



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Πτυχιακή Εργασία

Μασούρας Αθανάσιος
Σίσκος Ευστάθιος

Θέμα

ΦΟΡΤΙΣΤΗΣ ΣΕ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΡΕΣΟ

Επιβλέπων Καθηγητής : κ. Μιχάλης Κιζήρογλου
Έτος εκπόνησης : 2015

Περίληψη-Περιγραφή

Το θέμα της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι "Φορτιστής με συγκομιδή ενέργειας από ρεσό".

Στο θεωρητικό μέρος της πτυχιακής εργασίας θα εξεταστεί η μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω των TEG (θερμοηλεκτρικών γεννητριών), η επιλογή των TEG έγινε βάση οικονομοτεχνικών κριτηρίων ,η λειτουργία του φορτιστή, οι θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται στη θερμή πλευρά και τέλος η τροφοδοσία φορητών συσκευών .

Στο κατασκευαστικό μέρος της πτυχιακής θα γίνει υλοποίηση της μεταλλικής συσκευής που θα μεταφέρει τη θερμότητα στα TEG, η επιλογή της κατάλληλης ψήκτρας και η τοποθέτησή της στο χώμα και στην υπόλοιπη κατασκευή και τέλος η σύνδεση ανορθωτή τάσης 5V με έξοδο usb για τη σύνδεση συσκευών προς φόρτιση.

Summary-Description

The topic of this particular diploma research is “Charger with harvest energy from a ressau candle”.

In the theoretical part of this research will be examined the transformation of thermal energy into electricity via TEG (thermoelectric power generators), the choice of TEG was based on economic-technical criteria, the function of the charger, the temperatures which are achieved on the warm side and finally the feeding of mobile devices.

In the manufacturing part of this diploma research, there will be the realization of the metal device which will transfer the heat to the TEG, the choice of the proper brushing and its placement on the soil and the rest of the device, and finally the connection of a 5V tension rectifier with a usb output for connecting mobile devices to charge.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε καταρχήν το κατάστημα MAR electronics από όπου προμηθευτήκαμε τις ψήκτρες αλλά και διάφορα άλλα υλικά όπως τις θερμοαγώγιμες πάστες, σταθερές και μεταβαλλόμενες αντιστάσεις διάφορων τιμών κ.λπ.. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την εταιρία ΚΑΡΚΑΝΙΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Α.Ε. που μας παραχώρησε τον φορητό υπολογιστή ο οποίος ήταν συμβατός με τα πολύμετρα για να καταγράψουμε τις μετρήσεις αλλά και τα διάφορα μεταλλικά τμήματα που χρειαστήκαμε για τη βάση της κατασκευής. Ευχαριστούμε επίσης το ΤΕΧΝΙΚΟ ΓΡΑΦΕΙΟ ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΜΑΣΟΥΡΑΣ για τα εργαλεία που μας παραχώρησε για να υλοποιηθεί η κατασκευή αλλά και το χώρο για να μπορούμε να εργαστούμε. Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέπων καθηγητή μας κύριο Μιχάλη Κιζήρογλου για τη καθοδήγηση του και της συμβουλές του για το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα.

Πίνακας περιεχομένων

<u>1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.)</u>	6
1.1. Είδη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	6
1.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Α.Π.Ε	8
<u>2. Το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο</u>	8
2.1 Το φαινόμενο Seebeck	9
2.2 Το φαινόμενο Peltier	11
2.3 Το φαινόμενο Thomson	13
<u>3. Θερμοηλεκτρικές εξισώσεις</u>	13
<u>4. Εφαρμογές</u>	14
4.1 Θερμοηλεκτρικές γεννήτριες	14
4.2 Θερμοηλεκτρική ψύξη	15
4.3 Μέτρηση της θερμοκρασίας	15
4.4 Θερμικοί κυκλοποιητές αλυσιδωτής αντίδρασης πολυμέρασης	16
<u>5. Πειραματικό μέρος</u>	17
5.1 Δημιουργία φορτιστή	18
5.2 Έλεγχος του TEC12710	21
5.3 Έλεγχος του TEC12709	22
5.4 Έλεγχος του TEC12706	24
5.5 Δοκιμή του φορτιστή με την ψύκτρα μέσα σε υγρό χώμα	25
5.6 Ολοκλήρωση της κατασκευής	42
5.7 Συμπεράσματα	46

1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.)

Οι μορφές ενέργειας οι οποίες προέρχονται από φυσικές αιτίες όπως είναι ο ήλιος, ο άνεμος, η ροή του νερού και η γεωθερμία ονομάζονται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας . Τα πλεονεκτήματα αυτών των μορφών ενέργειας είναι ότι βρίσκονται σε αφθονία στο περιβάλλον, όλες τους είναι φιλικές προς αυτό και δεν αποδεδεσμεύουν στο περιβάλλον απόβλητα.

1.1 Είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:

- Ηλιακή ενέργεια
- Θερμοηλεκτρική ενέργεια
- Αιολική ενέργεια
- Υδατοπτώσεις
- Βιομάζα
- Γεωθερμική ενέργεια



Σχήμα 1.1 Πάνελ συλλογής ηλιακής ενέργειας



Σχήμα 1.2 Ανεμογεννήτριες

1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Α.Π.Ε

Πλεονεκτήματα ανανεώσιμων μορφών ενέργειας

- Φιλικές προς το περιβάλλον καθώς δεν έχουν απόβλητα.
- Είναι ανεξάντλητες, σε αντίθεση με τον ορυκτό πλούτο της γης.
- Η κατασκευή και συντήρηση ενός συστήματος με ανανεώσιμες μορφές ενέργειας είναι σχετικά απλή, με μεγάλο χρόνο ζωής.
- Επιδοτούνται από τις κυβερνήσεις.

Μειονεκτήματα ανανεώσιμων μορφών ενέργειας

- Ο συντελεστής απόδοσης των συστημάτων είναι μικρός σε σχέση με τις κοινές μορφές ενέργειας με αποτέλεσμα να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κύρια συστήματα ενέργειας σε μεγάλες πόλεις.
- Λόγω του μικρού συντελεστή απόδοσης το κόστος της αρχική εγκατάστασης αυξάνεται σε σύγκριση με εγκαταστάσεις άλλων μορφών ενέργειας.
- Η απόδοση των ήπιων συστημάτων ενέργειας εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, τις εποχές του χρόνου και τη γεωγραφική τοποθεσία που βρίσκεται η εγκατάσταση.
- Συχνά οι κατασκευές είναι αρκετά μεγάλες και χωρίς ιδιαίτερα κομψό σχεδιασμό.
- Οι ανεμογεννήτριες παράγουν πολύ θόρυβο και σκοτώνουν πολλά πουλιά και οι τεχνητές λίμνες παράγουν μεγάλες ποσότητες μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που υπάρχουν μέσα στο νερό, με αποτέλεσμα να συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

2. Το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο

Το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο είναι η μετατροπή των διαφορών θερμοκρασίας σε ηλεκτρική ενέργεια και αντιστρόφως. Όταν μια θερμοηλεκτρική συσκευή αναπτύξει

διαφορά θερμοκρασίας στις πλευρές του τότε αρχίζει και παράγει συνεχή τάση (DC). Αντιστρόφως, όταν εφαρμοστεί τάση σε αυτή έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία διαφοράς θερμοκρασίας.

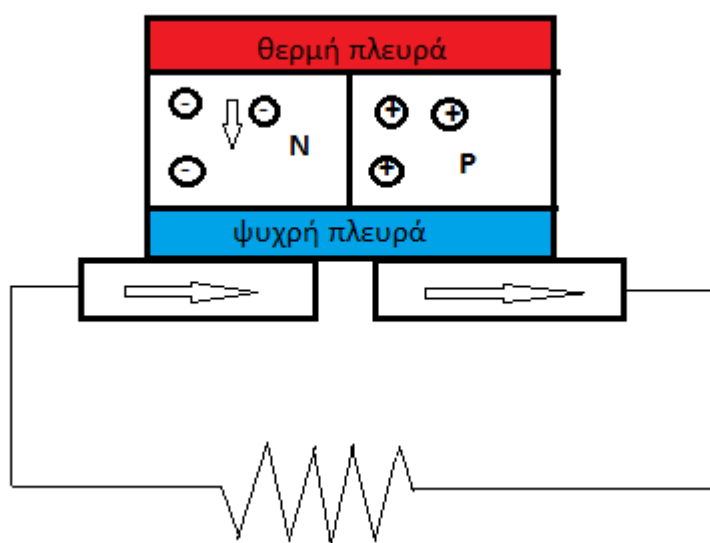
Οι εφαρμογές που βρίσκει το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο είναι:

- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η μέτρηση θερμοκρασίας
- Η μεταβολή της θερμοκρασίας σε αντικείμενα. Αρκετά διαδεδομένη είναι η χρήση τους για τη ψύξη μικροεπεξεργαστών και μικροελεγκτών.

Το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο χωρίζεται σε 3 ξεχωριστά φαινόμενα:

- Το φαινόμενο Seebeck
- Το φαινόμενο Peltier
- Το φαινόμενο Thomson

2.1 Το φαινόμενο Seebeck



Σχήμα 2.1 θερμοηλεκτρικό κύκλωμα που λειτουργεί σύμφωνα με το φαινόμενο Seebeck

Ένα θερμοηλεκτρικό κύκλωμα που αποτελείται από ημιαγωγούς θετικά και αρνητικά φορτισμένους, διαφορετικό συντελεστή Seebeck, διαμορφώνει μια θερμοηλεκτρική γεννήτρια. Εάν η αντίσταση φορτίου στο κάτω μέρος του σχήματος θ1 αντικατασταθεί με ένα βολτόμετρο τότε το κύκλωμα λειτουργεί ως θερμοζεύγος αίσθησης της θερμοκρασίας και μετράμε τη τάση στην έξοδο του κυκλώματος.

Το φαινόμενο Seebeck είναι η μετατροπή της διαφοράς της θερμοκρασίας σε ηλεκτρισμό. Ο φυσικός Thomas Johann Seebeck ανακάλυψε το 1821 ότι μια βελόνα πυξίδα εκτρέπεται από ένα κλειστό βρόγχο, που σχηματίζεται από δύο διαφορετικά μέταλλα που ενώνονται σε δύο θέσεις, με μία διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των κόμβων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μέταλλα ανταποκρίθηκαν στην διαφορά θερμοκρασίας με διαφορετικούς τρόπους, δημιουργώντας ένα ρεύμα βρόχου και ένα μαγνητικό πεδίο.

Το φαινόμενο Seebeck είναι ένα παράδειγμα ηλεκτρεγερτικής δύναμης (HEΔ) και οδηγεί σε μετρήσιμα ρεύματα ή τάσεις με τον ίδιο τρόπο όπως και κάθε άλλη HEΔ. Οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις τροποποιούν το νόμο του Ohm με τη δημιουργία ρευμάτων, ακόμη και με την απουσία των διαφορών τάσης (ή το αντίστροφο).

Η τοπική πυκνότητα ρεύματος δίνεται από τη σχέση:

$$J=\sigma(-\Delta V+E_{emf})$$

- όπου V είναι η τοπική τάση
- όπου σ είναι η τοπική αγωγιμότητα

Σε γενικές γραμμές, το φαινόμενο Seebeck περιγράφεται τοπικά από τη δημιουργία ενός ηλεκτρεγερτικού πεδίου.

$$E_{emf}=-S\Delta T$$

- όπου S είναι ο συντελεστής Seebeck του υλικού
- όπου ΔT είναι η διαφορά της θερμοκρασίας

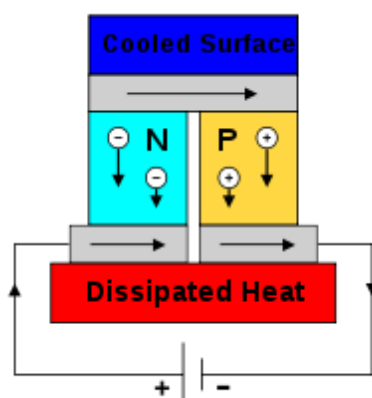
Οι συντελεστές Seebeck κυμαίνονται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεση του αγωγού. Για απλά υλικά σε θερμοκρασία δωματίου, ο συντελεστής Seebeck μπορεί να κυμαίνεται σε τιμή από $-100 \mu\text{V} / \text{K}$ έως $1000 \mu\text{V} / \text{K}$.

Αν το σύστημα φτάσει σε σταθερή κατάσταση όπου $J = 0$, τότε η διαφορά Τάσης εξαρτάται από την ΗΕΔ.

$$-\Delta V = S\Delta T$$

Αυτή η σχέση δεν εξαρτάται από την αγωγιμότητα και χρησιμοποιείται στο θερμοστοιχείο για να μετρηθεί μια διαφορά θερμοκρασίας. Μια απόλυτη θερμοκρασία μπορεί να βρεθεί από την εκτέλεση της μέτρησης της τάσης σε μία γνωστή θερμοκρασία αναφοράς. Ένα μέταλλο άγνωστης σύνθεσης μπορεί να χαρακτηριστεί από τα θερμοηλεκτρικά του αποτελέσματα εάν ένας μεταλλικός ανιχνευτής γνωστής σύνθεσης διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία και διατηρείται σε επαφή με το άγνωστο δείγμα το οποίο θερμαίνεται στη θερμοκρασία ανιχνευτή. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να αναγνωρίσουμε κράματα μετάλλων. Θερμοηλεκτρικές γεννήτριες χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενέργειας από τις διαφορές θερμότητας.

2.2 Το φαινόμενο Peltier



Σχήμα 2.2 Το κύκλωμα Seebeck διαμορφωμένο ως ένα θερμοηλεκτρικό σύστημα ψύξης.

Το φαινόμενο Peltier είναι η θέρμανση ή η ψύξη σε ένα ηλεκτροφόρο κόμβο δύο διαφορετικών αγωγών και πήρε το όνομά του από τη γάλλο φυσικό Jean Charles Athanase Peltier, που το ανακάλυψε το 1834. Όταν ένα ρεύμα αναγκάζεται να ρέει μέσα σε ένα κόμβο μεταξύ δύο αγωγών A και B, η θερμότητα μπορεί να παράγεται ή να αφαιρεθεί μέσα σε αυτόν. Η θερμότητα Peltier που παράγεται στον κόμβο ανά μονάδα χρόνου, Q, είναι ίση με

$$Q=(\Pi_A-\Pi_B)I$$

- όπου Π_A και Π_B ο συντελεστής Peltier του αγωγού A και B
- όπου I το ηλεκτρικό ρεύμα από το A στο B.

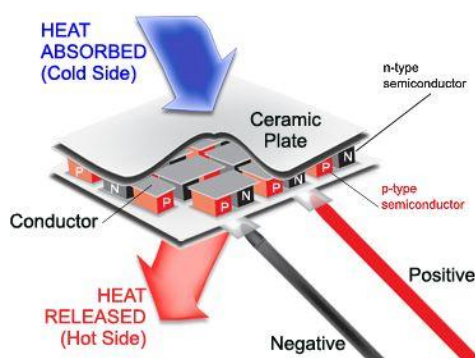
Το σύνολο της θερμότητας που παράγεται στον κόμβο δεν εξαρτάται μόνο από το φαινόμενο Peltier, αλλά και από φαινόμενα Joule και άλλες θερμικές επιδράσεις.

Οι συντελεστές Peltier αντιπροσωπεύουν τη θερμότητα που μεταφέρεται ανά μονάδα φορτίου. Από τη στιγμή που το ρεύμα φόρτισης πρέπει να είναι συνεχής σε ένα κόμβο, η σχετική ροή θερμότητας θα αναπτύξει μια ασυνέχεια, αν είναι διαφορετικά. Αν ένα απλό θερμοηλεκτρικό κύκλωμα είναι κλειστό, τότε η επίδραση Seebeck θα οδηγήσει ένα ρεύμα, το οποίο με τη σειρά του μέσω του αποτελέσματος Peltier θα μεταφέρει πάντοτε θερμότητα από τη θερμή προς την ψυχρή ένωση. Το φαινόμενο Peltier είναι το αντίστροφο του φαινομένου Seebeck. Η σχέση μεταξύ των συντελεστών Peltier και Seebeck είναι :

$$\Pi=TS$$

Μία συσκευή Peltier αντλίας θερμότητας περιλαμβάνει πολλούς κόμβους στη σειρά, μέσω των οποίων οδηγείται ένα ρεύμα. Μερικοί από τους κόμβους χάνουν θερμότητα λόγω του φαινομένου Peltier, ενώ άλλοι αποκτούν θερμότητα. Θερμοηλεκτρικές αντλίες θερμότητας εκμεταλλεύονται αυτό το φαινόμενο, όπως και οι θερμοηλεκτρικές συσκευές ψύξης (πχ. σε ψυκτικούς θαλάμους.).

2.3 Το φαινόμενο Thomson



Σχήμα 2.3 Απεικόνιση και επεξήγηση TEC

Σε πολλά υλικά ο συντελεστής Seebeck δεν είναι σταθερός σε θερμοκρασία και έτσι μια χωρική μεταβολή της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε μία μεταβολή του συντελεστή Seebeck. Σύμφωνα με το φαινόμενο Thomson, κατά την διέλευση ρεύματος μέσα από ένα ομογενές αγώγιμο υλικό με σταθερή θερμοκρασιακή διαβάθμιση, παράγεται ή απορροφάται θερμότητα..

Εάν πυκνότητα ρεύματος J περνά διαμέσου ενός ομογενούς αγώγιμου υλικού, το φαινόμενο Thomson προβλέπει ένα ρυθμό παραγωγής θερμότητας q ανά μονάδα όγκου:

$$q = -KJ \Delta T$$

- όπου ΔT μεταβολή της θερμότητας
- όπου K είναι η συντελεστής Thomson

Για τους συντελεστές Thomson και Seebeck ισχύει:

$$K = T(\Delta S - \Delta T)$$

Η εξίσωση όμως παραμελεί το φαινόμενο Joule, και την απλή θερμική αγωγιμότητα.

3. Θερμοηλεκτρικές εξισώσεις

Συχνά, περισσότερα από ένα από τα παραπάνω φαινόμενα, εμπλέκονται στην λειτουργία μιας θερμοηλεκτρικής συσκευής. Τα φαινόμενα Seebeck, Peltier, και Thomson μπορούν να συγκεντρωθούν σε ένα συνεκτικό και αυστηρό τρόπο. Το ίδιο

ισχύει και για τα φαινόμενα των θερμικών απωλειών και της θερμικής αγωγιμότητας. Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, το φαινόμενο Seebeck δημιουργεί μια ηλεκτρεγερτική δύναμη που οδηγεί στην τρέχουσα εξίσωση

$$J=\sigma(-\Delta V-S\Delta T)$$

Για να περιγράψουμε τα φαινόμενα Peltier και Thomson πρέπει να λάβουμε υπόψη τη ροή της ενέργειας. Μπορούμε να θεωρήσουμε την δυναμική περίπτωση όπου η θερμοκρασία και το φορτίο μπορούν να μεταβάλλονται με το χρόνο.

Στην περίπτωση όπου το υλικό έχει φθάσει σε σταθερή κατάσταση οι κατανομές φορτίου και η θερμοκρασία είναι σταθερά. Αυτό σημαίνει ότι $e=0$ και $\Delta J=0$.

Σε συνδυασμό με την εξίσωση Seebeck για J αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση σταθερής κατάστασης τάσης και της θερμοκρασίας σε ένα πολύπλοκο σύστημα.

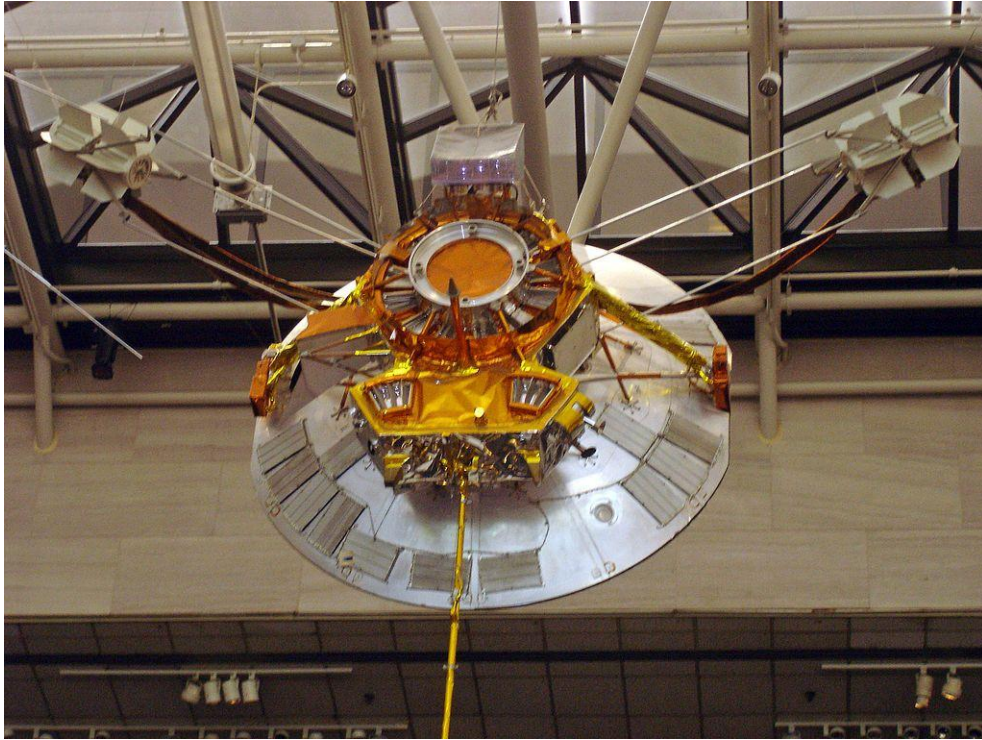
Αν το υλικό δεν είναι σε σταθερή κατάσταση, μια πλήρης περιγραφή θα πρέπει να περιλαμβάνει τις δυναμικές επιδράσεις, όπως σε σχέση με την ηλεκτρική χωρητικότητα, αυτεπαγωγή, και θερμοχωρητικότητα.

4. Εφαρμογές

4.1 Θερμοηλεκτρικές γεννήτριες

Το φαινόμενο Seebeck χρησιμοποιείται σε θερμοηλεκτρικές γεννήτριες, οι οποίες λειτουργούν σαν θερμικές μηχανές, αλλά είναι λιγότερο ογκώδης, δεν έχουν κινούμενα μέρη και είναι συνήθως πιο ακριβές και λιγότερο αποτελεσματικές. Έχουν χρήση σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τη μετατροπή της θερμότητας των αποβλήτων σε επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια (μια μορφή ανακύκλωσης ενέργειας), καθώς και σε αυτοκίνητα ως αυτοκινούμενες θερμοηλεκτρικές γεννήτριες (ΑΘΓ) για την αύξηση της αποδοτικότητας των καυσίμων.

Διαστημικοί εξερευνητές χρησιμοποιούν θερμοηλεκτρικές γεννήτριες ραδιοϊσοτόπων με τον ίδιο μηχανισμό, αλλά με τη χρήση ραδιοϊσοτόπων να δημιουργεί την απαιτούμενη διαφορά θερμότητας.



Σχήμα 4.1 Διαστημικό σκάφος Pioneer H με θερμοηλεκτρικές γεννήτριες ραδιοϊσοτόπων σχεδιασμένο το 1974, έκθεμα από Εθνικό Μουσείο Αεροπορίας και Διαστήματος στην Ουάσινγκτον

4.2 Θερμοηλεκτρική ψύξη

Το φαινόμενο Peltier μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργηθεί ένα ψυγείο το οποίο είναι συμπαγές και δεν έχει καμία κυκλοφορία ρευστού ή κινούμενα μέρη. Τέτοια ψυγεία είναι χρήσιμα σε εφαρμογές όπου τα πλεονεκτήματά τους αντισταθμίζουν το μειονέκτημα της πολύ χαμηλής απόδοσης τους.

4.3 Μέτρηση της θερμοκρασίας

Θερμοστοιχεία και θερμοστίλες είναι συσκευές που χρησιμοποιούν το φαινόμενο Seebeck για τη μέτρηση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ δύο αντικειμένων, το ένα συνδέεται με ένα βολτόμετρο και το άλλο με τον αισθητήρα. Η θερμοκρασία του βολτόμετρου, και επομένως του υλικού που μετράται από τον αισθητήρα, μπορεί να μετρηθεί ξεχωριστά χρησιμοποιώντας τεχνικές αντιστάθμισης.

4.4 Θερμικοί κυκλοποιητές αλυσιδωτής αντίδρασης πολυμέρασης

Το φαινόμενο Peltier χρησιμοποιείται από πολλούς θερμικούς κυκλοποιητές, οι συσκευές εργαστηρίου που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση του DNA με την αλυσιδωτή αντίδραση πολυμέρασης (PCR). Η PCR απαιτεί την κυκλική θέρμανση και ψύξη των δειγμάτων σε καθορισμένες θερμοκρασίες. Η συμπερίληψη των πολλών θερμοστοιχείων σε ένα μικρό χώρο επιτρέπει πολλά δείγματα να ενισχυθούν παράλληλα.

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Τα υλικά που χρησιμοποιήσαμε για το πείραμα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

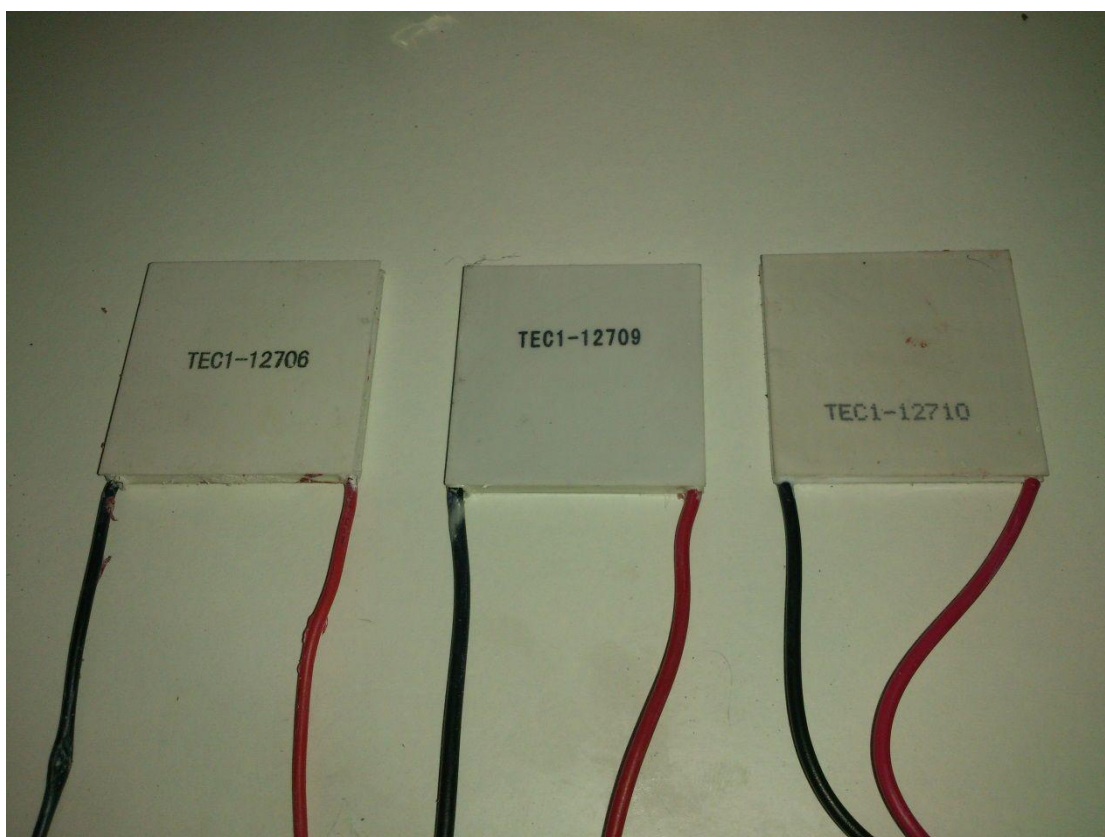
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΟΣ
1	USB DC 1~5V to DC 5V Voltage Step Up Boost Module – Green	1	1.76
2	TEC1-12710 Thermoelectric Cooler Peltier 12V	2	5.03
3	TEC1-12706 Thermoelectric Cooler Peltier 12V 60W 92Wmax C	2	2.65
4	TEC1-12709 Thermoelectric Cooler Peltier	2	4.67
5	SR01.9 Teko Hand Held Box	1	5.10
6	Ψύκτρα SK 33 50 AL Fischer Elektronik	1	9.9
7	Ποτενσιόμετρο PC16S-100K Piher	1	1.5
8	Ποτενσιόμετρο PC16S-10K Piher	1	1.5
9	Ποτενσιόμετρο PC16S-2K2 Piher	1	1.5
10	Αντιστάσεις CR200-10K B10HMSA	10	0.05
11	Σιλικόνη Durosilofiro durstick	1	3.9

5.1 Δημιουργία φορτιστή

Στην εφαρμογή μας χρησιμοποιήσαμε TEC αντί για TEG λόγο της διαφοράς κόστους. Επειδή όμως δεν προορίζονται για χρήση ως θερμοηλεκτρικές γεννήτριες δεν αναγράφονται πουθενά τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Έτσι επιλέξαμε 3 τυχαία TEC διαστάσεων 40x40 και τα συγκρίναμε.

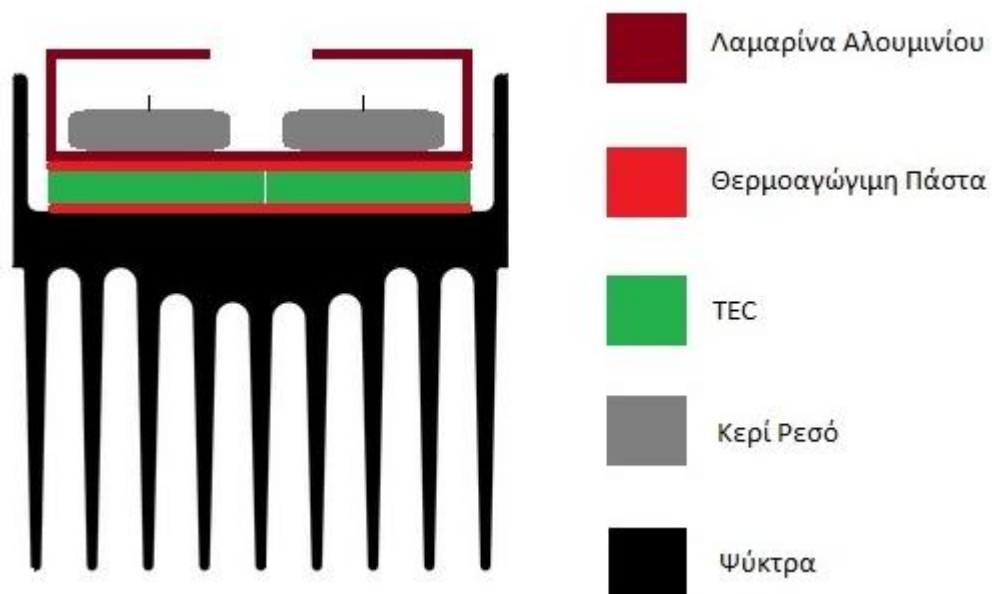
Τα Tec που επιλέξαμε είναι:

- 1) το TEC 12706
- 2) το TEC 12709
- 3) το TEC 12710

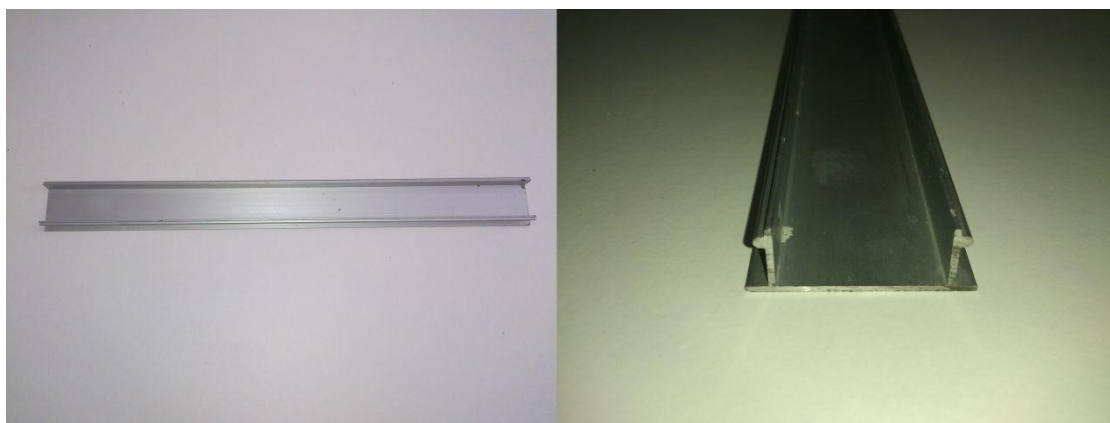


Σχήμα 5.1 TEC 12706 - TEC 12709 - TEC 12710

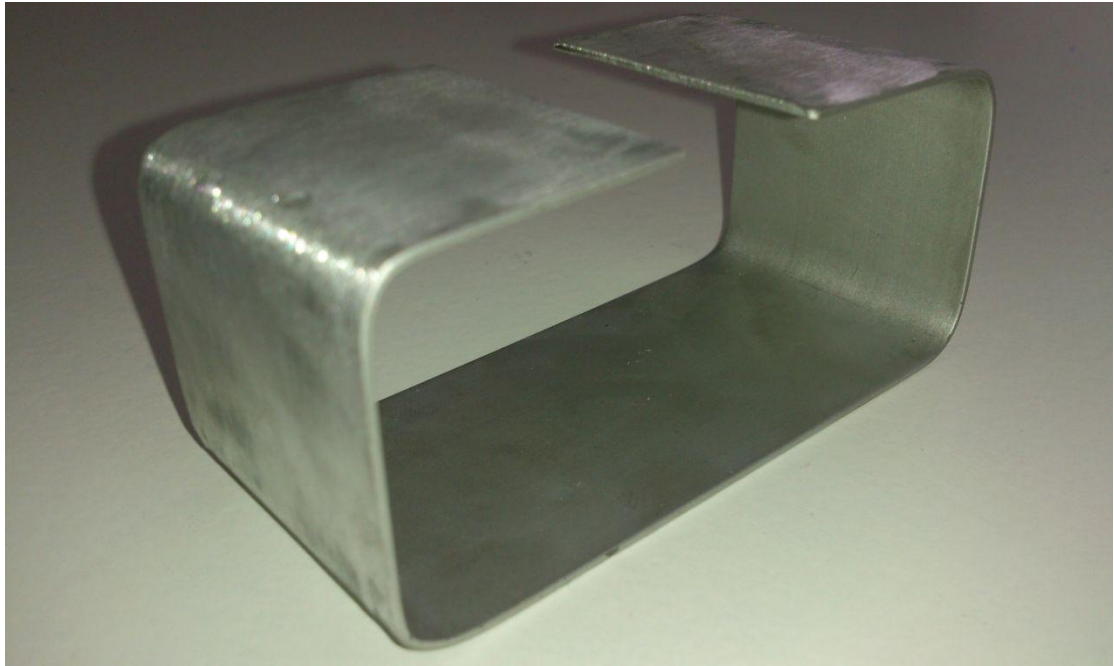
Για να πραγματοποιήσουμε τη σύγκριση τοποθετήσαμε τα TEC σε συνδεσμολογία σειράς έτσι ώστε να πετύχουμε μεγαλύτερη τάση στην έξοδο. Στη συνέχεια τα τοποθετήσαμε πάνω στην ψύκτρα μας και από πάνω τοποθετήσαμε μια λαμαρίνα αλουμινίου κατάλληλα διαμορφωμένη ώστε να μπορεί να μεταφερθεί η θερμότητα στη πάνω πλευρά των TEC. Στις δύο πλευρές των TEC τοποθετήθηκε θερμοαγωγίμη πάστα έτσι ώστε να γίνεται καλύτερα η μεταφορά θερμότητας. Στο σχήμα π1 φαίνεται η διάταξη που είχε η κατασκευή.



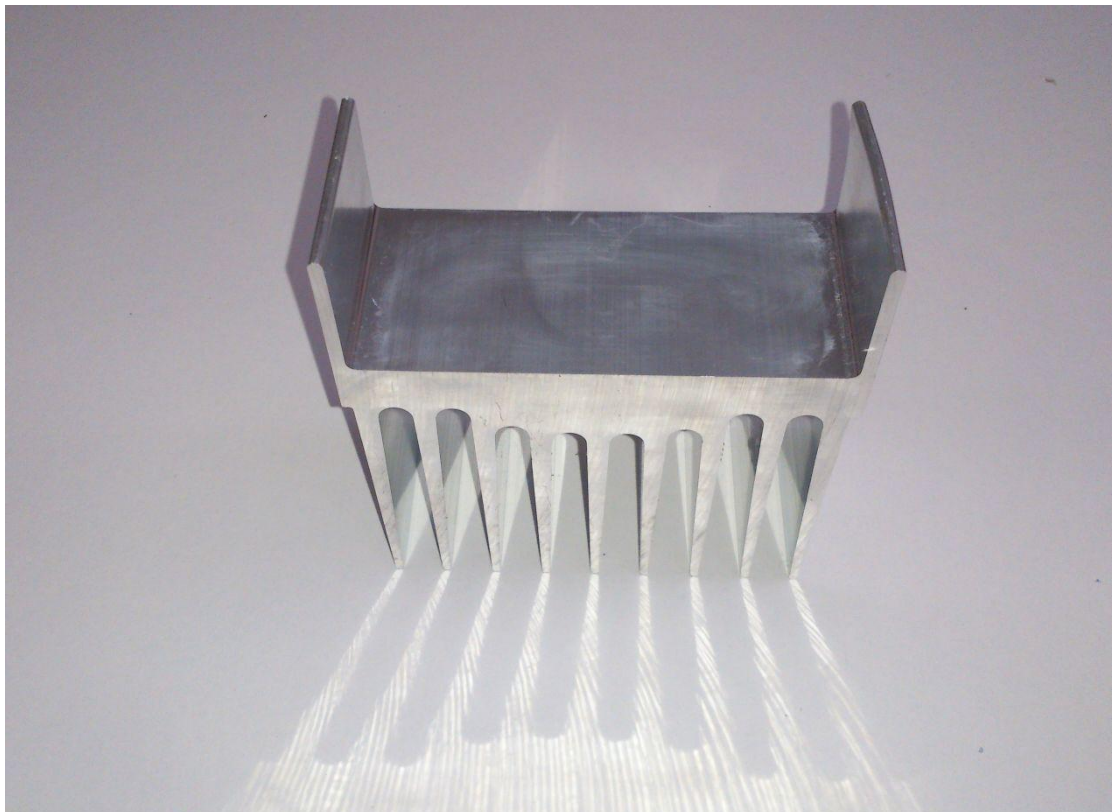
Σχήμα 5.2 Διάταξη κατασκευής φορτιστή



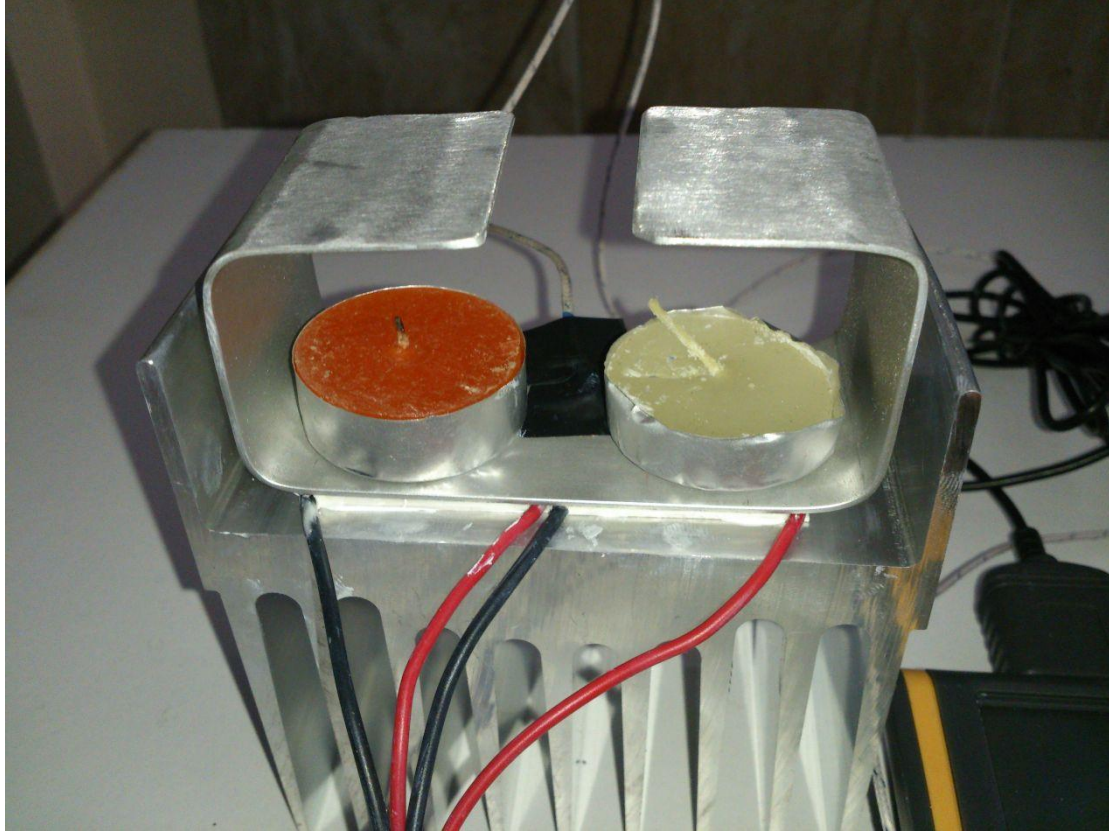
Σχήμα 5.3 Λαμαρίνα αλουμινίου για μεταφορά της θερμότητας πριν την επεξεργασία.



σχήμα 5.4 Λαμαρίνα αλουμινίου για μεταφορά της θερμότητας μορφοποιημένη κατάλληλα.



Σχήμα 5.5 Ψύκτρα.



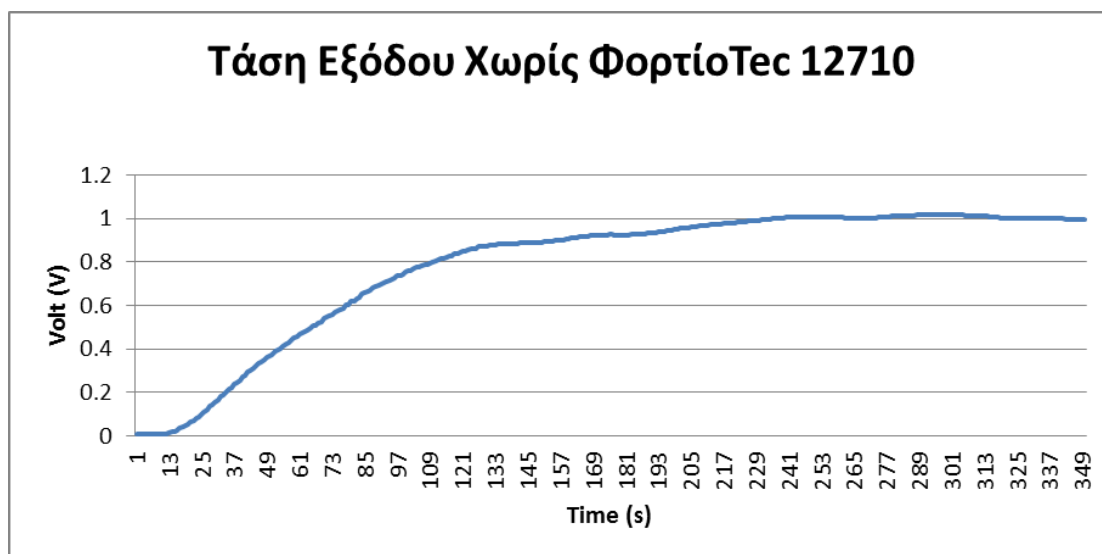
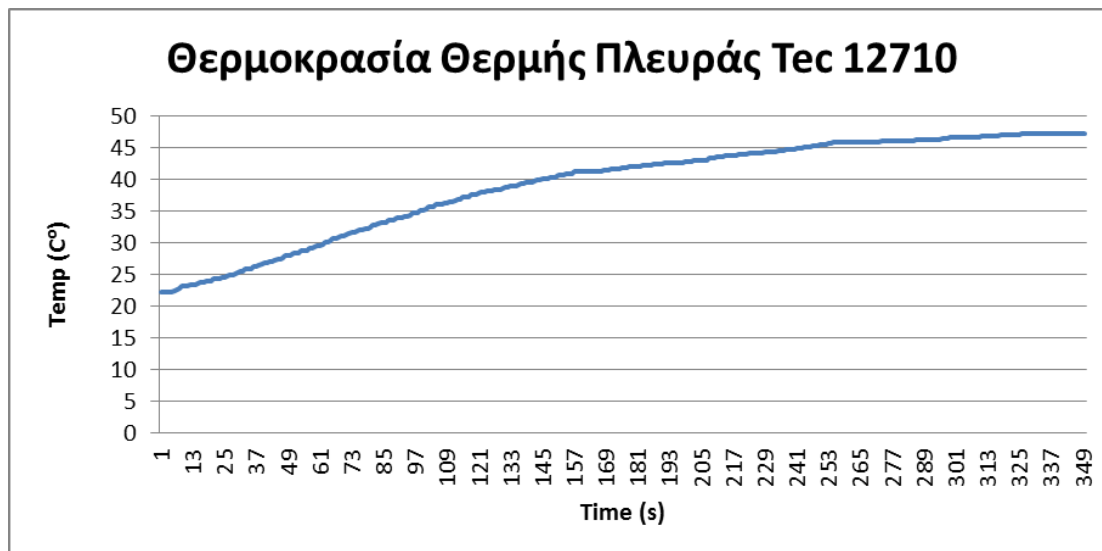
Σχήμα 5.6 Διάταξη της κατασκευής για έλεγχο των TEC.

5.2 Έλεγχος του TEC12710

Μοντάραμε την κατασκευή χρησιμοποιώντας τα TEC 12710 σε συνδεσμολογία σειράς και χωρίς φορτίο στην έξοδο για να δούμε πως αντιδρά στη δημιουργία διαφοράς θερμοκρασίας στις δύο πλευρές του μετά το άναμμα των κεριών.

Η ψύκτρα βρισκόταν στον αέρα και σε όλη τη διάρκεια μετρούσαμε την τάση εξόδου των TEC καθώς και τη θερμοκρασία που είχε αναπτυχθεί στην θερμή πλευρά τους.

Κάθε δευτερόλεπτο ο υπολογιστής κατέγραφε τις τιμές που έδειχναν τα πολύμετρα που είχαμε για το πείραμα και καταλήξαμε στις παρακάτω γραφικές απικονήσεις. TEC 12710 Θερμοκρασία-Τάση με ψύκτρα στον αέρα



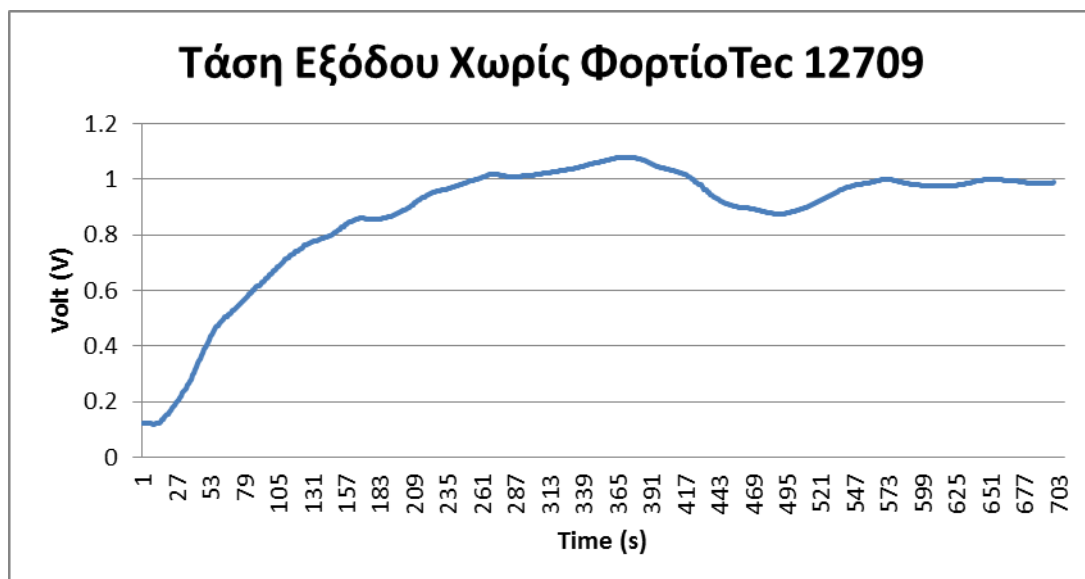
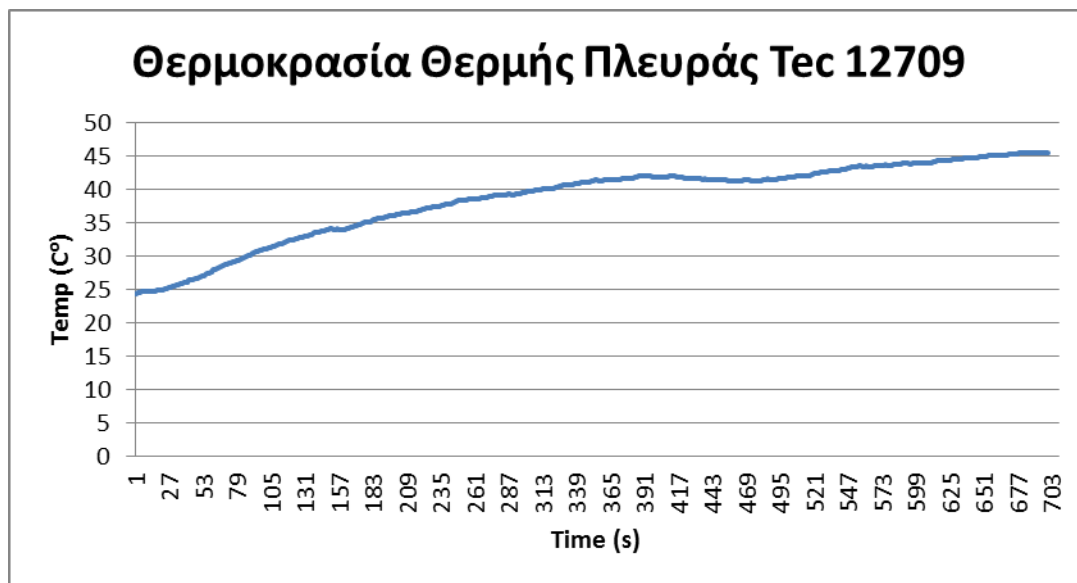
Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή τάσης στην έξοδο του TEC 12710 είναι:

- 1,016 Volt για θερμοκρασία 46,6 °C στην θερμή πλευρά.

5.3 Έλεγχος του TEC12709

Αντικαταστήσαμε τα TEC 12710 με τα TEC 12709 και επαναλάβουμε το πείραμα. Στις παρακάτω γραφικές απικονήσεις φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Tec 12709 Θερμοκρασία-Τάση με ψύκτρα στον αέρα

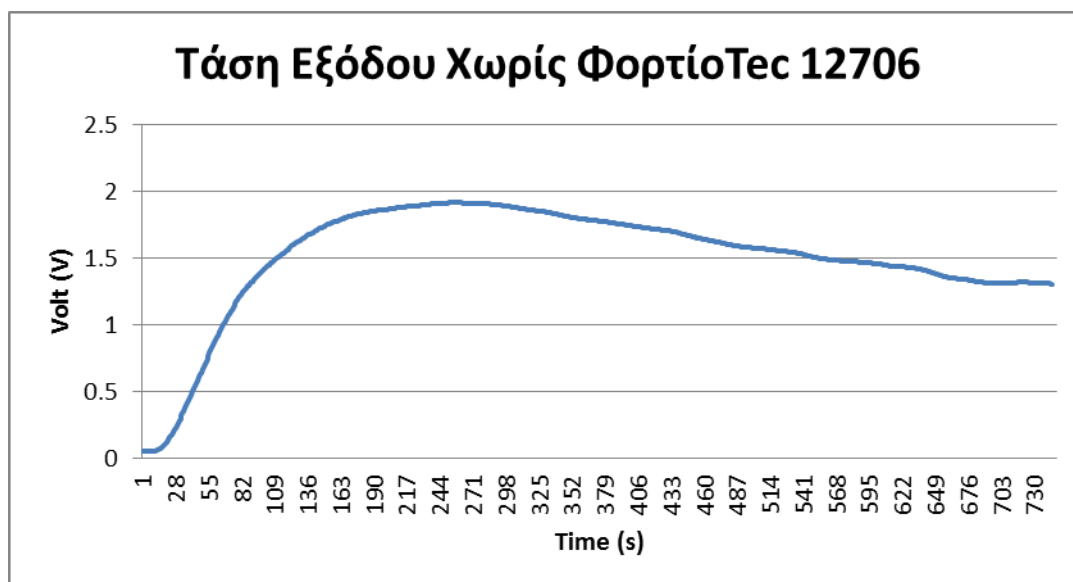
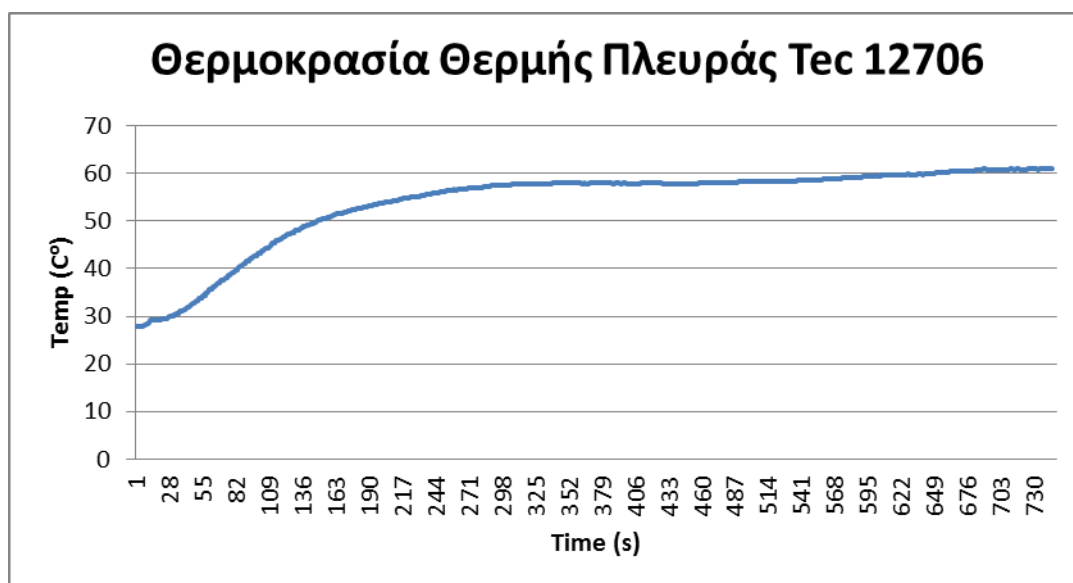


Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή τάσης στην έξοδο του TEC 12709 είναι:

- 1,067Volt για θερμοκρασία 42 °C στην θερμή πλευρά.

5.4 Έλεγχος του TEC12706

Αντικαταστήσαμε τα TEC 12709 με τα TEC 12706 και επαναλάβαμε το πείραμα. Στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Tec 12706 Θερμοκρασία-Τάση με ψύκτρα στον αέρα



Αμέσως μπορούμε να παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή τάσης στην έξοδο του TEC 12706 είναι πολύ μεγαλύτερη σε σύγκρισή με τα προηγούμενα TEC. Η μέγιστη τιμή της τάσης στην έξοδό του είναι

- 1,915Volt για θερμοκρασία 56,4 °C στην θερμή πλευρά.

Το TEC 12706 φαίνεται πιο λειτουργικό για τον φορτιστή μας από ότι το TEC 12710 και TEC 12709.

Πρέπει να σημειώσουμε όμως ότι και στις τρεις περιπτώσεις παρατηρούμε ότι μετά από μια συγκεκριμένη στιγμή η τάση εξόδου αγγίζει το μέγιστο και μετά ξεκινάει να πέφτει.

Έχοντας επιλέξει το TEC 12706 για τη κατασκευή του φορτιστή μας προχωρήσαμε στη μέτρηση της εσωτερικής του αντίστασης.

Τοποθετήσαμε ένα ποτενσιόμετρο στην έξοδο των TEC 12706 και μετρούσαμε πάνω σε αυτό τάση. Τη χρονική στιγμή που το TEC μας είχε έξοδο 1,4Volt περιστρέψαμε το ποτενσιόμετρο μέχρι να πετύχουμε τιμή ίση με τη μισή:

$$V_2 = V_1 / 2$$

Άρα

$$V_2 = 1,4 / 2$$

$$V_2 = 0,7$$

Αποσυνδέουμε το ποτενσιόμετρο και μετράμε την αντίστασή του η οποία ισοδυναμεί με την εσωτερική αντίσταση του κυκλώματος. Το ωμόμετρο μας έδωσε την τιμή των:

$$R = 17 \text{ Ohm}$$

5.5 Δοκιμή του φορτιστή με την ψύκτρα μέσα σε υγρό χρώμα

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως παρατηρήθηκε ότι η τάση ξεκινάει και πέφτει μετά από μία χρονική στιγμή. Αυτό οφείλεται στην διαφορά θερμοκρασίας που υπάρχει στην ζεστή από την κρύα πλευρά του TEC και πιο συγκεκριμένα στην κρύα

πλευρά του. Παρατηρήθηκε ότι η ψύκτρα άρχισε να μην μπορεί να απελευθερώσει όλη τη θερμότητα στο περιβάλλον με αποτέλεσμα να ανεβαίνει η θερμοκρασία της κατά μερικούς βαθμούς. Αυτοί οι βαθμοί όμως επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση του TEC μας.

Έτσι πραγματοποιήσαμε το πείραμα σε πιο δροσερό περιβάλλον τοποθετώντας την ψύκτρα μέσα σε υγρό χώμα όπου η θερμοκρασία του ήταν 20°C



Σχήμα 5.7 Φορτιστής με την ψύκτρα τοποθετημένη στο χώμα

Τεc 12706 Θερμοκρασία-Τάση με ψύκτρα στο χώμα

A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc
1	22.5	0.044	36	25.1	0.533	71	30.4	0.859
2	22.5	0.051	37	25.4	0.544	72	30.5	0.875
3	22.6	0.057	38	25.4	0.551	73	30.9	0.884
4	22.6	0.07	39	25.4	0.564	74	30.9	0.904
5	22.6	0.075	40	25.7	0.571	75	31	0.912
6	22.7	0.091	41	25.8	0.294	76	31.4	0.92
7	22.7	0.097	42	25.9	0.3	77	31.4	0.939
8	22.8	0.111	43	26.2	0.306	78	31.5	0.947
9	22.8	0.122	44	26.2	0.312	79	31.8	0.965
10	23	0.13	45	26.3	0.318	80	31.8	0.973
11	23	0.146	46	26.6	0.324	81	31.9	0.987
12	23	0.158	47	26.6	0.329	82	32.2	0.997
13	23.1	0.176	48	26.7	0.336	83	32.2	1.005
14	23.2	0.189	49	27	0.44	84	32.4	1.019
15	23.2	0.199	50	27.1	0.482	85	32.7	1.03
16	23.4	0.222	51	27.2	0.512	86	32.7	1.044
17	23.4	0.231	52	27.5	0.538	87	32.8	1.051
18	23.4	0.25	53	27.6	0.561	88	33.1	1.067
19	23.6	0.264	54	27.7	0.583	89	33.1	1.074
20	23.6	0.285	55	28	0.609	90	33.3	1.08
21	23.6	0.3	56	28.1	0.628	91	33.5	1.097
22	23.8	0.315	57	28.2	0.645	92	33.5	1.104
23	23.8	0.33	58	28.5	0.662	93	33.6	1.11
24	23.9	0.346	59	28.5	0.679	94	33.9	1.126
25	24.1	0.367	60	28.7	0.7	95	33.9	1.138
26	24.1	0.382	61	28.9	0.715	96	34	1.147
27	24.1	0.398	62	29	0.726	97	34	1.153
28	24.3	0.413	63	29.1	0.745	98	34.3	1.165
29	24.4	0.429	64	29.4	0.76	99	34.4	1.174
30	24.4	0.444	65	29.5	0.778	100	34.5	1.186

31	24.7	0.458	66	29.6	0.792	101	34.7	1.191
32	24.7	0.472	67	30	0.802	102	34.8	1.206
33	24.7	0.49	68	30	0.819	103	34.9	1.212
34	25	0.5	69	30.1	0.837	104	35.2	1.218
35	25	0.518	70	30.4	0.846	105	35.3	1.232

A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc
106	35.3	1.239	141	40.3	1.543	176	44.3	1.77
107	35.7	1.244	142	40.3	1.549	177	44.3	1.771
108	35.8	1.258	143	40.7	1.556	178	44.4	1.778
109	35.8	1.27	144	40.7	1.564	179	44.5	1.784
110	36.1	1.278	145	40.8	1.571	180	44.5	1.792
111	36.2	1.284	146	41	1.578	181	44.6	1.793
112	36.3	1.295	147	41.1	1.586	182	44.9	1.799
113	36.6	1.304	148	41.1	1.592	183	44.9	1.806
114	36.7	1.316	149	41.3	1.599	184	44.9	1.807
115	36.7	1.322	150	41.4	1.605	185	45.1	1.814
116	37	1.33	151	41.5	1.612	186	45.1	1.819
117	37.1	1.342	152	41.7	1.624	187	45.2	1.821
118	37.2	1.348	153	41.8	1.631	188	45.3	1.827
119	37.5	1.361	154	41.8	1.638	189	45.3	1.832
120	37.6	1.367	155	42.1	1.644	190	45.4	1.839
121	37.6	1.373	156	42.1	1.65	191	45.5	1.839
122	37.9	1.386	157	42.2	1.656	192	45.5	1.845
123	37.9	1.397	158	42.5	1.662	193	45.5	1.846
124	38	1.406	159	42.6	1.668	194	45.7	1.853
125	38.3	1.411	160	42.6	1.675	195	45.7	1.855
126	38.4	1.422	161	42.9	1.681	196	45.8	1.86
127	38.4	1.429	162	42.9	1.688	197	46	1.866
128	38.6	1.44	163	43	1.693	198	46	1.867
129	38.7	1.448	164	43.1	1.699	199	46	1.874
130	38.8	1.453	165	43.2	1.706	200	46.2	1.874

131	39.1	1.459	166	43.3	1.711	201	46.3	1.877
132	39.2	1.471	167	43.4	1.722	202	46.3	1.883
133	39.3	1.482	168	43.5	1.724	203	46.4	1.884
134	39.5	1.49	169	43.5	1.73	204	46.4	1.891
135	39.6	1.49	170	43.8	1.736	205	46.5	1.892
136	39.7	1.5	171	43.8	1.743	206	46.7	1.898
137	40	1.507	172	43.9	1.749	207	46.7	1.899
138	40	1.522	173	44	1.755	208	46.7	1.9
139	40.1	1.529	174	44	1.756	209	46.9	1.906
140	40.2	1.536	175	44.1	1.763	210	46.9	1.908

A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc
211	47	1.915	246	49.2	1.995	281	50.3	2.051
212	47.2	1.915	247	49.2	1.998	282	50.4	2.052
213	47.2	1.917	248	49.2	1.999	283	50.4	2.054
214	47.2	1.924	249	49.3	2.002	284	50.4	2.055
215	47.4	1.925	250	49.3	2.004	285	50.6	2.057
216	47.4	1.927	251	49.3	2.007	286	50.7	2.058
217	47.5	1.929	252	49.4	2.009	287	50.7	2.059
218	47.6	1.932	253	49.4	2.011	288	50.8	2.06
219	47.6	1.934	254	49.4	2.014	289	50.9	2.061
220	47.7	1.937	255	49.6	2.016	290	50.9	2.061
221	47.7	1.939	256	49.6	2.017	291	50.9	2.062
222	47.8	1.941	257	49.6	2.02	292	50.8	2.062
223	47.8	1.943	258	49.6	2.022	293	50.8	2.062
224	47.8	1.946	259	49.6	2.024	294	50.6	2.063
225	47.9	1.948	260	49.6	2.025	295	50.5	2.063
226	47.9	1.95	261	49.7	2.027	296	50.5	2.063
227	47.9	1.952	262	49.7	2.028	297	50.4	2.063
228	48.1	1.953	263	49.7	2.029	298	50.4	2.063
229	48.1	1.955	264	49.6	2.03	299	50.4	2.063
230	48.1	1.958	265	49.7	2.031	300	50.4	2.063

231	48.3	1.959	266	49.7	2.032	301	50.4	2.063
232	48.4	1.962	267	49.7	2.033	302	50.4	2.063
233	48.4	1.964	268	49.7	2.035	303	50.6	2.063
234	48.6	1.966	269	49.7	2.036	304	50.6	2.063
235	48.6	1.969	270	49.9	2.037	305	50.7	2.064
236	48.6	1.971	271	49.9	2.038	306	50.8	2.064
237	48.8	1.973	272	49.9	2.04	307	50.8	2.065
238	48.8	1.976	273	50	2.041	308	50.9	2.066
239	48.8	1.979	274	50	2.042	309	51.1	2.066
240	49	1.981	275	50	2.044	310	51.1	2.067
241	49	1.984	276	50	2.045	311	51.1	2.067
242	49	1.985	277	50	2.046	312	51.3	2.068
243	49	1.988	278	50.1	2.047	313	51.3	2.068
244	49	1.991	279	50.2	2.049	314	51.3	2.068
245	49	1.993	280	50.2	2.05	315	51.2	2.069

A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc
316	51.2	2.069	351	51.8	2.088	386	52	2.104
317	51.3	2.07	352	51.8	2.088	387	52	2.105
318	51.2	2.07	353	51.8	2.089	388	52	2.105
319	51.2	2.07	354	51.8	2.089	389	51.9	2.105
320	51.2	2.071	355	51.8	2.09	390	51.9	2.105
321	51.3	2.071	356	51.8	2.091	391	51.9	2.105
322	51.3	2.072	357	51.9	2.091	392	51.9	2.105
323	51.3	2.072	358	52	2.091	393	52	2.105
324	51.4	2.072	359	52	2.092	394	52	2.106
325	51.4	2.073	360	52.1	2.093	395	52.1	2.106
326	51.4	2.073	361	52.1	2.093	396	52.1	2.106
327	51.6	2.074	362	52.1	2.094	397	52.3	2.106
328	51.6	2.074	363	52.1	2.094	398	52.3	2.106
329	51.6	2.074	364	52.2	2.095	399	52.3	2.107
330	51.8	2.075	365	52.2	2.096	400	52.3	2.107

331	51.8	2.076	366	52.2	2.096	401	52.3	2.107
332	51.8	2.077	367	52.1	2.097	402	52.3	2.107
333	51.7	2.077	368	52.1	2.097	403	52.3	2.107
334	51.7	2.078	369	52.1	2.098	404	52.3	2.108
335	51.8	2.079	370	52	2.099	405	52.3	2.108
336	51.8	2.079	371	52	2.1	406	52.4	2.108
337	51.8	2.08	372	52	2.1	407	52.4	2.108
338	51.8	2.08	373	52	2.1	408	52.4	2.108
339	51.8	2.081	374	52	2.1	409	52.4	2.108
340	51.8	2.082	375	52	2.101	410	52.4	2.108
341	51.7	2.082	376	52.1	2.102	411	52.5	2.108
342	51.8	2.083	377	52.2	2.102	412	52.5	2.108
343	51.7	2.084	378	52.2	2.102	413	52.5	2.108
344	51.7	2.084	379	52.1	2.103	414	52.6	2.107
345	51.8	2.085	380	52.1	2.103	415	52.6	2.107
346	51.7	2.086	381	52.1	2.104	416	52.6	2.106
347	51.8	2.086	382	52.1	2.104	417	52.6	2.106
348	51.9	2.086	383	52.1	2.104	418	52.5	2.105
349	51.9	2.087	384	52.1	2.104	419	52.5	2.105
350	51.9	2.087	385	52	2.104	420	52.5	2.105

A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc
421	52.5	2.104	456	52.5	2.096	491	53	2.08
422	52.5	2.104	457	52.5	2.095	492	53.1	2.079
423	52.5	2.103	458	52.5	2.095	493	53.1	2.079
424	52.5	2.103	459	52.5	2.094	494	53	2.078
425	52.5	2.102	460	52.5	2.094	495	53	2.077
426	52.5	2.101	461	52.5	2.093	496	53	2.077
427	52.6	2.101	462	52.5	2.093	497	53.1	2.076
428	52.6	2.101	463	52.5	2.093	498	53.1	2.076
429	52.6	2.101	464	52.5	2.093	499	53.1	2.075
430	52.6	2.101	465	52.5	2.093	500	53.1	2.075

431	52.6	2.1	466	52.5	2.093	501	53.1	2.074
432	52.7	2.1	467	52.4	2.093	502	53.1	2.073
433	52.7	2.1	468	52.4	2.093	503	53	2.073
434	52.7	2.1	469	52.4	2.093	504	53	2.073
435	52.7	2.1	470	52.5	2.092	505	53	2.073
436	52.8	2.1	471	52.5	2.092	506	53.1	2.072
437	52.8	2.1	472	52.5	2.092	507	53.1	2.072
438	52.9	2.1	473	52.5	2.092	508	53.1	2.071
439	52.9	2.1	474	52.6	2.092	509	53.1	2.071
440	52.9	2.1	475	52.6	2.092	510	53.1	2.07
441	52.9	2.1	476	52.9	2.091	511	53.1	2.069
442	53	2.1	477	52.9	2.091	512	53.2	2.068
443	53	2.1	478	52.9	2.09	513	53.2	2.068
444	53	2.1	479	53.1	2.09	514	53.3	2.068
445	52.9	2.1	480	53.1	2.089	515	53.2	2.067
446	52.9	2.1	481	53.1	2.088	516	53.2	2.066
447	52.9	2.1	482	53.2	2.087	517	53.2	2.065
448	52.8	2.1	483	53.1	2.086	518	53.1	2.064
449	52.7	2.1	484	53.1	2.086	519	53.1	2.063
450	52.7	2.1	485	53.1	2.085	520	53.1	2.063
451	52.7	2.099	486	53	2.084	521	53.1	2.062
452	52.7	2.098	487	53	2.083	522	53	2.06
453	52.7	2.097	488	53	2.082	523	53	2.06
454	52.6	2.097	489	52.9	2.082	524	53	2.059
455	52.6	2.096	490	52.9	2.081	525	53	2.058

A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc
526	53	2.057	561	53.6	2.018	596	52.5	1.971
527	52.9	2.056	562	53.6	2.017	597	52.3	1.969
528	52.9	2.055	563	53.4	2.016	598	52.3	1.967
529	53	2.054	564	53.4	2.014	599	52.2	1.966
530	53	2.053	565	53.4	2.013	600	52.2	1.964

531	53	2.051	566	53.2	2.012	601	52.2	1.962
532	53	2.05	567	53.2	2.01	602	52.2	1.96
533	52.9	2.049	568	53.2	2.009	603	52.3	1.959
534	52.8	2.049	569	53.1	2.007	604	52.3	1.957
535	52.8	2.048	570	53.1	2.006	605	52.3	1.956
536	52.7	2.047	571	53.1	2.004	606	52.3	1.955
537	52.7	2.046	572	53.1	2.003	607	52.2	1.954
538	52.8	2.045	573	53.1	2.002	608	52.2	1.952
539	52.9	2.044	574	53.1	2	609	52.1	1.951
540	52.9	2.043	575	53	1.999	610	52.2	1.95
541	53	2.042	576	53	1.998	611	52.2	1.948
542	53.1	2.041	577	53	1.997	612	52.2	1.946
543	53.1	2.04	578	53.1	1.996	613	52.2	1.945
544	53.2	2.039	579	53.1	1.995	614	52.2	1.943
545	53.2	2.038	580	53.1	1.994	615	52.3	1.942
546	53.2	2.037	581	53.1	1.993	616	52.3	1.94
547	53.2	2.035	582	53.1	1.992	617	52.3	1.939
548	53.4	2.035	583	53	1.99	618	52.3	1.937
549	53.4	2.033	584	52.9	1.989	619	52.3	1.936
550	53.4	2.032	585	52.9	1.988	620	52.4	1.934
551	53.5	2.031	586	52.9	1.987	621	52.4	1.934
552	53.5	2.03	587	52.9	1.986	622	52.4	1.931
553	53.6	2.029	588	52.9	1.984	623	52.4	1.93
554	53.7	2.028	589	52.9	1.982	624	52.4	1.93
555	53.7	2.026	590	52.7	1.981	625	52.4	1.93
556	53.7	2.026	591	52.7	1.98	626	52.4	1.928
557	53.6	2.024	592	52.7	1.978	627	52.4	1.926
558	53.6	2.023	593	52.7	1.976	628	52.4	1.924
559	53.6	2.022	594	52.6	1.974	629	52.4	1.922
560	53.6	2.02	595	52.5	1.972	630	44.7	1.92

A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc
631	52.4	1.919	666	51.8	1.853	701	51.5	1.794
632	52.4	1.918	667	51.8	1.851	702	51.4	1.792
633	52.4	1.916	668	51.7	1.849	703	51.4	1.79
634	52.4	1.915	669	51.7	1.847	704	51.4	1.787
635	52.4	1.913	670	51.7	1.845	705	51.4	1.786
636	52.4	1.911	671	51.6	1.844	706	51.4	1.784
637	52.4	1.911	672	51.6	1.842	707	51.3	1.782
638	52.3	1.908	673	51.6	1.841	708	51.3	1.781
639	52.2	1.906	674	51.5	1.839	709	51.3	1.779
640	52.2	1.904	675	51.5	1.837	710	51.3	1.778
641	52	1.902	676	51.5	1.835	711	51.3	1.776
642	51.9	1.9	677	51.4	1.834	712	51.4	1.773
643	51.9	1.898	678	51.4	1.832	713	51.4	1.772
644	51.9	1.895	679	51.4	1.83	714	51.3	1.77
645	51.9	1.892	680	51.4	1.829	715	51.3	1.768
646	51.9	1.891	681	51.3	1.827	716	51.3	1.766
647	51.8	1.888	682	51.3	1.826	717	51.3	1.764
648	51.8	1.885	683	51.2	1.823	718	51.3	1.763
649	51.8	1.883	684	51.2	1.821	719	51.3	1.761
650	51.7	1.88	685	51.2	1.82	720	51.3	1.759
651	51.7	1.878	686	51.1	1.818	721	51.3	1.757
652	51.7	1.876	687	51.1	1.816	722	51.1	1.755
653	51.6	1.874	688	51.1	1.814	723	51.1	1.753
654	51.6	1.872	689	51.1	1.813	724	51.1	1.751
655	51.6	1.869	690	51.1	1.81	725	51	1.749
656	51.6	1.868	691	51.1	1.809	726	51	1.747
657	51.6	1.867	692	51.2	1.808	727	51	1.746
658	51.6	1.864	693	51.2	1.806	728	51	1.744
659	51.8	1.863	694	51.3	1.805	729	51	1.742
660	51.8	1.862	695	51.3	1.803	730	51	1.739
661	51.8	1.86	696	51.3	1.802	731	50.9	1.738

662	51.8	1.859	697	51.3	1.8	732	50.9	1.736
663	51.7	1.857	698	51.4	1.799	733	50.9	1.735
664	51.7	1.855	699	51.4	1.797	734	50.9	1.733
665	51.8	1.854	700	51.4	1.795	735	50.8	1.731

A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc
736	50.9	1.729	771	49.6	1.661	806	48.3	1.572
737	50.9	1.727	772	49.5	1.659	807	48.2	1.569
738	50.9	1.726	773	49.5	1.656	808	48.1	1.566
739	50.9	1.724	774	49.5	1.654	809	48.1	1.563
740	50.9	1.722	775	49.4	1.652	810	48.1	1.559
741	50.9	1.721	776	49.4	1.649	811	48.1	1.558
742	50.8	1.719	777	49.2	1.647	812	48	1.554
743	50.8	1.716	778	49.2	1.646	813	47.9	1.552
744	50.8	1.715	779	49.2	1.643	814	47.9	1.549
745	50.7	1.713	780	49.1	1.641	815	47.8	1.546
746	50.5	1.711	781	49.1	1.638	816	47.8	1.544
747	50.4	1.709	782	49.1	1.636	817	47.8	1.543
748	50.4	1.707	783	49.1	1.634	818	47.8	1.54
749	50.1	1.705	784	49	1.632	819	47.7	1.537
750	50.1	1.703	785	49	1.628	820	47.7	1.536
751	50.1	1.701	786	49	1.627	821	47.8	1.535
752	50	1.699	787	49	1.624	822	47.8	1.533
753	49.9	1.696	788	49	1.622	823	47.8	1.531
754	49.9	1.694	789	48.8	1.619	824	47.8	1.529
755	49.8	1.692	790	48.8	1.616	825	47.6	1.528
756	49.7	1.689	791	48.8	1.614	826	47.6	1.526
757	49.7	1.687	792	48.7	1.612	827	47.6	1.524
758	49.6	1.685	793	48.7	1.609	828	47.5	1.522
759	49.6	1.683	794	48.7	1.606	829	47.5	1.52
760	49.5	1.681	795	48.6	1.603	830	47.5	1.519
761	49.5	1.679	796	48.6	1.601	831	47.5	1.518

762	49.5	1.677	797	48.6	1.598	832	47.4	1.517
763	49.5	1.675	798	48.5	1.596	833	47.4	1.516
764	49.5	1.674	799	48.5	1.592	834	47.4	1.515
765	49.6	1.671	800	48.5	1.589	835	47.4	1.514
766	49.6	1.67	801	48.4	1.587	836	47.4	1.513
767	49.6	1.668	802	48.4	1.583	837	47.5	1.513
768	49.7	1.666	803	48.4	1.581	838	47.5	1.513
769	49.7	1.665	804	48.3	1.577	839	47.6	1.512
770	49.7	1.662	805	48.3	1.574	840	47.6	1.512

A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc
841	47.6	1.511	876	47.3	1.494	911	47.6	1.51
842	47.6	1.511	877	47.3	1.493	912	47.6	1.509
843	47.6	1.511	878	47.3	1.493	913	47.4	1.509
844	47.6	1.511	879	47.4	1.493	914	47.4	1.509
845	47.5	1.511	880	47.4	1.494	915	47.4	1.509
846	47.5	1.51	881	47.3	1.494	916	47.4	1.508
847	47.5	1.51	882	47.3	1.494	917	47.5	1.508
848	47.5	1.51	883	47.3	1.495	918	47.5	1.508
849	47.5	1.51	884	47.4	1.495	919	47.7	1.508
850	47.5	1.51	885	47.6	1.496	920	47.8	1.508
851	47.5	1.51	886	47.6	1.497	921	47.9	1.508
852	47.5	1.51	887	47.6	1.497	922	48.1	1.508
853	47.5	1.509	888	47.7	1.498	923	48.1	1.508
854	47.5	1.509	889	47.8	1.499	924	48.1	1.508
855	47.5	1.508	890	47.8	1.499	925	48.3	1.508
856	47.5	1.508	891	47.8	1.5	926	48.3	1.509
857	47.5	1.507	892	47.8	1.501	927	48.3	1.509
858	47.5	1.506	893	47.8	1.502	928	48.2	1.51
859	47.5	1.505	894	47.8	1.503	929	48.2	1.51
860	47.5	1.504	895	47.7	1.503	930	48.2	1.511
861	47.3	1.503	896	47.7	1.504	931	48.3	1.511

862	47.3	1.503	897	47.7	1.506	932	48.3	1.512
863	47.3	1.501	898	47.8	1.506	933	48.3	1.512
864	47.3	1.5	899	47.9	1.507	934	48.3	1.513
865	47.3	1.5	900	47.9	1.508	935	48.3	1.513
866	47.2	1.499	901	48	1.509	936	48.3	1.514
867	47.2	1.498	902	48	1.51	937	48.3	1.514
868	47.2	1.497	903	48	1.511	938	48.3	1.515
869	47.2	1.497	904	48.1	1.511	939	48.3	1.515
870	47.2	1.496	905	48	1.511	940	48.2	1.516
871	47.2	1.495	906	48	1.512	941	48.2	1.517
872	47.2	1.495	907	47.9	1.511	942	48.3	1.517
873	47.3	1.494	908	47.8	1.511	943	48.4	1.517
874	47.3	1.494	909	47.8	1.511	944	48.4	1.517
875	47.3	1.494	910	47.7	1.51	945	48.5	1.518

A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc
946	48.6	1.518	981	48.9	1.534	1016	49.5	1.549
947	48.6	1.519	982	49	1.534	1017	49.5	1.549
948	48.7	1.519	983	49	1.535	1018	49.5	1.549
949	48.7	1.52	984	49	1.535	1019	49.4	1.55
950	48.7	1.521	985	48.9	1.536	1020	49.4	1.55
951	48.7	1.521	986	48.9	1.536	1021	49.4	1.55
952	48.8	1.522	987	48.9	1.536	1022	49.3	1.55
953	48.8	1.522	988	48.9	1.537	1023	49.3	1.551
954	48.8	1.522	989	48.8	1.537	1024	49.3	1.551
955	48.9	1.523	990	48.8	1.538	1025	49.3	1.551
956	48.9	1.523	991	48.9	1.538	1026	49.3	1.552
957	48.9	1.524	992	48.9	1.539	1027	49.3	1.552
958	49	1.524	993	49	1.54	1028	49.4	1.552
959	49	1.525	994	49.2	1.54	1029	49.5	1.552
960	49	1.525	995	49.2	1.54	1030	49.5	1.553
961	49	1.526	996	49.2	1.54	1031	49.5	1.553

962	49	1.526	997	49.2	1.541	1032	49.4	1.553
963	49	1.527	998	49.2	1.541	1033	49.4	1.554
964	49.1	1.527	999	49.3	1.541	1034	49.5	1.554
965	49.1	1.527	1000	49.4	1.542	1035	49.5	1.554
966	49.2	1.528	1001	49.4	1.542	1036	49.5	1.554
967	49.2	1.528	1002	49.5	1.543	1037	49.6	1.554
968	49.2	1.528	1003	49.5	1.543	1038	49.6	1.555
969	49.3	1.528	1004	49.5	1.544	1039	49.6	1.555
970	49.2	1.528	1005	49.6	1.544	1040	49.6	1.555
971	49.2	1.528	1006	49.6	1.545	1041	49.6	1.556
972	49.1	1.528	1007	49.6	1.545	1042	49.7	1.556
973	48.9	1.529	1008	49.6	1.545	1043	49.8	1.556
974	48.9	1.529	1009	49.5	1.546	1044	49.8	1.556
975	48.9	1.529	1010	49.5	1.547	1045	49.8	1.556
976	48.8	1.53	1011	49.6	1.547	1046	49.7	1.556
977	48.8	1.53	1012	49.6	1.547	1047	49.7	1.556
978	48.8	1.531	1013	49.6	1.548	1048	49.7	1.556
979	48.8	1.532	1014	49.6	1.548	1049	49.5	1.556
980	48.8	1.533	1015	49.6	1.548	1050	49.5	1.556

A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc
1051	49.5	1.556	1086	50.4	1.574	1121	50.2	1.619
1052	49.6	1.555	1087	50.3	1.576	1122	50.2	1.62
1053	49.6	1.555	1088	50.2	1.577	1123	50.2	1.621
1054	49.6	1.555	1089	50.2	1.578	1124	50.2	1.622
1055	49.8	1.555	1090	50.1	1.58	1125	50.2	1.623
1056	49.8	1.555	1091	50	1.582	1126	50.2	1.624
1057	49.8	1.554	1092	50	1.583	1127	50.1	1.625
1058	50	1.554	1093	49.9	1.585	1128	50.1	1.626
1059	50	1.554	1094	49.8	1.586	1129	50	1.627
1060	50	1.554	1095	49.8	1.587	1130	50	1.628
1061	50.1	1.554	1096	49.8	1.589	1131	49.9	1.629

1062	50.1	1.553	1097	49.7	1.591	1132	49.9	1.631
1063	50.1	1.553	1098	49.7	1.592	1133	49.9	1.632
1064	50.2	1.553	1099	49.7	1.593	1134	50	1.633
1065	50.2	1.553	1100	49.7	1.595	1135	50	1.634
1066	50.3	1.553	1101	49.7	1.596	1136	50	1.636
1067	50.4	1.553	1102	49.7	1.598	1137	50.1	1.637
1068	50.4	1.553	1103	49.9	1.599	1138	50.2	1.638
1069	50.4	1.553	1104	49.9	1.601	1139	50.2	1.639
1070	50.4	1.554	1105	50	1.602	1140	50.3	1.64
1071	50.4	1.554	1106	50	1.603	1141	50.4	1.642
1072	50.4	1.555	1107	50	1.604	1142	50.4	1.644
1073	50.4	1.556	1108	50	1.605	1143	50.5	1.645
1074	50.4	1.557	1109	49.9	1.606	1144	50.5	1.646
1075	50.4	1.558	1110	49.8	1.607	1145	50.5	1.647
1076	50.3	1.559	1111	49.8	1.607	1146	50.6	1.648
1077	50.3	1.561	1112	49.7	1.608	1147	50.6	1.65
1078	50.3	1.562	1113	49.7	1.609	1148	50.6	1.651
1079	50.2	1.564	1114	49.7	1.61	1149	50.7	1.652
1080	50.2	1.565	1115	49.8	1.611	1150	50.7	1.653
1081	50.2	1.566	1116	49.8	1.612	1151	50.7	1.654
1082	50.2	1.568	1117	49.9	1.613	1152	50.6	1.655
1083	50.2	1.57	1118	50.1	1.614	1153	50.6	1.656
1084	50.3	1.571	1119	50.1	1.615	1154	50.6	1.656
1085	50.4	1.573	1120	50.1	1.616	1155	50.5	1.657

A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc
1156	50.5	1.658	1191	50.9	1.673	1226	50.9	1.656
1157	50.5	1.659	1192	50.9	1.673	1227	50.8	1.655
1158	50.4	1.659	1193	50.9	1.672	1228	50.8	1.655
1159	50.3	1.66	1194	50.9	1.672	1229	50.8	1.654
1160	50.3	1.661	1195	50.9	1.671	1230	50.7	1.653
1161	50.2	1.661	1196	50.9	1.67	1231	50.7	1.652

1162	50.2	1.661	1197	50.9	1.67	1232	50.7	1.652
1163	50.2	1.662	1198	50.9	1.67	1233	50.7	1.652
1164	50.2	1.663	1199	50.9	1.669	1234	50.8	1.651
1165	50.2	1.663	1200	50.8	1.669	1235	50.9	1.651
1166	50.2	1.664	1201	50.8	1.668	1236	50.9	1.65
1167	50.2	1.665	1202	50.8	1.668	1237	50.9	1.649
1168	50.2	1.665	1203	50.9	1.667	1238	50.9	1.648
1169	50.3	1.665	1204	50.9	1.666	1239	51	1.647
1170	50.5	1.666	1205	50.9	1.666	1240	51	1.647
1171	50.6	1.667	1206	50.8	1.666	1241	51.1	1.647
1172	50.6	1.668	1207	50.7	1.665	1242	51.4	1.646
1173	50.7	1.668	1208	50.7	1.665	1243	51.4	1.645
1174	50.7	1.669	1209	50.7	1.665	1244	51.4	1.644
1175	50.7	1.67	1210	50.7	1.665	1245	51.6	1.644
1176	50.8	1.67	1211	50.7	1.665	1246	51.6	1.643
1177	50.9	1.671	1212	50.7	1.664	1247	51.7	1.643
1178	50.9	1.671	1213	50.7	1.664	1248	51.7	1.642
1179	51	1.672	1214	50.7	1.663	1249	51.9	1.641
1180	51	1.673	1215	50.7	1.662	1250	51.9	1.641
1181	51.1	1.673	1216	50.7	1.662	1251	51.9	1.64
1182	51.2	1.673	1217	50.7	1.661	1252	51.9	1.64
1183	51.2	1.674	1218	50.7	1.661	1253	51.9	1.639
1184	51.2	1.674	1219	50.7	1.66	1254	51.9	1.638
1185	51.3	1.674	1220	50.7	1.66	1255	51.8	1.638
1186	51.3	1.674	1221	50.9	1.659	1256	51.8	1.638
1187	51.3	1.674	1222	50.9	1.659	1257	51.8	1.637
1188	51.1	1.674	1223	50.9	1.658	1258	51.6	1.637
1189	51.1	1.674	1224	50.9	1.657	1259	51.5	1.637
1190	51	1.674	1225	50.9	1.656	1260	51.5	1.637

A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc	A/A	Temp °C	Volt dc
1261	51.5	1.636	1276	51.4	1.634	1291	51.5	1.632
1262	51.5	1.636	1277	51.4	1.633	1292	51.5	1.632
1263	51.5	1.635	1278	51.5	1.633	1293	51.5	1.631
1264	51.5	1.635	1279	51.6	1.633	1294	51.6	1.631
1265	51.5	1.635	1280	51.6	1.633	1295	51.6	1.631
1266	51.4	1.635	1281	51.6	1.633	1296	51.6	1.631
1267	51.3	1.635	1282	51.5	1.633	1297	51.7	1.631
1268	51.3	1.635	1283	51.5	1.633	1298	51.7	1.631
1269	51.3	1.635	1284	51.5	1.633	1299	51.7	1.631
1270	51.5	1.634	1285	51.4	1.633	1300	51.8	1.631
1271	51.5	1.634	1286	51.4	1.633	1301	51.8	1.63
1272	51.5	1.633	1287	51.4	1.632	1302	51.8	1.63
1273	51.5	1.633	1288	51.5	1.632	1303	52	1.63
1274	51.5	1.634	1289	51.5	1.632	1304	52	1.63
1275	51.5	1.634	1290	51.5	1.632	1305	51.9	1.63

Όπως περιμέναμε η απόδοση του TEC είναι μεγαλύτερη και πιο σταθερή.

Η μέγιστη τιμή της Τάσης στην έξοδό του είναι

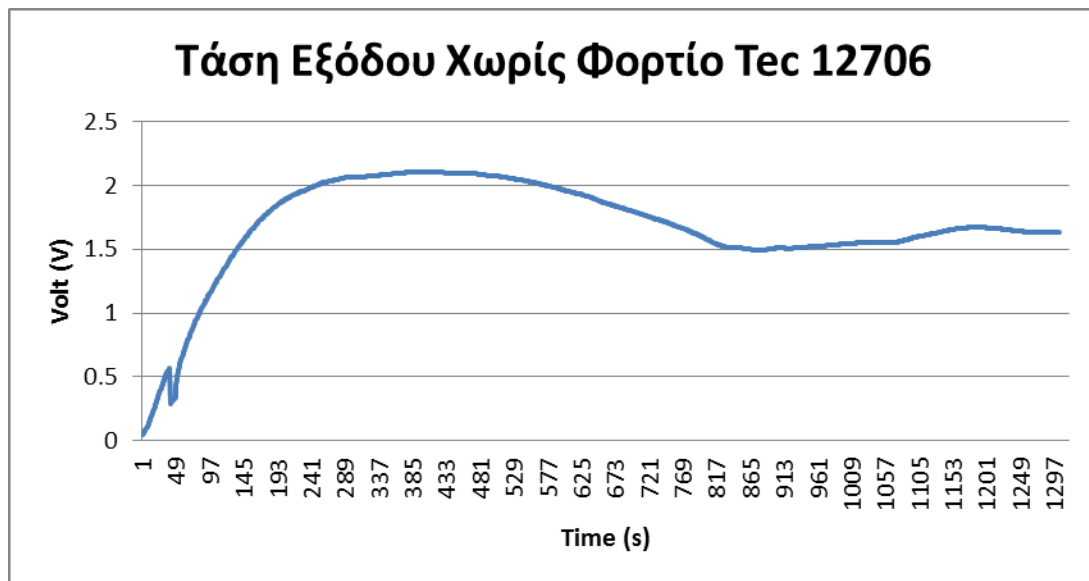
- 2.108Volt για θερμοκρασία 52,34 °C στην θερμή πλευρά,

την στιγμή που η έξοδος μας με την ψύκτρα στον αέρα ήταν

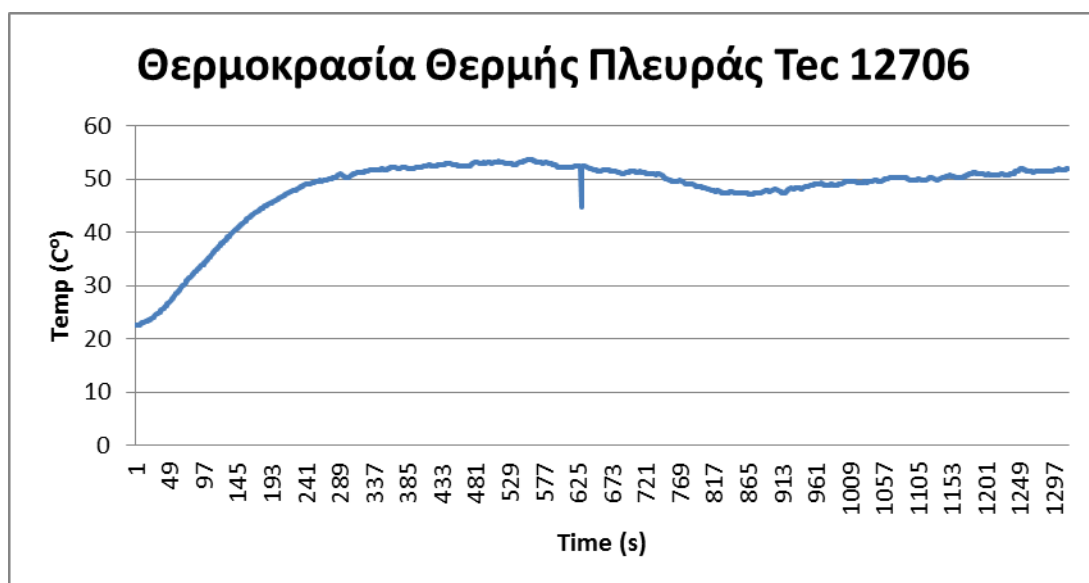
- 1,915Volt για θερμοκρασία 56,4 °C στην θερμή πλευρά.

Επίσης πάλι παρατηρούμε ότι η τάση φτάνει μέχρι το μέγιστο και μετά ξεκινά να πέφτει και ύστερα πάλι να ανεβαίνει. Πιο εύκολα μπορούμε να το δούμε στα παρακάτω διαγράμματα.

Τάση εξόδου TEC 12706 με τη διάταξη τοποθετημένη στο χώμα



Θερμοκρασία θερμής πλευράς με τη διάταξη τοποθετημένη στο χώμα



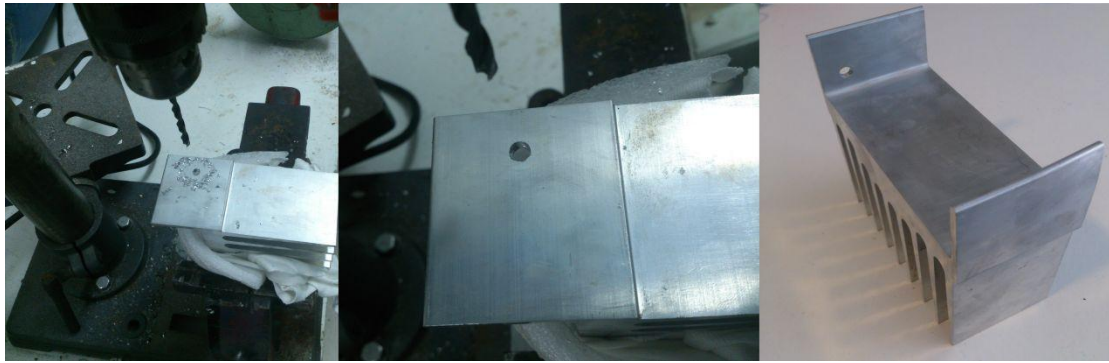
5.6 ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Σύμφωνα με τα παραπάνω βλέπουμε ότι τα TEC μας σε συνδεσμολογία σειράς αποδίδουν μετά από ένα λεπτό περίπου 1 Volt και ύστερα η έξοδος τους κυμαίνεται από 2,1 volt μέχρι 1,6 volt. Ο φορτιστής μας όμως πρέπει να έχει σταθερή έξοδο.

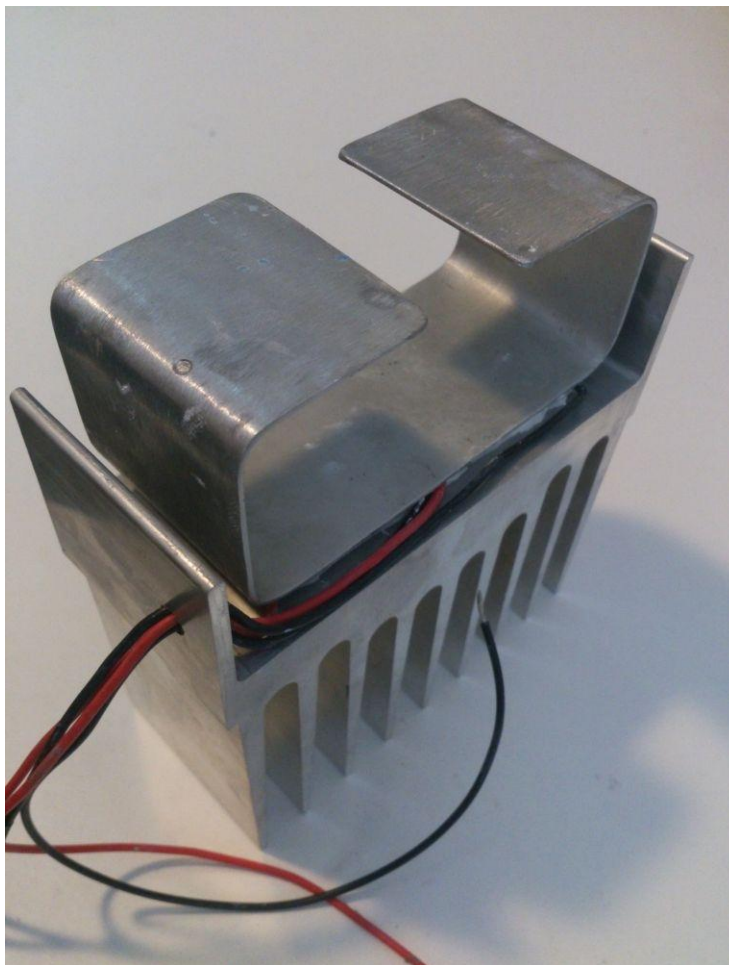
Έτσι θα τοποθετήσουμε στο κύκλωμά μας ένα ανορθωτή τάσης (DC Booster) που ανεβάζει την τάση στα 5 Volt και την κρατάει σταθερή.

Πρώτα όμως έπρεπε να προετοιμάσουμε την ψύκτρα μας έτσι ώστε να μην έρχεται το DC Booster σε επαφή με τη θερμή λάμα που μεταφέρει τη θερμοκρασία.

Επομένως ανοίξαμε μία τρύπα στη μία πλευρά της ψήκτρας για να μπορούν να περάσουν τα καλώδια των TEC και να συνδεθούν στο Booster.



Σχήμα 5.8 Επεξεργασία ψήκτρας



Σχήμα 5.9 Τοποθέτηση TEC στη τελική διάταξη

Αφού τοποθετήσαμε τα TEC και τη λάμα επάνω στην ψύκτρα τα στερεώσαμε με θερμοαγώγιμη σιλικόνη έτσι ώστε να μην καίγεται από τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στη λάμα και για να μην μεταφέρεται θερμότητα στην ψύκτρα μας. Τέλος τοποθετήσαμε το DC Booster και ολοκληρώσαμε τις συνδέσεις.

Ο φορτιστής τοποθετήθηκε πάλι στο βρεγμένο χώμα για να μετρήσουμε την έξοδο του με το DC Booster χωρίς φορτίο.



Σχήμα 5.10 Τελική διάταξη στο χώμα

Tec 12706 Θερμοκρασία-Τάση με ψύκτρα στο χώμα και DC Booster

Time (s)	Temp °C	Volt dc	Booster Volt dc
40	25.7	0.571	5.019
90	33.3	1.08	5.024
115	36.7	1.322	5.03
135	39.6	1.49	5.035
151	41.5	1.612	5.04
170	43.8	1.736	5.045
195	45.7	1.855	5.05
232	48.4	1.962	5.055
282	50.4	2.052	5.06
350	51.9	2.087	5.061

371	52	2.1	5.062
483	53.1	2.086	5.061
525	53	2.058	5.06
540	52.9	2.043	5.059
600	52.2	1.964	5.055
642	51.9	1.9	5.052
666	51.8	1.853	5.05
725	51	1.749	5.045
785	49	1.628	5.04
863	47.3	1.501	5.036
1000	49.4	1.542	5.038
1100	49.7	1.595	5.039
1200	50.8	1.669	5.043
1220	50.7	1.66	5.042
1245	51.6	1.644	5.041
1270	51.5	1.634	5.04
1300	51.8	1.631	5.04

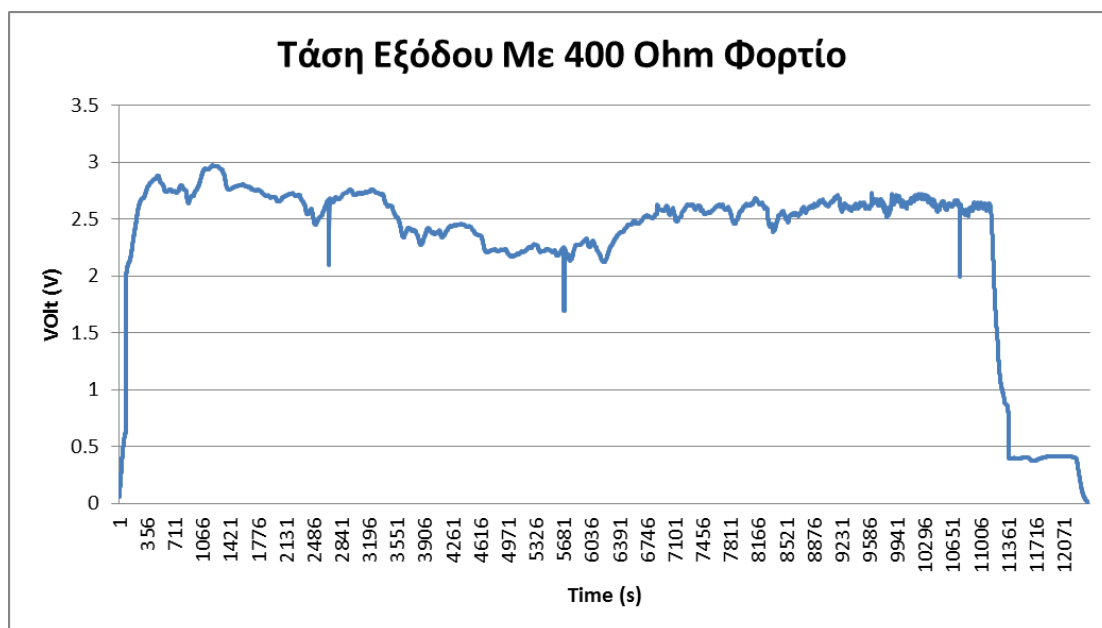
Το DC Booster ξεκίνησε να άγει μετά από 40 δευτερόλεπτα και να μάς δίνει στην έξοδο τάση περίπου ίση με 5 Volt.

Αφού διαπιστώσαμε ότι ο φορτιστής μας δουλεύει επαναλάβαμε το πείραμα μέχρι να σβήσουν τα κεράκια και τοποθετώντας στην έξοδο του φορτίο ίσο περίπου με την εσωτερική αντίσταση όλου του κυκλώματος

$R=400 \text{ Ohm}$

ώστε να δούμε την πλήρη συμπεριφορά του .

Τάση και ένταση στην έξοδο της διάταξης με φορτίο.



5.7 Συμπεράσματα

Από τις μετρήσεις βλέπουμε ότι ενώ η τάση είναι αρκετή ώστε να έχουμε ολοκληρωμένο κύκλωμα για τη φόρτιση κινητού η ένταση του ρεύματος είναι αρκετά μικρή. Συνδέοντας μάλιστα κινητό είδαμε ότι ενώ μεταβαίνει σε λειτουργία φόρτισης η ένταση δεν είναι αρκετή για να το φορτίσει. Πραγματοποιώντας τις μετρήσεις όμως είδαμε ότι η διαφορά θερμοκρασίας στις δύο πλευρές και οι συνθήκες γενικότερα που δημιουργήσαμε στη διάταξη είναι ιδανική ώστε με τα αντίστοιχα TEG να έχουμε ολοκληρωμένο αποτέλεσμα μιας και σύμφωνα με τις προδιαγραφές τους μπορούμε να έχουμε έξοδο 100mA όσο περίπου και η έξοδο των περισσότερων συμβατικών φορτιστών.