



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ**  
**ΗΠΕΙΡΟΥ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Με θέμα:**

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΕΡΓΟΥ ΖΩΝΟΠΕΡΑΤΟΥ  
ΦΙΛΤΡΟΥ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΑ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ  
ΑΠΟΛΑΒΗ**

**Σταμούλης Αλέξανδρος**  
**A.M. 10071**

**Επιβλέπων καθηγητής: Βότης Κωνσταντίνος**  
**Άρτα, 2015**

## Πτυχιακή Εργασία



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΗΠΕΙΡΟΥ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Με θέμα:**

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΕΡΓΟΥ ΖΩΝΟΠΕΡΑΤΟΥ  
ΦΙΛΤΡΟΥ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΑ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ  
ΑΠΟΛΑΒΗ**

**Σταμούλης Αλέξανδρος  
Α.Μ. 10071**

**Επιβλέπων καθηγητής: Βότης Κωνσταντίνος  
Άρτα, 2015**

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Βότη Κωνσταντίνο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, τον χρόνο που διέθεσε και την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφερε όλο το διάστημα εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.

Ακόμα θέλω να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου Βασίλη και Αργυρώ και στον αδερφό μου Ηλία, για την αμέριστη υποστήριξή τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την κατασκευή ενός φίλτρου συχνοτήτων με ελεγχόμενη απολαβή. Το φίλτρο αυτό σε εφαρμογές ακουστικών ενισχυτών θα μας παρέχει την δυνατότητα να φιλτράρουμε το εισερχόμενο σήμα ώστε να διέρχονται μόνο οι συχνότητες μεταξύ 20 Hz και 20 KHz, οι συχνότητες δηλαδή που ακούει ο άνθρωπος, καθώς και να ρυθμίσουμε την απολαβή του. Αρχικά γίνεται αναφορά στα είδη των σημάτων τα οποία υπάρχουν στη φύση και στην τεχνολογία, καθώς επίσης και στις κατηγορίες των φίλτρων τα οποία χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία τους.

Στην συνέχεια γίνεται λεπτομερής αναφορά στο κύκλωμα που λειτουργεί σαν φίλτρο συχνοτήτων το οποίο είναι ένα ζωνοπερατό φίλτρο που επιτρέπει την διέλευση μόνο των ακουστικών συχνοτήτων. Παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήσαμε για την κατασκευή του φίλτρου, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, η συνδεσμολογία και τα πειραματικά αποτελέσματα.

Έπειτα εξετάζεται το κύκλωμα ενισχυτή προγραμματιζόμενης απολαβής. Πρόκειται για ένα κύκλωμα που μας παρέχει την δυνατότητα ρύθμισης της απολαβής του σήματος. Και εδώ αναφέρονται αναλυτικά τα υλικά του κυκλώματος, η συνδεσμολογία του και η χρήση της πλακέτας του Arduino.

Τέλος παρουσιάζονται τα συνολικά πειραματικά αποτελέσματα όπως η αύξηση ή η μείωση του κέρδους του εισερχόμενου σήματος όπως αυτά προκύπτουν κατά την ολοκλήρωση του πειράματος στο εργαστήριο.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα.....	6
<b>Κεφάλαιο 1: Σήματα, Φίλτρα και Ενεργά φίλτρα</b>	
1.1 Εισαγωγή.....	7
1.2 Σήματα.....	7
1.2.1 Σήματα συνεχούς χρόνου ή αναλογικά σήματα.....	7
1.2.2 Σήματα διακριτού χρόνου.....	8
1.2.3 Ψηφιακά σήματα.....	8
1.2.4 Άλλες κατηγορίες σημάτων.....	9
1.2.5 Συχνότητα σήματος.....	9
1.2.6 Περίοδος σήματος.....	9
1.3 Φίλτρα συχνοτήτων.....	9
1.3.1 Ενεργά φίλτρα.....	11
1.3.2 Τελεστικός ενισχυτής.....	12
1.3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενεργών φίλτρων σε σχέση με τα παθητικά φίλτρα.....	12
<b>Κεφάλαιο 2: Κύκλωμα φίλτρου συχνοτήτων</b>	
2.1 Κατασκευή φίλτρου συχνοτήτων.....	13
2.2 Γραφική παράσταση απόκρισης συχνότητας.....	17
<b>Κεφάλαιο 3 :Κύκλωμα ενισχυτή προγραμματιζόμενης απολαβής</b>	
3.1 Εισαγωγή.....	20
3.2 Το Arduino.....	20
3.3 Κατασκευή κυκλώματος ενισχυτή προγραμματιζόμενης απολαβής.....	22
<b>Κεφάλαιο 4 : Πειραματικά αποτελέσματα</b>	
4.1 Συνολικά πειραματικά αποτελέσματα.....	27
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>36</b>

## Κεφάλαιο 1: Σήματα, Φίλτρα και Ενεργά φίλτρα

### 1.1 Εισαγωγή

Σήματα εμφανίζονται σχεδόν σε κάθε κλάδο της επιστήμης και της μηχανικής, π.χ. στην αστρονομία, στην ακουστική, στη βιολογία, στις επικοινωνίες, στη σεισμολογία και στην οικονομολογία για να αναφέρουμε μόνο μερικά. Τα σήματα χωρίζονται σε φυσικά και τεχνητά. Φυσικά σήματα αφθονούν στην βιολογία όπως για παράδειγμα τα σήματα που παράγονται από την καρδιά ή τον εγκέφαλο, τα ακουστικά σήματα που χρησιμοποιούνται από τα δελφίνια για να επικοινωνούν μεταξύ τους. Τεχνητά σήματα, από την άλλη πλευρά, προκύπτουν σε τεχνολογικά συστήματα, όπως οι υπολογιστές, συστήματα τηλεφώνων και ραντάρ, ή το διαδίκτυο. Για την επεξεργασία των σημάτων χρησιμοποιούνται διαφόρων ειδών φίλτρα.

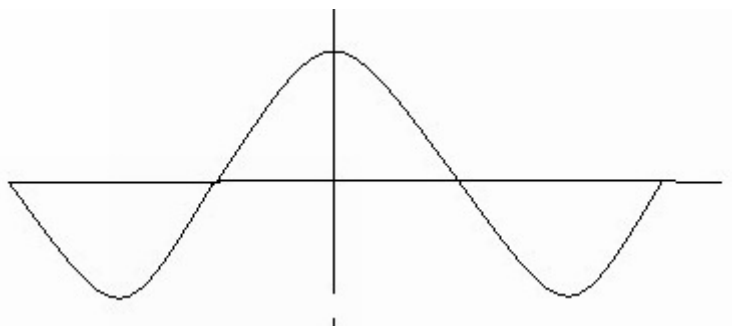
### 1.2 Σήματα

Ως σήμα ορίζεται ένα φυσικό μέγεθος το οποίο μεταβάλλεται σε σχέση με τον χρόνο ή το χώρο ή, με οποιαδήποτε άλλη ανεξάρτητη μεταβλητή ή μεταβλητές. Αποτελούν σύνολα πληροφοριών και δεδομένων και μεταφέρουν πληροφορίες για τη συμπεριφορά ή την κατάσταση ενός φυσικού συστήματος και τις περισσότερες φορές παράγονται για επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων ή ανθρώπων και μηχανών.

Ανάλογα με τον τύπο της ανεξάρτητης ή της εξαρτημένης μεταβλητής, μπορούμε να κατατάξουμε τα σήματα σε διάφορες κατηγορίες.

#### 1.2.1 Σήματα συνεχούς χρόνου ή αναλογικά σήματα

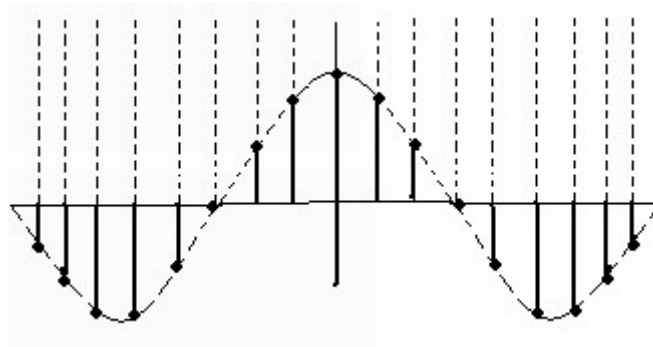
Σήματα συνεχούς χρόνου ή αναλογικά σήματα είναι τα σήματα των οποίων η ανεξάρτητη μεταβλητή μεταβάλλεται σ' ένα συνεχές διάστημα. Δηλαδή η μεταβλητή  $t$  είναι συνεχής (παίρνει όλες τις τιμές μέσα σε κάποιο διάστημα).



Εικόνα 1.1 Γραφική αναπαράσταση ενός αναλογικού σήματος

### 1.2.2 Σήματα διακριτού χρόνου

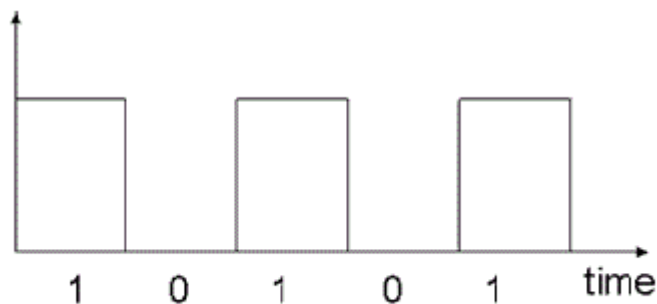
Σήματα διακριτού χρόνου ορίζονται τα σήματα στα οποία η ανεξάρτητη μεταβλητή του παίρνει μόνο διακριτές(συγκεκριμένες) τιμές. Στις τηλεπικοινωνίες τα σήματα διακριτού χρόνου παρουσιάζονται συνήθως όταν γίνεται δειγματοληψία ενός αναλογικού σήματος σε χρονικά διαστήματα που καθορίζονται από την συχνότητα δειγματοληψίας.



Εικόνα 1.2 Γραφική αναπαράσταση ενός σήματος διακριτού χρόνου

### 1.2.3 Ψηφιακά σήματα

Ψηφιακά σήματα είναι τα σήματα στα οποία τόσο η ανεξάρτητη μεταβλητή, όσο και η εξαρτημένη μεταβλητή μπορούν να λαμβάνουν μόνο διακριτές τιμές. Το ψηφιακό σήμα προκύπτει από το σήμα διακριτού χρόνου εφαρμόζοντας μια συγκεκριμένη διαδικασία που ονομάζεται ψηφιοποίηση. Σε οποιοδήποτε ψηφιακό σύστημα, η κυματομορφή του σήματος εναλλάσσεται μεταξύ δύο επιπέδων τάσης οι οποίες αναπαριστούν τις δύο τιμές του δυαδικού συστήματος το 0 και το 1.



Εικόνα 1.3 Γραφική αναπαράσταση ενός ψηφιακού σήματος



#### 1.2.4 Άλλες κατηγορίες σημάτων

Τα σήματα μπορούν να καταταγούν και σε διάφορες άλλες κατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Μερικές από αυτές τις κατηγορίες είναι οι εξής:

- **Αιτιοκρατικά ή καθοριστικά σήματα** είναι τα σήματα των οποίων οι τιμές σε κάθε χρονική στιγμή ορίζονται με βεβαιότητα. Ένα τέτοιο σήμα για παράδειγμα, είναι το συνημίτονο.
- **Τυχαία ή πιθανοτικά σήματα** είναι τα σήματα στα οποία η τιμή σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή δεν μπορεί να καθοριστεί με βεβαιότητα πριν εμφανιστούν. Για την επεξεργασία τέτοιου είδους σημάτων χρησιμοποιείτε η θεωρία των Πιθανοτήτων και Στατιστικής.
- **Κβαντισμένα** λέγονται τα σήματα που μπορούν λάβουν μόνο διακριτές τιμές.
- **Μη κβαντισμένα** τα σήματα που λαμβάνουν οποιαδήποτε τιμή σε μια καθορισμένη περιοχή.

#### 1.2.5 Συχνότητα σήματος

Συχνότητα ενός σήματος ονομάζουμε τον αριθμό των επαναλήψεων στην μονάδα του χρόνου. Η συχνότητα χαρακτηρίζει οποιοδήποτε φυσικό μέγεθος μεταβάλλεται περιοδικά, δηλαδή επαναλαμβάνει τις ίδιες τιμές σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η μονάδα μέτρησης της συχνότητας στο σύστημα SI είναι τα Hertz (Χέρτζ), από το όνομα του Γερμανού φυσικού Χάινριχ Χέρτζ (Heinrich Rudolf Hertz), ή σε κύκλους. Η συχνότητα ενός (1) Hz (Hertz), ή ενός κύκλου, ισοδυναμεί με μια ταλάντωση ανά δευτερόλεπτο. Πολλαπλάσιες μονάδες αυτού είναι το *κιλοχέρτζ* kHz και το *μεγαχέρτζ* που ισούται με 1.000.000 Hz.

#### 1.2.6 Περίοδος σήματος

Η περίοδος είναι μέγεθος που χαρακτηρίζει εκείνα τα φυσικά φαινόμενα, τα οποία έχουν την ιδιότητα να επαναλαμβάνονται κατά τον ίδιο τρόπο μετά την πάροδο ορισμένου χρόνου. Τέτοια φαινόμενα ονομάζονται περιοδικά. Ως περίοδος του σήματος ορίζεται ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείτε για να εκτελεστεί ένας πλήρης κύκλος του φαινομένου, μετά τον οποίο το φαινόμενο επαναλαμβάνεται. Η περίοδος ενός κύματος είναι ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για να επανέλθει ένα σταθερό σημείο του κύματος στην ίδια φάση, π.χ. να μεταβεί από κορυφή σε κορυφή ή από κοιλάδα σε κοιλάδα. Μετριέται σε μονάδες χρόνου όπως δευτερόλεπτα (sec), λεπτά (min) κλπ.

Η περίοδος των ηλεκτρικών σημάτων είναι η χρονική διάρκεια του κάθε επαναλαμβανόμενου στιγμιότυπου. Η περίοδος ενός τέτοιου μεγέθους μπορεί να μετρηθεί με την χρήση παλμογράφου όπου μπορεί να αποτυπωθεί το μεταβαλλόμενο μέγεθος σε οποιαδήποτε χρονική κλίμακα. Όταν γνωρίζουμε την συχνότητα του σήματος, μπορούμε να υπολογίσουμε την περίοδο με την χρήση του τύπου  $f=1/T$ .

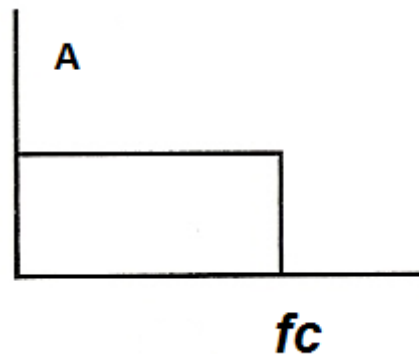
### 1.3 Φίλτρα συχνότητων

Τα φίλτρα είναι δικτυώματα παθητικών ή ενεργών και παθητικών στοιχείων που ενεργεί επιλεκτικά και επιτρέπει ή εμποδίζει τη διέλευση ενός σήματος σε μια ορισμένη συχνότητα ή σε μία ορισμένη περιοχή συχνοτήτων. Τα φίλτρα χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρονικά συστήματα για να επιτρέψουν σήματα σε κάποιες περιοχές συχνοτήτων και να απορρίψουν σήματα σε άλλες περιοχές συχνοτήτων.

Η επιλεκτικότητα κάθε φίλτρου όσον αφορά την συχνότητα είναι ίσως η πιο συνήθης μέθοδος κατηγοριοποίησης. Οι τέσσερις βασικές κατηγορίες φίλτρων είναι τα χαμηλοπερατά (*Lowpass*), τα υψιπερατά (*Highpass*), τα ζωνοπερατά ή ζωνοδιαβατά (*Bandpass*) και τα ζωνοφρακτικά (*Bandstop*).

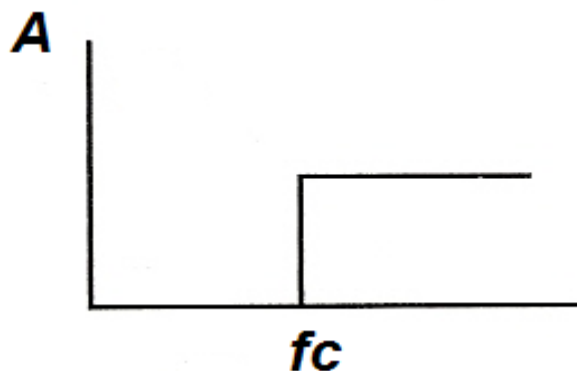
**Οι τέσσερις πρώτες κατηγορίες φίλτρων επιτελούν τις εξής λειτουργίες:**

Τα **χαμηλοπερατά φίλτρα** αφήνουν να περάσουν χωρίς παραμόρφωση τα σήματα μέχρι μια ορισμένη συχνότητα αποκοπής  $f_c$ , (ζώνη διέλευσης) ενώ μηδενίζουν κάθε σήμα με συχνότητα μεγαλύτερη της  $f_c$  (ζώνη αποκοπής).



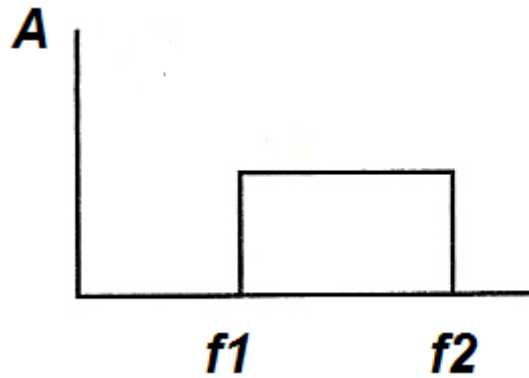
**Εικόνα 1.4** Ιδανική συχνοτική απόκριση χαμηλοπερατού φίλτρου

Τα **υψιπερατά φίλτρα** αντίθετα αφήνουν να περάσουν απαραμόρφωτα τα σήματα από μια συχνότητα  $f_c$  και πάνω ενώ αποκόπτουν κάθε σήμα με συχνότητα μικρότερη της  $f_c$ .



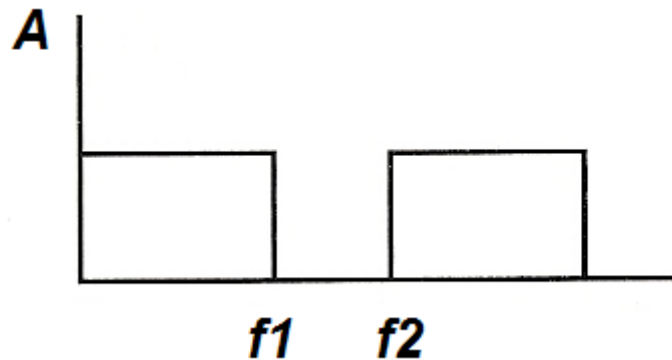
**Εικόνα 1.5** Ιδανική συχνοτική απόκριση υψιπερατού φίλτρου

Τα **ζωνοδιαβατά φίλτρα** αφήνουν να περάσουν απαραμόρφωτα τα σήματα που περικλείονται σε μια ζώνη συχνοτήτων με κάτω όριο την  $f_{c1}$  και πάνω όριο την  $f_{c2}$  ενώ αποκόπτουν κάθε άλλο σήμα έξω από αυτή την ζώνη.



Εικόνα 1.6 Ιδανική συχνοτική απόκριση ζωνοπερατού φίλτρου

Τα **ζωνοφρακτικά φίλτρα** αντίθετα αποκόπτουν τα σήματα που περικλείονται σε μία ζώνη συχνοτήτων με κάτω όριο την  $f_{c1}$  και πάνω όριο την  $f_{c2}$  και αφήνουν να περάσουν χωρίς παραμόρφωση όλα τα σήματα έξω από αυτήν την ζώνη.



Εικόνα 1.7 Ιδανική συχνοτική απόκριση ζωνοφρακτικού φίλτρου

### 1.3.1 Ενεργά φίλτρα (active filters)

Τα φίλτρα διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: στα ενεργά και στα παθητικά. Με τον όρο ενεργά φίλτρα εννοούμε τα φίλτρα τα οποία για να λειτουργήσουν χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία ενέργειας και τα οποία σε αντίθεση με τα παθητικά φίλτρα που αποτελούνται από *αντιστάσεις*(Resistors), *πηνία*(Inductor) και *πυκνωτές*(Capacitors), τα ενεργά φίλτρα περιλαμβάνουν και ενεργητικά στοιχεία όπως για παράδειγμα *τελεστικούς ενισχυτές*. Τα ενεργά φίλτρα χρησιμοποιούνται σε πολλές ηλεκτρονικές εφαρμογές, εξυπηρετώντας διάφορες λειτουργίες. Τα παθητικά φίλτρα ή αλλιώς RLC κυκλώματα αποτελούν ακόμα τα πιο διαδεδομένα φίλτρα που χρησιμοποιούνται, όμως τα τελευταία χρόνια σχεδιάζονται ενεργά φίλτρα μέσω των οποίων καλύπτονται διάφορα μειονεκτήματα των παθητικών φίλτρων.

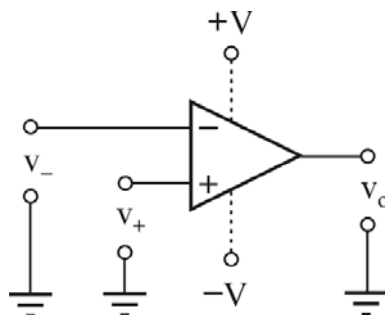
Τα ενεργά φίλτρα διακρίνονται με βάση το μέσο αποθήκευσης ενέργειας σε φίλτρα πηγής ρεύματος και σε φίλτρα πηγής τάσης.

Σε ότι αφορά την τοπολογία των κυκλωμάτων τους χωρίζονται σε παράλληλη σύνδεση, σύνδεση σε σειρά αλλά και σε συνδυασμό των δυο.

### 1.3.2 Τελεστικός ενισχυτής

Ο τελεστικός ενισχυτής είναι ένα προκατασκευασμένο κύκλωμα μικρών διαστάσεων. Έχει σκοπό να λειτουργεί σαν ενισχυτής τάσης με πολύ μεγάλη απολαβή, καθώς και να συγκρίνει τάσεις κάνοντας πράξεις με αυτές. Εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα κυκλώματα πολλών διακριτών στοιχείων, όπως το μικρό μέγεθος μιας κατασκευής, η ευκολία της κατασκευής και το μικρό κόστος. Στο εσωτερικό του περιέχει διόδους, τρανζίστορ, αντιστάσεις και πυκνωτές.

Για την κατασκευή ενεργών φίλτρων χρησιμοποιούνται τελεστικοί ενισχυτές (operational amplifiers). Η ονομασία είναι ενδεικτική της ικανότητάς τους να πραγματοποιούν μαθηματικές τελέσεις σε σήματα αναλογικού χαρακτήρα. Με τον τελεστικό ενισχυτή είναι δυνατή η ενίσχυση σημάτων μηδενικής συχνότητας (συνεχή σήματα) έως και μερικών εκατοντάδων kHz. Συμβολίζεται με ένα τρίγωνο με τις δύο εισόδους στη βάση και την έξοδο στην απέναντι κορυφή. Κάθε τελεστικός ενισχυτής έχει δύο εισόδους: την αναστρέφουσα (inverting) και την μη αναστρέφουσα (non-inverting) είσοδο που συμβολίζεται με τα σύμβολα “-” και “+” αντιστοίχως, χωρίς αυτό να έχει σχέση με την πολικότητα των τάσεων στις εισόδους. Στον συμβολισμό τους δεν περιλαμβάνονται συνήθως οι ακροδέκτες τροφοδοσίας, της οποίας η παρουσία θεωρείται αυτονόητη. Για την τροφοδοσία απαιτούνται δύο πηγές τάσης, η μια με θετική τάση και η άλλη με αρνητική τάση.



### 1.3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενεργών φίλτρων σε σχέση με τα παθητικά φίλτρα

#### Πλεονεκτήματα:

- Τα ενεργά φίλτρα είναι φίλτρα που ενισχύουν το διερχόμενο σήμα, σε αντίθεση με τα παθητικά που όχι μόνο δεν το ενισχύουν, αλλά πολλές φορές το εξασθενούν.
- Το κόστος είναι μικρότερο από τα παθητικά φίλτρα αφού τα πηνία που απαιτούνται στα παθητικά είναι πιο ακριβά.

#### Μειονεκτήματα:

- Τα ενεργά φίλτρα απαιτούν τροφοδοσία ρεύματος για να λειτουργήσουν
- Η απόκριση συχνότητας είναι συνάρτηση του τελεστικού ενισχυτή που χρησιμοποιείται.

## Κεφάλαιο 2: Κύκλωμα φίλτρου συχνοτήτων

### 2.1 Κύκλωμα φίλτρου συχνοτήτων

Όπως αναφέρθηκε η εργασία πραγματεύεται την δημιουργία ενός φίλτρου συχνοτήτων με ελεγχόμενη απολαβή. Σκοπός της εργασίας είναι να παρέχεται η δυνατότητα φιλτραρίσματος του σήματος σε εφαρμογές ακουστικών ενισχυτών καθώς και η επιλογή ρύθμισης της απολαβής του. Αρχικά θα δημιουργήσουμε ένα κύκλωμα το οποίο θα λειτουργεί σαν φίλτρο από το οποίο θα περνάνε οι συχνότητες του φάσματος των ακουστικών συχνοτήτων. Ως *φάσμα ακουστικών συχνοτήτων* ή *ακουστό φάσμα* περιγράφεται το διάστημα μεταξύ της μικρότερης και της μεγαλύτερης συχνότητας ήχου που μπορεί να ακούσει ένας άνθρωπος ή ένα ζώο. Εδώ θα ασχοληθούμε με το φάσμα συχνοτήτων που μπορεί να ακούσει ένας άνθρωπος. Αυτό το φάσμα εκτείνεται περίπου από τα 20 Hz έως τα 20 KHz(20000 Hz).

Οπότε για να καταφέρουμε να δημιουργήσουμε αυτή την ζώνη συχνοτήτων και να αποκόψουμε οποιαδήποτε άλλη θα κατασκευάσουμε ένα ενεργό ζωνοπερατό(Bandpass) φίλτρο με κάτω όριο τα 20 Hz και πάνω όριο τα 20KHz. Ένας τρόπος να κατασκευάσουμε ένα ζωνοπερατό φίλτρο, είναι να ενώσουμε σε σειρά ένα χαμηλοπερατό και ένα υψιπερατό φίλτρο. Για την ψηφιακή αναπαράσταση του χαμηλοπερατού φίλτρου και του υψιπερατού φίλτρου θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα FilterPro. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα μας δίνει την δυνατότητα να κατασκευάσουμε στον υπολογιστή μας διαφόρων ειδών φίλτρα και είναι δωρεάν στο διαδίκτυο.

#### Χαμηλοπερατό φίλτρο

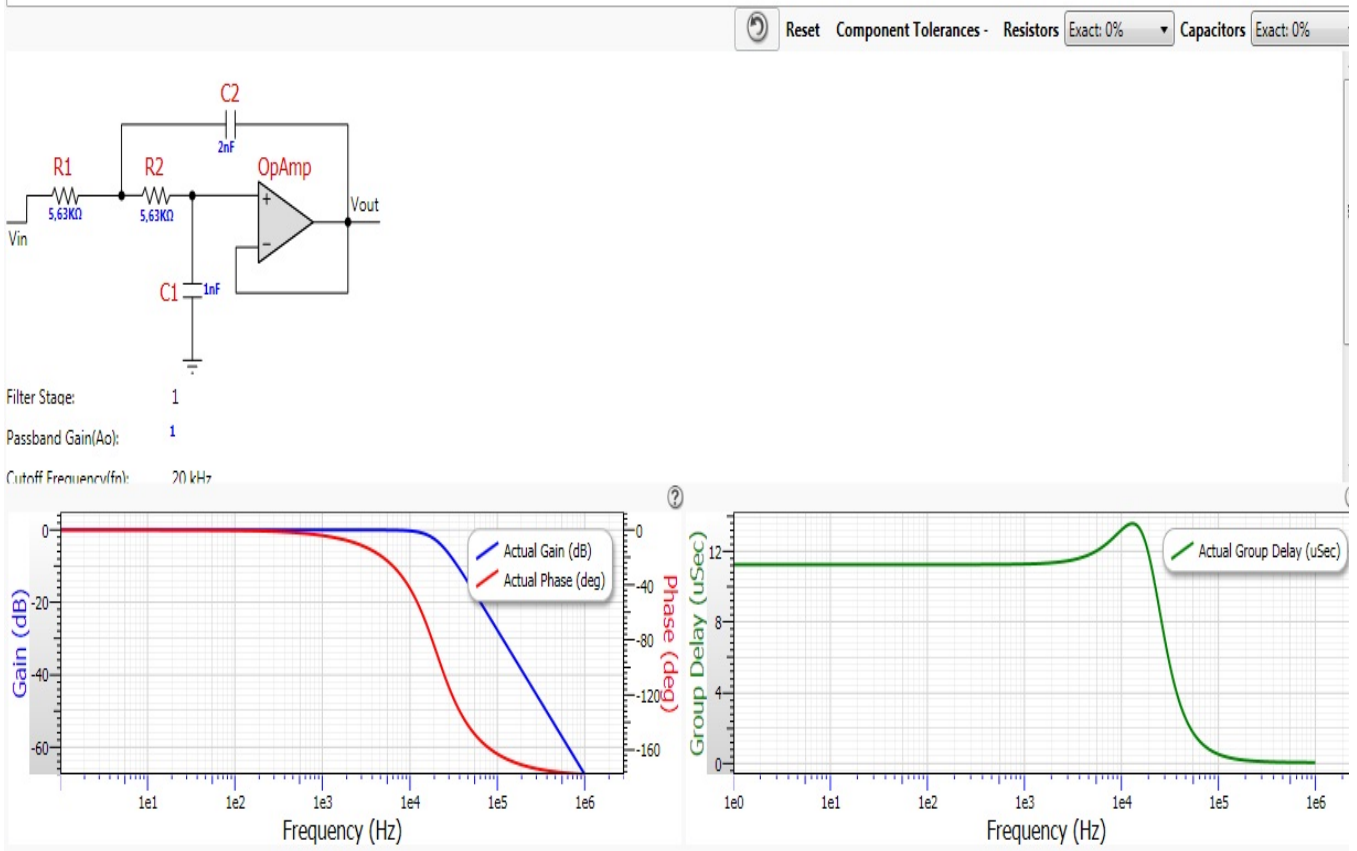
Ανοίγοντας το πρόγραμμα εκτελούμε τα παρακάτω βήματα:

- Step 1:Filter type → Lowpass → next
- Step 2:Filter specifications → βάζουμε τις τιμές που θέλουμε
  - Gain (Ao): 1
  - Passband Frequency (fc): 20000 Hz
  - Allowable Passband Ripple (Rp): 1 (Το αφήνουμε όπως είναι)
  - Stopband Frequency (fs): 20000 Hz
  - Stopband Attenuation (Asb): -45 (Το αφήνουμε όπως είναι)
  - Optional – Filter Order: Set fixed: 2 → next
- Step 3:Filter Response → Επιλέγουμε Gain και Butterworth → next
- Step 4:Filter Topology → Επιλέγουμε Sallen-Key → Finish

Το πρόγραμμα υπολογίζει τις τιμές που δώσαμε και μας παρουσιάζει την συνδεσμολογία του φίλτρου όπως απεικονίζεται στην επόμενη εικόνα:

## Πτυχιακή Εργασία

Name: Lowpass, Sallen Key, Butterworth Part: Ideal Opamp Order: 2 Number Of Stages: 1  
Gain: 1 V/V (0 dB) Allowable PassBand Ripple: 1 dB Passband Frequency: 20 kHz Corner Frequency Attenuation: -3 dB



Εικόνα 2.1 Συνδεσμολογία Lowpass φίλτρου

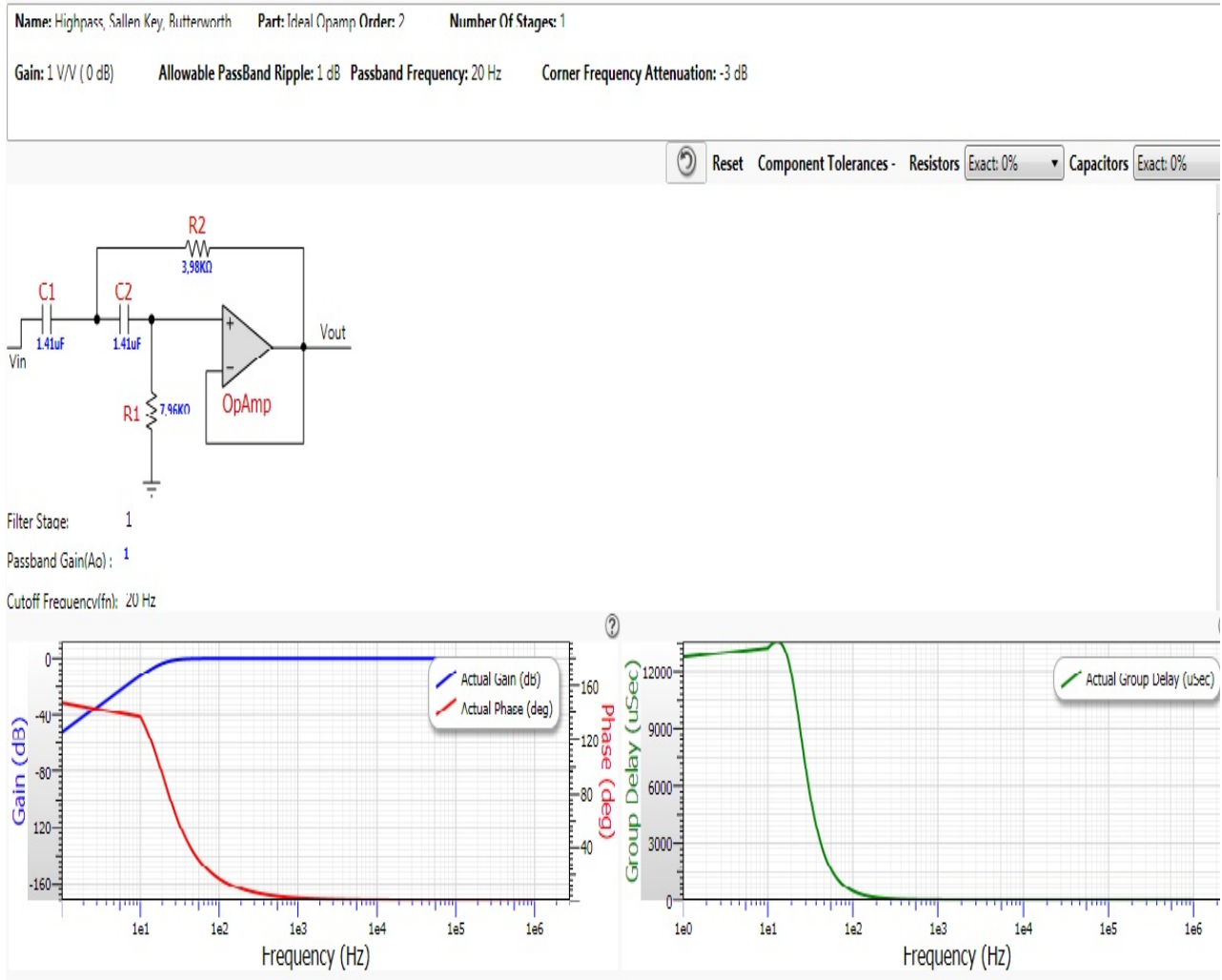
### Υψιπερατό φίλτρο

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε και το Υψιπερατό φίλτρο:

- Step 1: Filter type → Highpass → next
- Step 2: Filter specifications → βάζουμε τις τιμές που θέλουμε
  - Gain ( $A_o$ ): 1
  - Passband Frequency ( $f_c$ ): 20 Hz
  - Allowable Passband Ripple ( $R_p$ ): 1 (Το αφήνουμε όπως είναι)
  - Stopband Frequency ( $f_s$ ): 20 Hz
  - Stopband Attenuation ( $A_{sb}$ ): -45 (Το αφήνουμε όπως είναι)
  - Optional – Filter Order: Set fixed: 2 → next
- Step 3: Filter Response → Επιλέγουμε Gain και Butterworth → next
- Step 4: Filter Topology → Επιλέγουμε Sallen-Key → Finish

Το πρόγραμμα υπολογίζει τις τιμές που δώσαμε και μας παρουσιάζει την συνδεσμολογία του φίλτρου όπως απεικονίζεται στην επόμενη εικόνα:

## Πτυχιακή Εργασία



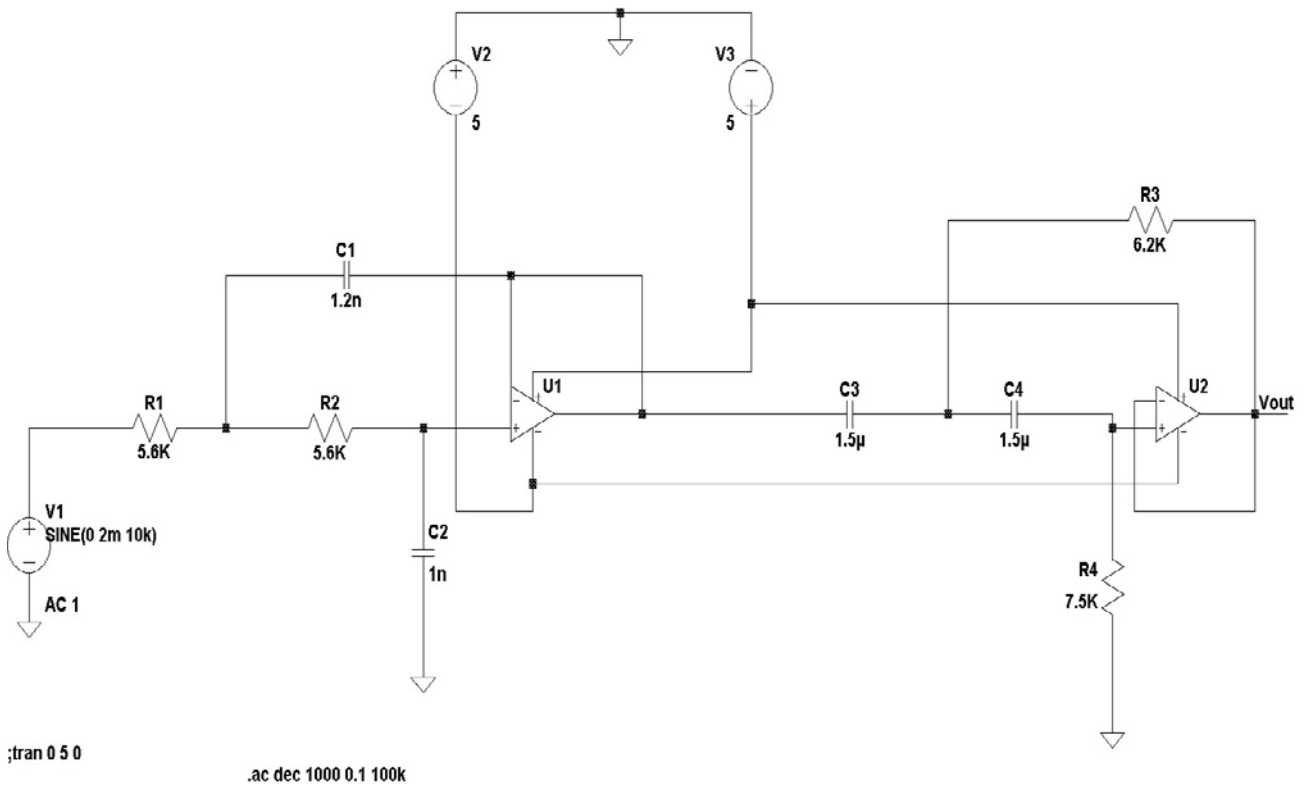
Εικόνα 2.2 Συνδεσμολογία Highpass φίλτρου

Στην συνέχεια, θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα LTspice το οποίο αποτελεί έναν εξομοιωτή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και μας παρέχει την δυνατότητα να κατασκευάζουμε κυκλώματα και να βλέπουμε τις κυματομορφές τους. Το πρόγραμμα αυτό διατίθεται δωρεάν στο διαδίκτυο.

Αρχικά δημιουργούμε πάνω στο σχηματικό τα δύο φίλτρα όπως αυτά μας δόθηκαν από το πρόγραμμα FilterPro. Οι τιμές των αντιστάσεων και των πυκνωτών που μας έδωσε το πρόγραμμα είναι κατά προσέγγιση. Για τον λόγο αυτό θα χρειαστεί να τροποποιήσουμε ορισμένες από αυτές τις τιμές έτσι ώστε η απόκριση του φίλτρου να είναι όσο πιο κοντά γίνεται στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

Αριστερά σχεδιάζουμε το χαμηλοπερατό φίλτρο και δεξιά το υπερπερατό και έπειτα τα ενώνουμε σε σειρά, ενώνοντας το Vout του χαμηλοπερατού με το Vin του υπερπερατού. Έτσι κατασκευάσαμε ένα ζωνοπερατό (bandpass) φίλτρο. Και τα δυο φίλτρα περιέχουν τελεστικούς ενισχυτές που σημαίνει ότι είναι ενεργά και κατ' επέκταση και το ζωνοπερατό φίλτρο είναι ενεργό.

Η αναλυτική απεικόνιση του κυκλώματος φαίνεται στην επόμενη εικόνα:



Εικόνα 2.3 Κύκλωμα φίλτρου συχνοτήτων

**Παρακάτω παρουσιάζονται τα υλικά του κυκλώματος:**

**Γεννήτρια συχνοτήτων V1:** Γεννήτρια συχνοτήτων με την οποία δίνουμε στο κύκλωμα ένα ημιτονοειδές κύμα.

**Αντίσταση R1:** στην αντίσταση R1 δίνουμε την τιμή 5.6 K.

**Αντίσταση R2:** η αντίσταση R2 πρέπει να έχει την ίδια τιμή με την αντίσταση R1 δηλαδή 5.6 K.

**Πυκνωτής C1:** στον πυκνωτή C1 δίνουμε την τιμή 1.2 nano.

**Πυκνωτής C2:** στον πυκνωτή C2 δίνουμε την τιμή 1 nano.

**Τελεστικός U1:** στον τελεστικό ενισχυτή U1 συνδέουμε τον ακροδέκτη +Vcc με θετική τάση 5 Volts και τον -Vcc με αρνητική τάση -5 Volts.

**Πυκνωτής C3:** στον πυκνωτή C3 δίνουμε την τιμή 1.5 μ (micro).



**Πυκνωτής C4:** στον πυκνωτή C4 δίνουμε την τιμή 1.5  $\mu$ .

**Αντίσταση R3:** στην αντίσταση R3 δίνουμε την τιμή 6.2 K

**Αντίσταση R4:** στην αντίσταση R4 δίνουμε την τιμή 7.5 K.

**Τελεστικός U2:** στον τελεστικό ενισχυτή U2 συνδέουμε τον ακροδέκτη +Vcc με θετική τάση 5 Volts και τον -Vcc με αρνητική τάση -5 Volts.

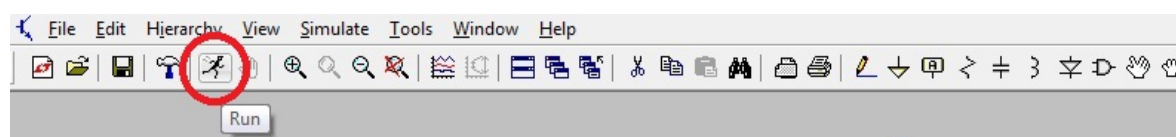
### Συνδεσμολογία του κυκλώματος

Όπως παρατηρείται και στο σχέδιο του κυκλώματος, όλες οι συνδέσεις των εξαρτημάτων πραγματοποιούνται σε σειρά. Έτσι έχουμε:

- Στην είσοδο του κυκλώματος τροφοδοτούμε το κύκλωμα με ημιτονοειδές κύμα με την χρήση μιας γεννήτριας συχνοτήτων ενώνοντάς το στην μια άκρη της αντίστασης R1.
- Ενώνουμε την άλλη άκρη της R1 με την μια άκρη της R2 και την άλλη άκρη της R2 με το “+” του τελεστικού ενισχυτή U1.
- Ο πυκνωτής C1 από την μία συνδέεται ανάμεσα στις αντιστάσεις R1 και R2 και από την άλλη στο “-” του τελεστικού ενισχυτή και στην συνέχεια στο OUT.
- Ο πυκνωτής C2 από την μία συνδέεται στο “+” του τελεστικού U1 και η άλλη άκρη του στην γείωση.
- Ο τελεστικός ενισχυτής U1 τροφοδοτείται με τάση 5 και -5 Volts από τους ακροδέκτες τροφοδοσίας.
- Στην έξοδο του U1 ενώνουμε τον πυκνωτή C3 από την μια άκρη και στην άλλη τον πυκνωτή C4.
- Ο πυκνωτής C4 στην συνέχεια ενώνεται στο “+” του τελεστικού ενισχυτή U2.
- Η αντίσταση R3 από την μια άκρη της συνδέεται ανάμεσα στους πυκνωτές C3 και C4 και η άλλη άκρη στην έξοδο(OUT) του U1.
- Η αντίσταση R4 συνδέεται στο “+” του U2 και στην γείωση.
- Το “-” του τελεστικού U2 συνδέεται με την έξοδο του U2.
- Τέλος ο τελεστικός ενισχυτής U2 τροφοδοτείται με τάση 5 και -5 Volts από τους ακροδέκτες τροφοδοσίας.

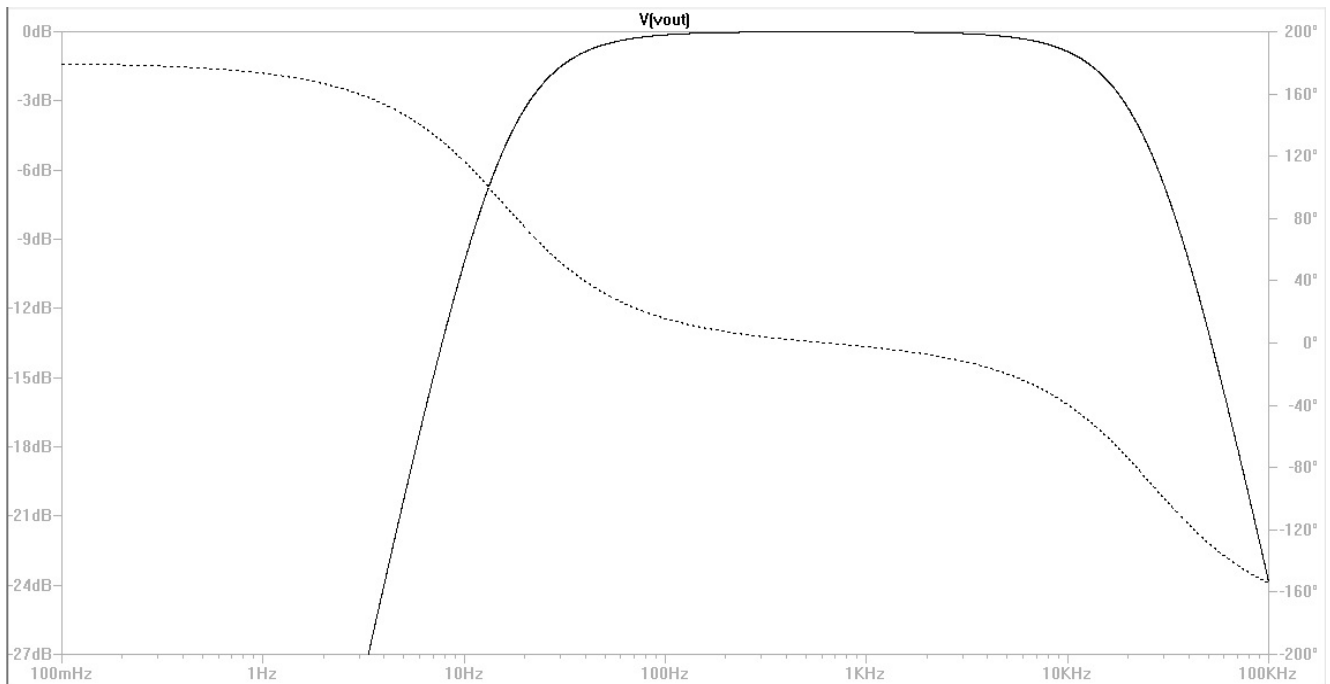
### 2.2 Γραφική παράσταση απόκρισης συχνότητας

Κατά την ολοκλήρωση της σχεδίασης του κυκλώματος στο LTspice θέλουμε το αποτέλεσμα να είναι μια γραφική παράσταση η οποία θα δείχνει μια συχνοτική απόκριση ζωνοπερατού φίλτρου. Για να τρέξουμε το κύκλωμα που κατασκευάστηκε πατάμε το πλήκτρο “Run”.



## Πτυχιακή Εργασία

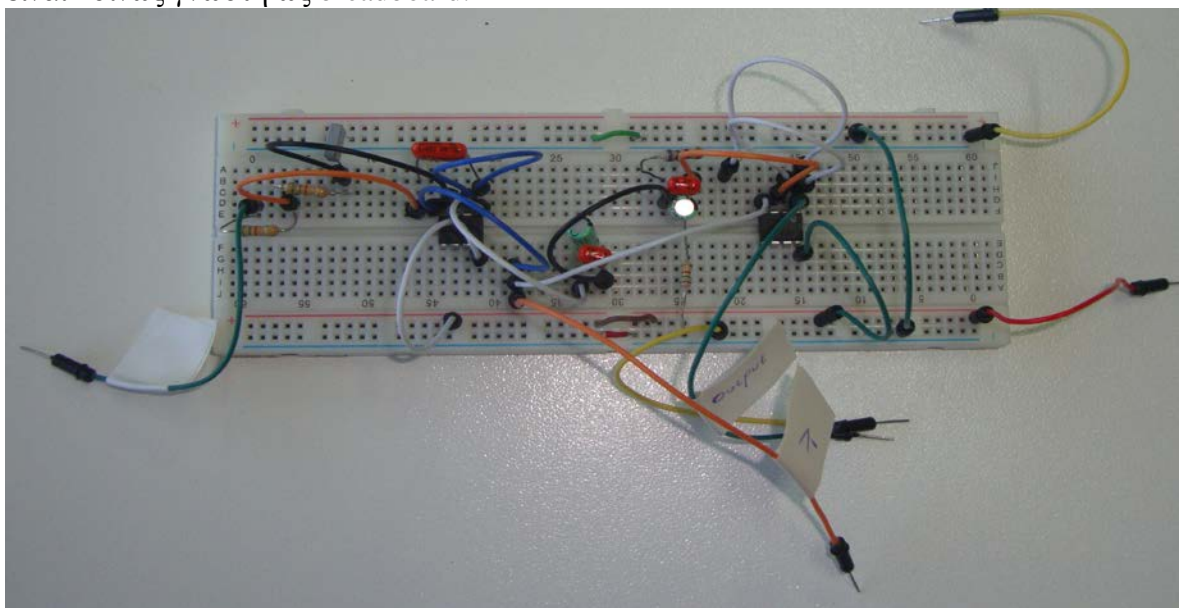
Έπειτα με τον κέρσορα χτυπάμε στην έξοδο(Vout) του φίλτρου για να μας δείξει την γραφική παράσταση στο συγκεκριμένο σημείο και το αποτέλεσμα είναι το εξής:



**Εικόνα 2.4** Γραφική παράσταση απόκρισης συχνότητας ζωνοπερατού φίλτρου

Παρατηρείται ότι από το φίλτρο περνάνε οι συχνότητες από 20Hz έως 20kHz. Δηλαδή το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων που θέλουμε.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τις εταιρίες των προγραμμάτων FilterPro και LTspice για τα χρήσιμα αυτά προγράμματα και την βοήθεια που μου πρόσφεραν στην κατασκευή του φίλτρου. Το τελικό βήμα θα είναι η αναλογική κατασκευή του κυκλώματος. Την κατασκευή αυτή θα την πραγματοποιήσουμε πάνω σε μια πλακέτα που είναι κοινώς γνωστή ως breadboard.



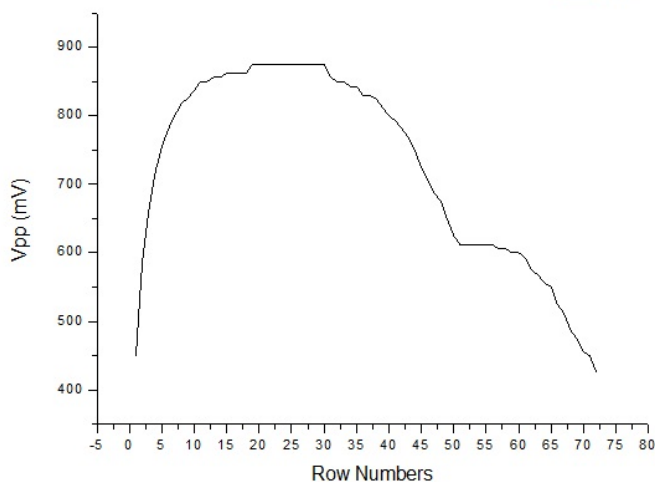
**Εικόνα 2.5** Το φίλτρο συχνοτήτων όπως κατασκευάστηκε στο breadboard

## Πτυχιακή Εργασία

Τέλος στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ορισμένες τιμές συχνοτήτων που δώσαμε στο κύκλωμα στο εργαστήριο με την γεννήτρια συχνοτήτων και δίπλα φαίνεται το V peak to peak του σήματος για κάθε συχνότητα όπου Vpp είναι το κάθετο μήκος ενός κύματος από την κορυφή μέχρι το χαμηλότερο σημείο.

	f Hz	Vpp mV		f Hz	Vpp mV		f Hz	Vpp mV
1	15	450	26	2500	875	51	19500	612
2	20	587	27	3000	875	52	19600	612
3	25	662	28	3500	875	53	19700	612
4	30	718	29	4000	875	54	19800	612
5	35	756	30	4500	875	55	19900	612
6	40	780	31	5000	856	56	20000	612
7	45	800	32	5500	850	57	20100	606
8	50	818	33	6000	850	58	20200	606
9	55	825	34	6500	843	59	20300	600
10	60	837	35	7000	843	60	20400	600
11	65	850	36	7500	830	61	20500	593
12	70	850	37	8000	830	62	21500	575
13	75	856	38	8500	825	63	22000	568
14	80	856	39	9000	812	64	22500	556
15	85	862	40	9500	800	65	23000	550
16	90	862	41	10000	793	66	24000	525
17	95	862	42	11000	781	67	25000	512
18	100	862	43	12000	768	68	26000	487
19	200	875	44	13000	750	69	27000	475
20	300	875	45	14000	725	70	28000	456
21	400	875	46	15000	706	71	29000	450
22	500	875	47	16000	687	72	30000	425
23	1000	875	48	17000	675			
24	1500	875	49	18000	650			
25	2000	875	50	19000	625			

Με την χρήση του προγράμματος OriginPro 8 βάζοντας τα παραπάνω δεδομένα παίρνουμε την παρακάτω γραφική παράσταση



## Κεφάλαιο 3: Κύκλωμα ενισχυτή προγραμματιζόμενης απολαβής

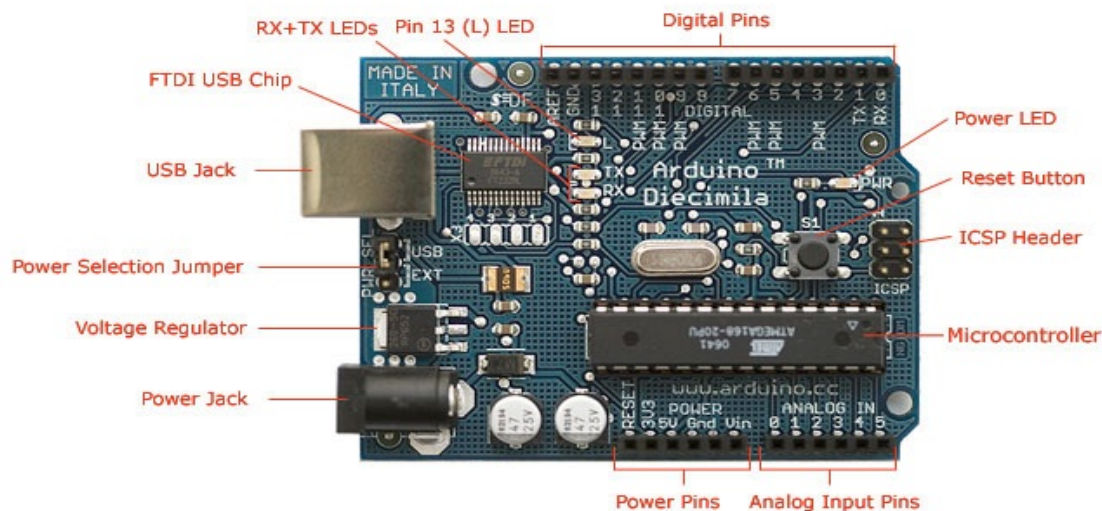
### 3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στο κύκλωμα προγραμματιζόμενης απολαβής ή κέρδους. Το συγκεκριμένο κύκλωμα θα μας δίνει την δυνατότητα να αυξάνουμε ή να μειώνουμε το κέρδος του φίλτρου όποτε το επιθυμούμε.

Με τον όρο απολαβή ή κέρδος (gain) στην ηλεκτρονική εννοούμε το μέγεθος που εκφράζει την μεταβολή στάθμης ισχύος ή τάσης μεταξύ της εισόδου και της εξόδου ενός κυκλώματος όταν προσθέσουμε ενέργεια στο σήμα. Υπολογίζεται ως το πηλίκο του μεγέθους της εξόδου προς το αντίστοιχο μέγεθος της εισόδου. Η απολαβή χαρακτηρίζει ηλεκτρονικές διατάξεις όπως ενισχυτές και κεραίες.

### 3.2 Το Arduino

Για την κατασκευή του κυκλώματος θα χρησιμοποιήσουμε Arduino. Το Arduino είναι μια απλή μητρική πλακέτα ανοιχτού κώδικα, με ενσωματωμένο μικροελεγκτή, εισόδους και εξόδους. Η πρώτη του μορφή ξεκίνησε το 2005 από τον κατασκευαστή του Massimo Banzì και χρησιμοποιήθηκε για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Οι πρωτότυπες πλακέτες του Arduino κατασκευάζονται από την ιταλική εταιρία Smart Projects. Το Arduino χρησιμοποιείται για την κατασκευή εφαρμογών διαδραστικού περιεχομένου δηλαδή εφαρμογές όπου ο χρήστης εισάγοντας δεδομένα σε μορφή κώδικα στο Arduino, μπορεί να κάνει ένα κύκλωμα ή μια συσκευή να εκτελεί κάποια λειτουργία. Τα σύγχρονα μοντέλα συνδέονται με υπολογιστή μέσω θύρας USB καθώς επίσης περιέχουν έξι αναλογικά pins εισόδου και 14 ψηφιακά pins που χρησιμοποιούνται για διάφορες εξωτερικές συσκευές. Οι περισσότερες εκδόσεις του Arduino διατίθενται στην αγορά προ-συναρμολογημένες ωστόσο όποιος επιθυμεί μπορεί να συναρμολογήσει το Arduino μόνος του καθώς οι πληροφορίες για τα υλικά του είναι ελεύθερα διαθέσιμα.



Photograph by SparkFun Electronics. Used under the Creative Commons Attribution Share-Alike 3.0 license.

**Εικόνα 3.1** Η πλακέτα Arduino με τα χαρακτηριστικά του

## Πτυχιακή Εργασία

Για να προγραμματίσουμε με την χρήση του Arduino χρησιμοποιείται το περιβάλλον ανοιχτού κώδικα της Arduino το οποίο διατίθεται ελεύθερο στην ιστοσελίδα: <http://arduino.cc/en/Main/Software>

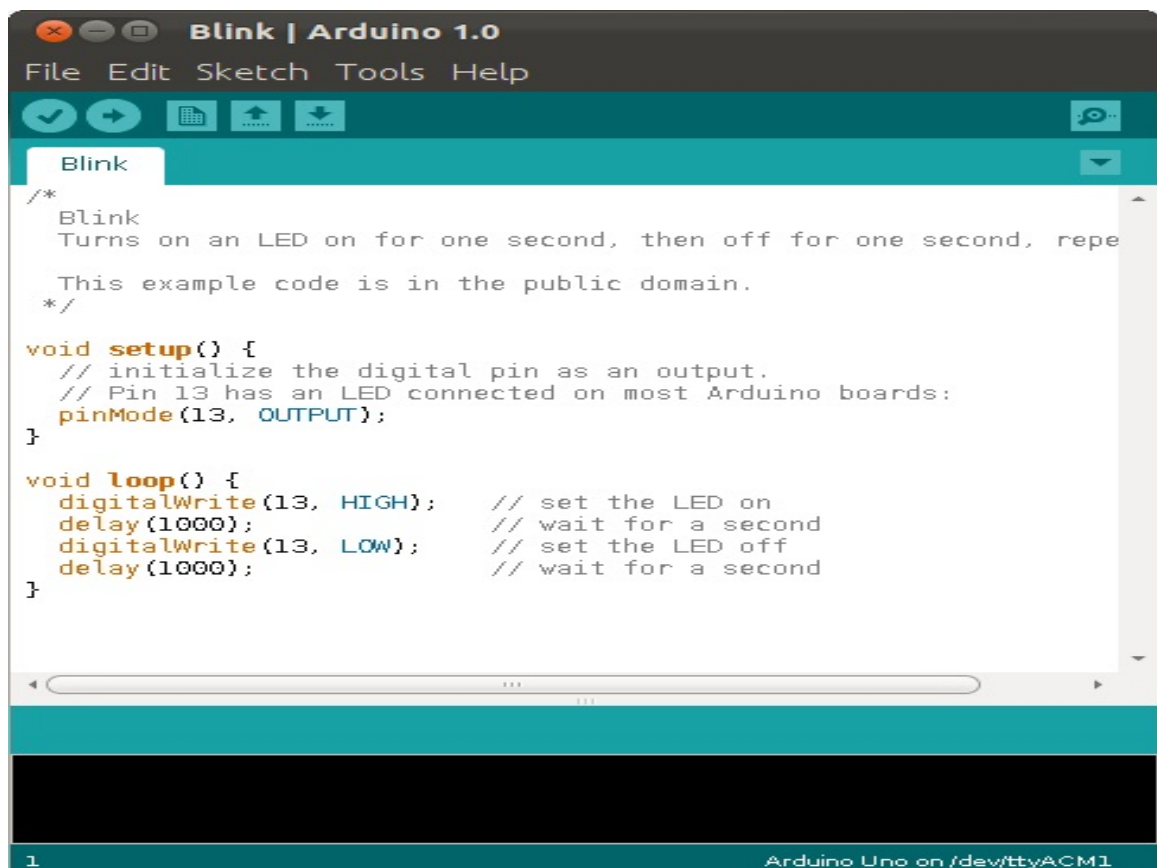
Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης(Integrated Development Environment ή IDE) του Arduino είναι μια εφαρμογή γραμμένη σε Java, που λειτουργεί σε πολλές πλατφόρμες και προέρχεται από το IDE για την γλώσσα προγραμματισμού Processing και το σχέδιο Wiring. Το περιβάλλον αυτής της εφαρμογής είναι ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα με χαρακτηριστικά όπως η επισήμανση σύνταξης και ο συνδυασμός αγκύλων και μπορούμε να μεταγλωττίσουμε και να φορτώσουμε προγράμματα με ένα μόνο κλικ.

Το πρόγραμμα ή κώδικας που γράφουμε για το Arduino ονομάζεται σκίτσο(sketch) και γράφεται σε C ή C++.

Στο Arduino IDE υπάρχει μια βιβλιοθήκη λογισμικού γι' αυτό ο χρήστης θα πρέπει να ορίσει δύο λειτουργίες όταν γράφει ένα πρόγραμμα. Αυτές οι λειτουργίες είναι οι εξής:

- `setup()` :μια συνάρτηση που τρέχει μια φορά στην αρχή του προγράμματος η οποία αρχικοποιεί τις ρυθμίσεις
- `loop()` :μια συνάρτηση η οποία καλείται συνέχεια μέχρι η πλακέτα να απενεργοποιηθεί

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το περιβάλλον εργασίας του Arduino όπου παρουσιάζεται ένα απλό παράδειγμα:

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar reads "Blink | Arduino 1.0". The menu bar includes "File", "Edit", "Sketch", "Tools", and "Help". Below the menu bar is a toolbar with icons for file operations and execution. The main workspace displays the code for the "Blink" sketch. The code is as follows:

```
/*
 * Blink
 * Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.
 *
 * This example code is in the public domain.
 */

void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  // Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards:
  pinMode(13, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH); // set the LED on
  delay(1000);           // wait for a second
  digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
  delay(1000);           // wait for a second
}
```

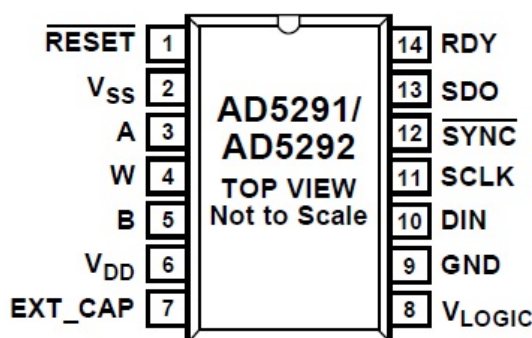
At the bottom of the window, the status bar shows "1" on the left and "Arduino Uno on /dev/ttyACM1" on the right.

**Εικόνα 3.2** Το περιβάλλον εργασίας του Arduino

### 3.3 Κατασκευή κυκλώματος ενισχυτή προγραμματιζόμενης απολαβής

Για την κατασκευή του κυκλώματος, θα χρησιμοποιήσουμε τα παρακάτω εργαλεία:

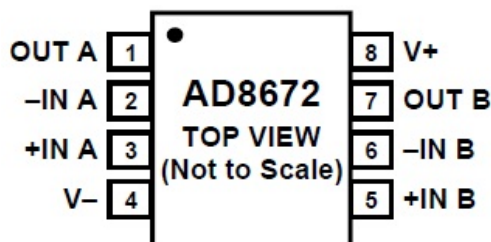
- **Ένα ψηφιακό ποτενσιόμετρο με όνομα AD5292.** Το ψηφιακό αυτό ποτενσιόμετρο συνδυάζει αντίσταση με μεταβλητή απόδοση, με μη πτητική μνήμη. Η ρύθμιση του AD5292 πραγματοποιείται μέσω ψηφιακής διασύνδεσης SPI (Serial Peripheral Interface). Στην παρούσα εργασία για τον προγραμματισμό του ποτενσιόμετρου θα χρησιμοποιήσουμε την πλακέτα Arduino. Οι δύο συσκευές θα επικοινωνούν σε λειτουργία master/slave όπου η κύρια συσκευή δηλαδή το Arduino (master) θα μεταφέρει τα δεδομένα στο ποτενσιόμετρο (slave).



Εικόνα 3.3 Το ολοκληρωμένο κύκλωμα AD5292

Το AD5292 έχει 14 ακροδέκτες όπου ο καθένας εξυπηρετεί συγκεκριμένες λειτουργίες. Στο link που ακολουθεί περιέχεται το φύλλο οδηγιών του ποτενσιόμετρου όπου αναφέρονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες του <http://www.analog.com/en/digital-to-analog-converters/digital-potentiometers/ad5292/products/product.html>

- **Έναν ενισχυτή AD8672.** Το AD8672 είναι ένας ενισχυτής πολύ υψηλής ακρίβειας, που χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλό θόρυβο, πολύ μικρή μετατόπιση τάσης και χαμηλή κατανάλωση ρεύματος. Ενισχυτές όπως ο AD8672 χρησιμοποιούνται για την δημιουργία εφαρμογών όπως φίλτρα υψηλής ποιότητας και ακρίβειας, παροχές ενέργειας υψηλής ακρίβειας καθώς και για επαγγελματικής ποιότητας ήχο.



Εικόνα 3.4 Το ολοκληρωμένο κύκλωμα AD8672

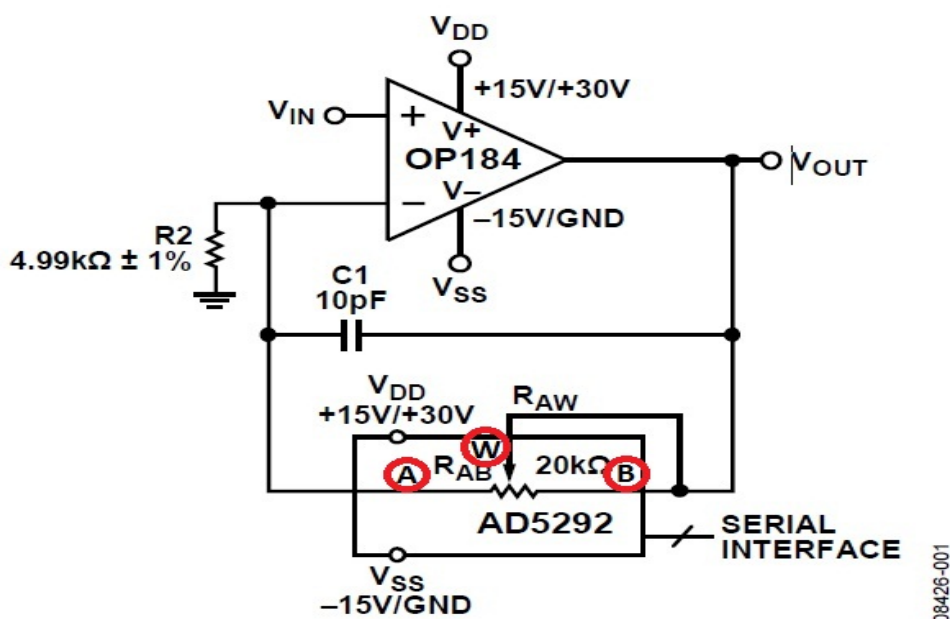
Το AD8672 έχει 8 ακροδέκτες όπου ο καθένας εξυπηρετεί συγκεκριμένες λειτουργίες.

Στο link που ακολουθεί περιέχεται το φύλλο οδηγιών του ενισχυτή.

<http://www.analog.com/en/all-operational-amplifiers-op-amps/operational-amplifiers-op-amps/ad8672/products/product.html>

- **Μια αντίσταση 2.2kΩ.**
- **Και έναν πυκνωτή 10pF.**

Η απεικόνιση του κυκλώματος φαίνεται στην επόμενη εικόνα:

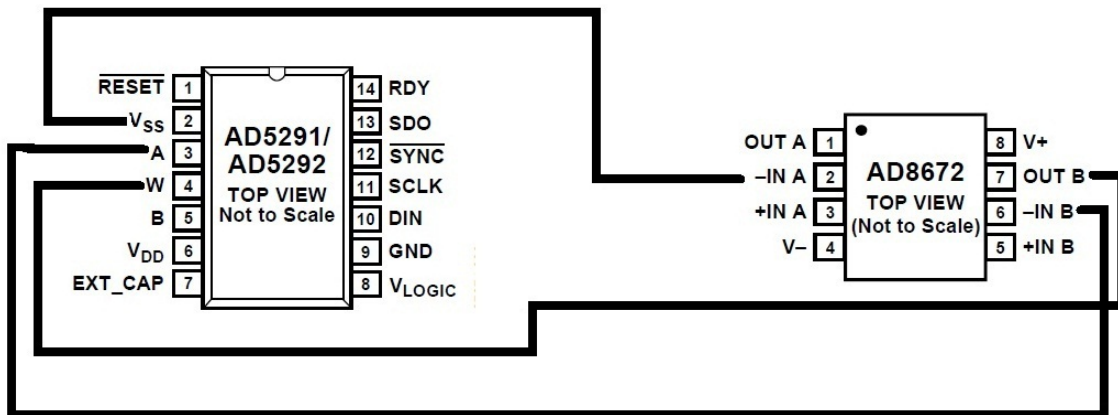


Εικόνα 3.5 Κύκλωμα ενισχυτή μεταβλητού κέρδους

#### Συνδεσμολογία του AD5292 με το OP184

- Συνδέουμε το -IN A του OP184 με το Vss του AD5292
- Συνδέουμε το Vdd του OP184 με θετική τάση
- Συνδέουμε το Vss στην γείωση
- Συνδέουμε το OUT του OP184 με το W του AD5292
- Συνδέουμε το - IN B του OP184 με το A του AD5292
- Στο -IN B του OP184 δίνουμε αρνητική τάση
- Συνδέουμε την αντίσταση R2 με το A του AD5292 και με την γείωση
- Ο πυκνωτής 10Pf θα συνδεθεί στον ακροδέκτη 7 του AD5292 και στην γείωση

Πιο αναλυτικά οι συνδέσεις μεταξύ του AD5292 και του AD8672 φαίνονται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα:



Το κύκλωμα του σχήματος 3.3 ονομάζεται ενισχυτής μεταβλητού κέρδους και μερικά από τα οφέλη που μας προσφέρει είναι το χαμηλό του κόστος κατασκευής και ενδείκνυται για την μικρή παραμόρφωση του σήματος και τον μικρό θόρυβο. Στο link που ακολουθεί περιέχεται το φύλλο οδηγιών του κατασκευαστή με τις οδηγίες λειτουργίας του κυκλώματος <http://www.analog.com/en/circuits-from-the-lab/cn0112/vc.html>

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την εταιρία Analog Devices που με βοήθησε στην κατανόηση των λειτουργιών των παραπάνω εξαρτημάτων που χρησιμοποίησα στην εργασία μέσω των φύλλων οδηγιών που διαθέτει δωρεάν.

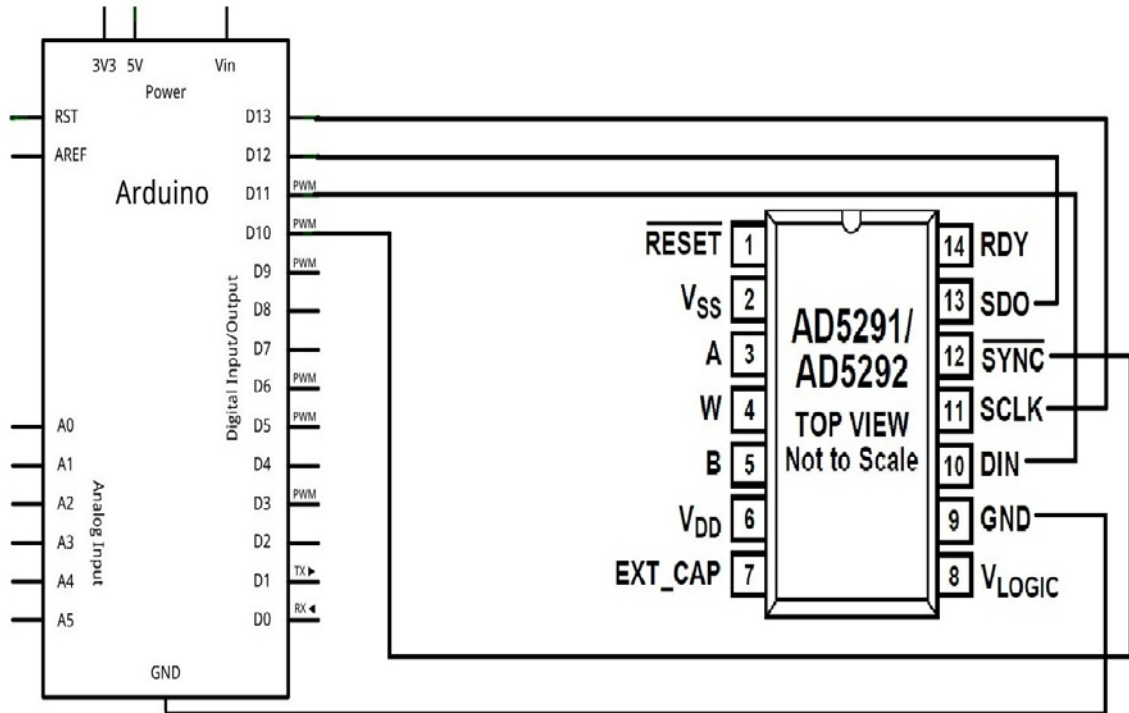
### Συνδεσμολογία του Arduino με το ποτενσιόμετρο AD5292

Για τον προγραμματισμό του ποτενσιόμετρου με την χρήση του Arduino θα πρέπει να γίνουν οι εξής ενώσεις:

- Το SDO (13) του ποτενσιόμετρου με την θύρα 12 του Arduino
- Το SYNC (12) του ποτενσιόμετρου με την θύρα 10 του Arduino
- Το SCLK (11) του ποτενσιόμετρου με την θύρα 13 του Arduino
- Το DIN (10) του ποτενσιόμετρου με την θύρα 11 του Arduino
- Τέλος συνδέουμε το GND του Arduino με την γείωση του ποτενσιόμετρου

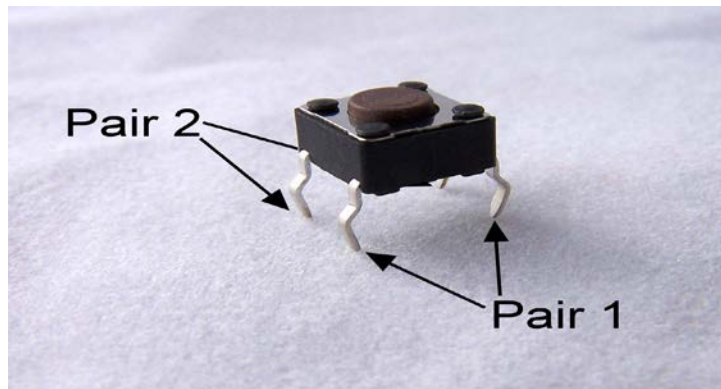
Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο τρόπος που πρέπει να γίνουν οι ενώσεις μεταξύ του Arduino και του AD5292:





**Εικόνα 3.6** Συνδεσμολογία του Arduino με το ποτενσιόμετρο

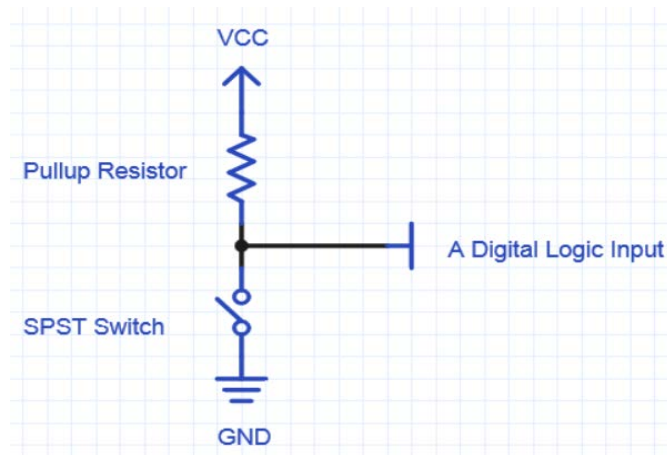
Για να ολοκληρώσουμε το κύκλωμα το μόνο που απομένει είναι να προσθέσουμε στο κύκλωμα δύο διακόπτες με την μορφή πλήκτρου με τα οποία θα μπορούμε χειροκίνητα να αυξάνουμε και να μειώνουμε το κέρδος του φίλτρου. Οι διακόπτες αυτοί θα έχουν την εξής μορφή:



**Εικόνα 3.7** Το ολοκληρωμένο κύκλωμα breadboard pushbutton

Οι ακροδέκτες των συγκεκριμένων διακοπών λειτουργούν σε ζευγάρια δηλαδή οι δύο μπροστινοί είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους και κάνουν την ίδια λειτουργία και το ίδιο συμβαίνει και με τους άλλους δύο.

Παρακάτω παρουσιάζεται το κύκλωμα των buttons:



Εικόνα 3.8 Κύκλωμα ψηφιακού διακόπτη εισόδου

### Συνδεσμολογία των buttons με το Arduino

Όπως φαίνεται στο κύκλωμα θα χρειαστούμε δύο αντιστάσεις οι οποίες θα είναι της τάξης των 5 kΩ. Έτσι τα κουμπιά θα συνδεθούν με τον εξής τρόπο:

Για το πρώτο button:

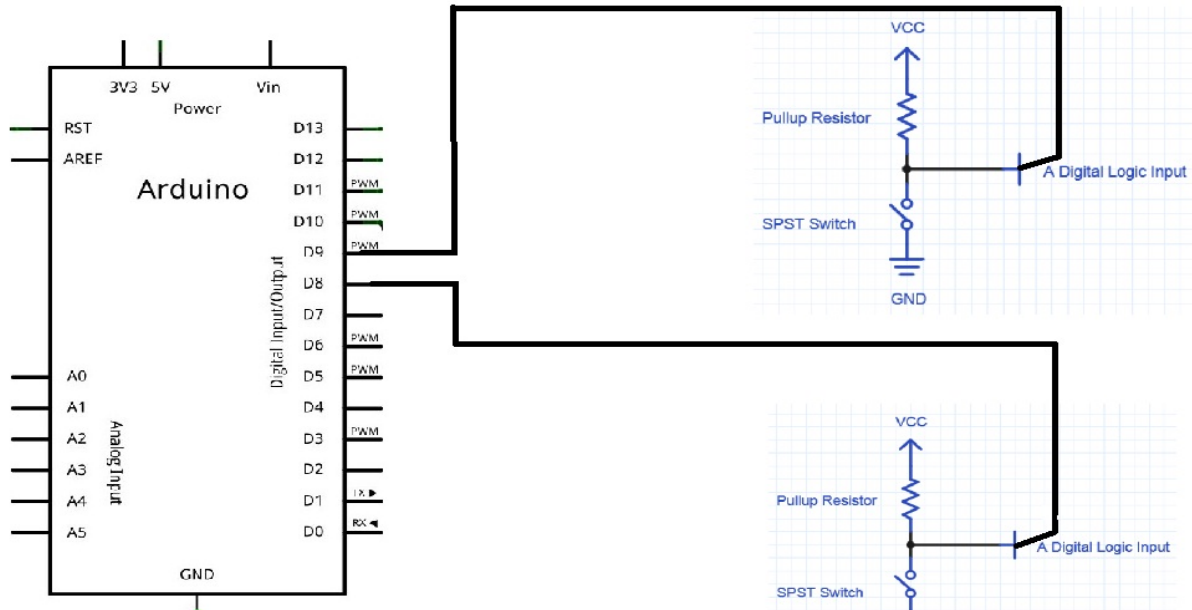
- Συνδέουμε στον ένα ακροδέκτη του button την μια άκρη της αντίστασης και την άλλη άκρη στην τροφοδοσία.
- Ανάμεσα στον ακροδέκτη και την αντίσταση συνδέουμε ένα καλώδιο το οποίο συνδέεται με την θύρα 8 του Arduino.

Για το δεύτερο button:

- Συνδέουμε στον ένα ακροδέκτη του button την μια άκρη της αντίστασης και την άλλη άκρη στην τροφοδοσία.
- Ανάμεσα στον ακροδέκτη και την αντίσταση συνδέουμε ένα καλώδιο το οποίο συνδέεται με την θύρα 9 του Arduino.

Τέλος συνδέουμε στην γείωση τους ακροδέκτες και των δύο buttons που λειτουργούν σαν γείωση.

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ο τρόπος που γίνονται οι συνδέσεις σύμφωνα με την παραπάνω συνδεσμολογία



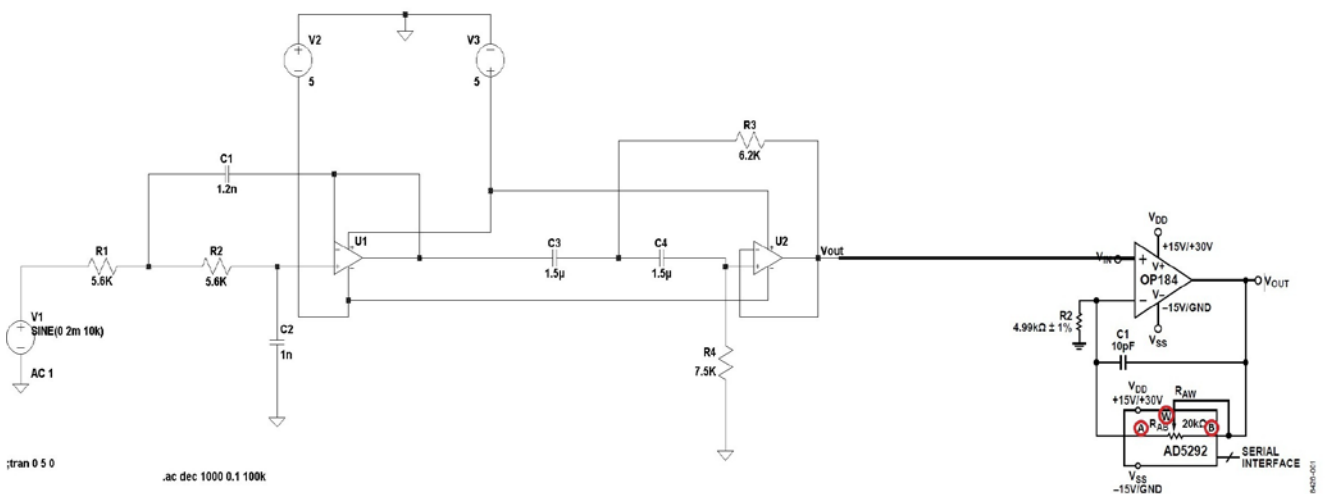
Εικόνα 3.9 Συνδεσμολογία του Arduino με τα δύο κουμπιά

## Κεφάλαιο 4: Πειραματικά αποτελέσματα

### 4.1 Συνολικά πειραματικά αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα συνολικά αποτελέσματα και ο τρόπος που λειτουργεί το κύκλωμα όταν πραγματοποιηθούν όλες οι συνδεσμολογίες που αναφέρθηκαν αναλυτικά στα προηγούμενα κεφάλαια. Οι μετρήσεις θα πραγματοποιηθούν σε συνθήκες εργαστηρίου.

Ενώνουμε το φίλτρο συχνοτήτων που αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο με το κύκλωμα του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους με τον τρόπο που απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα:

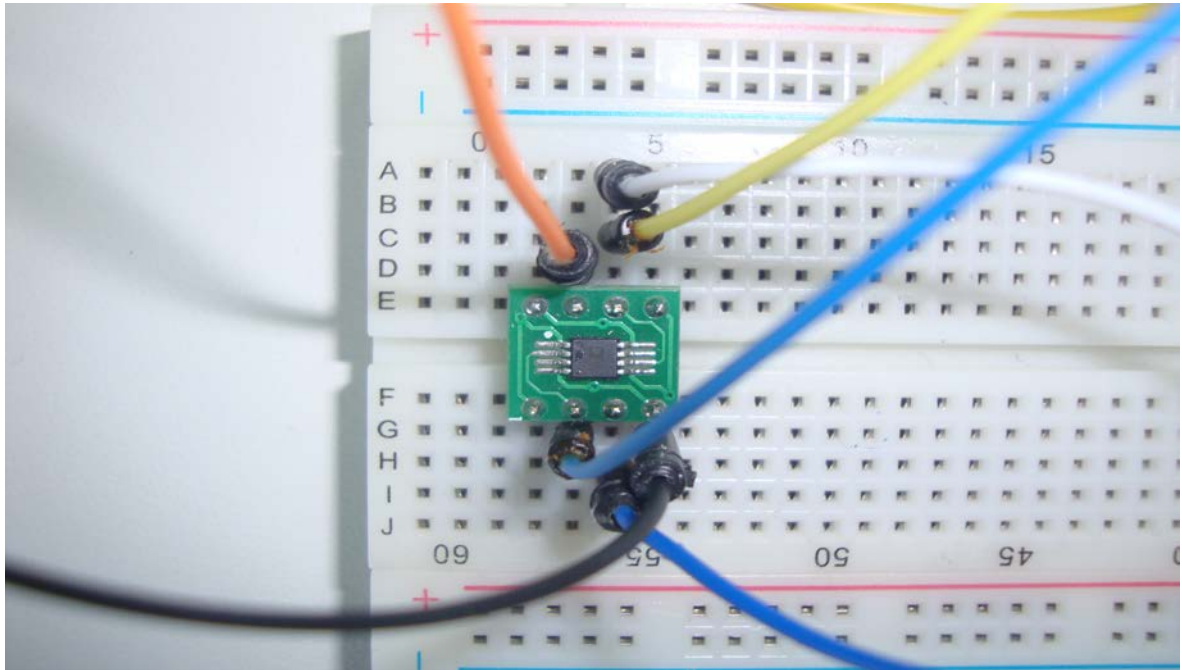


Εικόνα 4.1 Συνδεσμολογία του φίλτρου συχνοτήτων/κυκλώματος μεταβλητού κέρδους

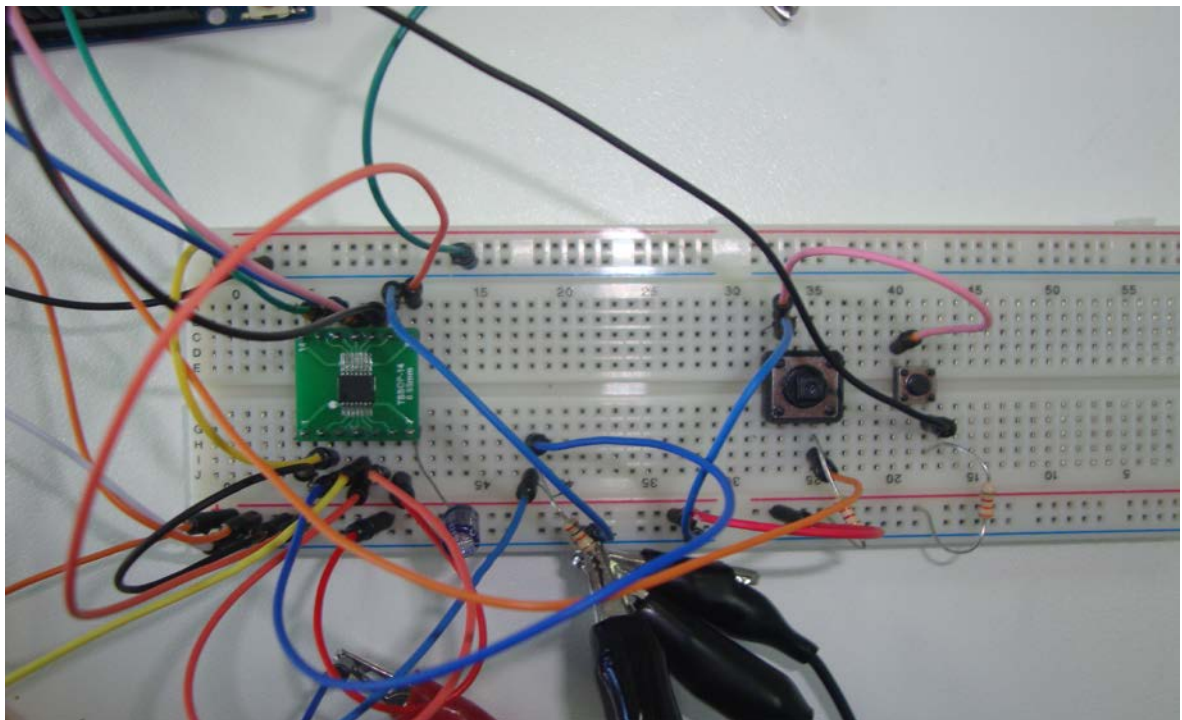
## Πτυχιακή Εργασία

Όπως φαίνεται και στην εικόνα ενώνουμε την έξοδο(OUT) του ζωνοπερατού φίλτρου με τον ακροδέκτη +IN A του OP184. Έτσι το κύκλωμα μεταβλητού κέρδους δέχεται συχνότητες που κυμαίνονται μεταξύ 20 Hz και 20 kHz.

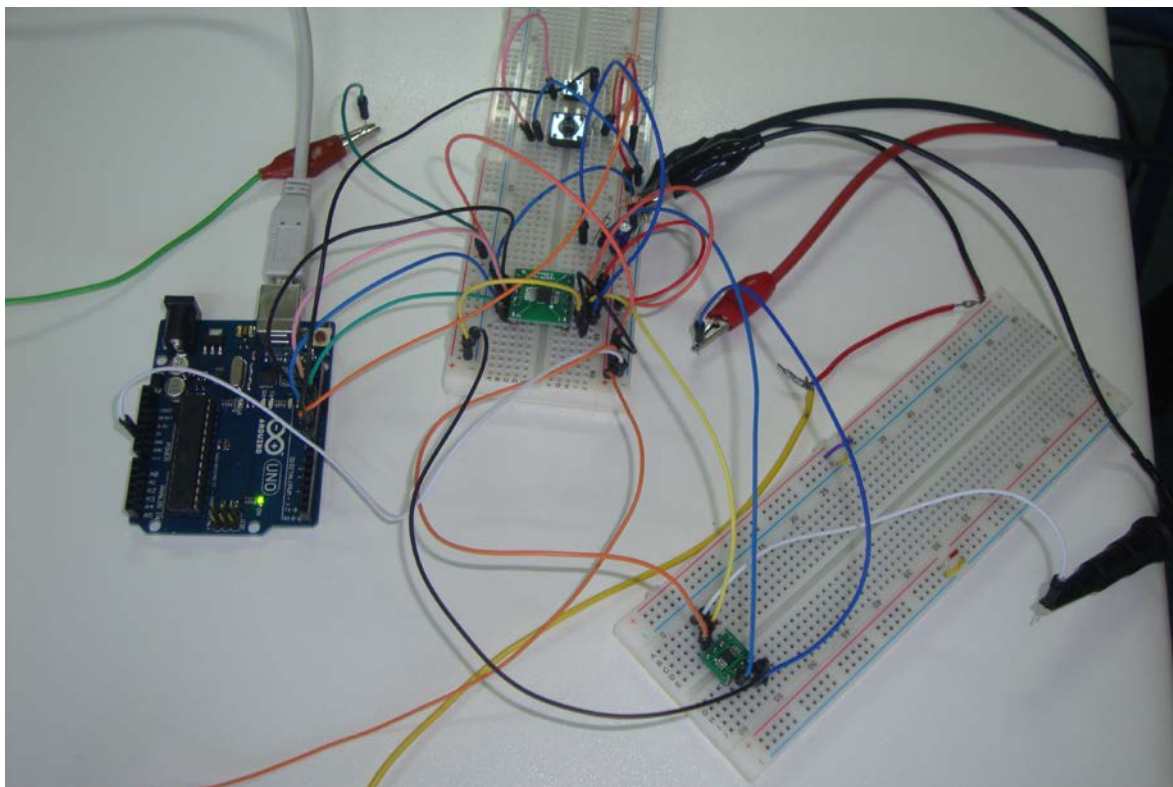
Αφού οι υπόλοιπες συνδέσεις έγιναν, με τον τρόπο που είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, παρακάτω απεικονίζονται έτοιμες στο εργαστήριο πάνω στα breadboards:



**Εικόνα 4.2** Ο ενισχυτής AD8672

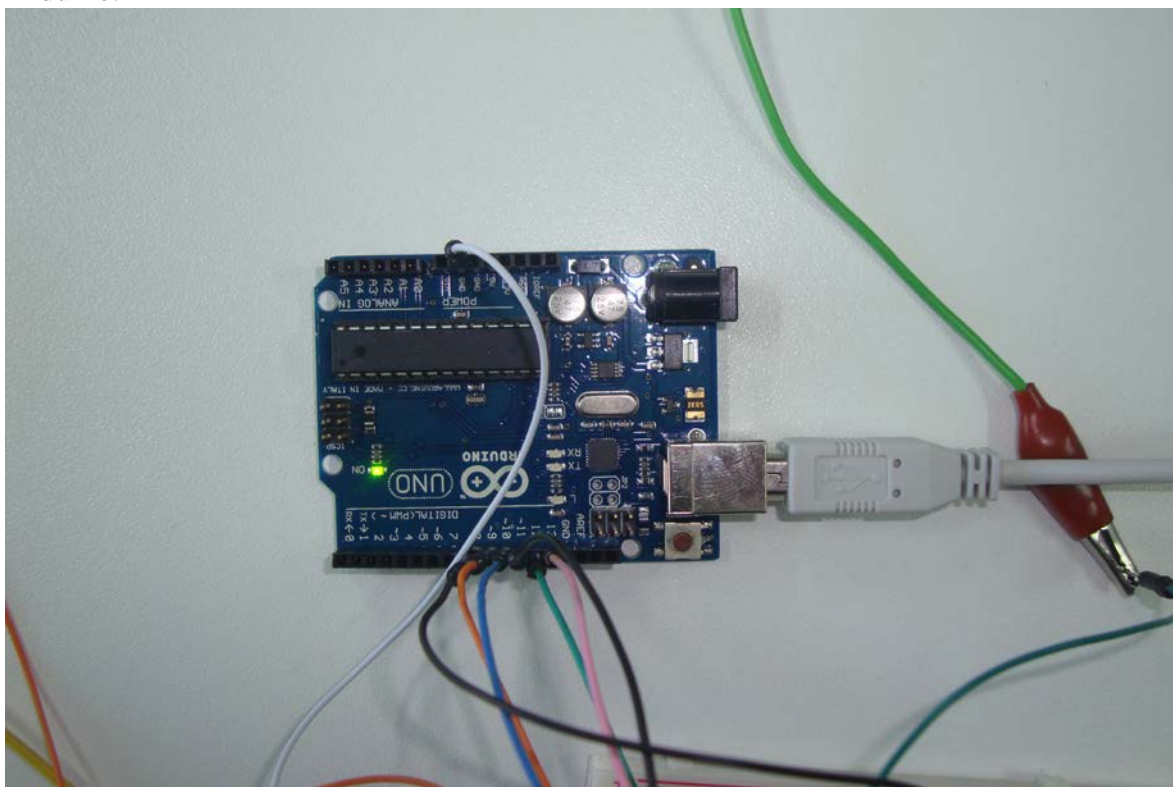


**Εικόνα 4.3** Το ποτενσιόμετρο AD5292 με τα buttons



**Εικόνα 4.4** Το Arduino, το ποτενσιόμετρο AD5292, τα πλήκτρα και ο ενισχυτής

Το επόμενο βήμα θα είναι να προγραμματίσουμε το ποτενσιόμετρο AD5292 μέσω του Arduino.



**Εικόνα 4.5** Η πλακέτα Arduino

## Πτυχιακή Εργασία

Το ποτενσιόμετρο θα προγραμματιστεί με τον παρακάτω κώδικα:

```
/*
Using 2 7-segment displays with the 74HC595 shift registers
CC by-sa-nc 3.0
// antistash 2.2 KOhm

*/
#include <SPI.h>

#define DATAOUT 11//MOSI
#define DATAIN 12//MISO
#define SPICLOCK 13//sck
#define SLAVESELECT 10//ss

const int csPIN = 10;
int speed = 300; // used to control speed of counting
int pushup= 9;
int pushdown= 8;
int gain_res1=0;
int gain_res2=0;
int gain_res3=0;
int count = 6;
int valup = 0;
int valdown= 0;
int value1 =0;
int value =0x000;

int gain_1=0;
int rwb=0;
float rwb_1=0.35;
int value_d1=0;
int value_d2=0;
int value_d3=0x0;

void setup(){
  pinMode(pushup,INPUT);
  pinMode(pushdown,INPUT);
  SPI.begin();
  SPI.setBitOrder(MSBFIRST);
  SPI.setDataMode(SPI_MODE1);
  pinMode(csPIN,OUTPUT);
  digitalWrite(csPIN,HIGH);
}

void setValue(int value)
{
  byte command1 = 0x18;
  byte command2 = 0x03;
  byte command3 = (value >> 8);
  byte command4 = (value & 0xff);
  digitalWrite(csPIN, LOW); // select chip
  SPI.transfer(command3);
```

## Πτυχιακή Εργασία

```
SPI.transfer(command4);
digitalWrite(csPIN,HIGH);//de-select chip
delay(100);
digitalWrite(csPIN, LOW); // select chip
SPI.transfer(command1);
SPI.transfer(command2);
digitalWrite(csPIN,HIGH);//de-select chip
delay(100);
}

void loop()
{
  valup=digitalRead(pushup);
  valdown=digitalRead(pushdown);
  if (valup==LOW){
    count++;
    delay(200);
  }
  if (valdown==LOW){
    count--;
    delay(200);
  }
  if (count<0){
    count=1;
  }
  if (count>13) {
    count=13;
  }
  gain_1=(count-1);
  rwb=gain_1*2200;
  rwb_1=(float)rwb/(float)50000;
  value_d1=rwb_1*1024;
  value_d2=value_d1+1024;
  value_d3 = value_d2;

  setValue(value_d3);
}
```

Τώρα θα αναφέρουμε συνοπτικά ποιες λειτουργίες πραγματοποιεί ο παραπάνω κώδικας:

- Πρώτα αρχικοποιεί την αντίσταση R1 με την τιμή 2.2KΩhm
- Έπειτα εισάγει ορισμένες βιβλιοθήκες και αρχικοποιεί τις τιμές
- Στην συνάρτηση setValue, αφού εισάγουμε ορισμένες εντολές οι οποίες χρησιμεύουν στον προγραμματισμό του ποτενσιόμετρου, έπειτα θέτουμε έναν μετρητή με όνομα «count» ο οποίος θα επιτρέπει την αύξηση ή την μείωση της τιμής του ποτενσιόμετρου μέχρι κάποια ορισμένα σημεία. Στον κώδικα θέσαμε την αρχική τιμή του «count» ως 6 άρα το ανώτερο όριο για το πάτημα του πλήκτρου που θα ανεβάζει την τιμή του ποτενσιόμετρου είναι 7 φορές και το πάτημα του πλήκτρου που κατεβάζει την τιμή είναι 6 φορές.
- Τέλος για να υπολογίσουμε την τιμή του ποτενσιόμετρου βάλαμε στον κώδικα τις εξής εντολές όπου δίπλα στην κάθε μια αναφέρεται η λειτουργία της:

Η απολαβή στον τελεστικό ενισχυτή ορίζεται ως  $count=1+(R_{\text{ποτενσιόμετρου}}/R2)$ , όπου εμείς βάλαμε την  $R2=2200$ . Με το gain\_1 ονομάζουμε τον λόγο των αντιστάσεων ( $R_{\text{ποτενσιόμετρου}}/R2$ )

**gain\_1=(count-1);** Υπολογίζουμε τον λόγο των αντιστάσεων

**rwb=gain\_1\*2200;** Υπολογίζουμε την αντίσταση του ποτενσιόμετρου

**rwb\_1=(float)rwb/(float)50000;** επειδή η συνολική αντίσταση του ποτενσιόμετρου είναι 50000, διαιρούμε την αντίσταση που θέλουμε να έχει το ποτενσιόμετρο με το 50000 για να βρούμε την τιμή που θα πρέπει να προγραμματίσουμε το ποτενσιόμετρο

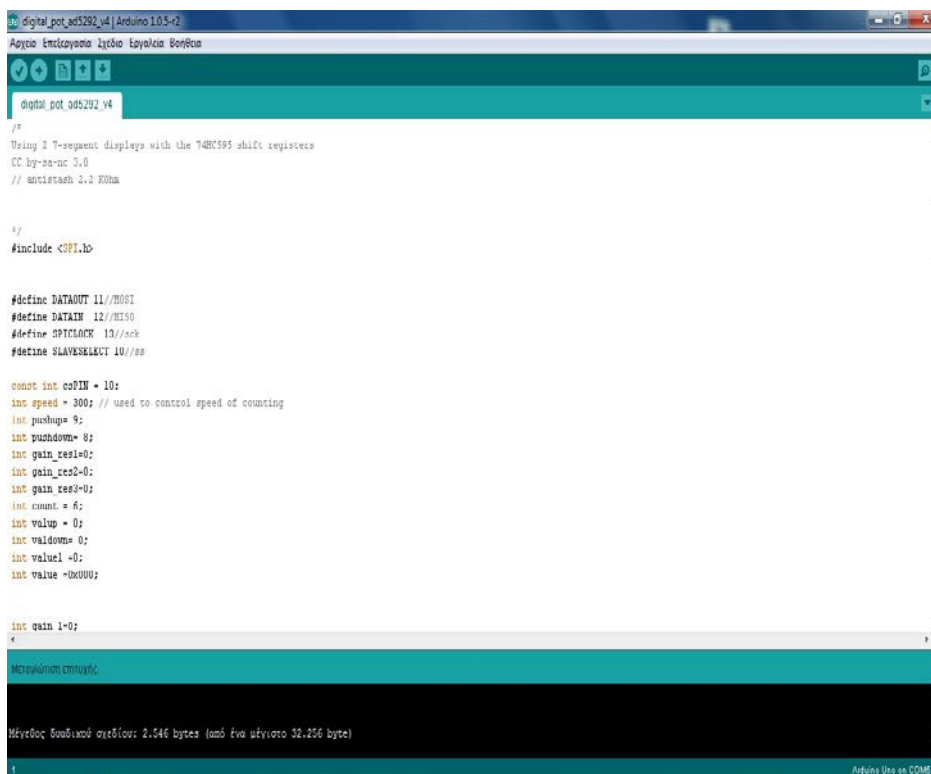
**value\_d1=rwb\_1\*1024;** Υπολογίζουμε την τιμή που πρέπει να βάλουμε στο ποτενσιόμετρο

**value\_d2=value\_d1+1024;** Υπολογίζουμε την τιμή που πρέπει να βάλουμε στο ποτενσιόμετρο

**value\_d3 = value\_d2;** Αλλάζουμε το όνομα της μεταβλητής που έχει την τιμή του ποτενσιόμετρου

**setValue(value\_d3);** Με την τιμή του ποτενσιόμετρου καλούμε τη συνάρτηση setValue για να προγραμματίσει το ποτενσιόμετρο.

Έχοντας φτιάξει τον παραπάνω κώδικα τον φορτώνουμε στο ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης(IDE) του Arduino



```
digital_pot_005292_v4 | Arduino 1.0.5-r2
Αρχείο Εκτέλεση: Λίθιο εργαλείο βοηθός

digital_pot_005292_v4

/*
 * Using 2 7-segment displays with the 74HC595 shift registers
 * CC BY-NC-ND 3.0
 * // anclstash 2.2 K00m
 */
#include <SPI.h>

#define DATAOUT 11//MOSI
#define DATAIN 12//MISO
#define OPTCLOCK 10//CLK
#define SLAVESLECT 10//SS

const int csPIN = 10;
int speed = 300; // used to control speed of counting
int pushups = 9;
int randomness = 0;
int gain_res1=0;
int gain_res2=0;
int gain_res3=0;
int count = 6;
int valup = 0;
int valdown= 0;
int valuel =-0;
int value =0x0000;

int gain 1=0;
*/
Μεταφράστηκε επιτυχώς.
Μέγεθος συμβολικού σχεδίου: 2.546 bytes (από ένα μέγιστο 32.256 bytes)
```

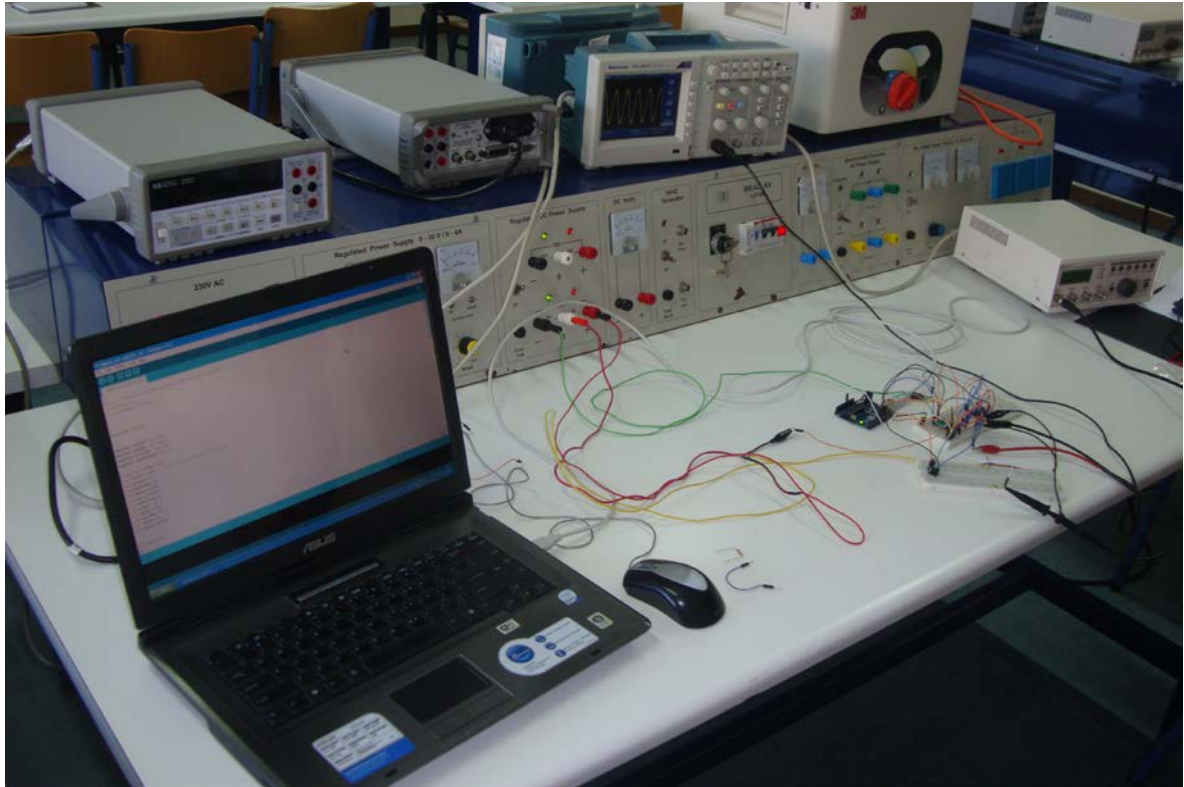
Εικόνα 4.6 Ο κώδικας στο περιβάλλον του Arduino

Επόμενο βήμα είναι να συνδέσουμε στο κύκλωμα την γεννήτρια συχνοτήτων και τον παλμογράφο και να δώσουμε σαν είσοδο ένα ημιτονικό σήμα από 20 Hz έως 20 KHz.

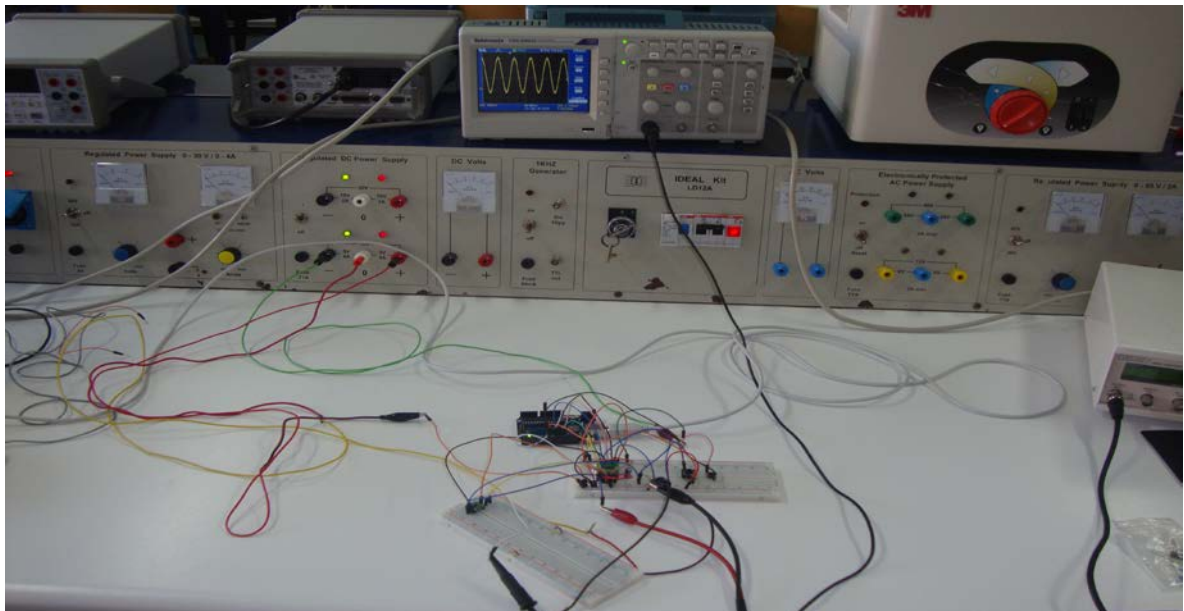


## Πτυχιακή Εργασία

Στις επόμενες εικόνες βλέπουμε τα κυκλώματα όπως είναι συνδεδεμένα στον πάγκο του εργαστηρίου:



**Εικόνα 4.7** Φορτώνοντας τον κώδικα στο Arduino

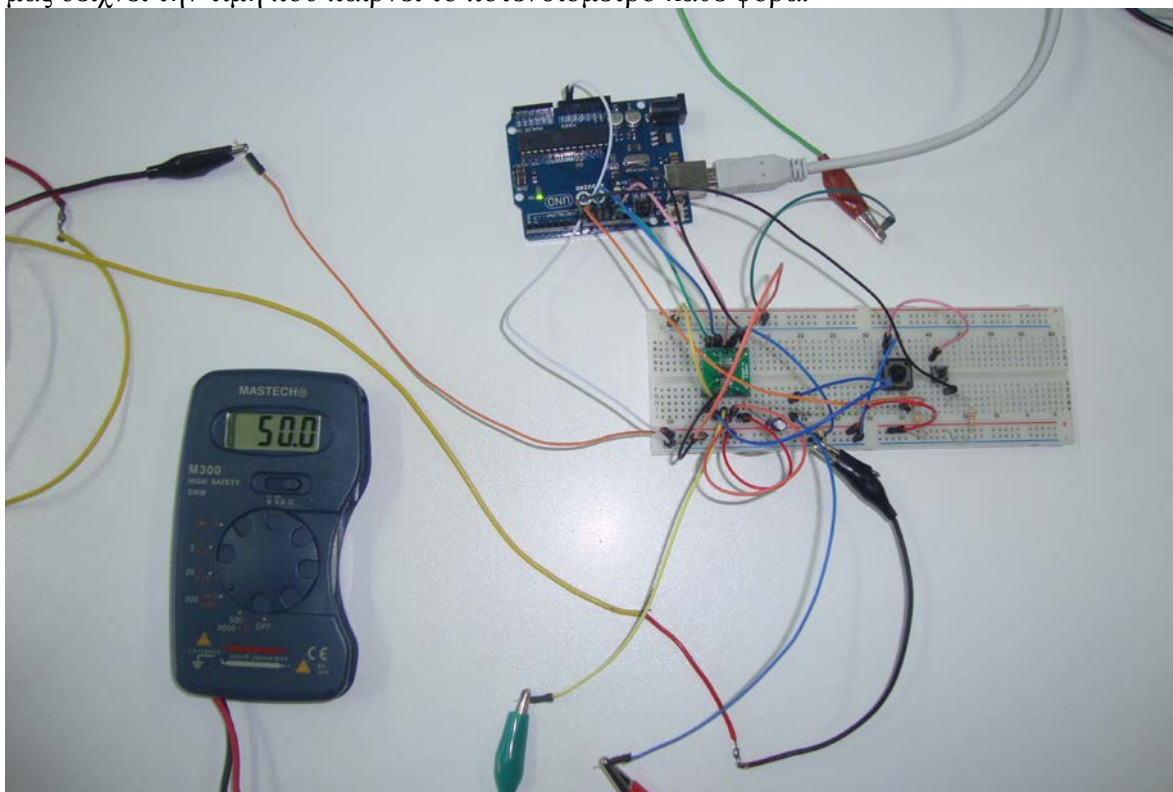


**Εικόνα 4.8** Το κύκλωμα συνδεδεμένο με την γεννήτρια συχνοτήτων και τον παλμογράφο

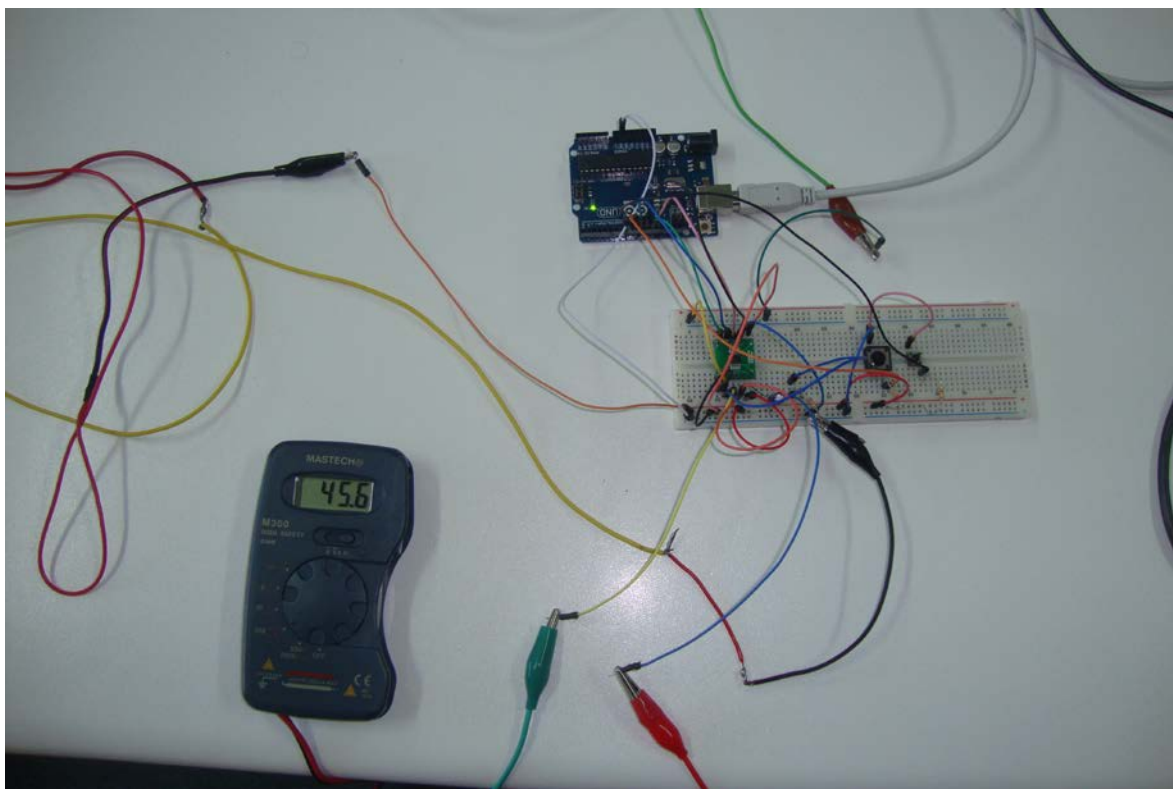
Το τελικό βήμα είναι να συνδέσουμε ένα πολύμετρο με τον ακροδέκτη 4 του ποτενσιόμετρου AD5292 και με τον ακροδέκτη 3 του ποτενσιόμετρου που είναι

## Πτυχιακή Εργασία

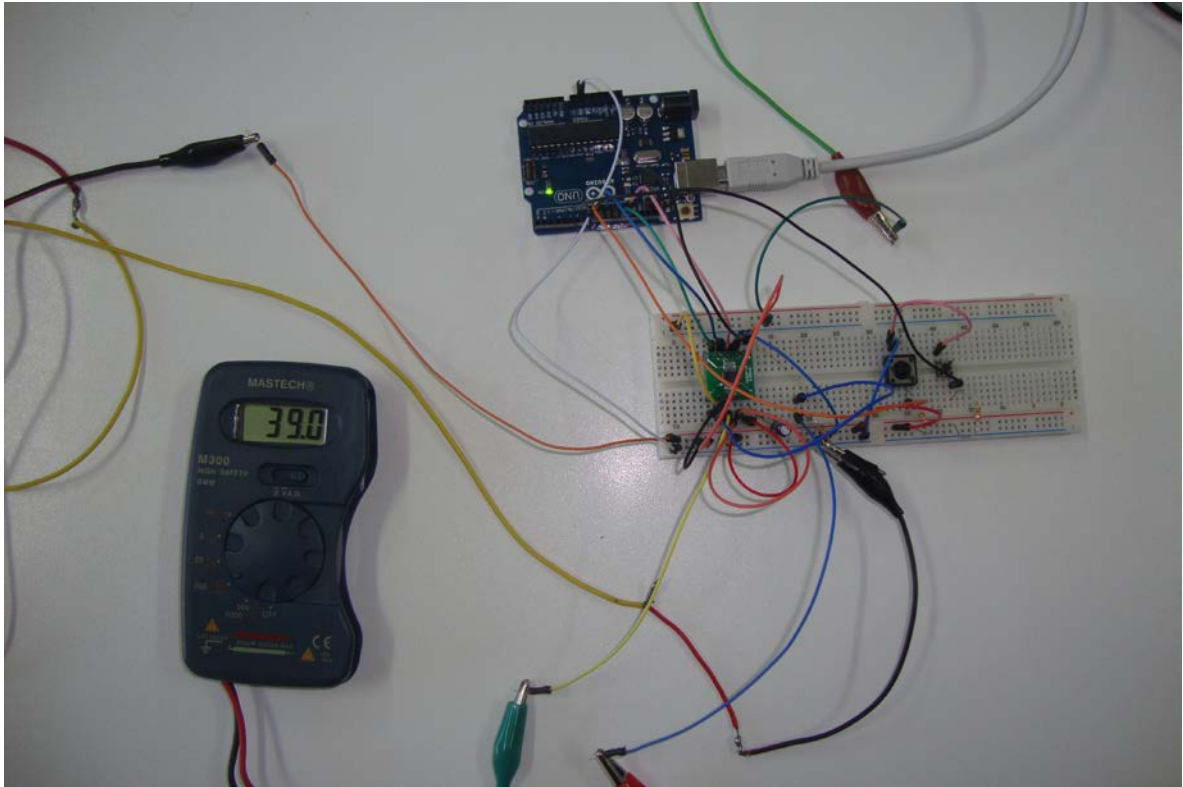
συνδεδεμένος με την αντίσταση R2. Παρατηρούμε στις επόμενες εικόνες ότι το πολύμετρο μας δείχνει την τιμή που παίρνει το ποτενσιόμετρο κάθε φορά.



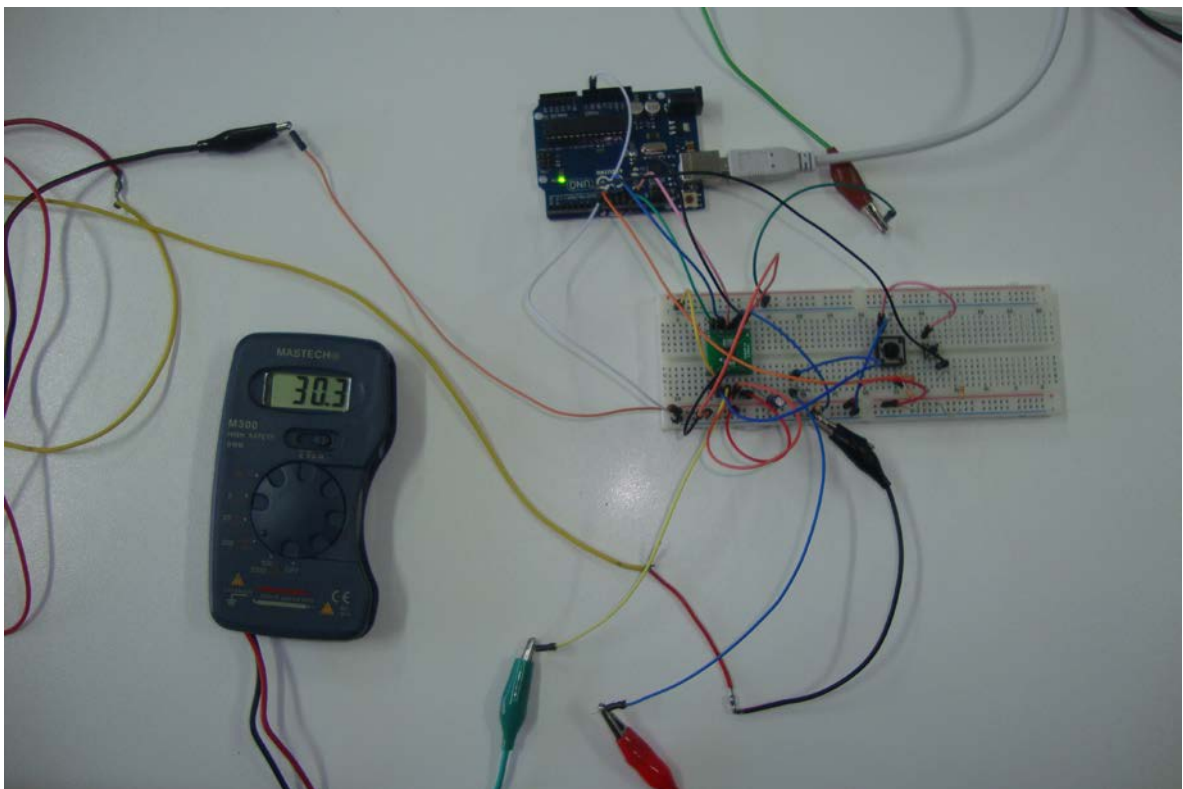
**Εικόνα 4.9** Η τιμή του ποτενσιόμετρου είναι 50 KOhm



**Εικόνα 4.10** Η τιμή του ποτενσιόμετρου είναι 45.6 KOhm

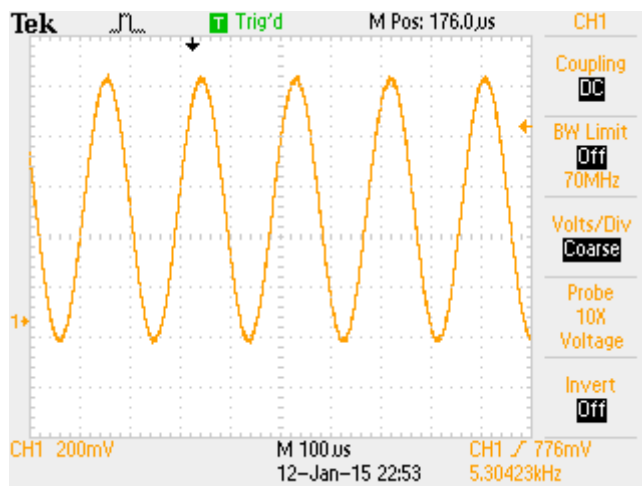


**Εικόνα 4.11** Η τιμή του ποτενσιόμετρου είναι 39.0 ΚΩhm



**Εικόνα 4.12** Η τιμή του ποτενσιόμετρου είναι 30.3 ΚΩhm

Όπως αναφέρεται και στο φύλλο οδηγιών του κατασκευαστή για το κύκλωμα ενισχυτή μεταβλητού κέρδους, το κέρδος του κυκλώματος υπολογίζεται από τον τύπο  $G=1+\frac{R_{AB}}{R_2}$  (1) όπου  $R_{AB}$  είναι η μεταβλητή αντίσταση του ποτενσιόμετρου AD5292 και  $R_2$  είναι η αντίσταση του κυκλώματος μεταβλητού κέρδους που παραμένει σταθερή. Στο εργαστήριο, πατώντας κάθε φορά τα buttons αυξάνουμε ή μειώνουμε την τιμή της αντίστασης  $R_{AB}$  οπότε αυξάνεται ή μειώνεται και η τιμή του κέρδους αφού το  $G$  (κέρδος) και η τιμή της  $R_{AB}$  λόγω της σχέσης (1) είναι μεγέθη ανάλογα. Παρατηρείται ότι το πλάτος του σήματος της επόμενης εικόνας αλλάζει, άρα το ζητούμενο βρέθηκε καθώς αύξηση ή μείωση του πλάτους ενός σήματος σημαίνει αύξηση ή μείωση του κέρδους του.



Εικόνα 4.13 Το ημιτονοειδές σήμα του παλμογράφου

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αντωνίου, Α. (2009). *Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος*, (Κ. Γιαννακόπουλος, Δ. Μπεσύρης, Γ. Μπουρδόπουλος, Β. Πόθος, Μεταφρ.). Αθήνα:Τζιολα

Τάτση, Α., & Κολιοπάνος, Χ. (χ.χ.). *Εργαστηριακές Σημειώσεις Αναλογικών Ηλεκτρονικών* [πανεπιστημιακές σημειώσεις]. Τεχνολογικό Ίδρυμα Ηπείρου, Τμήμα Τεχνολογίας Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Άρτα

Βικιπαίδεια (2014), *Συχνότητα*. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%85%CF%87%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1>, Ανακτήθηκε στις 15/10/2014.

Βικιπαίδεια (2013), *Περίοδος*. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%AF%CE%BF%CE%B4%CE%BF%CF%82>, Ανακτήθηκε στις 16/10/2014.