

ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη & κατασκευή ηλεκτρονικού φορτίου 500W



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΑΠΕΛΛΑΚΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΣΦΑΚΙΩΤΑΚΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2013

## Περιεχόμενα

1	Πρόλογος.....	4
2	Εισαγωγή.....	5
2.1	Στόχοι Πτυχιακής .....	5
2.2	Τι είναι το ηλεκτρονικό φορτίο.....	5
2.3	Χρήση και εφαρμογές .....	6
2.3.1	Φόρτιση - Εκφόρτιση μπαταρίας.....	6
2.3.2	Μέτρηση της χωρητικότητας μπαταριών .....	6
2.3.3	Μέτρηση εσωτερικής αντίστασης τροφοδοτικών και μπαταριών.....	6
2.3.4	Μελέτη συμπεριφοράς σε κρουστικά φαινόμενα. ....	7
2.3.5	Απ ευθείας εξωτερική οδήγηση.....	7
2.3.6	Αντικατάσταση συμβατικού ωμικού αντιστάτη.....	7
2.3.7	Μέτρηση μέγιστης ισχύος φωτοβολταϊκού πλαισίου.....	7
2.3.8	Φορτίο ανεμογεννήτριας.....	7
2.3.9	Εργαστηριακές δοκιμές.....	7
3	Θεωρητικό υπόβαθρο.....	8
3.1	Περιοχή ασφαλούς λειτουργίας SOA .....	8
3.2	Θερμική απαγωγή στοιχείων.....	11
3.2.1	Θερμική αντίσταση.....	11
3.2.2	Εξαναγκασμένη ψύξη .....	13
3.3	Τρόποι παρεμβολής από θόρυβο.....	14
3.3.1	Θόρυβος Χωρητικής σύζευξης .....	14
3.3.2	Θόρυβος Επαγωγικής σύζευξης.....	15
3.3.3	Κοινής εμπέδησης σύζευξης θόρυβος .....	17
3.3.4	Κρουστικός θόρυβος γραμμής τροφοδοσίας .....	19
4	Περιγραφή διάταξης.....	21
4.1	Απεικόνιση συσκευής.....	21
4.2	Προδιαγραφές συσκευής Φορτίου .....	22
4.3	Προτεινόμενη μελλοντική αναβάθμιση λογισμικού.....	23
4.4	Σενάρια Λειτουργίας (modes).....	23
4.4.1	Λειτουργία σταθερού ρεύματος (constant current) .....	24
4.4.2	Λειτουργία σταθερής ισχύος (constant power).....	25

4.4.3	Λειτουργία σταθερής αντίστασης (constant resistance) .....	25
4.4.4	Λειτουργία με εξωτερική οδήγηση.....	26
4.5	Τρόπος ελέγχου / Χειρισμός .....	26
4.5.1	Οδηγίες χρήσης της συσκευής.....	26
4.5.2	Περιορισμοί.....	27
4.5.3	Χειρισμός της συσκευής .....	27
4.5.4	Μηνύματα προειδοποίησης.....	29
4.6	Ασφάλεια και μηχανισμοί προστασίας συσκευής .....	30
4.6.1	Αυτόματη προσαρμογή ισχύος (Power derating) .....	30
4.6.2	Αυτόματη οριοθέτηση των ρυθμίσεων .....	31
4.6.3	Προστασία ανεμιστήρα.....	31
5	Υλοποίηση και ανάλυση κατασκευής.....	32
5.1	Γενική περιγραφή .....	32
5.2	Μετατροπέας Αναλογικού σήματος σε ΨηφιακόADC.....	34
5.3	Οδήγηση και έλεγχος ανεμιστήρα.....	38
5.4	Βαθμίδα φορτίου .....	40
5.5	Κύκλωμα μέγιστης θερμοκρασίας .....	40
5.6	Φίλτρο.....	41
5.7	Encoder.....	41
5.8	Σχεδιασμός για μείωση θορύβου.....	42
6	Βασική ροή προγράμματος .....	42
7	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	43
7.1	Σχέδια .....	43
7.2	Φωτογραφίες .....	51
7.3	Κώδικας.....	54
8	Βιβλιογραφία.....	75

## 1 Πρόλογος

Η παρούσα εργασία είναι αποτέλεσμα όσων έμαθα στην διάρκεια των σπουδών μου. Είναι ένα ρυθμιζόμενο φορτίο για τον έλεγχο απόδοσης συσκευών.

Μου πήρε αρκετό χρόνο σε μετατροπές και βελτιώσεις ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές που τέθηκαν από τον Εισηγητή μου.

Ελπίζω ότι αφήνω στο εργαστήριο Ηλ. κατασκευών μια συσκευή που θα χρησιμεύσει σε ελέγχους διαφόρων συσκευών όπως περιγράφονται στο κείμενο που ακολουθεί.

Ευχαριστώ τους εισηγητές μου κύριο Σφακιωτάκη Μιχάλη και ιδιαίτερα τον κύριο Μηναδάκη Γιάννη για τη πολύτιμη βοήθεια τους, την κατανόηση και την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν όλο αυτό το διάστημα.

## 2 Εισαγωγή

### 2.1 Στόχοι Πτυχιακής

Οι στόχοι της πτυχιακής είναι οι ακόλουθοι:

1. Να μελετηθεί και να γίνει υλοποίηση μιας κατασκευής που να καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια σε ενεργά στοιχεία.
2. Να εξασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία της συσκευής
3. Να τηρηθούν οι προδιαγραφές
4. Να περιγραφεί η απόκριση και συμπεριφορά της διάταξης όσο αφορά
  - τον θόρυβο
  - την απόκριση
5. Να περιγραφεί ο σχεδιασμός των κυκλωμάτων
6. Να περιγραφούν οι πιθανές εφαρμογές της διάταξης

### 2.2 Τι είναι το ηλεκτρονικό φορτίο

Ένα ηλεκτρονικό φορτίο είναι μια συσκευή που μιμείται το παθητικό φορτίο σε ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα. Χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο ενός συμβατικού ωμικού καταναλωτή στο DC.

Είναι η συμπληρωματική διάταξη ενός τροφοδοτικού. Αν το τροφοδοτικό παρέχει ισχύ, δίνοντας ρεύμα (source current), τότε το ηλεκτρονικό φορτίο καταναλώνει ισχύ, τραβώντας ρεύμα (sinks current). Είναι μια ηλεκτρονική διάταξη η οποία έχει σκοπό να καταναλώνει ηλεκτρική ισχύ, εξομοιώνοντας ένα πραγματικό διακριτό ωμικό στοιχείο.

Το ηλεκτρονικό φορτίο καταναλώνει την ηλεκτρική ενέργεια και την μετατρέπει σε Θερμότητα. Ένας ανεμιστήρας χρησιμοποιείται για την απαγωγή της θερμότητας .

Τα ηλεκτρονικά φορτία χρησιμοποιούνται στις διαφορετικές εφαρμογές, ιδιαίτερα για τη δοκιμή των τροφοδοτικών, των μπαταριών, ηλιακών στοιχείων και των κυψελών καυσίμου .

Υπάρχουν και φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος που χρησιμοποιούνται για να εξετάσουν τους μετασχηματιστές, και τις αδιάλειπτες παροχές ηλεκτρικού ρεύματος, τα γνωστά UPS.

Το φορτίο μας, μας δίνει την δυνατότητα να ορίσουμε μια ακριβή τιμή προσομοιωμένης αντίστασης ( $R$ ) ή ρεύματος ( $I$ ) ή ισχύος ( $P$ ) που πρόκειται να καταναλωθεί.

Στην πράξη δεν χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε μία αντίσταση συγκεκριμένης τιμής και συγκεκριμένης ισχύος για να πειραματιστούμε για μια συγκεκριμένη εφαρμογή όπου θέλουμε να δούμε πως συμπεριφέρεται π.χ. ένα τροφοδοτικό ή μια μπαταρία.

Για την δοκιμή οποιασδήποτε διάταξης με έξοδο ισχύος, όπως για παράδειγμα ένα τροφοδοτικό, είναι απαραίτητο ένας ανάλογος καταναλωτής (φορτίο) ή ακόμα καλύτερα ένα ρυθμιζόμενο φορτίο. Τα φορτία που κατασκευάζονται συνήθως από αλυσίδες διασυνδεδεμένων αντιστάσεων, δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις των εργαστηριακών δοκιμών και μετρήσεων ενώ αντίθετα ένα ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενο φορτίο παρέχει ευελιξία μεταβολής του φορτίου.

## 2.3 Χρήση και εφαρμογές

### 2.3.1 Φόρτιση - Εκφόρτιση μπαταρίας

Συνδέοντας μια μπαταρία στη είσοδο του φορτίου μπορεί να ρυθμιστεί η εκφόρτιση της με σταθερό ρεύμα.

Εάν στην διάταξη αυτή βάλουμε στην σειρά και ένα τροφοδοτικό μπορούμε να κάνουμε φόρτιση με δυνατότητα ρύθμισης σταθερού ρεύματος.

### 2.3.2 Μέτρηση της χωρητικότητας μπαταριών

Κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας, καταγράφεται η ενέργεια που καταναλώνεται στο φορτίο, συνεπώς εύκολα μπορούμε να μετρήσουμε την χωρητικότητα της.

### 2.3.3 Μέτρηση εσωτερικής αντίστασης τροφοδοτικών και μπαταριών

Μέτρηση εσωτερικής αντίστασης γίνεται με ρύθμιση σταθερού ρεύματος και καταγράφοντας ταυτόχρονα την πτώση τάσης της μπαταρίας. Έχοντας ως δεδομένα το ρεύμα και την πτώση τάσης μπορούμε να υπολογίσουμε την εσωτερική αντίσταση.

#### **2.3.4 Μελέτη συμπεριφοράς σε κρουστικά φαινόμενα.**

Εφαρμόζοντας τετραγωνικό παλμό στην είσοδο εξωτερικής οδήγησης, μπορούμε να μετρήσουμε την συμπεριφορά ενός τροφοδοτικού σε κρουστικές μεταβολές ρεύματος . Έτσι, μπορεί εύκολα να ανιχνευθεί η ευστάθεια ή η τάση του για αστάθεια.

#### **2.3.5 Απ ευθείας εξωτερική οδήγηση**

Καθώς το ρεύμα του φορτίου, μπορεί άμεσα να ελεγχθεί από την τάση στην είσοδο εξωτερικής οδήγησης, τότε, το φορτίο μπορεί να συνδεθεί ως μέρος ενός γενικότερου συστήματος, για τις ανάγκες μελέτης και κατασκευής σε ένα εργαστήριο.

#### **2.3.6 Αντικατάσταση συμβατικού ωμικού αντιστάτη**

Με τη ρύθμιση σταθερής αντίστασης δεν υπάρχει ανάγκη αγοράς και χρήσης συμβατικής αντίστασης ή ροοστάτη μεγάλης ισχύος του εμπορίου.

#### **2.3.7 Μέτρηση μέγιστης ισχύος φωτοβολταϊκού πλαισίου.**

Με ρύθμιση σταθερής ισχύος μπορούμε να ανιχνεύσουμε το σημείο της μέγιστης ισχύος στη καμπύλη I - V ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου.

#### **2.3.8 Φορτίο ανεμογεννήτριας**

Με χρήση γέφυρας ανόρθωσης και πυκνωτή εξομάλυνσης στην είσοδο του φορτίου, μπορούμε να συνδέσουμε ανεμογεννήτρια και να μελετήσουμε τα χαρακτηριστικά της υπό σταθερό φορτίο.

#### **2.3.9 Εργαστηριακές δοκιμές**

Γενικά, το ηλεκτρονικό φορτίο, ως μέρος του εξοπλισμού ενός εργαστηρίου και ως συμπληρωματική διάταξη του τροφοδοτικού, είναι πολύ χρήσιμο στην μελέτη συμπεριφοράς και την υλοποίηση πρωτότυπων κατασκευών.

### 3 Θεωρητικό υπόβαθρο

#### 3.1 Περιοχή ασφαλούς λειτουργίας SOA

Όλα τα τρανζίστορ έχουν τα μέγιστα όρια λειτουργίας τους<sup>1</sup>. Τα όρια αυτά στα φυλλάδια των κατασκευαστών αναφέρονται ως μέγιστες απόλυτες τιμές (Absolute Maximum Ratings), όμως αυτές οι τιμές δεν περιγράφουν με πληρότητα την μέγιστη κατανάλωση ισχύος που μπορεί να ανεχτεί το τρανζίστορ.

Ένα τρανζίστορ, μπορεί να λειτουργήσει σε μια περιοχή τάσης και ρεύματος συλλέκτη. Όταν η τάση συλλέκτη γίνει πολύ μεγάλη συμβαίνει διάσπαση στην επαφή συλλέκτη - βάσης εξαιτίας της υπερβολικής τάσης. (άμεση διάσπαση).

Για κάθε τρανζίστορ δίνονται οι παρακάτω προδιαγραφές:

- Μέγιστη ισχύς  $P_{D\max}$
- Μέγιστη τάση συλλέκτη εκπομπού  $V_{CE\max}$
- Μέγιστο ρεύμα συλλέκτη  $I_{C\max}$

Για τη συνδεσμολογία κοινού εκπομπού ισχύει:  $P_D = V_{CE}I_C$

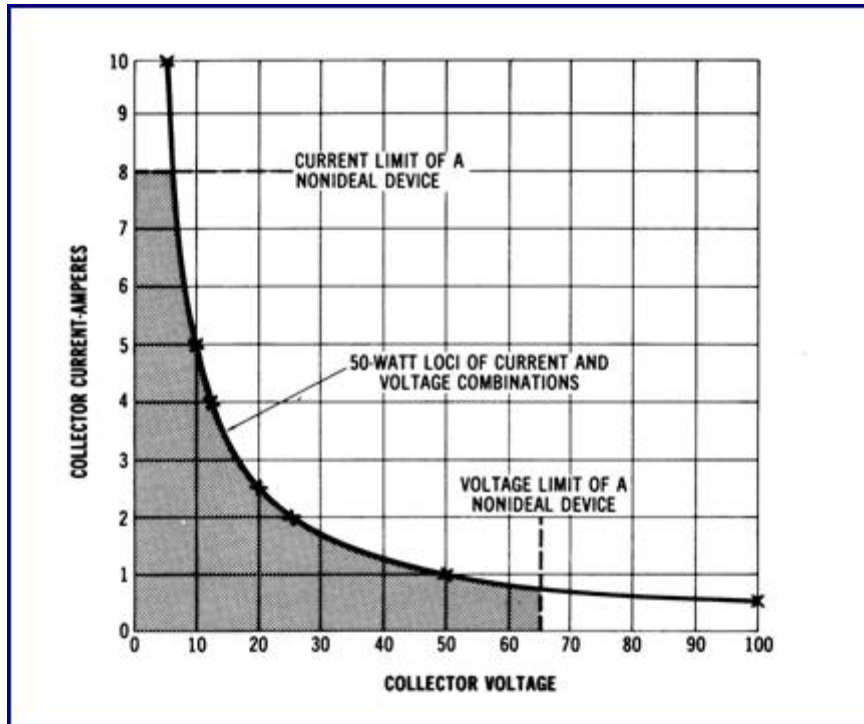
Η καμπύλη (υπερβολή) που ορίζεται από τη εξίσωση αυτή για διάφορους συνδυασμούς των  $V_{CE}$  και  $I_C$  για ισχύ  $P_{D\max} = 50W$  εμφανίζεται στο Σχήμα 1.

Μαθηματικά αυτή η καμπύλη περιγράφεται από την εξίσωση  $V_{CE}I_C = 50W$ . Ένα ενδιαφέρον και χρήσιμο χαρακτηριστικό της υπερβολικής συνάρτησης είναι ότι γίνεται ευθεία με κλίση  $-1$  ( $45^\circ$ ), όταν απεικονίζεται σε λογαριθμικό (log-log) χαρτί. Σχήμα 2.

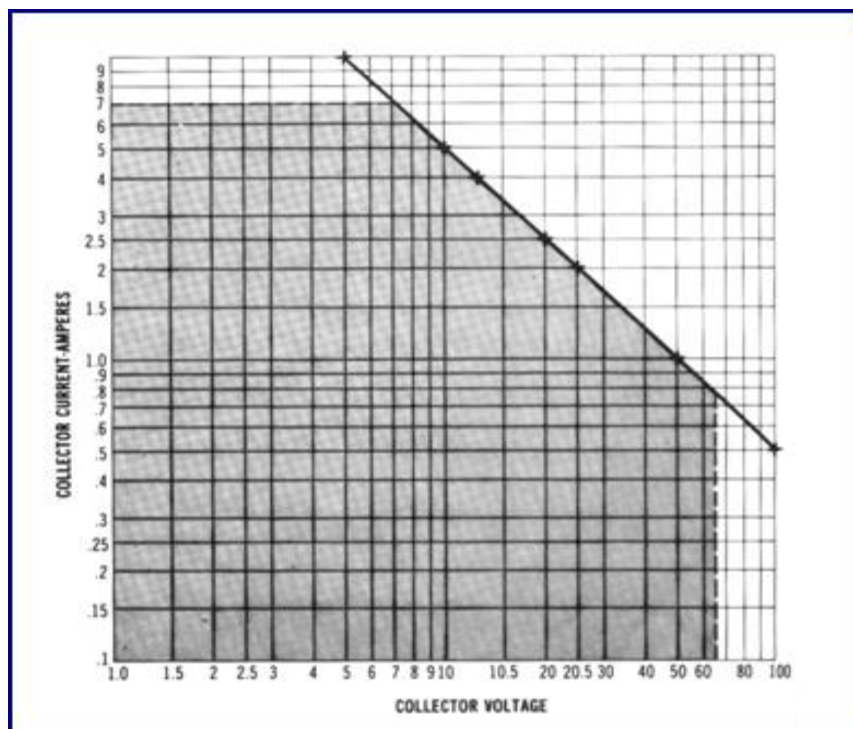
---

<sup>1</sup> Βιβλιογραφία (12)





Σχήμα 1: Καμπύλη μέγιστης ισχύος



Σχήμα 2: Καμπύλη μέγιστης ισχύος

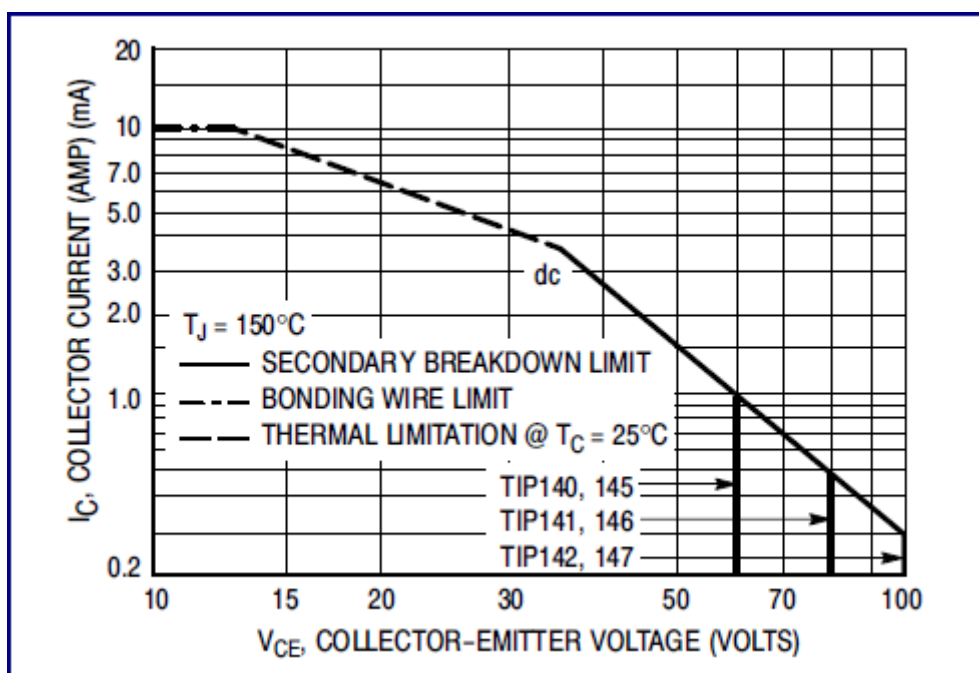
Η παραπάνω καμπύλη δεν εξασφαλίζει την ασφαλή λειτουργία του τρανζίστορ.

Η δευτερογενής διάσπαση, ένα θερμικό φαινόμενο σε υψηλά ρεύματα συλλέκτη που προκαλείται από ηλεκτρική και θερμική αστάθεια, πρέπει να

συμπεριληφθεί και έτσι προστίθεται ένας επιπλέον περιορισμός στο γράφημα του Σχήμα 2.

Προκύπτει λοιπόν η χαρακτηριστική που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3 και ονομάζεται καμπύλη ασφαλούς λειτουργίας (Safe Operating Area). Η συγκεκριμένη καμπύλη αναφέρεται στο τρανζίστορ TIP142.

Στο σχήμα αυτό υπάρχουν τώρα τέσσερα όρια (περιοχές) που εισάγονται για το ρεύμα, την τάση και τους συνδυασμούς των δύο. Οι επιπλέον περιορισμοί της SOA προστατεύουν από την πιθανότητα να συμβεί δευτερογενής διάσπαση του τρανζίστορ.



Σχήμα 3: Καμπύλη ασφαλούς λειτουργίας

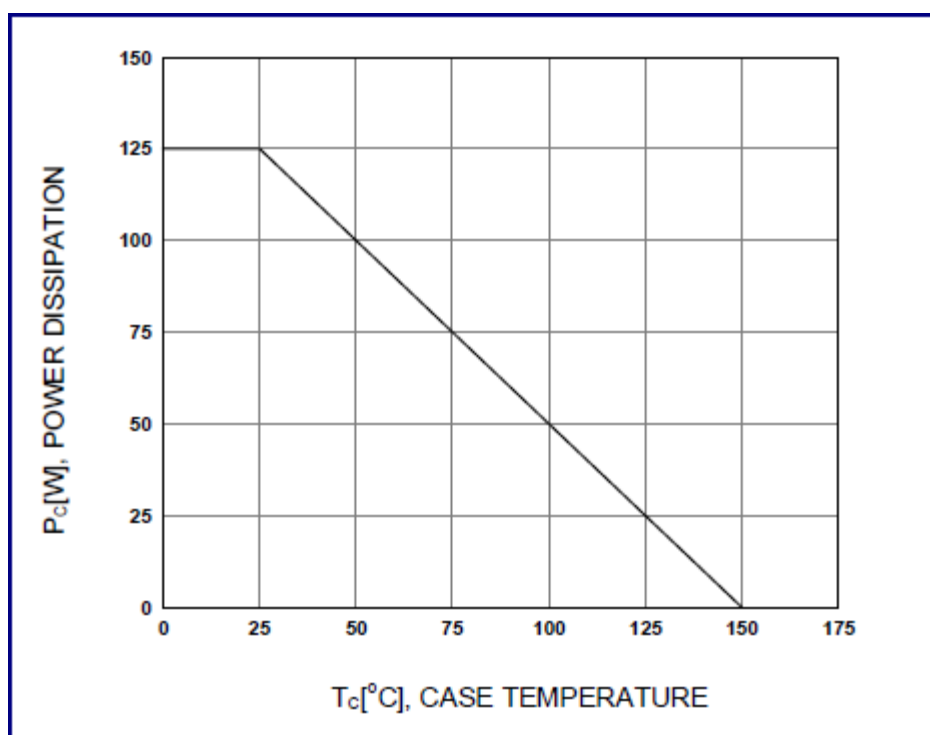
- Το πάνω οριζόντιο τμήμα, ( $I_{Cmax}$ ) δηλώνει το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό κανονικές συνθήκες και το οποίο συνήθως περιορίζεται από την ικανότητα αγωγής ρεύματος των αγωγών.
- Το επόμενο τμήμα με κλίση -1, είναι το τμήμα σταθερής θερμικής απώλειας ή μέγιστης ισχύος. Δείχνει τη μέγιστη ισχύ απωλειών που επιτρέπεται να αναπτυχθεί στο τρανζίστορ.
- Το επόμενο μικρό τμήμα αντιστοιχεί στο φαινόμενο της δευτερογενούς διάσπασης και περιορίζει τη μέγιστη ισχύ απωλειών του τρανζίστορ.

- Το τέταρτο τμήμα είναι το όριο εξαιτίας της  $V_{CE0}$  και είναι η τάση διάσπασης συλλέκτη- εκπομπού με ανοικτή βάση.

Τα όρια της καμπύλης SOA εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και επομένως πρέπει να περιορίζονται ακόμα περισσότερο, ανάλογα με την αύξησή της.

Η καμπύλη SOA του προηγούμενου σχήματος αναφέρεται στην θερμοκρασία επαφής ημιαγωγού  $T_J = 150^\circ\text{C}$ .

Έτσι, για το τρανζίστορ TIP142 δίνεται το διάγραμμα αναπροσαρμογής ή υποβιβασμού ισχύος (Power Derating) σύμφωνα με την θερμοκρασία περιβλήματος του, Σχήμα 4. Ο ρυθμός μείωσης της ισχύος είναι  $1\text{W} / ^\circ\text{C}$ .



Σχήμα 4: διάγραμμα αναπροσαρμογής ισχύος

## 3.2 Θερμική απαγωγή στοιχείων

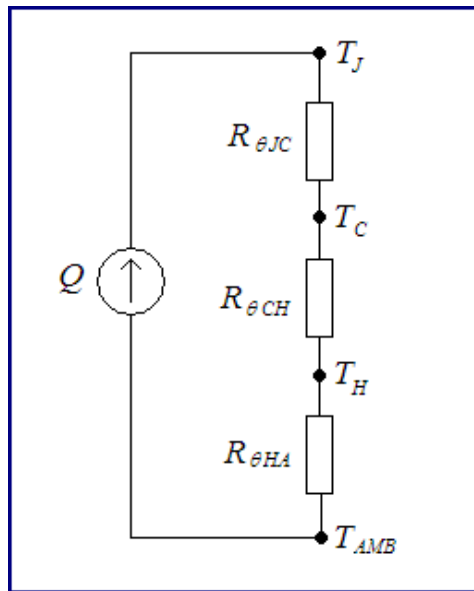
### 3.2.1 Θερμική αντίσταση

Η θερμική αντίσταση  $R_\theta$ , είναι η αντίσταση στη ροή της θερμότητας που παρουσιάζει ένα σώμα ή μια κατασκευή. Σε ένα σύστημα που καταναλώνει ισχύ  $Q$ , προκαλεί θερμοκρασιακή διαφορά  $\Delta T$  που αναπτύσσεται μεταξύ δύο σημείων. Μετράται σε  $^\circ\text{C}/\text{W}$ .

$$R_{\theta} = \Delta T/Q$$

Η θερμική αντίσταση είναι το αντίστροφο της θερμικής αγωγιμότητας.

Στο Σχήμα 1, απεικονίζεται το ισοδύναμο μοντέλο μιας κατασκευής όπου ένα τρανζίστορ είναι τοποθετημένο σε μία ψύκτρα.



Σχήμα 5: Ισοδύναμο κύκλωμα θερμικών αντιστάσεων

Όπου:

- Q: είναι η ισχύς που καταναλώνεται από το τρανζίστορ
- T<sub>J</sub>: είναι θερμοκρασία επαφής ημιαγωγού του τρανζίστορ
- T<sub>C</sub>: είναι θερμοκρασία περιβλήματος του τρανζίστορ
- T<sub>H</sub>: η θερμοκρασία ψήκτρας
- T<sub>AMB</sub>: η θερμοκρασία περιβάλλοντος
- R<sub>θJC</sub>: θερμική αντίσταση επαφής - περιβλήματος
- R<sub>θCH</sub>: θερμική αντίσταση περιβλήματος - ψήκτρας
- R<sub>θHA</sub>: θερμική αντίσταση ψήκτρας

Έστω ότι T<sub>J</sub> = 150 °C

$$T_{AMB} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$R_{\theta JC} = 1 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{\theta CH} = 0.3 \text{ }^{\circ}\text{C/W} \text{ με χρήση θερμοαγώγιμης κεραμικής πάστας}$$

$$R_{\theta HA} = 0.63 \times 0.3 = 0.189 \text{ }^{\circ}\text{C/W} \text{ με εξαναγκασμένη ψύξη}$$

Τότε θα ισχύει:

$$Q = (T_J - T_{AMB}) / (R_{\theta JC} + R_{\theta CH} + R_{\theta HA})$$

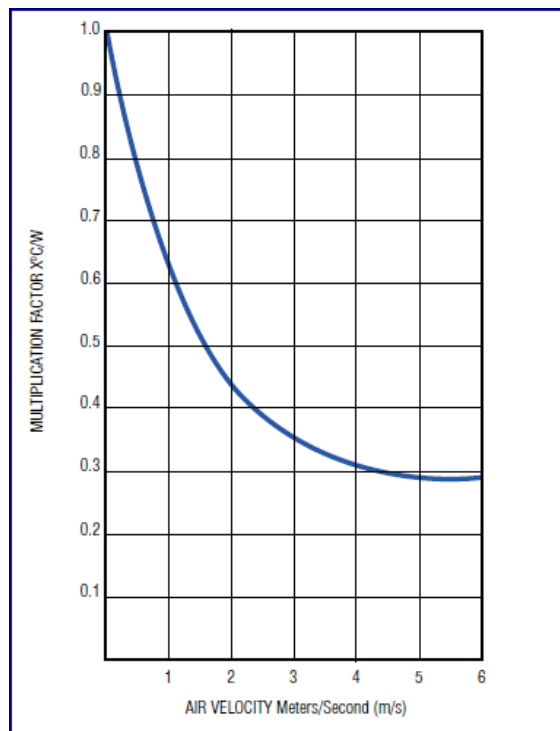
$$Q = (150 - 50) / (1 + 0.3 + 0.189) = 67,2W$$

Δηλαδή η μέγιστη ισχύς που το τρανζίστορ μπορεί να καταναλώσει είναι 67 W.

Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στο παράδειγμα αυτό είναι οι πραγματικές τιμές της μονάδας του φορτίου.

### 3.2.2 Εξαναγκασμένη ψύξη

Στο παρακάτω Σχήμα 6 απεικονίζεται σε γράφημα ο συντελεστής μείωσης της θερμικής αντίστασης ψήκτρας 173AB2000B ABL HEATSINKS η οποία ψύχεται εξαναγκασμένα, με την χρήση ανεμιστήρα. Ο συντελεστής διόρθωσης είναι συναρτήσεως της ταχύτητας του αέρα που απάγει την θερμότητα της ψήκτρας.



Σχήμα 6: Συντελεστής θερμικής αντίστασης ψήκτρας

Για παράδειγμα, ο ανεμιστήρας 4182 NX της ebm – papst που χρησιμοποιείται για την ψύξη του φορτίου, δίνει ροή αέρα  $Q = 180m^3/h$ . Αν αυτή η ροή περνάει από ένα άνοιγμα επιφανείας  $A = 10 \times 10 \text{ cm}$ , τότε η ταχύτητα αέρα  $v$ , δίνεται από τον τύπο :

$$v = Q / A$$

με επίλυση προκύπτει  $v = 5\text{m/sec}$ .

Από το γράφημα ο συντελεστής για την δεδομένη ταχύτητα είναι πρακτικά 0.3. Άρα η θερμική αντίσταση της ψύκτρας, από  $0.63\text{ }^\circ\text{C/W}$  διορθώνεται σε  $0.63 \times 0.3 = 0.189\text{ }^\circ\text{C/W}$  με εξαναγκασμένη ψύξη.

### 3.3 Τρόποι παρεμβολής από θόρυβο

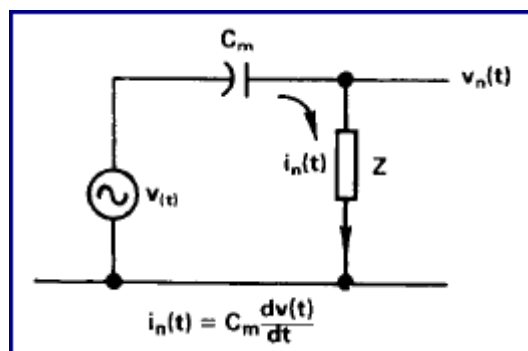
Ο θόρυβος ανάλογα με τον τρόπο που παρεμβάλλει ένα κύκλωμα, μπορεί να καταταχτεί στα 3 παρακάτω κύρια είδη<sup>2</sup>:

1. Χωρητικής σύζευξης θόρυβος
2. Επαγωγικής σύζευξης θόρυβος
3. Κοινής εμπέδησης σύζευξης θόρυβος

#### 3.3.1 Θόρυβος Χωρητικής σύζευξης

Στο Σχήμα 7, απεικονίζεται ο τρόπος με τον οποίο δύο κυκλώματα συζευγνύονται μέσω ηλεκτρικού πεδίου και παρασιτικής χωρητικότητας.

Στη χωρητική σύζευξη, μια μεταβολή της τάσης  $\frac{dv}{dt}$  της πηγής θορύβου προκαλεί μεταβολή στο ηλεκτρικό πεδίο, και μέσω παρασιτικής χωρητικότητας  $C_m$  που υπάρχει μεταξύ δύο κυκλωμάτων, δημιουργεί ένα ρεύμα  $i_n$ . Αυτό μέσω της  $Z$  μετατρέπεται σε τάση θορύβου  $V_n$ .



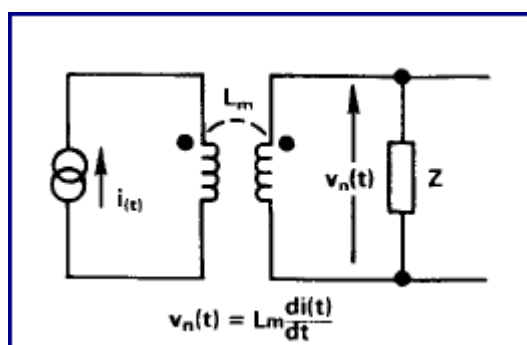
Σχήμα 7:Χωρητική σύζευξη

<sup>2</sup>Βιβλιογραφία (4) (3) (2) (5)

### 3.3.2 Θόρυβος Επαγωγικής σύζευξης

Στο Σχήμα 8 απεικονίζεται ο τρόπος με τον οποίο δύο κυκλώματα συζευγνύονται μέσω μαγνητικού πεδίου και παρασιτικής αμοιβαίας αυτεπαγωγής.

Στην επαγωγική σύζευξη, μια μεταβολή του ρεύματος  $\frac{di}{dt}$  του κυκλώματος που αποτελεί την πηγή θορύβου προκαλεί μεταβολή στο μαγνητικό πεδίο, και μέσω της παρασιτικής αυτεπαγωγής  $L_m$  των δυο κυκλωμάτων, αναπτύσσεται τάση θορύβου  $V_n$  στο δευτερο κύκλωμα.

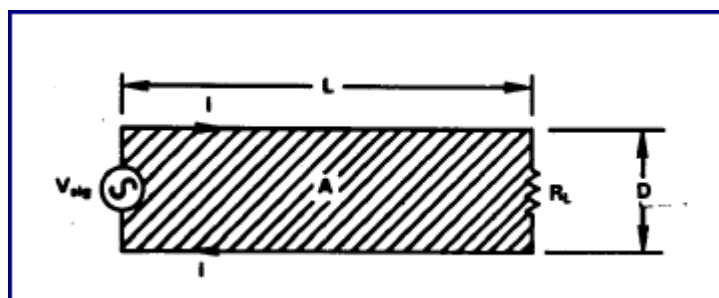


Σχήμα 8: Μαγνητική σύζευξη

Στο Σχήμα 9 παραστατικά φαίνεται η πηγή ενός ημιτονοειδούς σήματος με συνδεδεμένο το φορτίο του, μέσω δυο αγωγών μήκους  $L$  και με απόσταση μεταξύ τους  $D$ . Ο κλειστός αυτός βρόγχος εμβαδού  $A$  βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο  $B$  υπο γωνία  $\theta$ . Τότε πάνω στους αγωγούς θα προστεθεί μια τάση εξ' επαγωγής :

$$V_n = \omega B A \cos\theta \times 10^{-8}$$

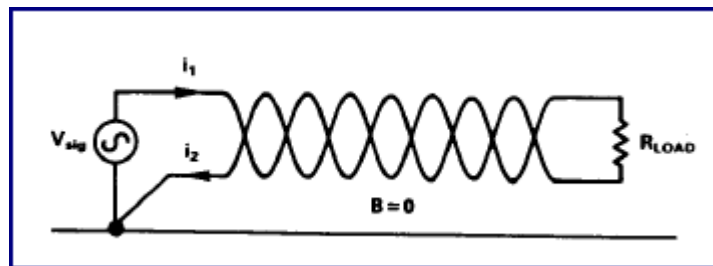
Η εξίσωση μας λέει ότι η επαγόμενη τάση είναι ανάλογη της περιοχής  $A$  και του συνημιτόμου της γωνίας  $\theta$ , δύο συντελεστές που εύκολα μπορούν να ληφθούν υπ' όψιν στον σχεδιασμό κυκλωμάτων.



Σχήμα 9: Η περιοχή μαγνητικής σύζευξης

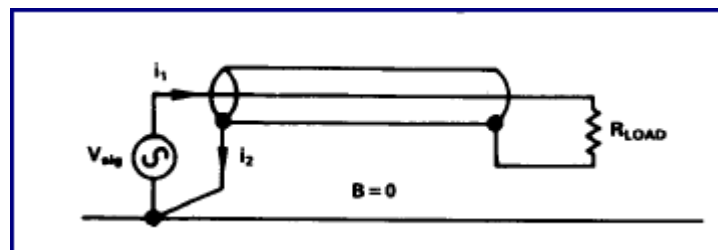
Κοινή μέθοδος για τη μείωση της επαγόμενης περιοχής  $A$  είναι η χρήση συνεστραμμένου ζεύγους αγωγών στην περίπτωση σύνδεσης με δύο αγωγούς.

Το συνεστραμμένο ζεύγος πρέπει να χρησιμοποιείται και στην μεταφορά ισχυρών ρευμάτων που αποτελούν πηγή μαγνητικού πεδίου. Το μαγνητικό πεδίο αλληλοεξουδετερώνεται σε κάθε επανάληψη του κύκλου αρκεί το ρεύμα σε κάθε αγωγό να είναι το ίδιο. Σχήμα 10.



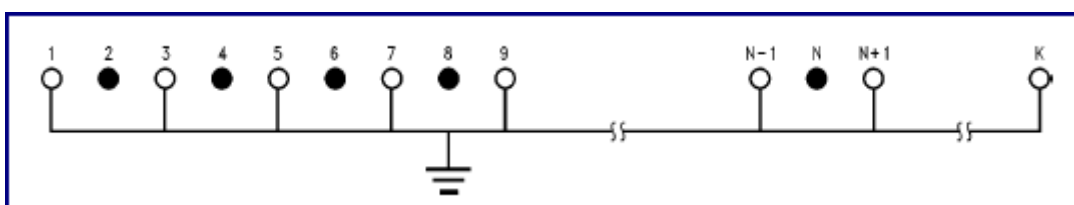
Σχήμα 10: Συνεστραμμένο ζεύγος αγωγών

Αλληλεξουδετέρωση του μαγνητικού πεδίου λόγω της γεωμετρίας του προκαλεί και το ομοαξονικό καλώδιο όταν χρησιμοποιείται για την μεταφορά ισχυρών ρευμάτων, Σχήμα 11, με την προϋπόθεση το ρεύμα να είναι το ίδιο στον κεντρικό αγωγό και στο πλέγμα.



Σχήμα 11: Ομοαξονικό καλώδιο

Στην περίπτωση όπου απαιτείται η διασύνδεση πολλών αγωγών με χρήση καλωδιοταινίας, η σύνδεση του κοινού σήματος επιστροφής σε ένα παρά ένα αγωγό είναι η ενδεδειγμένη όπως φαίνεται στο Σχήμα 12. Έτσι μειώνεται το εμβαδού  $A$  του κλειστού βρόγχου.



Σχήμα 12: Σύνδεση εναλλάξ κοινού σήματος επιστροφής και σημάτων σε καλωδιοταινία

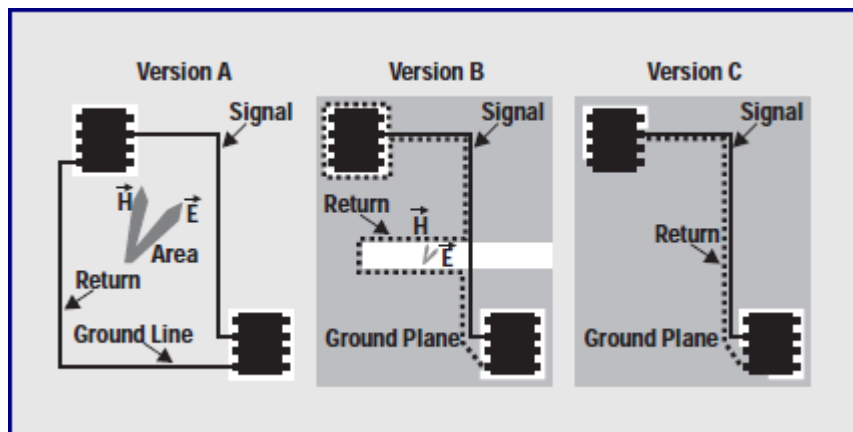


Στον σχεδιασμό τυπωμένων κυκλωμάτων η ελαχιστοποίηση της επιφάνειας του κλειστού βρόγχου ρευμάτων επιτυγχάνεται με τη χρήση μεγάλης επιφάνειας χαλκού ως σημείο γης (ground plane).

Στο Σχήμα 13 γίνεται σύγκριση τριών σχεδιασμών<sup>3</sup>. Στον πρώτο υπάρχει μεγάλος βρόγχος που σχηματίζεται από το σήμα και την επιστροφή του, κατά συνέπεια το ηλεκτρικό πεδίο  $E$ , και μαγνητικό πεδίο  $H$ , να είναι μεγάλα.

Στον δεύτερο σχεδιασμό γίνεται χρήση ground plane, με εγκοπή, μέθοδος απαραίτητη σε κυκλώματα μικτών σημάτων, όπου πρέπει να απομονωθούν ψηφιακά και αναλογικά κυκλώματα. Εδώ το σήμα επειδή δεν οδηγείται πάνω από την περιοχή ένωσης των μεγάλων επιφανειών, δημιουργείται και πάλι ένα αλλά μικρότερο ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο.

Ο τρίτος σχεδιασμός είναι ο ιδανικός επειδή ο βρόγχος είναι ελαχιστοποιημένος.



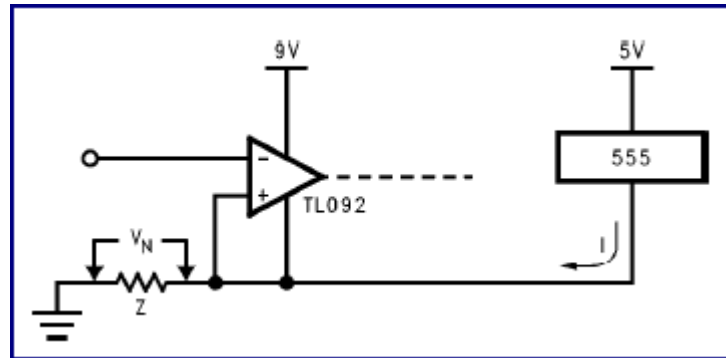
Σχήμα 13: Σχεδιασμός χωρίς και με ground plane

### 3.3.3 Κοινής εμπέδησης σύζευξης θόρυβος

Στον θόρυβο με σύζευξη κοινής εμπέδησης, δυο κυκλώματα χρησιμοποιούν μια κοινή γραμμή στην οποία αναπτύσσεται τάση πάνω της εξ αιτίας της εμπέδησης της και του ρεύματος που το ένα κύκλωμα διαρρέει. Έτσι αυτή η τάση εμφανίζεται στο άλλο κύκλωμα.

Ένα παράδειγμα απεικονίζεται στο Σχήμα 14, όπου το ρεύμα  $I$  του χρονιστή αναπτύσσει τάση  $V_n = I \times Z$ . Αυτή η τάση εμφανίζεται στην είσοδο του τελεστικού προστιθέμενη στο σήμα εισόδου.

<sup>3</sup>Βιβλιογραφία (10)



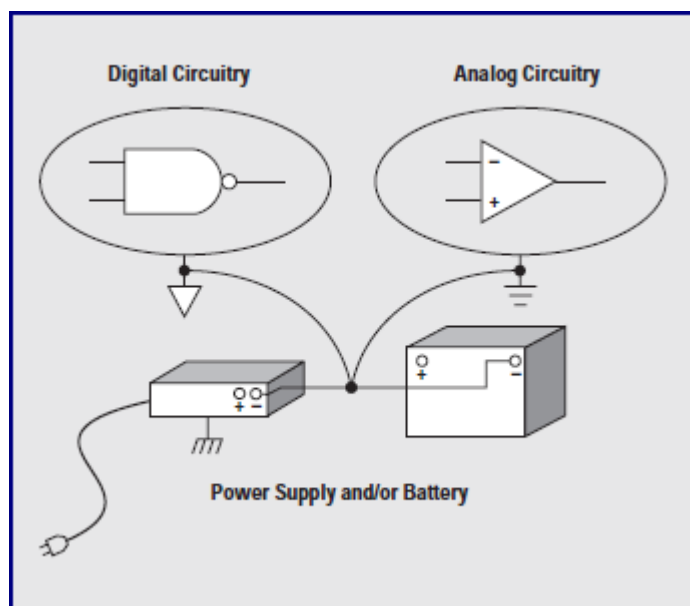
Σχήμα 14: Σόζευξη κοινής εμπέδησης

Εδώ φαίνεται άλλο ένα πλεονέκτημα του παραπάνω τρόπου σύνδεσης στο Σχήμα 12, όπου επιτυγχάνεται η ελάχιστη δυνατή αντίσταση με τον παραλληλισμό πολλών αγωγών στο κοινό σήμα επιστροφής.

Κατά τον σχεδιασμό τυπωμένων κυκλωμάτων πρέπει να επιτυγχάνεται η μικρότερη δυνατή εμπέδηση του αγωγού που είναι κοινός στα δύο κυκλώματα. Τις περισσότερες φορές αυτός είναι η γη. Η καλύτερη μέθοδος είναι και πάλι η χρήση μεγάλης επιφάνειας χαλκού ως το σημείο της γης (ground plane).

Στην διασύνδεση μικτών κυκλωμάτων, Σχήμα 15, πρέπει να υπάρχει ένα κοινό σημείο γης<sup>4</sup>, έτσι ώστε αφενός να αποφεύγεται η μετάδοση θορύβου λόγω κοινής εμπέδησης από το ένα κύκλωμα στο άλλο, και αφετέρου, να μην δημιουργούνται κλειστοί βρόγχοι γείωσης που μπορεί να επάγουν θόρυβο, (παράγραφος 3.3.2).

<sup>4</sup> Βιβλιογραφία (10)



Σχήμα 15: Κοινό σημείο σύνδεσης της γης

### 3.3.4 Κρουστικός θόρυβος γραμμής τροφοδοσίας

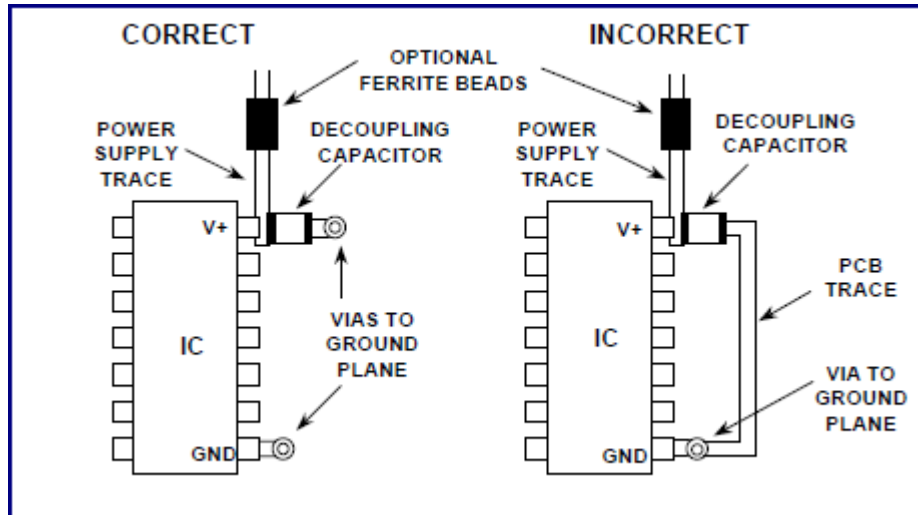
Όταν η τάση εξόδου ενός κυκλώματος πρέπει να μεταβληθεί σε μικρό χρόνο, και τέτοια κυκλώματα είναι τα ψηφιακά, τότε η έξοδος αυτή πρέπει να φορτίσει τουλάχιστον τις παρασιτικές χωρητικότητες των συνδεδεμένων κυκλωμάτων. Αυτή η απαίτηση προκαλεί μια κρουστική βύθιση στην τάση τροφοδοσίας, εξαιτίας του ρεύματος που απαιτείται.

Αν δεν τοποθετηθεί στον ακροδέκτη τροφοδοσίας πυκνωτής παράκαμψης (bypass) με χαμηλή εσωτερική αντίσταση (ESR) και χαμηλή εσωτερική αυτεπαγωγή (ESL), ο θόρυβος θα μεταδοθεί μέσω της γραμμής τροφοδοσίας σε άλλα κυκλώματα που τροφοδοτούνται από αυτήν.

Εκτός αυτού, η μεταβολή  $\frac{dv}{dt}$  και  $\frac{di}{dt}$  προκαλεί χωρητική και επαγωγική σύζευξη θορύβου όπως αναπτύχθηκε στις παραγράφους 3.3.1 και 3.3.2

Ο πυκνωτής αυτός πρέπει να τοποθετηθεί έτσι ώστε, ο βρόγχος του ρεύματος να έχει το μικρότερο εμβαδόν<sup>5</sup>, Σχήμα 16.

<sup>5</sup> Βιβλιογραφία (9)



Σχήμα 16: Σωστή και λάθος τοποθέτηση του πυκνωτή

Αν δεν είναι γνωστό το ρεύμα που απαιτείται κατά την μετάβαση της τάσης εξόδου  $\frac{dv}{dt}$ , μπορεί να βρεθεί από την διαφορική εξίσωση του ρεύματος πυκνωτή:

$$i(t) = C \frac{dV}{dt}$$

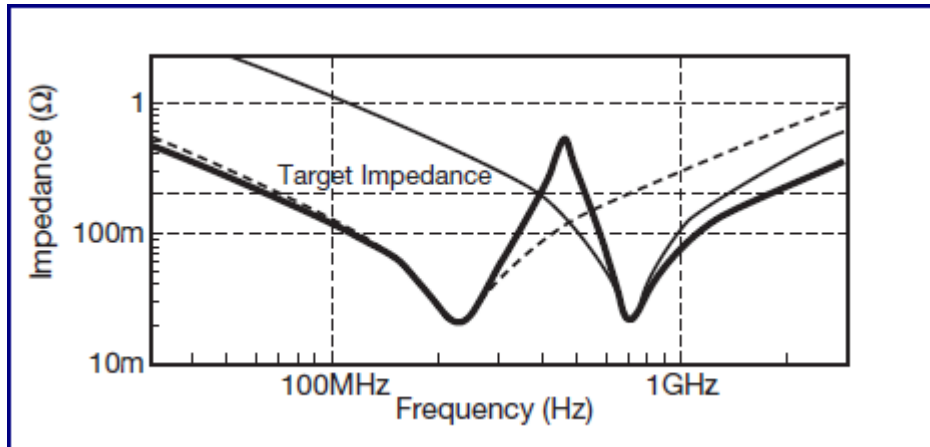
Όπου  $dV$  η μετάβαση της τάσης εξόδου,  $dt$  ο χρόνος ανόδου της τάσης εξόδου,  $C$  η παρασιτική χωρητικότητα εξόδου και συνδεδεμένων φορτίων. Επιλύοντας στη συνέχεια ως προς  $C$ , μπορούμε να βρούμε την απαιτούμενη χωρητικότητα του πυκνωτή παράκαμψης, έχοντας ως  $dV$  την επιτρεπόμενη βύθιση της τάσης τροφοδοσίας.<sup>6</sup>

Λόγω της παρασιτικής αυτεπαγωγής που έχει ο πυκνωτής, αν παραλληλιστούν δύο διαφορετικής χωρητικότητας πυκνωτές, θα υπάρχει ένα σημείο αιχμής της εμπέδησης<sup>7</sup>. Είναι το σημείο εκείνο που ο ένας πυκνωτής συμπεριφέρεται χωρητικά ενώ ο άλλος επαγωγικά. Αυτό συνιστά έναν παράλληλο κύκλωμα LC και συνεπώς στο συντονισμό η  $Z$  έχει το μέγιστο της. Σχήμα 17.

Στην πράξη είναι προτιμητέο να παραλληλίζονται πυκνωτές ίδιας χωρητικότητας, ή αν είναι απαραίτητο ως συνήθως να έχουν διαφορετική χωρητικότητα, τότε θα πρέπει να έχουν μικρή παρασιτική αυτεπαγωγή.

<sup>6</sup> Βιβλιογραφία (6) (8) (7)

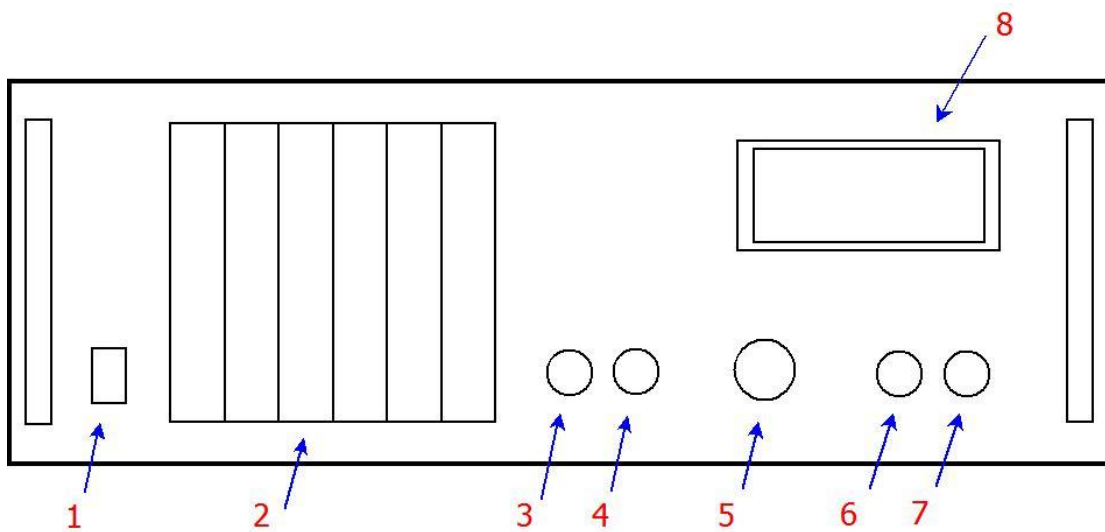
<sup>7</sup> Βιβλιογραφία(11) (12)



Σχήμα 17: Η εμπέδηση δύο παράλληλων πυκνωτών

## 4 Περιγραφή διάταξης

### 4.1 Απεικόνιση συσκευής



1. Διακόπτης τροφοδοσίας
2. Είσοδος εξαερισμού
3. Είσοδος φορτίου (-)
4. Είσοδος φορτίου (+)
5. Περιστροφικός encoder για ρύθμιση του Display-menu
6. Είσοδος εξωτερικής οδήγησης (-)
7. Είσοδος εξωτερικής οδήγησης (+)
8. Οθόνη

## 4.2 Προδιαγραφές συσκευής Φορτίου

### 1. Περιοχή λειτουργίας:

- Τάση εισόδου φορτίου: 2.5 - 60VDC
- Τάση εισόδου με ανάστροφη πολικότητα: 100V
- Ρεύμα εισόδου: 0 - 20A
- Ισχύς: 550 W @ 25 °C
- Στιγμιαία ισχύς: 1200 W
- Τάση εισόδου για οδήγηση από εξωτερική πηγή: 0 - 10VDC
- Ρεύμα φορτίου ανά τάση εισόδου εξωτερικής οδήγησης: 2A / V
- Μέγιστη συχνότητα απόκρισης εισόδου εξωτερικής οδήγησης: 1kHz.

### 2. Σενάρια λειτουργίας:

- Σταθερού ρεύματος
- Σταθερής αντίστασης
- Σταθερής ισχύος
- Λειτουργία από εξωτερική είσοδο

### 3. Περιοχές ρυθμίσεων

- Λειτουργία σταθερής αντίστασης:

Ελάχιστη αντίσταση ρύθμισης:

1 Ohm για τάση εισόδου  $V_{in}$  μέχρι 20 V

2 Ohm για τάση εισόδου  $V_{in}$  μέχρι 40V

3 Ohm για τάση εισόδου  $V_{in}$  μέχρι 60 V

Μέγιστη αντίσταση ρύθμισης: 1000 Ohm

- Λειτουργία σταθερού ρεύματος μέχρι 20 A:

Για τάση εισόδου ( $V_{in}$ ) μέχρι 20 V:  $I = V_{in} / 1 \text{ Ohm}$

Μέγιστο ρεύμα: 20 A

- Λειτουργία σταθερής ισχύος:

Για τάση εισόδου  $V_{in}$  μέχρι 20 V:  $P = V_{in}^2$   
Για τάση εισόδου  $V_{in}$  πάνω από 20V:  $P = V_{in} * 20 A$   
Μέγιστη στιγμιαία ισχύς: 1200 W @ 60 V

Η ισχύς περιορίζεται σύμφωνα με την αύξηση θερμοκρασίας λόγω της αυτόματης προσαρμογής ισχύος.

4. Ακρίβεια μετρήσεων μετατροπέα A/D: 16 bit
5. Συχνότητα δειγματοληψίας αναλογικών μετρήσεων: 8,33 Hz
6. Προστασίες συσκευής:
  - Αυτόματη προσαρμογή ισχύος (Power derating)
  - Αυτόματη οριοθέτηση των ρυθμίσεων
  - Προστασία ανεμιστήρα

#### 4.3 Προτεινόμενη μελλοντική αναβάθμιση λογισμικού

- Λειτουργία σταθερής τάσης
- MPP tracking φωτοβολταϊκού
- Offset Calibration
- Προτοποθέτηση ρυθμίσεων και ενεργοποίηση
- Επικοινωνία με σειριακή θύρα

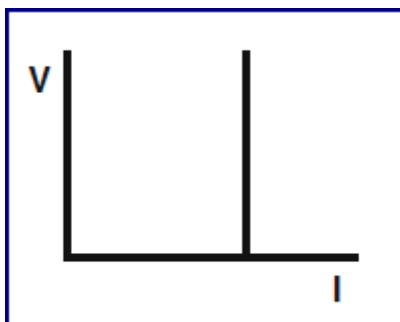
#### 4.4 Σενάρια Λειτουργίας (modes)

Η σχεδίαση τις μονάδας φορτίου είναι τέτοια ώστε να δίνει την δυνατότητα επιλογής μεταξύ τριών σεναρίων λειτουργίας, όπου για κάθε ένα από αυτά, η παράμετρος του ρεύματος ή η ισχύος ή η αντίσταση παραμένει σταθερή.

Ένας τέταρτος τρόπος λειτουργίας είναι η οδήγηση του φορτίου από εξωτερική τάση.

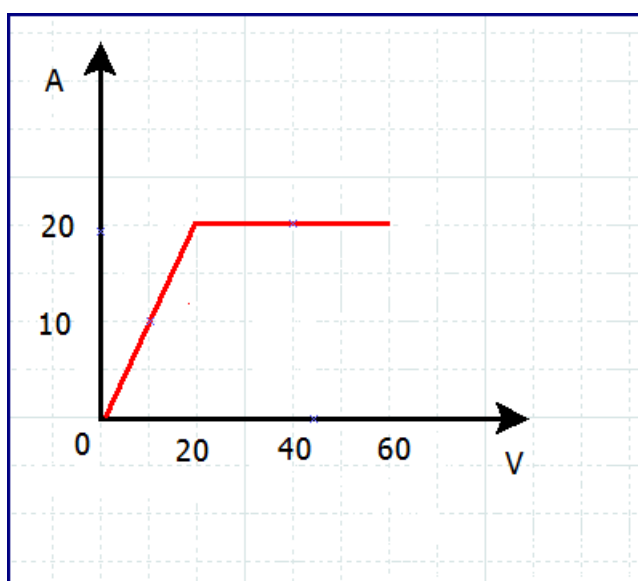
#### 4.4.1 Λειτουργία σταθερού ρεύματος (constant current)

Με αυτήν την λειτουργία το ρεύμα είναι σταθερό, ανεξάρτητα της τάσης που εφαρμόζεται στο φορτίο.



Η μέγιστη τιμή του ρεύματος είναι  $I = V_{in}/1 \text{ Ohm}$  για τάση εισόδου  $V_{in}$  μέχρι 20 V.

Για μεγαλύτερες τάσεις, το μέγιστο ρεύμα παραμένει στα 20 A. Σχήμα 18.



Σχήμα 18: μέγιστη τιμή του ρεύματος



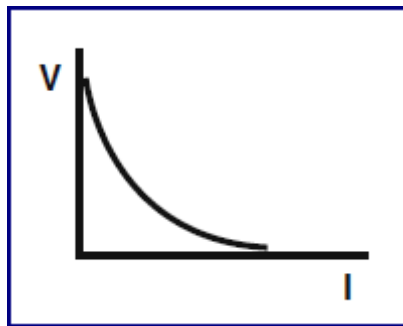
#### 4.4.2 Λειτουργία σταθερής ισχύος (constant power)

Σε αυτήν την λειτουργία το ρεύμα είναι τέτοιο ώστε όταν αυτό πολλαπλασιαστεί με την τάση εισόδου, να δίνει ένα σταθερό γινόμενο,  $P=IV$ , που θα αντιπροσωπεύει την ισχύ που έχουμε ορίσει.

Το μέγιστο ρεύμα είναι επίσης  $I = V_{in} / 1 \text{ Ohm}$  για τάση εισόδου  $V_{in}$  μέχρι 20 V. Δηλαδή η ισχύς είναι  $P = V_{in}^2$

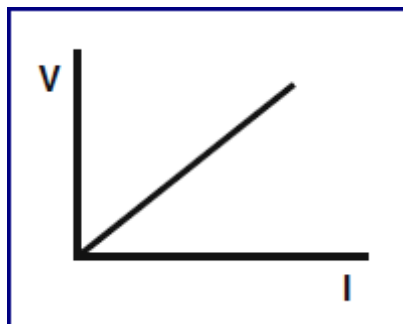
Για τάση εισόδου  $V_{in}$  πάνω από 20V η ισχύς είναι  $P = V_{in} * 20 \text{ A}$

Μέγιστη στιγμιαία ισχύς 1200 W στα 60 V



#### 4.4.3 Λειτουργία σταθερής αντίστασης (constant resistance)

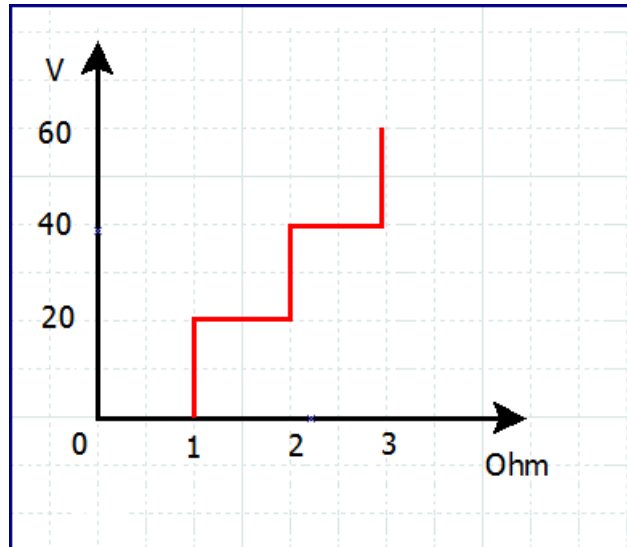
Όταν η μονάδα είναι σε αυτήν την λειτουργία το ρεύμα που διέρχεται από τους συλλέκτες των τρανζίστορ είναι ανάλογο της τάσης που επιβάλλεται στο φορτίο.



Η μέγιστη τιμή της αντίστασης που μπορούμε να ρυθμίσουμε είναι 1000 Ohm.

Η ελάχιστες τιμές της αντίστασης εξαρτώνται από την τάση εισόδου, και είναι:

- 1 Ohm για τάση εισόδου μέχρι 20 V
- 2 Ohm για τάση εισόδου μέχρι 40V
- 3 Ohm για τάση εισόδου μέχρι 60V



Σχήμα 19: Ελάχιστες τιμές αντίστασης

#### 4.4.4 Λειτουργία με εξωτερική οδήγηση

Η μονάδα του φορτίου έχει την δυνατότητα να οδηγηθεί απευθείας από μια εξωτερική DC τάση με την αντιστοιχία  $2 \text{ A} / \text{V}$ . Συνεπώς αν εφαρμόσουμε τάση 0-10 V, από το φορτίο θα περάσει ρεύμα 0-20A.

### 4.5 Τρόπος ελέγχου / Χειρισμός

#### 4.5.1 Οδηγίες χρήσης της συσκευής

- Το ηλεκτρικό σημείο αναφοράς (GND) της συσκευής είναι ελεύθερο (float). Αυτό σημαίνει ότι ο ακροδέκτης πλην (-) της εισόδου του φορτίου δεν είναι συνδεδεμένος με τη γη του δικτύου ΔΕΗ.
- Ο ακροδέκτης (-) της εισόδου του φορτίου και ο ακροδέκτης (-) της εισόδου εξωτερικής οδήγησης είναι συνδεδεμένοι ηλεκτρικά και είναι το κοινό σημείο αναφοράς της συσκευής.

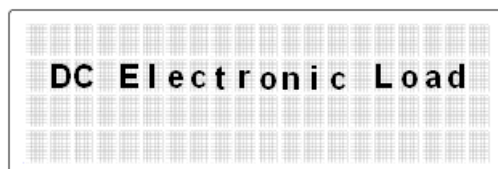
- Για να αποφύγουμε τις απώλειες απαγωγής θερμότητας τα τρανζίστορ είναι αρμοσμένα απευθείας πάνω στην ψήκτρα. Για το λόγο αυτό ο ανεμιστήρας, και η ψήκτρα βρίσκονται υπό την εκάστοτε τάση εισόδου.
- Για την απενεργοποίηση της συσκευής συστήνεται να απενεργοποιείται εφόσον η θερμοκρασία της ψήκτρας έχει πρώτα ελαττωθεί κάτω από 40 °C. Έτσι ο ανεμιστήρας θα παραμένει σε λειτουργία μέχρι να κατέβει η θερμοκρασία (Σταδιακή ελάττωση φορτίου και τελικά απενεργοποίηση).
- Η είσοδος και η έξοδος του εξαερισμού πρέπει να είναι πάντοτε ελεύθερες για να υπάρχει ροή αέρα.
- Πρέπει να προσέξουμε την πολικότητα της σύνδεσης του φορτίου και τη μέγιστη τιμή της τάσης.

#### 4.5.2 Περιορισμοί

- Μέγιστη τάση εισόδου φορτίου για κανονική λειτουργία 60 V .
- Μέγιστο ρεύμα φορτίου 20 A.
- Σύνδεση τάσης εισόδου με ανάστροφη πολικότητα μέγιστης τάσης 100V.

#### 4.5.3 Χειρισμός της συσκευής

Μετά την ενεργοποίηση της συσκευής, το μήνυμα που εμφανίζεται στην οθόνη είναι το παρακάτω:



Μετά καλούμαστε να επιλέξουμε τρόπο λειτουργίας του φορτίου (mode), απλά περιστρέφοντας τον encoder προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, αφού οι επιλογές επαναλαμβάνονται κυκλικά.

Πιέζοντας το ενσωματωμένο pushbutton, επιλέγουμε τη λειτουργία που θέλουμε.

```
select
mode:  Constant
      Current
```

Αμέσως μετά απεικονίζονται οι μετρήσεις της τάσεως, του ρεύματος, της ισχύος, της αντίστασης, της ενέργειας και δεξιά πάνω της θερμοκρασίας της ψήκτρας.

Κάτω δεξιά είναι η επιθυμητή τιμή που εμείς επιλέγουμε να έχει το ρεύμα, η ισχύς ή η αντίσταση. Με αυτόν τον τρόπο, βλέπουμε κάθε στιγμή την ακρίβεια προσέγγισης της επιθυμητής (set) με την πραγματική τιμή. Η αυτόματη οριοθέτηση των ρυθμίσεων μεταβάλλει ανάλογα τη ρύθμιση set εάν ξεπεραστούν με τα μέγιστα όρια λειτουργίας.

```
V: 00.000 V      25 °C
C▶ 00.000 A
P: 00.000 W  00.000kWh
R:  cϖ  kΩ  set ▶00000
```

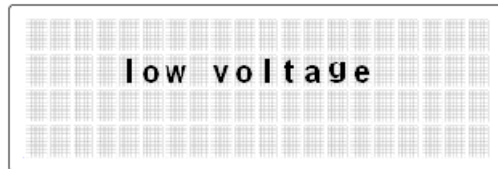
Για κάθε mode, η θέση του κέρσορα υποδηλώνει σε ποια λειτουργία βρισκόμαστε.

Αν βρισκόμαστε σε λειτουργία εξωτερικής οδήγησης δεν τυπώνεται ο κέρσορας και η ένδειξη set. Στην θέση της εμφανίζεται η ένδειξη Ext ON. Αν αυτόματα έχει απενεργοποιηθεί η είσοδος, θα εμφανίζεται η λέξη OFF.

Πάνω δεξιά εμφανίζεται η ένδειξη θερμοκρασίας. Αυτή η τιμή είναι η μέγιστη μεταξύ των 2 αισθητηρίων θερμοκρασίας, ένα για κάθε πλευρά της ψύκτρας.

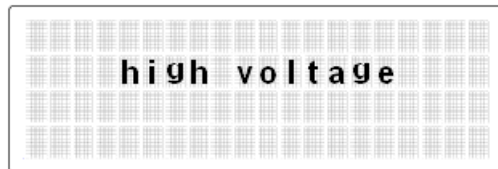
#### 4.5.4 Μηνύματα προειδοποίησης

Εάν η τάση στην είσοδο του φορτίου πέσει κάτω από τα 2.5V, τότε εμφανίζεται το παρακάτω μήνυμα



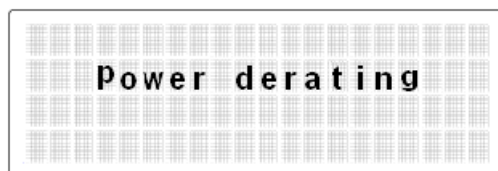
low voltage

Εάν η τάση υπερβαίνει τα 60V, εμφανίζεται διαρκώς το ακόλουθο μήνυμα:



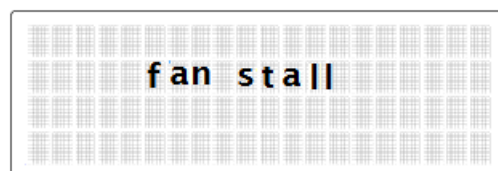
high voltage

Στην περίπτωση που η θερμοκρασία της ψύκτρας υπερβαίνει τους 50 βαθμούς κελσίου, τότε αρχίζει η αναπροσαρμογή της μέγιστης επιτρεπόμενης καταναλισκόμενης ισχύος. Εάν η ισχύς που καταναλώνεται εκείνη τη στιγμή υπερβαίνει αυτή την μέγιστη επιτρεπόμενη, τότε η ισχύς αναπροσαρμόζεται ανάλογα, και το ακόλουθο μήνυμα εμφανίζεται:



Power derating

Στην περίπτωση που ανιχνευθεί ρεύμα ανεμιστήρα μεγαλύτερο από το κανονικό, θα εμφανιστεί το παρακάτω μήνυμα, και η τροφοδοσία του ανεμιστήρα θα διακοπεί προσωρινά



fan stall

Κάθε φορά που εμφανίζεται ένα μήνυμα ακούγεται και ένα ηχητικό σήμα.

## 4.6 Ασφάλεια και μηχανισμοί προστασίας συσκευής

### 4.6.1 Αυτόματη προσαρμογή ισχύος (Power derating)

Η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς προσαρμόζεται σύμφωνα με τη θερμοκρασία τις ψύκτρας για την περιοχή 50 -75 βαθμών γραμμικά με τον ρυθμό 48W/ °C. Έτσι η μέγιστη ισχύς στους 50 °C είναι 1200W και 0W στους 75 °C.

Με δεδομένα την ισχύ, την θερμική αντίσταση επαφής και την θερμοκρασία ψύκτρας, υπολογίσουμε τη θερμοκρασία περιβλήματος  $T_{\theta C}$ .

$Q = 50W$  για ένα από τα 24 τρανζίστορ

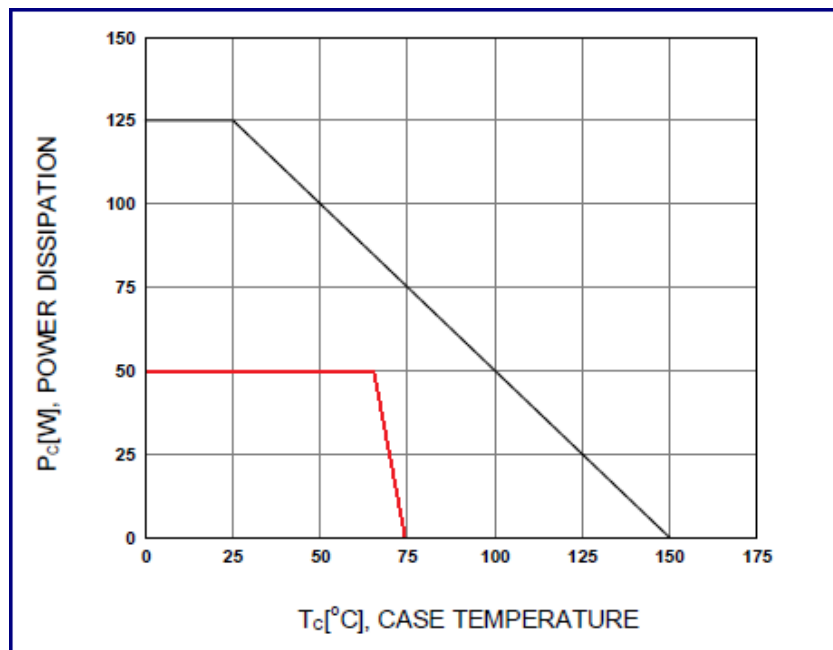
$R_{\theta JC} = 1 \text{ } ^\circ C/W$

$R_{\theta CH} = 0.3 \text{ } ^\circ C/W$

$T_{\theta H} = 50 \text{ } ^\circ C$

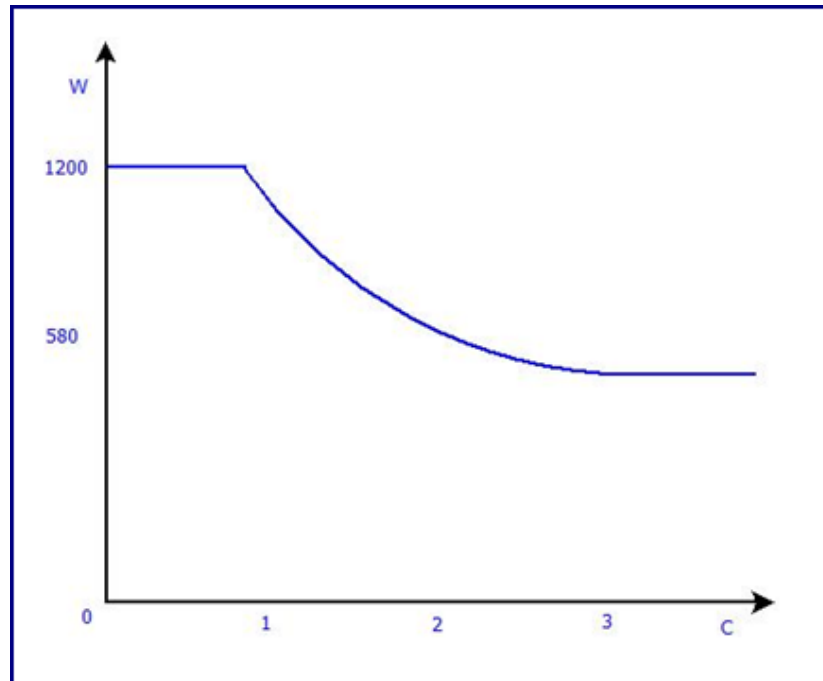
$$T_{\theta C} = Q \times R_{\theta CH} + T_{\theta H} = 50 \times 0.3 + 50 = 65 \text{ } ^\circ C$$

Οπότε βλέπουμε στο Σχήμα 20 ότι η ισχύς έχει περιοριστεί σε ασφαλή όρια λειτουργίας, έτσι ώστε να μην ξεπεράσει την μέγιστη ισχύ που δίνει ο κατασκευαστής.



Σχήμα 20: Περιορισμός ισχύος τρανζίστορ

Μέτρηση σε πραγματικές συνθήκες έδειξε ότι ρυθμίζοντας το φορτίο αρχικά σε μέγιστη ισχύ, μετά από περίπου ένα λεπτό αρχίζει η διαδικασία προσαρμογής ισχύος, και γίνεται σταθεροποίηση στα 580W μετά από 3 περίπου λεπτά, με τη θερμοκρασία της ψύκτρας στους 62 °C. Οι θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 27 °C



Σχήμα 21: Προσαρμογή ισχύος φορτίου

#### 4.6.2 Αυτόματη οριοθέτηση των ρυθμίσεων

Η αυτόματη οριοθέτηση της ρύθμισης γίνεται σύμφωνα με τις τιμές που αναφέραμε στο κεφάλαιο 4.4

Στην περίπτωση που το φορτίο οδηγείται από την εξωτερική πηγή τάσης, και ενεργοποιηθεί η διαδικασία προσαρμογής ισχύος, τότε απενεργοποιείται η είσοδος οδήγησης.

#### 4.6.3 Προστασία ανεμιστήρα.

Το ρεύμα λειτουργίας του ανεμιστήρα παρακολουθείται από ένα κύκλωμα συγκριτή - ολοκληρωτή έτσι ώστε να ανιχνεύεται δυσλειτουργία και να περιορίζεται το ρεύμα σε ασφαλή όρια.

Ο μικροελεγκτής ενημερώνεται για την δυσλειτουργία που μπορεί να οφείλεται σε κόλλημα του ανεμιστήρα κατά την εκκίνηση.

Τότε θα σταματήσει την οδήγηση του ανεμιστήρα και θα ξαναπροσπαθήσει στο επόμενο δείγμα θερμοκρασίας. Εάν η κατάσταση αυτή επαναληφθεί τότε αρχικοποιείται η ρύθμιση ρεύματος, ισχύος ή αντίστασης ανάλογα με την λειτουργία που βρισκόμαστε.

Εάν βρισκόμαστε σε λειτουργία εξωτερικής οδήγησης τότε αυτή απενεργοποιείται.

Παρόλα αυτά ο ανεμιστήρας θα επανεκκινήσει συνολικά 5 φορές.

Υπάρχει μια δεύτερη προστασία έναντι βραχυκυκλώματος που μας εξασφαλίζει ότι το μέγιστο ρεύμα δεν θα ξεπεράσει το 1 A.

## 5 Υλοποίηση και ανάλυση κατασκευής

### 5.1 Γενική περιγραφή

Όπως φαίνεται από το γενικό μπλοκ διάγραμμα του συστήματος στο Σχήμα 22, το σύστημα αποτελείται από δύο επιμέρους βαθμίδες:

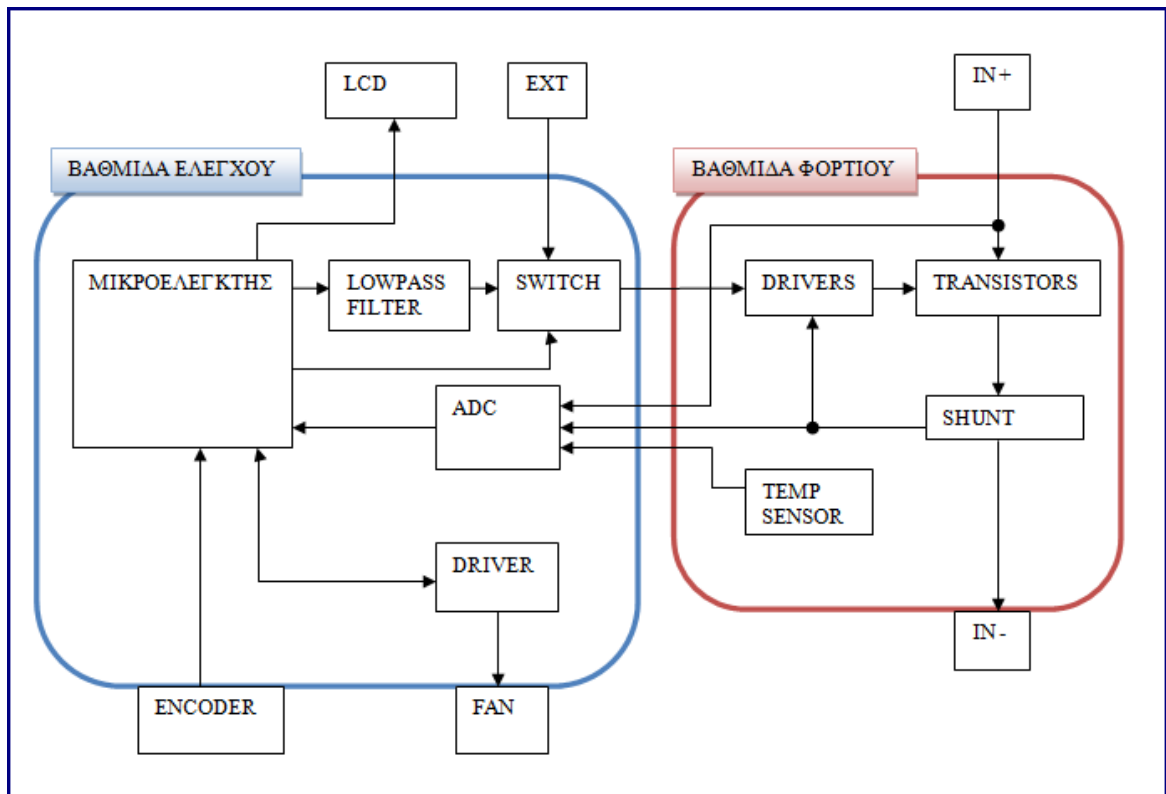
- τη βαθμίδα ελέγχου και
- τη βαθμίδα φορτίου

Τα βέλη δηλώνουν την διαδρομή των σημάτων.

Εύκολα διακρίνουμε ότι ο μικροελεγκτής ATmega162 αναλαμβάνει σχεδόν όλο τον έλεγχο του συστήματος. Μέσω παλμών μεταβλητού εύρους (PWM), ενεργεί έτσι ώστε το ρεύμα που θα περάσει από την βαθμίδα φορτίου να είναι τέτοιο ώστε να ικανοποιεί την αντίστοιχη λειτουργία σταθερού ρεύματος, ισχύος ή αντίστασης.

Το PWM σήμα αφού περάσει από ένα βαθυπερατό φίλτρο για να μετατραπεί σε μεταβλητή συνεχή τάση, θα οδηγήσει τους τελεστικούς ενισχυτές (drivers), ένας για κάθε τρανζίστορ, οι οποίοι με τη σειρά τους θα εξασφαλίσουν σχεδόν ίσο ρεύμα για κάθε τρανζίστορ. Έτσι εξασφαλίζουμε ισοκατανομή στην ισχύ που θα αναλάβει κάθε τρανζίστορ να καταναλώσει.





Σχήμα 22: Μπλοκ διάγραμμα συστήματος κατασκευής

Το ρεύμα θα περάσει από 24 αντιστάσεις (shunt), κατάλληλες για μέτρηση του ρεύματος οι οποίες θα αναπτύξουν πάνω τους τάση ανάλογη του ρεύματος, και η οποία θα μετρηθεί από τον μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό (ADC 16 bit). Έτσι ο μικροελεγκτής γνωρίζει το ρεύμα του φορτίου και συνεχώς το προσαρμόζει ανάλογα μέσω του κλειστού αυτού βρόγχου ελέγχου.

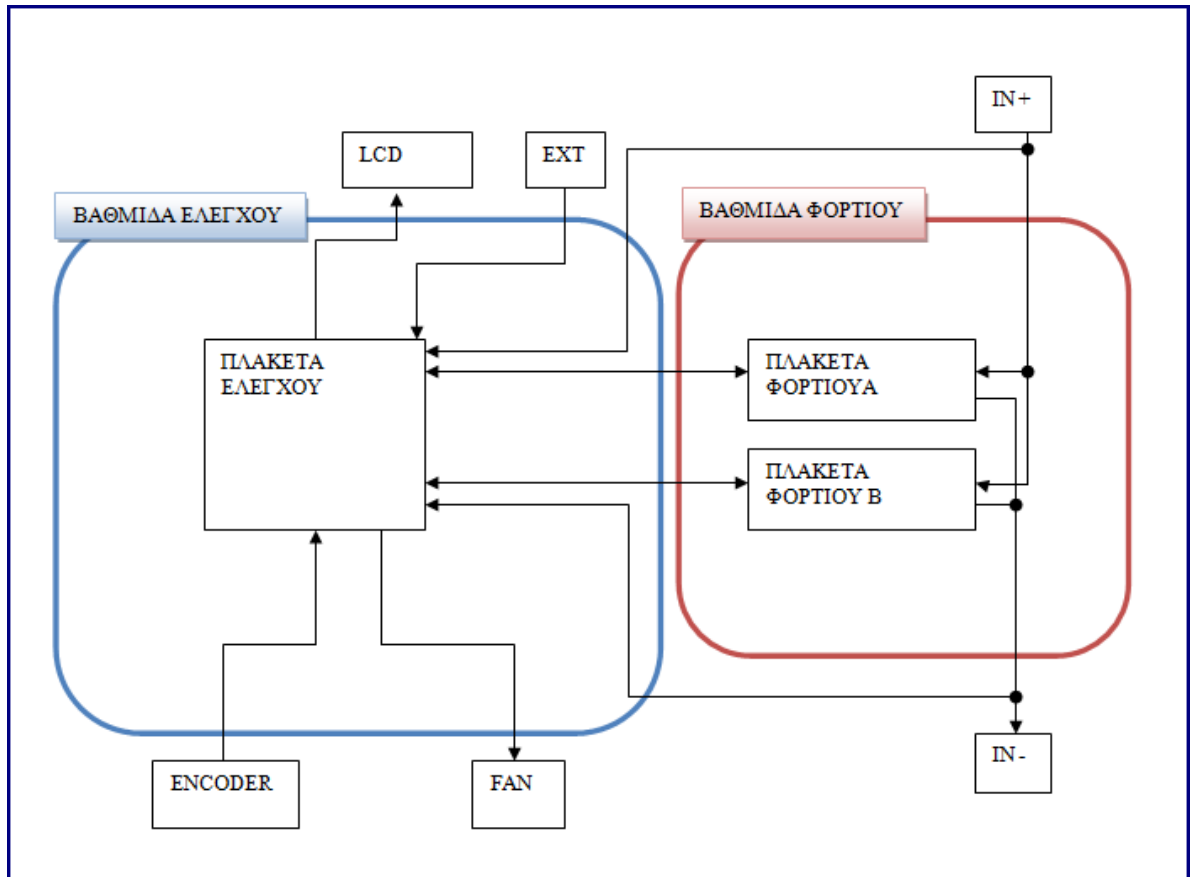
Εκτός από το ρεύμα, στον ADC εισέρχονται επιπλέον τα σήματα της τάσης εισόδου του φορτίου και της θερμοκρασίας των ψυκτρών.

Μέσω μιας δεύτερης εξόδου PWM, ο μικροελεγκτής οδηγεί και το σύστημα ψύξης της βαθμίδας φορτίου, το οποίο τον ενημερώνει σε περίπτωση σφάλματος του ανεμιστήρα.

Με επιλογή, υπάρχει η δυνατότητα οδήγησης του φορτίου απευθείας από εξωτερική πηγή σήματος (EXT)

Όλες οι λειτουργίες, οι ρυθμίσεις και οι μετρήσεις πραγματικού χρόνου, απεικονίζονται στην οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD), ενώ ο χειρισμός του φορτίου πραγματοποιείται μέσω ενός περιστρεφόμενου κωδικοποιητή (rotary encoder) με ενσωματωμένο διακόπτη επαναφοράς (push button).

Όπως φαίνεται στο μπλοκ διάγραμμα συνδέσεων στο Σχήμα 23, η υλοποίηση της βαθμίδας ελέγχου γίνεται σε μία πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος, ενώ η βαθμίδα φορτίου γίνεται σε δύο πανομοιότυπες πλακέτες τοποθετημένες πλευρικά στην ψύκτρα του συστήματος.

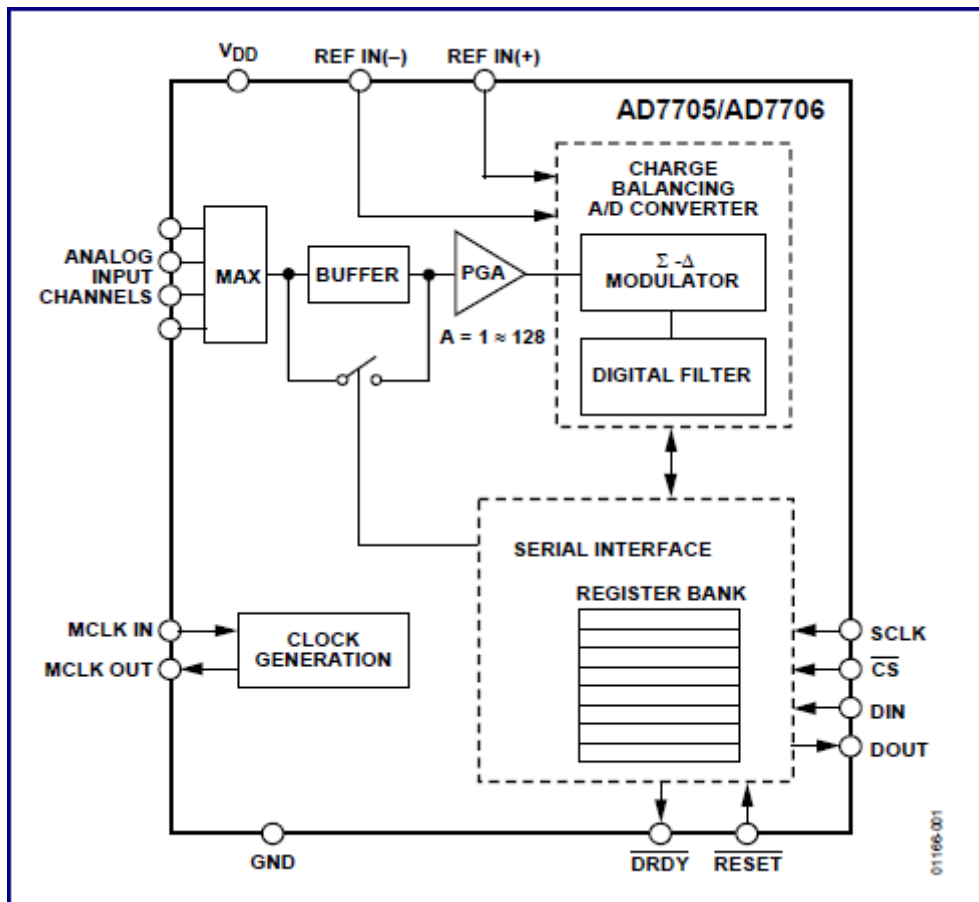


Σχήμα 23: Μπλοκ διάγραμμα συνδέσεων

## 5.2 Μετατροπέας Αναλογικού σήματος σε Ψηφιακό ADC

Ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ADC), είναι ο AD7706 της Analog Devices (Σχήμα 24) ο οποίος αναλαμβάνει να μετατρέψει διαδοχικά, 3 αναλογικά σήματα,

- της τάσης που εφαρμόζεται στο φορτίο,
- του ρεύματος το οποίο μετατρέπεται σε τάση επάνω στα shunts,
- και της θερμοκρασίας της ψύκτρας.



Σχήμα 24 :Μπλοκ διάγραμμαAD7705/AD7706

Τα δεδομένα εξόδου είναι σε ανάλυση 16 bit.

Οι μετρήσεις τάσεως και ρεύματος γίνονται εναλλάξ, με συχνότητα:  
 $50\text{Hz} / 3 = 16,6\text{Hz}$

Οπότε για κάθε μία μέτρηση η συχνότητα ανανέωσης είναι 8,33Hz.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται σε κάθε 64η μέτρηση με αντικατάσταση μιας μέτρησης τάσης.

Η συχνότητα δειγματοληψίας εισόδου για την απολαβή (gain) του μετατροπέα η οποία είναι 32 και για τη συχνότητα κρυστάλλου  $f_{\text{CLKIN}} = 2.4576 \text{ MHz}$  είναι:

$$8 \times f_{\text{CLKIN}}/64 = 307.2 \text{ kHz}$$

Τα σήματα των εισόδων είναι μονοπολικά και σε αναφορά ως προς γη, (unipolar, single ended).

Η πλήρης κλίμακα της τάσης εισόδου καθορίζεται από μια τάση αναφοράς  $V_{\text{REF}} = 2,5\text{V}$  που παρέχεται από το ολοκληρωμένο REF192 και την απολαβή, και είναι:

$$\text{Full scale} = 0 - V_{\text{REF}}/\text{gain} \Rightarrow 0 - 2,5\text{V} / 32 \Rightarrow 0 - 78,125 \text{ mV}$$

Έτσι για την ανάλυση των 16 bit έχουμε την αντιστοιχία αναλογικών τάσεων εισόδου και ψηφιακής εξόδου:

$$0 - 78,125 \text{ mV} \rightarrow 0 - 65535$$

Η διακριτικότητα των 16 bit μας δίνει την δυνατότητα να έχουμε ανάλυση μετρήσεων για τις δεδομένες προδιαγραφές του συστήματος:

- Για το ρεύμα:  $20 \text{ A} / 65536 = 0,3\text{mA}$
- Για την τάση:  $60 \text{ V} / 65536 = 0,9 \text{ mV}$
- Για την θερμοκρασία:  $100 \text{ }^\circ\text{C} / 65536 = 1,5 \text{ m}^\circ\text{C}$

Άρα έχουμε την δυνατότητα να κάνουμε μετρήσεις και ρυθμίσεις ακριβείας, της τάξης του χιλιοστού.

Στον Πίνακα 1 δίνεται από τον κατασκευαστή, ο θόρυβος της εξόδου του μετατροπέα σε  $\mu\text{V}$ , και στον Πίνακα 2 δίνεται η ανάλυση της εξόδου σε bit. Ο αριθμός που δίνεται αντιπροσωπεύει τον αριθμό των bit που δεν υπάρχει μεταπήδηση (flicker).

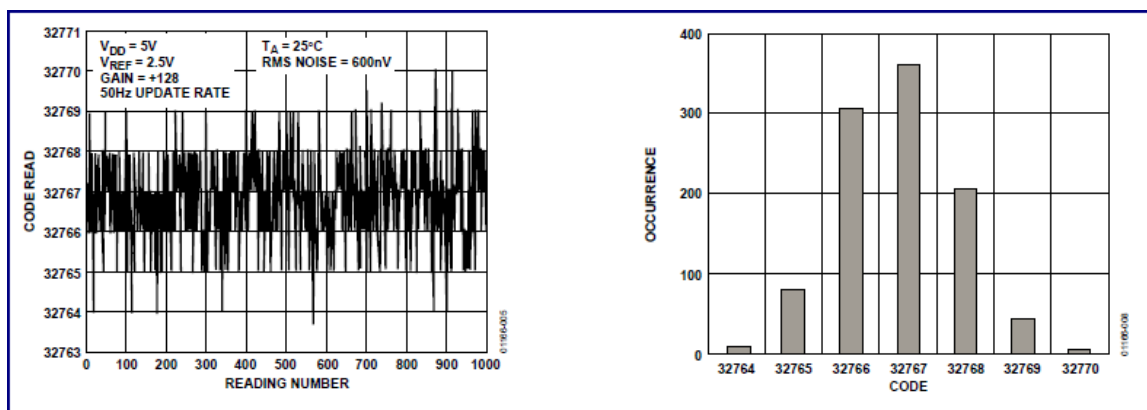
Filter First Notch and O/P Data Rate	-3 dB Frequency	Typical Output RMS Noise in $\mu\text{V}$							
		Gain of 1	Gain of 2	Gain of 4	Gain of 8	Gain of 16	Gain of 32	Gain of 64	Gain of 128
MCLK IN = 2.4576 MHz									
50 Hz	13.1 Hz	4.1	2.1	1.2	0.75	0.7	0.66	0.63	0.6
60 Hz	15.72 Hz	5.1	2.5	1.4	0.8	0.75	0.7	0.67	0.62
250 Hz	65.5 Hz	110	49	31	17	8	3.6	2.3	1.7
500 Hz	131 Hz	550	285	145	70	41	22	9.1	4.7
MCLK IN = 1 MHz									
20 Hz	5.24 Hz	4.1	2.1	1.2	0.75	0.7	0.66	0.63	0.6
25 Hz	6.55 Hz	5.1	2.5	1.4	0.8	0.75	0.7	0.67	0.62
100 Hz	26.2 Hz	110	49	31	17	8	3.6	2.3	1.7
200 Hz	52.4 Hz	550	285	145	70	41	22	9.1	4.7

Πίνακας 1: Θόρυβος εξόδου συναρτήσει απολαβής

Filter First Notch and O/P Data Rate	-3 dB Frequency	Typical Peak-to-Peak Resolution Bits							
		Gain of 1	Gain of 2	Gain of 4	Gain of 8	Gain of 16	Gain of 32	Gain of 64	Gain of 128
MCLK IN = 2.4576 MHz									
50 Hz	13.1 Hz	16	16	16	16	16	16	15	14
60 Hz	15.72 Hz	16	16	16	16	15	14	14	13
250 Hz	65.5 Hz	13	13	13	13	13	13	12	12
500 Hz	131 Hz	10	10	10	10	10	10	10	10
MCLK IN = 1 MHz									
20 Hz	5.24 Hz	16	16	16	16	16	16	15	14
25 Hz	6.55 Hz	16	16	16	16	15	14	14	13
100 Hz	26.2 Hz	13	13	13	13	13	13	12	12
200 Hz	52.4 Hz	10	10	10	10	10	10	10	10

Πίνακας 2: Ανάλυση εξόδου σε bit συναρτήσει απολαβής

Στο Σχήμα 25 παρουσιάζεται ο θόρυβος και η κατανομή του σε ιστόγραμμα



Σχήμα 25: Θόρυβος και το ιστόγραμά του

Επειδή ο μετατροπέας χρησιμοποιείται σε λειτουργία χωρίς απομονωτή εισόδου (unbuffered mode) και επειδή κρίνεται απαραίτητο να τοποθετηθεί στην είσοδο του αναλογικό βαθυπερατό φίλτρο, υπάρχει ο περιορισμός στη μέγιστη χωρητικότητα εισόδου σύμφωνα με τον Πίνακας 3

Gain	External Capacitance (pF)					
	10	50	100	500	1000	5000
1	152 kΩ	53.9 kΩ	31.4 kΩ	8.4 kΩ	4.76 kΩ	1.36 kΩ
2	75.1 kΩ	26.6 kΩ	15.4 kΩ	4.14 kΩ	2.36 kΩ	670 Ω
4	34.2 kΩ	12.77 kΩ	7.3 kΩ	1.95 kΩ	1.15 kΩ	320 Ω
8 to 128	16.7 kΩ	5.95 kΩ	3.46 kΩ	924 Ω	526 Ω	150 Ω

Πίνακας 3: Εξωτερική αντίσταση – χωρητικότητα εισόδου

### 5.3 Οδήγηση και έλεγχος ανεμιστήρα

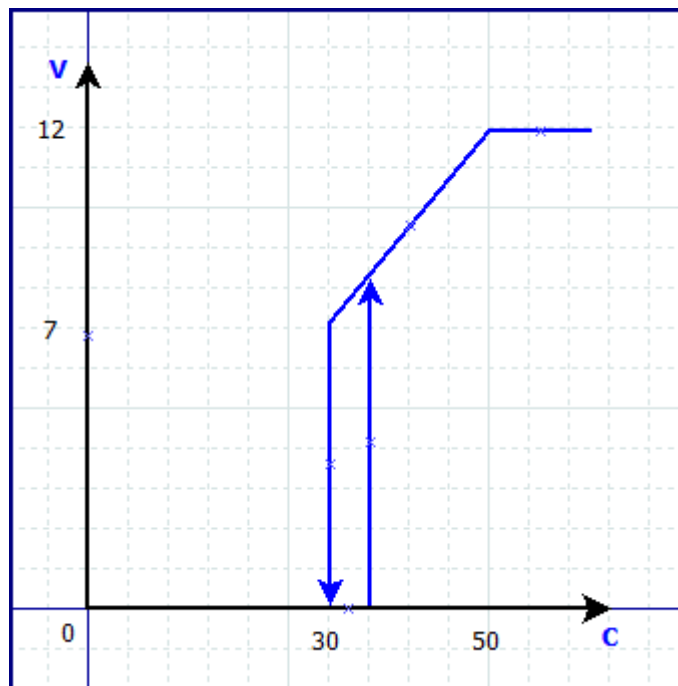
Οι τάση τροφοδοσίας του ανεμιστήρα είναι μεταβλητή προκειμένου να έχουμε έλεγχο στροφών. Η τάση είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και ακολουθεί τη σχέση:

$$0.24\text{V} / ^\circ\text{C}$$

Η συνάρτηση απεικονίζεται στο παρακάτω Σχήμα 26.

Η μέγιστη τάση των 12 V αντιστοιχεί στη θερμοκρασία των 50 °C

Η τροφοδοσία ενεργοποιείται στους 35 °C και απενεργοποιείται στους 30 °C, προκειμένου να υπάρχει η απαραίτητη υστέρηση.

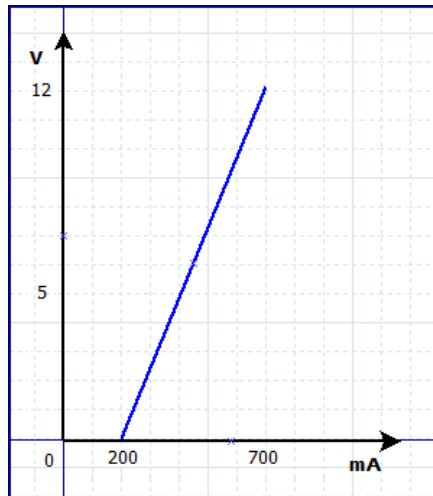


Σχήμα 26: Τροφοδοσία ανεμιστήρα

Όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 4.6.3, το ρεύμα λειτουργίας του ανεμιστήρα παρακολουθείται από ένα κύκλωμα συγκριτή - ολοκληρωτή έτσι ώστε να ανιχνεύεται δυσλειτουργία και να περιορίζεται το ρεύμα σε ασφαλή όρια.

Εάν το ρεύμα ξεπερνάει το κατώφλι του συγκριτή, το ολοκλήρωμα του αναδράται στον τελεστικό που οδηγεί τον ανεμιστήρα και έτσι το ρεύμα περιορίζεται.

Το κατώφλι είναι μεταβλητό και εξαρτώμενο από την τάση τροφοδοσίας του ανεμιστήρα, Σχήμα 27.



Σχήμα 27: Χαρακτηριστική καμπύλη κατωφλίου συγκριτή

Η δυναμική αυτή συμπεριφορά μας εξασφαλίζει ένα περιορισμό ρεύματος στην περίπτωση που ο ανεμιστήρας τροφοδοτείται και έχει ακινητοποιηθεί, ενώ όταν είναι σε κανονική λειτουργία, το ρεύμα είναι επαρκές.

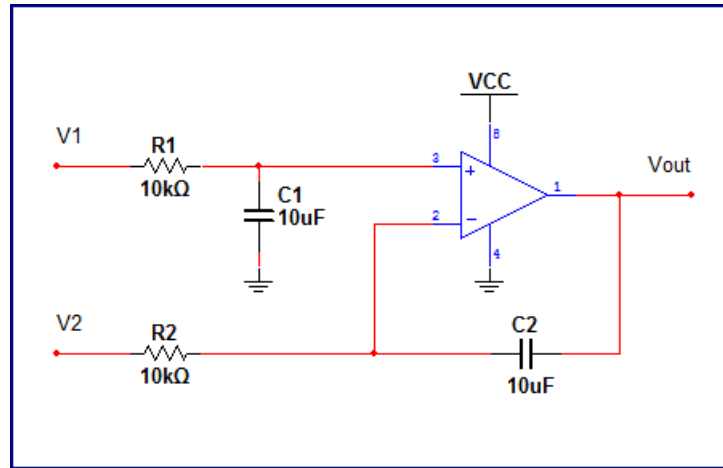
Το απαραίτητο κύκλωμα οδήγησης και ελέγχου του ανεμιστήρα υλοποιείται στο Σχηματικό 3.

Η βασική τοπολογία του διαφορικού ολοκληρωτή (differential integrator), απεικονίζεται στο Σχήμα 28.

Η έξοδος δίνεται από τον τύπο:

$$V_{out} = 1/T \int V_1 - V_2 dt$$

Εφόσον ισχύει ότι  $T = R_1C_1 = R_2C_2$



Σχήμα 28: Διαφορικός ολοκληρωτής

Η προστασία έναντι βραχυκυκλώματος που μας εξασφαλίζει ότι το μέγιστο ρεύμα τροφοδοσίας του ανεμιστήρα δεν θα ξεπεράσει το 1 A, πραγματοποιείται από ένα επιπλέον τρανζίστορ συνδεδεμένο στην βάση του τρανζίστορ οδήγησης.

#### 5.4 Βαθμίδα φορτίου

Το σύστημα του φορτίου αποτελείται από 24 τρανζίστορ TIP 142 τύπου darlington, τα οποία μοιράζονται το ρεύμα των 20 A, δηλαδή το κάθε ένα αναλαμβάνει ένα ρεύμα ίσο με 0.833 A. (Σχηματικό 4 και Σχηματικό 5). Αυτό μας δίνει την ασφάλεια να κινηθούμε στην περιοχή της τάσης των 60V χωρίς προβληματισμό, αφού το διάγραμμα ασφαλούς περιοχής λειτουργίας ορίζει μέγιστο ρεύμα 1 A στα 60V.

Το κάθε τρανζίστορ έχει στον εκπομπό του συνδεδεμένη μια αντίσταση shunt με σκοπό να αντιστοιχίσει το ρεύμα του σε τάση.

Αυτή την τάση θα δει ο τελεστικός και θα φροντίσει να είναι η ίδια με την τάση αναφοράς των 0-275mV, (με ένα σφάλμα βέβαια όσο και η τάση σφάλματος εισόδου του, περίπου 5mV)

#### 5.5 Κύκλωμα μέγιστης θερμοκρασίας

Στην πλακέτα ελέγχου έρχονται σήματα θερμοκρασίας από δύο αισθητήρες LM35, και γι αυτό χρησιμοποιείται μια διάταξη με δύο τελεστικούς, η οποία έχει ως έξοδο την μέγιστη εκ των δύο τάσεων εισόδου. Η έξοδος αυτή οδηγείται στον μετατροπέα για μέτρηση της θερμοκρασίας.



## 5.6 Φίλτρο

Το φίλτρο που χρησιμοποιείται είναι 5<sup>ης</sup> τάξης, Bessel, με συχνότητα αποκοπής 10Hz, και υλοποιείται από δύο τελεστικούς σε τοπολογία Sallen-Key<sup>8</sup>.

Η συχνότητα αποκοπής των 10Hz επιλέχθηκε έτσι ώστε η συχνότητα 8,33Hz που είναι ο ρυθμός των ανανέωσης του PWM, να μην βρίσκεται στην περιοχή αποκοπής του φίλτρου. Η έξοδος του φίλτρου πρέπει να έχει σταθεροποιηθεί πριν την επόμενη ανανέωση.

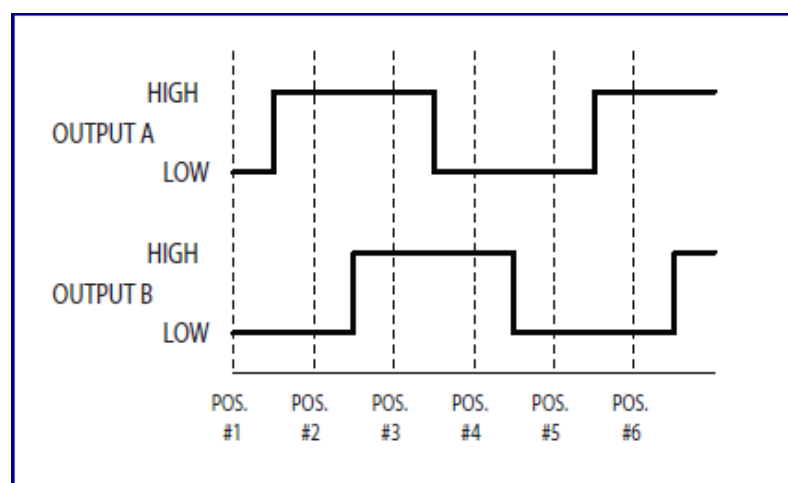
Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιείται φίλτρο Bessel το οποίο έχει την καλύτερη συμπεριφορά σε κρουστικές μεταβολές

## 5.7 Encoder

Ο χειρισμός του φορτίου γίνεται μόνο με ένα περιστρεφόμενο κωδικοποιητή (rotary encoder), ο οποίος διαθέτει ενσωματωμένο διακόπτη επαναφοράς (push button).

Ο encoder δίνει στην έξοδό του 2 bit σε κωδικοποίηση gray code. Η κωδικοποίηση αυτή μπορεί απλοϊκά να ερμηνευτεί ως δύο σήματα τα οποία έχουν μεταξύ τους διαφορά φάσης 90 μοίρες.

Με κατάλληλη αποκωδικοποίηση μπορούμε να πάρουμε την πληροφορία της κατεύθυνσης περιστροφής.



Σχήμα 29: Quadrature 2-bit code

<sup>8</sup> Βιβλιογραφία (13)

## 5.8 Σχεδιασμός για μείωση θορύβου

Έχει ληφθεί μέριμνα στο συνολικό σχεδιασμό της κατασκευής οι πιθανοί τρόποι ελαχιστοποίησης της σύζευξης μεταξύ των πηγών θορύβου και των χαμηλής στάθμης σημάτων. Αυτά είναι τα σήματα που οδεύονται μέσω των καλωδιοταινιών και συνδέουν την πλακέτα έλεγχου με τις πλακέτες φορτίου.

Πηγές θορύβου είναι οι γραμμές που μεταφέρουν το ισχυρό ρεύμα του φορτίου, και που απότομα αυτό μεταβάλλεται. Αυτό μπορεί να συμβεί σε μια αποσύνδεση κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

Για τον θόρυβο που έχει καταφέρει να συζευχθεί στα ευαίσθητα σε θόρυβο σημεία, έχει σχεδιαστεί διάταξη διόδων – αντίστασης όπως φαίνεται στα σχηματικά σχέδια. Η διάταξη αυτή δεν επιτρέπει στην τάση θορύβου να υπερβεί τέτοια τιμή ώστε να προκαλέσει βλάβη στα κυκλώματα.

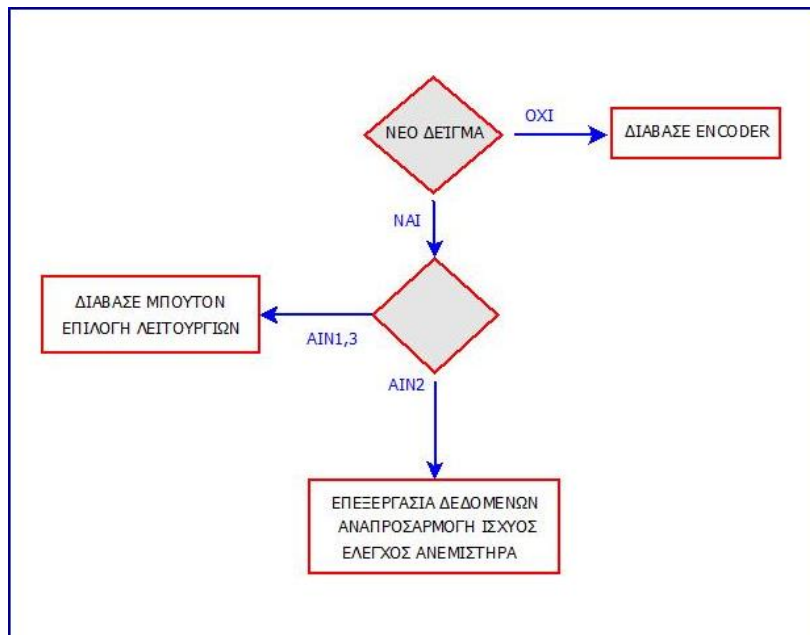
Κοινό σημείο αναφοράς της συσκευής είναι το σημείο σύνδεσης (-) της εισόδου του φορτίου. Σε αυτό το σημείο γίνονται όλες οι συνδέσεις της γης.

Στο Κεφάλαιο 3.3, περιγράφονται αναλυτικά οι τρόποι παρεμβολής από θόρυβο. Όλες οι μέθοδοι μείωσης και προστασίας που αναφέρονται, έχουν χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή.

## 6 Βασική ροή προγράμματος

Ένα απλοποιημένο διάγραμμα ροής που απεικονίζει την κατανομή των εργασιών στον κώδικα φαίνεται στο Σχήμα 30.

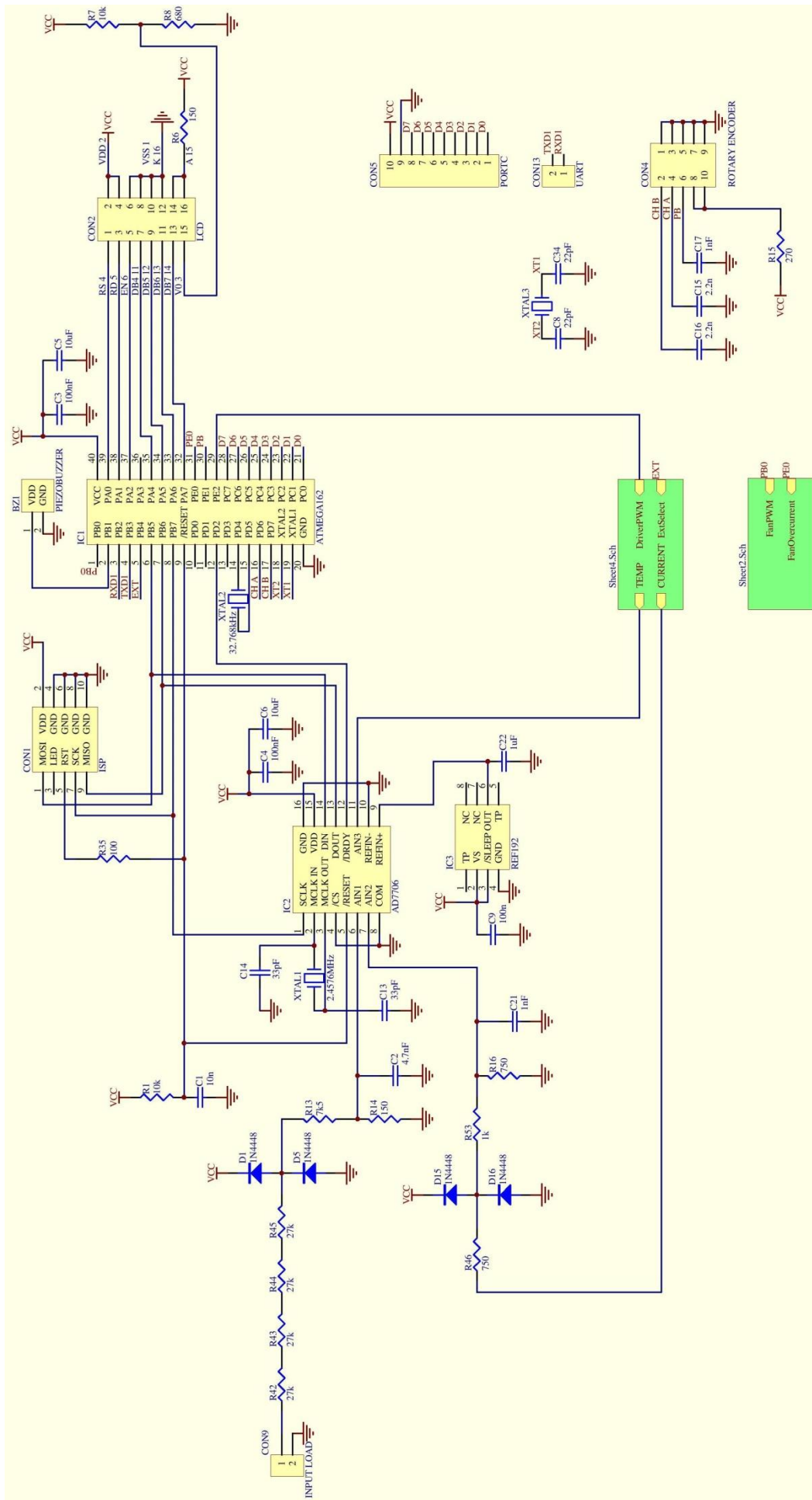
Οι εργασίες κατανέμονται χρονικά, με ρυθμό 8,33Hz, σύμφωνα με την ενημέρωση των δειγμάτων που λαμβάνονται από τον μετατροπέα. Στο διάστημα αναμονής νέου δείγματος, γίνεται ανίχνευση του encoder.



Σχήμα 30: Βασικό διάγραμμα ροής

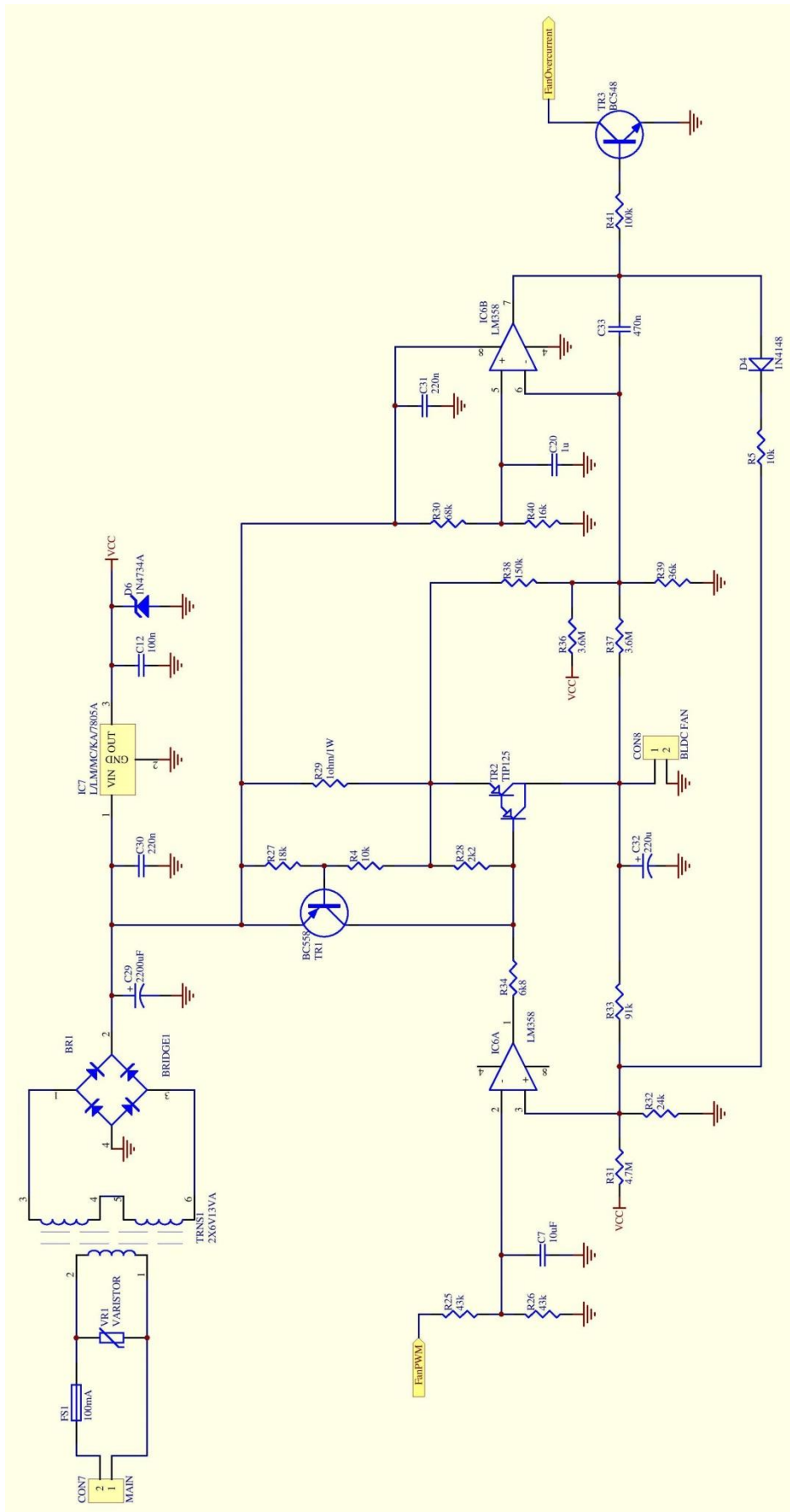
## 7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### 7.1 Σχέδια

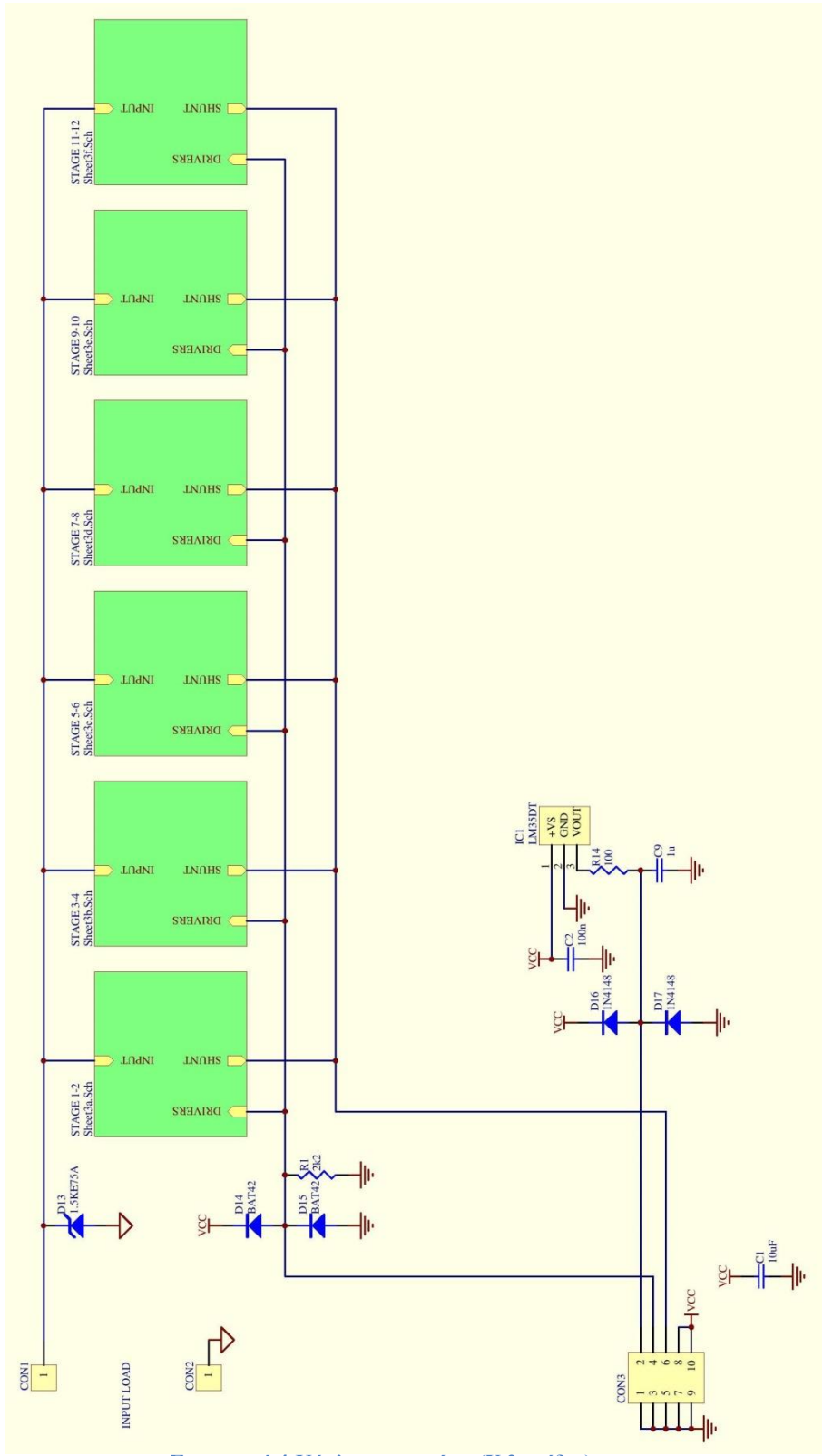


Σχηματικό 1:Κύκλωμα ελέγχου και μετατροπέα

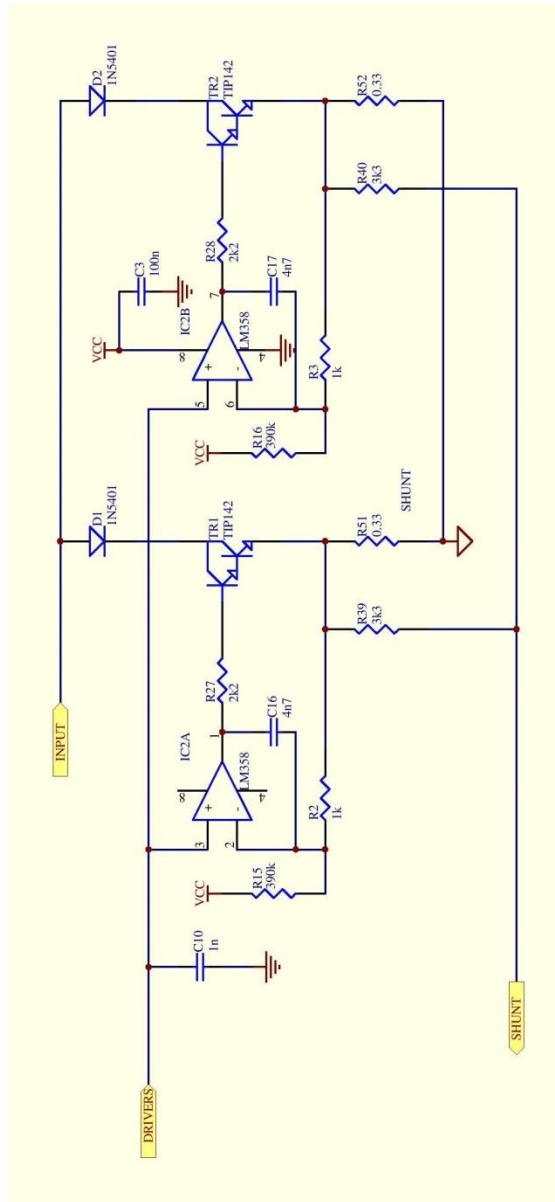
Σχηματικό 2:Κύκλωμα φίλτρου, θερμοκρασίας, αναλογικού διακόπτη



Σχηματικό 3:Κύκλωμα τροφοδοτικού και ελέγχου ανεμιστήρα



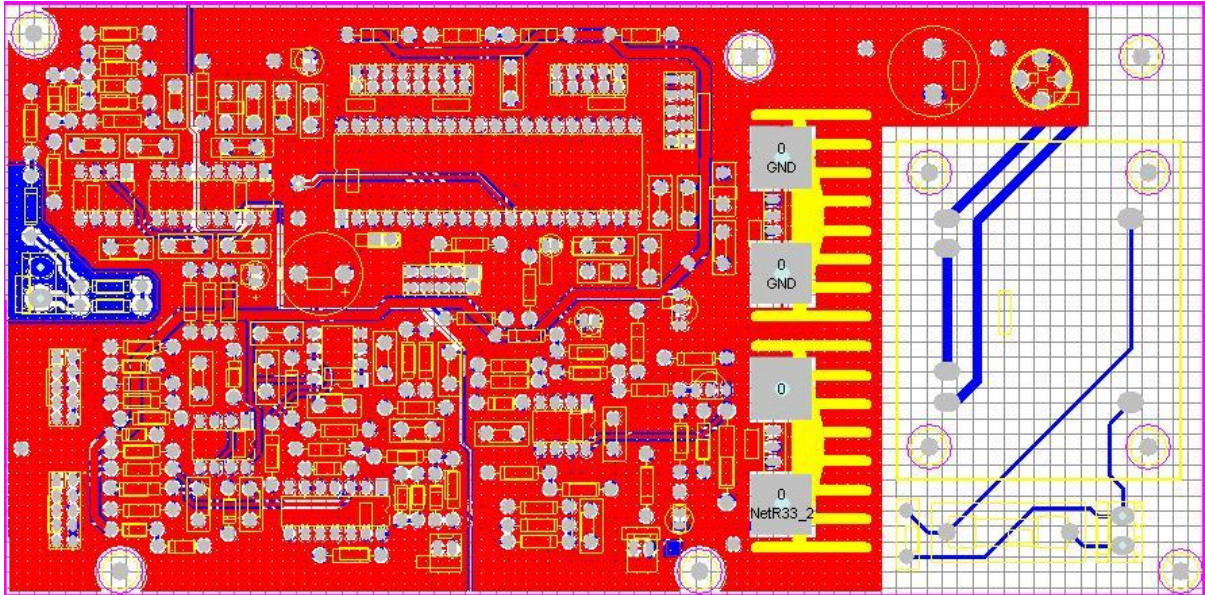
Σχηματικό 4:Κύκλωμα φορτίου (X 2 σχέδια)



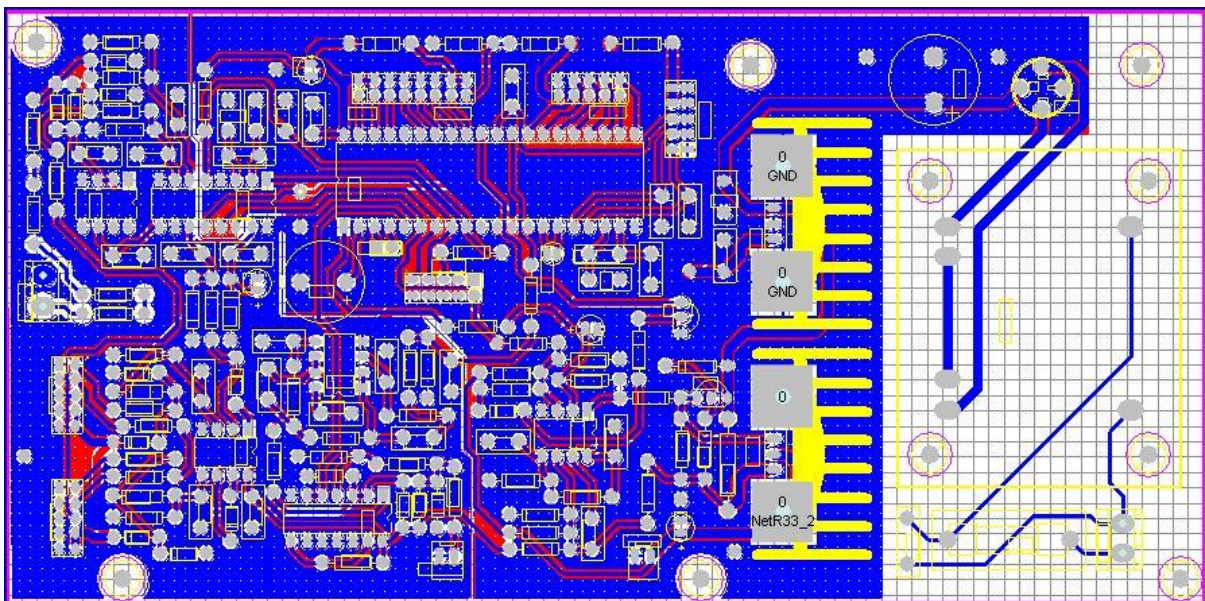
Σχηματικό 5:Κύκλωμα οδήγησης τρανζίστορ TIP142 (X 6σχήδια)



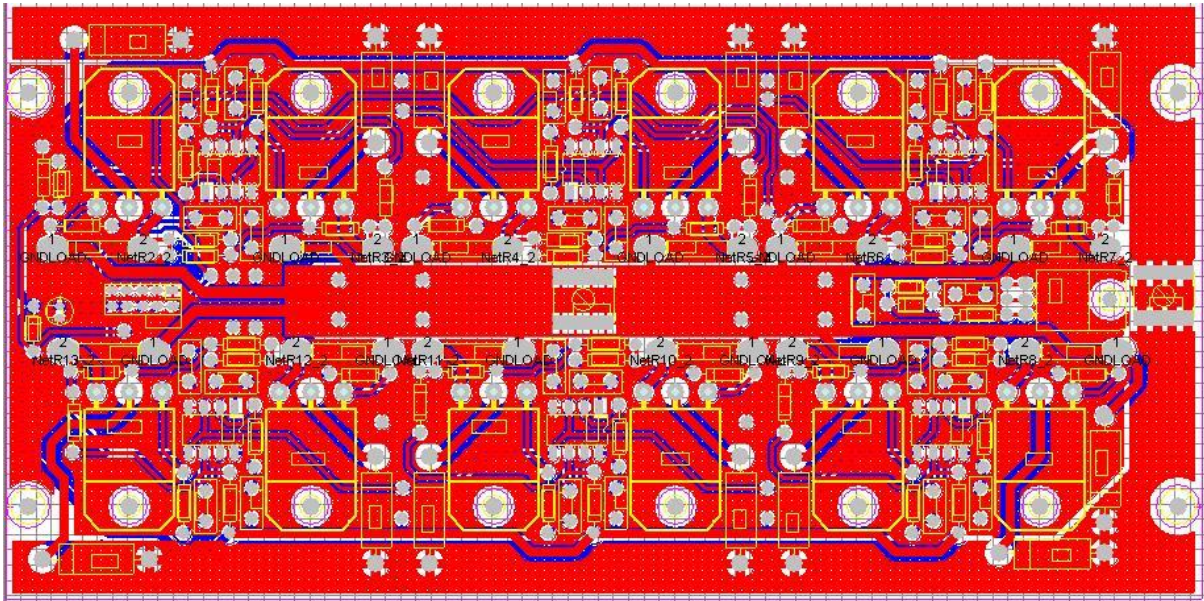
Σχηματικό 6: Κύκλωμα adaptor LCD και encoder



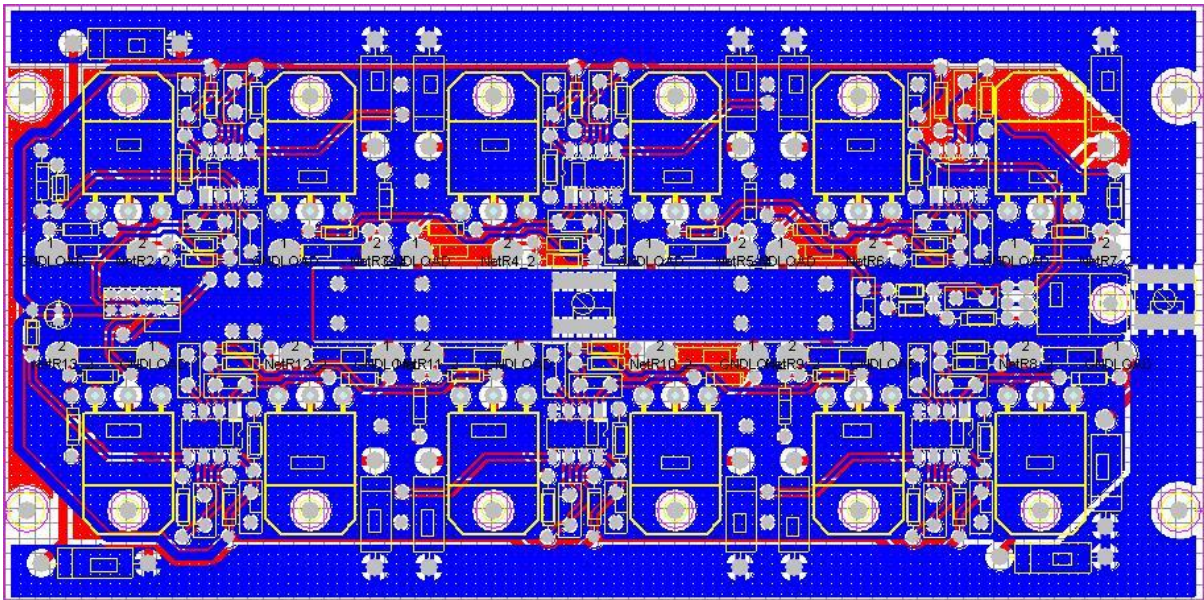
Τυπομένο 1: Πλακέτα ελέγχου (top layer)



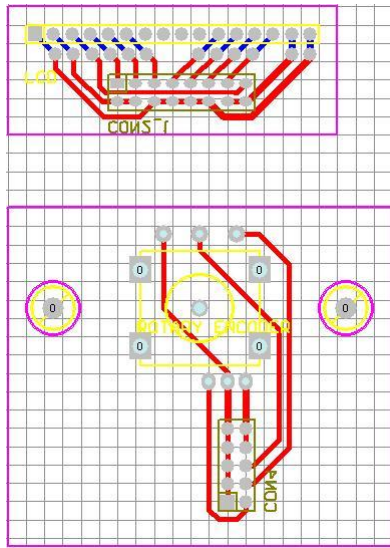
Τυπομένο 2: Πλακέτα ελέγχου (bottom layer)



Τυπωμένο 3: Πλακέτα φορτίου (top layer)



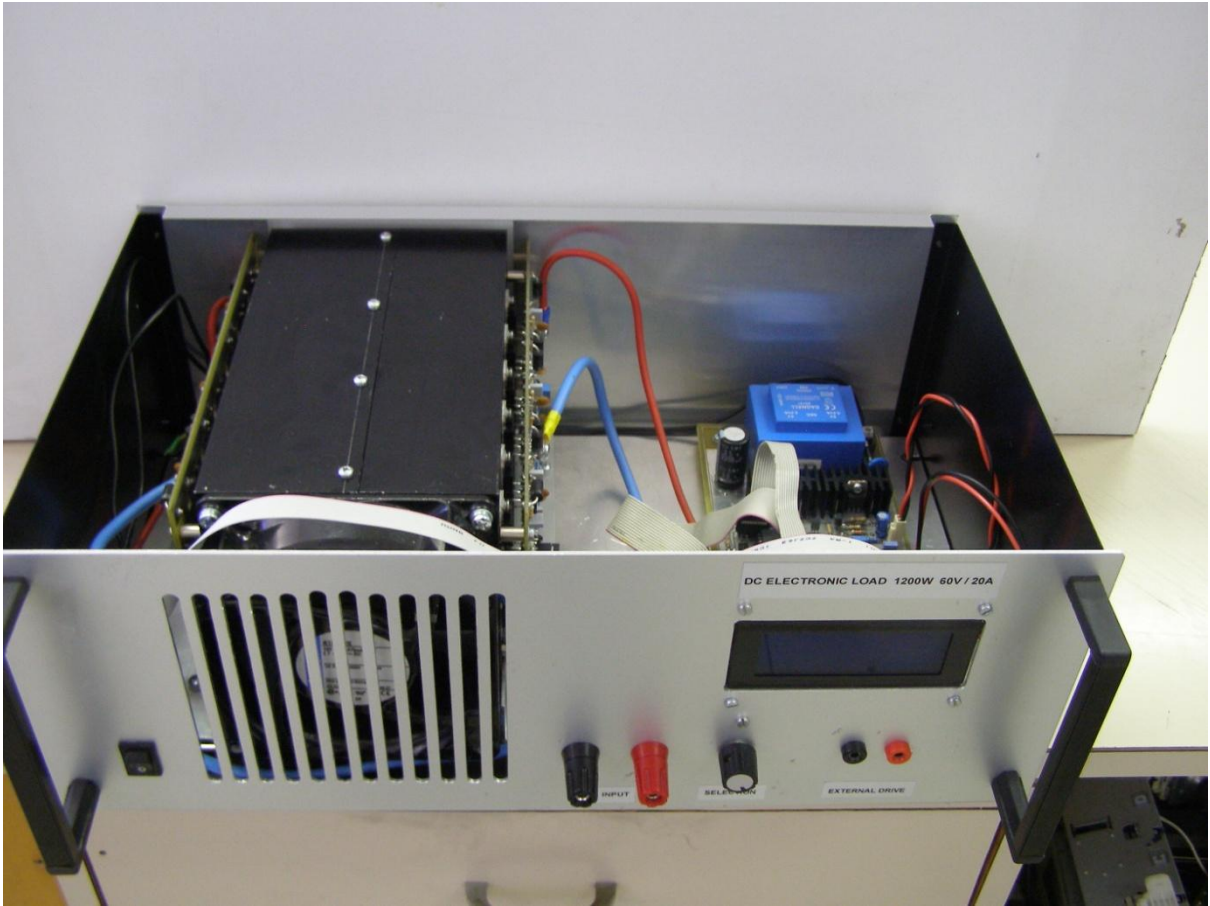
Τυπωμένο 4: Πλακέτα φορτίου (bottom layer)



Τυπομένο 5: Πλακέτα adaptor LCD και encoder

## 7.2 Φωτογραφίες







### 7.3 Κώδικας

```
#include <mega162.h>

// Alphanumeric LCD Module functions
// the LCD is connected to PORTA outputs
#asm
.equ __lcd_port=0x1B ;PORTA
#endasm
#include <lcd.h> //include the LCD driver routines

#define c_gain 0.3051804
#define v_gain 0.9155413

#define AIN1 0
#define AIN2 1
#define AIN3 3

#define shift1 2 //max 16
#define shift2 2 //max 16
```

```

#define shift3 2 //max 14

#define max 0xffff<<shift3

bit menu=1,button,run_once,encoder_rotate,buzzer,new_temp_sample,ext_off;

unsigned char channel=3,variable_step=1,mode=1,tempmode=1,sample_counter,encoder_status,hold;
unsigned char temp,idle,fan_stall;
signed char encoder_counter;

unsigned int value,current,voltage,resistance,f_current=1,f_voltage=1;
unsigned int data_current,data_voltage,data_temperature,ref_current,power_derate=1200;

unsigned long int power,current_derate=20000,resistance_derate=1;

unsigned long int filter1,filter2;
signed long int filter3;

unsigned char ascii[]={48,49,50,51,52,53,54,55,56,57};

float energy;

// table for the user defined character

flash unsigned char char0[8]={
0b00000,
0b00001,
0b00011,
0b10111,
0b11110,
0b11100,
0b01000,
0b00000};

flash unsigned char char1[8]={
0b10000,
0b11000,
0b11100,
0b11110,
0b11100,
0b11000,
0b10000,
0b00000};

flash unsigned char char2[8]={
0b00000,
0b01110,
0b10001,
0b10000,
0b10001,
0b01110,
0b00000,
0b00000};

flash unsigned char char3[8]={
0b00000,
0b01110,
0b10001,

```

```

0b00001,
0b10001,
0b01110,
0b00000,
0b00000};

flash unsigned char char4[8]={
0b01110,
0b10001,
0b10001,
0b10001,
0b10001,
0b01010,
0b11011,
0b00000};

// function used to define user characters
voiddefine_char(unsigned char flash *pc,unsigned char char_code)
{
unsigned char i,a;
a=(char_code<<3) | 0x40;
for (i=0; i<8; i++) lcd_write_byte(a++,*pc++);
}

voidlcd_putnum(unsigned char x,unsigned char y,unsigned char digits,unsigned char
decimal_separator,unsigned long intnum)
{

lcd_gotoxy(x,y);

if (digits>4) {
lcd_putchar(ascii[(num/10000)%10]);

if (decimal_separator==4) {
lcd_putchar(',');
};

};

if (digits>3) {
lcd_putchar(ascii[(num/1000)%10]);

if (decimal_separator==3) {
lcd_putchar(',');
};
};

if (digits>2) {

lcd_putchar(ascii[(num/100)%10]);

if (decimal_separator==2) {
lcd_putchar(',');
};
};

if (digits>1) {
lcd_putchar(ascii[(num/10)%10]);

```



```

if (decimal_separator==1) {
lcd_putchar(',');
};

};

lcd_putchar(ascii[num%10]);

}

unsigned char data_transfer(unsigned char byte)
{
SPDR=byte;
while (!(SPSR&0x80)) { }; //wait for transfer complete

return SPDR;
}

voidchannel_calibrate(unsigned char CH1_CH0)
{

data_transfer(0b00010000|CH1_CH0);//write to setup register

data_transfer(0b01101100);//self calibration, gain 32, unipolar, buffer off

}

unsignedintread_data(void)
{

unsignedint data;

//next channel selection

sample_counter++;

if (sample_counter<<2) {
channel=sample_counter&1; //toggle channels 1 & 2
}
else {
channel=3; //channel 3 instead channel 1 every 0,64,128 and 192
};

data_transfer(0b00111000|channel);//read from data register

data=(unsigned int)data_transfer(0x00)<<8;//send 8 zeroes and receive high byte

data|=data_transfer(0x00);//send 8 zeroes and receive low byte

return data;

}

unsigned char read_button(void)

```

```

{
bitcurrent_value;

current_value=PINE.1;

if (button^current_value) //if button is pssed or released
{
button=current_value;
return !current_value; //returns [1] if button is pssed
};

return 0;

}

signed char read_encoder(void)
{
signed char temp=0;
unsigned char current_value=(PIND&0xC0)>>6;

if (encoder_status^current_value) //if encoder has been rotated
{
encoder_rotate=1;

if ((encoder_status>>1^current_value)&1) //clockwise
{
temp=1;
}
else //counterclockwise
{
temp=-1;
};

encoder_status=current_value;
};

return temp;

}

unsignedint add(unsigned int variable1,unsigned int variable2) // overflow prevention
{

if (65535-variable1>variable2) {

return variable1+variable2;
}

else {

return 65535;
};

}

unsignedint sub(unsigned int variable1,unsigned int variable2) // overflow prevention

```

```

{
if (variable1>variable2) {
return variable1-variable2;
}

else {
return 0;
};
}

unsigned int initial_value(void)
{
switch (mode) {

case 1: //Constant Current mode
return 0;
break;

case 2: //Constant Power mode
return 0;
break;

case 3: //Constant Resistance mode
return 1000;
break;

default:
return 0;

};

}

unsigned char set_variable_step(void) {
switch (mode) {

case 1: //Constant Current mode
return 64;
break;

case 2: //Constant Power mode
return 8;
break;

case 3: //Constant Resistance mode
return 8;
break;

};
}

```

```

}

voiddisplay_messages(unsigned char x,unsigned char y,unsigned char message)
{

if (!hold) {

lcd_clear();
lcd_gotoxy(x,y);

switch (message) {
case 0: lcd_putsf("DC Electronic Load");
break;

case 1: lcd_putsf("low voltage");
break;

case 2: lcd_putsf("high voltage");
break;

case 3: lcd_putsf("power derating");
break;

case 4: lcd_putsf("high power");
break;

case 5: lcd_putsf("fan stall");
break;
};

run_once=0;
hold=16;

};

buzzer=1;

}

voidset_value(void)
{
unsigned char min_resistance;
unsignedintmax_power;

if (encoder_counter>0) {

value=add(value,(unsigned int)encoder_counter*variable_step);
variable_step=set_variable_step();
}
else if (encoder_counter<0) {

value=sub(value,(unsigned int)-encoder_counter*variable_step);
variable_step=set_variable_step();
}
else if (variable_step>1) {

```

```

variable_step>>=1;
};

encoder_counter=0;

switch (mode) { //ranges for each mode

case 1: //Constant Current mode

if (value>voltage) { // max current = voltage / 1 Ohm
value=voltage;
};

if (value>20000) { //20A max
value=20000;
};

if (value>current_derate) {

value=current_derate;
display_messages(3,1,3); //message: "power derating"
};

break;

case 2: //Constant Power mode

if (f_voltage<21845) { //if voltage < 20V

max_power=((unsigned long int)f_voltage*f_voltage)/1193010.0625;

//i.e. (f_voltage/1092.25)*(f_voltage/1092.25), f_voltage/1092.25 = volts
//max power=(V*V)/R, R=1 Ohm, i.e. 5V - 5A, 10V - 10A etc.

}
else { //max power=V*20A, i.e. 20A limit

max_power=f_voltage*0.01831;

//i.e. max_power=(f_voltage*ref_current*c_gain*v_gain)/1000000, ref_current=65535.
//or 1200/65535=0.01831

};

if (value>max_power) {
value=max_power;
};

if (value>power_derate) {

value=power_derate;
display_messages(3,1,3); //message: "power derating"
};

```

```

break;

case 3: //Constant Resistance mode

if (value>1000) { //1 kOhm max
value=1000;
    };

min_resistance=f_voltage/21845+1;

if (value<min_resistance) { //1 Ohm min - 20V max, 2 Ohm min - 40V max, 3 Ohm min - 60V max
value=min_resistance;
    };

if (value<resistance_derate) {

if (resistance_derate>1000) {
value=1000;
    }
else {
value=resistance_derate;
    };

display_messages(3,1,3); //message: "power derating"
    };

break;

    };

}

voidmode_select(unsigned char temp)
{
if (!hold) //display messages first
{

if (temp<1) { //circular selection
temp=4;
    };

if (temp>4) {
temp=1;
    };

if (temp^tempmode||!run_once) {

if (!run_once) {

lcd_clear();
lcd_putsf("select\nmode:");
run_once=1;

    };

```

```

lcd_gotoxy(12,2);
lcd_putsf(" ");

lcd_gotoxy(7,1);

if (temp<4) {

lcd_putsf("Constant");
    }

else {

lcd_putsf("External");

    };

lcd_gotoxy(7,2);

switch (temp) {
case 1: lcd_putsf("Current ");
break;

case 2: lcd_putsf("Power ");
break;

case 3: lcd_putsf("Resistance ");
break;

case 4: lcd_putsf("2A / V ");

break;

    };

tempmode=temp;
idle=128;

    }

else
    {
idle--;
if (!idle) { //exit menu when idle
menu=0;
tempmode=mode;
run_once=0;
    };

    };

}

else
{
hold--;
};

```

```

}

void display_values(void)
{
if (!hold) //display messages first
{
if (!run_once)
{

lcd_clear();

lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("V:   V");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("C:   A");
lcd_gotoxy(0,2);
lcd_putsf("P:   W");
lcd_gotoxy(0,3);
lcd_putsf("R:   k"); lcd_putchar(4); //omega character

if (mode<4) {

lcd_gotoxy(1,mode);
lcd_putchar(1); //pointer

lcd_gotoxy(11,3);
lcd_putsf("set");

lcd_gotoxy(14,3);
lcd_putchar(1); //pointer
        };

lcd_gotoxy(18,0);
lcd_putchar(223); //°
lcd_gotoxy(19,0);
lcd_putsf("C");

lcd_gotoxy(17,2);
lcd_putsf("kWh");

run_once=1;

        }
else {

lcd_putnum(2,0,5,3,voltage);
lcd_putnum(2,1,5,3,current);
lcd_putnum(16,0,2,0,data_temperature/655);

if (power<100000) { //adjust decimal separator
lcd_putnum(2,2,5,3,power);
        }
else if (power<1000000) {
lcd_putnum(2,2,5,2,power/10);
        }
}
}
}
}

```



```

else {
lcd_putnum(2,2,5,1,power/100);
    };

if (~resistance) { //if resistance is not 65535
lcd_putnum(2,3,5,3,resistance);
    }
else {
lcd_gotoxy(2,3);
lcd_putsf(" ");
lcd_putchar(2);lcd_putchar(3); //infinity symbol
lcd_putsf(" ");
    };

lcd_putnum(11,2,5,3,energy+0.5);

if (mode<4) {
lcd_putnum(15,3,5,0,value);
    }

else {

lcd_gotoxy(11,3);

if (ext_off) {

lcd_putsf("Ext:OFF");
    }

else {

lcd_putsf("Ext:ON");
    };

    };

};

}

else
{
hold--;
};

}

voidwait_data(unsigned char temp)
{

while (temp==channel) { //waiting for next channel, i.e. new data to be received

if (!menu && mode<4) {
encoder_counter+=read_encoder());

```

```

};

};

}

// External Interrupt 0 service routine
interrupt [EXT_INT0] void ext_int0_isr(void)
{
//DRDY update rate: 16.6Hz (50Hz/3) or 1000 samples/min, T=60ms

switch (channel)
{
case AIN1: data_voltage=read_data();
break;

case AIN2: data_current=read_data();
break;

case AIN3: data_temperature=read_data();
new_temp_sample=1;
break;

};

}

// Timer 2 overflow interrupt service routine
interrupt [TIM2_OVF] void timer2_ovf_isr(void)
{

energy+=(float)power/3600000;

}

void main(void)
{

#pragma optimize- // System Clock Prescalerset to 1
CLKPR=0x80;
CLKPR=0x00;
#ifdef _OPTIMIZE_SIZE_
#pragma optimize+
#endif

//JTAG Interface Disable
MCUCSR|=0x80;
MCUCSR|=0x80;

// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
PORTA=0x08;
DDRA=0xF7;

// Port B initialization
PORTB=0xCC;

```

```

DDRB=0xB3;

// Port C initialization
PORTC=0xFF;
DDRC=0x00;

// Port D initialization
PORTD=0xFF;
DDRD=0x00;

// Port E initialization
PORTE=0x03;
DDRE=0x04;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x6B; //clk/64 // 488.28125Hz // fanpwm // fast mode
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 1 Stopped
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off

ICR1H=0xFF;//ICR1H=0x00; //TOP value
ICR1L=0xFF;//ICR1L=0x00;

OCR1AH=0x00; // fast pwm mode
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;

TCCR1A=0x22;
TCCR1B=0x19;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: TOSC1 pin
// Clock value: PCK2/128
// Mode: Normal top=FFh
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x08;
TCCR2=0x05;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

```

```

// Timer/Counter 3 initialization
// Clock value: Timer 3 Stopped
// Mode: Normal top=FFFFh
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// OC3A output: Discon.
// OC3B output: Discon.
// Timer 3 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR3A=0x00;
TCCR3B=0x00;
TCNT3H=0x00;
TCNT3L=0x00;
ICR3H=0x00;
ICR3L=0x00;
OCR3AH=0x00;
OCR3AL=0x00;
OCR3BH=0x00;
OCR3BL=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: On
// INT0 Mode: Falling Edge
// INT1: Off
// INT2: Off
// Interrupt on any change on pins PCINT0-7: Off
// Interrupt on any change on pins PCINT8-15: Off
GICR|=0x40;
MCUCR=0x02;
EMUCR=0x00;
GIFR=0x40;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x04;
ETIMSK=0x00;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;

// SPI initialization
// SPI Type: Master
// SPI Clock Rate: 2000.000 kHz //3 MHz max
// SPI Mode: 3
// SPI Data Order: MSB First
SPCR=0x5C;
SPSR=0x00;

// Clear the SPI interrupt flag
#asm
in r30,spsr
in r30,spdr
#endasm

```

```

// LCD module initialization
lcd_init(20);

// define user characters
define_char(char0,0);
define_char(char1,1);
define_char(char2,2);
define_char(char3,3);
define_char(char4,4);

display_messages(1,1,0); //message: "DC Electronic Load"

// Global enable interrupts
#asm("sei") //same as SREG=0x80;

data_transfer(0xFF); //reset A/D
data_transfer(0xFF);
data_transfer(0xFF);
data_transfer(0xFF);

data_transfer(0b00100000); //write to clock register
data_transfer(0b00000100); //50Hz

channel_calibrate(channel);
wait_data(channel); //waiting for new data to be received
channel_calibrate(channel);
wait_data(channel); //waiting for new data to be received
channel_calibrate(channel);

encoder_status=(PIND&0xC0)>>6; //clear encoder position

//minimum watchdog timer prescaler: OSC/256k, time-out: 0.26 sec
//1/16.6Hz=60ms between samples + 9/50Hz=180ms for calibration

// Watchdog Timer initialization
// Watchdog Timer Prescaler: OSC/512k, time-out: 0.52 sec
#pragma optsize-
WDTCR=0x1D;
WDTCR=0x0D;
#ifdef _OPTIMIZE_SIZE_
#pragma optsize+
#endif

while (1)
{

wait_data(channel); //waiting for new data to be received, while counting encoder

if (sample_counter==temp) { //periodically calibrate channels

channel_calibrate(channel);
temp++;

if (temp==3) {
temp=0;
};
};
};

```

```

};

if (sample_counter&1) { //every AIN1,AIN3 received sample, rate: 8.3Hz

if (read_button()&run_once) { //select mode

if (menu) {
mode=tempmode;
lcd_putchar(0);
hold=16;
        filter3=0;
value=initial_value();
variable_step=1;
ext_off=0;
fan_stall=0;
        };

menu++; //toggle menu
run_once=0;
encoder_status=(PIND&0xC0)>>6; //clear encoder position
        };

if (menu) {

mode_select(tempmode+read_encoder());
        }
else {

display_values();
        };

        }
else { //every AIN2 received sample, rate: 8.3Hz

        filter1=filter1-(filter1>>shift1)+data_current;
f_current=filter1>>shift1;//i.e. f_current=f_current+(data_current-f_current)>>shift

        filter2=filter2-(filter2>>shift2)+data_voltage;
f_voltage=filter2>>shift2;//i.e. f_voltage=f_voltage+(data_voltage-f_voltage)>>shift

current=f_current*c_gain+0.5; //scaling with approximation //mA
voltage=f_voltage*v_gain+0.5; //scaling with approximation //mV

resistance=((float)voltage/current)+0.5; //Ohm

power=(voltage*0.03162278)*(current*0.03162278)+0.5; //mW

if (new_temp_sample) { //read new temperature sample

```

```

//power derating 48W/C above 50 C
//1200W @ 50 C - 0W @ 75 C

if (data_temperature>32767) { //if temperature > 50 C

power_derate=sub(1200,sub(data_temperature,32767)/13.65313);
//max power (Watts) vs temperature
//i.e. power_derate=1200W-(temperature-50C)*48
//655.35/48=13.653125

}

else {
power_derate=1200;
current_derate=20000;
resistance_derate=1;
};

//fan control

if (fan_stall< 5) {

if (data_temperature>22937) { //if temperature > 35 C power on the fan

if (data_temperature>32767) { //if temperature > 50 C

OCR0=255;
}

else {

OCR0=data_temperature>>7;
};

}

else if (OCR0 &&data_temperature>19660) { //if temperature > 30 C and fan is on, add hysteresis

OCR0=data_temperature>>7;
}

else {

OCR0=0;
};
};

if (!PINE.0 && OCR0) {
OCR0=0;

if (fan_stall) { //if fan stalls repeatedly

value=initial_value();
PORTB.4=0;
ext_off=1;

};

fan_stall++;
display_messages(6,1,5); //message: "fan stall"

```

```

        };

new_temp_sample=0;

        };

if (power_derate<1200) {

switch (mode) {

case 1: current_derate=(power_derate*1092250)/f_voltage;
        //i.e. (power_derate*1000000)/f_voltage*v_gain
//or 1092250=65535*20000/1200
break;

case 3: resistance_derate=((unsigned long int)f_voltage*f_voltage)/(1193010*power_derate)+1;

//i.e. R=V*V/P
        //(f_voltage/1092.25)*(f_voltage/1092.25), f_voltage/1092.25 = volts
//1092.25*1092.25=1193010.0625
        //3=65535*65535/(1193010.0625*1200W)
break;

        };

};

if (f_voltage>2730&&~f_voltage) { //if voltage is above 2.5V and below 60V

if (!menu) {

set_value();

        };

if (mode<4 && PINB.4) {

PORTB.4=0;

        };

switch (mode) {

case 1: //Constant Current mode

ref_current=value/c_gain+0.5;

break;

case 2: //Constant Power mode

        //I=P/V
        //P = value
        //I = value/voltage

        //value*1000000 for 1 Watt step

ref_current=((value*3579030.1875)/f_voltage)+0.5;

```



```

//i.e. value/voltage with approximation
//1000000/(c_gain*v_gain)=3579030.1875
//(65535*65535)/1200=3579030.1875

break;

case 3: //Constant Resistance mode

//I=V/R
//R = value
//I = voltage/value

//v_gain/c_gain=3, for 1 Ohm step

ref_current=(f_voltage/value)*3;

break;

case 4: //External mode
ref_current=0;

if (power_derate> power/1000) {

if (!PINB.4 && !ext_off) {
PORTB.4=1;
};
}

else if(PINB.4){

PORTB.4=0;
display_messages(5,1,4); //message: "high power"
ext_off=1;
};

}

else { //if voltage is out of range

if (!~data_voltage){ //if voltage is 60V

display_messages(4,1,2); //message: "high voltage"
}

else if (encoder_rotate&&!menu&&!hold) { //if rotate encoder when voltage is low

display_messages(4,1,1); //message: "low voltage"
};

filter3=0;
value=initial_value();
ref_current=0;
variable_step=1;
encoder_rotate=0;

PORTB.4=0;
ext_off=1;

};

```

```

        filter3=filter3-data_current+ref_current;

if (filter3>max) {
    filter3=max;
}
else if (filter3<0) {
    filter3=0;
};

OCR1B=filter3>>shift3; //i.e. OCR1B=OCR1B+(ref_current-data_current)>>shift

};

if (buzzer) {
PORTB.1=1;
buzzer=0;
}
else {
PORTB.1=0;
};
    #asm("wdr") //reset watchdog timer

};

}

```

## 8 Βιβλιογραφία

1. **Getz, Robin και Moeckel, Bob.***Understanding and Eliminating EMI in Microcontroller Applications.* [Application Note 1050] s.l. : National Semiconductor, August 1996.
2. **Rich, Alan.***Understanding Interference Type Noise.* [Application Note AN-346] s.l. : Analog Devices.
3. —. *Shielding and Guarding.* [Application Note AN-347] s.l. : Analog Devices.
4. **W.Ott, Henry.***NOISE REDUCTION TECHNIQUES IN ELECTRONIC SYSTEMS.* [επιμ.] AT&T Bell Laboratories. 2nd. s.l. : WILEY, 1988.
5. **Tran, Thanh.***OMAP5910 Decoupling/Filtering Techniques.* [Application Report] s.l. : Texas Instruments, 2003.
6. *BYPASS CAPACITOR SELECTION FOR HIGH SPEED DESIGNS.* [TECHNICAL NOTE TN-00-06] s.l. : Micron Technology, 1999.
7. *DECOUPLING IN HIGH SPEED ENVIROMENTS.* [Application note] s.l. : White Electronic Designs, 1998.
8. *PC Board Layout and Design Tools.* s.l. : Analog Devices, 2006.
9. **Carter, Bruce.***The PCB is a component of op amp design.* s.l. : Texas Instruments, 2000.
10. **Chase, Yun.***Introduction to Choosing MLC Capacitors For Bypass/Decoupling Applications.* [TECHNICAL INFORMATION] s.l. : AVX Corporation.
11. *Using Decoupling Capacitors.* [application note AN1032] s.l. : Cypress Semiconductor, 2010.
12. **Ιωάννης, Μηνιάδης.***Safe Operating Area.* [Σημειώσεις, Εργαστήριο Ηλ. Κατασκευών] 2004.
13. **Beis, Uwe.**Active Low-Pass Filter Design and Dimensioning. [Ηλεκτρονικό] <http://www.beis.de/Elektronik/Filter/ActiveLPFilter.html>.