αυτοί οι υπολογισμοί γίνονται εφόσον γνωρίζουμε τον συντελεστή ισχύος (cosφ) του κάθε φορτίου. Όταν μιλάμε όμως για μια οικιακή εγκατάσταση και ειδικά για οικιακές συσκευές, είναι εξαιρετικά δύσκολο να υπολογίσουμε τον συντελεστή ισχύος της κάθε συσκευής. Ο ΣΙ της συσκευής διαφέρει από συσκευή σε συσκευή και από κατασκευαστή σε κατασκευαστή.

Ακόμη όταν σε πραγματικές συνθήκες πάμε να μελετήσουμε μια οικιακή εγκατάσταση, όσον αφορά ειδικά την ενεργειακή κατανάλωση, θεωρούμε πρακτικά μοναδιαίο συντελεστή ισχύος όχι μόνο για την κάθε συσκευή αλλά και για ολόκληρη την οικία. Επίσης, επειδή ο στόχος μας είναι η μελέτη απωλειών και η μετάφραση τους σε χρηματικές μονάδες θα πρέπει σαν μεθόδους σύγκρισης να χρησιμοποιήσουμε τις τιμές και το είδος μελέτης που η δική μας ΔΕΗ εφαρμόζει. Στις εγκαταστάσεις που τροφοδοτεί το εθνικό μας δίκτυο, εκτός από τους βιομηχανικούς καταναλωτές όλες τις άλλες εγκαταστάσεις τις θεωρεί να έχουν συντελεστή ισχύος μονάδα. Αυτό γίνεται όχι μόνο χάριν απλότητας αλλά επειδή για κάθε οικιακή κατανάλωση, το κεντρικό δίκτυο διαθέτει διατάξεις βελτίωσης του συντελεστή ισχύος (πυκνωτές παράλληλα).

Έτσι και στην δική μας μελέτη θα υποθέσουμε ότι οι συσκευές ac καταναλώνουν μόνο ενεργό ισχύς. Σε αντίθεση με την πραγματικότητα όπου οι συσκευές ac καταναλώνουν και άεργο ισχύ.

Οπότε ουσιαστικά οι απώλειες καλωδίων είτε για ac, είτε για dc εγκατάσταση θα υπολογίζονται με βάση τους παρακάτω τύπους.

Το ρεύμα είναι: 
$$|\widehat{I_{ac/dc}}| = \frac{P_2}{|U_1|}$$

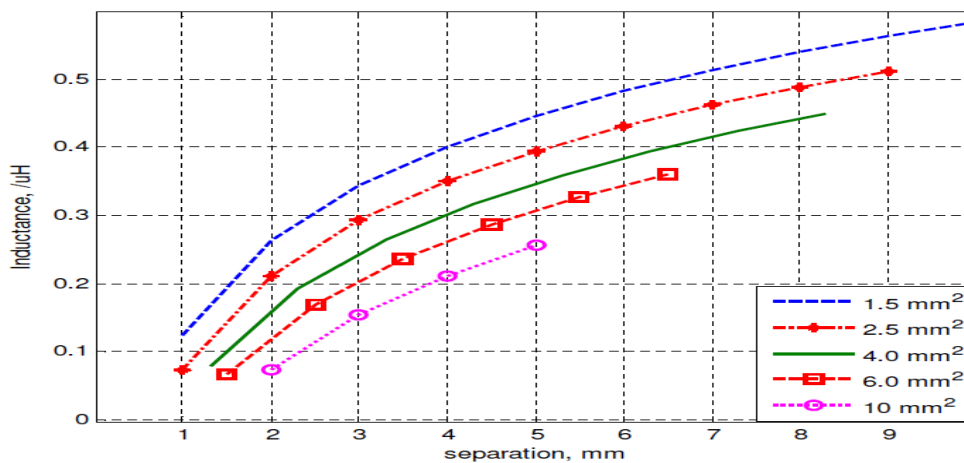
Οι απώλειες της γραμμής τροφοδοσίας είναι: 
$$P_{loss} = R|\widehat{I_{ac/dc}}|^2$$

Και η αντίσταση γραμμής είναι:  $R = \rho \frac{l}{A}$

Όπου  $\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega m^{-1}$  είναι η ειδική αντίσταση του χαλκού,  $l$  είναι το μήκος γραμμής και  $A$  ο όγκος του καλωδίου. Η επαγωγή μπορεί να υπολογιστεί θεωρώντας ότι η φάση και ο ουδέτερος αγωγός είναι παράλληλες γραμμές, άρα έχουμε:

$$L = 0.05 + 0.2 \ln \frac{d}{r} \quad [\mu H/m]$$

Όπου,  $r$  είναι η διάμετρος του καλωδίου και  $d$  η απόσταση ανάμεσα στα δυο καλώδια. Από την εξίσωση παρατηρούμε ότι η επαγωγή εξαρτάται από την απόσταση των καλωδίων. Στις περισσότερες εγκαταστάσεις για την καλωδίωση χρησιμοποιούνται PVC σωλήνες. Η απόσταση ανάμεσα στα καλώδια μέσα στον σωλήνα διαφέρει από σημείο σε σημείο. Στην παρούσα μελέτη έχουμε υπολογίσει σωλήνα με εσωτερική διάμετρο 13mm και εξωτερική 16mm, ενώ η μεταβολή στην επαγωγή των γραμμών σε ένα τέτοιο σωλήνα, σε σχέση με την απόσταση των καλωδίων φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 7-1 διάγραμμα μεταβολής επαγωγής καλωδίων στο εσωτερικό σωλήνα εγκατάστασης

Παρατηρείται ότι καλώδια με  $10mm^2$  διατομή έχουν την μικροτερη επαγωγή ενώ σε καλώδια με  $1.5mm^2$  η επαγωγή κυμαίνεται ανάμεσα σε 0.12 με 0.58μH. Για την παρούσα εργασία θα χρησιμοποιήσουμε τις τιμές του παρακάτω πίνακα [16]

Διατομή( $mm^2$ )	Επαγωγή( $\mu H/m$ )	Αντίσταση ( $\Omega/m$ )	Αντοχή ρεύματος (A)
1.0	0.6224	0.0170	11
1.5	0.5767	0.0113	14
2.5	0.5170	0.0068	20
4.0	0.4595	0.0043	25

6.0	0.4070	0.0028	33
10	0.3354	0.0017	43
13.3	0.2916	0.0013	52

Πίνακας 7-2 ηλεκτρικά χαρακτηριστικά καλωδίων ανάλογα με την διατομή

Όσον αφορά την επιλογή της κατάλληλης διατομής καλωδίων για το κάθε φορτίο ,θα ακολουθήσουμε τους εξής κανόνες:

Πρώτον θα κοιτάμε η διατομή να αντέχει το απαιτούμενο ρεύμα σε κάθε συσκευή, και δεύτερον θα κοιτάμε να επιλέγουμε την κατάλληλη διατομή έτσι ώστε να έχουμε όχι μόνο μειωμένη αντίσταση ανά μέτρο αλλά και έτσι ώστε η όλη εγκατάσταση να μην απέχει πολύ (κατασκευαστικά) από ένα σύγχρονο σπίτι που έχει εγκατασταθεί σε ένα ac περιβάλλον. Ο λόγος που επιλέγουμε να πράξουμε έτσι είναι έτσι ώστε να κοιτάξουμε τις απώλειες και την εξοικονόμηση ενέργειας χωρίς να προσθέσουμε επιπλέον χρηματικό κόστος στην εγκατάσταση. Συνήθως στα περισσότερα σπίτια σήμερα όπου έχουμε τριφασική παροχή ,για τα μεγάλα φορτία (π.χ. κουζίνα) έχουμε μεγαλύτερες διατομές και τριφασική παροχή ενώ για τις υπόλοιπες γραμμές έχουμε μικρότερες διατομές και μονοφασική παροχή.

Η πτώση τάσης είναι άλλο ένα απαραίτητο μέγεθος για την πιο ακριβής υπολογισμό των απωλειών καλωδίων και για την διατομή καθώς το μέγεθος αυτό σε μια εγκατάσταση πρέπει να καλύπτει κάποια συγκεκριμένα όρια επιτρεψιμότητας. Προς την ασφάλεια ολόκληρης της γραμμής. Δεν μπορούμε να υπολογίσουμε όμως ακριβώς την πτώση τάσης για το dc μικροδίκτυο καθώς δεν γνωρίζουμε ακριβώς ισχύς λειτουργίας συσκευών, και ούτε υπάρχουν και ακριβή όρια και πρότυπα για τέτοιου είδους εγκαταστάσεις μέχρι σήμερα.

## 7.4 ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΟΙΚΙΑΣ

### 7.4.1 AC οικία 230/120Vac

Σε αυτό το στάδιο βλέπουμε αρχικά τα φορτία που επιλέξαμε στο σύνηθες περιβάλλον ενός οικιακού δικτύου. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε αναλυτικά την ισχύς λειτουργίας, τις απώλειες μετατροπής που οφείλονται σε εσωτερική μετατροπή από ac-dc,τις ώρες λειτουργίας και τις απώλειες γραμμής. Όσον αφορά τις απώλειες γραμμής, και την ισχύ λειτουργίας έχουμε θεωρήσει ότι η ισχύς που βλέπει το δίκτυο είναι η ισχύς λειτουργίας της συσκευής. Με βάση αυτό το μέγεθος έχουμε υπολογίσει και τις απώλειες μετατροπής και τις απώλειες καλωδίων αλλά και την συνολική



κατανάλωση της οικίας. Όλα τα φορτία λειτουργούν σε γραμμές 120Vac εκτός από τις μεγάλης κατανάλωσης συσκευές (κουζίνα, θερμοσίφωνα, στεγνωτήριο, πλυντήριο) που έχουν ξεχωριστές γραμμές με 230Vac και μεγαλύτερο πάχος καλωδίου.

Η συνολική κατανάλωση για όλες τις συσκευές σε kWh/yr υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$\text{κατανάλωση} = \text{κατανάλωση κατά την λειτουργία} + \text{κατανάλωση σε standby}$$

Όπου

κατανάλωση λειτουργίας =

$$\frac{\text{ισχύς λειτουργίας} \times \text{χρόνος λειτουργίας ανά ημέρα} \times 365 \text{ μερες}}{1000} \text{ kWh/yr}$$

κατανάλωση standby =

$$\frac{\text{ισχύς standby} \times \text{standby χρόνος την ημέρα} \times 365}{1000} \text{ kWh/yr}$$

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι απώλειες μετατροπής εμπεριέχονται στην συνολική κατανάλωση της κάθε συσκευής και αναφέρονται απλά για να μπορούμε να δούμε από μόνες τους πόσο συμβάλουν οι απώλειες μετατροπής στην συνολική κατανάλωση.

Συσκευή	Ισχύς ac(w)	Απ. μετατροπής ac-dc(w)	Ρεύμα 230/120 ac(A)	Αντ. καλωδίου (R/m)	Μήκος καλωδίων	Ώρες λειτουργίας ανά ημέρα	Απ. μετατροπ ής (kWh/yr)	Απ. καλωδίων (kWh/yr)	Λειτουργία (kWh/yr)
Ηλεκτρικός φούρνος	2000	-	17,39	0,0068	10	1		7,506	730
Μεγάλο μάτι	2000	240	8,69	0,0068	10	1	87.6	1,874	730
2 μεσαία μάτια	2000	240	8,69	0,0068	10	1	87.6	1,874	730
Μικρό μάτι	500	60	2,17	0,0068	10	1	21.9	0,117	182.5
Φούρνος μικροκυμάτων	1000	120	8,33	0,0113	10	0,5	21.9	1,431	182.5
Τοστιέρα	750	-	6,25	0,0113	10	0,1	-	0,161	27.35
Φρυγανιέρα	900	-	7,5	0,0113	10	0,1	-	0,232	32.85
Βραστήρας	1500	-	12,5	0,0113	10	0,2	-	1,289	109.5
Καφετιέρα	1000	-	8,33	0,0113	10	0,5	-	1,431	182.5
Πλυντήριο πιάτων	2000	-	8,69	0,0113	10	0,55	-	1,713	401.5
Ψυγείο νέου τύπου	125	-	1,04	0,0113	10	12	-	0,535	547.5
Ηλιακός θερμοσίφωνας	4000	-	17,39	0,0068	50	1(6 μήνες)	-	18,508	720
Πλυντήριο ρούχων	2200	-	9,56	0,0113	25	0,65	-	6,125	521.95
Στεγνωτήριο	2000	-	8,69	0,0113	25	0,65	-	5,061	474.5
Σεσουάρ	1200	-	10	0,0113	25	0,2	-	2,062	87.6
Σίδερο ρούχων	1000	-	8,33	0,0113	25	0,2	-	1,431	73
Σίδερο μαλλιών	1200	-	10	0,0113	25	0,2	-	2,062	87.6
Πρέσα	2000	-	16,67	0,0113	25	0,2	-	5,731	146
Ηλεκτρική σκούπα	1500	-	12,5	0,0113	25	0,42	-	6,767	229.95
Αερόθερμο	1500	-	12,5	0,0113	25	4(4 μήνες)	-	21,188	720
3 κλιματιστικά 9000 btu inverter	2250	247,5	18,75	0,0113	25	4(8 μήνες)	237.6	95,344	2160
(10 οικονομικές)	200	-	1,6	0,0113	25	12	-	2,112	876
10 πυρακτώσεως)	1000	-	8,33	0,0113	25	12	-	57,239	4380
Pc desktop (οθόνη TFT)	220-5 standby	44(1)	1,83- 0.042	0,0113	25	7-17 standby	118.625	4,840	593.125
2 Laptop	200-5 standby	40(2)	1,67- 0.084	0,0113	25	7-17 standby	114.61	4,030	573.05
2 ψηφιακές τηλεοράσεις lcd 40"	280-5 standby	42(2)	2,34- 0.084	0,0113	25	5-19 standby	90.52	5,650	580.35
Router	15	4,65	0,125	0,0113	25	24	40.734	0,039	131.4
Dvd player	20-3 standby	6.2(0.93)	0,16- 0.025	0,0113	25	0,85-23 standby	9.735	0,010	31.39
Εισαχτής κεραίας	30	6	0,25	0,0113	25	24	52.56	0,155	262.8
Επαναφορτιζόμεν α ηλεκτρονικά	100	20	0,83	0,0113	25	5	36.5	0,355	182.5
Ψηφιακές συσκευές	100	20	0,83	0,0113	25	24	175.2	2,475	876
Σύνολο							1095.084	289.022	17563.44

Πίνακας 7-3 πίνακας καταναλώσεων AC οικίας 230/120Vac

Οπότε έχουμε συνολικά:

**Συνολική λειτουργία :**

**Κατανάλωση + απώλειες καλωδίων=17563,440+289,022=17852,462kWhr/yr**

Και από αυτά έχουμε:

**Απώλειες μετατροπής:=1095,084kWhr/yr**

Τα οποία μεγέθη αν θεωρήσουμε σαν τιμή kWhr την σημερινή 0,094/kWhr έχουμε :

**Συνολικό κόστος λειτουργίας=17853,462×0,094 ≈ 1679 €/yr**

#### **7.4.2 DC οικία 120/24Vdc**

Σε αυτήν τη περίπτωση εξετάζουμε ένα πολύ απλό σενάριο, όπου σε μια οικία έχουμε ένα μικροδίκτυο dc με δυο κύριες γραμμές ,μια στα 120V και μια στα 24V. Η επιλογή αυτή έγινε λόγω του γεγονότος ότι οι περισσότερες συσκευές που λειτουργούν εσωτερικά με dc λειτουργούν στα 24V ενώ οι συσκευές που λειτουργούν με ac λειτουργούν οι περισσότερες στα 120V. Έτσι έχουμε τον φωτισμό και τις ηλεκτρονικές συσκευές σε τάση 24V, ενώ τις υπόλοιπες συσκευές στα 120V. Το σενάριο αυτό προσομοιώνει μια κατάσταση κατά την οποία έχουμε ένα dc μικροδίκτυο αλλά δεν έχουμε όλες τις συσκευές να λειτουργούν με dc. Έτσι για τις συσκευές dc τις συνδέουμε κατευθείαν στο δίκτυο ενώ τις συσκευές ac τις συνδέουμε με μετατροπείς ac-dc, με αποδόσεις που φαίνονται στον προηγούμενο πίνακα και είναι αντίστοιχες με αυτές των μετατροπέων ac-dc.

Ο στόχος αυτού του σεναρίου είναι να δούμε κατά πόσο η πιο απλή εφαρμογή ενός dc μικροδικτύου ,όπως επικρατεί η κατάσταση στις αγορές σήμερα, είναι πιο αποδοτική σε σχέση με μια υπάρχουσα οικιακή εγκατάσταση. Όπως παρατηρούμε στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα βλέπουμε τις απώλειες μετατροπής για τις ac συσκευές οι οποίες στην συνέχεια προσθέτονται στην αρχική ισχύ λειτουργίας της εκάστοτε συσκευής καθώς όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας και τις απώλειες καλωδίων για κάθε συσκευή αυτή είναι η ισχύς που βλέπει το δίκτυο. Ακόμη από την ισχύς λειτουργίας των διάφορων dc συσκευών έχουμε αφαιρέσει την ισχύ που καταναλωνόταν λόγω της αρχικής μετατροπής από ac-dc. Ακόμη έχουμε αφαιρέσει τελείως την λειτουργία των συσκευών σε κατάσταση αναμονής καθώς σε dc περιβάλλον τέτοιες καταναλώσεις είναι ασήμαντες. Σημειώνουμε επίσης την αλλαγή

στην διατομή του καλωδίου του θερμοσίφωνα από τα 2,5mm στα 6mm λόγω του μεγάλου ρεύματος που προκύπτει.

Συσκευή	Ισχύς ac(w)	Απ. Μετατρ. (w)	Ισχύς σε dc(w)	Ρεύμα 120/24	Αντ. Καλ. (R/m)	Μήκος καλ.	Ώρες λειτουργίας ανά ημέρα	Απ. μετατροπής (kWh/yr)	Απ. καλωδίων (kWh/yr)	Λειτουργία (kWh/yr)
Ηλεκτρικός φούρνος	2000	240	2240	18,66	0,0068	10	1	87,600	8,642	817,600
Μεγάλο μάτι	2000	0	1760	14,66	0,0068	10	1	0	5,334	642,400
2 μεσαία μάτια	2000	0	1760	14,66	0,0068	10	1	0	5,334	642,400
Μικρό μάτι	500	0	440	3,66	0,0068	10	1	0	0,332	160,600
Φούρνος μικροκυμάτων	1000	0	870	7,25	0,0113	10	0,5	0	1,083	158,775
Τοστιέρα	750	0	750	6,25	0,0113	10	0,1	0	0,161	27,375
Φρυγανιέρα	900	0	900	7,5	0,0113	10	0,1	0	0,232	32,850
Βραστήρας	1500	0	1500	12,5	0,0113	10	0,2	0	1,288	109,500
Καφετιέρα	1000	0	1000	8,33	0,0113	10	0,5	0	1,430	182,500
Πλυντήριο πιάτων	2000	240	2240	18,66	0,0113	10	0,55	48,180	7,898	449,680
Ψυγείο νέου τύπου	125	16,25	141,25	1,177	0,0113	10	12	71,175	0,685	618,675
Ηλιακός θερμοσίφωνα	4000	480	4480	37,34	0,0028 (6mm)	50	1(6 μήνες)	86,400	35,135	806,400
Πλυντήριο ρούχων	2200	286	2486	20,17	0,0113	25	0,65	67,8535	27,26	589,803
Στεγνωτήριο	2000	240	2240	18,66	0,0113	25	0,65	56,940	23,33	531,440
Ξεσουάρ	1200	156	1356	11,3	0,0113	25	0,2	11,388	2,633	98,988
Σίδερο ρούχων	1000	130	1130	9,42	0,0113	25	0,2	9,490	1,829	82,490
Σίδερο μαλλιών	1200	156	1356	11,3	0,0113	25	0,2	11,388	2,633	98,988
Πρέσα	2000	260	2260	18,84	0,0113	25	0,2	18,980	7,319	164,980
Ηλεκτρική σκούπα	1500	195	1695	14,125	0,0113	25	0,42	29,8935	8,640	259,843
Αερόθερμο	1500	180	1680	14	0,0113	25	4(4 μήνες)	86,400	26,577	806,400
3 κλιματιστικά 9000 btu inverter	2250	0	2002,5	16,6875	0,0113	25	4(8 μήνες)	0	75,521	192,240
(10 οικονομικές)	200	0	200	8,33	0,0113	25	12	0	85,858	876,000
10 πυρακτώσεως)	1000	0	1000	41,6	0,0113	25	12	0	2141,308	4380,000
Pc desktop (οθόνη TFT)	220- 5 standby	0	176	7,33	0,0113	25	7	0	38,780	449,680
2 Laptop	200- 5 standby	0	160	6,67	0,0113	25	7	0	32,111	408,800
2 ψηφιακές τηλεοράσεις lcd 40"	280- 5 standby	0	238	9,92	0,0113	25	5	0	50,734	434,350
Router	15	0	10,35	0,43	0,0113	25	24	0	0,457	90,666
Dvd player	20-3 standby	0	13,8	0,575	0,0113	25	0,85	0	0,028	4,281
Ενισχυτής κεραίας	30	0	21	0,875	0,0113	25	24	0	1,894	183,960
Επαναφορτιζόμενα ηλεκτρονικά	100	0	80	3,33	0,0113	25	5	0	5,717	146,000
Ψηφιακές συσκευές	100	0	80	3,33	0,0113	25	24	0	27,44	700,800
Σύνολο								585,688	2627,654	16878,625

Πίνακας 7-4 πίνακας καταναλώσεων DC οικίας 120/24Vdc

Οπότε έχουμε συνολικά:

**Συνολική λειτουργία :**

**Κατανάλωση + απώλειες καλωδίων =16878,625+2627,654=19506,279kWhr/yr**

Και από αυτά έχουμε:

**Απώλειες μετατροπής:=585,688kWhr/yr**

Τα οποία μεγέθη αν θεωρήσουμε σαν τιμή kWhr την σημερινή 0,094/kWhr έχουμε :

**Συνολικό κόστος λειτουργίας=19506,279×0,094 ≈ 1834 €/yr**

Εδώ παρατηρούμε μια μεγάλη αύξηση της ισχύς που καταναλώνεται ανά χρόνο. Βλέπουμε μια διαφορά της τάξεως των 2,5MWhr/yr. Παρόλο που σαν σύνολο καταναλισκόμενης ενέργειας λειτουργίας έχουμε μικρότερη τιμή , έχουμε μεγάλη αύξηση στις απώλειες καλωδίων. Ακόμη παρατηρούμε ότι έχουμε μικρότερες απώλειες μετατροπής από τις αντίστοιχες στο ac.

Αν όμως παρατηρήσουμε πιο προσεκτικά τα δεδομένα βλέπουμε ότι το μεγαλύτερο μερίδιο από τις απώλειες καλωδίων το έχουμε στους λαμπτήρες πυρακτώσεως και ανέρχεται στα 2141,308kWhr/yr .Αν παρατηρήσουμε και το ρεύμα στα 24V βλέπουμε ότι έχει πολύ μεγάλη τιμή, και βρίσκεται κοντά στα 41 A.

Αυτό το πρόβλημα θα μπορούσε πολύ εύκολα να διορθωθεί με αντικατάσταση των λαμπτήρων πυρακτώσεως με λαμπτήρες LED.Μια κίνηση η οποία θα απαιτούσε ένα πολύ μικρό κεφάλαιο και δεν θα αποτελούσε μεγάλη οικονομική επιβάρυνση. Έτσι λοιπόν αν είχαμε αυτήν την αντικατάσταση θα είχαμε ισχύς για δέκα λαμπτήρες ίδιας φωτεινότητας 270W με αντίστοιχο ρεύμα 11,25 A και αντίστοιχες απώλειες 156,6kWhr/yr.Οι αντίστοιχες τιμές των συνολικών ποσών κατανάλωσης θα γίνονταν :

**Συνολική λειτουργία :**

**Κατανάλωση + απώλειες καλωδίων=14324,173+642,948=14967,121kWhr/yr**

Και από αυτά έχουμε:

**Απώλειες μετατροπής:=585,688kWhr/yr**

Τα οποία μεγέθη αν θεωρήσουμε σαν τιμή kWhr την σημερινή 0,094/kWhr έχουμε :

*Συνολικό κόστος λειτουργίας=14967,121×0,094 ≈ 1407€/yr*

### **7.4.3 DC οικία120/24Vdc με χρήση τεχνολογιών**

Σε αυτό το σενάριο παρουσιάζουμε μια υποθετική περίπτωση κατά την οποία έχουμε διαθέσιμες συσκευές ευρείας κατανάλωσης οι οποίες λειτουργούν σε dc και χρησιμοποιούν τις πιο αποδοτικές dc τεχνολογίες. Η τάση έχει επιλεγεί στα 120V για το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου ενώ υπάρχει ξεχωριστό κύκλωμα στα 24V για τον φωτισμό και τις ηλεκτρονικές συσκευές με στόχο την ελαχιστοποίηση του ρεύματος και κατ'επέκταση των απωλειών καλωδίων. Τα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας φαίνονται στον αρχικό πίνακα και ενσωματώνονται στην ισχύς λειτουργίας της κάθε συσκευής.

Σε αυτό το επίπεδο θα παρουσιάσουμε δυο εναλλακτικές περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε συσκευές οι οποίες είναι dc λειτουργίας με τάση λειτουργίας αντίστοιχη με σημερινές συσκευές, δηλαδή λειτουργούν στα 120Vdc.Ενώ στην δεύτερη περίπτωση έχουμε συσκευές dc οι οποίες έχουν τάσεις λειτουργίας είτε στα 24Vdc είτε στα 48Vdc ,σε εναρμόνιση με τις συσκευές που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτές οι συσκευές συνδέονται στο δίκτυο με χρήση υψηλής απόδοσης dc-dc μετατροπέων ,για τους οποίους χρησιμοποιούμε μια μέση απόδοση στα 95%.Οι απώλειες καλωδίων και το ρεύμα λειτουργίας έχουν υπολογιστεί σε αυτή την περίπτωση για τις τιμές ισχύος μετά την μετατροπή dc-dc αφού τέτοια ισχύς λειτουργίας εκλαμβάνει το δίκτυο.

### 7.4.3.1 DC οικία 120/24Vdc με χρήση τεχνολογιών χωρίς μετατροπή

Συσκευή	Ισχύς στο ac(w)	Ισχύς σε dc	Ρεύμα στα 120/24Vdc	Αντίσταση καλωδίου (R/m)	Μήκος καλωδίων	Ώρες λειτουργίας ανά ημέρα	Απώλειες καλωδίων (kWh/yr)	Λειτουργία (kWh/yr)
Ηλεκτρικός φούρνος	2000	1760	14,666	0,0068	10	1	5,339	642,400
Μεγάλο μάτι	2000	1548,8	12,906	0,0068	10	1	4,134	565,312
2 μεσαία μάτια	2000	1548,8	12,906	0,0068	10	1	4,134	565,312
Μικρό μάτι	500	387,2	3,226	0,0068	10	1	0,258	141,328
Φούρνος μικροκυμάτων	1000	870	7,25	0,0113	10	0,5	1,083	158,775
Τοστιέρα	750	525	4,375	0,0113	10	0,1	0,078	19,1625
Φρυγανιέρα	900	630	5,25	0,0113	10	0,1	0,113	22,995
Βραστήρας	1500	1050	8,75	0,0113	10	0,2	0,631	76,650
Καφετιέρα	1000	700	5,833	0,0113	10	0,5	0,701	127,750
Πλυντήριο πιάτων	2000	980	8,166	0,0113	10	0,55	1,512	196,735
Ψυγείο νέου τύπου	125	58,75	0,489	0,0113	10	12	0,118	257,325
Ηλιακός θερμοσίφωνας	4000	2000	16,666	0,0068	50	1(6 μήνες)	17,000	360,000
Πλυντήριο ρούχων	2200	1100	9,1666	0,0113	25	0,65	5,631	260,975
Στεγνωτήριο	2000	1400	11,666	0,0113	25	0,65	9,122	332,150
Ξεσουάρ	1200	840	7	0,0113	25	0,2	1,010	61,320
Ξίδερο ρούχων	1000	700	5,833	0,0113	25	0,2	0,701	51,100
Ξίδερο μαλλιών	1200	840	7	0,0113	25	0,2	1,010	61,320
Πρέσα	2000	1400	11,666	0,0113	25	0,2	2,806	102,200
Ηλεκτρική σκούπα	1500	1050	8,75	0,0113	25	0,42	3,315	160,965
Αερόθερμο	1500	750	6,25	0,0113	25	4(4 μήνες)	5,296	360,000
3 κλιματιστικά 9000 btu inverter	2250	1302	10,85	0,0113	25	4(8 μήνες)	31,926	1249,920
(10 οικονομικές)	200	54	2,25	0,0113	25	12	6,264	236,520
10 πυρακτώσεις	1000	270	11,25	0,0113	25	12	156,602	1182,600
Pc desktop (οθόνη TFT)	220-5 standby	176	7,333	0,0113	25	7	38,816	449,680
2 Laptop	200 5 standby	160	6,666	0,0113	25	7	32,079	408,800
2 ψηφιακές τηλεοράσεις lcd 40"	280 -5 standby	238	9,916	0,0113	25	5	50,700	434,350
Router	15	10,35	0,431	0,0113	25	24	0,460	90,666
Dvd player	20-3 standby	13,8	0,575	0,0113	25	0,85	0,028	4281,45
Ενισχυτής κεραίας	30	21	0,875	0,0113	25	24	1,894	183,960
Επαναφορτιζόμενα ηλεκτρονικά	100	80	3,333	0,0113	25	5	5,728	146,000
Ψηφιακές συσκευές	100	80	3,333	0,0113	25	24	27,496	700,800
σύνολο							416,002	9611,352

Πίνακας 7-5 πίνακας καταναλώσεων DC οικίας 120/24Vdc με χρήση τεχνολογιών χωρίς μετατροπή

**Συνολική λειτουργία :**

**Κατανάλωση + απώλειες καλωδίων = 9611,352 + 416,002 kWh/yr**

**= 10027,354 kWh/yr**

Τα οποία μεγέθη αν θεωρήσουμε σαν τιμή kWhr την σημερινή 0,094/kWhr έχουμε :

**Συνολικό κόστος λειτουργίας = 10027,354 × 0,094 ≈ 943 €/yr**

### 7.4.3.2 DC οικία 120/24Vdc με χρήση τεχνολογιών με dc-dc μετατροπή

Συσκευή	Ισχύς στο ac(w)	Ισχύς σε dc	Απώλειες μετατροπής dc-dc(5%)	Ισχύς λειτουργίας μετά από μετατροπή	Ρεύμα στα 120/24 Vdc	Αν. καλωδίου (R/m)	Ώρες λειτουργίας ανά ημέρα	Απώλειες μετ. (kWh/yr)	Απώλειες καλ. (kWh/yr)	Λειτουργία (kWh/yr)
Ηλεκτρικός φούρνος	2000	1760	88	1848	15,4	0,0068	1	32120	5,886	674,520
Μεγάλο μάτι	2000	1548,8	77,44	1626,24	13,552	0,0068	1	28265,6	4,558	593,577
2 μεσαία μάτια	2000	1548,8	77,44	1626,24	13,552	0,0068	1	28265,6	4,558	593,577
Μικρό μάτι	500	387,2	19,36	406,56	3,388	0,0068	1	7066,4	0,284	148,394
Φούρνος μικροκυμάτων	1000	870	43,5	913,5	7,612	0,0113	0,5	7938,75	1,195	166,713
Τοστιέρα	750	525	26,25	551,25	4,593	0,0113	0,1	958,125	0,087	20,120
Φρυγανιέρα	900	630	31,5	661,5	5,512	0,0113	0,1	1149,75	0,125	24,144
Βραστήρας	1500	1050	52,5	1102,5	9,187	0,0113	0,2	3832,5	0,696	80,482
Καφετιέρα	1000	700	35	735	6,125	0,0113	0,5	6387,5	0,773	134,137
Πλυντήριο πιάτων	2000	980	49	1029	8,575	0,0113	0,55	9836,75	1,668	206,571
Ψυγείο νέου τύπου	125	58,75	2,9375	61,6875	0,514	0,0113	12	12866,25	0,130	270,191
Ηλιακός θερμοσίφωνας	4000	2000	100	2100	17,5	0,0028	1(6 μήνες)	18000	18,742	378,000
Πλυντήριο ρούχων	2200	1100	55	1155	9,625	0,0113	0,65	13048,75	6,209	274,023
Στεγνωτήριο	2000	1400	70	1470	12,25	0,0113	0,65	16607,5	10,057	348,757
Ξεσουάρ	1200	840	42	882	7,35	0,0113	0,2	3066	1,114	64,386
Ξίδερο ρούχων	1000	700	35	735	6,125	0,0113	0,2	2555	0,773	53,655
Ξίδερο μαλλιών	1200	840	42	882	7,35	0,0113	0,2	3066	1,114	64,386
Πρέσα	2000	1400	70	1470	12,25	0,0113	0,2	5110	3,094	107,310
Ηλεκτρική σκούπα	1500	1050	52,5	1102,5	9,187	0,0113	0,42	8048,25	3,655	169,013
Αερόθερμο	1500	750	37,5	787,5	6,562	0,0113	4(4 μήνες)	18000	5,839	378,000
3 κλιματιστικά 9000 btu inverter	2250	1302	65,1	1367,1	11,392	0,0113	4(8 μήνες)	62496	35,198	1312,416
(10 οικονομικές)	200	54	0	54	2,25	0,0113	12	0	6,264	236,520
10 πυρακτώσεως)	1000	270	0	270	11,25	0,0113	12	0	156,602	1182,600
Pc desktop (οθόνη TFT)	220-5 standby	176	0	176	7,333	0,0113	7	0	38,816	449,680
2 Laptop	200-5 standby	160	0	160	6,666	0,0113	7	0	32,079	408,800
2 ψηφιακές τηλεοράσεις lcd 40"	280-5 standby	238	0	238	9,916	0,0113	5	0	50,700	434,350
Router	15	10,35	0	10,35	0,431	0,0113	24	0	0,460	90,666
Dvd player	20-3 standby	13,8	0	13,8	0,575	0,0113	0,85	0	0,028	4,281
Ενισχυτής κεραίας	30	21	0	21	0,875	0,0113	24	0	1,894	183,960
Επαναφορτιζόμενα ηλεκτρονικά	100	80	0	80	3,333	0,0113	5	0	5,728	146,000
Ψηφιακές συσκευές	100	80	0	80	3,333	0,0113	24	0	27,496	700,800
σύνολο								288,684	425,835	9900,037

Πίνακας 7-6 πίνακας καταναλώσεων DC οικίας 120/24Vdc με χρήση τεχνολογιών με dc-dc μετατροπή



**Συνολική λειτουργία :**

**Κατανάλωση + απώλειες καλωδίων=9900,037+425,835=10325,872kWhr/yr**

Και από αυτά έχουμε:

**Απώλειες μετατροπής:=288,684kWhr/yr**

Τα οποία μεγέθη αν θεωρήσουμε σαν τιμή kWhr την σημερινή 0,094/kWhr έχουμε :

**Συνολικό κόστος λειτουργίας=10325,872×0,094 ≈ 971 €/yr**

#### **7.4.4 DC οικία 380Vdc με χρήση μετατροπέων και τεχνολογιών**

Αυτό το σενάριο προσημειώνει μια εγκατάσταση όπου με στόχο την όσο το δυνατόν μείωση των απωλειών στις γραμμές διανομής, χρησιμοποιείται μια υψηλή τάση 380Vdc, ενώ σε κάθε φορτίο (τέλος γραμμής ) έχουμε μετατροπέα dc-dc υψηλής απόδοσης. Και πάλι οι απώλειες λόγω μετατροπής έχουν ενσωματωθεί στην ισχύς λειτουργίας των συσκευών ,για λόγους υπολογισμού των ρευμάτων και των απωλειών στα καλώδια. Σε κάθε φορτίο έχουμε και πάλι υπολογίσει τις καλύτερες τεχνολογίες dc για κάθε συσκευή ,και η εξοικονόμηση ενέργειας έχει και πάλι ενταχθεί στην ισχύς λειτουργίας της εκάστοτε συσκευής.

Συσκευή	Ισχύς στο ac(w)	Ισχύς σε dc	Απώλειες μετατροπής dc-dc(5%)	Ισχύς σε dc μετά μετατροπής	Ρεύμα στα 380Vdc	Αντίσταση καλωδίου (R/m)	Ώρες λειτουργίας ανά ημέρα	Απώλειες μετατροπής (kWh/yr)	Απώλειες καλωδίων (kWh/yr)	Λειτουργία (kWh/yr)
Ηλεκτρικός φούρνος	2000	1760	88	1848	4,863	0,0068	1	32,120	0,587	674,520
Μεγάλο μάτι	2000	1548,8	77,44	1626,24	4,279	0,0068	1	28,265	0,454	593,577
2 μεσαία μάτια	2000	1548,8	77,44	1626,24	4,279	0,0068	1	28,265	0,454	593,577
Μικρό μάτι	500	387,2	19,36	406,56	1,069	0,0068	1	7,066	0,028	148,394
Φούρνος μικροκυμάτων	1000	870	43,5	913,5	2,403	0,0113	0,5	7,938	0,119	166,713
Τοστιέρα	750	525	26,25	551,25	1,450	0,0113	0,1	0,958	0,008	20,120
Φρυγανιέρα	900	630	31,5	661,5	1,740	0,0113	0,1	1,149	0,012	24,144
Βραστήρας	1500	1050	52,5	1102,5	2,901	0,0113	0,2	3,832	0,069	80,482
Καφετιέρα	1000	700	35	735	1,934	0,0113	0,5	6,387	0,077	134,137
Πλυντήριο πιάτων	2000	980	49	1029	2,707	0,0113	0,55	9,836	0,166	206,571
Ψυγείο νέου τύπου	125	58,75	2,9375	61,6875	0,162	0,0113	12	12,866	0,013	270,191
Ήλιακός θερμοσίφωνα	4000	2000	100	2100	5,526	0,0068	1(6 μήνες)	18,000	1,869	378,000
Πλυντήριο ρούχων	2200	1100	55	1155	3,039	0,0113	0,65	13,048	0,619	274,023
Στεγνωτήριο	2000	1400	70	1470	3,868	0,0113	0,65	16,607	1,002	348,757
Σεσουάρ	1200	840	42	882	2,321	0,0113	0,2	3,066	0,111	64,386
Σίδερο ρούχων	1000	700	35	735	1,934	0,0113	0,2	2,555	0,077	53,655
Σίδερο μαλλιών	1200	840	42	882	2,321	0,0113	0,2	3,066	0,111	64,386
Πρέσα	2000	1400	70	1470	3,868	0,0113	0,2	5,110	0,308	107,310
Ηλεκτρική σκούπα	1500	1050	52,5	1102,5	2,901	0,0113	0,42	8,048	0,364	169,013
Αερόθερμο	1500	750	37,5	787,5	2,072	0,0113	4(4 μήνες)	18,000	0,582	378,000
3 κλιματιστικά	2250	1302	65,1	1367,1	3,597	0,0113	4(8 μήνες)	62,496	3,510	1312,416

9000 btu inverter										
(10 οικονομικές)	200	54	2,7	56,7	0,149	0,0113	12	11,826	0,027	248,346
10 πυρακτώσεις)	1000	270	13,5	283,5	0,746	0,0113	12	59,130	0,688	1241,730
Pc desktop (οθόνη TFT)	220-5 standby	176	8,8	184,8	0,486	0,0113	7	22,484	0,170	472,164
2 Laptop	200-5 standby	160	8	168	0,442	0,0113	7	20,440	0,141	429,240
2 ψηφιακές τηλεοράσεις lcd 40"	280-5 standby	238	11,9	249,9	0,657	0,0113	5	21,717	0,222	456,067
Router	15	10,35	0,5175	10,8675	0,028	0,0113	24	4,533	0,002	95,199
Dvd player	20-3 standby	13,8	0,69	14,49	0,038	0,0113	0,85	0,214	0,001	4,495
Ενισχυτής κεραίας	30	21	1,05	22,05	0,058	0,0113	24	9,198	0,008	193,158
Επαναφορτιζόμενα ηλεκτρονικά	100	80	4	84	0,221	0,0113	5	7,300	0,025	153,300
Ψηφιακές συσκευές	100	80	4	84	0,221	0,0113	24	35,040	0,120	735,840
σύνολο								480,567	11,954	10091,920

Πίνακας 7-7 πίνακας καταναλώσεων DC οικίας 380Vdc με χρήση μετατροπέων και τεχνολογιών

**Συνολική λειτουργία :**

**Κατανάλωση + απώλειες καλωδίων=10091,920+11,954=10103,874kWh/yr**

Και από αυτά έχουμε:

**Απώλειες μετατροπής:=480,567kWh/yr**

Τα οποία μεγέθη αν θεωρήσουμε σαν τιμή kWhr την σημερινή 0,094/kWhr έχουμε :

**Συνολικό κόστος λειτουργίας=10103,874×0,094 ≈ 950 €/yr**

#### 7.4.5 DC οικία 380/24Vdc με χρήση μετατροπέων και τεχνολογιών

Σε αυτό το σενάριο έχουμε μια παραλλαγή του προηγούμενου. Στα περισσότερα φορτία θα τροφοδοτούμε υψηλή τάση 380Vdc έτσι ώστε να πετύχουμε τις ελαχιστοποιημένες απώλειες μεταφοράς ενώ ο φωτισμός και οι ηλεκτρονικές συσκευές θα τροφοδοτούνται με 24Vdc. Ο λόγος είναι ότι μειώνουμε το κόστος και την ισχύ λειτουργίας από την ανάγκη μετατροπέων ενώ το ρεύμα παραμένει σχετικά χαμηλό ώστε να μην έχουμε αισθητή αύξηση στις απώλειες καλωδίων.

Συσκευή	Ισχύς στο ac(w)	Ισχύς σε dc	Απώλειες μετ. dc-dc(5%	Ισχύς σε dc μετά μετατροπής	Ρεύμα στα 380/24 Vdc	Αντ. Καλ. (R/m)	Ώρες λειτουργίας ανά ημέρα	Απώλειες μετατροπής (kWh/yr)	Απώλειες καλ. (kWh/yr)	Λειτουργία (kWh/yr)
Ηλεκτρικός φούρνος	2000	1760	88	1848	4,863	0,0068	1	32120	0,587	674,520
Μεγάλο μάτι	2000	1548,8	77,44	1626,24	4,279	0,0068	1	28265,6	0,454,	593,577
2 μεσαία μάτια	2000	1548,8	77,44	1626,24	4,279	0,0068	1	28265,6	0,454	593,577
Μικρό μάτι	500	387,2	19,36	406,56	1,069	0,0068	1	7066,4	0,028	148,394
Φούρνος	1000	870	43,5	913,5	2,403	0,0113	0,5	7938,75	0,119	166,713

μικροκυμάτων										
Τοστιέρα	750	525	26,25	551,25	1,450	0,0113	0,1	958,125	0,008	20,120
Φρυγανιέρα	900	630	31,5	661,5	1,740	0,0113	0,1	1149,75	0,012	24,144
Βραστήρας	1500	1050	52,5	1102,5	2,901	0,0113	0,2	3832,5	0,069	80,482
Καφετιέρα	1000	700	35	735	1,934	0,0113	0,5	6387,5	0,077	134,137
Πλυντήριο πιάτων	2000	980	49	1029	2,707	0,0113	0,55	9836,75	0,166	206,571
Ψυγείο νέου τύπου	125	58,75	2,9375	61,6875	0,162	0,0113	12	12866,25	13,043	270,191
Ηλιακός θερμοσίφωνας	4000	2000	100	2100	5,526	0,0068	1(6 μήνες)	18000	1,869	378,000
Πλυντήριο ρούχων	2200	1100	55	1155	3,039	0,0113	0,65	13048,75	0,619	274,023
Στεγνωτήριο	2000	1400	70	1470	3,868	0,0113	0,65	16607,5	1,002	348,757
Ξεσουάρ	1200	840	42	882	2,321	0,0113	0,2	3066	0,111	64,386
Σίδερο ρούχων	1000	700	35	735	1,934	0,0113	0,2	2555	0,077	53,655
Σίδερο μαλλιών	1200	840	42	882	2,321	0,0113	0,2	3066	0,111	64,386
Πρέσα	2000	1400	70	1470	3,868	0,0113	0,2	5110	0,308	107,310
Ηλεκτρική σκούπα	1500	1050	52,5	1102,5	2,901	0,0113	0,42	8048,25	0,364	169,013
Αερόθερμο	1500	750	37,5	787,5	2,072	0,0113	4(4 μήνες)	18000	0,582	378,000
3 κλιματιστικά 9000 btu inverter	2250	1302	65,1	1367,1	3,597	0,0113	4(8 μήνες)	62496	3,510	1312,416
(10 οικονομικές)	200	54	0	54	2,25	0,0113	12	0	6,264	236,520
10 πυρακτώσεως)	1000	270	0	270	11,25	0,0113	12	0	156,602	1182,600
Pc desktop (οθόνη TFT)	220-5	176	0	176	7,333	0,0113	7	0	38,816	449,680
2 Laptop	2 100-5	160	0	160	6,666	0,0113	7	0	32,079	408,800
2 ψηφιακές τηλεοράσεις lcd 40"	2 140 -5	238	0	238	9,916	0,0113	5	0	50,700	434,350
Router	15	10,35	0	10,35	0,431	0,0113	24	0	0,460	90,666
Dvd player	20-3	13,8	0	13,8	0,575	0,0113	0,85	0	0,028	4,281
Ενισχυτής κεραίας	30	21	0	21	0,875	0,0113	24	0	1,894	183,960
Επαναφορτιζόμενο ηλεκτρονικά	100	80	0	80	3,333	0,0113	5	0	5,728	146,000
Ψηφιακές συσκευές	100	80	0	80	3,333	0,0113	24	0	27,496	700,800
Σύνολο								288,684	330,618	9900,037

**Πίνακας 7-8 πίνακας καταναλώσεων DC οικίας 380/24Vdc με χρήση μετατροπών και τεχνολογιών**

**Συνολική λειτουργία :**

**Κατανάλωση + απώλειες καλωδίων=9900,037+330,618=10230,655kWhr/yr**

Και από αυτά έχουμε:

**Απώλειες μετατροπής:=288,684kWhr/yr**

Τα οποία μεγέθη αν θεωρήσουμε σαν τιμή kWhr την σημερινή 0,094/kWhr έχουμε :

**Συνολικό κόστος λειτουργίας=10230,655×0,094 ≈ 962 €/yr**

#### 7.4.6 Υβριδική εγκατάσταση 230/120Vac/24Vdc

Σε αυτό το σημείο εξετάζουμε τις καταναλώσεις μιας συμβατικής οικίας ,στην οποία έχουμε τις κλασικές γραμμές των 230/120Vac ενώ διαθέτουμε και μια γραμμή στα 24Vdc η οποία εξυπηρετεί τον φωτισμό και τις ηλεκτρονικές συσκευές.

Αυτό το σενάριο είναι μια αρκετά εφαρμόσιμη λύση. Περιλαμβάνει ουσιαστικά μια επιπλέον γραμμή η οποία έχει σχεδιαστεί με στόχο την τροφοδότηση των ηλεκτρονικών συσκευών και του φωτισμού. Στόχος είναι η μείωση των απωλειών μετατροπής και η διατήρηση των χαμηλών απωλειών καλωδίων ενός ac σπιτιού, ενώ ταυτόχρονα αφαιρούνται τα κόστη αγοράς και τοποθέτησης νέων συσκευών, νέων επιπλέον γραμμών, μετατροπέων dc-dc σε πολλά φορτία και γραμμές, ενώ αποφεύγονται και νέες τυχόν ρυθμίσεις και αλλαγές σε ότι αφορά τις προστασίες γείωσης.

Αποτελεί το πιο ρεαλιστικό σενάριο και έχει εφαρμογές σε αρκετά οικιακά και εμπορικά δίκτυο σε χώρες όπως οι ΗΠΑ και η Ιαπωνία. Επίσης αποτελεί εφαρμογή η οποία δεν απαιτεί την δημιουργία κανονισμών από την πλευρά μιας κεντρικής αρχής. Σε επιπλέον στάδιο αυτή η dc γραμμή θα μπορεί πιο εύκολα να συνδυαστεί με την χρήση φωτοβολταϊκών και αποθηκευτικών διατάξεων και να αποφέρει κάποια επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας για την εγκατάσταση.

Συσκευή	Ισχύς στο ac(w)	Απώλειες μετατροπής ac-dc(w)	Ρεύμα στα 230/120 /24	Αντίσταση καλωδίου (R/m)	Μήκος καλωδίων	Ώρες λειτουργίας ανά ημέρα	Απώλειες μετατροπής (kWh/yr)	Απώλειες καλωδίων (kWh/yr)	Λειτουργία α (kWh/yr)
Ηλεκτρικός φούρνος	2000	0	8,695	0,0068	10	1	0	1,876	730,000
Μεγάλο μάτι	2000	240	8,695	0,0068	10	1	87,600	1,876	730,000
2 μεσαία μάτια	2000	240	8,695	0,0068	10	1	87,600	1,876	730,000
Μικρό μάτι	500	60	2,173	0,0068	10	1	21,900	0,117	182,500
Φούρνος μικροκυμάτων	1000	120	8,333	0,0113	10	0,5	21,900	1,432	182,500
Τοστιέρα	750	0	6,25	0,0113	10	0,1	0	0,161	27,375
Φρυγανιέρα	900	0	7,5	0,0113	10	0,1	0	0,232	32,850
Βραστήρας	1500	0	12,5	0,0113	10	0,2	0	1,288	109,500
Καφετιέρα	1000	0	8,333	0,0113	10	0,5	0	1,432	182,500
Πλυντήριο πιάτων	2000	0	8,695	0,0113	10	0,55	0	1,715	401,500
Ψυγείο νέου τύπου	125	0	1,041	0,0113	10	12	0	0,537	547,500
Ηλιακός θερμοσίφωνας	4000	0	17,391	0,0068	50	1(6 μήνες)	0	18,510	720,000
Πλυντήριο ρούχων	2200	0	9,565	0,0113	25	0,65	0	6,132	521,950

Στεγνωτήριο	2000	0	8,695	0,0113	25	0,65	0	5,067	474,500
Ξεσουάρ	1200	0	10	0,0113	25	0,2	0	2,062	87,600
Σίδερο ρούχων	1000	0	8,333	0,0113	25	0,2	0	1,432	73,000
Σίδερο μαλλιών	1200	0	10	0,0113	25	0,2	0	2,062	87,600
Πρέσα	2000	0	16,666	0,0113	25	0,2	0	5,728	146,000
Ηλεκτρική σκούπα	1500	0	12,5	0,0113	25	0,42	0	6,766	229,950
Αερόθερμο	1500	0	12,5	0,0113	25	4(4 μήνες)	0	21,187	720,000
3 κλιματιστικά 9000 btu inverter	2250	247,5	18,75	0,0113	25	4(8 μήνες)	237,600	95,343	2160,000
(10 οικονομικές)	54	0	2,25	0,0113	25	12	0	6,264	236,520
10 πυρακτώσους)	270	0	11,25	0,0113	25	12	0	156,602	1182,600
Pc desktop (οθόνη TFT)	176	0	7,333	0,0113	25	7	0	38,816	449,680
2 Laptop	160	0	6,666	0,0113	25	7	0	32,079	408,800
2 ψηφιακές τηλεοράσεις lcd 40"	238	0	9,916	0,0113	25	5	0	50,700	434,350
Router	10,35	0	0,431	0,0113	25	24	0	0,460	90,666
Dvd player	13,8	0	0,575	0,0113	25	0,85	0	0,028	4,281
Ενισχυτής κεραίας	21	0	0,875	0,0113	25	24	0	1,894	183,960
Επαναφορτιζόμενα ηλεκτρονικά	80	0	3,333	0,0113	25	5	0	5,728	146,000
Ψηφιακές συσκευές	80	0	3,333	0,0113	25	24	0	2,7496,67	700,800
Σύνολο							456,600	496,911,1	12914,482

Πίνακας 7-9 πίνακας καταναλώσεων Υβριδική εγκατάσταση 230/120Vac/24Vdc

**Συνολική λειτουργία :**

**Κατανάλωση + απώλειες καλωδίων=12914,482+496,911= 13411,394kWhr/yr**

Και από αυτά έχουμε:

**Απώλειες μετατροπής:=456,6kWhr/yr**

Τα οποία μεγέθη αν θεωρήσουμε σαν τιμή kWhr την σημερινή 0,094/kWhr έχουμε :

**Συνολικό κόστος λειτουργίας=13411,394×0,094 ≈ 1261€/yr**



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ HOMER ENERGY**

### **8.1 HOMER ENERGY**

Το Homer energy είναι ένα πρόγραμμα το οποίο δημιουργήθηκε από το υπουργείο ενέργειας των Ηνωμένων πολιτειών Αμερικής στις αρχές του 2000 .Ο στόχος του είναι να αποτελέσει ένα εργαλείο με το οποίο να αξιολογείται οικονομικά μια επένδυση και η λειτουργία μονάδων κατανεμημένης παραγωγής σε εγκαταστάσεις, είτε μικρές οικιακές είτε μεγάλες εμπορικές και βιομηχανικές.

Ο χρήστης προσημειώνει διαφόρων ειδών φορτία (πρωτεύοντα, δευτερεύοντα, φορτία υδρογόνου,dump loads) θέτοντας τις παραμέτρους του κάθε φορτίου. Στην συνέχεια επιλέγει τις πηγές ενέργειας που είναι διαθέσιμες προς επένδυση μαζί με τα χαρακτηριστικά τους. Επίσης διαθέτει και μοντέλα των διαφόρων διατάξεων που μπορεί να χρειαστούν κατά την λειτουργία της εγκατάστασης ή των μονάδων κατανεμημένης παραγωγής. Στην συνέχεια αναφέρονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά που μπορεί να εισάγει ο χρήστης σε κάθε κομμάτι του προγράμματος.

#### **8.1.1 Φορτία**

Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται διάφορα είδη καταναλώσεων που μπορεί να έχει η εγκατάσταση. Έχουμε τυπικά ηλεκτρικά φορτία τα οποία μπορεί να είναι είτε ac είτε dc ,ενώ χωρίζονται επίσης σε πρωτεύοντα φορτία και δευτερεύοντα φορτία. Τα πρωτεύοντα φορτία είναι αυτά τα οποία η εγκατάσταση πρέπει απαραίτητα να ικανοποιήσει την κάθε στιγμή που αυτά απαιτούν. Τα δευτερεύοντα φορτία είναι φορτία τα οποία η παραγωγή πρέπει να ικανοποιήσει αλλά δεν υπάρχει περιορισμός στην ώρα της ημέρας. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει την φόρτιση μιας μπαταρίας ,την ικανοποίηση του ηλεκτρολύτη προς παραγωγή υδρογόνου κτλ. Τα αλλά είδη φορτίων που εμπεριέχονται στις επιλογές του χρήστη περιλαμβάνουν θερμικά φορτία (καλύπτονται από καυστήρες είτε από ανακτώμενη θερμότητα) και φορτία υδρογόνου (παραγωγή υδρογόνου και αποθήκευση σε δεξαμενή). Σε κάθε φορτίο ο χρήστης καλείται να παράγει μια ημερήσια καμπύλη φορτίου για τις εργάσιμες μέρες της εβδομάδας και τα σαββατοκύριακα για κάθε μήνα του χρόνου. Το πρόγραμμα ανάλογα με την καμπύλη υπολογίζει την μέση κατανάλωση ενέργειας (kwh) ανά ημέρα και ανά χρόνο, την ημερήσια αιχμή ενώ προσφέρει και επιλογές ώστε ο

χρήστης να μπορεί να εισάγει μια αβεβαιότητα στην καμπύλη με την μορφή ποσοστού διαφοροποίησης στην αιχμή και την ζήτηση της ημέρας αλλά και στην ώρα της ημέρας που εμφανίζεται η κάθε κατανάλωση. Επίσης εισάγεται από τον χρήστη μια μέση τιμή κατανάλωσης ενέργειας (kwh/yr) σύμφωνα με την οποία αναλογικά κανονικοποιούνται οι καταναλώσεις που υπολογίζει το πρόγραμμα. Όσον αφορά άλλου είδους φορτία (υδρογόνο) αντί για kw/h ο χρήστης εισάγει kg/h για την δημιουργία της καμπύλης.

### **8.1.2 Μονάδες παραγωγής**

Οι μονάδες παραγωγής που μπορεί να αξιοποιήσει ο χρήστης χωρίζονται σε 5 γενικές κατηγορίες. Έχουμε φωτοβολταϊκές συστοιχίες, ανεμογεννήτριες, γεννήτριες που χρησιμοποιούν καύσιμα, και μικρά υδροηλεκτρικά. Για κάθε είδος παραγωγής ο χρήστης καλείται να εισάγει την παραγωγή της κάθε μονάδας(kw/h) και τις τιμές του αρχικού κεφαλαίου που απαιτείται, καθώς και το κόστος αντικατάστασης της μονάδας σε περίπτωση βλάβης. Ακόμη εισάγεται και τυχόν έξοδα λειτουργίας και συντήρησης της κάθε μονάδας (O&M).Ακόμη σε κάθε μονάδα εισάγεται ο χρόνος ζωής τους και αν είναι μονάδες ac ή dc.Στην συνέχεια αναφέρουμε τα επιπλέον στοιχεία που πρέπει να εισάγει ο χρήστης για κάθε είδος μονάδας παραγωγής.

### **8.1.3 Φωτοβολταϊκές συστοιχίες**

Τα επιπλέον στοιχεία που καλείται ο χρήστης να εισάγει εδώ είναι αν το φωτοβολταϊκό διαθέτει κάποιο σύστημα tracking ,και τις επιδράσεις που μπορεί να έχουν οι ανακλάσεις από το έδαφος, το ποσοστό απωλειών λόγω περιβάλλοντος και μπορεί να επιλέξει εάν το φωτοβολταϊκό επηρεάζεται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η παραγωγή του φωτοβολταϊκού καθορίζεται ανάλογα με την ηλιοφάνεια της περιοχής που βρίσκεται η εγκατάσταση. Τα δεδομένα αυτά παρέχονται από το διαδίκτυο θέτοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής της εγκατάστασης.

### **8.1.4 Ανεμογεννήτριες**

Εδώ το πρόγραμμα διαθέτει βάσεις δεδομένων με μοντέλα ανεμογεννητριών που υπάρχουν στην αγορά μαζί με τα χαρακτηριστικά τους (καμπύλες παραγωγής, ύψος πτερωτής κτλ.). Μπορεί ο χρήστης βέβαια να εισαγάγει ένα δικό του μοντέλο. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις βάσεις δεδομένων δεν παρουσιάζονται κόστη για κάθε μοντέλο. Η παραγόμενη ισχύς της ανεμογεννήτριας καθορίζεται από το πρόγραμμα ανάλογα με τα δεδομένα ταχύτητας ανέμου για την περιοχή που εισάγει ο χρήστης.



Στα δεδομένα αυτά εισάγεται επίσης και το επίπεδο άνω της θαλάσσης, και το ύψος του ανεμομέτρου από το έδαφος ,όπου πάρθηκαν αυτές οι τιμές ανέμου.

### **8.1.5 Γεννήτριες**

Στην κατηγορία των γεννητριών ο χρήστης καλείται να επιλέξει πέρα από την παραγωγή της γεννήτρια το είδος καυσίμου που καταναλώνει (πετρέλαιο, υδρογόνο, στερεά καύσιμα) και διάφορα στοιχεία που αφορούν το κάθε καύσιμο. Ο χρόνος ζωής δίνεται σε ώρες λειτουργίας. Ακόμη προσφέρει μια λειτουργία στην οποία μπορεί ο χρήστης να καθορίσει ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα (ωρολόγιο) λειτουργίας ανά ημέρα ή να αφήσει το πρόγραμμα να αποφασίσει πότε θα συνέφερε να λειτουργεί η γεννήτρια περισσότερο.

### **8.1.6 Μικρά υδροηλεκτρικά**

Σε περίπτωση που ο χρήστης θέλει να περιλάβει στην προσημείωση ένα μικρό υδροηλεκτρικό ,πρέπει να εισάγει την απόδοση του, την πίεση του νερού και την ροή του. Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραγωγή του υδροηλεκτρικού υπολογίζεται από τους παραπάνω παράγοντες και δεν εισάγει ο χρήστης μοντέλα και αναμενόμενη παραγωγή.

### **8.1.7 Επιπλέον εξαρτήματα**

Σε αυτή την κατηγορία οι επιλογές που προσφέρονται είναι μετατροπείς(ac-dc,inverters),αποθηκευτικές διατάξεις (μπαταρίες) και ένα σύστημα ηλεκτρόλυσης υδρογόνου. Οι μετατροπείς παρουσιάζονται ως ένας κεντρικός μετατροπέας όπου ο χρήστης καθορίζει την μέγιστη ικανότητα μετατροπής του μετατροπέα(kWh) και την απόδοση που θα έχει τυχόν inverter και rectifier που θα χρησιμοποιηθεί στο σύστημα. Όσον αφορά τις μπαταρίες προσφέρονται μοντέλα από τις βάσεις δεδομένων του προγράμματος τα οποία διαθέτουν το κάθε ένα τα χαρακτηριστικά του, αμπερώρες, ρεύμα εκφόρτισης, επιτρεπόμενο ποσοστό εκφόρτισης κτλ. Ακόμη ο χρήστης μπορεί να εισάγει είτε διαθέσιμο αριθμό μπαταριών ,είτε να εισάγει μπαταρίες σαν συστοιχίες σε σειρά, καθορίζοντας έτσι την τάση του ζυγού dc(οι υπόλοιπες μπαταρίες εισάγονται σε παράλληλη σύνδεση). Το σύστημα υδρογόνου περιλαμβάνει δυο διατάξεις παροχής και μια διάταξη αποθήκευσης. Οι διατάξεις παροχής είναι είτε electralyzer(συσκευή που παράγει υδρογόνο μέσω ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται από το σύστημα) είτε reformer(συσκευή που παράγει υδρογόνο με κατανάλωση ορυκτών καυσίμων), ενώ η αποθηκευτική διάταξη είναι ουσιαστικά μια δεξαμενή (μπουκάλες) για το παραγόμενο υδρογόνο. Όσον αφορά τον electralyzer το

μέγεθος του δίνεται σε kw που θα καταναλώνει από το σύστημα ενώ ο βαθμός απόδοσης καθορίζει το παραγόμενο υδρογόνο.

## **8.2 ΠΡΟΣΩΜΕΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

### **8.2.1 Γενικά δεδομένα προσομοιώσεων**

Η λειτουργία του HOMER έγκειται στον υπολογισμό της οικονομικότερης εγκατάστασης για τον επενδυτή. Αυτός ο υπολογισμός πραγματοποιείται με την εξής διαδικασία. Ο χρήστης επιλέγει όλα τα φορτία που θέλει η παραγωγή να καλύψει και επιλέγει όλες τις πηγές παραγωγής που έχει διαθέσιμες. Από αυτές τις πηγές μπορεί να θέσει περιορισμούς ποσότητα έτσι ώστε το σύστημα να υπολογίσει τον πιο οικονομικό συνδυασμό. Για παράδειγμα ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα από πέντε διαφορετικές γεννήτριες μέχρι δυο ανεμογεννήτριες και ένα σύστημα φωτοβολταϊκών από 5kW έως 50kW, οποιαδήποτε αριθμό μπαταριών, ενώ μπορεί να καθορίσει αν το σύστημα θα είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο ή όχι, ακόμη και πόσο θα κόστιζε η σύνδεση του με το δίκτυο σε περίπτωση απομακρυσμένης εγκατάστασης.

Ακόμη ο χρήστης καλείται να εισάγει εκτός από τα οικονομικά δεδομένα που σχετίζονται με τις μονάδες παραγωγής και οικονομικά δεδομένα ,όπως την αξία της kWh(τιμή δικτύου) ,το ποσοστό ανατοκισμού που θα έχουν τα χρήματα αν υπήρχαν σε λογαριασμό τραπεζής και δεν χρησιμοποιούνταν στην επένδυση, το μέγιστο αρχικό κεφάλαιο, την τιμή αγοράς και το όριο για καθεστώτα net metering κ.τ.λ.. Ακόμη εισάγονται και δεδομένα σχετικά με το ποσοστό αξιοπιστίας του δικτύου αλλά και το ποσοστό που θέλει ο χρήστης να επιτύχει στην εγκατάσταση ,ελάχιστο παράγοντα ΑΠΕ στην εγκατάσταση αλλά και κάποια όρια σε ότι έχει να κάνει με παραγωγή ρύπων από τις γεννήτριες.

Με βάση αυτά τα δεδομένα το HOMER συνδυάζει όλες αυτές τις περιπτώσεις και παρουσιάζει αποτελέσματα για το πιο οικονομικό σύστημα. Η σύγκριση αυτή δεν γίνεται με βάση το κόστος επένδυσης ούτε την αναμενόμενη τιμή kWh, ούτε ανάλογα με το κόστος λειτουργίας ανά χρόνο για όλη την διάρκεια του προγράμματος (χρόνια). Τα δεδομένα αυτά συγκρίνονται με βάση το net present cost. Αυτό είναι ένα μέγεθος που ουσιαστικά δείχνει το κόστος επένδυσης για όλα τα χρόνια που έχουμε θεωρήσει και είναι το σύνολο των διαφόρων δαπανών που γίνονται (αρχικό

κεφάλαιο, αγορά από το δίκτυο, αντικατάσταση εξοπλισμού, κόστος καυσίμου κτλ) μείων τα αναμενόμενα κέρδη (πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, παρούσα αξία εξοπλισμού). Οι δημιουργοί του προγράμματος πιστεύουν ότι μια τέτοια σύγκριση είναι πιο αξιόπιστη από μια σύγκριση μόνο του αρχικού κεφαλαίου ή σύγκριση του κόστους ενέργειας (Cost of Energy-COE). Εκτός από την σύγκριση αυτή, για κάθε περίπτωση παρουσιάζονται διάφορα στοιχεία λειτουργίας όπως η παραγωγή κάθε μονάδας ανά χρόνο, η χρήση που γίνεται στις μπαταρίες, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστά αξιοπιστίας της εγκατάστασης. Ανάλογα με την περίπτωση μπορεί ο χρήστης να κάνει και σύγκριση ανάμεσα σε δυο σενάρια προσημείωσης όπου προσφέρονται πληροφορίες ανάλογα με την αποπληρωμή του κεφαλαίου αλλά και λεπτομερέστερη σύγκριση των διαφόρων οικονομικών παραγόντων.

Πριν εξετάσουμε τα δυο είδη εγκαταστάσεων (ac-dc) έχουμε κάποια κοινά δεδομένα που πρέπει να εισάγουμε στο πρόγραμμα. Αυτά τα δεδομένα έχουν να κάνουν με τιμές ηλιοφάνειας, ταχύτητες ανέμου και γενικά κόστη για κάθε πηγή παραγωγής. Σε αυτό το σημείο παρουσιάζουμε τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν

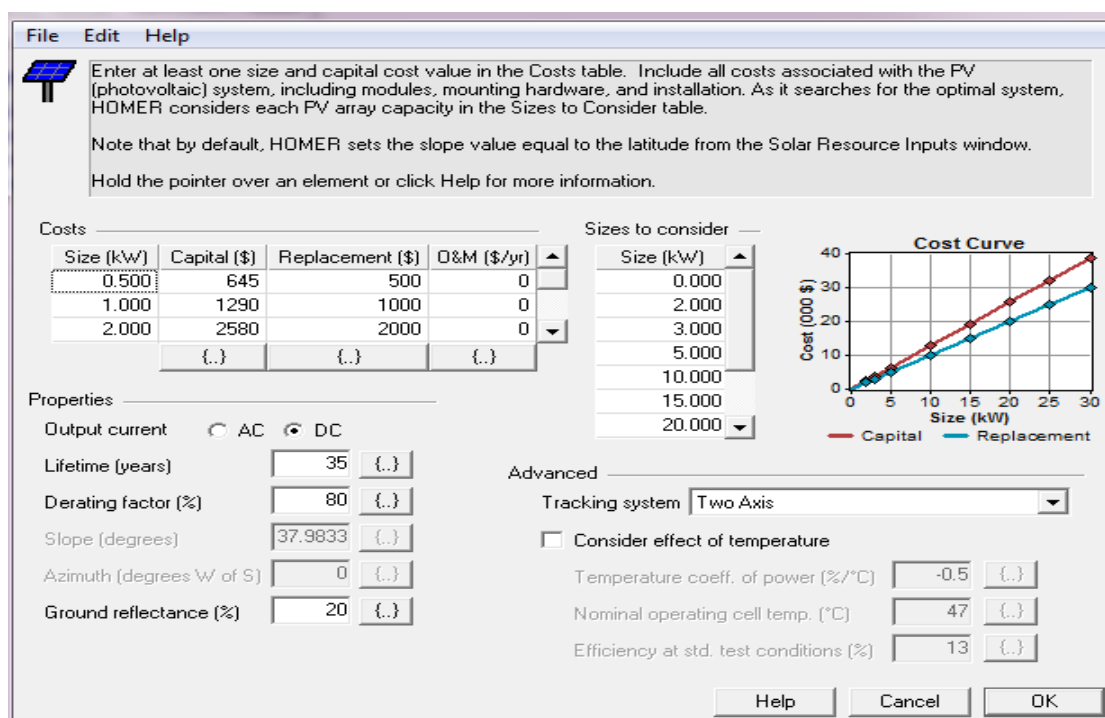
### **8.2.2 Φωτοβολταϊκά**

Όσον αφορά τις συστοιχίες των φωτοβολταϊκών που θέσαμε στο πρόγραμμα, έχουμε υπολογίσει μεγέθη παραγωγής η οποία να μπορεί να καλύψει ενδυνάμη όλο το φορτίο και τις αιχμές του. Έτσι έχουμε δώσει την δυνατότητα στο πρόγραμμα να υπολογίζει προσομοιώσεις για συστοιχίες φωτοβολταϊκών από 1kW έως 30kW. Σε αυτά τα συστήματα έχουμε υποθέσει ύπαρξη συστήματος tracking δυο αξόνων, ενώ για χάρη απλότητας έχουμε λάβει υπόψη τυχόν επιδράσεις θερμοκρασίας στην παραγωγή του φωτοβολταϊκού με την χρήση ενός γενικού ποσοστού 80%.

Το κόστος που θέσαμε βασίζεται στα δεδομένα που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο και είναι περίπου 1\$/W, έτσι έχουμε για 1kW φωτοβολταϊκό έχουμε κόστος 1000\$. Αυτό το κόστος αποτελεί το κόστος αντικατάστασης της μονάδας σε περίπτωση βλάβης είτε αφού έχει παρέλθει ο χρόνος ζωής της. Για το αρχικό κόστος έχουμε υπολογίσει περίπου ένα ποσοστό προσαύξησης 29% άρα για 1kW φωτοβολταϊκό έχουμε κόστος εγκατάστασης 1290\$. Αυτή η υπόθεση γίνεται διότι ανάλογα με τον προμηθευτή έχουμε μεγάλες διακυμάνσεις στα εργατικά κόστη και στο κόστος εγκατάστασης και εξοπλισμού. Σαν γενική περίπτωση ένα τέτοιο

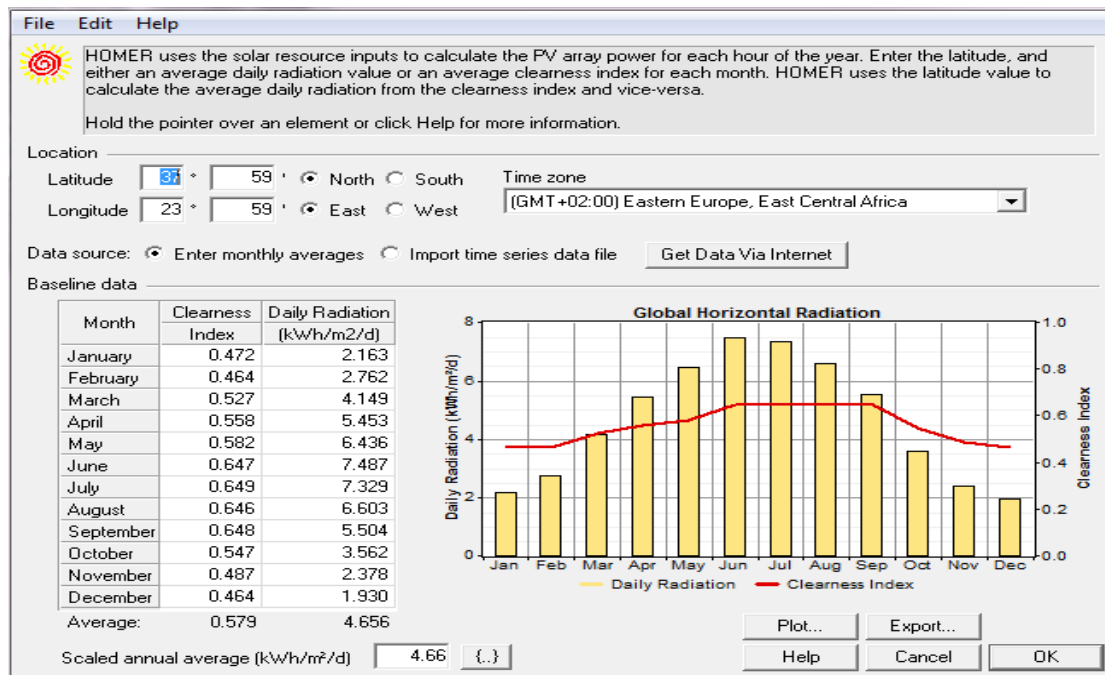
ποσοστό κρίνεται αρκετά ακριβές. Σαν κόστος συντήρησης έχουμε λάβει μηδενική τιμή καθώς τέτοιας κατηγορίας κόστη έχουν εισαχθεί στο κόστος αντικατάστασης.

Το φωτοβολταϊκό είναι συνδεδεμένο σε ζυγό dc ,έχουμε υποθέσει χρόνο ζωής 35 χρόνια και συντελεστή ανάκλασης εδάφους και άλλων επιφανειών 20%. [16]



Εικόνα 8-1 δεδομένα φωτοβολταϊκών στοιχείων

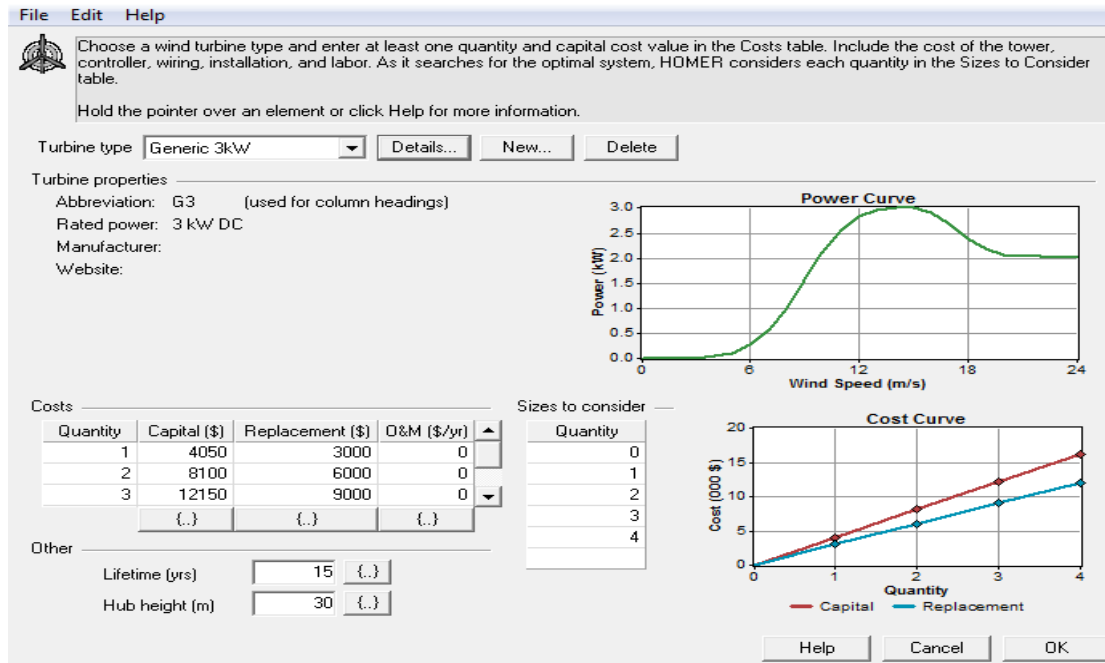
Σχετικά με την ηλιοφάνεια και τα θερμοκρασιακά δεδομένα ,έχουμε λάβει τιμές που προήλθαν από το διαδίκτυο ανάλογα με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της Αθήνας. Καθώς μας ενδιαφέρει μια οικία η οποία βρίσκεται σε αστική περιοχή.



Εικόνα 8-2 δεδομένα ηλιοφάνειας

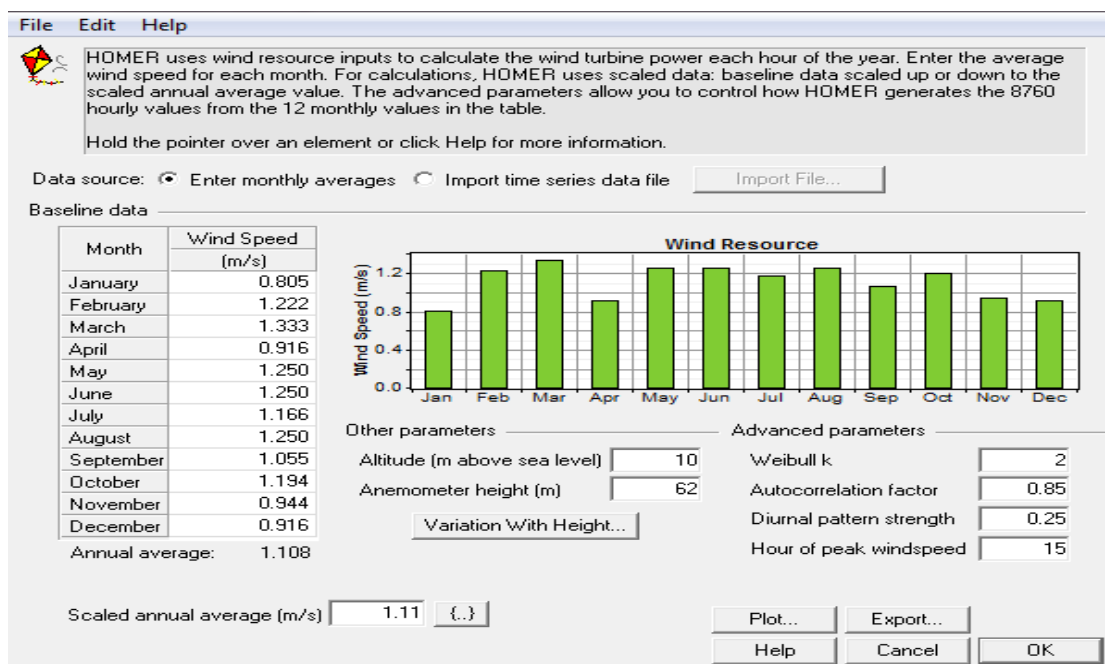
### 8.2.3 Ανεμογεννήτριες

Το HOMER διαθέτει πολλά μοντέλα ανεμογεννητριών στις βάσεις δεδομένων του αλλά στην δικιά μας περίπτωση ,λόγο της παλαιότητας του προγραμματος(2012), έχουμε επιλέξει μια συμβατική ανεμογεννήτρια παραγωγής 3kW DC, με κόστος αντικατάστασης 3000\$ και αρχικό κεφάλαιο 4050\$(ποσοστο 35%).Και πάλι οι τιμές προήλθαν από τα δεδομένα προηγούμενου κεφαλαίου. Σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά έχουμε μεγαλύτερο ποσοστό για το κόστος εγκατάστασης λόγω των επιπρόσθετων εξόδων που περιλαμβάνει η εγκατάσταση ανεμογεννήτριας (πύργος, συστήματα στήριξης κ.τ.λ.). Το κόστος συντήρησης είναι ενσωματωμένο στο κόστος αντικατάστασης ,η διάρκεια ζωής είναι στα 15 χρόνια ενώ το ύψος του δρομέα από το έδαφος υπολογίζεται στα 30m.Ο αριθμός των ανεμογεννητριών προς μελέτη είναι ανάμεσα σε 0 και 4 ανεμογεννήτριες.[3]



Εικόνα 8-3 δεδομένα ανεμογεννητριών

Τα δεδομένα για την ταχύτητα ανέμου προήλθαν από μετρήσεις στο ελληνικό για ύψος ανεμόμετρου 62m και 10m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.[4]



Εικόνα 8-4 δεδομένα ταχύτητας ανέμων

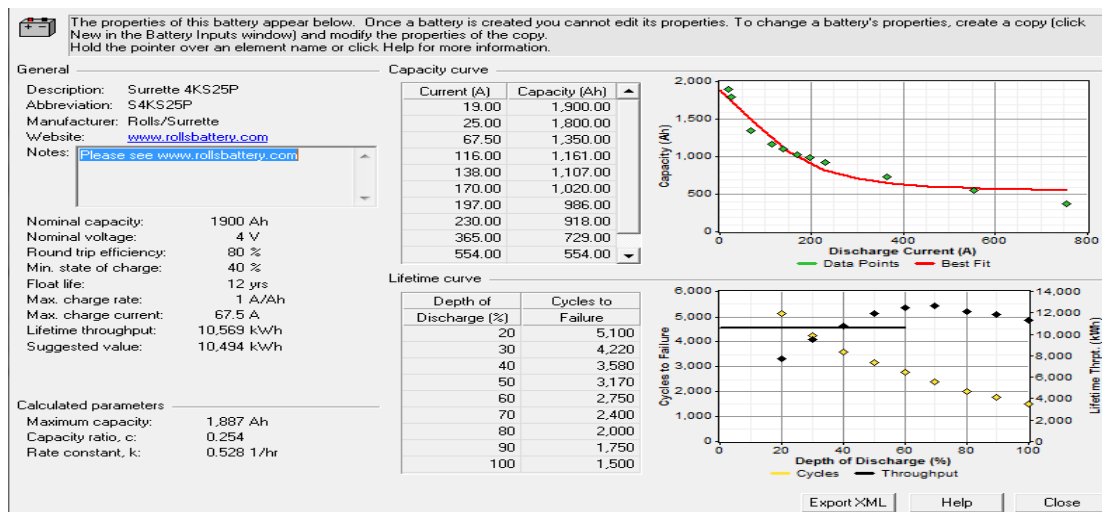
## 8.2.4 Μπαταρίες

Για συστήματα αποθήκευσης θέσαμε στο πρόγραμμα δυο είδη μπαταριών ,χρησιμοποιώντας μοντέλα από την βιβλιοθήκη του προγράμματος. Επιλέξαμε

μπαταρίες οξειδίου (PEM) από δυο διαφορετικούς κατασκευαστές. Τα χαρακτηριστικά της κάθε μιας παρουσιάζονται παρακάτω.

#### 8.2.4.1 SURRETTE 4KS25P

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή μπορεί ο καταναλωτής να αγοράσει μια μπαταρία με τάση εξόδου 12Vdc με 1305\$. Στο πρόγραμμα υπάρχει το μοντέλο αυτό αλλά έχει σαν τάση εξόδου ανά μπαταρία 4V. Προκειμένου να χρησιμοποιήσουμε τα χαρακτηριστικά του προγράμματος και τα κόστη που υπάρχουν σήμερα υπολογίσαμε συστοιχία 3 μπαταριών (σε σειρά) έτσι ώστε να έχουμε μια μπαταρία στα 12Vdc χωρίς να αλλάζουν επίσης τα χαρακτηριστικά της μπαταρίας που σχετίζονται με το ρεύμα. Το κόστος λοιπόν έχει εκφραστεί για μια σημερινή μπαταρία. Στο κόστος εγκατάστασης έχουμε ένα ποσοστό προσαύξησης 12% λόγω της απλότητας της εγκατάστασης και της απουσίας μεγάλου όγκου εξοπλισμού. Έχουμε δώσει στην διάθεση του προγράμματος έναν μεγάλο αριθμό από συστοιχίες ενώ ο χρόνος ζωής δεν εισάγεται από τον χρήστη, αλλά το πρόγραμμα υπολογίζει σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε μπαταρίας τον αναμενόμενο χρόνο λειτουργίας. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το πρόγραμμα να προσημειώσει μια λειτουργία της μπαταρίας έτσι ώστε να έχουμε ελάχιστο χρόνο ζωής της. Στην προκειμένη περίπτωση έχουμε εισάγει ελάχιστο χρόνο ζωής 8 χρόνια. Στην παρακάτω εικόνα έχουμε τα βασικά δεδομένα της συγκεκριμένης μπαταρίας.

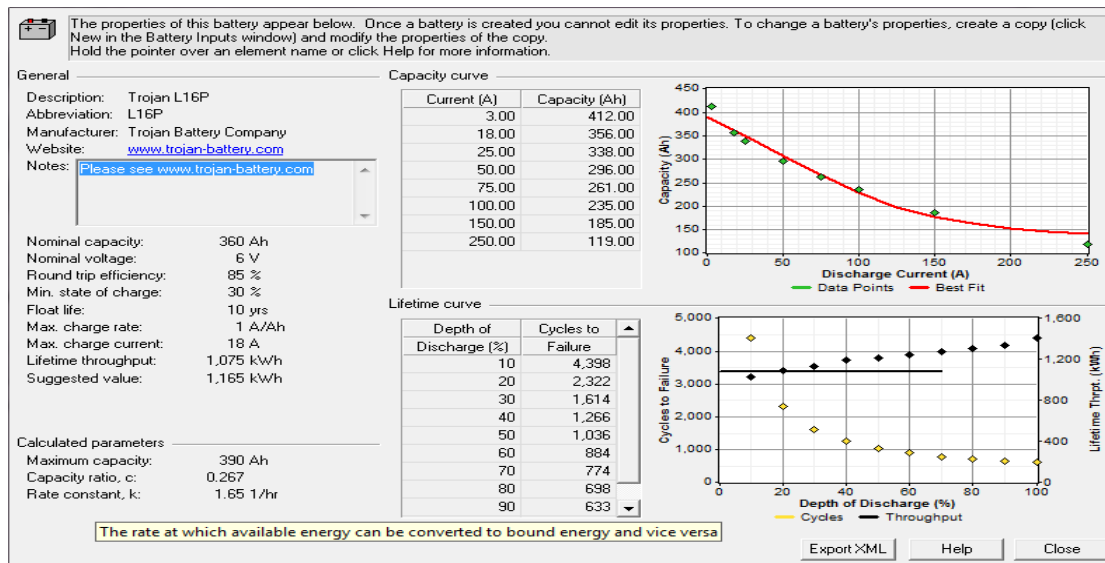


Εικόνα 8-5 δεδομένα SURRETTE 4KS25P

#### 8.2.4.2 TROJAN L16P

Αυτό το μοντέλο διαφέρει από το προηγούμενο στα βασικά χαρακτηριστικά του αλλά και στην τιμή. Εδώ έχουμε κόστος αντικατάστασης 1010\$ για μια μπαταρία 12Vdc

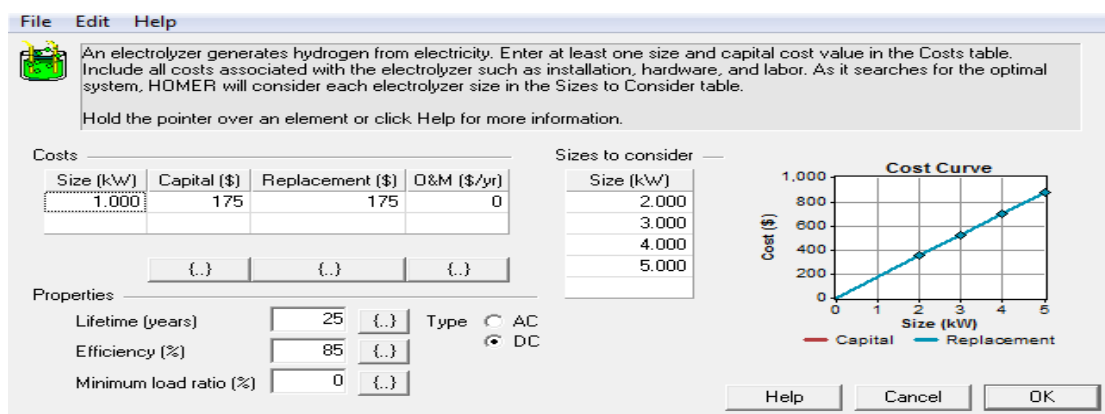
και αρχικό κεφάλαιο 1110\$. Ο ελάχιστος χρόνος ζωής είναι στα 5 χρόνια .Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε τα βασικά χαρακτηριστικά της.



Εικόνα 8-6 δεδομένα TROJAN L16P

### 8.2.5 ELECTROLYZER

Αυτή πρόκειται για μια διάταξη η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου καυσίμου από νερό με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Σαν βασικοί παράμετροι που καλείται να εισάγει ο χρήστης είναι ο χρόνος ζωής ,η απόδοση και το είδος της ενέργειας που καταναλώνει (ac ή dc).Εκτός αυτών πρέπει να εισάγουμε και τα αντίστοιχα κόστη. Έτσι έχουμε ένα κόστος εγκατάστασης 175\$/kW. Σαν απόδοση έχουμε βάλει 85% που παρείχε το πρόγραμμα και χρόνο ζωής 25 χρόνια.



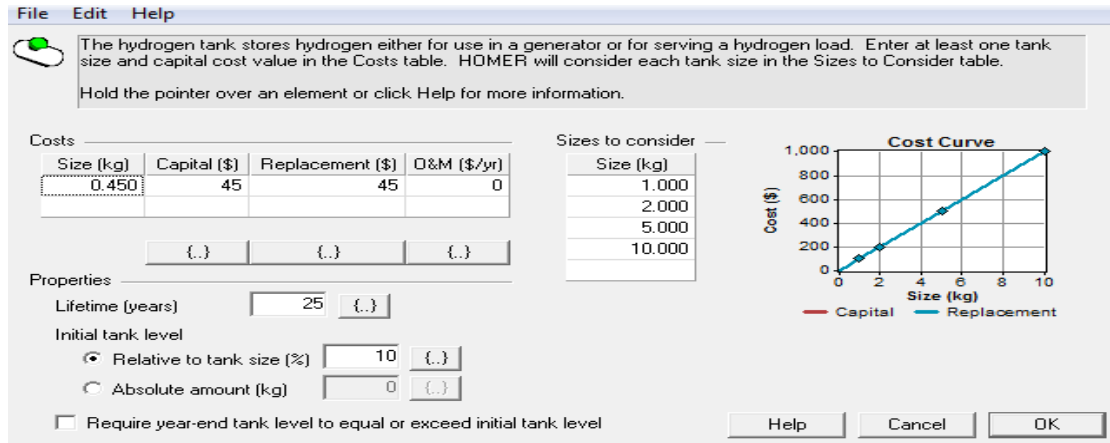
Εικόνα 8-6 οικονομικά δεδομένα ELECTROLYZER

### 8.2.6 Δεξαμενή υδρογόνου

Η δεξαμενή υδρογόνου είναι ουσιαστικά μια μπουκάλα η στην οποία αποθηκεύεται το παραγόμενο υδρογόνο από τον electrolyzer ,υπό πίεση. Ο χρήστης καλείται να



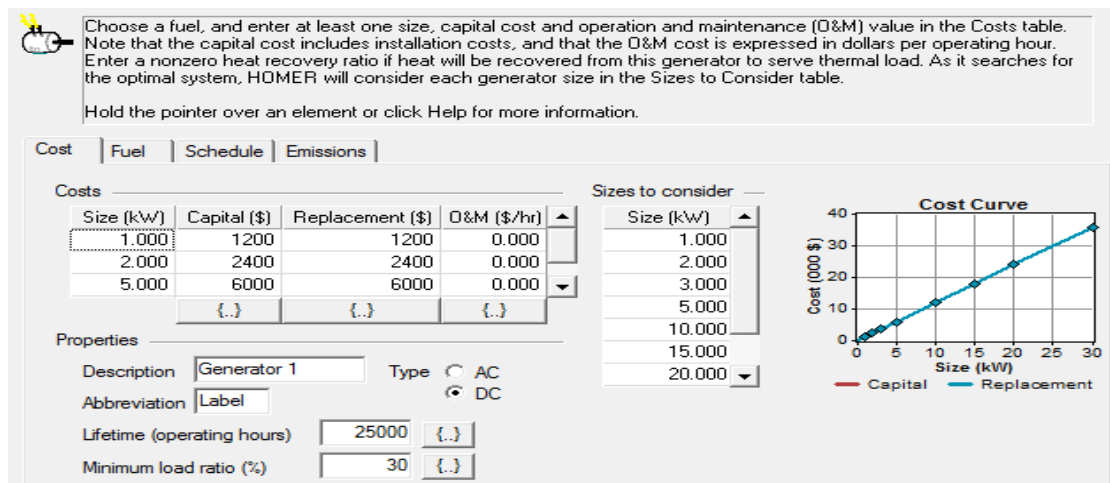
εισάγει χρόνο ζωής, τα διάφορα κόστη και να θέσει ένα ποσοστό το οποίο σχετίζεται με την ενδεχομένη διαφορά στον όγκο-βάρος της δεξαμενής με τον όγκο-βάρος του αποθηκευμένου υδρογόνου. Οι τιμές που βρέθηκαν μετά από έρευνα στο διαδίκτυο καταλήγουν γύρω στα 45\$ ανά μισό κιλό. Ο χρόνος ζωής τοποθετήθηκε στα 25 χρόνια.



Εικόνα 8-7 οικονομικά δεδομένα δεξαμενής υδρογόνου

### 8.2.7 Γεννήτριες

Το HOMER προσφέρει την δυνατότητα στον χρήστη να προσδιορίσει επακριβώς το είδος και τα χαρακτηριστικά της γεννήτριας που θα ήθελε να χρησιμοποιήσει. Εκτός από το μέγεθος της ισχύς παραγωγής και τα οικονομικά μεγέθη, θέτονται και η παραγωγή της γεννήτριας (ac-dc) το είδος καυσίμου και οι ώρες λειτουργίας ανά ημέρα. Στην συγκεκριμένη εργασία έχουμε χρησιμοποιήσει dc γεννήτρια που καταναλώνει υδρογόνο. Τα αντίστοιχα μεγέθη της φαίνονται στην παρακάτω εικόνα. Ενώ ως παραγωγική ικανότητα του υδρογόνου έχει τεθεί 0,34kg/h/kW.



Εικόνα 8-8 δεδομένα γεννήτριας υδρογόνου

### 8.2.8 Μετατροπείς

Εδώ το πρόγραμμα μας δίνει την δυνατότητα να εισαγάγουμε δεδομένα για τους μετατροπείς που μπορεί να διαθέτει το σύστημα. Σαν μετατροπέα το πρόγραμμα θεωρεί έναν βασικό μετατροπέα ο οποίος προσημειώνει τυχόν inverters και rectifiers που μπορεί να χρειαστεί το σύστημα. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα δεν σου επιτρέπει να εισαγάγεις μετατροπέα σε κάθε διάταξη που μπορεί να τον απαιτεί. Αντί αυτό όλο το σύστημα το χωρίζει σε δυο ζυγούς, έναν ac και έναν dc, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους μέσω του μετατροπέα.

Έχουμε υπολογίσει κόστος μετατροπέα και inverter περίπου στα 4500\$ για έναν μετατροπέα 6kW ενώ παρέχουμε την δυνατότητα στο σύστημα να επιλέξει συνολικούς μετατροπείς με ισχύ από 6-40kW. Το πρόγραμμα δίνει στον χρήστη την δυνατότητα επιλογής του βαθμού απόδοσης των inverters και των rectifiers.

### 8.2.9 Δίκτυο

Εδώ το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει πληροφορίες που σχετίζονται με την τιμή αγοράς kWh, την συνολική παροχή που μπορεί να αγοράσει ο χρήστης, (αν υπάρχει κάποιο όριο) καθώς και παραμέτρους για περιπτώσεις net metering, παρέχεται επίσης η δυνατότητα για εισαγωγή δεδομένων και τιμών σε περίπτωση μειωμένων χρεώσεων για τον καταναλωτή (π.χ. νυχτερινή κατανάλωση ρεύματος). Για τις προσομοιώσεις στην παρούσα εργασία έχουμε υπολογίσει τιμή 0,094€/kWh≈0,1\$/kWh, να μην υπάρχει περιορισμός στην αγορά από το δίκτυο, τιμές χωρίς διακυμάνσεις και τιμή αγοράς ενέργειας από τον καταναλωτή 0,05\$/kWh(net metering).

### 8.2.10 Φορτία

Όσον αφορά τα φορτία, για κάθε περίπτωση έχουμε υπολογίσει αντίστοιχη κατανάλωση για την ίδια καμπύλη φορτίου. Σαν γενικό κανόνα έχουμε θεωρήσει δυο πρωτεύοντα φορτία. Το ένα αποτελεί τις ηλεκτρονικές συσκευές και το άλλο αποτελεί τις υπόλοιπες συσκευές που παρουσιάζονται σε μια σύγχρονη οικία. Τα φορτία αυτά και οι καταναλώσεις τους έχουν παρθεί από πίνακες και θεωρήσεις που έχουν παρουσιαστεί στο προηγούμενο κεφάλαιο.

## 8.3 ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ

### 8.3.1 AC οικία με ΑΠΕ και σύνδεση στο δίκτυο

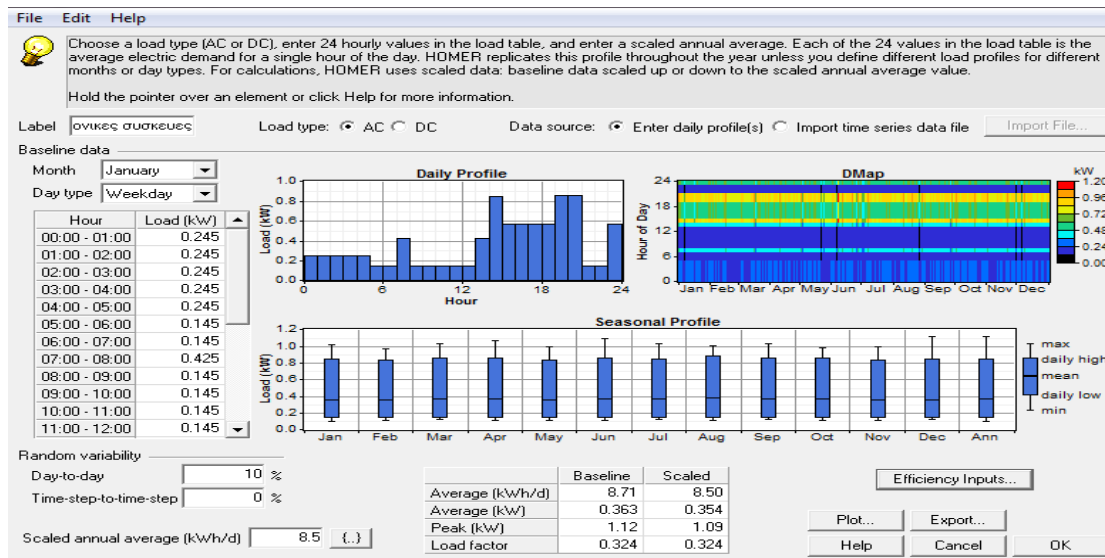
#### 8.3.1.1 Φορτία και εγκατάσταση

Σε αρχικό στάδιο, σύμφωνα με τα όσα αναφέραμε σε προηγούμενες παραγράφους σχετικά με την λειτουργία του homer, προσδιορίσαμε τα φορτία που καλείται το σύστημα να ικανοποιήσει. Προκειμένου να δούμε την διαφορά ανάμεσα στα ac και στα dc φορτία , δημιουργήσαμε δυο πρωτεύοντα φορτία. Το ένα αποτελείται από τις διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές, και έχουμε και ένα άλλο πρωτεύον φορτίο το οποίο αποτελείται από τις υπόλοιπες συσκευές του σπιτιού.

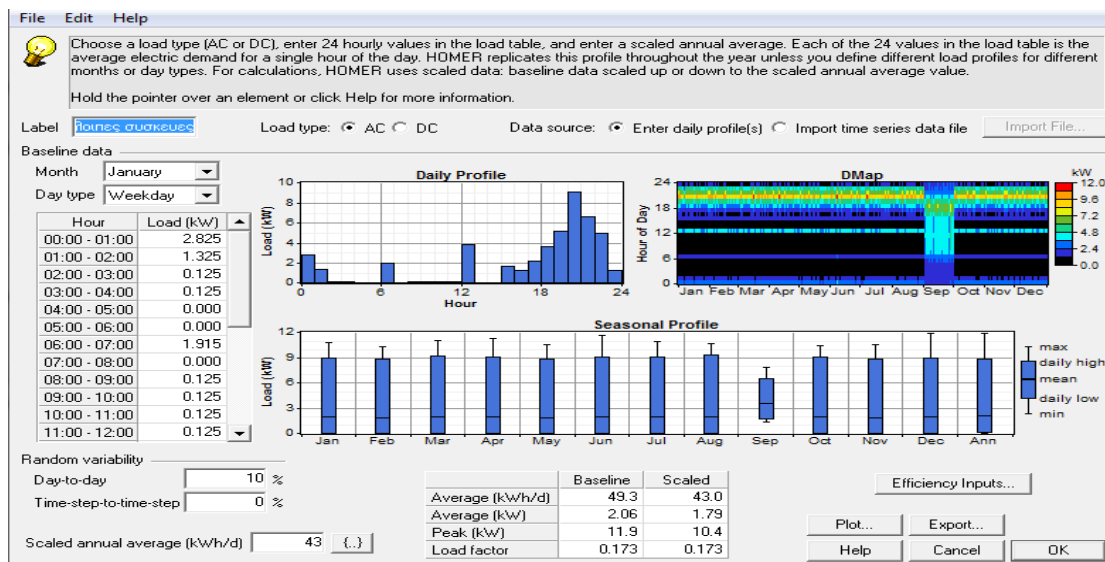
Και για τα δυο φορτία κατασκευάσαμε μια ημερήσια καμπύλη φορτίου. Η κατανάλωση για κάθε ώρα της ημέρας έχει υπολογιστεί με βάση εμπειρικές παρατηρήσεις για μια τετραμελή οικογένεια όπου τα κύρια μέλη της οικογένειας εργάζονται με πρωινή και απογευματινή βάρδια. Η καμπύλη που δημιουργήθηκε έχει χρησιμοποιηθεί για κάθε ημέρα της εβδομάδας (εργάσιμες και μη) ενώ έχουμε μια μικρή διαφοροποίηση στην μορφή της και τα φορτία της ανάλογα με την εποχή του χρόνου. Προκειμένου να έχουμε αυτή την διαφοροποίηση έχουμε χωρίσει το ημερολογιακό έτος σε δυο εξάμηνα, χειμερινό και θερινό. Το χειμερινό εξάμηνο περιλαμβάνει τους μήνες από Σεπτέμβρη έως και Μάρτιο ενώ το θερινό περιλαμβάνει τους μήνες από τον Απρίλιο μέχρι και τον Αύγουστο. Η διαφοροποίηση έγκειται σε φορτία όπως τις κλιματιστικές μονάδες, τον θερμοσίφωνα και τον φωτισμό.

Αφού δημιουργήσαμε την καμπύλη το πρόγραμμα υπολογίζει μόνο του την αναμενόμενη κατανάλωση ανά ημέρα και την ενδεχομένη αιχμή για κάθε φορτίο. Υπολογίζοντας με την σειρά μας τις δικές μας τιμές για τα ίδια μεγέθη κανονικοποιήσαμε τις τιμές του προγράμματος σύμφωνα με τους δικούς μας υπολογισμούς. Οι υπολογισμοί αυτοί έγιναν με βάση μια οικία που λειτουργεί με ac, άρα χρησιμοποιήθηκαν οι ισχύς λειτουργίας για ac σύστημα.

Έχουμε λοιπόν την καμπύλη φορτίου για τις ηλεκτρονικές συσκευές και για τις υπόλοιπες συσκευές.



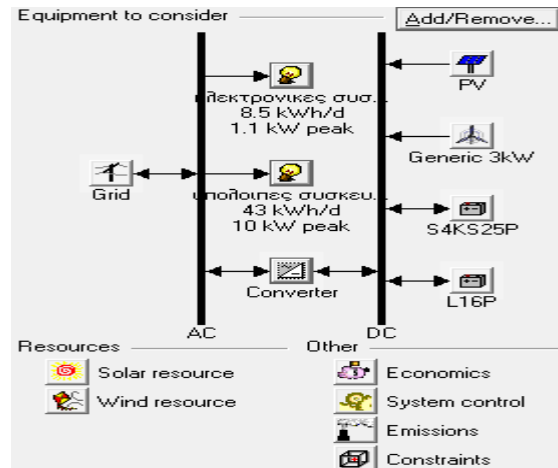
Εικόνα 8-1 καμπύλη φορτίου ηλεκτρονικών συσκευών



Εικόνα 8-2 καμπύλη φορτίου υπόλοιπων συσκευών

Στην συνέχεια προσθέσαμε μια συστοιχία φωτοβολταϊκών, μια ανεμογεννήτρια, δυο είδη μπαταριών ,όπως αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

Όσον αφορά τον μετατροπέα έχουμε εισάγει απόδοση rectifier 85% και απόδοση inverter (για το φωτοβολταϊκό 90%). Και έχουμε έτσι το παρακάτω σύστημα.



Εικόνα 8-3 εγκατάσταση οικίας AC με ΑΠΕ και σύνδεση με το δίκτυο

Για τα οικονομικά δεδομένα της προσημείωσης έχουμε υποθέσει ανάλυση του συστήματος για 30 χρόνια ενώ σαν επιτόκιο έχουμε επιλέξει ένα 3%.

### 8.3.1.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Εδώ βλέπουμε τα αποτελέσματα της προσημείωσης για τις επιλογές που προαναφέρθηκαν. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι πιο οικονομικά συμφέρουσες επενδύσεις για όλους τους συνδυασμούς. Εμάς στην παρούσα εργασία μας απασχολεί η εύρεση της πιο οικονομικής λύσης χωρίς να υπάρχουν περιορισμοί (συγκεκριμένη διείσδυση ΑΠΕ, κ.τ.λ.). Τα οικονομικά μεγέθη που εμφανίζονται για κάθε περίπτωση είναι το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης (initial capital), το κόστος λειτουργίας του συστήματος (operation cost), το συνολικό κόστος παρούσας κατάστασης της επένδυσης (Total NPC) και το κόστος ενέργειας (Cost of energy-COE).

Όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη παράγραφο το HOMER συγκρίνει καταστάσεις ανάλογα με την μικρότερη τιμή NPC. Σύμφωνα με αυτό η πιο συμφέρουσα οικονομικά εγκατάσταση είναι αυτή η οποία θα περιλαμβάνει σύνδεση με το δίκτυο, μια φωτοβολταϊκή συστοιχία εγκατεστημένης ισχύος 15kWh και έναν μετατροπέα 12kW (inverter και rectifier). Τα αντίστοιχα οικονομικά μεγέθη είναι :

Αρχικό κεφάλαιο 28.350\$

Κόστος λειτουργίας -192\$/yr

Κόστος ενέργειας 0,067\$/kWh

NPC 24.587\$

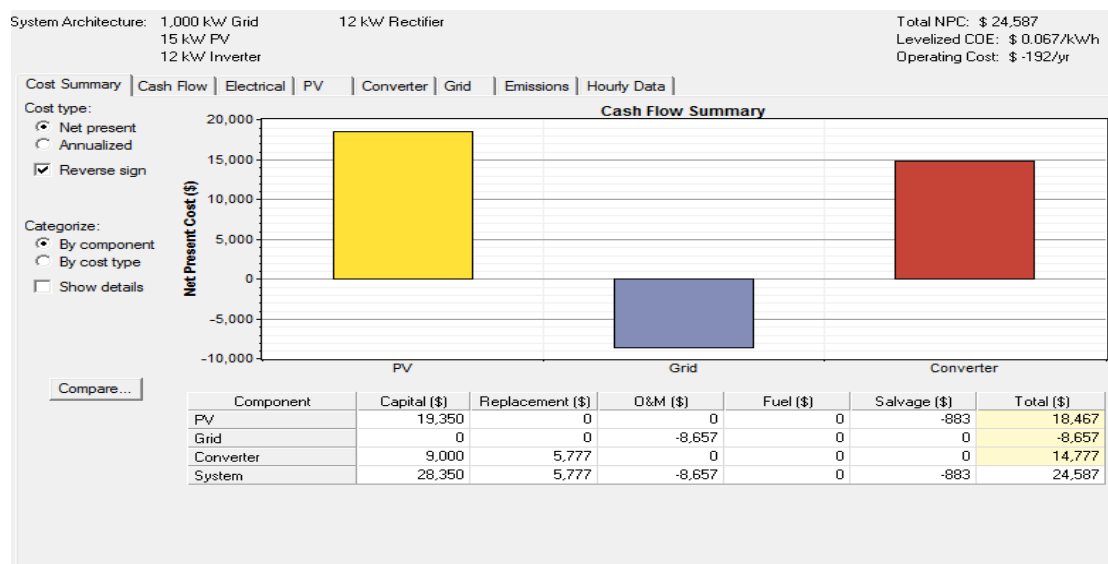
Αξίζει να σημειωθεί ότι η επικρατέστερη εγκατάσταση (πιο οικονομική) δεν περιέχει ανεμογεννήτρια αλλά ούτε και αποθηκευτικές διατάξεις.

Sensitivity Results		Optimization Results										
Double click on a system below for simulation results.												
	PV (kW)	G3	S4KS25P	L16P	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf. (yr)
	15				12	1000	\$ 28,350	-192	\$ 24,587	0.067	0.70	
	15			2	12	1000	\$ 29,460	-125	\$ 27,008	0.073	0.70	10.0
	15	1			12	1000	\$ 32,400	-91	\$ 30,621	0.083	0.70	
	15	1		2	12	1000	\$ 33,510	-24	\$ 33,042	0.090	0.70	10.0
						1000	\$ 0	1,880	\$ 36,844	0.100	0.00	
				2	6	1000	\$ 5,610	2,094	\$ 46,653	0.127	0.00	10.0
		1			6	1000	\$ 8,550	2,128	\$ 50,266	0.136	0.00	
		1		2	6	1000	\$ 9,660	2,195	\$ 52,687	0.143	0.00	10.0

Εικόνα 8-4 οικονομικά βέλτιστη εγκατάσταση

### 8.3.1.3 Ανάλυση κόστους

Στην επόμενη εικόνα μας παρέχονται πιο αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με τα οικονομικά μεγέθη της εγκατάστασης.

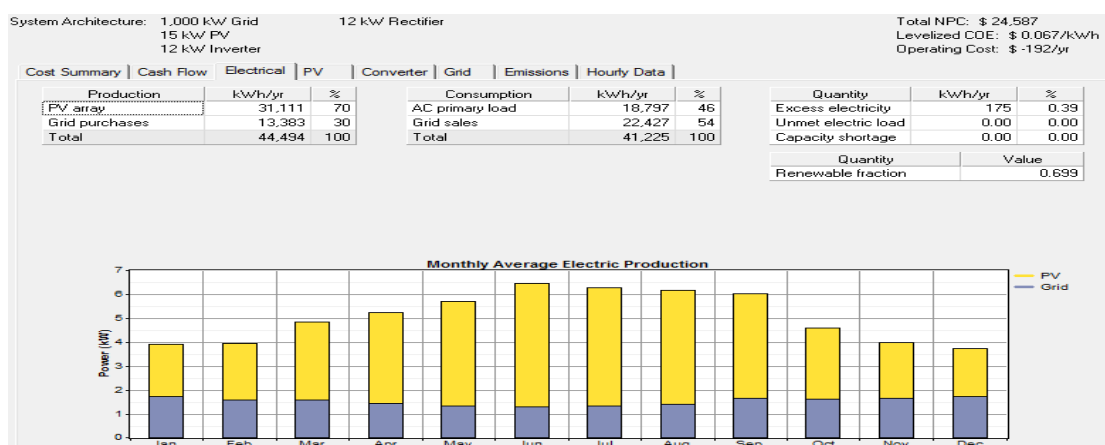


Εικόνα 8-5 οικονομικά μεγέθη AC οικίας με ΑΠΕ και σύνδεση στο δίκτυο

Από την αρχική επένδυση έχουμε τα φωτοβολταϊκά με κόστος 19350\$ και τους μετατροπείς με 9000\$. Μέσα στα 30 χρόνια της εγκατάστασης που θέσαμε προς μελέτη, το μόνο επιπρόσθετο κόστος αποτελεί η αντικατάσταση των μετατροπέων μετά το πέρας της διάρκειας ζωής τους. Τα κέρδη από το δίκτυο προέρχονται από την πώληση ενέργειας πίσω στο δίκτυο (net metering). Η τιμή salvage δηλώνει την αξία των συστημάτων που εγκαταστάθηκαν στο σύστημα. Το γεγονός ότι η τιμή είναι αρνητική δείχνει ότι η συστοιχία φωτοβολταϊκών δεν έχει ακόμη περάσει την διάρκεια ζωής της.

### 8.3.1.4 Ηλεκτρικά μεγέθη

Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε τα ηλεκτρικά μεγέθη της εγκατάστασης. Παρουσιάζονται και αναλυτικότερες εκφράσεις για το κάθε στοιχείο του συστήματος αλλά στην παρούσα εργασία μας ενδιαφέρουν περισσότερο πιο γενικά αποτελέσματα. Βλέπουμε ότι το συνολικό φορτίο ανά χρόνο είναι 18797kWh/yr ,ενώ οι πωλήσεις προς το δίκτυο είναι στα 22427kWh/yr. Συνολική παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά έχουμε 31111kWh/yr και αγορές από το δίκτυο 13838 kWh/yr. Περίσσια παραγωγή ενέργειας έχουμε πολύ μικρή, μόλις 175kWh/yr. Μελετώντας τα μεγέθη αυτά βλέπουμε ότι τα φωτοβολταϊκά παράγουν πολύ περισσότερη ενέργεια από αυτήν που καταναλώνει το σύστημα, με τον μεγαλύτερο όγκο της παραγόμενης ενέργειας να πωλείτε στο δίκτυο. Λόγο ότι δεν υπάρχει αποθηκευτική διάταξη σημαίνει ότι παρόλη την περίσσεια ενέργειας των φωτοβολταϊκών έχουμε ακόμη ανάγκη αγοράς ενέργειας από το δίκτυο. Μπορεί να έχουμε σαν αποτέλεσμα κέρδη από την πώληση ενέργειας της τάξεως των 8000\$ αλλά η επένδυση είναι αρκετά μεγάλη. Θα ήταν πιο εφικτή οικονομικά, μια εγκατάσταση η οποία θα περιλάμβανε μικρότερο φωτοβολταϊκό και κατ'επέκταση μικρότερης ισχύος μετατροπείς έτσι ώστε να μειώνονταν και η κατανάλωση από το δίκτυο σε κάποιο βαθμό αλλά και το αρχικό κόστος της εγκατάστασης. Αυτό μπορούμε να το προσομοιώσουμε στο πρόγραμμα με την εισαγωγή μέγιστου αρχικού κεφαλαίου αλλά μια τέτοια ανάλυση ξεφεύγει από τους στόχους αυτής της εργασίας.

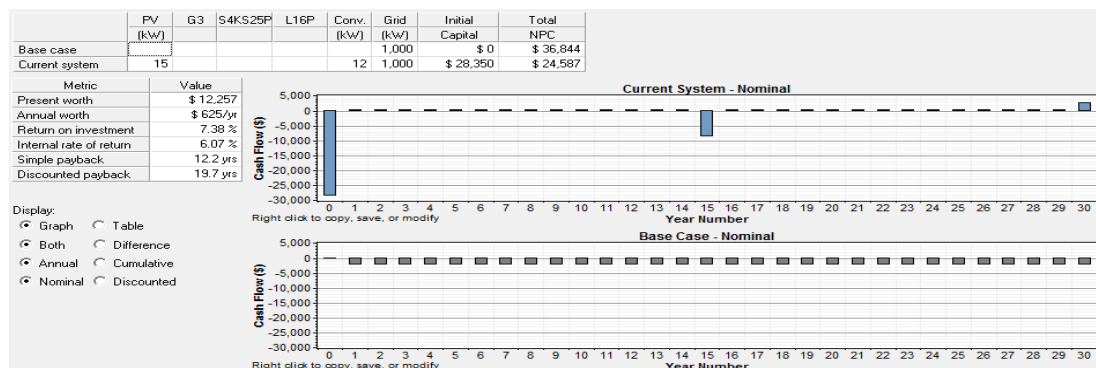


Εικόνα 8-6 ηλεκτρικά μεγέθη AC οικίας με ΑΠΕ και σύνδεση στο δίκτυο

Πληροφοριακά παραθέτεται στην επόμενη εικόνα μια σύγκριση της καλύτερης περίπτωσης με το σενάριο της εγκατάστασης χωρίς ΑΠΕ. Σημειώνεται ότι ο χρόνος

αποπληρωμής του αρχικού κεφαλαίου είναι περίπου 12 χρόνια. Ενώ στα 30 χρόνια της εγκατάστασης έχουμε διαφορά στο NPC της τάξεως των 8000\$. Η τιμή της kWh για αυτή την εγκατάσταση έχει διαφορά από αυτήν που προσφέρει το δίκτυο

-0.033\$/kWh.

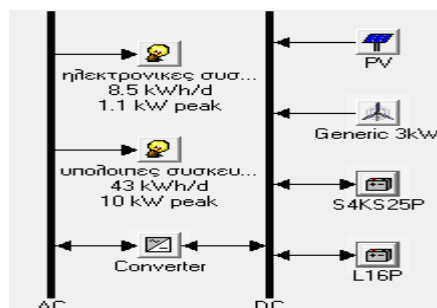


Εικόνα 8-7 σύγκριση AC οικίας με ΑΠΕ και σύνδεση στο δίκτυο με AC οικία μόνο με σύνδεση στο δίκτυο

### 8.3.2 AC οικία με ΑΠΕ χωρίς σύνδεση με το δίκτυο

#### 8.3.2.1 Φορτία και εγκατάσταση

Για αυτή την προσομοίωση έχουμε ακριβώς το ίδιο σύστημα που είχαμε και πριν αλλά δεν υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο. Έτσι λοιπόν έχουμε το παρακάτω σύστημα.



Εικόνα 8-8 εγκατάσταση AC οικίας με ΑΠΕ χωρίς σύνδεση με το δίκτυο

#### 8.3.2.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Εδώ βλέπουμε μια τεράστια διαφορά σε σχέση με την ίδια εγκατάσταση συνδεδεμένη με το δίκτυο. Το επικρατέστερο σενάριο δεν περιέχει πάλι ανεμογεννήτρια, ενώ τώρα όπως αναμενόταν έχουμε αποθηκευτική διάταξη αρκετά μεγάλη. Σημειώνεται ότι όπως εξηγήθηκε σε προηγούμενη παράγραφο ο πραγματικός αριθμός μπαταριών είναι όχι 60 αλλά 20(60/3). Τώρα έχουμε φωτοβολταϊκά εγκατεστημένης ισχύος 25kW και πάλι μετατροπείς 12 kW. Τα οικονομικά μεγέθη είναι:



Αρχικό κεφάλαιο: 70.529 \$

Κόστος λειτουργίας: 1.534 \$/yr

Κόστος ενέργειας: 0,273 \$/kWh

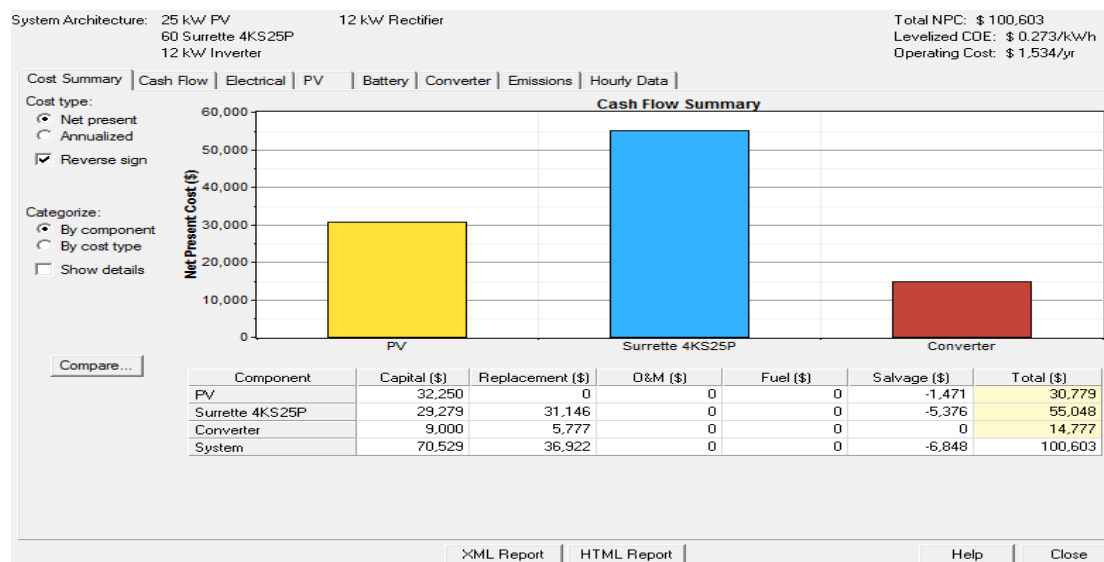
NPC: 100.603 \$

Sensitivity Results		Optimization Results									
Double click on a system below for simulation results.											
	PV (kW)	G3	S4KS25P	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf. (yr)
	25		60		12	\$ 70,529	1,534	\$ 100,603	0.273	1.00	12.0
	25	1	60		12	\$ 74,579	1,633	\$ 106,579	0.289	1.00	12.0

Εικόνα 8-9 οικονομικά βέλτιστη εγκατάσταση AC οικίας με ΑΠΕ χωρίς σύνδεση με το δίκτυο

### 8.3.2.3 Ανάλυση κόστους

Από τα δεδομένα της επόμενης εικόνας παρατηρούμε ότι από το αρχικό κεφάλαιο έχουμε 32.250 \$ για τα φωτοβολταϊκά, 9.000 \$ για τους μετατροπείς και 29.279 \$ για τις μπαταρίες. Αυτό που αυξάνει το NPC τόσο πολύ είναι η αντικατάσταση των μπαταριών. Στην διάρκεια 30 χρόνων έχουμε κόστος αντικατάστασης εξοπλισμού 36.922 \$ από τα οποία τα 31.146 \$ οφείλονται στις μπαταρίες.

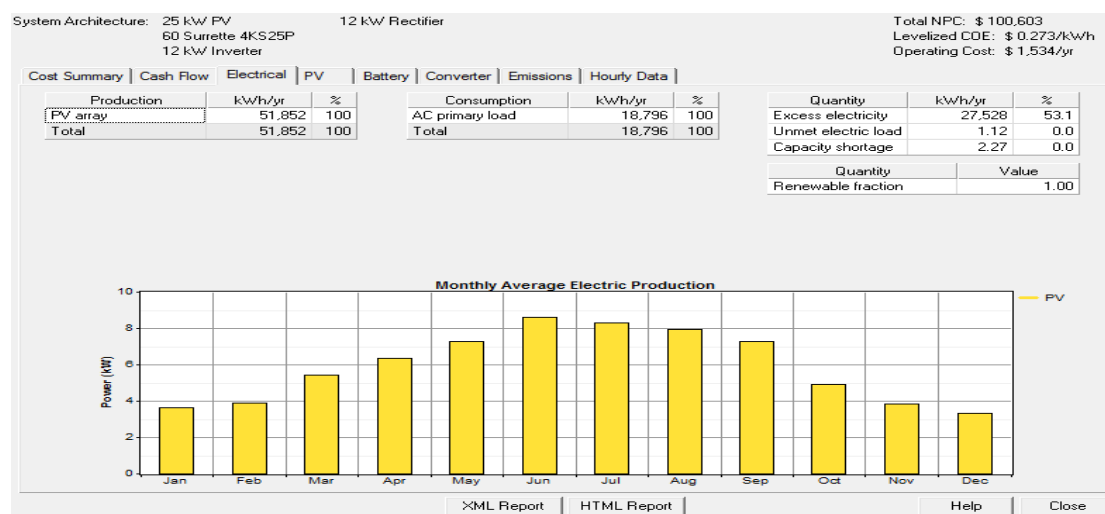


Εικόνα 8-10 οικονομικά μεγέθη AC οικίας με ΑΠΕ χωρίς σύνδεση με το δίκτυο

### 8.3.2.4 Ηλεκτρικά μεγέθη

Όσον αφορά τα ηλεκτρικά μεγέθη της εγκατάστασης βλέπουμε ότι το φορτίο είναι ίδιο (όπως αναμένονταν) όμως η παραγωγή των φωτοβολταϊκών είναι στα 51852kWh/yr. Αυτή η παραγωγή ξεπερνά κατά πολύ τις ανάγκες του σπιτιού όπως

φαίνεται και από την περίσσεια ενέργειας που παράγει η εγκατάσταση. Έχουμε αχρησιμοποίητη ενέργεια περισσότερη από την κατανάλωση, τιμή που φτάνει στα 27.528 kWh/yr.



Εικόνα 8-11 ηλεκτρικά μεγέθη AC οικίας με ΑΠΕ χωρίς σύνδεση με το δίκτυο

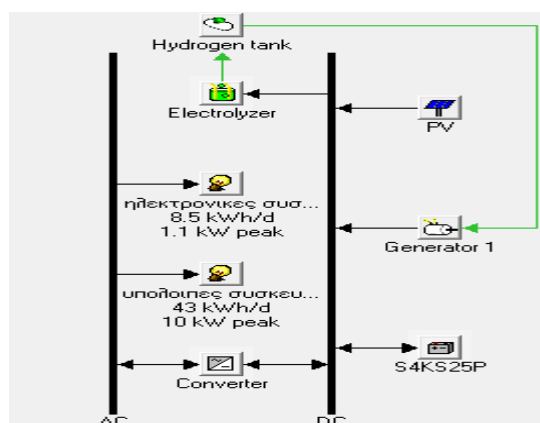
Στην προσπάθεια μείωσης της παραπανήσιας ενέργειας υποχρεώσαμε το πρόγραμμα να δεχτεί φωτοβολταϊκά μικρότερης ισχύος. Το αποτέλεσμα ήταν σε κάποιες περιπτώσεις η υπερβολική αύξηση του αριθμού των μπαταριών με αποτέλεσμα μεγαλύτερες τιμές κόστους για τον επενδυτή και σε άλλες περιπτώσεις το πρόγραμμα δεν εύρισκε εφαρμόσιμες εγκαταστάσεις λόγω ότι δεν επαρκούσε η παραγωγή των φωτοβολταϊκών. Προς την ίδια κατεύθυνση έχουμε και τις τιμές για μη καλυπτόμενο φορτίο και αποθηκευτικό χώρο (112 kWh/yr και 227 kWh/yr αντίστοιχα) οι οποίες προήλθαν από δικιά μας παρέμβαση στην προσομοίωση όπου θεωρήθηκε μια μικρή ανέχεια(5%) στην αξιοπιστία της εγκατάστασης, αξιοπιστία η οποία είναι ανεπαίσθητη για την εγκατάσταση και τον καταναλωτή και πιθανότατα δεν πρόκειται να εμφανιστεί ποτέ. Χωρίς αυτή την ρύθμιση το αρχικό κεφάλαιο και τα υπόλοιπα οικονομικά μεγέθη αυξάνονταν πολύ παραπάνω.

### 8.3.3 AC οικία με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο με χρήση κύκλου υδρογόνου

#### 8.3.3.1 Φορτία και εγκατάσταση

Σε αυτή την προσομοίωση, σε μια προσπάθεια να μειώσουμε την παραπανήσια ενέργεια που παράγει η φωτοβολταϊκή συστοιχία, αλλά και το μέγεθος του φωτοβολταϊκού, εντάσσουμε στο προηγούμενο σύστημα έναν κύκλο υδρογόνου. Αυτός περιλαμβάνει έναν electrolyzer ο οποίος χρησιμοποιεί ενέργεια από τον ζυγό παραγωγής (dc) προς την δημιουργία υδρογόνου. Στην συνέχεια έχουμε μια δεξαμενή

αποθήκευσης του παραγόμενου υδρογόνου και τέλος μια γεννήτρια που καίει υδρογόνο και τροφοδοτεί τον ζυγό παραγωγής. Τα μεγέθη για τον κύκλο υδρογόνου που χρησιμοποιήσαμε στην προσημείωση αναφέρονται σε προηγούμενη παράγραφο, ενώ το υπόλοιπο σύστημα είναι όπως έχει παρουσιαστεί στο σενάριο προσημείωσης για ac σπίτι με ΑΠΕ χωρίς σύνδεση με το δίκτυο.



Εικόνα 8-12 εγκατάσταση AC οικίας με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο με χρήση κύκλου υδρογόνου

### 8.3.3.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Το αποτέλεσμα της προσημείωσης δείχνει τεράστια διαφορά σε σχέση με το σενάριο που αξιοποιεί μόνο φωτοβολταϊκά. Πιο συγκεκριμένα έχουμε ότι η πιο οικονομικά αποδεκτή εγκατάσταση περιέχει ένα φωτοβολταϊκό 25kW, μια γεννήτρια υδρογόνου 1 kW, μια συστοιχία από 15 μπαταρίες (30/3), ένα electrolyzer ικανότητας παραγωγής 3 kW, και μία δεξαμενή η οποία χωράει 1kg υδρογόνου. Το αρχικό κεφάλαιο που απαιτείται έχει μειωθεί κατά 20.000 \$ περίπου . Το κόστος λειτουργίας έχει πέσει αισθητά στα 764 \$/yr, ενώ έχουμε και μια μικρή πτώση στο κόστος ενέργειας. Όλα αυτά οδηγούν σε ένα αρκετά μειωμένο NPC με μείωση κατά περίπου 30.000 \$. Το ανησυχητικό είναι ότι δεν βλέπουμε μείωση των φωτοβολταϊκών που απαιτούνται από την εγκατάσταση. Η μείωση βρίσκεται στις μπαταρίες όπου έχουμε μονάχα τις μισές από ότι απαιτούνταν στο προηγούμενο σενάριο. Τα ακριβή νούμερα είναι όπως φαίνονται παρακάτω.

Αρχικό κεφάλαιο: 57.714 \$

Κόστος λειτουργίας: 764 \$/yr

Κόστος ενέργειας: 0,207 \$/kWh

NPC: 72.698 \$

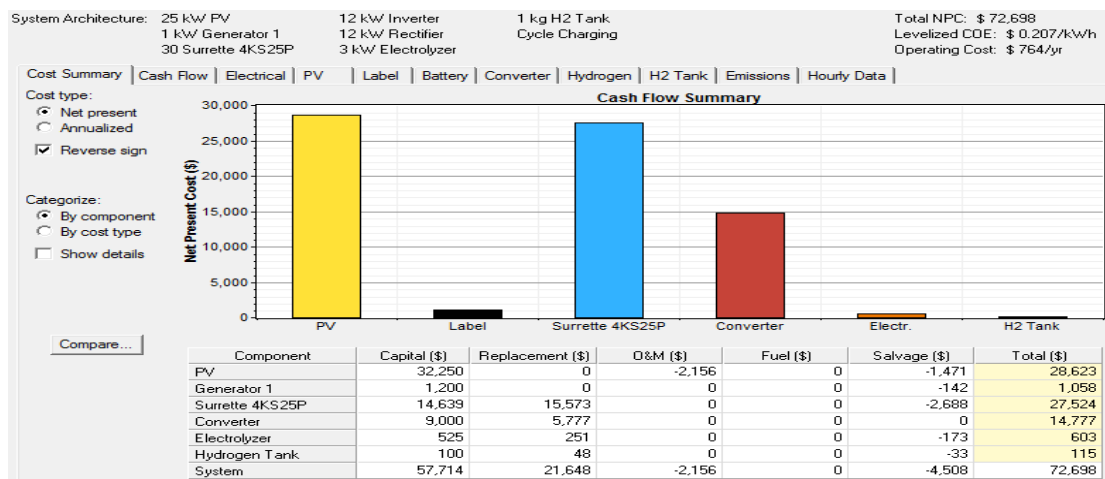
Double click on a system below for simulation results. Categorize

	PV (kW)	Label (kW)	S4KS25P	Conv. (kW)	Elec. (kW)	H2 Tank (kg)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Label (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	25	1	30	12	3	1	\$ 57,714	764	\$ 72,698	0.207	1.00	0.05	594	12.0

Εικόνα 8-13 οικονομικά βέλτιστη εγκατάσταση AC οικίας με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο με χρήση κύκλου υδρογόνου

### 8.3.3.3 Ανάλυση κόστους

Εδώ βλέπουμε τα αναλυτικά οικονομικά μεγέθη της εγκατάστασης, τα οποία θα μας βοηθήσουν στην καλύτερη σύγκριση με το προηγούμενο σενάριο.



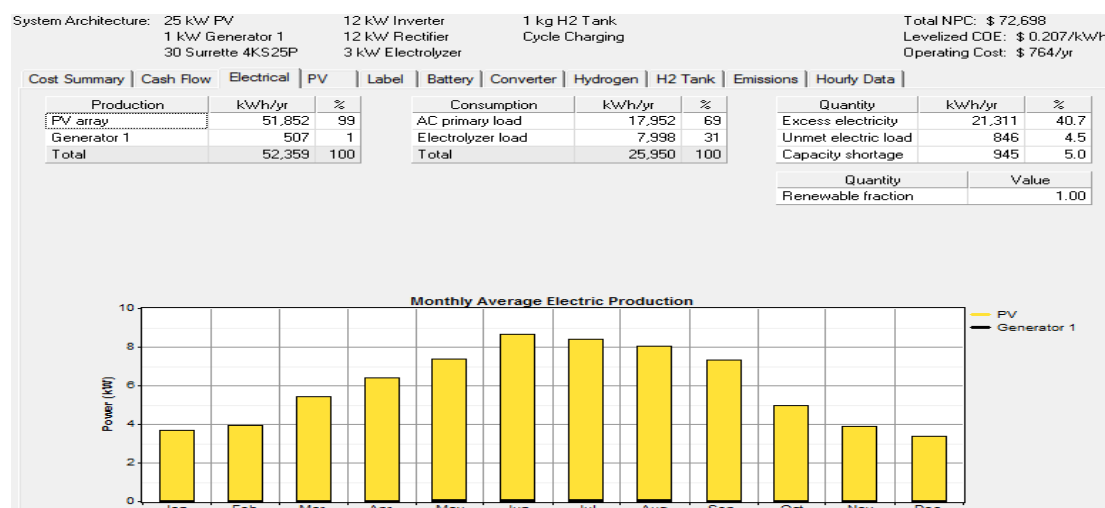
Εικόνα 8-14 οικονομικά μεγέθη AC οικίας με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο με χρήση κύκλου υδρογόνου

Τα αναλυτικά κόστη έχουν ως εξής, το αρχικό κεφάλαιο των φωτοβολταϊκών παραμένει ίδιο όπως στο προηγούμενο σενάριο ενώ έχει μειωθεί αρκετά το αρχικό κεφάλαιο αλλά και το κόστος αντικατάστασης των μπαταριών, με τιμές που ανέρχονται σε 14.639 \$ και 15.573 \$ για 30 χρόνια λειτουργίας. Για το όλο σύστημα υδρογόνου το κόστος είναι πολύ μικρό, μόλις στα 1.200\$ για την γεννήτρια και 625\$ για τον electrolyzer και την δεξαμενή, με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι αυτό το σενάριο είναι πολύ πιο οικονομικά αποδοτικό σε σχέση με το προηγούμενο. Αυτό διότι με ένα πολύ μικρό κόστος, μικρότερο από 2.000\$ , μπορούμε να μειώσουμε το συνολικό κόστος της εγκατάστασης κατά περίπου 30.000 \$.

### 8.3.3.4 Ηλεκτρικά μεγέθη

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και το διάγραμμα των ηλεκτρικών καταναλώσεων και παραγωγής όπου βλέπουμε ότι : η παραγωγή του φωτοβολταϊκού έχει μείνει ίδια όπως αναμενότανε, η παραγωγή της γεννήτριας είναι στα 507 kWh/yr. Όσον αφορά την κατανάλωση έχουμε ότι η παραπάνω ενέργεια έχει μειωθεί στα 21.311

kWh/yr (μείωση περίπου 7.000 kWh/yr σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο) η οποία μείωση οφείλεται στην καταναλισκόμενη ενέργεια από τον electrolyzer προς την παραγωγή υδρογόνου. Είδαμε ότι η προσπάθεια μας να μειώσουμε την επιπλέον αχρησιμοποίητη ενέργεια πέτυχε σε μικρό βαθμό, αλλά με την προσθήκη του κύκλου υδρογόνου μειώσαμε αρκετά το κόστος της εγκατάστασης.



Εικόνα 8-15 ηλεκτρικά μεγέθη AC οικίας με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο με χρήση κύκλου υδρογόνου

Και πάλι έχουμε θέσει στο πρόγραμμα μια ασήμαντη ανέχεια στην ικανοποίηση της ζήτησης της τάξης του 5% με αποτέλεσμα να έχουμε ένα μη καλυπτόμενο φορτίο των 846 kWh/yr, που όπως αναφέραμε είναι ασήμαντο σε σχέση με το σύνολο της εγκατάστασης.

### 8.3.4 DC οικία με ΑΠΕ και σύνδεση στο δίκτυο

#### 8.3.4.1 Φορτία και εγκατάσταση

Σε όλες τις προσομοιώσεις για dc οικία έχουν χρησιμοποιηθεί τα ίδια δεδομένα όπως και στις προσομοιώσεις για ac οικία με ΑΠΕ και σύνδεση με το δίκτυο. Η μόνη σημαντική διαφορά είναι στα φορτία κάθε αυτά. Ενώ οι καμπύλες φορτίου και για τα δυο πρωτεύοντα φορτία είναι ίδιες αλλάζουν οι καταναλώσεις. Οι καταναλώσεις των ηλεκτρονικών συσκευών έχουν μειωθεί λόγω απουσίας των απωλειών εσωτερικής μετατροπής ac-dc στην εκάστοτε συσκευή. Στις υπόλοιπες συσκευές έχουμε χρησιμοποιήσει τις βελτιστοποιημένες καταναλώσεις που προέρχονται από την χρήση κατάλληλων dc τεχνολογιών. Με άλλα λόγια έχουμε υποθέσει μια οικία που λειτουργεί σε ένα πλήρες dc περιβάλλον και έχουμε αντικαταστήσει όλες τις ac συσκευές με dc συσκευές με την πιο αποδοτική λειτουργία.

Έτσι έχουμε τα αντίστοιχα φορτία σε όλες τις προσομοιώσεις.

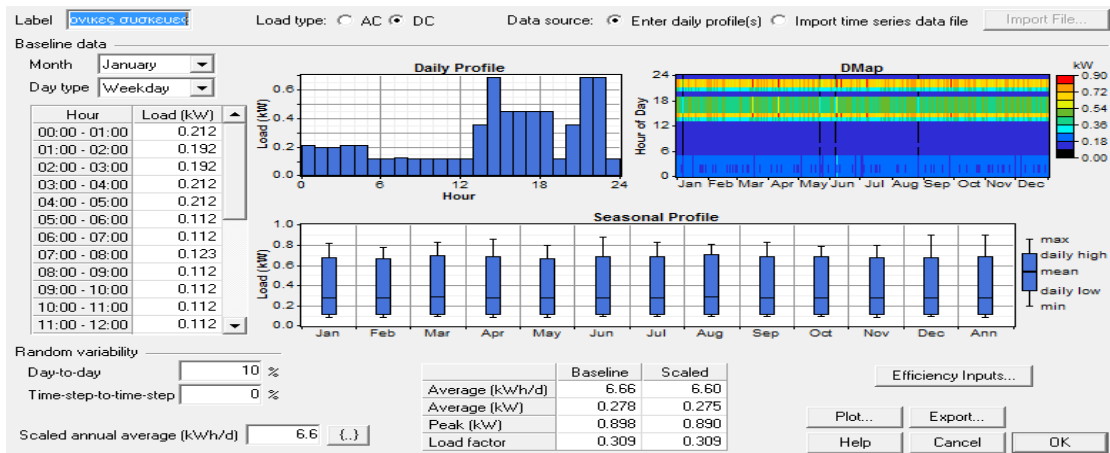


από 8.5kWh/d και 1.1 kWpeak σε 6.6 kWh/d και 890W peak

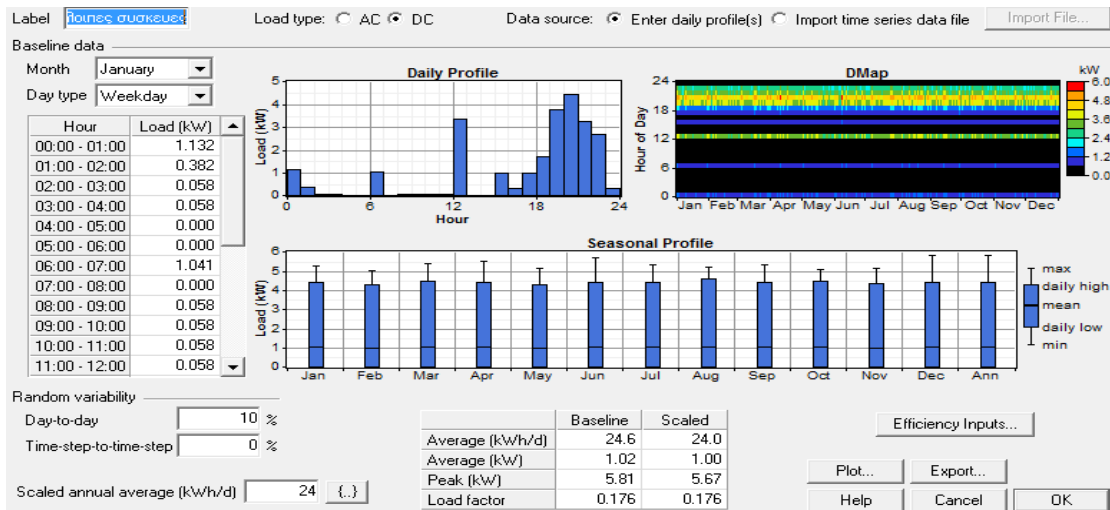


από 43kWh/d και 10kW peak σε 24kWh/d και 5.7kW peak

Με τις αντίστοιχες καμπύλες φορτίου

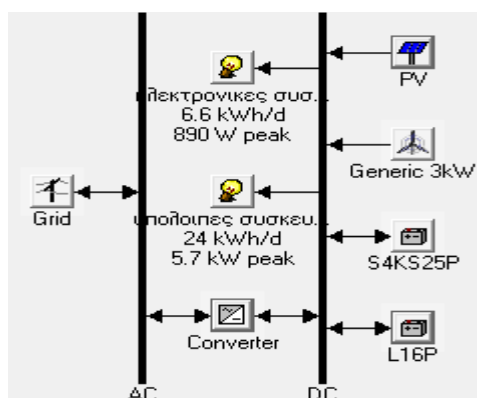


Εικόνα 8-16 καμπύλη φορτίου ηλεκτρονικών συσκευών



Εικόνα 8-17 καμπύλη φορτίου υπόλοιπων συσκευών

Και συνολικό σύστημα



Εικόνα 8-18 εγκατάσταση DC οικίας με ΑΠΕ και σύνδεση στο δίκτυο

Σημειώνουμε ότι και μόνο από την αισθητή διαφορά στις καταναλώσεις αναμένετε να έχουμε μεγάλες διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα των προσημιώσεων.

Για τα οικονομικά δεδομένα της προσημιώσης έχουμε υποθέσει και πάλι ανάλυση του συστήματος για 30 χρόνια ενώ σαν επιτόκιο έχουμε επιλέξει ένα 3%.

#### 8.3.4.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Εδώ βλέπουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την dc οικία με ΑΠΕ και σύνδεση με το δίκτυο. Από μια πρώτη ματιά βλέπουμε μια αισθητή διαφορά με το αντίστοιχο ac σενάριο. Η πιο οικονομικά βέλτιστη περίπτωση αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό των 10kW ,τον μετατροπέα και το δίκτυο. Και πάλι έχουμε την καλύτερη περίπτωση χωρίς αποθηκευτικές διατάξεις.

Αρχικό κεφάλαιο: 17.400 \$

Κόστος λειτουργίας: -133 \$/yr

Κόστος ενέργειας: 0,068 \$/kWh

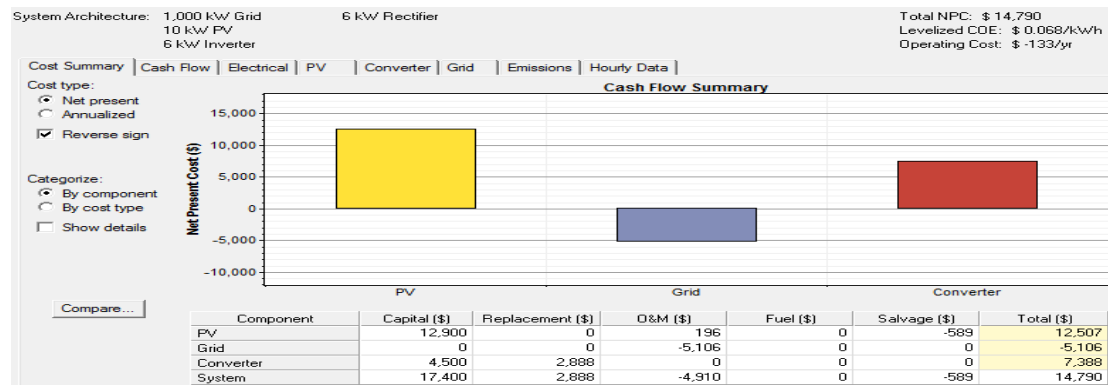
NPC: 14.790 \$

Double click on a system below for simulation results.												
	PV (kW)	G3	S4KS25P	L16P	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf. (yr)
	10				6	1000	\$ 17,400	-133	\$ 14,790	0.068	0.69	
	10			2	6	1000	\$ 18,510	-66	\$ 17,211	0.079	0.69	10.0
	10	1			6	1000	\$ 21,450	-32	\$ 20,824	0.095	0.69	
	10	1		2	6	1000	\$ 22,560	35	\$ 23,245	0.106	0.69	10.0
					6	1000	\$ 4,500	1,461	\$ 33,143	0.151	0.00	
				2	6	1000	\$ 5,610	1,528	\$ 35,564	0.162	0.00	10.0
			1		6	1000	\$ 8,550	1,563	\$ 39,177	0.179	0.00	
			1	2	6	1000	\$ 9,660	1,629	\$ 41,598	0.190	0.00	10.0

Εικόνα 8-19 οικονομικά βέλτιστη DC οικίας με ΑΠΕ και σύνδεση στο δίκτυο

### 8.3.4.3 Ανάλυση κόστους

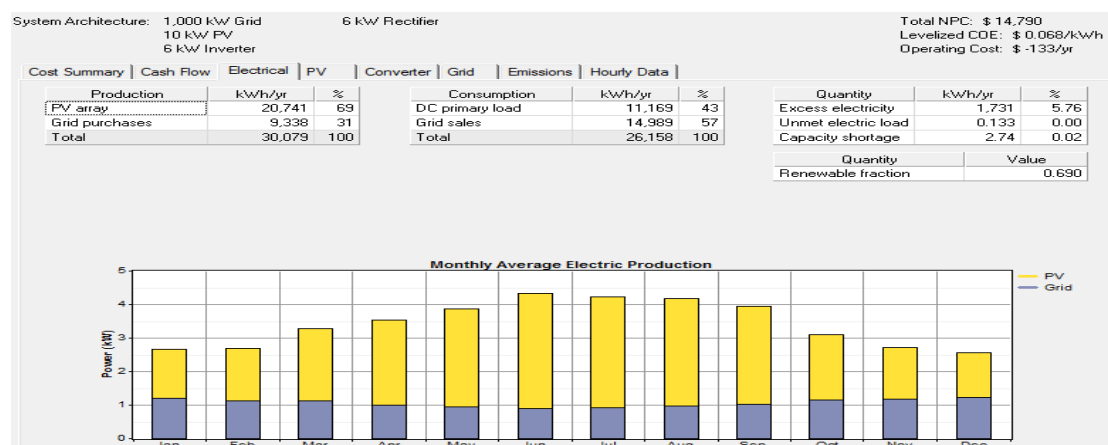
Τα αναλυτικά κόστη φαίνονται στην παρακάτω εικόνα. Παρατηρούμε ότι το συνολικό κόστος των 17.400 \$ αποτελείται από 12.900 \$ για τα φωτοβολταϊκά και 4.500 \$ για τον μετατροπέα ac-dc που συνδέει ουσιαστικά το δίκτυο με το μικροσύστημα. Κατά την διάρκεια των 30 ετών θα χρειαστεί να αλλαχθεί ο μετατροπέας. Το NPC ανέρχεται στα 14.790 \$ ενώ οι πωλήσεις στο δίκτυο είναι 5.106 \$ στα 30 χρόνια.



Εικόνα 8-20 οικονομικά μεγέθη DC οικίας με ΑΠΕ και σύνδεση στο δίκτυο

### 8.3.4.4 Ηλεκτρικά μεγέθη

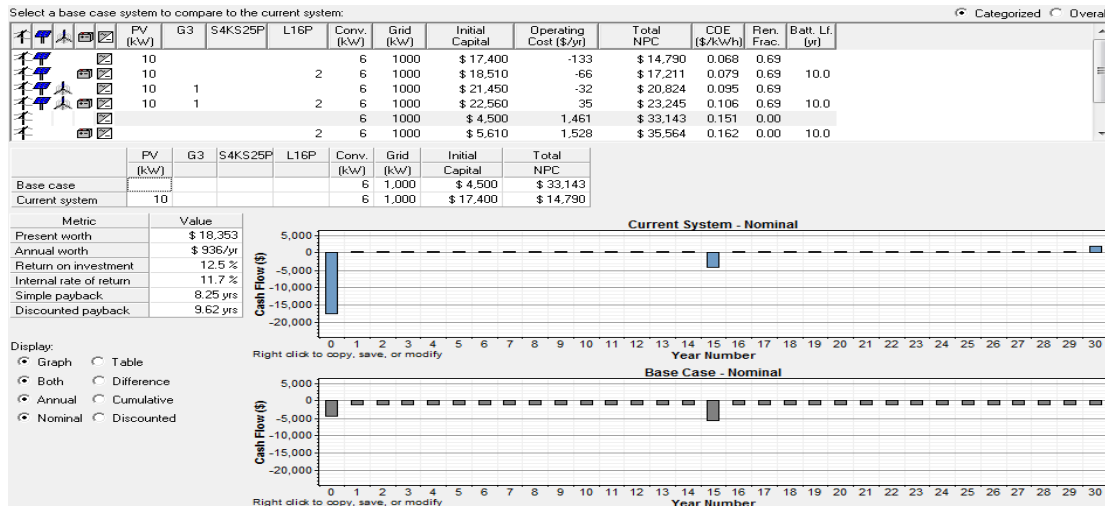
Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ηλεκτρικά στοιχεία της εγκατάστασης. Η παραγωγή του φωτοβολταϊκού είναι στα 20.741 kWh/yr και η αγορά από το δίκτυο είναι στα 9.338 kWh/yr . Από αυτή την παραγόμενη ενέργεια το 43% καταναλώνεται από το φορτίο ενώ το 57% πωλείτε στο δίκτυο, ενώ μένει ένα 5.76% της παραγόμενης ενέργειας που μένει αχρησιμοποίητη. Το φορτίο που μένει ακάλυπτο είναι και πάλι ασήμαντο στα 0.133 kWh/yr.



Εικόνα 8-21 ηλεκτρικά μεγέθη DC οικίας με ΑΠΕ και σύνδεση στο δίκτυο



Πληροφοριακά παραθέεται στην επόμενη εικόνα μια σύγκριση της καλύτερης περίπτωσης με το σενάριο της εγκατάστασης χωρίς ΑΠΕ. Σημειώνεται ότι ο χρόνος αποπληρωμής του αρχικού κεφαλαίου είναι περίπου 9 χρόνια . Ενώ στα 30 χρόνια της εγκατάστασης έχουμε τεράστια διαφορά στο NPC πάνω από 15.000 \$. Η διαφορά στην τιμή της kWh για αυτή την εγκατάσταση έχει διαφορά από αυτήν που προσφέρει το δίκτυο ίση με 0,094 \$/kWh.

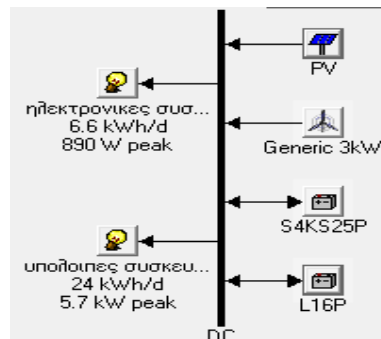


Εικόνα 8-22 σύγκριση DC οικίας με ΑΠΕ και σύνδεση στο δίκτυο με DC οικία μόνο με σύνδεση στο δίκτυο

### 8.3.5 DC οικία με ΑΠΕ χωρίς σύνδεση με το δίκτυο

#### 8.3.5.1 Φορτία και εγκατάσταση

Η εγκατάσταση προς μελέτη σε αυτή την προσομοίωση παραμένει ίδια με την προηγούμενη περίπτωση απλώς έχει αφαιρεθεί ο μετατροπέας και το δίκτυο. Με αποτέλεσμα να έχουμε μόνο έναν ζυγό dc όπου συνδέει τα φορτία με τις παραγωγικές μονάδες κατευθείαν.



Εικόνα 8-23 εγκατάσταση DC οικίας με ΑΠΕ χωρίς σύνδεση με το δίκτυο

### 8.3.5.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Εδώ βλέπουμε το καλύτερο σενάριο για αυτή την εγκατάσταση το οποίο αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό των 20 kW και μια συστοιχία 10 (30/10) μπαταριών S4KS25P. Και πάλι η ανεμογεννήτρια δεν επιλέχτηκε από το πρόγραμμα. Τα μεγέθη που μας ενδιαφέρουν είναι :

Αρχικό κεφάλαιο: 40.439 \$

Κόστος λειτουργίας: 527 \$/yr

Κόστος ενέργειας: 0,232 \$/kWh

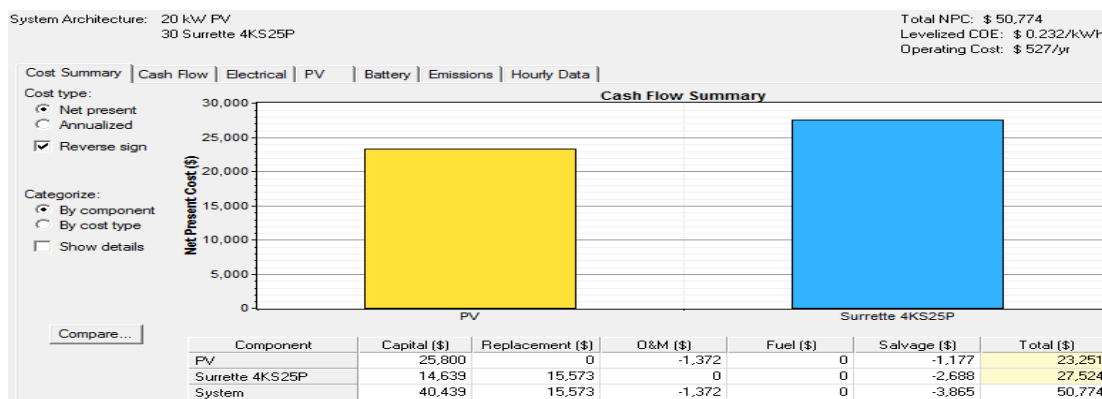
NPC: 50.774 \$

Sensitivity Results		Optimization Results									
Double click on a system below for simulation results.											
	PV (kW)	G3	S4KS25P	L16P	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf. (yr)	
	20		30		\$ 40,439	527	\$ 50,774	0.232	1.00	12.0	
	20	1	30		\$ 44,489	629	\$ 56,809	0.259	1.00	12.0	

Εικόνα 8-24 οικονομικά βέλτιστη εγκατάσταση DC οικίας με ΑΠΕ χωρίς σύνδεση με το δίκτυο

### 8.3.5.3 Ανάλυση κόστους

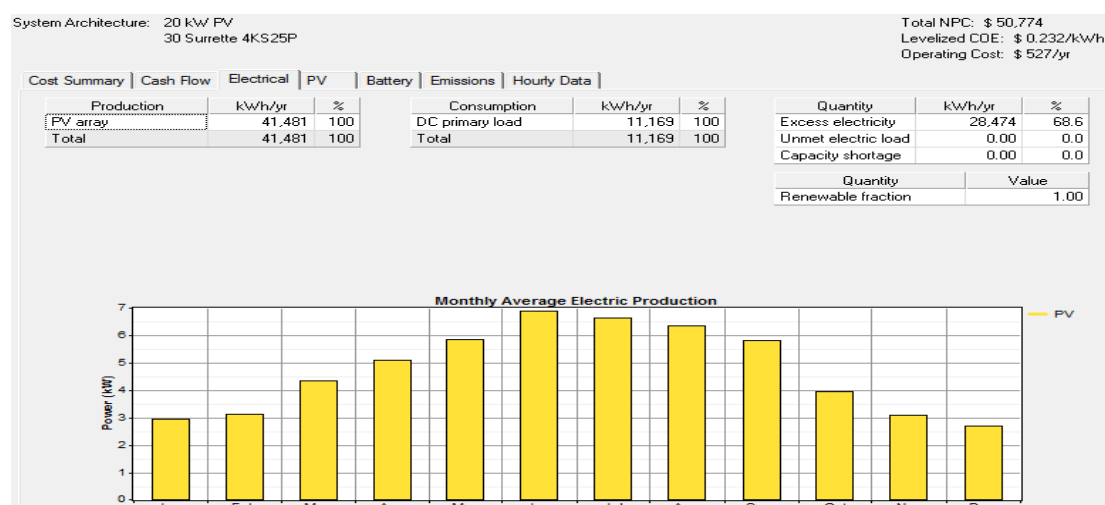
Εδώ βλέπουμε ότι και πάλι το μεγαλύτερο μέρος του κόστους αποτελείται από το κόστος των μπαταριών. Πράγματι στα 30 χρόνια λειτουργίας του συστήματος οι αλλαγές των μπαταριών αγγίζουν ένα κόστος της τάξεως των 15.573 \$, στο οποίο αν προσθέσουμε και αρχικό κεφάλαιο για τις μπαταρίες 14.639 \$ έχουμε μια τιμή μεγαλύτερη από το κόστος εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών το οποίο ανέρχεται στα 25.800 \$. Αυτό επιβεβαιώνεται βλέποντας το NPC για τις μπαταρίες (27.524 \$) και NPC για τα φωτοβολταϊκά (23.251 \$) δίνοντας ένα συνολικό NPC στα 50.774 \$.



Εικόνα 8-25 οικονομικά μεγέθη DC οικίας με ΑΠΕ χωρίς σύνδεση με το δίκτυο

### 8.3.5.4 Ηλεκτρικά μεγέθη

Όσον αφορά τις ηλεκτρικές καταναλώσεις και την παραγωγή ενέργειας του μικροδικτύου, βλέπουμε ότι έχουμε πάλι το ίδιο πρόβλημα με την παραγωγή υπερβολικά μεγάλης παραγωγής παραπανίσιας ενέργειας. Έχουμε λοιπόν παραγωγή 41.481 kWh/yr από τα φωτοβολταϊκά με κατανάλωση μόλις 11.169 kWh/yr από το φορτίο και επιπλέον ενέργεια που φτάνει το 69% (28.474 kWh/yr) της συνολικής παραγόμενης. Και πάλι αν επιχειρήσουμε να βάλουμε μικρότερη συστοιχία φωτοβολταϊκών δεν πραγματοποιεί προσομοίωση αναφέροντας ότι δεν υπάρχει σενάριο ικανό να ικανοποιήσει την ζήτηση από το φορτίο.

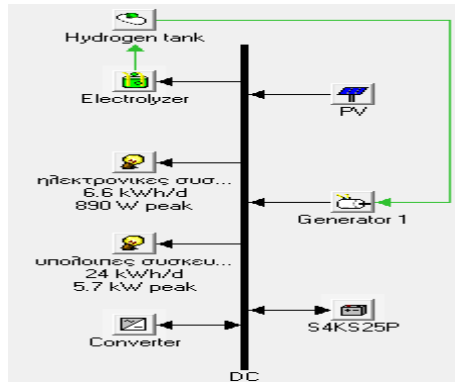


Εικόνα 8-26 ηλεκτρικά μεγέθη DC οικίας με ΑΠΕ χωρίς σύνδεση με το δίκτυο

### 8.3.6 DC οικία με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο με χρήση κύκλου υδρογόνου

#### 8.3.6.1 Φορτία και εγκατάσταση

Τελευταίο σενάριο που θα εξετάσουμε είναι αυτό που αξιοποιεί έναν κύκλο υδρογόνου με παρόμοια μεγέθη με το αντίστοιχο σενάριο για ac σπίτι, όσον αφορά την γεννήτρια, τον electrolyzer και την δεξαμενή υδρογόνου. Έχουμε το παρακάτω σύστημα.



Εικόνα 8-27 εγκατάσταση DC οικίας με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο με χρήση κύκλου υδρογόνου

### 8.3.6.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Βλέπουμε ότι το καλύτερο σενάριο περιλαμβάνει ένα φωτοβολταϊκό 15kW και μια συστοιχία 10 μπαταριών. Ενώ ο κύκλος υδρογόνου αποτελείται από μια γεννήτρια 1kW, έναν electrolyzer 1kW και μια δεξαμενή 0.5kg. Τα οικονομικά μεγέθη για την προσομοίωση είναι:

Αρχικό κεφάλαιο: 37.611 \$

Κόστος λειτουργίας: 582 \$/yr

Κόστος ενέργειας: 0,224 \$/kWh

NPC: 49.020 \$

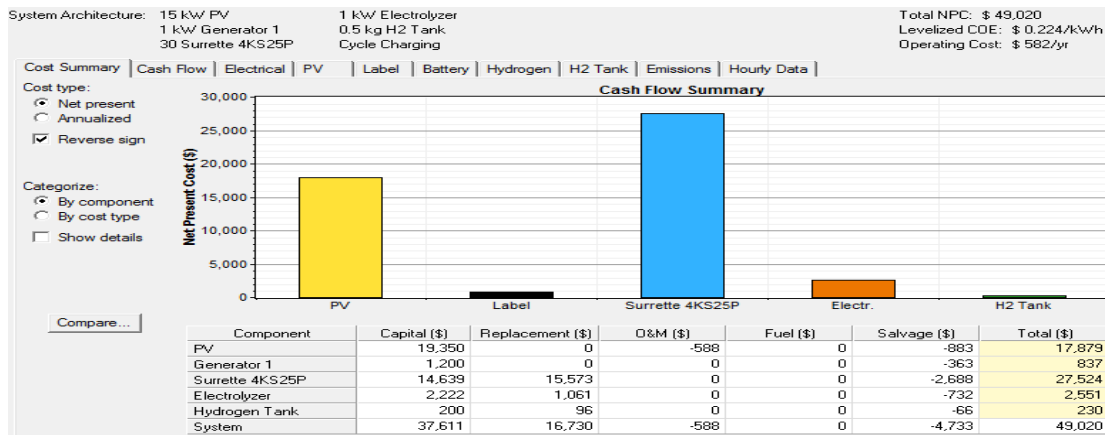
Double click on a system below for optimization results.

	PV (kW)	Label (kW)	S4KS25P	Conv. (kW)	Elec. (kW)	H2 Tank (kg)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Label (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	15	1	30	1	1	0.5	\$ 37,611	582	\$ 49,020	0.224	1.00	0.00	221	12.0

Εικόνα 8-28 οικονομικά βέλτιστη εγκατάσταση DC οικίας με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο με χρήση κύκλου υδρογόνου

### 8.3.6.3 Ανάλυση κόστους

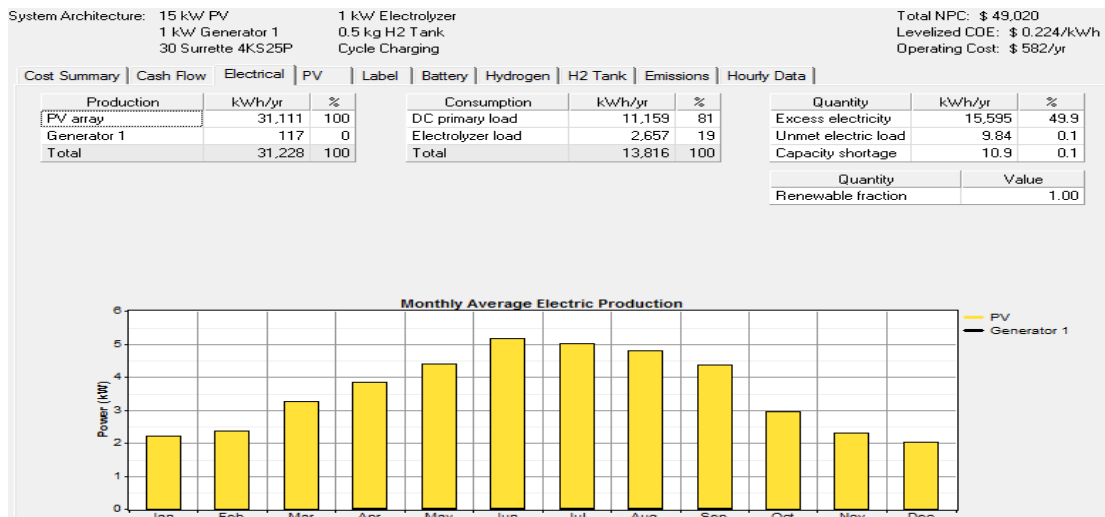
Αυτό το σενάριο παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον καθώς, σύμφωνα με το πρόγραμμα, η διαφορά στα οικονομικά μεγέθη σε σχέση με το σενάριο χωρίς κύκλο υδρογόνου είναι ανεπαίσθητη. Το αρχικό κεφάλαιο έχει μειωθεί κατά περίπου 3.000 \$ ενώ το NPC μόλις κατά 1.000 \$ περίπου. Η μείωση αυτή οφείλεται στο μικρότερης ισχύς φωτοβολταϊκό και στο μικρό κόστος εγκατάστασης του κύκλου υδρογόνου (5.622 \$). Απο ότι βλέπουμε η διαφορά είναι πολύ μικρή καθώς το πλήθος των μπαταριών παραμένει ίδιο με το προηγούμενο σενάριο.



Εικόνα 8-29 οικονομικά μεγέθη DC οικίας με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο με χρήση κύκλου υδρογόνου

### 8.3.6.4 Ηλεκτρικά μεγέθη

Τα ηλεκτρικά μεγέθη που σχετίζονται με την εγκατάσταση παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα όπου βλέπουμε ότι μειώσαμε την παραπλήσια ενέργεια από 69% σε 50%. Έχουμε παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά στα 31.111 kWh/yr και από την γεννήτρια μόλις στα 117 kWh/yr. Από αυτή τη παραγωγή έχουμε 11.159 kWh/yr κατανάλωση για τα φορτία και 2.657 kWh/yr για τον electrolyzer. Το φορτίο που δεν καλύπτεται είναι προϊόν δικής μας ρύθμισης (ανέχεια αξιοπιστίας συστήματος στο 5%) σε μια προσπάθεια να εξαναγκάσουμε το πρόγραμμα να μειώσει τα απαιτούμενα kW φωτοβολταϊκών.



Εικόνα 8-30 ηλεκτρικά μεγέθη DC οικίας με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο με χρήση κύκλου υδρογόνου

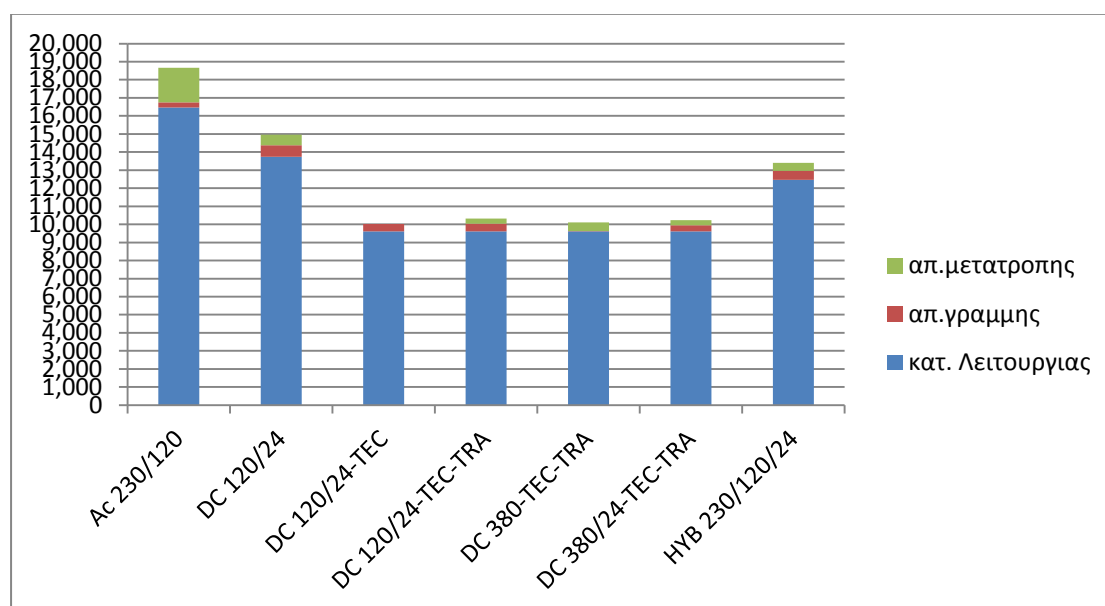


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Είδαμε λοιπόν στα προηγούμενα κεφάλαια και παραγράφους όλες σχεδόν τις πτυχές που μπορεί να διαφοροποιούν ένα ac με ένα dc μικροδίκτυο. Μπορούμε λοιπόν να κάνουμε μια αξιόπιστη και ολοκληρωμένη σύγκριση μεταξύ των δυο μοντέλων μικροδικτύων και μια γενικότερη αξιολόγηση της υιοθέτησης ενός αποκλειστικά dc ηλεκτρικού περιβάλλοντος.

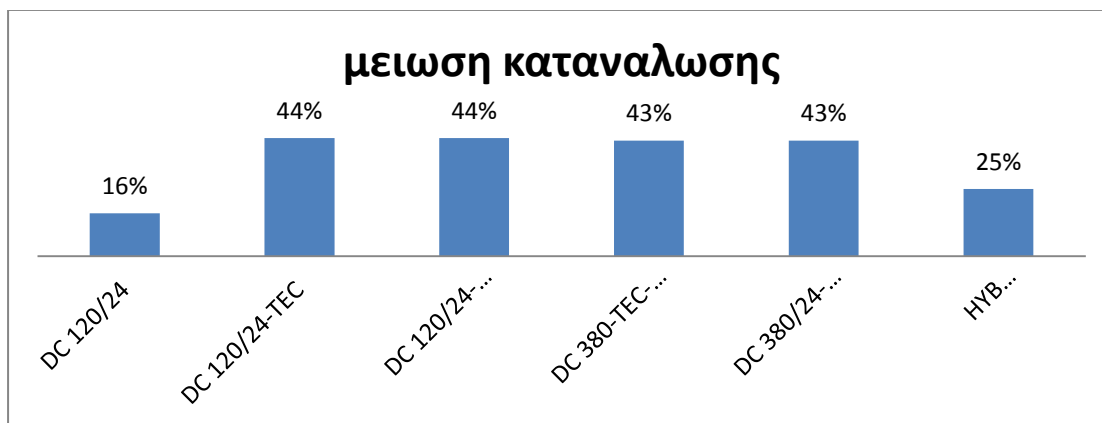
Σαν πρώτο στάδιο θα μελετήσουμε τις διαφοροποιήσεις όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας σε ένα dc μικροδίκτυο με τις αντίστοιχες καταναλώσεις σε ένα ac μικροδίκτυο. Προς αυτήν την κατεύθυνση θα χρησιμοποιήσουμε τα πορίσματα από τα διαφορετικά σενάρια εγκατάστασης όσον αφορά τις καταναλώσεις στην υποτιθέμενη οικία που προσδιορίσαμε στις προηγούμενες ενότητες.

Έχουμε λοιπόν το παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 9--1 διάγραμμα καταναλώσεων εναλλακτικών σεναρίων μικροδικτύων

ΣΕΝΑΡΙΟ	κατ. Λειτουργίας	απ. γραμμής	απ. μετατροπής
Ac 230/120	16468	289	1905
DC 120/24	13739	642	585
DC 120/24-TEC	9611	416	0
DC 120/24-TEC-TRA	9611	425	288
DC 380-TEC-TRA	9611	11	480
DC 380/24-TEC-TRA	9611	330	288
HYB 230/120/24	12457	496	456



Εικόνα 9-2 διάγραμμα ποσοστιαίας μείωσης κατανάλωσης

Λαμβάνοντας υπόψη τα συγκεντρωτικά δεδομένα βλέπουμε ότι ο κλασικός τύπος εγκατάστασης που παρατηρείται σε μια σύγχρονη οικία (ac 230/120) υστερεί έναντι οποιαδήποτε από τα σενάρια που έχουμε υποθέσει για μια αντίστοιχη dc εγκατάσταση. Ακόμη και το πιο απλό σενάριο που περιλαμβάνει μια στοιχειώδη μετατροπή από ac σύστημα σε dc χωρίς αλλαγή των συσκευών, παρά μόνο της εγκατάστασης, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της κατανάλωσης κατά 3 MWh/yr περίπου. Μια μείωση που οφείλεται κυρίως στην μείωση των απωλειών μετατροπής. Εκεί που είχαμε απώλειες μετατροπής 1.095,084 kWh/yr τώρα έχουμε σχεδόν τις μισές 585,688 kWh/yr, οι οποίες προέρχονται από την μετατροπή dc-ac για τις συσκευές ac που διαθέτει το σπίτι. Το γεγονός αυτό μας δίνει άλλη μια επιβεβαίωση ότι το σύγχρονο σπίτι έχει αρχίσει να βασίζεται όλο και πιο πολύ σε συσκευές dc οι περισσότερες από τις οποίες είναι συσκευές ηλεκτρονικών συστημάτων. Οι απώλειες γραμμής αυξήθηκαν αλλά δεν παρατηρήθηκε αύξηση τόσο σημαντική έτσι ώστε να αντισταθμίζεται η μείωση των απωλειών μετατροπής και η μικρότερη κατανάλωση. Πρέπει βέβαια να λάβουμε υπόψη το γεγονός αλλαγής μιας κατηγορίας συσκευών (λαμπτήρες πυρακτώσεως) και την αλλαγή του καλωδίου παροχής του ηλιακού θερμοσίφωνα. Δυο ενέργειες που μας εξασφάλισαν μικρότερη κατανάλωση και απώλειες καλωδίων. Αυτές είναι δυο τροποποιήσεις οι οποίες με πολύ μικρό κόστος μπορούν να αποφέρουν πολλαπλάσια του κόστους οικονομικά οφέλη στον καταναλωτή.

Οποιαδήποτε άλλο σενάριο που παρουσιάστηκε έχει να κάνει όχι άμεσα με την σύγκριση ενός ac με ένα dc μικροδίκτυο αλλά με την διερεύνηση ενός πιο



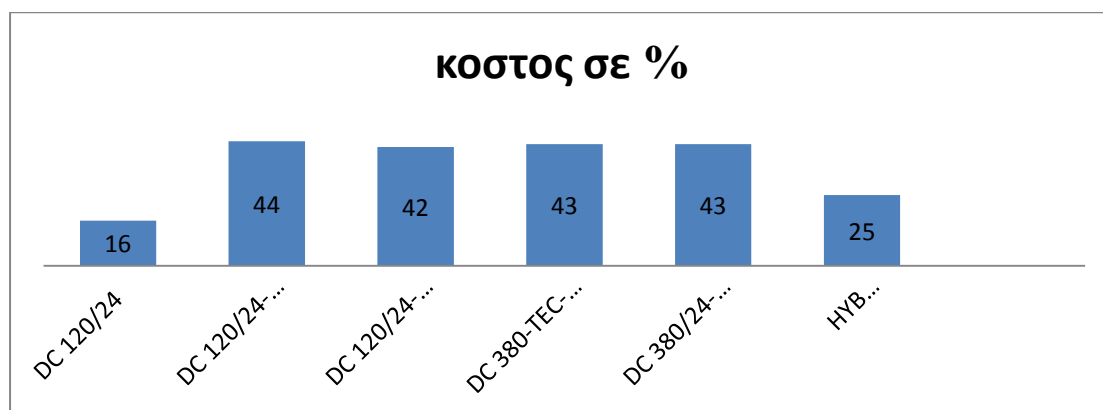
αποδοτικού dc μικροδίκτυο αλλά και ενός μικροδίκτυο που μπορεί να πραγματοποιηθεί στο εγγυής μέλλον, με την χρήση των πολλά υποσχόμενων πιο αποδοτικών dc τεχνολογιών. Η χρήση τέτοιων συσκευών έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας της εγκατάστασης. Η μείωση αυτή είναι τόσο μεγάλη που ξεπερνά ακόμη και τις μειωμένες απώλειες μετατροπής. Πιθανότατα, αν και δεν μελετήθηκε τέτοιο σενάριο, και μόνο η αξιοποίηση τέτοιων συσκευών χωρίς την αλλαγή από ac σε dc θα πρόσφερε αρκετά μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση. Κάτι τέτοιο φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα καθώς βλέπουμε την διαφορά στην ενεργειακή κατανάλωση για ac και dc συσκευές.

Ακόμη τα επιπλέον σενάρια μας δείχνουν μια εικόνα των ενεργειακών καταναλώσεων μιας εγκατάστασης dc σε διαφορετικές ρυθμίσεις τάσης λειτουργίας. Έτσι έχουμε εγκαταστάσεις dc με 120/24V, 380V και 380/24V υπολογίζοντας σε κάθε μια περίπτωση τις επιδράσεις της κάθε ρύθμισης στις ενεργειακές καταναλώσεις και στις απώλειες γραμμών. Αυτή η μελέτη έγινε λόγω ότι όπως προείπαμε δεν υπάρχει κάποιος οικουμενικός κανονισμός για αστικές οικιακές dc εγκαταστάσεις μέχρι σήμερα, παρόλο που πολλοί κρατικοί και μη οργανισμοί προσπαθούν να συντάξουν έναν τέτοιο κανονισμό ώστε να μπορεί να σταθεροποιηθεί και να θεσπιστεί μια συγκεκριμένη μορφή dc εγκατάστασης.

Σημειώνεται όμως ότι οποιαδήποτε από αυτά τα σενάρια αποτελούν λίγο πολύ ιδεατές περιπτώσεις αφού δεν έχει συνυπολογιστεί στο οικονομικό κέρδος της εγκατάστασης το κόστος αγοράς των συσκευών dc αλλά και το κόστος είτε αλλαγής, είτε από την αρχή δημιουργίας της εγκατάστασης. Από ότι αναφέραμε για τις ήδη υπάρχουσες συσκευές dc στην αγορά, βλέπουμε ότι το κόστος αγοράς είναι υπερβολικά μεγάλο σε σχέση με τις αντίστοιχες ac συσκευές καθώς επίσης δεν έχουν υπολογιστεί κόστη από την εγκατάσταση ειδικευμένων συστημάτων ηλεκτρονικών ισχύος αλλά και διατάξεων γείωσης και προστασίας που θα πρέπει να υπάρχουν σε ένα σύστημα dc. Αυτό το γεγονός ισχύει πολύ περισσότερο σε εγκαταστάσεις όπου έχουμε υψηλή τάση στους ζυγούς (380V). Παρόλα αυτά όπως αναφέρθηκε η βιομηχανία dc συσκευών προς μαζική κατανάλωση δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να αρχίσουν να μειώνονται οι τιμές αγοράς τέτοιων συσκευών αλλά και να αυξάνεται η ποικιλία.

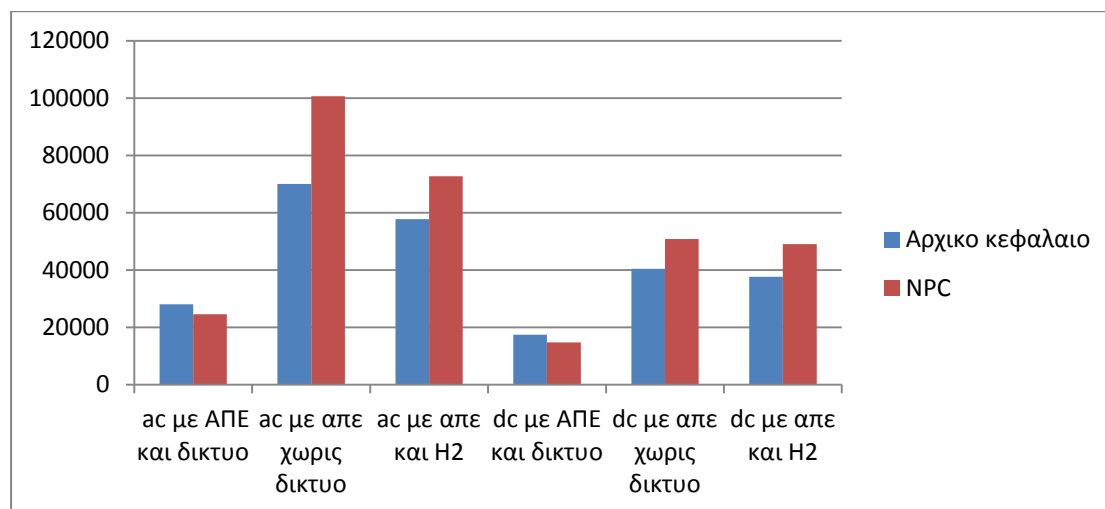
Το πιο αποδοτικό σενάριο, αν λάβουμε υπόψη όλες τις παραμέτρους ίσως να είναι μια υβριδική εγκατάσταση όπου θα έχουμε ένα ζυγό dc για τις αντίστοιχες συσκευές. Προσφέρεται λοιπόν μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση με πολύ μικρότερο κόστος για τον καταναλωτή καθώς δεν έχουμε αγορά επιπλέον dc συσκευών και ούτε χρειάζεται εξειδικευμένα συστήματα ηλεκτρονικών ισχύος και διατάξεων προστασίας. Το μόνο κόστος προέρχεται από την αλλαγή της γραμμής και των λαμπτήρων αν και μπορεί σε περιπτώσεις να μην απαιτείτε ούτε αυτό.

Οι τιμές της μείωσης του κόστους για την αγορά ενέργειας από τον πάροχο που παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα σε ποσοστά επί της ac εγκατάστασης είναι ένα ενδεικτικό των οικονομικών οφελών που πρέπει να περιμένει ένας καταναλωτής από την αλλαγή σε dc εγκατάσταση. Και πάλι μόνο η υιοθέτηση της πιο απλής εγκατάστασης όπου είναι το υβριδικό σύστημα προσφέρει μια μείωση κατά 25% σε σχέση με την ac εγκατάσταση.



Εικόνα 9-3 διάγραμμα ποσοστιαίας μείωσης κόστους εγκαταστάσεων

## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ AC ΜΕ DC ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ



Εικόνα 9-4 αρχικό κεφάλαιο και npc εναλλακτικών εγκαταστάσεων μικροδικτύων

Σενάριο	Αρχικό κεφάλαιο(\$)	NPC(\$)
ac με ΑΠΕ και δίκτυο	28.000	24.587
ac με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο	70.000	100.603
ac με ΑΠΕ και Η2	57.714	72.698
dc με ΑΠΕ και δίκτυο	17.400	14.790
dc με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο	40.439	50.774
dc με ΑΠΕ και Η2	37.611	49.020

Σε αυτό το στάδιο αναλύουμε τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των προσημειώσεων που υποθέσαμε με την χρήση του προγράμματος HOMER ENERGY. Όπως αναφέρθηκε το πρόγραμμα αξιολογεί την απόδοση της κάθε εγκατάστασης με βάση το NET-PRESENT-COST. Αυτό είναι ένα μέγεθος το οποίο δηλώνει το συνολικό κόστος της εγκατάστασης μετά από την πάροδο των χρόνων που έχουμε ορίσει. Εδώ έχουμε ορίσει χρόνο μελέτης τα 30 χρόνια. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα βλέπουμε πόσο ουσιαστικά πρέπει ο καταναλωτής να ξοδέψει προκειμένου να έχει μια εγκατάσταση η οποία να είναι είτε σε μεγάλο βαθμό, είτε εξολοκλήρου ενεργειακά αυτόνομη και με συντελεστή ένταξης ανανεώσιμων πηγών 100%. Αυτό σημαίνει για τον καταναλωτή ότι δεν θα απαιτείται ύπαρξη κεντρικού δικτύου για την αξιόπιστη και ασφαλή ηλεκτρική λειτουργία της εγκατάστασης.

Αυτό όμως που έχει σημασία στον σύγχρονο καταναλωτή και αποτελεί έναν από τους βασικούς λόγους ώστε να υιοθετήσει και να επιλέξει την εφαρμογή ενός μικροδικτύου στην οικία του είναι το κόστος μιας τέτοιας εγκατάστασης αλλά και το κέρδος που μπορεί να έχει από την αξιοποίηση αυτής.

Προς αυτήν τη κατεύθυνση θα υπολογίσουμε πόσο ξοδεύει ένας καταναλωτής μιας οικίας που περιγράψαμε σε πιο πάνω ενότητες, η οποία οικία διαθέτει μια κλασική συμβατική εγκατάσταση ac η οποία ικανοποιεί τις ενεργειακές της ανάγκες από το κεντρικό δίκτυο. Σε αυτή την εγκατάσταση αυτό που καλείται να πληρώσει ο καταναλωτής για 30 χρόνια είναι περίπου :

$$1.679 \text{ €/yr} \times 1,124 \approx 1887 \text{ \$/yr} \quad (1,124 = \text{σημερινή ισοτιμία euro-USD})$$

$$18.87 \text{ \$/yr} \times 30 \text{ yr} = 56.610 \text{ \$}$$

Σενάριο	ΚΕΡΔΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΑΠΕ(%)
ac με ΑΠΕ και δίκτυο	57
ac με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο	-78
ac με ΑΠΕ και Η2	-28
dc με ΑΠΕ και δίκτυο	73
dc με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο	10
dc με ΑΠΕ και Η2	13

Σε αντίστοιχη περίπτωση όπου έχουμε ένα dc σπίτι με χρήση αποδοτικότερων dc συσκευών έχουμε κόστος για 30 χρόνια:

$$971 \text{ €/yr} \times 1,124 \approx 1.092 \text{ \$/yr}$$

$$1.092 \text{ \$/yr} \times 30 \text{ yr} = 32.760 \text{ \$}$$

Αν κάνουμε και πάλι την σύγκριση με τα αποτελέσματα των προσημειώσεων έχουμε τον παρακάτω πίνακα

Σενάριο	ΚΕΡΔΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΑΠΕ(%)
ac με ΑΠΕ και δίκτυο	25
ac με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο	-207
ac με ΑΠΕ και Η2	-122
dc με ΑΠΕ και δίκτυο	35
dc με ΑΠΕ χωρίς δίκτυο	-54
dc με ΑΠΕ και Η2	-49

Παρατηρούμε λοιπόν ότι σε οποιαδήποτε περίπτωση συνδυασμού ΑΠΕ και μικροδικτύου η πιο συμφέρουσα λύση για τον καταναλωτή είναι η υιοθέτηση ενός μικροδικτύου το οποίο θα λειτουργεί σε συνδυασμό με το κεντρικό δίκτυο. Αυτό οφείλεται όπως έδειξαν και τα αναλυτικά αποτελέσματα των προσημειώσεων στα μεγάλα κόστη αντικατάστασης των διατάξεων αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας (μπαταρίες), αλλά και στα κέρδη από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο κεντρικό δίκτυο (net-metering). Στις άλλες περιπτώσεις όπου έχουμε μικροδίκτυο αποκλείστηκα με ένταξη ΑΠΕ έχουμε μεγάλα κόστη λόγω της αντικατάστασης των μπαταριών και μεγάλο αρχικό κεφάλαιο όχι μόνο λόγω των αυξημένων ενεργειακών αναγκών που καλούνται οι πηγές να καλύψουν αλλά και από το μεγάλο αριθμό μπαταριών που απαιτεί ένα τέτοιο σύστημα.

Και πάλι όμως βλέπουμε ότι ένα dc περιβάλλον είναι πιο αποδοτικό από ένα αντίστοιχο ac καθώς όπως δείχνουν οι πίνακες και στις δυο συγκρίσεις η πιο οικονομικά βέλτιστη περίπτωση είναι αυτή ενός dc μικροδικτύου με αξιοποίηση ΑΠΕ και σύνδεση με το κεντρικό δίκτυο.

Όπως βλέπουμε όλα τα στοιχεία οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ένα dc μικροδίκτυο είναι πολύ πιο ενεργειακά και οικονομικά αποδοτικό από μια συμβατική ηλεκτρική εγκατάσταση, παρόλο που δεν μπορούμε να υπολογίσουμε ακριβώς το κόστος μιας τέτοιας εγκατάστασης, για τους λόγους που αναφέρθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους. Είτε μιλάμε για μικροδίκτυα είτε για ένα σύστημα διανομής το συνεχές ρεύμα και τα φορτία που καταναλώνουν συνεχές ρεύμα αποτελούν ίσως μια βιώσιμη λύση στην παγκόσμια ενεργειακή κρίση που ολοένα και γίνεται πιο αισθητή από τους καταναλωτές. Πέρα από το οικονομικό και το ενεργειακό όφελος που ενδέχεται να δημιουργηθεί από την αξιοποίηση dc μικροδικτύων, το πιο σημαντικό μπορεί να είναι το περιβαλλοντολογικό όφελος το οποίο προέρχεται από την περαιτέρω αξιοποίηση και διάδοση των διαφόρων εναλλακτικών μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κυρίως με την χρήση ανανεώσιμων πηγών. Και μόνο η προοπτική ενός πιο πράσινου ηλεκτρικού συστήματος παραγωγής-κατανάλωσης είναι ένας πάρα πολύ καλός λόγος για περαιτέρω έρευνα και εξέλιξη των συστημάτων συνεχούς ρεύματος και την υιοθέτηση των μικροδικτύων γενικότερα. Δημιουργώντας τις συνθήκες για μια πιο οικονομικά βέλτιστη εγκατάσταση οι καταναλωτές ενδέχεται να στραφούν περισσότερο προς την αξιοποίηση των πηγών κατανεμημένης παραγωγής ,ακόμη και σε οικιακό επίπεδο, και έτσι σιγά σιγά να

αρχίσει να αλλάζει η σημερινή κατάσταση όπου έχουμε παραγωγή ενέργειας σε κρατική κλίμακα από καύση πετρελαίου και άνθρακα. Ήδη σε πολλές περιπτώσεις, και στην χώρα μας άλλα και σε όλο τον κόσμο βλέπουμε μια συνεχόμενη αύξηση της αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είτε με χρήση φωτοβολταϊκών πάρκων, είτε ανεμογεννητριών, είτε εργοστασίων γεωθερμικής ενέργειας ενώ διεθνής οργανισμοί συνεχίζουν να ωθούν κράτη προς αυτή την κατεύθυνση. Με την ένταξη dc μικροδικτύων, όχι μόνο οικιακών αλλά και μικροδίκτυα μεγαλύτερης κλίμακας (ολόκληρα χωριά, νησιώτικες κατοικίες, οικισμοί) έχουμε ως αποτέλεσμα την καλύτερη αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας από τέτοιες πηγές και έτσι ακόμη έναν παραπάνω λόγο για περαιτέρω αξιοποίηση τέτοιων δομών.

Επιπλέον έρευνα προς αυτήν την κατεύθυνση μπορεί να περιλαμβάνει πλήρης προσομοίωση και δημιουργία ενός dc οικιακού μικροδικτύου, παρακολούθηση και αξιολόγηση όλων των ανερχόμενων dc συσκευών και ηλεκτρονικών συστημάτων αλλά και οικονομικές μελέτες για την αλλαγή του ηλεκτρικού καθεστώτος σε κρατικό αλλά και πλανητικό επίπεδο, γεωπολιτικές αναλύσεις για την αλλαγή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τιμές πρώτων υλών αλλά και περιβαλλοντικές μελέτες σχετικά με την περαιτέρω μείωση των ρύπων από χρήση ΑΠΕ.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. Υπουργείο Ανάπτυξης, Νόμος 3468/2006, *Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις*, Φ.Ε.Κ. Α' 129/27.06.2006. [Online]. Available at: [http://www.ypan.gr/docs/N\\_3468-2006\\_APE.doc](http://www.ypan.gr/docs/N_3468-2006_APE.doc)
2. Δ. Λαμπρίδης, Π. Ντοκόπουλος, Γ. Παπαγιάννης, *Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, τ.Α'*, Θεσσαλονίκη : Ζήτη, c2006
3. Ε. Κουτρούλης, "Design Methodology for a generalized energy management system for photovoltaic and windgenerator applications", Ph.D. Dissertation, Dept. Electr. and Comp. Engin., Technical Univ. Crete, 2002
4. Α. Κορνελάκης, "Βελτιστοποίηση σχεδιασμού και αξιολόγηση συστήματος φωτοβολταϊκών στοιχείων για την παραγωγή ενέργειας σε ηλεκτρικά δίκτυα", Διπλ. Διατριβή, Τμήμα. Ηλ. Μηχ. και Μηχ. Η/Υ., Πολυτεχνείο Κρήτης, 2008
5. Ε. Κουτρούλης, "Design Methodology for a generalized energy management system for photovoltaic and wind generator applications", Ph.D. Dissertation, Dept. Electr. and Comp. Engin., Technical Univ. Crete, 2002
6. Δ. Λαμπρίδης, Π. Ντοκόπουλος, Γ. Παπαγιάννης, *Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, τ.Α'*, Θεσσαλονίκη : Ζήτη, c2006
7. Nikkhajoei, H., Lasseter, R.H., "Distributed Generation Interface to the CERTS Microgrid", IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 24, Issue 3, July 2009, pages 1598-1608
8. Navigant Consulting Inc., "Final Report Microgrids Research Assessment for the US Department of Energy's Office of Electricity Delivery and Energy Reliability and the California Energy Commission's Public Interest Energy Research Program", May 2006
9. Lasseter, R. H. Piagi, P.: *Providing Premium Power through Distributed Resources*. Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, vol. 4, Maui, Hawaii, 4-7 Jan 2000.
10. N. Jenkins, R. Allan, P. Crossley, D. Kirschen, and G. Strbac, *Embedded Generation*. London, U.K.: IEE, 2000.
11. J. B. Cardell and T. Chin Yen, "Distributed energy resources in electricity markets: The price droop mechanism," in *Proc. 48th Ann. Allerton Conf.*, Monticello, IL, Sep. 29–Oct. 1 2010.
12. R. Lasseter, "Smart distribution: Coupled microgrids," *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 6, pp. 1074–1082, Jun. 2011.
13. Al. Domijan, Jr, A. Montenegro, A. J. F. Keri, and K. E. Mattern, "Simulation Study of the World's First Distributed Premium Power Quality Park," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 20, no. 2, 2005, pp. 1483-1492.
14. M. Barnes, G. Ventakaramanan, J. Kondoh, R. Lasseter, H. Asano, N. Hatziaargyriou, J. Oyarzabal, T. Green, "Real-World MicroGrids- An Overview," System of Systems Engineering 2007, IEEE, pp.1-8.
15. Lasseter, R., | MicroGrids, | IEEE PES Winter Meeting, January 2002
16. An Integration Facility to Accelerate Deployment of Distributed Energy Resources in Microgrids Benjamin Kroposki, Senior Member, IEEE 978-1-4244-4241-6/09/ ©2009 IEEE.
17. O. Osika, T. Degner, C. Hardt, H. Lange, M. Vandenbergh, A. Dimeas, D. Georgakis, A. Kariniotakis, —Description of the laboratory micro-grids|, Microgrids project report
18. Consortium for Electric Technology Reliability Solutions, —Integration of Distributed Energy Resources—MicroGrid Concept.| Protection Issues of the MicroGrid Concept
19. Microgrid Field Test Experiences in Japan Toshihisa Funabashi, Senior Member, IEEE, Ryuichi Yokoyama, Member, IEEE 1-4244-0493-2/06 ©2006 IEEE.
20. MicroGrid Laboratory Facilities NTUA—by M. Barnes, A. Dimeas, A. Engler, C. Fitzer, N. Hatziaargyriou, C. Jones, S. Papathanassiou, M. Vandenbergh ; European Commission MicroGrids project (ENK5-CT-2002-00610).
21. A. P. Agalgaonkar, C. V. Dobariya, M. G. Kanabar, S. A. Khaparde, and S. V. Kulkarni, —Optimal sizing of distributed generators in microgrid, | in Proc. IEEE Power India Conference, Delhi, India, Apr. 06.
22. Wikipedia, "Energy density". [Online]. Available at :[http://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_density](http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density)

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

1. Little, A., *Opportunities for Energy Savings in the Residential and Commercial Sectors with High-Efficiency Electric Motors, Final Report*, US DOE. 2
2. DOE. *Residential Heating Products Final Rule 2010*; Available from: [http://www1.eere.energy.gov/buildings/appliance\\_standards/residential/heating\\_products\\_fr.html](http://www1.eere.energy.gov/buildings/appliance_standards/residential/heating_products_fr.html) 3
3. . Baek, J., Gab-Su, S., Kyusik, C., Cheol-Woo, P., Hyejin, K., Hyunsu, B., & Bo, H. C., *DC Distribution system design and implementation for Green Building*, in *Green Building Power Forum* 2011: San Jose, CA. 4



4. Wikipedia, "Controller: control theory". [Online]. Available at: [en.wikipedia.org/wiki/Controller\\_\(control\\_theory\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Controller_(control_theory))
5. Cuthbert A. Nyack, "PID Controller". [Online]. Available at: [http://controlcan.homestead.com/files/Controller/controlcontroller2p\\_t1t2\\_pid.htm](http://controlcan.homestead.com/files/Controller/controlcontroller2p_t1t2_pid.htm)
6. J. Jonnes, *Empires of Light: Edison, Tesla, Westinghouse, and the Race to Electrify the World*, Random House Digital, Inc., 2003.7
7. H. Kakigano, M. Nomura and T. Ise, "Loss Evaluation of DC Distribution for Residential Houses Compared with AC System," in *IEEE 2010 International Power Electronics Conference*, 2010.
8. F. Musavi, "Investigation of High Performance Single-Phase Solutions for AC-DC Power Factor Corrected Boost Converters," The University of British Columbia, 2011.
9. ETA Electric Industry Co., LTD., "Product information about NVD-S," [Online]. Available: [http://www.eta.co.jp/product/p\\_series\\_ps.cfm](http://www.eta.co.jp/product/p_series_ps.cfm).
10. B. Davito, H. Tai and R. Uhlener, "The smart grid and the promise of demand-side management," McKinsey & Company, 2010.
11. H. Pang, E. Lo and B. Pang, "DC ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS IN BUILDINGS," in *2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications*, 2006.
12. H. Pang and B. Pong, "A practical and efficient DC distribution system for commercial and residential applications - 240 V or higher?," in *The International Conference on Electrical Engineering*, 2008.
13. Lopes, J. A. Saraiva, J. T. Hatziargyriou, N. Jenkins, N.: *Management of MicroGrids*. JIEEC2003, Bilbao, 2003.
14. Ancona, J. J.: *A Framework for Power System Restoration Following a Majorpower Failure*. IEEE Transactions on Power Systems, vol. 10, pp 1480-1485,1995.
15. Adibi, M. M. Kafka, R. J. Milanicz, D. P.: *Expert System Restoration*. IEEE Transactions on Power Systems, vol. 9, pp 1592-1600, 1994
16. Barsali, S. Ceraolo, M. Pelacchi, P. Poli, D.: *Control Techniques of Dispersed Generators to Improve the Continuity of Electricity Supply*. Transactions of PES Winter Meeting 2002, IEEE, vol. 2, pp 789-794, 27-31 Jan. 2002
17. Lasseter, R. H. Piagi, P.: *Microgrid: A Conceptual Solution*. Proceedings of the 35th PESC, pp. 4285-4290, Aachen, Germany, June 2004.
18. Jayawarna, N. et al.: *Review of Earthing in a Microgrid*. DRAFT Issue No 1, MicroGrids project deliverable of WP E, 2004.
19. Madureira, A. Moreira, C. L. Lopes, J. A.: *Secondary Load-Frequency Control for MicroGrids in Islanded Operation*. Proceedings of the International Conference on Renewable Energy and Power Quality – ICREPQ'05, Spain, 2005.
20. F. Katiraei, M. R. Iravani, and P. W. Lehn, "Micro-grid autonomous operation during and subsequent to islanding process," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 20, no. 1, pp. 248–257, Jan. 2005.
21. J. A. Peças Lopes, C. L. Moreira, and A. G. Madureira, "Defining control strategies for microgrids islanded operation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 2, pp. 916–924, May 2006.
22. N. Hatziargyriou, A. Asano, R. Iravani, and C. Marnay, "Microgrids," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 5, no. 4, pp. 78–94, Jul./Aug. 200
23. B. Kroposki, R. Lasseter, T. Ise, S. Morozumi, S. Papatlianassiou, and N. Hatziargyriou, "Making microgrids work," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 6, no. 3, pp. 40–53, May/Jun. 2008.
24. AllLee, G. & Tschudi, W. (2012, November/December). Edison redux: 380 vdc brings reliability and efficiency to sustainable data centers. IEEE power & energy magazine,
25. Baigrie, B. (2007). *Electricity and magnetism: A Historical Perspective*. Westport, CT: Greenwood Press.
26. Cetin, E., Yilanci, A., Ozturk, H. K., Colak, M., Kasikci, I., & Iplikci, S. (2009). A micro-dc power distribution system for a residential application energized by photovoltaic wind/ fuel cell hybrid energy systems. *Energy and Buildings*, 42
27. Downey, L. (2010, 10). Dc microgrids. Darnell smart grid form, San Jose, CA. EPRI Electric Power Research Institute. (2006).
28. DC power production, delivery and utilization. Palo Alto, CA: Jiayi, H., Chuanwen, J., & Rong, X. (2007). A review on distributed energy resources and microgrid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12,
29. Justo, J. J., Mwasilu, F., Lee, J., & Jung, J. W. (2013). Ac-microgrids versus dc-microgrids with distributed energy resources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,
30. McNichol, T. (2006). *Ac/dc the savage tale of the first standards war*. (1st ed.). San Francisco, CA: Jossey-Bass.
31. Meyer, H. W. (1972). *A history of electricity and magnetism*. Norwalk, Connecticut: Burndy Library.
32. Okba, M.H.; Saied, M.H.; Mostafa, M. Z.; Abdel- Moneim, T. M., "High voltage direct current transmission - A review, part I," *Energytech*, 2012 IEEE, vol., no., pp.1,7, 29-31 May 2012
33. Patterson, B. T. (2012, November/December). Dc, come home. *IEEE power & energy magazine*, 60-69.
34. Savage, P., Nordhaus, R. R., & Jamieson, S. P. (2007). *Dc microgrids: Benefits and barriers*. Yale School of Forestry & Environmental Studies.
35. H. Kakigano, Y. Miura, T. Ise, and R. Uchida, "DC Micro-grid for Super High Quality Distribution-System Configuration and Control of Distributed Generations and Energy Storage Devices –," *37th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Korea, 2006, pp. 3148-

36. H. Kakigano, Y. Miura, T. Ise, and R. Uchida, "DC Voltage Control of the DC Micro-grid for Super High Quality Distribution," *The Fourth Power Conversion Conference*, Japan, 2007, pp. 518-525.
37. TECHNICAL CHALLENGES ON MICRO GRIDS By A. A. Salam, A. Mohamed and M. A. Hannan VOL. 3, NO. 6, DECEMBER 2008 ISSN 1819-6608 ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences , Asian Research Publishing Network (ARPN).
38. MICRO GRIDS – Large Scale Integration of Micro-Generation to Low Voltage Grids, EU Contract ENK5-CT-2002-00610, Technical Annex, May 2002, <http://Micro Grids.power.ece.ntua.gr>
39. Zang, H., M.Chandorkar, G. Venkataramanan, —Development of Static Switchgear for Utility Interconnection in a Micro grid. I Power and Energy Systems PES, Feb. 24-26, 2003
40. Microgrid Energy Management System J. D. Kueck, R.H. Staunton, S. D. Labinov, B.J. Kir by January 29, 2003 A report coordinated by (CERTS), Prepared by Oak Ridge National Laboratory for U.S. DoE under contract No. DE-AC05-00OR22725
41. Defining Control Strategies for MicroGrids Islanded Operation J. A. Peças Lopes, IEEE, C. L. Moreira, and A. G.Madureira 916 IEEE TRANS ON POWER SYSTEMS, VOL.21, NO. 2, MAY 06
42. Caisheng Wang M. Hashem Nehrir, Power Management of a Stand-Alone Wind/ Photovoltaic/ Fuel Cell Energy System IEEE TRANS.ON ENERGY CONVERSION, VOL. 23, NO. 3, SEP 2008
43. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. [Online]. Available at: [www.rae.gr](http://www.rae.gr)

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

1. S. K. Mazumder, "Stability analysis of parallel DC-DC converters", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 42(1), pp. 50-68, Jan. 2006
2. Y. Huang and C. K. Tse, "Classification of parallel DC/DC converters part 1 : circuit theory", in *Proc. 18th European Conference on Circuit Theory and Design, ECCTD*, 2007, pp. 1010-1013
3. S. Huth, "DC/DC-converters in parallel operation with digital load distribution control", in *Proc. of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE*, vol. 2, pp. 808-813, 1996.
4. Introduction to Power Electronics. [Online]. Available at [:http://ece.colorado.edu/~ecen2060/materials/lecture\\_notes/PEintro.pdf](http://ece.colorado.edu/~ecen2060/materials/lecture_notes/PEintro.pdf)
5. R. W. Erickson, "DC-DC Power Converters", *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 5, pp. 53-63, 1999
6. R. W. Erickson, D. Maksimovic, *Fundamentals of power electronics*, 2nd ed., [s.l]:[s.n],[2000?]
7. M. Rashid, *Power Electronics Handbook*, Elsevier Inc., 2011.
8. "Boost converter," Wikipedia Foundation, Inc., 2009. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Boost\\_converter](http://en.wikipedia.org/wiki/Boost_converter).
9. R. H. Lasseter, and P. Paigi, "Microgrid: A Conceptual Solution," *35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Germany, 2004, pp. 4285-4290.
10. A. Bento, E. Santos and E. Silva, "Unified One-Cycle Controller for Bidirectional Boost Power Factor Correction Rectifiers," *IEEE*, pp. 541- 547, 2006.
11. A. J. Zhu and Pratt, "Capacitor ripple current in an interleaved PFC converter," in *IEEE Power Electronics Specialist Conference*, 2008, 2008.
12. Chandorkar, M. C. Divan, D. M. Adapa, R.: *Control of Parallel Connected Inverters in Standalone AC Supply Systems*. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 29, No 1, 1993.
13. F. L. Luo, H. Ye, M. Rashid, *Digital power electronics and applications*, Amsterdam : Elsevier Academic Press, c2005
14. N. Mohan, T. A. Undeland, W.P.Robbins, *Ηλεκτρονικά Ισχύος : μετατροπείς, εφαρμογές, σχεδίαση*, 2η έκδ., τ.Β', Θεσσαλονίκη : Τζιόλα, c1996
15. Power Electronics and Control in Grid-Connected PV Systems. [Online]. Available at: [http://ece.colorado.edu/~ecen2060/materials/lecture\\_notes/GridPVsystem.pdf](http://ece.colorado.edu/~ecen2060/materials/lecture_notes/GridPVsystem.pdf)
16. M. H. Rashid, ed., *Power Electronics Handbook : devices, circuits and applications*, Amsterdam : Elsevier, [1997], pp. 673-716
17. C. Yi, "Mathematical models of DC-DC converters". [Online]. Available at: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/loadFile.do?objectId=18833>
18. Γ. Χαριτάντης, *Αναλογικά Ηλεκτρονικά : Κυκλώματα-τεχνικές σχεδιασμού και εξομίωσης*, Αθήνα : Παπασωτηρίου, 2001
19. F. L. Luo, H. Ye, M. Rashid, *Digital power electronics and applications*, Amsterdam : Elsevier Academic Press, c2005
20. N. Mohan, T. A. Undeland, W.P.Robbins, *Ηλεκτρονικά Ισχύος : μετατροπείς, εφαρμογές, σχεδίαση*, 2η έκδ., τ.Β', Θεσσαλονίκη : Τζιόλα, c1996
21. M. H. Rashid, ed., *Power Electronics Handbook : devices, circuits and applications*, Amsterdam : Elsevier, [1997], pp. 673-716

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

1. Υπουργείο ανάπτυξης. Γενική διεύθυνση ενέργειας. Διεύθυνση ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας. “Νόμος 3468/2006”. [Online]. Available at: [http://www.ypan.gr/docs/N\\_34682006\\_APE.doc](http://www.ypan.gr/docs/N_34682006_APE.doc)
2. Larminie, James and Dicks, Andrew, *Fuel Cell Systems Explained*, 2nd ed., West Sussex, England: Wiley, 2003. [Online]. Available at: <http://klpcb.cnu.edu.cn/Shiwu/UpLoad/200722810917.pdf>
3. Γ. Ασημακόπουλος, “Εκοτεχνικά”, Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Ν. 2742/1999,) Α΄ Φάση: Υποστηρικτική Μελέτη, Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Αθήνα, 2007
4. Greenpeace, “Ηλιακός ηλεκτρισμός στο σπίτι σας: ένας πρακτικός οδηγός από την Greenpeace για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων”. [Online]. Available at [:http://www.scribd.com/doc/2192202/Greenpeace-](http://www.scribd.com/doc/2192202/Greenpeace-)
5. Β. Στεργιόπουλος, Π. Τσιακάρας, “Οικονομία υδρογόνου και κυψέλες καυσίμου”, Μεταπτ. Διατριβή Τμήμα Μηχ. Μηχ/κων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2007. [Online]. Available at [:http://library.tee.gr/digital/kdth/kdth\\_3460/kdth\\_3460\\_stergiopoulos.pdf](http://library.tee.gr/digital/kdth/kdth_3460/kdth_3460_stergiopoulos.pdf)
6. Β. Μπαλαδάκης, “Προσομοίωση διαφόρων τοπολογιών υβριδικού φωτοβολταϊκού-αιολικού συστήματος και ανάπτυξη αλγορίθμων διαχείρισης της ενέργειας σε αυτό (Energy Management System)”, Διπλ. Διατριβή, Τμήμα. Ηλ. Μηχ. και Μηχ. Η/Υ., Πολυτεχνείο Κρήτης, 1998
7. A. Moussi [et al.], “Photovoltaic pumping systems technologies trends”, *Larhyss Journ.*, n. 2, pp. 127-150, Jun. 2003
8. E. Muljadi and C. P. Butterfield, “Pitch-controlled variable speed wind turbine generation”, in Proc. 1999 *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, Colorado : National Renewable Energy Laboratory, 2000
9. R. T. Jagaduri, “Modeling and control of distributed generation systems including PEM fuel cell and gas turbine”. [Online]. Available at : [http://english.irantvto.ir/%5Cuploads%5C92\\_44\\_ahmadloo.pdf =.pdf](http://english.irantvto.ir/%5Cuploads%5C92_44_ahmadloo.pdf =.pdf)
10. Zhu, Y. Tomsovic, K. *Development of Models for Analyzing the Load- Following Performance of Microturbines. and Fuel Cells* Electric Power Systems Research, 2002.
11. N. M. Sammes and R. Boersma, “Small-scale fuel cells for residential applications,” *J. Power Sources*, vol. 86, pp. 98–110, 2000.
12. M. B. Gunes and M.W. Ellis, “Evaluation of fuel cell based combined heat and power systems for residential application,” in *Proc. ASME Int. Mech. Eng. Cong. and Expo.*, New York, Nov. 11–16, 2001.
13. M. Bagnoli and A. De Pascale, “Performance evaluation of a small size cogenerative system based on a PEM fuel cell stack,” in *Proc. ASME Turbo Expo*, Reno-Tahoe, NV, Jun. 6–9, 2005, GT2005-68451.
14. O. Erdinc and M. Uzunoglu, “Recent trends in PEM fuel cell-powered hybrid systems: Investigation of application areas, design architectures and energy management approaches,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, pp. 2874–2884, 2010.
15. P. Thonthong, S. Raël, and B. Davat, “Control algorithm of fuel cell and batteries for distributed generation system,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 23, no. 1, pp. 148–155, Mar. 2008.
16. J. D. Maclay, J. Brouwer, and S. G. Samuelsen, “Dynamic analyses of regenerative fuel cell power for potential use in renewable residential applications,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 31, pp. 994–1009, 2006.
17. T. B. Reddy and D. Linden, *Linden’s Handbook of Batteries*. New York: McGraw-Hill, 2010.
18. Y. Hayashi, S. Kawasaki, T. Funabashi and Y. Okuno, “Power and Heat Interchange System using Fuel Cells in Collective Housing,” *The Fourth Power Conversion Conference*, Japan, 2007, pp. 1207-1211.
19. A. M. Sharaf, “Low cost stand-alone renewable photovoltaic/wind energy utilization schemes”. [Online]. Available at : [http://www.ece.unb.ca/sharaf/publications\\_down\\_ppt.html](http://www.ece.unb.ca/sharaf/publications_down_ppt.html)
20. J. Simon, F. W. Fuchs, “Dynamic operation and energy gain of a wind power station with converter fed permanent magnet synchronous machine”, presented at 2006 Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics, NORPIE, Lund, Sweden. [Online]. Available at : <http://www.tf.unikiel.de/etit/LEA/?a=forschung&b=veroeffentlichungen>
21. Υπουργείο Ανάπτυξης. Τομέας Ενέργειας και Φυσικών Πόρων, “Αιολική ενέργεια: μύθοι και πραγματικότητα”. [Online]. Available at: <http://www.ypan.gr/ape/energeia.php?cat=aioliki&subcat=mithoi>
22. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας. [Online]. Available at: [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
23. Υπουργείο Ανάπτυξης. Νόμος 3468/2006, *Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις*, Φ.Ε.Κ. Α΄ 129/27.06.2006. [Online]. Available at: [http://www.ypan.gr/docs/N\\_3468-2006\\_APE.doc](http://www.ypan.gr/docs/N_3468-2006_APE.doc)
24. Υπουργείο Ανάπτυξης. Τομέας Ενέργειας και Φυσικών Πόρων, “Αιολική ενέργεια: μύθοι και πραγματικότητα”. [Online]. Available at: <http://www.ypan.gr/ape/energeia.php?cat=aioliki&subcat=mithoi>
25. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. [Online]. Available at: [www.rae.gr](http://www.rae.gr)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

1. DOE, *Technical Support Document, Refrigerator, Refrigerator-Freezer, and Freezers Rulemaking*, 2011, US Department of Energy. 60
2. U.S. Department of Energy. *Buildings Energy Data Book 2009*. 2009 [cited 2011 Feb 10]; Available from: <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/>.
3. Garbesi, K., V. Vossos, and H. Shen, *Maximizing Energy Savings from Direct-DC in U.S. Residential Buildings*, In press, Lawrence Berkeley National Laboratory. LBNL.
4. *Standby power summary table*. [cited 2010 Aug 20]; Available from: <http://standby.lbl.gov/summary-table.html>.
5. I. Munteanu [et al.], "Using a nonlinear controller to optimise a variable speed wind power system", Advanced Control Systems Research Centr., Univ. of Galati, Romania, [200-]
6. M. Jamshihi, N. Vadiee, T. J. Ross, *Fuzzy logic and control : software and hardware applications*, Englewood Cliffs, N.J. : Prentice Hall, c1993
7. "Calculating Efficiency," Texas Instruments Incorporated, 2010.
8. L. Umanand, "DC Generators Part 1", Power Electronics Group, CEDT, Indian Institute of Science (IISc.), Bangalore, 2006. [Online]. Available at : <http://nptel.iitm.ac.in/showVideo.php?v=6dF3LDzb-tE>.
9. L. Umanand, "DC Generators Part 2", Power Electronics Group, CEDT, Indian Institute of Science (IISc.), Bangalore, 2006. [Online]. Available at : <http://nptel.iitm.ac.in/showVideo.php?v=0v2qCOtT3yA>.
10. L. Umanand, "DC Motors Part 1", Power Electronics Group, CEDT, Indian Institute of Science (IISc.), Bangalore, 2006. [Online]. Available at : <http://nptel.iitm.ac.in/showVideo.php?v=1OfLgpFq6Rc>.
11. F. Zenith and S. Skogestad, "Control of a Fuel-Cell Powered DC Electric Vehicle Motor", *presented at the AIChE Annual Meeting*, Trondheim, Norway, 2005. [Online]. Available at: [http://www.nt.ntnu.no/users/skoqe/publications/2005/zenith\\_aiche-annual-05/Presentation\\_zenith\\_AIChE2005.pdf](http://www.nt.ntnu.no/users/skoqe/publications/2005/zenith_aiche-annual-05/Presentation_zenith_AIChE2005.pdf)
12. L. Umanand, "DC Motors Part 1", Power Electronics Group, CEDT, Indian Institute of Science (IISc.), Bangalore, 2006. [Online]. Available at : <http://nptel.iitm.ac.in/showVideo.php?v=1OfLgpFq6Rc>.
13. EMerge Alliance. *An open industry association*. 2011 [cited 2010 Nov 06]; Available from: <http://emergealliance.org>.
14. Garbesi, K., and L.B. Desroches, *Max Tech and Beyond: Maximizing Appliance and Equipment Efficiency by Design, 2011*, Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, CA.
15. CEC. *California Energy Commission Appliances Database*. [cited 2010 May]; Available from: <http://www.energy.ca.gov/appliances/database>.
16. *RV-Coach Online*. [cited 2010 June]; Available from: [http://www.rv-coach.com/current\\_category.83/FAQ.189/faqs\\_detail.html](http://www.rv-coach.com/current_category.83/FAQ.189/faqs_detail.html).
17. *Brushless DC Compressors*. [cited 2010 June]; Available from: [http://www.rparts.com/Catalog/Major\\_Components/compressors/Danfoss/danfoss.asp](http://www.rparts.com/Catalog/Major_Components/compressors/Danfoss/danfoss.asp).
18. *Sun Frost*. [cited 2010 June]; Available from: [http://www.sunfrost.com/refrigerator\\_specs.html](http://www.sunfrost.com/refrigerator_specs.html)
19. *Comparison Chart*. [cited 2010 June]; Available from: <http://www.backwoodshome.com/articles2/images/yago102-3.gif>. 57
20. *Energy Star Program*. [cited 2010 June ]; Available from: <http://www.energystar.gov>.
21. EMerge-Alliance. *EMerge Alliance introduces first registered products for DC power distribution in commercial buildings*. [cited 2010 Nov 17]; Available from: [http://emergealliance.org/imwp/idms/popups/pop\\_download.asp?contentID=19309](http://emergealliance.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=19309).
22. EMerge-Alliance. *Registered products*. [cited 2011 Oct 10]; Available from: <http://www.emergealliance.org/Products/RegisteredProducts.aspx>.
23. *Cooper Lighting*. [cited 2010 Dec]; Available from: <http://www.cooperlighting.com/>.
24. *Finelite*. [cited 2010 Dec]; Available from: <http://www.finelite.com/index.php>.
25. *Lunera Lighting*. [cited 2010 Dec]; Available from: <http://www.lunera.com/>.
26. *Nextek Power Systems*. [cited 2010 Dec]; Available from: <http://www.nextekpower.com/>.
27. Herron, D. *Electric vehicle charging standards*. 2010 [cited 2010 December 10]; Available from: <http://visforvoltage.org/book/9471>.
28. *SAE International*. Available from: <http://www.sae.org/>.
29. *Annual Energy Outlook (AEO)*. [cited 2010 Nov]; Available from: <http://www.eia.doe.gov/oiarf/aeo>.
30. EIA. *The National Energy Modeling System: An Overview*. 2009 [cited 2010 Nov 14]; Available from: <http://www.eia.doe.gov/oiarf/aeo/overview>.
31. Energy Star. *Energy Star EPS specifications (dataset used to determine Final Draft Version 2.0 Specification Levels)*. 2010 [cited 2010 May 15]; Available from: [http://www.energystar.gov/index.cfm?c=revisions.eps\\_spec](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=revisions.eps_spec).
32. ECOS. *Power supplies efficiencies*. 2010 [cited 2010 July 10]; Available from: <http://www.80plus.org>.
33. DOE. *Estimating appliance and home electronic energy use*. [cited 2010 Aug]; Available from: [http://www.energysavers.gov/your\\_home/appliances/index.cfm/mytopic=10040](http://www.energysavers.gov/your_home/appliances/index.cfm/mytopic=10040).
34. Lai, T., "DC Power Supply Efficiency Curve", *Personal Communication* 2010.
35. Lee, F.C., et al., *Proposal for a MiniConsortium on Sustainable Buildings and Nanogrids*, 2010, Center for Power Electronic Systems, Virginia Tech: Blacksburg, VA.
36. DOE, *Technical support document for residential cooking products, volume 2: Potential impact of alternative efficiency levels for residential cooking products, Table 1.7*, 1998.

37. Simpson, D., *Dishwashers: Everything, Including the Kitchen Sink* Appliance Magazine, 2005
38. Murray, A., *Appliance motors turn green*. Machine Design, 2006. Dec 14: p. 106-113

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

1. Brearily, D., *Distributed PV System Optimization: Microinverters, DC-to-DC and Two-Stage Inverters*. SolarPro, 2010(3.5): p. 32-58.
2. Nextek Power Systems. *Technical Document Library*. [cited 2011 March 30]; Available from: <http://www.nextekpower.com/technology/technical-document-library>.
3. Morningstar Corporation. *Sunsaver MPPT*. 2011 [cited 2011 March]; Available from: <http://www.morningstarcorp.com/en/sunsavermpp>.
4. AEE Solar. *2010 Renewable Energy Design Guide and Catalog*. 2010 [cited 2010 November 10]; Available from: <http://www.aeesolar.com/PDFs/ae-solar-2010-catalog.pdf>.
5. Chen, H., et al., *Progress in electrical energy storage system: A critical review*. Progress in Natural Science, 2009. 19(3): p. 291-312.
6. Stevens, J.W. and G.P. Corey. *A Study of Lead-Acid Battery Efficiency Near Top-of-Charge and the Impact on PV System Design*. in *Photovoltaic Specialists Conference*. 1996. Washington, DC: IEEE.
7. ESA. *Technologies Comparison*. 2009 [cited 2011 March 28]; Available from: [http://www.electricitystorage.org/ESA/technologies/technology\\_comparisons/](http://www.electricitystorage.org/ESA/technologies/technology_comparisons/).
8. Ceilings, A. *DC FlexZone Grid from Armstrong Ceiling Systems*. [cited 2011 Jan]; Available from: <http://www.armstrong.com/commceilingsna/article55189.html>.
9. *SkinnyBytes Power-over-Ethernet Computing* [cited 2010 Dec]; Available from: <http://www.skinnybytes.com/>.
10. *DSP Design: Power over Ethernet*. [cited 2010 Dec]; Available from: [http://www.dspdesign.com/products/index\\_html?category\\_id=52](http://www.dspdesign.com/products/index_html?category_id=52).
11. *Boundary Devices: 10.4" POE touch computer*. [cited 2010 Dec]; Available from: [http://boundarydevices.com/poe\\_touch\\_comp.php](http://boundarydevices.com/poe_touch_comp.php).
12. *Solar Panels Plus*. [cited 2010 June]; Available from: <http://www.solarpanelsplus.com/dc-air-conditioning>.
13. U.S. Department of Energy. *Database of State Incentives for Renewables and Efficiency: Net Metering Policies Summary Map*. 2011 [cited 2011 March 9, 2011]; Available from: <http://www.dsireusa.org/solar/summarymaps/>.
14. Solar Energy Industries Association, *U.S. Solar Market Insight(TM): 2010 Year in Review (Executive Summary)*, 2010, Solar Energy Industries Association. Retrieved from <http://www.energyportal.eu/latest-solar-energy-news/9344-us-solar-market-insight-report-strong-us-solar-industry-growth-for-first-half-of-2010.html>
15. Sherwood, L., *U.S. Solar Market Trends 2009*, 2010, Interstate Renewable Energy Council. Retrieved from [http://irecusa.org/wp-content/uploads/2010/07/IREC-Solar-Market-Trends-Report-2010\\_7-27-10\\_web1.pdf](http://irecusa.org/wp-content/uploads/2010/07/IREC-Solar-Market-Trends-Report-2010_7-27-10_web1.pdf)
16. Barbose, G., et al., *Tracking the Sun IV: An Historical Summary of the Installed Cost of Photovoltaics in the United States from 1998 to 2010*, 2011, Lawrence Berkeley National Laboratory: Berkeley, CA.
17. Παπατσώρης, Αναστάσιος Δ. [κ.ά] “Διερεύνηση κατάλληλης συνδεσμολογίας φωτοβολταϊκών μονάδων και τεχνικών σχεδιασμού dc-dc προσαρμογών για βέλτιστη προσαρμογή του φωτοβολταϊκού συστήματος σε διάφορα φορτία”, ΕΠΕΑΕΚ ΙΙ, : Αρχιμήδης Ι - Ενίσχυση των ερευνητικών ομάδων στα ΤΕΙ, ΤΕΙ Σερρών: Σέρρες, 2007. [Online]. Available at: [http://www.teiser.gr/arximidis/pdf/ΜΠΑΛΟΥΚΤΖΗΣ/paradoteo\\_3\\_1.pdf](http://www.teiser.gr/arximidis/pdf/ΜΠΑΛΟΥΚΤΖΗΣ/paradoteo_3_1.pdf)
18. K. Zenger, A. Altowatti, T. Suintio, “Stability and performance of interconnected DC/DC converter systems” in *Proc. Advances in Computer, Information, and Systems Sciences, and Engineering, IETA 2005, TeNe 2005 and EIAE 2005*, pp. 13-18, 2006
19. Σ. Ευσταθίου, “Τεχνολογίες και τεχνικές ελέγχου φωτοβολταϊκών διατάξεων”, Μεταπτ. Διατριβή, Τμήμα. Μηχ. Παραγ. Διοίκ., Πολυτεχνείο Κρήτης, 2005
20. Κ. Α. Κοββαντζής, “Ηλεκτρολυτική παραγωγή υδρογόνου με τη χρήση ΑΠΕ”, Μεταπτ. Διατριβή, Τμήμα. Μηχ. Περιβάλλ., Πολυτεχνείο Κρήτης, [2006]
21. Α. Κορνελάκης, “Βελτιστοποίηση σχεδιασμού και αξιολόγηση συστήματος φωτοβολταϊκών στοιχείων για την παραγωγή ενέργειας σε ηλεκτρικά δίκτυα”, Διπλ. Διατριβή, Τμήμα. Ηλ. Μηχ. και Μηχ. Η/Υ., Πολυτεχνείο Κρήτης, 2008
22. Power Electronics and Control in Grid-Connected PV Systems. [Online]. Available at [http://ece.colorado.edu/~ecen2060/materials/lecture\\_notes/GridPVsystem.pdf](http://ece.colorado.edu/~ecen2060/materials/lecture_notes/GridPVsystem.pdf):
23. Παπατσώρης, Αναστάσιος Δ. [κ.ά] “Διερεύνηση κατάλληλης συνδεσμολογίας φωτοβολταϊκών μονάδων και τεχνικών σχεδιασμού dc-dc προσαρμογών για βέλτιστη προσαρμογή του φωτοβολταϊκού συστήματος σε διάφορα φορτία”, ΕΠΕΑΕΚ ΙΙ, : Αρχιμήδης Ι - Ενίσχυση των ερευνητικών ομάδων στα ΤΕΙ, ΤΕΙ Σερρών: Σέρρες, 2007. [Online]. Available at: [http://www.teiser.gr/arximidis/pdf/ΜΠΑΛΟΥΚΤΖΗΣ/paradoteo\\_3\\_1.pdf](http://www.teiser.gr/arximidis/pdf/ΜΠΑΛΟΥΚΤΖΗΣ/paradoteo_3_1.pdf)
24. Faranda, Roberto and Leva, Sonia, “Energy comparison of MPPT techniques for PV systems”, *WSEAS transactions on power systems*, vol. 3(6), pp. 446-455, Jun. 2008. [Online]. Available at: <http://www.wseas.us/elibrary/transactions/power/2008/27-545.pdf>

25. Mammano, Bob, *Load Sharing with Paralleled Power Supplies*, Texas: Texas Instruments, c2001. [Online]. Available at: <http://focus.ti.com/lit/ml/slup094/slup094.pdf>
26. Samson, G.T. Undeland, T.M. Ullberg, O. Vie, P.J.S., "Optimal Load Sharing Strategy in a Hybrid Power System based on PV/Fuel Cell/Battery/Supercapacitor", *2009 International Conference on Clean Electrical Power*, pp. 141-146. [Online]. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=05212070>
27. K. Zenger, A. Altowatti, T. Suntio, "Stability and performance of interconnected DC/DC converter systems" in *Proc. Advances in Computer, Information, and Systems Sciences, and Engineering, IETA 2005, TeNe 2005 and EIAE 2005*, pp. 13-18, 2006
28. A. M. Sharaf, "Standalone wind energy utilization scheme and novel control strategies". [Online]. Available at: [http://www.ece.unb.ca/sharaf/publications\\_down\\_ppt.html](http://www.ece.unb.ca/sharaf/publications_down_ppt.html)
29. A. Sakhare, A. Davari, A. Feliachi, "Fuzzy logic control of a fuel cell for stand-alone and grid connection", *Journ. of Power Sources*, vol. 135, pp.165-176, Jul. 2004
30. A. Mellit [et al.], "Control of stand-alone photovoltaic system using fuzzy-logic controller", in *Proc. 2008, H&H - Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates*.
31. M. A. S. Masoum and M. Sarvi, "Design, simulation and implementation of a fuzzy based MPP tracker under variable insolation and temperature conditions", *Iranian Journal of Science and Technology, Trans. B, Engineering*, vol. 29(B1), pp. 127-132, 2005
32. L. Max, S. Lundberg, "System Efficiency of a DC/DC converter based wind turbine grid system", presented at the Nordic Wind Power Conference, ESPOO, Finland, 2006
33. K. S. Jeong, W. Y. Lee, C. S. Kim, "Energy management strategies of a fuel cell/battery hybrid system using fuzzy logics", *Journ. of Power Sources*, vol. 145, pp. 319-326, Jun. 2005
34. J. A. Jiang [et al.], "Maximum power tracking for photovoltaic power systems", *Tamkang Journ. Of Science and Engineering*, vol. 8(2), pp. 147-153, 2005
35. T. L. Kottas, Y. S. Boutalis, A. D. Karlis, "New maximum power point tracker for PV arrays using fuzzy controller in close cooperation with fuzzy cognitive networks", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 21(3), pp. 793-803, Sept. 2006
36. M. A. S. Masoum and M. Sarvi, "Design, simulation and implementation of a fuzzy based MPP tracker under variable insolation and temperature conditions", *Iranian Journal of Science and Technology, Trans. B, Engineering*, vol. 29(B1), pp. 127-132, 2005
37. A. El-Shafy [et al.], "Maximum-power operation stand-alone PV system using fuzzy logic control", *Int. J. Numer. Model.*, vol. 15, pp. 385-398, May 2002
38. T. F. El-Shater, "Fuzzy controller based for photovoltaic maximum power tracking", in *proc. 37th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*, 2002, pp 239-241.
39. M. N. Eskander, T. F. El-Shatter, M.T. El-Hagry, "Energy flow and management of a hybrid wind-PV-fuel cell generation system", *Energy Conversion and Management*, vol. 47(9-10), pp. 1264-1280, Jun. 2006. [Online]. Available at : [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6V2P-4HNYM7F1&\\_user=10&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&\\_view=c&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=662359d7d5d2ca123412f9f6ca2c0e97](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V2P-4HNYM7F1&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=662359d7d5d2ca123412f9f6ca2c0e97)
40. T. Esmam, P. L. Chapman, "Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 22(2), pp. 439-449, Jun. 2007
41. A. A. Al Yousef, "Fuzzy controller for photovoltaic maximum power point tracking", Dissertation, Dept. Electrical Engineering, King Saud Univ., College of Engineering, 2008. [Online]. Available at : <http://faculty.ksu.edu.sa/eltamaly/Pages/Alyousof.aspx>
42. H. Altas and A. M. Sharaf, "A novel photovoltaic on-line search algorithm for maximum energy utilization", in *Proc. The International Conference of Communication, Computer and Power (ICCCP'07)*.
43. I. H. Altas and A. N. Sharaf, "A fuzzy logic power tracking controller for a photovoltaic energy conversion scheme", *Electric Power Systems Research*, vol. 25, pp. 227-238, Jun. 1992
44. N. Y. Al-Zahrani, "Study of using induction generator in wind-energy applications", King Saud Univ., Kingdom of Saudi Arabia, 2005. [Online]. Available at : <http://faculty.ksu.edu.sa/eltamaly/Documents/Student%20projects/Naief%20elzahrany/naief.pdf>
45. Md. Arifujjaman, M. T. Iqbal, J. E. Quaicoe, "Emulation of a small wind turbine system with a separately-excited DC machine", *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 8(1), pp. 569-579, Mar. 2008.
46. Md. Arifujjaman, M. T. Iqbal, J. E. Quaicoe, "Energy capture by a small wind-energy conversion system", *Applied Energy*, vol. 85(1), pp. 41-51, Jan. 2008. [Online]. Available at : [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6V1T-4PK8B8T2&\\_user=10&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&\\_view=c&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=34ba1f3e425584ef8ead157aca0bd336](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V1T-4PK8B8T2&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=34ba1f3e425584ef8ead157aca0bd336)
47. D. Bandekas [et al.], "Optimum selection based on the energy capacity between different types of renewable sources using a controller", *Electronics and Electrical Engineering*, vol. 8(80), pp. 9-12, 2007
48. D. Biel, E. Fossas and J. M. Olm, "Robust step-up DC/AC conversion with a full-bridge non-inverting buck-boost", in *Proc. 2007 16th IEEE Inter. Conf. on Control Applications, IEEE multi-conf. on Systems and Control*, pp. 593-597

49. L. Sherwood, "U.S. Solar Market Trends 2010," IREC, 2011. J. Koller, "Solar Growth Report 2012," Green Chip Stocks, 2012. [Online]. Available: <http://www.greenchipstocks.com/articles/solargrowth-report-2012/1976>.
50. D. Fain, "A Dual Input Bidirectional Power Converter for Charging and Discharging a PHEV Battery," Clemson University, 2009.
51. J. Hui, A. Bakhshai and P. Jain, "A Hybrid Wind-Solar Energy System: A New Rectifier Stage Topology," *IEEE*, pp. 115-161, 2010.
52. Tecogen Factory Testing, 03/15/2006, "TECOGEN 60kW Inverter-Based CHP Modules", CERTS Microgrid Test Bed Project
53. Nicholas W. Miller, Einar V. Larsen, and Jason M. MacDowell, "Advanced Control of Wind Turbine-Generators to Improve Power System Dynamic Performance", 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2004.
54. Hatziargyriou, N. et al.: *Modelling of Micro-Sources for Security Studies*. CIGRE Session, 2004.
55. Kariniotakis, G. et al.: *Digital Models for Microsource*. MicroGrids project deliverable DA1, 2003.
56. Akagi, H. Kanazawa, Y. Nabae, A.: *Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components*. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA-20, No. 3, pp 625-630, May/June 1984.
57. J. D. Maclay, J. Brouwer, and S. G. Samuelson, "Dynamic modeling of hybrid energy storage systems coupled to photovoltaic generation in residential applications," *J. Power Sources*, vol. 163, pp. 916–925, 2007.
58. B. Belvedere, M. Bianchi, A. Borghetti, A. De Pascale, M. Di Silvestro, and M. Paolone, "DSP-controlled test set-up for the performance assessment of an autonomous power unit equipped with a PEM fuel cell," in *Proc. Int. Conf. Clean Electrical Power*, Capri, Italy, May 21–23, 2007.
59. B. Belvedere, M. Bianchi, A. Borghetti, and M. Paolone, "A microcontroller-based automatic scheduling system for residential microgrids," in *Proc. 2009 IEEE Bucharest Power Tech Conf.*, Bucharest, Romania, Jun. 28–Jul. 2 2009.
60. S. Jain and V. Agarwal, "An integrated hybrid power supply for distributed generation applications fed by nonconventional energy sources," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 23, no. 2, pp. 622–631, Jun. 2008.
61. W. Jiang and B. Fahimi, "Active current sharing and source management in hybrid power," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 2, pp. 752–761, Feb. 2010.
62. P. Strauss and A. Engler, "AC coupled PV hybrid systems and microgrids- state of the art and future trends," in *Proc. 3rd World Conf. Photovoltaic Energy Convers.*, Osaka, Japan, May 11–18, 2003.
63. W. Lunscher, S. Britton, and M. Tanju, "A 9 kW high-performance solar array simulator," in *Proc. Eur. Space Power Conf. (ESPC)*, Graz, Austria, Aug. 23–27, 1993.
64. B. Kroposki, R. Lasseter, T. Ise, S. Morozumi, S. Papathanassiou, and N. Hatziargyriou, Microgrids: Technologies and Testing, IEEE Power and Energy Magazine, May 2008.
65. L. C. Henriksen, *Model predictive control of a wind turbine*, Kongens Lyngby, Denmark : [s.n.], 2007
66. B. Suprianto [et al.], "Uniform current distribution control using fuzzy logic for parallel connected non identical DCDC converters", in *Proc. 2nd International Conference on Innovative Computing, Information and Control, ICICIC*, 2007, pp.435
67. T. Takahara, Y. Yamanouchi and H. Kawaguchi, "Maximum power control for a photovoltaic power generator not requiring detailed system information", *Intern. Journ. Of Applied Electromagnetics and Mechanics*, vol. 13, pp. 171-180, c2002
68. S. R. Vocen, J. O. Keller, "Hybrid energy storage systems for stand-alone electric power systems : optimization of system performance and cost through control strategies", *International Journ. of Hydrogen Energy*, vol. 24, pp. 1139-1156, 1999
69. G. Walker, "Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model", *Journal of Electrical & Electronics Engineering*, vol. 21(1), pp. 49-55, Aug. 2008. [Online]. Available at <http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=537020271845747;res=IELENG>
70. Peters, J.S., et al., *Electronics and energy efficiency: a plug load characterization study*, SCE0284, 2010. [cited 2011 Sep]; Available from [http://www.calmac.org/publications/BCE\\_Final\\_Report\\_2010.04.26ES.pdf](http://www.calmac.org/publications/BCE_Final_Report_2010.04.26ES.pdf) 58
71. CEC and CPUC. *Go Solar California: List of Eligible SBI Guidelines Compliant Photovoltaic Modules*. 2011 [cited 2011 March 28]; Available from: <http://www.gosolarcalifornia.org/about/index.php>
72. SEIA, *US Solar Industry Year in Review 2009*, 2010, Solar Energy Industries Association
73. CPUC. *California Solar Initiative Working Data Set 2011* [cited 2011 March 10]; Available from: [http://www.californiasolarstatistics.org/current\\_data\\_files/](http://www.californiasolarstatistics.org/current_data_files/).
74. DC Power Systems. *Wholesale Price List*. [cited 2010 May 3]; Available from: <http://www.dcpower-systems.com/products.aspx>.
75. SunWize Technologies, I. *Wholesale Price List* [cited 2010 May 12]; Available from: <http://www.sunwize.com/catalog/pdf/SunWize-2010-solar-catalog.pdf>.
76. Solarbuzz. *Retail Price Environment*. 2011 [cited 2011 March 28]; Available from: <http://www.solarbuzz.com/facts-and-figures/retail-price-environment>.
77. LaMonica, M. *Study delivers blow to urban microwind turbines*. 2009 [cited 2011 March 29]; Available from: [http://news.cnet.com/8301-11128\\_3-10157474-](http://news.cnet.com/8301-11128_3-10157474-).

78. Treehugger. *10 Small-Scale Wind Turbines Cut NYC Apartment Building's Electric Costs in Half*. [cited 2011 Sep. 08]; Available from: : <http://www.treehugger.com/files/2009/01/small-scale-wind-turbines-cut-apartment-building-electricity-bill-in-half.php>.
79. Woofenden, I., and M Sagrillo, *2010 Wind Generator buyer's guide*. Home Power Magazine, 2014(137): p. 44-54.
80. Cunningham, P.a.I.W. *Microhydro electricity basics*. Home Power Magazine [cited 2011 March 30]; Available from: <http://homepower.com/basics/hydro>
81. Perez, R., *The Schatz PV Hydrogen Project*, in *Home Power Magazine*, 1991(22): p. 26-30.
82. Enphase Energy. *Reliability of Enphase Micro-inverters*. 2009 [cited 2011 March 24]; Available from: [http://www.enphaseenergy.com/downloads/Enphase\\_WhitePaper\\_Reliability\\_of\\_Enphase\\_Micro-inverters.pdf](http://www.enphaseenergy.com/downloads/Enphase_WhitePaper_Reliability_of_Enphase_Micro-inverters.pdf).
83. Barbose, G., N Darghouth, and R Wiser, *Tracking the Sun III: The Installed Cost of Photovoltaics in the U.S. from 1998-2009*, 2010, Lawrence Berkeley National Laboratory: Berkeley, CA.
84. AEE Solar. *AEE Solar Product Catalog*. 2010 [cited 2010 July]; Available from: <http://www.aeesolar.com/PDFs/ae-solar-2010-catalog.pdf>.
85. CEC and CPUC. *List of Eligible Inverters per SBI Guidelines*. 2011 [cited 2011 March 25]; Available from: <http://www.gosolarcalifornia.org/equipment/inverters.php>.
86. SMA. *SUNNY BOY 5000-US / 6000-US / 7000-US / 8000-US*. 2010 [cited 2011 25 March]; Available from: <http://download.sma.de/smaprosa/dateien/4752/SUNNYBOY5678-DUS103927W.pdf>.
87. Princeton Power Systems. *GTIB-480-100 Grid-Tied Inverter System*. 2010 [cited 2011 March 25]; Available from: [http://www.princetonpower.com/pdfs/spec\\_gtib-480-100.pdf](http://www.princetonpower.com/pdfs/spec_gtib-480-100.pdf).

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

1. DOE, *Technical support document for residential cooking products, volume 2: Potential impact of alternative efficiency levels for residential cooking products, Table 1.7*, 1998.
2. Simpson, D., *Dishwashers: Everything, Including the Kitchen Sink* Appliance Magazine, 2005
3. *Average power consumption of household appliances*. [cited 2010 Aug]; Available from: <http://www.absak.com/library/power-consumption-table>.
4. OkSolar.com. *Typical power consumption*. [cited 2010 Aug]; Available from: <http://www.oksolar.com/technical/consumption.html>.
5. C. Yi, "Mathematical models of DC-DC converters". [Online]. Available at: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/loadFile.do?objectId=18833>
6. ΔΕΗ Α.Ε. [Online]. Available at: <http://www.dei.gr>
7. "Home Appliance Energy Use," GE, 2012. [Online]. Available: <http://visualization.geblogs.com/visualization/appliances/>.
8. "Typical Energy Costs for Electric Household Appliances," Suwannee Valley Electric Cooperative, Inc., 2010. [Online]. Available: <http://www.svec-coop.com/energycostappliances.htm>.
9. "Online Power Usage," Consumer Power, Inc., 2012. [Online]. Available: [http://www.consumerspower.org/home\\_energy/billestimator.php](http://www.consumerspower.org/home_energy/billestimator.php).
10. M. Amin, "Low voltage DC distribution system compared with 230 V AC," in *2011 IEEE Power and Energy Conference*, 2011.
11. B. Mohanty, "Standby Power Losses In Household Electrical Appliances And Office Equipment," ADEME, 2001.
12. "Standby Power Data," Lawrence Berkeley National Laboratory, [Online]. Available: <http://standby.lbl.gov/summary-chart.html>.
13. P. A.-D.-V. Raj, M. Sudhakaran and P. P.-D.-A. Raj, "Estimation of Standby Power Consumption for Typical Appliances," *Journal of Engineering Science and Technology Review*, vol. 2, no. 1, pp. 71-75, 2009.
14. G. Seo, J. Baek, K. Choi, H. Bae and B. Cho, "Modeling and Analysis of DC Distribution Systems," in *8th International Conference on Power Electronics*, 2011.
15. Kakigano, H., Nomura, M., & Ise, T. (2010). Loss evaluation of dc distribution for residential houses compared with ac system. The 2010 international power electronics conference.
16. SWCC Showa Cable Systems Co., LTD Web Site. Available: <http://www.swcc.co.jp/cs/index.htm>

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

1. C. Boccaletti [et al.], "Simulation models of fuel cell systems", in *Proc. 2006 International Conf. On Electrical Machines*, Chania.
2. O. Curea, L. Vechiu, H. Camblong, "Design of a test bench for the analysis of a hybrid power system", presented at the EWEA, London, UK, 2004. [Online]. Available at <http://www.2004ewec.info/find.php?mode=topics&fuzzy=off&term=Autonomous+and+%2F+or+Hybrid+Systems&tracks=Scientific&start=a&end=z>



3. Woofenden, I., and M Sagrillo, *2010 Wind Generator buyer's guide*. Home Power Magazine, 2014(137): p. 44-54.
4. Ινστιτούτο πληροφοριακών συστημάτων /ΕΚ «Αθήνα» Geodata.gov.gr
5. A. J. Davis and Z. M. Salameh, "Fuzzy logic modeling of a grid-connected wind/photovoltaic system with battery storage", in *Proc. 2004 Large Engineering systems Conf. on Power Engineering, LESCOPE-04*, pp. 129-135. [Online]. Available at : [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=1356286](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1356286)
6. J. J. Ding, J. S. Buckeridge, "Design considerations for a sustainable hybrid energy system", *IPENZ Trans.*, vol. 27(1), pp. 1-5, May 2000
7. EG&G Services (Science Applications International Corporation), *Fuel cell handbook*, 5th ed., Morgan Town, West Virginia : US Department of Energy. Office of Fossil Energy. National Energy Technology Laboratory, 2000
8. T. F. El-Shater, "Power management of PV/fuel cell system", in *Proc. 3rd World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion*, pp. 2389-2392
9. T. F. El-Shatter, M. N. Eskander, M. T. El-Hagry, "Energy flow and management of a hybrid wind/PV/fuel cell generation system", *Energy Conversion and Management*, vol. 47, pp. 1264-1280, Nov. 2005
10. M. Faisal, "Microgrid modeling and simulation", Dept. of Automation and Systems Technology, Helsinki Univ. Of Technology, Switzerland, 2006
11. V. Salas [et al.], "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 90, pp. 1555-1578, 2006
12. A. Sathyan, K. A. Kiszynski, S. Al-Hallaj, "Hybrid wind-PV-fuel cell generation system", in *Proc. Vehicle Power and Propulsion, 2005 IEEE Conf.*, pp. 495-500. [Online]. Available at : [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=1554604](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1554604)
13. D. Sera, R. Teodorescu, T. Kerekes, "Teaching maximum power point trackers using a photovoltaic array model with graphical user interface", in *Proc. International Workshop on Teaching Photovoltaics, IWTPV 2006*. [Online]. Available at : <http://www.ietau.dk/~des/papers/IWTPV2006.pdf>
14. T. Suergevil, E. Akpmar, "Modelling of a 5-kW wind energy conversion system with induction generator and comparison with experimental results", *Renewable Energy*, vol. 30(6), pp. 913-929, May 2005. [Online]. Available at : [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6V4S-4DV1GJ44&\\_user=10&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&\\_view=c&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=1cdd37360e1d79995f8c10ab35c4de78](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V4S-4DV1GJ44&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=1cdd37360e1d79995f8c10ab35c4de78)
15. L. Vechiu [et al.], "Dynamic simulation model of a hybrid power system : performance analysis", presented at the EWEA, London, UK, 2004. [Online]. Available at : <http://www.2004ewec.info/find.php?mode=topics&fuzzy=off&term=Autonomous+and+%2F+or+Hybrid+Systems&tracks=Scientific&start=a&end=z>
16. Κ. Α. Κοββαντζής, "Ηλεκτρολυτική παραγωγή υδρογόνου με τη χρήση ΑΠΕ", Μεταπτ. Διατριβή, Τμήμα. Μηχ. Περιβάλλ., Πολυτεχνείο Κρήτης, [2006]
17. T. Takahara, Y. Yamanouchi and H. Kawaguchi, "Maximum power control for a photovoltaic power generator not requiring detailed system information", *Intern. Journ. Of Applied Electromagnetics and Mechanics*, vol. 13, pp.171-180, c2002
18. S. L. Chee, "A residential DC distribution system with photovoltaic array intergration", Bc. Thesis, Dept. Of Science in Electrical and Electronics Engineering, Oregon State Univ., Honors College, 2008

