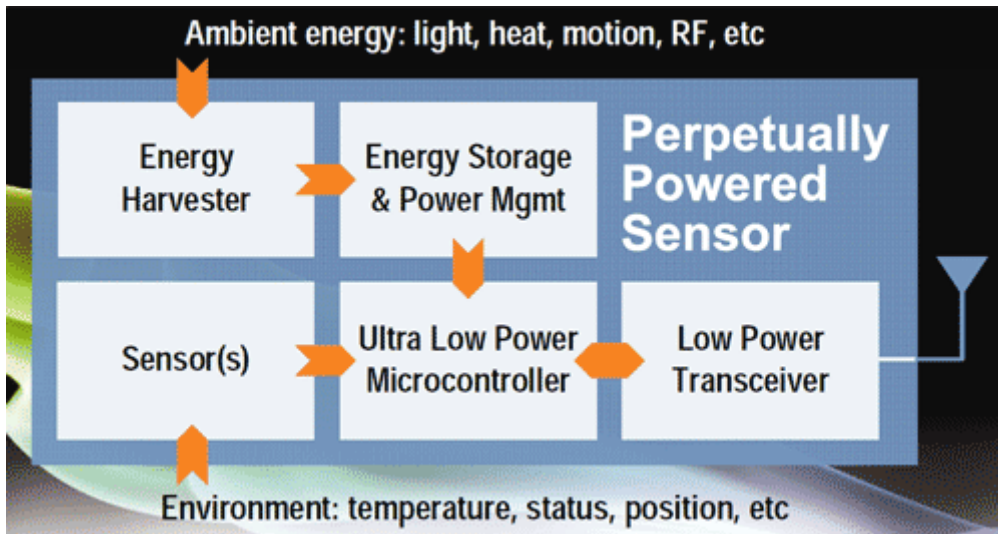
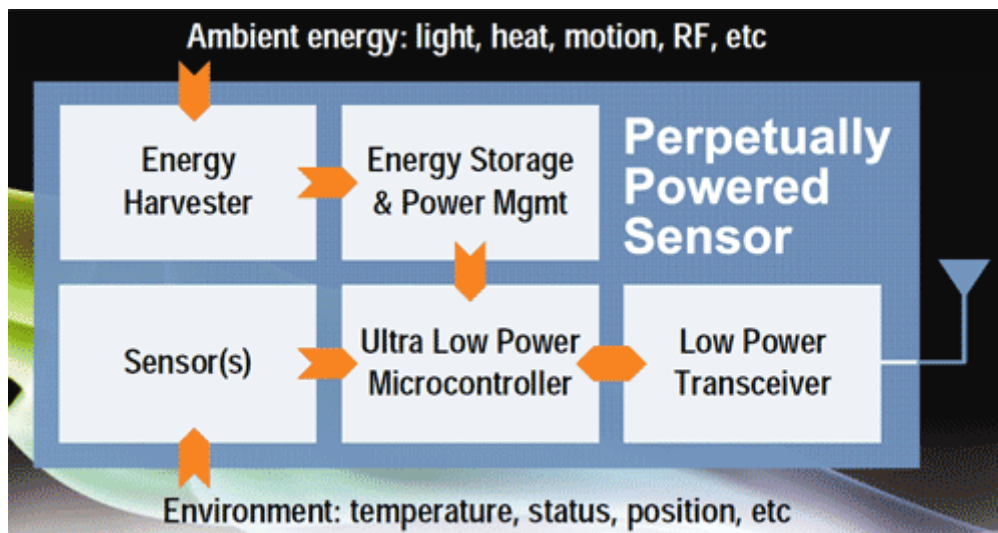


ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΟΥΜΕΝΗ ΜΟΝΑΔΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΟΥΜΕΝΗ ΜΟΝΑΔΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητη μου κο. Αποστόλη Μηλιώνη κυρίως για την υπομονή που έκανε στο μεγάλο χρονικό διάστημα της συγγραφής του έργου. Όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια του σε καίριες στιγμές όπου με τις αποτελεσματικές μεθόδους του κατάφερα να ξεπεράσω τις όποιες δυσκολίες κατά την διάρκεια της έρευνας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την εταιρεία που εργάζομαι καθώς μου έδειξε εμπιστοσύνη και χρηματοδότησε το συγκεκριμένο έργο με στόχο την έρευνα και την ανάπτυξη μιας καινοτόμου ιδέας που είχε ως στόχο την δημιουργία ενός πομποδέκτη με πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής μοναδικού στο είδος του.

Τέλος θα ήθελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στην γυναίκα μου Καλλιόπη που με στήριξε και αγκάλιασε την συγκεκριμένη προσπάθεια.

Περίληψη

Το σημερινό ενδιαφέρον για τη μάζευση χαμηλής ενεργειακής ισχύος οφείλεται στα αυτόνομα δίκτυα αισθητήρων όπως και άλλες τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές, για παράδειγμα τα δορυφορικά δίκτυα.

Σε αυτές τις εφαρμογές ένα σύστημα μάζευσης ενέργειας θα μπορούσε να συσσωρεύει ενέργεια που να αποθηκεύεται σε ένα ή περισσότερους πυκνωτές αποθήκευσης και στη συνέχεια να ενισχύεται, να ρυθμίζεται σε μια μπαταρία για τη χρήση των ηλεκτρονικών διατάξεων της συσκευής.

Η ισχύς χρησιμοποιείται συνήθως σε έναν ή πολλούς αισθητήρες και τα δεδομένα αποθηκεύονται ή μεταδίδονται ενδεχομένως μέσω ενός ασύρματου δικτύου.

Η συγκεκριμένη έρευνα έχει ως στόχο τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την επικύρωση ενός ηλεκτρονικού συστήματος εντοπισμού και απομακρυσμένου ελέγχου, χρησιμοποιώντας δορυφορικό δίκτυο με δυνατότητα συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας από ανανεώσιμες/εναλλακτικές πηγές και αδιάλειπτη παροχή ισχύος για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς τη χρήση μπαταρίας αντικατάστασης.

Κατά το παρελθόν συνηθιζόταν να κατασκευάζονται εφαρμογές για τις οποίες χρησιμοποιούσαν εξωτερική τάση για την τροφοδοσία τους. Ακόμα και στις ημέρες μας κάποιες εφαρμογές βασίζουν την αυτονομία της λειτουργία τους σε τύπους μπαταρίας, όπως είναι για παράδειγμα οι Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd) και Ιόντων-Λιθίου (Li-ion).

Θα πρέπει να τονιστεί πως σε εφαρμογές όπως είναι η συγκεκριμένη (εντοπισμού θέσης) και οι δύο αυτοί τύποι μπαταρίας παρουσιάζουν πολλά μειονεκτήματα, το ίδιο επίσης και οι μπαταρίες μιας χρήσης.

Στη συνέχεια αυτού του πονήματος θα γίνει αναφορά σε μια πρόσφατη έρευνα που έγινε σε μια αντίστοιχη εφαρμογή που χρησιμοποιεί PACK-Li-ion μπαταριών της εταιρείας¹ LG, ο τύπος των μπαταριών cells του PACK είναι-18650. Τα συγκεκριμένα cell είναι ευρείας χρήσης και κατασκευάζονται από πολλούς γνωστούς κατασκευαστικούς οίκους μπαταριών όπως είναι Samsung, Panasonic, GP κ.α. Είναι πολύ καλής ποιότητας, όμως, έχουν ένα πολύ μεγάλο μειονέκτημα, αυτό της μη αντοχής τους σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες, γεγονός που

¹ <http://www.semicom.gr/lgl18650-3000>

θεωρείται αναγκαίο για εφαρμογές εντοπισμού θέσης.

Στη ναυτιλία, όλες οι συσκευές και ιδιαίτερα οι ηλεκτρονικές πρέπει να είναι ανθεκτικές, για να μπορούν να λειτουργούν αποτελεσματικά στο θαλάσσιο περιβάλλον. Γι' αυτό, λοιπόν, παγκόσμιας εμβέλειας οργανισμοί, όπως είναι ο IMO, έχουν καθιερώσει πρότυπα (standards) που αποτελούνται από δοκιμασίες σε εφαρμογές που θέλουν να λειτουργήσουν σε αυτό το περιβάλλον για την ασφάλεια στην θάλασσα.

Ένα τέτοιο πρότυπο (standard) είναι το EN60945. Το συγκεκριμένο πρότυπο (standard) αναφέρεται σε δοκιμασίες που πιστοποιούν πως μια εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θαλάσσιο περιβάλλον. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας του προτύπου EN60945:

Table 3 – Durability and resistance to environmental conditions

	Portable	Protected	Exposed	Submerged
Dry heat	+55 °C (storage +70 °C)	+55 °C	+55 °C (storage +70 °C)	(storage +70 °C)
Damp heat	+40 °C 93 % relative humidity 1 cycle			*
Low temperature	-20 °C (storage -30 °C)	-15 °C	-25 °C	*
Thermal shock	45 K into water		*	
Drop onto hard surface	6 drops from 1 m		*	
Drop into water	3 drops from 20 m		*	
Vibration	Sweep 2 Hz – 13,2 Hz at ± 1 mm, 13,2 Hz – 100 Hz at 7 m/s ² and for 2 h on each resonance, otherwise 2 h at 30 Hz in all three axes			
Rain and spray	*		12,5 mm nozzle 100 l/min at 3 m	*
Water immersion	100 kPa (1 bar) for 5 min 10 kPa (0,1 bar) for two-way VHF		*	600 kPa (6 bar) for 12 h
Solar radiation	1120 W/m ² 80 h	*	*	*
Oil resistance	ISO Oil No. 1 24 h, 19 °C	*	*	*
Corrosion	Four periods of seven days at 40 °C with 90 % – 95 % relative humidity after 2 h salt spray			
* Not applicable				

Όλες οι συσκευές εντοπισμού θέσης απαιτείται να λειτουργούν σε εξωτερικό περιβάλλον. Γι' αυτό ανήκουν στην κατηγορία “Exposed”. Έτσι, όπως διαφαίνεται και στην αντίστοιχη στήλη, οι δοκιμασίες που θα πρέπει να περάσει μια συσκευή εντοπισμού και ελέγχου είναι πάρα πολύ επώδυνες.

Το PACK της LG με τα 18650 cell, ως αναφέρθηκε, είναι πολύ καλό, όμως όχι αξιόπιστο. Το γεγονός, ωστόσο, ότι είναι πολύ καλής ποιότητας κατάφερε να το

κάνει να προσπεράσει όλες τις αντίξοες δοκιμασίες τους συγκεκριμένου προτύπου. Εντούτοις, ένας κατασκευαστής εφαρμογών εντοπισμού θέσης δεν θα μπορούσε ποτέ να το εμπιστευθεί απόλυτα σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας, όπως για παράδειγμα στις βόρειες χώρες και σε αυτές τις Αφρικής. Πιο συγκεκριμένα το πρότυπο αναφέρει για παράδειγμα πως η λειτουργία μιας τέτοιας εφαρμογής θα πρέπει να είναι ανθεκτική σε θερμοκρασίες από -25°C έως 55°C , καθώς επίσης και σε περιβάλλον υγρασίας $+70^{\circ}\text{C}$.

Το PACK της LG πέρασε τις δοκιμασίες με επιτυχία. Σύμφωνα, όμως, με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εύκολα διαφαίνεται πως σε θερμοκρασίες -όπως είναι οι αναγραφόμενες- θα παρουσίαζε δυσχέρεια στη λειτουργία του.

Για παράδειγμα το κάθε Cell μέσα στο συγκεκριμένο Pack έχει αντοχή σε θερμοκρασία από -20°C έως 50°C . Μπορεί, λοιπόν, να πέρασε τις δοκιμές θερμοκρασίας με επιτυχία, όμως, σίγουρα ένας κύκλος φόρτισης στους -20°C και εκφόρτωσης στους 50°C δεν θα ήταν τόσο αποδοτικός, όπως αν, για παράδειγμα, χρησιμοποιούνταν Υπερπυκνωτές.

Αξίζει, βέβαια, να αναφερθεί πως θα μπορούσε κάποιος να χρησιμοποιήσει μπαταρίες βιομηχανικού ή ακόμα και στρατιωτικού τύπου. Εντούτοις, το κόστος τους είναι αρκετά υψηλό γεγονός που ίσως καθιστά το προϊόν ασύμφορο.

Το σύστημα της συγκεκριμένης έρευνας έχει ως στόχο να λειτουργεί για πέντε (5) συνεχόμενα έτη χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη πως θα πρέπει να λειτουργεί άριστα σε αντίξοες περιβαλλοντικά συνθήκες, όπως είναι για παράδειγμα η ζέστη, το κρύο, η υγρασία, η σκόνη και οι δονήσεις που θα ασκούνται στη συσκευή.

Επιπροσθέτως, η εφαρμογή εντοπισμού θέσης θα βασιστεί σε μονάδες πολύ χαμηλής κατανάλωσης, η οποία θα είναι σε θέση περιοδικά (με ρυθμιζόμενη χρονική περίοδο) ή μετά από σχετικό αίτημα του χρήστη σε αυτήν, να μπορεί να εκπέμπει την προσδιορισμένη θέση GPS και άλλες πληροφορίες δεδομένων, όπως επί παραδείγματι των αισθητήρων της σε κάποιο απομακρυσμένο σταθμό λήψης.

Η «Μονάδα Εντοπισμού Θέσης» θα επιδεικνύει πραγματικά την αυτόνομη λειτουργία της και τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας με χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, έτσι ώστε ταυτόχρονα με την πολύ μικρή κατανάλωση της λειτουργίας της να μπορεί να ανταποκριθεί στην μακροβιώςιμότητα της.

Το σύστημα θα σχεδιαστεί, ώστε να προσαρμόζεται κατάλληλα σε οποιαδήποτε εξωτερική επιφάνεια - όπως σε εμπορευματοκιβώτια, φορτηγά ή πλοία- και θα επιτρέπει την αυτόματη παρακολούθησή τους ελαχιστοποιώντας ενδεχόμενα την απώλειά τους και ενισχύοντας την ασφάλεια των ανθρώπων.

Τέλος, θα εφάπτεται κατάλληλα ανάλογα με τον σχεδιασμό και την αιτία παρακολούθησης της συσκευής και θα ενισχύει την ασφάλεια των μεταφερόμενων φορτίων.

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι η συσκευή εντοπισμού θέσης θα μπορεί να έχει δυνατότητα απομακρυσμένου προγραμματισμού σε περίπτωση ανανέωσης και αναβάθμισης του λογισμικού της καθώς και δυνατότητα αποστολής δεδομένων σε περίπτωση παραβίασης και έκτακτης ανάγκης.

Abstract

The current focus on the low-energy harvesting is driven by autonomous sensor networks. In these applications, an energy harvesting system stores energy in a capacitor and then it is amplified and set in a second storage capacitor or battery for use in the microprocessor.

The power is typically used in a sensor and the data stored or transmitted possibly via a wireless network. This research aims to design development and validate a computerized tracking system and remote control capability of harvesting and storage of energy from renewable / alternative sources and uninterrupted power supply for a long time without using battery replacement.

The system is designed to operate for five consecutive years without the need for human intervention. The system will comprise one unit very low power, which will be able periodically (adjustable period), or upon request of the user it can emit the specified GPS position information and sensor data into a remote station. The "Unit Positioning 'will exhibit truly autonomous functioning and potential energy savings using alternative sources of energy and very low power consumption so that the lifetime of the system extends to five consecutive years. The tracking unit will be adjusted accordingly on the surface of the container and allow the automatic monitoring minimizing the loss of container and, therefore, enhancing the security of transported goods and the protection of the environment from unnecessary waste and uncontrolled depositing them in unknown locations.

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Abstract	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ	12
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	13
Κεφάλαιο 2. Πηγές ενέργειας για την τροφοδότηση αυτόνομων συσκευών.....	19
2.1 Ορισμός και κίνητρα	19
2.2 Εφαρμογές.....	19
2.3 Αποθήκευση ενέργειας.....	20
2.4 Τεχνολογίες μάστευσης ενέργειας	23
Κεφάλαιο 3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	50
3.1 Μάστευση ηλιακής ενέργειας για την τροφοδότηση ασύρματων αισθητήρων	50
3.2 Μικρο-μετατροπείς για τη βέλτιστη απόδοση των Φ/Β στοιχείων	53
3.3 Συγκεντρωτικά στοιχεία από τη βιβλιογραφία	55
Κεφάλαιο 4. Περιγραφή λειτουργίας του συστήματος.....	59
4.1 Αιτιολόγηση της έρευνας	59
M2M τεχνολογία.....	61
4.2 Το Cloud Computing στην υπηρεσία της εξοικονόμησης ενέργειας	62
4.3 Στόχος της έρευνας	63
Κεφάλαιο 5. Χαμηλής ισχύος Υβριδικός πομποδέκτης GPS/IRIDIUM	66
5.1 Ανάπτυξη με τεχνολογία FPGA	67
5.2 Ανάπτυξη πομπού για τον Υβριδικό πομποδέκτη 1 iridium	71
Διάταξη πομπού για τον Υβριδικό πομποδέκτη 1 iridium.....	71
5.3 Ανάπτυξη πομπού για τον Υβριδικό πομποδέκτη 2 iridium	72
UpConverter.....	72
Κρυσταλλικός Ταλαντωτής	75
Band Pass Filter	77
Power Amplifier	78
5.3.1 Αποτελέσματα μετρήσεων τελεστικών ενισχυτών	80
Αξιολόγηση τελεστικού ενισχυτή RF5111	86
Διάταξη πομπού για τον Υβριδικό πομποδέκτη 2 iridium.....	87
QPSK διαμόρφωση του πομποδέκτη 2 iridium	87
5.4 Διάταξη Υβριδικού Πομποδέκτη GPS-Iridium.....	88
5.5 Αυτονομία των πομποδεκτών 1 και 2 iridium	89
5.5.1 Μετρήσεις κατανάλωσης πομπού για τον Υβριδικό πομποδέκτη 1 iridium.....	90
5.5.2 Μετρήσεις κατανάλωσης πομπού για τον Υβριδικό πομποδέκτη 2 iridium.....	93
5.5.3 Συμπεράσματα	96
Κεφάλαιο 6. Ανάλυση Απαιτήσεων αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη	

εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium	97
6.1 Απαιτήσεις και Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου	97
6.2 Ανάλυση στοιχείων αποθήκευσης για την αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium	99
6.3 Ανάλυση χρόνου στον τρόπο λειτουργίας της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium	100
6.4 Προφίλ Λειτουργίας αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου off-The-Self Iridium.....	104
6.5 Αποστολή Γεγονότων.....	110
6.6 Ανάλυση των κατάλληλων κεραιών GPS της αυτόνομα τροφοδοτούμενης αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium...	115
6.7 Ανάλυση των κατάλληλων κεραιών Iridium της αυτόνομα τροφοδοτούμενης αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium..	120
Κεφάλαιο 7. Αρχιτεκτονική αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου με πομποδέκτη Off-The-Self Iridium	123
7.1 Κύκλωμα συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου με πομποδέκτη Off-The-Self Iridium.	128
7.3 Αρχή λειτουργίας αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου με πομποδέκτη Off-The-Self Iridium.	134
7.4 Σενάριο λειτουργίας της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium	136
7.5 Κεραία GPS της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium	140
7.6 Κεραία Iridium της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium	140
7.7 Μονάδα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium.....	143
Κεφάλαιο 8. Τελικό σύστημα-Παραγωγή και διαχείριση ενέργειας για την τροφοδοσία του Off The Self της Iridium.....	147
8.1 Προετοιμασία Υπερπυκνωτών	152
8.2 Μετατροπέας DC/DC LTC3113	153
8.3 Μετατροπέας DC/DC STBB1-APUR_STMicroeletctonics	155
8.4 Κύκλωμα DC/DC μετατροπέων με Υπερπυκνωτές.....	158
8.5 Κύκλωμα συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας από πολλαπλές πηγές ενέργειας.....	159
8.6 Συσκευή παραγωγής ενέργειας	160
8.7. Καταγραφή λειτουργίας-Παραγωγή και διαχείριση ενέργειας από τον ήλιο.	165
8.8 Θερμική κλίση σε container.....	180
8.9 Χρήση πιεζοηλεκτρικής συσκευής	183
Κεφάλαιο 9. Υπερπυκνωτές.....	188
Κεφάλαιο 10. Συμπεράσματα	191
Παράρτημα Β.....	194

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ

Green ICT	Information and Communication Technology
ΤΠΕ	Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών
GPS	Global Position System
GSM	Global System for Mobile Communications
SIM	Subscriber Identify Module
MEMS	Microelectromechanical system
ITU	International Telecommunication Union
BOM	Bill of Materials
MT	Mobile Terminated Message
MO	Mobile Originated Message
AIR TIME δεδομένων	Χρησιμοποίηση πόρων ενός δικτύου για αποστολή

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Το Green ICT (Information and Communication Technology) ή Πράσινη Πληροφορική είναι η μελέτη και η πρακτική της χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών και τηλεπικοινωνιών κατά τρόπο που να μεγιστοποιεί το θετικό όφελος του περιβάλλοντος και να ελαχιστοποιεί τις αρνητικές επιπτώσεις.

Η ενεργειακή απόδοση του εξοπλισμού που εγκαθίσταται σε μια συσκευή είναι μια από τις σημαντικότερες ανησυχίες του Green ICT, όπως και η ενέργεια που ενσωματώνεται στον εξοπλισμό, η χρήση των υλικών και ο τρόπος που ανακυκλώνονται. Το Green ICT επιδιώκει να καθοδηγήσει την τεχνολογική υλοποίηση με τις αποδεκτές πρακτικές διαχείρισης, για την υποστήριξη της αλληλεπίδρασης των επιχειρήσεων.

Το Green ICT είναι μια αναδυόμενη μέθοδος, η οποία φιλοσοφικά έχει επίκεντρο τη μέριμνα για τη βιώσιμη ανάπτυξη και αναζητεί τρόπους για να εφαρμοστεί αυτή μέσω των συστημάτων τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνίας. Πέρα από την άμεση περιβαλλοντική επίπτωση του εξοπλισμού, είναι υπό εξέταση ο τρόπος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτός για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των άλλων συστημάτων. Συνήθως προτείνονται τρόποι για τη χρήση των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) με στόχο τη μείωση των υλικών και της ενέργειας, όπως με την υποκατάσταση των μετακινήσεων με τις ηλεκτρονικές επικοινωνίες.

Στην παρούσα κατάσταση της διαχείρισης εφαρμογών εντοπισμού θέσης είναι αναγκαίο να ληφθεί σοβαρά υπόψη ο πίνακας² (table-3) του προτύπου EN 60945 που αναφέρεται σε δοκιμασίες που ισοδυναμούν στη δυνατότητα της συσκευής να λειτουργήσει σε θαλασσινό περιβάλλον, γεγονός που θα δώσει μεγάλο πλεονέκτημα σε αυτή, διότι θα καλύψει όλο το φάσμα των πεδίων λειτουργίας της. Καταγράφεται μεγάλος αριθμός δυσλειτουργίας τέτοιων συσκευών εντοπισμού θέσης, καθώς η ανάγκη χρησιμοποίησής τους σε όλα τα πεδία παρακολούθησης τις υποχρεώνει να λειτουργούν με διαφορετικό τρόπο από αυτόν που αρχικά

² <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/maritime>

σχεδιάστηκαν.

Έχει παρατηρηθεί πως ο τρόπος λειτουργίας μιας εφαρμογής εντοπισμού και ελέγχου είναι ξεχωριστός. Είναι, λοιπόν, διαφορετικός για εφαρμογές εντοπισμού φορτηγών, διαφορετικός για τον εντοπισμό πλοίων, άλλος για τον εντοπισμό των εμπορευματοκιβωτίων και διαφορετικός για τον εντοπισμό συμβατικών οχημάτων.

Η κάθε μία περίπτωση εντοπισμού και ελέγχου αντιστοιχεί με ξεχωριστό σενάριο λειτουργίας στην εφαρμογή της συσκευής και συνεπώς διαφορετική κατανάλωση.

Για παράδειγμα μια εφαρμογή που θα απαιτούσε την παρακολούθηση εμπορευματοκιβωτίων θα μπορούσε να λειτουργεί έχοντας την μόνο σε κατάσταση sleep mode και να ξυπνάει μόνο σε περίπτωση που το αξελερόμετρό της θα καταλάβει κίνηση στους άξονες x,y,z., σε αντίθεση με μια άλλη εφαρμογή παρακολούθησης 24/7 που θα πρέπει να λειτουργεί συνεχώς.

Συνεπώς στην περίπτωση που η συσκευή λειτουργεί σε sleep mode η κατανάλωσή της θα ήταν πολύ μικρότερη από αυτή για την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο (Real Time Monitoring).

Άρα ο παράγοντας ενέργειας είναι πολύ σημαντικός και ο όρος εξοικονόμησης και μάστευσης ενέργειας χρησιμοποιώντας εναλλακτικές πηγές είναι ανάλογος με την κάθε περίπτωση λειτουργίας, γεγονός που θα καθορίσει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν οι απαραίτητες πηγές συσσώρευσης για την αποθήκευση ενέργειας.

Επίσης, θα ληφθεί υπόψη και ο τρόπος μετάδοσης των δεδομένων. Για παράδειγμα για την παρακολούθηση φορτηγών ίσως είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί μόνο ένα δίκτυο, αυτό του GPRS κινητής τηλεφωνίας σε αντίθεση με την παρακολούθηση πλοίων για την οποία είναι σίγουρα καλύτερο να χρησιμοποιηθεί δορυφορικό δίκτυο που θα έχει τη δυνατότητα παγκόσμιας κάλυψης.

Η μάστευση ενέργειας (επίσης γνωστή ως μάστευση ισχύος ή συσσώρευση ενέργειας) είναι η διαδικασία με την οποία η ενέργεια που προέρχεται από εξωτερικές πηγές (π.χ. ηλιακή ενέργεια, θερμική ενέργεια, αιολική ενέργεια, κλίσεις και κινητική ενέργεια) συλλαμβάνεται και συσσωρεύεται για μικρές ασύρματες αυτόνομες συσκευές, όπως αυτές που χρησιμοποιούνται σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Στις περιπτώσεις των δικτύων αισθητήρων χρησιμοποιείται κυρίως η συσσώρευση ηλιακής ενέργειας, διότι στις συσκευές αυτές έχουν ανάγκη μικρής ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας η οποία, όμως, επαρκεί για τη χαμηλή

κατανάλωση των ηλεκτρονικών διατάξεων αλλά και για την εκπομπή των δεδομένων τους.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το σύστημα έχει ως στόχο να λειτουργεί για πέντε (5) συνεχόμενα έτη χωρίς την ανάγκη για ανθρώπινη παρέμβαση. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να λάβουμε υπόψη πως θα μπορεί να λειτουργήσει άριστα σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως είναι η ζέστη, το κρύο, η υγρασία, η σκόνη και οι δονήσεις που θα ασκούνται στη συσκευή.

Επιπροσθέτως, η εφαρμογή εντοπισμού θέσης θα βασιστεί σε μονάδες πολύ χαμηλής κατανάλωσης, η οποία θα είναι σε θέση, περιοδικά (με ρυθμιζόμενη χρονική περίοδο) ή μετά από σχετικό αίτημα του χρήστη σε αυτήν, να μπορεί να εκπέμπει την προσδιορισμένη θέση GPS και άλλες πληροφορίες δεδομένων, όπως είναι για παράδειγμα των αισθητήρων της σε κάποιο απομακρυσμένο σταθμό.

Η «Μονάδα Εντοπισμού Θέσης» θα επιδεικνύει πραγματικά αυτόνομη λειτουργία και δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας με χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, ώστε συγχρόνως με την πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας της να μπορεί να ανταποκριθεί στη μακρόχρονη λειτουργία της.

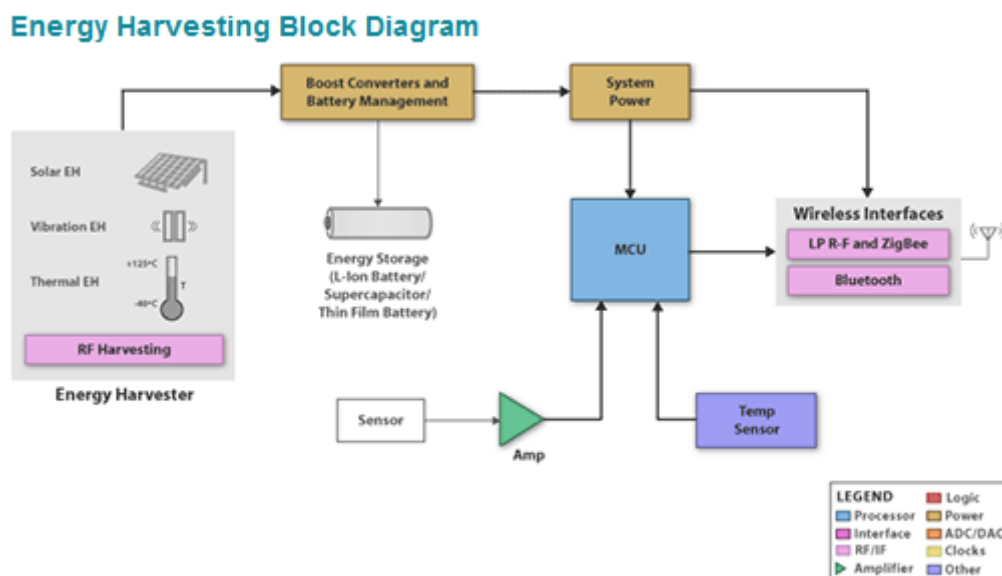
Το σύστημα θα σχεδιαστεί, ώστε να προσαρμόζεται κατάλληλα σε εξωτερική επιφάνεια και θα έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται σε εμπορευματοκιβώτια, φορτηγά ή πλοία και θα επιτρέπει την αυτόματη παρακολούθησή τους ελαχιστοποιώντας την απώλεια, ενισχύοντας την ασφάλεια των ανθρώπων, θα εφάπτεται κατάλληλα ανάλογα με τον σχεδιασμό και την αιτία παρακολούθησης της συσκευής αλλά και θα ενισχύει την ασφάλεια των μεταφερόμενων φορτίων.

Η έρευνα έγινε για το σχεδιασμό και την υλοποίηση συσκευής εντοπισμού και ελέγχου σύμφωνα με τις προδιαγραφές που προέκυψαν από την ανάγκη παρακολούθησης εμπορευματοκιβωτίων (containers).

Για την καταλληλότητα και την επέκταση της ζωής του συστήματος για πολλά συνεχή έτη θα πρέπει η λειτουργία του να βασίζεται σε μια εφαρμογή που να συνάδει με ένα σενάριο πολύ χαμηλής κατανάλωσης. Το σενάριο θα είναι το λογισμικό της εφαρμογής · όμως, για τη χαμηλή κατανάλωση θα πρέπει να συμπεριλάβουμε, επίσης, χαμηλής ισχύος (low power) διατάξεις για τη δημιουργία πολύ χαμηλής κατανάλωσης δομικών μελών (block) που θα συνάδουν με την ολοκληρωτική χαμηλή κατανάλωση όλου του συστήματος.

Υπό τη βασική προϋπόθεση πως ένα σύστημα εντοπισμού και ελέγχου θα περιέχει άριστης ποιότητας υλικά, θα χωρίζεται σε αυτόνομα ΥΠΟ συστήματα. Έτσι, λοιπόν, θα περιλαμβάνει τη μονάδα συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας, τη μονάδα του ενσωματωμένου επεξεργαστή, της μνήμης και των περιφερειακών συσκευών, την μονάδα του πομποδέκτη και του δέκτη εντοπισμού θέσης GPS.

Παρακάτω παρουσιάζονται ως παράδειγμα τα δομικά στοιχεία (Block Diagram) μιας αντίστοιχης εφαρμογής της εταιρείας³ Texas Instruments:



Εικόνα 1. Σύστημα Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Φαίνεται πως η ανάγκη για συσσώρευση και εξοικονόμηση ενέργειας από εναλλακτικές πηγές έχει οδηγήσει πολύ μεγάλους κατασκευαστές ολοκληρωμένων λύσεων να προσαρμόζονται προς αυτή την κατεύθυνση.

Ο στόχος τους είναι να διερευνηθούν οι δυνατότητες αδιάλειπτης εναλλακτικής τροφοδοσίας από ηλιακές, θερμοηλεκτρικές, πιεζοηλεκτρικές και γεννήτριες συσσώρευσης ενέργειας από ραδιοκύματα που εκπέμπονται από ποικίλους σταθμούς εκπομπής, για δυνατότητα ασταμάτητης λειτουργίας που να φτάνει ως και 20 έτη.

Κατά το παρελθόν η ιδέα και ο χρόνος λειτουργίας που φαίνεται από το παραπάνω block - διάγραμμα φάνταζε ως ταινία επιστημονικής φαντασίας. Οι εταιρείες αυτές

³ http://www.ti.com/solution/energy_harvesting

άνοιξαν την πόρτα προς την εξέλιξη και με τη βοήθεια άλλων κατασκευαστών μάστευσης ενέργειας ενώ έχουν δημιουργήσει ένα συνολικό οικοσύστημα δίνοντας το δικαίωμα σε σχεδιαστές όχι μόνο να φαντάζονται αλλά και να δημιουργούν ένα κόσμο από συσκευές με λιγότερες μπαταρίες, οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για παράδειγμα σε γέφυρες, όπου οι δονήσεις οχημάτων θα μπορούσαν να ενεργοποιούν αισθητήρες μέτρησης, για παρακολούθηση σε αμπελώνες ή φάρμες από ηλιακούς αισθητήρες κ.α.

Σύμφωνα με τη μέχρι τώρα έρευνα έχει αποδειχθεί πως η υποδομή των τηλεπικοινωνιών που χρησιμοποιείται σε ανάλογα συστήματα εντοπισμού θέσης είναι το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας GSM και το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης GPS.

Όμως, η χρήση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας δεν εγγυάται τη συνεχή δυνατότητα εντοπισμού, διότι θα πρέπει να γίνουν μελέτες στη σχεδίαση της συσκευής αναφορικά με την τεχνολογία του δικτύου, όπου ο πομποδέκτης της συσκευής θα καλείται να λειτουργεί, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην ανεκτικότητα των τεχνολογιών, καθώς τα δίκτυα της κάθε χώρας είναι ανομοιόμορφα μεταξύ τους. Για παράδειγμα διαφορετική τεχνολογία δικτύων κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιείται στην Αμερική, άλλη στην Ιαπωνία και άλλη στην Ευρώπη.

Θα πρέπει, επίσης, να ληφθεί σοβαρά υπόψη η περιαγωγή των δεδομένων κατά την αποστολή των μηνυμάτων μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας που συνδέεται με το υψηλό κόστος του AIR TIME και συνεπώς όλης της συσκευής. Σε αυτή την περίπτωση μια λύση είναι η χρησιμοποίηση καρτών SIM που μπορούν να χρησιμοποιηθούν παγκοσμίως, οι λεγόμενες “Global SIM’s” όπου ανάλογα με την περιοχή δράσης της συσκευής εγγράφονται και οι πάροχοι της κινητής της κάθε χώρας.

Ωστόσο, η τεχνολογία για τον σχεδιασμό του πομποδέκτη εξακολουθεί να είναι πρόβλημα για τον κάθε κατασκευαστή μιας συσκευής εντοπισμού θέσης με λειτουργία δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Τα δίκτυα δε της κινητής τηλεφωνίας δεν έχουν την απαραίτητη κάλυψη σε όλες τις περιοχές του πλανήτη, γεγονός που τις καθιστά αφερέγγυες.

Συνεπώς, οι δορυφορικές επικοινωνίες σε κάθε περίπτωση αποτελούν καθολική λύση για τέτοιου είδους συστήματα τα οποία υπάρχουν ήδη στην αγορά. Ανάλογα

συστήματα που χρησιμοποιούν είτε την υποδομή κινητής τηλεφωνίας μεμονωμένα ή συνδυαστικά με δορυφορικές επικοινωνίες αδυνατούν να λειτουργήσουν χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση για μεγάλο χρονικό διάστημα (π.χ. για την αντικατάσταση μπαταριών). Ο λόγος είναι επειδή χρησιμοποιούν μπαταρίες Νικελίου καδμίου (Ni-Cd) μιας χρήσης, που σημαίνει ότι μόλις αδειάσουν θα πρέπει να αντικατασταθούν απαιτώντας την ανθρώπινη παρέμβαση.

Η συσκευή εντοπισμού θέσης που θα μελετηθεί θα διαθέτει δυνατότητα επικοινωνιών πλήρους γεωγραφικής κάλυψης, πολύ σύντομης χρονικής διάρκειας και χαμηλού ρυθμού μετάδοσης, διότι το κόστος μεταφοράς δεδομένων είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες του έργου, καθώς ανεβάζουν το κόστος της συσκευής. Για το σκοπό αυτό ο πομποδέκτης του συστήματος θα έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί μέσω του δορυφορικού δικτύου παγκοσμίου κάλυψης Iridium.

Συνεπώς, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, ο πίνακας 3 του πρότυπου EN60945, δείχνει πως η μονάδα του συστήματος ανήκει στην κατηγορία “Exposed”. Γι’ αυτό θα ληφθούν υπόψη όλες οι ιδιαιτερότητες και ειδικές συνθήκες της προσαρμογής της μονάδας στο εμπορευματοκιβώτιο. Θα πρέπει να αποφευχθεί ενδεχόμενη καταστροφή του συστήματος λόγω κακής προσαρμογής και χτυπημάτων.

Κεφάλαιο 2. Πηγές ενέργειας για την τροφοδότηση αυτόνομων συσκευών

2.1 Ορισμός και κίνητρα

Η μάζευση ενέργειας (επίσης γνωστή ως μάζευση ισχύος ή σάρωση ενέργειας) είναι η διαδικασία με την οποία η ενέργεια που προέρχεται από εξωτερικές πηγές (π.χ. ηλιακή ενέργεια, θερμική ενέργεια, η αιολική ενέργεια, κλίσεις και κινητική ενέργεια) συλλαμβάνεται και αποθηκεύεται για μικρές, ασύρματες αυτόνομες συσκευές, όπως αυτές που χρησιμοποιούνται σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων⁴. Οι συσκευές μάζευσης ενέργειας παρέχουν μια πολύ μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας η οποία εντούτοις επαρκεί για τη χαμηλή κατανάλωση των ηλεκτρονικών διατάξεων και εκπομπή δεδομένων.

Το σημερινό ενδιαφέρον για τη μάζευση χαμηλής ενεργειακής ισχύος οφείλεται στα αυτόνομα δίκτυα αισθητήρων όπως και άλλες τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές, για παράδειγμα τα δορυφορικά δίκτυα.

Σε αυτές τις εφαρμογές ένα σύστημα μάζευσης ενέργειας θα μπορούσε να συσσωρεύει ενέργεια που να αποθηκεύεται σε έναν ή περισσότερους πυκνωτές αποθήκευσης και στη συνέχεια να ενισχύεται, να ρυθμίζεται σε μια μπαταρία για τη χρήση των ηλεκτρονικών διατάξεων της συσκευής. Η ισχύς χρησιμοποιείται συνήθως σε έναν αισθητήρα και τα δεδομένα αποθηκεύονται ή μεταδίδονται ενδεχομένως μέσω ενός ασύρματου δικτύου.

2.2 Εφαρμογές

Οι συσκευές μάζευσης ενέργειας μετατρέπουν την ενέργεια του περιβάλλοντος σε ηλεκτρική ενέργεια και έχουν προσελκύσει μεγάλο ενδιαφέρον τόσο στον στρατιωτικό όσο και στον εμπορικό τομέα.

⁴Percy, Steven; Chris Knight, Francis Cooray and Ken Smart (2012). "Supplying the Power Requirements to a Sensor Network Using Radio Frequency Power Transfer". *Sensors* 12 (7): 8571–8585.

Μερικά συστήματα μετατρέπουν την κίνηση, όπως αυτή των κυμάτων του ωκεανού, σε ηλεκτρική ενέργεια για να χρησιμοποιηθεί από ωκεανογραφικούς αισθητήρες παρακολούθησης για αυτόνομη λειτουργία⁵.

Οι μελλοντικές εφαρμογές μπορεί να περιλαμβάνουν συσκευές υψηλής ισχύος εξόδου (ή συστοιχίες των συσκευών αυτών) που έχουν αναπτυχθεί σε απομακρυσμένες περιοχές και χρησιμεύουν ως αξιόπιστοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για μεγάλα συστήματα. Μια άλλη εφαρμογή είναι σε wearable ηλεκτρονικά, όπου οι συσκευές μάστευσης ενέργειας μπορούν να τροφοδοτήσουν ή να επαναφορτίσουν κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, συσκευές ασύρματης επικοινωνίας, κλπ. Όλες αυτές οι συσκευές πρέπει να είναι αρκετά ισχυρές, ώστε να αντέξουν τη μακροχρόνια έκθεση σε εχθρικά περιβάλλοντα και να έχουν ένα ευρύ φάσμα δυναμικής ευαισθησίας για να εκμεταλλευτούν όλο το φάσμα των κινήσεων.

Η ενέργεια μπορεί, επίσης, να συλλέγεται για να τροφοδοτήσει μικρούς αυτόνομους αισθητήρες, όπως αυτοί που αναπτύσσονται με τη χρήση της τεχνολογίας MEMS⁶. Τα συστήματα αυτά είναι συχνά πολύ μικρά και απαιτούν λίγη ενέργεια, αλλά οι εφαρμογές τους περιορίζονται λόγω της εξάρτησής τους από τις μπαταρίες. Η μάστευση ενέργειας από τις δονήσεις του περιβάλλοντος, τον άνεμο, τη θερμότητα ή το φως θα μπορούσε να επιτρέψει σε έξυπνους αισθητήρες να είναι λειτουργικοί επ' αόριστον.

2.3 Αποθήκευση ενέργειας

Σε γενικές γραμμές, η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα πυκνωτή, σούπερ πυκνωτή ή μπαταρία. Οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται, όταν η ζήτηση απαιτεί μεγάλες αιχμές ενέργειας. Οι μπαταρίες παρουσιάζουν λιγότερη διαρροή ενέργειας και ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται, όταν η συσκευή πρέπει να παρέχει μια σταθερή ροή της ενέργειας. Σε αυτή την εργασία μελετήθηκε εκτενέστερα η δυνατότητα αποθήκευση ενέργειας σε υπερπυκνωτές της εταιρείας

⁵ What is energy harvesting? Institute of physics. Διαθέσιμο: <http://www.iop.org/resources/energy/>

⁶Jim Drew, Design Note 483: Energy Harvester Produces Power from Local Environment, Eliminating Batteries in Wireless Sensors, Διαθέσιμο: <http://cds.linear.com/docs/en/design-note/DN483.pdf>

⁷MaxwellTechnologies. Έγιναν οι απαραίτητες μετρήσεις και εξομειώσεις που απέδειξαν ότι οι υπερπυκνωτές δεν υπολείπονται πουθενά σε σχέση με τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ιόντων λιθίου που χρησιμοποιούνται σε αντίστοιχες εφαρμογές. Οι λόγοι είναι απλοί και διαφαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Function	Supercapacitor	Lithium-ion (general)
Charge time	1–10 seconds	10–60 minutes
Cycle life	1 million or 30,000h	500 and higher
Cell voltage	2.3 to 2.75V	3.6 to 3.7V
Specific energy (Wh/kg)	5 (typical)	100–200
Specific power (W/kg)	Up to 10,000	1,000 to 3,000
Cost per Wh	\$20 (typical)	\$0.50-\$1.00 (large system)
Service life (in vehicle)	10 to 15 years	5 to 10 years
Charge temperature	–40 to 65°C (–40 to 149°F)	0 to 45°C (32°to 113°F)
Discharge temperature	–40 to 65°C (–40 to 149°F)	–20 to 60°C (–4 to 140°F)

Πίνακας 1. Σύγκριση μεταξύ Υπερπυκνωτών και Μπαταριών

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι λόγοι που θα μπορούσε να επιλέξει κανείς ως μονάδα αποθήκευσης της ενέργειας τους Υπερπυκνωτές. Είναι εύλογο να σκεφτεί κάποιος πως αν πρόκειται να επιλέξει τη συσσώρευση ενέργειας από εναλλακτικές πηγές και όχι από σταθερή τάση επαναφόρτισης, τότε δεν θα πρέπει να αφήνει ούτε “σταγόνα” από αυτές τις πηγές που να μην συλλέγεται.

Το περιβάλλον που ζούμε μας δίνει άπειρες μορφές πηγών ενέργειας που μπορούν να μετατραπούν σε ηλεκτρισμό. Παρακάτω θα αναλυθούν περαιτέρω αυτές οι πηγές. Ωστόσο, αυτές οι πηγές δεν είναι σταθερές ως προς τη δυνατότητα λειτουργίας τους. Για παράδειγμα στην περίπτωση αποθήκευσης ενέργειας από τον ήλιο, δεν θα μπορούσε να υπάρχει σωσώρευση όλο το εικοσιτετράωρο, πόσο μάλλον δεν θα μπορούσε να υπάρξει συσσώρευση με αυτόν τον τρόπο, αν η εφαρμογή βρισκόταν για παράδειγμα στις βόρειες χώρες, ιδίως το χειμώνα που η ημέρα είναι πάρα πολύ μικρή. Για τον λόγο ότι δεν θα πρέπει να χάνεται δυνατότητα συσσώρευσης της ενέργειας από εναλλακτικές πηγές, επελέγησαν και υπερπυκνωτές.

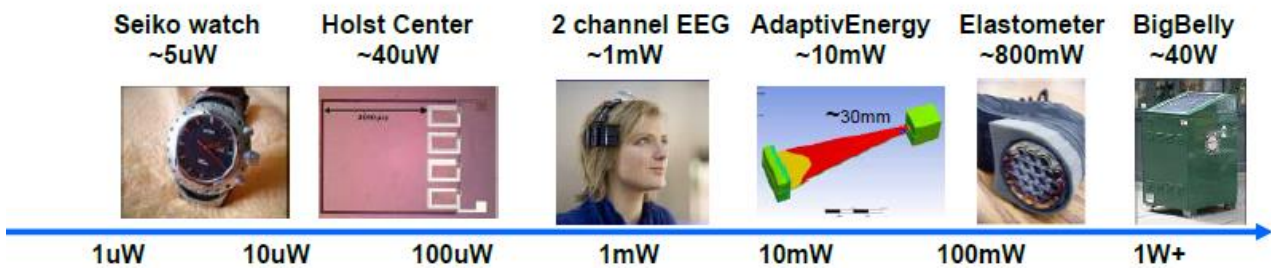
⁷ <http://www.maxwell.com/>

Όπως διαφαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, ένα πολύ βασικό στοιχείο επιλογής τους είναι ότι ο χρόνος αποθήκευσης τους “Chargetime” μπορεί να επιτευχθεί μέσα σε μερικά δευτερόλεπτα σε αντίθεση με τις μπαταρίες που χρειάζονται λεπτά. Επίσης, σημαντικός λόγος επιλογής είναι η διάρκεια ζωής τους και η ανθεκτικότητά τους σε αντίξοες συνθήκες. Είναι γνωστό ότι ένα απλό pack Li-ion μπαταριών υπολογίζεται σε 300 κύκλους ζωής “LifeCycle”. Αυτό σημαίνει πως αν η μπαταρία τριακόσιες φορές αδειάσει και γεμίσει αντίστοιχα, θα πρέπει να αντικατασταθεί με την παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα ανεξάρτητα από την τοποθεσία που θα βρίσκεται η συσκευή τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Σε αντίθεση οι Υπερπυκνωτές δεν έχουν όριο στη διάρκεια ζωής τους, καθώς λειτουργούν με πάνω από ένα εκατομμύριο κύκλους φόρτωσης-εκφόρτωσης. Τέλος, έχουν πολύ μεγαλύτερη εγγύηση από τους κατασκευαστές τους, γεγονός που στο άμεσο μέλλον θα τους κάνει πολύ πιο προσιτούς σε σχέση με τις μπαταρίες, αφού μιλάμε για 10-15 χρόνια εγγύηση σε αντιπαράθεση με τις μπαταρίες Ιόντων Λιθίου για τις οποίες οι κατασκευαστές τους δίνουν το πολύ τέσσερα (4) χρόνια εγγύηση μόνο για αυτές, όμως, που προορίζονται για εφαρμογές βιομηχανικού τύπου.

2.4 Τεχνολογίες μάστευσης ενέργειας

Energy Harvesting Sources

Energy Source	Characteristics	Efficiency	Harvested Power
Light	Outdoor	10~24%	100 mW/cm ²
	Indoor		100 μW/cm ²
Thermal	Human	~0.1%	60 μW/cm ²
	Industrial	~3%	~1-10 mW/cm ²
Vibration	~Hz–human	25~50%	~4 μW/cm ³
	~kHz–machines		~800 μW/cm ³
RF	GSM 900 MHz	~50%	0.1 μW/cm ²
	WiFi		0.001 μW/cm ²



Πίνακας 2. Σύγκριση μεταξύ Εναλλακτικών πηγών ενέργειας

2.4.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Η μάστευση ενέργειας με τεχνολογία Φωτοβολταϊκών (PV) προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την ενσύρματη ή μέσω μπαταρίας τροφοδότηση: τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας με μικρές ή καθόλου αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι ειδικοί τύποι φωτοβολταϊκών τεχνολογιών μάστευσης ενέργειας αποτελούνται από ειδικά διαμορφωμένο υλικό, όπως άμορφο πυριτίο (ASI), μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται περισσότερο στους ηλιακούς υπολογιστές. Το Πολυμερικό υπόστρώμα τους προκαλεί ενισχυμένη ευελιξία με λεπτότητα και μικρό βάρος.

Τεχνολογία Φ/Β στοιχείων

Το πυρίτιο (Si) είναι η βάση για το 90% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β, λόγω της υφιστάμενης υποδομής για το συγκεκριμένο υλικό αυτό την τελευταία πενήνταετία. Η τεχνολογία πάνω στο πυρίτιο οφείλεται στις πολλαπλές εφαρμογές του στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και στα Φ/Β πλαίσια που τροφοδοτούν δορυφόρους και υποστηρίχθηκε από μεγάλες κυβερνητικές και βιομηχανικές επενδύσεις. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε κατάλληλος εξοπλισμός για την επεξεργασία του πυριτίου, ώστε να έχει την απαιτούμενη καθαρότητα και κρυσταλλική δομή.

Σε συνδυασμό με την αφθονία του στη γη και τα ηλεκτρικά του χαρακτηριστικά, το πυρίτιο είναι ικανό και συμφέρον μέσο για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Το μόνο μειονέκτημα του πυριτίου είναι ότι είναι εύθραυστο και ως εκ τούτου απαιτεί τον σχηματισμό στοιχείων μεγάλου πάχους.

Τα Φ/Β πλαίσια λεπτού ημενίου κατασκευάστηκαν με στόχο να μειωθεί το κόστος και να βελτιωθεί η απόδοση των Φ/Β πλαισίων σε μη ιδανικές συνθήκες. Το χαμηλότερο κόστος οφείλεται στην ευκολότερη κατασκευή και το λιγότερο ενεργό υλικό που χρησιμοποιείται. Η τεχνολογία 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.

Στα στοιχεία άμορφου πυριτίου, το υδρογόνο εισάγεται με το πυρίτιο, για να καταστεί δυνατή η νόθευση του πυριτίου με βόριο και φώσφορο. Τα στοιχεία δημιουργούνται σε αυτή την αλληλουχία από κάτω προς τα πάνω: μεταλλική βάση επαφής, στρώμα n, ενδογενές στρώμα, στρώμα p, διαφανής επαφή, γυάλινο υπόστρωμα. Αυτά τα στοιχεία βιώνουν μια πτώση στην απόδοση, όταν εκτίθενται στο ηλιακό φως, και αυτό το φαινόμενο δημιουργείται στην ενδογενή στρώση. Το φαινόμενο μπορεί να μειωθεί, χρησιμοποιώντας αντί για ένα στρώμα, διάφορες λεπτότερες στρώσεις υλικού.

Τα στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου σε υπόστρωμα χαμηλού κόστους χρησιμοποιούν στρώματα antireflection, ώστε να συλλάβουν κύματα φωτός με

μήκη κύματος αρκετές φορές μεγαλύτερα από το πάχος του ίδιου του κυττάρου. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση ενός υλικού με μία ανάγλυφη επιφάνεια στο μπροστινό και στο πίσω μέρος του στοιχείου, και όχι με μια επίπεδη επιφάνεια. Αυτό προκαλεί το φως να αλλάξει κατευθύνσεις και να αντανακλάται, και έτσι ταξιδεύει σε μεγαλύτερη απόσταση εντός του στοιχείου από το πάχος των κυττάρων.

Τα στοιχεία δισεληνίδιου χαλκού ινδίου αποτελούνται από $CuInSe_2$. Αυτό το υλικό είναι ένα από τα αποδοτικότερα γνωστά υλικά για την απορρόφηση του φωτός, καθώς περίπου το 99% του φωτός απορροφάται πριν φθάσει σε απόσταση 1 μm εντός του υλικού. Έχουν γίνει homojunctions των CIS, αλλά μια heterojunction με θειούχο κάδμιο (CdS) μπορεί να είναι πιο σταθερή και αποδοτική.

Τα στοιχεία κάδμιου-τελούριου δημιουργούνται από μία heterojunction με θειούχο κάδμιο, ακριβώς όπως τα στοιχεία από δισεληνίδιο ινδίου χαλκού. Τα στοιχεία τελλουριούχου καδμίου έχουν, επίσης, ένα ιδανικό διάκενο ζώνης (1.44eV).

Φ/B πλαίσια άμορφου πυριτίου: Το άμορφο πυρίτιο ήταν ως το 2007 το πιο συνηθισμένο υλικό σε Φ/B πλαίσια λεπτών επιστρώσεων και συμμετείχε στο ~5% των νέων Φ/B εγκαταστάσεων τα έτη 2007 και 2008. Η αρκετά χαμηλή του απόδοση εξισορροπείται από το χαμηλό του κόστος. Για να βελτιωθεί η απόδοση, οι τελευταίες εξελίξεις αφορούν την προσθήκη επιστρώσεων μικρο – κρυσταλλικού πυριτίου. Τα πλαίσια αυτού του τύπου διαφοροποιούνται από τα προηγούμενα κατά πρώτο λόγο στη δομή, αφού δεν είναι κρυσταλλικά.

Φ/B πλαίσια με δισεληνοϊνδιούχο χαλκό ($CuInSe_2$ ή CIGS): Ο τύπος πλαισίων με δισεληνοϊνδιούχο χαλκό ξεχωρίζει λόγω των υψηλών αποδόσεων σε φάσμα 7 με 11%. Δύο διαφορετικές κύριες κατηγορίες του συγκεκριμένου τύπου Φ/B πλαισίων διατίθενται σήμερα στην αγορά, με και χωρίς γάλλιο, CIS και CIGS αντίστοιχα. Σε μερικές εφαρμογές οι κατασκευαστές επιδιώκουν τη δημιουργία εύκαμπτων Φ/B μεμβρανών οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να προσαρμοστούν σε καμπύλες επιφάνειες. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα Φ/B στοιχεία CIS/CIGS είναι συνήθως η προτιμημένη τεχνολογία. Ένας μεγάλος αριθμός κατασκευαστών

ασχολείται με τον συγκεκριμένο τύπο πλαισίων αλλά σε ερευνητικό ακόμα στάδιο. Βασικό πλεονέκτημα των πλαισίων CIS/CIGS είναι η υψηλή απόδοση σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η σύστασή τους δεν περιλαμβάνει κάδμιο, όπως τα πλαίσια με CdTe, ή άλλες επικίνδυνες ουσίες. Τα Φ/Β πλαίσια CIS/CIGS κατέχουν το μικρότερο μερίδιο της αγοράς που αντιστοιχεί σε ποσοστό 1% το 2008, το οποίο όμως είναι διπλάσιο σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Σε απόλυτους αριθμούς, αυτά τα ποσοστά αντιστοιχούν σε παραγωγή πλαισίων περίπου 79 MWp το 2008 και 21 MWp το 2007.

Φ/Β πλαίσια με τελουριούχο κάδμιο CdTe: Οι αποδόσεις αυτών των Φ/Β πλαισίων φτάνουν περίπου το 10%. Η εταιρεία First Solar κατάφερε να βιομηχανοποιήσει τη διαδικασία παραγωγής των εν λόγω πλαισίων λεπτών επιστρώσεων οδηγώντας τη συγκεκριμένη τεχνολογία στην κατάκτηση του 4,7% της αγοράς το 2008. Το τελουριούχο κάδμιο παρουσιάζει πολύ καλή απορρόφηση αλλά η επικινδυνότητα του καδμίου προς το περιβάλλον και η δυσκολία στην εύρεσή του καταστέλλουν την ευρεία χρήση του. Έχουν αναπτυχθεί πάνελ γυαλί με γυαλί (γυαλί και στις δύο επιφάνειες) όπου το Φ/Β υλικό ενθυλακώνεται μεταξύ γυαλιού για την παραγωγή ρεύματος. Αυτού του τύπου τα πάνελ χρησιμοποιούνται και ως δομικά υλικά σε κτήρια παρέχοντας σκίαση για τη σκίαση χώρων.

Φ/Β πλαίσια με αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs): Έχει πολύ καλή αντοχή στην υψηλή θερμοκρασία και εξαιρετική ικανότητα απορρόφησης της ακτινοβολίας λόγω του ενεργειακού του διακένου. Το γάλλιο, όμως, είναι δυσεύρετο και το αρσένιο δηλητηριώδες. Τέτοια υλικά χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στα λεγόμενα συγκεντρωτικά Φ/Β και σε εφαρμογές στο διάστημα, οπότε δεν αφορούν τόσο την ευρεία αγορά Φ/Β πλαισίων για τυπικές εφαρμογές.

Τα Φ/Β πλαίσια τύπου thin film διαφέρουν από τα κρυσταλλικά ως προς τη διαδικασία σύνδεσης των Φ/Β στοιχείων. Στα thin film, η διασύνδεση των στοιχείων αποτελεί μέρος της διαδικασίας κατασκευής του πλαισίου. Πιο συγκεκριμένα, χαράσσονται αυλάκια σε κάθε μεμονωμένο στρώμα υλικού, καταλήγοντας στη δημιουργία λωρίδων με πλάτος 0,5 – 2 cm. Η σειρά εναπόθεσης των διαφόρων στρωμάτων έχει ως εξής: μία λεπτή επίστρωση υλικού που ονομάζεται TCO layer χωρίζεται σε παράλληλες λωρίδες (εικόνα 1). Πάνω σε

αυτό τοποθετείται το στρώμα του Φ/Β υλικού και η δεύτερη χάραξη γίνεται παράλληλα με την πρώτη αλλά με μικρή απόκλιση. Στο τρίτο στάδιο γίνεται η εναπόθεση μιας λεπτής στρώσης μεταλλικού υλικού, δημιουργώντας ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ των εμπρόσθιων και πίσω επιφανειών των Φ/Β στοιχείων. Η διαδικασία αυτή, με τη σειρά που περιγράφηκε, αφορά στα περισσότερα Φ/Β πλαίσια άμορφου πυριτίου και CdTe. Για την κατασκευή πλαισίων CIS και άμορφου πυριτίου που στηρίζονται σε εύκαμπτα φιλμ, η διαδικασία είναι αντίστροφη και ξεκινά από την πίσω πλευρά.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που είναι δυνητικά σε θέση να ξεπεράσουν το όριο απόδοσης Shockley-Queisser του 31-41% που ισχύει για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ενός διάκενου ζώνης. Στην κατηγορία της τρίτης γενιάς περιλαμβάνονται μια σειρά από εναλλακτικές λύσεις για τα λεγόμενα "φωτοβολταϊκά στοιχεία πρώτης γενιάς" (που είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που δημιουργούνται από διόδους p-n) και τα "φωτοβολταϊκά στοιχεία δεύτερης γενιάς" (που δημιουργήθηκαν με βάση τη μείωση του κόστους των στοιχείων πρώτης γενιάς με χρήση τεχνολογιών λεπτής μεμβράνης – thin film). Τα συστήματα τρίτης γενιάς περιλαμβάνουν multi-layer («tandem») στοιχεία που κατασκευάζονται από άμορφο πυρίτιο ή γάλλιο, ενώ οι περισσότερες θεωρητικές εξελίξεις περιλαμβάνουν τη μετατροπή συχνότητας, φαινόμενα hot-carrier και άλλες εκτίναξης πολλαπλών φορέων.

Η τρίτη γενιά είναι ασαφής ως προς τις τεχνολογίες που περιλαμβάνει, αν και γενικά τείνει να περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τις μη-ημιαγώγιμες τεχνολογίες (συμπεριλαμβανομένων των πολυμερών στοιχείων και των βιομιμητικών), quantum dot, στοιχεία tandem/multi-junction, intermediate band φωτοβολταϊκά στοιχεία, στοιχεία hot-carrier, τεχνολογίες photon upconversion και downconversion, και ηλιακές θερμικές τεχνολογίες, όπως τα thermophotonics, η οποία είναι μια τεχνολογία που προσδιορίζεται από τον Green ως τρίτης γενιάς.

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς περιλαμβάνονται επίσης τα ακόλουθα:

1. Νανοδομές από πυρίτιο
2. Τροποποίηση φάσματος πρόσπτωσης (συγκέντρωση), για να φτάσει 300-500 ήλιους και βελτίωση της απόδοσης του 32% (που έχει ήδη επιτευχθεί σε στοιχεία

Sol3g) στο +50%.

3. Χρήση περίσσειας θερμικής παραγωγής (που προκαλείται από το υπεριώδες φως) για να ενισχύσει τις τάσεις ή την συλλογή φορέων.
4. Η χρήση του υπέρυθρου φάσματος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το βράδυ.

Υπολογίζεται ότι οι νέες τεχνολογίες θα μπορούσαν να ανταγωνιστούν όχι μόνο τα παραδοσιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία, αλλά τα ορυκτά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια. Αυτό θα φέρει επανάσταση στην αγορά ενέργειας, όπως έχει ειπωθεί. Για να συμβεί αυτό, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς θα πρέπει να είναι πιο αποδοτικά και λιγότερο ακριβά. Υπάρχουν, επίσης και άλλα θέματα, σχετικά με την αντοχή (ώστε τα φωτοβολταϊκά στοιχεία να είναι σε θέση να αξιοποιήσουν πλήρως τη διάρκεια της ζωής τους σε δυσμενείς εξωτερικές συνθήκες), την ασφάλεια (μερικές τεχνικές κατασκευής σχετιζόμενες με επικίνδυνες χημικές ουσίες) και την αποθήκευση ενέργειας (η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη μόνο σε περιορισμένο χρόνο, και σχεδόν μη διαθέσιμη όλο το χειμώνα σε μη-τροπικά κλίματα).

Ένα οργανικό ηλιακό κύτταρο ή πλαστικό ηλιακό κύτταρο είναι ένας τύπος πολυμερών ηλιακών κυττάρων που χρησιμοποιεί οργανικά ηλεκτρονικά, ένας κλάδος της ηλεκτρονικής που ασχολείται με αγωγή οργανικά πολυμερή ή μικρά οργανικά μόρια, για την απορρόφηση του φωτός και τη μετακίνηση των φορέων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Το πλαστικό που χρησιμοποιείται στις οργανικές ηλιακές κυψέλες έχει χαμηλό κόστος παραγωγής σε μεγάλες ποσότητες. Σε συνδυασμό με την ευελιξία των οργανικών μορίων, οι οργανικές ηλιακές κυψέλες είναι δυνητικά οικονομικά αποδοτικές για φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η μοριακή μηχανική (π.χ. αλλαγή του μήκους και λειτουργική ομάδα των πολυμερών) μπορεί να αλλάξει το ενεργειακό χάσμα, το οποίο επιτρέπει τη χημική μεταβολή σε αυτά τα υλικά. Ο συντελεστής οπτικής απορρόφησης οργανικών μορίων είναι υψηλός, έτσι ώστε μία μεγάλη ποσότητα του φωτός μπορεί να απορροφηθεί με μια μικρή ποσότητα των υλικών. Τα κύρια μειονεκτήματα που σχετίζονται με τα οργανικά φωτοβολταϊκά κύτταρα

είναι η χαμηλή απόδοση, η χαμηλή σταθερότητα και η χαμηλή αντοχή σε σύγκριση με ανόργανα φωτοβολταϊκά κύτταρα.

Η βιομηχανία των οργανικών ηλεκτρονικών και των οργανικών ηλιακών κυψελών, ιδίως, βρίσκονται στο στάδιο της μετάβασης προς την εμπορευματοποίηση. Οι εταιρείες και τα ιδρύματα R&D στον τομέα αυτό κινούνται πλέον από το στάδιο της έρευνας και ανάπτυξης στο μεταποιητικό τομέα. Οι μεγαλύτερες προκλήσεις είναι το πώς να αναβαθμιστούν από εργαστήριο σε πλήρη παραγωγή, πώς να επιλέξουν τα σωστά εργαλεία και διαδικασίες, και πώς να χρησιμοποιούν δοκιμές και μετρήσεις για τη βελτίωση της απόδοσης και της ποιότητας. Το στάδιο από το εργαστήριο στην παραγωγή όγκου απαιτεί την προσαρμογή και τη βελτιστοποίηση του συστήματος σε πολλές πτυχές, όπως: α) τεχνικές εναπόθεσης και τις συνθήκες ξήρανσης, β) υποστρώματα, γ) συστήματα μελάνης και διαλύτη, δ) ηλεκτρόδια και ε) διάσταση των μεμονωμένων κυττάρων και πλαισίων. Κάθε παράμετρος έχει επίδραση στις επιδόσεις του τελικού προϊόντος. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρατεθεί μια βάση γνώσεων σχετικά με την επίδραση των διαφόρων παραμέτρων και των συνθηκών της διαδικασίας σχετικά με την απόδοση, το κόστος και τη διάρκεια ζωής των πολυμερών ηλιακών κυψελών.

Η δυνατότητα να συντονίσουμε τις χημικές και φυσικές ιδιότητες των nanosized υλικών έχει ισχυρό αντίκτυπο σε μια ποικιλία τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων των φωτοβολταϊκών. Ένα από τα εξέχοντα ερευνητικά πεδία των νανοϋλικών για φωτοβολταϊκά περιλαμβάνει τη φασματική μετατροπή. Τα συμβατικά φωτοβολταϊκά στοιχεία ημιαγωγών μονής ένωσης μετατρέπουν αποδοτικά μόνο τα φωτόνια της ενέργειας που βρίσκονται κοντά στο διάκενο ζώνης ημιαγωγών (E_g) ως αποτέλεσμα της αναντιστοιχίας μεταξύ της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και των φασματικών ιδιοτήτων απορρόφησης του υλικού (Green 1982, Luque και Hegedus 2003). Φωτόνια με ενέργεια E_{ph} μικρότερη από το bandgap ζωνών δεν απορροφώνται και η ενέργειά τους δεν χρησιμοποιείται για την παραγωγή φορέων. Τα φωτόνια με ενέργεια E_{ph} μεγαλύτερη από το bandgap απορροφώνται, αλλά η πλεονάζουσα ενέργεια $E_{ph} - E_g$ χάνεται λόγω θερμοποίησης των παραγόμενων ηλεκτρονίων. Αυτές οι θεμελιώδεις φασματικές απώλειες σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο

πυριτίου μονής ένωσης μπορεί να είναι τόσο μεγάλη όσο 50% (Wolf 1971), ενώ το λεπτομερές όριο ισορροπίας απόδοσης μετατροπής για ένα τέτοιο στοιχείο προσδιορίστηκε να είναι 31 % (Shockley και Queisser 1961).

Τα τελευταία χρόνια, νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών έχουν έρθει στο προσκήνιο των τεχνολογιών μάλιστα ενέργειας όπως τα ευαισθητοποιημένα ηλιακά κύτταρα Dye (DSSC). Οι βαφές αυτές απορροφούν το φως καθώς τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται κατά την πρόσκρουση, διαφεύγουν προς το στρώμα του TiO₂ και από εκεί διαχέονται, μέσω του ηλεκτρολύτη. Καθώς η χρωστική ουσία μπορεί να συντονίζεται με το ορατό φάσμα, μπορεί να παραχθεί πολύ υψηλότερη ισχύς. Στα 200 lux μια συσκευή DSSC μπορεί να παράγει πάνω από 15 μW ανά cm^2 .

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων που είναι διαθέσιμα στις περισσότερες περιπτώσεις είναι τα εξής:

- P_{max} η μέγιστη ισχύς, η πραγματική τιμή της οποίας μπορεί να έχει απόκλιση που δίνεται σε ποσοστό ($\pm 3\%$ ή $\pm 5\%$).
- I_{mpp} το ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος,
- I_{sc} το ρεύμα βραχυκύκλωσης,
- V_{mpp} η τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος,
- V_{oc} η τάση στο ανοιχτοκύκλωμα,
- a_{scT} , θερμοκρασιακός συντελεστής που περιγράφει την μεταβολή του I_{sc} σε σχέση με τη θερμοκρασία του πλαισίου,
- β_{ocT} , θερμοκρασιακός συντελεστής που περιγράφει την μεταβολή του V_{oc} σε σχέση με τη θερμοκρασία του πλαισίου,
- T_p , θερμοκρασιακός συντελεστής που περιγράφει την μεταβολή της ισχύος σε σχέση με τη θερμοκρασία του πλαισίου.
- $V_{max,system}$ η μέγιστη τάση συστήματος,
- $\eta\%$ η απόδοση του Φ/Β πλαισίου που υπολογίζεται από το λόγο της ισχύος στην ακτινοβολία αναφοράς (1000 W/m^2) προς τη συνολική ακτινοβολία στην επιφάνεια του πλαισίου ($1000 \text{ W/m}^2 * \text{Εμβαδόν}$).

Οι παραπάνω τιμές ρεύματος, τάσης και ισχύος δίνονται για τις κανονικές συνθήκες δοκιμής (STC) που είναι:

AM1.5, $G=1\text{kW/m}^2$, $T_c=25\text{ }^\circ\text{C}$ (θερμοκρασία πλαισίου)

Με τους θερμοκρασιακούς συντελεστές που είναι διαθέσιμοι μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές αυτών των μεγεθών σε άλλες συνθήκες θερμοκρασίας. Μερικές περιγραφές δίνουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας (NOC) που διαφοροποιούνται από τις STC ως εξής:

$G=800\text{W/m}^2$, $T_a=20\text{ }^\circ\text{C}$ (θερμοκρασία περιβάλλοντος), Ταχύτητα ανέμου = 1m/s

Συνήθως, όμως, δίνεται μόνο η θερμοκρασία πλαισίου στις NOC. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πλαισίου είναι χρήσιμα για τη διαστασιολόγηση του συστήματος όπου θα πρέπει να επιλεγούν ο αντιστροφέας και τα καλώδια, καθώς και για την επιλογή των μέσων προστασίας.

Η μέγιστη τάση υπολογίζεται ως το άθροισμα της τάσης ανοικτού κυκλώματος των πλαισίων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά, ανηγμένο στη χαμηλότερη αναμενόμενη θερμοκρασία πλαισίου. Η ελάχιστη τάση λόγω θερμοκρασίας υπολογίζεται ανάγοντας το παραπάνω άθροισμα στη μέγιστη αναμενόμενη θερμοκρασία πλαισίου. Το μέγιστο ρεύμα της Φ/Β πηγής προκύπτει από το άθροισμα των ρευμάτων βραχυκύκλωσης κάθε στοιχειοσειράς πλαισίων, προσαρμοσμένο με κάποιον συντελεστή, ώστε να ενσωματώνεται και η επίδραση της θερμοκρασίας.

Οι I-V και P-V χαρακτηριστικές για διαφορετικές τιμές της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του Φ/Β πλαισίου, περιλαμβάνονται πολλές φορές στην τεχνική περιγραφή, δίνοντας την πληροφορία για την ηλεκτρική συμπεριφορά της Φ/Β πηγής σε διαφορετικές συνθήκες. Οι μεταβολές των καμπυλών αυτών ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες βοηθούν στην κατανόηση της λειτουργίας του Φ/Β πλαισίου.

Οι μεταβολές στην ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζουν σημαντικότερα το ρεύμα εξόδου της Φ/Β πηγής, ενώ μεταβάλλοντας την τιμή της θερμοκρασίας του πλαισίου προκύπτουν κυρίως διαφοροποιήσεις στην τάση.

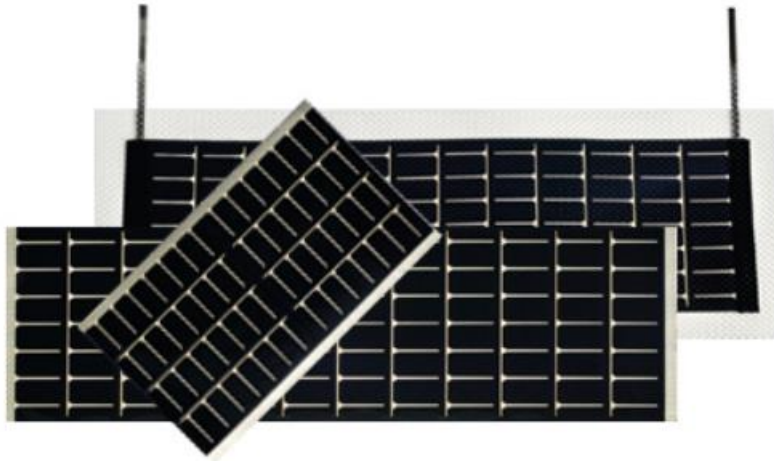
Πολλοί κατασκευαστές αντιστροφών διαθέτουν δωρεάν στην ιστοσελίδα τους λογισμικά για τη διαστασιολόγηση του Φ/Β συστήματος. Ο σχεδιαστής μπορεί έτσι να συνδυάσει με τον βέλτιστο τρόπο τα Φ/Β πλαίσια με τους κατάλληλους αντιστροφείς και να υπολογίσει την αναμενόμενη παραγωγή, ανάλογα με την τοποθεσία εγκατάστασης της συστοιχίας. Τα λογισμικά αυτά είναι εύχρηστα και απλά, ενώ συνήθως περιλαμβάνουν αρκετές παραμέτρους που επηρεάζουν την Φ/Β παραγωγή.

Τα νέα υλικά με τα οποία η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί είναι ένα από τα πιο συναρπαστικά στοιχεία της νέας τεχνολογίας. Τα εύκαμπτα και ελαφριά φυσικά χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων φωτοβολταϊκών στοιχείων τρίτης γενιάς καθιστούν δυνατές πολλές νέες εφαρμογές.

Υπάρχει η πιθανότητα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία να μπορέσουν να ενσωματωθούν σε είδη ένδυσης που θα μας επιτρέψει να έχουμε προσωπική ασύρματη ενέργεια χωρίς μπαταρίες.

Μια άλλη εύλογη εφαρμογή θα μπορούσε να είναι ένα είδος βαφής αυτοκινήτων που είναι αναμεμιγμένη με πολυμερή φωτοβολταϊκά στοιχεία. Το υλικό αυτό θα μπορούσε να βοηθήσει στη διατήρηση χαμηλού βάρους ενός ηλιακού αυτοκινήτου, ενώ θα εξακολουθεί να παρέχει άφθονη ενέργεια για την τροφοδοσία του συστήματος.

Τα Φ/Β συστήματα για ενσωμάτωση σε κτήρια (Building Integrated PhotoVoltaics - BIPV) δεν είναι μια ιδιαίτερα διαδεδομένη εφαρμογή. Παρόλα αυτά κερδίζουν έδαφος μέρα με τη μέρα, καθώς δίνουν τη δυνατότητα να εκμεταλλευτούμε ενεργειακά την επιφάνεια των δομικών στοιχείων του κτηρίου.

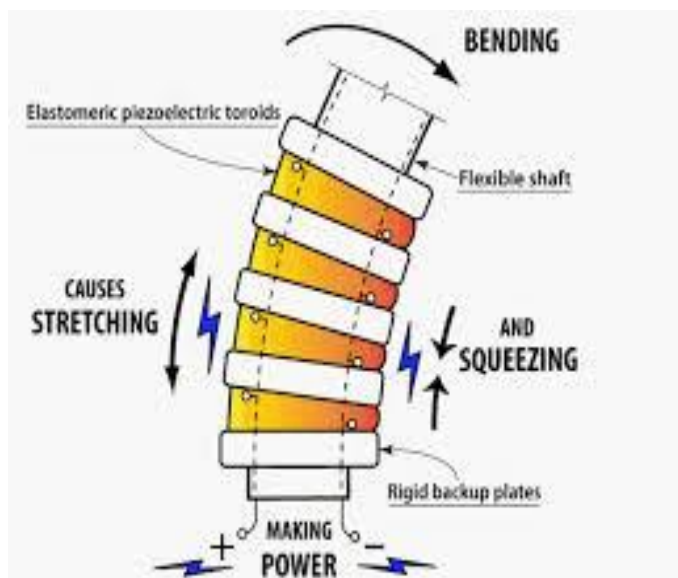


Εικόνα 2. Εύκαμπτα Ηλιακά Στοιχεία

2.4.2 Πιεζοηλεκτρικές συσκευές

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο μετατρέπει τη μηχανική καταπόνηση σε ηλεκτρικό ρεύμα ή τάση. Μηχανικές καταπονήσεις μπορεί να προέρχονται από πολλές διαφορετικές πηγές. Ανθρώπινη κίνηση, χαμηλής συχνότητας σεισμικές δονήσεις, και ακουστικός θόρυβος είναι καθημερινά παραδείγματα. Εκτός από σπάνιες περιπτώσεις το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο λειτουργεί στο AC και απαιτεί χρονικά μεταβαλλόμενες εισόδους σε μηχανικό συντονισμό για να είναι αποτελεσματικό.

Οι περισσότερες πιεζοηλεκτρικές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας παράγουν ενέργεια της τάξης των milliwatts, και ενώ είναι πολύ μικρή για την εφαρμογή του συστήματος, είναι αρκετή για φορητές συσκευές, όπως ορισμένα εμπορικά διαθέσιμα ρολόγια χειρός. Μια πρόταση είναι η χρήση τους σε συσκευές μικροκλίμακας, όπως σε μια συσκευή μάρτυσης μικρο-υδραυλικής ενέργειας. Σε αυτή τη συσκευή, η ροή του πεπιεσμένου υδραυλικού ρευστού κινεί έναν παλινδρομικό έμβολο που υποστηρίζεται από τρία πιεζοηλεκτρικά στοιχεία τα οποία μετατρέπουν τις διακυμάνσεις πίεσης σε ένα εναλλασσόμενο ρεύμα.



Εικόνα 3. Πιεζοηλεκτρική συσκευή

Καθώς τα πιεζοηλεκτρικά συστήματα μάζευσης ενέργειας έχουν ερευνηθεί μόνο από τα τέλη της δεκαετίας του 1990, παραμένουν μια αναδυόμενη τεχνολογία. Παρ' όλα αυτά μερικές ενδιαφέρουσες βελτιώσεις έγιναν με τον αυτοτροφοδοτούμενο ηλεκτρονικό διακόπτη στη σχολή INSA της μηχανικής, που υλοποιείται από το spin-off Arveni. Άλλες βιομηχανικές εφαρμογές εμφανίστηκαν μεταξύ του 2000 και του 2005, για τη μάζευση ενέργειας από κραδασμούς και τροφοδότηση αισθητήρων, για παράδειγμα, ή για την ενεργειακή μάζευση από το σοκ.

Τα πιεζοηλεκτρικά συστήματα μπορούν να μετατρέψουν την κίνηση από το ανθρώπινο σώμα σε ηλεκτρική ενέργεια. Η DARPA έχει χρηματοδοτήσει τις προσπάθειες για την αξιοποίηση της ενέργειας από την κίνηση του ποδιού και τη κίνηση του βραχίονα, τα παπούτσια, και την αρτηριακή πίεση για εμφυτεύσιμους ή wearable αισθητήρες χαμηλού επίπεδου ισχύος. Οι nanobrushes είναι ένα άλλο παράδειγμα ενός πιεζοηλεκτρικού συστήματος μάζευσης ενέργειας. Μπορούν να ενσωματωθούν σε είδη ένδυσης. Απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός για να ελαχιστοποιηθεί η δυσφορία του χρήστη. Αυτές οι πηγές ενέργειας από την ένωση έχουν αντίκτυπο στο σώμα. Η μάζευση ενέργειας από τη δόνηση είναι ένα άλλο έργο που έχει συσταθεί για να προσπαθήσει να πάρει ηλεκτρική ενέργεια από περιβαλλοντικές δονήσεις και κινήσεις. Το Microbelt μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκεντρώσει την ηλεκτρική ενέργεια από την αναπνοή.

Η χρήση των πιεζοηλεκτρικών υλικών για τη συλλογή ενέργειας έχει ήδη γίνει δημοφιλής. Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν την μηχανική ενέργεια καταπόνησης σε ηλεκτρικό φορτίο. Τα στοιχεία Piezo είναι ενσωματωμένα σε διαβάσεις πεζών για να ανακτήσουν την ενέργεια του ανθρώπινου βήματος. Μπορούν, επίσης, να είναι ενσωματωμένα στα παπούτσια. Ερευνητές στο MIT ανέπτυξαν το πρώτο πιεζοηλεκτρικό σύστημα μάζευσης ενέργειας σε μικρο-κλίμακα με τη χρήση λεπτής μεμβράνης το 2005.

Μικρής κλίμακας μάζευση ενέργειας από τον άνεμο⁸⁹¹⁰

Ο άνεμος είναι ένα υποπροϊόν της ηλιακής ενέργειας. Η επιφάνεια της γης θερμαίνεται και κρυώνει άνισα, δημιουργώντας ατμοσφαιρικές ζώνες πίεσης που κάνουν τη ροή του αέρα να κινείται από περιοχές υψηλής προς περιοχές χαμηλής πίεσης. Περίπου το 2% της ενέργειας του ήλιου που φτάνει στη γη μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια.

Το γεγονός ότι η ταχύτητα του ανέμου δεν είναι σταθερή ούτε πάντα ικανή να καλύψει την απαίτηση του φορτίου, αποτελεί μια πρόκληση για τη χρήση της αιολικής ενέργειας. Η αιολική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί χωρίς επιπλέον εξοπλισμό, και οι ανεμογεννήτριες έχουν συγκεκριμένο παράθυρο ταχυτήτων ανέμου στο οποίο μπορούν να λειτουργήσουν. Η επιφάνεια που απαιτείται για την εγκατάσταση και σωστή λειτουργία ενός σταθμού Α/Γ είναι αρκετά μεγάλη. Οχλήσεις μπορούν να θεωρηθούν ο θόρυβος και η επίδραση στην αισθητική ή το οπτικό περιβάλλον της περιοχής.

Η ανεμογεννήτρια εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια του ανέμου για να παράγει ηλεκτρισμό. Στις μέρες μας ο πιο γνωστός τύπος ανεμοκινητήρα, που έχει εφαρμοσθεί ευρύτατα στην πράξη είναι δρομέα οριζοντίου άξονα.

Οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται σε πύργο στήριξης, ώστε να μεγιστοποιείται η

⁸Γ. Λ. Γληνού, Δ. Α. Παπαρήστου και Α. Μ. Παπαδόπουλος, 2005, Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα: αναδρομή, παρούσα κατάσταση και προοπτικές,

⁹Σοφιανίδης Λ., 2006, Εφαρμογές Α.Π.Ε

¹⁰Goofrey Boyle «Renewable Energy: Power for a sustainable future»

παραγωγή τους λόγω της μη στρωτής ροής ανέμου κοντά στο έδαφος. Σε μερικές περιοχές κάθε 10 μέτρα ύψος, η ταχύτητα ανέμου μπορεί να αυξάνεται κατά 20% και η παραγωγή ενέργειας κατά 34%. Ο βαθμός απόδοσης των ανεμογεννητριών ονομάζεται και συντελεστής ισχύος και δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A}$$

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα. Στην πρώτη κατηγορία, ο δρομέας είναι τύπου έλικας και είναι συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους. Ο δρομέας της δεύτερης κατηγορίας παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους

Η συγκομιδή αιολικής ενέργειας υπήρξε μία από τις πιο μελετημένες μεθόδους για μεγάλης κλίμακας μάζευση ενέργειας. Η βασική ιδέα αυτής της προσέγγισης συνίσταται στη μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια μέσω λεπίδων και εργαλείων. Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα είναι αποτελεσματικές για μικρής κλίμακας φορητές εφαρμογές, καθώς είναι λιγότερο ευαίσθητες στο misalignment και μπορούν να λειτουργήσουν σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου με επαρκή ροπή.

Γενικώς, η ισχύς (P_{wind}) που μπορεί να συγκομισθεί από μια ανεμογεννήτρια μπορεί να προέρχεται από την κινητική ενέργεια E μιας μάζας m του αέρα:

$$E = \frac{1}{2} m v^2,$$

Αν θεωρήσουμε το εμβαδόν της επιφάνειας της ανεμογεννήτριας A , η μάζα αέρα που διέρχεται από αυτή, δίνεται από τον τύπο.

$$V_{mag} = K \Phi n \Omega,$$

Τέλος, η ισχύς που αποδίδεται από τον αέρα που ρέει διαμέσου των πτερυγίων ισούται με:

$$P_{mag} = \frac{1}{4r_{mag}} (K\Phi n\Omega)^2$$

Ωστόσο, καθώς πολλοί μηχανισμοί μετατροπής παρεμβαίνουν στη ροή της ενέργειας, αυτή η ισχύς είναι το υψηλότερο όριο της πρακτικά διαθέσιμης τιμής. Οι βασικοί περιορισμοί προκύπτουν κατά το μηχανικό στάδιο (συμπεριλαμβανομένης της απόδοσης μετατροπής αιολικής-προς-μηχανική, η οποία θεωρητικά περιορίζεται στο 0,59 από το όριο Betz), καθώς και τις ηλεκτρικές διασυνδέσεις. Για μια συνολική απόδοση μετατροπής 5%, ταχύτητα ανέμου 3 ms⁻¹, και μία επιφάνεια 10 × 10 cm², η ισχύς που μπορεί να αναμένεται από μια μικρής κλίμακας ανεμογεννήτρια θα είναι περίπου της τάξης των 8 mW.

Το πρώτο βήμα για την κατασκευή της ανεμογεννήτριας αποτελείται από τη μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε μηχανική. Το κύριο συστατικό αυτού του σταδίου είναι ο σχεδιασμός της λεπίδας. Στην περίπτωση της μεσαίας έως μεγάλης κλίμακας ανεμογεννητριών, οι λεπίδες έχουν συνήθως ένα σχήμα πτέρυγας, αλλά μια τέτοια διαμόρφωση δεν είναι βέλτιστη σχετικά με τις φορητές ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα. Μεταξύ των διαφόρων σχημάτων του σχεδιασμού λεπίδας, τα δύο πιο ενδιαφέροντα για συσκευές μικρής κλίμακας παραμένουν η Darrieus (lift-based) και η Savonius (drag-based). Το τελευταίο, αν και διαθέτει μια χαμηλότερη απόδοση, προσφέρει περισσότερη ροπή, η οποία οδηγεί σε μία χαμηλότερη ταχύτητα ανέμου εκκίνησης.

Μια άλλη κοινή μέθοδος για τον έλεγχο της αναλογίας μεταξύ της ταχύτητας περιστροφής της ατράκτου και της προκύπτουσας ροπής στηρίζεται στη χρήση ενός κιβωτίου ταχυτήτων. Παρ' όλα αυτά, η χρήση των πρόσθετων εξαρτημάτων μπορεί να μειώσει σημαντικά τη συνολική απόδοση της συσκευής.

Αφού η αιολική ενέργεια έχει μετατραπεί σε κυκλική μηχανική ενέργεια, το επόμενο βήμα συνίσταται στο μετασχηματισμό σε ηλεκτρική ενέργεια. Δύο ευρέως χρησιμοποιούμενες μέθοδοι μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια

συζητούνται κατωτέρω, αν και υπάρχουν επίσης και άλλες προσεγγίσεις (π.χ., ηλεκτροστατικές, ηλεκτρο ή magnetoelectric).

Ο κλασικός τρόπος για τη μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε ηλεκτρική ενέργεια αποτελείται από τη χρήση μαγνητικών κινητήρων. Αυτός ο μηχανισμός μετατροπής βασίζεται στην μετατροπή μέσω της χρήσης μαγνητικής ζεύξης.

Στο πλαίσιο συσκευών μικρής κλίμακας συσκευές, οι κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες προσφέρουν την καλύτερη επιλογή. Οι ηλεκτροκινητήρες μπορεί να προσφέρουν AC ή DC τάσεις εξόδου, η τελευταία είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την τροφοδότηση σε ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης.

Ωστόσο, η χρήση ενός μαγνητικού κινητήρα για τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας που παράγεται από τον άνεμο σε ηλεκτρική ενέργεια πάσχει από αρκετά μειονεκτήματα. Πρώτον, οι ηλεκτρομαγνητικοί κινητήρες συνήθως απαιτούν μια μη αμελητέα ροπή εκκίνησης και κάποια RPM για να μεγιστοποιήσουν την αποτελεσματικότητά τους. Ως εκ τούτου, η χρήση ενός προσαρμοστικού κιβωτίου ταχυτήτων απαιτείται, το οποίο όχι μόνο αυξάνει το μέγεθος της συσκευής, αλλά επίσης μειώνει τη συνολική αποτελεσματικότητα του συστήματος. Επιπροσθέτως, μπορεί να αυξήσει την ελάχιστη απαιτούμενη ροπή για την εκκίνηση. Η τάση ανοικτού κυκλώματος της γεννήτριας με n ζεύγη μόνιμων μαγνητών και περιελίξεις σε μια ταχύτητα περιστροφής δίνεται ως:

$$\Gamma_{mag} = (K\Phi n)^2 \frac{\Omega}{2r_{mag}}$$

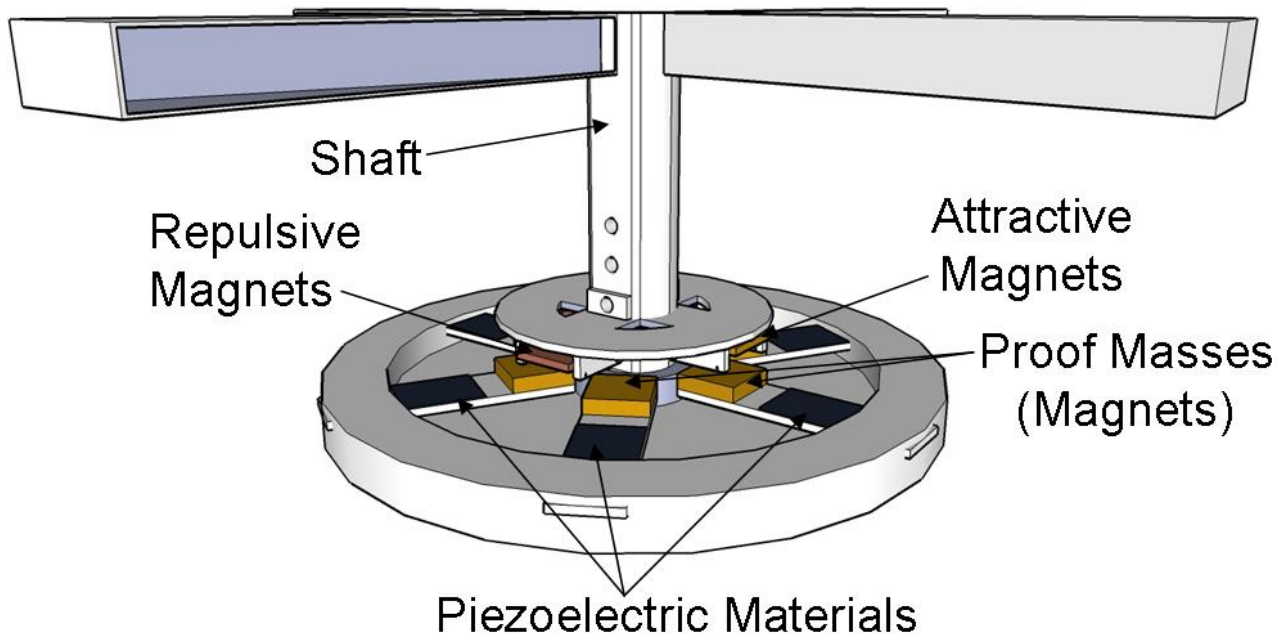
Για να αντισταθμιστεί η ελάχιστη ροπή και οι απώλειες που προκαλούνται από το σύστημα μετάδοσης, ο Priya πρότεινε τη χρήση πιεζοηλεκτρικών στοιχείων για τη μετατροπή από τον άνεμο σε ηλεκτρική (μέσω μηχανικής) ενέργεια. Οι αρχές της παρούσας έννοιας αποτελούνται από μηχανικά πώματα που συνδέονται με το περιστρεφόμενο άξονα που επηρεάζει τα πιεζοηλεκτρικά στοιχεία, ως εκ τούτου, την επαγωγή δονήσεων και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μία τέτοια συσκευή επιτρέπει τη συγκομιδή έως 7,5 mW με δέκα bimorphs και διαθέτει cutin ταχύτητα του ανέμου (δηλαδή, ελάχιστη ταχύτητα του ανέμου για τη λειτουργία) της τάξης των 2.2 ms⁻¹. Επιπλέον, το μέγεθος της ανεμογεννήτριας μπορεί να μειωθεί σημαντικά με τη χρήση ενός μηχανισμού που μετατρέπει την

περιστροφική κίνηση σε μετάθεση, για παράδειγμα, με τη χρήση ενός σχεδιασμού στροφαλοφόρου άξονα, αν και ένα τέτοιο σύστημα περιλαμβάνει έναν πρόσθετο μηχανισμό μετατροπής που μπορεί να μειώσει τη συνολική αποτελεσματικότητα της συσκευής.

Ωστόσο, η χρήση μηχανικών στοπ ακόμα προκαλεί ορισμένα αποτελέσματα τριβής που πρέπει να ξεπεραστούν και μειώνει τη διάρκεια ζωής της συσκευής. Προκειμένου να ξεπεραστούν αυτά τα μειονεκτήματα, προτείνεται ένα άλλο είδος της διέγερσης μέσω ανέπαφης σύζευξης μεταξύ του άξονα και των πιεζοηλεκτρικών bimorphs. Οι αρχές της ανέπαφης ανεμογεννήτριας βασίζονται σε μαγνήτες για να προκαλέσουν δονήσεις στα πιεζοηλεκτρικά στοιχεία. Ενώ οι μαγνήτες κατά το άκρο κάθε δίμορφου έχουν την ίδια πολικότητα, οι μαγνήτες επί της ατράκτου συνδέονται έτσι ώστε όταν ένας μαγνήτης εφαρμόζει μια ελκτική δύναμη, ο άλλος να εξασκεί μία απωστική δύναμη. Μια τέτοια προσέγγιση επιτρέπει στις ροπές αντίστασης που δημιουργούνται από τη μαγνητική σύζευξη να ακυρωθούν, μειώνοντας δραματικά την ταχύτητα εκκίνησης του ανέμου και την αύξηση των ικανοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της συσκευής λόγω των υψηλότερων ταχυτήτων περιστροφής για μέτριους ανέμους. Μια τέτοια διαμόρφωση αποδίδει σε ταχύτητες εκκίνησης ανέμου από 1 ms⁻¹ και μέγιστη ισχύ εξόδου 3 mW ανά πιεζοηλεκτρικό στοιχείο (ως εκ τούτου, χρησιμοποιώντας 6 bimorphs θα οδηγούσε σε μια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 18 mW).

Η ανέπαφη πιεζοηλεκτρική ανεμογεννήτρια μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιήσει μηχανισμό στροφαλοφόρου άξονα για συμπαγή διαμόρφωση. Υποθέτοντας συμπεριφορά σταθερής κατάστασης και ημιτονοειδείς ταλαντώσεις των bimorphs, η μέγιστη ισχύς ανά πιεζοηλεκτρικό στοιχείο μπορεί να ληφθεί από την κλασική παραγωγή στην περίπτωση της ενέργειας κραδασμών, αποδιδόμενη:

$$P_{piezo} = \frac{n\Omega}{2\pi} \frac{\alpha^2}{C_0} u_M^2,$$



Εικόνα 4. Πιεζοηλεκτρική Ανεμογεννήτρια

Μικρής κλίμακας μάζτευση ενέργειας από τη βροχή¹¹

Η άλλη πηγή χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας είναι η βροχή. Υπάρχουν λίγες έρευνες στη βιβλιογραφία σχετικά με τον τρόπο μετατροπής της ενέργειας της βροχής σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι Guigon et al. ανέλυσαν το μέγεθος της ενέργειας που θα μπορούσε να μαστευθεί από σταγόνες βροχής. Η χρήση ενός φιλμ PVDF (πολυβινυλιδενοφθοριδίου) περίπου 30 cm² που επηρεάστηκε από σταγόνες νερού της ελεγχόμενης μέγεθος, έδειξαν ότι ήταν δυνατή η συγκομιδή μέχρι 1 nJ από μια σταγόνα, που αντιστοιχεί σε 1 μW της στιγμιαίας ισχύος, και πρότειναν ότι μια τέτοια συσκευή θα μπορούσε να βελτιωθεί, ώστε να επιτρέπει την ανάκτηση έως 25 μJ ενέργειας ανά σταγόνα.

¹¹https://faculty.washington.edu/wilkes/575/slides/575w12-12to15-presentations1/tues120214/HARVESTING_RAIN_FALL-Aksel_Bode_-presentation.pdf



Εικόνα 5. Μετατροπέας ενέργειας βροχής με πιεζοηλεκτρικά στοιχεία

Οι βασικές αρχές της συσκευής ενέργειας βροχής με πιεζοηλεκτρικά στοιχεία, είναι πολύ παρόμοια με εκείνες που συζητήθηκαν προηγουμένως, εκτός του ότι το rainmill διαθέτει ασυνεχείς λειτουργίες (δηλαδή, παλμικές). Το προτεινόμενο σύστημα απεικονίζεται στο παραπάνω σχήμα και αποτελείται από έναν άξονα που είναι εξοπλισμένος με άκρα που συνδέονται με συλλέκτες νερού.

Ο άξονας διαθέτει, επίσης, μηχανικά στοπ ή μαγνήτες που αλληλεπιδρούν με πιεζοηλεκτρικά που συνδέονται με προβόλους στη βάση της συσκευής. Καθώς η βροχή γεμίζει τους συλλέκτες στο άκρο του βραχίονα, μια ροπή επάγεται, η οποία αντισταθμίζεται από τα στοπ σε επαφή με το πιεζοηλεκτρικό υλικό ή με τη μαγνητική σύζευξη στο ανέπαφο στοιχείο, κάμπτοντας τα πιεζοηλεκτρικά bimorphs.

Όταν η ροπή που ασκείται από το νερό είναι επαρκής, ώστε δεν υπάρχει πλέον επαφή μεταξύ των στοπ και των παραμορφωμένων πιεζοηλεκτρικών προβόλων, ή όταν η δύναμη που ασκείται από τους μαγνήτες εξουδετερώνεται, η άτρακτος περιστρέφεται, και τα bimorphs απελευθερώνονται. Ως εκ τούτου, ο πιεζοηλεκτρικός πρόβολος δονείται και παράγει ηλεκτρική ενέργεια έως το επόμενο πώμα να έρθει σε επαφή ή ο επόμενος μαγνήτης να ευθυγραμμιστεί με το

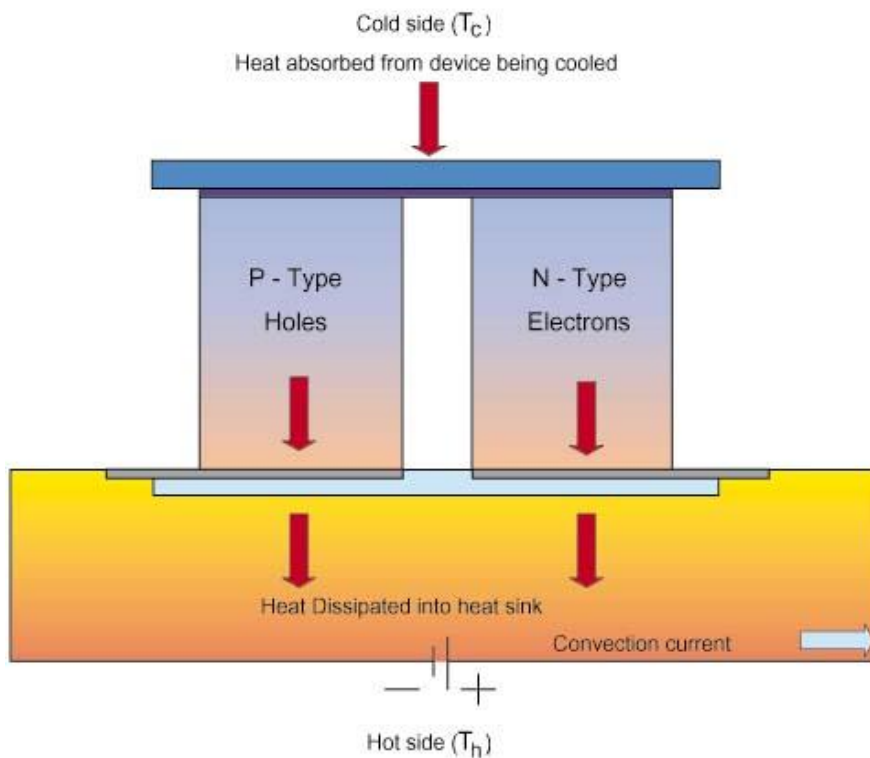
δίμορφο. Μια δεξαμενή νερού, επίσης, προστέθηκε στην κορυφή του rainmill, η οποία αυξάνει την ενεργό επιφάνεια συγκομιδής νερού. Η προσθήκη αυτής της δεξαμενής νερού, επιπλέον, επιτρέπει στο rainmill να λειτουργεί κατά συνεχή τρόπο σε πιο ήπια βροχή.

Μια τέτοια προσέγγιση επιτρέπει παραγωγή ενέργειας της τάξης των $10-100 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-3}$ (λαμβάνοντας υπόψη μόνο το ενεργό υλικό) σε συνεχή λειτουργία και $1 \mu\text{J} \cdot \text{cm}^{-3}$ χρησιμοποιώντας PVDF ταινίες, οι οποίες είναι πολύ μεγαλύτερη από τη συσκευή. Μια τέτοια προσέγγιση μπορεί, ακόμη, να βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό αντικαθιστώντας το φιλμ PVDF με piezoelement, το οποίο χαρακτηρίζει ένας υψηλότερος συντελεστής σύζευξης.

Στην ιδιαίτερη περίπτωση του ανέπαφου rainmill, η χρήση μαγνητών αντίθετης πολικότητας επιτρέπει, επίσης, στην κρίσιμη μάζα να μειωθεί, καθώς η ροπή που προκαλείται από τη μαγνητική σύζευξη ισοσταθμίζεται από τον άλλο μαγνήτη, με αποτέλεσμα να οδηγεί σε υψηλότερη απόδοση της συσκευής.

2.4.3 Θερμοηλεκτρικό φαινόμενο

Το 1821, ο Thomas Johann Seebeck ανακάλυψε ότι η θερμική κλίση που σχηματίζεται μεταξύ δύο ανόμοιων αγωγών παράγει τάση. Στο επίκεντρο της θερμοηλεκτρικής ισχύος είναι το γεγονός ότι μία διαβάθμιση θερμοκρασίας σε ένα αγωγίμο υλικό καταλήγει σε ροή θερμότητας, και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διάχυση των φορέων ηλεκτρικού φορτίου. Η ροή των φορέων μεταξύ των θερμών και κρύων περιοχών με τη σειρά της, δημιουργεί μια διαφορά τάσης. Το 1834, ο Jean Charles Athanase Peltier ανακάλυψε ότι η ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από την ένωση δύο ανόμοιων αγωγών μπορεί, ανάλογα με την κατεύθυνση του ρεύματος, να την κάνουν να λειτουργήσει ως θέρμανση και ψύξη. Η θερμότητα που απορροφάται ή παράγεται είναι ανάλογη με το ρεύμα, και η σταθερά της αναλογικότητας είναι γνωστή ως συντελεστής Peltier. Σήμερα, λόγω της γνώσης των Seebeck και Peltier, τα θερμοηλεκτρικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συσκευές θέρμανσης, ψύκτες και γεννήτριες (TEGs).



Εικόνα 6. Θερμοηλεκτρικό φαινόμενο

Κατά τη θέρμανση, το φαινόμενο Seebeck θα οδηγήσει αρχικά σε ένα ρεύμα. Ωστόσο, εφόσον οι συμβολές όλων καταλήξουν σε μια ενιαία εσωτερική θερμοκρασία, και με την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιείται ένα ιδανικό βολτόμετρο, τότε το θερμοστοιχείο θα καταλήξει σύντομα σε ισορροπία, όπου δεν υπάρχει ρεύμα $J = 0$. Ως αποτέλεσμα, η κλίση της τάσης σε οποιοδήποτε σημείο στο κύκλωμα θα δοθεί απλά με τη σχέση:

$$V_b - V_c = \int_{T_c}^{T_h} (S_A(T) - S_B(T)) dT$$

όπου το S είναι ο συντελεστής Seebeck σε εκείνο το σημείο και ΔT είναι η κλίση της θερμοκρασίας σε εκείνο το σημείο. Η ολική μετρούμενη τάση μπορεί να βρεθεί από την πρόσθεση των συνεισφορών τάσεως σε όλο το μήκος των συρμάτων.

Αυτό οδηγεί σε μια μετρούμενη τάση διαφοράς ανεξάρτητη από πολλές

λεπτομέρειες (π.χ. ούτε το μέγεθος ούτε το μήκος των αγωγών έχει σημασία):

όπου s_a και s_b είναι οι συντελεστές Seebeck των υλικών A και B ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, και TC, Th είναι οι θερμοκρασίες των δύο κόμβων. Οι τάσεις V_b και V_c μετρώνται στα κρύα άκρα των υλικών A και B, αντιστοίχως. Η emf δεν παράγεται στις διασταυρώσεις, αλλά μάλλον στα καλώδια που οδηγούν μεταξύ των θερμών και ψυχρών κόμβων. Επειδή τα δύο σύρματα δίνουν διαφορετικές τάσεις που οδηγούν μέχρι την διασταύρωση, η προκύπτουσα συνολική μετρούμενη τάση είναι μη μηδενική .

Τα ιδανικά θερμοηλεκτρικά υλικά έχουν υψηλό συντελεστή Seebeck, υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα και χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα είναι απαραίτητη, ώστε να διατηρηθεί μια υψηλή θερμική κλίση στη ένωση. Τυπικές θερμοηλεκτρικές συσκευές που κατασκευάζονται σήμερα αποτελούνται από P-και N-ημιαγωγούς βισμούθιο-τελλουριούχο που στριμώνεται ανάμεσα σε δύο επιμεταλλωμένες κεραμικές πλάκες. Οι κεραμικές πλάκες προσθέτουν ακαμψία και ηλεκτρική μόνωση του συστήματος. Οι ημιαγωγοί συνδέονται ηλεκτρικά σε σειρά και θερμικά παράλληλα.

Έχουν αναπτυχθεί μικροσκοπικά θερμοστοιχεία που μετατρέπουν τη θερμότητα του σώματος σε ηλεκτρική ενέργεια και παράγουν 40μW στα 3V με θερμοκρασία κλίσης 5 μοιρών, ενώ στο άλλο άκρο της κλίμακας, τα μεγάλα θερμοστοιχεία χρησιμοποιούνται στις πυρηνικές RTG μπαταρίες.

Πρακτικά παραδείγματα είναι το finger-heartmeter από το Κέντρο Holst και τις thermogenerators από την Fraunhofer Gesellschaft.

Πλεονεκτήματα των θερμοηλεκτρικών:

1. Δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη, επιτρέπουν τη συνεχή λειτουργία για

πολλά χρόνια. Η *Tellurex Corporation* (εταιρεία παραγωγής θερμοηλεκτρικών) ισχυρίζεται ότι τα thermoelectrics έχουν πάνω από 100.000 ώρες λειτουργίας σταθερής κατάστασης.

2. Τα θερμοηλεκτρικά δεν περιέχουν υλικά τα οποία πρέπει να αναπληρώνονται.
3. Η λειτουργία θέρμανσης και ψύξης μπορεί να αντιστραφεί.

Ένα μειονέκτημα της θερμοηλεκτρικής μετατροπής ενέργειας είναι η χαμηλή απόδοση (επί του παρόντος λιγότερο από 10%). Η ανάπτυξη των υλικών που είναι σε θέση να λειτουργούν σε υψηλότερες διαβαθμίσεις θερμοκρασίας, και η δυνατότητα να άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα και χωρίς την αγωγή θερμότητας (κάτι που μέχρι πρόσφατα πίστευαν αδύνατο), θα οδηγήσει σε αύξηση της αποδοτικότητας.

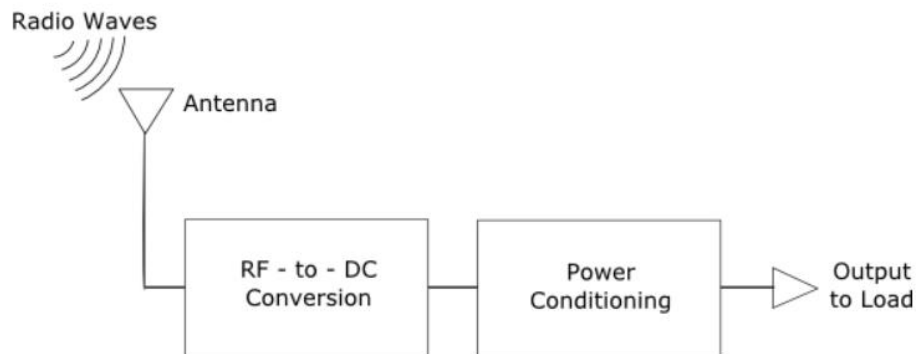
Μελλοντική εργασία στα θερμοηλεκτρικά στοιχεία θα μπορούσε να μετατρέψει τις απώλειες θερμότητας, όπως στην καύση του κινητήρα του αυτοκινήτου, σε ηλεκτρική ενέργεια.

2.4.4 Φαινόμενο ασύρματης συγκομιδής ενέργειας.

Η συγκομιδή ενέργειας βασισμένη στην τεχνολογία ¹²RF καθιστά δυνατή την πραγματοποίηση νέων εφαρμογών. Η ενέργεια μέσω ραδιοσυχνοτήτων ή αλλιώς RF μεταδίδεται από δισεκατομμύρια ραδιοπομπών σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένων των κινητών τηλεφώνων, φορητούς ασύρματους πομποδέκτες, σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας, τηλεοπτικών/ραδιοφωνικών σταθμών εκπομπής. Η ικανότητα συγκομιδής ενέργειας RF επιτρέπει την ασύρματη φόρτιση των συσκευών χαμηλής ισχύος και έχει ως αποτέλεσμα οφέλη για το σχεδιασμό προϊόντων. Συστήματα που χρησιμοποιούν μπαταρίες μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ασύρματη συγκομιδή ενέργειας και να παρατείνουν το χρόνο αντικατάστασής τους. Επίσης, συστήματα χωρίς μπαταρίες θα μπορούσαν να σχεδιαστούν και να λειτουργούν συσσωρεύοντας την ενέργεια RF σε

¹² http://gr.mouser.com/applications/rf_energy_harvesting/

υπερπυκνωτές, αρκεί να υπάρχει επαρκές φορτίο συσσώρευσης. Σε αυτή την περίπτωση αυτές οι συσκευές είναι απαλλαγμένες από συνδέσεις, καλώδια και πάνελ πρόσβασης της μπαταρίας. Έχουν ελευθερία της τοποθέτησης και της κινητικότητας κατά την διάρκεια της φόρτισης και της χρήσης.



Εικόνα 7. Φαινόμενο Συσσώρευσης RF ενέργειας

Η συγκομιδή ενέργειας RF είναι απεριόριστη, ενώ ο αριθμός των ραδιοφωνικών πομπών, ειδικά για σταθμούς βάσης κινητής αυξάνεται συνεχώς. Οι εταιρείες ABI Research και iSupply εκτιμούν πως ο αριθμός των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας έχει ξεπεράσει πρόσφατα τα 5 δισεκατομμύρια, ενώ η ITU εκτιμά ότι υπάρχουν πάνω από 1 δις συνδρομές για ευρυζωνικά δίκτυα.

Τα κινητά τηλέφωνα αντιπροσωπεύουν ουσιαστικά μια τεράστια πηγή πομπών από τους οποίους μπορεί να γίνει συγκομιδή ενέργειας RF και να επιτρέψει ενδεχομένως στους χρήστες να παρέχουν ισχύ κατά παραγγελία σε ποικιλία κοντινών εφαρμογών. Επίσης, πρέπει να λάβουμε υπόψιν τον αριθμό των συνδρομητών WiFi και ασύρματων τερματικών συσκευών όπως είναι τα laptops.

Σε ορισμένα αστικά κέντρα είναι δυνατόν να ανιχνευθούν εκατοντάδες – κυριολεκτικά - σημεία πρόσβασης WiFi. Έτσι, λοιπόν, μέσα σε ένα δωμάτιο είναι δυνατό να μαζευτεί ένα μικρό ποσό ενέργειας μέσω ενός ασύρματου router ο οποίος εκπέμπει με ισχύ από 50 έως 100mWatt. Για την συγκομιδή ενέργειας RF από σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας, όμως, απαιτούνται κεραίες με μεγαλύτερο κέρδος.

Το 2005 η εταιρεία Powercast απέδειξε τη συγκομιδή ενέργειας RF από απόσταση 1,5 μιλίου (2,4 χλμ) από ένα μικρό 5-kWatt AM ραδιοφωνικό σταθμό. Η ενέργεια ραδιοσυχνότητας μπορεί να μεταδοθεί σε μη αδειοδοτημένες ζώνες όπως είναι:

868MHz, 915MHz, 2.4GHz, 5.8GHz. Στα 915MHz οι κρατικοί κανονισμοί περιορίζουν την ισχύ εξόδου των ραδιοφώνων σε Ενεργά Ισότροπα Ακτινοβολούμενη Ισχύς 4Watt ενώ ο πομπός¹³ TX91501 της Powercast μπορεί να στέλνει ενέργεια και δεδομένα με ισχύ 3Watt.

Η συγκομιδή ενέργειας RF μπορεί να γίνει από δέκτες Powerharvesters της Powercast και να μετατρέπουν την ενέργεια σε συνεχές ρεύμα. Τα δομικά στοιχεία της Powercast μπορούν πολύ εύκολα να προστεθούν στα σχέδια κυκλωμάτων και να συνεργάζονται με τυποποιημένες ή κατά παραγγελία κεραίες των 50Ω.

Με τη σημερινή ευαισθησία του δέκτη του δέκτη¹⁴ P2110 Powerharvester στα -11dbm, η τροφοδοσία συσκευών ή η φόρτιση μπαταριών σε αποστάσεις 40-45 μέτρα από ένα πομπό 3Watt επιτυγχάνεται εύκολα και μπορεί να ελεγχθεί απλά με την απόκτηση της πλατφόρμας ανάπτυξης της Powercast. Η περαιτέρω βελτίωση της ευαισθησίας RF επιτρέπει τη μετατροπή των ραδιοσυχνοτήτων σε συνεχές ρεύμα σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Ωστόσο, όσο αυξάνεται η απόσταση τόσο εξασθενεί η φόρτιση. Είναι πολύ σημαντικό ένας συλλέκτης ενέργειας RF να έχει την ικανότητα να διατηρεί τη μετατροπή RF to DC απόδοσης σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένου των παραλλαγών που μπορεί να δημιουργηθούν λόγω εναλλαγής ισχύος εισόδου και αντίστασης φορτίου εξόδου.

Τα κυκλώματα συλλογής ενέργειας ραδιοσυχνοτήτων που μπορούν να φιλοξενήσουν Multiband ή Narrow band περιοχές συχνοτήτων, και να μπορούν να κάνουν αυτόματο tuning θα αυξήσουν περαιτέρω την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ενδεχομένως να επεκτείνουν τις δυνατότητες των συσκευών που θα τα υποστηρίζουν.

Η ενέργεια RF μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να φορτίσει ή να λειτουργήσει ένα ευρύ φάσμα συσκευών χαμηλής ισχύος όπως είναι GPS ή Real Time Locating Systems, όπως είναι η συσκευή εντοπισμού θέσης που θα μελετηθεί, ιατρικών αισθητήρων και ηλεκτρικών ειδών ευρείας κατανάλωσης, όπως είναι e-book readers και ακουστικά.

Για μεγαλύτερη εμβέλεια μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε συσκευές που βασίζονται

¹³ <http://www.powercastco.com/products/powercaster-transmitters/>

¹⁴ <http://www.powercastco.com/products/powerharvester-receivers/>

την ενέργεια τους σε μπαταρία αλλά και σε άλλες που δεν την βασίζουν σε μπαταρίες, όπως είναι οι απομακρυσμένοι αισθητήρες παρακολούθησης θερμοπομπών, aircondition και σε αυτοματισμούς κτηρίων.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις ισχύος και του συστήματος λειτουργίας, η ισχύς μπορεί να αποστέλλεται συνεχώς σε συνεχή βάση ή κατά εντολή στις συσκευές αποφεύγοντας το κόστος εργασίας και καταργώντας μελλοντικές προσπάθειες συντήρησης για αντικατάσταση των μπαταριών.

Η διαθέσιμη ισχύς από πομπό 3Watt θα σημαίνει milliwatt σε απόσταση μερικών μέτρων και δεκάδες microwatt σε απόσταση περίπου 40 μέτρων, ένα ποσό ενέργειας, δηλαδή, που χρησιμοποιείται καλύτερα σε συσκευές με χαμηλή κατανάλωση και λίγων κύκλων φόρτισης. Συνήθως, οι συσκευές που λειτουργούν για εβδομάδες, μήνες ή χρόνια σε ένα ενιαίο σύνολο μπαταριών είναι καλοί υποψήφιοι, ώστε να επαναφορτίζονται ασύρματα με ενέργεια ραδιοσυχνότητας.

Σε ορισμένες εφαρμογές απλά αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας ή επανεξετάζοντας τη διάρκεια ύπνου του τρέχοντος μικροελεγχτή είναι αρκετό να δικαιολογηθεί η προσθήκη της τεχνολογίας συγκομιδής ενέργειας από ραδιοσυχνότητες.

Ένα δίκτυο από πομπούς μπορεί να τοποθετηθεί σε μια βιομηχανική μονάδα για να παρέχει ενέργεια ραδιοσυχνότητας σε αυτή. Επίσης, τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φορητές πηγές ενέργειας για ένα αριθμό battery free συσκευών. Χρειάζεται απλά κάποιος να φανταστεί ένα κινητό τηλέφωνο που τροφοδοτεί μια μπαταρία ενός ασύρματου αισθητήρα που στέλνει δεδομένα μέσω WiFi, Bluetooth ή Zigbee. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να εμφανιστούν τοπικά σε άλλο κινητό και αυτό με τη σειρά του να τα εκπέμπει σε οποιαδήποτε εφαρμογή που μπορεί να τα διαβάσει.

Η εταιρεία Powercast έχει αποδείξει αυτή την εφαρμογή χρησιμοποιώντας την ενέργεια ραδιοσυχνότητας από κινητό iphone της εταιρείας apple. Οι συσκευές με ενσωματωμένη την τεχνολογία συγκομιδής ενέργειας RF απολαμβάνουν την ευχέρεια να προστατεύονται από τις άσχημες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως υγρασία από την οποιαδήποτε πρόσβαση κάποιου χρήστη.

Επιπλέον, εξαλείφονται οι εξωτερικοί συνδετήρες και τα καλώδια σύνδεσης. Η αξιοπιστία και η διάρκεια ζωής του προϊόντος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά.

Όταν βρίσκονται σε κατάλληλη απόσταση από μια πηγή RF, η φόρτιση είναι αυτόματη δίχως να γίνεται αισθητή από τον τελικό χρήστη, γεγονός που παρέχει μεγάλη ευκολία χρήσης.

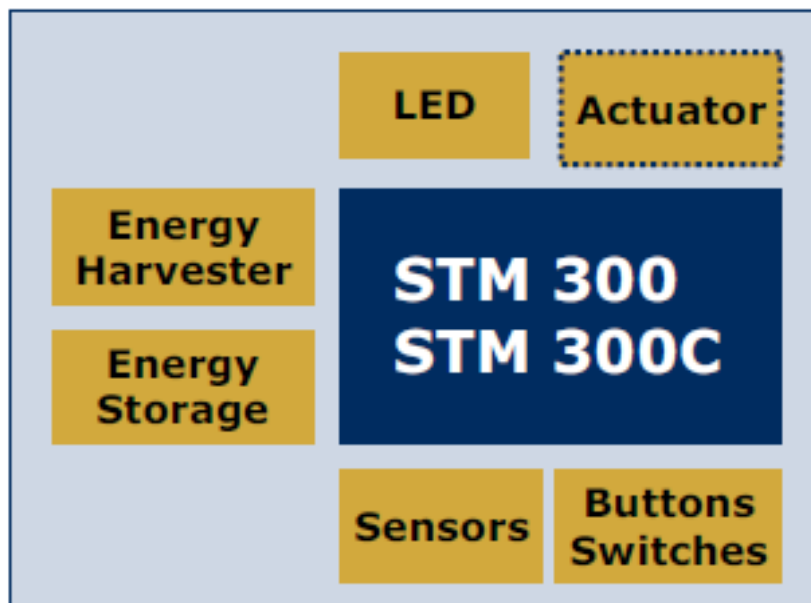
Τα ραδιοκύματα υπάρχουν παντού επάνω από ένα συνεχώς αυξανόμενο φάσμα συχνοτήτων και επιπέδων ισχύος, ιδίως σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές. Αντιπροσωπεύουν μια μοναδική και ευρέως διαθέσιμη πηγή ενέργειας, αν μπορεί βεβαίως αποτελεσματικά να χρησιμοποιηθεί για συγκομιδή ενέργειας. Ο αυξανόμενος αριθμός των ασύρματων πομπών είναι αποτέλεσμα της αύξησης στην πυκνότητα ισχύος RF, ενώ μπορούν να ενεργοποιήσουν ευρεία από ασύρματες λύσεις.

Με τη συνεχόμενη μείωση ενέργειας στην κατανάλωση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, με την αυξανόμενη ευαισθησία των παθητικών δεκτών RF για συγκομιδή ενέργειας, καθώς επίσης και τη βελτιωμένη απόδοση στη διαρροή συσκευών συσσώρευσης ενέργειας, δημιουργούν τις κατάλληλες συνθήκες για χρησιμοποίηση της τεχνολογίας συγκομιδής ενέργειας ραδιοκυμάτων.

Κεφάλαιο 3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

3.1 Μάστευση ηλιακής ενέργειας για την τροφοδότηση ασύρματων αισθητήρων¹⁵

Η μονάδα RF πομπού STM 300 εξοικονόμησης ισχύος της εταιρείας EnOcean επιτρέπει την υλοποίηση ασύρματων και χωρίς συντήρηση αισθητήρων και ενεργοποιητών, όπως αισθητήρες κίνησης ή βαλβίδες ενεργοποιητών για τον έλεγχο της θέρμανσης. Υπάρχουν και άλλες αντίστοιχες συσκευές, οι οποίες παράγονται από άλλους κατασκευαστές, αλλά αναφέρεται η εταιρεία EnOcean ως παράδειγμα.



Εικόνα 7: Μονάδα RF πομπού STM 300

Η τροφοδοσία παρέχεται από μία εξωτερική συσκευή μάστευσης ενέργειας, π.χ. ένα μικρό ηλιακό κύτταρο ή μια θερμική μηχανή. Μια συσκευή αποθήκευσης ενέργειας μπορεί να συνδεθεί εξωτερικά για να γεφυρώσει τις περιόδους χωρίς προμήθεια ηλιακής ενέργειας.

¹⁵<http://www.enocean.com/en/solar-energy-harvesting/>

Technical Data	
Antenna	External whip or 50 Ω antenna mountable
Frequency	STM 300: 868.300MHz (ASK) ¹⁾ STM 300C: 315.000MHz (ASK) ¹⁾ STM 300U: 902.875MHz (FSK)
Data rate	125 kbps
Receiver Sensitivity (at 25°C) only via API	typ. -96 dBm ²⁾ (868.300 MHz) typ. -98 dBm ²⁾ (315.000 MHz) typ. -98 dBm ²⁾ (902.875 MHz)
Conducted Output Power @50Ω min. / typ. / max.	STM 300: 3.0 dBm / 5.7 dBm / 7.0 dBm STM 300C: 5.5 dBm / 7.5 dBm / 9.5 dBm <i>Preliminary STM 300U: 5.5 dBm / 7.5 dBm / 9.5dBm</i>
Power Supply	2.1 V-4.5 V, 2.6 V needed for startup
Current Consumption	Deep Sleep Mode: 0.2 μA Rx mode (API only): 33 mA / Tx mode: 24 mA
Dimensions of PCB	22x19x3 mm
Input Channels	4x digital input, 2x WAKE input , 3x analog input Resolution: 3x 8 bit or 1x 10 bit, 1x 8 bit, 1x 6 bit
Operating temperature	-25 up to +85°C
Radio Regulations	R&TTE EN 300 220 (STM 300) FCC CFR-47 Part 15 (STM 300C / STM 300U)

1) according to ISO/IEC 14543-3-10

2) @ 0.1% telegram error rate (based on transmitted sub-telegrams)

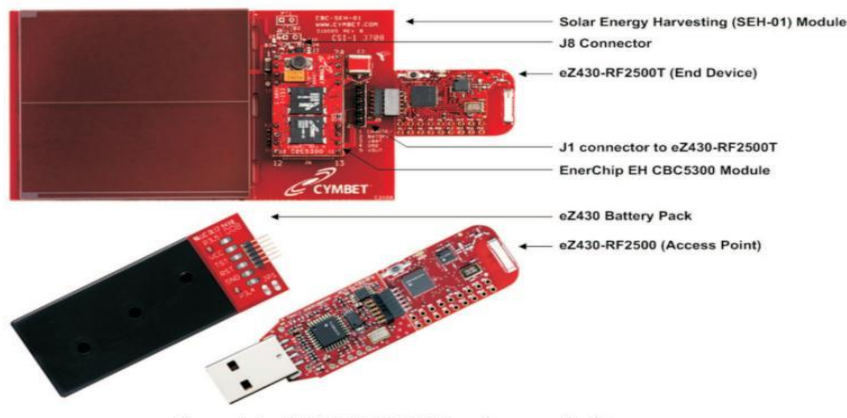
Πίνακας 1: Τεχνικά στοιχεία RF πομπού STM 300

Ένας περιοριστής τάσης αποφεύγει επιζήμιες καταστάσεις της μονάδας, όταν η τάση από το ηλιακό κύτταρο παίρνει πάρα πολύ υψηλές τιμές. Η μονάδα αυτή παρέχει τη δυνατότητα ρύθμισης wake up από το χρήστη (κάθε 1, 10 ή 100 sec.). Μετά το wake up, θα μεταδίδεται σε ραδιοφωνική συχνότητα ένα τηλεγράφημα (δεδομένα εισόδου, μοναδικό αναγνωριστικό αισθητήρα 32 bit, checksum) σε περίπτωση αλλαγής οποιασδήποτε ψηφιακής τιμής εισόδου σε σχέση με την τελευταία αποστολή ή σε περίπτωση σημαντικής αλλαγής των μετρούμενων αναλογικών τιμών (μπορεί να επιλεγεί διαφορετική ευαισθησία). Σε περίπτωση μη σχετικής αλλαγής εισόδου, αποστέλλεται ένα περιττό σήμα αναμετάδοσης μετά από έναν αριθμό wake-ups για να ανακοινώσει τις τρέχουσες τιμές. Επιπλέον, το wake up μπορεί να ενεργοποιηθεί εξωτερικά.



Εικόνα 8. RF πομπός STM 300

Το Εργαλείο Ανάπτυξης Texas Instruments eZ430-RF2500-SEH Solar Energy βοηθά τους σχεδιαστές να δημιουργήσουν ένα διαρκώς τροφοδοτούμενο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων που βασίζεται στον μικροελεγκτή MSP430™ (MCU) χαμηλής ισχύος. Το kit eZ430-RF2500-SEH περιλαμβάνει μια μονάδα με υψηλής απόδοσης ηλιακά πάνελ που έχουν βελτιστοποιηθεί για λειτουργία σε εσωτερικούς χώρους κάτω από φωτισμό φθορισμού χαμηλής έντασης που παρέχουν αρκετή ενέργεια για να τροφοδοτήσουν έναν ασύρματο αισθητήρα χωρίς επιπλέον μπαταρίες. Αυτό το kit έχει, επίσης, εισόδους για εξωτερικές μηχανές ενέργειας και αποθηκεύει επιπλέον ενέργεια σε ένα ζευγάρι thin-film επαναφορτιζόμενων EnerChips. Η eZ430-RF2500 χρησιμοποιείται για να εκτελέσει την εφαρμογή μάστευσης ενέργειας και είναι ένα πλήρες ασύρματο εργαλείο ανάπτυξης MSP430 που βασίζεται σε USB. Το kit περιλαμβάνει ένα περιβάλλον εντοπισμού σφαλμάτων που επιτρέπει τον εντοπισμό σε πραγματικό χρόνο, στο σύστημα εντοπισμού σφαλμάτων και προγραμματισμού για την MSP430 και γίνεται επίσης διασύνδεση για τη μεταφορά δεδομένων σε έναν υπολογιστή από ένα ασύρματο σύστημα.



Εικόνα 9. Το KIT eZ430-RF2500-SEH

3.2 Μικρο-μετατροπείς για τη βέλτιστη απόδοση των Φ/Β στοιχείων ¹⁶

Το ολοκληρωμένο χαρτοφυλάκιο για τη μάρτυση ηλιακής ενέργειας από την εταιρεία Texas Instruments παρέχει δυνατότητες για μια ευρεία επιλογή αναλογικών στοιχείων, διαχείρισης ενέργειας καθώς επίσης και μικροελεγκτές ICs που απευθύνονται σε διασυνδεδεμένους κεντρικούς μετατροπείς, μικρο-μετατροπείς και μικρο-αντιστροφείς, καθώς και λύσεις φόρτισης μπαταρίας εκτός δικτύου, για να μεγιστοποιήσει το σημείο τροφοδοσίας και να παρέχει τη μέγιστη δυνατή αποδοτικότητα του συστήματος.

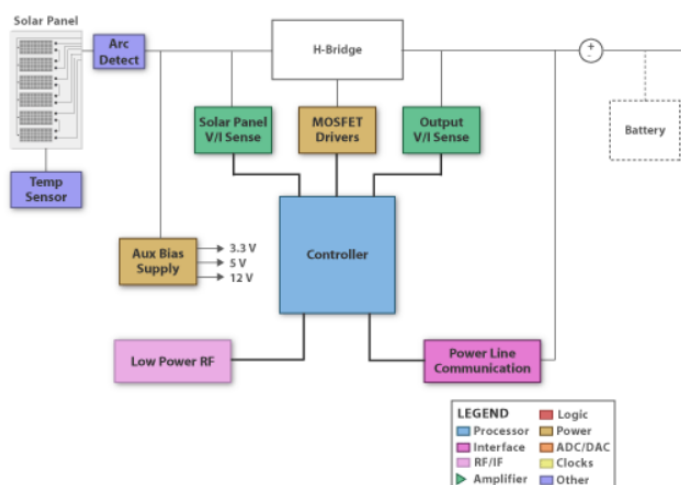
Οι MCUs DSP και ARM ® παρέχουν επίσης σύστημα ελέγχου και υποστηρίζουν τεχνολογίες επικοινωνίας συμπεριλαμβανομένων των επικοινωνιών μέσω γραμμών ισχύος (PLC), Ethernet, Δίαυλος CAN, και λύσεις χαμηλής ισχύος RF, όπως το ZigBee ®.

Μια ποικιλία από ICs διαχείρισης ενέργειας μπορεί να προσφέρει επιπλέον τροφοδότηση είτε από το DC ή τον ζυγό εναλλασσόμενου ρεύματος. Το χαρτοφυλάκιο αναλογικών ICs υψηλής απόδοσης παρέχουν, επίσης, ιδανικές διεπαφές για το MPPT αίσθησης ισχύος και τη γραμμή τροφοδοσίας επικοινωνιών, απομόνωση σε ευαίσθητα ηλεκτρονικά για επικοινωνίες και ρελέ ή διακόπτες ισχύος για αντηνισιδοποίηση σε συστήματα που απαιτούν συμμόρφωση με το

¹⁶<http://www.ti.com/lit/sl/slyy027/slyy027.pdf>

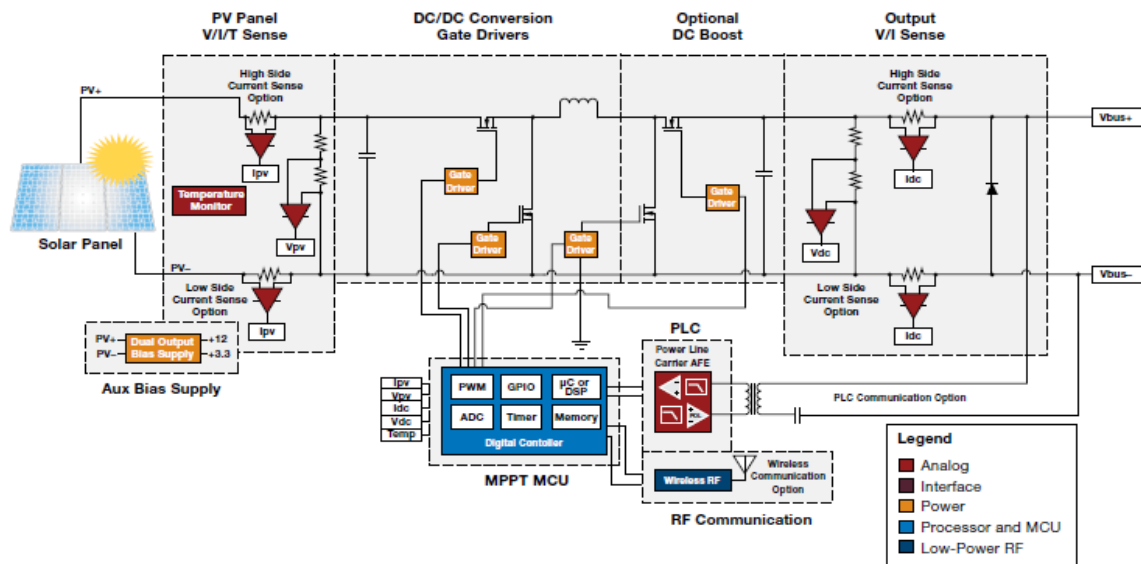
πρότυπο UL1741.

Οι μικρο-αντιστροφείς λειτουργούν παρόμοια με τα κεντρικά συστήματα inverter, αλλά είναι εγκατεστημένοι σε κάθε Φ/Β στοιχείο και ως εκ τούτου διαχειρίζονται πολύ λιγότερη ισχύ, συνήθως ως 300 W. Οι μικρο-αντιστροφείς παρέχουν το πλεονέκτημα της κλιμάκωσης για όσους θέλουν να ξεκινήσουν μικρές εφαρμογές, αλλά να έχουν πλήρη Μετατροπή DC / AC με MPPT, ενώ υπάρχει η δυνατότητα επέκτασης αργότερα.



Εικόνα 10. Μικρο-αντιστροφείς Φ/Β στοιχείων

Μικρο-μετατροπείς μεγιστοποιούν το σημείο τροφοδοσίας DC από ένα ηλιακό πάνελ και ενισχύουν ή υποβαθμίζουν την τάση DC, ώστε να μεταφέρεται στην κατάλληλη τιμή σε μια κεντρική μονάδα AC (διασυνδεδεμένου) μετατροπέα. Καθώς τοποθετούνται σε κάθε πλαίσιο, τα συστήματα αυτά έχουν χαμηλότερη ισχύ (300 W) σε σχέση με την κεντρική μονάδα. Αυτές οι συσκευές παρέχουν "βελτιστοποίηση", επειδή βελτιστοποιούν την απόδοση ισχύος κάθε πλαισίου ξεχωριστά, αυξάνοντας τη συνολική αποτελεσματικότητα του συστήματος.



Εικόνα 11. Μικρο-μετατροπείς Φ/Β στοιχείων

3.3 Συγκεντρωτικά στοιχεία από τη βιβλιογραφία

Εδώ παρουσιάζονται συγκεντρωτικά διάφορες μικροσυσκευές για τη μάζευση ενέργειας που έχουν καταγραφεί στη βιβλιογραφία. Ο πίνακας 3.1 παρουσιάζει τις μικροσυσκευές που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 (συσκευές που βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας).

Ηλιακό κύτταρο που τροφοδοτείται από τον ήλιο	EnOcean STM 300	70μW
Ηλιακό κύτταρο που τροφοδοτείται από λαμπτήρες φθορισμού	TI MSP 430	350 μW
Μικρές Α/Γ με μηχανή μονίμων μαγνητών	3μm/s, 100 cm ²	8mW
Μικρές Α/Γ με πιεζοηλεκτρικό στοιχείο	2,2 m/s	7,5mW
Μετατροπέας ενέργειας βροχής	φιλμ PVDF 30 cm ²	25mW/σταγόνα

Πίνακας 3. Ενεργειακή Κατανάλωση εμπορικών συσκευών μάζευσης ενέργειας

Ο πίνακας 3 περιλαμβάνει τις διατάξεις που έχουν παρουσιαστεί ερευνητικά και

εκμεταλλεύονται κάποιου είδους προϋπάρχουσα ανθρώπινη ή μηχανική κίνηση όπως:

- Χτύπημα του τακουνιού κατά το περπάτημα.
- Περπάτημα – τρέξιμο.
- Δονήσεις από το περιβάλλον.
- Πίεση διακύμανσης αιμοσφαιρίου.
- Λύγισμα γονάτου.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και οι ανεμογεννήτριες μπορούν να τροφοδοτήσουν επαρκώς μικρές συσκευές, δεδομένου ότι δεν απαιτείται συνεχής λειτουργία. Σε περίπτωση που απαιτηθεί συνεχής λειτουργία θα πρέπει να εγκατασταθεί και διάταξη αποθήκευσης (μπαταρία, υπερπυκνωτής), ώστε να αποθηκεύει την περίσσεια ενέργειας και να τροφοδοτεί το σύστημα τις ώρες που οι πηγές (ηλιακή ακτινοβολία, άνεμος) απουσιάζουν. Κάτι τέτοιο αυξάνει το μέγεθος και το κόστος μιας συσκευής.

Η ενέργεια από την πτώση των σταγόνων βροχής μπορεί να αξιοποιηθεί με τη χρήση πιεζοηλεκτρικών υλικών, αλλά πάλι εξαρτάται από τη βροχόπτωση και δεν μπορεί να θεωρηθεί αδιάλειπτη.

Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται οι συσκευές που έχουν καταγραφεί σχετικά με την αξιοποίηση της ανθρώπινης και μηχανικής κίνησης και παρατίθεται τόσο η ισχύς εξόδου κάθε διάταξης, όσο και η πυκνότητα ισχύος, δηλαδή, τα μW ανά μονάδα όγκου της συσκευής. Κάτι τέτοιο είναι σημαντικό, καθώς οι μικροσυσκευές έχουν σαν σκοπό την ενσωμάτωση σε άλλες διατάξεις ή ακόμα και μέρη του σώματος, όπου το μέγεθος και το βάρος δεν είναι επιθυμητές ιδιότητες.

Παρατηρούμε ότι, η πυκνότητα ισχύος των συσκευών που στηρίζονται στην ηλεκτρομαγνητική κίνηση κυμαίνεται από 0,07 ως 2208,3 $\mu\text{W}/\text{cm}^3$, για την ηλεκτροστατική κίνηση από 0,21 ως 58 $\mu\text{W}/\text{cm}^3$ και για την πιεζοηλεκτρική κίνηση από 2,47 ως 15000 $\mu\text{W}/\text{cm}^3$. Η μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος στην ηλεκτρομαγνητική κίνηση αφορά μία ηλεκτρομηχανική γεννήτρια που στηρίζεται

στις δονήσεις, στην ηλεκτροστατική κίνηση σε γεννήτρια που αξιοποιεί την κίνηση του ανθρώπινου σώματος, και στην πιεζοηλεκτρική κίνηση σε βελτιστοποιημένη γεννήτρια που αξιοποιεί την ενέργεια τυχαίων δονήσεων.

Συμπερασματικά, το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο μπορεί να αποφέρει σημαντικές αποδόσεις σε επίπεδο μικροσυσκευών, τόσο στην εφαρμογή του όσον αφορά δονήσεις που μπορεί να συμβαίνουν στη μηχανή ενός αυτοκινήτου κατά την οδήγηση, σε ένα πλοίο, στην ανθρώπινη κίνηση, στην πίεση στα ανθρώπινα υποδήματα ή σε δρόμους από το βάρος των διερχόμενων αυτοκινήτων. Δευτερευόντως, ηλεκτρομαγνητική επαγωγή μπορεί να αξιοποιήσει παλινδρομικές κινήσεις, από το τακούνι υποδήματος κατά το ανθρώπινο περπάτημα και διάφορες δονήσεις, όπως περιγράφηκαν ανωτέρω. Η κίνηση του ανθρώπινου σώματος θα μπορούσε, επίσης, να τροφοδοτήσει ηλεκτροστατικές γεννήτριες με μικρότερη απόδοση.

Όσον αφορά την τροφοδοσία από μικροσυσκευές που στηρίζονται σε ανανεώσιμες πηγές όπως ο άνεμος, ο ήλιος και η βροχή, έχουν ήδη αποδείξει την αξιοπιστία τους σε μεγαλύτερα συστήματα. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι πιο αξιόπιστη σε σχέση με τον άνεμο, ο οποίος στη μικροκλίμακα των συσκευών αυτών επιφέρει αποδόσεις μέχρι 5%. Αντιθέτως, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε μικροσυσκευές φτάνουν σε τιμές απόδοσης ως και 15%. Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα είναι η περίπτωση της τροφοδοσίας των ηλιακών στοιχείων μέσω του φωτός λαμπτήρων φθορισμού, στην περίπτωση, όμως, που το σύστημα ήδη διαθέτει αυτούς τους λαμπτήρες για τη λειτουργία του.

<i>Αρχή λειτουργίας</i>	<i>A/A</i>	<i>Ισχύς (μW)</i>	<i>Πυκνότητα ισχύος (μW/cm³)</i>
	1	100	100
	2	5	5
	3	10	8,06
	4	0,33	22
	5	530	2208,3
	6	680	680
	7	830	830
	8	1,44	40
	9	800	6,1
	10	3500	27
	11	40000	306
	12	800	6
<i>Ηλεκτρομαγνητική κίνηση</i>	13	3100	23
	14	10800	81
	15	58	58
	16	36	2,42
	17	0,21	0,21
	18	6	15
	19	1000	56
	20	1,8	1,8
<i>Ηλεκτροστατική κίνηση</i>	21	2,4	4
	22	80	80
	23	90	90
	24	180	180
	25	700	145
	26	1000	88
	27	300000	2650
	28	180	15000
	29	2,16	20
	30	0,25	3510
	31	0,17	2,47
	32	16,3	82
	33	8000	198
<i>Πιεζοηλεκτρική κίνηση</i>	34	1800	45

Πίνακας 4. Ενεργειακή Κατανάλωση Ερευνητικών Συσκευών μάλιστα ενέργειας

Κεφάλαιο 4. Περιγραφή λειτουργίας του συστήματος

4.1 Αιτιολόγηση της έρευνας

Οι δύο μεγάλες αντιδράσεις στην υπερθέρμανση του πλανήτη είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η προσαρμογή των ανθρώπινων δραστηριοτήτων προς αυτή την κατεύθυνση. Η κύρια διεθνής συμφωνία για την καταπολέμηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι το Πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο έχει ως στόχο τη σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου. Η κύρια μέθοδος που εξετάζεται για την εφαρμογή της συνθήκης είναι το εμπόριο εκπομπών με τις εταιρείες να αγοράζουν πιστώσεις, ώστε να εκπέμπουν σε μια αγορά, εντός ενός ορίου που καθορίζεται από την κυβέρνηση της εκάστοτε χώρας.

Σε αυτό το πλαίσιο είναι πολύ σημαντικό να μπορούν να μετρηθούν οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τις Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) και με ποιόν τρόπο θα επιτευχθεί η μείωση τους.

Η βιωσιμότητα περιλαμβάνει κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές δομές. Ένα καλό παράδειγμα αυτού είναι τα ζητήματα γύρω από την αλλαγή του κλίματος και την υπερθέρμανση του πλανήτη, ειδικά με την αναμενόμενη μακροπρόθεσμη σημαντική αύξηση της μέσης θερμοκρασίας σε όλο τον κόσμο. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) ανέφερε ότι κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, η θερμοκρασία έχει αυξηθεί λόγω της αύξησης των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό είναι πιο πιθανό να οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα («ανθρωπογενείς παράγοντες»).

Το κύριο ανθρωπογενές αέριο του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) με αύξηση των συγκεντρώσεων που οφείλονται στην καύση ορυκτών καυσίμων και το deforestation. Αυτά που σχετίζονται με τις ΤΠΕ, είναι η καύση των ορυκτών καυσίμων, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ο οποίος στη συνέχεια χρησιμοποιείται στους υπολογιστές και τις τηλεπικοινωνίες.

Ποιες είναι οι επιπτώσεις, οι τόσο αρνητικές όσο και θετικές των ΤΠΕ; Σε ποιο βαθμό λαμβάνονται αυτές υπόψιν κατά την επιλογή εξοπλισμού ηλεκτρονικών υπολογιστών; Πώς θα αλλάξει αυτό με το εμπόριο εκπομπών ρύπων και την υποχρεωτική δήλωση των εκπομπών CO₂;

Μεταξύ των στόχων του Green ICT, μπορεί να περιλαμβάνονται και η μείωση της χρήσης επικίνδυνων υλικών, η μείωση ενέργειας που καταναλώνει ο εξοπλισμός, η ανακύκλωση και η βιολογική αποδόμηση των απορριπτόμενων συσκευών. Σε αυτό το πλαίσιο, οι μέθοδοι που παραπέμπουν στις πράσινες ΤΠΕ είναι οι εξής:

Ενεργειακή απόδοση κέντρων δεδομένων και συστημάτων δικτύων

- Μείωση της χρήσης ενέργειας βάσει λογισμικού
- Cloud computing
- Αποϋλοποίηση (virtualization),
- Τηλεδιασκέψεις και τηλεπαρουσία
- Ευφυή συστήματα μεταφορών και απομακρυσμένης διαχείρισης εμπορευμάτων
- Τηλεκπαίδευση
- Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Μεγάλες εταιρείες όπως η Microsoft, η Google και η Yahoo έχουν ισχυρή δυνατότητα να συμβάλλουν στην επίτευξη των πράσινων στόχων στις ΤΠΕ. Μικρότερες εταιρείες, που δεν έχουν αντικείμενο τις ΤΠΕ αλλά τις χρησιμοποιούν σαν εργαλείο, πολλές φορές έχουν τμήματα πληροφορικής που είναι υπεύθυνα για την ενσωμάτωση των μεθόδων Green ICT στη λειτουργία της επιχείρησης.

Στις μέρες μας καταγράφεται μία σύγχρονη τεχνολογική τάση και αξιοσημείωτο ενδιαφέρον για την εφαρμογή εναλλακτικών μορφών ενέργειας σε ηλεκτρομηχανολογικά και ηλεκτρονικά τεχνολογικά συστήματα, με απώτερο στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους και τη συμμόρφωση με αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι εφαρμογές που

χρησιμοποιούν εξωτερική τάση ή τροφοδοσία μέσω μπαταρίας να είναι εφικτό να τροφοδοτούνται και να λειτουργούν αυτόνομα μέσω καθαρής και ανακυκλώσιμης ενέργειας. Χάρη σε αυτές τις καινοτόμες μεθόδους, συστήματα και εφαρμογές δύνανται να λειτουργήσουν αυτόνομα με μορφές ενέργειας που είναι φιλικές προς το περιβάλλον και συνάμα οικονομικά αποδοτικές.

M2M τεχνολογία

Στην έρευνα αυτή θα εξεταστεί το internet των “Πραγμάτων” ή αλλιώς το Internet of Things¹⁷. Το Internet of Things (IoT) είναι μια έννοια που βασίζεται σε machine -to-machine (M2M) τεχνολογία. Ένα “πράγμα” ή αλλιώς “Thing” είναι οποιαδήποτε έξυπνη συσκευή που μπορεί να δημιουργήσει, να λάβει και να διαβιβάσει φιλτραρισμένα ή αφιλτράριστα δεδομένα σε οποιαδήποτε υποδομή ή εγκατάσταση η οποία μπορεί να τα επεξεργαστεί σε πραγματικό χρόνο.

Το νόημα της λειτουργίας (M2M) τεχνολογίας μπορεί να έχει αξία μόνο με αμφίδρομη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των συσκευών σε πραγματικό χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η ανάπτυξη πολύ έξυπνων συσκευών που έχουν τη δυνατότητα η μία να γνωρίζει την κατάσταση της άλλης. Αντιθέτως αν η μεταφορά των δεδομένων και η διασυνδεσιμότητα δεν γίνονταν σε πραγματικό χρόνο, θα απαιτούνταν τότε οι συσκευές να αποτελούνται από μεγάλες μνήμες, μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, μεγάλες μπαταρίες για την αποθήκευσή της και πολλαπλούς πόρους για τη λειτουργικότητα της συσκευής.

Σε ορισμένες περιπτώσεις η συσκευή η οποία κατασκευάστηκε θα μπορούσε να επεξεργάζεται τα δεδομένα της πριν την αποστολή τους. Αυτό είναι που κάνει την προκύπτουσα έννοια του InternetofThings μοναδική, καθώς θα είναι ένα περιβάλλον με πρωτοφανή λειτουργικότητα και πληθώρα επιχειρηματικών ευκαιριών που θα συμπληρωθεί με δισεκατομμύρια συσκευές που μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους με διάφορους τρόπους, πολλοί από τους οποίους δεν μπορούν να προβλεφθούν ακόμη.

Το μέλλον πρόκειται να είναι “συνδεδεμένο” και σε πολλές αν όχι όλες τις

¹⁷ paperhttp://www.telit.com/fileadmin/user_upload/media/telit_lte-m2m_wp.pdf

περιπτώσεις, η λειτουργικότητα της συνδεσιμότητας που θα παρέχεται θα γίνει αόρατο μέρος της καθημερινής εμπειρίας μας. Ωστόσο θα δούμε, επίσης, μια δραματική αλλαγή στη ζωή μας σε σχέση με τον τρόπο δραστηριοποίησης και εμπορευματοποίησης προϊόντων.

4.2 To Cloud Computing στην υπηρεσία της εξοικονόμησης ενέργειας

Η συγκεκριμένη έρευνα, προκρίνει την εγκατάσταση της υπηρεσίας Tracking & Monitoring σε Virtual Machines (VM's) και στο λεγόμενο Cloud Computing, με απώτερο στόχο να φέρει τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Εξοικονόμηση ενέργειας.
- Τη μη αναγκαστική επένδυση σε κάποιο Computer Room μέσα στην υποδομή του πελάτη.
- Τη μη αναγκαστική ανανέωση των SERVER που θα φιλοξενούσαν την εφαρμογή του Tracking & Monitoring.
- Την απομακρυσμένη πρόσβαση από οπουδήποτε.

Εδώ αξίζει να κάνουμε μια μικρή παρένθεση και να αναφέρουμε πως η παραπάνω λογική χρήσης του CloudComputing είναι απaráμιλλα καλύτερη από κάποια άλλη.

Είναι απολύτως πιο λογικό στις ημέρες μας, μια εταιρεία να μισθώνει την υπηρεσία της, αναπτύσσοντας επαγγελματική σχέση με DataCenters που μπορούν την υποστηρίζουν. Τα DataCenters (DC's) μισθώνουν servers από μεγάλους κατασκευαστές, όπως είναι για παράδειγμα η Hewlett-Packard (HP). Δεν αφήνουν τα μηχανήματα τους να φθαρούν από την πάροδο του χρόνου εξ ου και ο όρος “μίσθωση” ενώ μπορούν να παρέχουν στο πελάτη τους Services Availability έως και 99,9% ετησίως, τέλος έχουν απαραίτητο εξειδικευμένο προσωπικό για υποστήριξη σε περίπτωση προβλήματος και αποκατάστασής του.

4.3 Στόχος της έρευνας

Η έρευνα έχει ως στόχο να συνεισφέρει στην παρούσα κατάσταση της διαχείρισης εμπορευματοκιβωτίων στη ναυτιλία. Περίπου 5.000.000 με 6.000.000 εμπορευματοκιβώτια διασχίζουν τη θάλασσα ανά πάσα στιγμή¹⁸. Ειδικά οι ΗΠΑ εισάγουν περισσότερα πράγματα με αυτόν τον τρόπο από οποιαδήποτε άλλη χώρα.

Αυτό αντιστοιχεί σε σχεδόν 20.000.000 εμπορευματοκιβώτια κάθε χρόνο που περιλαμβάνουν οτιδήποτε, από γαριδάκια μέχρι τοξικές χημικές ουσίες. Ωστόσο, δεν φτάνουν πάντα στον προορισμό τους. Η φουρτουνιασμένη θάλασσα αδιαφορεί για τα ανθρώπινα υπάρχοντα, και εκτιμάται ότι χιλιάδες εμπορευματοκιβώτια χάνονται κάθε χρόνο κατά μήκος των οδών διεθνούς ναυτιλίας, λόγω των μεγάλων κυμάτων ή των ριπών του ανέμου. Από έρευνες που έχουν γίνει, έχει παρατηρηθεί πως κάθε ώρα χάνεται ένα εμπορευματοκιβώτιο, επειδή πέφτει από το πλοίο που το μεταφέρει, με αποτέλεσμα κατά μέσο όρο να χάνονται περίπου 10.000 εμπορευματοκιβώτια.



Εικόνα 12. Πτώση Container στην Θάλασσα

Έχει επισημανθεί, επίσης, πως παρουσιάζονται πολλές καθυστερήσεις στην

¹⁸ <http://www.iefimerida.gr/news/163729/>

παράδοση των πραγμάτων που περιλαμβάνονται μέσα στα εμπορευματοκιβώτια. Ο λόγος πολλές φορές είναι επειδή τα λιμάνια εκφόρτωσης δεν έχουν το κατάλληλο ανθρώπινο δυναμικό, ώστε να μπορεί να διεκπεραιώσει όλες τις γραφειοκρατικές εργασίες που πρέπει να γίνουν, ενώ δεν μπορούν να φανούν αντάξιοι στις μεγάλες απαιτήσεις και αλλαγές που έχουν γίνει στην παγκόσμια ναυτιλία. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα εμπορευματοκιβώτια να μην φεύγουν στον κατάλληλο χρόνο από το λιμάνι. Ενώ έχει πολλά δυσάρεστα αποτελέσματα, πρώτον ότι οι δικαιούχοι αργούν να παραλάβουν τα πράγματα που παρήγγειλαν και δεύτερον το λιμάνι χάνει την αξιοπιστία του, με αποτέλεσμα να πληρώνονται πολλές ποινικές ρήτρες και από τις δύο πλευρές.

Η συμφόρηση μέσα στα λιμάνια φόρτωσης-εκφόρτωσης πολλές φορές κάνει να καθυστερούν την παράδοση των εμπορευματοκιβωτίων στους τελικούς παραλήπτες τους κατά εβδομάδες. Εκεί, λοιπόν, που κάποια λιμάνια παλαιότερα μπορούσαν να διεκπεραιώνουν μέχρι και το 39 έως 40% της συνολικής εθνικής εισαγωγής προϊόντων, οι παγκόσμιες ανάγκες και αλλαγές τα έχει υποβαθμίσει με μορφή ντόμινο σε πολύ μικρότερα ποσοστά λόγω της αναξιοπιστίας τους. Οι απώλειες που σημειώνονται στις μετοχές των ναυτιλιακών εταιρειών μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και των λιμένων φόρτωσης εκφόρτωσης είναι τεράστιες.

Οι λιμένες επενδύουν κάθε χρόνο δισεκατομμύρια δολάρια για την προέκταση χώρου στάθμευσης και προσωπικού ενώ οι ναυτιλιακές εταιρείες μεταφοράς δεν μπορούν να αντέξουν το μεγάλο κόστος και αναγκάζονται να πουλούν τις μετοχές ή ακόμα και να συγχωνεύονται με άλλες εταιρείες του ίδιου κλάδου.

Σκεφτείτε πόσο καλύτερα θα ήταν τα πράγματα για όλους, αν υπήρχε στην επιφάνεια των container μια μονάδα εντοπισμού θέσης, όπου θα μπορούσε on-demand να δίνει το γεωγραφικό μήκος-πλάτος θέσης του εμπορευματοκιβωτίου σε κάποιον έμπορο ή μεταφορέα. Επίσης, πόσο σημαντικό θα ήταν μέσω των συγκεκριμένων δεδομένων να μπορούσε να γίνει μια ετήσια ποσοστιαία ανάλυση που θα απεδείκνυε τον λόγο καθυστέρησης του εμπορεύματος. Τέλος θα μειώνονταν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω των πτώσεων τους στη θάλασσα κατά τη μεταφορά τους αν μετέδιδαν τη θέση τους σε περίπτωση που ένα accelerometer καταλάβαινε τη διαφορά μετάπτωσης στον x,y,z άξονα.

Ως εκ τούτου, στην παρούσα έρευνα επιχειρείται ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η επικύρωση ενός ηλεκτρονικού συστήματος εντοπισμού και απομακρυσμένου ελέγχου με δυνατότητα μάστευσης, αποθήκευσης και παροχής ενέργειας από εναλλακτικές πηγές. Θα έχει τη δυνατότητα αυτονομίας για μεγάλο χρονικό διάστημα, καθώς δεν θα απαιτείται η χρήση μπαταρίας και τυχόν αντικατάσταση της, συνεπώς δεν θα απαιτείται ο ανθρώπινος παράγοντας για τον σκοπό αυτό.

Όπως έχει αναφερθεί ανωτέρω, παρόμοιες κατασκευές στην αγορά χρησιμοποιούν μπαταρίες μιας χρήσης. Η καινοτομία στην προκείμενη έρευνα είναι πως η κατανάλωση ισχύος θα γίνεται από πυκνωτές βιομηχανικού τύπου τους λεγόμενους “SuperCapacitors” Υπερπυκνωτές. Για να επιτευχθεί η απαιτούμενη συσσώρευση, ώστε να πετύχουμε την αναμενομένη αυτονομία, απαιτούνται διατάξεις, ολοκληρωμένα κυκλώματα και chipsets πολύ χαμηλής κατανάλωσης ισχύος.

Κεφάλαιο 5. Χαμηλής ισχύος Υβριδικός πομποδέκτης GPS/IRIDIUM

Στην αρχή του συγκεκριμένου έργου προσπαθήσαμε να σχεδιάσουμε την αρχιτεκτονική και την διάταξη του συστήματος με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, δηλαδή, εκείνον που θα ήταν ανάλογος με μια συσκευή συσσώρευσης ενέργειας από εναλλακτικές πηγές. Ο πρωταρχικός στόχος της έρευνας αυτής ήταν ένα καινοτόμο σύστημα που θα βασίζονταν σε πολύ χαμηλή κατανάλωση και θα ήταν συγχρόνως μοναδικό στο είδος του.

Έπρεπε, λοιπόν, να σχεδιαστεί ένα σύστημα του οποίου ο στόχος ήταν να λειτουργεί με εναλλακτικές πηγές και ταυτόχρονα να μπορεί να επιμηκύνει τη διάρκεια λειτουργίας του σε πολλαπλά έτη, ώστε να μην απαιτείται η ανθρώπινη παρέμβαση για την αλλαγή του στοιχείου αποθήκευσης ενέργειας. Μελετήθηκαν τρεις εναλλακτικοί τρόποι για την επίτευξή του, παρακάτω παρουσιάζονται οι δύο από αυτούς:

Ο πρώτος τρόπος που μελετήθηκε ήταν και ο πλέον καινοτόμος, καθώς αποσκοπούσε στην κατασκευή ενός Υβριδικού δέκτη GPS-IRIDIUM και ενός πομπού IRIDIUM πολύ χαμηλής κατανάλωσης που θα είχε τη δυνατότητα λειτουργίας έως και πέντε (5) χρόνια. Στην πράξη θα χρειαζόταν να γίνει η ανάπτυξη σε FPGA Chipset επίπεδο, το οποίο θα συμπεριελάμβανε την ανάπτυξη ενός GPS/AGPS single die δέκτη με ενσωματωμένο CMOS RF και Baseband επεξεργαστή, που θα πρέπει να διασυνδεθεί με έναν πομπό αποστολής μηνυμάτων μέσω του παγκόσμιας εμβέλειας δικτύου της Iridium.

Η συγκεκριμένη ανάπτυξη απαιτούσε πολύ μεγάλη προσπάθεια, ενώ ο χρόνος και η εκτίμηση του κόστους για την υλοποίησή της ίσως και να μην παρείχε το δικαίωμα πραγματοποίησής της. Ο λόγος, βέβαια, δεν είναι μόνο οικονομικός αλλά και ουσιαστικός, καθώς θα αναιρούσε την ήδη δομημένη αρχιτεκτονική που χρησιμοποιεί η Iridium και θα έπρεπε να κατοχυρωθεί η καινούργια δημιουργώντας ίσως επανάσταση για τα δεδομένα των δορυφορικών συστημάτων.

5.1 Ανάπτυξη με τεχνολογία FPGA

Αυτός, λοιπόν, ο καινοτόμος τρόπος θα απαιτούσε περαιτέρω ανάπτυξη με τη χρησιμοποίηση δύο FPGA Chipsets. Το πρώτο θα αφορούσε το FPGA ενός GPS/AGPS receiver με επιμήκυνση της λειτουργίας στον ενσωματωμένο CMOS RF δέκτη και στον Base Band Processor που δεν θα μπορούσε να ήταν άλλος από έναν ARM. Το δεύτερο FPGA θα αφορούσε την επεξεργασία σήματος σε επίπεδο Data, ώστε να μπορεί να τρέχει το πρωτόκολλο επικοινωνίας της Iridium και να αναλύει τα σήματα από την έξοδο του CMOS RF του υπάρχοντος GPS Receiver.

Αξίζει να αναφερθεί ότι δεν θα χρειάζονταν να αλλάξει τίποτα αναφορικά με το λογισμικό στον κεντρικό επεξεργαστή και τη δομή λειτουργίας του. Εκείνο που θα χρειάζονταν να γίνει θα ήταν να χρησιμοποιηθεί μια δεύτερη μνήμη Flash, ώστε το Application Software να μπορεί να δουλέψει ταυτόχρονα με τα δύο πρωτόκολλα επικοινωνίας, του Iridium αλλά και του GPS που ήδη χρησιμοποιεί το ChipSet.

Στην έρευνα αυτή μελετήσαμε τον Baseband ARM926EJ-S¹⁹. Ο τύπος αυτός των επεξεργαστών είναι της οικογένειας ARM9 και αποτελεί χαμηλής κατανάλωσης επεξεργαστή. Ουσιαστικά δεν θα μπορούσαμε να περιορίσουμε τη λειτουργία του GPS receiver στο FPGA, αυτό που θα απαιτούνταν είναι μόνο να εξελίσσονταν έτσι η λειτουργία του συστήματος, ώστε να μπορεί να λειτουργεί ως Iridium Transceiver. Το αποτέλεσμα αυτής της μελέτης περιγράφει ένα υβριδικό δέκτη ο οποίος θα μπορούσε να δέχεται σήματα και από τα δύο παγκόσμιας εμβέλειας δίκτυα GPS και Iridium, χωρίς βέβαια το **ένα να επηρεάζει και να αναιρεί το άλλο**, δημιουργώντας τυχόν ηλεκτρομαγνητική ασυμβατότητα και παρεμβολές.

Η συγκεκριμένη έρευνα Υβριδικού πομποδέκτη είναι απόλυτα τεκμηριωμένη λύση που χρήζει δυνατότητα δημοσίευσης, καθώς είναι πρακτικά υλοποιήσιμη παρά τις δυσκολίες υλοποίησής της.

Η μελέτη έγινε με τη βοήθεια δύο εταιρειών που είναι κατασκευαστές GPS

¹⁹ <https://www.arm.com/products/processors/classic/arm9/arm926.php>

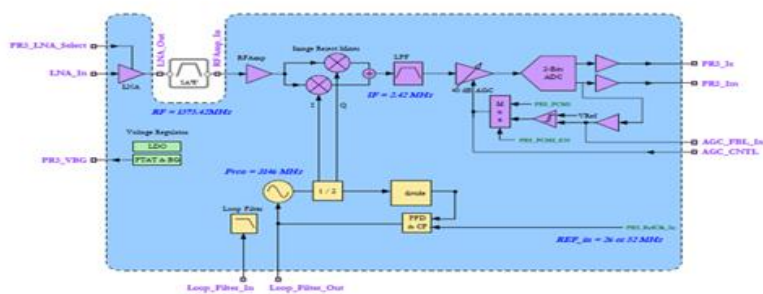
receiver Chipset. Κατά τη διάρκεια αυτής της έρευνας διατυπώθηκαν όλες οι απαραίτητες διευκρινίσεις και οι δυσκολίες για την υλοποίηση του πομποδέκτη. Είναι, βέβαια, γεγονός ότι ξεπεράστηκαν οι όποιες δυσκολίες και φαντάζει μια δυνατή η επίτευξη του στόχου μας, καθώς με αυτή τη μέθοδο ένας GPS Receiver με RF Front End μπορεί να μετατραπεί ως δέκτης δύο διαφορετικών τεχνολογιών.

Αρχικά το υπάρχον Front End δεν φάνταζε πως θα μπορούσε να υποστηρίξει την δυνατότητα λήψης μηνυμάτων Iridium εκτός από εκείνων μόνο GPS. Η διαφορά στη συχνότητα ενός πομποδέκτη Iridium με αυτόν ενός δέκτη GPS είναι μικρή, της τάξης περίπου του ενός Hertz. Έτσι, λοιπόν, έπρεπε να προσδιοριστεί πώς θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το εν λόγω Front End με εξωτερικό LNA 1,6GHz και με BPF, διαμορφώνοντας κατάλληλα τη συχνότητα στο Baseband, έτσι ώστε να μην δημιουργηθεί πρόβλημα στην ενδιάμεση IF συχνότητα που προκύπτει από το RF και το Baseband στο υπάρχον chipset (IF=2,42MHz) που λειτουργεί μόνο ως GPS Receiver.

Επίσης, μελετήσαμε το Bandwidth στο LPF κάτι που μπορούσε να δημιουργήσει τις όποιες διασυμβολικές παρεμβολές. Όμως οι δια-συμβολικές παρεμβολές δεν θα ήταν εφικτό να υπάρξουν, καθώς το S/N του GPS είναι πολύ μικρό της τάξης των (-130dBm), ενώ αντίστοιχα το Signal Level του σήματος βασικής ζώνης για το Iridium έχει ευαισθησία (-121.5dBm) γεγονός που μας λύνει τα προβλήματα στον CMOS RF.

Στην παρακάτω εικόνα γίνεται κατανοητή η διάταξη ενός εξωτερικού CMOS RF.

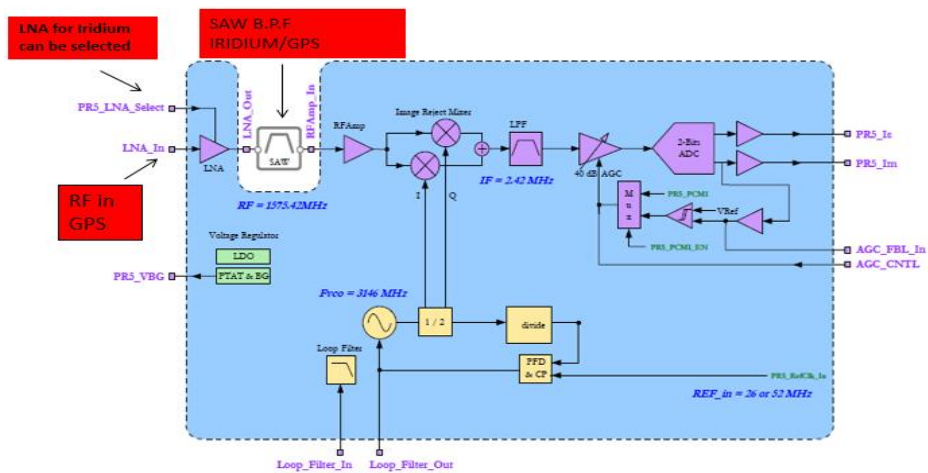
Same receiver for two different technologies only by adding External LNA and Band Pass Filter
 1. GPS signal
 2. Iridium Signal
 How it will Work: One by one reception level.
 A) System will receive GPS signal.
 B) DSP will stop GPS signal reception.
 C) Start receiving Iridium signal



Εικόνα 13. Λογική Υβριδικού Πομποδέκτη

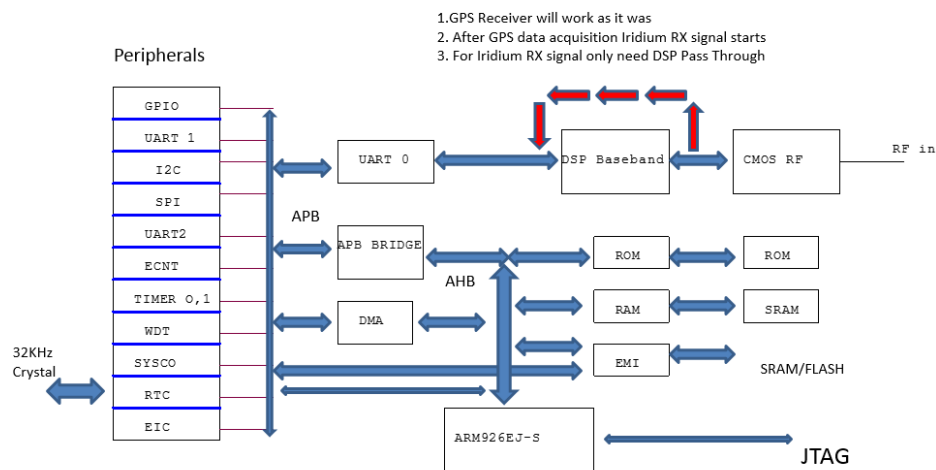
Ενώ αντίστοιχα η εικόνα 13 περιγράφει τις μετατροπές που πρέπει να γίνουν στον CMOS RF για να να μπορέσει να υποστηρίξει την δυνατότητα λήψης σημάτων από

το δορυφορικό δίκτυο της Iridium.



Εικόνα 14. Αρχιτεκτονική λειτουργίας Υβριδικού πομποδέκτη Iridium

Στην εικόνα 15 φαίνεται η αρχιτεκτονική του Chipset γενικά. Σε αυτήν έπρεπε να παρακάμψουμε τον DSP πίσω από το RF-Fron-End, ο οποίος υποστηρίζει το πρωτόκολλο επικοινωνίας και το Software application του GPS, όμως αυτό δεν ήταν δυνατό να επιτευχθεί.



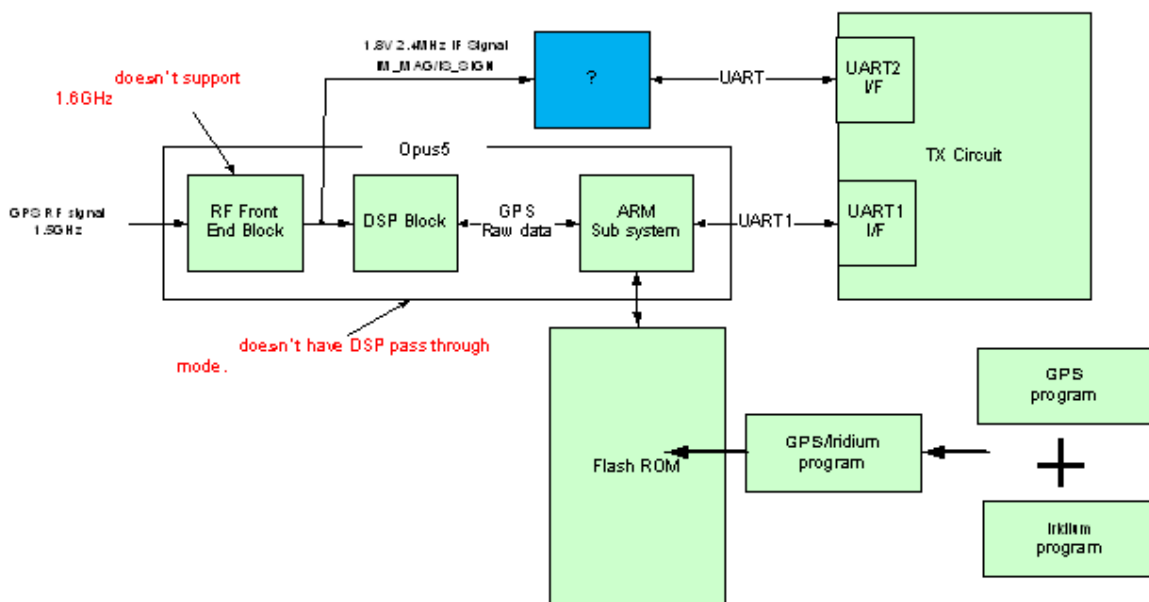
Εικόνα 15. Μετατροπή του ChipSet με τρόπο Pass Through

Ο λόγος που δεν ήταν δυνατό να επιτευχθεί η παράκαμψη του DSP ήταν διότι δεν υποστηρίζει υπηρεσία Pass-through Mode. Η μόνη λύση, επομένως, ήταν από την

έξοδο του RF-Front End Block να μπορέσει το σήμα Iridium να πάει κατευθείαν μέσω UART στο TX circuit και αντίστοιχα στον ARM επεξεργαστή. Για να μπορεί, όμως, να επιτευχθεί αυτό θα έπρεπε τα ψηφιακά σήματα από την έξοδο του RF Front End (IM_MAG and IS_SIGN) να δρομολογηθούν σε εξωτερικό UART Converter στην κεντρική μονάδα του υβριδικού συστήματος.

Τα ψηφιακά σήματα (IM_MAG and IS_SIGN) δεν μπορούν να αναγνωριστούν απευθείας από κάποιο UART, γι' αυτό το λόγο θα ήταν λογικό σε επίπεδο HW και FPGA να τοποθετηθεί ένας Converter ο οποίος να μπορεί να μετατρέπει το Format των συγκεκριμένων σημάτων στο αντίστοιχο serial format που υποστηρίζει το UART. Ενώ το εξωτερικό FPGA θα υποστηρίζει, επίσης, σε επίπεδο Data το πρωτόκολλο επικοινωνίας Iridium και θα επιστρέφει στον ARM μέσω της σειριακής θύρας τις απαραίτητες πληροφορίες.

Η εικόνα 15 περιγράφει αναλυτικά την αρχιτεκτονική για τον υβριδικό πομποδέκτη.



Εικόνα 16. Αρχιτεκτονική Υβριδικού Πομποδέκτη

Τον Υβριδικό δέκτη θα φρόντιζε να ζευγαρώσει με επιτυχία ένας πομπός ο οποίος θα είχε την δυνατότητα να στέλνει δεδομένα μέσω Iridium. Με αυτόν τον τρόπο

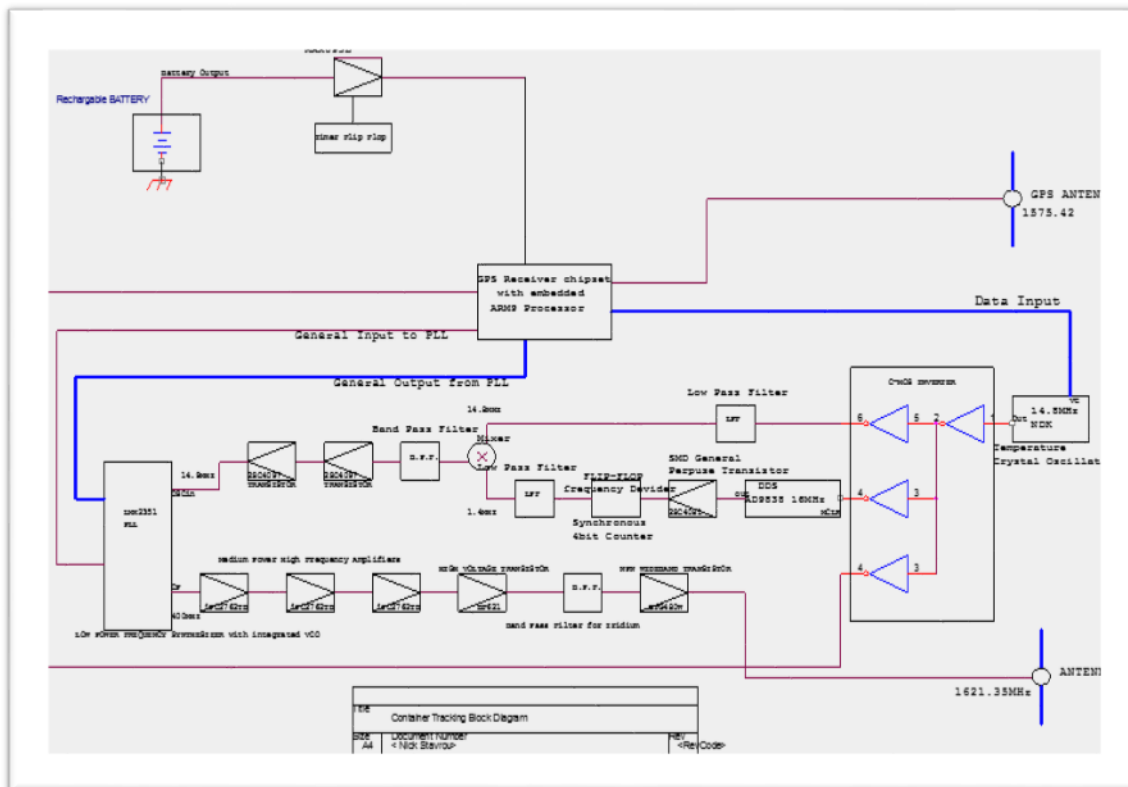
απλά αυξάνεται η δυνατότητα λειτουργίας του συστήματος, για να μπορεί να επικοινωνεί μέσω IRIDIUM, ενώ θα μειωθεί σημαντικά το κόστος παραγωγής. Τέλος, η όλη υποδομή GPS και IRIDIUM TX/RX θα βασίζονταν στην ίδια αρχιτεκτονική και στον ίδιο επεξεργαστή, ενώ το Bill of Materials (BOM) θα ήταν σημαντικά μειωμένο.

5.2 Ανάπτυξη πομπού για τον Υβριδικό πομποδέκτη 1 iridium

Παρακάτω φαίνεται ο αρχικός σχεδιασμός του πομπού για τον υβριδικό πομποδέκτη Iridium.

Αξίζει να τονιστεί πως ο συγκεκριμένος σχεδιασμός είναι ρεαλιστικός και θα μπορούσε να γίνει printed circuit σε κάποια πλακέτα. Παρόλα αυτά δεν φαντάζει κατάλληλος καθώς είναι εξαρτημένος από διατάξεις και στοιχεία, η αλυσίδα των οποίων με την βοήθεια της τεχνολογίας θα μπορούσε να ενσωματωθεί σε κάποιο Chipset όπως θα παρουσιαστεί στην επόμενη παράγραφο.

Διάταξη πομπού για τον Υβριδικό πομποδέκτη 1 iridium



Εικόνα 17. Block Διάγραμμα πομπού 1 Iridium

5.3 Ανάπτυξη πομπού για τον Υβριδικό πομποδέκτη 2 Iridium

Η εταιρεία RFMD, μας βοήθησε αρκετά, ώστε να απλουστεύσουμε την αρχιτεκτονική του αρχικού παραπάνω κυκλώματος πομπού Iridium και να μειώσουμε το BOM του. Έτσι λοιπόν καταφέραμε να υλοποιήσουμε την αρχιτεκτονική του πομπού με βάση τα δικά της στοιχεία και διατάξεις.

Παρακάτω φαίνεται η δεύτερη αρχιτεκτονική και τα αποτελέσματα των μετρήσεων, ώστε να υπάρξει η απαραίτητη διαμόρφωση και η αναμενόμενη ισχύς σήματος με στόχο την επικοινωνία με το δορυφορικό δίκτυο της Iridium.

Το ενδιαφέρον μας προς την RFMD ξεκίνησε σχετικά με την χρησιμοποίηση ενός Up-Converter με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- a) Band: 1610 to 1626.5
- b) Pout: up to 25dBm
- c) Gain up to 20dB
- d) Supply voltage: 2-5V
- e) Including: VCO, PLL, mixer and PA driver
- f) Δυνατότητα σύνδεσης για διαμόρφωση PSK τεσσάρων επιπέδων
- g) Δυνατότητα σύνδεσης BPF φίλτρο

UpConverter

Σύμφωνα με τη μελέτη των προϊόντων της RFMD φάνηκε αποτελεσματικότερο το μοντέλο RFMD2080²⁰ το οποίο φαντάζει να είναι ιδανικό για την απευθείας I-Q ανύψωση σηματοδοσίας στις συχνότητες 1610-1626.5MHz της Iridium. Για λόγους αξιολόγησης, η έξοδος του συγκεκριμένου Up-Converter ταίριαζε απόλυτα, πρώτον λόγω του Broadband (45-2700MHz) φάσματός του, καθώς επίσης και επειδή μπορούσε να χρησιμοποιηθεί 4:1 balun-transformer με 50 Ohm σύνθετη ομική αντίσταση. Αυτό σημαίνει πως θα μπορούσε κατευθείαν να συνδεθεί με οποιαδήποτε συσκευή που βρίσκεται κοντά σε 50Ohm single-End σύνθετη αντίσταση εισόδου, όπως είναι για παράδειγμα ένας BPF ή ένας PA.

²⁰ https://www.rfmd.com/store/downloads/dl/file/id/27655/rfmd2080_data_sheet.pdf

Είναι γνωστό πως ισχύς εξόδου σε φάσμα ευρείας ζώνης είναι τυπικά -3dbm, παρόλα αυτά είναι κάτι που μπορεί να ποικίλλει σύμφωνα με την τάση εισόδου I-Q καθώς επίσης και με τα spurious σήματα.

Για την επιλογή των κατάλληλων στοιχείων έγιναν οι απαραίτητες μετρήσεις για να διαπιστωθεί το κέρδος GAIN και η ισχύς λειτουργίας στον PA.

Οι μετρήσεις φαίνονται παρακάτω:

RFMD2080 Output Power=-9dB

EIRP=26dbm

GAIN=26-(-9)+Gt(antenna)-L=26dBm

G(pa)+Gt(antenna)-L=35dB

Losses at Gt(antenna)=5dB

Cable i.e length=1dB

G(pa)=35-5+1=31dB

Η τιμή του G(pa) εξαρτάται από το EIRP, αυτή είναι η ισχύς εκπομπής που χρειάζεται να υπάρχει στον αέρα μετά από το στοιχείο της κεραίας, μετρούμενο από την ανάλυση του Link Budget που κάναμε. Επίσης, το G/T στον δορυφόρο είναι πολύ σημαντικό γεγονός που επηρεάζει σημαντικά το EIRP. Για παράδειγμα αν το G/T=-16.2 σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που δίνει η Iridium για τους δορυφόρους της, τότε το EIRP=23.5dBm και το GAIN στον τελεστικό ενισχυτή είναι PA=28.5dB. Αν το G/T=-23.5, τότε το EIRP=30dBm με GAIN στον PA=35.2dB.

Συνεπώς χρησιμοποιήσαμε τρία διαφορετικά παραδείγματα για τον υπολογισμό του EIRP και της κατάλληλης ισχύς εξόδους, με G/T στο δορυφόρο (-16.2dBm, -19.2dBm, -23.5dBm)

Καθώς η ισχύς εξόδου έπρεπε να φτάσει τα 25dbm για την αποδοτικότερη

επικοινωνία του πομπού, ήταν αναγκαίο να χρησιμοποιηθεί ο κατάλληλος Power Amplifier που να ταιριάζει με την Linear διαμόρφωση QPSK που χρειάζεται να εφαρμοστεί.

Αρχίσαμε, λοιπόν, να εξετάζουμε τον RF3855²¹, ο οποίος με 3.5Vdc μπορεί να έχει απόδοση έως και 28dbm. Άρα θα πρέπει να ληφθούν γύρω στα 24dbm ισχύς εξόδου του σήματος QPSK. Το κέρδος GAIN στα 1.6Ghz είναι περίπου 30dbm, οπότε δεν θα χρειαστεί περαιτέρω αναβάθμιση στην ισχύ εξόδου. Ο Up-Converter εκτός από το να δέχεται I-Q σήματα, ενσωματώνει baseband σηματοδότηση μεταβαλλόμενο κέρδος/εξασθένηση και φίλτρα. Τα pins I,IP,Q,QP είναι είσοδοι όπου εφαρμόζεται το διαμορφωμένο σήμα από τον baseband επεξεργαστή. Μια κοινή DC τάση, επιπλέον, των σημάτων διαμόρφωσης θα πρέπει να εφαρμοστεί σε αυτές τις εισόδους. Το bias ρεύμα για μίκτες τεσσάρων φάσεων είναι ρυθμιζόμενο και η αύξηση του βελτιώνει τη γραμμικότητα στο κάθε μίκτη.

Το RFMD2080 ουσιαστικά up-converts τα I-Q σήματα στην αναμενόμενη RF συχνότητα, δηλαδή, μεταφράζει τη διαμόρφωση σε RF. Για την αποδοτικότητα του πομπού, μετά από τον Up-Converter είναι πιο σωστό να χρησιμοποιηθεί ένας LTCC balun, καθώς η εξασθένηση στο εσωτερικό του ενδέχεται να είναι περίπου 0.5db., οπότε θα είναι ιδανικότερος για Narrowband συχνότητες όπως είναι της Iridium. Η χρήση broadband balun προορίζεται για συσκευές που πρέπει να δουλέψουν σε μεγάλο φάσμα συχνοτήτων, αντιθέτως τα 0.5dB απώλειες πριν από τον τελεστικό ενισχυτή δεν καθιστά απολύτως καμιά ανησυχία. Έτσι λοιπόν η αλυσίδα του πομπού μάς επιτρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας 4:1(50/200Ohm) balun που να είναι συντονισμένος κάπου στα 1600MHz.

²¹ http://www.rfmd.com/store/downloads/dl/file/id/28938/rf3855_data_sheet.pdf

Κρυσταλλικός Ταλαντωτής

Το επόμενο βήμα ήταν η επιλογή του καταλληλότερου κρυσταλλικού ταλαντωτή και της συχνότητας λειτουργίας που πρέπει εκείνο να δουλέψει. Για να προκύψει το επιθυμητό αποτέλεσμα έγινε εξομοίωση η οποία έδειξε ότι η συχνότητα λειτουργίας θα πρέπει να είναι κοντά στα 26MHz. Ο κρυσταλλικός ταλαντωτής παρέχει τη βασική συχνότητα, ώστε ο PLL να κλειδώσει τη συχνότητα εξόδου. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε ένας 26Mhz VC-TCXO, καθώς υπήρχε ήδη στο evaluation board του RFMD2080, γεγονός που αποδεικνύει την εγκυρότητα της λειτουργίας του στη συγκεκριμένη συχνότητα. Ένας καλός τέτοιος τοπικός ταλαντωτής θα ήταν της εταιρείας TAI-SAW TECHNOLOGY CO.,LTD²². Με τα εξής χαρακτηριστικά: VCTCXO 3.2x2.5mm 26.000MHz ιδανικό για εφαρμογές σε τηλεπικοινωνιακές μονάδες. Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

²² <http://www.taisaw.com/en/index.php>

Electrical Specifications:

TBD	Specifications
Nominal Frequency, F_0	26.00000 MHz
Storage Temperature Range	-40°C to +85°C
Operating Temperature Range	-30°C to +85°C
Power Supply Voltage, V_{cc}	3.0 V +/- 0.7V
Output Voltage with Load 10pF//10KΩ, V_{out}	0.8 Vp-p min
Output Waveform	Clipped Sinewave
Control Voltage, V_{con}	1.4+/-1V
V_{con} Frequency Control Range (1.4+/-1V)	+/-5 ppm min
Power Supply Current, I_{cc}	2.0 mA max
Frequency Tolerance after reflow ($V_{con}=1.4V$)	+/- 2.5 ppm max @ 25°C +/- 2°C
Frequency Stability a. Vs. Temperature (-30~85°C) b. Vs. Load varied 10pF//10KΩ+/-10% c. Vs. Supply Voltage varied 3.0V+/-5%	+/- 0.5 ppm reference to the middle point between minimum and maximum frequency value +/- 0.2 ppm +/- 0.2 ppm
Start Up Time (90% of final RF level in Vp-p)	5.0 msec max.
Harmonics	-5.0 dBc max
Aging	+/-1.0 ppm/year @25°C
SSB Phase Noise (@1KHz Carrier Offset)	-130 dBc/Hz max

Πίνακας 5. Τεχνικά χαρακτηριστικά κρυσταλλικού ταλαντωτή

Η επιλογή της συχνότητας του ταλαντωτή εξαρτάται από τις ανάγκες των διακυμάνσεων στη φάση του σήματος · όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα τόσο χαμηλότερες διακυμάνσεις φάσεων θα υπάρξουν μέσα στο εύρος ζώνης λειτουργίας του συστήματός μας.

Band Pass Filter

Το επόμενο βήμα ήταν η επιλογή του κατάλληλου B.P.F. από την εταιρεία TAI-SAW TECHNOLOGY CO., LTD με συχνότητα λειτουργίας 1621.25MHz και με τα εξής χαρακτηριστικά:

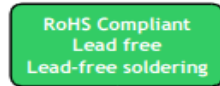
SAW Filter 1621.25 MHz

MODEL NO.: TA1496A

REV. NO.:1

A. MAXIMUM RATING:

1. Input Power Level: 10 dBm
2. DC Voltage : 3V
3. Operating Temperature: -40°C to +85°C
4. Storage Temperature: -45°C to +90°C

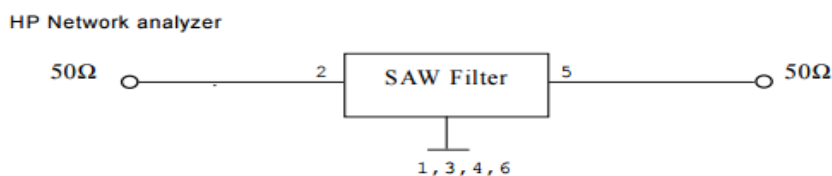


Electrostatic Sensitive Device (ESD)

B. ELECTRICAL CHARACTERISTICS:

Item	Unit	Min.	Typ.	Max.	
Center Frequency	Fc	MHz	-	1621.25	-
Insertion loss (1616~1626.5 MHz)	IL	dB	-	1.9	2.5
Amplitude ripple (1616~1626.5 MHz)		dB	-	0.7	1.2
Return loss (1616~1626.5 MHz)		dB	10	17	-
Attenuation (Reference level from 0 dB)					
200 ~ 1475	MHz	dB	35	39	-
1475 ~ 1570	MHz	dB	20	29	-
1570 ~ 1575	MHz	dB	15	23	-
1652 ~ 1662	MHz	dB	2	6	-
1662 ~ 1670	MHz	dB	2	35	-
1670 ~ 2200	MHz	dB	25	44	-
2200 ~ 3000	MHz	dB	25	46	-
Temperature coefficient of frequency		ppm/k	-	-30	-

C. MEASUREMENT CIRCUIT:



TAI-SAW TECHNOLOGY CO., LTD.

TST DCC
Release document

2

Πίνακας 6. Τεχνικά Χαρακτηριστικά B.P.F.

Power Amplifier

Αφού προσδιορίστηκε η αλυσίδα των στοιχείων που χρειάζονται για να διατελέσουν τον δεύτερης γενιάς πομπό επικοινωνίας στην μάντα συχνοτήτων της Iridium, έπρεπε τέλος να επιλέξουμε τον καλύτερο τελεστικό ενισχυτή PA, εκείνον δηλαδή, που θα ανυψώσει το σήμα στη συχνότητα που επιθυμούμε.

Κατά τη διάρκεια της μελέτης διαπιστώθηκε ότι ο τελεστικός ενισχυτής που αναφέραμε παραπάνω (RF3855) έφτανε στο τέλος της παραγωγικής του ζωής, οπότε δεν θα ήταν συνετό να χρησιμοποιηθεί σε ένα τόσο καινοτόμο έργο. Γι' αυτό αρχίσαμε να μελετάμε αντίστοιχους ενισχυτές έχοντας υπόψη ότι θα πρέπει να λειτουργούν με τάση 3V. Προτείναμε δύο ενισχυτές τους 7203DS και 3189DS οι οποίοι παρακάτω εξετάστηκαν στη συχνότητα λειτουργίας μάντας 1610-1626.25MHz

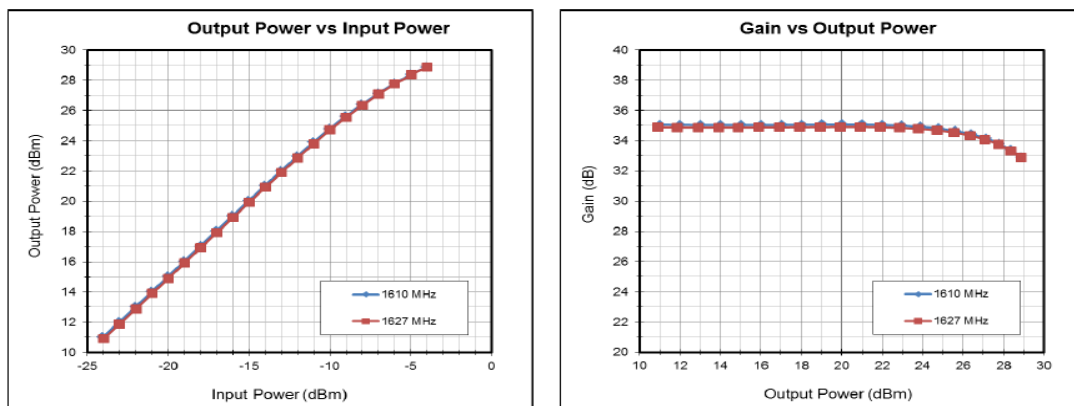
RF3189 & RF7203

**Power & Gain with 3V Supply
in the 1610-1626.5 MHz Band**

Εικόνα 18. Τελεστικοί Ενισχυτές RF3189 & RF7203

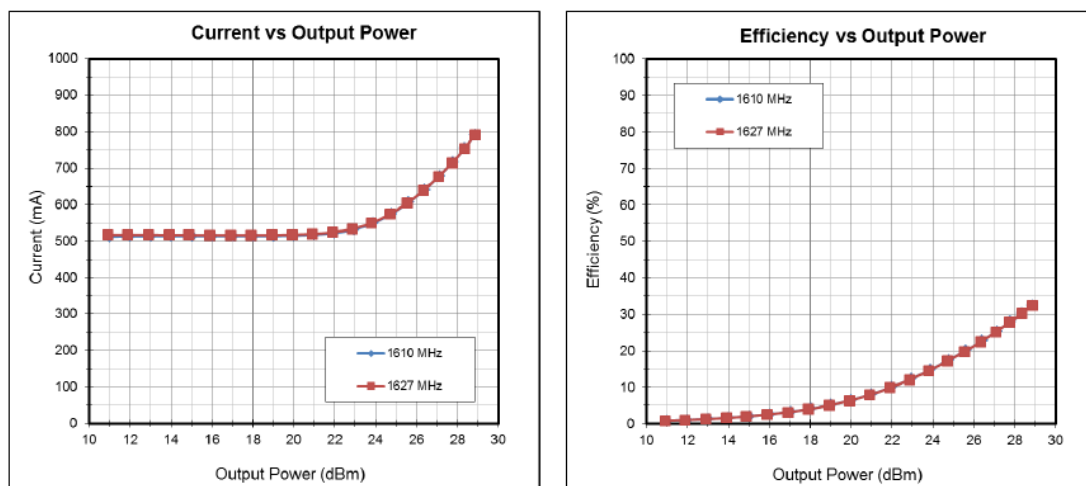
RF3189 Output Power & Gain

- VCC (VBATT)=3V.; VRAMP=VMODE=TX_EN=-BAND_SEL=HIGH.
- CW, 100% duty cycle.



Εικόνα 19. Ισχύς εκπομπής και Κέρδος τελεστικού RF3189

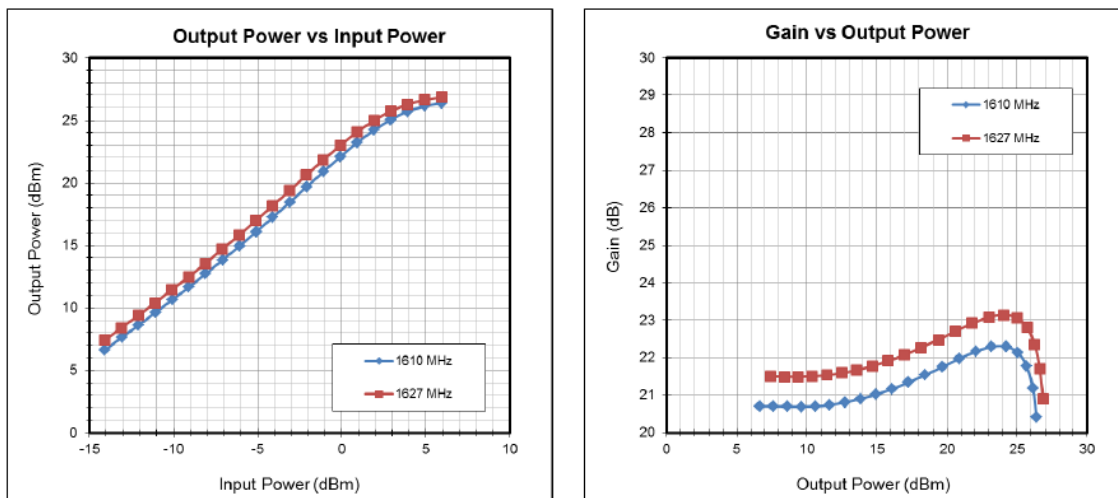
RF3189 Current & Efficiency



Εικόνα 20. Κατανάλωση και απόδοση τελεστικού RF3189

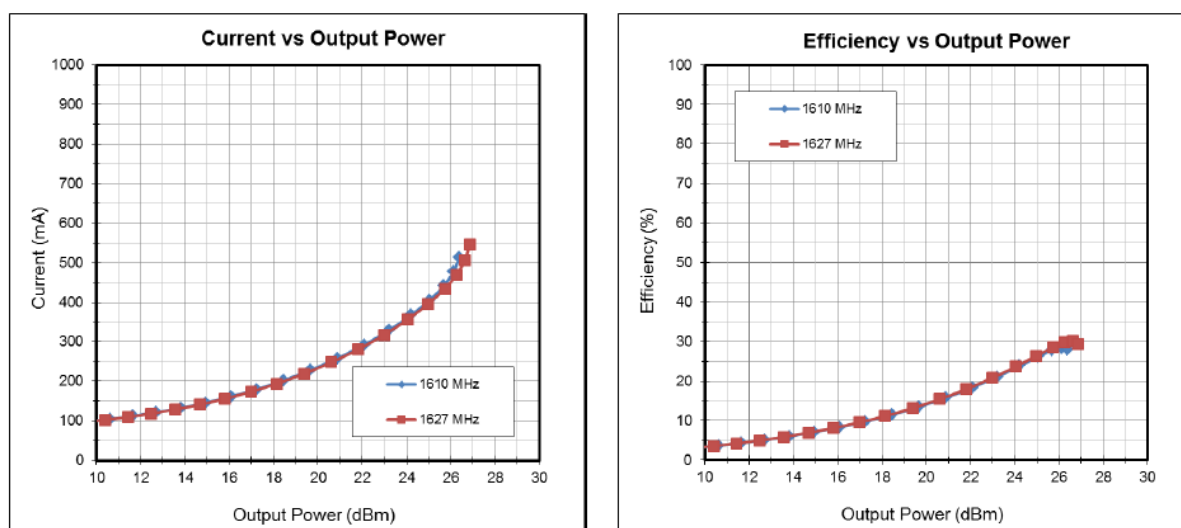
RF7203 Output Power & Gain

- $VCC=VBATT=3V$; $VEN=1.8V$.
- CW, 100% duty cycle.



Εικόνα 21. Ισχύς εκπομπής και Κέρδος τηλεστικού RF7203

RF7203 Current & Efficiency



Εικόνα 22. Κατανάλωση και απόδοση τηλεστικού RF7203

5.3.1 Αποτελέσματα μετρήσεων τηλεστικών ενισχυτών

Από τις μετρήσεις που έγιναν για το αποδοτικότερο GAIN έχοντας υπόψη την ισχύ εξόδου από το RFMD2080, το κέρδος της κεραίας (ANTENNA GAIN) και την ενεργό ιστροπικά ακτινοβολούμενη ισχύ TX EIRP φάνηκε πως το κέρδος GAIN θα έπρεπε να είναι κάπου 31dB. Αυτό σημαίνει ότι το RF7203 θα λειτουργεί οριακά σε αυτό, ενώ τελικά το RF3189 φαίνεται να είναι πιο ιδανικό καθώς το GAIN του μπορεί να διακυμανθεί από 31.5dB έως 37.5dB.

Όμως, η κατανάλωση του ρεύματος στο RF3189 αλλάζει σύμφωνα με τον συντελεστή ανάκλασης, ακριβέστερα το ICC για το QPSK ξεκινά από 2.1Amps και σταματάει στο 1Amp, δίνοντας κατά μέσο όρο κατανάλωση 1.1Amps. Οπότε θα πρέπει να αξιολογηθεί αν ο συγκεκριμένος ενισχυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ή αν υπάρχει περίπτωση να βρεθεί κάποιος με λιγότερη κατανάλωση. Παρόλα αυτά η κατανάλωση εξαρτάται από το φορτίο του κυκλώματος, για παράδειγμα μεγαλύτερη κατανάλωση μπορεί να δημιουργήσει η κακή προσαρμογή κεραίας λόγω εμποδίων σε κοντινή απόσταση σε αυτήν. Η μέγιστη κατανάλωση στον RF3189 δημιουργείται στη μέγιστη ισχύ εκπομπής (35dB) με τον ενισχυτή να έχει κακή προσαρμογή με VSWR=3:1, παρόλα αυτά η φάση μεταβάλλεται από το συντελεστή ανάκλασης από 0 έως 360deg.

Ο συγκεκριμένος τελεστικός ενισχυτής με διαμόρφωση QPSK έχει μείωση 4-5dB και με καλή προσαρμογή στην κεραία (VSWR<2:1) η κατανάλωσή του φαίνεται να είναι πολύ μικρότερη. Σύμφωνα με τις παραπάνω μετρήσεις διαπιστώνεται ότι ο RF3189 θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή μας. Παρόλα αυτά για λόγους περαιτέρω αξιολόγησης ζητήσαμε να μετρήσουμε, επίσης, τον τελεστικό ενισχυτή RF5111²³, καθώς η εφαρμογή μας θα απαιτούσε να έχει σύστημα ελέγχου στην ισχύ εκπομπής (Transmitter Power Control System).

Αυτό θα σήμαινε πως η εφαρμογή θα πρέπει να παρέχει αποτελεσματικό Link Margin στη μέγιστη ισχύ εκπομπής, όπως επίσης να αξιολογεί τη μείωση της ισχύος εκπομπής και να ρυθμίζει το Link Margin σύμφωνα με την ποιότητα της ζεύξης.

Το αποτέλεσμα θα ήταν να επιτευχθεί ένας προσαρμοστικός μηχανισμός ελέγχου ισχύος (Gain Adjuster) που θα μπορούσε να μειώσει την ισχύ εξόδου στην

²³ <http://www.rfmw.com/ProductDetail/RF5111--rfmd/393049/>

τηλεπικοινωνιακή μονάδα μέχρι και 12dB στο συνολικό εύρος ζώνης. Ο σκοπός του μηχανισμού ελέγχου ισχύος θα βελτιστοποιούσε το σύστημα, ώστε να λειτουργεί με την απαραίτητη ισχύ εκπομπής που χρειάζεται για να επιτευχθεί η επικοινωνία με το δορυφόρο. Ο RFMD2080 μπορεί να λειτουργήσει και ως ελεγκτής Gain, παρόλα αυτά για να επιτευχθεί Transmission Power Control θα πρέπει και ο αναλογικός baseband processor να μπορεί να βοηθήσει. Σε περίπτωση, όμως, που ο έλεγχος ισχύος του αναλογικού Baseband επεξεργαστής + RFMD2080 δεν είναι αποτελεσματικός, τότε θα πρέπει να λάβουμε υπόψη πως θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας Power Attenuator, όπως είναι για παράδειγμα ο RFSA (5-bit DSA, 1dB step, 31dB control range) ή αντίστοιχα ο RFSA2514 (5-bit, 0.5dB step, 15.5dB control range) μεταξύ της διαμόρφωσης εξόδου και του τελεστικού ενισχυτή.

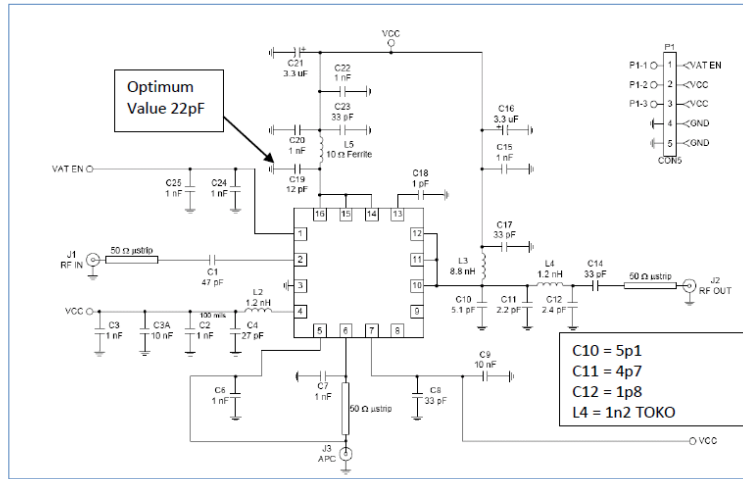
Παρακάτω ακολουθεί μια μικρή παρουσίαση των μετρήσεων που έγιναν στον RF5111.

RF5111 Evaluation Summary

1626-1675MHz

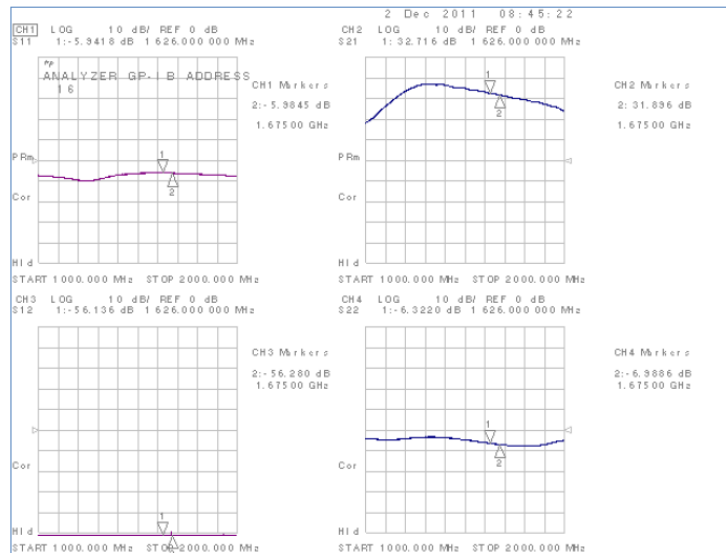
- RF5111 tested with two supply voltage settings at 4V & 5V:
 - The resistance of the lead to the board sockets is approximately 0.1 Ohm, resulting in slightly lower collector voltage.
- A duty cycle of 12.5% has been used throughout, with a pulse width of 125us and a pulse period of 1ms.
- A saturated output power of 34.5dBm and 35dBm is achievable with a VS=4V and 5V, respectively.
- The efficiency at maximum power for these voltage setting is approximately 40%.

Test Board Circuit Schematic

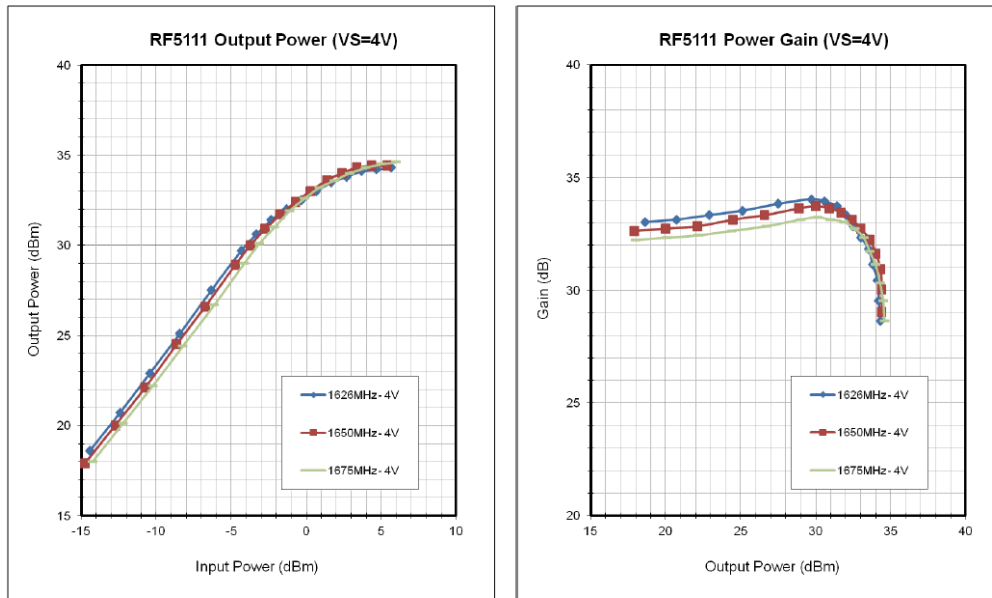


Εικόνα 23. Κύκλωμα τελεστικού ενισχυτή RF5111

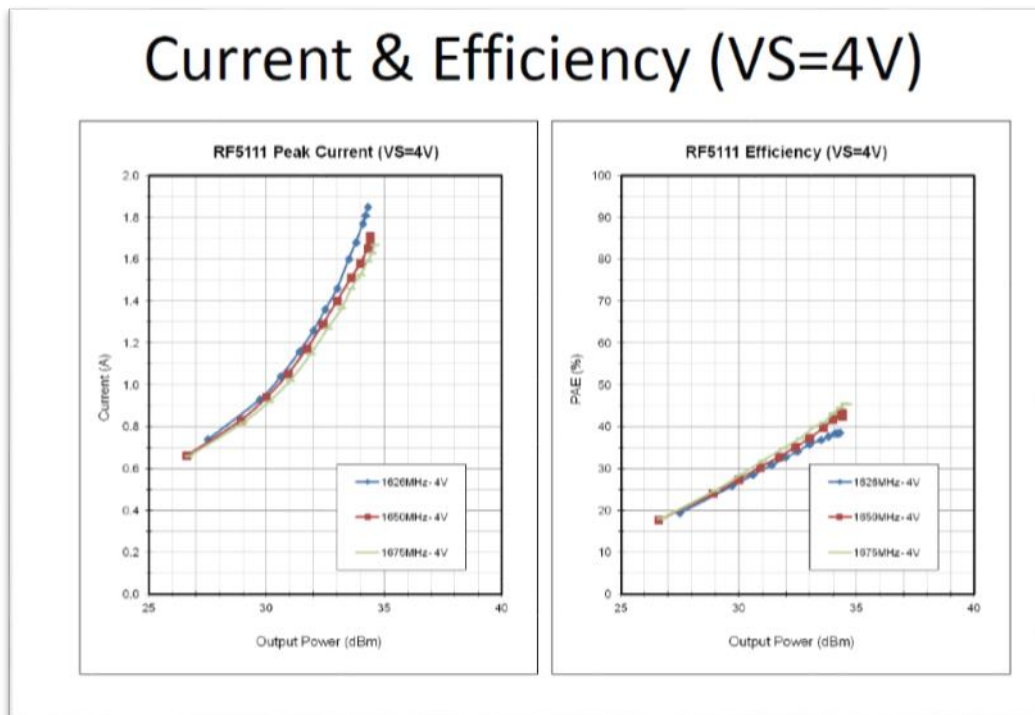
RF5111 Small-Signal Response



Output Power & Gain (VS=4V)

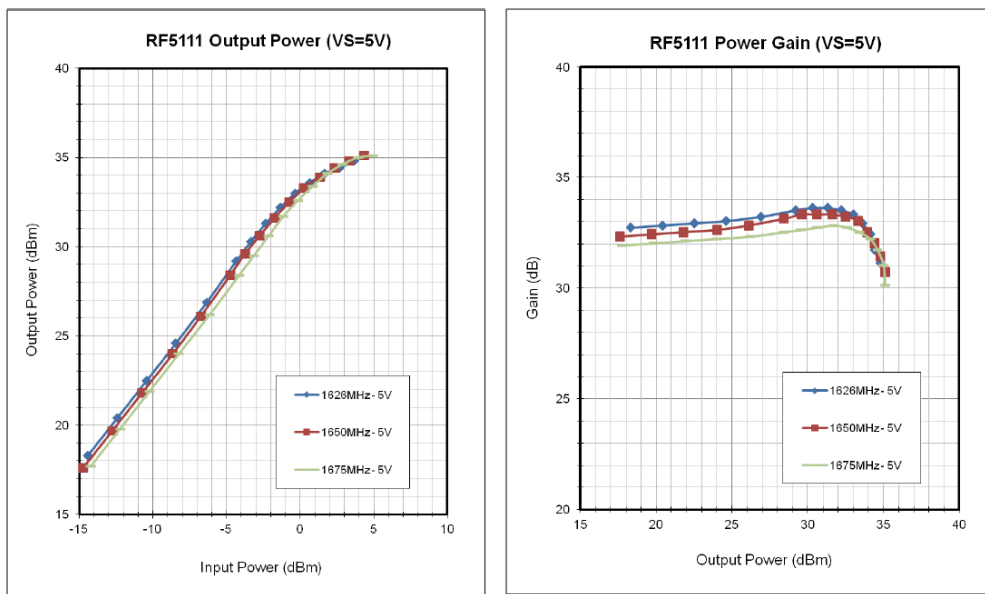


Εικόνα 24. Ισχύς εκπομπής και κέρδος τελεστικού RF5111 με τάση λειτουργίας 4VdC



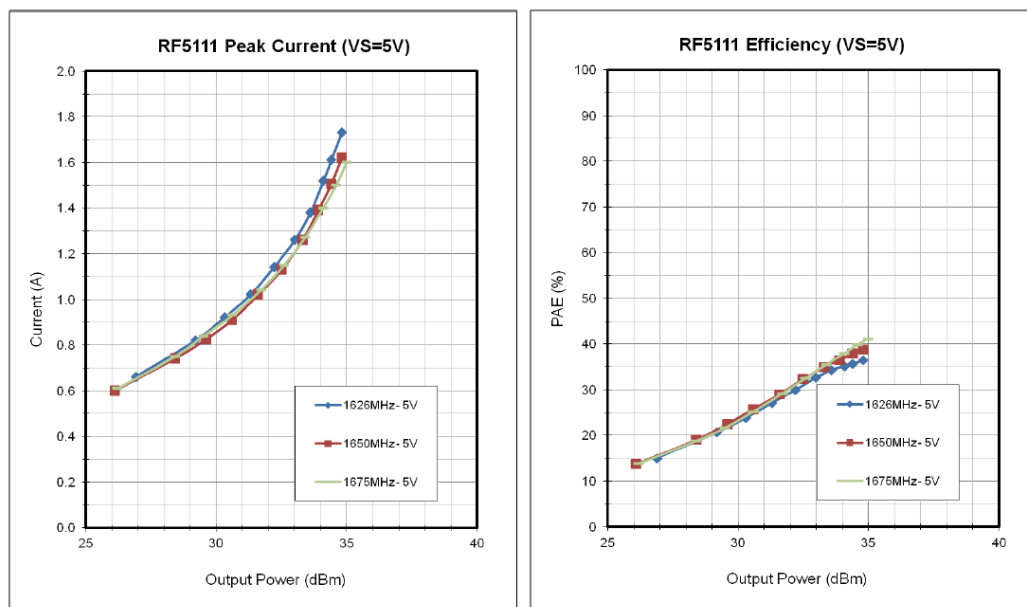
Εικόνα 25. Κατανάλωση και απόδοση τελεστικού RF5111

Output Power & Gain (VS=5V)



Εικόνα 26. Ισχύς εκπομπής και κέρδος τελεστικού RF5111 με τάση λειτουργίας 5Vdc

Current & Efficiency (VS=5V)



Εικόνα 27. Κατανάλωση και απόδοση τελεστικού RF5111

Αξιολόγηση τελεστικού ενισχυτή RF5111

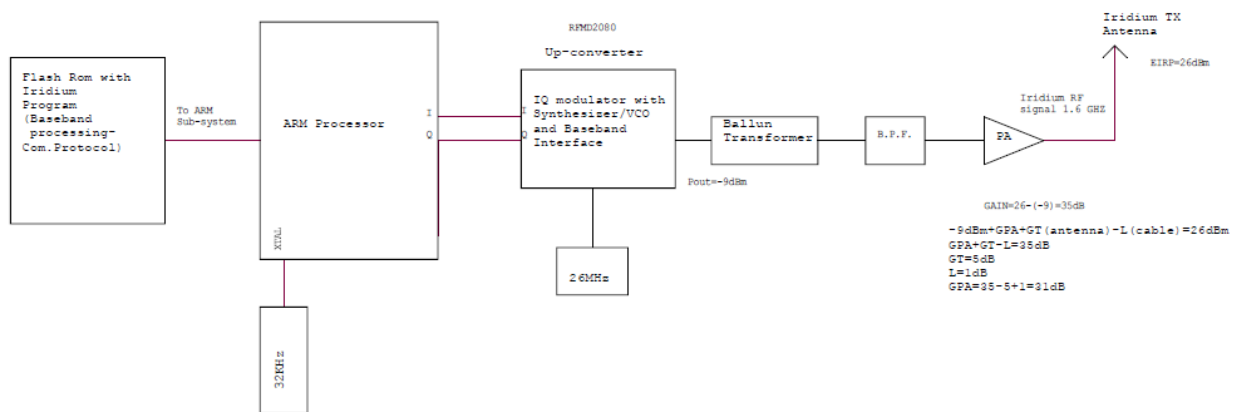
Η αξιολόγηση του RF5111 για τις συχνότητες με εύρος ζώνης 1626-1675MHz και 4Vdc τροφοδοσία έδειξαν παρόμοια απόδοση με αυτή των προγενέστερων ενισχυτών που δοκιμάστηκαν σε σχέση με το GAIN και τον βαθμό απόδοσης.

Η ισχύς εκπομπής στον κόρο, δηλαδή, όταν δουλεύει στα 3Vdc είναι 2-3dB μικρότερη από όταν τροφοδοτείται με 4Vdc. Ο συγκεκριμένος τελεστικός ενισχυτής έχει κατασκευαστεί να λειτουργεί στη μέγιστη απόδοση περιβαλλόμενο από σταθερή διαμόρφωση, όπως είναι για παράδειγμα η GMSK. Συνεπώς φαίνεται να μην ταιριάζει απόλυτα με Linear διαμόρφωση όπως είναι η QPSK, γι' αυτό και θα έπρεπε να δοκιμαστεί σύμφωνα με τη διαμόρφωση και το Symbol Rate των προδιαγραφών του συστήματός μας.

Για την τεκμηρίωση των τεχνικών δοκιμών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μια γεννήτρια R&S AMIQ ή 4-channel Tektronics AWG, ώστε να παραχθούν τα τέσσερα I & Q σήματα . Έπειτα να συνδεθεί η έξοδος RF απευθείας σε Spectrum Analyzer.

Διάταξη πομπού για τον Υβριδικό πομποδέκτη 2 iridium

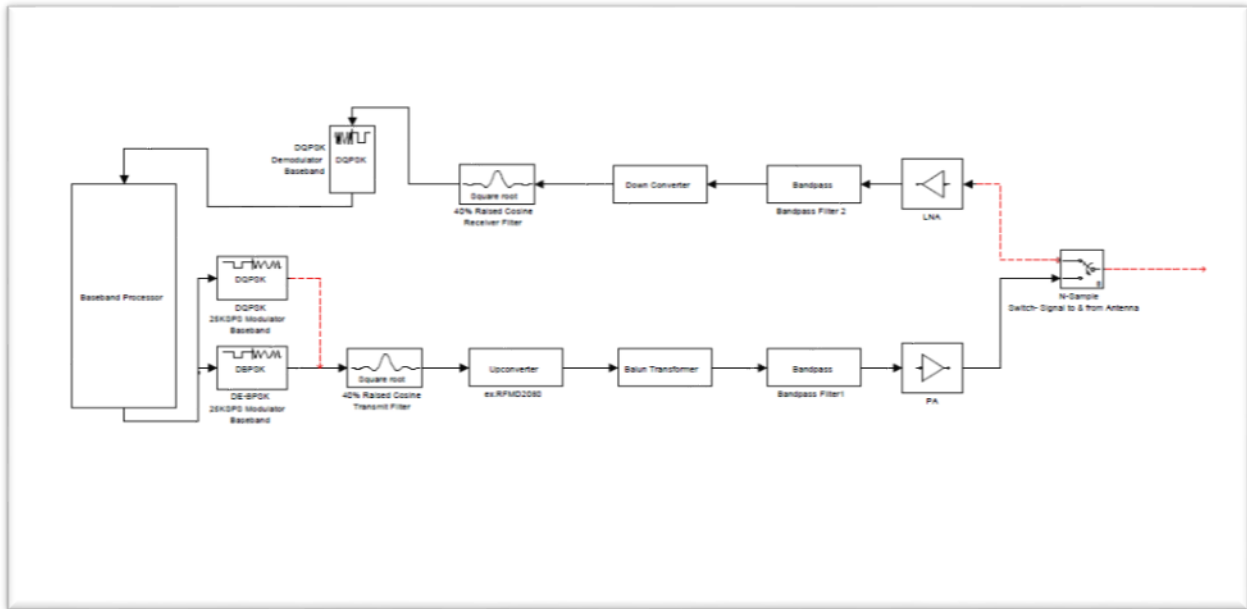
Παρακάτω παρουσιάζεται το Block διάγραμμα του πομπού 2 που αναλύθηκε νωρίτερα, σε αντίθεση με το κύκλωμα το πομπού 1. Φαίνεται η απλούστευση του κυκλώματος, ενώ σύμφωνα με τη μελέτη και τις μετρήσεις που έγιναν θα είχε εξίσου ποιοτική απόδοση:



Εικόνα 28. Block Διάγραμμα πομπού 2 Iridium

QPSK διαμόρφωση του πομποδέκτη 2 iridium

Επίσης, παρουσιάζεται BlockDiagram του υβριδικού Πομποδέκτη χρησιμοποιώντας QPSK διαμόρφωση:

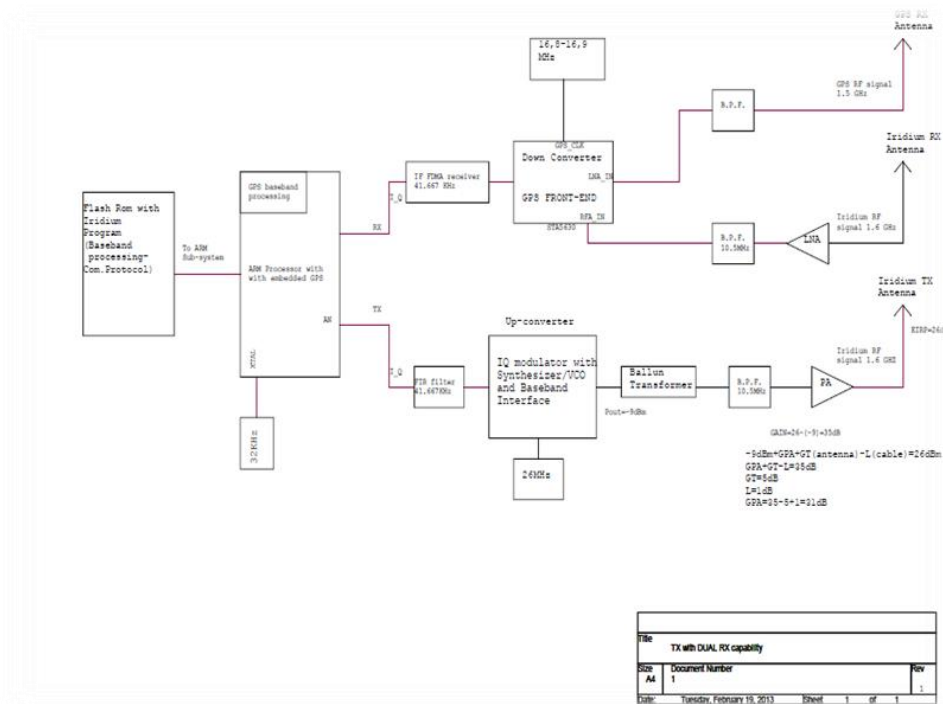


Εικόνα 29. Block διάγραμμα Υβριδικού Πομποδέκτη με διαμόρφωση

5.4 Διάταξη Υβριδικού Πομποδέκτη GPS-Iridium

Τέλος, παρουσιάζεται το Block διάγραμμα του υβριδικού πομποδέκτη σύμφωνα με

τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη μελέτη του σχεδιασμού.



Εικόνα 30. Τελικό Block διάγραμμα Υβριδικού Πομποδέκτη

5.5 Αυτονομία των πομποδεκτών 1 και 2 iridium

Από την παραπάνω έρευνα έγινε αντιληπτό ότι η καλύτερη αρχιτεκτονική θα προσφέρει τη μεγαλύτερη αυτονομία και διάρκεια ζωής της συσκευής. Αυτονομία, σημαίνει χαμηλή κατανάλωση των στοιχείων στο συνολικό σύστημα. Έτσι, λοιπόν, οι μετρήσεις που έγιναν για την κατανάλωση ρεύματος και ισχύς των δύο πομπών του Υβριδικού πομποδέκτη ήταν και εκείνες έπαιξαν τον πρωταρχικό ρόλο για την πρόκριση της κατάλληλης αρχιτεκτονική που συνάδει με τον στόχο του έργου.

Παρακάτω παρατίθεται ως παράδειγμα το Power Calculator και το Power Budget του Block διαγράμματος του πομπού.1 IRIDIUM. Είναι δέον να τονισθεί ότι απλώς προσδιορίζεται ο τρόπος με τον οποίο θα πρέπει να γίνονται οι μετρήσεις για την καλύτερη δυνατή κατανάλωση.

Η ολοκλήρωση του Power Calculator σημαίνει πως έχει προσδιοριστεί η αρχιτεκτονική του συστήματος, κάτι που είναι εξαιρετικά δύσκολο για αυτό και μπορεί η διαδικασία της ολοκλήρωσης να διαρκέσει αρκετά μεγάλο χρονικό

διάστημα. Παρόλα αυτά όλες οι μεγάλες κατασκευάστριες εταιρείες έχουν κατασκευάσει τα δικά τους Power Budgets και Power Calculators για την καλύτερη δυνατή επιβεβαίωση των εξαρτημάτων τους.

Το παρακάτω Powercalculator της Texas Instruments χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της λειτουργίας των πομπών που μελετήθηκαν. Αρχικά φαίνεται το Power Budget όπου δείχνει την συνολική κατανάλωση του συστήματος.

5.5.1 Μετρήσεις κατανάλωσης πομπού για τον Υβριδικό πομποδέκτη 1 iridium

Power Budget

POWER BUDGET Revision 1.0			
Component Power Dissipation at Transmission			V
Analog Switch MAX893L	471	mWatt	3V
Temperature Crystal Oscillator NT2520SB	4,5	mWatt	2,8
CMOS Inverter	180	mWatt	3,3
16 MHz Direct digital synthesizer	17	mWatt	3,3
General Purpose amplifier Transistor 2SC4081UB	200	mWatt	3,3
Synchronous Presettable 4-bit counter	180	mWatt	3,3
Medium Power Bipolar transistor 2SC4097	200	mWatt	3,3
Medium Power Bipolar transistor 2SC4097	200	mWatt	3,3
High Performance Frequency Synth PLL LMX2531	161	mWatt	3,3
RF/IF Digitally Controlled VGA ADL5240	500	mWatt	5
B.P.F WFD44B	0,01	Watt	
LNA SMA661AS	25,5	mWatt	3
CPU ARM9 Typical average dissipation	280	mWatt	1.8
Boost converter BQ25504	400	mWatt	1,3
Thermal generator TG751x2			
Rechargeable Battery Lion 2000mAh			
Average Transmission Power	293,7	mwatt	
Total	3112,71	mWatt	
	3,11271	watt	

Πίνακας 7. Κατανάλωση ρεύματος συστήματος σε κατάσταση λειτουργίας

Component Power Dissipation on Standby mode-Power Leakage		
Analog Switch MAX893L	0,000015	A or 15μA
CMOS Inverter	0,000001	A or 1μA
16 MHz Direct digital synthesizer	0,00001	A or 10μA

General Purpose amplifier Transistor 2SC4081UB	0,0000001	A or 100nA
Synchronous Presetable 4-bit counter	0,000001	A or 0,1μA
Medium Power Bipolar transistor 2SC4097	0,000001	A or 1μA
Medium Power Bipolar transistor 2SC4097	0,000001	A or 1μA
High Performance Frequency Synth PLL LMX2531	0,000007	A or 7μA
RF/IF Digitally Controlled VGA ADL5240		
High Voltage Transistor BF621	0,00000001	A or 10nA
Band Pass filter	-	
LNA SMA661AS	0,00000001	A or 10nA
Wideband Transistor	0,00000007	A or 70nA
Boost converter BQ25504	0,00000008	A or 80nA
CPU ARM9 Typical average dissipation	0,000000019	A or 19nA
Average Transmission Power	-	
Total stand by mode	0,000036289	A or 36,28μA

Πίνακας 8. Κατανάλωση ρεύματος σε κατάσταση ύπνωσης

Power Calculator

AVERAGE RECEIVE POWER CALCULATOR

		<u>Units</u>
1. Enter raw data rate	2,4	kbps
2. Enter number of preamble cycles		
3. Enter average packet length	270	bytes
4. Enter receiver enables per second	0,000024	cycles/sec
Computed receiver enables per hour	0,0864	cycles/hr
Computed receiver enables per day	2,0736	cycles/day
5. Enter battery capacity (mAh)	2500	mAh
6. Enter current dissipation for each mode of device operation		
Standby mode	25,0	uA
Synthesizer enabled	45,0	mA
Full receive chain enabled	172,0	mA
7. Enter synthesizer enabled time	1,0	ms
Computed active time	900,0	ms
Computed standby time	41665765,7	ms
	IDD,	
	uA*sec	
Standby	1041644,14	
Clock Wake-up	45,00	
Receiver enable	154800,00	
Total average current (uA)	28,72	uA
Battery life (hours)	87060	hours
Battery life (days)	3628	days
Battery life (years)	9,9	yrs

Εικόνα 31. Μέτρηση αυτονομίας όταν ο δέκτης λαμβάνει δεδομένα

AVERAGE TRANSMIT POWER CALCULATOR

		<u>Units</u>
1. Enter raw data rate	2,4	kbps
Bit time (us)	416,67	us
Data rate (kHz)	1,2	kHz
2. Enter number of preamble cycles		
3. Enter average packet length	340	bytes
4. Enter transmit enables per second	0,000024	cycles/sec
Computed transmit enables per hour	0,0864	cycles/hr
Computed transmit enables per day	2,0736	cycles/day
5. Enter battery capacity (mAh)	2500	mAh
6. Enter current dissipation for each mode of device operation		
Standby mode (all blocks powered down)	25,0	uA
Synthesizer enabled	45,0	mA
Full transmit chain enabled	5478,0	mA
7. Enter synthesizer enabled time	1,0	ms
Transmit cycle	41666666,67	ms
Computed active time	1133,3	ms
Computed standby time	41665532,3	ms
	IDD, uA*sec	
Standby	1041638,31	
Synthesizer enable	45,00	
Transmit enable	6208400,00	
Total average current (uA)	174,00	uA
Battery life (hours)	14368	hours
Battery life (days)	599	days
Battery life (years)	1,6	yrs

Εικόνα 32. Μέτρηση αυτονομίας όταν ο πομπός στέλνει δεδομένα

Για την καλύτερη επιβεβαίωση της αρχιτεκτονικής του συστήματος εξετάστηκε το PowerDisipation για την κατανάλωση του όταν αυτό βρίσκεται σε κατάσταση sleepmode.

Η εξομοίωση στον τρόπο λειτουργίας έγινε με τη λογική ότι θα ξυπνάει μόνο όταν

πρόκειται να στείλει μήνυμα με την επικαιροποιημένη θέση της. Γι' αυτό το λόγο ήταν σημαντικό να γίνουν σωστά οι υπολογισμοί για τυχόν διαρροή (Power leakage) ρεύματος στα εξαρτήματα του συστήματος, όταν αυτό λειτουργεί σε κατάσταση ύπνου.

Το αποτέλεσμα της μέτρησης έδειξε 17uA ενώ αξίζει να επισημανθεί ότι σε αυτήν προστέθηκε ο χρόνος κατά τον οποίο ο Frequency Synthesizer έγινε ενεργός (Enabled).

Αντίστοιχα έγινε και η μέτρηση όταν το σύστημα ήταν ενεργό και έτοιμο για την κατάσταση εκπομπής μηνύματος αποστολής δεδομένων. Σε αυτή την περίπτωση ελήφθη σοβαρά υπόψη ότι το Bandpass – φίλτρο που πρέπει να χρησιμοποιηθεί - θα έχει ισχύ 0,01Watt. Έτσι λοιπόν λαμβάνοντας υπόψιν ότι αν και εφόσον χρησιμοποιηθεί μπαταρία 2,5Amp/h , με αποστολή δεδομένων 2 φορές την ημέρα, η διάρκεια ζωής της μονάδας θα είναι 1,6 χρόνια.

5.5.2 Μετρήσεις κατανάλωσης πομπού για τον Υβριδικό πομποδέκτη 2 iridium

Power Budget

POWER BUDGET Revision 1.0			
Componenents Power Dissipation at Transmission			V
STA2064 Core processor			
STA5630 GPS Fron-End	27	mWatt	
RFMD2080 Up-converter	465	mWatt	
RF3189 PA	1259	mWatt	
SMA661AS LNA	28	mWatt	
RFXF8553 SMT TRANSFORMER			
BQ25504 Boost Converter	400	mWatt	
STM23 series			
EIRPTransmission Power	400		

Total Dissipated Power		
	2579	

Πίνακας 9. Κατανάλωση ρεύματος συστήματος σε κατάσταση λειτουργίας

Components Power Dissipation on Standby mode-Power Leakage		
Boost converter BQ25504	0,00000008	A or 80nA
	0,000001	A or 1μA
	0,00001	A or 10μA
	0,0000001	A or 100nA
	0,000001	A or 0,1μA
	0,000001	A or 1μA
	0,000001	A or 1μA
	0,000007	A or 7μA
	0,00000001	A or 10nA
	-	
	0,00000001	A or 10nA
	0,00000007	A or 70nA
CPU ARM9 Typical average dissipation	0,000000019	A or 19nA
Average Transmission Power	-	
Total stand by mode	0,000021289	A or 36,28μA

Πίνακας 10. Κατανάλωση ρεύματος σε κατάσταση ύπνου

Power Calculator

POWER CALCULATOR Revision 1.0

AVERAGE RECEIVE POWER CALCULATOR

	<i>Units</i>
1. Enter raw data rate	2,4 kbps
Bit time (us)	416,67 us
Data rate (kHz)	1,2 kHz
2. Enter number of preamble cycles	64
3. Enter average packet length	1960 bytes
4. Enter receiver enables per second	0,000024 cycles/sec
Computed receiver enables per hour	0,0864 cycles/hr
Computed receiver enables per day	2,0736 cycles/day
5. Enter battery capacity (mAh)	2500 mAh
6. Enter current dissipation for each mode of device operation	
Standby mode	36,3 uA

Synthesizer enabled	47,4	mA
Full receive chain enabled	50,0	mA
7. Enter synthesizer enabled time	1,0	ms
Receive cycle	41666666,67	ms
Computed active time	6586,7	ms
Computed standby time	41660079,0	ms
	IDD, uA*sec	
Standby	1511011,07	
Clock Wake-up	47,40	
Receiver enable	329333,33	
Total average current (uA)	44,17	uA
Battery life (hours)	56600	hours
Battery life (days)	2358	days
Battery life (years)	6,5	yrs

Εικόνα 33. Μέτρηση αυτονομίας όταν ο δέκτης λαμβάνει δεδομένα

AVERAGE TRANSMIT POWER CALCULATOR

		<i>Units</i>
1. Enter raw data rate	2,4	kbps
Bit time (us)	416,67	us
Data rate (kHz)	1,2	kHz
2. Enter number of preamble cycles		
3. Enter average packet length	188	bytes
4. Enter transmit enables per second	0,000024	cycles/sec
Computed transmit enables per hour	0,0864	cycles/hr
Computed transmit enables per day	2,0736	cycles/day
5. Enter battery capacity (mAh)	2000	mAh
6. Enter current dissipation for each mode of device operation		
Standby mode (all blocks powered down)	36,3	uA
Synthesizer enabled	47,4	mA
Full transmit chain enabled	617,0	mA
7. Enter synthesizer enabled time	1,0	ms
Transmit cycle	41666666,67	ms
Computed active time	626,7	ms
Computed standby time	41666039,0	ms
	IDD, uA*sec	
Standby	1512060,56	
Synthesizer enable	47,40	

Transmit enable	386653,33
Total average current (uA)	45,57 uA
Battery life (hours)	43888 hours
Battery life (days)	1829 days
Battery life (years)	5,0 yrs

Εικόνα 34. Μέτρηση αυτονομίας όταν ο πομπός στέλνει δεδομένα

5.5.3 Συμπεράσματα

Συνεπώς ο πομποδέκτης 2 iridium είναι έχει μεγαλύτερη αυτονομία από τον πομποδέκτη 1 iridium. Αποδεικνύεται πως η χρήση λιγότερων ημιαγωγών και ολοκληρωμένων συστημάτων μέσα στην κεντρική μονάδα ενός συστήματος φέρει ως αποτέλεσμα την μικρότερη κατανάλωση.

Ο πομποδέκτης 2 iridium θα μπορούσε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις αυτονομίας του συγκεκριμένου έργου, δηλαδή την συνεχή λειτουργία της συσκευής για 5 έτη. Αξίζει βέβαια κανείς να σημειώσει ότι οι μετρήσεις κατανάλωσης έγιναν με δεδομένη την χρησιμοποίηση μπαταρίας Ιόντων Λιθίου 2,00Amp/h, διότι το περιλάμβανε το power calculator της Texas Instruments. Αυτό σημαίνει ότι θα ήταν ρεαλιστικότερη η παράσταση της αυτονομίας αν γινόταν με δεδομένη την χρήση Υπερπυκνωτών όπως και θα γίνει στην συνέχεια με το επόμενο (2^ο) τρόπο μελέτης αυτής.

Κεφάλαιο 6. Ανάλυση Απαιτήσεων αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium

Το υψηλό επίπεδο ανάπτυξης της εφαρμογής απαιτούσε δύο συστήματα, ένα αυτόνομο υπό-σύστημα συσσώρευσης ενέργειας εναλλακτικών πηγών, όπως είναι η θερμική, η πιεζοηλεκτρική, RF και η Ηλιακή και ένα Υπό-σύστημα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου.

Στόχος του Υποσυστήματος συσσώρευσης ενέργειας είναι οι γεννήτριες ισχύος του να ελέγχονται από chip ελέγχου διαχείρισης, ώστε να φορτίζουν με τον πλέον αποδοτικό τρόπο τα στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας, καθώς επίσης να προετοιμάσει το υποσύστημα επεξεργασίας, εντοπισμού και ελέγχου, ώστε να παραμετροποιηθεί ανάλογα με τις προδιαγραφές εκείνες που απαιτούνται, προκειμένου να υπάρχει η κατάλληλη αυτονομία ως και πέντε (5) διαδοχικά έτη χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.

6.1 Απαιτήσεις και Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου

Σε συνέχεια του κεφαλαίου 5 προέκυψε η ανάλυση των απαιτήσεων του συστήματος ώστε να ακολουθήσει ο δεύτερος καινοτόμος τρόπος για το σχεδιασμό και την αρχιτεκτονική της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου.

Η μονάδα αυτή αποσκοπούσε στην δημιουργία ενός πομποδέκτη “Off The Self” σε συνδυασμό με ένα σύστημα συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας όπου θα παρουσιάζει την γεωγραφική θέση παγκοσμίως.

Το υποσύστημα επεξεργασίας, εντοπισμού και ελέγχου (Off-The-Self) άρχισε να δημιουργείται, σύμφωνα με τις παρακάτω απαιτήσεις:

1. Να δέχεται καθαρό σήμα από την μπαταρία προς τον επεξεργαστή.
2. Να υπάρχει τάση κατωφλίου και καθυστέρησης σε περίπτωση που χαθεί η παροχή από τις γεννήτριες συσσώρευσης ενέργειας.

3. Το λογισμικό στον επεξεργαστή να τρέχει Function μέσω της οποίας να υπολογίζεται η χαμηλή τάση στην μπαταρία. με αποτέλεσμα, αν ξεπεραστεί η τάση αυτή, να αποστέλλεται μήνυμα, προτού η συσκευή κλείσει λόγω χαμηλής μπαταρίας.
4. Να ενεργοποιεί και να απενεργοποιεί τις γεννήτριες συσσώρευσης ενέργειας ανάλογα με την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας.

Οι απαιτήσεις αυτές έδωσαν το έναυσμα για την αρχικοποίηση των τεχνικών προδιαγραφών του δεύτερου τρόπου υλοποίησης του συστήματος, ενώ στη συνέχεια βοήθησαν για τον σχεδιασμό του υποσυστήματος της συσσώρευσης ενέργειας όπου σε αναλογία με το “Off The Self” υποσύστημα επεξεργασίας, εντοπισμού και ελέγχου φάνηκε να απαιτεί με την σειρά του τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

1. Μετατροπέα ADC12bit, 4εισόδων πολύ χαμηλής ενέργειας με δυνατότητα προειδοποίησης και διεπαφής I2C.
2. Αισθητήρα φωτός.
3. Αισθητήρα θερμοκρασίας.
4. Τελεστικό ενισχυτή πολύ Χαμηλής ισχύος(LowPower), Rail-to-Rail μονής τροφοδοσίας με δυνατότητα κατάστασης ύπνου ή ακόμα και να σβήνει τελείως.
5. Διακόπτη τροφοδοσίας για να απενεργοποιείται η διαδικασία μέτρησης του κυκλώματος κατά τη διάρκεια φόρτισης.
6. Αναμεταδότη RF
7. Το στοιχείο αποθήκευσης ενέργειας, όπως για παράδειγμα είναι SMTthin film rechargeable μπαταρία, Υπερπυκνωτές ή Li-ion μπαταρία.
8. Test-Points στην πλακέτα για τις απαραίτητες μετρήσεις αλλά και διασυνδέσεις των γεννητριών συσσώρευσης ενέργειας.
9. Διεπαφές τροφοδοσίας που να δίνουν τη δυνατότητα σύνδεσης στοιχείων μεταξύ UARTκαι I2C.

Το υποσύστημα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου πρέπει να αποτελείται από χαμηλής κατανάλωσης επεξεργαστή προκειμένου να επιτευχθεί η μείωση εξαρτημάτων και κατανάλωσης ενέργειας καθώς επίσης και η παροχή περισσότερων δυνατοτήτων στον τελικό χρήστη της συσκευής.

Τα δύο α) υποσυστήματα συσσώρευσης και αποθήκευσης και β) επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου πρέπει να επικοινωνούν μεταξύ μέσω I2Cbus μέσω συγκεκριμένου πρωτοκόλλου επικοινωνίας χρησιμοποιώντας την κατάλληλη ταχύτητα και κάνοντας την ανάλυση (parse) των δεδομένων που χρειάζεται όταν και σε περίπτωση που δημιουργηθεί κάποιο γεγονός.

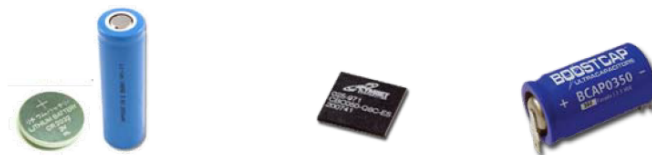
6.2 Ανάλυση στοιχείων αποθήκευσης για την αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάστηκαν οι διαφορές μεταξύ των στοιχείων αποθήκευσης ενέργειας. Στη έρευνα αυτήν τα πλεονεκτήματα των Υπερπυκνωτών σε αντίθεση με τις μπαταρίες Ιόντων Λιθίου (Li-Ion) είναι φανερά και προκρίνονται για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Παρόλα αυτά κάποιες μπαταρίες Ιόντων Λιθίου (Li-ion) ενώ είναι ανθεκτικές σε δύσκολες περιβαλλοντολογικά συνθήκες, δεν μπορούν να συγκριθούν με τις αντοχές των Υπερπυκνωτών.

Αξίζει δε να αναφερθεί ότι πολλές μεταφορικές εταιρείες δεν δέχονται να μεταφέρουν PACK από Li-Ion μπαταρίες χωρίς να έχουν τα απαραίτητα δικαιολογητικά και τις δοκιμές προστασίας, για να μεταφερθούν με επιβατικά αεροπλάνα.

Η παρακάτω εικόνα είναι ενδεικτική για τους λόγους που προκρίθηκαν οι Υπερπυκνωτές για την αποθήκευση ενέργειας στο σύστημά μας.

Energy Storage Options



	Li-Ion	Thin Film Rechargeable	Super Cap
Recharge Cycles	100s	5k-10k	Millions
Self Discharge	Moderate	Negligible	High
Charge Time	Hours	Minutes	Sec-Minutes
SMT & Reflow	Poor-None	Good	Poor
Physical Size	Large	Small	Medium
Capacity	0.3-2500mAHr	12-700uAHr	10-100uAHr
Environmental Impact	High	Minimal	Minimal

Εικόνα 35. Σύγκριση στοιχείων αποθήκευσης ενέργειας

Παρόλα αυτά η έρευνα δεν σταμάτησε για την επιλογή του καταλληλότερου στοιχείου αποθήκευσης ενέργειας πέρα από των Υπερπυκνωτών. Γι' αυτό προτάθηκε η εταιρεία Cymbet technologies, κατασκευάστρια Thin Film μπαταριών. Ο συγκεκριμένος τύπος μπαταρίας τυγχάνει να έχει υψηλό κύκλο φόρτωσης/εκφόρτωσης. Όμως, όταν δόθηκαν τα αποτελέσματα της κατανάλωσης ισχύος Pt στην Cymbet διαπιστώθηκε πως η χωρητικότητα των συγκεκριμένων στοιχείων είναι κατώτερη των Υπερπυκνωτών γεγονός που τους όρισε τελικώς ως τα μόνα στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας.

6.3 Ανάλυση χρόνου στον τρόπο λειτουργίας της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium

Στην πορεία έπρεπε να διαπιστωθεί αν υπάρχει κάποιος διακόπτης-buffer που να μπορεί να σταματάει τη ροή του ρεύματος, όταν το σύστημα θα βρίσκεται σε κατάσταση Standby-sleep mode->Power Off. Η Texas Instruments μας βοήθησε αρκετά σε αυτή τη μελέτη, το ίδιο και η εταιρεία MAXIM. Οι δύο αυτές πολύ μεγάλες κατασκευάστριες εταιρείες μας ενθάρρυναν κατά τη διαδικασία

συσσώρευσης ενέργειας να κλείνουμε όσο μεγαλύτερο μέρος του στην κατανάλωση του συστήματος μας. Παρόλα αυτά σύμφωνα με τη MAXIM ένας semi conductor switch δεν κόβει τελείως τη ροή του ρεύματος, όπως κάνουν τα απλά μηχανικά Switch, πάντα θα υπάρχει διαρροή ρεύματος στο κύκλωμα μας ενώ υπάρχει η πιθανότητα να φθάσει μέχρι και 15uA σε εύρος θερμοκρασίας από 0 έως 85 βαθμούς κελσίου.

Για την μετέπειτα αρχιτεκτονική του συστήματος μας, προέκυψαν διάφορα σημαντικά ερωτήματα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα ερωτήματα αυτά σύμφωνα με τη σειρά που τέθηκαν, καθώς επίσης και η λειτουργία του συστήματος στην φάση αυτή:

- 1) Ποιο είναι το V peak V boost current value;
- 2) Ποιος είναι ο χρόνος που χρειάζεται το σύστημα μας για να ξυπνήσει από την κατάσταση ύπνωσης;
- 3) Ποιος είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να συνδεθεί η μονάδα εντοπισμού και ελέγχου με το δορυφορικό δίκτυο Iridium;
- 4) Ποιος είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να λάβει τα μηνύματα που είναι στην ουρά του σταθμού βάσης;
- 5) Ποιος είναι ο χρόνος που χρειάζεται να λάβει GPS;
- 6) Ποιος είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να εκπέμψει την επικαιροποιημένη θέση του και τέλος ο χρόνος που χρειάζεται για να ξαναγυρίσει σε κατάσταση ύπνωσης ξανά;

Τα παραπάνω ερωτήματα τέθηκαν σχετικά με την βασική λειτουργία του συστήματος. Παρακάτω απαντώνται και τείνουν στην συνέχεια να δώσουν την αφορμή για την κατασκευή του κατάλληλου σεναρίου λειτουργίας.

- Δεν πρέπει να ληφθεί υπόψη το V boost current καθώς αυτό ισχύει μόνο για τους τύπους Iridium μόντεμ 9523.
- Απαιτούνται περίπου 10Sec, ώστε η μονάδα εντοπισμού και ελέγχου να ξυπνήσει από την κατάσταση ύπνου και να εγγραφεί στο δίκτυο της Iridium, όμως ο συγκεκριμένος χρόνος εξαρτάται από τη θέση και την οπτική επαφή

της κεραίας με τους δορυφόρους. Σε περίπτωση που η κεραία έχει παρεμβολές λόγω της θέσης που βρίσκεται, τότε ο χρόνος που απαιτείται για να αποκτήσει πρόσβαση στο δορυφορικό δίκτυο της Iridium, καθώς επίσης να λάβει γεωγραφική θέση GPS, αυξάνεται δημιουργώντας μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος.

- Η διάρκεια της εγγραφής του συστήματος στο δίκτυο της Iridium απαιτεί από μια εκπομπή (burst), γεγονός που σημαίνει ένα μοναδικό 90mSec TDD Frame με το πλεονέκτημα πως δεν χρειάζεται να ανοίξει άλλο Frame για να λάβει η συσκευή δεδομένα από δορυφόρο (Downlink).
- Το υπό-σύστημα επεξεργασίας, εντοπισμού και ελέγχου παρουσιάζει μεγάλη κατανάλωση ισχύος κατά τη διάρκεια που η συσκευή βρίσκεται σε κατάσταση εκπομπής. Στην περίπτωση αυτή η κατανάλωση ρεύματος δεν ξεπερνά τα 1.5Amps ενώ μια έκρηξη εκπομπής (burst στο δορυφορικό δίκτυο της Iridium) γίνεται σε διάστημα μόνο 8,3mSec μιας χρονοθυρίδας (timeslot) ενός TDD frame.
- Για την αποστολή και λήψη των δεδομένων του υποσυστήματος επεξεργασίας, εντοπισμού και ελέγχου χρειάζεται να ενεργοποιηθεί όλη η αλυσίδα του κυκλώματος στον πομποδέκτη, καθώς επίσης και η αλυσίδα του κυκλώματος τροφοδοσίας του υποσυστήματος συσσώρευσης ενέργειας. Για τη διαδικασία προσαρμογής στο δορυφορικό δίκτυο της Iridium, λήψης της γεωγραφικής θέσης, ελέγχου των μηνυμάτων του σταθμού βάσης και αποστολής/λήψης δεδομένων είναι αναγκαία 8-10 δευτερόλεπτα. Παρόλα αυτά όμως η κάλυψη των κεραιών GPS και Iridium είναι άμεσα εξαρτώμενη για την κατανάλωση της ισχύος του συστήματος μας.
- Ο χρόνος που χρειάζεται το υποσύστημα μας να ξαναγυρίσει σε κατάσταση ύπνωσης από τη στιγμή που θα καταλάβει την function εκείνη που χρειάζεται, για να γίνει η συγκεκριμένη λειτουργία, είναι δύο (2) δευτερόλεπτα.

Πλην των παραπάνω απαντήσεων για τη λειτουργία της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου, ίσως το πλέον σημαντικό ερώτημα που τέθηκε και έπρεπε να απαντηθεί άμεσα ήταν ο προκαθορισμένος

χρόνος κατά τον οποίο το σύστημα θα πρέπει να ξυπνάει να κάνει τις λειτουργίες που αναφέρθηκαν ως άνω αλλά και θα αποκτά το στίγμα με τη γεωγραφική θέση του GPS.

Ο προκαθορισμένος χρόνος για την ανάκτηση του σήματος GPS αλλά και αποστολής δεδομένων μέσω του δορυφορικού δικτύου της Iridium είναι άμεσα συνδεδεμένος με την κατανάλωση ισχύος του συστήματος.

Όσες περισσότερες φορές ενεργοποιείται τόσο μεγαλύτερη κατανάλωση υπάρχει.

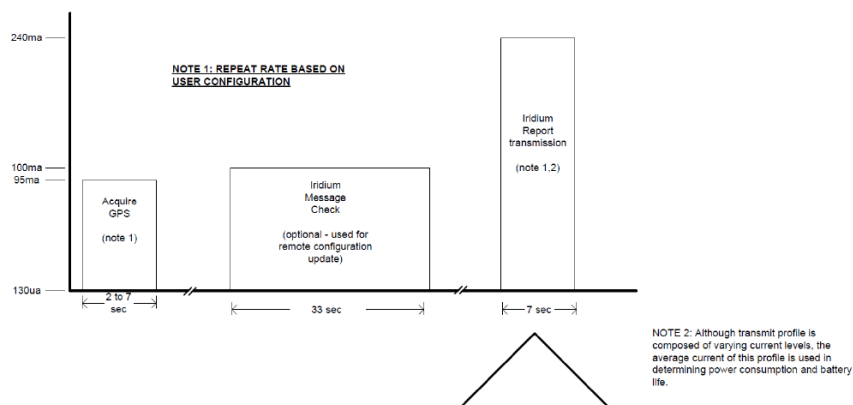
Είναι προφανές πως η κατανάλωση ισχύος κατά τη διαδικασία αποστολής/λήψης και λήψης θέσεως GPS είναι άμεσα εξαρτώμενη από την κεραία που χρησιμοποιεί το σύστημα μας (Active/passive), καθώς επίσης και η θέση στην οποία βρίσκεται.

- Ως βασική προϋπόθεση προτάθηκε η κατανάλωση να μην ξεπερνά τα 50mA και ο βασικός χρόνος που χρειάζεται για τη λήψη GPS να είναι 10 δευτερόλεπτα ανάλογα βέβαια με την γεωγραφική θέση της.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται το προφίλ του χρόνου λειτουργίας ενός πομποδέκτη 9602 Iridium με βασική τάση τροφοδοσίας $V_{in}=8Vdc$

Tracking Module - Power Consumption Profile

Power profile shown below for the periodic acquisition and transmission functions:



Iridium Report Transmission (Send/Receive Cycle)

Εικόνα 36. Προφίλ λειτουργίας πομποδέκτη 9602 Iridium

6.4 Προφίλ Λειτουργίας αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου off-The-Self Iridium

Το Υπό-σύστημα επεξεργασίας, εντοπισμού και ελέγχου τροφοδοτείται από το υπό-σύστημα συσσώρευσης ενέργειας.

Γι' αυτό τον λόγο δεν χρειάζεται να υπάρχει αντίστοιχο κύκλωμα φόρτισης μπαταριών, όμως, πρέπει να διασφαλισθεί η σταθερότητα της τροφοδοσίας του Υπό-συστήματος συσσώρευσης ενέργειας, με γνώμονα ότι δεν θα δημιουργηθεί καμιά πτώση τάσης κάτω από 0,2Vdc κατά τη διάρκεια της βασικής λειτουργίας του συστήματος γενικότερα, όσο και κατά τη διάρκεια εκπομπής η οποία είναι 8,3mSec.

Παρακάτω φαίνεται η τυπική κατανάλωση την οποία πρέπει να έχει η συσκευή:

Χαρακτηριστικά κατανάλωσης

Typical Power Consumption at +5.0 VDC	
“Transmit Mode:	190mA
DC Power Input Specifications:	9602
Supply Input Voltage Range :	5.0V DC +/-0.5V
Supply Input Voltage Ripple :	< 40 mV pp”
Idle Current (average*):	45mA
Idle Current (peak):	195mA
Transmit Current (peak):	1.5 A (8.3mSec?)
Transmit Current (average*):	190mA (typical 10 seconds, however dependent on antenna etc)
Receive Current (peak):	195mA
Receive Current (average*):	45mA
SBD message transfer - average current* :	190 mA
SBD message transfer - average power* :	<= 1.0 W

Πίνακας 9. Κατανάλωση μονάδας

Θόρυβος

Πέρα από την τυπική κατανάλωση της συσκευής, ο θόρυβος που πρέπει να αναπτύσσει το υπό-σύστημα κατά τη διάρκεια τροφοδοσίας δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα παρακάτω όρια:

100 mVpp from 0 to 50 kHz
5 mVpp at 1 MHz measured in 50 kHz bandwidth
10 mVpp at 1 MHz measured in 1MHz bandwidth
5 mVpp above 5 MHz measured in 1 MHz bandwidth

Πίνακας 10. Θόρυβος

Σύμφωνα με το προφίλ λειτουργίας στον πομποδέκτη 9602 Iridium, οι παραπάνω μετρήσεις έγιναν αρχικά με βασική τάση μπαταρίας 8.0Vdc.

Στην προκειμένη, δηλαδή, περίπτωση δοκιμών χρειάστηκε να υπάρχει κύκλωμα φόρτισης μπαταρίας.

Η διαφορά των 3 Vdc με την ορισμένη τάσης φόρτισης των Υπερπυκνωτών στην φάση αυτή δεν άλλαξε τα χαρακτηριστικά της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου.

- Η κατανάλωση ενέργειας, όταν το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση ύπνου (Sleepmode), δεν πρέπει ξεπερνά τα 130 uA, ενώ όπως δείχνει η παραπάνω ένδειξη όσο ταχύτερος είναι ο χρόνος που χρειάζεται να αποκτηθεί το σήμα GPS τόσο μικρότερη είναι η κατανάλωση που θα υπάρξει στη μονάδα.
- Ο προκαθορισμένος χρόνος για την αποστολή των μηνυμάτων πρέπει να είναι 2 φορές την ημέρα, δηλαδή, κάθε 12 ώρες από την εκκίνηση (Start) της συσκευής ενώ όλη την υπόλοιπη ημέρα θα υπολειτουργεί σε κατάσταση ύπνωσης για την ανάγκη συσσώρευσης ενέργειας. Είναι δέον να αναφερθεί ότι σε περίπτωση RESTART θα αρχικοποιείται ο μετρητής που καθορίζει το προκαθορισμένο μήνυμα.

Η Maxwell Technologies αρχικά πρότεινε να χρησιμοποιηθούν δύο (2-50F-cells) Υπερπυκνωτές .

Τάση φόρτισης των Υπερ-πυκνωτών

Ως απάντηση στο ερώτημα γιατί το υποσύστημα επεξεργασίας, εντοπισμού και ελέγχου καθορίστηκε να τροφοδοτείται με τάση $V_{in}=5V_{dc}$, η τάση φόρτισης των Υπερπυκνωτών καθορίστηκε στα κατώτερα όρια, διότι υψώνοντας την αυξάνεται το φαινόμενο Αυτοεκφόρτισης (Self-Discharge) τους. Η μέγιστη τάση φόρτισης, κάθε Cell υπερπυκνωτή πρέπει να είναι $2V_{dc}$, ώστε να μειωθεί αρκετά το φαινόμενο αποφόρτισης.

Όσο μεγαλύτερη, είναι η τάση φόρτισης τόσο μεγαλύτερη κατανάλωση θα υπάρξει στη μονάδα.

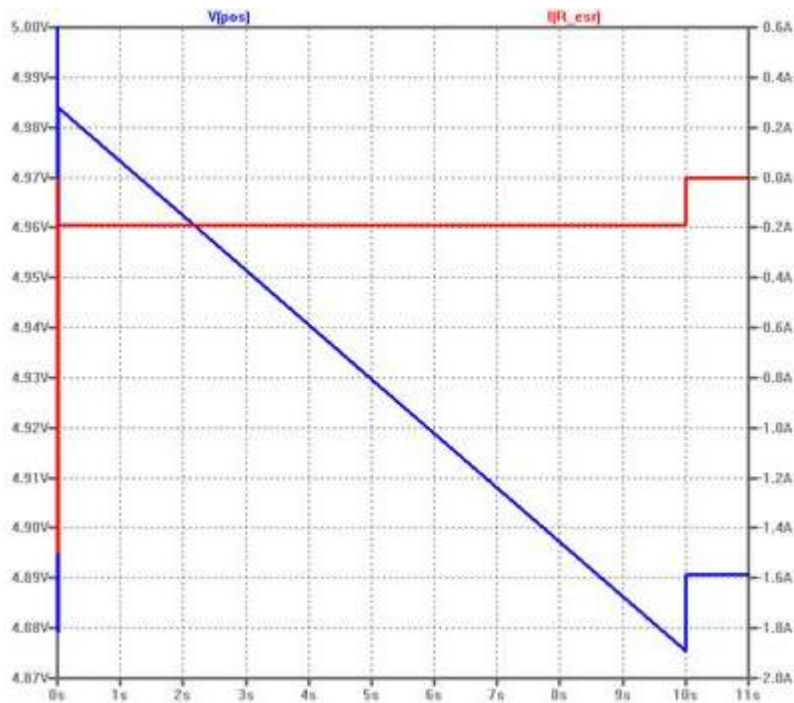
Για να γίνει, λοιπόν, ο καλύτερος συμβιβασμός τάσης και κατανάλωσης, το κάθε cell δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα $2 V_{dc}$.

Σύνδεση σε σειρά 3 Cells Υπερ-πυκνωτών

Για να επιτευχθεί μεγαλύτερη αποθήκευση ενέργειας και συνάμα καλύτερη αυτονομία, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν 3 Cells Super Capacitors. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί η τάση φόρτισης των Υπερ-πυκνωτών από 5 σε $6 V_{dc}$. Για αυτό τον σκοπό θα χρησιμοποιηθεί άλλο ένα Cell ($6V_{dc}=3Cells \times 2V_{dc}$).

Παρακάτω φαίνεται η κατανάλωση ενέργειας για την φόρτιση των πυκνωτών με τάση στην είσοδο $5V_{dc}$, καθώς ήταν η ιδανική για την φόρτιση τους.

Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν 2 cells, παράλληλα παρατηρούμε ότι σε $10mSec$ $1.5A$ current peak προκλήθηκε πτώση τάσης $4,88V_{dc}$.



Εικόνα 37. Λειτουργία με τάση λειτουργίας 5Vdc

Αν λάβουμε υπόψη πως το μέγιστο ρεύμα φόρτισης είναι 4A αυτό σημαίνει πως χρειάζεται 30 δευτερόλεπτα για την αρχική φόρτιση μεταξύ 0-5Vdc.

Συνάμα η αποφόρτιση από 4,5-5Vdc έγινε σε 10 δευτερόλεπτα.

Κατά τα άλλα δεν υπάρχει κανένας περιορισμός στη φόρτιση/αποφόρτιση σε σχέση με το ρεύμα, καθώς οι Υπερπυκνωτές είναι κατάλληλα κατασκευασμένοι να λειτουργούν για αυτό το σκοπό.

Η διάρκεια ζωής που θα επιτρέπει στο υποσύστημα συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας να έχει αυτονομία ως και πέντε (5) χρόνια βασίστηκε με ακρίβεια στο προφίλ της θερμοκρασίας που πρόκειται να έχει η αυτόνομα τροφοδοτούμενη μονάδα εντοπισμού και ελέγχου.

Από τη μεριά τους οι Υπερπυκνωτές δεν έχουν κανένα περιορισμό, καθώς μπορούν να έχουν διάρκεια ζωής ως και 10 χρόνια σε λογικές θερμοκρασίες όπως είναι 25°C.

Ως απόρροια των παραπάνω καθώς επίσης και από το προφίλ λειτουργίας που φάνηκε νωρίτερα, έγινε εφικτή η εξομοίωση της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου.

Εν τέλει χρησιμοποιήθηκαν 3 Cells Υπέρπυκνωτών BCAP0025 σε σειρά αντί για δύο που προτάθηκαν αρχικά, καθώς η DC/DC μετατροπή τάσης από 6V σε 5 Vdc έδειξε πως προκαλεί έως 80% βαθμό απόδοσης στη μονάδα.

Τα 6Vdc αποθήκευσης αντιστοιχούν σε 3 Cell Υπέρπυκνωτών των 2Vdc, ο καθένας με αληθινά χαμηλή πτώση τάσης. Για να επιτευχθεί η μετατροπή σε 5Vdc χρειάστηκε απλώς ένας πολύ χαμηλής ισχύος back boost converter για τη φόρτιση των Υπερ.-πυκνωτών, με αποτέλεσμα να προκύπτει το παρακάτω προφίλ κατανάλωσης:

Προφίλ κατανάλωσης

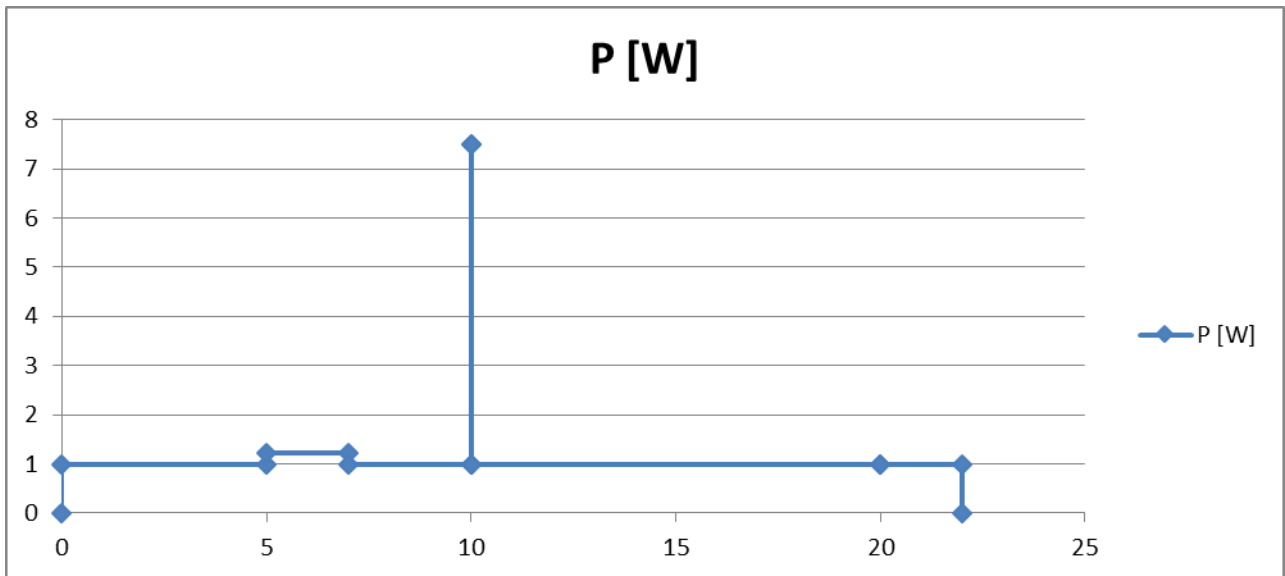
cycle profile, PP(t):		
10s	1.2W	startup
8ms	9.4W	send message
10s	1.2W	wait for receive message
2s	1.2W	go to sleep

Πίνακας 11. Προφίλ Κατανάλωσης

Power Budget με τάση φόρτισης 5Vdc

app voltage [V]	5									
		idle	startup	acquire GPS	TX	RX	shutdown	common	total current	
		I @ 6V [mA]	I @ 6V [mA]	I @ 6V [mA]	I @ 6V [mA]	I @ 6V [mA]	I @ 6V [mA]	I @ 6V [mA]	I @ 6V [mA]	P [W]
idle	0	0.035							0.035	0.000175
startup	0.001		195						195	0.975
	5		195						195	0.975
acquire GPS	5.001		195	50					245	1.225
	7		195	50					245	1.225
	7.001		195						195	0.975
	10		195						195	0.975
TX	10.001				1500				1500	7.5
	10.01				1500				1500	7.5
RX	10.011					195			195	0.975
	20					195			195	0.975
shutdown	20.001						195		195	0.975
	22						195		195	0.975
idle	22.001	0.035							0.035	0.000175
	43199	0.035							0.035	0.000175
	43200							0	0	0

Πίνακας 12. Προφίλ Κατανάλωσης 2.



Εικόνα 38. Κατανάλωση Ισχύος

Καταλληλόλητα Back Boost Converter BQ25504

Η επικοινωνία με την Cymbet, όπως και με όλες τις υπόλοιπες εταιρείες που βοήθησαν στην πραγματοποίηση του συγκεκριμένου έργου, ήταν εποικοδομητική. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του συστήματος, οι μηχανικοί της Cymbet πρότειναν το BQ25504²⁴ της Texas Instruments, ένα Ultra Low Power Boost Converter με δυνατότητα διαχείρισης για εφαρμογές συσσώρευσης ενέργειας.

Για την κατάλληλη διαχείριση του υποσυστήματος συσσώρευσης ενέργειας έπρεπε να επιτευχθεί η καταλληλόλητα της λειτουργίας του BQ25504 DC/DC.

Η τελειοποίηση της αρχιτεκτονικής του υποσυστήματος συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας έδειξε πως από τις τεχνικές προδιαγραφές του BQ25504 έγινε γνωστό ότι V_STOR και V_BAT βρίσκονται στα ίδια επίπεδα.

Εφόσον οι Υπέρ πυκνωτές χρησιμοποιούνται ως μόνο μέσο αποθήκευσης ενέργειας, αυτό σημαίνει πως η αποθήκευση της ενέργειας θα πρέπει να παραμείνει μεταξύ των προδιαγραφών, δηλαδή, V_STOR=4,23...5,17Vdc γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τη διάταξη των Υπέρ-πυκνωτών.

Επίσης, αξίζει να σημειωθεί πως για τη φόρτιση των Υπέρ-πυκνωτών δεν υπάρχει ελάχιστη τάση φόρτισης και άλλες παράμετροι, όπως ισχύει στις μπαταρίες Ιόντων Λιθίου (Li-Ion).

Η φόρτιση/αποφόρτιση των Υπέρ-πυκνωτών μπορεί να γίνεται έχοντας μέγιστο

²⁴ <http://www.ti.com/product/bq25504>

ρεύμα >16Amps ενώ μπορούν να φορτίζονται και να αποφορτίζονται μέσα σε εύρος τάσεως από 0...2,7Vdc με οποιονδήποτε τρόπο με τον μοναδικό περιορισμό τη μέγιστη τάση τους που είναι 2,0Vdc.

Πέρα από τις προδιαγραφές ισχύος, η αυξομείωση τάσεως στα 5Vdc πρέπει να είναι <40mVpp ενώ τέλος διαπιστώθηκε πως στην περίπτωση εκκίνησης τάσης φόρτισης στα 0Vdc το BQ25504 αντιδράει ως βραχυκύκλωμα δημιουργώντας μεγάλο ρεύμα με μικρή τάση.

Άρα η σωστή επιλογή ενός DC/DC Converter με σταθερή 5Vdc τάση στην έξοδο τους είναι πάρα πολύ σημαντική για την απόδοση του αυτόνομου υποσυστήματος συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας, καθώς πρέπει να δοθεί η απαραίτητη προσοχή, ώστε να μην παρουσιαστεί αυτό-εκφόρτιση στους Υπέρ-πυκνωτές.

Προτάθηκαν επίσης τρεις DC/DC Converters με 5Vdc στην έξοδο:

5. LTC 3425
6. LTC3112
7. LT1619

6.5 Αποστολή Γεγονότων

Multi Task Event Base Device

Η αυτόνομα τροφοδοτούμενη μονάδα εντοπισμού και ελέγχου είναι “Event-Based και Multi-tasking”, δηλαδή, έχει την ιδιότητα να καταλαβαίνει διάφορα γεγονότα, όταν συμβαίνουν σε πραγματικό χρόνο και να τα μεταδίδει σε application Servers. Αυτό σημαίνει πως η συσκευή για κάθε γεγονός που συμβαίνει μπορεί να το διαχειρίζεται με άλλες διαφορετικές καταστάσεις και ανάλογα να μεταδίδει έναν κωδικό, τον οποίο θα αναλύσει στην συνέχεια κάποιος Server, όπου θα ενημερώνει τον χειριστή που παρακολουθεί την μονάδα.

Η συσκευή μεταδίδει μηνύματα σε σύγχρονο προκαθορισμένο χρόνο ή σε περίπτωση που συμβεί κάποιο “event”, γεγονός. Ο περιορισμός μεταξύ των διαφόρων γεγονότων “Events” φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Event ID Definitions).

Το υποσύστημα παράγει αναφορές που περιέχουν τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Θέση GPS, ταχύτητα και την κατεύθυνση
- Κατάσταση ψηφιακής εισόδου και εξόδου
- Τιμή αναλογικής εισόδου
- Ένδειξη Δόνησης
- Διαγνωστικές πληροφορίες και κατάσταση της μπαταρίας

Οι εκθέσεις αυτές μπορούν να δημιουργούνται και να μεταδίδονται με βάση τις ακόλουθες λειτουργικές προϋποθέσεις:

- Time-of-Day Πληροφόρησης
- Διάστημα Πληροφόρησης
- Η συσκευή εντός ή εκτός της GeoFence Πληροφόρησης
- Η συσκευή εντός ή εκτός της GeoFence Ταχείας Πληροφόρησης
- Αλλαγή στην Ψηφιακή είσοδο συναγερμού
- Αναλογική τιμή (παράθυρο) συναγερμού
- Συναγερμός δόνησης
- Εντοπισμός Digital Pulse Counter Value

Συνάμα υπάρχει η περίπτωση η μονάδα να μην μπορεί να διαχειριστεί κάποια γεγονότα που μπορεί να της συμβούν σε ανύποπτο χρόνο. Σε αυτή την φάση πρέπει λειτουργήσει σύμφωνα με τον παρακάτω τρόπο:

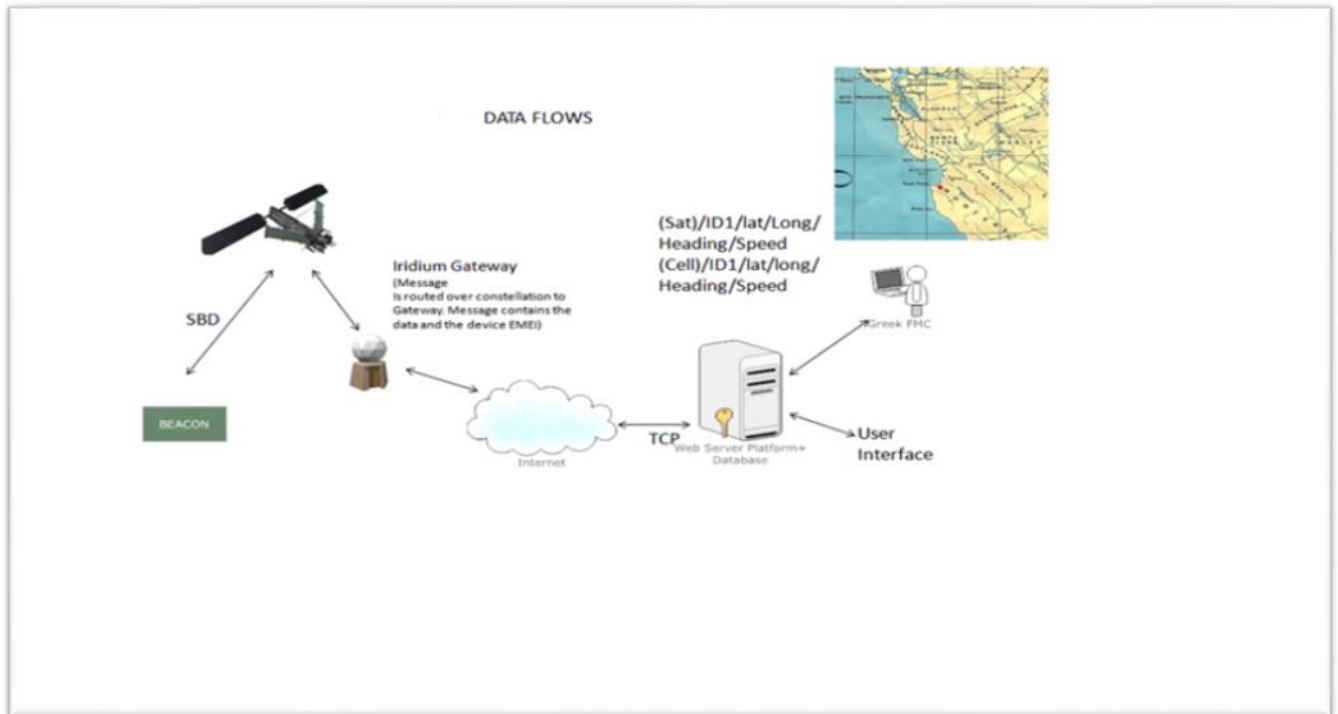
- Σε περίπτωση που συμβεί κάποιο γεγονός (Event) αλλά δεν υπάρχει κάλυψη GPS, η συσκευή θα το αποθηκεύει και θα το αποστέλλει, όταν μπορέσει να λάβει σήμα GPS μεταδίδοντας την τελευταία του γνωστή τοποθεσία.
- Αν η συσκευή δεν γνωρίζει την τελευταία τοποθεσία της, τότε θα μεταδίδει την τελευταία γνωστή ώρα σε αυτή στέλνοντας μηδενικά στη θέση του GPS του πρωτοκόλλου επικοινωνίας.

Communication Protocol

Το δορυφορικό δίκτυο Iridium θα επιτρέπει στη συσκευή να μεταδίδει τα

μηνύματα της, γνωστά ως Mobile Originated Messages αλλά και να δέχεται μηνύματα, δηλαδή, Mobile Terminated Messages. Τα Mobile Originated Messages της συσκευής θα φτάνουν στο σταθμό βάσης της Iridium μέσω TCP/IP πρωτοκόλλου επικοινωνίας.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η αρχιτεκτονική δικτύου της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου.



Εικόνα 39. Σχηματισμός Δικτύου

Η επικοινωνία με το παγκόσμιας εμβέλειας δίκτυο της IRIDIUM απαιτεί η μονάδα να χρησιμοποιεί πρωτόκολλο επικοινωνίας που μόνο η ίδια η Iridium απαιτεί. Η Iridium επιτρέπει στους κατασκευαστές που χρησιμοποιούν κάποιο από τα modem της (στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιείται το 9602) να προσθέσουν το δικό τους ιδιόκτητο πρωτόκολλο επικοινωνίας επιπρόσθετα στο δικό της, αρκεί αυτό να γίνει σωστά δίχως να προκαλέσει προβλήματα στην επικοινωνία.

Στον κατωτέρω πίνακα φαίνεται ένα μέρος από τα 50 bytes του ιδιωτικού πρωτοκόλλου επικοινωνίας της Iridium. Δεν παρουσιάζεται όλο το πρωτόκολλο επικοινωνίας της Iridium²⁵ καθώς αυτό είναι στην ιδιοκτησία της, ούτε της συσκευής, καθώς θεωρείται ιδιωτική περιουσία της Furuno Hellas η οποία

²⁵ http://www.satcom.ws/upload/iblock/757/IRDM_IridiumSBDSservice_V3_DEVGUIDE_9Mar2012.pdf

χρηματοδότησε το συγκεκριμένο έργο.

Iridium Direct IP Message Format - Modem Originated			
<i>Byte #</i>	<i>Length</i>	<i>Example</i>	<i>Description</i>
0	1	1	Protocol Revision Number
1	2	0	Overall Message Length (following this, 87)
2	-	57	
3	1	1	Information Element Related to Message (0x01 MO Header IEI)
4	2	0	MO Header Length (following this, 28)
5	-	1C	
6	4	74	CDR Reference (Auto ID)
7	-	62	
8	-	F9	
9	-	4D	
10	15	33	IMEI ASCII
11	-	30	
12	-	30	
13	-	32	
14	-	33	
15	-	34	
16	-	30	
17	-	33	
18	-	30	
19	-	37	
20	-	30	
21	-	39	
22	-	33	
23	-	38	
24	-	30	
25	1	0	Session Status (0x00 The SBD session completed successfully)
26	2	5	MOMSN - mobile-originated message sequence number - by the modem
27	-	77	
28	2	0	MTMSN - mobile-terminated message sequence number - by Iridium Gateway
29	-	0	

Εικόνα 36. Πρωτόκολλο επικοινωνίας Iridium

Ο πίνακας 9 δείχνει τους κωδικούς των διαφόρων γεγονότων στην περίπτωση που δημιουργηθούν, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Event ID	Definitions
0x10	ACK
0x20	NACK
0x40	GPSPing
0x43	Transition to energy harvesting power
0x44	Transition to Super Capacitor Power
0x45	Super Capacitor Depleted-Device is ready to close
0x90	GPS Request
0x91	Log Request

Πίνακας 13. Ταυτοποίηση γεγονότων (Event ID Definitions)

Αξίζει δε να σημειωθεί ότι κάθε ένα από τα παραπάνω ID's είναι άμεσα εξαρτώμενα από το Foundation στον επεξεργαστή του συστήματος.

Θα πρέπει, δηλαδή, ο πηγαίος κώδικας και όχι απλά το application της εφαρμογής, να υποστηρίζει τους κωδικούς που θα αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα γεγονότα.

Χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο επικοινωνίας της Iridium υπάρχει επίσης η δυνατότητα ρύθμισης και αναβάθμισης της συσκευής απομακρυσμένα μέσω συγκεκριμένων εντολών που καταλαβαίνει το Application και αποθηκεύεται στο Foundation της της.

Το δίκτυο της Iridium είναι απόλυτα ασφαλές για να πετύχει η απομακρυσμένη πρόσβαση με την αυτόνομα τροφοδοτούμενη μονάδα εντοπισμού και ελέγχου. Μηνύματα που δέχεται η μονάδα μέσω POP email και SMS μπορούν να περιλαμβάνουν ενσωματωμένες (embedded) εντολές για το σύστημα. Αυτές οι εντολές είναι διαφορετικές από τις κοινές εντολές του OVER THE AIR command ενώ περιλαμβάνονται μέσα στον πηγαίο κώδικα της κάθε συσκευής.

Ένα απλό παράδειγμα των εντολών αυτών είναι:

- RESTART MODEM
- FIRMWARE UPDATE
- APPLICATION UPDATE

Εάν, λοιπόν, χρειαστεί να σταλεί η εντολή RESTART MODEM στο υποσύστημα εντοπισμού και ελέγχου, αυτό μπορεί να γίνει με POP email, με SMS και βέβαια μέσω TCP που είναι ο βασικός τρόπος επικοινωνίας της μονάδας. Η εντολή RESTART MODEM θα περάσει στον πηγαίο κώδικα του συστήματος όπου πρωτίστως θα αναλυθεί από τον κώδικα εφαρμογής (Application Code), ενώ ο κώδικας εφαρμογής θα περιέχει έναν κωδικό(id) που θα αναλύει το μήνυμα, όταν σταλεί απομακρυσμένα.

6.6 Ανάλυση των κατάλληλων κεραιών GPS της αυτόνομα τροφοδοτούμενης αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium

Για την καλύτερη λειτουργία της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου η κεραία GPS που απαιτείται είναι τύπου: Active GPS Antenna.

Το υποσύστημα εντοπισμού και ελέγχου by default απαιτεί MCX antenna connectors στην πλευρά της πλακέτας ενώ χρειάζεται flying lead για την σύνδεση της κεραίας με το περίβλημα της μονάδας (BNC or SMA connector).

Αρχικά προτάθηκε η κεραία AU-15 της εταιρείας FURUNO.



Εικόνα 40. AU-15 GPS antenna

Οι τεχνικές προδιαγραφές της όμως δεν την κατέστησαν ικανοποιητική για την εφαρμογή της με την μονάδα. Η ασυμβατότητα της κεραίας με την μονάδα οφείλεται στην τροφοδοσία του προ-ενισχυτή της κεραίας. Η AU-15 χρειάζεται

5,5Vdc για να τροφοδοσία της pre-amplifier ενώ το υποσύστημα επεξεργασίας, εντοπισμού και ελέγχου έχει την ικανότητα να τροφοδοτεί με 3,3Vdc.

Καθώς η AU-15 GPS κεραία δεν ανταποκρινόταν στις απαιτήσεις του συστήματος, στην συνέχεια προτάθηκαν επιπλέον τρεις κεραίες για να διαπιστωθεί αν είναι συμβατές με την μονάδα ελέγχου.

Οι κεραίες και τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται παρακάτω:

Model : SM-19



Εικόνα 41. SM-19 GPS antenna

Physical Constructions:	
Constructions:	Polycarbonate radome enclosure, die-cast-shell at the bottom, water proof rubber gasket seals.
Dimensions:	58mm(L) x 48mm(W) x 15mm(H).
Weight:	65grams (excluding cable & connector)
Standard Mounting:	magnet mount and/or screw mount with 2 pieces of M3 tapped holes on the plastic flanges
Optional mounting plate:	customized metal sheet
Cable & Connector:	
RF:	5 meter RG174/U (standard) cable, other length available
Pulling strength:	6 Kg/5 sec. with molded plastics on connector end for strain relief
Connector available:	BNC, TNC, FME (to be adapted), GT5, MCX (OSX), SMA, SMB or SMC in straight or right angle type
Optional:	Universal Connector Adapter (FME to TNC/BNC/SMA/SMB/MCX)
Antenna Element:	
Center Frequency:	1575.42 MHz +/-1.023 MHz
Polarization:	R.H.C.P. (Right Handed Circular Polarization).
Absolute Gain @ Zenith:	+5 dBi typical.
Gain @ 10° Elevation:	-1 dBi typical.
Axial Ratio:	3 dB max.
Output VSWR:	1.5 max.
Output Impedance:	50ohm
Low Noise Amplifier:	
Center Frequency:	1575.42 MHz +/- 1.023 MHz.
Power Gain:	14 dB typically

Bandwidth:	2 MHz min
Noise Figure:	1.7 max.
Outer Band Attenuation	12dB min. @F0 +/- 140MHz
Supply Voltages:	+2.5~+3.3V DC
Current Consumption:	5.5mA +/- 1mA@3.3V.
Output Impedance:	50ohm
Overall Performance: (antenna element, LNA & coax cable)	
Center Frequency:	1575.42 MHz.
Gain:	14 dB min.
Noise Figure:	2.0 max.
Axial Ratio:	3 dB max.
Bandwidth:	2MHz min.
VSWR:	2.0 max.
Output Impedance:	50 ohm
Environmental Condition:	
Operating Temperature:	-40°C~ +85°C
Storage Temperature:	-40°C~ +85°C
Relative Humidity:	95% non-condensing.
Water Resistance:	100% waterproof.

Πίνακας 14. Τεχνικά χαρακτηριστικά SM-19

Model : MK-76



Εικόνα 42. MK-76 GPS antenna

Specification

Physical Constructions	
Constructions	Polycarbonate radome / metal base
Dimensions	33.95mm(L) x 25.20mm(W) x 10.60mm(H)
Weight	30grams (less cable & connector)
Color of Radome	Standard in dark gray, other colors available upon request
Standard Mounting	Magnet or screw mount
Antenna Element:	
Center Frequency	1575.42 MHz +/-1.023 MHz
Polarization	R.H.C.P. (Right Hand Circular Polarization)
Absolute Gain @ Zenith	+5 dBi typical.
Gain @ 10° Elevation	-1 dBi typical.
Axial Ratio	3 dB max.
Output VSWR	1.5 max.

Output Impedance	50ohm
Low Noise Amplifier	
Center Frequency	1575.42 MHz +/- 1.023 MHz.
Power Gain	28 dB typically
Bandwidth	2 MHz min.
Noise Figure	1.5 max.
Outer Band Attenuation:	20 dB min. @ Fo +/-50 MHz.
Supply Voltages	+2.5 ~ 5.5V DC
Current Consumption	12 mA +/-2 mA
VSWR	1.5 max.
Output Impedance	50 ohm
Cable & Connector	
RF Cable	3 meter RG174/U (standard), other length available
Pulling Strength	6 Kg/5 sec. with molded plastics on connector end for strain relief
Connector Available	BNC, TNC, FME (to be adapted), GT5, MCX (OSX), SMA, SMB or SMC in straight or right angle type
Optional Adapters:	FME~MCX, FME~BNC, MFE~SMA, FME~SMB, FME~TNC
Environmental Condition:	
Operating Temperature	-40°C~ +85°C
Storage Temperature	-50°C~ +90°C
Relative Humidity	95% non-condensing

Πίνακας 15. Τεχνικά χαρακτηριστικά MK-76

Model : MK-76E



Εικόνα 43. MK-76E GPS antenna

Specification

Physical Constructions	
Dimensions	33.95mm (L) x 25.20mm (W) x 10.60mm (H)
Weight	30 grams (excluding cable & connector)
Construction:	Polycarbonate radome on metal base
Color of Radome:	Standard in dark gray, other colors available upon request
Standard Mounting:	Magnet or screw mount
Antenna Element	
Center Frequency:	1575.42 MHz +/- 1.023 MHz
Polarization:	R.H.C.P. (Right Hand Circular Polarization)
Absolute Gain at Zenith:	+1 dBiC typically
Gain at 10o Elevation	-5 dBiC typically
Axial Ratio:	3.0 dB max.

Output Impedance	50 ohm
Output VSWR:	2 max.
LNA (Low noise Amplifier)	
Center Frequency:	1575.42 MHz +/- 1.023 MHz
Gain:	27dB @ 3V
Noise Figure:	1.5 dB typically
Band Width:	10 MHz min. @S11£-10 dB
Supply Voltage:	2.5 ~ 5 V DC
Current Consumption:	3V : 10.6mA typically 5V : 21mA typically
Output Impedance:	50 ohm
Output VSWR:	2 max.
Total Specifications(Through LNA, Cable and Connector)	
Center Frequency:	1575.42 MHz
Gain:	27 dB typically (note:1)
Noise Figure:	1.8 dB
Band Width:	5 MHz
Axial Ratio:	3 dB max.
VSWR:	2 dB typically
Output Impedance:	50 ohm
RF Cable:	10" RG178/U (standard), other length available
Pulling Strength:	6 Kg/5 sec. with molded plastics on connector end for strain relief
Connector Available:	BNC, TNC, FME (to be adapted), GT5, MCX (OSX), SMA, SMB or SMC in straight or right angle type
Optional Adapters:	FME~MCX, FME~BNC, FME~SMA, FME~SMB, FME~TNC
Environmental Conditions	
Operating Temperature:	-40°C~+85°C
Storage Temperature:	-40°C ~+90°C
Relative Humidity:	95% non-condensing
Waterproof:	100% waterproof

Πίνακας 16. Τεχνικά χαρακτηριστικά MK-76E

Η ανάλυση των τριών GPS κεραιών με το σύστημα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι οι κεραιές που είναι συμβατές με την μονάδα είναι:

1. Model : MK-76E
2. Model : MK-76

Ο λόγος που η Model : SM-19 δεν είναι συμβατή με το σύστημα είναι διότι το κέρδος απολαβής GAIN είναι πολύ χαμηλό καθώς οι συστάσεις για την καταλληλότερη κεραία πρέπει να είναι όπως παρακάτω:

- Μέγιστο κέρδος απολαβής GAIN: 15dB (χρειάζεται για την αντιστάθμιση των απωλειών που μπορεί να προκύψουν λόγω του καλωδίου.
- Το μέγιστο κέρδος απολαβής GAIN: 50dB
- Μέγιστη υποβάθμιση σήματος (noise figure): 1.5dB

Τυπικά η ιδανικότερη κεραία για την μονάδα πρέπει να έχει κέρδος απολαβής μεταξύ 24-28dB. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν ξεχωριστές κεραίες, η Iridium προτείνει απόσταση ενός μέτρου (1μ.) όταν εκπέμπει ο πομπός της από GPS active κεραία, ώστε να αποφευχθούν τυχόν παρεμβολές.

6.7 Ανάλυση των κατάλληλων κεραιών Iridium της αυτόνομα τροφοδοτούμενης αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium

Το υποσύστημα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου χρησιμοποιεί τον πομποδέκτη Iridium της σειράς 9602.

Η συγκεκριμένη σειρά υποστηρίζει GPS Pass Through λειτουργία όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί κοινή κεραία για την λειτουργία της μονάδας με γνώμονα την μείωση των εξαρτημάτων όπως είναι για παράδειγμα κεραία (δεύτερη) καλώδιο και connector για την εφαρμογή της με την πλακέτα του πομποδέκτη.

Παρακάτω περιγράφονται οι λόγοι για τους οποίους μπορεί να χρησιμοποιηθεί η υπηρεσία GPS Pass Through Mode:

- Με την ανίχνευση της παρουσίας μιας τάσης DC επί του κέντρου ακίδων του connector GPS. Το 9602 χρησιμοποιεί την τάση από το κεντρικό pin GPS για να ενεργοποιηθεί η λήψη του GPS και απαιτεί ελάχιστο ρεύμα (< 100uA) .

Η λήψη GPS ενεργοποιείται όταν η τάση στο κεντρικό - pin είναι μεγαλύτερη από 1.2V

- Υπάρχει απώλεια διαδρομής περίπου 3dB στην λαμβανόμενη κατεύθυνση από ANT στο GPS .
- Η λήψη GPS είναι προσωρινά απενεργοποιημένη κατά τη διάρκεια μεταδόσεις από το 9602.
- Εφ 'όσον η παροχή 5V στο 9602 είναι συνδεδεμένη και η τάση DC στην υποδοχή GPS είναι παρόν , το GPS pass-through μονοπάτι διατίθεται . Η λήψη GPS είναι διαθέσιμη ακόμα και όταν η μονάδα 9602 έχει απενεργοποιηθεί με τη χρήση του σήματος ελέγχου ON / OFF του .
- Εάν δεν χρησιμοποιείται η θύρα του GPS μπορεί να αφηθεί μη - τερματισμός χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις .
- Ο δέκτης GPS πρέπει να παρουσιάζει 50 ohm αντίσταση σε ολόκληρη τη ζώνη Iridium ή διαφορετικά η SBD απόδοση θα μπορούσε να υποβαθμιστεί .
- Η απώλεια επιστροφής εξόδου είναι συνήθως -8 dB .

Στην αυτόνομα τροφοδοτούμενη μονάδα εντοπισμού και ελέγχου υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους δεν χρειάζεται η συγκεκριμένη υπηρεσία.

- a) Χρειάζεται να είναι ενεργοποιημένο το 9602 για να λειτουργήσει. Γεγονός που καθιστά το σύστημα μη-αποδοτικό καθώς πρέπει να ενεργοποιείται το 9602- να προσπαθεί για εγγραφή (register) με το δίκτυο της Iridium πριν από την αρχικοποίηση λήψη GPS σήματος.
- b) Η υπηρεσία GPS Pass Through απαιτεί passive Iridium κεραία για την λήψη GPS με αώτερο αποτέλεσμα το μειωμένο GAIN και συνεπώς το χαμηλό επίπεδο σήματος λαμβάνοντας υπόψη όπως η αυτόνομα τροφοδοτούμενη μονάδα εντοπισμού και ελέγχου που χρησιμοποιεί μικρού μήκους καλώδια και κεραία που είναι κοντά με την μονάδα.
- c) Ο χρόνος για την απόκτηση σήματος GPS σε αυτή την περίπτωση είναι πολύ μεγαλύτερος λόγω της passive GPS κεραίας.

Οπότε σε περίπτωση που η μονάδα χρησιμοποιήσει μία μόνον κεραία τότε είναι δύσκολο να ολοκληρώσει την εγγραφή, αποστολή δεδομένων και την απόκτηση του σήματος GPS ταυτόχρονα, καθώς το 9602 θα χρησιμοποιεί αυτόματα την υπηρεσία

GPS Pass Through Mode όταν αυτό εκπέμπει για να προστατέψει το LNA στον GPS δέκτη.

Γενικότερα εφόσον το φάσμα συχνοτήτων της Iridium είναι πολύ κοντά με αυτό του GPS , ακόμα και στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί ξεχωριστή κεραία η καλύτερη πρακτική είναι η μη ανάκτηση GPS σήματος την στιγμή που γίνεται εκπομπή δεδομένων.

Συνάμα η αυτόνομα τροφοδοτούμενη μονάδα εντοπισμού και ελέγχου θα πρέπει λειτουργεί σύμφωνα με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. Ο GPS δέκτης δεν πρέπει να λειτουργεί όταν ο 9602 στέλνει ή λαμβάνει δεδομένα.
2. Κατά την διάρκεια εγγραφής στο δίκτυο της Iridium τότε ο GPS δέκτης πρέπει να λαμβάνει GPS σήμα.
3. Έπειτα από την ανάκτηση του GPS σήματος τότε ο δέκτης GPS πρέπει κλείνει και ο 9602 να στέλνει δεδομένα.

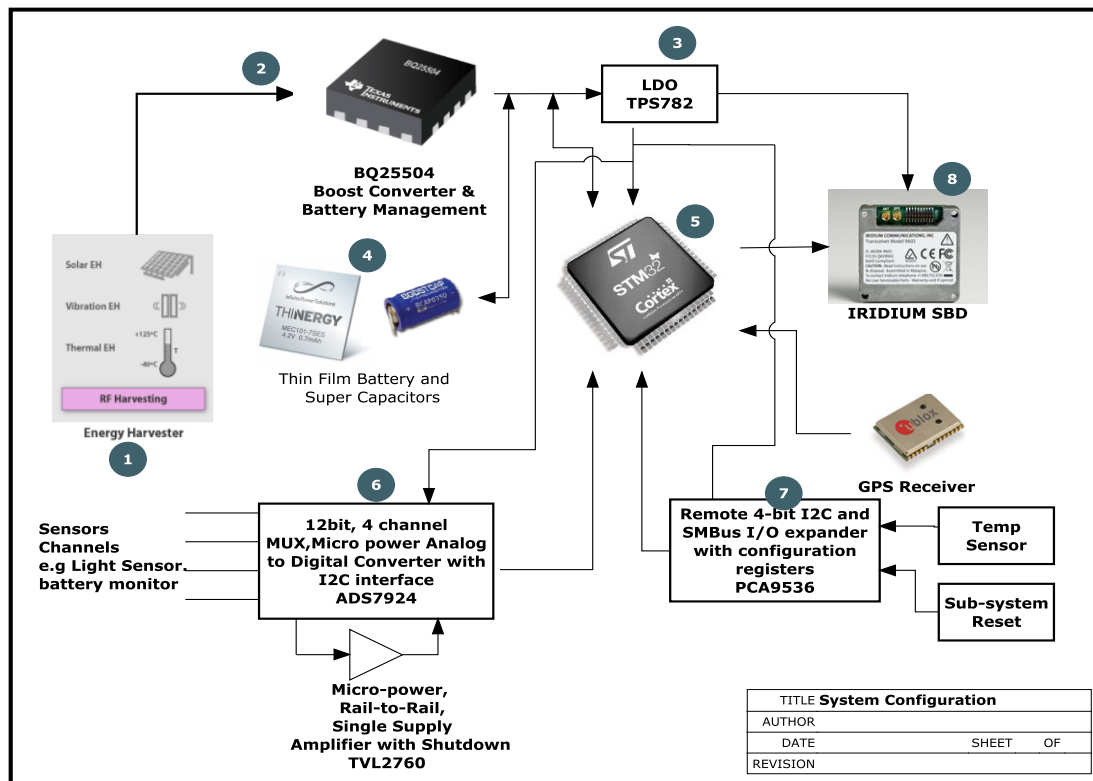
Κεφάλαιο 7. Αρχιτεκτονική αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου με πομποδέκτη Off-The-Self Iridium

Η τροποποίηση της αρχιτεκτονικής της μονάδας επιτευχθεί λαμβάνοντας υπόψιν την ανάλυση των απαιτήσεων που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο για την ανάπτυξη ενός συστήματος χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.

Ο επεξεργαστής που μελετήθηκε σε αυτή την φάση ήταν της οικογένειας ARM και οι αρχικές δυνατότητες που ελήφθησαν υπόψη για τον συγκεκριμένο τρόπο υλοποίησης είναι:

1. Είσοδος πόρτας προγραμματισμού για τυχόν αναβαθμίσεις και Debugging, (γνωρίζοντας πως μια πόρτα USB καταναλώνει πολύ μεγαλύτερη ενέργεια από μια RS-232).
2. Τύπος επεξεργαστή STM-32 ARM με δυνατότητα διεπαφής I2C για τον 12-bit, 4εισόδων πολύ χαμηλής ενέργειας μετατροπέα MUX, Micro power Analog to Digital Converter.
3. Ενσωματωμένη ή εξωτερική διασύνδεση με 12bit αισθητήρα θερμοκρασίας.
4. Δύο ψηφιακές εισόδους, η πρώτη ψηφιακή είσοδος/έξοδος να είναι βασικής λειτουργίας σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί εξωτερικός αισθητήρας θερμοκρασίας ενώ η δεύτερη να παραμείνει ως εφεδρεία σε περίπτωση που το υπό-σύστημα συσσώρευσης ενέργειας χρειάζεται να γίνει reset.

Ο αρχικός σχεδιασμός του συστήματος καθορίστηκε με τη συνύπαρξη και των δύο υπό-μονάδων του συστήματος δίνοντας την παρακάτω αρχιτεκτονική με στόχο την πραγματοποίηση μιας **αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου** με δυνατότητα λειτουργίας για πολλά χρόνια χωρίς να απαιτείται η ανθρώπινη παρέμβαση για την αντικατάσταση της μπαταρίας του.



Εικόνα 44. Διάταξη Αυτόνομα Τροφοδοτούμενης Μονάδας Εντοπισμού και ελέγχου

Από το παραπάνω Block Diagram έγινε κατανοητό ότι λείπει το κύκλωμα φόρτισης μπαταριών του off-The-Self υποσυστήματος επεξεργασίας, εντοπισμού και ελέγχου, εντούτοις έχει αντικατασταθεί από το κύκλωμα βασικής τροφοδοσίας το οποίο χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση με το υποσύστημα συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας.

Ανεξάρτητα με την καταλληλότητα των απαιτήσεων για το BQ25505 της Texas Instruments, η συγκεκριμένη συσκευή προτάθηκε στην αρχική αρχιτεκτονική διότι έχει δυνατότητα φόρτισης μπαταριών και Υπερ-πυκνωτών, ενώ μπορεί να κάνει Convert την τάση που παίρνει από τη γεννήτρια συσσώρευσης ενέργειας και να την αυξάνει. Δηλαδή είναι ένας DC/DC boost converter/charger ιδανικός για χρήση θερμογεννητριών.

Καθώς αυτόνομη μονάδα εντοπισμού και ελέγχου διαχωρίστηκε σε δύο επιμέρους υπό-συστήματα:

- | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none">A. Το υποσύστημα συσσώρευσης ενέργειαςB. Το υποσύστημα επεξεργασίας, εντοπισμού και ελέγχου. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Η ανάλυση των απαιτήσεων παραπάνω, άλλαξε την αρχική σκέψη διεξαγωγής του σχεδιασμού. Όμως το γεγονός αυτό δεν περιόρισε τις δυνατότητες του συστήματος, ενώ αντίθετα οι αλλαγές που έγιναν βοήθησαν την διεξαγωγή και την τεκμηρίωση της καλής λειτουργίας του.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα στοιχεία που δεν υιοθετήθηκαν στην τελική αρχιτεκτονική ενώ είχαν αρχικά οριστεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις του συστήματος:

- | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none">1. 12bit, 4 channel low power auto-scanning ADC.2. εξωτερικός αισθητήρας φωτός.3. Ο micro power rail to rail, Single supply Amplifier.4. Ο Power Switch που θα απενεργοποιούσε τη μέτρηση στην κατανάλωση του κυκλώματος κατά τη διάρκεια φόρτισης.5. Ο Low R F transponder. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Όπως έγινε κατανοητό, οι αλλαγές αυτές, δεν περιόρισαν την διεξαγωγή δοκιμών για την τεκμηρίωση της καλής λειτουργίας της συσκευής. Παρόλα αυτά σε περίπτωση που απαιτηθεί στο μέλλον να χρησιμοποιηθούν τα παραπάνω στοιχεία, ο επεξεργαστής διαθέτει τις αντίστοιχες πόρτες διασύνδεσης.

Για την αποθήκευση της ισχύος από τις γεννήτριες συσσώρευσης ενέργειας επιλέχθηκαν Υπηρεπυκνωτές (Super Capacitors) της εταιρείας Maxwell Technologies.

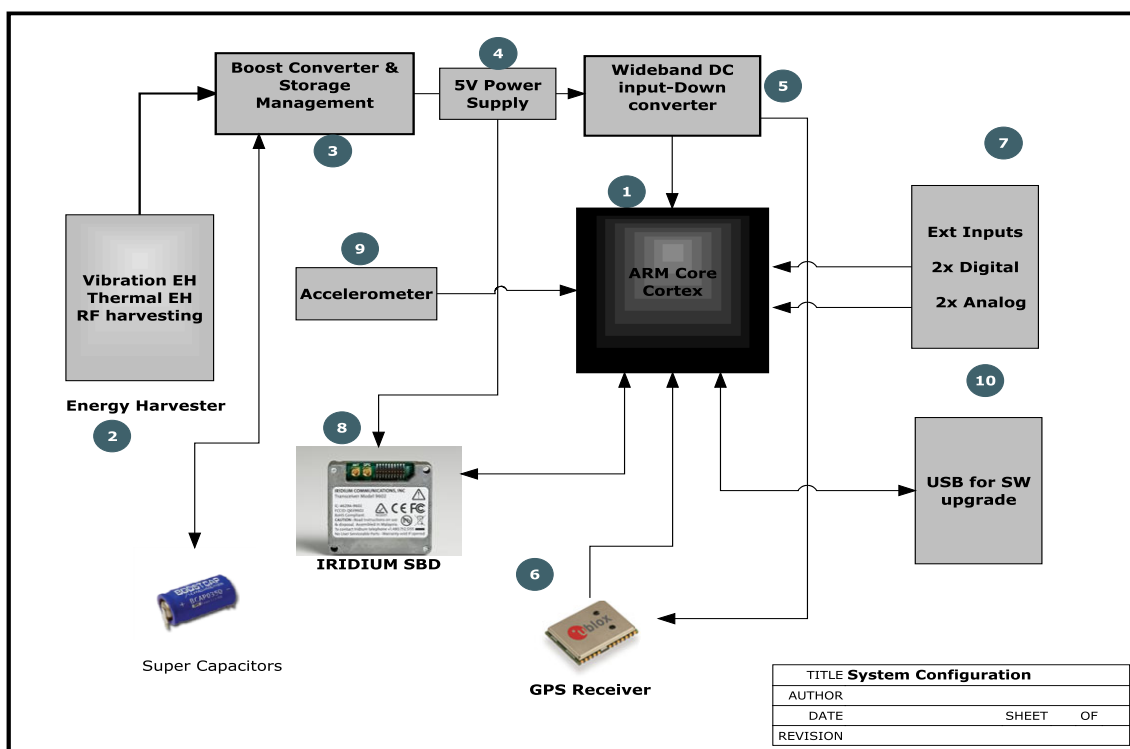
Στο υποσύστημα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου η θύρα USB

χρησιμοποιείται για trouble-shooting και αναβάθμιση του λογισμικού, κάτι που ενδέχεται να γίνεται συχνά για τυχόν διορθώσεις, ιδίως κατά την διάρκεια των δοκιμών.

Εντούτοις έπειτα από επικοινωνία με την Maxwell Technologies την εταιρεία που προμήθευσε τους Υπερπυκνωτές για τις δοκιμές, καθορίστηκε πως το Υπό-σύστημα συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας θα τροφοδοτεί το Υπό-σύστημα επεξεργασίας και επικοινωνίας με 5Vdc, έχοντας υπόψη πως κατά τη διάρκεια των 10mSec και 1.5Amp ρεύμα, θα δημιουργείται πτώση τάσης περίπου 4.88Vdc.

Όπως καταγράφηκε παραπάνω οι αλλαγές που προέκυψαν κατά την μελέτη και υλοποίηση του πρωτοτύπου, έδωσαν την δυνατότητα για περαιτέρω ελέγχους που τεκμηρίωσαν τις δυνατότητες της μονάδας.

Ενώ σύμφωνα με τις αλλαγές που προέκυψαν, η διάταξη της αρχιτεκτονικής της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου άλλαξε και παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 45. Αρχιτεκτονική Αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου

Η αρχιτεκτονική της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου απαρτίζεται από τις παρακάτω διατάξεις οι οποίες αναλύονται παρακάτω εκτενέστερα.

1. Τον επεξεργαστή ARM Cortex
2. Το κύκλωμα στο οποίο οι γεννήτριες θερμότητας, ηλιακές και δόνησης θα μπορούν να αντλούν ενέργεια από το περιβάλλον.
3. Το κύκλωμα μετατροπέα συνεχή τάσεως 5 Vdc.
4. Το κύκλωμα παροχής τροφοδοσίας στον πομποδέκτη της Iridium.
5. Το κύκλωμα το δέκτη GPS.
6. Τις αναλογικές και ψηφιακές εισόδους/εξόδους.
7. Τον πομποδέκτη Iridium.
8. Το κύκλωμα διασύνδεσης της USB θύρας.

Συνεπώς το υποσύστημα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου είναι ένα off-the-self σύστημα το οποίο τροποποιήθηκε για τις ανάγκες της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου.

Εξ ορισμού το σύστημα χρησιμοποιεί εσωτερική μπαταρία καθώς επίσης και κύκλωμα φόρτισης της.

Παρόλα αυτά για να ανταποκριθεί με τις προδιαγραφές του έργου για χαμηλότερη τροφοδοσία στην είσοδο του συστήματος απομακρύνθηκε από το κύκλωμα η εσωτερική μπαταρία καθώς δεν χρειάζεται αφού την αντικατέστησαν οι Υπερπυκνωτές, ενώ γενικότερα το σύστημα τροποποιήθηκε σύμφωνα με παρακάτω χαρακτηριστικά:

Απομακρύνθηκε η εσωτερική μπαταρία

Απενεργοποιήθηκε το κύκλωμα φόρτισης της μπαταρίας

Απομακρύνθηκε το κύκλωμα συγχρονισμού τάσεως στην είσοδο του συστήματος

Απομακρύνθηκε το κύκλωμα προστασίας του συστήματος

Με την απομάκρυνση του κυκλώματος προστασίας στην είσοδο του συστήματος επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου δημιουργείται η αβεβαιότητα προστασίας του από τυχόν υπέρταση (Over Voltage). Όμως η σωστή αρχιτεκτονική και η προστασία των μετατροπέων DC/DC αποτρέπει να συμβεί κάτι τέτοιο.

Η τροποποίηση του συστήματος επεξεργασίας, εντοπισμού και ελέγχου σύμφωνα με τις προδιαγραφές της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου έδωσε την δυνατότητα τροφοδότησης στην είσοδο του συστήματος με βασική τάση τα 5Vdc και να υπάρχει εύρος τάσης (4,5Vdc-5,5Vdc).

Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί εξομοίωση της μονάδας, τόσο για τάση εισόδου $V_{in}=5Vdc$ αλλά και $V_{in}=6Vdc$.

Θα παρατηρηθεί ότι κατά την διάρκεια εξομοίωσης με τάση στην είσοδο του συστήματος $V_{in}=6Vdc$ υπάρχει αυτό-εκφόρτωση των υπερ-πυκνωτών, πριν έρθει το σύστημα σε κατάσταση εκπομπής TX-Pulse, ενώ η ένταση του ρεύματος στην κατάσταση αυτή ξεπερνά τα 1,5Amps και βαδίζει προς τα 2Amps.

7.1 Κύκλωμα συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου με πομποδέκτη *Off-The-Self Iridium*.

Η αυτόνομα τροφοδοτούμενη μονάδα εντοπισμού και ελέγχου χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση εμπορευματοκιβωτίων μέσω του παγκοσμίου εμβέλειας δικτύου της Iridium.

Η συσσώρευση ενέργειας γίνεται από εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως είναι η ηλιακή, της κίνησης και της θερμικής.

Η συσκευή της Texas Instruments TIBQ25504 power management chip κατά τη σχεδίαση της υπό-μονάδας συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας ήταν η πρώτη επιλογή για τη διαχείριση των γεννητριών συσσώρευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και φόρτισης των Υπέρ πυκνωτών.

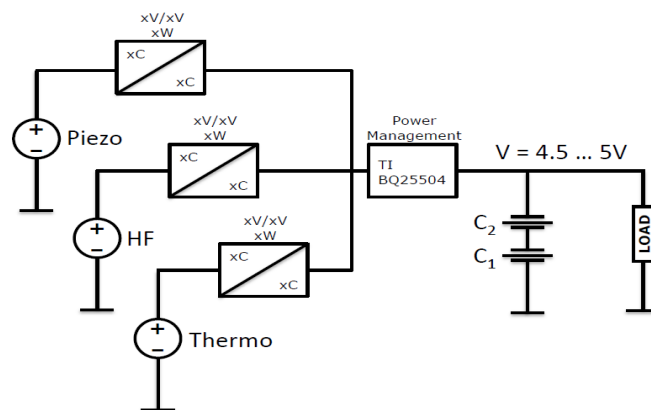
Παρακάτω παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις του υποσυστήματος συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας για την συσσώρευση και φόρτιση των Υπερπυκνωτών, ώστε να δώσουν την κατάλληλη τάση στην είσοδο του Off-The-Self πομποδέκτη της Iridium.

Προσέγγιση Direct Coupled

Η πρώτη προσέγγιση ονομάζεται άμεσα συνδεδεμένοι πυκνωτές (direct coupled). Πρόκειται για μια εύκολη ενσωμάτωση ενώ η τάση κατά τη λειτουργία κυμαίνεται μεταξύ 4,5-5Vdc, εξαρτώμενη βεβαίως από την κατάσταση φόρτισης των Υπερπυκνωτών.

System Architecture

- **Option 1 – direct coupled**



Εικόνα 46. Προσέγγιση Direct Coupled

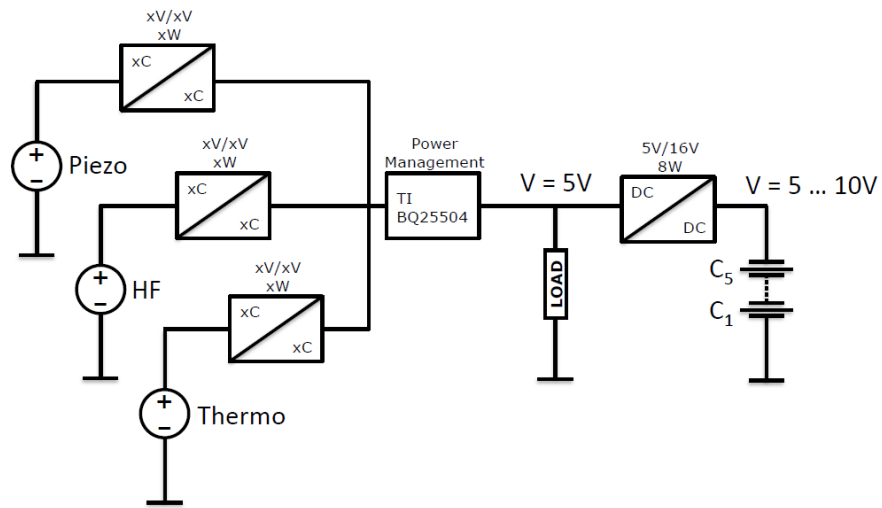
Προσέγγιση DC/DC Converter

Η δεύτερη προσέγγιση ονομάζεται DC/DC Converter:

Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται επιπλέον μετατροπή τάσεως, παρόλα αυτά εξασφαλίζεται μεγαλύτερη σταθερότητα τάσεως κατά τη διάρκεια φόρτισης. Για παράδειγμα ένα πλεονέκτημα της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής είναι η μείωση της τάσης φόρτισης των Υπερπυκνωτών 1-2Vdc, γεγονός που αυξάνει τη διάρκεια ζωής της συσκευής και κατά συνέπεια την μείωση αποφόρτισή τους.

System Architecture

- Option 2 – DC/DC converter



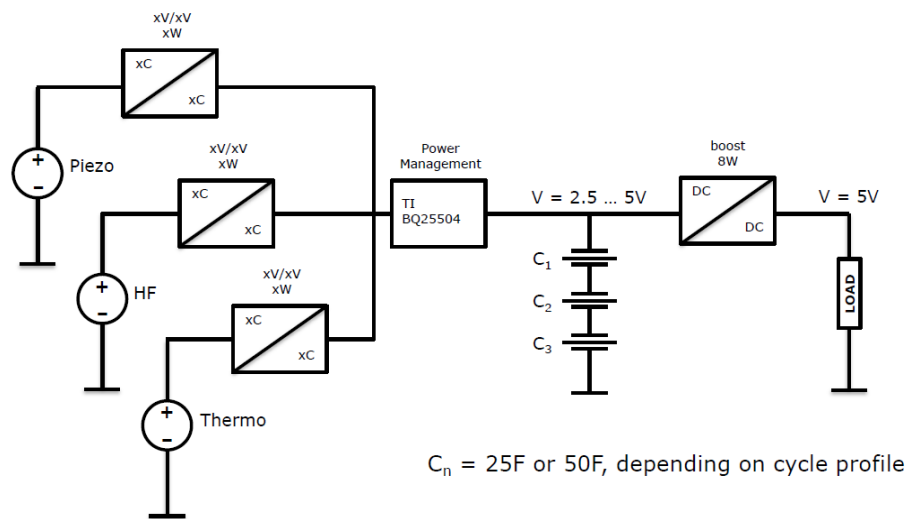
Εικόνα 47. Προσέγγιση DC/DC Converter

Προσέγγιση DC/DC Converter με 3 Cells Super Capacitors

Στην συνέχεια φαίνεται αρχιτεκτονική του υποσυστήματος συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιώντας 3 Cells Υπερπυκνωτών και DC/DC converters.

System Architecture

- DC/DC converter

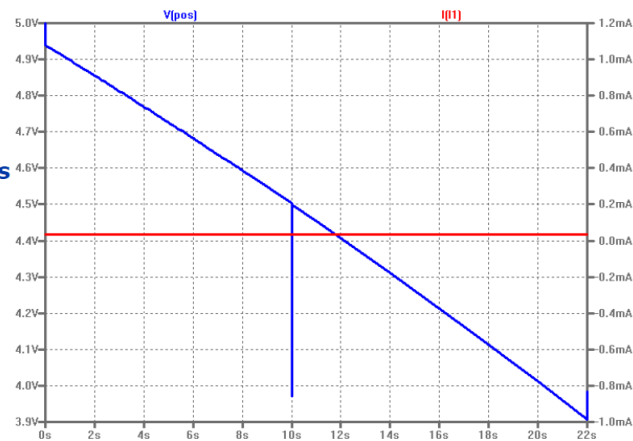


Εικόνα 48. Καμπύλη λειτουργίας

Cycle profile

Operation cycle

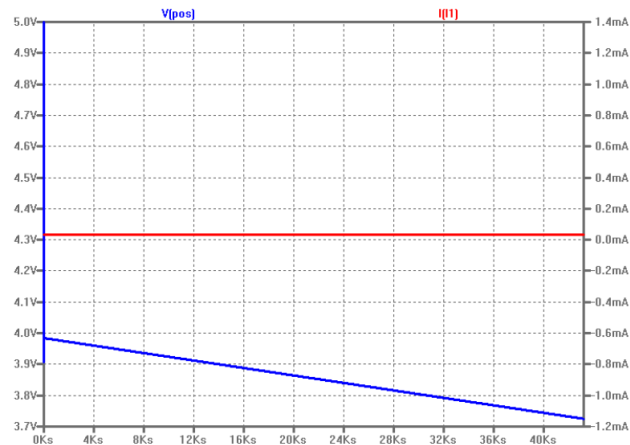
- Storage voltage 5V
- 3 25F-cells in series
- End-of-life conditions
 - ▶ 80% of $C_{initial}$
 - ▶ 200% of $ESR_{initial}$
- 80% efficiency of DC/DC converter
- $dV = -1V$



Εικόνα 49. Διάρκεια ζωής του συστήματος με την χρήση 3 Cells υπερπυκνωτών των 25F σε σειρά για τάση φόρτισης 5Vdc.

Cycle profile

- 12h voltage profile after operation cycle
- 35μA sleep current
- $dV = -1.28V$



Εικόνα 50. Πτώση της τάσης στους Υπερπυκνωτές έπειτα από 12 ώρες λειτουργίας.

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της μονάδας, πομποδέκτης 9602 χρειάζεται 8,3mSec για την αποστολή δεδομένων. Εντούτοις οι Υπερπυκνωτές σε αυτή την κατάσταση παρουσιάζουν πτώση τάσης περίπου 4,76Vdc.

Η εξομοίωση σε αυτό το χρονικό διάστημα έδειξε μεγαλύτερο Voltage Drop (0,24Vdc) από αυτό που προτείνει η Iridium (● **The supply voltage droop over for a 8.3ms burst of 1.5A current should not be more than 0.2 Volts.**).

Όμως το υποσύστημα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου χρησιμοποιεί το 9602 ως πομποδέκτη μαζί με ένα σύνολο άλλων συσκευών που όλα μαζί συνθέτουν την σωστή τροφοδοσία και αναμετάδοση των δεδομένων.

Για το παραπάνω λόγο, λοιπόν δεν τίθεται πρόβλημα καταστροφής του πομποδέκτη 9602 από υπέρταση (Over-Voltage), αν και εφόσον η βασική τροφοδοσία του συστήματος δεν πέσει κάτω από τα 4,5Vdc που είναι το χαμηλότερο όριο τάσης εισόδου V_{in} .

Προσέγγιση DC/DC Converter με 3 Cells Super Capacitors αλλά με 6Vdc στην είσοδο

Όσο μεγαλύτερη είναι η τάση φόρτισης των Υπέρπυκνωτών τόσο μεγαλώνει η πιθανότητα να αυτό-εκφορτωθούν.

Καθώς μονάδα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου αρχικά σχεδιάστηκε να λειτουργεί με τάση τροφοδοσίας στην είσοδο της $V_{in}=6Vdc$ δημιουργήθηκε η ανάγκη να υπάρξει επιπλέον έρευνα σχετικά με την συμπεριφορά της μονάδας με την συγκεκριμένη τάση.

Η εξομοίωση έγινε σύμφωνα με τα ίδια δεδομένα κατανάλωσης ρεύματος που χρησιμοποιήθηκαν για την προσέγγιση με 5Vdc στην είσοδο του υποσυστήματος επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου.

Εξαιτίας της εκ φόρτισης των Υπερπυκνωτών πριν από τον παλμό εκπομπής, το ρεύμα ξεπερνά το 1.5Amps.

Αν υποθέσουμε ότι η εκπομπή συμβαίνει έπειτα από 10 δευτερόλεπτα από την αρχική ενεργοποίηση της μονάδας τότε η πτώση τάσης είναι περίπου 5,67Vdc.

Κατά την διάρκεια του κύκλου λειτουργίας και στο χρονικό σημείο των 20 δευτερολέπτων η μονάδα πέφτει σε κατάσταση ύπνωσης και η πτώση τάσης είναι περίπου 5,33Vdc.

Ενδεικτικά φαίνεται στον παρακάτω πίνακα το προφίλ λειτουργίας με τάση εισόδου $V_{in}=6Vdc$.

t [s]	I mA	P [W]	Status	Voltage Drop
0	0.035	0.000175	idle	
0.001	195	0.975	startup	
5	195	0.975		
5.001	245	1.225	acquire GPS	
7	245	1.225		
7.001	195	0.975		
10	195	0.975		
10.001	2000	10	TX	5.67Vdc
10.01	2000	10		
10.011	195	0.975	RX	
20	195	0.975		
20.001	195	0.975	ShutDown	
20.1	195	0.975		
20.101	0.035	0.000175	idle	5.33Vdc

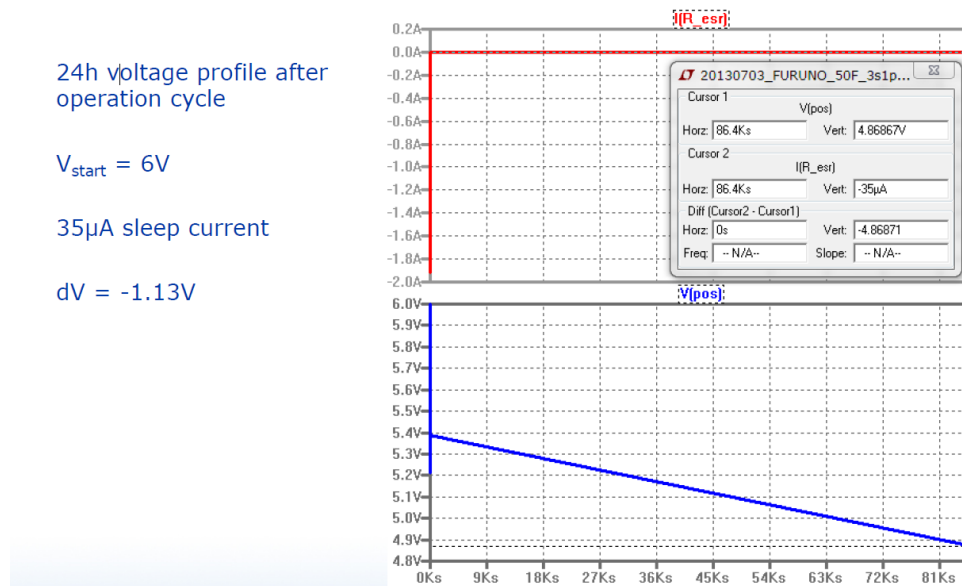
Πίνακας 14. Κατανάλωση ρεύματος και πτώση τάσης

Καθώς το προφίλ ισχύος (Power Profile) της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου είναι ανεξάρτητο από την τάση τροφοδοσίας της, η μέγιστη κατανάλωση ρεύματος υπάρχει όταν η μονάδα είναι σε κατάσταση εκπομπής δηλαδή 2A,10Sec.

Η πτώση τάσης που υφίσταται το υποσύστημα συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας είναι περίπου στα 5,67Vdc.

Στην συνέχεια το σύστημα συνεχίζει την λειτουργία (Duty Cycle) μέχρι να καταλάβει ότι πρέπει να πέσει σε κατάσταση ύπνωσης. Στην περίπτωση της κατάστασης ύπνωσης το προφίλ ισχύος της μονάδας δείχνει ότι η πτώση της τάση όταν στην είσοδο έχουμε $V_{in}=6Vdc$ είναι περίπου στα 5,33Vdc.

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει την κατάσταση εκφόρτωσης των Υπερπυκνωτών σε κατάσταση ύπνωσης.



24h voltage profile after operation cycle

$V_{start} = 6V$

35μA sleep current

$dV = -1.13V$

Εικόνα 51. Προφίλ λειτουργίας με τάση εισόδου $V_{in}=6Vdc$

7.3 Αρχή λειτουργίας αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου με πομποδέκτη Off-The-Self Iridium.

Όπως έγινε αντιληπτό, το μοντέλο εξομοίωσης στην έρευνα αυτή είχε ως ο απώτερο στόχο την υλοποίηση της τελικής μονάδας καθώς επίσης να παρουσιάσει

με ρεαλιστικό τρόπο τις μετατροπές που έγιναν κατά την διαδικασία της έρευνας ώστε να αιτιολογηθεί με επιχειρήματα η διάρκεια ζωής της μονάδας για 5 συνεχόμενα έτη χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση.

Το υποσύστημα εντοπισμού και ελέγχου αρχικά σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε εύρος λειτουργίας τάσεως από 6Vdc-28Vdc. Παρόλα αυτά για τις ανάγκες του έργου η μονάδα τροποποιήθηκε έτσι ώστε στην είσοδο του να παρακάμπτει το κύκλωμα προστασίας (Varistors) του για να μπορεί να δέχεται τάση στα 4,88Vdc.

Όμως όπως ήταν αναμενόμενο η συγκεκριμένη αλλαγή αύξησε το ρεύμα λειτουργίας στο κύκλωμα του πομποδέκτη σε 2A αντί 1,5A, με αποτέλεσμα να πρέπει να αποφευχθεί ο φόβος καταστροφής του πομπού.

Τρόπος λειτουργίας της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium

Όταν το υποσύστημα βρίσκεται σε κατάσταση ύπνωσης η τελική κατανάλωση ρεύματος είναι 150uA, όμως αυτό εξαρτάται και μπορεί να μεταβληθεί σύμφωνα με πόσο συχνά η μονάδα ελέγχει για να βλέπει καθαρά τους δορυφόρους GPS.

Όσο συχνότερα η μονάδα ξυπνάει για ένα κύκλο βασικής λειτουργίας εντοπισμού και ελέγχου τόσο μεγαλύτερη κατανάλωση υπάρχει. Το βάθος ύπνωσης του υποσυστήματος εντοπισμού και ελέγχου μπορεί επίσης να καθοριστεί σύμφωνα με το σενάριο λειτουργίας της, κάτι που όμως θα αποτελέσει ως συνέπεια στην λειτουργία του GPS δέκτη. Για παράδειγμα αν η συσκευή προγραμματιστεί να δουλεύει σε λιγότερο κατάσταση ύπνωσης (less deep Sleep Mode) η κατανάλωση που έχει ο GPS δέκτης ώστε να αποκτήσει σήμα από του δορυφόρους είναι 30uA ,ενώ ο χρόνος λειτουργίας του είναι περίπου 2 δευτερόλεπτα.

Αν όμως προγραμματίσουμε την συσκευή ώστε να πέσει σε κατάσταση βαθιάς ύπνωσης (Deep Sleep Mode) ο χρόνος απόκτησης του σήματος GPS κυμαίνεται σε 30 δευτερόλεπτα και συνεπώς έχουμε μεγαλύτερη κατανάλωση.

- Όταν η μονάδα δημιουργεί στιβαρή σύνδεση με το δορυφορικό δίκτυο της Iridium έχει βέβαια την καλύτερη δυνατή κάλυψη και οπτική επαφή με τους δορυφόρους GPS. Σε αυτή την περίπτωση ο τυπικός χρόνος για την αποστολή/λήψη μηνυμάτων είναι 8-10 δευτερόλεπτα.

- Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα η μέγιστη κατανάλωση ισχύος συμβαίνει κατά την διάρκεια εκπομπής. Όμως λόγω της μείωσης στις τάσης τροφοδοσίας του υποσυστήματος εντοπισμού και ελέγχου η κατανάλωση ρεύματος φτάνει ως τα 2A αντί 1.5A που αρχικά εννοήθηκε. Κατά την διάρκεια εκπομπής χρειάζονται μόνο 8,3mSec burst εκπομπής στο δίαυλο επικοινωνίας του καναλιού της Iridium για μέγεθος μνήματος περίπου 20Byte.
- Είναι επιβεβαιωμένο ότι το υποσύστημα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου χρειάζεται 100mSec για την διαδικασία της μονάδας ώστε να πέσει σε κατάσταση ύπνου. Βέβαια αξίζει να σημειωθεί ότι ο χρόνος της μετάπτωσης αυτής είναι άμεσα συμβεβλημένος με την διαδικασία των κυκλωμάτων που θα πέφτουν σε αυτή την κατάσταση όπως για παράδειγμα η CPU, μνήμη και I/O's.

7.4 Σενάριο λειτουργίας της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium

Το σενάριο λειτουργίας της μονάδας, ο προκαθορισμένος χρόνος που αποστέλλονται τα μηνύματα καθώς επίσης και τα διάφορα γεγονότα που σπεύδουν την συσκευή σε διαδικασία αποστολής δεδομένων, όπως είναι οι διάφοροι συναγερμοί που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, προπαρασκεύασαν να χρησιμοποιηθεί ένας συνδυασμός διάφορων λειτουργιών (Multitasking Mode) που θα πυροδοτούν το υποσύστημα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου να στέλνει δεδομένα σε περίπτωση που συμβεί κάποιο γεγονός. Στην επόμενη σελίδα φαίνεται το βασικό σενάριο λειτουργίας της μονάδας.

Έως και τέσσερα τακτά χρονικά διαστήματα Time-of-Day μπορούν να οριστούν εντός του υποσυστήματος επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου για τη δημιουργία αναφορών. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτά είναι ψευδή αντί ακριβή για τη διατήρηση του δικτύου Iridium. Η μονάδα λειτουργεί σε User Defined πρόγραμμα συν ένα offset με βάση το σειριακό αριθμό της συσκευής. Για παράδειγμα, εάν η συσκευή έχει ρυθμιστεί να δημιουργεί αναφορές στις 8:00, 12:00, 18:00 και 00:00, αυτές θα αποσταλούν εντός +/- 15 λεπτά από την προγραμματισμένη ώρα.

Το υποσύστημα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου χρησιμοποιεί accelerometer όπου συνεχόμενα εξετάζει τις δυνάμεις που ασκούνται επάνω του.

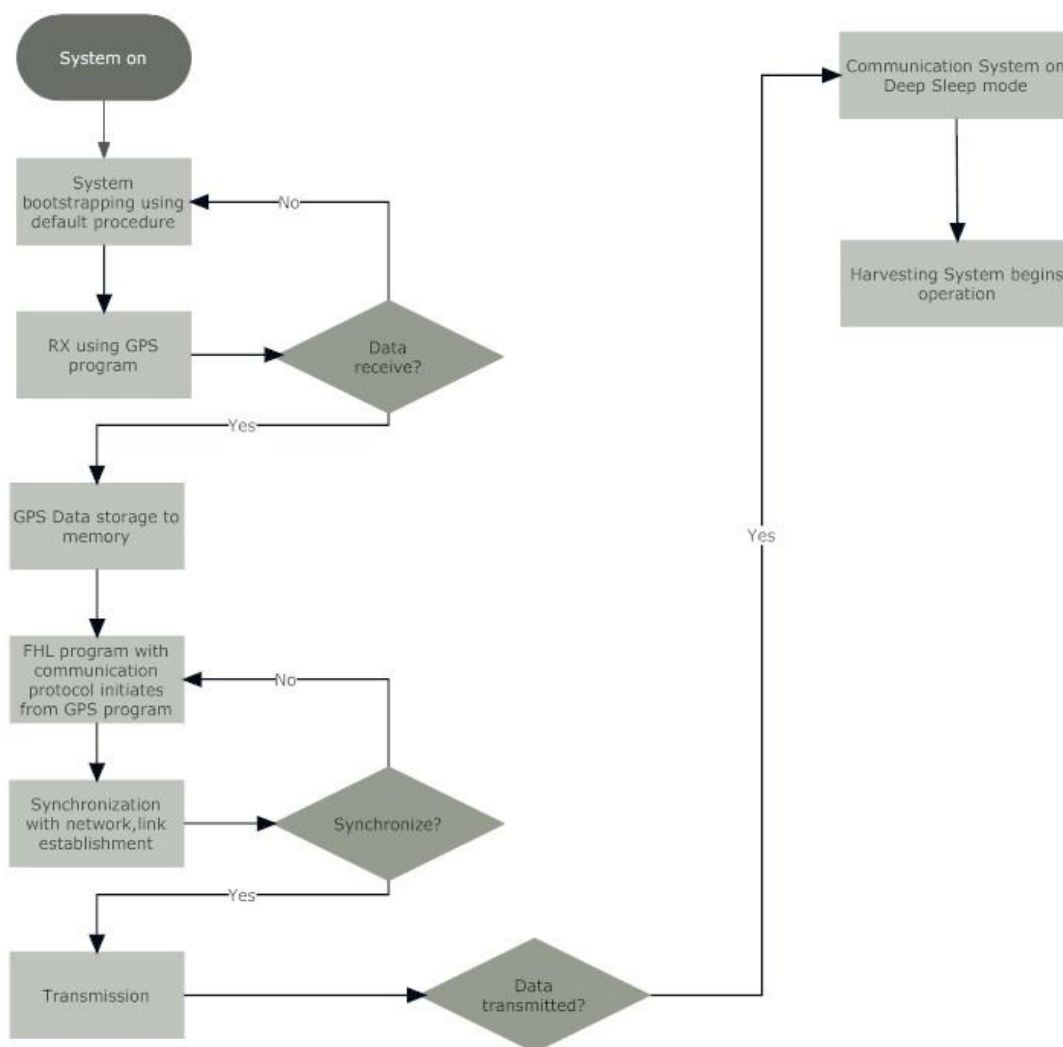
Για να μπορέσει ο accelerometer να καταλάβει αν το εμπορευματοκιβώτιο άλλαξε θέση ή κουνήθηκε πρέπει να έχει ρυθμιστεί ώστε να τρέχει το ακριβή μοντέλο όπου θα είναι σε θέση να πυροδοτεί τις X/Y/Z δυνάμεις με συγκεκριμένα όρια (thresholds), ώστε να καταλαβαίνει πότε το εμπορευματοκιβώτιο είναι σε φάση φόρτωσης/εκφόρτωσης από το πλοίο ή προς το πλοίο αντίστοιχα.

Όταν το εμπορευματοκιβώτιο βρίσκεται σε κατάσταση κίνησης, ο accelerometer πυροδοτεί την μονάδα έτσι ώστε να στέλνει μήνυμα με το γεωγραφικό μήκος/πλάτος άλλα και την κατάσταση του συγκεκριμένου γεγονότος (Event).

Για την επίτευξη των ορίων thresholds X/Y/Z δυνάμεων πρέπει να δημιουργηθεί και να εγκατασταθεί bespoke software το οποίο θα είναι σε θέση να μετρά τις δυνάμεις που ασκούνται στην συσκευή και θα αναλύονται μέσω 12bit πρότασης στην εφαρμογή (application) της μονάδας.

Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα λειτουργίας της μονάδας.

Flow Chart σενάριο λειτουργίας αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας



Εικόνα 52. Διάγραμμα ροής για την λειτουργία της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου.

Το υποσύστημα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε να αποθηκεύει το στίγμα όπου θα λαμβάνει ο δέκτης του GPS. Με την βοήθεια της λειτουργίας GeoFence όταν το σύστημα ξυπνάει από την κατάσταση ύπνωσης του θα μπορεί να ελέγχει την παλιά γεωγραφική θέση του σε σχέση με την καινούργια.

Επίσης αν συνειδητοποιήσει ότι η διαφορά μεταξύ την παλιότερης γεωγραφικής θέσης και την καινούργιας είναι μεγαλύτερη από >500 μέτρα τότε πρέπει να στείλει μήνυμα προσδιορίζοντας την καινούργια τοποθεσία και την κατάσταση της συσκευής.

Ο προκαθορισμένος χρόνος για τον έλεγχο της γεωγραφικής θέσης αλλά και της

λειτουργίας GeoFence είναι 12 ώρες.

Σε περίπτωση που ο δέκτης της μονάδας δεν μπορεί να ανακτήσει γεωγραφική θέση τότε θα προσπαθήσει να στείλει την παλιά.

Αν το μήνυμα δεν ληφθεί από τον σταθμό βάσης της Iridium τότε θα αποθηκεύεται σε ανάλογη θέση στην μνήμη του συστήματος και η μονάδα θα πέσει σε κατάσταση ύπνωσης ξανά.

Το GeoFence είναι ένα τεχνητό όριο που μπορεί να οριστεί σε οποιαδήποτε θέση με κάλυψη δορυφόρου. Το υποσύστημα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου χρησιμοποιεί τον αστερισμό του Iridium, και έτσι ένα GeoFence μπορεί να καθιερωθεί σχεδόν οπουδήποτε στη Γη.

Η λειτουργία GeoFence μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προκαλέσει κανονική ή ταχεία υποβολή εκθέσεων καθώς τα σήματα εντοπισθούν έξω από το όριο. Για παράδειγμα, ένα πλοίο που εξέρχεται από μία αποβάθρα μπορεί να προκαλέσει ένα σήμα “εξόδου από την αποβάθρα”. Η έκθεση αυτή μπορεί τυπικά να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό μη εξουσιοδοτημένης κίνησης που μπορεί να υποδεικνύει την κλοπή του περιουσιακού στοιχείου.

Η μονάδα παρακολουθεί αν η συσκευή έχει μετακινηθεί εκτός τη θέση κέντρου του GeoFence. Ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει το GeoFence για μια ακτίνα μεταξύ 500 στα 100km από την κεντρική θέση.

Είναι πάρα πολύ πιθανό το εμπορευματοκιβώτιο να είναι σταματημένο για πολλές ημέρες ή εβδομάδες. Σε περίπτωση που ο accelerometer της συσκευής δεν καταλάβει καμία από τις X,Y,Z δυνάμεις να ασκούνται απάνω του και δεν αλλάξει το γεωγραφικό μήκος-πλάτος στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, τότε ο έλεγχος GPS θα αυξηθεί σε 5 λεπτά μέχρι να εντοπιστεί κάποια αλλαγή.

Είναι πολύ πιθανό το εμπορευματοκιβώτιο να μείνει σταματημένο επάνω στο πλοίο ή στο λιμάνι φόρτωσης εκφόρτωσης. Αν η κεραία δεν έχει ικανοποιητικό line of Site με τους δορυφόρους και υποχωρήσει αρκετά η ισχύς σήματος τότε θα πρέπει μειωθεί η κατανάλωση ισχύος χρησιμοποιώντας έναν μέγιστο αριθμό λειτουργίας της υπηρεσίας GPS και Iridium.

Σε περίπτωση που το GPS Lock και η εγγραφή (registration) στο δίκτυο της Iridium αποτύχει η μονάδα θα πέσει σε κατάσταση ύπνωσης και θα ξυπνήσει ξανά στο προκαθορισμένο χρονικό διάστημα της επομένης αποστολής δεδομένων.

7.5 Κεραία GPS της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium

Η ανάλυση των απαιτήσεων που παρουσιάστηκε στην ενότητα 6.6, έδειξε ότι αυτόνομα τροφοδοτούμενη μονάδα εντοπισμού και ελέγχου έχει την ικανότητα να χρησιμοποιήσει την MK-76 της εταιρείας Sun Jose Navigation με καλώδιο RG174/U τριών μέτρων. Στο υποσύστημα επεξεργασίας, εντοπισμού και ελέγχου η κεραία GPS συνδέεται στην πλακέτα με θηλυκό connector τύπου MMCX.

7.6 Κεραία Iridium της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium

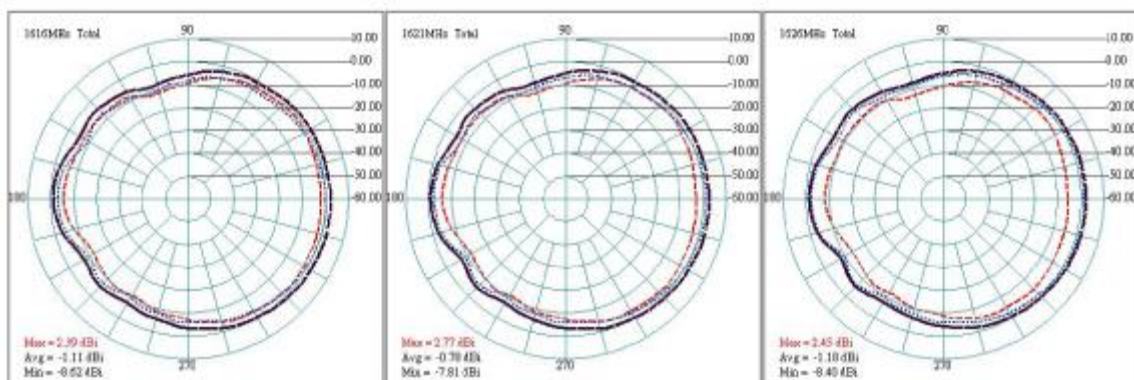
Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της μονάδας, το υποσύστημα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου πρέπει να χρησιμοποιεί κεραία Iridium συμβατή που να έχει την καλύτερη δυνατή αποδοτικότητα και γρήγορη εγγραφή στο δίκτυο για αποστολή/λήψη δεδομένων.

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε η κεραία MODEL: E100-S με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Specification

Frequency range	1616 ~ 1626.5 MHz
Gain	2.5 dBi
V.S.W.R	2.0:1
Rated Power	10 W
Impedance	50 ohm
Polarisation	RHCP
Azimuth	360 degree
Elevation	0-90 degree
Connector	SMA, FME and other standard connectors
Dimension	65.5mm(D) x 17.1mm(H)
Operating Temperature	-40°C~ +85°C
Storage Temperature	-45°C~ +100°C
Relative Humidity	95% non-condensing
Water Resistance	100% waterproof

Πίνακας 15. Τεχνικά χαρακτηριστικά MODEL: E100-S Iridium



Εικόνα 53. 2D Gain Pattern

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης κεραίας δεν αναφέρουν αν η είναι Iridium approved. Η Iridium επιτρέπει στους πομποδέκτες της να χρησιμοποιούν μόνο κεραίες που να είναι διαπιστευμένες από αυτήν. Επίσης δεν προσδιορίζεται ο τύπος του καλωδίου που η κεραία χρησιμοποιεί καθώς επίσης και τις απώλειες (Cable Loss) του.

Η απώλειες του καλωδίου είναι σημαντικό να μελετηθούν στα 1,6GHz όπου είναι η συχνότητα της Iridium ειδικά στην περίπτωση που χρησιμοποιείται passive κεραία. Σε περίπτωση που κάποιος κατασκευαστής επιθυμεί να ενσωματώσει πομποδέκτη της Iridium στο σύστημα του, τότε θα πρέπει να λάβει υπόψη την ποιότητα και την απόδοση λειτουργίας της κεραίας που χρησιμοποιεί.

Η E100-S είναι Iridium approved κεραία με πολύ καλές κριτικές κατά τις δοκιμές που έγιναν σε αυτήν. Η συγκεκριμένη κεραία έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί δύο τύπους καλωδίων NT-100 και LMR-100A, ενώ το μήκος των καλωδίων αυτών μπορεί να φτάσει ως τα 5 μέτρα.

Οι απώλειες των καλωδίων αυτών περιγράφονται παρακάτω:

NT-100 cable loss:

900 MHz	22.8 db/100 ft
2000 MHz	35.2 db/100 ft
2500 MHz	39.8 db/100 ft
5800 MHz	64.1 db/100 ft

LMR100A cable loss:

1 GHz	0.43 db/1 meter
2 GHz	0.80 db/1 meter
3 GHz	1.18 db/1 meter
4 GHz	1.75 db/1 meter
5 GHz	1.80 db/1 meter
6 GHz	2.20 db/1 meter

Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί καλώδιο 5 μέτρων οι απώλειες του πρέπει να είναι 4dB (Loss).

Ταυτόχρονα το κέρδος της κεραίας (Gain) πρέπει να είναι -2dB.

Προτίθενται όμως να μην χρησιμοποιηθεί καλώδιο μεγαλύτερο του ενός μέτρου.

Το μέγιστο κέρδος και απώλειες της κεραίας αυτής δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 3dB. Οπότε το κέρδος πρέπει να είναι 2dB για ένα μέτρο καλωδίου με απώλειες (Cable Loss) 0,8dB και 0,25dB απώλειες λόγω του connector.

Επίσης είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψιν οι τρεις connectors που θα χρησιμοποιηθούν.

Οπότε το συνολικό κέρδος της μονάδας υπολογίζεται περίπου 0,45dB που είναι εντός των προδιαγραφών της Iridium.

Παρόλα αυτά το κέρδος 2dB της συγκεκριμένης κεραίας είναι μεγάλο ενώ συγκρίνοντας τα παραπάνω σχέδια κέρδους της κεραίας, παρατηρείται πως το τυπικό κέρδος GAIN για τα τρία παραπάνω σχέδια είναι περίπου 1dB.

Antenna Gain	-1dB
Cable Loss	0.8dB
Connector Loss	0.75dB
System gain	-2.55dB

Πίνακας 17. Μετρήσεις για το κέρδος της κεραίας

Το αποτέλεσμα των μετρήσεων δείχνουν ότι δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί καλώδιο μεγαλύτερο του 1 μέτρου.

Γι' αυτό το λόγο η αυτόνομα τροφοδοτούμενη μονάδα εντοπισμού και ελέγχου χρησιμοποιεί καλώδιο τύπου LMR-11A.

Η διάταξη της κεραίας μέχρι την πλακέτα του συστήματος χωρίζεται σε τρία σημεία. Την σύνδεση με τον MMCX Connector στην πλακέτα και την σύνδεση με SMA αρσενικό σε SMA θηλυκό μεταξύ κεραίας με την πλακέτα του συστήματος.

Ο λόγος επιλογής του MMCX connector είναι λόγω του μικρού μεγέθους του καθώς επίσης είναι σχεδιασμένος για να μπορεί να συνδέεται/αποσυνδέεται η κεραία εύκολα.

Ο λόγος που επιλέχτηκε να υπάρχει ενδιάμεσο καλώδιο με SMS (male-to-female) ήταν για την καλύτερη προστασία χωρίς να δημιουργείται πρόβλημα στο Link

Budget.

Η επικοινωνία μέσω του δορυφορικού συστήματος Iridium γίνεται με την μονάδα Iridium SBD.

7.7 Μονάδα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου με πομποδέκτη εντοπισμού και ελέγχου Off-The-Self Iridium

Η διάταξη του υποσυστήματος επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου ενσωματώνει GPS, Accelerometers, Digital IO και ένα μόντεμ short burst δεδομένων Iridium σε μια χαμηλή ισχύος διάταξη εντοπισμού θέσης και δεδομένων.

Το υποσύστημα αυτό χρησιμοποιεί το δίκτυο Iridium Satellite Communications για τη μετάδοση δεδομένων εντοπισμού GPS για τους χρήστες από απόσταση. Επιπλέον, η συσκευή είναι επίσης ικανή για παρακολούθηση έως και δύο ψηφιακών σημάτων εισόδου και μία αναλογική είσοδο. Το υποσύστημα μπορεί επίσης να ελέγξει τις διάφορες εξωτερικές συσκευές με μία από τις δύο ψηφιακές εξόδους της.

Καθώς η διάταξη του υποσυστήματος επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου χρησιμοποιεί το Short Data Burst (SBD) πρωτόκολλο σε Iridium, η συσκευή θα λειτουργήσει σχεδόν οπουδήποτε στη Γη (υποθέτοντας ότι τα συστήματα κεραιών έχουν μια σαφή οπτική του ουρανού) και μπορεί να μεταδώσει δεδομένα με λανθάνοντες χρόνους λιγότερο από 30 δευτερόλεπτα.

Το υποσύστημα έχει δύο ψηφιακές εξόδους για τον έλεγχο των εξωτερικών συσκευών (συνήθως μέσω εξωτερικών ρελέ).

Όπως και με όλες τις ρυθμίσεις, οι έξοδοι μπορεί να ρυθμιστούν και να ενεργοποιηθούν εξ αποστάσεως.

Εναλλακτικά, πρέπει να καθορίζεται από τη ρύθμιση της μονάδας να αναθέσει σε μια ψηφιακή έξοδο να αντιδράσει σε μια αναλογική τιμή όταν ένα όριο ξεπεραστεί. Ένα τυπικό παράδειγμα θα ήταν να ρυθμιστεί μία από τις ψηφιακές

εξόδους ώστε να ανοίγει αυτόματα ένα ρελέ που ελέγχει μια βαλβίδα όταν μια τιμή της στάθμης νερού έχει επιτευχθεί (παρακολουθείται από την αναλογική είσοδο).

Το υποσύστημα μπορεί να παρακολουθεί δύο ψηφιακές εισόδους ταυτόχρονα. Αυτές οι εισοδοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση του ανοίγματος της πόρτας, μια ανάφλεξη "on" ή "off" κ.λπ. Κάθε ψηφιακή είσοδος μπορεί να ρυθμιστεί για μια "αλλαγή στην είσοδο", "αλλαγή HI-LO", ή "αλλαγή LO-HI".

Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει την ψηφιακή είσοδο για να περιμένει ένα συγκεκριμένο χρόνο (δευτερόλεπτα) πριν από την αποδοχή της αλλαγής, όπως ισχύει. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τη ψηφιακή είσοδο ώστε να καταγράφει τη μεταβολή μόνο αν η αλλαγή της κατάστασης παραμείνει σε μια τιμή για καθορισμένο χρονικό διάστημα, ώστε να αποφευχθεί η άσκοπη υποβολή αναφορών. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για μία είσοδο η οποία είναι γνωστό ότι μεταβαίνει γρήγορα από HI σε LO. Αυτές οι ψηφιακές εισοδοί μπορούν επίσης να προγραμματιστούν ώστε να αποστείλουν έκθεση εκδήλωσης για την αλλαγή της κατάστασης.

Μία από τις ψηφιακές εισόδους του υποσυστήματος επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως μετρητής παλμών. Αυτό είναι χρήσιμο για τη διασύνδεση με συσκευές όπου η έξοδος έρχεται ως ένας ψηφιακός παλμός. Για αυτό τον τύπο της ρύθμισης, ο χρήστης πρέπει να ορίσει τα διαστήματα "Begin Count" και "End Count" επί του απαριθμητή παλμών.

Το υποσύστημα διαθέτει μια αναλογική είσοδο που διαβάζει τιμές μεταξύ 0 και 30 Volts με ανάλυση 12-bit.

Το υποσύστημα έχει ένα επιταχυνσιόμετρο που μπορεί να παρακολουθεί τους κραδασμούς. Αυτό συχνά χρησιμοποιείται για την ανίχνευση κινήσεων, καθώς και άλλες δράσεις που παράγουν κραδασμούς, όπως την εκκίνηση κινητήρα.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το Υποσύστημα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου. Το υποσύστημα αυτό διασυνδέεται με το Υποσύστημα συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας. Όπως είναι κατανοητό περιλαμβάνει το πομποδέκτη 9602 της Iridium το I/O interface και LED ειδοποίησης καλής λειτουργίας όπου αποδεικνύουν τα παρακάτω:

- **LED A SIG: Κατάσταση RF σύνδεσης**

Αναβοσβήνει με χρώμα πράσινο με συχνότητα 1Hz (μια φορά το δευτερόλεπτο) όταν η μονάδα προσπαθεί λάβει GPS και Iridium μηνύματα.

Αναβοσβήνει με χρώμα πράσινο με συχνότητα 2Hz (δυο φορές το δευτερόλεπτο) όταν έχει πραγματοποιήσει σύνδεση με GPS (fix) ή έχει εγγραφεί στο δίκτυο της Iridium

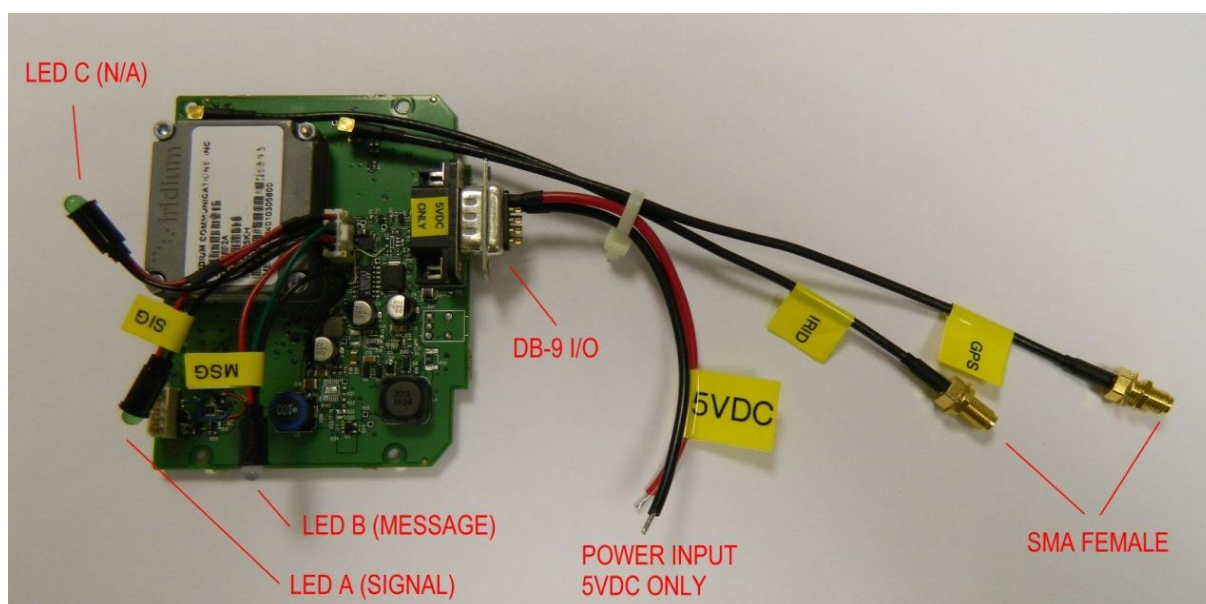
Παραμένει σταθερό πράσινο όταν έχει πραγματοποιήσει GPSFIX και Iridium registration ταυτόχρονα.

- **LED B MSG: Κατάσταση εκπομπής**

Αναβοσβήνει με χρώμα πράσινο και με συχνότητα 2Hz (δύο φορές το δευτερόλεπτο) καθώς γίνεται εκπομπή σε προκαθορισμένο χρόνο.

Αναβοσβήνει με χρώμα πορτοκαλί και με συχνότητα 2Hz (δύο φορές το δευτερόλεπτο) όταν λαμβάνει δεδομένα από το δίκτυο της Iridium.

Αναβοσβήνει με χρώμα κόκκινο και με συχνότητα 2Hz (δύο φορές το δευτερόλεπτο) όταν η μονάδα στέλνει κάποιο συναγερμό ή συμβεί κάποιο γεγονός.



Εικόνα 54. Συνδέσεις του υποσυστήματος επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των κεραιών που υποστηρίζονται από το υποσύστημα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου.

Iridium Antenna

- Εύρος συχνότητας: 1616 MHz - 1625,5 MHz
- Αντίσταση: ονομαστική 50 Ohms
- Πόλωση: RHCP
- VSWR (max λειτουργική): 1.5: 1

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε υπάρχον εξειδικευμένο σύστημα κεραιάς Iridium με τη προϋπόθεση ότι το συνολικό σύστημα απώλειας / εξασθένησης δεν υπερβαίνει τα 2.5dB.

GPS Antenna

Μια ενεργή κεραία GPS συνιστάται.

- Εύρος συχνότητας: 1575 MHz +/- 2 MHz
- Αντίσταση: 50 Ohms ονομαστική
- Πόλωση: RHCP
- VSWR (max λειτουργική): 2: 1
- Ελάχιστο κέρδος της κεραιάς: 15dB (συνιστάται κέρδος 24-28dB)

Τα συστήματα κεραιάς τόσο για το Iridium όσο και για το GPS πρέπει να βρίσκονται έτσι ώστε να έχουν μια σαφή ανεμπόδιστη θέα του ουρανού, ιδανική παροχή ορίζοντα για την κάλυψη ορίζοντα.

Για βέλτιστη κάλυψη η δορυφορική κεραία Iridium θα πρέπει να αναπτυχθεί σε μια τοποθεσία όπου έχει σαφή και απρόσκοπτη θέα του ουρανού 10 μοίρες πάνω από τον ορίζοντα σε όλες τις κατευθύνσεις.

Κεφάλαιο 8. Τελικό σύστημα-Παραγωγή και διαχείριση ενέργειας για την τροφοδοσία του Off The Self της Iridium

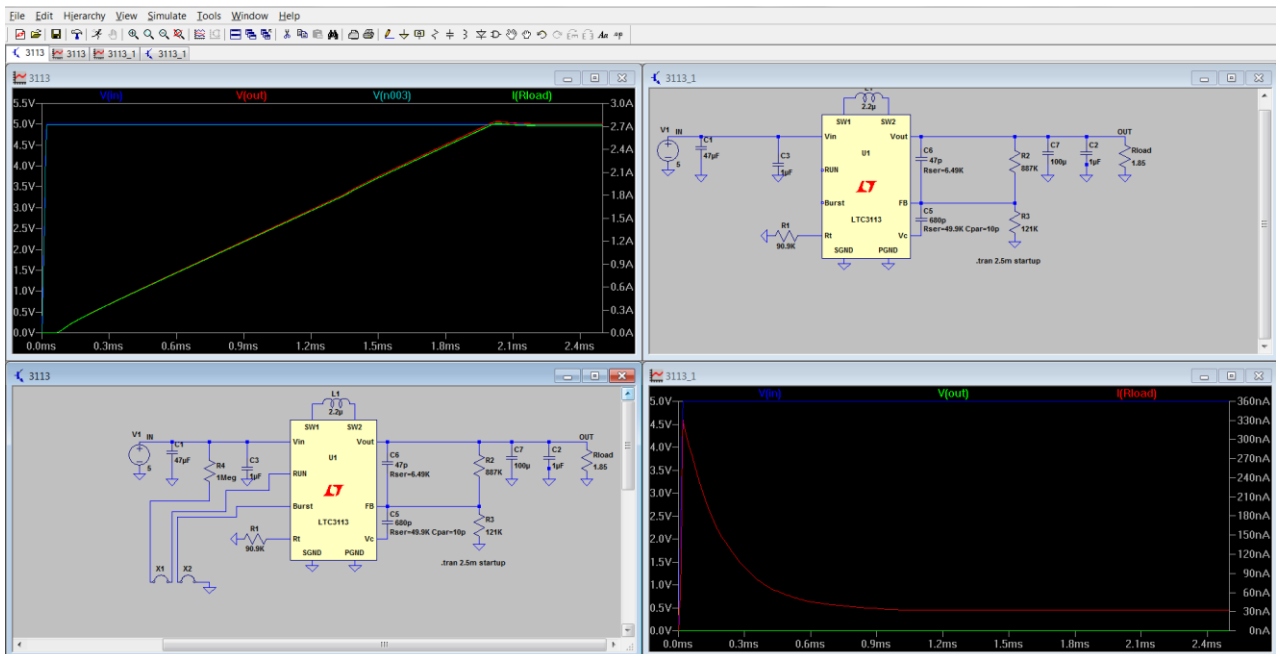
Η παραγωγή και συσσώρευση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές για εφαρμογές χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας όπου η διάρκεια ζωής τους θα εκτείνεται σε συνεχόμενα έτη μπορεί να επιτευχθεί με τους ακόλουθους τρόπους:

- Παραγωγή ενέργειας μέσω της εκμετάλλευσης των συνθηκών θερμοκρασίας.
- Παραγωγή ενέργειας από δονήσεις που θα ασκούνται στην συσκευή.
- Παραγωγή ενέργειας από τον ήλιο.

Σημαντικό ρόλο για την κατανάλωση ενέργειας στο σύστημα, έχουν ο ρυθμός και η συχνότητα μετάδοσης δεδομένων προς τον κεντρικό εξυπηρετητή της υπηρεσίας παρακολούθησης. Όταν το σύστημα δεν βρίσκεται σε κατάσταση εκπομπής θα μεταβαίνει σε κατάσταση βαθιάς ύπνωσης (deep sleep mode), ενώ παράλληλα λαμβάνει χώρα η επαναφόρτιση του “στοιχείου” αποθήκευσης από τις εναλλακτικές μορφές ενέργειας που αναφέρονται ανωτέρω.

Η τροφοδοσία του συστήματος υποστηρίζεται από κατάλληλο λογισμικό το οποίο διαχειρίζεται τις τεχνολογίες συλλογής και παροχής ενέργειας.

Οι εναλλακτικές γεννήτριες συσσώρευσης ενέργειας διασυνδέονται με ένα διακριτό στοιχείο διαχείρισης ενέργειας το οποίο αποθηκεύει τη συσσωρευμένη ενέργεια σε υπερπυκνωτές (supercapacitors).



Εικόνα 55. Ρεύμα φορτίου και τάσεις εισόδου και εξόδου του μετατροπέα DC/DC

Το διακριτό στοιχείο διαχείρισης ενέργειας έχει δυνατότητα ενημέρωσης του επεξεργαστή σχετικά με την κατάσταση αποθήκευσης ενέργειας στο στοιχείο και προειδοποίησης για τυχόν απώλειες ενέργειας, προγραμματιζόμενου κατωφλίου, καθυστέρησης της αποθήκευσης και ενεργοποίησης και απενεργοποίησης της φόρτισης.

Το πρωτότυπο σύστημα περιλαμβάνει κατάλληλους διασυνδετήρες μέσω των οποίων θα μπορούν να αξιολογούνται εξωτερικές γεννήτριες εναλλακτικής μορφής ενέργειας εκτός των ήδη διαθέσιμων στη μονάδα συσσώρευσης και τροφοδοσίας.

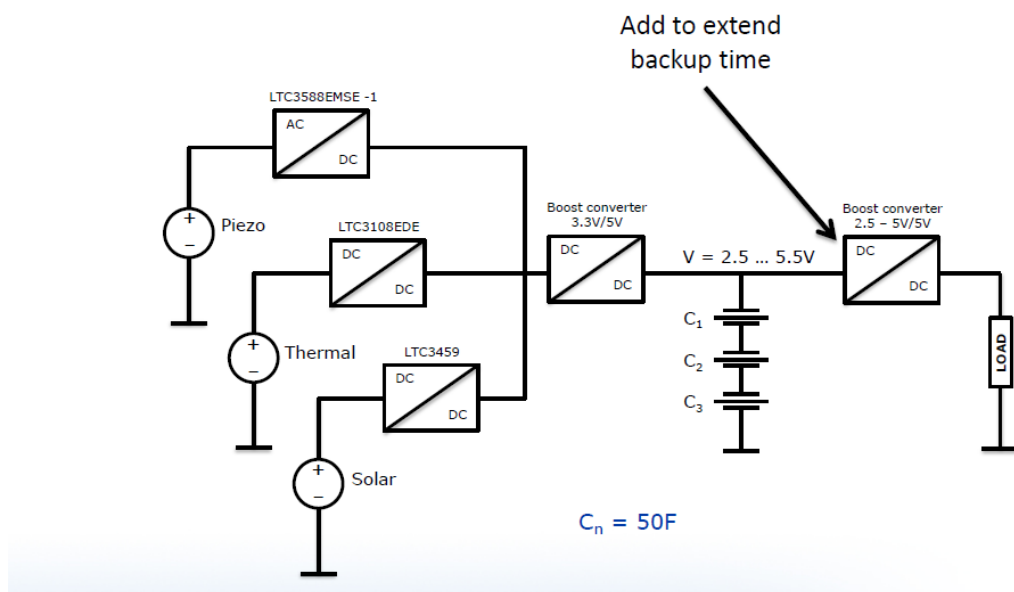
Για την απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος, η μέση παραγόμενη ενέργεια από τους μηχανισμούς συσσώρευσης ενέργειας πρέπει να υπερβαίνει τη μέση κατανάλωση του συστήματος και η μονάδα τροφοδοσίας και το στοιχείο ενίσχυσης τάσης (DC Booster) να μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες μέγιστης ισχύος της εκπομπής σύντομης διάρκειας.

Για τη διασφάλιση θετικού ενεργειακού ισοζυγίου είναι αναγκαίο το σύστημα να επιδεικνύει εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας σε κατάσταση ύπνου, ενώ ρυθμιστική παράμετρο συνιστά το κλάσμα ενεργού προς ανενεργό χρόνο ή ισοδύναμα η περίοδος λειτουργίας του συστήματος.

Για την ανάπτυξη της αυτόνομα τροφοδοτούμενη μονάδα εντοπισμού και ελέγχου μελετήθηκαν τρεις πηγές συσσώρευσης ενέργειας (α) από την κίνηση (piezo), (β) την θερμότητα και (γ) από τον ήλιο.

Οριστική αρχιτεκτονική κυκλώματος συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας

Η οριστική αρχιτεκτονική του υποσυστήματος συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 56. Διάταξη Υπομονάδας συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας

Το κύκλωμα συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας αποτελείται από δύο DC/DC και έναν AD/DC μετατροπείς για την συσσώρευση α) κινητικής β) θερμικής και γ) ηλιακής ενέργειας, των οποίων η παραγόμενη ενέργεια καταλήγει στον μετατροπέα STBB1 σταθερής συχνότητας της STmicroelectronics.

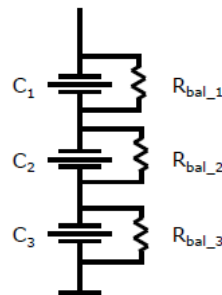
Έπειτα η ενέργεια αποθηκεύεται στους Υπερ-πυκνωτές για να δοθεί στην συνέχεια μέσω του LTC3113 της Linear Technologies τάση λειτουργίας 5Vdc στην είσοδο του υποσυστήματος επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου.

Το κύκλωμα αποθήκευσης των τριών υπερπυκνωτών πρέπει να εξασφαλίζει την απόλυτη συμμετρία στην τάση του κάθε cell. Για αυτό το λόγο πρέπει να χρησιμοποιούνται αντιστάσεις μεταξύ των υπερπυκνωτών για την σταθεροποίηση της τάσης τους.

Οι αντιστάσεις-σταθεροποιητές είναι 470 kOhm.

Παρακάτω φαίνεται η διάταξη των πυκνωτών και των αντιστάσεων σταθεροποίησης τάσης.

- 50F-cell: 470 kOhm per cell



Εικόνα 57. Διάταξη Υπερπυκνωτών και αντιστάσεων σταθεροποίησης

Επίσης έχει ληφθεί υπόψη το προφίλ λειτουργίας του συστήματος καθώς η ενέργεια που καταναλώνεται είναι $E_{cycle}=3,1\text{Joule}$ σε χρονική διάρκεια 12,16Sec. Παρακάτω παρουσιάζεται η ενέργεια που καταναλώνει η μονάδα για ένα κύκλο λειτουργίας της.

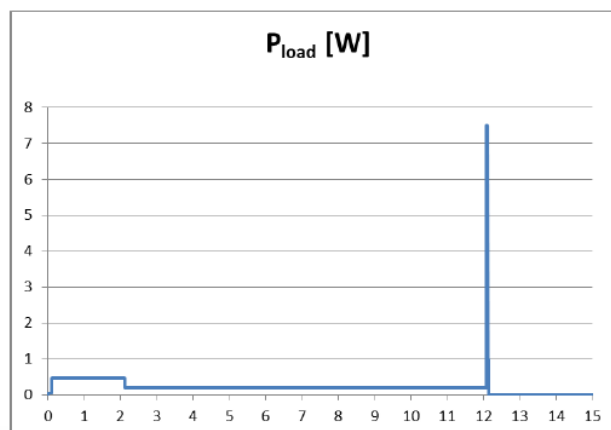
Transmission cycle

$$E_{cycle} = 3.1\text{J}$$

$$\text{Duration} = 12.16\text{s}$$

FURUNO cycle profile 20130830:

	t [s]	I [mA]	P [W]	E [J]
sleep	0	0.13	0.00065	0
startup/idle	0.001	8	0.04	0.00004
	0.111	8	0.04	0.00444
GPS TTF	0.112	95	0.475	0.00492
	2.112	95	0.475	0.95492
Iridium Reg	2.113	40	0.2	0.95512
	12.091	40	0.2	2.95072
TX	12.092	1500	7.5	2.95822
	12.102	1500	7.5	3.03321
RX	12.136	195	0.975	3.06636
	12.147	195	0.975	3.07709
idle	12.148	8	0.04	3.07713
	12.158	8	0.04	3.07753
sleep	12.159	0.13	0.00065	3.07753



Εικόνα 58. Κύκλος Λειτουργίας

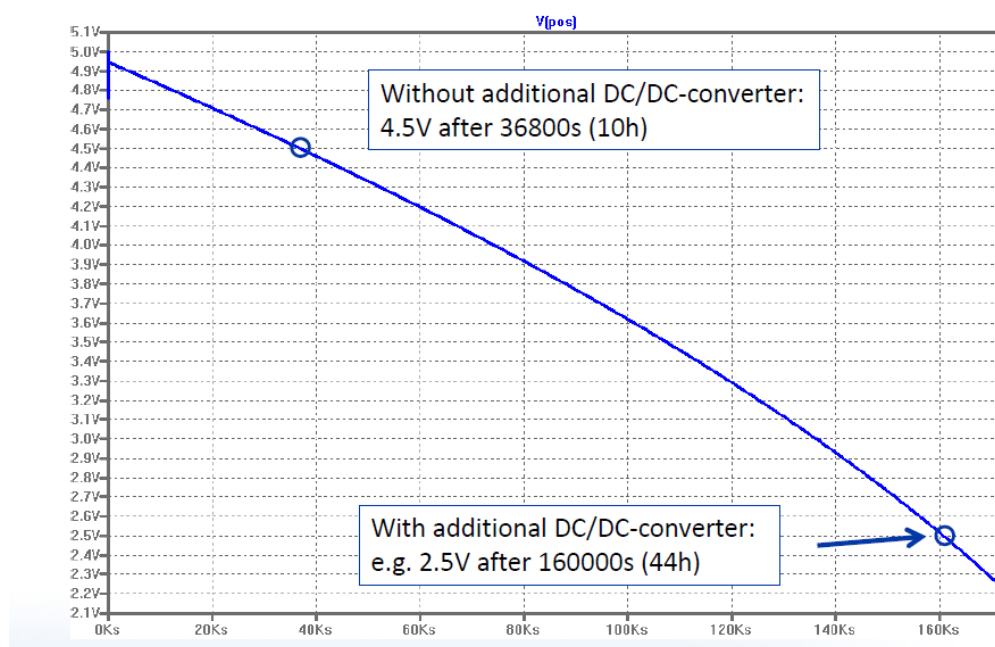
Η ενέργεια που καταναλώνει η μονάδα απαιτεί να χρησιμοποιηθούν τελικά 3

Υπερπυκνωτές των 50F.

Όπως έγινε κατανοητό παραπάνω και παρατηρήθηκε στην Εικόνα 56, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί επίσης ένας ακόμα DC/DC μετατροπέας με τάση λειτουργίας 2,5-5/5Vdc μετά από το κύκλωμα συσσώρευσης ενέργειας. Ο λόγος είναι για να μπορέσει να επιμηκυνθεί ο χρόνος κατανάλωσης της ενέργειας που αποθηκεύεται στους Υπερπυκνωτές.

Το παρακάτω διάγραμμα είναι ενδεικτικό για την ανάγκη χρησιμοποίησης του μετατροπέα της STmicroelectronics πριν από τα στοιχεία αποθήκευσης.

Δείχνει ότι σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθεί ο μετατροπέας της STm, τότε η τάση θα φτάσει πέσει τα 4,5Vdc μόλις μετά από 10 ώρες (36800 Sec) λειτουργίας. Αντίθετα με την χρησιμοποίηση του επιπλέον μετατροπέα της STm, επιμηκύνεται η διάρκεια ζωής της μονάδας. Αυτό συμβαίνει διότι ο μετατροπέας επιτρέπει σταθερή τάση 5Vdc μέχρι η τάση στην είσοδο του φτάσει στα 2,5Vdc. Με την μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται επιμήκυνση στην διάρκεια λειτουργίας της μονάδας για 44 ώρες μετά από ένα πλήρη κύκλο φόρτισης των Υπερ-πυκνωτών.



Εικόνα 59. Διάγραμμα λειτουργίας και αποφόρτισης των Υπερπυκνωτών

Η επιλογή επιπλέον μετατροπέα πριν από τα στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την επιμήκυνση τάσης λειτουργίας και αύξησης του χρόνου

λειτουργίας της.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την διαφορά της ενέργειας με το συσσωρευμένο εύρος τάσης.

	without DC/DC		with DC/DC	
V_{max} [V]	5.0	5.5	5.0	5.5
V_{min} [V]	4.5	4.5	2.5	2.5
usable Energy [J]	27.6	58.0	108.8	139.2

Πίνακας 20. Διαφορά της ενέργειας με ή χωρίς μετατροπέα τάσης

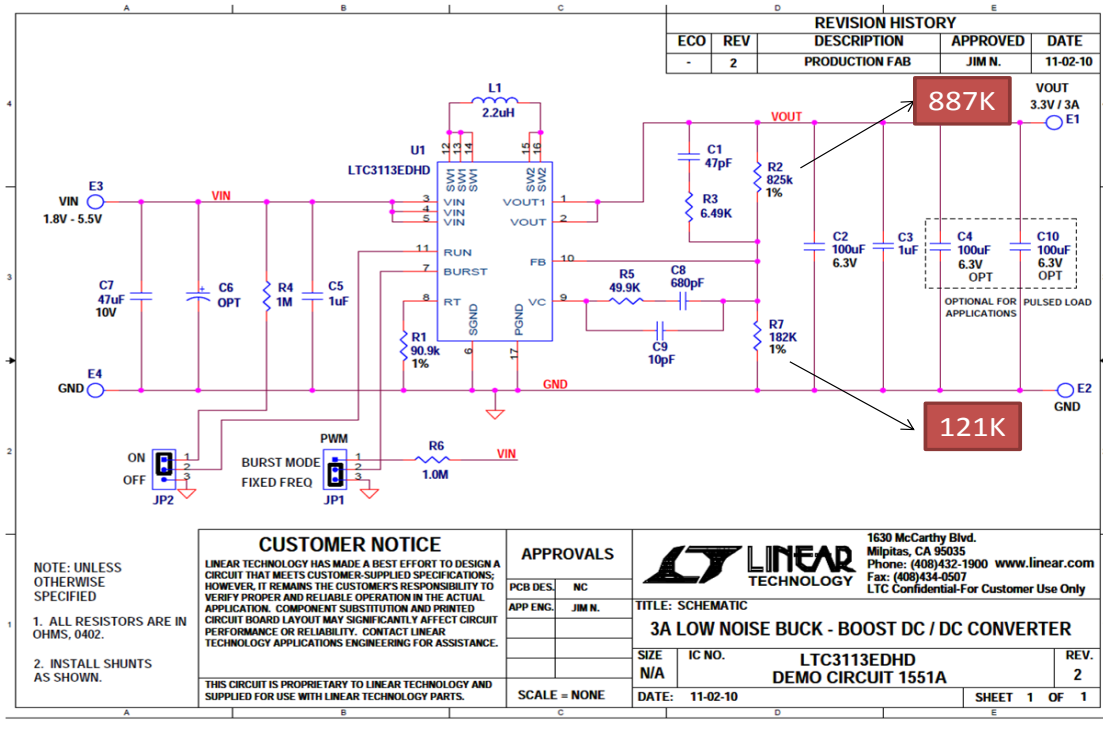
8.1 Προετοιμασία Υπερπυκνωτών

Έχει ληφθεί σοβαρά υπόψη ότι για να επιτευχθεί η καλύτερη απόδοση των Υπερπυκνωτών πρέπει να μειωθεί το φαινόμενο αυτό-εκφόρτωσης. Γι' αυτό το λόγο πριν από την χρησιμοποίησή τους στο κύκλωμα, πρέπει να φορτιστούν με τάση 2,7Vdc για περίπου μια ώρα ή περισσότερο.

Έπειτα από την προετοιμασία αυτή, ο κάθε Υπερ-πυκνωτής μπορεί να εκφορτιστεί στα 0Vdc χωρίς να δημιουργηθεί πρόβλημα για την μετέπειτα λειτουργία του.

Οι Υπερπυκνωτές που δεν ακολουθούν την συγκεκριμένη προετοιμασία υποβάλλονται στο φαινόμενο της αυτό-εκφόρτωσης.

8.2 Μετατροπέας DC/DC LTC3113



Εικόνα 60. Κύκλωμα μετατροπέα DC/DC LTC3113

Ο μετατροπέας ανύψωσης DC LTC3113 που παρουσιάζεται στην Εικόνα 56, παράγει τάση εξόδου μεγαλύτερη από την τάση εισόδου.

Η μικρότερη τιμή που μπορεί να έχει η τάση εξόδου είναι η τάση της εισόδου. Ο μετατροπέας ανύψωσης περιλαμβάνει έναν ημιαγωγό διακόπτη σε σειρά μία αυτεπαγωγή και έναν πυκνωτή για την σταθεροποίηση της τάσεως εξόδου.

Όταν ο διακόπτης άγει, τότε η αυτεπαγωγή συνδέεται με την πηγή εισόδου και έτσι αποθηκεύεται σε αυτήν ενέργεια. Όταν ο διακόπτης σταματήσει να άγει, η υποθηκευμένη ενέργεια μεταφέρεται προς το φορτίο και εξαναγκάζει το ρεύμα της αυτεπαγωγής να κυκλοφορήσει με φορά προς το φορτίο.

Η τάση στην είσοδο του μετατροπέα είναι σταθερή στα 3.3V ενώ η τάση στην έξοδο διατηρείται στα 5,5V. Η είσοδος του μετατροπέα προέρχεται από το υποσύστημα συσσώρευσης ενέργειας. Η ενέργεια που συσσωρεύεται, ανυψώνεται σε τάση 5V και τροφοδοτεί το σύστημα του επεξεργαστή και των μονάδων που συνδέονται σε αυτόν.

Οι απώλειες ισχύος διατηρούνται σε χαμηλό επίπεδο, της τάξεως του 8,6% και η απόδοση ξεπερνάει το 90% στο εύρος λειτουργίας με φόρτιση άνω του 15%.

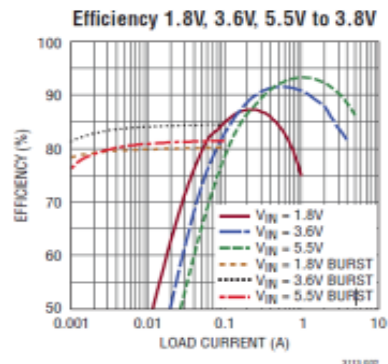
Παραπάνω φαίνονται οι αλλαγές που έγιναν στην πλακέτα του DC μετατροπέα για να μπορέσει να έχει τάση εξόδου 5Vdc.

Το ρεύμα στο πηνίο έχει πριονωτή μορφή και δεν μηδενίζεται λόγω της καθυστέρησης αποφόρτισης που εισάγει το πηνίο ως παθητικό στοιχείο. Η τάση στα άκρα του διακοπτικού στοιχείου είναι παλμική που σημαίνει ότι έχει υψηλό ποσοστό αρμονικής παραμόρφωσης. Τα παθητικά στοιχεία (ωμικές αντιστάσεις και πυκνωτής) στην έξοδο του μετατροπέα, αποκόπτουν τις ανώτερες συχνότητες ώστε η τάση εξόδου τελικά να μην έχει αρμονικό περιεχόμενο.

Η πλεονάζουσα ενέργεια οδηγείται στον Υπερπυκνωτή, που αποτελεί το μέσο αποθήκευσης ενέργειας.

LTC3113

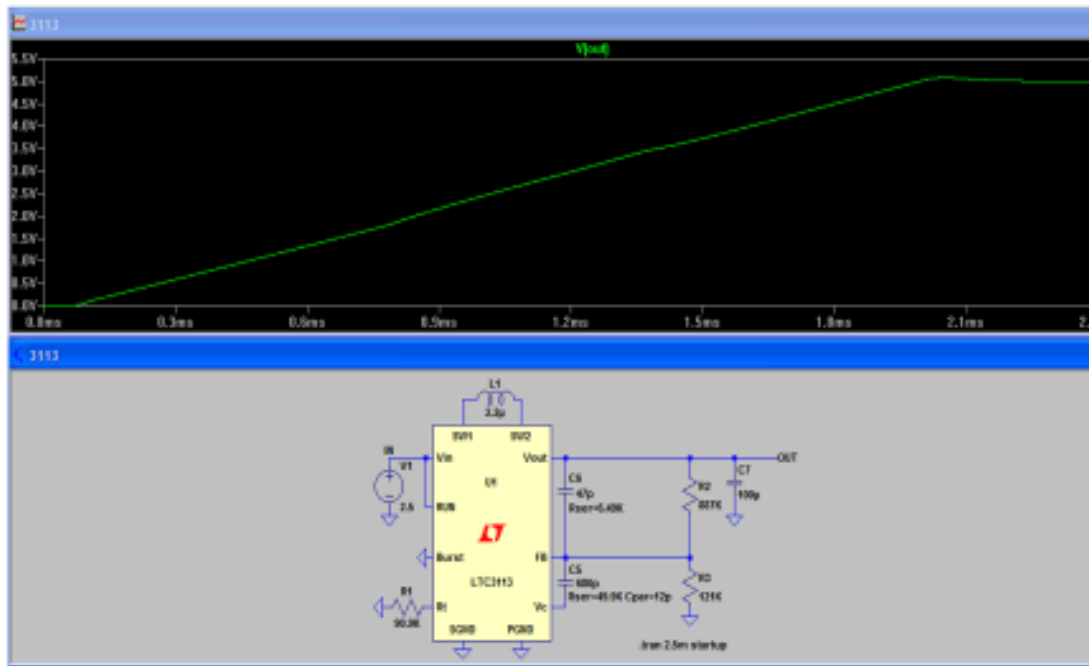
- Regulated Output with Input Voltage Above, Below
- or Equal to the Output Voltage
- 1.8V to 5.5V Input and Output Voltage Range
- 3A Continuous Output Current $V_{IN} > 3.0V$, $V_{OUT} = 3.3V$
- 1.5A Continuous Output Current for $V_{IN} \geq 1.8V$, $V_{OUT} = 3.3V$
- Single Inductor
- Low Noise Buck-Boost Architecture
- Up to 96% Efficiency
- Programmable Frequency from 300kHz to 2MHz
- Selectable Burst Mode Operation
- Output Disconnect in Shutdown
- Shutdown Current: $< 1\mu A$
- Internal Soft-Start
- Small, Thermally Enhanced 16-Lead (4mm x 5mm x 0.75mm) DFN Package



Εικόνα 61. Απόδοση μετατροπέα

Using $L=2.2\mu F$ the efficiency is 85-90%

In order to maximize the efficiency we need to find the right value of L. But I think in the first step we don't want to optimize the efficiency and only modify the resistor divider in order to setup the $V_{out}=5V_{dc}$.

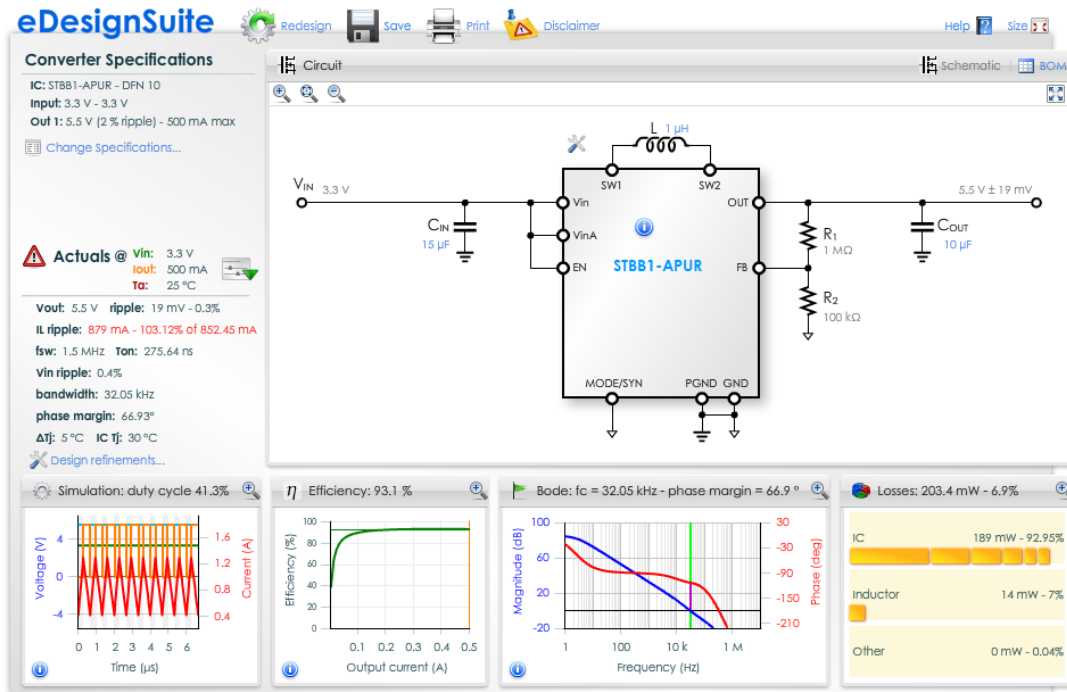


Εικόνα 62. Κύκλωμα μετατροπέα LTC3113 με την βοήθεια του προγράμματος PSPICE

8.3 Μετατροπέας DC/DC STBB1-APUR_STMicroeletctonics

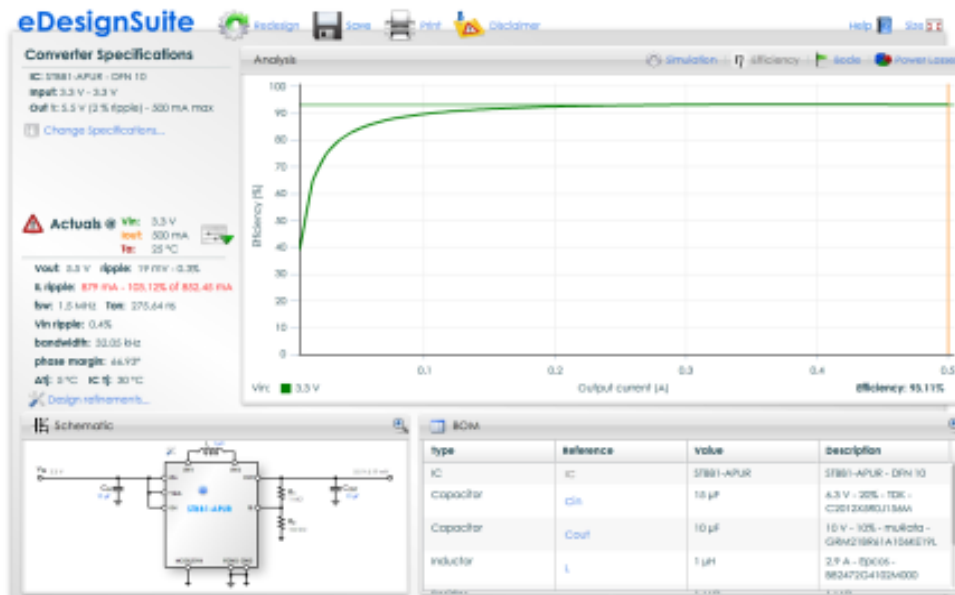
Ο μετατροπέας STBB1 είναι σταθερής συχνότητας και υψηλής απόδοσης σε θέση να παράσχει τάσεις εξόδου που κυμαίνονται από 1,2Vdc ως 5,5Vdc και τάσεις εισόδου από 2,0Vdc ως 5,5Vdc. Η συσκευή λειτουργεί με τάση εισόδου μεγαλύτερη, ίση με, ή χαμηλότερη από τάση εξόδου ενώ είναι κατάλληλη σε εφαρμογές που χρησιμοποιούν στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας Ιόντων λιθίου, multicell, αλκαλικές ή NiMH όπου τάση στην έξοδο είναι εντός του εύρους της τάσης μπαταρίας.

Παρακάτω παρουσιάζεται το κύκλωμα του κυκλώματος του μετατροπέα όπως εξομοιώθηκε σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εφαρμογής, περιλαμβάνοντας τον κύκλο λειτουργίας, την απόδοση και τις απώλειες.



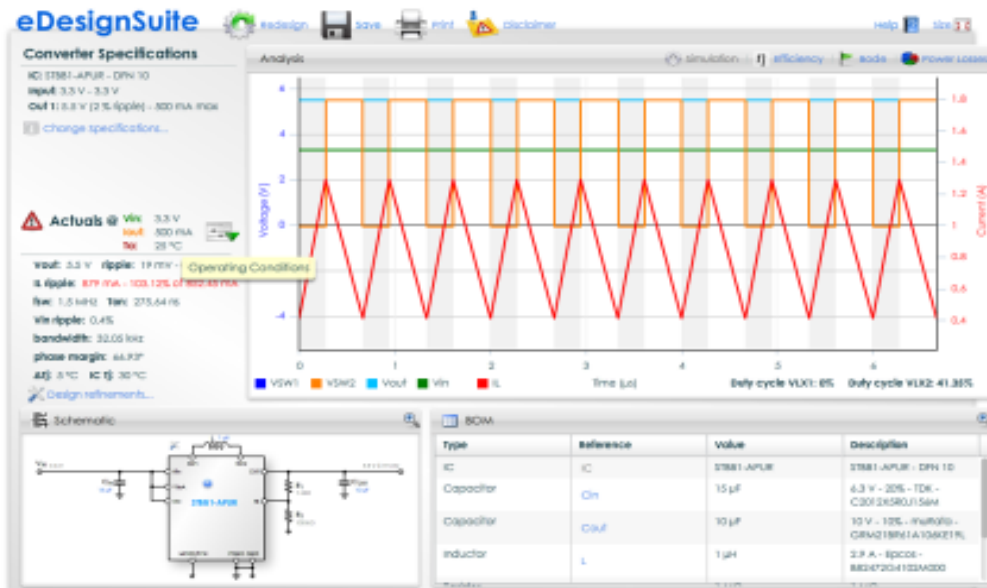
Εικόνα 63. Κύκλωμα μετατροπέα και εξομοίωση καλής λειτουργίας

STBB1-APUR STMicroelectronics- Efficiency 93.11%



Εικόνα 64. Απόδοση μετατροπέα

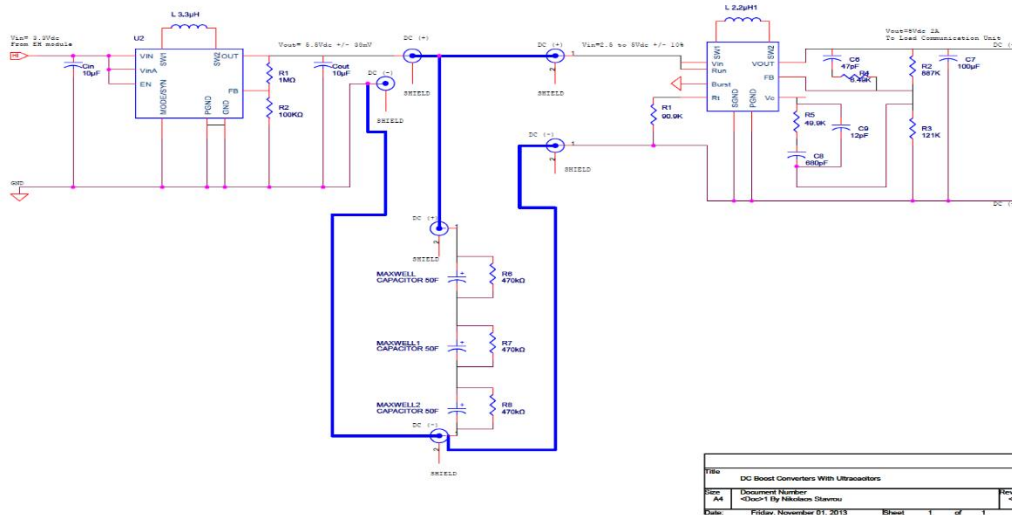
STBB1-APUR STMicronics-Duty Cycle simulation



Εικόνα 65. Προσομοίωση τάσεων εισόδου και εξόδου

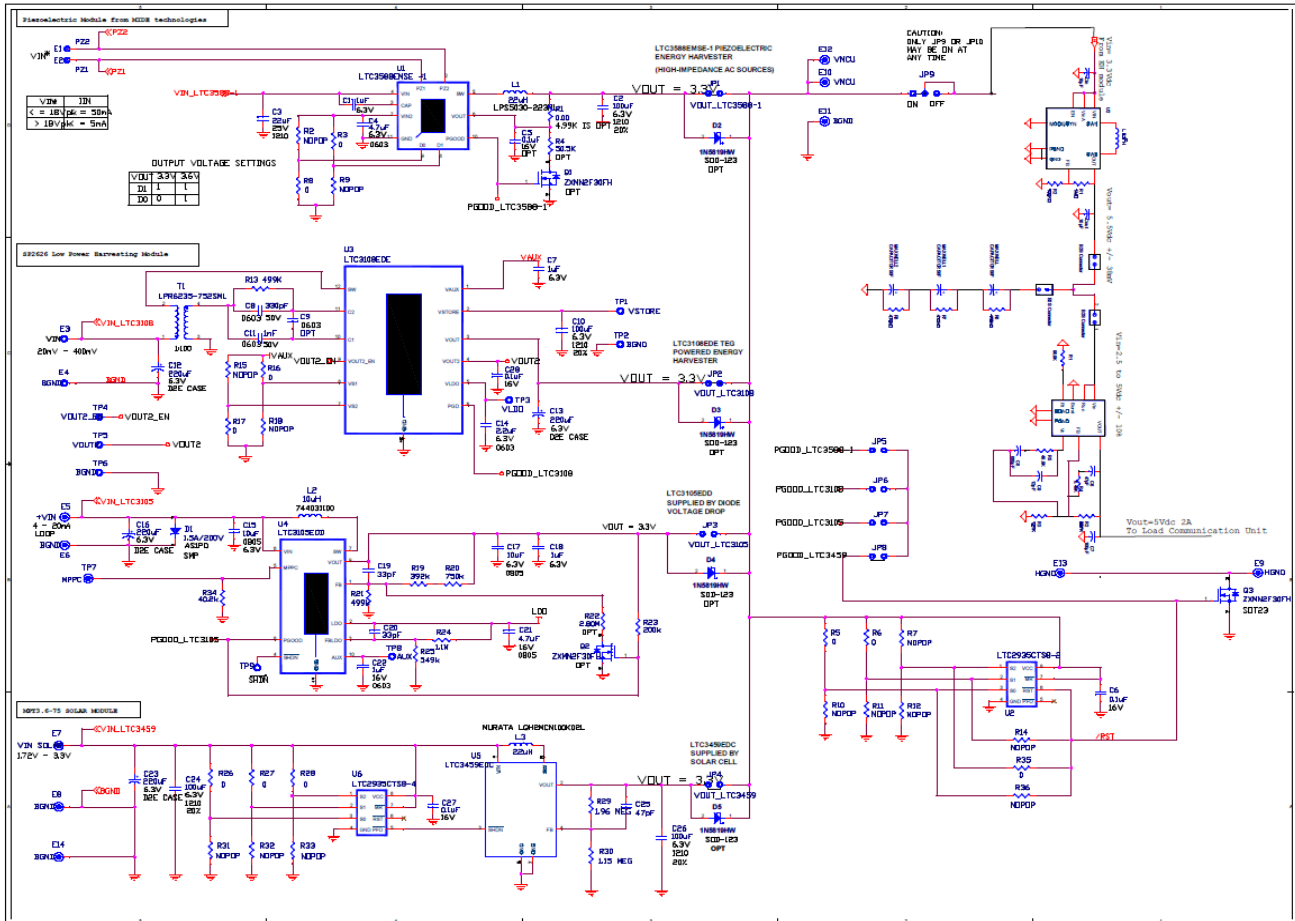
8.4 Κύκλωμα DC/DC μετατροπών με Υπερπυκνωτές

Η διασύνδεση των δύο μετατροπών πριν και μετά από τα στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας συνάδει με το αποτελεσματικότερο κύκλωμα αποθήκευσης ενέργειας. Στην συνέχεια παρουσιάζεται το κύκλωμα αποθήκευσης ενέργειας.



Εικόνα 66. Η σύνδεση των υπερπυκνωτών στους μετατροπείς DC/DC

8.5 Κύκλωμα συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας από πολλαπλές πηγές ενέργειας



Εικόνα 67. Σύστημα μάστευσης και αποθήκευσης ενέργειας

Για την αποτίμηση της οριστικής αρχιτεκτονικής και της έρευνας του έργου αυτού, έγινε διασύνδεση των κυκλωμάτων των μετατροπών DC/DC που αναλύθηκαν παραπάνω, με τους υπερπυκνωτές και με μια ευέλικτη DEMO συσκευής η οποία έχει την δυνατότητα να συσσωρεύει ενέργεια από κίνηση, ηλιακή και θερμική σε ανεξάρτητα διαφορετικά κυκλώματα.

Όπως παρουσιάστηκε στην οριστική αρχιτεκτονική παραπάνω, η DEMO αυτή συσκευή περιλαμβάνει τους παρακάτω μετατροπείς:

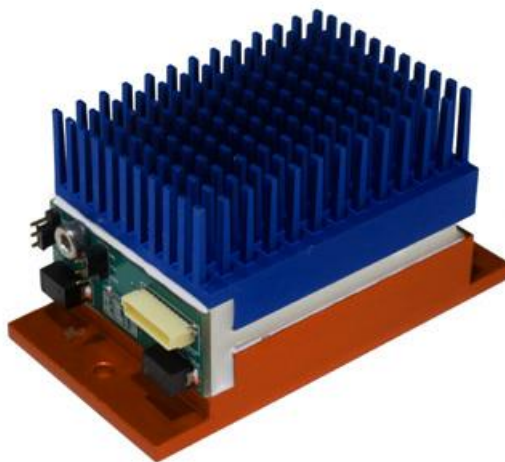
- LTC 3588: Για την πιεζοηλεκτρική συσσώρευση ενέργειας
- LTC 3108: Για την συσσώρευση της θερμικής ενέργειας
- LTC3459: Για την συσσώρευση της ενέργειας από τον ήλιο

Η DEMO συσκευή είναι κατάλληλη για την αξιολόγηση και την διεξαγωγή των δοκιμών με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η έξοδο της συσκευής είναι

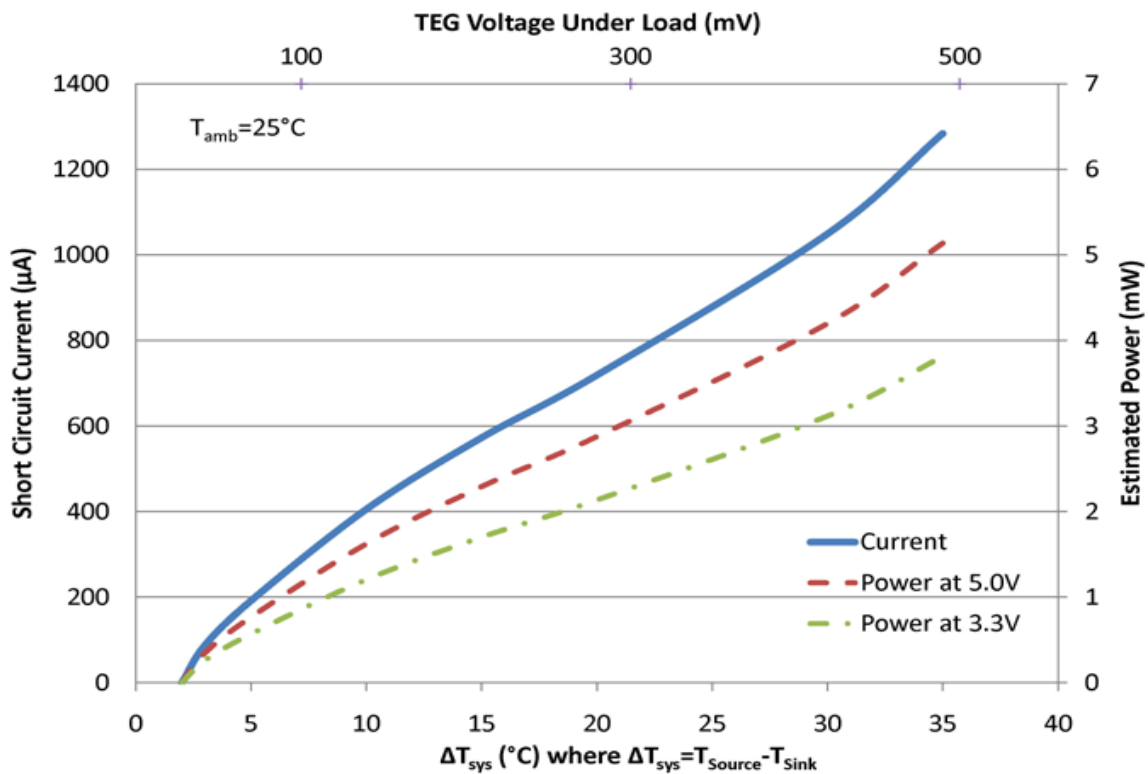
συνδεδεμένη με τον μετατροπέα DC/DC STBB1 της STmicroelectrinics για την σταθεροποίηση της συσκευής 5,5Vdc πριν από τα στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας. Στην συνέχεια οι υπερπυκνωτές διασυνδέονται με τον μετατροπέας LTC3113 της Linear Technology για να τροφοδοτηθεί η μονάδας επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου.

8.6 Παραγωγή ενέργειας από την θερμότητα

Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε το θερμοηλεκτρικό στοιχείο EHA-LXXLXX-R02-L1 της Marlow Industries. Οι συγκεκριμένοι τύποι γεννήτριας μετατρέπουν τη διαφορά θερμοκρασίας σε ηλεκτρική ενέργεια ενώ η ισχύς στην έξοδό τους είναι εξαρτώμενη του συντελεστή θερμικού ζεύγους, δηλ. της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της «κρύας» και της «θερμής» πλευράς του αισθητήρα, γνωστού και ως συντελεστή Seebeck. Είναι αξιοσημείωτο ότι η προτεινόμενη εφαρμογή εντοπισμού εμπορευματοκιβωτίων επιδεικνύει εξαιρετική καταλληλότητα ως προς τη συγκεκριμένη εναλλακτική πηγή ενέργειας, καθώς η θερμοκρασία στο εσωτερικό του εμπορευματοκιβωτίου είναι σημαντικά υψηλότερη από την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος.



Εικόνα 68: Όψη θερμοηλεκτρικού στοιχείου EHA-LXXLXX-R02-L1



Εικόνα 69: Παραγωγή τάσης από διαφορά θερμοκρασίας του EHA-LXXLXX-R02-L1

Στο συγκεκριμένο πείραμα καταγράφεται επίτευξη ηλεκτρικής ισχύος 6mW με διαφορά θερμοκρασίας $\Delta T = 25^\circ C$. Η μέγιστη και ελάχιστη παραγόμενη θερμική ισχύς είναι 5.6W και 2.4W αντίστοιχα με $\Delta T_{max} = 70$ και $\Delta T_{min} = 30$. Το συγκεκριμένο θερμοηλεκτρικό chip παράγει τάση 1.75V για κάθε watt θερμικής εισόδου. Επομένως, στις συνθήκες του πειράματος θεωρητικά μπορεί να παράγει τάση μεταξύ 4.2V και 9.8V. Υιοθετώντας μία συντηρητική προσέγγιση θεωρούμε ότι κατά μέσο όρο παράγεται τάση 5V που αναλογεί σε μέγιστη ισχύ 11mW που μπορεί να παραχθεί από ένα μόνο θερμοηλεκτρικό τσιπ των 11 mm².

Επίσης αξιολογήθηκε η χρήση πολλαπλών TEG για την τροφοδοσία ηλεκτρονικών και δικτυακών ενσωματωμένων συστημάτων και παρατηρήθηκε ότι η αποτελεσματικότητα αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των TEG που συνδέονται παράλληλα.

Η συνολική ισχύς (mW) τροφοδοσίας στην περίπτωση παράλληλης συνδεσμολογίας 4, 8, 16 και 32 μονάδων TEG ανήλθε σε 24, 48, 96 και 198 mW αντίστοιχα.

Στο Παράρτημα Β παρουσιάζεται πίνακας μετρήσεων θερμοκρασιών περιβάλλοντος και μεταλλικών επιφανειών, και έτσι προκύπτει η διαφορά

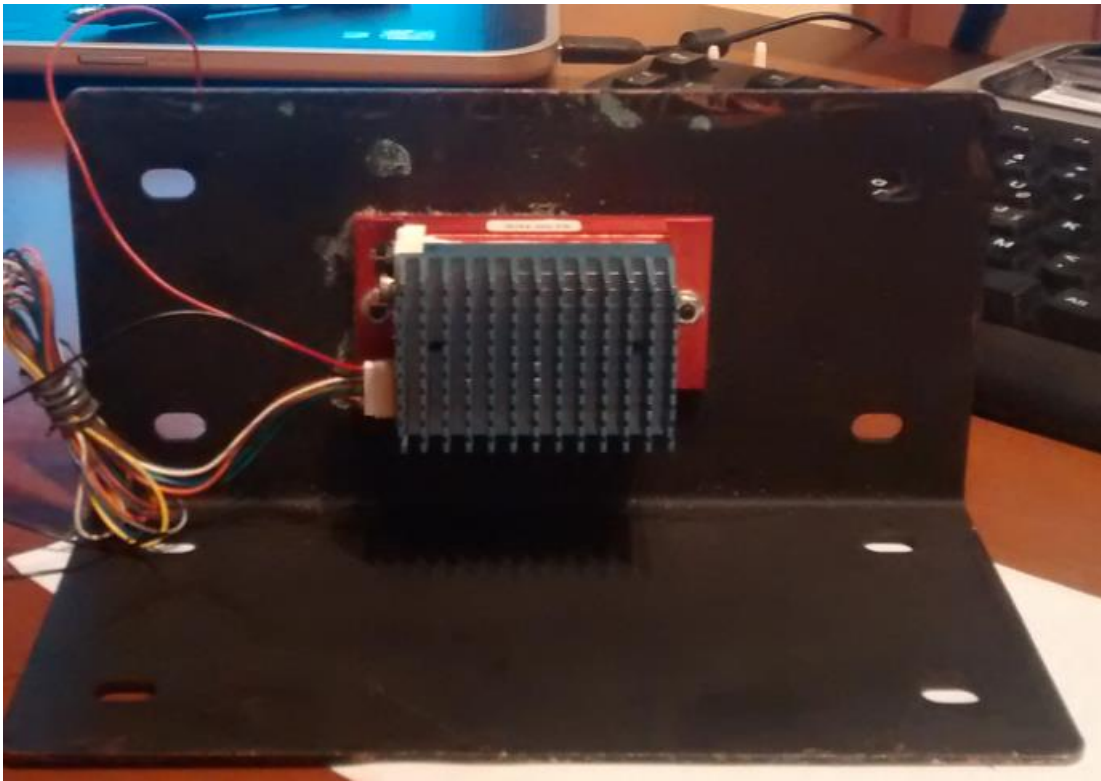
θερμοκρασίας που το θερμοηλεκτρικό στοιχείο μπορεί να αξιοποιήσει στην παραγωγή ενέργειας.

Συγκόλληση

Το εργαλείο εξομοίωσης EHA-LXXLXX-R02-L περιλαμβάνει δύο θερμοηλεκτρικά στοιχεία TEGs και δύο αισθητήρες θερμοκρασίας που είναι ήδη συνδεδεμένοι με το LTC3108 chip, το οποίο είναι ενσωματωμένο στο εργαλείο εξομοίωσης. Αυτό σημαίνει ότι για τις ανάγκες του συγκεκριμένου έργου δεν χρειάστηκε να συνδεθεί το TEG με το LTC3108 της DEMO πλακέτας που αναλύθηκε παραπάνω και χρησιμοποιείται για την φιλοξενία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκιμές που έγιναν στο πεδίο. Δυστυχώς όμως οι δοκιμές δεν πραγματοποιήθηκαν επάνω σε κάποιο εμπορευματοκιβώτιο αλλά σε μαύρη μεταλλική επιφάνεια την οποία βάλαμε στον ήλιο για να επιβεβαιώσουμε την παροχή 3,3Vdc τάσης και την συσσώρευση ενέργειας στους Υπερπυκνωτές, παράλληλα με άλλες μορφές ενέργειας.

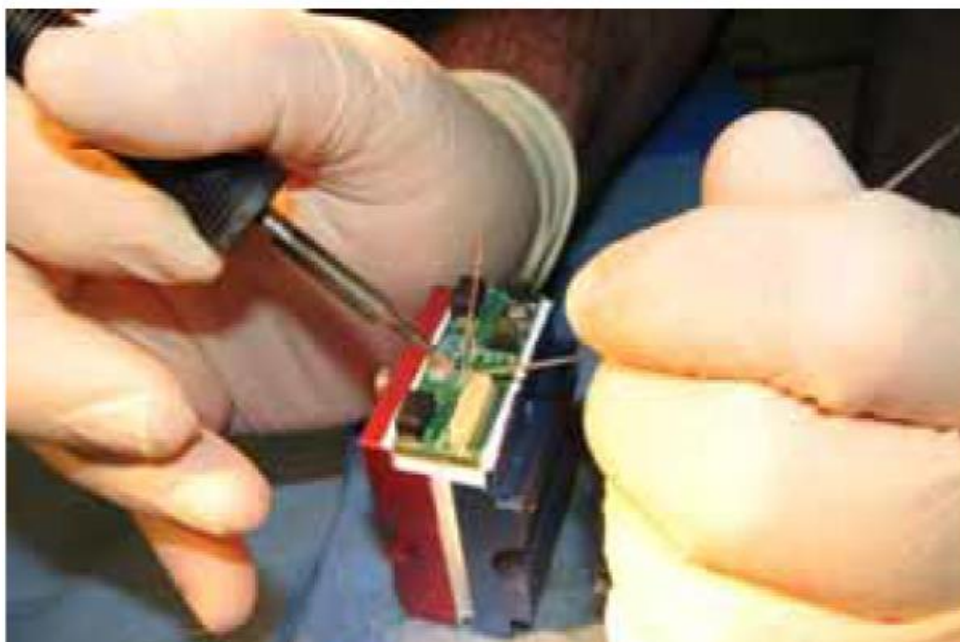
Παρόλα αυτά στην συνέχεια θα παρουσιαστεί ο τρόπος χρησιμοποίησης της συγκεκριμένης μεθόδου συσσώρευσης ενέργειας, καθώς επίσης θα γίνει προσπάθεια ανάλυσης των δεδομένων θερμοκρασίας που καταγράφηκαν σε εμπορευματοκιβώτιο με την βοήθεια datalogger.



Εικόνα 70: Εγκατάσταση του kit EHA-LXXLXX-R02-L1 σε μαύρη μεταλλική ράβδο

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας έχουν την ικανότητα να μετρούν την θερμοκρασία μέσα από την ψύκτρα και της μεταλλικής ράβδου, ώστε να καταλαβαίνουν την κατάσταση της θερμοκρασίας στο θερμικό στοιχείο.

Στην εικόνα 71 παρουσιάζεται ο τρόπος συγκόλλησης του θερμοηλεκτρικού στοιχείο TEG με το LTC3108 Chip στο εργαλείο εξομοίωσης EHA-LXXLXX-R02-L για την ανάγκη του έργου. Φαίνονται τα καλώδια του TEG μέσα στις τρύπες του εργαλείου πριν από την συγκόλληση και το κόψιμο των ακροδεκτών του.

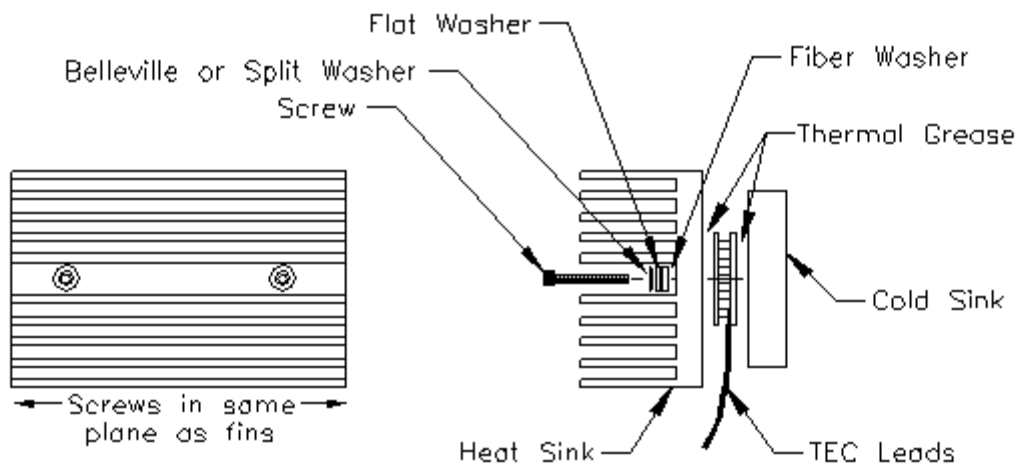


Εικόνα 71: Συγκόλληση του TEG με το LTC3108 chip στο EHA-LXXLXX-R02-L1

Εγκατάσταση και Συναρμολόγηση

Το θερμοηλεκτρικό στοιχείο TEG που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες του συγκεκριμένου έργου και ενσωματώθηκε στο εργαλείο εξομοίωσης EHA-LXXLXX-R02-L είναι το SP2626.

Υπάρχει συγκεκριμένη διαδικασία για την ενσωμάτωση των modules SP2626 μεταξύ μιας ψήκτρας και της μεταλλικής επιφάνειας για την συσσώρευση ενέργειας.



Εικόνα 72: Εγκατάσταση και συναρμολόγηση του θερμοηλεκτρικού στοιχείου SP2626 μεταξύ ψήκτρας και μεταλλικής επιφάνειας

Το βασικό στοιχείο είναι να υπάρχει σωστή θερμική επαφή. Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία:

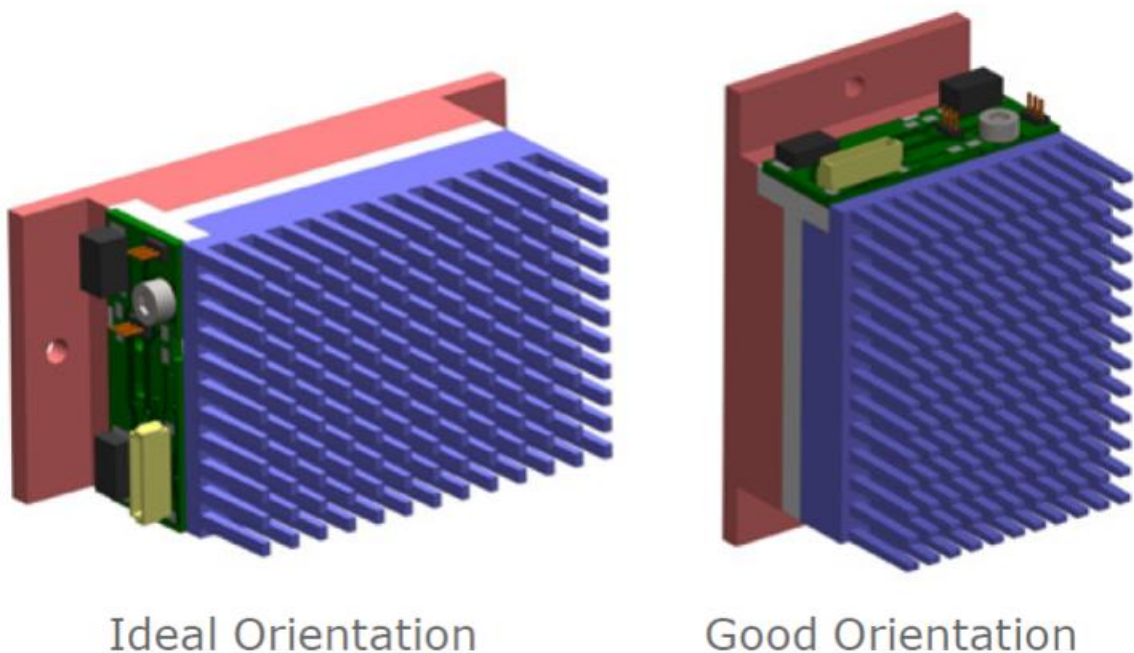
- Η μεταλλική επιφάνεια πρέπει να είναι επίπεδη και καθαρή. Προτείνεται εύρος επιπέδου 0,03 χιλιοστών.
- M3 ή M4 βίδες είναι καλύτερες για τοποθέτηση, ενώ πρέπει να βρίσκονται σε ευθεία γραμμή με τα θερμοηλεκτρικά στοιχεία TEG.
- Πρέπει να χρησιμοποιηθεί θερμικό γράσο και η στρώση του να είναι λεπτή. Στην συνέχεια μετακινούμε τα TEGs έτσι ώστε να μην υπάρχουν φυσαλίδες στο λεπτό στρώμα του γράσου.
- Οι βίδες πρέπει να σφικτούν αργά και σε ακολουθία μια προς μια έτσι ώστε να είναι ομοιόμορφη η πίεση στην επιφάνεια του TEG. Προσοχή το TEG μπορεί να σπάσει σε άνιση δύναμη πίεσης.

Είναι κρίσιμο να τονιστεί ότι το TEG συνδέεται άμεσα με την θερμική επιφάνεια, γεγονός που σημαίνει ότι κάποια θερμική διεπαφή πρέπει επίσης να χρησιμοποιηθεί.

Ψήκτρα

Σε περίπτωση που είναι επιθυμητό να χρησιμοποιηθεί μια ψήκτρα από τα κοινά σημεία πώλησης ηλεκτρονικών ειδών, είναι σημαντικό να είναι σχεδιασμένη για φυσική συναγωγή. Μια ψήκτρα που είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί με την βοήθεια ανεμιστήρα είναι φυσιολογικό να μην λειτουργεί ικανοποιητικά, επειδή είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί σύμφωνα με την ροή του αέρα.

Επίσης είναι σημαντική η κατεύθυνση της ψήκτρας όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω. Σε φυσική συναγωγή η ροή του αέρα είναι από την βαρύτητα γι' αυτό και προτείνονται οι κατευθύνσεις αυτές:



Εικόνα 73: Ιδανική τοποθέτηση της Ψήκτρας

Τεκμηρίωση των μετρήσεων

Στην εικόνα 70 φαίνεται η εγκατάσταση του θερμοηλεκτρικού εργαλείου ανάπτυξης LXXLXX-R02-L έχοντας ενσωματωμένα δύο SP2626 TEGs modules. Το LXXLXX-R02-L είναι εγκατεστημένο σύμφωνα με τις παραπάνω οδηγίες σε χαλκό. Ο σκοπός της τοποθέτησης του επάνω στην επιφάνεια χαλκού προέκυψε με στόχο την καλύτερη εξομοίωση του συγκεκριμένου εργαλείου σαν σε συνθήκες επιφάνειας εμπορευματοκιβωτίου.

Αρχικά με την τοποθέτηση του επάνω στην επιφάνεια του χαλκού η τάση ήταν ικανοποιητική, όμως παρατηρήθηκε στην συνέχεια πτώση της τάσης. Ελέγχθηκε η θερμοκρασία επάνω στον χαλκό και την θερμοκρασία περιβάλλοντος, διότι ήταν πιθανό η πτώση της τάσης να οφειλόταν επειδή την στιγμή τοποθέτησης του TEG επάνω στην επιφάνεια του χαλκού απελευθερώθηκε όλη η θερμότητα που είχε μαζευτεί στον χαλκό.

Έτσι λοιπόν για τις ανάγκες εξομοίωσης και του έργου ακολουθήθηκαν οι παρακάτω ενέργειες ώστε να τεκμηριωθεί η θεωρία που θέλει να στοιχειοθετεί η συγκεκριμένη έρευνα για χρησιμοποίηση θερμοηλεκτρικού στοιχείου ως μέσω συσσώρευσης ενέργειας.

- Βάφτηκε με μαύρο χρώμα η πλάκα του χαλκού έτσι ώστε να υπάρχει υψηλός συντελεστής εκπομπής.
- Χρωματίστηκε η αντίθετα πλευρά για το TEG τοποθέτησης. Αυτό βοήθησε στην προσέλκυση ηλιακής ακτινοβολίας και την θερμότητα του χαλκού.
- Χρησιμοποιήθηκε μεγεθυντικός φακός για αντανάκλαση του ήλιου προς την επιφάνεια του χαλκού που είναι τοποθετημένο το TEG.
- Έπρεπε η πλευρά την ψήκτρας να είναι όσο πιο κρύα γίνεται, αντίθετα έπρεπε η πλευρά του χαλκού να είναι μαύρη για να υπάρχει διαφορά θερμοκρασία ΔT .
- Το φορτίο της ηλιακής ενέργειας στην μαύρη επιφάνεια του χαλκού = $0,9 \text{ watts} * 1000$ (συντελεστής για το μαύρο χρώμα εκπομπής) * επιφάνειας m^2
- Η πλευρά του χαλκού που είναι τοποθετημένο το TEG ήταν καλυμμένη ή σε σκιερό μέρος.

Η απώλεια θερμότητας από την πλάκα χαλκού λόγω της μεταφοράς θερμότητας είναι δύσκολο να υπολογιστεί με ακρίβεια καθώς εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις κατανάλωσης ισχύς και ρεύματος ενός έργου μπορούν να συνδεθούν παράλληλα ή σε σειρά πολλά TEGs μεταξύ τους. Στην συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιήθηκαν δύο TEGs για την σύνδεση με το εργαλείο εξομοίωσης LXXLXX-R02-L. Ο τρόπος χρησιμοποίησης και εγκατάστασης των TEGs για την αποτίμηση της απαραίτητη διαφοράς ΔT θερμοκρασίας ποικίλει.

Ο αριθμός των θερμοηλεκτρικών στοιχείων που μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους εξαρτάται από την διαθέσιμη επιφάνεια το τύπο του μετάλλου (γι' αυτό συνιστάται ο χαλκός αντί το αλουμίνιο) και οι απαιτήσεις στην κατανάλωση.

Στην εικόνα 69 φαίνεται πως μπορεί να υπάρξει τάση 5 Vdc για κάθε διαφορά θερμοκρασίας ΔT μεγαλύτερη των 5 βαθμών. Οι μετρήσεις του Παραρτήματος Β έγιναν το μήνα Οκτώβριο, τοποθετώντας το logger θερμοκρασίας επάνω από στην μεταλλική επιφάνεια ενός εμπορευματοκιβωτίου. Για περίπου 4 ώρες η διαφορά ΔT θερμοκρασίας της μεταλλικής επιφάνειας του Container και αυτής του περιβάλλοντος ήταν μεταξύ 5,3-13,2 βαθμών κελσίου (Εικόνα 79) .

Συνεπώς για το χρονικό διάστημα αυτό θα μπορούσε να υπάρξει τάση στην έξοδο του εργαλείου ανάπτυξης 3,3Vd, ενώ η συνολική ισχύς σε παράλληλη συνδεσμολογία 16 TEG θα αντιστοιχούσε σε 96mW, αρκετά σημαντική για την υποστήριξη παράλληλης συσσώρευσης ενέργειας με την συγκεκριμένη τεχνολογία.

Μετρήσεις έγιναν και κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών Ιούνιο και Ιούλιο. Σε αυτό το χρονικό διάστημα ο Logger τοποθετήθηκε μέσα στο εμπορευματοκιβώτιο και η μεγαλύτερη θερμοκρασία που προέκυψε φαίνεται στην Εικόνα 78 (51,9 °C) ενώ η διαφορά ΔT μεταξύ εσωτερικού χώρου και θερμοκρασίας του περιβάλλοντος για διάρκεια 24 ωρών ήταν μεταξύ 1,9-18,5°C.

Ως συμπέρασμα θα μπορούσε κάποιος να σκεφτεί πως θα μπορούσε να αξιοποιήσει τόσο την εσωτερική θερμοκρασία όσο και την εξωτερική επιφάνειας ενός εμπορευματοκιβωτίου για να αντλεί ενέργεια από το περιβάλλον και να την αποθηκεύει στους Υπερπυκνωτές.

8.7. Καταγραφή λειτουργίας-Παραγωγή και διαχείριση ενέργειας από τον ήλιο.

Στην εικόνα 75 παρουσιάζεται το κύκλωμα επίδειξης χρησιμοποιώντας το multisource demo της πλακέτας DC2042A EH της Linear Technology. Η συγκεκριμένη διάταξη διασυνδέεται με τον μετατροπέα STBB1, έπειτα με το κύκλωμα αποθήκευσης ενέργειας, στην συνέχεια με το μετατροπέα LTC3113 και τέλος με το υποσύστημα επεξεργασίας εντοπισμού και ελέγχου.

Στην εικόνα 74 Παρουσιάζεται η μέτρηση και η τάση που καταγράφεται στο βολτόμετρο από ένα μονο ηλιακό πάνελ της εταιρείας PowerFilm.

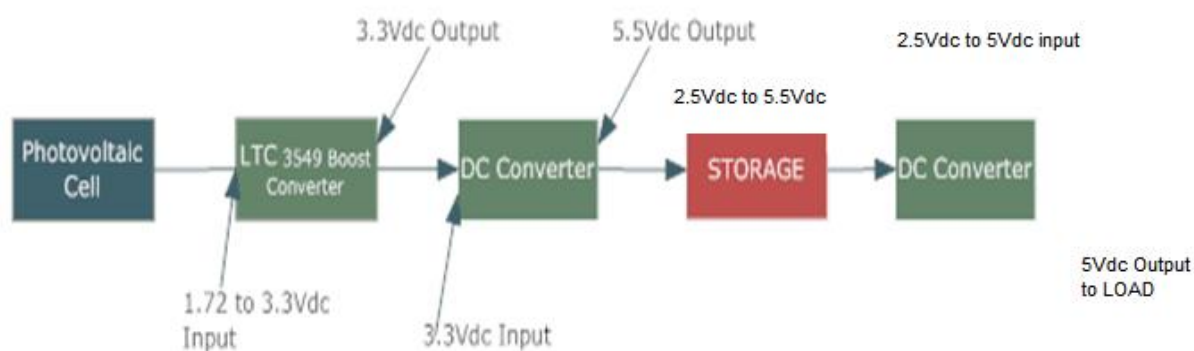


Εικόνα 74. Καταγραφή ενέργειας ενός ηλιακού πάνελ



Εικόνα 75. Διάταξη πλακετών αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου

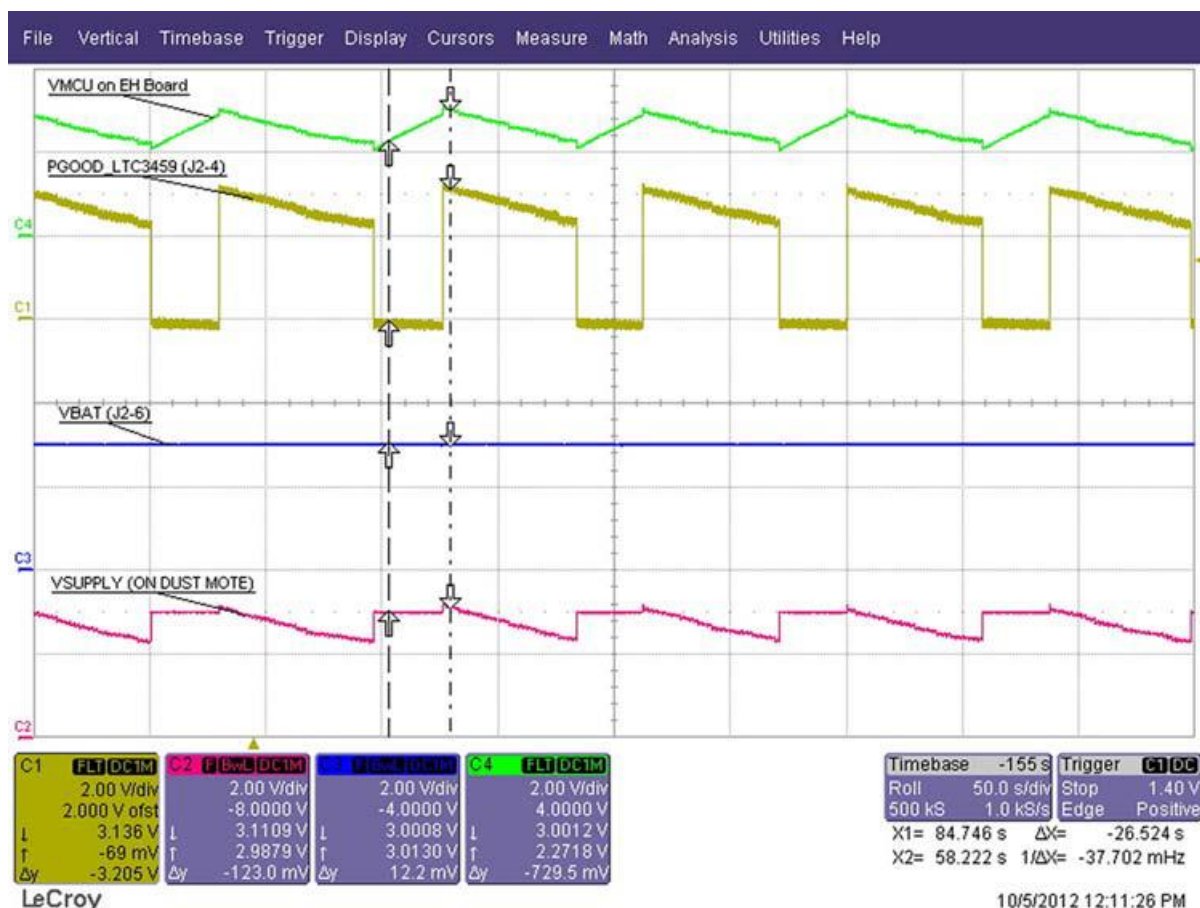
Η τροφοδοσία από το ηλιακό πάνελ απαιτεί να συνδεθεί με την συσκευή μάστευσης ενέργειας multisource demo της πλακέτας, LTC3459, από την εγκατάσταση του jumper επιλογής ενέργειας, JP4. Το σήμα PGOOD, PGOOD_LTC3459, μπορεί να κατευθύνεται προς το Dust Header με την εγκατάσταση του jumper στο JP8.



Εικόνα 76: Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας με φωτοβολταϊκό στοιχείο

Η LTC2935-4 προσθέτει μια ρύθμιση υστέρησης της τάσης εισόδου στο κύκλωμα LTC3459. Η έξοδος PFO του LTC2935-4 συνδέεται με την είσοδο SHDN του LTC3459, πράγμα που σημαίνει ότι η LTC3459 θα είναι ανοικτή μέχρι η

VIN_LTC3459 να υψωθεί πάνω από 1.743V (1.72V + 2,5%) και στη συνέχεια θα σβήσει όταν η VIN_LTC3459 πέφτει κάτω από 1.72V. Το αποτέλεσμα είναι ότι η τάση εισόδου στο κύκλωμα LTC3459 θα πρέπει να ρυθμίζεται στο 1.73V, στο μέσο όρο της αρνητικής και θετικής κλίσης της LTC2934-4. Το κατώφλι μπορεί να είναι προσαρμοσμένο στην τιμή κορυφής του σημείου λειτουργίας του ηλιακού συλλέκτη. Σε αυτό το σχέδιο, επειδή η έξοδος LTC3459 έχει οριστεί στα 3.3V (βλ. εικόνα 67) και είναι μια τοπολογία ανύψωσης, η τάση εισόδου περιορίζεται στο 3.3V.

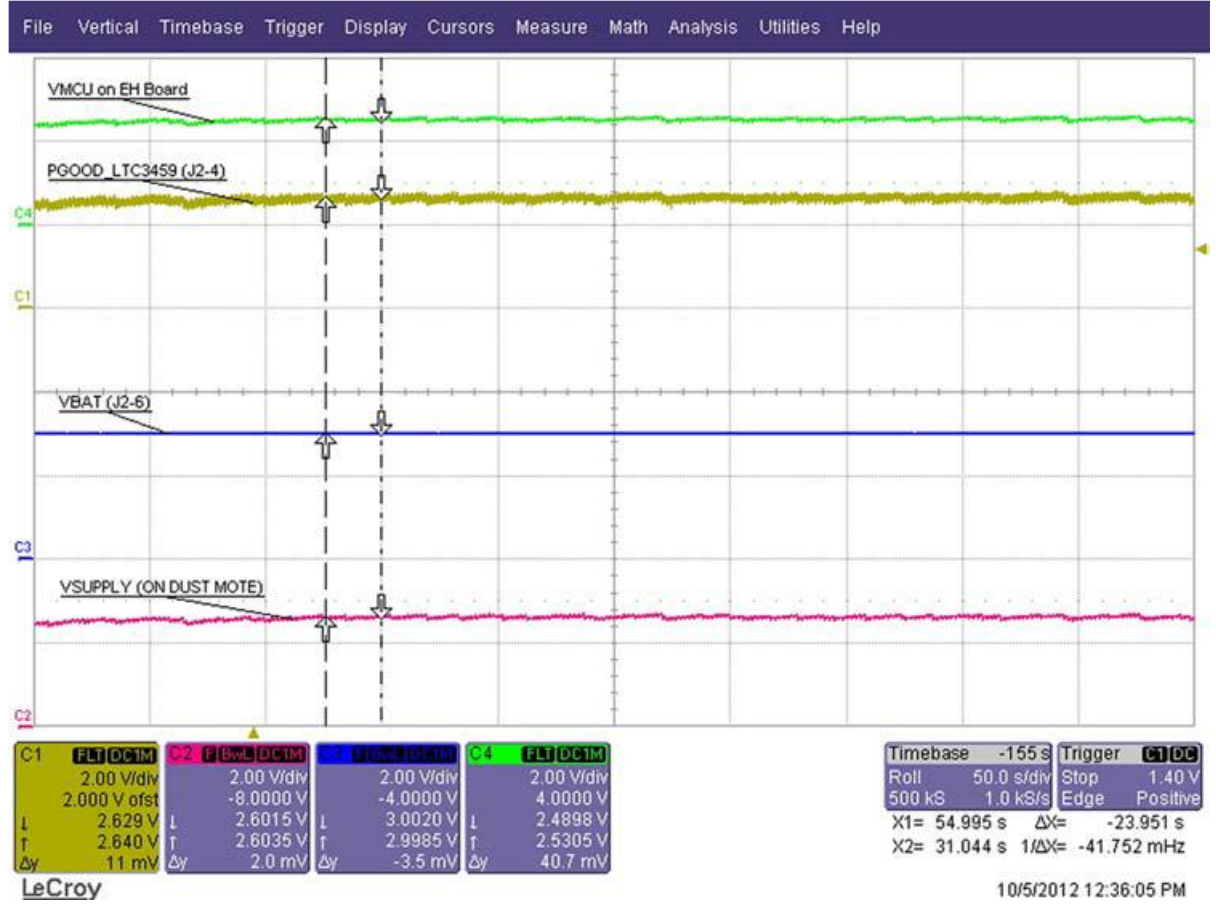


Εικόνα 77: Λειτουργία συστήματος τροφοδοτούμενου από ηλιακά πάνελ με φωτεινότητα 210 lux

Στην Εικόνα 77 παρουσιάζεται η λογική μεταβολής της τάσεως τροφοδοσίας μεταξύ της τάσης της συσκευής μάστευσης ενέργειας. Το σήμα με το κίτρινο χρώμα είναι το σήμα ελέγχου. Όταν η τάση στη συσκευή μάστευσης μειωθεί στο 92% της τάσης αναφοράς, τότε το σήμα ελέγχου παίρνει χαμηλές τιμές (low) και η τροφοδοσία γίνεται από τη συστοιχία μπαταριών.

Στην Εικόνα 78, φαίνεται η λειτουργία όταν η φωτεινότητα είναι επαρκής ώστε η

συσκευή μάστευσης να τροφοδοτεί αδιάλειπτα το κύκλωμα. Σε αυτή τη περίπτωση το σήμα είναι συνέχεια high και δεν υπάρχει εναλλαγή μεταξύ των επιπέδων high και low.



Εικόνα 78: Λειτουργία συστήματος τροφοδοτούμενου από ηλιακά πάνελ με φωτεινότητα 300 lux

Στην Εικόνα 79, φαίνεται η λειτουργία όταν η φωτεινότητα δεν είναι επαρκής. Σε αυτή τη περίπτωση το σήμα δεν είναι συνέχεια high και υπάρχει εναλλαγή μεταξύ των επιπέδων high και low.



Εικόνα 79: Λειτουργία συστήματος τροφοδοτούμενου από ηλιακά πάνελ με φωτεινότητα 100 lux

Στην Εικόνα 59 παρουσιάστηκε η διαφορά στην φόρτιση των Υπερπυκνωτών με ή χωρίς επιπρόσθετο μετατροπέα τάσης DC/DC Converter. Λαμβάνοντας υπόψη πως η τηλεπικοινωνιακή μονάδα εντοπισμού και ελέγχου απαιτεί 5Vdc στην είσοδο με εύρος +/- 0,5Vdc, φάνηκε να υπάρχει πτώση στο κατώφλι τάσης 4,5Vdc μετά από δέκα ώρες λειτουργίας της μονάδας σε κατάσταση αναμονής (idle), χωρίς περαιτέρω συσσώρευση ενέργειας.

Σύμφωνα με τις ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου, χρειάζονται συνολικά $E=62,2J$ ενέργεια/ την ημέρα. Το ηλιακό πάνελ της Power Film που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες του έργου έχει την δυνατότητα παραγωγής $E=3,24kJ$ εκτεθημένο για 5 ώρες στον ήλιο.

Η περίπτωση συννεφιάς αντιστοιχεί 10% συνεχόμενης ηλιοφάνειας κατά την διάρκειας μας ημέρας. Αυτό δίνει την δυνατότητα στο ηλιακό πάνελ του συγκεκριμένου έργου να παράγει $E=324J$ σε περίπτωση συννεφιασμένης ημέρας και 5 φορές περισσότερη ενέργεια από την απαιτούμενη $E=62,2J$. Το περιθώριο

αυτό εξασφαλίζει την απαραίτητη ενέργεια του συστήματος για πέντε (5) ημέρες/σε κάθε μια συννεφιασμένη ημέρα που θα προκύψει. Συνεπώς η τροφοδοσία από την ηλιακή ενέργεια επαρκεί ακόμα και στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθεί επιπρόσθετος μετατροπέας τάσης.

Τεκμηρίωση-Proof of Concept

Παρακάτω φαίνεται ξεκάθαρα η λειτουργία της αυτόνομα τροφοδοτούμενης μονάδας εντοπισμού και ελέγχου.

Πριν από την διασύνδεση του μετατροπέα LTC3113 με την είσοδο του υποσυστήματος επεξεργασίας, εντοπισμού και ελέγχου, έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία προετοιμασίας των Υπερπυκνωτών καθώς επίσης και ένας πλήρης κύκλος φόρτισης. Η πηγή εξοικονόμησης ενέργειας είναι μόνο από ηλιακά πάνελ.

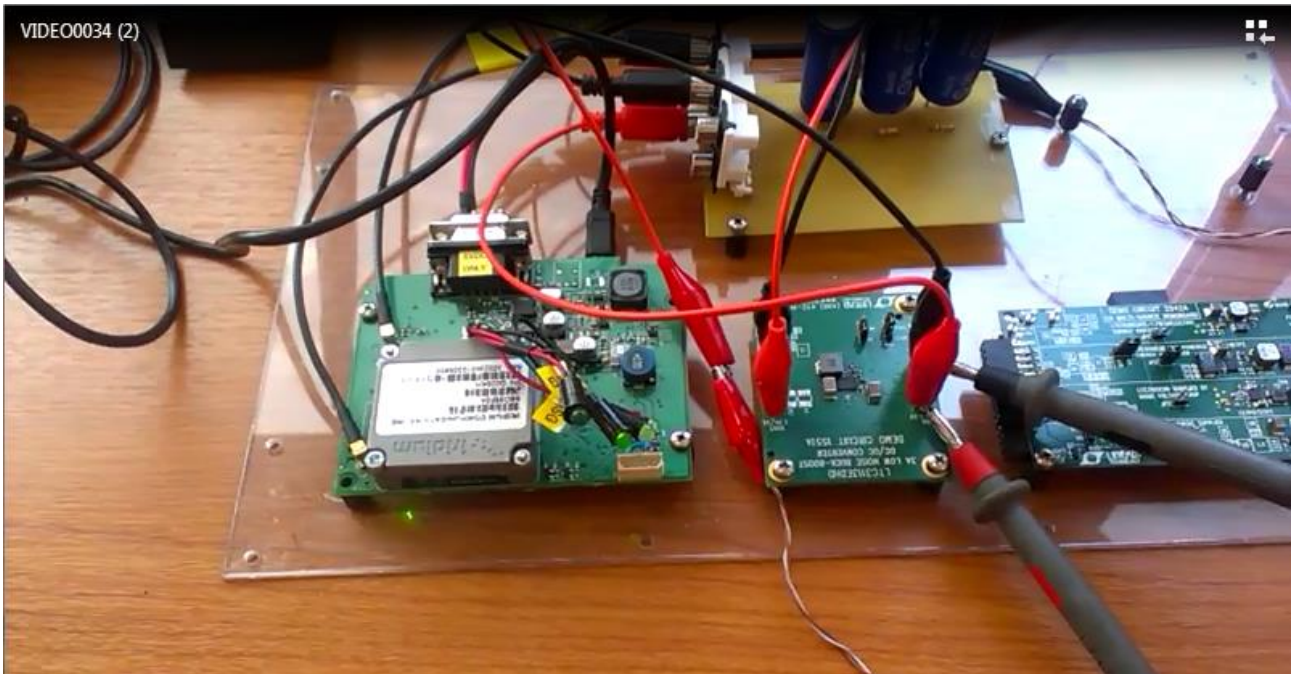
Όπως παρατηρείται το LED A είναι ενδεικτικά σταθερό με χρώμα πράσινο που σημαίνει ότι η μονάδα έχει πραγματοποιήσει GPS FIX και έχει Register με το δίκτυο της Iridium.

Αντίστοιχα το LED B αναβοσβήνει με συχνότητα 2Hz δηλαδή εκπέμπει το προκαθορισμένο μήνυμα μετά από την τροφοδοσία της μονάδας.

Παρακάτω προθέεται το Log της μονάδας από την πρώτη στιγμή που τροφοδοτήθηκε το υποσύστημα επεξεργασίας, εντοπισμού και ελέγχου από το υποσύστημα συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας.

Για την λειτουργία αυτή καταναλώθηκε ενέργεια $E_{cycle}=3,1\text{Joule}$ σε χρονική διάρκεια 12,16Sec.

Ο Logger κατέγραψε GPS FIX και Iridium Registration σε λιγότερο από 5 δευτερόλεπτα, ενώ η εκπομπή πραγματοποιήθηκε σε λιγότερο από 10 δευτερόλεπτα.



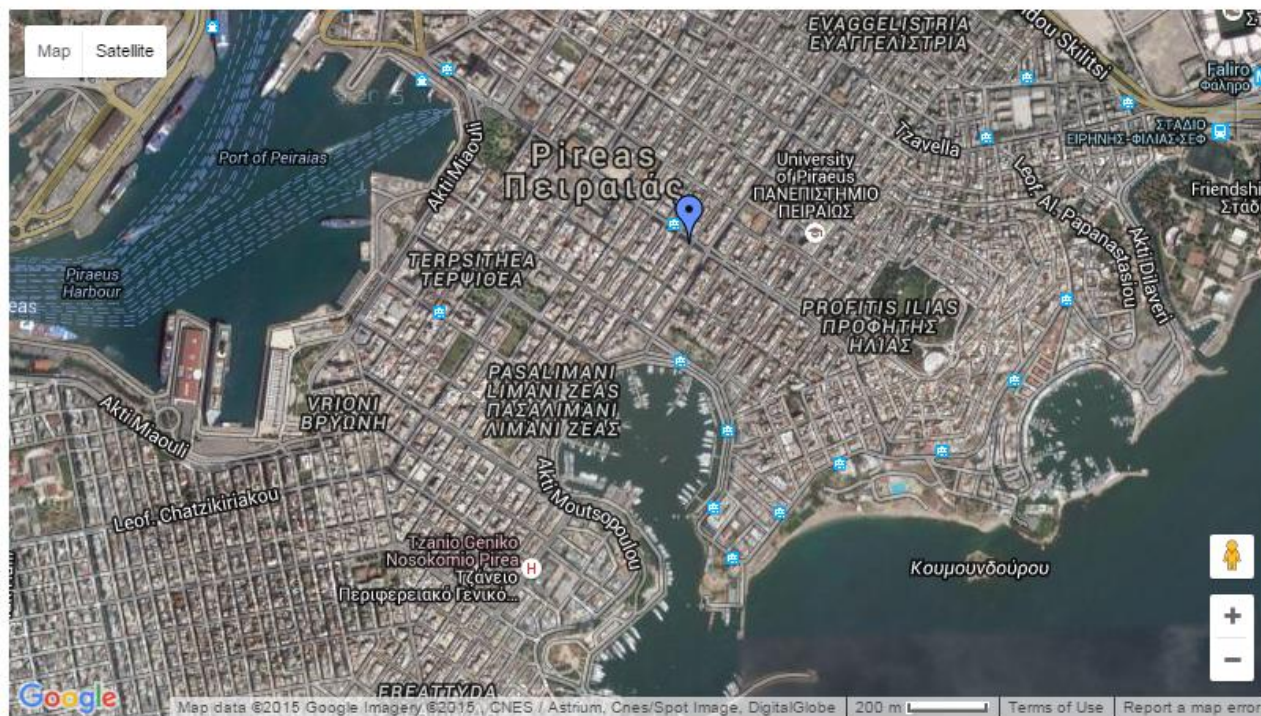
Εικόνα 80: Λειτουργία τηλεπικοινωνιακής μονάδας έπειτα από τροφοδοσία της.

Η Μέτρηση στην Οδό Ανδρούτσου

Η μέτρηση έγινε στην ταράτσα του κτηρίου της οδού Ανδρούτσου του Πανεπιστημίου Πειραιά. Επιβεβαιώνεται η έρευνα και η βελτιστοποίηση της μονάδας καθώς τεκμηριώνεται η συσσώρευση και συνάμα η αποθήκευση ώστε να τροφοδοτηθεί το τηλεπικοινωνιακό μέρος της μονάδας ακόμα και μόνο με ηλιακά πάνελ, δίχως βοήθεια από επιμέρους πηγές ενέργειας όπως είναι η θερμική και η πιεζοηλεκτρική.

```
#>pos
.posEnabled:F
.Fence Radius:0.5
.Alert On Entry:F.Alert On Exit:T
.Mode:T
.Accel Mode:F
.Center Lat:51.86732.Center Lon:-2.33066
.Move Lat: 0.00000.Move Lon: 0.00000
.Lat:37.94143.Lon:23.64961
.Hdop:1.5.Num Satellites:6
.Speed: 1.71.Heading:151.80
.State:INIT.inAlert:F
.delta from Center: 0.00000
```

Latitude and Longitude of a Point



<p>Clear / Reset Remove Last Blue Marker Center Red Marker</p> <hr/> <p>Get the Latitude and Longitude of a Point</p> <p>When you click on the map, move the marker or enter an address the latitude and longitude coordinates of the point are inserted in the boxes below.</p> <p>Latitude: <input type="text" value="37.941400"/></p> <p>Longitude: <input type="text" value="23.649600"/></p>	<p>Show Point from Latitude and Longitude</p> <p>Use this if you know the latitude and longitude coordinates of a point and want to see where on the map the point is.</p> <p>Use: + for N Lat or E Long - for S Lat or W Long. Example: +40.689060 -74.044636 Note: Your entry should not have any embedded spaces.</p> <p>Decimal Deg. Latitude: <input type="text" value="37.9414"/></p> <p>Decimal Deg. Longitude: <input type="text" value="23.6496"/></p> <p>Show Point</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Εικόνα 81: Μέτρηση στην ταράτσα της οδού Ανδρούτσου

Η καταγραφή του στίγματος και εγγραφή στο δίκτυο της Iridium

Ο Logger παραπάνω κατέγραψε την λήψη του σήματος GPS (fix), τον αριθμό των δορυφόρων GPS που χρειάστηκαν για πραγματοποιηθεί η μέτρηση, την πορεία και την ταχύτητα της μονάδας. Αρκετά χαρακτηριστικά δηλαδή για να καταλάβει κανείς την κατάσταση της μονάδας.

Επίσης καταγράφηκε το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του δορυφόρου της Iridium όπου εξυπηρέτησε την μονάδα.

Η αποστολή του μηνύματος

Η αποστολή του μηνύματος μέσω του παγκόσμιας κάλυψης δικτύου της Iridium μας έδωσε την δυνατότητα να δούμε την μονάδα μέσω ηλεκτρονικού χάρτη στην

οθόνη του υπολογιστή μας.

Ο Logger κατέγραψε τον συγχρονισμό της μονάδας με τον δορυφόρο της Iridium (starting time sync, time sync:8db44f43), την ισχύ του σήματος (signal strength:20) και την αποστολή των 18 byte που περιλαμβάνεται στο πρωτόκολλο επικοινωνίας της μονάδας (mo status:18, mt queue:0).

```
#Error:Unknown Command
```

```
#>
```

```
.onnet.ttf:10.netavail:T.bars:0
```

```
.online
```

```
.starting time sync
```

```
#Error:Unknown Command
```

```
#>p
```

```
.signal strength:20
```

```
.time sync:8db44f43
```

```
.done
```

```
.starting SBD send sequence
```

```
.signal strength:2
```

```
.mo status:18, mt queue:0
```

```
.done
```

```
.starting SBD send sequence
```

```
.signal strength:1
```

```
.done
```

```
.starting SBD send sequence
```

```
.signal strength:1
```

```
.done
```

```
.starting SBD send sequence
```

```
.signal strength:5
```

```
.mo status:18, mt queue:0
```

```
.done
```

```
.starting SBD send sequence
```

```
.signal strength:5
```

```
#Error:Unknown Command
```

```
#>pos
```

```
.posEnabled:F
```

```
.Fence Radius:0.5
```

```
.Alert On Entry:F.Alert On Exit:T
```

```
.Mode:T
```

```
.Accel Mode:F
```

```
.Center Lat:51.86732.Center Lon:-2.33066
```

```
.Move Lat: 0.00000.Move Lon: 0.00000
```

```
.Lat:37.94158.Lon:23.64968
```

```
.Hdop:1.2.Num Satellites:5
```

```
.Speed:-1.00.Heading:-1.00
```

```
.State:INIT.inAlert:F
```

```
.delta from Center: 0.00000
```

Η επιστροφή της μονάδας σε κατάσταση ύπνωσης

Ο Logger σε αυτή την περίπτωση εφόσον η μονάδα έχει πραγματοποιήσει τις παραπάνω λειτουργίες, κατέγραψε την επιστροφή της στην κατάσταση ύπνωσης. Το γεγονός αυτό επιτρέπει στην συνέχεια την εξοικονόμηση ενέργειας από το υποσύστημα συσσώρευσης και αποθήκευσης ενέργειας.

Αρχικά έγινε OFF ο δέκτης GPS: power:OFF, ενώ ακολούθησε και πομποδέκτης της

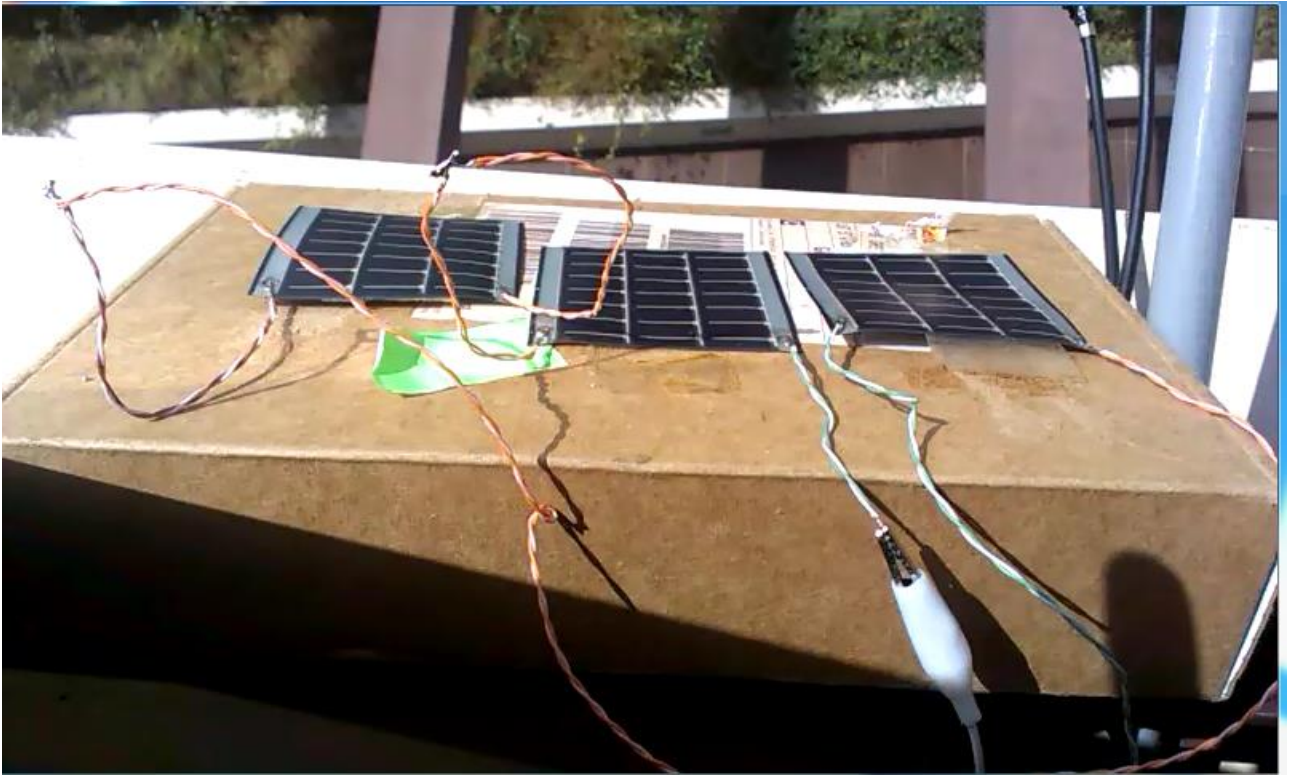
Iridium: .modem powered down into sleep mode.

```
#>
.signal strength:0
.done
.starting time sync
.signal strength:3
.time sync:no network service
.done
.starting time sync
.signal strength:0
.done
.starting time sync
.signal strength:0
.done
.starting time sync
#Error:Unknown Command
#>start
#Error:Unknown Command
#>stat
System Time:
.curr time:11/17/13, 15:02 GMT
.next rpt:11/17/13, 18:00 GMT
Modem:
.stat:ON NET.bars:0.xmitPending:6.iTTF:4
GPS:
.power:OFF

#>'
.signal strength:0
.done
.starting time sync
.signal strength:1
.done
.starting time sync
.signal strength:1
.done
.starting time sync
.signal strength:0
.done
.searching for network
.asleep.ttf:15.netavail:F.bars:0
.modem powered down into sleep mode
```

Συσσώρευση ενέργειας από Ηλιακά Πάνελ

Η μέτρηση τεκμηρίωσε την δυνατότητα λειτουργίας της μονάδας μόνο από ηλιακά πάνελ. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τρία ηλιακά πάνελ της εταιρείας Power Film, παράλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους έτσι ώστε να έχουν την δυνατότητα εξοικονόμησης περισσότερου ρεύματος.



Εικόνα 82: Διάταξη Ηλιακών Πάνελ

8.8 Θερμική κλίση σε *container*

Το σύστημα έχει σχεδιαστεί και υλοποιηθεί με προδιαγραφές που προέκυψαν από τη λεπτομερή ανάλυση απαιτήσεων μιας εφαρμογής εντοπισμού εμπορευματοκιβωτίων (*containers*). Για την επέκταση της ζωής του συστήματος για πολλά συνεχή έτη θα πρέπει η λειτουργία του να βασίζεται σε πολύ χαμηλή κατανάλωση, συμπεριλαμβανομένων όλων των δομικών μονάδων του, όπως για παράδειγμα του ενσωματωμένου επεξεργαστή, της μνήμης, των περιφερειακών συσκευών, της μονάδας του πομποδέκτη και του πρωτοκόλλου επικοινωνίας, του δέκτη εντοπισμού θέσης GPS, και της επίδρασης του ενσωματωμένου λογισμικού.

Διερευνώνται οι δυνατότητες αδιαλείπτου εναλλακτικής τροφοδοσίας από θερμοηλεκτρικές και πιεζοηλεκτρικές γεννήτριες που εμφανίζουν υψηλό βαθμό καταλληλότητας ως προς την εφαρμογή εντοπισμού εμπορευματοκιβωτίων (*containers*).

Η μονάδα εντοπισμού προσαρμόζεται κατάλληλα στην επιφάνεια εμπορευματοκιβωτίων με στόχο να επιτρέπει την αυτόματη παρακολούθησή τους ελαχιστοποιώντας την απώλεια εμπορευματοκιβωτίων. Διερευνήθηκε ως εκ τούτου η θερμοκρασιακή κλίση που επιτυγχάνεται τοποθετώντας θερμοηλεκτρικό στοιχείο στην επιφάνεια του εμπορευματοκιβωτίου, όταν αυτό είναι εκτεθειμένο στην ηλιοφάνεια και όταν αυτό βρίσκεται στη σκιά. Οι θερμικές κλίσεις που καταγράφησαν, παρουσιάζονται στην Εικόνα 78.

Alarm Status Recorder Info

Low  OK	Serial # : 1300072184 Model : TRIX-8	Battery : OK	Trip # : 1
High  OK	User ID : Temperature recording		

Recorder Configuration

Start type : Push button start	Temperature alarms
Start delay : None	Lower : -20,0 °C after 2 Consecutive
Interval : 5 Minutes	Upper : 70,0 °C after 2 Consecutive
Alert indicator : Enabled lower & upper	
OK indicator : Enabled	

Recorded Data

First reading : 26/7/2013 11:34:10 μμ	Temperature statistics
Last reading : 27/7/2013 9:29:10 μμ	Lowest : 21,7 °C
Elapsed Time : 21 Hours, 55 Minutes	@ 27/7/2013 6:24:10 μμ
Total readings : 264	Highest : 51,9 °C
First evaluated : 26/7/2013 11:34:10 μμ	@ 26/7/2013 12:39:10 μμ
Last evaluated : 27/7/2013 9:29:10 μμ	Average reading : 32,9 °C
	Standard Deviation (S) : 10,4 °C
	MKT : 38,36 °C

Low Alarm

Triggered : (none)
Time below : (none)
Occurrences : 0
°C - Minutes below : 0.00

High Alarm

Triggered : (none)
Time above : (none)
Occurrences : 0
°C - Minutes above : 0.00

Εικόνα 83: Διαφορά θερμοκρασίας όταν η συσκευή τοποθετείται εντός εμπορευματοκιβωτίου

Στην περίπτωση τοποθέτηση της συσκευής πάνω στο εμπορευματοκιβώτιο, οι θερμικές κλίσεις που επιτυγχάνονται παρουσιάζονται στην Εικόνα 79. Παρατηρούμε ότι οι διαφορές δεν είναι μεγάλες, τουλάχιστον για την χρονική περίοδο διερεύνησης, και ως εκ τούτου η προστασία της συσκευής όταν αυτή τοποθετείται εντός του εμπορευματοκιβωτίου, ανάγεται σε σημαντικό πλεονέκτημα.

LogTag

1300072179 Ξεκίνησε 12-10-2013, Ολοκληρώθηκε 12-10-2013.ltd
Recorder has been downloaded 12/10/2013 5:31:49 μμ
Note: All times shown are in "GMT +02:00, daylight time" time zone.

Alarm Status

Low OK
High OK

Recorder Info

Serial #: 1300072179 Model: TRIX-8 Battery: OK Trip #: 4
User ID: Temperature Recording

Recorder Configuration

Start type: Push button on start Temperature alarms
Start delay: None Lower: -20,0 °C after 2 Consecutive
Interval: 5 Minutes Upper: 80,0 °C after 2 Consecutive
Alert indicator: Enabled lower & upper
OK indicator: Enabled

Recorded Data

First reading: 12/10/2013 1:31:17 μμ Temperature statistics
Last reading: 12/10/2013 5:31:17 μμ Lowest: 24,5 °C
Elapsed Time: 4 Hours @ 12/10/2013 1:31:17 μμ
Total readings: 49 Highest: 46,3 °C
First evaluated: 12/10/2013 1:31:17 μμ @ 12/10/2013 1:51:17 μμ
Last evaluated: 12/10/2013 5:31:17 μμ Average reading: 37,0 °C
Standard Deviation (S): 7,3 °C
MKT(ΔH: 83.144): 39,24 °C

Low Alarm

Triggered: (none)
Time below: (none)
Occurrences: 0
°C - Minutes below: 0.00

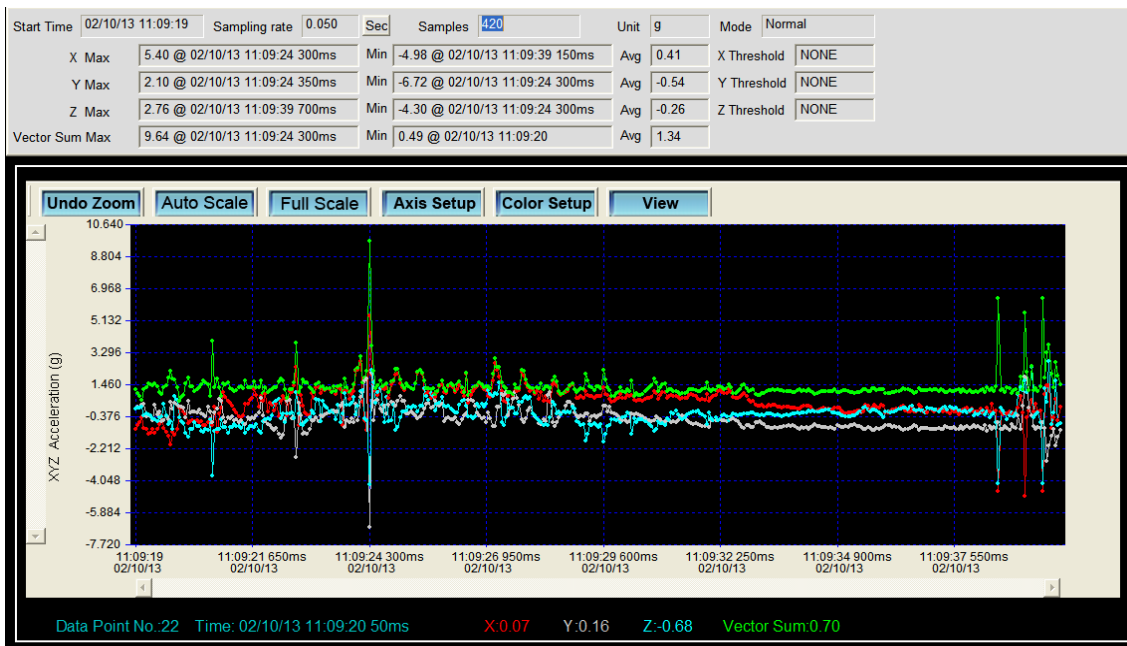
High Alarm

Triggered: (none)
Time above: (none)
Occurrences: 0
°C - Minutes above: 0.00

Εικόνα 84: Διαφορά θερμοκρασίας όταν η συσκευή τοποθετείται πάνω στο εμπορευματοκιβώτιο (μεταλλική επιφάνεια).

Οι μετρήσεις που παρουσιάζονται στα διαγράμματα των Εικόνων 78 και 79 βρίσκονται σε πίνακες στο Παράρτημα Β.

8.9 Χρήση πιεζοηλεκτρικής συσκευής



Εικόνα 85: Επιτάχυνση δονήσεων όταν το εμπορευματοκιβώτιο κινείται από το πλοίο προς την ακτή

Όταν μια φυσική δύναμη ασκείται στο επιταχυνσιόμετρο μέσω των δονήσεων στο εμπορευματοκιβώτιο, η σεισμική μάζα φορτίζει το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα ($F = ma$).

Η δύναμη που εξασκείται επί του πιεζοηλεκτρικού υλικού μπορεί να παρατηρηθεί στην αλλαγή στην ηλεκτροστατική δύναμη ή την τάση που παράγεται από το πιεζοηλεκτρικό υλικό.

Αυτό διαφέρει από ένα piezoresistive επίδραση σε ότι piezoresistive υλικά βιώνουν μια αλλαγή στην αντίσταση του υλικού και όχι μια μεταβολή εις το φορτίο ή η τάση. Η φυσική δύναμη που εξασκείται επί του πιεζοηλεκτρικού μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένας από δύο τύπους, κάμψη ή συμπίεση. Η δύναμη τύπου συμπίεσης μπορεί να γίνει κατανοητή ως μια δύναμη που ασκείται σε μία πλευρά του πιεζοηλεκτρικού ενώ η αντίθετη πλευρά ακουμπά σε μία σταθερή επιφάνεια, ενώ η κάμψη συνεπάγεται μία δύναμη που εξασκείται επί του πιεζοηλεκτρικού και από τις δύο πλευρές.

Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση των δονήσεων εμπίπτουν σε δύο κατηγορίες: μονού κρυστάλλου και κεραμικά υλικά. Το πρώτο

και το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο αποτελείται από ενιαίο κρύσταλλο (συνήθως χαλαζία).

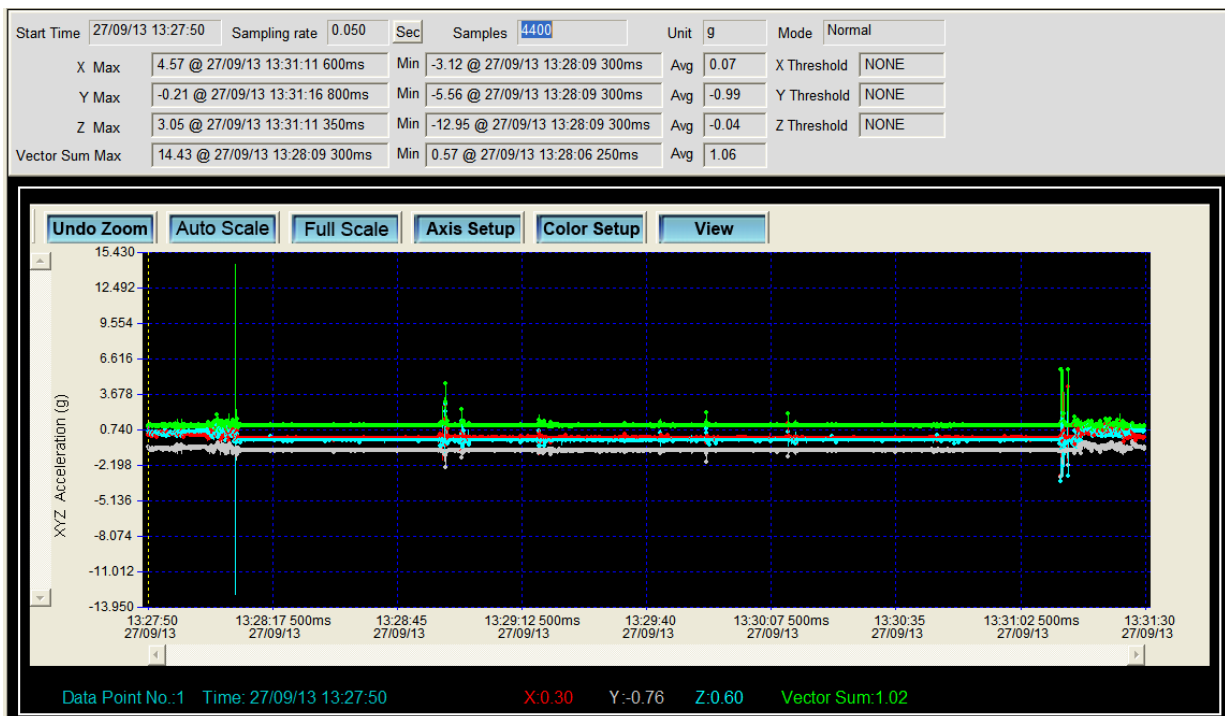
Αν και αυτά τα υλικά προσφέρουν μια μακρά διάρκεια ζωής από την άποψη της ευαισθησίας, το μειονέκτημά τους είναι ότι είναι εν γένει λιγότερο ευαίσθητα από ό, τι μερικά πιεζοηλεκτρικά κεραμικά. Η άλλη κατηγορία, τα κεραμικά υλικά, έχει υψηλότερη πιεζοηλεκτρική σταθερά (ευαισθησία) από τον ενιαίο κρύσταλλο, και είναι λιγότερο ακριβά. Το μειονέκτημα στα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά, ωστόσο, είναι ότι η ευαισθησία τους αποικοδομείται με το χρόνο κάνοντας τη μακροβιότητα της διάταξης μικρότερη από εκείνη του μονού κρυστάλλου.

Σε εφαρμογές που δεν απαιτείται υψηλή ευαισθησία της συσκευής, δύο ή περισσότεροι κρύσταλλοι μπορούν να συνδεθούν μαζί για τον πολλαπλασιασμό της εξόδου.

Το κατάλληλο υλικό μπορεί να επιλεγεί για ειδικές εφαρμογές με βάση την ευαισθησία, την απόκριση συχνότητας, την ειδική αντίσταση, και τη θερμική απόκριση.

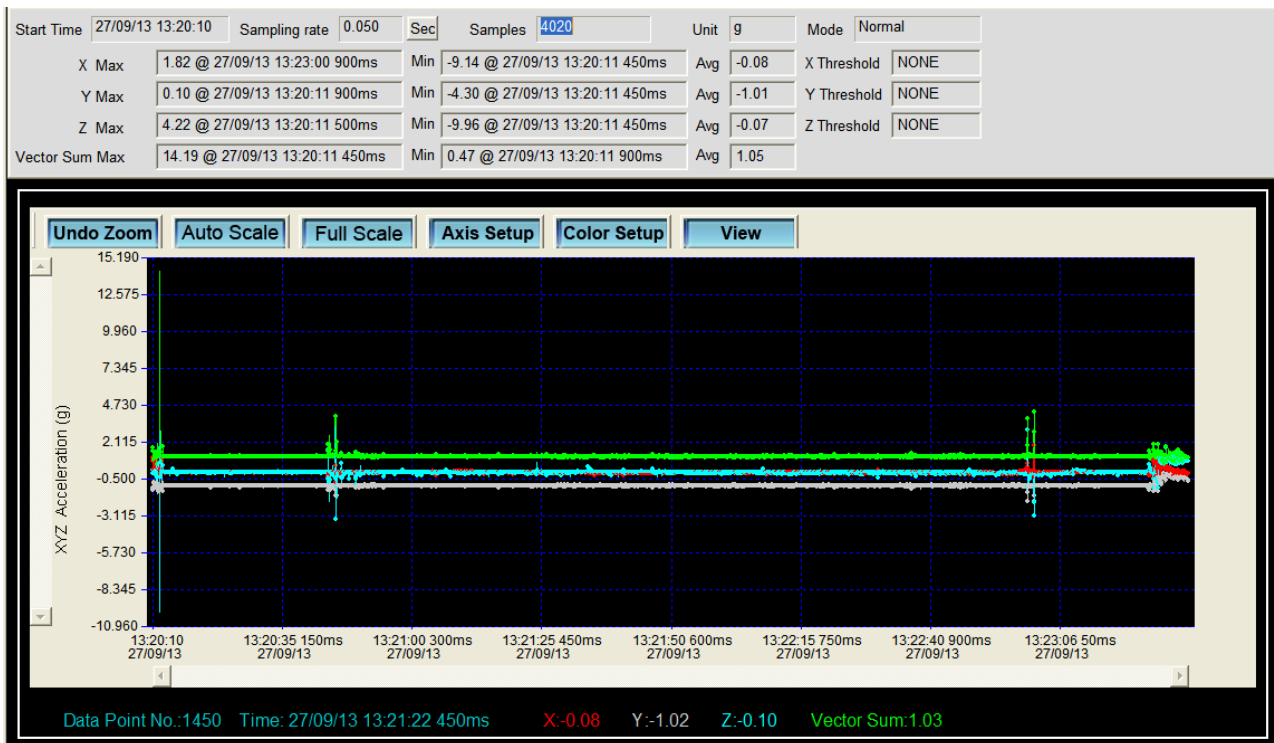
Λόγω του χαμηλού σήματος εξόδου και της υψηλής σύνθετης αντίστασης εξόδου στα πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα, υπάρχει μία ανάγκη για ενίσχυση του σήματος που παράγεται. Στο παρελθόν, αυτό το πρόβλημα έχει λυθεί χρησιμοποιώντας ένα ξεχωριστό (εξωτερικό) μετατροπέα ενισχυτή.

Αυτή η μέθοδος, ωστόσο, είναι γενικά μη πρακτική λόγω του θορύβου που εισάγεται, καθώς και τους φυσικούς και περιβαλλοντικούς περιορισμούς που τίθενται σχετικά με το σύστημα, ως αποτέλεσμα. Σήμερα οι IC ενισχυτές / μετατροπείς σύνθετης αντίστασης είναι εμπορικώς διαθέσιμοι.

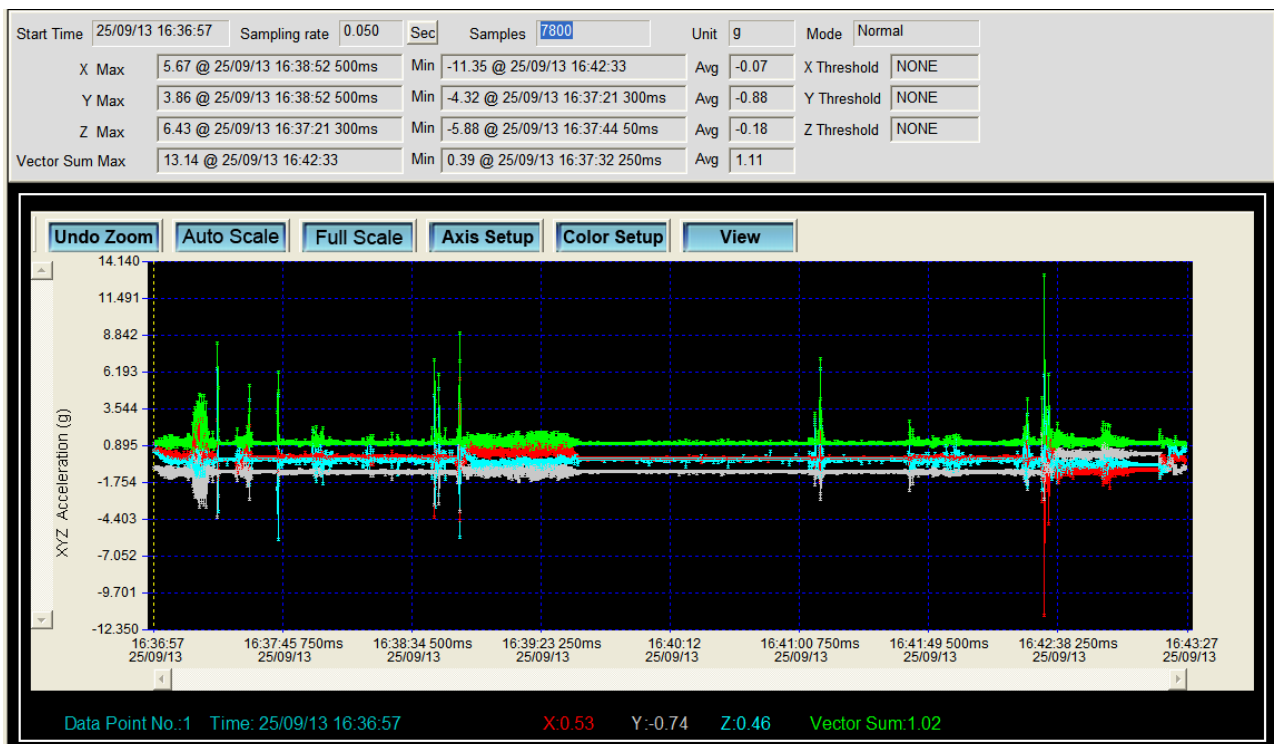


Εικόνα 86: Επιτάχυνση δονήσεων όταν το εμπορευματοκιβώτιο βρίσκεται στο γερανό του τερματικού σταθμού

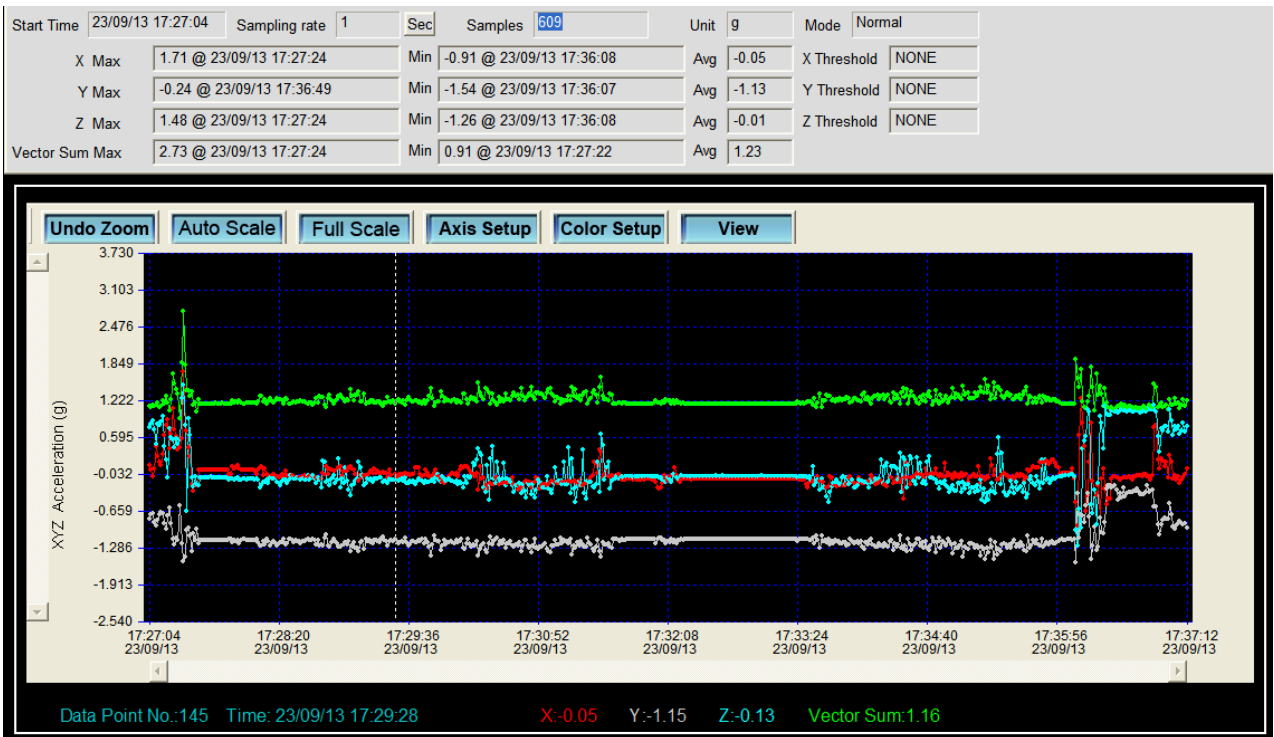
Στις εικόνες 86-89 καταγράφηκε η επιτάχυνση των δονήσεων σε διάφορες θέσεις των εμπορευματοκιβωτίων με στόχο να εκτιμηθεί η δυνατότητα μαστεύσης ενέργειας για την εφαρμογή σε διάφορες καταστάσεις. Παρατηρούμε ότι η επιτάχυνση των δονήσεων κατά μέση τιμή είναι μεγαλύτερη όταν το εμπορευματοκιβώτιο μετακινείται από το πλοίο προς την ακτή, ενώ αξιόλογη είναι και η ενέργεια που μπορεί να συλλεγεί από τις δονήσεις κατά την μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων σε φορτηγό.



Εικόνα 87: Επιτάχυνση δονήσεων όταν το εμπορευματοκιβώτιο βρίσκεται πάνω σε trailer



Εικόνα 88: Επιτάχυνση δονήσεων όταν το εμπορευματοκιβώτιο βρίσκεται πάνω σε trailer και μετακινείται.



Εικόνα 89: Επιτάχυνση δονήσεων όταν το εμπορευματοκιβώτιο βρίσκεται πάνω σε φορτηγό

Κεφάλαιο 9. Υπερπυκνωτές

Προσφάτως στην φαρέτρα των επιλογών αποθήκευσης ενέργειας έχουν προστεθεί και οι υπερπυκνωτές (ultra capacitors), που με την εξέλιξη της σχετικής τεχνολογίας έχουν πλέον απαλλαγεί από το κύριο μειονέκτημα της εξαιρετικά χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας των πυκνωτών σε σχέση με τις μπαταρίες.

Ο υπερπυκνωτής είναι ο γενικός όρος για μια οικογένεια ηλεκτροχημικών πυκνωτών. Σε αντίθεση με τους διηλεκτρικούς πυκνωτές ναοκλίμακας, οι οποίοι έχουν επίσης υψηλές τιμές χωρητικότητας, οι υπερπυκνωτές δεν έχουν συμβατικό στερεό διηλεκτρικό. Η τιμή της χωρητικότητας ενός ηλεκτροχημικού πυκνωτή καθορίζεται από δύο αρχές αποθήκευσης, οι οποίες συμβάλλουν αμφοτέρως αδιαίρετα με τη συνολική χωρητικότητα:

Χωρητικότητα διπλού στρώματος – Η ηλεκτροστατική αποθήκευση επιτυγχάνεται με το διαχωρισμό του φορτίου σε ένα διπλό στρώμα Helmholtz στη διεπαφή μεταξύ της επιφάνειας ενός αγωγίμου ηλεκτροδίου και ενός ηλεκτρολύτη. Ο διαχωρισμός του φορτίου είναι της τάξεως των μερικών Angstroms (0,3-0,8 nm), πολύ μικρότερος από ό, τι σε ένα συμβατικό πυκνωτή.

Pseudocapacitance -. Φαρανταϊκή ηλεκτροχημική αποθήκευση με μεταφορά φορτίου ηλεκτρονίων, επιτυγχάνεται με οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, παρεμβολή ή electrosorption.

Η αναλογία των δύο αρχών αποθήκευσης μπορεί να ποικίλει σε μεγάλο βαθμό, ανάλογα με το σχεδιασμό των ηλεκτροδίων και τη σύνθεση του ηλεκτρολύτη. Pseudocapacitance μπορεί να είναι τόσο πολύ όσο $10 \times$ εκείνη της χωρητικότητας διπλού στρώματος.

Οι υπερπυκνωτές διαιρούνται σε τρεις οικογένειες, με βάση το σχεδιασμό του ηλεκτροδίου:

- Πυκνωτές διπλού στρώματος - με ηλεκτρόδια άνθρακα ή παραγώγων με πολύ υψηλότερη ηλεκτροστατική χωρητικότητα διπλού στρώματος από ηλεκτροχημική pseudocapacitance
- Pseudocapacitors - με οξείδιο μετάλλου και διεξαγωγή ηλεκτρόδια πολυμερών με ένα υψηλό ποσό ηλεκτροχημικής pseudocapacitance
- Υβριδικοί πυκνωτές – πυκνωτές με ασύμμετρα ηλεκτρόδια, ένα από τα οποία εμφανίζει κυρίως ηλεκτροστατική και η άλλη κυρίως ηλεκτροχημική χωρητικότητα, όπως οι πυκνωτές ιόντων λιθίου

Οι supercapacitors γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ των συμβατικών πυκνωτών και των επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Αποθηκεύουν περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου ή μάζας (πυκνότητα ενέργειας) μεταξύ των πυκνωτών. Υποστηρίζουν έως 10.000 farads / 1,2 volt, έως 10.000 φορές σε σχέση με τους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές, αλλά αποδίδουν ή λαμβάνουν λιγότερο από τη μισή ενέργεια ανά μονάδα χρόνου (πυκνότητα ισχύος).

Αντίθετα, ενώ οι υπερπυκνωτές έχουν πυκνότητες ενέργειας που είναι περίπου το 10% των συμβατικών μπαταριών, η πυκνότητα ισχύος τους είναι γενικά 10 έως 100 φορές μεγαλύτερη. Αυτό οδηγεί σε πολύ συντομότερους κύκλους φόρτισης / εκφόρτισης από τις μπαταρίες. Επιπλέον, αντέχουν σε πολύ περισσότερους κύκλους φόρτισης και αποφόρτισης από τις μπαταρίες.

Σε αυτούς τους ηλεκτροχημικούς πυκνωτές, ο ηλεκτρολύτης είναι η αγωγή σύνδεση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων. Αυτό τους διακρίνει από τους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές, στους οποίους ο ηλεκτρολύτης είναι η κάθοδος και έτσι σχηματίζει το δεύτερο ηλεκτρόδιο.

Οι supercapacitors είναι πολωμένοι και πρέπει να λειτουργούν με τη σωστή πολικότητα. Η πολικότητα ελέγχεται από το σχεδιασμό με ασύμμετρα ηλεκτρόδια, ή, για συμμετρικά ηλεκτρόδια, από ένα δυναμικό που εφαρμόζεται κατά την κατασκευή.

Οι υπερπυκνωτές υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως οι εξής:

- Χαμηλό ρεύμα τροφοδοσίας για backup μνήμη σε στατική μνήμη τυχαίας

προσπέλασης (SRAM)

- Ενέργεια για τα αυτοκίνητα, λεωφορεία, τρένα, γερανούς και ανελκυστήρες, συμπεριλαμβανομένης της ανάκτησης ενέργειας από το φρενάρισμα, βραχυπρόθεσμη αποθήκευση ενέργειας.

Πλέον, ένας πυκνωτής των 50F μπορεί να φιλοξενηθεί σε μία μητρική κάρτα τυπωμένου κυκλώματος (PCB). Το κύριο πρόβλημα των υπερπυκνωτών συνίσταται στην ταχεία εκφόρτιση η οποία αντιμετωπίζεται ως ένα βαθμό με διάφορες διατάξεις, όπως με direct coupling ή σε συνδυασμό με DC/DC converter. Παρουσιάζουν όμως τα πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα της εξαιρετικής αποτελεσματικότητας της αποθήκευσης και του απεριόριστου αριθμού κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης, που υπερτερούν του μειονεκτήματος που προαναφέρθηκε.

Κεφάλαιο 10. Συμπεράσματα

Η παρούσα έρευνα επέδειξε τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία συσκευής εντοπισμού εμπορευματοκιβωτίων μέσω χρήσης δορυφορικών δικτύων. Η καινοτομία της συσκευής επικεντρώνεται στη μάστευση ενέργειας (επίσης γνωστή ως μάστευση ισχύος ή σάρωση ενέργειας) από εξωτερικές πηγές (π.χ. ηλιακή ενέργεια, θερμική ενέργεια, κλίσεις και κινητική ενέργεια), που συλλαμβάνεται και αποθηκεύεται με στόχο την τροφοδότηση του συστήματος για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση.

Οι συσκευές μάστευσης ενέργειας παρέχουν μια πολύ μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας η οποία όμως επαρκεί για την χαμηλή κατανάλωση των ηλεκτρονικών διατάξεων.

Η έρευνα συνεισφέρει στην παρούσα κατάσταση της διαχείρισης εμπορευματοκιβωτίων στη ναυτιλία μειώνοντας τον μεγάλο αριθμό απωλειών που παρουσιάζονται. Υλοποιείται ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η επικύρωση ενός ηλεκτρονικού συστήματος εντοπισμού και απομακρυσμένου ελέγχου με δυνατότητα μάστευσης και αποθήκευσης ενέργειας από εναλλακτικές πηγές.

Η συσκευή θα έχει τη δυνατότητα αδιάλειπτης παροχής ισχύος για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς της χρήση μπαταρίας αντικατάστασης και χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης.

Η κατανάλωση ισχύος θα είναι πολύ χαμηλή και ως βασική λειτουργία θα έχει την εκπομπή της προσδιορισμένης θέσης GPS και πληροφοριών δεδομένων διαφόρων αισθητήρων σε έναν απομακρυσμένο σταθμό. Η μονάδα εντοπισμού θα έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται κατάλληλα στην επιφάνεια των εμπορευματοκιβωτίων και να επιτρέπει την αυτόματη παρακολούθησή τους.

Το σημερινό ενδιαφέρον για τη μάστευση χαμηλής ενεργειακής ισχύος οφείλεται στα αυτόνομα δίκτυα αισθητήρων. Σε αυτές τις εφαρμογές ένα σύστημα μάστευσης ενέργειας παράγει ενέργεια που αποθηκεύεται σε έναν πυκνωτή και στη συνέχεια ενισχύεται, ρυθμίζεται σε ένα δεύτερο πυκνωτή αποθήκευσης ή μπαταρία για τη χρήση στο μικροεπεξεργαστή.

Η ισχύς χρησιμοποιείται συνήθως σε έναν αισθητήρα και τα δεδομένα αποθηκεύονται ή μεταδίδονται ενδεχομένως μέσω ενός ασύρματου δικτύου. Οι συσκευές μάστευσης ενέργειας μετατρέπουν την ενέργεια του περιβάλλοντος σε ηλεκτρική ενέργεια και έχουν προσελκύσει μεγάλο ενδιαφέρον τόσο στον

στρατιωτικό όσο και στον εμπορικό τομέα.

Η ενέργεια μπορεί επίσης να συλλέγεται για να τροφοδοτήσει μικρούς αυτόνομους αισθητήρες. Τα συστήματα αυτά είναι συχνά πολύ μικρά και απαιτούν λίγη ενέργεια, αλλά οι εφαρμογές τους περιορίζονται λόγω της εξάρτησής τους από τις μπαταρίες. Η μάζευση ενέργειας από τις δονήσεις του περιβάλλοντος, τη θερμότητα ή το φως θα μπορούσε να επιτρέψει σε έξυπνους αισθητήρες να είναι λειτουργικοί επ'αόριστο.

Σημαντικό ρόλο στην κατανάλωση ενέργειας του συστήματος έχουν ο ρυθμός και η συχνότητα μετάδοσης δεδομένων προς τον κεντρικό εξυπηρετητή της υπηρεσίας παρακολούθησης. Όταν το σύστημα δεν βρίσκεται σε κατάσταση εκπομπής θα μεταβαίνει σε κατάσταση ύπνου (sleep mode), ενώ παράλληλα λαμβάνει χώρα η επαναφόρτιση του “στοιχείου” αποθήκευσης από τις εναλλακτικές μορφές ενέργειας που αναφέρονται ανωτέρω. Η τροφοδοσία του συστήματος υποστηρίζεται από κατάλληλο λογισμικό το οποίο διαχειρίζεται τις τεχνολογίες συλλογής και παροχής ενέργειας.

Οι παραπάνω μετρήσεις για την χρήση πιεζοηλεκτρικής και θερμικής γεννήτριας έγιναν με χρήση data loggers σε περιβάλλον Container για να αποδεχθεί ότι η συνεισφορά τους είναι καταλυτική για την συσσώρευση ενέργειας. Χρησιμοποιήθηκε θερμική γεννήτρια για τις ανάγκες του συγκεκριμένου έργου, όχι όμως επάνω σε container αλλά σε μεταλλική ράβδο τύπου container, καθώς για την ασφάλεια της έρευνας ήταν αδύνατο να μείνει το πρωτότυπο σύστημα σε κάποιο εμπορευματοκιβώτιο.

Κατά τα άλλα όμως οι μετρήσεις του datalogger για την ανάγκη συσσώρευσης ενέργειας από την θερμότητα εξομοιώθηκαν και εν κατακλείδι φάνηκε πως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η διαφορά θερμοκρασία για την συσσώρευση ενέργειας με βοηθητικό σκοπό.

Δυστυχώς οι μετρήσεις που προέκυψαν από το datalogger σχετικά με την κίνηση και την κλίση του εμπορευματοκιβωτίου δεν μπόρεσαν να εξομοιωθούν, διότι δεν μπόρεσε να γίνει η μετατροπή της δόνησης με κάποια ισχύς ή τάση.

Παρόλα αυτά, σε πραγματικές συνθήκες η χρήση της γεννήτριας από κίνηση/δόνηση ίσως αποκάλυπτε ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία θα ήταν η

αμέσως καλύτερη από αυτή της συσσώρευσης ενέργειας από το ήλιο. Όπως αποδεικνύεται στην ενότητα 8.9, τόσο κατά την μεταφορά (πλοίο) όσο και κατά την κίνηση από και προς το πλοίο σε κάποιον τερματικό σταθμό (terminal) υπάρχουν πολλαπλές δονήσεις γεγονός που μπορεί να αποδώσει σε ηλεκτρική ενέργεια.

Παράρτημα Β

Datalogger on Ambient Temperature

Index	Date	Time	Elapsed Time	Readings (°C)
1	12/10/2013	1:32:29 MM	0:00:00	28,3
2	12/10/2013	1:37:29 MM	0:05:00	32
3	12/10/2013	1:42:29 MM	0:10:00	32,7
4	12/10/2013	1:47:29 MM	0:15:00	32,3
5	12/10/2013	1:52:29 MM	0:20:00	32,5
6	12/10/2013	1:57:29 MM	0:25:00	32,3
7	12/10/2013	2:02:29 MM	0:30:00	32,5
8	12/10/2013	2:07:29 MM	0:35:00	32,6
9	12/10/2013	2:12:29 MM	0:40:00	32,1
10	12/10/2013	2:17:29 MM	0:45:00	31,4
11	12/10/2013	2:22:29 MM	0:50:00	31,3
12	12/10/2013	2:27:29 MM	0:55:00	32
13	12/10/2013	2:32:29 MM	1:00:00	31,4
14	12/10/2013	2:37:29 MM	1:05:00	32,2
15	12/10/2013	2:42:29 MM	1:10:00	31,4
16	12/10/2013	2:47:29 MM	1:15:00	31,1
17	12/10/2013	2:52:29 MM	1:20:00	30,9
18	12/10/2013	2:57:29 MM	1:25:00	31,3
19	12/10/2013	3:02:29 MM	1:30:00	31,1
20	12/10/2013	3:07:29 MM	1:35:00	30,4
21	12/10/2013	3:12:29 MM	1:40:00	29,9
22	12/10/2013	3:17:29 MM	1:45:00	28,1
23	12/10/2013	3:22:29 MM	1:50:00	29,1
24	12/10/2013	3:27:29 MM	1:55:00	28,5
25	12/10/2013	3:32:29 MM	2:00:00	29,4
26	12/10/2013	3:37:29 MM	2:05:00	28,8
27	12/10/2013	3:42:29 MM	2:10:00	29,2
28	12/10/2013	3:47:29 MM	2:15:00	29,5
29	12/10/2013	3:52:29 MM	2:20:00	29,8
30	12/10/2013	3:57:29 MM	2:25:00	28,6
31	12/10/2013	4:02:29 MM	2:30:00	28,7
32	12/10/2013	4:07:29 MM	2:35:00	30,1
33	12/10/2013	4:12:29 MM	2:40:00	29,4
34	12/10/2013	4:17:29 MM	2:45:00	28,5
35	12/10/2013	4:22:29 MM	2:50:00	28,4
36	12/10/2013	4:27:29 MM	2:55:00	30,1
37	12/10/2013	4:32:29 MM	3:00:00	30
38	12/10/2013	4:37:29 MM	3:05:00	27
39	12/10/2013	4:42:29 MM	3:10:00	26,4
40	12/10/2013	4:47:29 MM	3:15:00	28,1
41	12/10/2013	4:52:29 MM	3:20:00	30
42	12/10/2013	4:57:29 MM	3:25:00	30,8
43	12/10/2013	5:02:29 MM	3:30:00	30,9

44	12/10/2013	5:07:29 MM	3:35:00	30,5
45	12/10/2013	5:12:29 MM	3:40:00	30,2
46	12/10/2013	5:17:29 MM	3:45:00	28
47	12/10/2013	5:22:29 MM	3:50:00	26,4

<i>Datalogger on Container Metal Surface</i>				<i>Temperature Difference</i>	
Index	Date	Time	Elapsed Time	Readings (°C)	
1	12/10/2013	1:31:17 MM	0:00:00	24,5	3,8
2	12/10/2013	1:36:17 MM	0:05:00	43,2	-11,2
3	12/10/2013	1:41:17 MM	0:10:00	43,8	-11,1
4	12/10/2013	1:46:17 MM	0:15:00	45,2	-12,9
5	12/10/2013	1:51:17 MM	0:20:00	46,3	-13,8
6	12/10/2013	1:56:17 MM	0:25:00	45,4	-13,1
7	12/10/2013	2:01:17 MM	0:30:00	45,1	-12,6
8	12/10/2013	2:06:17 MM	0:35:00	45,2	-12,6
9	12/10/2013	2:11:17 MM	0:40:00	44,9	-12,8
10	12/10/2013	2:16:17 MM	0:45:00	44,6	-13,2
11	12/10/2013	2:21:17 MM	0:50:00	44,4	-13,1
12	12/10/2013	2:26:17 MM	0:55:00	44,7	-12,7
13	12/10/2013	2:31:17 MM	1:00:00	44,3	-12,9
14	12/10/2013	2:36:17 MM	1:05:00	44,6	-12,4
15	12/10/2013	2:41:17 MM	1:10:00	44,6	-13,2
16	12/10/2013	2:46:17 MM	1:15:00	44,4	-13,3
17	12/10/2013	2:51:17 MM	1:20:00	44,2	-13,3
18	12/10/2013	2:56:17 MM	1:25:00	43	-11,7
19	12/10/2013	3:01:17 MM	1:30:00	42,5	-11,4
20	12/10/2013	3:06:17 MM	1:35:00	43,2	-12,8
21	12/10/2013	3:11:17 MM	1:40:00	41,6	-11,7
22	12/10/2013	3:16:17 MM	1:45:00	39,8	-11,7
23	12/10/2013	3:21:17 MM	1:50:00	39,4	-10,3
24	12/10/2013	3:26:17 MM	1:55:00	38,2	-9,7
25	12/10/2013	3:31:17 MM	2:00:00	38,3	-8,9
26	12/10/2013	3:36:17 MM	2:05:00	38,4	-9,6
27	12/10/2013	3:41:17 MM	2:10:00	37,8	-8,6
28	12/10/2013	3:46:17 MM	2:15:00	37,1	-7,6
29	12/10/2013	3:51:17 MM	2:20:00	37	-7,2
30	12/10/2013	3:56:17 MM	2:25:00	35,7	-7,1
31	12/10/2013	4:01:17 MM	2:30:00	35,3	-6,6
32	12/10/2013	4:06:17 MM	2:35:00	35,4	-5,3
33	12/10/2013	4:11:17 MM	2:40:00	35,2	-5,8
34	12/10/2013	4:16:17 MM	2:45:00	34,9	-6,4
35	12/10/2013	4:21:17 MM	2:50:00	34,8	-6,4
36	12/10/2013	4:26:17 MM	2:55:00	29,7	0,4
37	12/10/2013	4:31:17 MM	3:00:00	27,1	2,9
38	12/10/2013	4:36:17 MM	3:05:00	25,5	1,5
39	12/10/2013	4:41:17 MM	3:10:00	24,6	1,8
40	12/10/2013	4:46:17 MM	3:15:00	27,4	0,7

41	12/10/2013 4:51:17 MM	3:20:00	29	1
42	12/10/2013 4:56:17 MM	3:25:00	29,7	1,1
43	12/10/2013 5:01:17 MM	3:30:00	30,1	0,8
44	12/10/2013 5:06:17 MM	3:35:00	29,8	0,7
45	12/10/2013 5:11:17 MM	3:40:00	29,8	0,4
46	12/10/2013 5:16:17 MM	3:45:00	28,2	-0,2
47	12/10/2013 5:21:17 MM	3:50:00	26,7	-0,3
48	12/10/2013 5:26:17 MM	3:55:00	25,8	
49	12/10/2013 5:31:17 MM	4:00:00	25	

Date	Time station took measurement s	Celcius				
		Station temp	Dataloger inside container at sun	ΔT at sun	Dataloger inside container at shadow	ΔT at shadow
26/07/2013	00:50	24				
	01:50	24				
	02:50	23				
	03:50	23				
	04:50	24				
	06:20	22				
	07:20	24				
	08:20	30				
	09:20	33				
	10:20	34				
	11:20	35				
	12:20	36	51,9	-15,9	37,6	-1,6
	13:20	36	51	-15	38	-2
	14:20	37	50,3	-13,3	40	-3
	15:20	37	49,6	-12,6	39,5	-2,5
	16:20	37	45	-8	39,2	-2,2
	17:20	37	42	-5	39,8	-2,8
	18:20	36	41	-5	42	-6
	19:20	35	40	-5	39,5	-4,5
	20:20	33	33	0	33,4	-0,4
	21:20	31	27,3	3,7	30,5	0,5
	22:20	30	26	4	29,2	0,8
	23:20	29	24,8	4,2	27,7	1,3
23:50	28	24,4	3,6	27,5	0,5	
27/07/2013	00:50	28	23,9	4,1	26,9	1,1
	01:50	27	24,7	2,3	27,1	-0,1
	02:50	25	22,6	2,4	25,8	-0,8
	03:50	25	22	3	24,9	0,1
	04:50	25	23,1	1,9	25,5	-0,5
	06:20	24	21,8	2,2	24,4	-0,4
	07:20	26	23,1	2,9	24,6	1,4

	08:20	30	28,9	<i>1,1</i>	28,2	<i>1,8</i>
	09:20	31	43,1	<i>-12,1</i>	32,7	<i>-1,7</i>
	10:20	34	52,5	<i>-18,5</i>	31,7	<i>2,3</i>
	11:20	35	51,1	<i>-16,1</i>	33,5	<i>1,5</i>
	12:20	35	49,5	<i>-14,5</i>	35,2	<i>-0,2</i>
	13:20	36	44,5	<i>-8,5</i>	34,9	<i>1,1</i>
	14:20	34	46	<i>-12</i>	34,9	<i>-0,9</i>
	15:20	35	47,2	<i>-12,2</i>	34,9	<i>0,1</i>
	15:50	36	47,2	<i>-11,2</i>	35,1	<i>0,9</i>
	17:20	35	42,9	<i>-7,9</i>	33,6	<i>1,4</i>
	18:20	35	38,9	<i>-3,9</i>	32,5	<i>2,5</i>
	19:20	34	34,7	<i>-0,7</i>	31,7	<i>2,3</i>
	19:50	33	32,5	<i>0,5</i>	31,5	<i>1,5</i>
	21:20	29	27,2	<i>1,8</i>	30,6	<i>-1,6</i>
	22:20	28	24,8	<i>3,2</i>	29,8	<i>-1,8</i>
	23:20	27	23,5	<i>3,5</i>	29,1	<i>-2,1</i>
	23:50	26	23,6	<i>2,4</i>	28,6	<i>-2,6</i>
28/07/2013	00:50	26	22,8	<i>3,2</i>	28,2	<i>-2,2</i>
	01:50	25	22,1	<i>2,9</i>	27,7	<i>-2,7</i>
	03:50	24	22	<i>2</i>	26,8	<i>-2,8</i>
	04:50	25	21,6	<i>3,4</i>	26,6	<i>-1,6</i>
	06:20	24	21,5	<i>2,5</i>	26,2	<i>-2,2</i>
	07:20	24	24,5	<i>-0,5</i>	26,1	<i>-2,1</i>
	08:20	28	34	<i>-6</i>	27,4	<i>0,6</i>
	09:20	30	39,4	<i>-9,4</i>	29,7	<i>0,3</i>
	10:20	32	43,4	<i>-11,4</i>	31,6	<i>0,4</i>
	11:20	32	50,3	<i>-18,3</i>	33,2	<i>-1,2</i>
	12:20	33	48,9	<i>-15,9</i>	34,4	<i>-1,4</i>
	13:20	35	47,2	<i>-12,2</i>	34,1	<i>0,9</i>
	14:20	35	45,2	<i>-10,2</i>	34	<i>1</i>
	15:20	35	41,5	<i>-6,5</i>	33,9	<i>1,1</i>
	16:20	35	48,9	<i>-13,9</i>	35	<i>0</i>
	17:20	34	49,1	<i>-15,1</i>	34,3	<i>-0,3</i>
	18:20	34	44,9	<i>-10,9</i>	34	<i>0</i>
	18:50	33	41,5	<i>-8,5</i>	33,6	<i>-0,6</i>
	20:20	32	30,8	<i>1,2</i>	32	<i>0</i>
	21:20	30	27,9	<i>2,1</i>	30,7	<i>-0,7</i>
	22:20	29	26,6	<i>2,4</i>	30,2	<i>-1,2</i>
	23:20	28	24,6	<i>3,4</i>	29,5	<i>-1,5</i>
	23:50	27	24,1	<i>2,9</i>	29,2	<i>-2,2</i>
29/07/2013	00:50	27	23,9	<i>3,1</i>	28,3	<i>-1,3</i>
	01:50	26	23,7	<i>2,3</i>	27,8	<i>-1,8</i>
	02:50	26	23,6	<i>2,4</i>	27,4	<i>-1,4</i>
	03:50	25	23,7	<i>1,3</i>	27	<i>-2</i>
	04:50	25	23,5	<i>1,5</i>	26,8	<i>-1,8</i>
	06:20	24	23,3	<i>0,7</i>	26,7	<i>-2,7</i>
	07:20	26	26,8	<i>-0,8</i>	26,5	<i>-0,5</i>
	08:20	28	37,4	<i>-9,4</i>	27,4	<i>0,6</i>
	09:20	30	44,1	<i>-14,1</i>	29,1	<i>0,9</i>
	10:20	32	47,5	<i>-15,5</i>	31	<i>1</i>
	12:20	34	51	<i>-17</i>	33,6	<i>0,4</i>
	13:20	34	50,2	<i>-16,2</i>	34,2	<i>-0,2</i>

14:20	35	49,1	-14,1	34,8	0,2
15:20	36	48,9	-12,9	34,9	1,1
16:20	35	51,6	-16,6	36,6	-1,6
17:20	35	51	-16	35,9	-0,9