

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ 10ΗΖ-
60ΜΗΖ ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΟ ΤΡΟΠΟ (DDS)»



Των φοιτητών
ΜΟΔΙΩΤΗ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ
Αρ. Μητρώου: 515089
και
ΚΑΖΑΝΤΖΙΔΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ
Αρ. Μητρώου: 515042

Επιβλέπων καθηγητής : Λέκτορας ΓΙΑΚΟΥΜΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ

Ημερομηνία 9-2021

Τίτλος Δ.Ε.: Σχεδίαση και κατασκευή γεννήτριας σημάτων από 10Hz-60MHz με ψηφιακό τρόπο (DDS)

Κωδικός Δ.Ε.: 17199

Όνοματεπώνυμο φοιτητών: Μοδιώτης Αθανάσιος, Καζαντζίδης Παναγιώτης

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Γιακουμής Άγγελος

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε.: 13-03-2019

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε.: 13/9/2021

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών Μοδιώτη Αθανασίου και Καζαντζίδα Παναγιώτη που την εκπόνησε/αν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Στην επιστήμη της ηλεκτρονικής οι μηχανικοί έχουμε την ανάγκη για όργανα έλεγχου, δοκίμων και μετρήσεων χρόνου, συχνότητας, τάσης, ρεύματος, ισχύος, καθώς και άλλων ηλεκτρονικών μεγεθών. Για τις δοκιμές που είναι απαραίτητη η παρουσία κάποιων σημάτων ή για τον έλεγχο ανοχής στον θόρυβο των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, το κατάλληλο όργανο είναι η γεννήτρια σημάτων. Χάρη σε αυτήν την απαίτηση οι γεννήτριες συναρτήσεων υπάρχουν από όταν πρωτοξεκίνησαν τα ηλεκτρονικά κυκλώματα με τις λυχνίες κενού. Η πρώτη εμπορικά διαθέσιμη γεννήτρια έφτασε την αγορά το 1928. Στην εργασία μας μελετάμε και κατασκευάζουμε μια γεννήτρια σημάτων με ψηφιακό τρόπο DDS (Direct Digital Synthesis). Αυτού του τύπου οι γεννήτριες δημιουργούν το σήμα μέσω μια ψηφιακής τιμής και ενός μετατροπέα ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (DAC) ενώ παράλληλα παρέχουν και ψηφιακό έλεγχο στην συχνότητα. Ένα ακόμα θετικό αυτών των γεννητριών είναι η δυνατότητα προγραμματισμού οποιας συνάρτησης επιθυμούμε (δεν ισχύει σε όλες τις γεννήτριες DDS που είναι διαθέσιμες στο εμπόριο). Παρά τα θετικά τους οι γεννήτριες DDS δεν παρέχουν λύση στα πάντα, η αλλαγή των εξόδων σε παράλληλους DAC ή η αποστολή πακέτων σε σειριακούς DAC απαιτεί κύκλους στον επεξεργαστή που παράγει τις τιμές για το αναλογικό σήμα. Σε συνδυασμό με την καθυστέρηση για την επαναφορά στην αρχή της επανάληψης στο πρόγραμμα και στο ότι για να μπορούμε να διακρίνουμε μια κυματομορφή, καλό είναι να υπάρχουν τουλάχιστον 10 δείγματα (κατά προτίμηση 100), είναι εύκολο να συμπεράνουμε ότι η συχνότητα λειτουργίας του επεξεργαστή πρέπει να είναι πολύ πιο γρήγορη από την συχνότητα που μπορεί να παράγει.

Περίληψη

Η πτυχιακή εργασία μας αποτελείται από την μελέτη, ανάλυση και κατασκευή μιας γεννήτριας σημάτων με ψηφιακό τρόπο DDS. Για να επιτευχτεί αυτό σωστά, πρέπει να αναλυθεί το κύκλωμα σε επιμέρους υποκυκλώματα.

- 1) Φίλτρο τάσης δικτύου, σε αυτό το σημείο απομονώνουμε τον οποιοδήποτε ηλεκτρικό θόρυβο από το δίκτυο.
- 2) Σταθεροποιητές τάσης, εδώ παράγεται η σταθερή και ακριβής τροφοδοσία του κυκλώματός μας.
- 3) Γεννήτρια ρολογιού αναφοράς, είναι το κομμάτι υπεύθυνο για την ακρίβεια της συχνότητας εξόδου.
- 4) 12 bit DAC, αυτό το κύκλωμα παράγει τα σήματα που καταλήγουν στην έξοδο.
- 5) Το κύκλωμα που παράγει την DC συνιστώσα στην έξοδο.
- 6) Ο μεικτήρας της DC συνιστώσας και του σήματος που παράγεται από τον DAC.
- 7) Το κύκλωμα διεπαφής χρηστή που επικοινωνεί με τον χρήστη και μεταφράζει τις πληροφορίες στα λειτουργικά μέρη του κυκλώματος.

«Design and construction of a direct digital synthesis signal generator 10Hz-60MHz»

Modiotis Athanasios

Kazantzidis Panagiotis

Abstract

Our dissertation consists of the study, analysis and construction of a DDS digital signal generator. To achieve this, the circuit must be broken down into individual subcircuits.

- 1) mains voltage filter, at this point we isolate any electrical noise from the mains.
- 2) Voltage stabilizers, here the constant and accurate voltage supply of our circuit is produced.
- 3) Reference clock generator, this is the part responsible for the accuracy of the output frequency.
- 4) 12 bit DAC, this circuit generates the signals that end up at the output.
- 5) The circuit that produces the DC component at the output.
- 6) The mixer of the DC component and the signal produced by the DAC.
- 7) The user interface circuit that communicates with the user and translates the information to the functional parts of the circuit.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Γιακουμή Άγγελο, λέκτορα καθηγητή του ΔΙ.ΠΑ.Ε. και επιβλέπων καθηγητή της πτυχιακής μας εργασίας, για την πολύτιμη συμβολή και τη συστηματική καθοδήγηση στη προσπάθειά μας αυτή.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας για την στήριξη που μας έδειξαν.

Περιεχόμενα

| | |
|--|------|
| Πρόλογος | ii |
| Περίληψη | iii |
| Abstract | iv |
| Ευχαριστίες | v |
| Περιεχόμενα..... | vi |
| Κατάλογος σχημάτων | viii |
| Κατάλογος εικόνων..... | ix |
| Κατάλογος πινάκων | ix |
| Συνομογραφίες | x |
| Κεφάλαιο 1ο: Αντιπαρασιτικό φίλτρο τάσης δικτύου AC και προστασία υπέρτασης OVP1 250V και βραχυκυκλώματος SCP1 400mA | 1 |
| 1.1 Περιγραφή..... | 1 |
| 1.2 Υλικά και υλοποίηση κυκλώματος | 2 |
| Κεφάλαιο 2ο: Μετατροπή AC σε DC, αντιπαρασιτικό φίλτρο και προστασία υπέρτασης OVP2 25V = και βραχυκυκλώματος SCP2 1A | 5 |
| 2.1 Περιγραφή..... | 5 |
| 2.2 Υλοποίηση του κυκλώματος..... | 5 |
| Κεφάλαιο 3ο: Θετική τάση αναφοράς ακριβείας | 7 |
| 3.1 Περιγραφή..... | 7 |
| 3.2 Υλοποίηση του κυκλώματος..... | 7 |
| Κεφάλαιο 4ο: Αρνητική τάση αναφοράς ακριβείας και αρνητική τάση τροφοδοσίας..... | 8 |
| 4.1 Περιγραφή..... | 8 |
| 4.2 Υλοποίηση του κυκλώματος..... | 8 |
| Κεφάλαιο 5ο: Θετικές τάσεις τροφοδοσίας..... | 9 |
| 5.1 Περιγραφή..... | 9 |
| 5.2 Υλοποίηση του κυκλώματος..... | 9 |
| Κεφάλαιο 6ο: Ελεγκτές θερμοκρασίας με υστέρηση 1.5C..... | 10 |
| 6.1 Περιγραφή..... | 10 |
| 6.2 Υλοποίηση του κυκλώματος..... | 10 |
| Κεφάλαιο 7ο: Γεννήτρια ρολογιού | 13 |

| | | |
|------|---|----|
| 7.1 | Περιγραφή..... | 13 |
| 7.2 | Υλοποίηση του κυκλώματος..... | 13 |
| | Κεφάλαιο 8ο: 12bit DAC γεννήτρια σημάτων | 14 |
| 8.1 | Περιγραφή..... | 14 |
| 8.2 | Ανάλυση λειτουργίας..... | 14 |
| | Κεφάλαιο 9ο: Ρύθμιση DC offset εξόδου..... | 21 |
| 9.1 | Περιγραφή..... | 21 |
| 9.2 | Υλοποίηση του κυκλώματος..... | 21 |
| | Κεφάλαιο 10ο: Μίξη offset και σήματος και τελική έξοδος | 23 |
| 10.1 | Περιγραφή..... | 23 |
| 10.2 | Υλοποίηση του κυκλώματος..... | 23 |
| | Κεφάλαιο 11ο: Ο κυματοδηγός | 25 |
| 11.1 | Περιγραφή..... | 25 |
| 11.2 | Υλοποίηση του κυκλώματος..... | 25 |
| | Κεφάλαιο 12ο: Εξωτερική EEPROM M95080 / κάρτα μνήμης | 28 |
| 12.1 | Περιγραφή..... | 28 |
| 12.2 | Υλοποίηση κυκλώματος | 28 |
| | Κεφάλαιο 13ο: Διεπαφή χρήστη και δυνατότητα απομόνωσης της γείωσης..... | 30 |
| 13.1 | Περιγραφή..... | 30 |
| 13.2 | Υλοποίηση του κυκλώματος..... | 30 |
| 13.3 | Μέσα διεπαφής χρήστη και δυνατότητα απομόνωσης της γείωσης..... | 30 |
| | Κεφάλαιο 14ο: Παράρτημα πλήρες σχηματικό και σχέδιο τυπωμένου κεντρικής πλακέτας | 33 |
| | Κεφάλαιο 15ο: Συμπεράσματα ή/και προτάσεις βελτίωσης..... | 37 |
| | Βιβλιογραφία | 39 |

Κατάλογος σχημάτων

| | |
|--|----|
| Σχήμα 1.1 Σχηματικό Proteus | 2 |
| Σχήμα 1.2 Σχέδιο τυπωμένου στο ARES..... | 3 |
| Σχήμα 1.3 Απεικόνιση 3D στο ARES | 3 |
| Σχήμα 2.1 Μετατροπή AC σε DC, SCP2, OVP2 | 6 |
| Σχήμα 3.1 Θετική τάση αναφοράς ακριβείας | 7 |
| Σχήμα 4.1 Αρνητική τάση αναφοράς ακριβείας και αρνητική τάση τροφοδοσίας. | 8 |
| Σχήμα 5.1 Θετικές τάσεις τροφοδοσίας..... | 9 |
| Σχήμα 6.1 Ελεγκτής θερμοκρασίας | 11 |
| Σχήμα 7.1 Γεννήτρια ρολογιού | 13 |
| Σχήμα 8.1 Block διάγραμμα επικοινωνιών..... | 15 |
| Σχήμα 8.2 Block διάγραμμα της λειτουργίας του PLL | 15 |
| Σχήμα 8.3 Σχηματικό dspic33ep256mu806..... | 18 |
| Σχήμα 8.4 Δικτύωμα R2R..... | 19 |
| Σχήμα 8.5 Δικτύωμα R2R στο Proteus..... | 20 |
| Σχήμα 9.1 Offset εξόδου..... | 21 |
| Σχήμα 9.2 Επιλογή offset με ρελέ..... | 22 |
| Σχήμα 10.1 Τελική έξοδος..... | 24 |
| Σχήμα 11.1 Αναπαράσταση κυματοδηγού στο ARES με αντίσταση $z_0=50\Omega$ | 27 |
| Σχήμα 12.1 Σχέδιο τυπωμένου της κάρτας μνήμης στο ARES..... | 28 |
| Σχήμα 12.2 Οι συνδέσεις για τις μνήμες M95XXX | 29 |
| Σχήμα 13.1 Σχηματικό Proteus | 31 |
| Σχήμα 13.2 Σχέδιο στο ARES | 31 |
| Σχήμα 14.1 Σχηματικό σελίδα 1 | 33 |
| Σχήμα 14.2 Σχηματικό σελίδα 2 | 34 |
| Σχήμα 14.3 Σχηματικό σελίδα 3 | 34 |
| Σχήμα 14.4 Σχηματικό σελίδα 4 | 35 |
| Σχήμα 14.5 Σχέδιο τυπωμένου στο ARES | 35 |

Κατάλογος εικόνων

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1 : Τυπωμένο φίλτρο κάτω όψη | 4 |
| Εικόνα 2 : Τυπωμένο φίλτρο πάνω όψη | 4 |
| Εικόνα 3 : Τα καπάκια με τις αντιστάσεις που μπαίνουν στο κάτω μέρος της πλακέτας και τα καπάκια που καλύπτουν τα εξαρτήματα αναφοράς που μπαίνουν στο πάνω μέρος της πλακέτας..... | 12 |
| Εικόνα 4 : οι σχέσεις που προσδιορίζουν την συχνότητα λειτουργίας με βάση την συχνότητα του AD9834 και των ρυθμίσεων του PLL..... | 16 |
| Εικόνα 5 : Ομοαξονικό καλώδιο | 25 |
| Εικόνα 6 : Εγκάρσια τομή | 26 |
| Εικόνα 7 : Υπολογισμός χαρακτηριστικών καλωδίου..... | 26 |
| Εικόνα 8 : Παρουσίαση στάσιμων κυμάτων και ανακλάσεων χωρίς αντίσταση τερματισμού και η γραμμή μεταφοράς δεν αντιστοιχεί σε $\lambda/4$ | 27 |
| Εικόνα 9 : Τυπωμένη κάρτα μνήμης | 29 |
| Εικόνα 10 : Φωτογραφία πλακέτας διεπαφής χρηστή..... | 32 |
| Εικόνα 11 : Τυπωμένη κεντρική πλακέτα | 36 |
| Εικόνα 12 : Λειτουργία/Δοκιμή γεννήτριας | 38 |

Κατάλογος πινάκων

| | |
|--|----|
| Πίνακας 8.1: Πίνακας αναφοράς PLLDIV σε σχέση με την συχνότητα λειτουργίας.... | 17 |
|--|----|

Συντομογραφίες

| | |
|-------------|---|
| mA..... | milliAmbere |
| AC..... | Alternating Current |
| ADC..... | Analog-to-Digital Converter |
| C..... | Capacitor |
| °C..... | Celsius |
| D..... | Diode |
| DAC..... | Digital-to-Analog Converter |
| DC..... | Direct Current |
| DDS..... | Direct Digital Synthesis |
| EEPROM..... | Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory |
| F..... | Fuse |
| F..... | Frequency |
| FB..... | Ferrite Bead |
| FET..... | Field-Effect Transistor |
| FIN..... | Input Frequency |
| nF..... | nanoFarad |
| G..... | Gain |
| GCPW..... | Grounded Co-Planar Waveguide |
| Hz..... | Hertz |
| HFE..... | Forward Current Gain |
| uH..... | microHenry |
| I..... | Current |
| L..... | Inductor |
| LED..... | Light Emitting Diode |
| LSB..... | Least Significant Bit/Byte |
| MAX..... | Maximum |
| MIN..... | Minimum |
| MSB..... | Most Significant Bit/Byte |
| OSC..... | Oscillator |
| OVP..... | Over Voltage Protection |

PLL Phase-Locked Loop
PPM..... Parts Per Million
P-P..... peak-to-peak
R..... Resistor
RAM Random Access Memory
REF Reference
S Sample
SFDR..... Spurious-Free Dynamic Range
SCP Short-Circuit Protection
SMD Surface Mounted Device
SPI..... Serial Peripheral Interface
T Temperature
THT..... Through Hole Technology
V..... Volt
VFOA..... Voltage Feedback Operational Amplifier
VCC Voltage at the Common Collector
VCO Voltage Controlled Oscillator
VSS Voltage for Substrate & Sources
W..... Watt
Wfm Waveform
Z..... Zener
 Ω Ohm
BGA Ball Grid Array
SSR Solid State Relay

Κεφάλαιο 1ο: Αντιπαρασιτικό φίλτρο τάσης δικτύου AC και προστασία υπέρτασης OVP1 250V και βραχυκυκλώματος SCP1 400mA

1.1 Περιγραφή

Η τάση του δικτύου 230V 50Hz μπορεί αρκετές φορές να παρουσιάσει υπερτάσεις που μπορούν να βλάψουν τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε αυτό. Επίσης κάποιο βραχυκύκλωμα της συσκευής δεν πρέπει να μπορεί να βλάψει την ηλεκτρολογική εγκατάσταση. Και ένα ακόμα ενδεχόμενο πρόβλημα του δικτύου είναι ο κοινός θόρυβος, κυρίως λόγω των συγχρόνων switching τροφοδοτικών και των λαμπτήρων LED. Αν και τα περισσότερα έχουν κυκλώματα και συστήματα για την μείωση των παρεμβολών, σε ένα κύκλωμα γενικά χαμηλής ισχύος και που απαιτείται ο μικρότερος δυνατός θόρυβος (όπως η κατασκευή μας) και δεν βλέπτε να υπάρχει ακόμα ένα φίλτρο για την περαιτέρω μείωση αυτών των παρεμβολών.

1.2 Υλικά και υλοποίηση κυκλώματος

ασφάλειες: F1,F2 400mA 250V κεραμικές

πυκνωτές: C4,C3 1nF class Y1 600v~

πυκνωτές: C1,C2,C5,C6 100nF class X2 305V~

πηνία φερρίτη: L2, L3 33uH

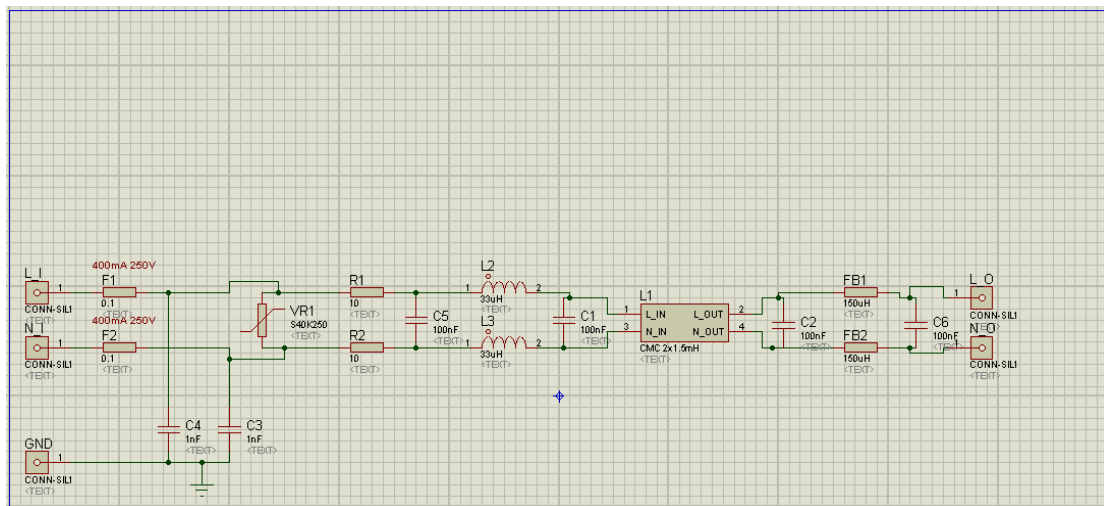
πηνία φερρίτη: FB1, FB2 150uH

common mode choke: L1 2x1.5mH

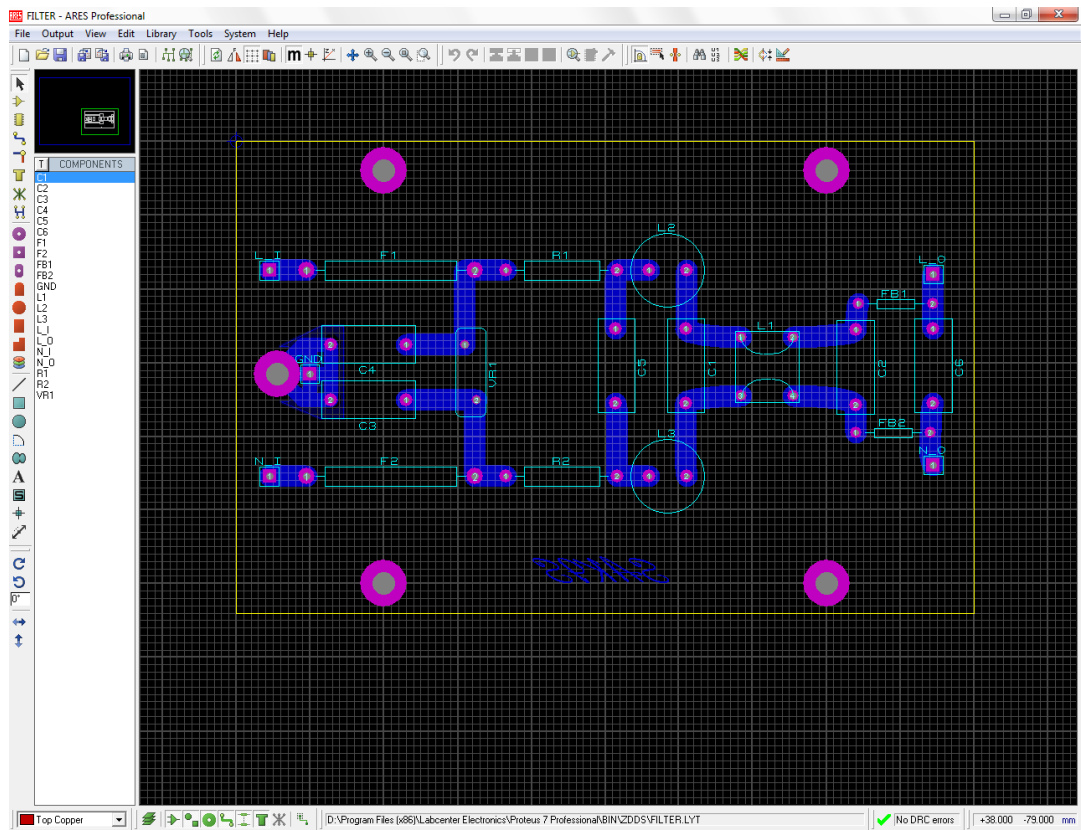
VR1:varistor 250V~

Υλικό πλακέτας: CEM3 (πυράντοχο)

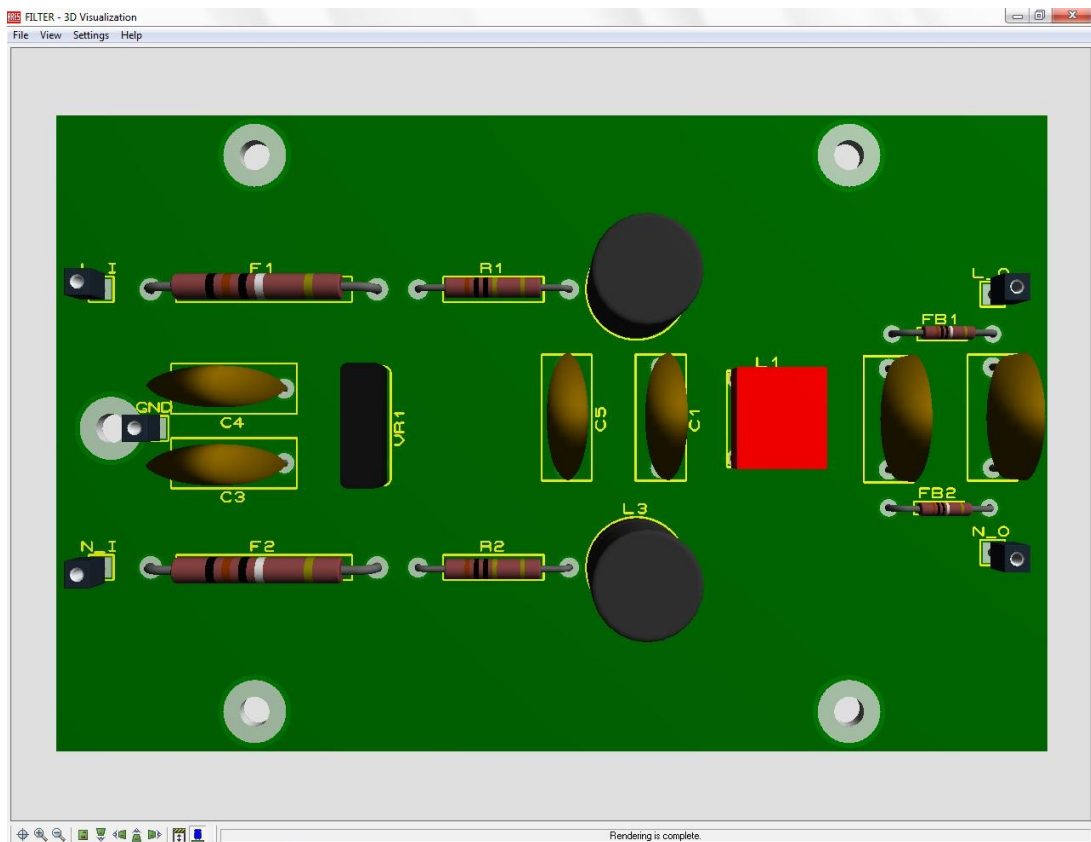
Είσοδοι L_I, N_I, GND εξοδοι L_O,N_O



Σχήμα 1.1 Σχηματικό Proteus



Σχήμα 1.2 Σχέδιο πτωμένου στο ARES



Σχήμα 1.3 Απεικόνιση 3D στο ARES



Εικόνα 1 : Τοπωμένο φίλτρο κάτω όψη



Εικόνα 2 : Τοπωμένο φίλτρο πάνω όψη

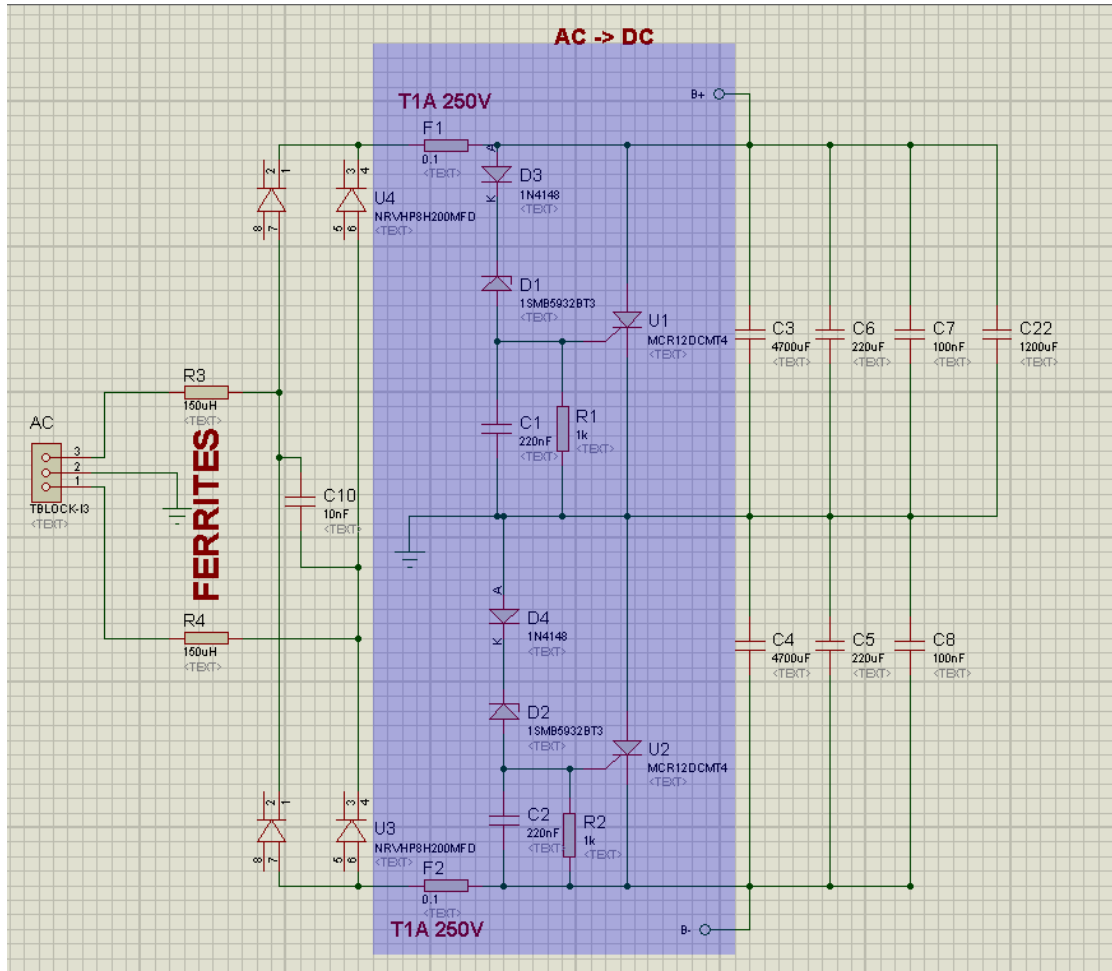
Κεφάλαιο 2ο: Μετατροπή AC σε DC, αντιπαρασιτικό φίλτρο και προστασία υπέρτασης OVP2 25V = και βραχυκυκλώματος SCP2 T1A

2.1 Περιγραφή

Αν και υπάρχει ένα φίλτρο στην είσοδο της τάσης δικτύου χρησιμοποιούμε ακόμη ένα μετά το δευτερεύον 2x14V~ του μετασχηματιστή. Επίσης έχουμε περαιτέρω ασφάλειες βραχυκυκλώματος για την προστασία του μετασχηματιστή 1A βραδείας τήξης για να μην καίγονται στην φόρτιση των πυκνωτών. Αυτές τις ασφάλειες επίσης τις χρησιμοποιούμε στα κυκλώματα προστασίας υπέρτασης (crowbar), τα οποία τα χρησιμοποιούμε για πιο άμεση επέμβαση σε περίπτωση υπέρτασης γιατί το varistor μπορεί να δράσει πολύ αργά για το κύκλωμα.

2.2 Υλοποίηση του κυκλώματος

Μετά τον μετασχηματιστή 230V~ σε 28V~ με μεσαία λήψη (2x14V~) έχουμε ένα φίλτρο στα 92kHz ($f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$). Στην συνέχεια έχουμε πλήρη ανόρθωση και προστασία βραχυκυκλώματος μέσω των ασφαλειών βραδείας τήξης για την φόρτιση των πυκνωτών: F1 για B+ και F2 για B-. Η προστασία υπέρτασης γίνεται μέσω των θυρίστορ U1 και U2 σε συνδυασμό με μια δίοδο zener 24V στην πύλη του θυρίστορ όταν η τάση B+ ξεπεράσει τα 25V το θυρίστορ θα ενεργοποιηθεί και το θυρίστορ δεν απενεργοποιείται αν δεν μηδενιστεί το ρεύμα που άγει, καίγοντας την ασφάλεια και προστατεύει το υπόλοιπο κύκλωμα από την υπέρταση. Οι τελεστικοί που χρησιμοποιούνται σαν σταθεροποιητές τάσης NCV33072DR2G έχουν μέγιστη τάση λειτουργίας τα 44V.



Σχήμα 2.1 Μετατροπή AC σε DC, SCP2, OVP2

Κεφάλαιο 3ο: Θετική τάση αναφοράς ακριβείας

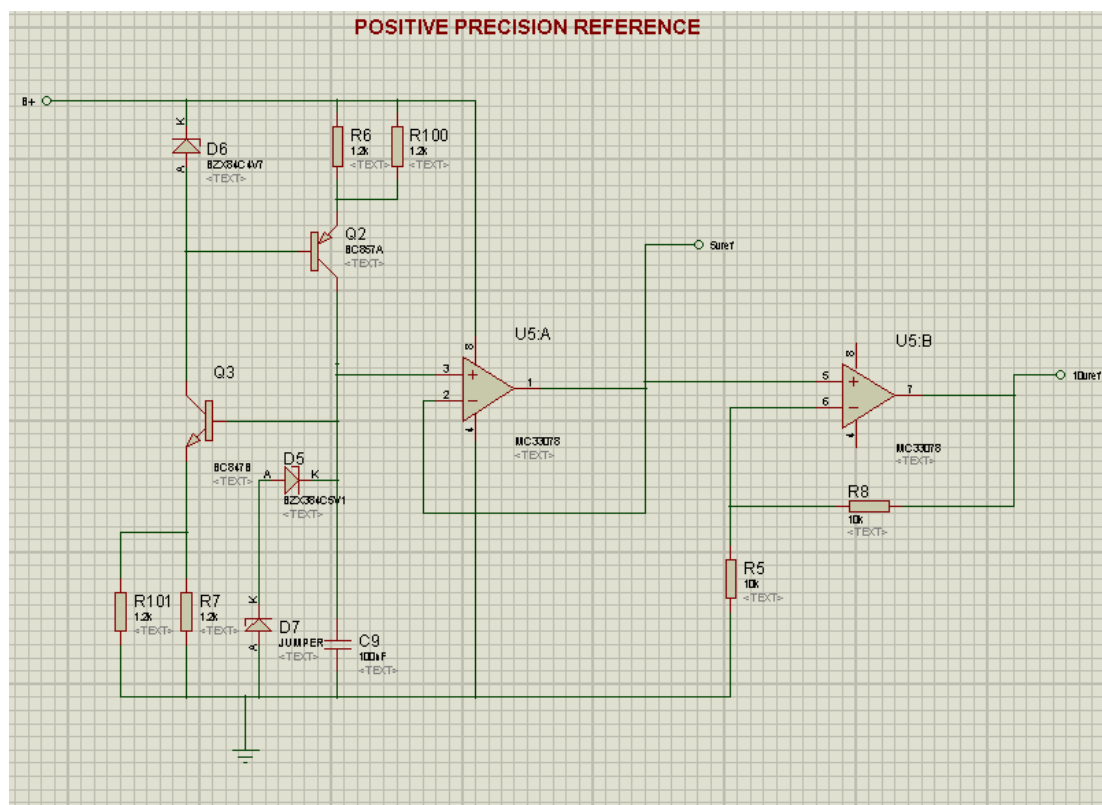
[1]

3.1 Περιγραφή

Ένα κομμάτι που παρουσιάζει μια σημαντική πρόκληση σε ένα σύστημα ADC ή DAC είναι ότι η ακρίβεια εξόδου επηρεάζεται δραματικά από την τάση αναφοράς [2]. Η τάση αναφοράς χρησιμοποιείται για να παραχθεί με ακρίβεια η τάση εξόδου του συστήματος. Οποιαδήποτε απόκλιση στην τάση αναφοράς επηρεάζει την τάση εξόδου και το δυναμικό εύρος χωρίς αρμονικές SFDR [3].

3.2 Υλοποίηση του κυκλώματος

Η τάση αναφοράς δημιουργείται από μια πηγή ρεύματος ακριβείας που δεν επηρεάζεται από την τάση εισόδου, $I_{ceQ2} = \frac{V_{D6} - V_{BEQ2}}{R6 // R100}$, $I_{ceQ3} = \frac{V_{D5} - V_{BEQ3}}{R7 // R101}$, U5A 5V buffer και U5B ενισχυτής $G=2=(1+R8/R5)$ μας δίνει την τάση αναφοράς 10V. Ο μόνος παράγοντας που μπορεί να αλλάξει την τάση εξόδου είναι η θερμοκρασία της διόδου zener [4] (α_{VZ} at I_{ZT1} , $10^{-4}/^{\circ}C$, MIN.-3 MAX. +4) ανάλογα με τη συγκεκριμένη δίοδο (σύμφωνα με το datasheet του κατασκευαστή των συγκεκριμένων διόδων). Την θερμοκρασία θα την κρατούν σταθερή αντιστάσεις που θα ελέγχονται με θερμίστορ.



Σχήμα 3.1 Θετική τάση αναφοράς ακριβείας

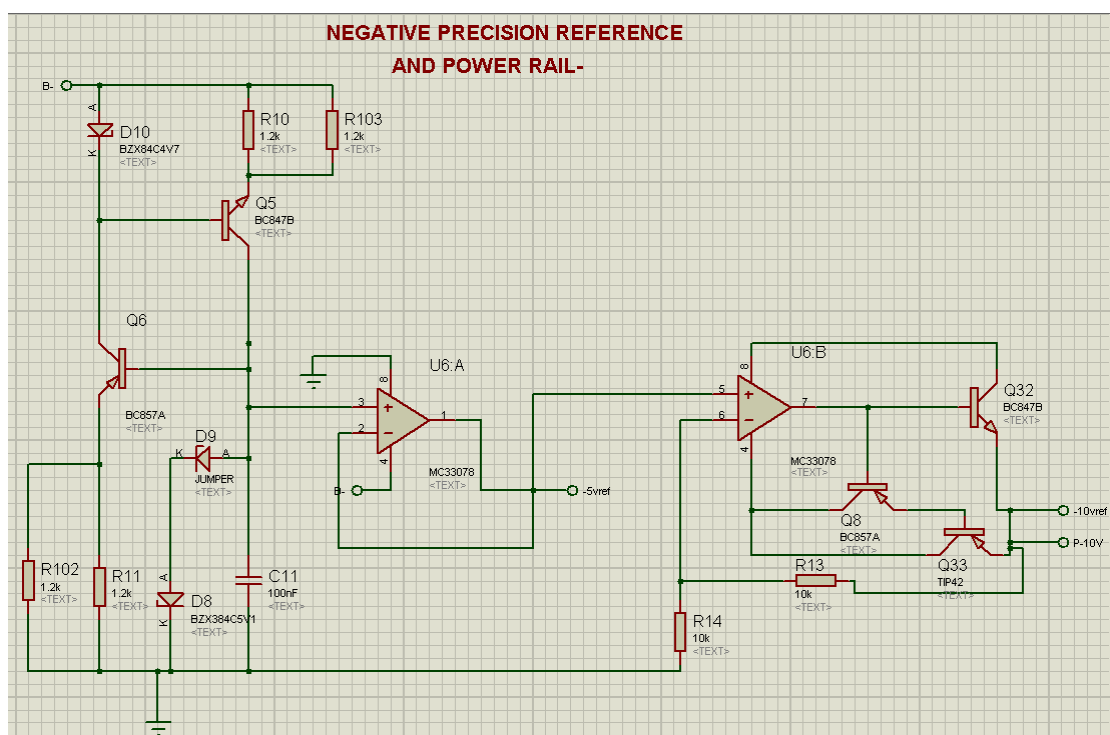
Κεφάλαιο 4ο: Αρνητική τάση αναφοράς ακριβείας και αρνητική τάση τροφοδοσίας

4.1 Περιγραφή

Η τάση τροφοδοσίας χρησιμοποιεί την τάση αναφοράς για να μπορεί να μας δώσει την ίδια τάση στην έξοδο αλλά με την δυνατότητα να οδηγήσει κάποιο φορτίο. Η τάση αναφοράς ακριβείας από μόνη της δεν μπορεί να μας δώσει αρκετό ρεύμα.

4.2 Υλοποίηση του κυκλώματος

Η τάση αναφοράς δημιουργείται με τον ίδιο τρόπο όπως η θετική. Στην αρνητική τροφοδοσία επειδή θέλουμε μόνο μια τροφοδοσία (-10V), απευθείας κάνουμε και την ενίσχυση ρεύματος μέσω δυο τρανζίστορ σε συνδεσμολογία Darlington bc857 hfe min=100, και tip42 hfe min =35, hfe total min = 3500 με έλεγχο από την ανάδραση του τελεστικού.



Σχήμα 4.1 Αρνητική τάση αναφοράς ακριβείας και αρνητική τάση τροφοδοσίας.

Κεφάλαιο 5ο: Θετικές τάσεις τροφοδοσίας

5.1 Περιγραφή

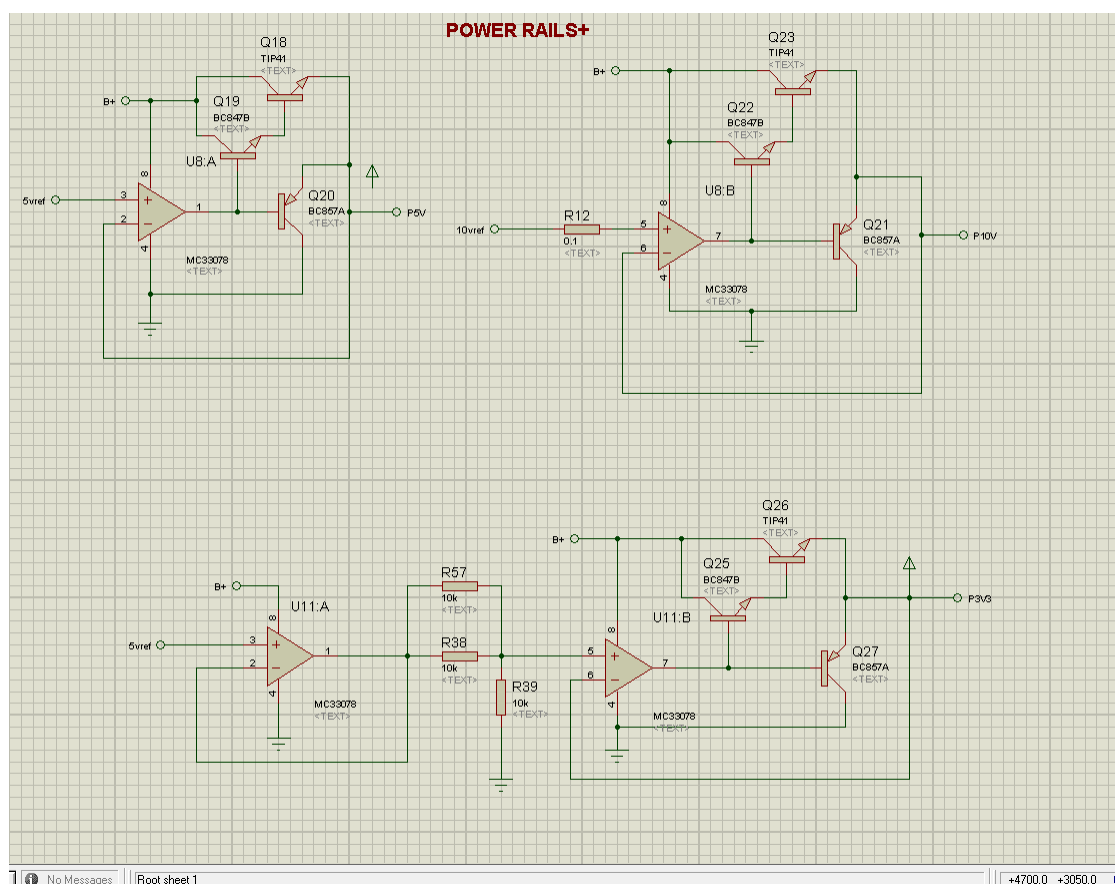
Στο κύκλωμα λόγω των ψηφιακών ολοκληρωμένων που χρησιμοποιούμε, απαιτούν ακόμα δύο τάσεις τροφοδοσίας: 3.333V και 5V. Αυτές οι τάσεις πρέπει επίσης να ελέγχονται από τάση αναφοράς ακριβείας για τους ίδιους λόγους όπως προαναφέραμε στην παράγραφο 4.1.

5.2 Υλοποίηση του κυκλώματος

P5V=5v buffer από την τάση αναφοράς 5Vref και ενίσχυση ρεύματος με Darlington

P10V=10v buffer από την τάση αναφοράς 10Vref και ενίσχυση ρεύματος με Darlington

P3V3= buffer από την τάση αναφοράς 5Vref, πτώση στα 2/3 και ενίσχυση ρεύματος με Darlington



Σχήμα 5.1 Θετικές τάσεις τροφοδοσίας

Κεφάλαιο 6ο: Ελεγκτές θερμοκρασίας με υστέρηση

1.5C

6.1 Περιγραφή

Όπως προαναφέραμε, η τάσεις αναφοράς ακριβείας μπορούν βάση του κυκλώματος με τις πηγές ρεύματος να μεταβάλουν την έξοδο τους μόνο με την αλλαγή της θερμοκρασίας (α_{VZ} at IZT1, $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$, MIN.-3 MAX. +4). Επίσης, στο κύκλωμα υπάρχει και η κρυσταλλική γεννήτρια ρολογιού αναφοράς η οποία επίσης επηρεάζεται από την θερμοκρασία $\pm 25\text{ppm}$. Για να μην επηρεάζεται το σύστημα μας από την θερμοκρασία και ακόμα χειρότερα από τις μεταβολές της θερμοκρασίας, πρέπει να ορίσουμε μια θερμοκρασία που θέλουμε να κρατήσουμε σταθερή, εμείς αποφασίσαμε να ορίσουμε την θερμοκρασία περίπου στους $49-50.5^{\circ}\text{C}$.

6.2 Υλοποίηση του κυκλώματος

Στην πλακέτα υπάρχουν τρεις ελεγκτές θερμοκρασίας [5]. Ένας για την θετική τάση αναφοράς, ένας για την αρνητική τάση αναφοράς και ένας για το ρολόι αναφοράς [6]. Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας χρησιμοποιούμε από ένα θερμίστορ, μια αντίσταση για την θέρμανση και έναν συγκριτή με υστέρηση.

$$B=4050$$

$$R_{\text{new}}=R_0 \cdot \exp\left(-B \cdot \left(\frac{1}{273+T_{\text{ref}}}-\frac{1}{273+T_{\text{new}}}\right)\right), T_{\text{ref}}=25^{\circ}\text{C} \quad T_{\text{new}1}=50.5^{\circ}\text{C} \quad T_{\text{new}2}=49^{\circ}\text{C}$$

$$R_{\text{new}1}=16117\Omega$$

$$R_{\text{new}2}=17084\Omega$$

$$\text{Ορίζω } R_{17}=18\text{k}\Omega \quad V_{\text{out}1}=2.34\text{V} \quad V_{\text{out}2}=2.43\text{V} \quad V_{\text{μεσο}}=2,385\text{V}$$

$$V_{th} = 5\text{V} \times \frac{R_{19}}{R_{19} + R_{18}} = 2,385\text{V}$$

$$\text{ορίζω } R_{19} 30\text{k}\Omega \Rightarrow R_{18}=32893,1 \cong 33\text{k}\Omega \Rightarrow V_{th}=2,38\text{V}$$

$$R_{th} = 30\text{k}\Omega // 33\text{k}\Omega = 15.71\text{k}\Omega$$

Με υπέρθεση λύνοντας για V_{oh} και $V_{th}=0\text{V}$

$$\frac{R_{19} \times 5\text{V}}{R_{19} + R_{16}} = 90\text{mV} \Rightarrow R_{16} = 858\text{k}\Omega \text{ πλησιέστερη διαθέσιμη τιμή } 820\text{k}\Omega$$

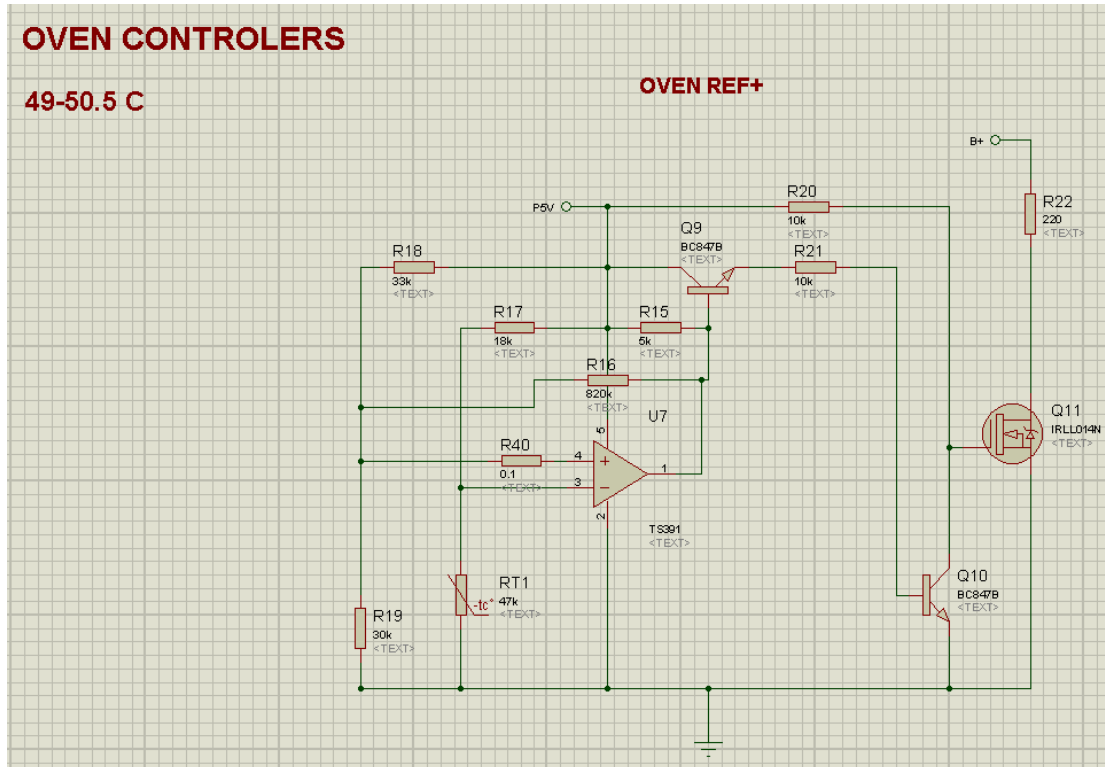
Επαλήθευση

$$\frac{R_{16}}{33\text{k}\Omega} = \frac{V_{\text{out}1}}{V_{\text{out}2}} = \frac{2.34}{0.09} \Rightarrow 26 * 33\text{k}\Omega = R_{16} = 858\text{k}\Omega$$

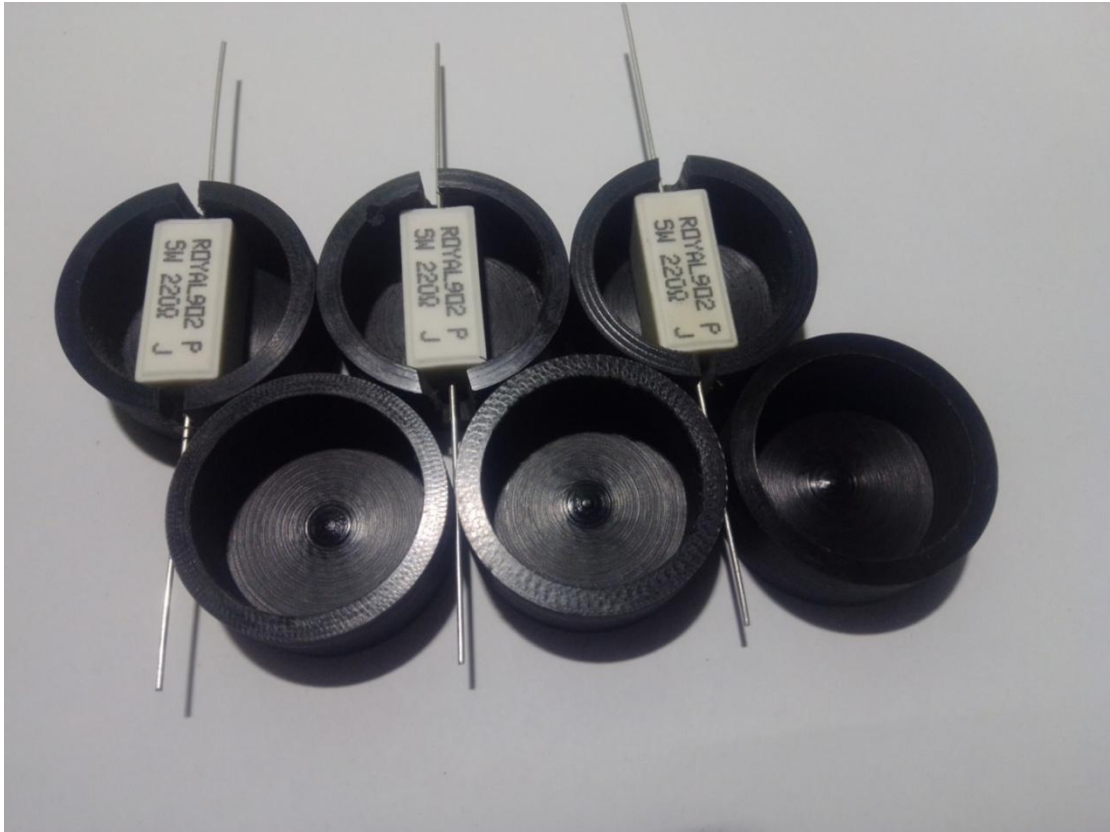
$$P_{15}(\text{pull-up}) \ll R_{16} \text{ θέτω } 4,99\text{k}\Omega \text{ (E96)}$$

Οι αντιστάσεις R22,R27,R35 220Ω 5W $((1.41 * 14) - 1.2 = 18,5V$ $P = \frac{V^2}{R} = 1.6W$) καταλήγουν κάτω από τις zener και την κρυσταλλική γεννήτρια.

Έχω κατασκευάσει στον τόρνο ειδικά πλαστικά καπάκια για θερμομόνωση των ευαίσθητων στην θερμοκρασία κυκλωμάτων, έτσι ώστε να μην σπαταλάται ενέργεια και να μην θερμαίνονται εξαρτήματα τα οποία μειώνεται ο χρόνος ζωής τους με την θερμοκρασία π.χ. ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές.



Σχήμα 6.1 Ελεγκτής θερμοκρασίας



Εικόνα 3 : Τα καπάκια με τις αντιστάσεις που μπαίνουν στο κάτω μέρος της πλακέτας και τα καπάκια που καλύπτουν τα εξαρτήματα αναφοράς που μπαίνουν στο πάνω μέρος της πλακέτας.

Κεφάλαιο 7ο: Γεννήτρια ρολογιού

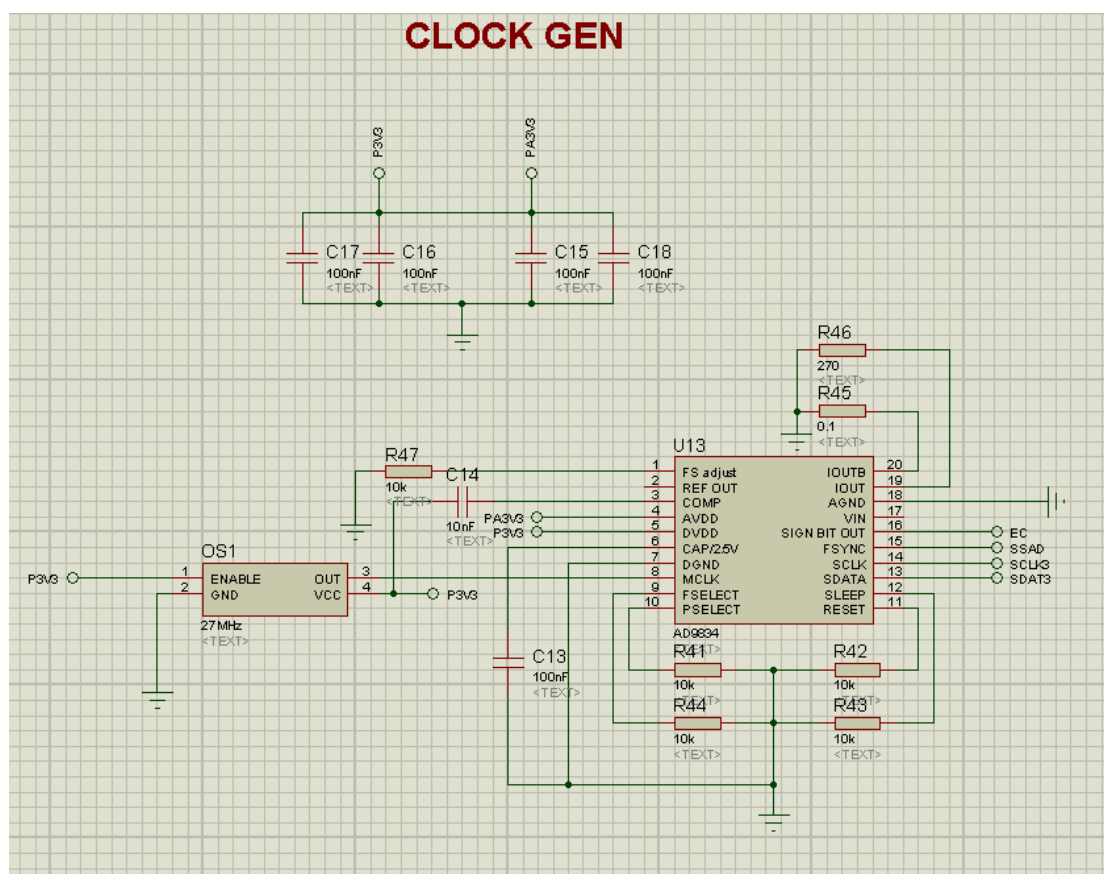
7.1 Περιγραφή

Η έξοδος μιας γεννήτριας συναρτήσεων εκτός από την ακρίβεια και τον έλεγχο τάσης στην έξοδο, πρέπει να έχει και ακρίβεια και έλεγχο στην συχνότητα εξόδου. Για να επιτευχτεί αυτός ο σκοπός, χρησιμοποιήσαμε μια κρυσταλλική γεννήτρια 27MHz 25ppm/°C και το ολοκληρωμένο AD9834 [7], [8] για διαίρεση συχνότητας 28bit.

7.2 Υλοποίηση του κυκλώματος

Το ολοκληρωμένο AD9834 είναι μια γεννήτρια DDS [9] από μόνο του, με την δυνατότητα εξόδου ημιτόνου, τριγωνικού και τετραγωνικού παλμού. Η μόνη έξοδος του που μπορεί να φτάσει την τάση τροφοδοσίας είναι ο τετραγωνικός παλμός και αυτό όχι μέσω της εξόδου "IOUT" ($V_{out\ max} = 600mV$) αλλά της "SIGN BIT OUT".

Στο κύκλωμά μας το χρησιμοποιούμε γιατί κάνει διαίρεση συχνότητας με 28bit δίνοντάς μας $2^{28} = 268435456$ συχνότητες από το ρολόι αναφοράς. Με ρολόι αναφοράς στα 27MHz έχουμε $LSB=0,1005828380584716796875Hz$. Η συχνότητα εξόδου καθώς και οι παράμετροι λειτουργίας ορίζονται μέσω SPI.



Σχήμα 7.1 Γεννήτρια ρολογιού

Κεφάλαιο 8ο: 12bit DAC γεννήτρια σχημάτων

8.1 Περιγραφή

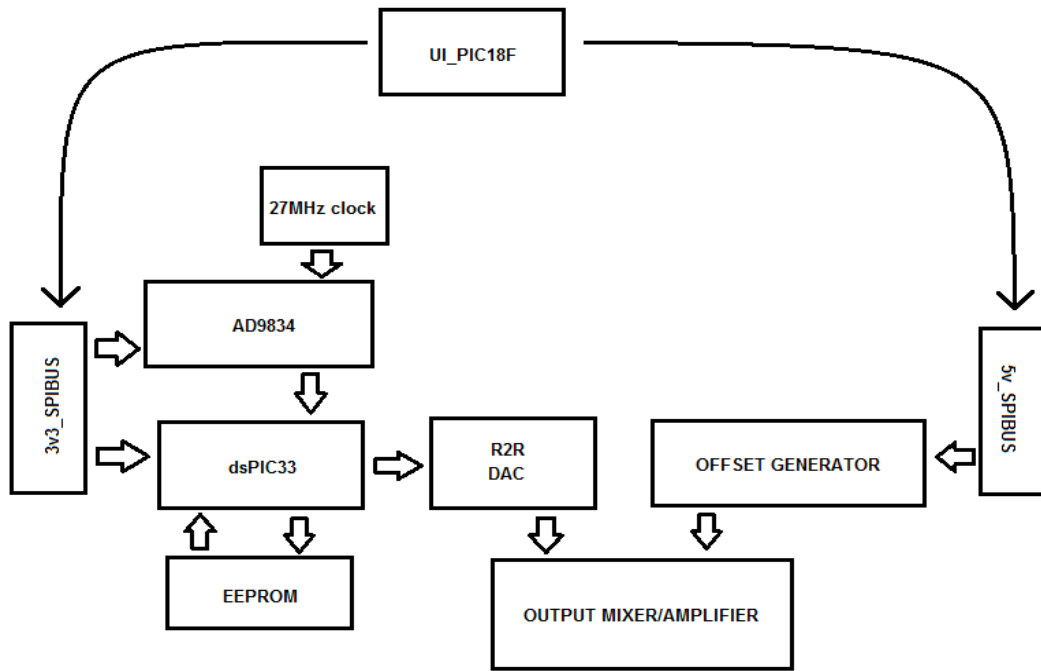
Για την δημιουργία των αναλογικών σημάτων με οποιαδήποτε κυματομορφή θέλουμε χρησιμοποιούμε τα δώδεκα κυριότερα bit (MSB) της εξόδου 16bit PORTB του μικροελεγκτή dsPIC33EP256MU806 [10] που καταλήγει στο δικτύωμα R2R [11]. Η είσοδος στο ρολόι λειτουργίας έρχεται από το AD9834 καθώς και μπορεί να γίνει ένας πολλαπλασιασμός μέσω του μεταβλητού εσωτερικού PLL του μικροελεγκτή.

8.2 Ανάλυση λειτουργίας

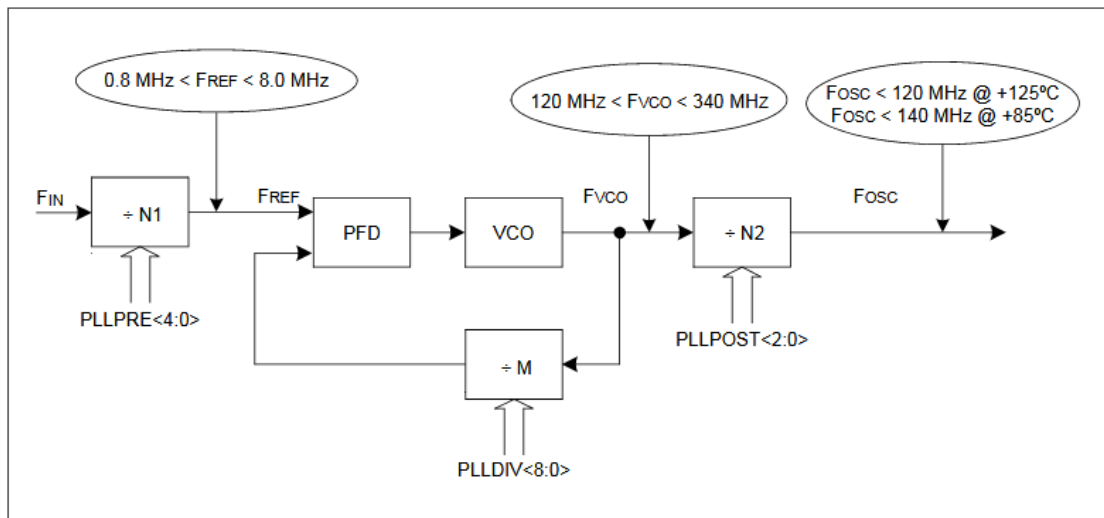
Τις τιμές που θα πάρει η PORTB είτε τις υπολογίζει μέσω εισόδων SPI και μαθηματικών πράξεων που έχει στην μνήμη προγράμματος, είτε τις έχει προϋπολογισμένες στην μνήμη προγράμματος ή στην εξωτερική EEPROM (M95080) [12] και τις φορτώνει πρώτα στην RAM και μετά μέσα σε επανάληψη στις εξόδους.

Κατά την εκκίνηση ή μετά από reset μέσω SPI ο μικροελεγκτής δέχεται την κυματομορφή εξόδου και τις παραμέτρους που την προσδιορίζουν καθώς και αν θα χρειαστεί να κάνει undersampling ή oversampling λόγω της πολύ υψηλής ή χαμηλής συχνότητας εξόδου. Στα δεδομένα που δέχεται μέσω SPI επίσης είναι και οι παράμετροι του εσωτερικού PLL για την επιλογή του εύρους συχνοτήτων (με ενεργό PLL πρέπει $0.8 \text{ MHz} < F_{REF} < 8.0 \text{ MHz}$ και $\max F_{osc}=140\text{MHz} \Rightarrow \max F_{cy}=70\text{MHz}$).

Επίσης μέσω SPI ο μικροελεγκτής διεπαφής χρήστη (PIC18F46K40) μπορεί να στείλει δεδομένα στον dsPIC33EP256MU806 για να τα γράψει στην εξωτερική EEPROM για μελλοντική χρήση.



Σχήμα 8.1 Block διάγραμμα επικοινωνιών



Σχήμα 8.2 Block διάγραμμα της λειτουργίας του PLL

$$FOSC = FIN \times \left(\frac{M}{N1 \times N2} \right) = FIN \times \left(\frac{(PLLDIV + 2)}{(PLLPRE + 2) \times 2(PLLPOST + 1)} \right)$$

Where,

$$N1 = PLLPRE + 2$$

$$N2 = 2 \times (PLLPOST + 1)$$

$$M = PLLDIV + 2$$

$$FVCO = FIN \times \left(\frac{M}{N1} \right) = FIN \times \left(\frac{(PLLDIV + 2)}{(PLLPRE + 2)} \right)$$

$$FCY = FOSC/2$$

Εικόνα 4 : οι σχέσεις που προσδιορίζουν την συχνότητα λειτουργίας με βάση την συχνότητα του AD9834 και των ρυθμίσεων του PLL

8.3.1 Λίστα με τις παραμέτρους SPI για την γεννήτρια σχημάτων:

με την σειρά που λαμβάνονται μετά το reset:

αριθμός κυματομορφής: π.χ. ημιτονο=0 τετραγωνικός παλμος=1 κ.τ.λ.

ανόρθωση: θετική, αρνητική ή κανονικό σήμα.

πλάτος εξόδου (αφαιρούνται bit εξόδου): υπολογίζονται οι τιμές της PORTB με κάποια ελάττωση π.χ. (:1)για Full scale 5Vp-p, (:2) για σήμα 2.5Vp-p

πολλαπλασιαστικής συχνότητας PLLDIV του PLL.

sample/waveform: 1=100S/Wfm 2=10S/Wfm και άλλοι κωδικοί που υπολογίζονται αυτόματα από τον μικροελεγκτής διεπαφής χρηστή σε συνδυασμό με τη συχνότητα.

Duty cycle/angle: στην τετραγωνική και πριονωτή κυματομορφή μόνο

8.3.2 Εγγραφή eeprom μέσω SPI:

αριθμός κυματομορφής = 255

μέχρι το reset λαμβάνονται επαναλαμβανόμενα με αυτήν την σειρά:

1 διεύθυνση 2 δεδομένα

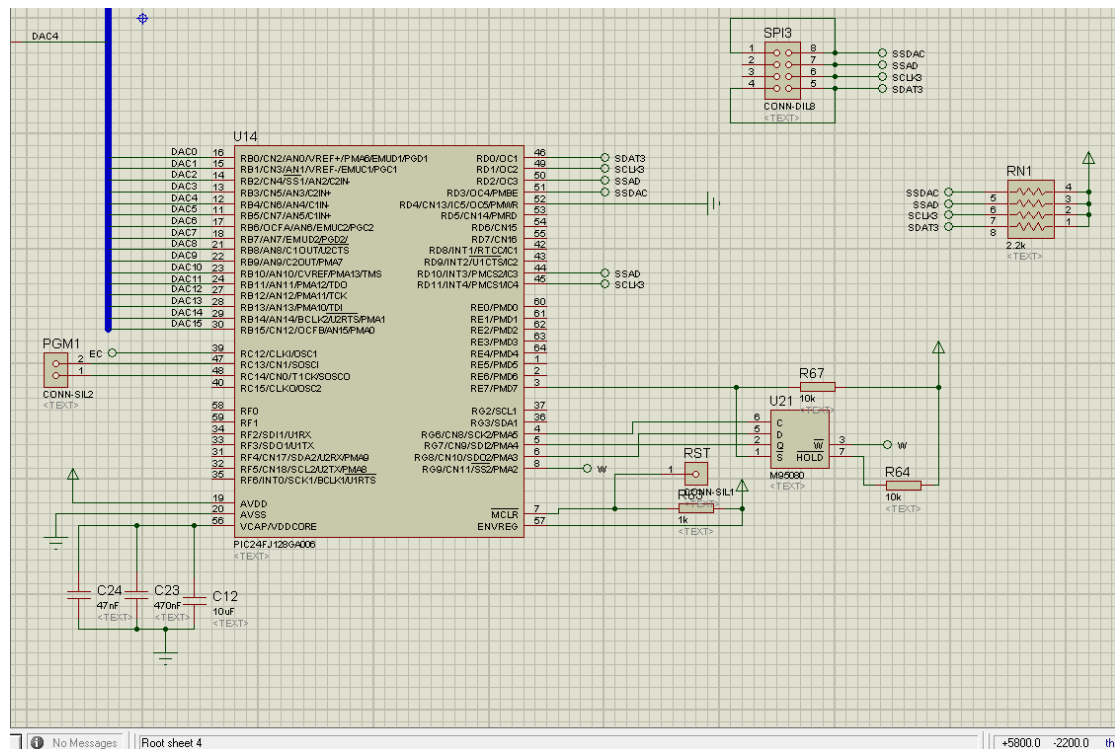
8.4 PLL L.U.T. PLLPOST=0 PLLPRE=0 FIN=0.8MHz-8MHz

| MULTIPLIER | PLLDIV | FOSC MAX MHz | LSB Hz |
|------------|--------|--------------|-------------|
| 17,5 | 68 | 140 | 1,760199666 |
| 17,25 | 67 | 138 | 1,735053957 |
| 17 | 66 | 136 | 1,709908247 |
| 16,75 | 65 | 134 | 1,684762537 |
| 16,5 | 64 | 132 | 1,659616828 |
| 16,25 | 63 | 130 | 1,634471118 |
| 16 | 62 | 128 | 1,609325409 |
| 15,75 | 61 | 126 | 1,584179699 |
| 15,5 | 60 | 124 | 1,55903399 |
| 15,25 | 59 | 122 | 1,53388828 |
| 15 | 58 | 120 | 1,508742571 |
| 14,75 | 57 | 118 | 1,483596861 |
| 14,5 | 56 | 116 | 1,458451152 |
| 14,25 | 55 | 114 | 1,433305442 |
| 14 | 54 | 112 | 1,408159733 |
| 13,75 | 53 | 110 | 1,383014023 |
| 13,5 | 52 | 108 | 1,357868314 |
| 13,25 | 51 | 106 | 1,332722604 |
| 13 | 50 | 104 | 1,307576895 |
| 12,75 | 49 | 102 | 1,282431185 |
| 12,5 | 48 | 100 | 1,257285476 |
| 12,25 | 47 | 98 | 1,232139766 |
| 12 | 46 | 96 | 1,206994057 |
| 11,75 | 45 | 94 | 1,181848347 |
| 11,5 | 44 | 92 | 1,156702638 |
| 11,25 | 43 | 90 | 1,131556928 |
| 11 | 42 | 88 | 1,106411219 |
| 10,75 | 41 | 86 | 1,081265509 |
| 10,5 | 40 | 84 | 1,0561198 |
| 10,25 | 39 | 82 | 1,03097409 |
| 10 | 38 | 80 | 1,005828381 |
| 9,75 | 37 | 78 | 0,980682671 |
| 9,5 | 36 | 76 | 0,955536962 |
| 9,25 | 35 | 74 | 0,930391252 |
| 9 | 34 | 72 | 0,905245543 |
| 8,75 | 33 | 70 | 0,880099833 |
| 8,5 | 32 | 68 | 0,854954123 |
| 8,25 | 31 | 66 | 0,829808414 |
| 8 | 30 | 64 | 0,804662704 |
| 7,75 | 29 | 62 | 0,779516995 |
| 7,5 | 28 | 60 | 0,754371285 |
| 7,25 | 27 | 58 | 0,729225576 |
| 7 | 26 | 56 | 0,704079866 |
| 6,75 | 25 | 54 | 0,678934157 |

| | | | |
|------|----|----|-------------|
| 6,5 | 24 | 52 | 0,653788447 |
| 6,25 | 23 | 50 | 0,628642738 |
| 6 | 22 | 48 | 0,603497028 |
| 5,75 | 21 | 46 | 0,578351319 |
| 5,5 | 20 | 44 | 0,553205609 |
| 5,25 | 19 | 42 | 0,5280599 |
| 5 | 18 | 40 | 0,50291419 |
| 4,75 | 17 | 38 | 0,477768481 |
| 4,5 | 16 | 36 | 0,452622771 |
| 4,25 | 15 | 34 | 0,427477062 |
| 4 | 14 | 32 | 0,402331352 |
| 3,75 | 13 | 30 | 0,377185643 |
| 3,5 | 12 | 28 | 0,352039933 |
| 3,25 | 11 | 26 | 0,326894224 |
| 3 | 10 | 24 | 0,301748514 |

Πινάκας 8.1: Πινάκας αναφοράς PLLDIV σε σχέση με την συχνότητα λειτουργίας

Γενικά κρατάμε το μικρότερο δυνατό πολλαπλασιαστή για την συχνότητα που θέλουμε, γιατί ο πολλαπλασιαστής μας αυξάνει και το LSB και κατ' επέκταση μας μειώνει την ακρίβεια στην συχνότητα εξόδου.



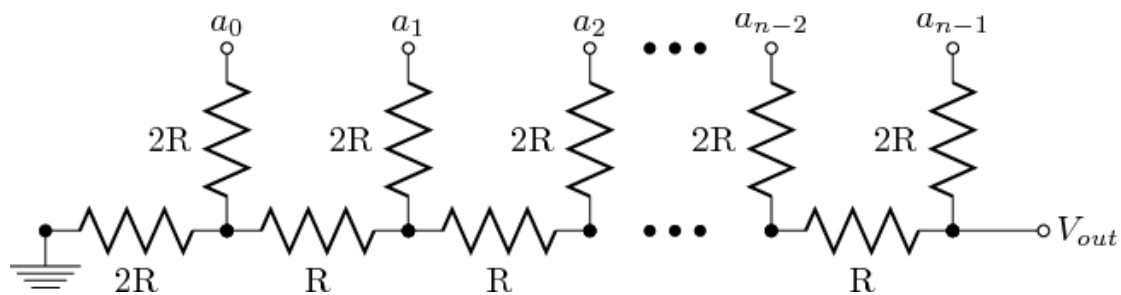
Σχήμα 8.3 Σχηματικό dspic33ep256mu806

8.5 Δικτύωμα R2R

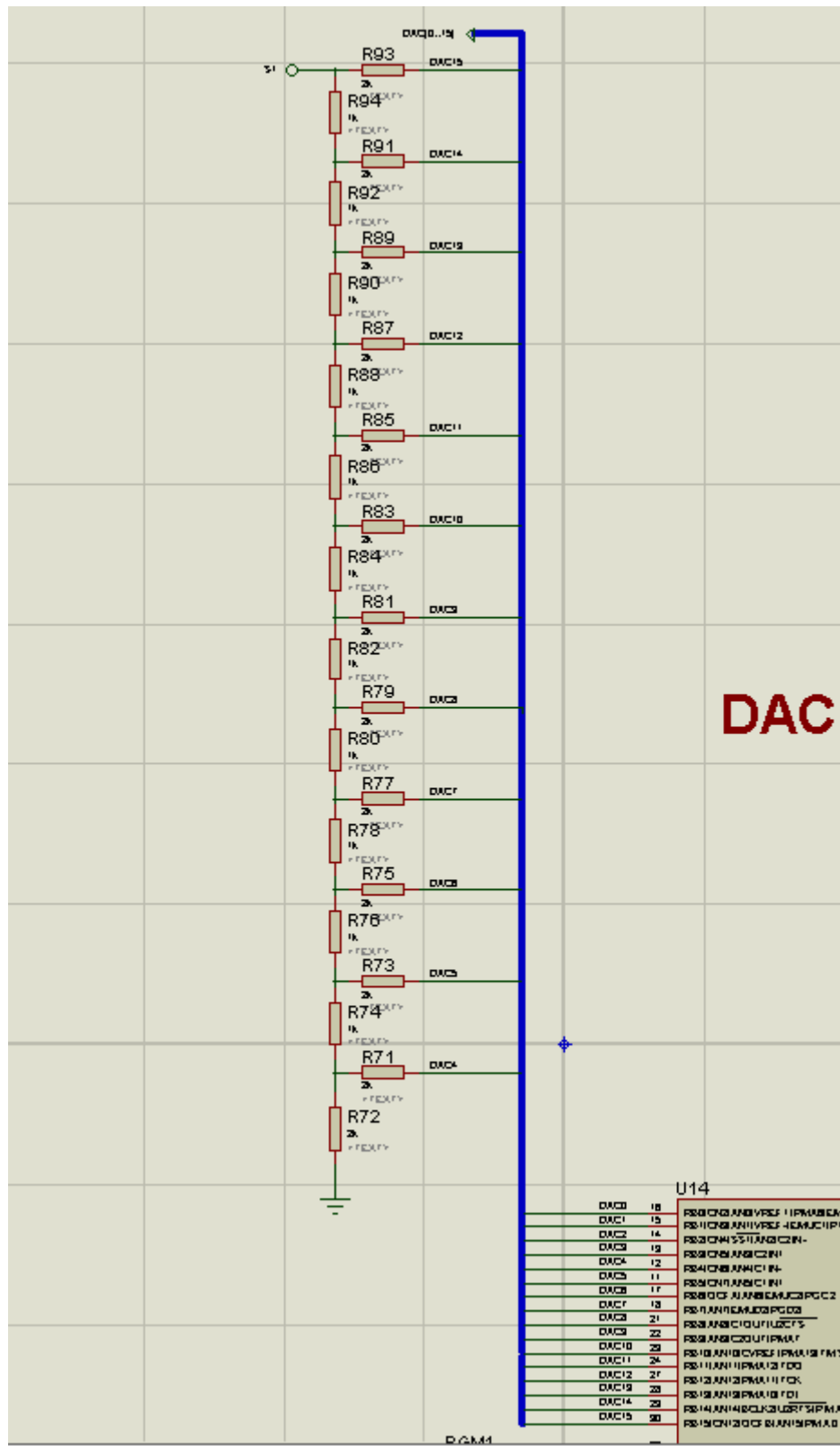
8.5.1 Περιγραφή και ανάλυση του κυκλώματος

Το δικτύωμα R2R είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και σε υψηλές συχνότητες για την μετατροπή ψηφιακών σημάτων σε ένα αναλογικό. Η αντίσταση εξόδου του κυκλώματος είναι ίση με R, οπότε απαιτείται ένας ενισχυτής εξόδου. Στο κύκλωμα χρησιμοποιούμε 12bit με αντιστάσεις 1kΩ και 2kΩ ± 0.1%. Κανονικά θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν αντιστάσεις με μικρότερη ανοχή από 0.025% γιατί $2^{12} = 4096$ και $100/4095=0,0244$. Αυτές οι αντιστάσεις παρά την ύπαρξή τους, δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν προς το παρόν διότι, με την ποσότητα που χρειαζόμαστε (24 αντιστάσεις) και το κόστος τους περίπου στα 15€ η μια, θα είχαμε 360€ σύνολο μόνο για τις αντιστάσεις του DAC (προφανώς θα χρειαστούν αντιστάσεις ίδιας ανοχής και όπου υπάρχει αναλογική επεξεργασία σήματος μέσω αντιστάσεων). οπότε χρησιμοποιούμε 0.1% που κοστίζουν περίπου 1€ η μια. Μελλοντικά, αν μπορέσουμε να βρούμε όργανο να μετρά τάση με τέτοια ακρίβεια μπορούμε να το καλιμπράρουμε λίγο μέσω firmware ή αν υπάρξει ποτέ αυτή ή ανάγκη για ακρίβεια μπορούμε να αλλάξουμε τις αντιστάσεις.

$$V_o = V_{ref} \times \frac{\text{Value}}{2^N}$$



Σχήμα 8.4 Δικτύωμα R2R



Σχήμα 8.5 Δικτύωμα R2R στο Proteus

Κεφάλαιο 9ο: Ρύθμιση DC offset εξόδου

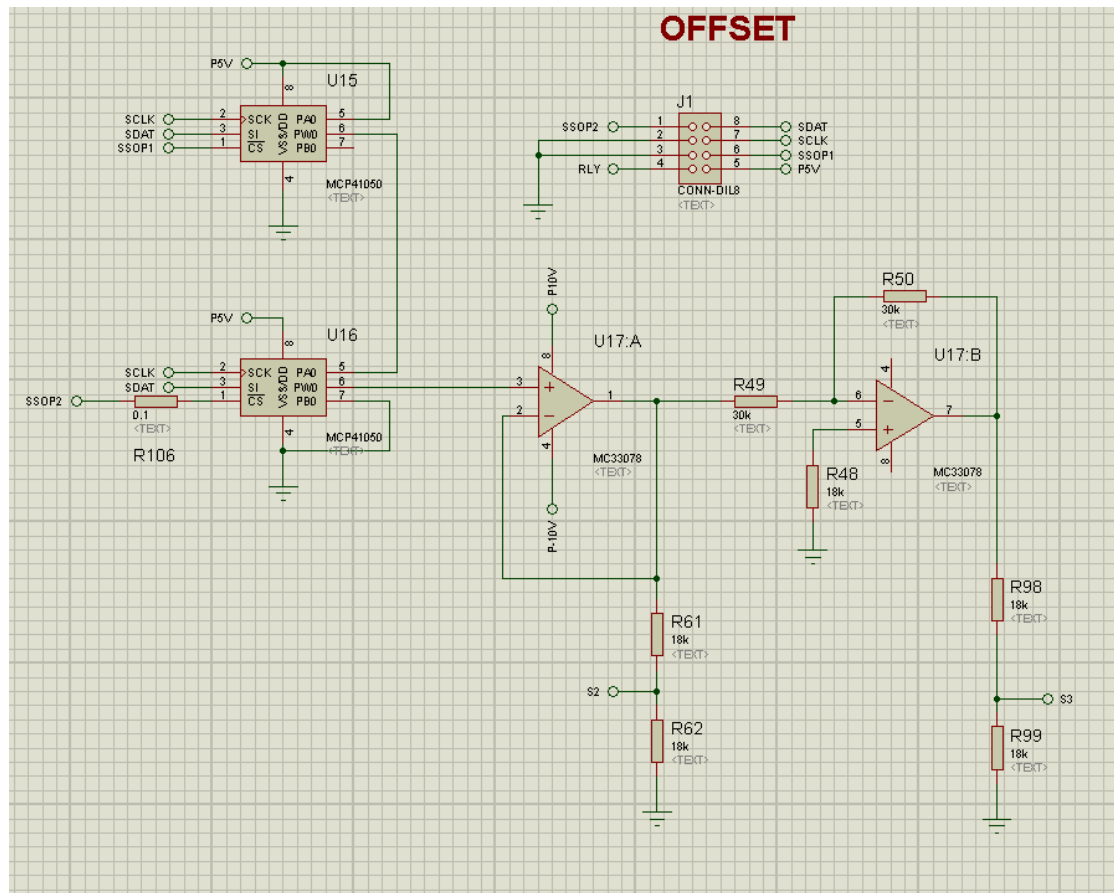
9.1 Περιγραφή

Για πολλούς λόγους χρειάζεται να προσθέσουμε μια DC τάση στο σήμα μας [13]. Για παράδειγμα μπορούμε να προσθέσουμε ένα ημίτονο σε μια DC τάση για να ελέγξουμε τα επιτρεπτά επίπεδα θορύβου ενός κυκλώματος, για να πολώσουμε ένα τρανζίστορ σε διάταξη ενισχυτή, και για μετατροπείς DC/DC για την οδήγηση της πύλης στα FET. Όλα αυτά τα παραδείγματα απαιτούν ένα AC σήμα φορτωμένο σε μια DC συνιστώσα.

9.2 Υλοποίηση του κυκλώματος

Με την χρήση δύο προγραμματιζόμενων μέσω SPI ψηφιακών ποτενσιόμετρων 8bit μπορούμε να έχουμε πολύ καλή ανάλυση της τάσης OFFSET.

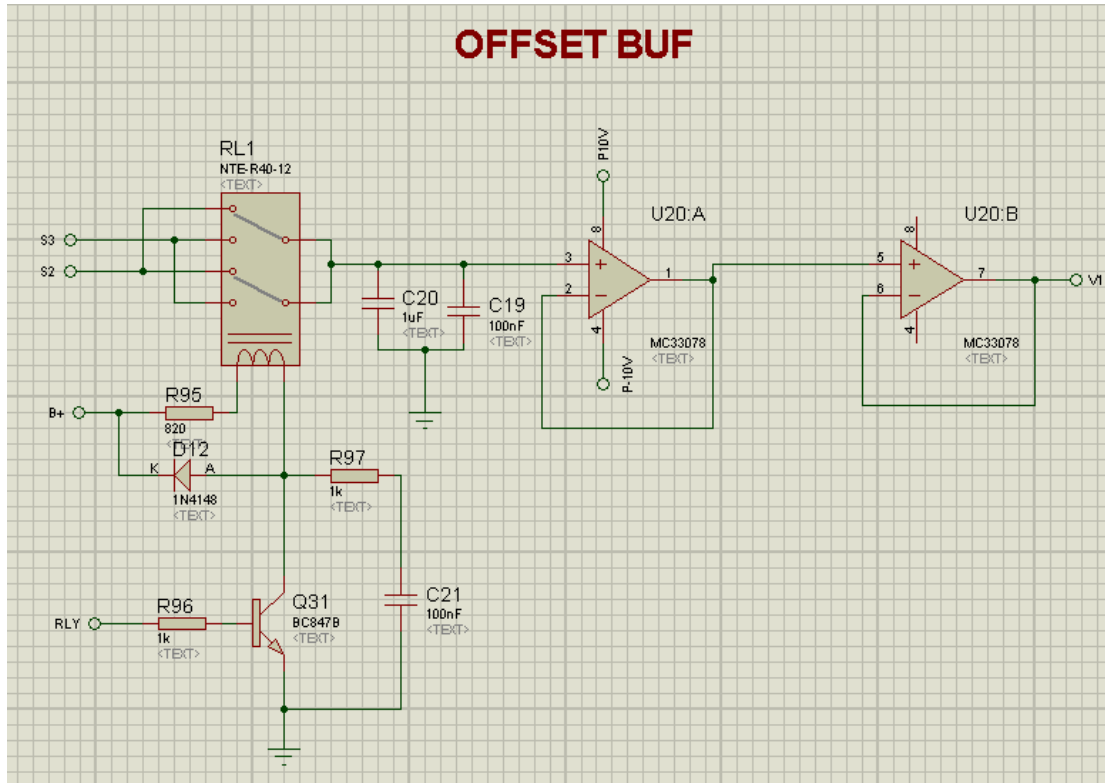
S2 είναι το αρνητικό OFFSET και το S3 είναι το θετικό, λόγω του ότι ο τελικός ενισχυτής και μεικτής εξόδου δέχεται το OFFSET στην ανάστροφη είσοδό του. $V_{s2\ max} = -2.5V$, $V_{s1\ max} = -2.5V$ ενισχυτής και μεικτής εξόδου έχει minimum Gain=2 ή -1, έτσι έχουμε OFFSET από -5V έως 5V και αν μηδενίσουμε τις εξόδους της γεννήτριας σχημάτων έχουμε DC εξόδους (θετικές ή αρνητικές).



Σχήμα 9.1 Offset εξόδου

Επιλογή θετικού ή αρνητικού offset

Η επιλογή θετικού ή αρνητικού OFFSET γίνεται μέσω ενός ρελέ 12V, η αντίσταση του πηνίου του είναι 1kΩ οπότε χρησιμοποιούμε μια αντίσταση σε σειρά 660Ω $V_{coil}=11,14V$ B+ περίπου στα 20V, στο σχηματικό υπολογίσαμε 820Ω γιατί είχαμε λάθος θεωρητική αντίσταση πηνίου.



Σχήμα 9.2 Επιλογή offset με ρελέ

Κεφάλαιο 10ο: Μίξη offset και σήματος και τελική έξοδος

10.1 Περιγραφή

Για να μπορέσουμε να έχουμε στην έξοδο της γεννήτριας μας το άθροισμα του DC offset και του σήματος μας καθώς και τα σωστά επίπεδα εξόδου χρησιμοποιούμε δύο τελεστικούς ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων. Ο U18 επί της ουσίας χρησιμοποιείται προσαρμόζει το επίπεδο έτσι ώστε να λειτουργεί σωστά το κύκλωμα και ο U19 χρησιμοποιείται και σαν ενισχυτής και σαν αθροιστής [14].

10.2 Υλοποίηση του κυκλώματος

Τελεστικοί ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων χρησιμοποιούμε δύο LM7171 [15].

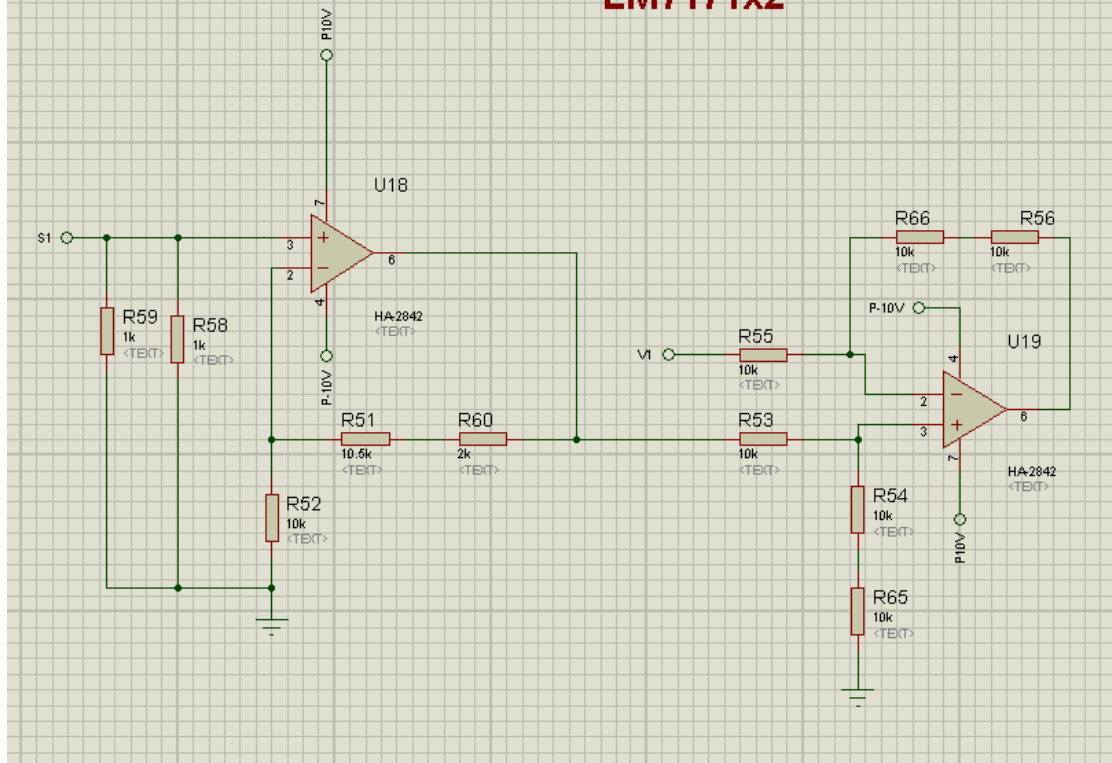
VFOA διπολικός με 4.1kV/μS και προστασία βραχυκυκλώματος στα 100mA.

Ο LM7171 είναι σταθερός για minimum ενίσχυση 2 ή -1, εξαιτίας του ότι χρησιμοποιεί τάση για ανάδραση και για να λειτουργήσει στις υψηλές συχνότητες δεν έχει τον εσωτερικό πυκνωτή αντιστάθμισης οπότε η αντιστάθμιση βασίζεται στο κέρδος (μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξωτερικός πυκνωτής αντιστάθμισης αλλά θα ρίξει το bandwidth).

Από την τάση αναφοράς $\frac{5V_{ref} \times 2}{3}$ έχουμε τα 3.333V για την τροφοδοσία της γεννήτριας σημάτων. Με μια περαιτέρω υποβάθμιση σήματος στα 1/3 του 3.333V έχουμε $S_{1peak\ max}=1.111V$ ή $2/9 \cdot 5V_{ref}$, $G_{U18} \times \frac{2 \times 5V_{ref}}{9} = \frac{5V_{ref}}{2} \Rightarrow G_{U18} = 2.25$ στην έξοδο του U18 για να μπορεί να ενισχυθεί με $G=2$ στο U19 και να έχουμε για έξοδο της γεννήτριας σημάτων 0xFFFx ακριβώς 5VDC στην έξοδο (με $V1=0V$)

Οι αντιστάσεις όλες 0.1%

OUTPUT LM7171x2



Σχήμα 10.1 Τελική έξοδος

Κεφάλαιο 11ο: Ο κυματοδηγός

11.1 Περιγραφή

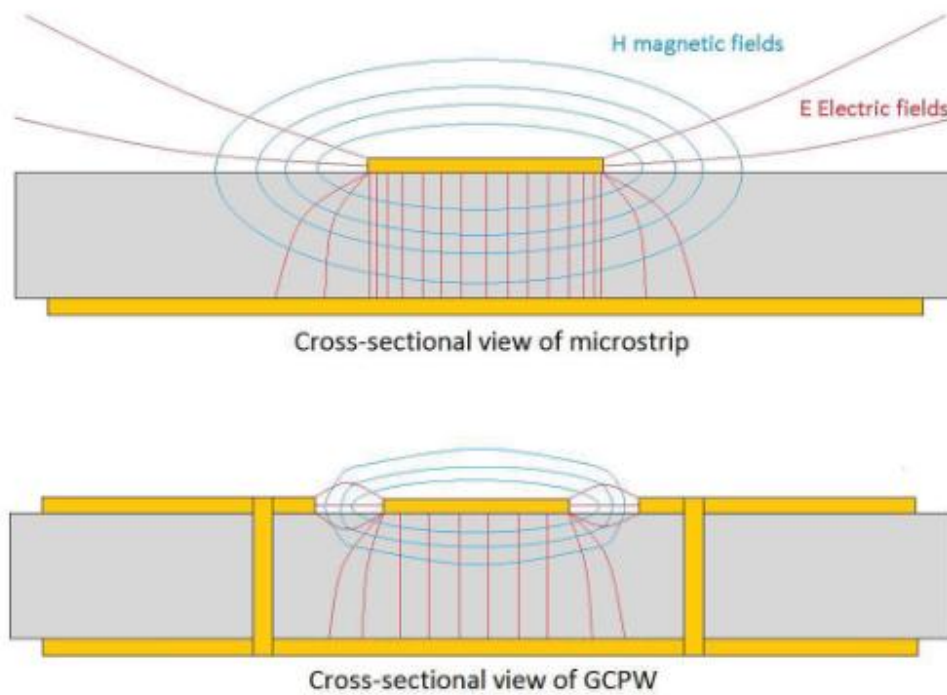
Στα ηλεκτρονικά υψηλών συχνοτήτων χρησιμοποιούνται κυματοδηγοί ως γραμμή μεταφοράς. Η χαρακτηριστική αντίσταση z_0 της γραμμής μεταφοράς για να μην έχουμε ανακλάσεις σήματος στη γραμμή, πρέπει να μην αλλάξει σε όλη την διαδρομή του σήματος, καθώς και να υπάρχει στο τέλος μια ίση αντίσταση τερματισμού.

11.2 Υλοποίηση του κυκλώματος

Για τον κυματοδηγό στην έξοδο επιλέξαμε τον γειωμένο ομοεπίπεδο κυματοδηγό (GCPW) [16], [17]. Οι υπολογισμοί για τον κυματοδηγό $Z_0=50\Omega$ έγιναν με την βοήθεια του SATURN PCB DESIGN TOOLKIT V8.05. Μετά τον αγωγό αυτό, είναι άμεσα συνδεδεμένο ένα καλώδιο RG58 [18] ($z_0=50\Omega$) και καταλήγει στην έξοδο BNC (50Ω). Στις μετρήσεις για την σύνδεση στον παλμογράφο χρησιμοποιούμε ομοαξονικό καλώδιο RG58 και χρησιμοποιούμε μια αντίσταση τερματισμού $50\Omega\pm 0,5\%$



Εικόνα 5 : Ομοαξονικό καλώδιο



Εικόνα 6 : Εγκάρσια τομή microstrip και Grounded Coplanar Waveguide [19]

Conductor Impedance

Conductor Width (W)
1,3843 mm

Conductor Height (H)
1,5 mm

Conductor Gap (G)
0,254 mm

W/H = 0.923

Formula Restrictions:
0.1 < W/H < 2.0
T = 53um
[? Help](#)

Options

Base Copper Weight
 9um
 18um
 35um
 53um
 70um
 88um
 106um
 142um
 178um

Plating Thickness
 Bare PCB
 18um
 35um
 53um
 70um
 88um
 106um

Passive Circuits
 Microstrip
 Microstrip Embed
 Stripline
 Stripline Asym
 Dual Stripline
 Coplanar Wave

Units
 Imperial
 Metric

Substrate Options
 Material Selection
FR-4 STD

Er **4,6** Tg (°C) **130**

Temp Rise (°C)
20
 Temp in (°F) = 36.0

Ambient Temp (°C)
22
 Temp in (°F) = 71.6

Information
 Total Copper Thickness 53 um
 Via Thermal Resistance 179.3 °C/W

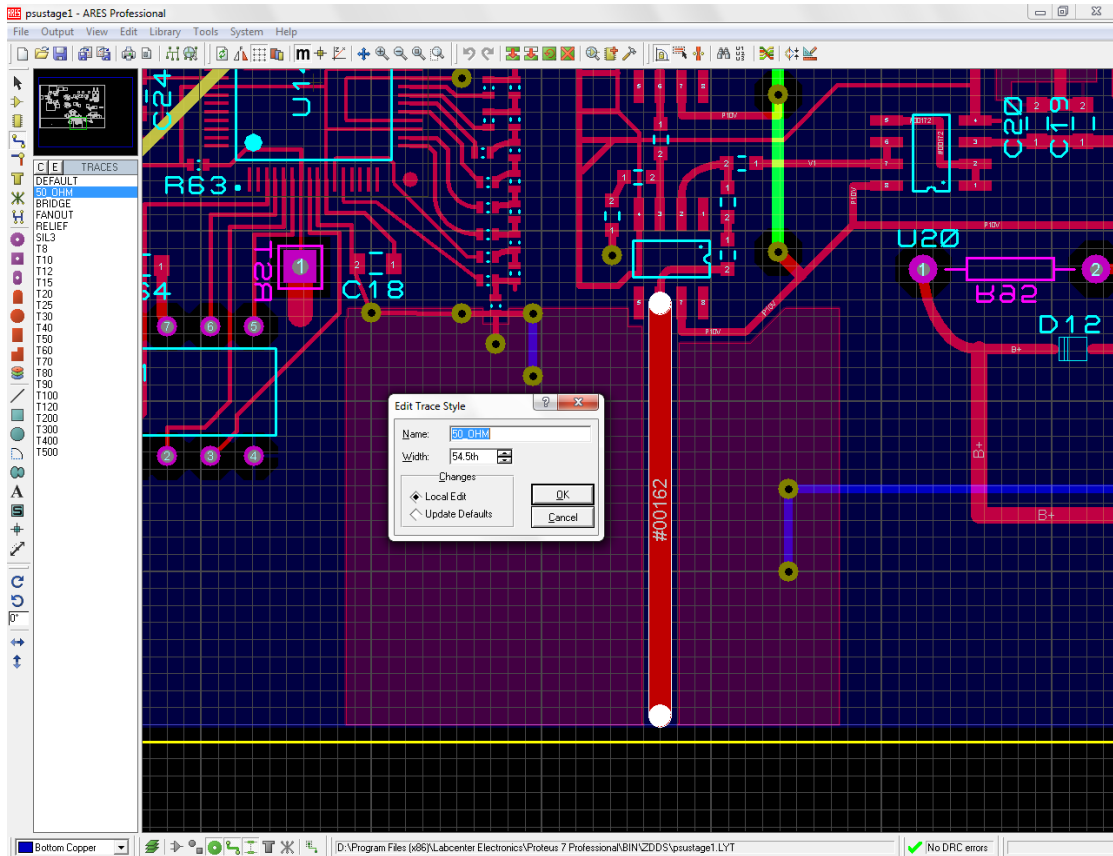
Zo
50.0503 Ohms

Εικόνα 7 : Υπολογισμός χαρακτηριστικών καλωδίου

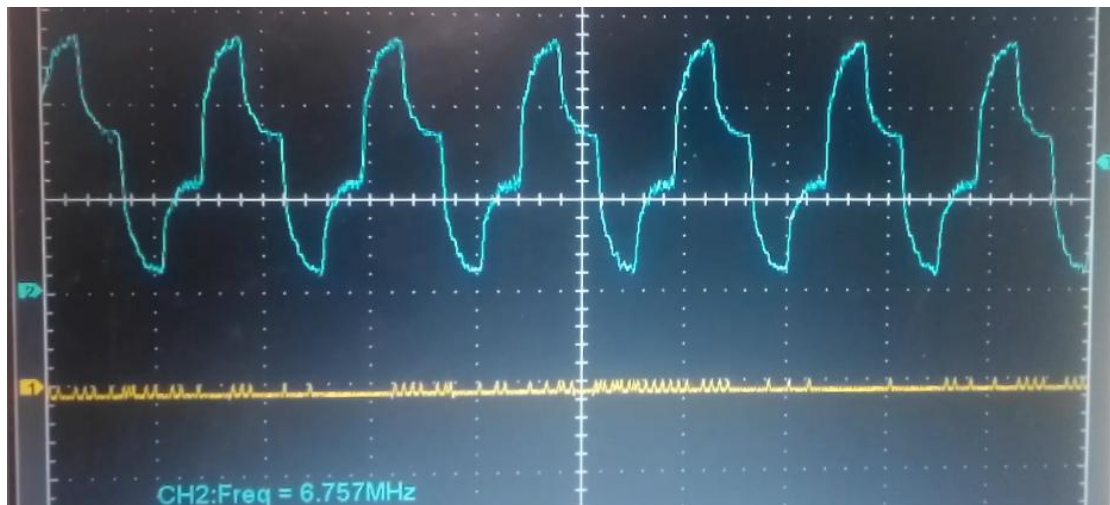
trace width = 1,3843mm = 54,5th (inch)

Gap/clearance = 10th = 0,254mm

σύμφωνα με τον κατασκευαστή της πλακέτας (H=1,5mm και Er=4,6)



Σχήμα 11.1 Αναπαράσταση κυματοδηγού στο ARES με αντίσταση $z_0=50\Omega$



Εικόνα 8 : Παρουσίαση στάσιμων κυμάτων και ανακλάσεων χωρίς αντίσταση τερματισμού και η γραμμή μεταφοράς δεν αντιστοιχεί σε $\lambda/4$.

Κεφάλαιο 12ο: Εξωτερική EEPROM M95080 / κάρτα μνήμης

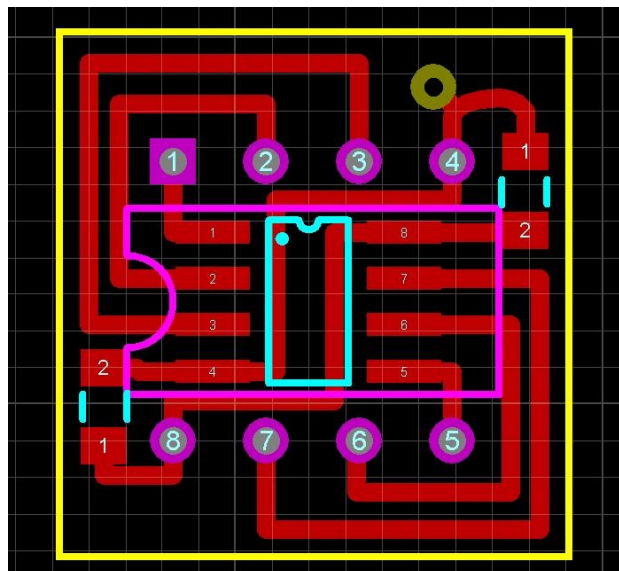
12.1 Περιγραφή

Για τις προγραμματιζόμενες κυματομορφές χρησιμοποιούμε μια εξωτερική EEPROM σε βάση για τον εύκολο προγραμματισμό με εξωτερικό εγγραφέα. Αν και μπορούμε να γράψουμε τις κυματομορφές στην EEPROM και μέσω του κυκλώματος μας αλλά αυτό είναι πιο χρονοβόρο από την συνδέσουμε στον εγγραφέα και να γράψουμε άλλες τις τιμές ταυτόχρονα.

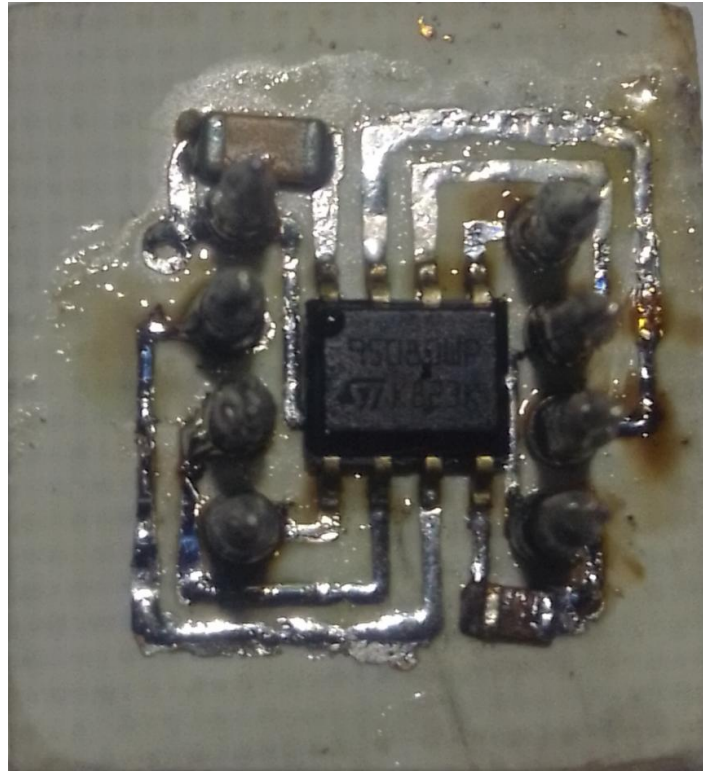
Επίσης οι EEPROM είτε η εσωτερική των μικροελεκτών είτε οι εξωτερικές έχουν περιορισμένους κύκλους εγγραφών, αυτός ο αριθμός συνήθως είναι πολύ μεγάλος (>100.000) αλλά δεν παύει να είναι περιορισμένος. Με την χρήση της εξωτερικής EEPROM όταν φτάσει στο σημείο να είναι πλέον αδύνατο να ξαναεγγραφεί απλά την ξεκουμπώνουμε και κουμπώνουμε μια καινούργια.

12.2 Υλοποίηση κυκλώματος

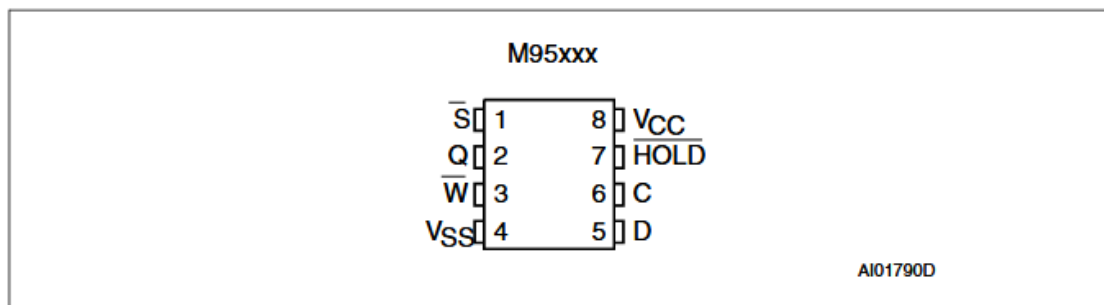
Η M95080 έχει χωρητικότητα 1kByte και επικοινωνεί μέσω SPI και τέσσερα εκατομμύρια κύκλους εγγραφών. Τις EEPROM τις είχαμε παραγγείλει ήδη σε SMD so8 όταν το ξανασκεφτήκαμε πως για της ευκολότερη εγγραφή και αντικατάσταση θα ήταν προτιμότερο να ήταν κλασικό THT dip8 για να κουμπώνει με βάση στην πλακέτα. Οπότε κάναμε αυτά τα ανταπτοράκια από so8 σε dip8.



Σχήμα 12.1 Σχέδιο τυπωμένου της κάρτας μνήμης στο ARES



Εικόνα 9 : Τοπομένη κάρτα μνήμης



Σχήμα 12.2 Οι συνδέσεις για τις μνήμες M95XXX

Κεφάλαιο 13ο: Διεπαφή χρήστη και δυνατότητα απομόνωσης της γείωσης.

13.1 Περιγραφή

Η διεπαφή χρήστη [20] είναι το σημείο όπου επικοινωνούν τα μηχανήματα και οι άνθρωποι. Αυτό γίνεται με την χρήση εισόδων και εξόδων τις οποίες τις αναγνωρίζουν και τα μηχανήματα και οι άνθρωποι π.χ. οθόνες, πληκτρολόγια, ποντίκια κ.λ.π.. Μια καλή διεπαφή χρήστη πρέπει να είναι ξεκάθαρη, περιληπτική, οικεία, συνεκτική, να έχει καλή αποκριτικότητα, αισθητική και αποδοτικότητα και επίσης είναι πολύ χρήσιμο το να μπορεί να εντοπίζει λάθη και να ενημερώνει τον χρήστη.

13.2 Υλοποίηση του κυκλώματος

Στη γεννήτριά μας, έχουμε μια απλή διεπαφή χρήστη. Είναι ξεκάθαρη, περιληπτική, έχει κάποιες μικρές απαιτήσεις στην εξοικείωση, είναι συνεκτική. Έχει καλή αποκριτικότητα, και αποδοτικότητα. Η αισθητική σε γενικό βαθμό θα μπορούσε να βελτιωθεί. Ο εντοπισμός λαθών στα δεδομένα του χρήστη καλύπτει τα λίγα πράγματα που θα μπορούσε να καλύψει π.χ. μέγιστη συχνότητα εξόδου, μέγιστη τάση εξόδου κλπ. Ο έλεγχος των περιφερειακών και την επικοινωνία με τα λειτουργικά εξαρτήματα γίνεται μέσω του μικροελεγκτή PIC18F46K40.

13.3 Μέσα διεπαφής χρήστη και δυνατότητα απομόνωσης της γείωσης.

Χρησιμοποιούμε μια οθόνη χαρακτήρων 16 × 2 για την προβολή δεδομένων στον χρήστη.

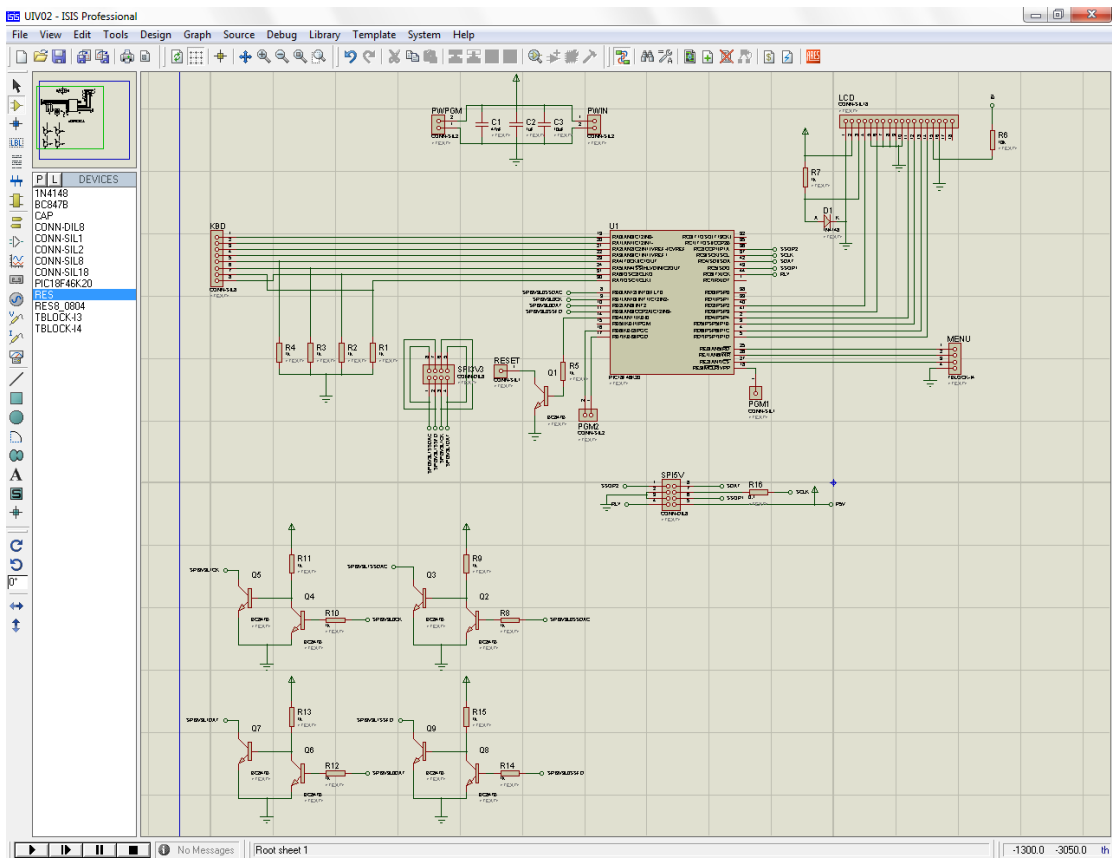
Έναν διακόπτη μοχλού με επαναφορά (ON)-OFF-(ON) για την πλοήγηση στο μενού (πάνω - κάτω) και για την αλλαγή της κλίμακας στην εισαγωγή πλάτους, συχνότητας και offset (x10 :10).

Ένα κουμπί για την εισαγωγή των δεδομένων στη γεννήτρια (update data).

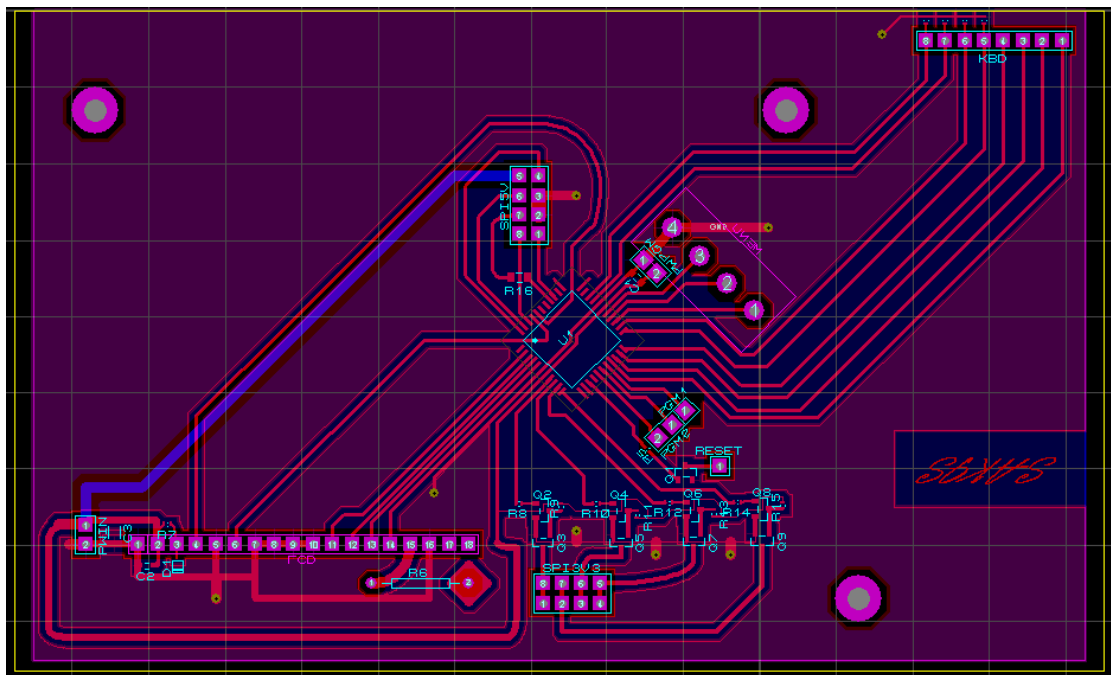
Ένα πληκτρολόγιο 4 × 4 για την εισαγωγή αριθμών και δεδομένων.

Υπάρχει ακόμα ένας διακόπτης μοχλού ON-OFF-ON, για την επιλογή της σχέσης με την γείωση του κυκλώματος με την γείωση του δικτύου (άμεση σύνδεση, απομονωμένη, εξωτερική). Στην εξωτερική σύνδεση οι δύο γειώσεις παρέχονται στον χρήστη μέσω δυο βυσμάτων μπανάνα για να τις συνδέσει όπως επιθυμεί.

Ένα ποτενσιόμετρο για αναλογικό έλεγχο στο offset.



Σχήμα 13.1 Σχηματικό Proteus

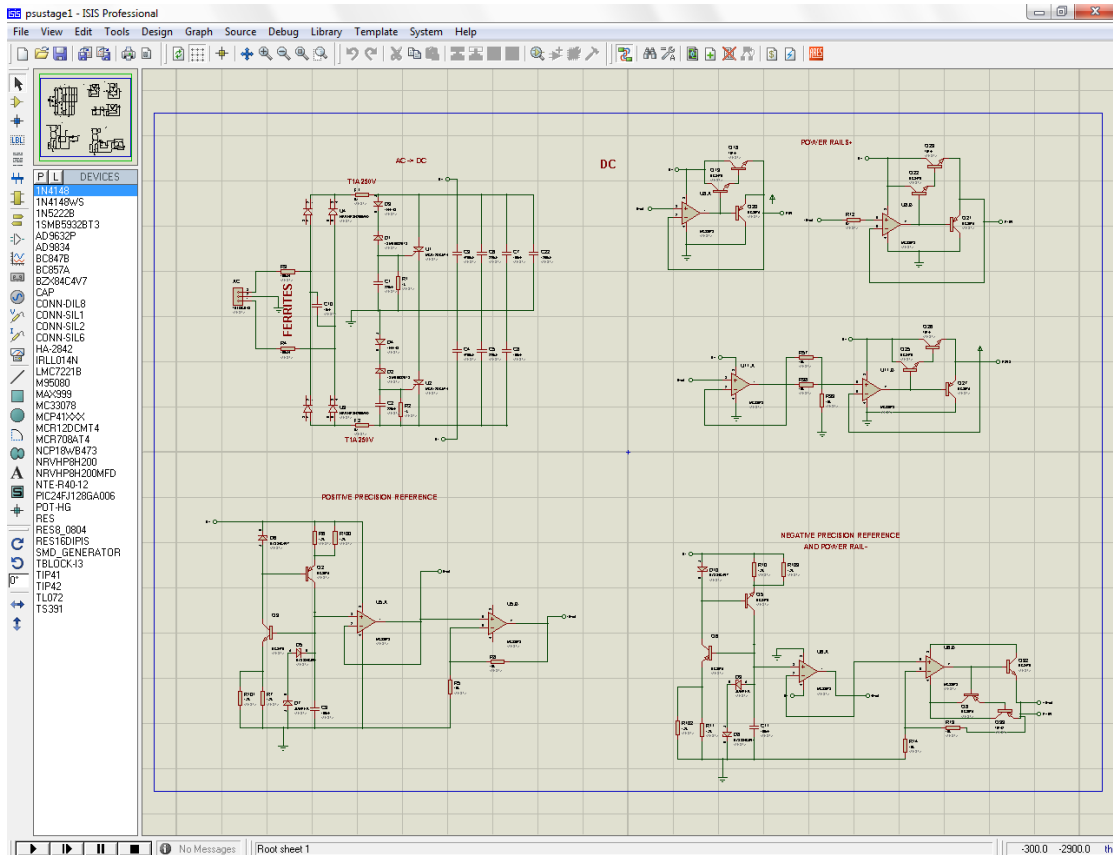


Σχήμα 13.2 Σχέδιο στο ARES

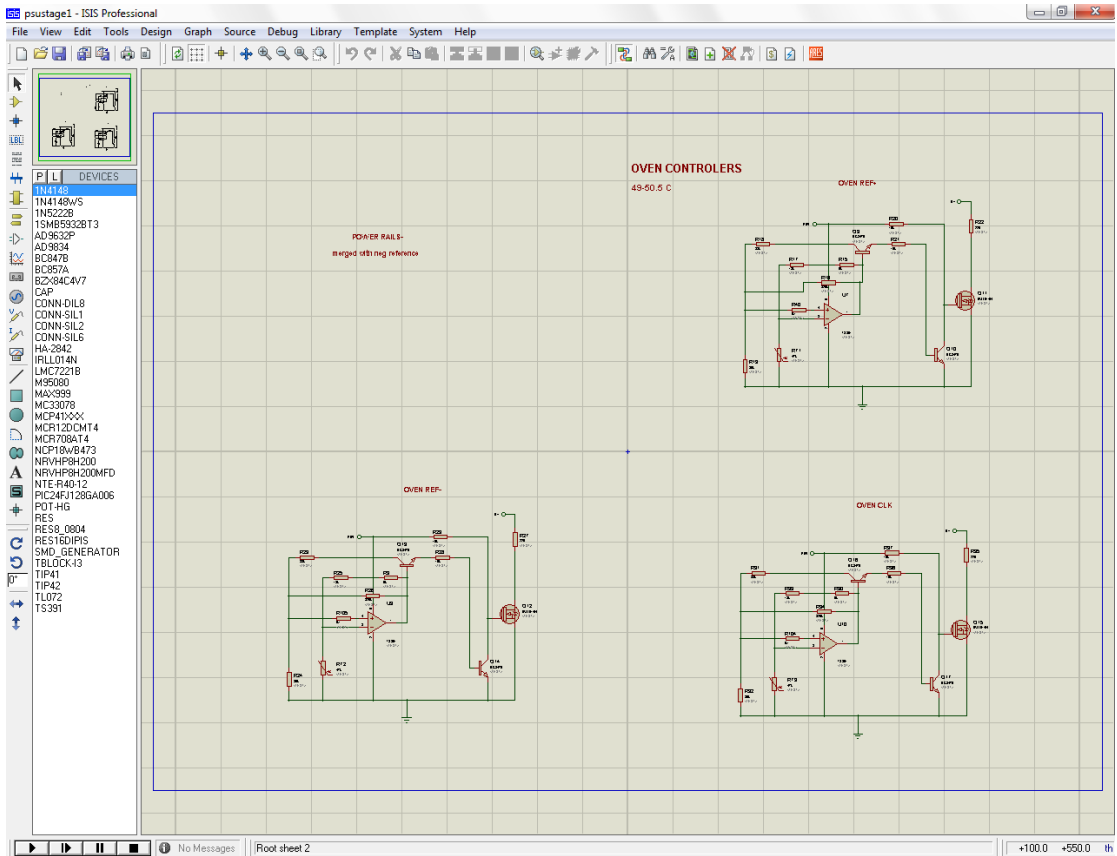


Εικόνα 10 : Πλακέτα διεπαφής χρήστη

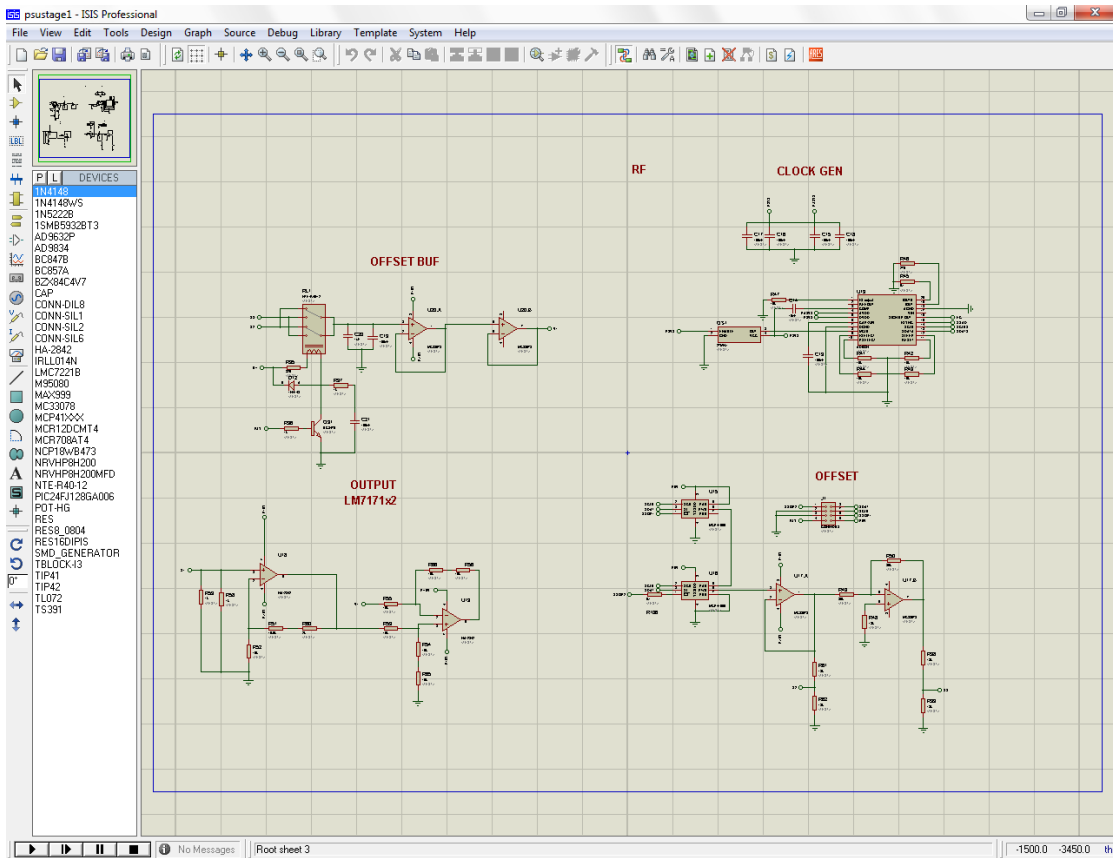
Κεφάλαιο 14ο: Παράρτημα πλήρες σχηματικό και σχέδιο τυπωμένου κεντρικής πλακέτας



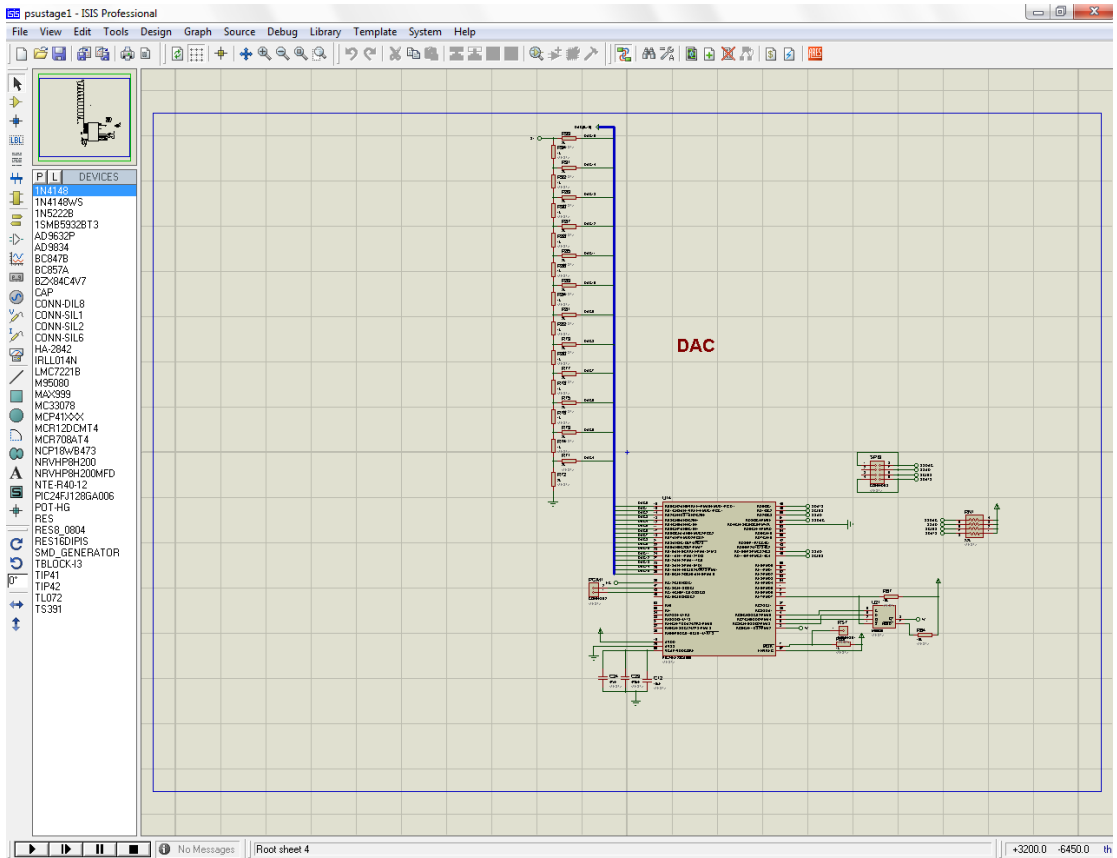
Σχήμα 14.1 Σχηματικό σελίδα 1



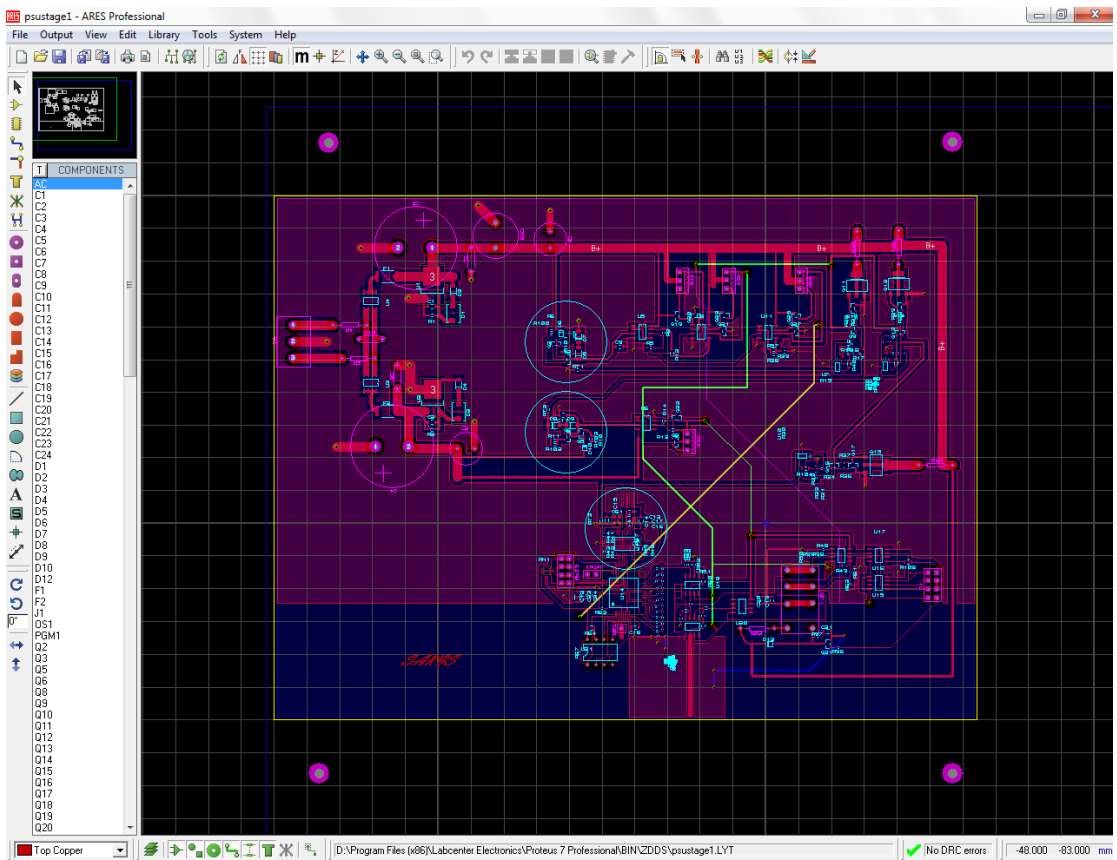
Σχήμα 14.2 Σχηματικό σελίδα 2



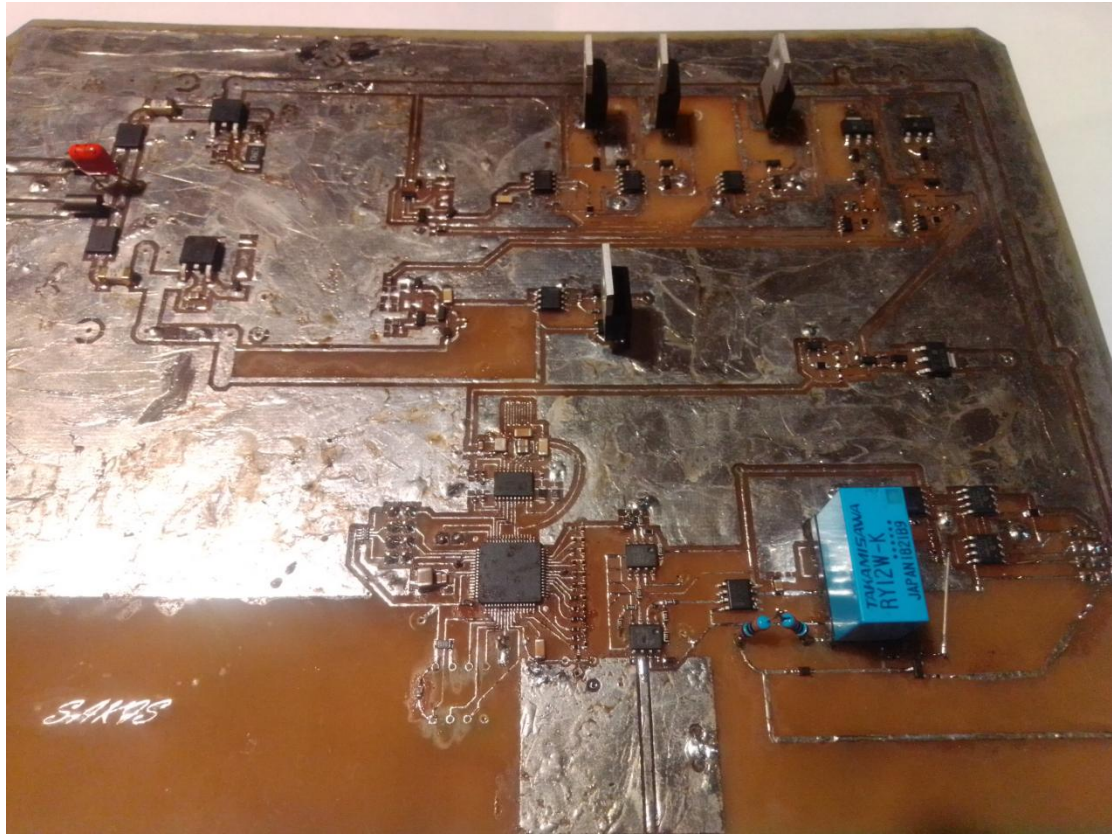
Σχήμα 14.3 Σχηματικό σελίδα 3



Σχήμα 14.4 Σχηματικό σελίδα 4



Σχήμα 14.5 Σχέδιο τυπωμένου στο ARES



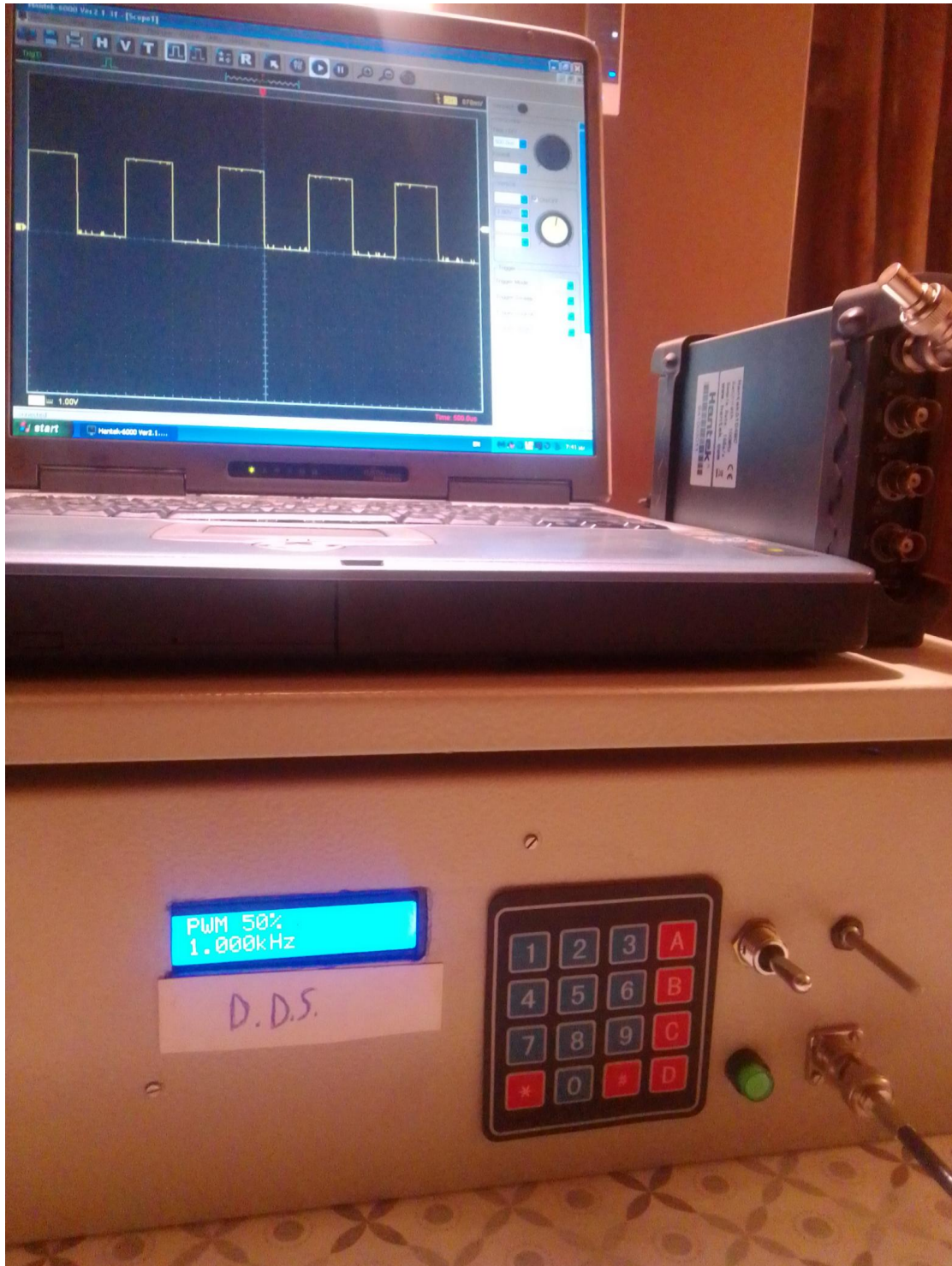
Εικόνα 11 : Τοπωμένη κεντρική πλακέτα

Κεφάλαιο 15ο: Συμπεράσματα ή/και προτάσεις βελτίωσης

Παρά τα αρκετά καλά αποτελέσματα, υπάρχει πάντα δυνατότητα εξέλιξης.

Είναι δυνατή η βελτίωση των αποτελεσμάτων στα επιμέρους τμήματα:

- 1) Μικρότερη υστέρηση στους ελεγκτές θερμοκρασίας, έτσι θα υπάρχει μικρότερη μεταβολή στα ελεγχόμενα μεγέθη κατά την θέρμανση και την ψύξη στα άκρα της υστέρησης. Πάντα με μέτρο, γιατί στο άλλο άκρο χωρίς υστέρηση είναι πιθανό να παρουσιαστούν παρεμβολές στην τροφοδοσία και κατ' επέκταση και στην έξοδο.
- 2) Χαμηλότερη συχνότητα στο ρολόι αναφοράς. Με 8MHz θα είχαμε μικρότερο LSB και κατά συνέπεια ακόμα καλύτερο έλεγχο στις χαμηλές συχνότητες. Παράλληλα για τις υψηλές συχνότητες πάλι θα χρησιμοποιούσαμε το PLL του μικροελεγκτή. Κάτω από 8MHz δεν θα είχαμε τόσο εύκολη απόκριση στο εσωτερικό PLL του μικροελεγκτή.
- 3) Μικροελεγκτής με δυνατότητα λειτουργίας σε υψηλότερες συχνότητες. Όπως προαναφέραμε η συχνότητα εξόδου με την μέθοδο που χρησιμοποιούμε είναι πολύ μικρότερη από την συχνότητα λειτουργίας του επεξεργαστή. Προς το παρών οι μικροελεγκτές που υπάρχουν είναι πολύ πιο ακριβοί και το κέλυφός τους είναι BGA που απαιτεί πολλές στρώσεις χαλκού στην πλακέτα και δεν έχουμε την δυνατότητα αυτήν την στιγμή να κάνουμε από μόνοι μας τέτοιου τύπου πλακέτες.
- 4) Στο δικτύωμα R2R όπως προαναφέραμε θα ήταν καλύτερο να χρησιμοποιηθούν αντιστάσεις 0.025%. Αν και αυτό αυξάνει δραματικά το κόστος.
- 5) Στην επιλογή OFFSET καλό θα ήταν να μπει ένα ρελέ στερεάς κατάστασης SSR.



Εικόνα 12 : Δοκιμή γεννήτριας

Βιβλιογραφία

Journal Articles

[1] Perry Miller and Doug Moore, "Precision voltage references", Analog and Mixed-Signal Products, Nov. 1999.

[9] Eva Murphy and Colm Slattery, "All About Direct Digital Synthesis", Analog Dialogue, Vol. 38, no. 3, pp. 8-12, 2004.

E-books

[2] Christopher Dean, Bonnie Baker, Miro Oljaca and Ying Zhou, *Tips and Tricks for Designing with Voltage References*, SLYC147A, 2021.

Internet Site

15/7/2021

[3] Wikipedia, "Spurious-free dynamic range", 2021. [Online]. Available : <https://en.wikipedia.org>.

[11] Wikipedia, "Resistor ladder", 2021. [Online]. Available : <https://en.wikipedia.org>.

[16] Wikipedia, "Coplanar waveguide", 2020. [Online]. Available : <https://en.wikipedia.org>.

[20] Wikipedia, "User interface", 2021. [Online]. Available : <https://en.wikipedia.org>.

Data sheet

[4] Vishay Semiconductors, "Small Signal Zener Diodes", BZX384 datasheet, Feb. 2018.

[6] ILSI America, "Ceramic Package SMD Oscillator, TTL / HC-MOS", ISM95-3351AH-27.0000 datasheet, Dec. 2015.

[7] Analog Devices, "20 mW Power, 2.3 V to 5.5 V, 75 MHz Complete DDS", AD9834 datasheet.

[10] Microchip, "16-Bit Microcontrollers and Digital Signal Controllers with High-Speed PWM, USB and Advanced Analog", dsPIC33EP256MU806 datasheet.

[12] STMicroelectronics, "8-Kbit serial SPI bus EEPROM with high-speed clock", M95080-W datasheet, Sep. 2014.

[15] Texas Instruments, "LM7171 Very High Speed, High Output Current, Voltage Feedback Amplifier", LM7171 datasheet, May 1999.

[18] Huber and Suhner, "Flexible RF cable RG_58_C/U", RG_58_C/U datasheet, Feb. 2021.

Application Note

[5] Texas Instruments, "Comparator with Hysteresis Reference Design", TIDU020A.

[8] Analog Devices, "Programming the AD9833/AD9834", App. Note 1070.

[14] Texas Instruments, "Decompensated Operational Amplifiers", App. Note 1604.

White Paper

[13] Keysight Technologies, "Adding DC Offsets to a Function Generator's Output", 5992-3310EN, Sep. 2018.

Βιβλία

[17] Hubregt J. Visser, *Antenna Theory and Applications*. Eindhoven, NL, pp. 259-260 2012.

Paper in conference proceedings

[19] John Coonrod, Rogers Corporation, "Microwave PCB Structure Considerations: Microstrip vs. Grounded Coplanar Waveguide" presented at International Microwave Symposium, Phoenix, United States, May 2015.