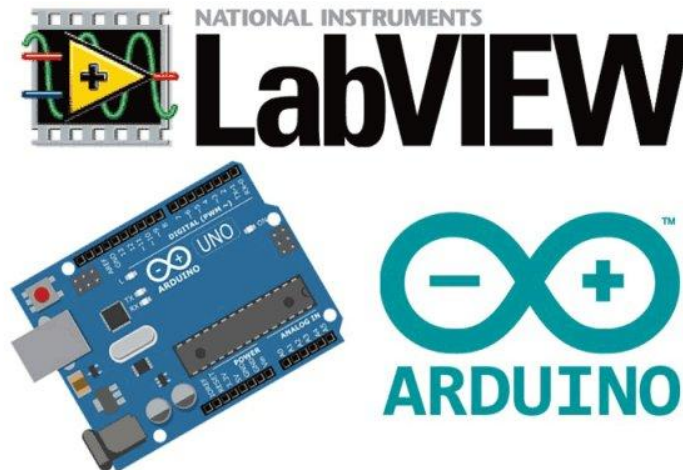


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ανάλυση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με τη χρήση μικροϋπολογιστικού συστήματος
DAQ και του προγράμματος LabView-Linx»



Του φοιτητή
Λευθερούδη Θεόδωρου
Αρ. Μητρώου : 52014

Επιβλέπων
Ονοματεπώνυμο : Χατζόπουλος Αργύριος
Βαθμίδα : Επίκουρος Καθηγητής

Ημερομηνία Οκτώβριος 2022

Τίτλος Δ.Ε. **Ανάλυση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με την χρήση μικροϋπολογιστικού συστήματος
ως DAQ και του προγράμματος LabView-Linx**

Κωδικός Δ.Ε. 22112

Όνοματεπώνυμο φοιτητή : **Λευθερούδης Θεόδωρος**

Όνοματεπώνυμο εισηγητή : **Χατζόπουλος Αργύριος**

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 19/2/2022

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 25/1/2023

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 κειμένου, 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 του φοιτητή Λευθερούδη Θεόδωρου που την εκπόνησε. 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.

«Αφιέρωση»

Την παρούσα εργασία την αφιερώνω στους μαθητές μου και στην οικογένεια μου.

Πρόλογος

Η επιλογή του θέματος αυτού έγινε για καθαρά επαγγελματικούς λόγους. Εργάζομαι ως εκπαιδευτικός Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης και η εργασία αυτή με βοήθησε να κάνω πιο αντιληπτή προς τους μαθητές μου, την πραγματικότητα που υπάρχει σε ένα σύγχρονο επαγγελματικό περιβάλλον. Επίσης, βοήθησε τους μαθητές μου να συνδέσουν πιο εύκολα την θεωρία με την πράξη. Ταυτόχρονα μου έδωσε την ευκαιρία να κάνω πράξη ένα μέρος από αυτή την γνώση που έλαβα από τις σπουδές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα.

Περίληψη

Σε αυτήν την εργασία θα ερευνηθεί εάν ένα σύστημα συλλογής δεδομένων **DAQ** (**Data AcQuisition System**) σε σύνδεση με ηλεκτρονικά κυκλώματα (μέσου μικροϋπολογιστικού συστήματος) και σε συνδυασμό με ένα περιβάλλον οπτικού προγραμματισμού (**LabView-Linx**), μπορεί να συμβάλει καλύτερα στην κατανόηση από τους μαθητές της σύνδεσης της θεωρίας και των υπολογισμών, με την πράξη των μετρήσεων του εκάστοτε ηλεκτρονικού κυκλώματος που εξετάζεται. Επίσης, μέσω της σύγκρισης αυτού του συστήματος με τα πραγματικά συστήματα που υπάρχουν σε ένα σύγχρονο εργασιακό περιβάλλον θα γίνει προσπάθεια να συνδεθεί η σημερινή τεχνολογική δευτεροβάθμια εκπαίδευση με την πραγματικότητα. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι με την είσοδο των δεδομένων στο περιβάλλον της λογισμικού και την σύνδεση του συστήματος συλλογής δεδομένων μέτρησης, οι υπολογισμοί και οι μετρήσεις εκτελούνται με το πάτημα ενός κουμπιού, σε αντίθεση με την κλασική μέθοδο μέτρησης, καταγραφής και απεικόνισης σε χαρτί που περιλαμβάνει την ξεχωριστή και χρονοβόρα διαδικασία υπολογισμών και μετρήσεων σε κάθε σημείο του κυκλώματος. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής σε τάξη με μαθητές, επαλήθευσε την εκτίμηση για θετικά αποτελέσματα κατανόησης της θεωρίας και της πράξης. Σίγουρα, απαιτείται μια περισσότερο εμπειριστατωμένη και ευρεία εφαρμογή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα έτσι ώστε να εδραιωθούν καλύτερα τα συμπεράσματα από αυτή την μέθοδο διδασκαλίας.

«Analysis of electronic circuits using a microcomputer system as DAQ and LabView-Linx programming environment»

Theodoros Leftheroudis

Abstract

In this thesis a study will take place to examine if a data acquisition system (Data Acquisition-System) connected to electronic circuits (via a microcomputer system) and combined with a visual programming environment (LabView – Linx) can better contribute to the understanding by the students of the connection of theory and calculations, with the practice of measurements on electronic circuits. Also by comparing this system with the real systems that exist in a modern working environment we will try to connect today's technological secondary education with reality. The advantage of this method is that by entering the data into the application interface and connecting the DAQ system, the calculations and measurements are done with the push of a button, compared to the classic method where it includes the separate and time-consuming process of calculations and measurements at each point of the circuit. The application of this method in the classroom proved the claims for positive results in the understanding of theory and practice. Certainly, a more thorough and broad application is required over a longer period of time so that the conclusions from this teaching method can be better consolidated.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ πάρα πολύ όλους τους καθηγητές του μεταπτυχιακού προγράμματος γιατί μου έδωσαν την ευκαιρία για μια καλύτερη θέα της σημερινής τεχνολογικής πραγματικότητας. Ιδιαίτερα θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου για την βοήθεια και την υπομονή και κατανόηση του, την οικογένεια μου για την υπομονή τους και τον εαυτό μου για την μεγάλη προσπάθεια του να κάνει πραγματικότητα ένα όνειρο.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	4
Περίληψη.....	5
Abstract	6
Ευχαριστίες	7
Περιεχόμενα	8
Κατάλογος Σχημάτων και εικόνων.	12
Κατάλογος Πινάκων.....	17
Συνομογραφίες.....	18
1. Κεφάλαιο 1 ^ο : Ανάλυση του συστήματος, σκοπός και στόχοι.	19
1.1 Εισαγωγή.....	19
1.2 Σκοπός και στόχοι.	19
1.3 Σύνθεση συστήματος.....	19
1.3.1 Arduino Uno.....	19
1.3.2 Lab View – Linx.....	20
1.3.3 Τα Κυκλώματα.	20
1.4 Εκπαιδευτική μεθοδολογία – αξιολόγηση.....	20
2. Κεφάλαιο 2 ^ο : Συνδεσμολογία αντιστάσεων σε σειρά.	21
2.1 Εισαγωγή.....	21
2.2 Θεωρητική ανάλυση.....	21
2.3 Σύνδεση κυκλώματος – προγραμματισμός– μετρήσεις.	24
2.3.1 Σύνδεση του κυκλώματος.....	24
2.3.2 Προγραμματισμός του συστήματος.	25
2.3.3 Διαδικασία μέτρησης και πίνακας μετρήσεων.	30
2.4 Εκπαιδευτική χρήση.....	32
2.5 Επίλογος.....	32
3. Κεφάλαιο 3 ^ο : Αντιστάσεις σε σειρά με την χρήση ψηφιακά ρυθμιζόμενης αντίστασης (Digital potentiometer).	33
3.1 Εισαγωγή.....	33
3.2 Θεωρητική ανάλυση.....	33
3.3 Σύνδεση κυκλώματος – προγραμματισμός – μετρήσεις.	35
3.3.1 Το ολοκληρωμένο DS18030 – 10 ΚΩ.	35
3.3.2 Σύνδεση του κυκλώματος.....	38
3.3.3 Προγραμματισμός του συστήματος	39

3.3.4	Διαδικασία μέτρησης και πίνακας μετρήσεων	46
3.4	Εκπαιδευτική χρήση.....	48
3.5	Επίλογος.....	48
4.	Κεφάλαιο 4°. Μικτή συνδεσμολογία αντιστάσεων.....	50
4.1	Εισαγωγή.....	50
4.2	Θεωρητική ανάλυση.....	50
4.3	Σύνδεση κυκλώματος – προγραμματισμός – μετρήσεις.....	52
4.3.1	Σύνδεση του κυκλώματος.....	52
4.3.2	Προγραμματισμός του συστήματος.....	54
4.3.3	Διαδικασία μέτρησης και πίνακας μετρήσεων.....	60
4.4	Εκπαιδευτική χρήση.....	62
4.5	Επίλογος.....	63
5.	Κεφάλαιο 5°. Μονοβάθμιος ενισχυτής AC με διπολικό τρανζίστορ(BJT).....	64
5.1	Εισαγωγή.....	64
5.2	Θεωρητική ανάλυση.....	64
5.2.1	Οδηγός σχεδίασης κυκλώματος για σταθερό σημείο Q. Υπολογισμός DC χαρακτηριστικών.....	64
5.2.2	Υπολογισμός AC χαρακτηριστικών του κυκλώματος.....	68
5.3	Σύνδεση κυκλώματος – προγραμματισμός – μετρήσεις.....	73
5.3.1	Σύνδεση του κυκλώματος στο DC & AC.....	74
5.3.2	Προγραμματισμός του συστήματος.....	79
5.3.3	Διαδικασίες μετρήσεων και πίνακες μετρήσεων DC-AC.....	88
5.4	Εκπαιδευτική χρήση.....	92
5.5	Επίλογος.....	92
6.	Κεφάλαιο 6°. TE μονής τροφοδοσίας ως αναστρέφων ενισχυτής	93
6.1	Εισαγωγή.....	93
6.2	Θεωρητική ανάλυση.....	93
6.3	Σύνδεση κυκλώματος – προγραμματισμός – μετρήσεις.....	94
6.3.1	Σύνδεση του κυκλώματος.....	95
6.3.2	Προγραμματισμός του συστήματος.....	96
6.3.3	Διαδικασία μέτρησης και πίνακας μετρήσεων.....	100
6.4	Το Κύκλωμα του TE μονής τροφοδοσίας ως αναστρέφων ενισχυτής με ρυθμιζόμενη απολαβή από ψηφιακό ποτενσιόμετρο.....	101
6.5	Εκπαιδευτική χρήση.....	107
6.6	Επίλογος.....	107

7.	Κεφάλαιο 7°. Γεννήτρια τετραγωνικών παλμών με το 555.....	108
7.1	Εισαγωγή.....	108
7.2	Θεωρητική ανάλυση.....	108
7.3	Σύνδεση κυκλώματος – προγραμματισμός – μετρήσεις.....	110
7.3.1	Σύνδεση του κυκλώματος.....	110
7.3.2	Προγραμματισμός του συστήματος.....	111
7.3.3	Διαδικασία μέτρησης και πίνακας μετρήσεων.....	116
7.4	Εκπαιδευτική χρήση.....	119
7.5	Επίλογος.....	120
8.	Συμπεράσματα – προτάσεις βελτίωσης.....	120
8.1	Συμπεράσματα.....	120
8.2	Προτάσεις Βελτίωσης.....	121
	Βιβλιογραφία.....	122
9.	Παράρτημα Α. Διαδικασία δημιουργίας block diagram και front view.....	124
9.1	Παράθυρο Block Diagram.....	124
9.2	Front View.....	131
10.	Παράρτημα Β. Φύλλα εργαστηριακών ασκήσεων.....	133
10.1	Φύλλο εργασίας 1 ^{ης} άσκησης, αντιστάσεις σε συνδεσμολογία σειράς.....	133
10.1.1	Βήμα 1°. Θεωρητικοί υπολογισμοί.....	133
10.1.2	Βήμα 2°. Πραγματοποίηση του κυκλώματος – Μετρήσεις.....	135
10.1.3	Βήμα 3°. Σύνδεση Arduino – Μετρήσεις.....	136
10.2	Φύλλο εργασίας 2 ^{ης} άσκησης. Αντιστάσεις σε συνδεσμολογία εν σειρά με ψηφιακά ρυθμιζόμενη αντίσταση.....	138
10.2.1	Βήμα 1°. Θεωρητικοί υπολογισμοί.....	138
10.2.2	Βήμα 2°. Πραγματοποίηση του κυκλώματος – Σύνδεση με το Arduino - Μετρήσεις.....	139
10.2.3	Βήμα 3°. Σύγκριση αποτελεσμάτων – ερωτήσεις.....	140
10.3	Φύλλο εργασίας 3 ^{ης} άσκησης. Αντιστάσεις σε μεικτή συνδεσμολογία.....	141
10.3.1	Βήμα 1°. Θεωρητικοί υπολογισμοί.....	141
10.3.2	Βήμα 2°. Κατασκευή κυκλώματος – Σύνδεση Arduino - Μετρήσεις.....	143
10.3.3	Βήμα 3°. Σύγκριση αποτελεσμάτων – ερωτήσεις.....	145
10.4	Φύλλο εργασίας 4 ^{ης} άσκησης. Μονοβάθμιος ενισχυτής AC με διπολικό τρανζίστορ (BJT). 146	
10.4.1	Βήμα 1°. Μετρήσεις DC χαρακτηριστικών.....	146
10.4.2	Βήμα 2°. Θεωρητική προσομοίωση – υπολογισμοί στο DC.....	148

10.4.3	Βήμα 3°. Σύγκριση αποτελεσμάτων - συμπεράσματα.....	149
10.4.4	Βήμα 4°. Μετρήσεις AC χαρακτηριστικών.....	150
10.4.5	Βήμα 5°. Θεωρητική προσομοίωση – υπολογισμοί στο AC.....	152
10.4.6	Βήμα 6°. Σύγκριση αποτελεσμάτων – συμπεράσματα.....	153
10.5	Φύλλο εργασίας 5 ^{ης} άσκησης. Τελεστικός ενισχυτής (TE) σε συνδεσμολογία αναστρέφοντος ενισχυτή.....	154
10.5.1	Βήμα 1°. Κατασκευή κυκλώματος – Σύνδεση Arduino – Μετρήσεις.....	154
10.5.2	Βήμα 2°. Κατασκευή κυκλώματος στο multisim – Θεωρητικοί υπολογισμοί.....	156
10.5.3	Βήμα 3°. Σύγκριση αποτελεσμάτων – συμπεράσματα.....	156
10.6	Φύλλο εργασίας 6 ^{ης} άσκησης. Γεννήτρια τετραγωνικών παλμών - ασταθής πολυδονητής με το 555.....	158
10.6.1	Βήμα 1°. Κατασκευή κυκλώματος – σύνδεση Arduino – μετρήσεις.....	158
10.6.2	Βήμα 2°. Σύγκριση αποτελεσμάτων – εξαγωγή συμπερασμάτων.....	159
10.6.3	Βήμα 3°. διόρθωση θεωρητικών αποτελεσμάτων.....	160
10.6.4	Βήμα 4°. Σύγκριση αποτελεσμάτων – εξαγωγή συμπερασμάτων.....	161

Κατάλογος Σχημάτων και εικόνων.

Εικόνα 2.1 : Το κύκλωμα συνδεσμολογίας αντιστάσεων σε σειρά.....	21
Εικόνα 2.2 : Το κύκλωμα σε ράστερ.....	24
Εικόνα 2.3 : Το πραγματικό κύκλωμα – σύνδεση μεταβλητής αντίστασης.....	25
Εικόνα 2.4 : Το Πρόγραμμα του LabView–Block Diagram.....	26
Εικόνα 2.5 : Block Diagram - Επικοινωνία, ενεργοποίηση και μέτρηση με το αναλογικό κανάλι του Arduino.....	26
Εικόνα 2.6 : Block Diagram – Απενεργοποίηση επικοινωνίας, διακόπτης τερματισμού και έλεγχος σφαλμάτων.....	26
Εικόνα 2.7 :Block Diagram – Εισαγωγή χρονοκαθυστέρησης μεταξύ των μετρήσεων.....	26
Εικόνα 2.8: Block Diagram – Θεωρητικοί υπολογισμοί και απεικόνιση αποτελεσμάτων.....	27
Εικόνα 2.9 : Block Diagram – Εισαγωγή τύπων για τους θεωρητικούς υπολογισμούς.....	27
Εικόνα 2.10 : Block Diagram – Formula Node – Μέτρηση και υπολογισμός μεταβλητών βάση μέτρησης.....	28
Εικόνα 2.11 : Block Diagram – Σύγκριση των αποτελεσμάτων εάν είναι εντός των ορίων.....	28
Εικόνα 2.12 : Front Panel – Η διεπαφή του χρήστη.....	29
Εικόνα 2.13 : Front Panel – Το κύκλωμα και η εισαγωγή των δεδομένων στις ονομαστικές τους τιμές.....	29
Εικόνα 2.14 :Front Panel – Απεικόνιση θεωρητικών υπολογισμών.....	30
Εικόνα 2.15 : Front Panel – Απεικόνιση μέτρησης και υπολογισμών λυχνίες απεικόνισης εντός ορίων.....	30
Εικόνα 2.16 : Front Panel – Η αντίσταση R2 στο ελάχιστο.....	31
Εικόνα 2.17 : Front Panel – Η αντίσταση R2 στο μέγιστο.....	31
Εικόνα 3.1 : Το κύκλωμα των αντιστάσεων σε σειρά με την χρήση ψηφιακής αντίστασης.....	33
Εικόνα 3.2 : Περιγραφή των ακροδεκτών του Ο.Κ.....	36
Εικόνα 3.3: Μπλοκ διάγραμμα συστήματος.....	36
Εικόνα 3.4 : Πρωτόκολλο εγγραφής (Write Protocol).....	37
Εικόνα 3.5: Πρωτόκολλο ανάγνωσης (Read Protocol).....	37
Εικόνα 3.6 : Η τιμή του Byte εντολής (command byte).....	38
Εικόνα 3.7 : Το κύκλωμα σε ράστερ.....	38
Εικόνα 3.8 : Το πραγματικό κύκλωμα.....	39
Εικόνα 3.9: Το Πρόγραμμα του LabView–Block Diagram.....	40
Εικόνα 3.10 : Block Diagram – Open & Write VI of I2C.....	40
Εικόνα 3.11 :Block Diagram – Μπλοκ ανάγνωσης.....	41
Εικόνα 3.12 : Block Diagram– Αναλογική ανάγνωση από το Arduino.....	41
Εικόνα 3.13 : Block Diagram – Κόμβος υπολογισμού μεταβλητών μέσω μέτρησης της VR2.....	42
Εικόνα 3.14 : Block Diagram– Κόμβος υπολογισμού ποσοστιαίου σχετικού σφάλματος μέτρησης VR2.....	42
Εικόνα 3.15 : Block Diagram – Δημιουργία γραφήματος του σφάλματος της τάσης VR2 σε σχέση με την τάση.....	42
Εικόνα 3.16 : Γράφημα σφάλματος μέτρησης της τάσης VR2.....	43
Εικόνα 3.17 : Block Diagram – Κόμβος θεωρητικών υπολογισμών ηλεκτρικών μεγεθών του κυκλώματος.....	43
Εικόνα 3.18 : Block Diagram – Οι εξισώσεις του κόμβου θεωρητικής ανάλυσης.....	44
Εικόνα 3.19 : Front Panel – Η διεπαφή του χρήστη.....	44

Εικόνα 3.20 : Front Panel – Η οθόνη απεικόνισης του σφάλματος.	45
Εικόνα 3.21 : Front Panel – Dial αντίσταση R2.....	45
Εικόνα 3.22 : Front Panel – Απεικόνιση θεωρητικών υπολογισμών.	46
Εικόνα 3.23 : Front Panel – Απεικόνιση μέτρησης και υπολογισμών, λυχνίες απεικόνισης εντός ορίων.	46
Εικόνα 3.24 : Front Panel – Η αντίσταση R2 στο ελάχιστο.....	47
Εικόνα 3.25 : Front Panel – Η αντίσταση R2 στο μέγιστο.....	47
Εικόνα 4.1: Το κύκλωμα της μικτής συνδεσμολογίας των αντιστάσεων.....	50
Εικόνα 4.2 : Το κύκλωμα σε ράστερ.....	53
Εικόνα 4.3 : Το πραγματικό κύκλωμα.	53
Εικόνα 4.4: Το Πρόγραμμα του LabView–Block Diagram.	54
Εικόνα 4.5 : Block Diagram - Επικοινωνία, ενεργοποίηση και μέτρηση με το αναλογικό κανάλι του Arduino.....	54
Εικόνα 4.6 : Block Diagram– Εισαγωγή χρονοκαθυστέρησης μεταξύ των μετρήσεων.	55
Εικόνα 4.7: BlockDiagram– Διακόπτης τερματισμού και έλεγχος σφαλμάτων.	55
Εικόνα 4.8 : Block Diagram– Μπλοκ τερματισμού επικοινωνίας με το Arduino, μπλοκ περιγραφής σφάλματος.	55
Εικόνα 4.9 : Block Diagram – Οι εξισώσεις του κόμβου θεωρητικής ανάλυσης.	56
Εικόνα 4.10 : Block Diagram – Κόμβος θεωρητικών υπολογισμών ηλεκτρικών μεγεθών του κυκλώματος.....	56
Εικόνα 4.11 : Block Diagram– Κόμβος υπολογισμού μεταβλητών μέσω μέτρησης της VR3.....	57
Εικόνα 4.12 : Block Diagram – Σύγκριση των αποτελεσμάτων εάν είναι εντός των ορίων.....	57
Εικόνα 4.13 : Front Panel – Η διεπαφή του χρήστη.....	58
Εικόνα 4.14 : Front Panel – Όργανα μέτρησης και πρακτικών υπολογισμών. Πάνελ εισόδου τιμών μεταβλητών.	59
Εικόνα 4.15 : Front Panel – Απεικόνιση θεωρητικών υπολογισμών, LED εντός ορίων.	60
Εικόνα 4.16 : Front Panel – Η αντίσταση R1 στο μέγιστο.....	61
Εικόνα 4.17 : Front Panel – Η αντίσταση R1 στο ελάχιστο.....	61
Εικόνα 5.1: Το κύκλωμα του ενισχυτή.	64
Εικόνα 5.2: Ευθεία φόρτου DC, σημείο λειτουργίας Q.	66
Εικόνα 5.3 : Το τελικό κύκλωμα του ενισχυτή με τις τιμές των εξαρτημάτων.....	67
Εικόνα 5.4 : Το κύκλωμα του ενισχυτή με AC σύζευξη πυκνωτών.	68
Εικόνα 5.5: Ισοδύναμο κύκλωμα τύπου Π.....	68
Εικόνα 5.6 : Ισοδύναμο κύκλωμα τύπου Π, με τιμές εξαρτημάτων.....	69
Εικόνα 5.7 : Ισοδύναμο κύκλωμα τύπου Π, με την άεργη αντίσταση των πυκνωτών.	70
Εικόνα 5.8 : Ισοδύναμο κύκλωμα πυκνωτή σύζευξης εισόδου.....	70
Εικόνα 5.9 : Ισοδύναμο κύκλωμα πυκνωτή σύζευξης εξόδου.	71
Εικόνα 5.10 : Ισοδύναμο κύκλωμα πυκνωτή εκπομπού.	71
Εικόνα 5.11 : Διάγραμμα BODE από το πρόγραμμα Multisim του κυκλώματος του ενισχυτή.....	72
Εικόνα 5.12 : Ισοδύναμο κύκλωμα εισόδου του ενισχυτή.....	73
Εικόνα 5.13 : Κύκλωμα προσαρμογής μετρήσεων μεγαλύτερων τάσεων.....	74
Εικόνα 5.14 : Κύκλωμα προσαρμογής μετρήσεων AC τάσης.	75
Εικόνα 5.15 : Πλήρες κύκλωμα μετρήσεων στο DC.	75
Εικόνα 5.16 : Η διάταξη των ακροδεκτών του τρανζίστορ BC108& του T.E. LM741.....	76
Εικόνα 5.17: Το κύκλωμα μετρήσεων στο DC σε ράστερ.....	76
Εικόνα 5.18 : Το πραγματικό κύκλωμα μετρήσεων στο DC σε ράστερ.	77

Εικόνα 5.19 : Πλήρες κύκλωμα μετρήσεων στο AC.	77
Εικόνα 5.20 : Το κύκλωμα μετρήσεων στο AC σε ράστερ.....	78
Εικόνα 5.21: Το πραγματικό κύκλωμα μετρήσεων στο AC σε ράστερ.....	78
Εικόνα 5.22 : Το Πρόγραμμα του LabView – Block Diagram DC.	79
Εικόνα 5.23 : Block Diagram DC – Άνοιγμα επικοινωνίας - Προγραμματισμός μετρήσεων τάσεων.	79
Εικόνα 5.24 : Block Diagram DC – Κόμβος εξισώσεων, μονάδες εισόδου και απεικόνισης αποτελεσμάτων.	80
Εικόνα 5.25 : Block Diagram DC – εξισώσεις υπολογισμών από μετρήσεις.	80
Εικόνα 5.26 : Block Diagram DC – Δημιουργία ευθείας φόρτου στο DC και του σημείου λειτουργίας.	81
Εικόνα 5.27 : Το Πρόγραμμα του LabView–Block Diagram AC.	81
Εικόνα 5.28 : Block Diagram AC – Άνοιγμα επικοινωνίας - Προγραμματισμός μέτρησης τάσης εξόδου ενισχυτή.	82
Εικόνα 5.29 :Block Diagram AC – Κόμβος εξισώσεων, μονάδες εισόδου και απεικόνισης αποτελεσμάτων.	82
Εικόνα 5.30 : Block Diagram AC – εξισώσεις θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων.	83
Εικόνα 5.31 : Block Diagram AC – Υπολογισμός και δημιουργία διαγράμματος Bode και πίνακα μετρήσεων.	83
Εικόνα 5.32 : Block Diagram AC – Διαδικασία επιλογής συχνότητας και αριθμού μέτρησης.	84
Εικόνα 5.33 : Block Diagram AC – Διαδικασία επιλογής επόμενης συχνότητας.....	84
Εικόνα 5.34 : Front Panel DC – Η διεπαφή του χρήστη για τις μετρήσεις στο DC.....	85
Εικόνα 5.35 : Front Panel DC – Είσοδος τιμών αντιστάσεων, τάσης τροφοδοσίας, εμφάνιση αποτελεσμάτων στο DC.	86
Εικόνα 5.36 : Front Panel DC – Διάγραμμα X,Y για την εμφάνιση της γραμμής φόρτου και του σημείου ηρεμίας Q.	86
Εικόνα 5.37 : Front Panel AC – εισαγωγή δεδομένων, επιλογή εισόδου μέτρησης.	87
Εικόνα 5.38 : Front Panel AC – αποτελέσματα σύμφωνα με τα δεδομένα εισόδου.	87
Εικόνα 5.39 : Front Panel AC – Διάγραμμα απόκρισης συχνοτήτων και πίνακας μετρήσεων.....	88
Εικόνα 5.40 : Front Panel DC - Αποτελέσματα μετρήσεων	88
Εικόνα 5.41 : Front Panel DC–Ευθεία φόρτου – σημείο λειτουργίας Q.....	89
Εικόνα 5.42 : Front panel AC – Τοποθέτηση τιμών στις μεταβλητές.....	90
Εικόνα 5.43 : Front panel AC – Αποτελέσματα θεωρητικών υπολογισμών και μέτρησης.	90
Εικόνα 5.44 : Front panel AC – Διάγραμμα απόκρισης συχνοτήτων του κυκλώματος και πίνακας μετρήσεων.	91
Εικόνα 6.1 : Το κύκλωμα του ΤΕ σε συνδεσμολογία Αναστρέφοντος Ενισχυτή.	93
Εικόνα 6.2 : Απεικόνιση τάσεων εισόδου και εξόδου του κυκλώματος.	94
Εικόνα 6.3 : Διάγραμμα απόκρισης συχνοτήτων (Bode Plot) του κυκλώματος του ενισχυτή.	94
Εικόνα 6.4 : Το πλήρες κύκλωμα του αναστρέφον ενισχυτή με Τ.Ε και ανορθωτή ακριβείας.....	95
Εικόνα 6.5 : Το κύκλωμα μετρήσεων στο AC σε ράστερ.....	95
Εικόνα 6.6: Το πραγματικό κύκλωμα μετρήσεων σε ράστερ.	96
Εικόνα 6.7 : Το Πρόγραμμα του LabView – Block Diagram DC.....	97
Εικόνα 6.8 : Block Diagram - Επικοινωνία, ενεργοποίηση και μέτρηση με το αναλογικό κανάλι του Arduino και υπολογισμός της τάσης εξόδου.....	97
Εικόνα 6.9 : Block Diagram – Εισαγωγή χρονοκαθυστέρησης μεταξύ των μετρήσεων, διακόπτης τερματισμού και έλεγχος σφαλμάτων.	97

Εικόνα 6.10 : Block Diagram – Κόμβος εξισώσεων, μονάδες εισόδου και απεικόνισης αποτελεσμάτων.	98
Εικόνα 6.11 : Block Diagram – εξισώσεις θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων.	98
Εικόνα 6.12 : Block Diagram – Υπολογισμός και δημιουργία διαγράμματος Bode και πίνακα μετρήσεων.	98
Εικόνα 6.13 : Front Panel – Η διεπαφή του χρήστη.....	99
Εικόνα 6.14 : Front Panel – Τμήμα εισόδου δεδομένων και εξόδου αποτελεσμάτων.	99
Εικόνα 6.15 : Front Panel – Διάγραμμα απόκρισης συχνοτήτων και πίνακας μετρήσεων.	99
Εικόνα 6.16 : Front Panel – Με μετρήσεις στην συχνότητα των 1000 Hz.	100
Εικόνα 6.17 : Διάγραμμα απόκρισης συχνοτήτων.	101
Εικόνα 6.18 : Το κύκλωμα του T.E. με ψηφιακό ποτενσιόμετρο.	102
Εικόνα 6.19 : Το κύκλωμα του T.E. με το O.K. του ψηφιακού ποτενσιόμετρου.	103
Εικόνα 6.20 : Το κύκλωμα του TE με το ψηφιακό ποτενσιόμετρο σε ράστερ.	103
Εικόνα 6.21: Το πραγματικό κύκλωμα του TE με ψηφιακό ποτενσιόμετρο.	104
Εικόνα 6.22 : Το Πρόγραμμα του LabView – Block Diagram.	105
Εικόνα 6.23 : Front Panel – Η διεπαφή του χρήστη.....	105
Εικόνα 6.24 : Front Panel – μετρήσεις με την αντίσταση του ποτενσιόμετρου στο ελάχιστο.	106
Εικόνα 6.25 : Front Panel – μετρήσεις με την αντίσταση του ποτενσιόμετρου στο μέσον.	106
Εικόνα 6.26 : Front Panel – μετρήσεις με την αντίσταση του ποτενσιόμετρου στο μέγιστο.....	106
Εικόνα 7.1 : Το κύκλωμα του ασταθούς πολυδονητή.....	108
Εικόνα 7.2 : Τυπικές κυματομορφές εξόδου και φόρτισης πυκνωτή του 555.	109
Εικόνα 7.3 : Το κύκλωμα του ασταθιού πολυδονητή με τις τιμές των εξαρτημάτων.....	109
Εικόνα 7.4 : Κυματομορφές από την προσομοίωση στο Multisim.	110
Εικόνα 7.5 : Κύκλωμα 555. Σε ράστερ με την βοήθεια του προγράμματος Tinkercad.	111
Εικόνα 7.6 : Το πραγματικό κύκλωμα σε ράστερ.	111
Εικόνα 7.7: Το Πρόγραμμα του LabView – Block Diagram.	112
Εικόνα 7.8 : Block Diagram – Μπλοκ μετρήσεων παλμών ON, OFF.	112
Εικόνα 7.9 : Block Diagram – Μπλοκ μέτρησης διάρκειας παλμού.....	113
Εικόνα 7.10 : Block Diagram – Διαδικασία υπολογισμού περιόδου, συχνότητας και κύκλου εργασίας.	114
Εικόνα 7.11 : Block Diagram – Κόμβος υπολογισμού θεωρητικών αποτελεσμάτων.....	114
Εικόνα 7.12 : Block Diagram – Χρονοκαθυστέρηση μετρήσεων, μέτρηση αριθμού μετρήσεων, μπουτόν τερματισμού.....	115
Εικόνα 7.13 : Front Panel – Η διεπαφή του χρήστη.....	115
Εικόνα 7.14 : Front Panel – Εισαγωγή βασικών παραμέτρων.	116
Εικόνα 7.15 : Front Panel – Εισαγωγή τιμών εξαρτημάτων και θεωρητικός υπολογισμός.....	116
Εικόνα 7.16 : Front Panel –Απεικόνιση μετρήσεων.	116
Εικόνα 7.17: Μέτρηση κυματομορφής εξόδου με παλμογράφο.	117
Εικόνα 7.18 : Το κύκλωμα του 555 με ρυθμιζόμενη αντίσταση.....	117
Εικόνα 7.19 : Κυματομορφή εξόδου του 555 με ρυθμιζόμενη αντίσταση.....	117
Εικόνα 7.20 : Κυματομορφή φόρτισης και εκφόρτισης πυκνωτή C2.	118
Εικόνα 7.21 : Front Panel – Αποτελέσματα μετρήσεων με την ρυθμιζόμενη αντίσταση.	118
Εικόνα 9.1: Block Diagram - παλέτα των εργαλείων functions.....	124
Εικόνα 9.2 : Block Diagram – Linx Open.....	124
Εικόνα 9.3 : Block Diagram – Παραμετροποίηση του Linx Open.	125
Εικόνα 9.4 : Block Diagram – Επιλογή ANALOG READ.....	125

Εικόνα 9.5 : Block Diagram – Επιλογή CLOSE.	125
Εικόνα 9.6 : Block Diagram –Τελική εικόνα LINX open-read-close.	126
Εικόνα 9.7 : Block Diagram – Τελική εικόνα συνδέσεων open-read-close.	126
Εικόνα 9.8 : Block Diagram – Επιλογή While Loop.	126
Εικόνα 9.9 : Block Diagram – Τελική εικόνα με while loop.	127
Εικόνα 9.10 : Block Diagram – Δημιουργία μπουτόν STOP.	127
Εικόνα 9.11 : Block Diagram – Παραμετροποίηση του μπλοκ Analog read.	127
Εικόνα 9.12 : Block Diagram – Μεγέθυνση – τακτοποίηση.	128
Εικόνα 9.13 : Block Diagram – Επιλογή Formula Node.	128
Εικόνα 9.14 : Block Diagram – Τοποθέτηση Formula Node.	128
Εικόνα 9.15 : Block Diagram – Εισαγωγή Add Input.	129
Εικόνα 9.16 : Block Diagram – Εισαγωγή μεταβλητών εισόδου.	129
Εικόνα 9.17 : Block Diagram – Δημιουργία μπλοκ εισαγωγής δεδομένων στις μεταβλητές.	129
Εικόνα 9.18: Block Diagram – Εισαγωγή ονομασίας στα μπλοκ εισαγωγής δεδομένων.	130
Εικόνα 9.19 : Block Diagram – Εισαγωγή μεταβλητών εξόδου.	130
Εικόνα 9.20 : Block Diagram – Δημιουργία μπλοκ απεικόνισης αποτελεσμάτων.	130
Εικόνα 9.21 : Block Diagram – Τελικό αποτέλεσμα.	131
Εικόνα 9.22 : Front View – Αρχική οθόνη.	131
Εικόνα 9.23 : Front View – Επιλογή μορφής απεικόνισης αποτελεσμάτων.	132
Εικόνα 9.24 : Front View – Επιλογή μορφής απεικόνισης της κλίμακας μέτρησης.	132
Εικόνα 9.25 : Front View – Τελική μορφή απεικόνισης.	132
Εικόνα 10.1 : Το κύκλωμα της 1 ^{ης} Άσκησης.	133
Εικόνα 10.2 : Το κύκλωμα της 1 ^{ης} άσκησης σε ράστερ.	136
Εικόνα 10.3 : Το πραγματικό κύκλωμα της 1 ^{ης} άσκησης – Σύνδεση ρυθμιζόμενης αντίστασης.	136
Εικόνα 10.4 : Το κύκλωμα της 2 ^{ης} άσκησης με το ψηφιακά ρυθμιζόμενη αντίσταση.	138
Εικόνα 10.5: Το κύκλωμα της 2 ^{ης} άσκησης σε ράστερ.	139
Εικόνα 10.6 : Περιγραφή των ακροδεκτών του Ο.Κ.	139
Εικόνα 10.7 : Το κύκλωμα της 3 ^{ης} άσκησης μικτή συνδεσμολογία αντιστάσεων.	141
Εικόνα 10.8: Το κύκλωμα της 3 ^{ης} άσκησης σε ράστερ.	144
Εικόνα 10.9 : Το πραγματικό κύκλωμα της 3 ^{ης} άσκησης – Σύνδεση ρυθμιζόμενης αντίστασης.	144
Εικόνα 10.10 : Το κύκλωμα της 4 ^{ης} άσκησης. DC χαρακτηριστικά.	146
Εικόνα 10.11 : Η διάταξη των ακροδεκτών του τρανζίστορ BC108 & του Τ.Ε. LM741.	146
Εικόνα 10.12 : Το κύκλωμα μετρήσεων της 4 ^{ης} άσκησης στο DC σε ράστερ.	146
Εικόνα 10.13 : Το πραγματικό κύκλωμα μετρήσεων της 4 ^{ης} άσκησης στο DC σε ράστερ.,	147
Εικόνα 10.14 : Το κύκλωμα της 4 ^{ης} άσκησης. AC χαρακτηριστικά.	150
Εικόνα 10.15 : Το κύκλωμα μετρήσεων της 4 ^{ης} άσκησης στο AC σε ράστερ.	150
Εικόνα 10.16 : Το πραγματικό κύκλωμα μετρήσεων της 4 ^{ης} άσκησης στο AC σε ράστερ.	150
Εικόνα 10.17 : Το πλήρες κύκλωμα της 5 ^{ης} άσκησης.	154
Εικόνα 10.18 : Το κύκλωμα της 5 ^{ης} άσκησης σε ράστερ.	154
Εικόνα 10.19 : Το πραγματικό κύκλωμα της 5 ^{ης} άσκησης σε ράστερ.	154
Εικόνα 10.20 : Το κύκλωμα της 6 ^{ης} άσκησης.	158
Εικόνα 10.21 : Το κύκλωμα της 6 ^{ης} άσκησης σε ράστερ.	158
Εικόνα 10.22 : Το πραγματικό κύκλωμα της 6 ^{ης} άσκησης σε ράστερ.	158

Κατάλογος Πινάκων.

Πίνακας 2-1 : Θεωρητικοί υπολογισμοί μεταβλητών.	23
Πίνακας 2-2: Διακυμάνσεις μεγεθών με βάση την ανοχή των αντιστάσεων.	24
Πίνακας 2-3 : Υλικών και οργάνων του κυκλώματος.	25
Πίνακας 2-4 : Τελικός πίνακας υπολογισμών και μετρήσεων 1 ^{ου} κυκλώματος.	32
Πίνακας 3-1 : Θεωρητικοί υπολογισμοί μεταβλητών.	35
Πίνακας 3-2 : Η δομή του Byteελέγχου.	37
Πίνακας 3-3 : Η τιμή του Byteεντολής (command byte).	38
Πίνακας 3-4 : Υλικών και οργάνων του κυκλώματος.	39
Πίνακας 3-5 : Τελικός πίνακας υπολογισμών και μετρήσεων 2 ^{ου} κυκλώματος.	48
Πίνακας 4-1 : Θεωρητικοί υπολογισμοί μεταβλητών.	52
Πίνακας 4-2 : Υλικά και όργανα για την πραγματοποίηση της άσκησης.	53
Πίνακας 4-3 : Τελικός πίνακας υπολογισμών και μετρήσεων 3 ^{ου} κυκλώματος.	62
Πίνακας 5-1 : Θεωρητικοί υπολογισμοί των στοιχείων του κυκλώματος.	67
Πίνακας 5-2 : Συγκεντρωτικός πίνακας υπολογισμών για το AC του κυκλώματος του ενισχυτή.	73
Πίνακας 5-3 : Υλικών και οργάνων του κυκλώματος του ενισχυτήDC.	76
Πίνακας 5-4: Υλικών και οργάνων του κυκλώματος του ενισχυτή AC.	78
Πίνακας 5-5 : Συντεταγμένες ευθείας φόρτου και σημείου λειτουργίας Q.	89
Πίνακας 5-6 : θεωρητικών τιμών και μετρήσεων DC 3 ^{ου} κυκλώματος.	89
Πίνακας 5-7 : Τιμών διαγράμματος απόκρισης συχνοτήτων του κυκλώματος.	91
Πίνακας 5-8 : Θεωρητικών αποτελεσμάτων και μετρήσεωνAC.	92
Πίνακας 6-1 : Υλικών και οργάνων του κυκλώματος του ενισχυτή.	96
Πίνακας 6-2 : Υπολογισμών και μετρήσεων μέγιστο απαραμόρφωτο.	100
Πίνακας 6-3 : Μετρήσεων διαγράμματος απόκρισης συχνοτήτων.	101
Πίνακας 6-4 : Υλικών και οργάνων μέτρησης του κυκλώματος TE με ψηφιακό ποτενσιόμετρο.	103
Πίνακας 6-5 : Θεωρητικά αποτελέσματα και μετρήσεις.	107
Πίνακας 7-1 : Υλικών και οργάνων του κυκλώματος 555 ασταθούς πολυδονητή.	111
Πίνακας 7-2: Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων χωρίς διόρθωση.	119
Πίνακας 7-3: Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων με διόρθωση.	119
Πίνακας 10-1 : Υλικών και οργάνων 1 ^{ης} άσκησης.	133
Πίνακας 10-2: Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων1 ^{ης} άσκησης.	135
Πίνακας 10-3 : Υλικών και οργάνων μέτρησης 2 ^{ης} άσκησης.	138
Πίνακας 10-4 : Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων2 ^{ης} άσκησης.	139
Πίνακας 10-5 : Υλικών και οργάνων μέτρησης 3 ^{ης} άσκησης.	141
Πίνακας 10-6: Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων 3 ^{ης} άσκησης.	143
Πίνακας 10-7 : Υλικών και οργάνων για την 4 ^η άσκηση στο DC.	147
Πίνακας 10-8 : Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων 4 ^{ης} άσκησης.	148
Πίνακας 10-9 : Υλικών και οργάνων για την 4 ^η άσκηση στο AC.	151
Πίνακας 10-10: Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων 4 ^{ης} άσκησης.	152
Πίνακας 10-11: Υλικών και οργάνων της 5 ^{ης} άσκησης.	155
Πίνακας 10-12 : Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων 5 ^{ης} άσκησης.	157
Πίνακας 10-13 : Υλικών και οργάνων της 6 ^{ης} άσκησης.	159
Πίνακας 10-14 : Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων 6 ^{ης} άσκησης.	160
Πίνακας 10-15 : Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων 6 ^{ης} άσκησης με διόρθωση.	161

Συντομογραφίες

Δ.Ε	Διπλωματική Εργασία
Η/Υ	Ηλεκτρονικός Υπολογιστής
Ο.Κ	Ολοκληρωμένο Κύκλωμα
Τ.Ε	Τελεστικός Ενισχυτής
AC	Alternative Current
BJT	Bipolar Junction Transistor
DAQ	Data AcQuisition System.
DAC	Digital to Analog Converter
DC	Direct Current
I ² C	Inter-Integrated Circuit
LED	Light Emitting Diode
MAX	Maximum
MIN	Minimum
PWM	Pulse-width modulation
SPI	Serial Peripheral Interface
SDA	Serial DAta
SDL	Serial CLock
USB	Universal Serial Bus
VI	Virtual Instrument

1. Κεφάλαιο 1^ο : Ανάλυση του συστήματος, σκοπός και στόχοι.

1.1 Εισαγωγή.

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγράψουμε τον σκοπό και τους στόχους του συστήματος αυτού, την σύνθεσή του δηλαδή από ποια μέρη αποτελείται, τους λόγους για την χρήση του συγκεκριμένου μικροϋπολογιστικού συστήματος και τέλος την διαδικασία εξακρίβωσης για την επίτευξη του σκοπού και των στόχων.

1.2 Σκοπός και στόχοι.

Σκοπός του αυτού εκπαιδευτικού συστήματος είναι η σύνδεση μεταξύ της θεωρίας και πράξης και πιο συγκεκριμένα την εφαρμογής της θεωρίας (μαθηματικές εξισώσεις και τύπους) στο εργαστήριο και στον εργασιακό χώρο. Απευθύνεται στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση και μπορεί να επεκταθεί και στον χώρο της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Αφορά τον τομέα Ηλεκτρονικής Ηλεκτρολογίας και Αυτοματισμού των ΕΠΑΛ, Β' και Γ' τάξη, αλλά και οποιονδήποτε άλλο τομέα και εκπαιδευτικό χώρο που έχει άμεση ή έμμεση σχέση με ηλεκτρονικά ή ηλεκτρικά κυκλώματα και αυτοματισμούς.

Ως στόχους του συστήματος αυτού μπορούμε να θεωρήσουμε την κατανόηση από τους μαθητές :

- Της άμεσης πρακτικής χρήσης των μαθηματικών τύπων της θεωρίας που περιβάλλει ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα με την εργαστηριακή πράξη.
- Της χρησιμότητας ενός συστήματος **DAQ (Data Acquisition System)** στην πράξη.
- Της χρήσης ενός προγράμματος για την συγκέντρωση, την επεξεργασία, απεικόνιση και την αποθήκευση των δεδομένων, καθώς και την αυτόματη ή χειροκίνητη λήψη αποφάσεων.

1.3 Σύνθεση συστήματος.

Το σύστημα αυτό αποτελείται από το αναπτυξιακό σύστημα Arduino Uno ως πλακέτα μετρήσεων (DAQ Hardware) και του προγράμματος LabView σε συνεργασία με το LINX VI (DAQ Software).(1).

1.3.1 Arduino Uno.

Θα χρησιμοποιήσουμε το αναπτυξιακό σύστημα (embedded system) Arduino Uno ως (DAQ Hardware) το οποίο είναι μια πλακέτα ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ανοιχτής φιλοσοφίας σε υλικό αλλά και σε λογισμικό (open source hardware and software), περιλαμβάνει έναν μικροελεγκτή ATmega328P και όλα τα απαραίτητα κυκλώματα αποστήριξης του. (2) Μερικά από τα χαρακτηριστικά του είναι :

- Δεκατέσσερις (14) ψηφιακές εισόδους εξόδους από τις οποίες έξι (6) μπορούν να λειτουργήσουν και ως έξοδοι διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM).
- Έξι αναλογικές εισόδους.
- Δυνατότητα σύνδεσης I2C και SPI.
- USB σύνδεση
- Σύνδεση με εξωτερική τροφοδοσία.
- Και ταχύτητα 16 MHz.

Οι λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιούμε αυτή την διάταξη ότι :

- Είναι ανοιχτής φιλοσοφίας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μεγάλη ευκολία.
- Είναι απλή και οικονομική,
- Υπάρχουν αρκετές αναφορές σε αυτήν με πάρα πολλές εφαρμογές.
- Χρησιμοποιείται ήδη από την δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια εκπαίδευση.
- Μπορεί να καλύψει τις βασικές μας απαιτήσεις ως σύστημα DAQ.
- Συνεργάζεται με το πρόγραμμα LabView μέσω του ανοιχτού πρόσθετου LINX.

1.3.2 Lab View – Linx

Το πρόγραμμα LabView (3) χρησιμοποιεί οπτικό προγραμματισμό για την διαχείριση οποιασδήποτε εφαρμογής, από τον προγραμματισμό του υλικού μέχρι την οπτικοποίηση δεδομένων, την επεξεργασία τους, την ανάλυση τους, την αποθήκευση τους και την έξοδο των αποτελεσμάτων ενώ ταυτόχρονα μπορεί να επηρεάσει και την εφαρμογή. Στο πρόγραμμα αυτό θα συνδέσουμε το Arduino Uno με την χρήση του πρόσθετου LINX, (4) το οποίο και αυτό είναι ανοιχτού κώδικα και θα μας βοηθήσει στην ανάπτυξη των εφαρμογών.

1.3.3 Τα Κυκλώματα.

Τα κυκλώματα που θα χρησιμοποιήσουμε είναι βασικά και απλά κυκλώματα. Τα τρία πρώτα μπορούν να θεωρηθούν ως εισαγωγικά στην διαδικασία και τα υπόλοιπα ως κυκλώματα μελέτης.

Ενδεικτικά μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής κυκλώματα :

- Συνδεσμολογία αντιστάσεων σε σειρά.
- Συνδεσμολογία αντιστάσεων σε σειρά – ψηφιακό ποτενσιόμετρο.
- Συνδεσμολογία αντιστάσεων μεικτά.
- Μονοβάθμιος ενισχυτής με διπολικό τρανζίστορ (BJT) και αντίσταση ανασύζευξης R_e .
- Αναστρέφων ενισχυτής με ΤΕ.
- Γεννήτρια τετραγωνικών παλμών με το 555.

1.4 Εκπαιδευτική μεθοδολογία – αξιολόγηση

Η διδακτική προσέγγιση που θα ακολουθήσουμε είναι η καθοδηγούμενη μάθηση σε συνδυασμό με την ενεργό μάθηση. (1) Θα περιλαμβάνονται φύλλα πορείας – εργασίας για την κάθε άσκηση, παράρτημα Β. Η αξιολόγηση θα πραγματοποιείται από τα φύλλα αυτά, από ερωτηματολόγια και συνεντεύξεις.

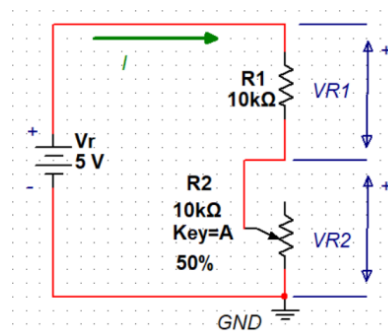
2. Κεφάλαιο 2^ο : Συνδεσμολογία αντιστάσεων σε σειρά.

2.1 Εισαγωγή.

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε το πρώτο εισαγωγικό κύκλωμα που αφορά την συνδεσμολογία δύο αντιστάσεων σε σειρά. Θα αναλύσουμε το κύκλωμα θεωρητικά και μετά θα το εξετάσουμε πρακτικά μέσω του συστήματός μας.

2.2 Θεωρητική ανάλυση.

Στο κύκλωμα αυτό (Εικόνα 2.1) έχουμε δύο αντιστάσεις σε συνδεσμολογία σειράς, από τις οποίες η μία είναι ρυθμιζόμενη και σε σύνδεση ροοστάτη. Οι αντιστάσεις συνδέονται σε μία πηγή συνεχούς τάσης 5 V.



Εικόνα 2.1 : Το κύκλωμα συνδεσμολογίας αντιστάσεων σε σειρά.

Στο συγκεκριμένο κύκλωμα γνωρίζουμε την τάση του κυκλώματος (V_r) και την αντίσταση R_1 , τα οποία τα θεωρούμε ως μεταβλητές εισόδου, μετράμε την τάση VR_2 μέσω της αναλογικής εισόδου A0 του Arduino και ζητάμε από το πρόγραμμα μέσω των εξισώσεων που θα βάλουμε να μας υπολογίσει :

- Την τάση στην αντίσταση (VR_1).
- Το συνολικό ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα (I).
- Την αντίσταση (R_2).
- Την ολική αντίσταση (R_o).

Μία δεύτερη περίπτωση είναι, να γνωρίζω την αντίσταση R_1 , R_2 , να μετρήσουμε την τάση VR_2 και να υπολογίσουμε :

- Την ολική αντίσταση (R_o).
- Το συνολικό ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα (I).
- Την τάση (VR_1).
- Και τέλος την συνολική τάση της πηγής (V_r).

Αναπτύσσοντας την πρώτη περίπτωση το κύκλωμα μπορεί να επιλυθεί χρησιμοποιώντας τον 2^ο κανόνα του Kirchhoff, τον νόμο του Ohm και των αντιστάσεων σε σειρά. (2) (3) (4).

$$R_o(\text{Min}) = R_1 + R_2(\text{Min}) = 10 \text{ K}\Omega + 0 \text{ }\Omega = 10 \text{ K}\Omega \quad (2.1)$$

$$R_o(\text{Max}) = R_1 + R_2(\text{Max}) = 10 \text{ K}\Omega + 10 \text{ K}\Omega = 20 \text{ K}\Omega \quad (2.2)$$

$$I(\text{Max}) = \frac{V_r}{R_{o(\text{Min})}} = \frac{5 \text{ V}}{10 \text{ K}\Omega} = 0,0005 \text{ A} = 0,5 \text{ mA} \quad (2.3)$$

$$I(\text{Min}) = \frac{V_r}{R_{o(\text{Max})}} = \frac{5 \text{ V}}{20 \text{ K}\Omega} = 0,00025 \text{ A} = 0,25 \text{ mA} \quad (2.4)$$

$$VR2(\text{Min}) = R2(\text{Min}) * I(\text{Max}) = 0 \Omega * 0,5 \text{ mA} = 0 \text{ V} \quad (2.5)$$

$$VR2(\text{Max}) = R2(\text{Max}) * I(\text{Min}) = 10 \text{ K}\Omega * 0,25 \text{ mA} = 2,5 \text{ V} \quad (2.6)$$

$$VR1(\text{Max}) = V_r - VR2(\text{Min}) = 5 \text{ V} - 0 \text{ V} = 5 \text{ V} \quad (2.7)$$

$$VR1(\text{Min}) = V_r - VR2(\text{Max}) = 5 \text{ V} - 2,5 \text{ V} = 2,5 \text{ V} \quad (2.8)$$

$$R1 \text{ MAXa}(-1\%,) = 10000 \Omega - \left(\frac{1}{100}\right) * 10000 = 10000 \Omega - 100 \Omega = 9900 \Omega \quad (2.9)$$

$$R1 \text{ MAXb}(+1\%,) = 10000 \Omega + \left(\frac{1}{100}\right) * 10000 = 10000 \Omega + 100 \Omega = 10100 \Omega \quad (2.10)$$

$$R2 \text{ MAXa}(-20\%) = 10000 \Omega - \left(\frac{20}{100}\right) * 10000 = 10000 \Omega - 2000 \Omega = 8000 \Omega \quad (2.11)$$

$$R2 \text{ MAXb}(+20\%) = 10000 \Omega + \left(\frac{20}{100}\right) * 10000 = 10000 \Omega + 2000 \Omega = 12000 \Omega \quad (2.12)$$

Με τις εξισώσεις (2.1 & 2.2) υπολογίζουμε την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή της ολικής αντίστασης όταν η ρυθμιζόμενη αντίσταση είναι στο ελάχιστο και στο μέγιστο κατ' αντιστοιχία. Για τον υπολογισμό της ελάχιστης ολικής αντίστασης (2.1) θεωρούμε ότι η ρυθμιζόμενη αντίσταση έχει θεωρητικά μηδενική τιμή, πρακτικά υπολογίζεται περίπου στα 3 Ω, μια τιμή που ουσιαστικά δεν επηρεάζει τα αποτελέσματά μας. Το ίδιο θα πούμε και για τις εξισώσεις (2.3 – 2.8) στις οποίες υπολογίζουμε την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή ανάλογα με την τιμή της ολικής αντίστασης. Με τις εξισώσεις (2.9 – 2.12) υπολογίζουμε την διακύμανση της μέγιστης τιμής των αντιστάσεων βάσει των ανοχών που έχουν. Βάση των ανοχών αυτών θα πρέπει να ξανά υπολογίσουμε την ολική αντίσταση, το ρεύμα και τις τάσεις για να δούμε μέσα σε ποια όρια θα κυμανθούν οι μετρήσεις μας. Θα πάρουμε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς μιας και δεν γνωρίζουμε στην πράξη ποιες είναι οι πραγματικές τιμές.

$$R_{o(1.1 \text{ Max})} = R1 \text{ MAXa}(-1\%) + R2 \text{ MAXa}(-20\%) = 9900 \Omega + 8000 \Omega = 17900 \Omega \quad (2.13)$$

$$R_{o(1.2 \text{ Max})} = R1 \text{ MAXa}(-1\%) + R2 \text{ MAXb}(+20\%) = 9900 \Omega + 12000 \Omega = 21900 \Omega \quad (2.14)$$

$$R_{o(2.1 \text{ Max})} = R1 \text{ MAXb}(+1\%) + R2 \text{ MAXa}(-20\%) = 10100 \Omega + 8000 \Omega = 18100 \Omega \quad (2.15)$$

$$R_{o(2.2 \text{ Max})} = R1 \text{ MAXb}(+1\%) + R2 \text{ MAXb}(+20\%) = 10100 \Omega + 12000 \Omega = 22100 \Omega \quad (2.16)$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι η ολική αντίσταση θα κυμαίνεται +/-10,5% από την ονομαστική τιμή της δηλαδή από 17900 Ω – 22100 Ω.

$$I(\text{Max 1}) = \frac{V_r}{R1 \text{ MAXa}(-1\%)} = \frac{5 \text{ V}}{9900 \Omega} = 0,0005050 \text{ A} = 0,505 \text{ mA} \quad (2.17)$$

$$I(\text{Max 2}) = \frac{V_r}{R1 \text{ MAXb}(+1\%)} = \frac{5 \text{ V}}{10100 \Omega} = 0,0004950 \text{ A} = 0,495 \text{ mA} \quad (2.18)$$

$$I(\text{Min 1}) = \frac{V_r}{R_{o(1.1 \text{ Max})}} = \frac{5 \text{ V}}{17900} = 0,0002793 \text{ A} = 0,279 \text{ mA} \quad (2.19)$$

$$I(\text{Min 2}) = \frac{V_r}{R_{o(2.2 \text{ Max})}} = \frac{5 \text{ V}}{22100} = 0,0002262 \text{ A} = 0,226 \text{ mA} \quad (2.20)$$

$$VR2(\text{Max } 1) = R2 \text{ MAX}a(-20\%) * I(\text{Min } 1) = 8 \text{ K}\Omega * 0,28 \text{ mA} = 2,23 \text{ V} \quad (2.21)$$

$$VR2(\text{Max } 2) = R2 \text{ MAX}b(+20\%) * I(\text{Min } 2) = 12000 \text{ K}\Omega * 0,23 \text{ mA} = 2,76 \text{ V} \quad (2.22)$$

$$VR1(\text{Min } 1) = Vr - VR2(\text{Max } 1) = 5 \text{ V} - 2,23 \text{ V} = 2,77 \text{ V} \quad (2.23)$$

$$VR1(\text{Min } 2) = Vr - VR2(\text{Max } 2) = 5 \text{ V} - 2,76 \text{ V} = 2,24 \text{ V} \quad (2.24)$$

Με τις εξισώσεις (2.17 & 2.18) υπολογίζουμε τα όρια που μπορεί να κυμανθεί η μέγιστη τιμή του ολικού ρεύματος όταν η ρυθμιζόμενη αντίσταση είναι στην ελάχιστη τιμή της, θα κυμαίνεται +-1% της ονομαστικής. Σε αυτήν την περίπτωση στο κύκλωμα υπάρχει μόνο η R1 ενώ η R2 μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει μηδενική τιμή. Με τις εξισώσεις (2.19 & 2.20) υπολογίζουμε τα όρια που μπορεί να κυμανθεί η ελάχιστη τιμή του ολικού ρεύματος όταν η ρυθμιζόμενη αντίσταση είναι στην μέγιστη τιμή της, μπορούμε να πούμε +-10,5% από την ονομαστική του τιμή. Με τις εξισώσεις (2.21 & 2.22) υπολογίζουμε τα όρια που μπορεί να κυμανθεί η μέγιστη τιμή της τάσης επάνω στην R2 όταν η ρυθμιζόμενη αντίσταση είναι στην μέγιστη τιμή της ενώ η ελάχιστη τιμή της τάσης θα πρέπει να θεωρηθεί ότι είναι μηδέν. Τέλος με τις εξισώσεις (2.23 & 2.24) υπολογίζουμε την τάση επάνω στην R1 κατ' αντιστοιχία με την τάση στην R2. Στον πίνακα 2-1 συγκεντρώνουμε όλα τα αποτελέσματα των θεωρητικών υπολογισμών, ενώ στον πίνακα 2-2 τις διακυμάνσεις των μεταβλητών έχοντας υπόψη τις ανοχές των αντιστάσεων.

Πίνακας 2-1 : Θεωρητικοί υπολογισμοί μεταβλητών.

Μεταβλητή	Θεωρητικά Ονομαστική τιμή	Μεταβλητή με ανοχή	Θεωρητικά Ονομαστική τιμή με ανοχή
R1	10 KΩ	R1Max (+-1%)	9900 Ω έως 10100 Ω
R2 (Min έως Max)	0 Ωhm έως 10 KΩ	R2 Max (+- 20%)	8 KΩ έως 12 KΩ
Ro (Min έως Max)	10KΩ έως 20 KΩ	Ro (Min -1%)	9900 Ω
VR1 (Min έως Max)	2,5 V έως 5 V	Ro (Min +1%)	10100 Ω
VR2 (Min έως Max)	0 V έως 2,5 V	Ro (Max -10,5%)	17900 Ω
Vr	5 V	Ro (Max +10,5%)	22100 Ω
I (Min έως Max)	0,25 mA έως 0,5 mA	I (Min)	Από 0,226mA έως 0,279mA
		I (Max)	Από 0,495mA έως 0,505mA
		VR2 (Max)	Από 2,237V έως 2,762V
		VR1 (Min)	Από 2,77 V έως 2,24 V

Όσον αφορά τις ανοχές των αντιστάσεων άρα κατ' επέκταση και των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του κυκλώματος αντιστάσεων σε σειρά μπορούμε να πούμε ότι ισχύει :

$$total \ tolerance = \frac{1}{R_{total}} \sum_{i=1}^n tolerance \ i * R_i \quad (2.25)$$

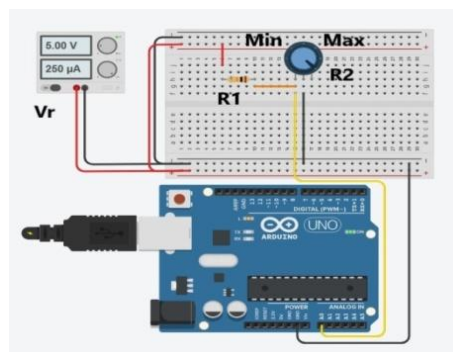
Πίνακας 2-2: Διακυμάνσεις μεγεθών με βάση την ανοχή των αντιστάσεων.

R1 (Ω)			R2(Ω)		
Min -1%	Typ	Max +1%	Min -20%	Typ (end to end)	Max +20%
9900	10000	10100	8000	10000	12000
			Ro Max(Ω)		
			Min -10.5%	Typ	Max +10.5%
			17900	20000	22100
I Min (mA)			I Max (mA)		
Min -10,5%	Typ	Max +10.5%	Min -1%	Typ	Max +1%
0,2237	0,25	0.2762	0.495	0,5	0.505
VR2 Max			VR1 Min		
Min -10,5%	Typ	Max +10.5%	Min -10,5%	Typ	Max +10.5%
2,2375	2,5	2,7625	2,24	2,5	2,77

2.3 Σύνδεση κυκλώματος – προγραμματισμός– μετρήσεις.

2.3.1 Σύνδεση του κυκλώματος.

Το κύκλωμά μας θα πραγματοποιηθεί επάνω σε ένα bread board (ράστερ). Αν και το κύκλωμα είναι απλό και δεν έχει μεγάλες απαιτήσεις σε ρεύμα και μπορεί να τροφοδοτηθεί από το ίδιο το Arduino εμείς θα το τροφοδοτήσουμε από ένα τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος έτσι ώστε να επιτύχουμε σίγουρα σταθερή και ακριβή τιμή της τάσης τροφοδοσίας. Εδώ θα πρέπει να δώσουμε μια ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην συνδέσουμε τον θετικό ακροδέκτη τροφοδοσίας του Arduino, εκτός απ' την γείωση η οποία είναι απαραίτητη για την λήψη αναφοράς της 0V τάσης για το σύστημα.

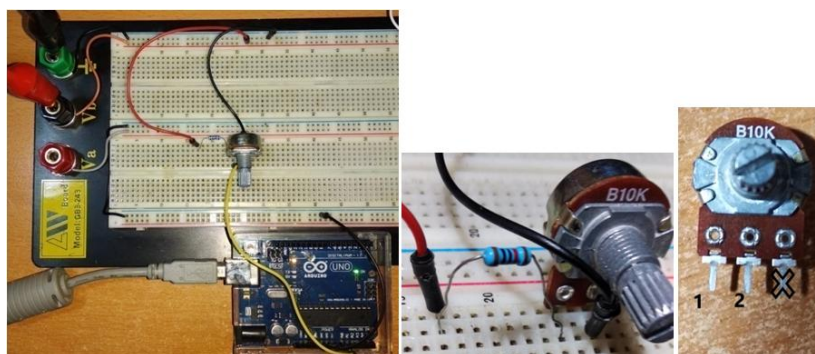


Εικόνα 2.2 : Το κύκλωμα σε ράστερ.

Στην εικόνα 2.2 βλέπουμε την σύνδεση του Arduino στο κύκλωμα, σύμφωνα με την οποία η αναλογική είσοδος A0 συνδέεται στο αριστερό άκρο της μεταβλητής αντίστασης R2. Στον παρακάτω πίνακα υπάρχουν όλα τα υλικά και τα εργαστηριακά όργανα και υλικά του πάγκου που θα χρησιμοποιήσουμε. Στον πίνακα 2-3 έχουμε συγκεντρωμένα όλα τα υλικά και τα όργανα μέτρησης που θα χρειαστούμε για την πραγματοποίηση του κυκλώματος. Τέλος στην εικόνα 2.3 έχουμε μια φωτογραφία του πραγματικού κυκλώματος και φωτογραφίες για το πώς πρέπει να συνδεθεί η μεταβλητή αντίσταση, συνδέουμε τους ακροδέκτες 1,2.

Πίνακας 2-3 : Υλικών και οργάνων του κυκλώματος.

Υλικά	Ποσότητα	Όργανα	Ποσότητα
Πλακέτα ανάπτυξης κυκλωμάτων (ράστερ).	1	Ψηφιακό Πολύμετρο με ακροδέκτες μετρήσεων.	1
Πλακέτα Arduino Uno.	1	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης DC.	1
Καλώδιο σύνδεσης USB.	1	Καλώδια συνδέσεων (μικρά).	4
Αντίσταση 10 KΩ / 1% / ¼ W.	1	Ζευγάρι καλωδίων Σύνδεσης τροφοδοτικού με ράστερ.	1
Ρυθμιζόμενη αντίσταση 10 KΩ / LIN / + - 20 % / 0,4 W.	1		



Εικόνα 2.3 : Το πραγματικό κύκλωμα – σύνδεση μεταβλητής αντίστασης.

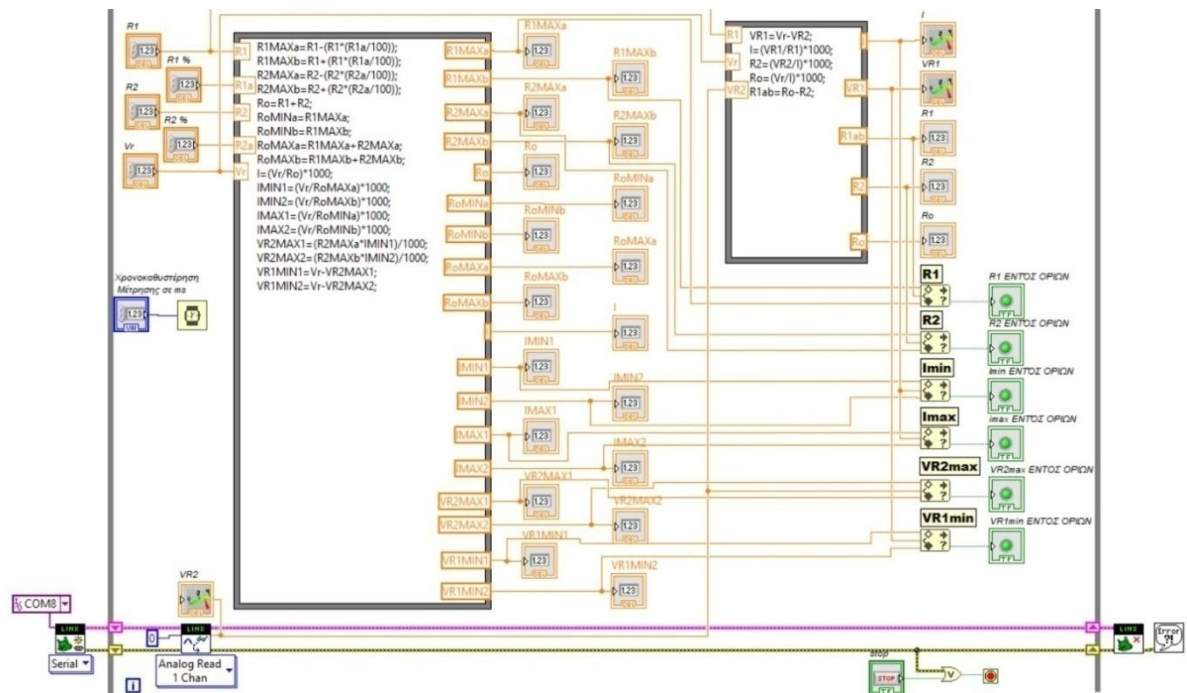
2.3.2 Προγραμματισμός του συστήματος.

Αφού έχουμε συνδέσει το κύκλωμά μας θα πρέπει να προγραμματίσουμε το αναπτυξιακό μας σύστημα μέσω του LabView. Στο παράρτημα Α παραθέτουμε ένα μικρό απόσπασμα για την γενική διαδικασία προγραμματισμού που θα πρέπει να ακολουθήσουμε, φυσικά θα πρέπει να γνωρίζουμε πώς να εργαστούμε στο περιβάλλον του LabView. Το πρόγραμμά μας μπορεί να θεωρηθεί ότι χωρίζεται σε τρεις ενότητες. Στην πρώτη ενότητα εισάγουμε τις μεταβλητές στην ονομαστική τους τιμή, καθώς και τις ανοχές και ζητάμε να γίνουν όλοι οι υπολογισμοί σύμφωνα με την θεωρητική μας ανάλυση, όρια αντιστάσεων, ολικής αντίστασης, ρεύματος και τάσεων. Στην δεύτερη ενότητα κάνουμε τους υπολογισμούς μας βάση των ονομαστικών τιμών και της μέτρησης της τάσης VR2 από το Arduino. Τέλος στην τρίτη ενότητα ελέγχουμε εάν οι τιμές μας είναι εντός των ορίων που υπολογίσαμε. Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζουμε το πρόγραμμα που έχουμε δημιουργήσει στο περιβάλλον Block Diagram του LabView.

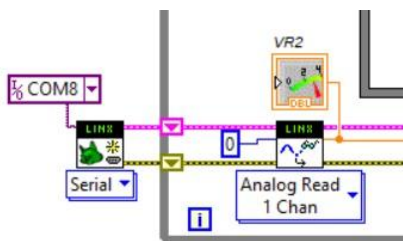
2.3.2.1 Block Diagram.

Στην εικόνα 2.4 βλέπουμε όλο το πρόγραμμα που θα πρέπει να αναπτύξουμε στο περιβάλλον Block Diagram του LabView. Στην εικόνα 2.5 παρατηρούμε από κοντά τα μπλοκ που χρησιμοποιούμε για να ανοίξουμε το κανάλι επικοινωνίας μέσω της θύρας USB για να πραγματοποιήσουμε την μέτρηση από το αναλογικό κανάλι A0 του Arduino και το όργανο απεικόνισης της τάσης VR2. Στην εικόνα 2.6 βλέπουμε τον διακόπτη μπουτόν (STOP) για την χειροκίνητη διακοπή της λειτουργίας του προγράμματος, μία πύλη OR η οποία σταματάει την λειτουργία του προγράμματος όταν υπάρξει κάποιο σφάλμα κατά την διαδικασία εκτέλεσης και τέλος το μπλοκ το οποίο κλείνει την επικοινωνία με το Arduino και το μπλοκ περιγραφής σφάλματος. Τέλος στην εικόνα 2.7 εισάγουμε μια τεχνητή

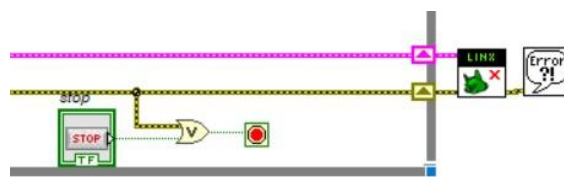
χρονοκαθυστέρηση για να πετύχουμε μια σταθερή μέτρηση, ούτως ή άλλως δεν μετράμε κάποιο φαινόμενο που αλλάζει πολύ γρήγορα τιμές.



Εικόνα 2.4 : Το Πρόγραμμα του LabView–Block Diagram.



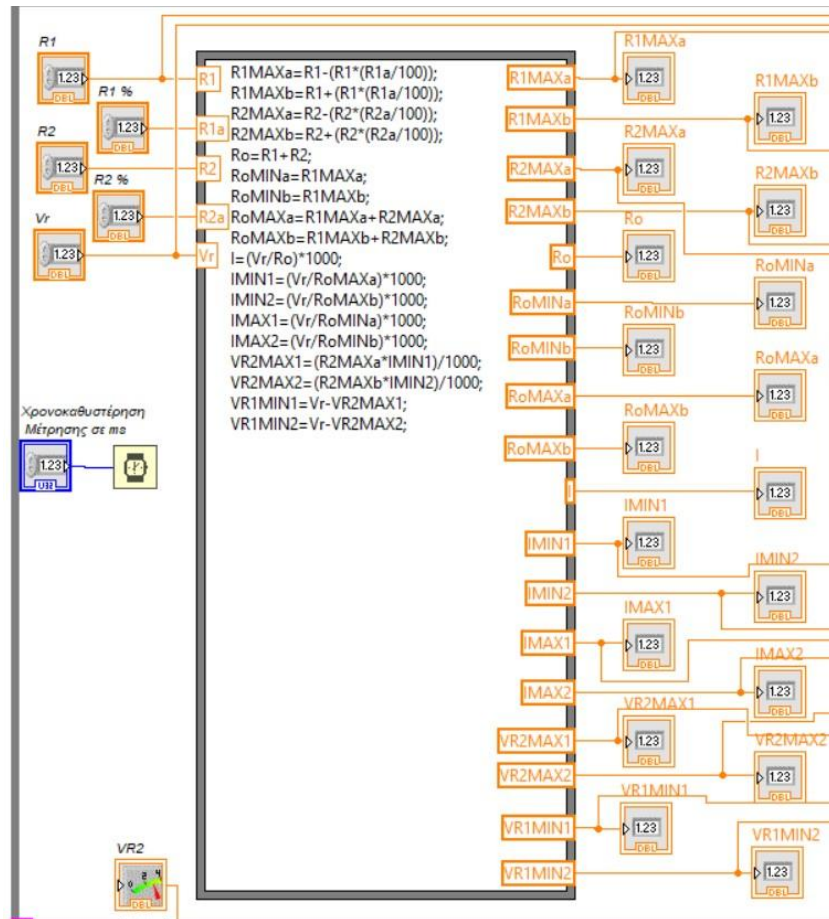
Εικόνα 2.5 : Block Diagram - Επικοινωνία, ενεργοποίηση και μέτρηση με το αναλογικό κανάλι του Arduino.



Εικόνα 2.6 : Block Diagram – Απενεργοποίηση επικοινωνίας, διακόπτης τερματισμού και έλεγχος σφαλμάτων.



Εικόνα 2.7 :Block Diagram – Εισαγωγή χρονοκαθυστέρησης μεταξύ των μετρήσεων.



Εικόνα 2.8: Block Diagram – Θεωρητικοί υπολογισμοί και απεικόνιση αποτελεσμάτων.

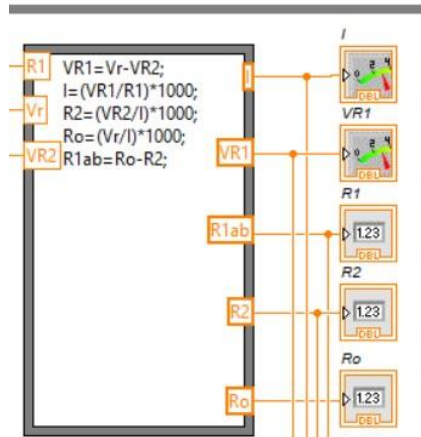
```

R1MAXa=R1-(R1*(R1a/100));
R1MAXb=R1+(R1*(R1a/100));
R2MAXa=R2-(R2*(R2a/100));
R2MAXb=R2+(R2*(R2a/100));
Ro=R1+R2;
RoMINa=R1MAXa;
RoMINb=R1MAXb;
RoMAXa=R1MAXa+R2MAXa;
RoMAXb=R1MAXb+R2MAXb;
I=(Vr/Ro)*1000;
IMIN1=(Vr/RoMAXa)*1000;
IMIN2=(Vr/RoMAXb)*1000;
IMAX1=(Vr/RoMINa)*1000;
IMAX2=(Vr/RoMINb)*1000;
VR2MAX1=(R2MAXa*IMIN1)/1000;
VR2MAX2=(R2MAXb*IMIN2)/1000;
VR1MIN1=Vr-VR2MAX1;
VR1MIN2=Vr-VR2MAX2;

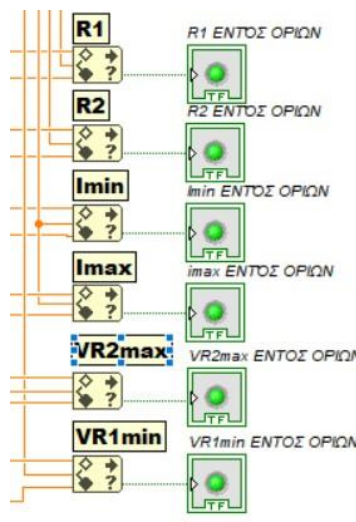
```

Εικόνα 2.9 : Block Diagram – Εισαγωγή τύπων για τους θεωρητικούς υπολογισμούς.

Στην εικόνα 2.8 βλέπουμε το formula Node στο οποίο εισάγουμε τους τύπους (Εικόνα 2.9) που αναπτύξαμε στην θεωρητική ανάλυση, επίσης τοποθετούμε τις μεταβλητές εισόδου και τα απαραίτητα στοιχεία για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Οι πολλαπλασιασμοί και οι διαιρέσεις με το 1000 γίνονται για την μετατροπή των mA.



Εικόνα 2.10 : Block Diagram – Formula Node – Μέτρηση και υπολογισμός μεταβλητών βάση μέτρησης.

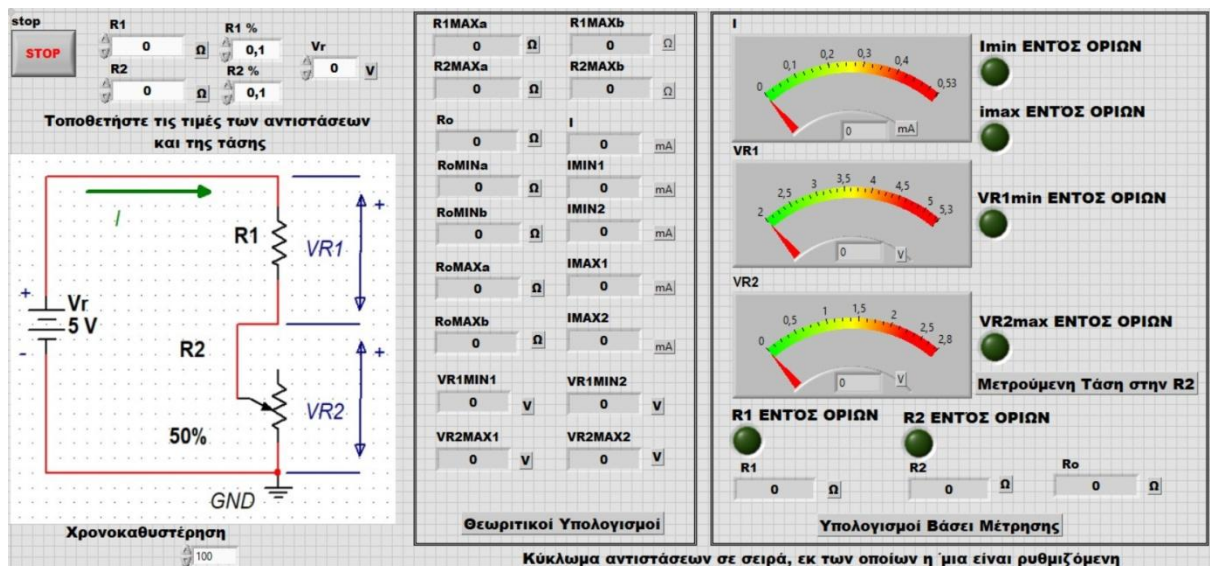


Εικόνα 2.11 : Block Diagram – Σύγκριση των αποτελεσμάτων εάν είναι εντός των ορίων.

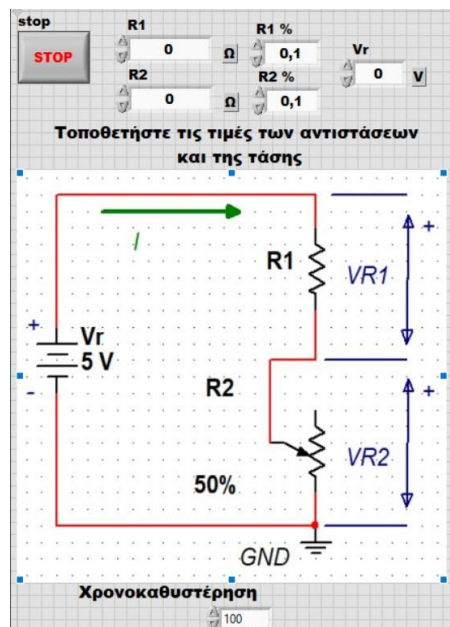
Στην εικόνα 2.10 βλέπουμε την διαδικασία υπολογισμού των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του κυκλώματος έχοντας πραγματοποιήσει την μέτρηση της τάσης VR2. Στην αρχή υπολογίζουμε την πτώση τάσης επάνω στην αντίσταση R1, την VR1, μετά το ολικό ρεύμα του κυκλώματος I, χρησιμοποιώντας την ονομαστική τιμή της αντίστασης R1, στην συνέχεια υπολογίζουμε την R2, την ολική αντίσταση Ro και τέλος ξανά υπολογίζουμε την R1 για να δούμε εάν είναι εντός των ορίων που έχουμε υπολογίσει στο θεωρητικό μέρος. Στην εικόνα 2.11 συγκρίνουμε τους υπολογισμούς και την μέτρηση με τα όρια που υπολογίσαμε στην θεωρία, εάν είναι εντός ορίων ενεργοποιείται ένα πράσινο LED.

2.3.2.2 Front Panel.

Στις επόμενες εικόνες θα σας παρουσιάσουμε την εξωτερική όψη του προγράμματος, την διεπαφή δηλαδή με τον χρήστη, που ονομάζεται Front Panel. Μέσα από αυτό προσπαθήσαμε να δώσουμε στον χρήστη μια κατανοητή και εύκολη οπτική διαδικασία αναγνώρισης των δεδομένων των υπολογισμών και τις μετρήσεις.

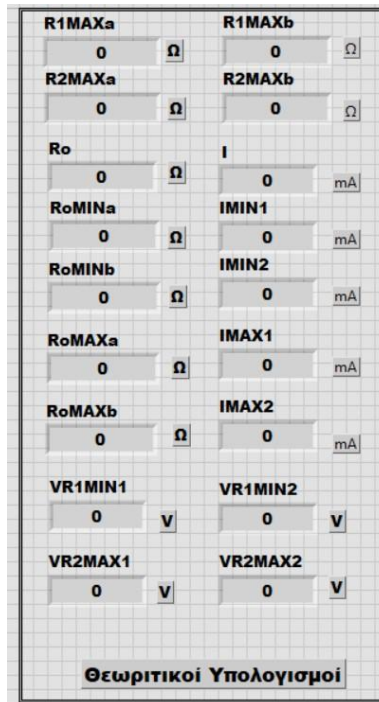


Εικόνα 2.12 : Front Panel – Η διεπαφή του χρήστη.

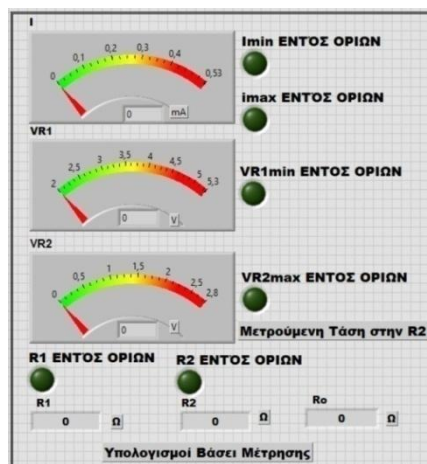


Εικόνα 2.13 : Front Panel – Το κύκλωμα και η εισαγωγή των δεδομένων στις ονομαστικές τους τιμές.

Στην εικόνα 2.12, βλέπουμε την διεπαφή του χρήστη με το πρόγραμμα. Χωρίζεται σε τρεις ενότητες, η πρώτη ενότητα από αριστερά είναι η εικόνα 2.13, στην οποία ο χρήστης τοποθετεί τις μεταβλητές του κυκλώματος που βλέπει από κάτω στην εικόνα, στις ονομαστικές τους τιμές. Επίσης εισάγει μια χρονοκαθυστέρηση (κατά ελάχιστο 100ms) ως τεχνητή καθυστέρηση από τη μία μέτρηση στην άλλη. Στην εικόνα 2.14 ο χρήστης μπορεί να δει τα αποτελέσματα των θεωρητικών υπολογισμών που έκανε το πρόγραμμα βάσει των δεδομένων που εισήγαγε. Και τέλος στην εικόνα 2.15 ο χρήστης μπορεί να δει την μέτρηση την οποία κάνει το μικροϋπολογιστικό σύστημα και τους υπολογισμούς που προκύπτουν βάση αυτής της μέτρησης, καθώς και να ελέγξει εάν οι υπολογισμοί και η μέτρηση είναι εντός των θεωρητικών ορίων μέσω ενός LED, που όταν θα είναι πράσινο θα είναι μια ένδειξη ότι είναι εντός των ορίων.



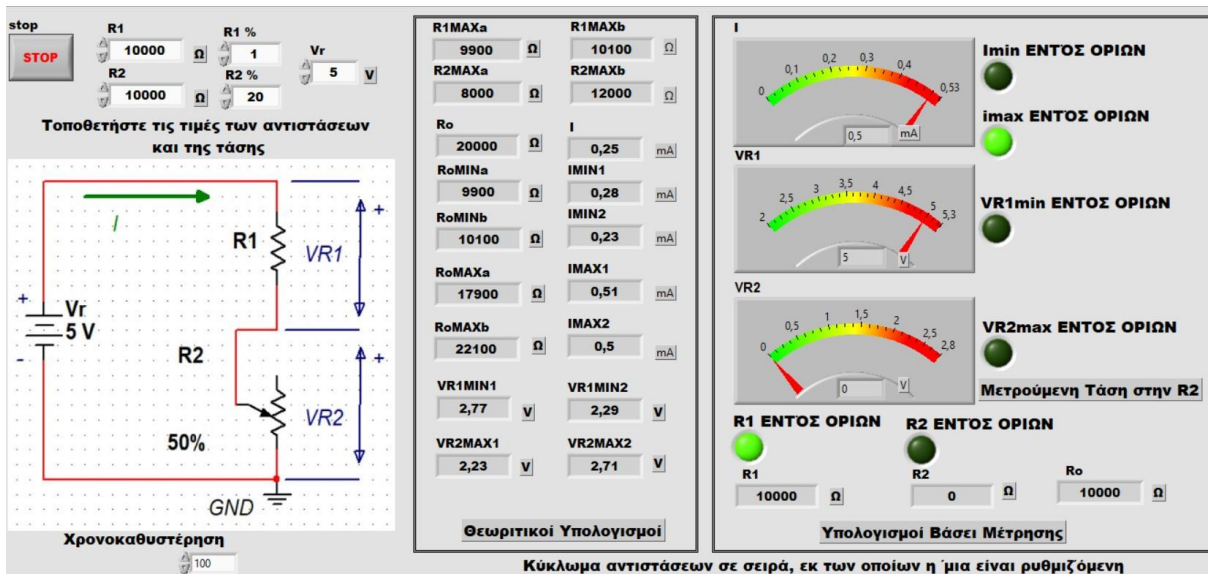
Εικόνα 2.14 :Front Panel – Απεικόνιση θεωρητικών υπολογισμών.



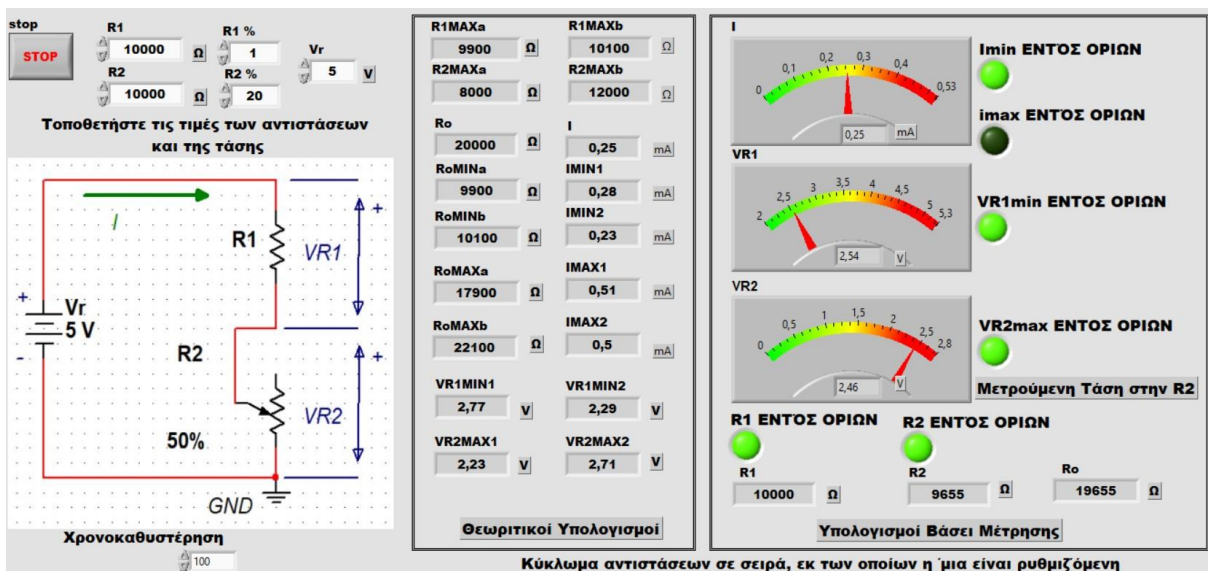
Εικόνα 2.15 : Front Panel – Απεικόνιση μέτρησης και υπολογισμών λυχνίες απεικόνισης εντός ορίων.

2.3.3 Διαδικασία μέτρησης και πίνακας μετρήσεων.

Αφού τοποθετήσουμε τα εξαρτήματα στο ράστερ και κάνουμε τους απαραίτητους ελέγχους, συνδέουμε το Arduino στο ράστερ και στον Η/Υ μέσω USB και ανοίγουμε το τροφοδοτικό, επιλέγουμε την σωστή θύρα επικοινωνίας και πιέζουμε το κουμπί RUN στο front panel. Στις επόμενες εικόνες παραθέτουμε τις ενδείξεις όταν η αντίσταση R2 είναι στο ελάχιστο εικόνα 2.16 και όταν είναι στο μέγιστο της εικόνα 2.17.



Εικόνα 2.16 : Front Panel – Η αντίσταση R2 στο ελάχιστο.



Εικόνα 2.17 : Front Panel – Η αντίσταση R2 στο μέγιστο.

Στον πίνακα 2-4, δίνουμε συνολικά όλους τους υπολογισμούς και τις μετρήσεις του κυκλώματος μας, στην πρώτη στήλη έχουμε την ονομασία τις μεταβλητής, στην δεύτερη την θεωρητικά ονομαστική τιμή και τους υπολογισμούς, στην τρίτη τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς από το Arduino, στην τέταρτη στήλη μετρήσεις που έγιναν με ένα ψηφιακό πολύμετρο της METEX, στην πέμπτη στήλη το όνομα της μεταβλητής με την ανοχή και τα όρια της και τέλος στην έκτη στήλη την θεωρητικά υπολογισμένη τιμή λαμβάνοντας υπόψη την ανοχή. Από τα αποτελέσματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι μετρήσεις μας είναι πολύ κοντά στις θεωρητικά υπολογισμένες λαμβάνοντας υπόψη την ακρίβεια και την ανοχή του πολυμέτρου, την ακρίβεια μετατροπής του ADC του μικροϋπολογιστικού συστήματος, τις στρογγυλοποιήσεις από τις πράξεις, καθώς και τις ανοχές του ράστερ (bread board). Λόγω του ότι έπρεπε να λάβουμε μία αντίσταση ως σταθερή τιμή, η αντίσταση R1 θα είναι πάντα εντός ορίων και το LED θα είναι πράσινο, εκτός και εάν αλλάξουμε την R1 με μία ρυθμιζόμενη οπότε και εκεί θα μπορούμε να δούμε εάν θα είναι εντός των ορίων.

Πίνακας 2-4 : Τελικός πίνακας υπολογισμών και μετρήσεων 1^ο κυκλώματος.

Μεταβλητή	Θεωρητικά Ονομαστική τιμή	Μετρήσεις με το Arduino	Μετρήσεις με πολύμετρο	Μεταβλητή με ανοχή	Θεωρητικά Ονομαστική τιμή με ανοχή
R1	10 ΚΩ	10000 Ω	9968 Ω	R1Max (+- 1%)	9900 Ω έως 10100 Ω
R2 (Min έως Max)	0 Ωhm έως 10 ΚΩ	Από 0 έως 9655 Ω	Από 3 έως 9768 Ω	R2 Max (+- 20%)	8 ΚΩ έως 12 ΚΩ
Ro (Min έως Max)	10ΚΩ έως 20 ΚΩ	Από 10000 έως 19655 Ω	Από 9972 έως 19940 Ω	Ro (Min - +1%)	9900 Ω έως 10100 Ω
VR1 (Min έως Max)	2,5 V έως 5 V	Από 2,54 V έως 5 V	2,52 V έως 5 V	Ro (Max - +21%)	17900 Ω έως 22100 Ω
VR2 (Min έως Max)	0 V έως 2,5 V	Από 0 V έως 2,46	0,001V έως 2,48 V	I (Min)	Από 0,226 mA έως 0,279 mA
Vr	5 V		5 V	I (Max)	Από 0,495 mA έως 0,505 mA
I (Min έως Max)	0,25 mA έως 0,5 mA	0,25 έως 0,5 mA	0,24 mA έως 0,49 mA	VR2 (Max)	Από 2,237 V έως 2,762V
				VR1 (Min)	Από 2,77 V έως 2,24 V

2.4 Εκπαιδευτική χρήση.

Ο μαθητής ή ο σπουδαστής σε αυτήν την άσκηση να εμπεδώσει την θεωρία που διέπει της συνδεσμολογίας των εν σειρά αντιστάσεων και να διαπιστώσει πως επηρεάζουν οι ανοχές των αντιστάσεων στις μετρήσεις των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του κυκλώματος, επίσης μπορεί να χρησιμοποιήσει αντιστάσεις διαφορετικής ακρίβειας και να υπολογίσει την επίδρασή τους στο κύκλωμα, μπορεί να βάλει στην θέση της R1 και εκεί μια ρυθμιζόμενη αντίσταση ή να αλλάξει θέση μεταξύ των δύο αντιστάσεων. Επίσης μπορεί με την βοήθεια του καθηγητή να τροποποιήσει τους τύπους των πρακτικών υπολογισμών και να θεωρήσει την μία αντίσταση άγνωστη και να καταλήξει μέσω των υπολογισμών στην τιμή της, καθώς και να χρησιμοποιήσει τον τύπο υπολογισμού της πτώσης τάσης σε αντιστάτη του διαιρέτη τάσης. Για την εκπαιδευτική χρήση του κυκλώματος αυτού υπάρχουν διαθέσιμα και τα φύλλα πορείας της άσκησης στο παράρτημα Β.

2.5 Επίλογος

Στην ενότητα 2.2 πραγματοποιήσαμε τους θεωρητικούς υπολογισμούς του κυκλώματος, στην ενότητα 2.3 υλοποιήσαμε το κύκλωμα σε ράστερ και πραγματοποιήσαμε τις μετρήσεις και τους απαραίτητους υπολογισμούς για να επιβεβαιώσουμε την θεωρία συγκεντρώνοντας γι' αυτόν τον λόγο όλα τα αποτελέσματα σε έναν πίνακα, πίνακας 2.3. Τέλος στην ενότητα 2.4 παραθέσαμε ως επιλογή και κάποια άλλα εκπαιδευτικά σενάρια που μπορούν να διεξαχθούν απ' αυτό το σύστημα.

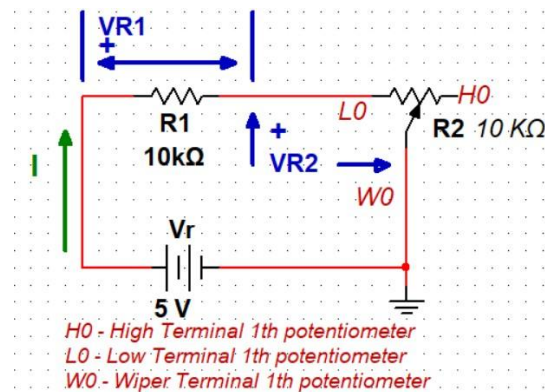
3. Κεφάλαιο 3^ο: Αντιστάσεις σε σειρά με την χρήση ψηφιακά ρυθμιζόμενης αντίστασης (Digital potentiometer).

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε το κύκλωμα του προηγούμενου κεφαλαίου, που αφορά την συνδεσμολογία δύο αντιστάσεων σε σειρά, με την διαφορά ότι εδώ ως ρυθμιζόμενη αντίσταση χρησιμοποιούμε μια ψηφιακά ρυθμιζόμενη αντίσταση. Θα αναδείξουμε τα πλεονεκτήματα της χρήσης της και θα αναλύσουμε το κύκλωμα θεωρητικά και μετά θα το εξετάσουμε πρακτικά μέσω του συστήματός μας.

3.2 Θεωρητική ανάλυση

Το κύκλωμα μας στην εικόνα 3.1, είναι ακριβώς το ίδιο με το προηγούμενο, έχουμε μια σταθερή ωμική αντίσταση την R1 με τιμή 10 KΩ η οποία είναι συνδεδεμένη σε σειρά με μία ψηφιακά ρυθμιζόμενη αντίσταση των 10 KΩ. Το ένα άκρο της R1 συνδέεται με το άνω (LO) άκρο της ρυθμιζόμενης αντίστασης, η οποία είναι σε συνδεσμολογία ροοστάτη. Η τάση τροφοδοσίας παραμένει η ίδια 5V. Για τους υπολογισμούς μας θα χρησιμοποιήσουμε την ονομαστική τιμή της R1 και την τάση της πηγής ως σταθερή στα 5 V και ως τιμή στην R2 θα χρησιμοποιήσουμε την μέγιστη ονομαστική τιμή της ψηφιακής αντίστασης την 10 KΩ η οποία όμως είναι σε σειρά με την τυπική τιμή της αντίστασης των Rwo=400 Ω του δρομέα, άρα 10400 Ω. Ως ελάχιστη τιμή στην R2 την 400 Ω (R2min=Rwo). σύμφωνα με τις τεχνικές πληροφορίες από το φυλλάδιο των τεχνικών δεδομένων της ψηφιακής αντίστασης (5).



Εικόνα 3.1 : Το κύκλωμα των αντιστάσεων σε σειρά με την χρήση ψηφιακής αντίστασης.

Επιλύοντας το κύκλωμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις του 2^ο κανόνα του Kirchhoff και του νόμου του Ohm και του κυκλώματος αντιστάσεων σε σειρά. (2) (3) (4).

$$R_o(\text{Min}) = R1 + R2 (\text{Min}) = 10 \text{ K}\Omega + 400 \Omega_{hm} = 10400 \Omega \quad (3.1)$$

$$R_o(\text{Max}) = R1 + (R2(\text{Max}) + Rwo) = 10 \text{ K}\Omega + 10400 \Omega = 20400 \Omega \quad (3.2)$$

$$I(\text{Max}) = \frac{V_r}{R_o(\text{Min})} = \frac{5 \text{ V}}{10400 \Omega} = 0,0004807 \text{ A} = 0,481 \text{ mA} \quad (3.3)$$

$$I(\text{Min}) = \frac{V_r}{R_o(\text{Max})} = \frac{5 \text{ V}}{20400 \Omega} = 0,000245 \text{ A} = 0,245 \text{ mA} \quad (3.4)$$

$$VR2(\text{Min}) = R2 (\text{Min}) * I(\text{Max}) = 400 \Omega * 0,48 \text{ mA} = 0,192 \text{ V} \quad (3.5)$$

$$VR2(\text{Max}) = R2(\text{Max}) * I(\text{Min}) = 10400 \Omega * 0,245 \text{ mA} = 2,548 \text{ V} \quad (3.6)$$

$$VR1(\text{Max}) = V_r - VR2(\text{Min}) = 5 \text{ V} - 0,192 \text{ V} = 4,808 \text{ V} \quad (3.7)$$

$$VR1(\text{Min}) = V_r - VR2(\text{Max}) = 5 \text{ V} - 2,548 \text{ V} = 2,452 \text{ V} \quad (3.8)$$

$$R1 \text{ MAXa}(-1\%) = 10000 \Omega - \left(\frac{1}{100}\right) * 10000 = 10000 \Omega - 100 \Omega = 9900 \Omega \quad (3.9)$$

$$R1 \text{ MAXb}(+1\%) = 10000 \Omega + \left(\frac{1}{100}\right) * 10000 = 10000 \Omega + 100 \Omega = 10100 \Omega \quad (3.10)$$

$$R2 \text{ MAXa}(-20\%) = 10000 \Omega - \left(\frac{20}{100}\right) * 10000 + R_{wo} = 10000 \Omega - 2000 \Omega + 400 \Omega = 8400 \Omega \quad (3.11)$$

$$R2 \text{ MAXb}(+20\%) = 10000 \Omega + \left(\frac{20}{100}\right) * 10000 + R_{wo} = 10000 \Omega + 2000 \Omega + 400 \Omega = 12400 \Omega \quad (3.12)$$

Με τις εξισώσεις (3.1 & 3.2) υπολογίζουμε την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή της ολικής αντίστασης όταν η ρυθμιζόμενη αντίσταση είναι στο ελάχιστο και στο μέγιστο κατ' αντιστοιχία. Για τον υπολογισμό της ελάχιστης ολικής αντίστασης (3.1) λαμβάνουμε υπόψη την τυπική αντίσταση του δρομέα R_{wo} . Το ίδιο θα πούμε και για τις εξισώσεις (3.3 – 3.8) στις οποίες υπολογίζουμε την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή του ρεύματος και τις τάσεις στις αντιστάσεις, ανάλογα με την τιμή της ολικής αντίστασης. Με τις εξισώσεις (3.9 – 3.12) υπολογίζουμε την διακύμανση της μέγιστης τιμής των αντιστάσεων βάσει των ανοχών που έχουν. Βάση αυτών θα πρέπει να ξανά υπολογίσουμε την ολική αντίσταση, το ρεύμα και τις τάσεις για να δούμε μέσα σε ποια όρια θα κυμανθούν οι μετρήσεις μας. Η ολική αντίσταση θα κυμαίνεται $\pm 10,5\%$, από την ονομαστική τιμή της, προσθέτοντας σε αυτήν και την αντίσταση του δρομέα R_{wo} δηλαδή από $18300 \Omega - 22500 \Omega$.

$$R_o(1 \text{ Min}) = R1 \text{ MAXa}(-1\%) + R_{wo} = 9900 \Omega + 400 \Omega = 10300 \Omega \quad (3.13)$$

$$R_o(2 \text{ Min}) = R1 \text{ MAXb}(+1\%) + R_{wo} = 10100 \Omega + 400 \Omega = 10500 \Omega \quad (3.14)$$

$$R_o(1 \text{ Max}) = R2 \text{ MAXa}(-20\%) + R1 \text{ MAXa}(-1\%) = 8400 \Omega + 9900 \Omega = 18300 \Omega \quad (3.15)$$

$$R_o(2 \text{ Max}) = R2 \text{ MAXb}(+20\%) + R1 \text{ MAXb}(+1\%) = 12400 \Omega + 10100 \Omega = 22500 \Omega \quad (3.16)$$

$$I(\text{Max 1}) = \frac{V_r}{R_o(1 \text{ Min})} = \frac{5 \text{ V}}{10300 \Omega} = 0,0004854 \text{ A} = 0,485 \text{ mA} \quad (3.17)$$

$$I(\text{Max 2}) = \frac{V_r}{R_o(2 \text{ Min})} = \frac{5 \text{ V}}{10500 \Omega} = 0,0004761 \text{ A} = 0,476 \text{ mA} \quad (3.18)$$

$$I(\text{Min 1}) = \frac{V_r}{R_o(1 \text{ Max})} = \frac{5 \text{ V}}{18300 \Omega} = 0,0002732 \text{ A} = 0,273 \text{ mA} \quad (3.19)$$

$$I(\text{Min 2}) = \frac{V_r}{R_o(2 \text{ Max})} = \frac{5 \text{ V}}{22500 \Omega} = 0,0002222 \text{ A} = 0,222 \text{ mA} \quad (3.20)$$

$$VR2(\text{Max 1}) = R2 \text{ MAXa}(-20\%) * I(\text{Min 1}) = 8400 \Omega * 0,273 \text{ mA} = 2,293 \text{ V} \quad (3.21)$$

$$VR2(\text{Max 2}) = R2 \text{ MAXb}(+20\%) * I(\text{Min 2}) = 12400 \text{ K}\Omega * 0,222 \text{ mA} = 2,752 \text{ V} \quad (3.22)$$

$$VR1(\text{Min 1}) = V_r - VR2(\text{Max 1}) = 5 \text{ V} - 2,293 \text{ V} = 2,707 \text{ V} \quad (3.23)$$

$$VR1(\text{Min 2}) = V_r - VR2(\text{Max 2}) = 5 \text{ V} - 2,752 \text{ V} = 2,248 \text{ V} \quad (3.24)$$

Με τις εξισώσεις (3.13 - 3.16) υπολογίζουμε τα όρια που μπορεί να κυμανθεί η ολική αντίσταση του κυκλώματος από την ελάχιστη τιμή, όταν η ρυθμιζόμενη αντίσταση είναι στην ελάχιστη τιμή της, έως την μέγιστη τιμή, όταν η ρυθμιζόμενη αντίσταση είναι στην μέγιστη τιμή της. Στον υπολογισμό της

ελαχίστης τιμής της ολικής αντίστασης λαμβάνουμε υπόψη και την αντίσταση του δρομέα. Με τις εξισώσεις (3.17 - 3.20) υπολογίζουμε τα όρια που μπορεί να κυμανθεί η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του ολικού ρεύματος όταν η ρυθμιζόμενη αντίσταση είναι στην μέγιστη ή στην ελάχιστη τιμή της αντίστοιχα. Με τις εξισώσεις (3.21 & 3.22) υπολογίζουμε τα όρια που μπορεί να κυμανθεί η μέγιστη τιμή της τάσης επάνω στην R2 όταν η ρυθμιζόμενη αντίσταση είναι στην μέγιστη τιμή της ενώ η ελάχιστη τιμή της τάσης αυτής υπολογίστηκε από την εξίσωση (3.5). Τέλος με τις εξισώσεις (3.23 & 3.24) υπολογίζουμε τα όρια διακύμανσης της ελάχιστης τάσης επάνω στην R1 κατά αντιστοιχία με την τάση στην R2, η μέγιστη υπολογίστηκε στην εξίσωση (3.7). Τέλος στον πίνακα 3-1 συγκεντρώνουμε τα αποτελέσματα όλων των θεωρητικών υπολογισμών.

Πίνακας 3-1 : Θεωρητικοί υπολογισμοί μεταβλητών

Μεταβλητή	Θεωρητικά Ονομαστική τιμή	Μεταβλητή με ανοχή	Θεωρητικά Ονομαστική τιμή με ανοχή
R1	10 KΩ	R1Max (+-1%)	9900 Ω έως 10100 Ω
R2 (Min έως Max)	400 Ωhm έως 10400 Ω	R2 Max (+- 20%)	8400 Ω έως 12400 Ω
Ro (Min έως Max)	10400 Ω έως 20400 Ω	Ro (1 Min)	10300 Ω
VR1 (Min έως Max)	2,452 V έως 4.808V	Ro (2 Min)	10500 Ω
VR2 (Min έως Max)	0,192 V έως 2,548 V	Ro (1 Max)	18300 Ω
Vr	5 V	Ro (2 Max)	22500 Ω
I (Min έως Max)	0,245 mA έως 0,481 mA	I (Min)	Από 0,222mA έως 0,273mA
		I (Max)	Από 0,476mA έως 0,485mA
		VR2 (Max)	Από 2,293V έως 2,752V
		VR1 (Min)	Από 2,248 V έως 2,707 V

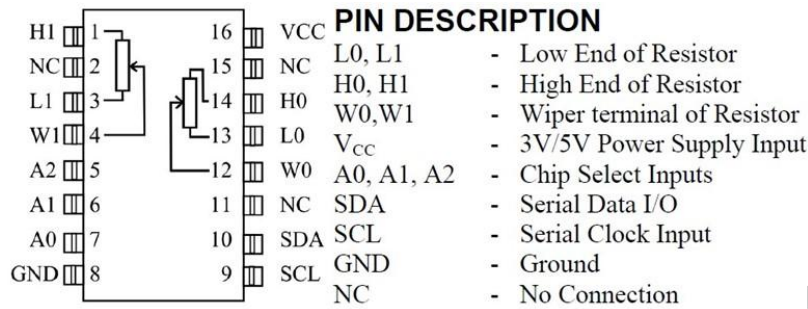
3.3 Σύνδεση κυκλώματος – προγραμματισμός – μετρήσεις.

3.3.1 Το ολοκληρωμένο DS18030 – 10 KΩ.

Πριν περάσουμε στην σύνδεση του κυκλώματος θα πρέπει να μάθουμε πώς συνδέετε και λειτουργεί το O.K. του ψηφιακού ρυθμιζόμενου αντιστάτη. Χρησιμοποιήσαμε το DS18030-10k με δυνατότητα ρύθμισης μέσω του διαύλου i2c, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε ψηφιακό ποτενσιόμετρο 10KΩ διαύλου i2c, το ολοκληρωμένο είναι της Dallas semiconductor, περιέχει δύο ποτενσιόμετρα, από τα οποία θα χρειαστούμε το ένα για το συγκεκριμένο κύκλωμα. Υπάρχει σε τιμές αντιστάσεων 10KΩ, 50KΩ και 100KΩ. (5).

Μερικά από τα χαρακτηριστικά του είναι :

- Ρύθμιση σε 256 διαφορετικές τιμές.
- Ρυθμίζεται μέσω του διαύλου i2c.
- Μέγιστο ρεύμα που μπορεί να περάσει μέσα από τον δρομέα είναι 1 mA.
- Δεν συγκρατεί την θέση του δρομέα όταν διακοπεί η τροφοδοσία του. Επανέρχεται στην θέση Low (00)₁₆.
- Τυπική αντίσταση δρομέα 400 Ω.

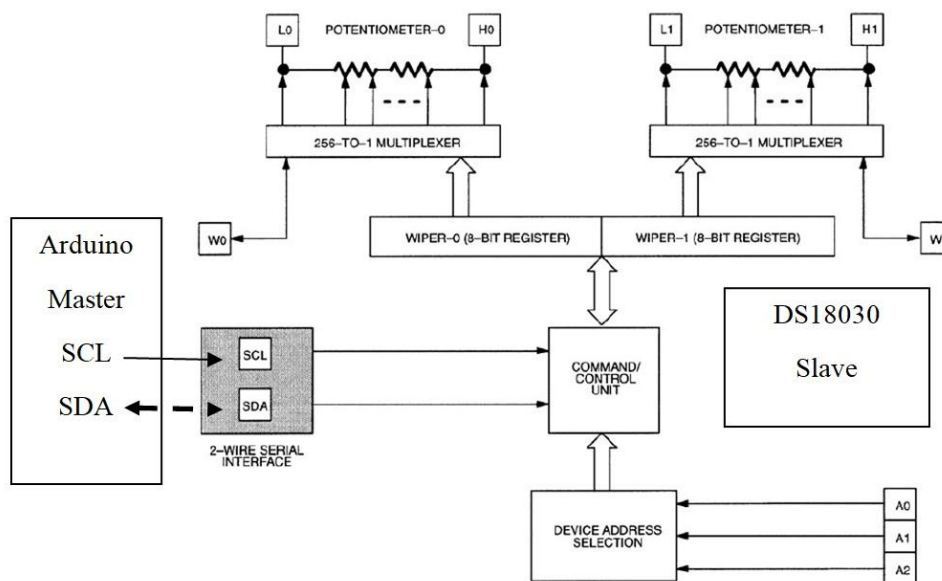


Εικόνα 3.2 : Περιγραφή των ακροδεκτών του O.K.

Σύμφωνα με εικόνα 3.2 και τις οδηγίες του τεχνικού φυλλαδίου (5), οι ακροδέκτες A0, A1 και A2 τοποθετούνται στην γείωση για να δώσουμε στο OK μια συγκεκριμένη διεύθυνση, αφού μπορούμε να τοποθετήσουμε και να ελέγξουμε μέχρι και οκτώ OK. Επιλέγουμε να συνδέσουμε την αντίσταση που βρίσκεται μεταξύ των ακροδεκτών H0, W0, L0. Συνδέουμε τους ακροδέκτες SDA & SCL με τους αντίστοιχους στο Arduino A4 & A5 (εικόνα 3.7) για να υπάρχει η απαραίτητη επικοινωνία του διαύλου i2C. Τέλος συνδέουμε την τροφοδοσία και την γείωση Vcc & GND, όλους τους υπόλοιπους ακροδέκτες μπορούμε να τους αφήσουμε ασύνδετους.

3.3.1.1 Ο προγραμματισμός του O.K. DS18030.

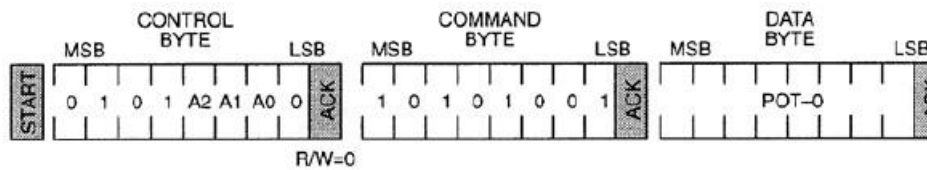
Η κάθε μία από τις δύο ρυθμιζόμενες αντιστάσεις μπορούν να πάρουν 256 διαφορετικές τιμές, σύμφωνα με έναν 8 bit καταχωρητή που αντιστοιχεί στην κάθε μια αντίσταση στο O.K. Ο δρομέας μπορεί να μετακινηθεί από την θέση H0 που αντιστοιχεί στην τιμή (FF)h έως την θέση L0 που αντιστοιχεί στην τιμή (00)h στο δεκαεξαδικό σύστημα μέτρησης. Η επικοινωνία του Arduino με το O.K πραγματοποιείται μέσα από δύο καλώδια σύνδεσης, διπλής κατεύθυνσης επικοινωνίας. Η συσκευή που στέλνει δεδομένα θα ονομάζεται πομπός και η συσκευή που θα δέχεται τα δεδομένα θα ονομάζεται δέκτης, η συσκευή που θα ελέγχει την διαδικασία θα ονομάζεται κυρίαρχη (master) και η συσκευή που θα δέχεται τον έλεγχο θα ονομάζεται υπόδουλη (slave). Στην συγκεκριμένη περίπτωση το μικροϋπολογιστικό μας σύστημα, το Arduino θα είναι η κυρίαρχη συσκευή και το O.K θα είναι η υπόδουλη συσκευή, εικόνα 3.3.



Εικόνα 3.3: Μπλοκ διάγραμμα συστήματος.

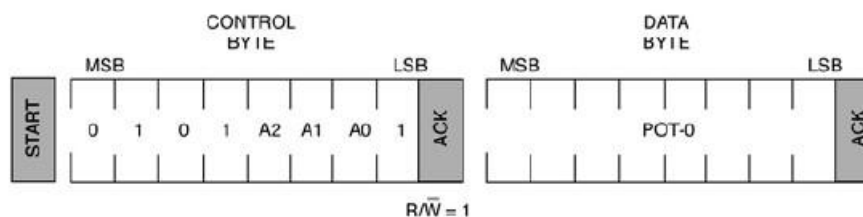
Σύμφωνα με τα παραπάνω το O.K. δουλεύει με δύο τρόπους :

Στην περίπτωση της εγγραφής δεδομένων από το Arduino ως : υπόδουλος δέκτης, στην περίπτωση αυτή τα σειριακά δεδομένα και ρολόι λαμβάνονται μέσα από τους ακροδέκτες SDA & SCL. Μετά από κάθε Byte πληροφορίας που λαμβάνεται, εκπέμπεται ένα bit αναγνώρισης. Οι καταστάσεις START & STOP αναγνωρίζονται ως η αρχή και το τέλος της σειριακής μετάδοσης. Η αναγνώριση της διεύθυνσης πραγματοποιείται από το υλικό μετά την ανάγνωση του πρώτου Byte που είναι αυτό της υπόδουλης συσκευής (slave address) και του bit κατεύθυνσης (direction bit) ως λογικό «1». Μετά ακολουθεί το Byte της εντολής και τέλος το byte των δεδομένων της θέσης του δρομέα. Στην εικόνα 3.4 βλέπουμε την σειρά των Byte που στέλνει το Arduino.



Εικόνα 3.4 : Πρωτόκολλο εγγραφής (Write Protocol).

Στην περίπτωση της ανάγνωσης δεδομένων από το Arduino ως : υπόδουλος πομπός, στην περίπτωση αυτή το O.K. μεταδίδει το πρώτο byte που είναι η διεύθυνση του (slave address) με αλλαγμένο το bit κατεύθυνσης (direction bit) σε λογικό «1». Τα επόμενα Byte είναι των δεδομένων, το πρώτο είναι του πρώτου ποτενσιόμετρου, μέσα από την γραμμή SDA ενώ το O.K. λαμβάνει παλμούς ρολογιού από το SCL. Οι καταστάσεις START & STOP αναγνωρίζονται ως η αρχή και το τέλος της σειριακής μετάδοσης. Στην εικόνα 3.5 παρατηρούμε την σειρά των byte που στέλνει το O.K. προς το Arduino.



Εικόνα 3.5: Πρωτόκολλο ανάγνωσης (Read Protocol).

Το πρώτο Byte που στέλνεται από και προς το Arduino είναι η διεύθυνση της υπόδουλης συσκευής (slave address) ή αλλιώς το byte ελέγχου (control byte). Είναι το byte της διεύθυνσης του O.K. σύμφωνα με την οποία αναφερόμαστε στο συγκεκριμένο O.K. και στην δυνατότητα εγγραφής ή ανάγνωσης της τιμής του ποτενσιόμετρου. Στον πίνακα 3-2 έχουμε κάνει τον απαραίτητο υπολογισμό και μετατροπή σε δεκαεξαδικό αριθμό του byte ελέγχου.

Πίνακας 3-2 : Η δομή του Byte ελέγχου.

0	1	0	1	0	0	0	1 or 0
Ψηφία από τον κατασκευαστή				A2	A1	A0	Ψηφίο εγγραφής ή ανάγνωσης R/W' Το τοποθετεί το VI του LINX ανάλογα με την ενέργεια που κάνουμε.
(28) ₁₆ ή (40) ₁₀							
Η αξία των ψηφίων χωρίς το τελευταίο ψηφίο σε δεκαεξαδικό και δεκαδικό.							

Το δεύτερο κατά σειρά Byte (command byte, εικόνα 3.6) στην περίπτωση της εγγραφής είναι το Byte της εντολής επιλογής του ποτενσιόμετρου. Σύμφωνα με το τεχνικό εγχειρίδιο είναι :

COMMAND	COMMAND VALUE
Write Potentiometer-0	101010 01
Write Potentiometer-1	101010 10
Write Both Potentiometers	101011 11

Εικόνα 3.6 : Η τιμή του Byte εντολής (command byte).

Στην δική μας περίπτωση είναι αυτό που υπολογίσαμε σύμφωνα με την εικόνα 3.6 φαίνεται στον πίνακα 3-3.

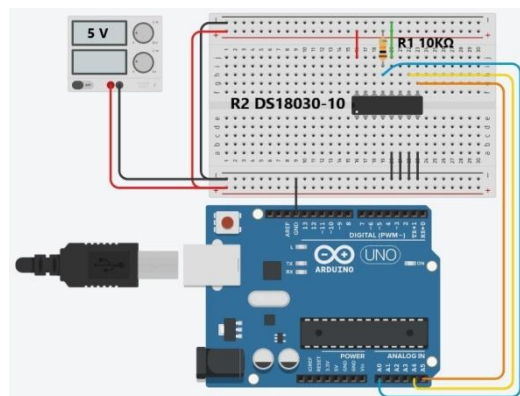
Πίνακας 3-3 : Η τιμή του Byte εντολής (command byte).

1	0	1	0	1	0	0	1	(169) ₁₀ αξία στο δεκαδικό
(A) ₁₆				(9) ₁₆				Αξία στο δεκαεξαδικό (A9) ₁₆

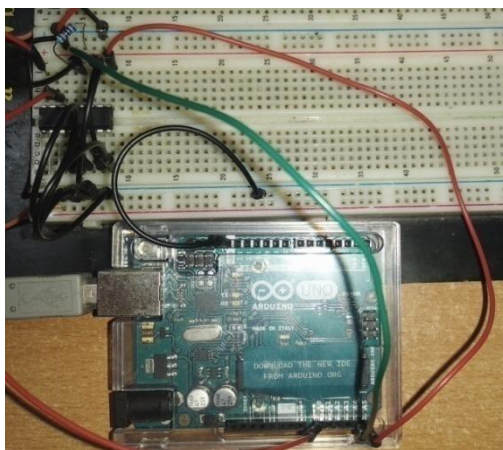
Τέλος το τελευταίο Byte είναι τον δεδομένων της θέσης του δρομέα (data byte).

3.3.2 Σύνδεση του κυκλώματος

Το κύκλωμα μας (εικόνα 3.1) είναι ακριβώς το ίδιο με του προηγούμενου κεφαλαίου και θα πραγματοποιηθεί επάνω σε ένα bread board (ράστερ), έχουμε μια σταθερή ωμική αντίσταση την R1 με τιμή 10 ΚΩ ή οποία είναι συνδεδεμένη σε σειρά με μία ψηφιακά ρυθμιζόμενη αντίσταση των 10 ΚΩ. Το ένα άκρο της συνδέεται με το (L0) άκρο της ρυθμιζόμενης αντίστασης, η οποία είναι σε συνδεσμολογία ροοστάτη με το άλλο άκρο το W0. Η τάση τροφοδοσίας παραμένει η ίδια. Το κύκλωμα είναι απλό και δεν έχει μεγάλες απαιτήσεις σε ρεύμα και μπορεί να τροφοδοτηθεί από το ίδιο το Arduino εμείς θα το τροφοδοτήσουμε από ένα τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος έτσι ώστε να επιτύχουμε σίγουρα σταθερή και ακριβή τιμή της τάσης τροφοδοσίας. Εδώ θα πρέπει να δώσουμε μια ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην συνδέσουμε τον θετικό ακροδέκτη τροφοδοσίας του Arduino, εκτός από την γείωση η οποία είναι απαραίτητη για την λήψη αναφοράς της 0V τάσης για το σύστημα.



Εικόνα 3.7 : Το κύκλωμα σε ράστερ.



Εικόνα 3.8 : Το πραγματικό κύκλωμα.

Στην εικόνα 3.7 βλέπουμε την σύνδεση του κυκλώματος σε ράστερ όπου εκτός των συνδέσεων που περιγράψαμε πιο πάνω, βλέπουμε και την σύνδεση με την οποία θα πραγματοποιήσουμε την μέτρηση της τάσης VR2 από τον ακροδέκτη A0 του Arduino. Στην εικόνα 3.8 έχουμε μια φωτογραφία του πραγματικού κυκλώματος. Τέλος στον πίνακα 3-4 παραθέτουμε το σύνολο των υλικών και οργάνων μέτρησης που θα χρησιμοποιήσουμε στο κύκλωμα.

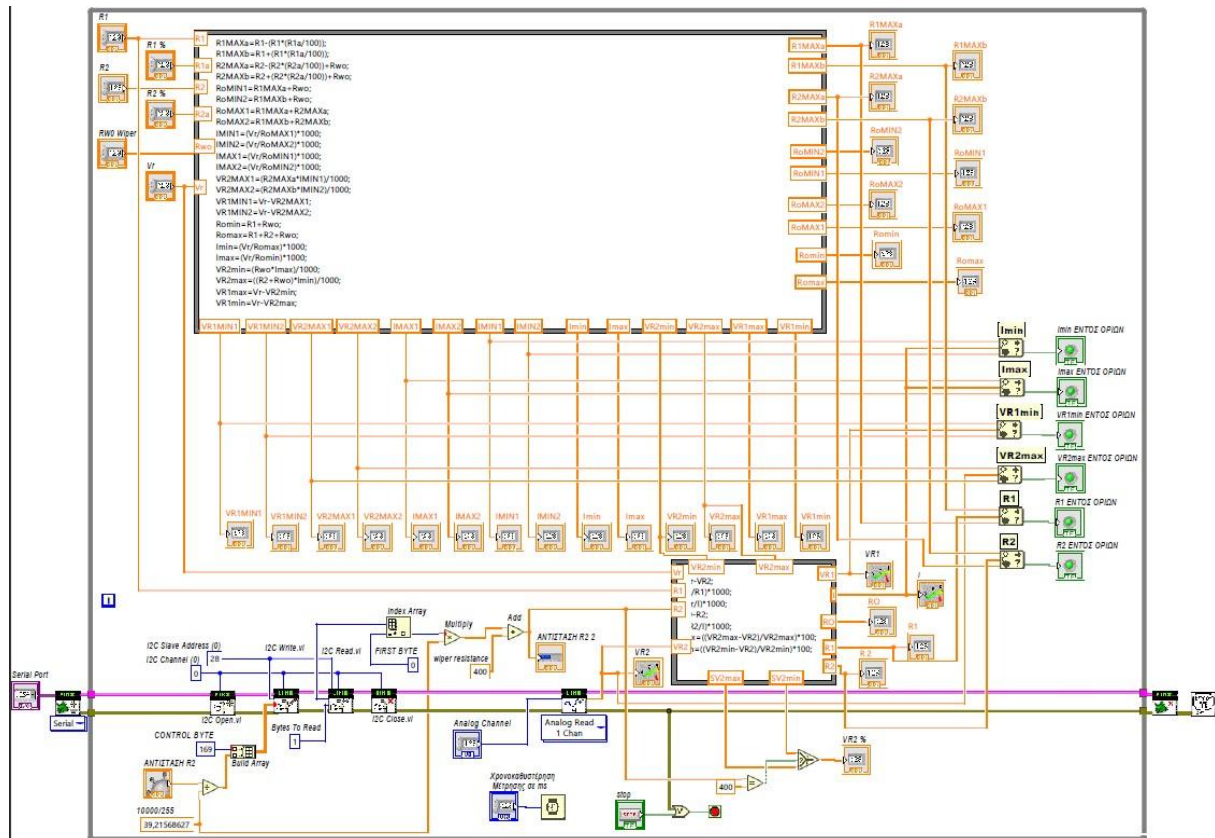
Πίνακας 3-4 : Υλικών και οργάνων του κυκλώματος.

Υλικά	Ποσότητα	Όργανα	Ποσότητα
Πλακέτα ανάπτυξης κυκλωμάτων (ράστερ).	1	Ψηφιακό Πολύμετρο με ακροδέκτες μετρήσεων.	1
Πλακέτα Arduino Uno.	1	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης DC.	1
Καλώδιο σύνδεσης USB.	1	Καλώδια συνδέσεων (μικρά).	7
Αντίσταση 10 K Ω /1%/ ¼ W.	1	Καλώδια συνδέσεων (μεγάλα).	3
Ολοκληρωμένο κύκλωμα DS18B10-10	1	Ζευγάρι καλωδίων Σύνδεσης τροφοδοτικού με ράστερ.	1

3.3.3 Προγραμματισμός του συστήματος

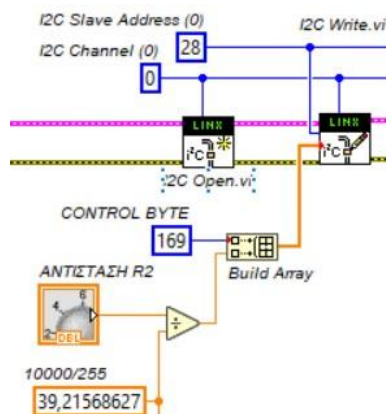
Αφού έχουμε συνδέσει το κύκλωμά μας θα πρέπει να προγραμματίσουμε το αναπτυξιακό μας σύστημα μέσω του LabView. Στο παράρτημα Α παραθέτουμε ένα μικρό απόσπασμα για την γενική διαδικασία προγραμματισμού που θα πρέπει να ακολουθήσουμε, φυσικά θα πρέπει να γνωρίζουμε πώς να εργαστούμε στο περιβάλλον του LabView. Το πρόγραμμά μας μπορεί να θεωρηθεί ότι χωρίζεται σε τρεις ενότητες. Στην πρώτη ενότητα εισάγουμε τις μεταβλητές στην ονομαστική τους τιμή, καθώς και τις ανοχές και ζητάμε να γίνουν όλοι οι υπολογισμοί σύμφωνα με την θεωρητική μας ανάλυση, όρια αντιστάσεων, ολικής αντίστασης, ρεύματος και τάσεων. Στην δεύτερη ενότητα κάνουμε τους υπολογισμούς μας βάση των ονομαστικών τιμών και της μέτρησης της τάσης VR2 από το Arduino. Τέλος στην τρίτη ενότητα ελέγχουμε εάν οι τιμές μας είναι εντός των ορίων που υπολογίσαμε. Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζουμε το πρόγραμμα που έχουμε δημιουργήσει στο περιβάλλον Block Diagram του LabView.

3.3.3.1 Block Diagram



Εικόνα 3.9: Το Πρόγραμμα του LabView–Block Diagram.

Στην Εικόνα 9.9 βλέπουμε όλο το πρόγραμμα που έχουμε γράψει στο block diagram του LabView. Στις παρακάτω εικόνες θα αναπτύξουμε το πρόγραμμα κομμάτι – κομμάτι, εκτός από τα τμήματα αυτά που έχουμε εξηγήσει στο προηγούμενο κεφάλαιο.

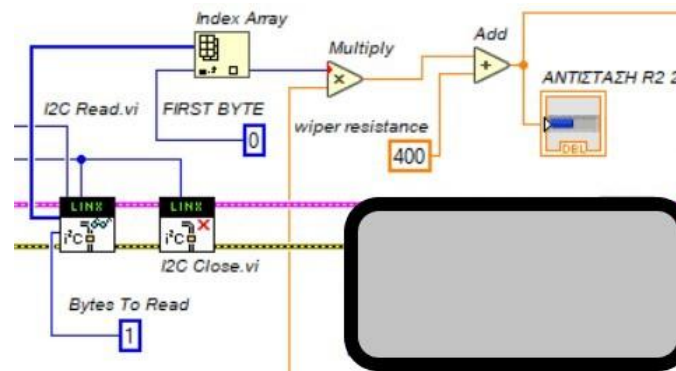


Εικόνα 3.10 : Block Diagram – Open & Write VI of I2C.

Στην εικόνα 9.10 βλέπουμε τα μπλοκ του LINX που ανοίγουν την επικοινωνία με το δίαυλο I2C και το μπλοκ με το οποίο γράφουμε την πληροφορία στο O.K. DS18030. Σε όλα τα μπλοκ που έχουν να κάνουν με το δίαυλο I2C τοποθετούμε το κανάλι επικοινωνίας «0» μιας και το Arduino έχει μόνο ένα κανάλι I2C.

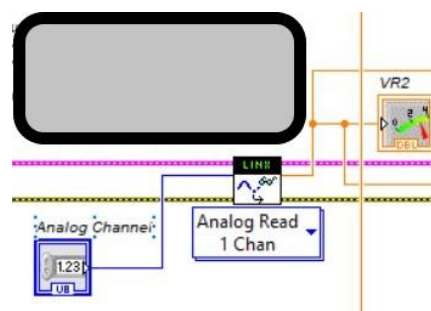
Συμφώνα με την παράγραφο 3.3.1.1 τοποθετούμε την διεύθυνση slave address την $(28)_{16}$ (που είναι το πρώτο κατά σειρά byte) και για την εγγραφή άλλα και για την ανάγνωση. Τέλος στο μπλοκ εγγραφής στην είσοδο των δεδομένων τοποθετώ μέσω ενός μονοδιάστατου πίνακα το byte ελέγχου (που είναι το δεύτερο κατά σειρά byte) και τα δεδομένα της θέσης του δρομέα (που είναι το τρίτο κατά σειρά byte) και είναι η τιμή της αντίστασης από το dial. Για την μετατροπή των ενδείξεων του dial «αντίσταση R2» από 0 – 10000 Ω, σε τιμές από 0 – 255 θα πρέπει να υπολογίσουμε το ελάχιστο βήμα αλλαγής της αντίστασης, εξίσωση (3.25). Τον ίδιο αριθμό θα χρησιμοποιήσουμε και για την αντίστροφη μετατροπή για την απεικόνιση σε μπάρα.

$$DR = \frac{10000 \Omega}{255} = 39,2156863 \Omega \quad (3.25)$$



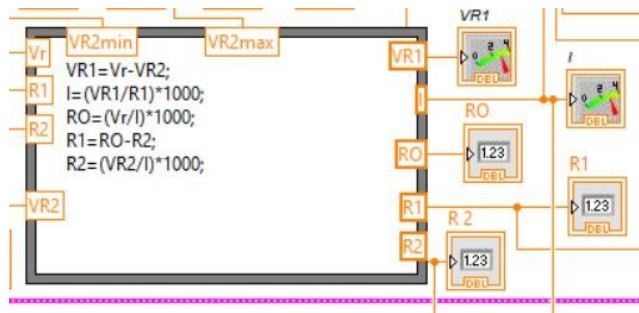
Εικόνα 3.11 :Block Diagram – Μπλοκ ανάγνωσης.

Στην εικόνα 3.11. παρατηρούμε το μπλοκ ανάγνωσης, το οποίο όπως όλα θα πάρει την τιμή «0» για το κανάλι επικοινωνίας και την τιμή $(28)_{16}$ για την διεύθυνση της υπόδουλης συσκευής (slave address) ενώ θα πρέπει να του ορίσουμε πόσα Byte κατά σειρά θα διαβάσει μετά, συγκεκριμένα θα διαβάσει το πρώτο μετά από την slave address. Στην έξοδο των δεδομένων του μπλοκ θα πάρουμε τον αριθμό που βρίσκεται στην πρώτη σειρά του πίνακα (θέση 0), θα την πολλαπλασιάσουμε με τον αριθμό DR (εξίσωση 3.25) και στο τέλος θα προσθέσουμε τον αριθμό 400, που είναι η αντίσταση Rwo του δρομέα και θα το απεικονίσουμε σε έναν ενδείκτη μπάρας άλλα και σε έναν αριθμητικό.



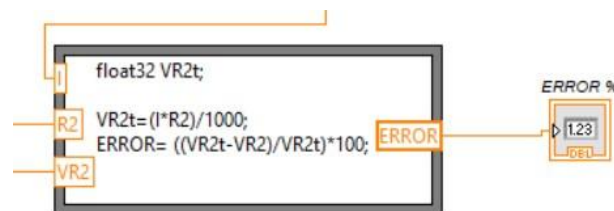
Εικόνα 3.12 : Block Diagram– Αναλογική ανάγνωση από το Arduino.

Στην εικόνα 9.12 απεικονίζεται το μπλοκ αναλογικής ανάγνωσης του LINX στο οποίο θα πρέπει να του ορίσουμε από ποιο αναλογικό κανάλι θα διαβάσει τα δεδομένα, επίσης να αναφέρουμε εδώ ότι το συγκεκριμένο VI στην έξοδό του βγάζει απευθείας την τάση ανάγνωσης με την οποία τροφοδοτούμε έναν ενδείκτη με μορφή αναλογικού οργάνου μέτρησης.



Εικόνα 3.13 : Block Diagram – Κόμβος υπολογισμού μεταβλητών μέσω μέτρησης της VR2.

Στην εικόνα 3.13, παρατηρούμε τον κόμβο μέσα στο οποίο τοποθετούμε τις εξισώσεις με τις οποίες υπολογίζουμε τα ηλεκτρικά μεγέθη του κυκλώματος αφού έχουμε πραγματοποιήσει την μέτρηση της τάσης VR2. Στην αρχή υπολογίζουμε την VR1 μετά το ολικό ρεύμα I, στην συνέχεια την ολική αντίσταση RO, τέλος ξανά υπολογίζουμε τις αντιστάσεις R1 & R2, για να διαπιστώσουμε εάν οι πραγματικές τιμές είναι εντός των θεωρητικά υπολογισμένων ορίων.

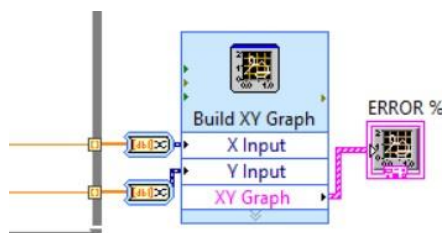


Εικόνα 3.14 : Block Diagram– Κόμβος υπολογισμού ποσοστιαίου σχετικού σφάλματος μέτρησης VR2.

Στην εικόνα 3.14 παρουσιάζουμε τον κόμβο στον οποίο υπολογίζουμε το ποσοστιαίο σχετικό σφάλμα μέτρησης της τάσης VR2 με την εξίσωση 3.26, αφού πρώτα υπολογίσουμε την θεωρητική τιμή της τάσης αυτής.

$$PRECENTERROR = \frac{VR2t - VR2}{VR2t} * 100 \quad (3.26)$$

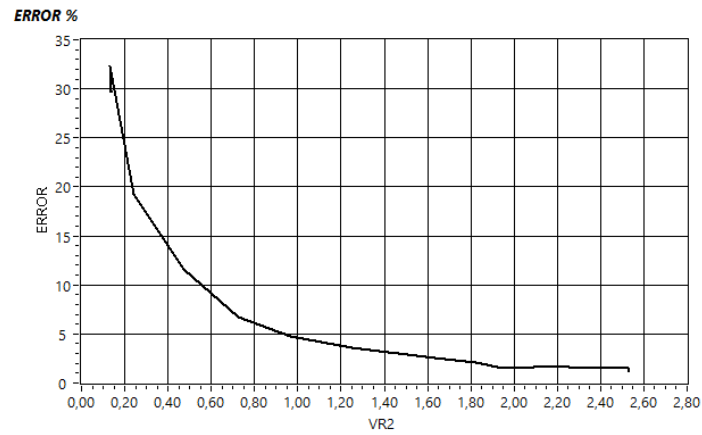
Όπου VR2tη θεωρητικά υπολογισμένη τιμή της τάσης VR2.



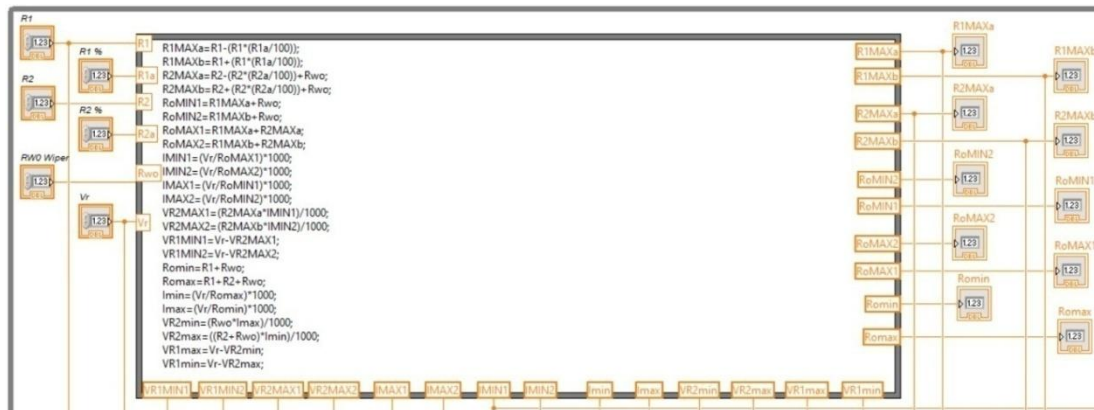
Εικόνα 3.15 : Block Diagram – Δημιουργία γραφήματος του σφάλματος της τάσης VR2 σε σχέση με την τάση.

Στην εικόνα 3.15, έχουμε δημιουργήσει ένα γράφημα όπου στον άξονα ‘X’ τοποθετούμε την τάση VR2 και στον άξονα ‘Y’ το σφάλμα μέτρησης της τάσης αυτής για να το πάρουμε σε μία γραφική απεικόνιση, εικόνα 3.16 . Για να πάρουμε το γράφημα θα πρέπει να κάνουμε μία πλήρη περιστροφή του dial της αντίστασης R2 και μετά να σταματήσουμε τη ροή του προγράμματος με το μπουτόν STOP. Επίσης την έξοδο των δεδομένων από την δομή επανάληψης While την κάνουμε με την

διαδικασία tunnel indexing, για την δημιουργία πινάκων με τα δεδομένα για την απεικόνιση. Παρατηρούμε ότι στην μικρότερη ένδειξη της τάσης το σφάλμα είναι μέγιστο ενώ στην μεγαλύτερη είναι το ελάχιστο. Αυτό έχει να κάνει με την ακρίβεια μέτρησης του ADC του Arduino.



Εικόνα 3.16 : Γράφημα σφάλματος μέτρησης της τάσης VR2.



Εικόνα 3.17 : Block Diagram – Κόμβος θεωρητικών υπολογισμών ηλεκτρικών μεγεθών του κυκλώματος.

```

R1MAXa=R1-(R1*(R1a/100));
R1MAXb=R1+(R1*(R1a/100));
R2MAXa=R2-(R2*(R2a/100))+Rwo;
R2MAXb=R2+(R2*(R2a/100))+Rwo;
RoMIN1=R1MAXa+Rwo;
RoMIN2=R1MAXb+Rwo;
RoMAX1=R1MAXa+R2MAXa;
RoMAX2=R1MAXb+R2MAXb;
IMIN1=(Vr/RoMAX1)*1000;
IMIN2=(Vr/RoMAX2)*1000;
IMAX1=(Vr/RoMIN1)*1000;
IMAX2=(Vr/RoMIN2)*1000;
VR2MAX1=(R2MAXa*IMIN1)/1000;
VR2MAX2=(R2MAXb*IMIN2)/1000;
VR1MIN1=Vr-VR2MAX1;
VR1MIN2=Vr-VR2MAX2;
Romin=R1+Rwo;
Romax=R1+R2+Rwo;
Imin=(Vr/Romax)*1000;
Imax=(Vr/Romin)*1000;
VR2min=(Rwo*Imax)/1000;
VR2max=((R2+Rwo)*Imin)/1000;
VR1max=Vr-VR2min;
VR1min=Vr-VR2max;

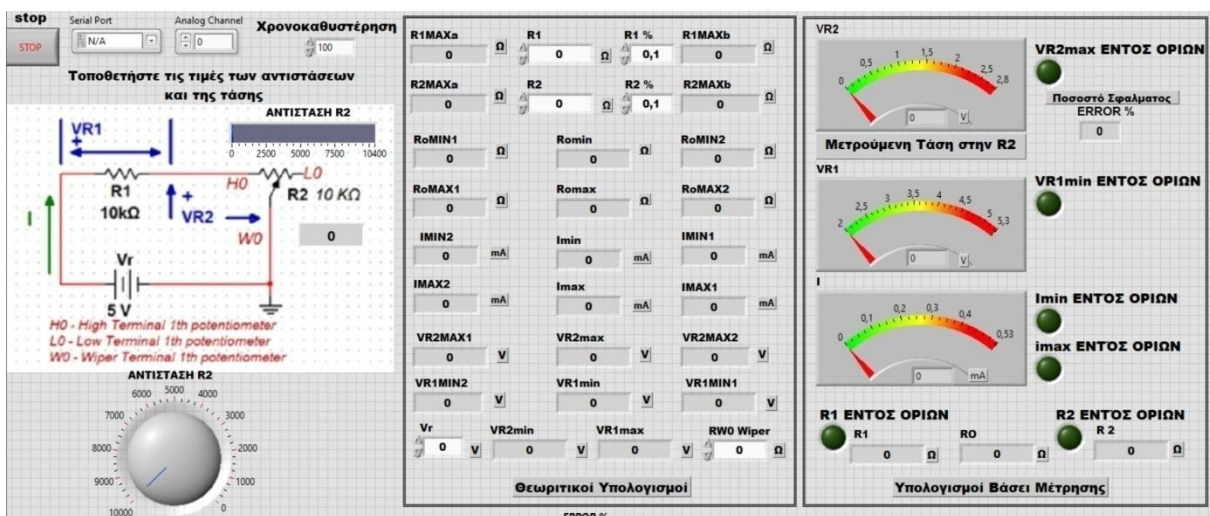
```

Εικόνα 3.18 : Block Diagram – Οι εξισώσεις του κόμβου θεωρητικής ανάλυσης.

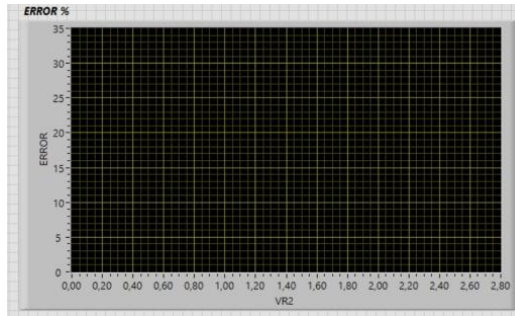
Στην εικόνα 3.17 έχουμε τοποθετήσει τις εξισώσεις που δημιουργήσαμε στην παράγραφο 3.2 της θεωρητικής ανάλυσης, ταυτόχρονα μπορούμε να δούμε και τις μεταβλητές εισόδου R1, R2, ανοχή R1%, R2%, αντίσταση δρομέα Rwo και τέλος την τάση τροφοδοσίας Vr. Ως έξοδο έχουμε τις μεταβολές των αντιστάσεων βάση ανοχών, της ολικής αντίστασης καθώς και των τάσεων στις αντιστάσεις και του ρεύματος του κυκλώματος. Στην εικόνα 3.18 μπορούμε να δούμε πιο ξεκάθαρα τις εξισώσεις αυτές. Στις περιπτώσεις που πολλαπλασιάζουμε και διαιρούμε με τον αριθμό 1000 είναι για να μετατρέψουμε τα ανάλογα μεγέθη από mA και ΚΩ.

3.3.3.2 Front Panel

Στις επόμενες εικόνες θα σας παρουσιάσουμε την εξωτερική όψη του προγράμματος, την διεπαφή δηλαδή με τον χρήστη, που ονομάζεται Front Panel. Μέσα από αυτό προσπαθήσαμε να δώσουμε στον χρήστη μια κατανοητή και εύκολη οπτική διαδικασία αναγνώρισης των δεδομένων των υπολογισμών και της μέτρησης.



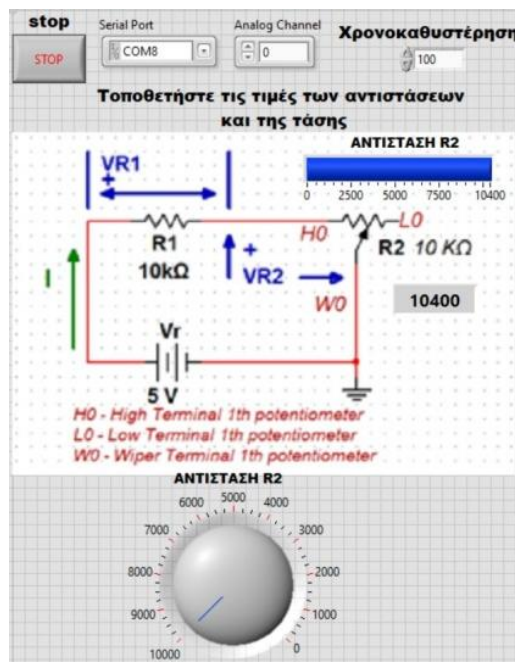
Εικόνα 3.19 : Front Panel – Η διεπαφή του χρήστη.



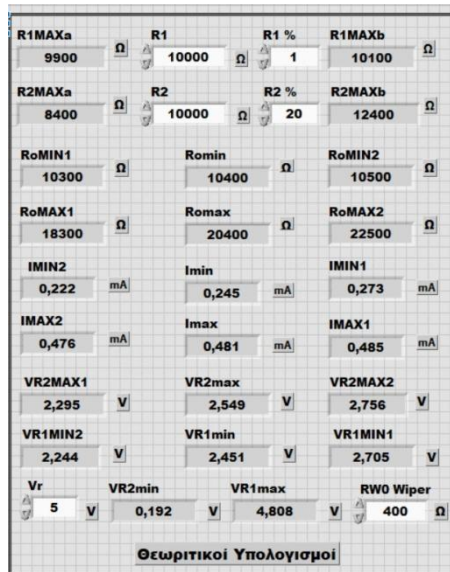
Εικόνα 3.20 : Front Panel – Η οθόνη απεικόνισης του σφάλματος.

Στην εικόνα 3.19 βλέπουμε όλη την μπροστινή όψη του οργάνου την οποία θα αναλύσουμε παρακάτω και στην εικόνα 3.20 την οθόνη για την γραφική απεικόνιση του σφάλματος.

Στην εικόνα 3,21 παρατηρούμε το πρώτο μέρος στο οποίο θα δούμε την απεικόνιση του κυκλώματος , τον ρυθμιστή της αντίστασης R2 μαζί με την απεικόνιση της τιμής σε μορφή μπάρας και αριθμητικής τιμής. Το μπουτόν της διακοπής εκτέλεσης του προγράμματος STOP, την επιλογή της θύρας επικοινωνίας του USB, της επιλογής του αναλογικού καναλιού μέτρησης και τέλος την επιλογή του χρόνου καθυστέρησης μεταξύ των μετρήσεων.



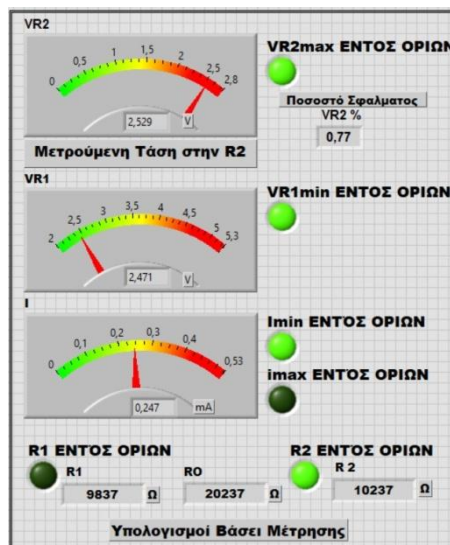
Εικόνα3.21 : Front Panel – Dial αντίσταση R2.



Εικόνα 3.22 : Front Panel – Απεικόνιση θεωρητικών υπολογισμών.

Στην εικόνα 3.22 έχουμε συγκεντρώσει οπτικά όλα τα αποτελέσματα των θεωρητικών υπολογισμών, εδώ ο χρήστης μπορεί να εισάγει και τα δεδομένα εισόδου όπως τις τιμές των αντιστάσεων και των ανοχών τους, την αντίσταση του δρομέα και την τάση του κυκλώματος.

Στην εικόνα 3.23 γίνεται η απεικόνιση της μέτρησης VR2 και των αποτελεσμάτων των υπολογισμών VR1, I, R1, R2, R Οπου γίνονται με βάση την μέτρηση, επίσης θα δούμε και την αριθμητική απεικόνιση του σφάλματος μέτρησης της τάσης VR2, τέλος θα δούμε και τις ενδεικτικές λυχνίες που μας δείχνουν πότε τα υπολογίσιμα και μετρούμενα μεγέθη είναι εντός των ορίων των θεωρητικών υπολογισμών.

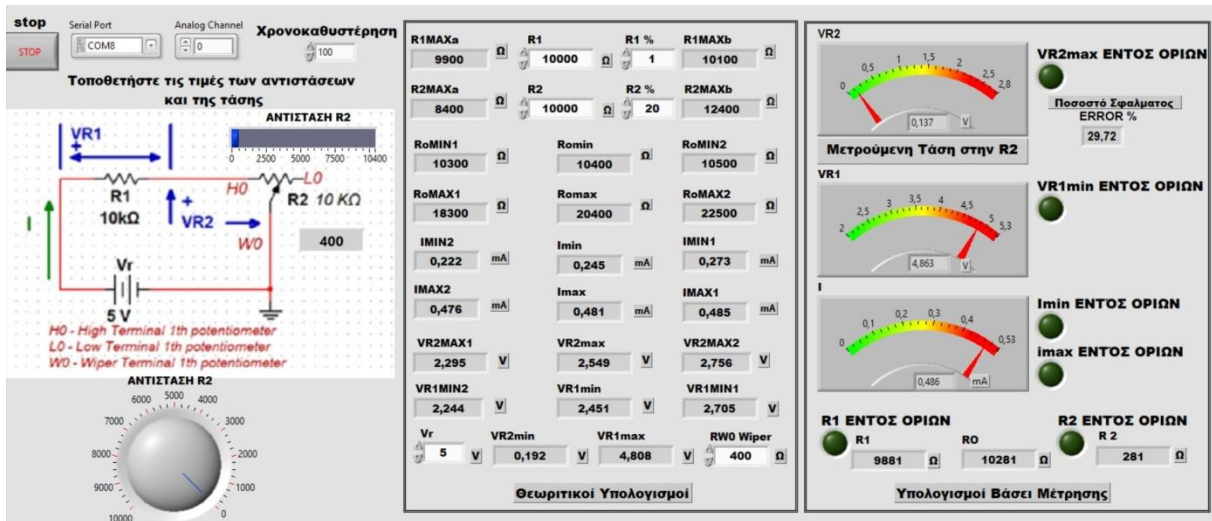


Εικόνα 3.23 : Front Panel – Απεικόνιση μέτρησης και υπολογισμών, λυχνίες απεικόνισης εντός ορίων.

3.3.4 Διαδικασία μέτρησης και πίνακας μετρήσεων

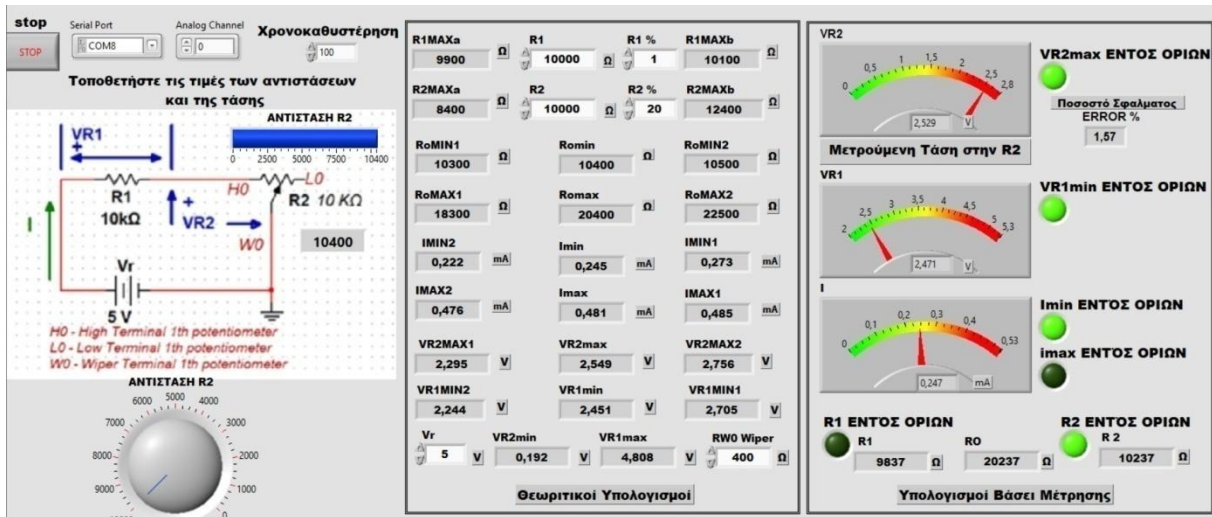
Αφού τοποθετήσουμε τα εξαρτήματα στο ράστερ και κάνουμε τους απαραίτητους ελέγχους, συνδέουμε το Arduino στο ράστερ και στον Η/Υ μέσω USB και ανοίγουμε το τροφοδοτικό, επιλέγουμε την σωστή θύρα επικοινωνίας, τοποθετούμε τις τιμές στις μεταβλητές εισόδου και

πιέζουμε το κουμπί RUN στο front panel. Στις επόμενες εικόνες παραθέτουμε τις ενδείξεις όταν η αντίσταση R2 είναι στο ελάχιστο εικόνα 3.24 και όταν είναι στο μέγιστο της εικόνα 3.25.



Εικόνα 3.24 : Front Panel – Η αντίσταση R2 στο ελάχιστο.

Στον πίνακα 3-4, δίνουμε συνολικά όλους τους υπολογισμούς και τις μετρήσεις του κυκλώματος μας, στην πρώτη στήλη έχουμε την ονομασία της μεταβλητής, στην δεύτερη την θεωρητικά ονομαστική τιμή και τους υπολογισμούς, στην τρίτη τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς από το Arduino, στην τέταρτη στήλη μετρήσεις που έγιναν με ένα ψηφιακό πολύμετρο της METEX, στην πέμπτη στήλη το όνομα της μεταβλητής με την ανοχή και τα όρια της και τέλος στην έκτη στήλη την θεωρητικά υπολογισμένη τιμή λαμβάνοντας υπόψη την ανοχή.



Εικόνα 3.25 : Front Panel – Η αντίσταση R2 στο μέγιστο.

Πίνακας 3-5 : Τελικός πίνακας υπολογισμών και μετρήσεων 2^ο κυκλώματος.

Μεταβλητή	Θεωρητικά Ονομαστική τιμή	Μετρήσεις με το Arduino	Μετρήσεις με πολύμετρο	Μεταβλητή με ανοχή	Θεωρητικά Ονομαστική τιμή με ανοχή
R1	10 ΚΩ	9837 Ω	9897 Ω	R1(+1%)	9900 Ω έως 10100 Ω
R2 (Min έως Max)	400 Ωhm έως 10400 ΚΩ	Από 281 έως 10237 Ω	-	R2MAX (+20%)	8400 Ω έως 12400 Ω
Ro (Min έως Max)	10400ΚΩ έως 20400 ΚΩ	Από 10281 έως 20237 Ω	-	Ro (MIN)	10300 Ωέως 10500
VR1 (Min έως Max)	2,451 V έως 4,808V	Από 2,471 V έως 4,863 V	2,443 V έως 4,855V	Ro (MAX)	18300 Ω έως 22500 Ω
VR2 (Min έως Max)	0,192 V έως 2,545 V	Από 0,137 V έως 2,529	0,149 V έως 2,562 V	I (Min)	Από 0,222 mA έως 0,273 mA
Vr	5 V		5 V	I (Max)	Από 0,476 mA έως 0,485 mA
I (Min έως Max)	0,245 mA έως 0,481 mA	0,247έως 0,486 mA	0,244 mA έως 0,482 mA	VR2 (Max)	Από 2,295 V έως 2,756V
				VR1 (Min)	Από 2,244 V έως 2,705 V

3.4 Εκπαιδευτική χρήση.

Η άσκηση αυτή είναι λίγο πιο περίπλοκη σε σχέση με την προηγούμενη. Εδώ λόγω του ψηφιακού ποτενσιόμετρου έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στην τιμή της αντίστασης R2 και μπορούμε να έχουμε μία καλύτερη προσέγγιση στον υπολογισμό της R1. Όπως φαίνεται και από τις μετρήσεις η συγκεκριμένη αντίσταση R1 ήταν εκτός ορίου των θεωρητικών υπολογισμών και αυτό αντικατοπτρίζεται και στην τιμή του ρεύματος I_{max} το οποίο είναι λίγο μεγαλύτερο από το μέγιστο όριο. Η άσκηση ξανά πραγματοποιήθηκε με μία διαφορετική αντίσταση για να επιβεβαιωθούν τα αποτελέσματα. Έτσι λοιπόν μπορούμε να στηρίξουμε άμεσα την θεωρία της συμμετοχής της ανοχής της τιμής μιας αντίστασης και του άμεσου επηρεασμού στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κυκλώματος. Με την βοήθεια του καθηγητή μπορούν να δοκιμαστούν διάφορες τιμές αντιστάσεων και ανοχών όπως και αντιστάσεις ίδιας τιμής αλλά από διαφορετικές παρτίδες κατασκευής ή παλαιότερης χρήσης. Τέλος μπορεί να τονιστεί η χρήση του ψηφιακού ποτενσιόμετρου και της ψηφιακής του ρύθμισης σε πρακτικές εφαρμογές. Συγκρίνοντας τα δύο κυκλώματα παρατηρούμε ότι παρόλο τις γενικές ευκολίες που προσφέρουν τα ψηφιακά συστήματα (ποτενσιόμετρα) η ύπαρξη της αντίστασης του δρομέα δημιουργεί μια μικρή απόκλιση από τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές μεταξύ των δύο συστημάτων. Για την εκπαιδευτική χρήση του κυκλώματος αυτού υπάρχουν διαθέσιμα και τα φύλλα πορείας της άσκησης στο παράρτημα Β.

3.5 Επίλογος

Στην ενότητα 3.2 πραγματοποιήσαμε τους θεωρητικούς υπολογισμούς του κυκλώματος, στην ενότητα 3.3 υλοποιήσαμε το κύκλωμα σε ράστερ και πραγματοποιήσαμε τις μετρήσεις και τους απαραίτητους

υπολογισμούς για να επιβεβαιώσουμε την θεωρία συγκεντρώνοντας γι' αυτόν τον λόγο όλα τα αποτελέσματα στον πίνακα 3.5. Πιο συγκεκριμένα στην ενότητα 3.3.1 γνωρίσαμε το Ο.Κ του ψηφιακού ποτενσιόμετρου, στην ενότητα 3.3.1.1 μάθαμε πώς να το προγραμματίσουμε και να το χρησιμοποιήσουμε, στην ενότητα 3.3.2 είδαμε πώς να συνδέσουμε το κύκλωμα και στην ενότητα 3.3.3 πώς να προγραμματίσουμε το Arduino Μέσα από το LabView με την χρήση του LINX, στην ενότητα 3.3.4 πραγματοποιήσαμε τις μετρήσεις και συγκεντρώσαμε τα αποτελέσματα σε έναν πίνακα. Τέλος στην ενότητα 3.4 παραθέσαμε ως επιλογή και κάποια άλλα εκπαιδευτικά σενάρια που μπορούν να διεξαχθούν από αυτό το σύστημα.

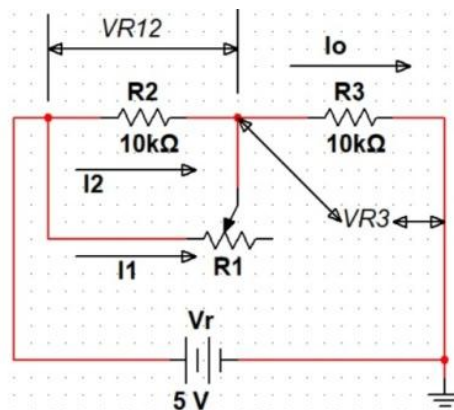
4. Κεφάλαιο 4^ο. Μικτή συνδεσμολογία αντιστάσεων.

4.1 Εισαγωγή.

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε το τρίτο εισαγωγικό κύκλωμα που αφορά την μεικτή συνδεσμολογία αντιστάσεων. Η συνδεσμολογία αυτή αποτελείται από δύο αντιστάσεις παράλληλα, από τις οποίες η μία είναι ρυθμιζόμενη και ή άλλη σταθερή, σε σειρά με μία άλλη σταθερή αντίσταση. Θα αναλύσουμε το κύκλωμα θεωρητικά και μετά θα το εξετάσουμε πρακτικά μέσω του συστήματός μας.

4.2 Θεωρητική ανάλυση.

Στον κύκλωμα αυτό, εικόνα 4,1 έχουμε τρεις αντιστάσεις σε μεικτή συνδεσμολογία, από τις οποίες η μία είναι μεταβαλλόμενη (R1) σε συνδεσμολογία ροοστάτη. Οι αντιστάσεις συνδέονται σε μία πηγή συνεχούς τάσης και ανεξάρτητης από την τροφοδοσία που μπορεί να δώσει η πλακέτα του Arduino, το μόνο κοινό που έχουν είναι η γείωση ως σημείο αναφοράς. Η αντίσταση R2 και R1 είναι παράλληλα συνδεδεμένες και μετά σε σειρά με την R3. Για τους υπολογισμούς μας θα χρησιμοποιήσουμε τις ονομαστικές τιμές των αντιστάσεων και την σταθερή πηγή τάσης του τροφοδοτικού των 5 V. Το κύκλωμα μπορεί να επιλυθεί χρησιμοποιώντας τον 1ο, τον 2ο κανόνα του Kirchhoff, τον νόμο του Ohm και τον τύπο υπολογισμού δυο παράλληλων αντιστάσεων. (2) (3) (4) (6) (7).



Εικόνα 4.1: Το κύκλωμα της μεικτής συνδεσμολογίας των αντιστάσεων.

Ξεκινάμε την επίλυση του κυκλώματος υπολογίζοντας πρώτα την ολική αντίσταση του. Για να μπορέσουμε να το κάνουμε αυτό, πρώτα θα πρέπει να υπολογίσουμε την συνολική αντίσταση του παράλληλου κλάδου R12, που περιλαμβάνει τον παραλληλισμό των αντιστάσεων R1 και R2 και μετά σε σειρά με την αντίσταση R3. Θα το υπολογίσουμε δύο φορές, μια όταν η ρυθμιζόμενη αντίσταση R1 είναι στην μέγιστη τιμή της και μία φορά όταν είναι στην ελάχιστη τιμή, την οποία θα θεωρήσουμε θεωρητικά στην τιμή των 0 Ω (πρακτικά κάποια Ωhm). Εξισώσεις (4.1 – 4.4).

$$R_{12}(\text{MIN}) = \frac{R_{1(\text{MIN})} \cdot R_2}{R_{1(\text{MIN})} + R_2} = \frac{0 \text{ K}\Omega \cdot 10 \text{ K}\Omega}{0 \text{ K}\Omega + 10 \text{ K}\Omega} = \frac{0 \text{ K}\Omega}{10 \text{ K}\Omega} = 0 \text{ K}\Omega \quad (4.1)$$

$$R_{12}(\text{MAX}) = \frac{R_{1(\text{MAX})} \cdot R_2}{R_{1(\text{MAX})} + R_2} = \frac{10 \text{ K}\Omega \cdot 10 \text{ K}\Omega}{10 \text{ K}\Omega + 10 \text{ K}\Omega} = \frac{100 \text{ K}\Omega}{20 \text{ K}\Omega} = 5 \text{ K}\Omega \quad (4.2)$$

$$R_o(\text{MIN}) = R_{12}(\text{MIN}) + R_3 = 0 \text{ K}\Omega + 10 \text{ K}\Omega = 10 \text{ K}\Omega \quad (4.3)$$

$$R_o(\text{MAX}) = R_{12}(\text{MIN}) + R_3 = 5 \text{ K}\Omega + 10 \text{ K}\Omega = 15 \text{ K}\Omega \quad (4.4)$$

Στην συνέχεια θα υπολογίσουμε το ολικό ρεύμα του κυκλώματος με τις εξισώσεις (4.5 & 4.6).

$$I_{\text{max}} = \frac{V_r}{R_o(\text{MIN})} = \frac{5 \text{ V}}{10 \text{ K}\Omega} = 0,0005 \text{ A} = 0,5 \text{ mA} \quad (4.5)$$

$$I_{\text{min}} = \frac{V_r}{R_o(\text{MAX})} = \frac{5 \text{ V}}{15 \text{ K}\Omega} = 0.000333 \text{ A} = 0.333 \text{ mA} \quad (4.6)$$

Το επόμενο βήμα είναι να βρούμε την τάση επάνω στην αντίσταση R_3 με τις εξισώσεις (4.7 & 4.8).

$$V_{R3\text{max}} = I_{\text{max}} * R_3 = 0,5 \text{ mA} * 10 \text{ K}\Omega = 5 \text{ V} \quad (4.7)$$

$$V_{R3\text{min}} = I_{\text{min}} * R_3 = 0,333 \text{ mA} * 10 \text{ K}\Omega = 3,33 \text{ V} \quad (4.8)$$

Μετά θα υπολογίσουμε την πτώση τάσης στο παράλληλο δικτύωμα των αντιστάσεων R_1, R_2 με τις εξισώσεις (4.9 & 4.10).

$$V_{R12\text{max}} = V_r - V_{R3\text{min}} = 5 \text{ V} - 3,33 \text{ V} = 1,67 \text{ V} \quad (4.9)$$

$$V_{R12\text{min}} = V_r - V_{R3\text{max}} = 5 \text{ V} - 5 \text{ V} = 0 \text{ V} \quad (4.10)$$

Τέλος θα υπολογίσουμε τα ρεύματα I_1 & I_2 που διαρρέουν τις αντίστοιχες αντιστάσεις με τις εξισώσεις (4.11 – 4.14).

$$I_{2\text{min}} = \frac{V_{R12\text{min}}}{R_2} = \frac{0 \text{ V}}{10 \text{ K}\Omega} = 0 \text{ mA} \quad (4.11)$$

$$I_{2\text{max}} = \frac{V_{R12\text{max}}}{R_2} = \frac{1,67 \text{ V}}{10 \text{ K}\Omega} = 0,167 \text{ mA} \quad (4.12)$$

$$I_{1\text{min}} = I_{\text{min}} - I_{2\text{max}} = 0,333 \text{ mA} - 0,167 \text{ mA} = 0,166 \text{ mA} \quad (4.13)$$

$$I_{1\text{max}} = I_{\text{max}} - I_{2\text{min}} = 0,5 \text{ mA} - 0 \text{ mA} = 0,5 \text{ mA} \quad (4.14)$$

Όσον αφορά τις ανοχές των αντιστάσεων και πώς επηρεάζουν τους υπολογισμούς των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του κυκλώματος, μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις. (8)

- Σε συνδεσμολογία σε σειρά όταν η μία από τις δύο αντιστάσεις είναι τουλάχιστον κατά δέκα φορές μεγαλύτερη από την άλλη τότε λαμβάνουμε υπόψη την ανοχή της μεγαλύτερης αντίστασης. Σε περίπτωση που έχουμε ίσες αντιστάσεις αλλά διαφορετικές τιμές ανοχών, όπως εδώ, λαμβάνουμε υπόψη την μικρότερη ανοχή. Όταν έχουμε ίσες αντιστάσεις και ίσες ανοχές τότε η συνολική ανοχή γίνεται η μισή.
- Σε συνδεσμολογία σε παράλληλη σύνδεση όταν η μία από τις δύο αντιστάσεις είναι τουλάχιστον κατά δέκα φορές μικρότερη από την άλλη τότε λαμβάνουμε υπόψη την ανοχή της μικρότερης αντίστασης. Σε περίπτωση που έχουμε ίσες αντιστάσεις αλλά διαφορετικές τιμές ανοχών, όπως εδώ, λαμβάνουμε υπόψη την μικρότερη ανοχή. Όταν έχουμε ίσες αντιστάσεις και ίσες ανοχές τότε η συνολική ανοχή γίνεται η μισή.

Ο παραλληλισμός των αντιστάσεων R_1 & R_2 θα μας δώσει για την νέα αντίσταση R_{12} , μια ανοχή περίπου 1,09688 σύμφωνα με την εξίσωση (4.15), όπου $T_1=1/100$ και $T_2=20/100$. Ενώ με την εξίσωση (4.16) υπολογίζουμε την συνολική ανοχή της ολικής αντίστασης του κυκλώματος R_o .

$$\text{New Tolerance } R_{12} = \frac{(R_1+R_2)*(1+T_1)*(1+T_2)}{R_1*(1+T_1)+R_2*(1+T_2)-1} = 1.0968 \text{ \%} \quad (4.15)$$

$$\text{total tolerance } R_o = \left(\frac{1}{R_{\text{total}}} * \sum_{i=1}^n T_i * R_i \right) * 100 = 1,0322 \text{ \%} \quad (4.16)$$

$$R12 \max(-\%) = \frac{R1 \max(-20\%)*R2(-1\%)}{R1 \max(-20\%)+R2(-1\%)} = 4425 \quad (4.17)$$

$$R12 \max(+\%) = \frac{R1 \max(+20\%)*R2(+1\%)}{R1 \max(+20\%)+R2(+1\%)} = 5484 \Omega \quad (4.18)$$

$$R_o \max(-\%) = R12 \max(-\%) + R3(-1\%) = 14325 \Omega \quad (4.19)$$

$$R_o \max(+\%) = R12 \max(+\%) + R3(+1\%) = 15584 \Omega \quad (4.20)$$

Με τις εξισώσεις (4.17 – 4.20) υπολογίζουμε τα άνω και κάτω όρια των αντιστάσεων R12 και R_o. Το ολικό ρεύμα θα μεταβληθεί κατά ένα ποσοστό 1,0322% δηλαδή κατά 0,01032 mA. Το ίδιο θα συμβεί και για την τάση VR3, VR12, I1 και το ρεύμα I2.

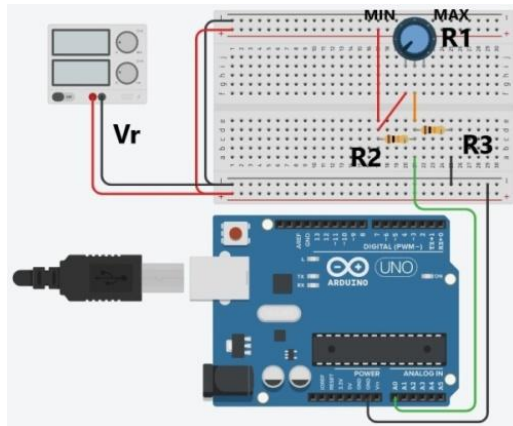
Πίνακας 4-1 : Θεωρητικοί υπολογισμοί μεταβλητών.

Μεταβλητή	Θεωρητικά Ονομαστική τιμή	Μεταβλητή με ανοχή	Θεωρητικά Ονομαστική τιμή με ανοχή
R1	Από 0 Ω - 10000 Ω	R1max T(+20%)	Από 8000 Ω – 12000 Ω
R2	10000 Ω	R2T(+1%)	Από 9900 Ω – 10100 Ω
R3	10000 Ω	R3T(+1%)	Από 9900 Ω – 10100 Ω
R12	Από 0 Ω – 5000 Ω	R12 max T(+-%)	Από 4425 Ω – 5484 Ω
R_o	Από 10000 Ω – 15000 Ω	R_o max T(+-%)	Από 14325 Ω – 15584 Ω
V_r	5 V		
I	Από 0.333 mA – 0,5 mA	I min T(+1,03%)	Από 0,322 mA – 0,343 mA
		I max T(+1,03%)	Από 0,489 mA – 0,510 mA
VR3	Από 3,33 V – 5 V	VR3 min T(+1,03%)	Από 3,319 V – 3,340 V
		VR3 max T(+1,03%)	Από 4,989V – 5,01V
VR12	Από 0 V – 1,67 V	VR12 minT(+1,03%)	0 V – 0,0103 V
		VR12 maxT(+1,03%)	Από 1,659V - 1,68 V
I2	Από 0 mA – 0.167 mA	I2 minT(+1,03%)	0 mA – 0,01032 mA
		I2 max T(+1,03%)	Από 0,156 - 0,177 mA
I1	Από 0.167 mA– 0,5mA	I1 minT(+1,03%)	Από 0,156 - 0,177 mA
		I1 max T(+1,03%)	Από 0,489 mA – 0,510 mA

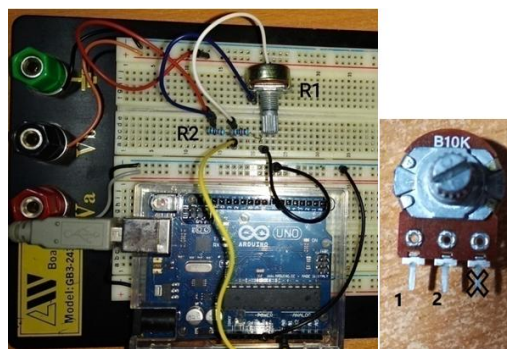
4.3 Σύνδεση κυκλώματος – προγραμματισμός – μετρήσεις.

4.3.1 Σύνδεση του κυκλώματος.

Το κύκλωμα μας συναρμολογείται επάνω σε ράστερ, είναι μια μεικτή συνδεσμολογία αντιστάσεων εικόνα 4.2. Έχουμε ένα δικτύωμα δύο παράλληλων αντιστάσεων σε σειρά με μία άλλη αντίσταση R3. Το δικτύωμα είναι μία σταθερή R2 και μία ρυθμιζόμενη αντίσταση R1. Στην ρυθμιζόμενη αντίσταση συνδέουμε το αριστερό και μεσαίο ακροδέκτη όπως φαίνεται στην εικόνα 4.3. Προσοχή θα πρέπει να δώσουμε στην σύνδεση του ακροδέκτη της γείωσης του Arduino. Η μέτρηση πραγματοποιείται από τον αναλογικό ακροδέκτη A0, μπορεί βέβαια να συνδεθεί οποιοσδήποτε αναλογικός ακροδέκτης του Arduino.



Εικόνα 4.2 : Το κύκλωμα σε ράστερ.



Εικόνα 4.3 : Το πραγματικό κύκλωμα.

Πίνακας 4-2 : Υλικά και όργανα για την πραγματοποίηση της άσκησης.

Υλικά	Ποσότητα	Όργανα	Ποσότητα
Πλακέτα ανάπτυξης κυκλωμάτων (ράστερ).	1	Ψηφιακό Πολύμετρο με ακροδέκτες μετρήσεων.	1
Πλακέτα Arduino Uno.	1	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης DC.	1
Καλώδιο σύνδεσης USB.	1	Καλώδια συνδέσεων (μικρά).	6
Αντίσταση 10 KΩ/1%/ ¼ W.	2	Ζευγάρι καλωδίων Σύνδεσης τροφοδοτικού με ράστερ.	1
Ρυθμιζόμενη αντίσταση 10 KΩ / LIN / + - 20 % / 0,4 W.	1		

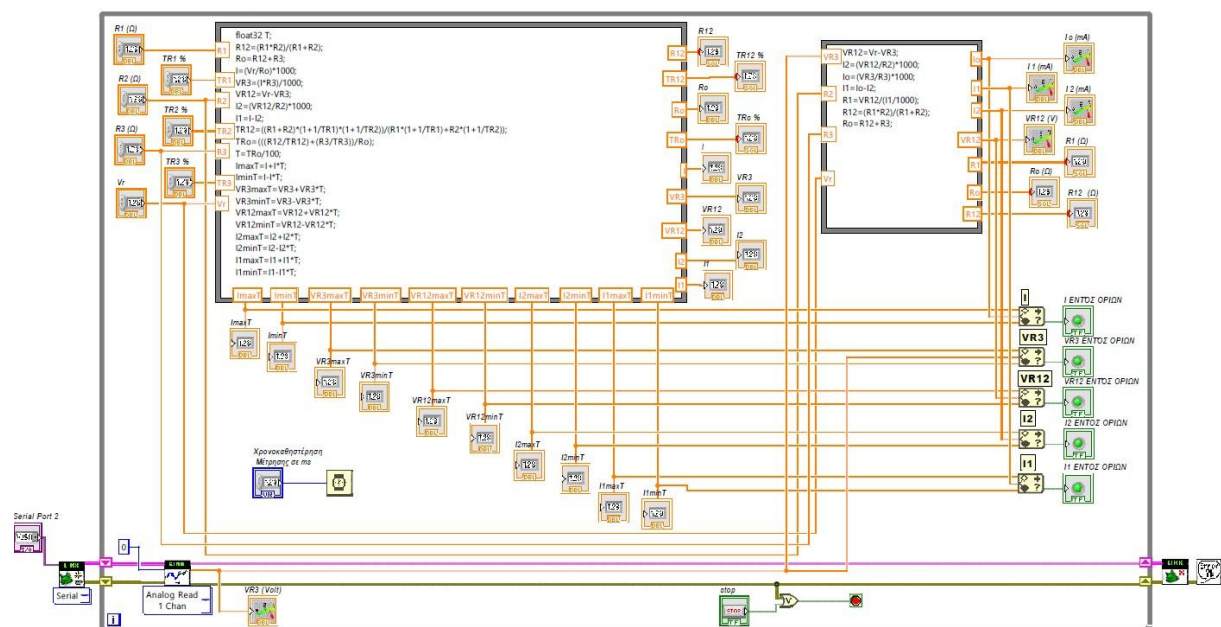
Στην συγκεκριμένη περίπτωση γνωρίζω τις αντιστάσεις R2, R3, την τάση Vr και μετρώ την τάση VR3. Ζητάμε από το πρόγραμμα να μας υπολογίσει :

- Την τάση VR12.
- Το ολικό ρεύμα Io.
- Τα ρεύματα I1 και I2.
- Την αντίσταση R1.
- Την ολική αντίσταση Ro.
- Τον παράλληλο συνδυασμό R1//R2.

4.3.2 Προγραμματισμός του συστήματος.

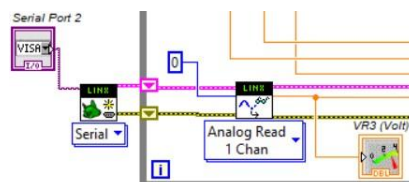
Αφού έχουμε συνδέσει το κύκλωμά μας θα πρέπει να προγραμματίσουμε το αναπτυξιακό μας σύστημα μέσω του LabView. Στο παράρτημα Α παραθέτουμε ένα μικρό απόσπασμα για την γενική διαδικασία προγραμματισμού που θα πρέπει να ακολουθήσουμε, φυσικά θα πρέπει να γνωρίζουμε πώς να εργαστούμε στο περιβάλλον του LabView. Το πρόγραμμά μας μπορεί να θεωρηθεί ότι χωρίζεται σε τρεις ενότητες. Στην πρώτη ενότητα εισάγουμε τις μεταβλητές στην ονομαστική τους τιμή, καθώς και τις ανοχές και ζητάμε να γίνουν όλοι οι υπολογισμοί σύμφωνα με την θεωρητική μας ανάλυση, όρια αντιστάσεων, ολικής αντίστασης, ρεύματος και τάσεων. Στην δεύτερη ενότητα κάνουμε τους υπολογισμούς μας βάση των ονομαστικών τιμών και της μέτρησης της τάσης VR2 από το Arduino. Τέλος στην τρίτη ενότητα ελέγχουμε εάν οι τιμές μας είναι εντός των ορίων που υπολογίσαμε. Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζουμε το πρόγραμμα που έχουμε δημιουργήσει στο περιβάλλον Block Diagram του LabView.

4.3.2.1 Block Diagram



Εικόνα 4.4: Το Πρόγραμμα του LabView–Block Diagram.

Στην εικόνα 4.4 βλέπουμε όλο το πρόγραμμα που έχουμε αναπτύξει στο περιβάλλον του LabView και στο παράθυρο του block diagram. Τα τμήματα του τα έχουμε επιμελώς καλύψει και εξηγήσει στα προηγούμενα κεφάλαια, παρακάτω θα σας αναπτύξουμε τα τμήματα αυτά σε πιο ευκρινείς εικόνες.



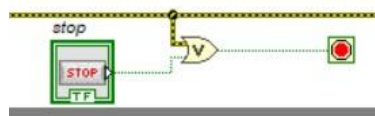
Εικόνα 4.5 : Block Diagram - Επικοινωνία, ενεργοποίηση και μέτρηση με το αναλογικό κανάλι του Arduino.

Στην εικόνα 4.5 παρατηρούμε από κοντά τα μπλοκ που χρησιμοποιούμε για να ανοίξουμε το κανάλι επικοινωνίας μέσω της θύρας COM για να πραγματοποιήσουμε την μέτρηση από το αναλογικό κανάλι A0 του Arduino και το όργανο απεικόνισης της τάσης VR3.



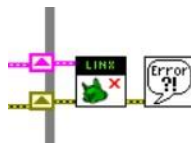
Εικόνα 4.6 : Block Diagram– Εισαγωγή χρονοκαθυστέρησης μεταξύ των μετρήσεων.

Στην εικόνα 4.6 εισάγουμε μια τεχνητή χρονοκαθυστέρηση για να πετύχουμε μια σταθερή μέτρηση, ούτως η άλλως δεν μετράμε κάποιο φαινόμενο που αλλάζει πολύ γρήγορα τιμές.



Εικόνα 4.7: BlockDiagram– Διακόπτης τερματισμού και έλεγχος σφαλμάτων.

Στην εικόνα 4.7 βλέπουμε τον διακόπτη μπουτόν (STOP) για την χειροκίνητη διακοπή της λειτουργίας του προγράμματος και μία πύλη OR η οποία σταματάει την λειτουργία του προγράμματος όταν υπάρξει κάποιο σφάλμα κατά την διαδικασία εκτέλεσης



Εικόνα 4.8 : Block Diagram– Μπλοκ τερματισμού επικοινωνίας με το Arduino, μπλοκ περιγραφής σφάλματος.

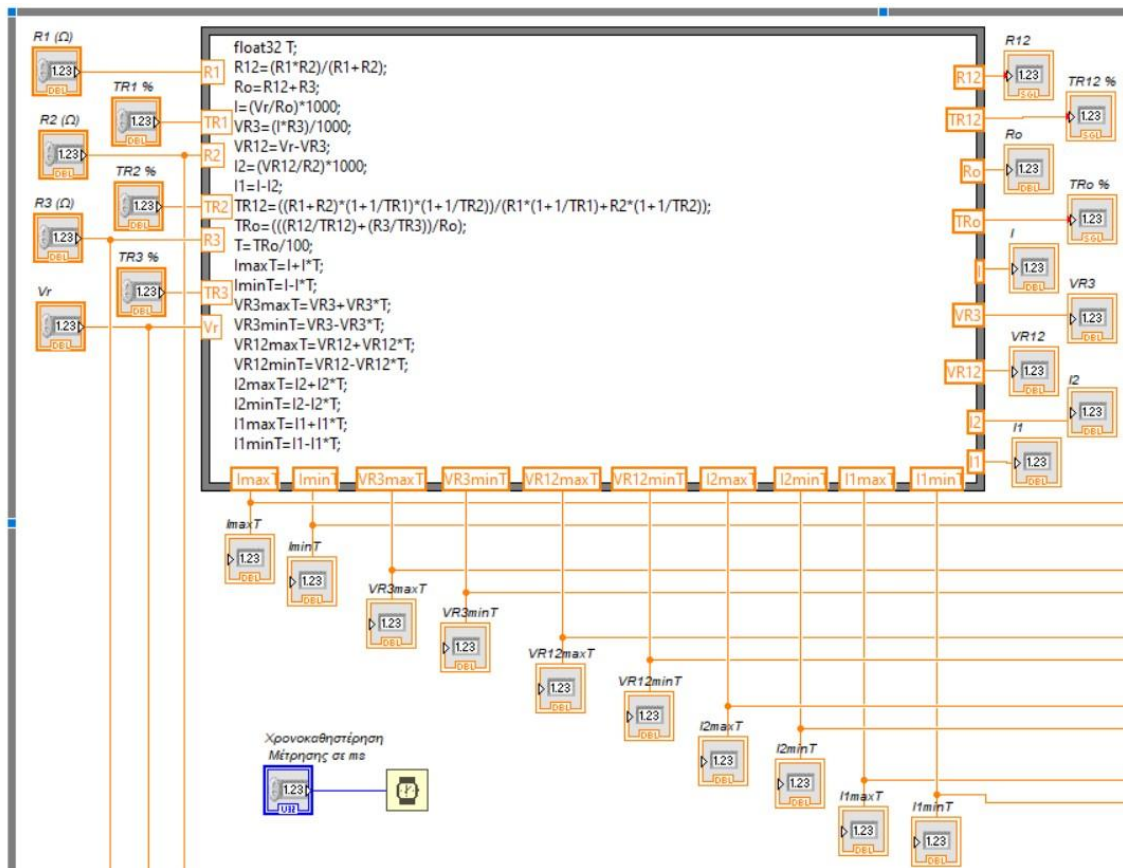
Στην εικόνα 4.8 το μπλοκ το οποίο κλείνει την επικοινωνία με το Arduino και το μπλοκ περιγραφής σφάλματος. Στην εικόνα 4.9 παρατηρούμε τις εξισώσεις που θα πληκτρολογήσουμε στο Formula Node (κόμβο εξισώσεων). Θα παρατηρήσετε την μείωση του αριθμού των εξισώσεων μιας και εδώ προσπαθήσαμε να αναπτύξουμε μία άλλη προγραμματιστική προσέγγιση, επίσης και λόγω του ότι έχουμε μια καλύτερη θεωρητική ανάλυση, προσπαθώντας να δείξουμε μια διαφορετική και καλύτερη διαδρομή την οποία θα πρέπει να ακολουθήσουμε ως μηχανικοί.

```

float32 T;
R12=(R1*R2)/(R1+R2);
Ro=R12+R3;
I=(Vr/Ro)*1000;
VR3=(I*R3)/1000;
VR12=Vr-VR3;
I2=(VR12/R2)*1000;
I1=I-I2;
TR12=((R1+R2)*(1+1/TR1)*(1+1/TR2))/(R1*(1+1/TR1)+R2*(1+1/TR2));
TRo=(((R12/TR12)+(R3/TR3))/Ro);
T=TRo/100;
ImaxT=I+I*T;
IminT=I-I*T;
VR3maxT=VR3+VR3*T;
VR3minT=VR3-VR3*T;
VR12maxT=VR12+VR12*T;
VR12minT=VR12-VR12*T;
I2maxT=I2+I2*T;
I2minT=I2-I2*T;
I1maxT=I1+I1*T;
I1minT=I1-I1*T;

```

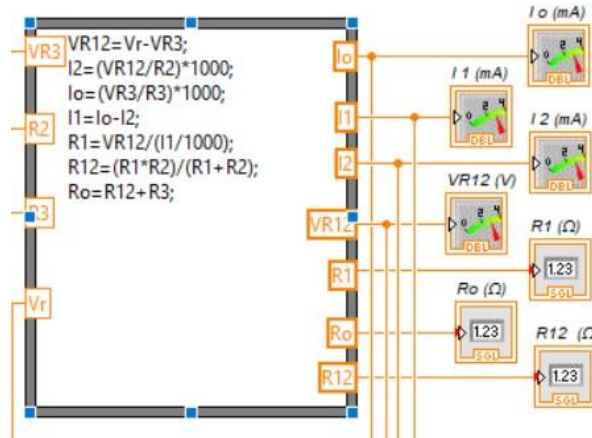
Εικόνα 4.9 : Block Diagram – Οι εξισώσεις του κόμβου θεωρητικής ανάλυσης.



Εικόνα 4.10 : Block Diagram – Κόμβος θεωρητικών υπολογισμών ηλεκτρικών μεγεθών του κυκλώματος.

Στην εικόνα 4.10 βλέπουμε την σύνδεση του formula node με τις μεταβλητές εισόδου, R1,R2,R3,Vr καθώς και με τις ανοχές των εξαρτημάτων, TR1,TR2 και TR3. Επίσης με τις μονάδες εξόδου,

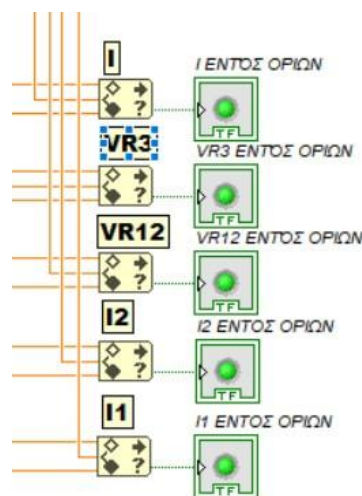
απεικόνισης των αποτελεσμάτων $R12$, R_o , I , I_{maxT} , I_{minT} , $VR12$, $VR12_{maxT}$, $VR12_{minT}$, $VR3$, $VR3_{maxT}$, $VR3_{minT}$, $I1$, $I1_{maxT}$, $I1_{minT}$, $I2$, $I2_{maxT}$, $I2_{minT}$, $TR12$, TR_o .



Εικόνα 4.11 : Block Diagram– Κόμβος υπολογισμού μεταβλητών μέσω μέτρησης της $VR3$.

Στην εικόνα 4.11 συνδέω στις εισόδους τις αντιστάσεις $R2$, $R3$ και την τάση Vr και μετρώ την τάση $VR3$. Ζητάμε από το πρόγραμμα να μας υπολογίσει :

- Την τάση $VR12$, αφαιρώντας από την ολική τάση της πηγής την μετρούμενη τάση $VR3$, 2^{ος} κανόνας του Kirchhoff.
- Το ολικό ρεύμα Io , χρησιμοποιώντας τον νόμο του ΟΗΜ στην αντίσταση $R3$.
- Τα ρεύματα $I1$ και $I2$, το ρεύμα $I2$ χρησιμοποιώντας τον νόμο του ΟΗΜ από την υπολογισμένη τάση $VR12$, το ρεύμα $I1$ χρησιμοποιώντας τον 1^ο κανόνα του Kirchhoff .
- Την αντίσταση $R1$, χρησιμοποιώντας τον νόμο του ΟΗΜ με τα υπολογισμένα μεγέθη $VR12$ & $I1$.
- Τον παράλληλο συνδυασμό $R1//R2$, $R12$, χρησιμοποιώντας τον τύπο για τον υπολογισμό της αντίστασης σε ένα παράλληλο κλάδο με δύο αντιστάσεις.
- Την ολική αντίσταση Ro , χρησιμοποιώντας τον τύπο της άθροισης των αντιστάσεων σε σειρά.

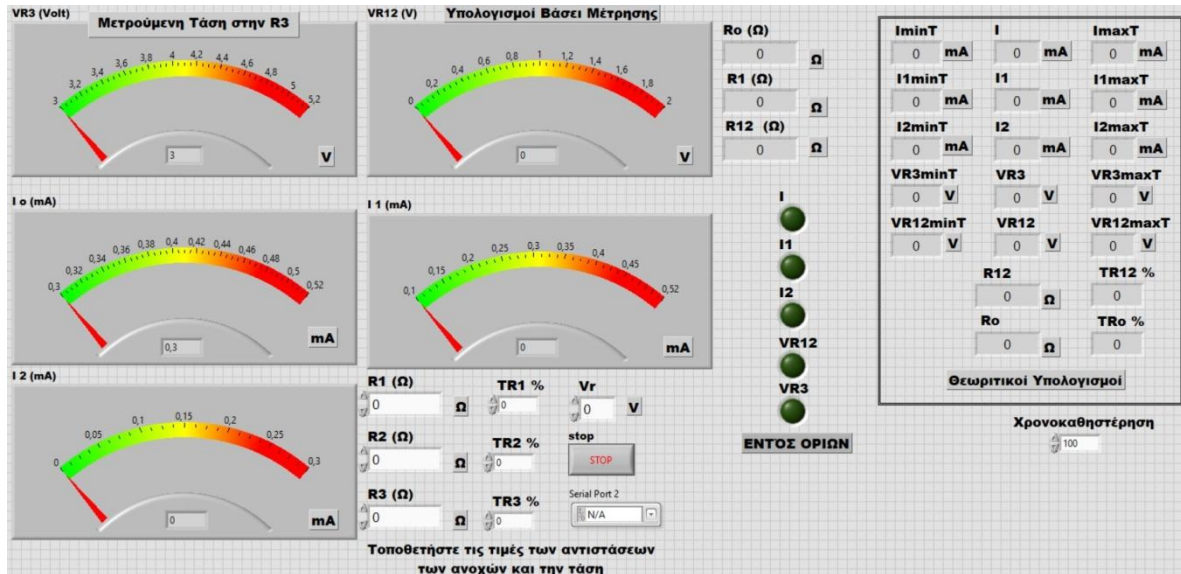


Εικόνα 4.12 : Block Diagram – Σύγκριση των αποτελεσμάτων εάν είναι εντός των ορίων.

Στην εικόνα 4.12 συγκρίνουμε τους υπολογισμούς των πρακτικών υπολογισμών και την μέτρηση με τα όρια που υπολογίσαμε στην θεωρία, εάν είναι εντός ορίων ενεργοποιείται ένα πράσινο LED.

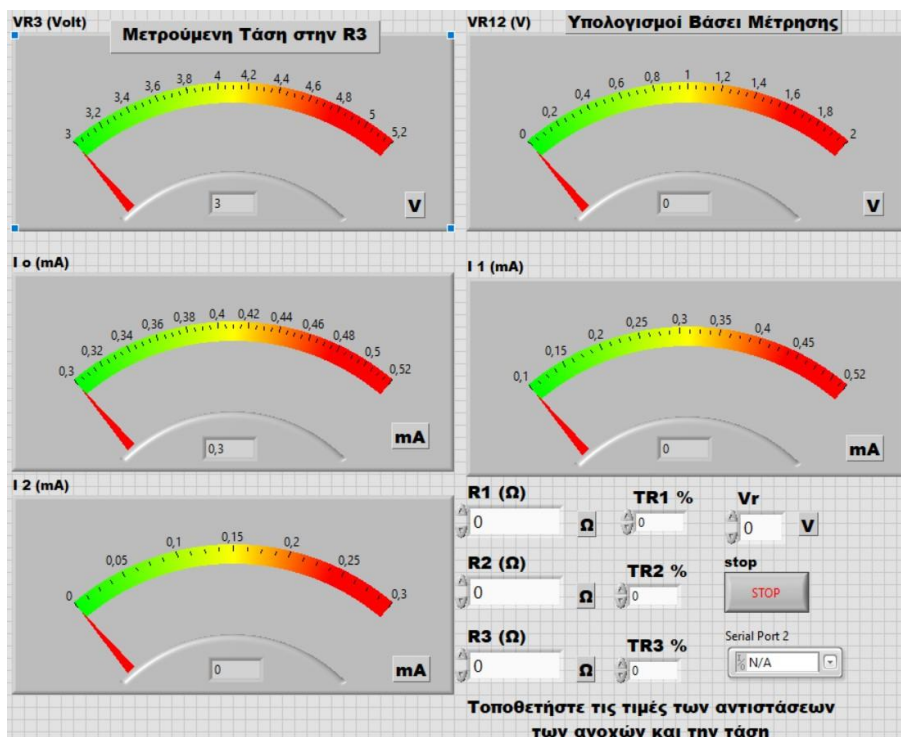
4.3.2.2 Front Panel

Στις επόμενες εικόνες θα σας παρουσιάσουμε την εξωτερική όψη του προγράμματος, την διεπαφή δηλαδή με τον χρήστη, που ονομάζεται Front Panel. Μέσα από αυτό προσπαθήσαμε να δώσουμε στον χρήστη μια κατανοητή και εύκολη οπτική διαδικασία αναγνώρισης των δεδομένων των υπολογισμών και της μέτρησης.



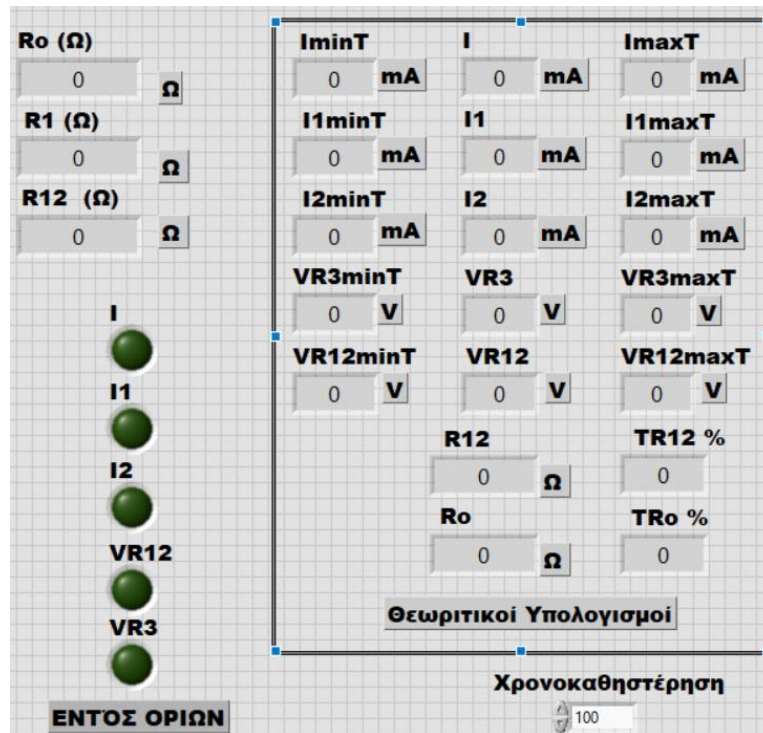
Εικόνα 4.13 : Front Panel – Η διεπαφή του χρήστη.

Στην εικόνα 4.13 βλέπουμε όλη την επιφάνεια του μπροστινού μέρους του εικονικού οργάνου, το front panel. Στις παρακάτω εικόνες θα κάνουμε μια λεπτομερέστερη ανάλυση.



Εικόνα 4.14 : Front Panel – Όργανα μέτρησης και πρακτικών υπολογισμών. Πάνελ εισόδου τιμών μεταβλητών.

Στην εικόνα 4.14 θα δούμε τα εικονικά όργανα μέτρησης της τάσης VR3 και των υπολογισμών που γειώνονται βάσει αυτής της μέτρησης όπως VR12, I_o , I_1 , I_2 . Στην κάτω δεξιά γωνία βρίσκεται το πάνελ στο οποίο μπορούμε να τοποθετήσουμε τις τιμές των μεταβλητών εισόδου όπως R1, R2, R3, Vr, TR1, TR2, TR3, παρατηρούμε το μπουτόν STOP και τον επιλογέα της σειριακής θύρας επικοινωνίας με την οποία συνδέθηκε το Arduino. Στο όργανο απεικόνισης της τάσης VR3 και του ρεύματος I_o παρατηρήσετε ότι η αρχική τιμή δεν είναι το μηδέν, αλλά μία συγκεκριμένη τιμή η οποία προέκυψε από τους θεωρητικούς υπολογισμούς, έγινε για να έχουμε μια καλύτερη απεικόνιση στην κλίμακα του οργάνου. Αυτό μπορεί να αλλάξει ανά πάσα στιγμή απλά κάνοντας κλικ επάνω στην ένδειξη έτσι ώστε να συμπεριλάβουμε και ποσότητες μικρότερες σε περίπτωση που έχουμε άλλες τιμές εξαρτημάτων στο κύκλωμα.

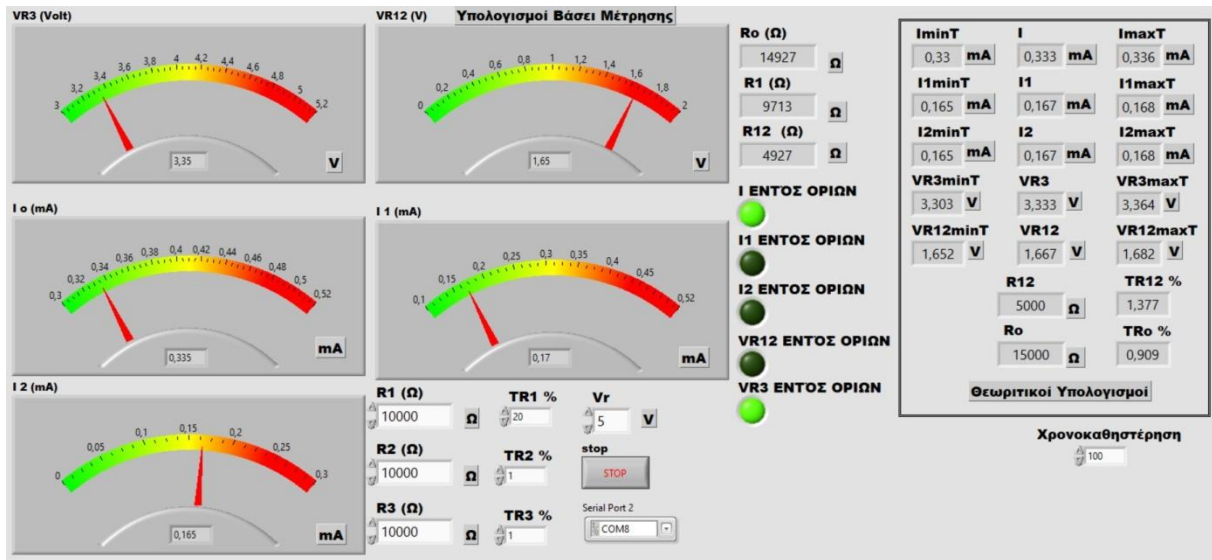


Εικόνα 4.15 : Front Panel – Απεικόνιση θεωρητικών υπολογισμών, LED εντός ορίων.

Στην εικόνα 4.15 μπορούμε να παρατηρήσουμε τα αποτελέσματα των υπολογισμών σε μπλοκ απεικόνισης με ακρίβεια έως και τριών δεκαδικών ψηφίων. Αριστερά θα δούμε τα αποτελέσματα υπολογισμού της ολικής αντίστασης R_o , της αντίστασης R_1 και της συνολικής αντίστασης του παράλληλου συνδυασμού των R_1 , R_2 την R_{12} . Δεξιά παρατηρούμε όλα τα αποτελέσματα από τους θεωρητικούς υπολογισμούς, στην κεντρική στήλη τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας τις ονομαστικές τιμές των εξαρτημάτων και στην αριστερή και δεξιά στήλη τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας τις ανοχές των εξαρτημάτων. Τέλος κάτω από τις στήλες θα δούμε τα αποτελέσματα της ολικής αντίστασης και του παράλληλου συνδυασμού. Επίσης και τις νέες ανοχές που προκύπτουν από τους συνδυασμούς παράλληλα και σε σειρά TR_{12} , TR_o .

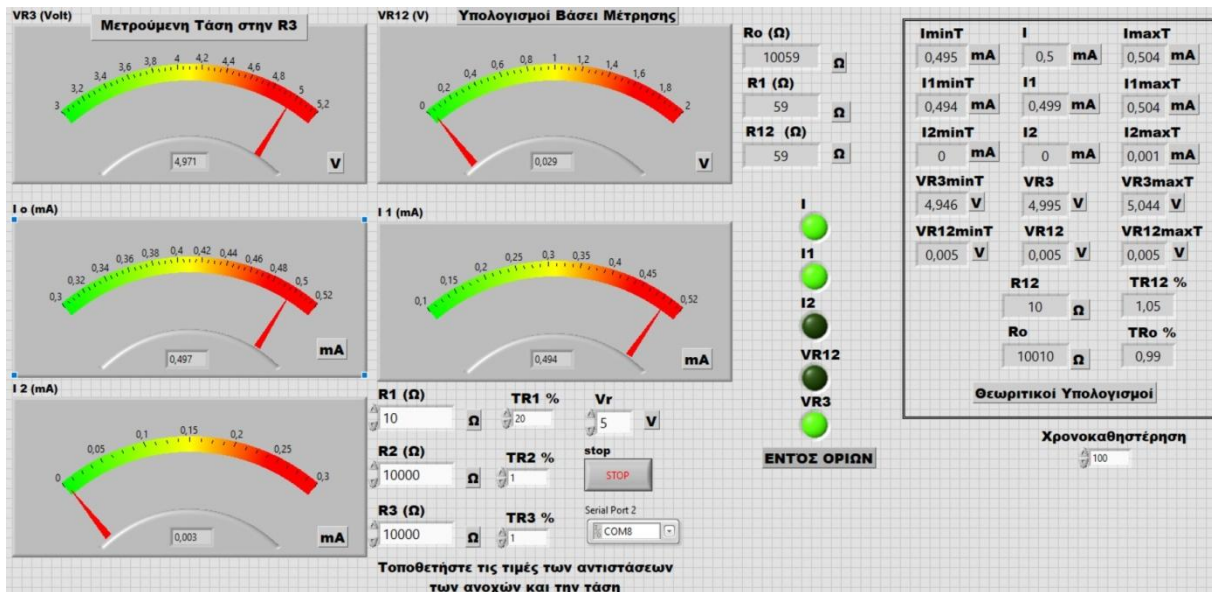
4.3.3 Διαδικασία μέτρησης και πίνακας μετρήσεων.

Αφού τοποθετήσουμε τα εξαρτήματα στο ράστερ και κάνουμε τους απαραίτητους ελέγχους, συνδέουμε το Arduino στο ράστερ και στον Η/Υ μέσω USB και ανοίγουμε το τροφοδοτικό, επιλέγουμε την σωστή θύρα επικοινωνίας, τοποθετούμε τις τιμές στις μεταβλητές εισόδου και πιέζουμε το κουμπί RUN στο front panel. Στις επόμενες εικόνες παραθέτουμε τις ενδείξεις όταν η αντίσταση R_2 είναι στο ελάχιστο εικόνα 4.17 και όταν είναι στο μέγιστο της εικόνα 4.16.



Εικόνα 4.16 : Front Panel – Η αντίσταση R1 στο μέγιστο.

Για να έχουμε τους σωστούς υπολογισμούς όταν η αντίσταση R1 είναι στο ελάχιστο θα πρέπει να τοποθετήσουμε μία ενδεικτική τιμή (περίπου 10 Ω) στην θέση της τιμής των 10000 Ω που είχε προηγουμένως, έτσι ώστε να μπορούν να υπολογιστούν τα όρια μέσα στα οποία θα κυμανθούν οι τάσεις και τα ρεύματα του κυκλώματος.



Εικόνα 4.17 : Front Panel – Η αντίσταση R1 στο ελάχιστο.

Στον πίνακα 4-3 έχουμε συγκεντρωτικά όλες τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με το Arduinoάλλα και με το πολύμετρο, έτσι ώστε να μπορούμε να κάνουμε μια άμεση σύγκριση. Από αυτήν την σύγκριση παρατηρούμε μια μικρή διαφορά στις ελάχιστες τιμές που οφείλεται στο σφάλμα ελάχιστης μετατροπής του μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα (ADC) του Arduino ο οποίος σύμφωνα με τις προδιαγραφές είναι στα 2,5 LSB.

Πίνακας 4-3 : Τελικός πίνακας υπολογισμών και μετρήσεων 3^{ov} κυκλώματος.

Μεταβλητή	Θεωρητικά Ονομαστική τιμή	Μετρήσεις με το Arduino	Μετρήσεις με πολύμετρο	Μεταβλητή με ανοχή	Θεωρητικά Ονομαστική τιμή με ανοχή
R1	Από 0 Ω - 10000 Ω	59 Ω – 9713 Ω	2,1 Ω – 9274 Ω	R1max T(+20%)	Από 8000 Ω – 12000 Ω
R2	10000 Ω		9936 Ω	R2 T(+1%)	Από 9900 Ω – 10100 Ω
R3	10000 Ω		9964 Ω	R3 T(+1%)	Από 9900 Ω – 10100 Ω
R12	Από 0 Ω – 5000 Ω	59 Ω – 4927 Ω	2,6 Ω – 4791 Ω	R12 max T(+-%)	Από 4425 Ω – 5484 Ω
Ro	Από 10000 Ω – 15000 Ω	10059 Ω – 14927 Ω	9963 Ω - 14750 Ω	Ro max T(+-%)	Από 14325 Ω – 15584 Ω
Vr	5 V				
I	Από 0.333 mA – 0,5 mA	0,335 mA – 0,497 mA	0,336 mA – 0,496 mA	I min T(+1,03%)	Από 0,322 mA – 0,343 mA
				I max T(+1,03%)	Από 0,489 mA – 0,510 mA
VR3	Από 3,33 V – 5 V	3,35 V – 4,975 V	3,38 V – 5 V	VR3 min T(+1,03%)	Από 3,319 V – 3,340 V
				VR3 max T(+1,03%)	Από 4,989 V – 5,01 V
VR12	Από 0 V – 1,67 V	0,029 V – 1,65 V	0,001 V – 1,62 V	VR12 min T(+1,03%)	0 V – 0,0103 V
				VR12 max T(+1,03%)	Από 1,659V - 1,68 V
I2	Από 0 mA – 0.167 mA	0,003 mA- 0,165 mA	0,0012 mA 0,162 mA	I2 min T(+1,03%)	0 mA – 0,01032 mA
				I2 max T(+1,03%)	Από 0,156 - 0,177 mA
I1	Από 0.167 mA– 0,5mA	0,17 mA – 0,494 mA	0,174 mA - 0,491 mA	I1 min T(+1,03%)	Από 0,156 - 0,177 mA
				I1 max T(+1,03%)	Από 0,489 mA – 0,510 mA

4.4 Εκπαιδευτική χρήση.

Στην παρούσα άσκηση μπορούμε να πούμε ότι προσπαθήσαμε να δώσουμε μια άλλη διαφορετική προσέγγιση στην επίλυση των κυκλωμάτων, μια προσέγγιση με λιγότερους υπολογισμούς όσον αφορά την ανοχή των εξαρτημάτων και την συμβολή τους στον υπολογισμό των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών. Σε αυτήν την άσκηση ο μαθητής ή ο σπουδαστής μπορεί να ελέγξει την θεωρία που διέπει ένα κύκλωμα με αντιστάσεις σε μεικτή συνδεσμολογία. Με την βοήθεια του καθηγητή μπορούν να δοκιμαστούν διάφορες τιμές αντιστάσεων και ανοχών όπως και αντιστάσεις ίδιας τιμής αλλά από διαφορετικές παρτίδες κατασκευής ή παλαιότερης χρήσης. Για την εκπαιδευτική χρήση του κυκλώματος αυτού υπάρχουν διαθέσιμα και τα φύλλα πορείας της άσκησης στο παράρτημα Β.

4.5 Επίλογος

Στην ενότητα 4.2 πραγματοποιήσαμε τους θεωρητικούς υπολογισμούς του κυκλώματος, στην ενότητα 4.3 υλοποιήσαμε το κύκλωμα σε ράστερ και πραγματοποιήσαμε τις μετρήσεις και τους απαραίτητους υπολογισμούς για να επιβεβαιώσουμε την θεωρία συγκεντρώνοντας γι' αυτόν τον λόγο όλα τα αποτελέσματα σε έναν πίνακα, πίνακας 4.3. Τέλος στην ενότητα 4.4 παραθέσαμε ως επιλογή και κάποια άλλα εκπαιδευτικά σενάρια που μπορούν να διεξαχθούν από αυτό το σύστημα.

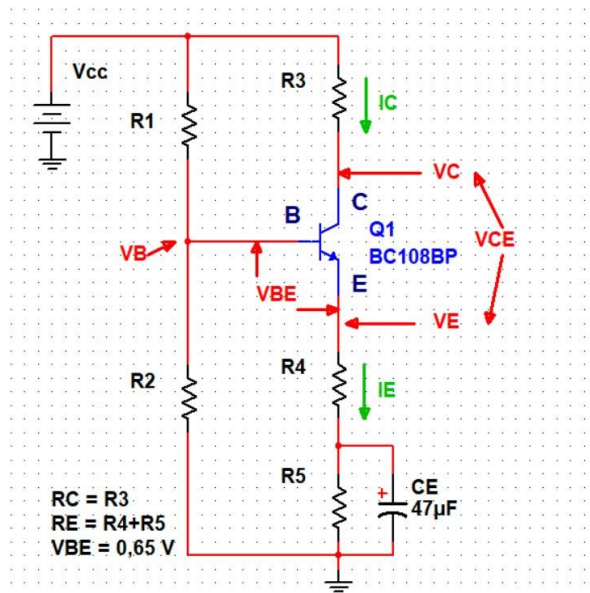
5. Κεφάλαιο 5^ο. Μονοβάθμιος ενισχυτής AC με διπολικό τρανζίστορ(BJT).

5.1 Εισαγωγή.

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε έναν ενισχυτή με διπολικό τρανζίστορ (BJT), και πιο συγκεκριμένα θα χρησιμοποιήσουμε το BC 108B. Ο ενισχυτής μας είναι μία συνδεσμολογία κοινού εκπομπού με πόλωση διαιρέτη τάσης και με αντίσταση εξουδετέρωσης στον εκπομπό. Στην συνέχεια και στην επόμενη παράγραφο της θεωρητικής ανάλυσης θα σας αναπτύξουμε τον υπολογισμό των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών και των στοιχείων του κυκλώματος, όπου μέσω ενός οδηγού σχεδίασης με πόλωση διαιρέτη τάσης, VDB (Voltage Divider Bias), θα καθορίζουμε τις τιμές των εξαρτημάτων έτσι ώστε να σχεδιάσουμε και αργότερα να κατασκευάσουμε το κύκλωμά μας.

5.2 Θεωρητική ανάλυση.

5.2.1 Οδηγός σχεδίασης κυκλώματος για σταθερό σημείο Q. Υπολογισμός DC χαρακτηριστικών.



Εικόνα 5.1: Το κύκλωμα του ενισχυτή.

Στην εικόνα 5.1 βλέπουμε το κύκλωμα του ενισχυτή χωρίς τις τιμές των εξαρτημάτων, στην συνέχεια το αναλύουμε βάση του οδηγού και καταλήγουμε στο ολοκληρωμένο κύκλωμα.

Από το φύλο τεχνικών προδιαγραφών του τρανζίστορ (BC 108B) μπορούμε να βρούμε ότι για ρεύμα $I_C=2 \text{ mA}$ έχουμε $\beta_{dc}=290$, το οποίο μπορεί να κυμανθεί από (180 - 460), ορίζουμε την τιμή $\beta=300$. Η τάση στον εκπομπό ορίζεται στην τιμή του 10% της τάσης τροφοδοσίας V_{cc} , εξίσωση 5.1. (9)

$$V_E = 0,1 * V_{cc} = 0,1 * 10 \text{ V} = 1 \text{ V} \quad (5.1)$$

Για να έχουμε ρεύμα εκπομπού $I_E=2 \text{ mA}$ θα πρέπει να τοποθετήσουμε μία αντίσταση στον εκπομπό, σύμφωνα με την εξίσωση 5.2.

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} = \frac{1 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 500 \Omega \quad (5.2)$$

Για να τοποθετήσουμε το σημείο λειτουργίας Q στην μέση της ευθείας φόρτου θα πρέπει η τάση μεταξύ συλλέκτη εκπομπού VCE να είναι το 50% της τάσης τροφοδοσίας VCC, σύμφωνα με την εξίσωση 5.3.

$$VCE = 0,5 * Vcc = 0,5 * 10 V = 5 V \quad (5.3)$$

Αρα η υπόλοιπη τάση εφαρμόζεται πάνω στην αντίσταση RC (R3), σύμφωνα με την εξίσωση 5.4.

$$VRC = Vcc - VE - VCE = 4V \quad (5.4)$$

Επειδή θα εφαρμόσουμε την τεχνική της αντίστασης εξουδετέρωσης στο AC, τοποθετώντας μια αντίσταση εκτός του πυκνωτή εκπομπού, η τελική αντίσταση εκπομπού (εξίσωση 5.5), θα είναι το άθροισμα των δύο αντιστάσεων. Η αντίσταση R5 είναι η αντίσταση εξουδετέρωσης η οποία θα πρέπει να είναι μικρότερη από την R4 που τοποθετείται παράλληλα στον πυκνωτή CE.

$$RE = R4 + R5 \quad (5.5)$$

Η αντίσταση του εκπομπού στο συγκεκριμένο ρεύμα λειτουργίας Ic είναι, σύμφωνα με την εξίσωση 5.6.

$$re = \frac{25 \text{ mV}}{Ic} = \frac{25 \text{ mV}}{2 \text{ mA}} = 12,5 \Omega \quad (5.6)$$

Ορίζουμε την R4=68Ω, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την αντίσταση re του εκπομπού (εξίσωση 5.6) και μικρότερη από την συνολική αντίσταση RE (εξίσωση 5.2). Η πλησιέστερη τιμή για την R5 είναι τα 430Ω, άρα η τελική τιμή της αντίστασης RE θα είναι σύμφωνα με την εξίσωση 5.7.

$$RE = R4 + R5 = 430 \Omega + 68 \Omega = 498 \Omega \quad (5.7)$$

Για να μπορέσουμε να έχουμε τις τάσεις που υπολογίσαμε στην αρχή, δηλαδή VCE εξίσωση 5.3 , VRC εξίσωση 15.4 και VE εξίσωση 5.1 θα πρέπει να τοποθετήσουμε μια αντίσταση στον συλλέκτη σύμφωνα με την εξίσωση 5.8.

$$RC = 4 * RE = 4 * 498 \Omega = 1992 \Omega \quad (5.8)$$

Η πιο κοντινή τιμή στο εμπόριο είναι η 2ΚΩ. Άρα RC=2ΚΩ.

Επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε την λειτουργία ενός πολύ σταθερού διαιρέτη τάσης. Άρα θα πρέπει ο παράλληλος συνδυασμός των αντιστάσεων R1 και R2 να ακολουθήσει την σχέση στην εξίσωση 5.9.

$$R1,2 = 0,01 * \beta dc * RE = 0,01 * 300 * 498 \Omega = 1494 \Omega \quad (5.9)$$

Συνήθως η R2 είναι μικρότερη από την R1. Άρα μπορούμε να πούμε ότι ισχύει R2=1494 Ω.

Τέλος υπολογίζουμε την αντίσταση R1 με την αναλογία που ισχύει σε αντιστάσεις που συνδέονται σε σειρά και είναι σύμφωνα με την εξίσωση 5.10.

$$R1 = \frac{VR1}{VR2} * R2 \quad (5.10)$$

Όπου VR2 έχουμε μια τιμή στα 1,65 V σύμφωνα με την εξίσωση 5.11.

$$VR2 = VE + VBE = 1V + 0,65V = 1,65V \quad (5.11)$$

Και όπου V1 έχουμε μια τιμή 8,35 V σύμφωνα με την εξίσωση 5.12.

$$VR1 = Vcc - V2 = 10V - 1,65V = 8,35V \quad (5.12)$$

Άρα τελικά η αντίσταση R1 θα έχει την τιμή των 7560 Ω σύμφωνα με την εξίσωση 5.13.

$$R1 = \frac{VR1}{VR2} * R2 = \frac{8,35V}{1,65V} * 1494\Omega = 5,06 * 1494\Omega = 7559,64\Omega \quad (5.13)$$

Ακολουθώντας την αντίστροφη διαδικασία και για να διαπιστώσουμε εάν είμαστε εντός των ορίων χρησιμοποιώντας τις πραγματικές τιμές των αντιστάσεων, εάν χρησιμοποιήσουμε ως πλησιέστερη τιμή για την **R1 τα 8,2KΩ** τότε έχουμε ως τιμή στην αντίσταση R2 αυτήν της εξίσωσης 5.4.

$$R2 = \frac{R1}{5,06} = \frac{8,2K\Omega}{5,06} = 1620\Omega \quad (5.14)$$

Άρα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια αντίσταση του εμπορίου με τιμή **R2=1,6KΩ**.

Σύμφωνα με τις νέες τιμές στις R1,R2 ο παράλληλος συνδυασμός τους θα μας δώσει μια τιμή στα 1339 Ω, σύμφωνα με την εξίσωση 5.15, η οποία είναι κοντά στην αρχικά υπολογισμένη τιμή (εξίσωση 5.9).

$$R1,2 = \frac{R1 * R2}{R1 + R2} = \frac{8,2K\Omega * 1,6K\Omega}{8,2K\Omega + 1,6K\Omega} = 1338,78\Omega \quad (5.15)$$

Σύμφωνα με τις νέες αντιστάσεις R1,R2 στον διαιρέτη τάσης για να έχουμε ένα καλύτερο υπολογισμό του ρεύματος IE μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση 5.16, (όπου VBB=VR2).

$$IE = \frac{VBB - VBE}{RE + \left(\frac{R1,2}{\beta_{dc}}\right)} = \frac{1V}{498\Omega + 4,46} = 1,99mA \quad (5.16)$$

Υπολογίζουμε τα δύο άκρα της ευθείας φόρτου DC του κυκλώματος του ενισχυτή.

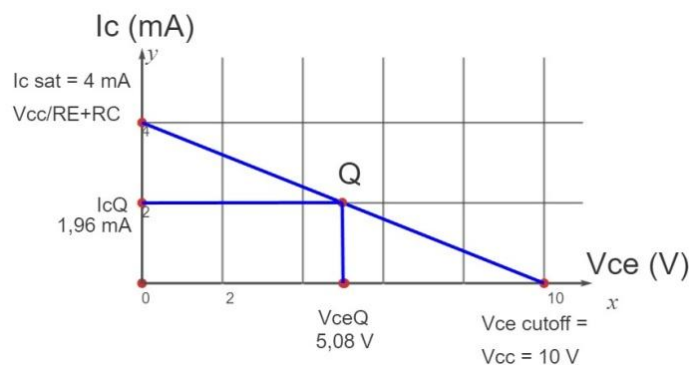
Όταν το τρανζίστορ είναι στην περιοχή της αποκοπής, δηλαδή το ρεύμα IC είναι μηδέν, τότε ισχύει η εξίσωση 5.17.

$$VCE_{cutoff} = VCC \quad (5.17)$$

Όταν το τρανζίστορ είναι στην ενεργό περιοχή, δηλαδή η τάση VCE είναι μηδέν, τότε ισχύει η εξίσωση 5.18.

$$IC_{sat} = \frac{VCC}{RE + RC} = \frac{10V}{498\Omega + 2000\Omega} = 0,004A = 4mA \quad (5.18)$$

Στην εικόνα 5.2 βλέπουμε τη ευθεία φόρτου στο DC για τον ενισχυτή μας. Τα άκρα της ευθείας υπολογίζονται από τις εξισώσεις (5.17 & 5.18), ενώ το σημείο λειτουργίας Q υπολογίζεται από τις εξισώσεις (5.3 & 5.16).



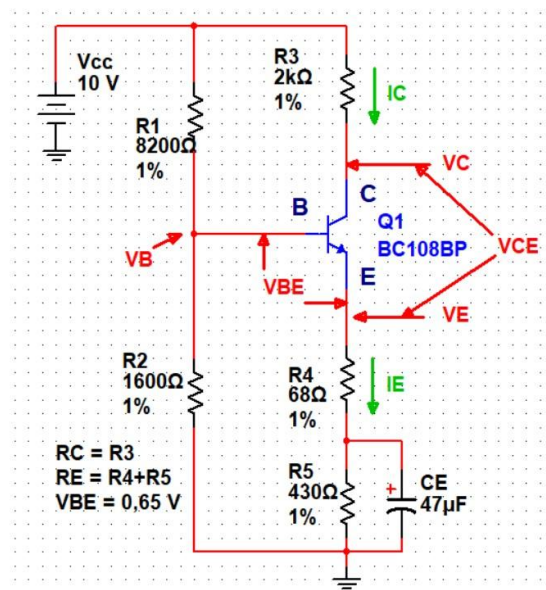
Εικόνα 5.2: Ευθεία φόρτου DC, σημείο λειτουργίας Q.

Ο παρακάτω πίνακας 5.1 συγκεντρώνει όλους τους υπολογισμούς και τις επιλογές των τιμών των στοιχείων του κυκλώματος. Στην αριστερή στήλη βλέπουμε την μεταβλητή, στην δεύτερη από δεξιά την τιμή και στην αριστερή στήλη μια επεξήγηση για το πώς καταλήξαμε σε αυτήν την τιμή. Στην

εικόνα 5.3 βλέπουμε την τελική σύνθεση του κυκλώματος του ενισχυτή με όλες τις τιμές των εξαρτημάτων που υπολογιστήκαν στο θεωρητικό μέρος. Χρησιμοποιούμε αντιστάσεις με ανοχή 1% για να έχουμε μεγάλη ακρίβεια στα υπολογισμένα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των ρευμάτων και των τάσεων.

Πίνακας 5-1 : Θεωρητικοί υπολογισμοί των στοιχείων του κυκλώματος.

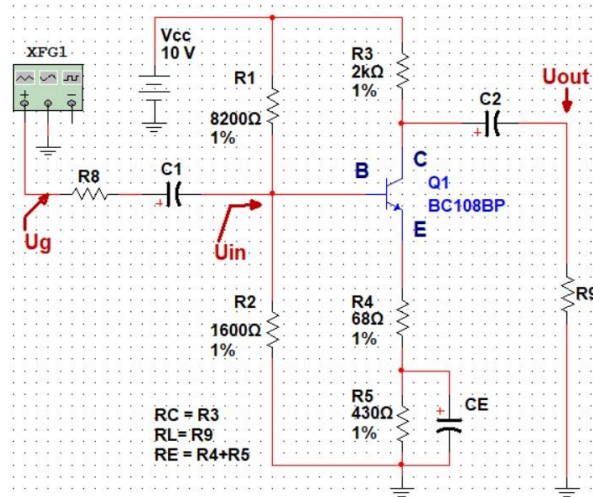
β_{dc}	300	Επιλογή για ρεύμα $I_C=2\text{mA}$
I_C	2mA	Επιλογή λειτουργίας
V_E	1V	Υπολογισμός για σταθερό σημείο Q, εξίσωση 5.1
V_{CE}	5V	Υπολογισμός για σταθερό σημείο Q, εξίσωση 5.3
V_{RC}	4V	Υπολογισμός για σταθερό σημείο Q, εξίσωση 5.4
V_{BE}	0,65V	Επιλογή από το φύλλο δεδομένων
V_{CC}	10V	Δεδομένο
r_e	12,5 Ω	Υπολογισμός αντίσταση εκπομπού, εξίσωση 5.6
R_4	68 Ω	Επιλογή αντίστασης εξουδετέρωσης (αντίσταση ανάδρασης) για σταθεροποίηση του κέρδους του ρεύματος. Πρέπει να είναι μικρότερη από την συνολική αντίσταση R_E αλλά μεγαλύτερη από την αντίσταση του εκπομπού r_e .
R_5	430 Ω	Επιλογή εμπορίου
R_E	498 Ω	Υπολογισμένη τιμή, R_4+R_5 , εξίσωση 5.2
R_3	2K Ω	Επιλογή εμπορίου, $R_3=R_C$
R_1	8,2K Ω	Επιλογή εμπορίου, εξίσωση 5.13
R_2	1,6K Ω	Υπολογισμός έχοντας υπόψη την αντίσταση R_1 , επιλογή εμπορίου, εξίσωση 5.14
I_E	1,99mA	Υπολογισμός με τις νέες τιμές των αντιστάσεων R_1, R_2 . εξίσωση 5.16
$V_{CEcutoff}$	10 V	Υπολογισμός, εξίσωση 5.17
I_{Csat}	4 mA	Υπολογισμός, εξίσωση 5.18



Εικόνα 5.3 : Το τελικό κύκλωμα του ενισχυτή με τις τιμές των εξαρτημάτων.

5.2.2 Υπολογισμός AC χαρακτηριστικών του κυκλώματος.

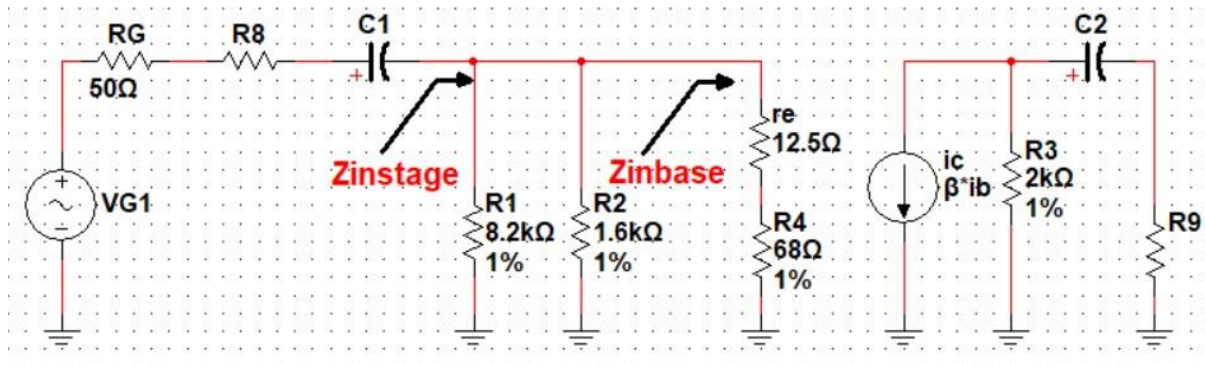
Το κύκλωμά μας για να μπορέσει να λειτουργήσει στο AC θα χρησιμοποιήσουμε πυκνωτές σύζευξης στην είσοδο C1 και στην έξοδο C2 του ενισχυτή για να αποκόψουμε κάθε DC συνιστώσα απ' το κύκλωμα προς την γεννήτρια και προς την έξοδο και έναν πυκνωτή παράκαμψης για να παρακάμψουμε την αντίσταση R5 (ο πυκνωτής CE). Το τελικό μας κύκλωμα διαμορφώνεται σύμφωνα με την εικόνα 5.4.



Εικόνα 5.4 : Το κύκλωμα του ενισχυτή με AC σύζευξη πυκνωτών.

5.2.2.1 Υπολογισμός πυκνωτών σύζευξης και παράκαμψης.

Για τους υπολογισμούς μας θα χρησιμοποιήσουμε το ισοδύναμο κύκλωμα του ενισχυτή τύπου Π. (10). Το κύκλωμά μας στην εικόνα 5.4 μετατρέπεται σε ένα ισοδύναμο όπως αυτό της εικόνας 5.5



Εικόνα 5.5: Ισοδύναμο κύκλωμα τύπου Π.

Για να λειτουργήσει σωστά ένας πυκνωτής σύζευξης, η άεργη αντίσταση του θα πρέπει να είναι πολύ μικρότερη από την αντίσταση στη χαμηλότερη συχνότητα της ac πηγής. Δηλαδή σύμφωνα με την εξίσωση 5.19

$$Xc1 < 0,1 * Zinstage \quad (5.19)$$

Όπου Zinstage (εικόνα 5.5) είναι η συνολική αντίσταση της εισόδου του ενισχυτή που είναι σύμφωνα με την εξίσωση 5.20 ο παράλληλος συνδυασμός τριών αντιστάσεων R1, R2 & Zinbase.

$$Zinstage = R1 // R2 // Zinbase \quad (5.20)$$

Όπου Z_{inbase} (εικόνα 5.5 και εξίσωση 5.21) είναι ή σύνθετη αντίσταση εισόδου που βλέπουμε από την βάση του τρανζίστορ.

$$Z_{inbase} = \beta * (r_e' + R_4) = 300 * (12,5 \Omega + 68 \Omega) = 24150 \Omega \quad (5.21)$$

Ο παράλληλος συνδυασμός $R_1//R_2$ θα μας δώσει την αντίσταση $R_{1,2}$ η οποία θα είναι 1339Ω σύμφωνα με την εξίσωση 5.22.

$$R_{1,2} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} = 1339 \Omega \quad (5.22)$$

Άρα σύμφωνα με την εξίσωση 5.23 η τελική σύνθετη αντίσταση του ενισχυτή θα είναι 1269Ω .

$$Z_{instage} = \frac{R_{1,2} * Z_{inbase}}{R_{1,2} + Z_{inbase}} = 1269 \Omega \quad (5.23)$$

Άρα ο πυκνωτής σύζευξης C_1 στην είσοδο του ενισχυτή, σύμφωνα με την εξίσωση 5.19, θα πρέπει να έχει αντίσταση μικρότερη από περίπου 127Ω .

$$X_{C1} < 127 \Omega \quad (5.24)$$

Η τιμή του πυκνωτή για την συχνότητα των 100 Hz , που θεωρήσαμε ως την μικρότερη συχνότητα που θα δώσει η γεννήτρια υπολογίζεται από την εξίσωση 5.25.

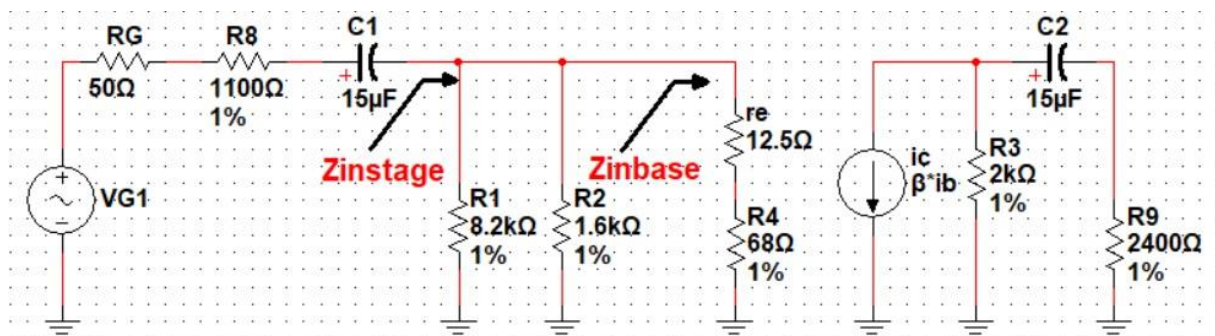
$$C_1 = \frac{1}{2 * \pi * f * X_{C1}} = \frac{1}{2 * 3,14 * 100 \text{ Hz} * 127 \Omega} = 12,53 \mu\text{F} \quad (5.25)$$

Η πλησιέστερη τιμή στο εμπόριο είναι τα $15 \mu\text{F}$, η οποία θα μας δώσει τιμή αντίστασης μικρότερης από 127Ω . Με την καινούργια τιμή του πυκνωτή η σύνθετη αντίσταση του θα υπολογιστεί από την εξίσωση 5.26

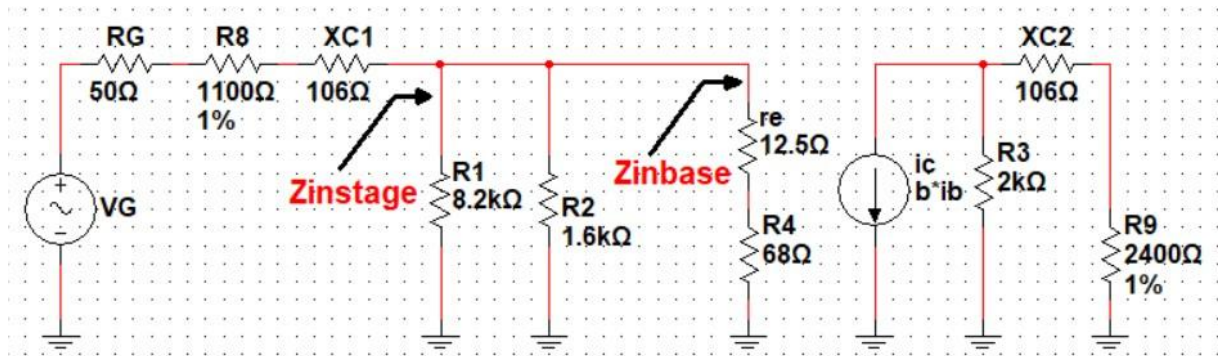
$$X_{C1} = \frac{1}{2 * \pi * f * C} = 106 \Omega \quad (5.26)$$

Οι ίδιες διαδικασίες και υπολογισμοί ισχύουν και για τον πυκνωτή C_2 .

Όσον αφορά τις αντιστάσεις R_8 & R_9 (εικόνα 5.4), τοποθετούμε τιμές τέτοιες ώστε ή R_8 να δημιουργήσει έναν διαιρέτη τάσης $\frac{1}{2}$ στην είσοδο (για την συχνότητα των 100 Hz), ενώ η R_9 με τον παράλληλο συνδυασμό της R_3 να μας δώσει μία αντίσταση ίση με την R_8 , σε περίπτωση που θα συνδέσουμε τον ενισχυτή αυτό με έναν άλλο ίδιο σε συνδεσμολογία καταρράκτη. Άρα θα τοποθετήσουμε μια αντίσταση $R_8 = 1100 \Omega$ και $R_9 = 2,4 \text{ K}\Omega$. Το ισοδύναμο κύκλωμα μας τελικά διαμορφώνεται όπως η εικόνα 5.6. Στην εικόνα 5.7 βλέπουμε πάλι το ισοδύναμο κύκλωμα άλλα με την παρουσία της άεργης αντίστασης των πυκνωτών στην συχνότητα των 100 Hz .



Εικόνα 5.6 : Ισοδύναμο κύκλωμα τύπου Π, με τιμές εξαρτημάτων.

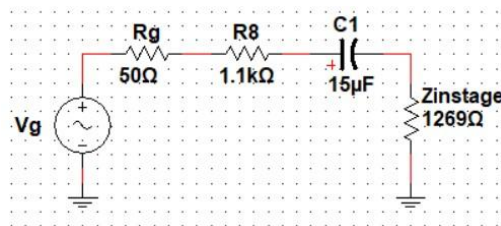


Εικόνα 5.7 : Ισοδύναμο κύκλωμα τύπου Π, με την άεργη αντίσταση των πυκνωτών.

5.2.2.2 Επίδραση των πυκνωτών εισόδου και εξόδου στην απόκριση συχνότητας του κυκλώματος

Με την διαδικασία που θα ακολουθήσουμε σε αυτήν την παράγραφο, θα υπολογίσουμε την κάτω συχνότητα αποκοπής του ενισχυτή. Ο κάθε ένας από τους πυκνωτές που χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα, δηλαδή οι πυκνωτές σύζευξης εισόδου C1, εξόδου C2 και παράκαμψης CE, δημιουργούν μια συχνότητα αποκοπής, ένας από αυτούς θα ορίσει και την κάτω συχνότητα αποκοπής. (11)

Το ισοδύναμο κύκλωμα ως προς τον πυκνωτή σύζευξης εισόδου C1 απεικονίζεται στην εικόνα 5.8.



Εικόνα 5.8 : Ισοδύναμο κύκλωμα πυκνωτή σύζευξης εισόδου.

Αυτό το κύκλωμα σύζευξης έχει συχνότητα αποκοπής ίση με αυτό της εξίσωσης 5.27.

$$f1 = \frac{1}{2\pi * R * C1} \quad (5.27)$$

Όπου Ρ αντικαθιστούμε την τιμή της αντίστασης στην εξίσωση 5.28.

$$R = R_G + R_8 + Z_{instage} = 2419 \Omega \quad (5.28)$$

Άρα η συχνότητα αποκοπής θα είναι ίση με 4,39 Hz, εξίσωση 5.29.

$$f1 = \frac{1}{2\pi * R * C1} = \frac{1}{0,2279} = 4.39 \text{ Hz} \quad (5.29)$$

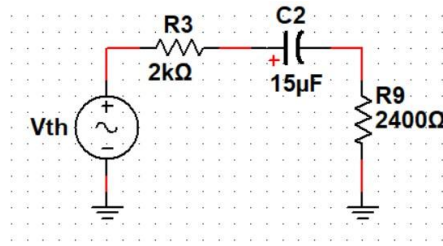
Το ισοδύναμο κύκλωμα ως προς τον πυκνωτή σύζευξης εξόδου C2 απεικονίζεται στην εικόνα 5.9.

Αυτό το κύκλωμα σύζευξης έχει συχνότητα αποκοπής ίση με αυτό της εξίσωσης 5.27. Όπου Ρ αντικαθιστούμε την τιμή της αντίστασης στην εξίσωση 5.30.

$$R = R_3 + R_9 = 4400 \Omega \quad (5.30)$$

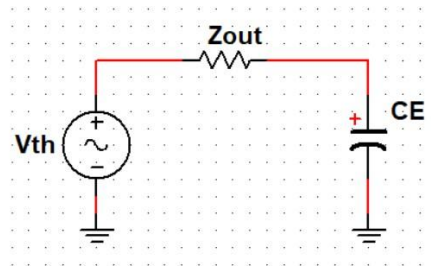
Άρα η συχνότητα αποκοπής θα είναι ίση με 2,41 Hz, εξίσωση 5.31.

$$f2 = \frac{1}{2\pi * R * C2} = \frac{1}{0,4146} = 2,41 \text{ Hz} \quad (5.31)$$



Εικόνα 5.9 : Ισοδύναμο κύκλωμα πυκνωτή σύζευξης εξόδου.

Το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin ως προς τον πυκνωτή παράκαμψης CE είναι αυτό που φαίνεται στην εικόνα 5.10.



Εικόνα 5.10 : Ισοδύναμο κύκλωμα πυκνωτή εκπομπού.

Αυτό το κύκλωμα σύζευξης έχει συχνότητα αποκοπής ίση με αυτό της εξίσωσης 5.32.

$$f_3 = \frac{1}{2\pi * Z_{out} * CE} \quad (5.32)$$

Η σύνθετη αντίσταση εξόδου Z_{out} (εξίσωση 5.33) μπορεί να βρεθεί «βλέποντας» προς τα πίσω στο κύκλωμα από τον πυκνωτή CE.

$$Z_{out} = R_5 \parallel \left(r_{e'} + R_4 + \frac{R_G \parallel R_8 \parallel R_1 \parallel R_2}{\beta} \right) \quad (5.33)$$

Ο παράλληλος συνδυασμός $R_G // R_8 // R_1 // R_2$ θα μας δώσει την τιμή των 46.18 Ω.

Το άθροισμα στην παρένθεση θα μας δώσει : 80,65 Ω . άρα : $Z_{out} = 67,91 \Omega$.

Για να έχουμε μια συχνότητα αποκοπής στα 50 Hz, έτσι ώστε η μικρότερη συχνότητα που έχουμε προγραμματίσει να πάρουμε από την γεννήτρια των 100 Hz, να είναι μέσα στην περιοχή της μέγιστης απολαβής, θα πρέπει να βάλουμε ως πυκνωτή CE την τιμή που θα προκύψει από την εξίσωση 5.34. η πλησιέστερη τιμή στο εμπόριο είναι αυτή των 47 μF.

$$CE = \frac{1}{2\pi * Z_{out} * f} = \frac{1}{0.02005} = 46,87 \mu F \quad (5.34)$$

Τελικά η συχνότητα αποκοπής θα προκύψει από την εξίσωση 5.35.

$$f_3 = \frac{1}{2\pi * Z_{out} * CE} = \frac{1}{0.02005} = 49,86 \text{ Hz} \quad (5.35)$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο καθένας από τους πυκνωτές σύζευξης εισόδου, εξόδου και παράκαμψης εκπομπού δημιουργεί μια συχνότητα αποκοπής, ένας απ' αυτούς είναι ο κύριος πυκνωτής που ορίζει την κάτω συχνότητα αποκοπής, απ' τα αποτελέσματα και την σύγκριση των συχνοτήτων F_1, F_2, F_3 αποδεικνύεται ότι είναι ο CE.

Με τις παρακάτω εξισώσεις θα υπολογίσουμε την απολαβή του ενισχυτή και θα την ανάγουμε σε μονάδες μέτρησης db.

Η απολαβή του ενισχυτή μας δίνεται από την εξίσωση 5.36. Όπου r_c είναι ο παράλληλος συνδυασμός R_3 με R_9 , ο οποίος υπολογίζεται από την εξίσωση 5.37.

$$A_v = \frac{r_c}{r_{e'} + R_4} \quad (5.36)$$

$$r_c = \frac{R_3 * R_9}{R_3 + R_9} = 709.7 \Omega \quad (5.37)$$

Άρα σύμφωνα με την εξίσωση 5.36 θα έχουμε μια απολαβή 8,82 (εξίσωση 5.38).

$$A_v = \frac{r_c}{r_{e'} + R_4} = \frac{709,7 \Omega}{12,5 \Omega + 68 \Omega} = 8,82 \quad (5.38)$$

Η απολαβή στο σημείο αποκοπής υπολογίζεται εάν πολλαπλασιάσουμε την μέγιστη απολαβή A_v με το ποσό 0,707 (εξίσωση 5.39) ή εάν αφαιρέσουμε από την απολαβή, που έχει υπολογιστεί σε db εξίσωση 11.41, τρία db (-3db) εξίσωση 5.42.

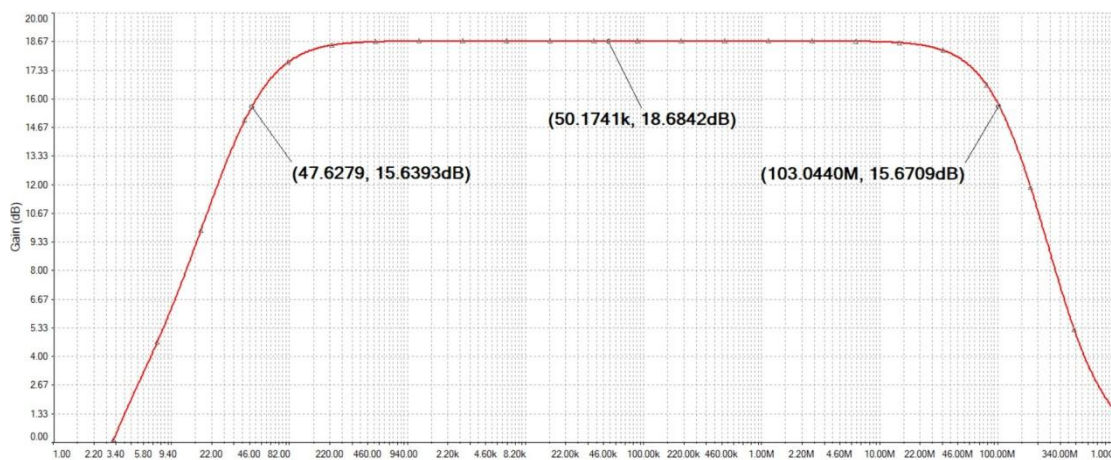
$$A_{vcutoff} = A_v * 0.707 = 6,24 \quad (5.39)$$

$$A_v \text{ cutoff}(dBV) = 20 * \log(A_v \text{ cutoff}) = 20 * 0,79 = 15,9 \text{ dBV} \quad (5.40)$$

$$A_v(dBV) = 20 * \log(A_v) = 20 * 0,95 = 18,9 \text{ dBV} \quad (5.41)$$

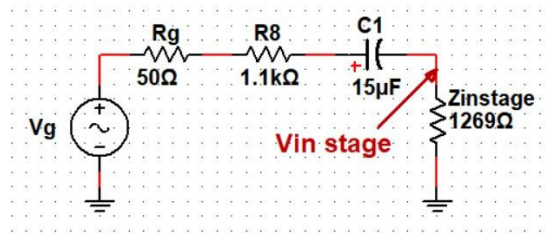
$$A_{vcutoff}(dBV) = A_v(dBV) - 3 \text{ dB} = 15,9 \text{ dBV} \quad (5.42)$$

Η προσομοίωση του κυκλώματος στο Multisim της National Instruments θα μας δώσει το παρακάτω διάγραμμα Bode (εικόνα 5.11), από το οποίο συμπεράνουμε ότι η συχνότητα και η απολαβή τάσης που υπολογίσαμε είναι πολύ κοντά στην πραγματική.



Εικόνα 5.11 : Διάγραμμα BODE από το πρόγραμμα Multisim του κυκλώματος του ενισχυτή.

Στο ισοδύναμο κύκλωμα εισόδου του ενισχυτή (εικόνα 5.12) η τάση εισόδου V_{in} stage του ενισχυτή η οποία και θα ενισχυθεί, υπολογίζεται με βάση τον διαιρέτη τάσης ($R_g + R_8 + X_{c1}$) με την Z_{in} stage, εξίσωση 5.43. Όπου X_{c1} τοποθετούμε την τιμή από την εξίσωση 5.26. Αυτός ο υπολογισμός ισχύει για την συχνότητα των 100 Hz, σε μεγαλύτερες συχνότητες η άεργος αντίσταση του πυκνωτή σύζευξης εισόδου θα γίνεται όλο και πιο μικρή και δεν θα λαμβάνεται υπόψη, βέβαια θα υπάρχει μια μικρή αύξηση της τάσης εισόδου αλλά δεν θα επηρεάσει πάρα πολύ το σύστημά μας. Επιλέγουμε τα 500mVp-p ως τάση στην γεννήτρια.



Εικόνα 5.12 : Ισοδύναμο κύκλωμα εισόδου του ενισχυτή.

$$V_{in\ stage} (p - p) = \frac{Z_{in\ stage}}{R_g + R_8 + X_{c1} + Z_{in\ stage}} * V_g = 0,50257 * 500\ mV = 251,28\ mV \quad (5.43)$$

Ξέρουμε ότι η ενίσχυση του ενισχυτή A_v δίνεται από την εξίσωση 5.44.

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (5.44)$$

Άρα η τάση εξόδου του ενισχυτή θα είναι σύμφωνα με την εξίσωση 5.45.

$$V_{out} (p - p) = A_v * V_{in} = 8,82 * 251,28\ mV = 2,21\ V \quad (5.45)$$

Στον παρακάτω πίνακα 5-2, συγκεντρώνουμε τις τιμές από τους υπολογισμούς του κυκλώματος για το AC.

Πίνακας 5-2 : Συγκεντρωτικός πίνακας υπολογισμών για το AC του κυκλώματος του ενισχυτή.

R1//R2	1339 Ω	Υπολογισμός, εξίσωση 5.22
Zin base	24150 Ω	Υπολογισμός, εξίσωση 5.21
Zin stage	1269 Ω	Υπολογισμός, εξίσωση 5.23
C1=C2	15 μF	Τιμή εμπορίου
R8	1100 Ω	Τιμή εμπορίου
R9	2400 Ω	Τιμή εμπορίου
Xc1=Xc2	106 Ω	Υπολογισμός στα 100 Hz, εξίσωση 5.26
Zout	67,91 Ω	Υπολογισμός, εξίσωση 5.33
CE	47 μF	Τιμή εμπορίου, υπολογισμός, εξίσωση 5.34
F low cut off	49,86 Hz	Υπολογισμός, εξίσωση 5.35
re	12,5 Ω	Προηγούμενος υπολογισμός DC, εξίσωση 5.6
rc=R3//R9	709,7 Ω	Υπολογισμός, εξίσωση 5.37
Av	8,82	Υπολογισμός, εξίσωση 5.38
Av cut off	6,24	Υπολογισμός, εξίσωση 5.39
Av (dBV)	18,9 dB	Υπολογισμός, εξίσωση 5.41
Av (dBV) cut off	15,9 dB	Υπολογισμός, εξίσωση 5.37
Uin stage	251,28 mV(p-p)	Υπολογισμός, εξισώσεις 5.40 & 5.42
Uout	2,21 V(p-p)	Υπολογισμός, εξίσωση 5.45

5.3 Σύνδεση κυκλώματος – προγραμματισμός – μετρήσεις.

Για να μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε τις απαραίτητες μετρήσεις με το Arduino θα πρέπει να προσαρμόσουμε την μορφή και τα επίπεδα των μετρούμενων τάσεων σε αυτά που μπορεί να μετρήσει και να δεχθούν οι αναλογικές εισοδοί του. Στις επόμενες ενότητες θα σας παρουσιάσουμε δύο κυκλώματα προσαρμογής, ένα για την μέτρηση υψηλών τάσεων συνεχούς τάσης (DC) και ένα μετατροπής της εναλλασσόμενης τάσης (AC) σε συνεχής DC χαμηλής τιμής.

5.3.1 Σύνδεση του κυκλώματος στο DC & AC.

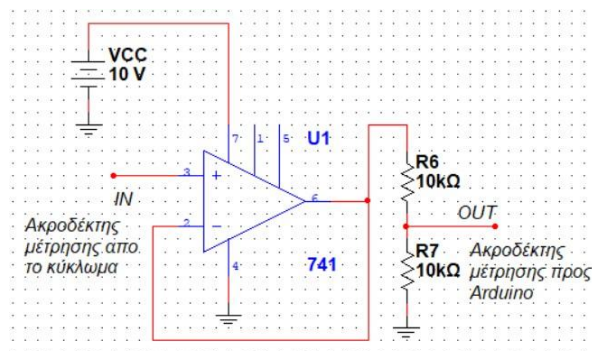
5.3.1.1 Κατασκευή κυκλώματος προσαρμογής DC τάσης για την αναλογική είσοδο του Arduino.

Ένα από τα μειονεκτήματα που έχει ο Arduino είναι ότι στις εισόδους του δεν μπορεί να δεχθεί τάσεις μεγαλύτερες από την τάση τροφοδοσίας του που είναι τα 5V. Άρα για να μετρήσουμε μεγαλύτερες τάσεις θα πρέπει να κατασκευάσουμε ένα κύκλωμα προσαρμογής. (12). Θα χρησιμοποιήσουμε τον διαδεδομένο και οικονομικό τελεστικό ενισχυτή LM741.

Το πιο απλό κύκλωμα είναι ένας διαιρέτης τάσης με ένα δικτύωμα αντιστάσεων, αλλά υπάρχει το πρόβλημα του επηρεασμού των μετρήσεων στο κύκλωμα μας γιατί οι αντιστάσεις δημιουργούν παραλληλισμό με τις υπάρχουσες στο κύκλωμα. Θα πρέπει να κατασκευάσουμε ένα κύκλωμα με πολύ μεγάλη αντίσταση εισόδου έτσι ώστε να μην υπάρχει επιρροή, όπως ακριβώς λειτουργεί και το βολτόμετρο με την πολύ μεγάλη εσωτερική του αντίσταση.

Το κύκλωμα μας θα είναι ένας τελεστικός ενισχυτής σε συνδεσμολογία ακόλουθου τάσης, εικόνα 5.13, ο οποίος έχει πολύ μεγάλη αντίσταση εισόδου, άρα δεν θα επηρεάσει τις μετρήσεις μας, λειτουργεί δηλαδή ως απομονωτής. Στην έξοδο του μπορούμε να τοποθετήσουμε τον διαιρέτη τάσης με δύο αντιστάσεις των 10KΩ. Με αυτήν την διαδικασία δεν θα πρέπει να ξεχάσουμε ότι θα πρέπει να διπλασιάσουμε την τιμή της τάσης που μετράμε με αυτό το κύκλωμα, σύμφωνα με την εξίσωση 5.46.

$$V_{out} = \frac{R7}{R6+R7} * U1 = \frac{1}{2} * U1 \quad (5.46)$$



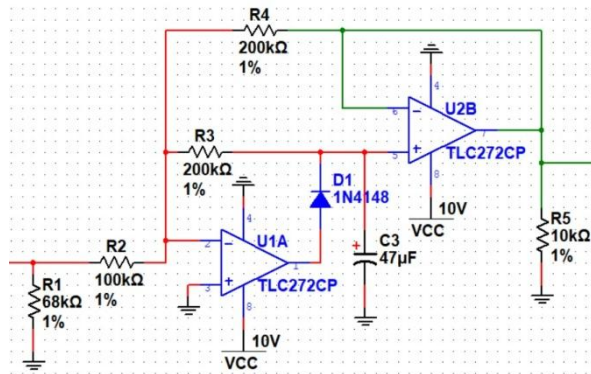
Εικόνα 5.13 : Κύκλωμα προσαρμογής μετρήσεων μεγαλύτερων τάσεων.

5.3.1.2 Κατασκευή κυκλώματος προσαρμογής AC τάσης σε DC για τις αναλογικές εισόδους του Arduino

Η αναλογικές εισοδοί του Arduino δεν μπορούν να μετρήσουν AC τάσεις, αλλά μόνο DC από 0 – 5 V. Άρα εάν θέλουμε να μετρήσουμε AC τάσεις θα πρέπει να τις ανορθώσουμε, για να αποφύγουμε την μείωση της τάσης μέτρησης και τις παραμορφώσεις θα πρέπει να αποφύγουμε τα κλασικά απλά κυκλώματα ανόρθωσης, θα πρέπει να κατασκευάσουμε ένα κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης χρησιμοποιώντας έναν ανορθωτή ακριβείας, εικόνα 5.14. (13). Χρησιμοποιούμε τον τελεστικό ενισχυτή TLC272 γιατί μπορεί να συνδεθεί σε μονοπολική τροφοδοσία. Για να υπολογίσουμε την τάση εξόδου, μετρώντας την τάση εισόδου θα πρέπει, την τάση εξόδου να την διπλασιάσουμε αφού η ανόρθωση που κάνουμε είναι πλήρη. Άρα $V_{in(p-p)} = V_{out(dc)} * 2$.

Ως δίοδο επιλέγουμε την 1N4148, γιατί είναι μια δίοδος με γρήγορη απόκριση και διακοπτικά χαρακτηριστικά. Οι τιμές των αντιστάσεων R3 και R4 επιλέγονται ώστε να έχουμε απολαβή 1, η

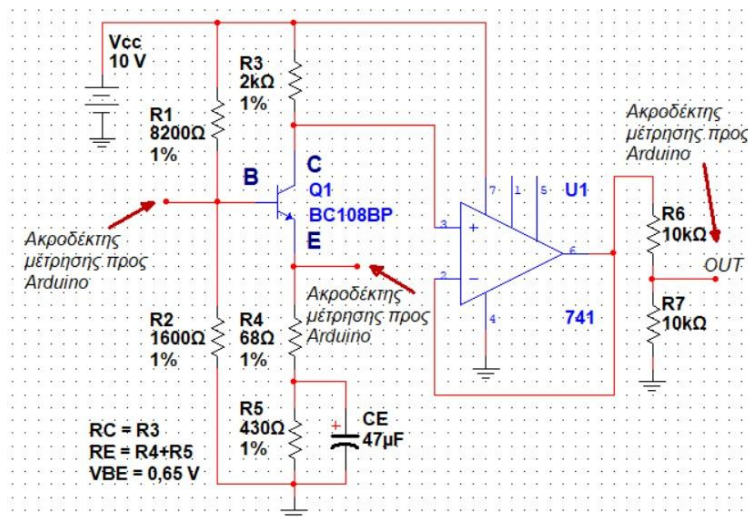
αντίσταση R2 θα πρέπει να είναι $\frac{1}{2}$ της R3 και η αντίσταση R1 είναι ο παράλληλος συνδυασμός των αντιστάσεων R3//R2 έτσι ώστε να έχουμε απολαβή 1 και στις δύο ημιπεριόδους του σήματος. Ο πυκνωτής C3 θα πρέπει να έχει μεγάλη χωρητικότητα έτσι ώστε να κρατήσει την κυμάτωση της τάσης εξόδου των 100 Hz σε ανεκτά όρια, επιλέγεται ο 47 μ F.



Εικόνα 5.14 : Κύκλωμα προσαρμογής μετρήσεων AC τάσης.

5.3.1.3 Σύνδεση Arduino – κατασκευή κυκλώματος DC.

Στο συγκεκριμένο κύκλωμα του ενισχυτή που εξετάζουμε η μόνη τάση που είναι πάνω από τα επιτρεπτά όρια των εισόδων του Arduino είναι η τάση VC, η οποία είναι της τάξης των 6 V (VE+VCE), όλες οι άλλες τάσεις που θα μετρήσουμε, όπως VB και VE είναι εντός των ορίων. Σε περίπτωση αλλαγής της σύνθεσης του κυκλώματος θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε κι άλλα κυκλώματα προσαρμογής όπως αυτό της εικόνας 5.13. Στην παρακάτω εικόνα 5.15, μπορείτε να δείτε το πλήρες κύκλωμα που θα χρησιμοποιηθεί.



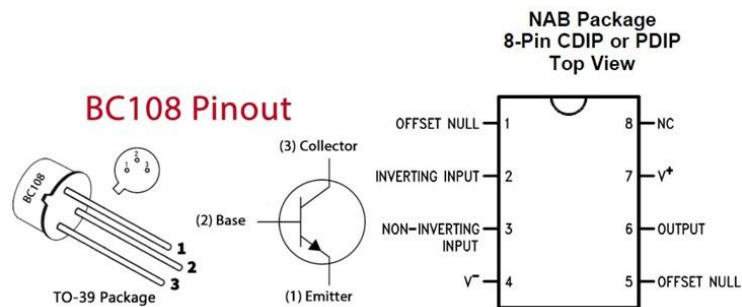
Εικόνα 5.15 : Πλήρες κύκλωμα μετρήσεων στο DC.

Στον παρακάτω πίνακα 5-3, δίνουμε το σύνολο των υλικών και οργάνων που θα χρησιμοποιήσουμε για την κατασκευή του κυκλώματος και για την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Στην εικόνα 5.16 μπορούμε να δούμε την διάταξη των ακροδεκτών του τρανζίστορ BC108 και του τελεστικού ενισχυτή T.E. LM741 που χρησιμοποιούμε στο κύκλωμα. Στην εικόνα 5.17 μπορούμε να δούμε το κύκλωμα κατασκευασμένο σε ράστερ με την χρήση του προγράμματος Tinkercad, ενώ στην εικόνα 5.18 το πραγματικό κύκλωμα. Προσοχή θα πρέπει να δώσουμε στην σύνδεση των αναλογικών εισόδων και

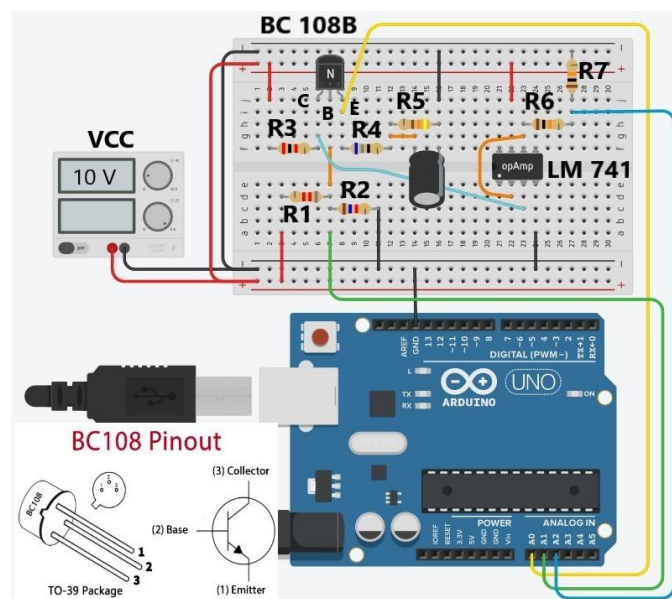
της γείωσης του Arduino γιατί πιθανή λάθος σύνδεση μπορεί να καταστρέψει άμεσα το κύκλωμά του μικροϋπολογιστή, λόγω της τάσης τροφοδοσίας των 10 V.

Πίνακας 5-3 : Υλικών και οργάνων του κυκλώματος του ενισχυτή DC.

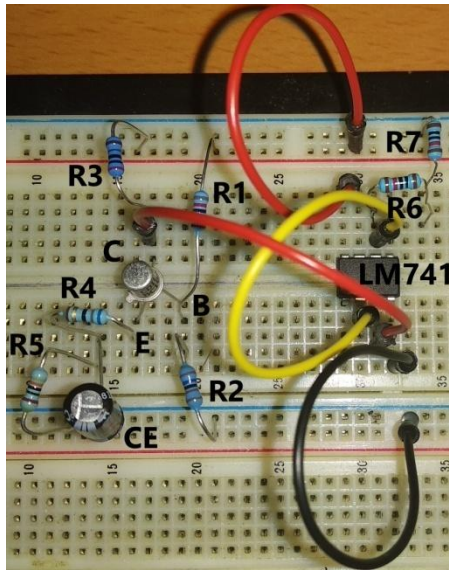
Υλικά	Ποσότητα	Όργανα	Ποσότητα
Πλακέτα ανάπτυξης κυκλωμάτων (ράστερ).	1	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης DC.	1
Αντίσταση R1 8,2 ΚΩ /1%/ ¼W	1	Πλακέτα Arduino Uno.	1
Αντίσταση R2 1,6 ΚΩ /1%/ ¼W	1	Καλώδιο σύνδεσης USB.	1
Αντίσταση R3 2 ΚΩ /1%/ ¼W	1	Καλώδια συνδέσεων (μικρά σε μήκος).	5
Αντίσταση R4 68 Ω /1%/ ¼W	1	Καλώδια συνδέσεων (μεγάλα σε μήκος).	3
Αντίσταση R5 430 Ω /1%/ ¼W	1	Ζευγάρι καλωδίων Σύνδεσης τροφοδοτικού με ράστερ.	1
Αντίσταση R6,R7 10 ΚΩ /1%/ ¼W	2		
BJT Τρανζίστορ BC108B	1		
LM 741 OP AMP	1		
Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής CE 47 μF / 63V	1		



Εικόνα 5.16 : Η διάταξη των ακροδεκτών του τρανζίστορ BC108& του Τ.Ε. LM741.



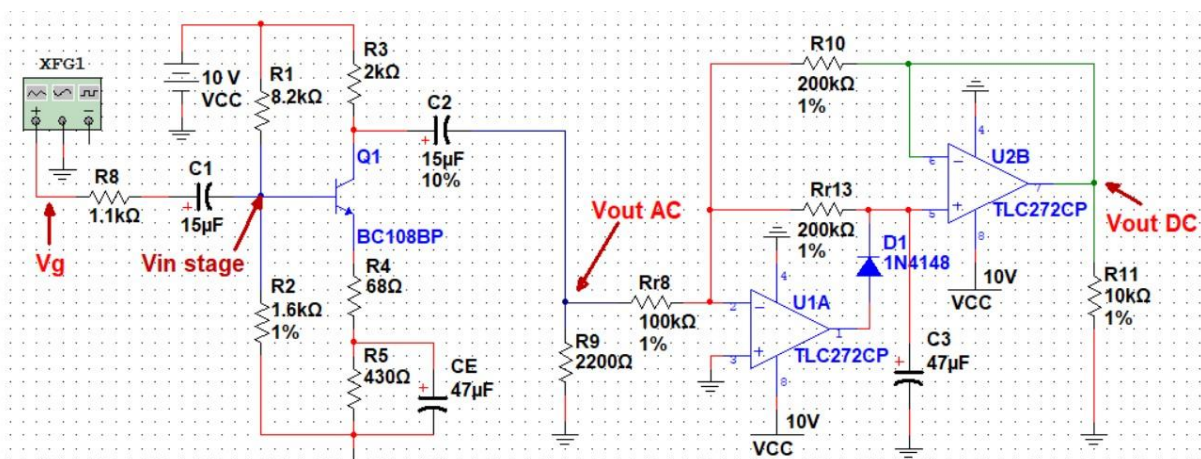
Εικόνα 5.17: Το κύκλωμα μετρήσεων στο DC σε ράστερ.



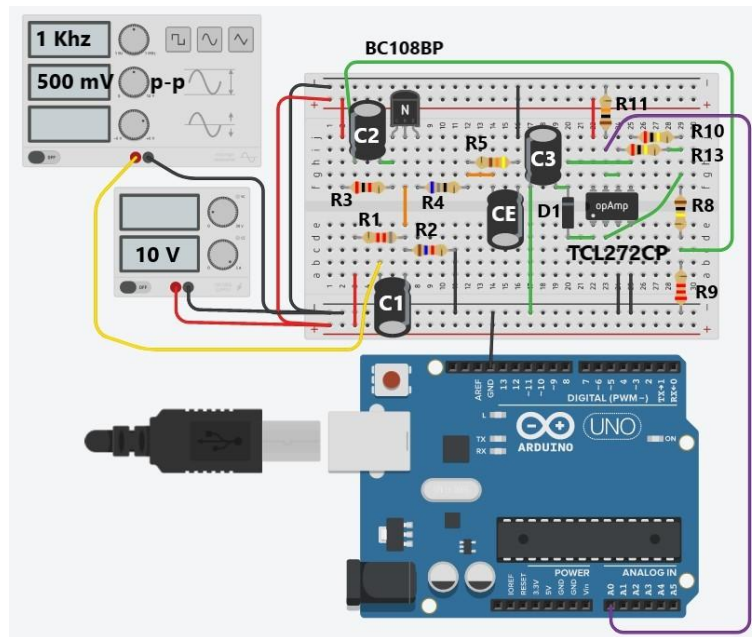
Εικόνα 5.18 : Το πραγματικό κύκλωμα μετρήσεων στο DC σε ράστερ.

5.3.1.4 Σύνδεση Arduino – κατασκευή κυκλώματος AC.

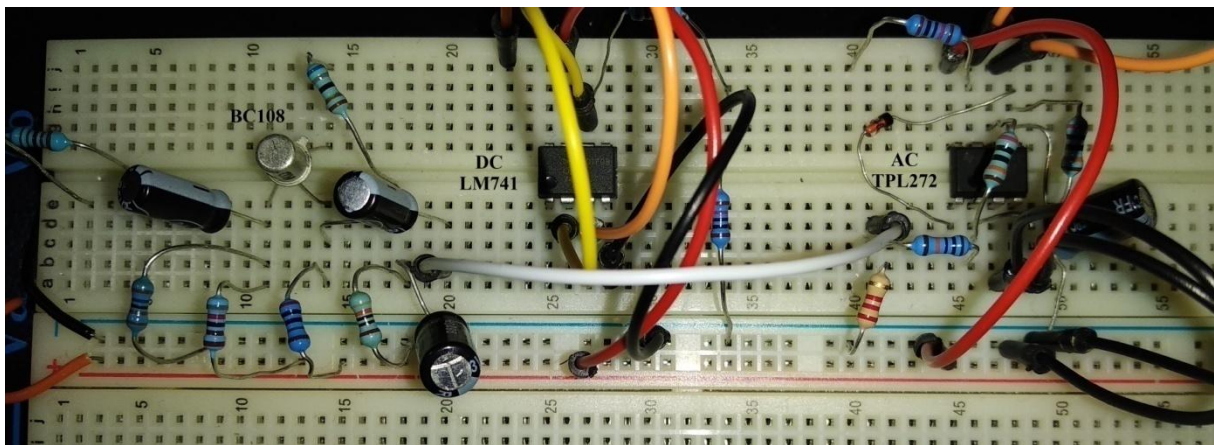
Στην εικόνα 5.19 βλέπουμε το πλήρες κύκλωμα του ενισχυτή για να πάρουμε μετρήσεις στο AC. Στο τελικό μας κύκλωμα, η αντίσταση R1 του ανορθωτή ακριβείας (εικόνα 5.14), αντικαθίσταται από την R9, την αντίσταση φορτίου του ενισχυτή, πετυχαίνοντας έτσι και την αποφυγή του φαινομένου Clamper (ανύψωσης της στάθμης). Η R9 θα πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη από τη σύνθετη αντίσταση του πυκνωτή C2 στην συχνότητα λειτουργίας για να μην μειωθεί το σήμα εισόδου του ανορθωτή, αλλά και αρκετά μικρότερη από την αντίσταση φορτίου που βλέπει Rr8 (εικόνα 5.19). Στην εικόνα 5.20 παρουσιάζουμε το πλήρες κύκλωμα σε ράστερ με την εφαρμογή Tinkercad, η μέτρηση της DC τάσης θα πραγματοποιηθεί από την αναλογική είσοδο A0. Στην εικόνα 5.21 βλέπουμε σε φωτογραφία το πλήρες κύκλωμα μετρήσεων στο AC, μαζί με το κύκλωμα μετρήσεων στο DC, το οποίο είναι ανενεργό για το AC (δεν χρησιμοποιείται). Τέλος στον πίνακα 5-4 παραθέτουμε μία λίστα με τα υλικά και όργανα που θα χρειαστούμε για να κατασκευάσουμε το κύκλωμα και να διεξάγουμε τις μετρήσεις.



Εικόνα 5.19 : Πλήρες κύκλωμα μετρήσεων στο AC.



Εικόνα 5.20 : Το κύκλωμα μετρήσεων στο AC σε ράστερ.



Εικόνα 5.21: Το πραγματικό κύκλωμα μετρήσεων στο AC σε ράστερ.

Πίνακας 5-4: Υλικών και οργάνων του κυκλώματος του ενισχυτή AC.

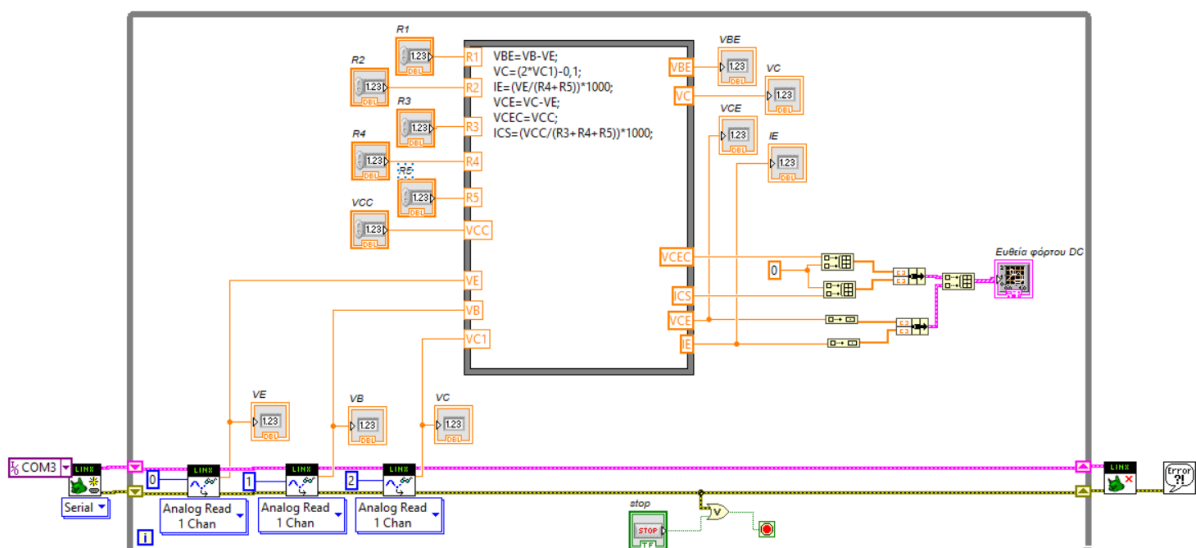
Υλικά	Ποσότητα	Όργανα	Ποσότητα
Ηλεκτρολυτικοί Πυκνωτές C1,C2 = 15 μ F	2	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης DC.	1
Ηλεκτρολυτικός Πυκνωτής C3=47 μ F	1	Πλακέτα Arduino Uno.	1
Αντιστάσεις R8= 1,1K Ω , R9 =2200 Ω	1 +1	Καλώδιο σύνδεσης USB.	1
Αντίσταση R10 = 100 K Ω	1	Καλώδια συνδέσεων (μικρά σε μήκος).	5
Αντιστάσεις R11,R12 = 200 K Ω	2	Καλώδια συνδέσεων (μεγάλα σε μήκος).	3

Αντίσταση R13 = 10 ΚΩ	1	Ζευγάρι καλωδίων Σύνδεσης τροφοδοτικού με ράστερ.	1
Δίοδος D1 = 1N4148	1	Πολύμετρο	1
Τελεστικός Ενισχυτής TLC272CP (είναι διπλό)	1	Γεννήτρια Συχνοτήτων	1

5.3.2 Προγραμματισμός του συστήματος.

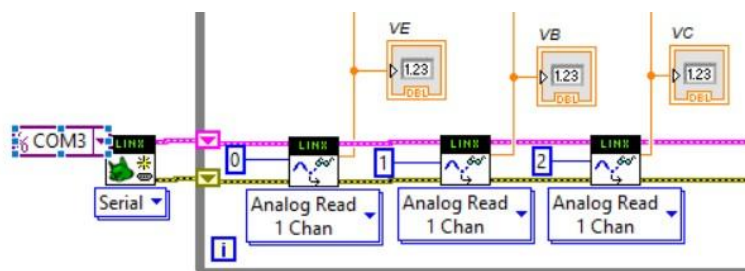
Αφού έχουμε συνδέσει το κύκλωμά μας θα πρέπει να προγραμματίσουμε το αναπτυξιακό μας σύστημα μέσω του LabView. Στο παράρτημα Α παραθέτουμε ένα μικρό απόσπασμα για την γενική διαδικασία προγραμματισμού που θα πρέπει να ακολουθήσουμε, φυσικά θα πρέπει να γνωρίζουμε πώς να εργαστούμε στο περιβάλλον του LabView. Το πρόγραμμά μας χωρίζεται σε τρία μέρη, το πρώτο αφορά τον προγραμματισμό για την μέτρηση των τάσεων μέσω των αναλογικών εισόδων, το δεύτερο αφορά τον υπολογισμό διαφόρων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του κυκλώματος και την απεικόνιση τους και τέλος το τρίτο μέρος αφορά την δημιουργία της ευθείας φόρτου και του σημείου λειτουργίας Q.

5.3.2.1 Block Diagram DC.



Εικόνα 5.22 : Το Πρόγραμμα του LabView – Block Diagram DC.

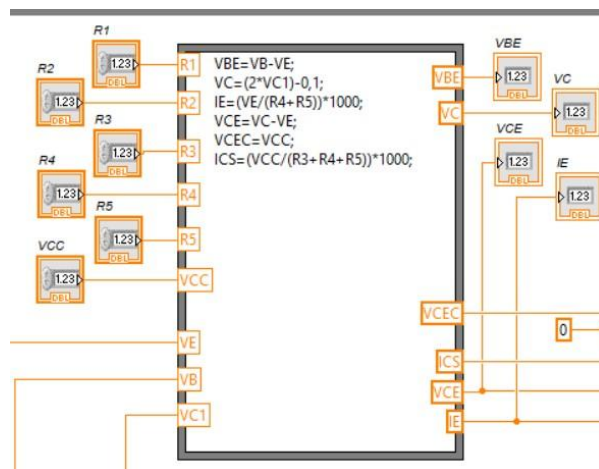
Στην παραπάνω εικόνα 5.22, βλέπουμε ολοκληρωμένο το πρόγραμμα που έχουμε αναπτύξει στο περιβάλλον προγραμματισμού του LabView. Στις επόμενες εικόνες θα αναλύσουμε αναλυτικότερα τα τμήματα από τα οποία αποτελείται.



Εικόνα 5.23 : Block Diagram DC – Άνοιγμα επικοινωνίας - Προγραμματισμός μετρήσεων τάσεων.

Στην εικόνα 5.23, παρατηρούμε το μπλοκ με το οποίο ανοίγουμε μέσω μιας θύρας COM επικοινωνία με το Arduino και τα μπλοκ ανάγνωσης των αναλογικών εισόδων του Arduino. Στο πρώτο μπλοκ διαβάζουμε την αναλογική τάση VE μέσα από την αναλογική είσοδο A0, στο δεύτερο μπλοκ μετράμε την τάση στην βάση του τρανζίστορ VB μέσα από την αναλογική είσοδο A1 και τέλος στο τρίτο μπλοκ μετράμε την τάση στον συλλέκτη (στο αναλογικό κανάλι A2) του τρανζίστορ VC, αλλά μέσα από το κύκλωμα προσαρμογής (εικόνα 5.13) που κατασκευάσαμε για να μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε την μέτρηση.

Στην εικόνα 5.24, απεικονίζουμε τον κόμβο των εξισώσεων μέσα στον οποίο τοποθετούμε τις απαραίτητες εξισώσεις (εικόνα 5.25), για να υπολογίσουμε τα απαραίτητα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κυκλώματος, μαζί παρατηρούμε και τα απαραίτητα μπλοκ για την είσοδο των δεδομένων και την απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

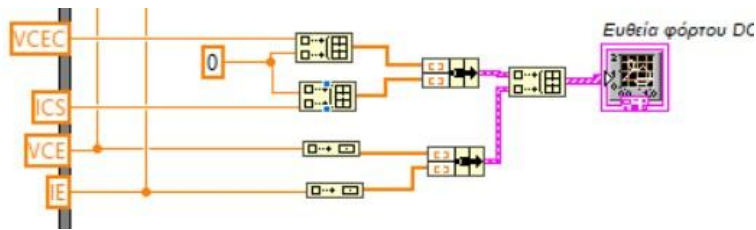


Εικόνα 5.24 : Block Diagram DC – Κόμβος εξισώσεων, μονάδες εισόδου και απεικόνιση αποτελεσμάτων.

Στην εικόνα 5.25, βλέπουμε τις εξισώσεις που έχουμε χρησιμοποιήσει για να υπολογίσουμε τα υπόλοιπα απαραίτητα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κυκλώματος που μπορούν να προκύψουν από τις μετρούμενες τάσεις. Στην δεύτερη εξίσωση από πάνω κατά σειρά, υπολογίζουμε την πραγματική τιμή της τάσης στον συλλέκτη του τρανζίστορ, την οποία μετράμε μέσα από το κύκλωμα προσαρμογής και η όποια πρέπει να είναι η διπλάσια την μετρούμενης, αφαιρούμε και ένα ποσό της τάξης του 0,1V για να αντισταθμίσουμε τις απώλειες που προκύπτουν από την σύνδεση των κυκλωμάτων.

$$\begin{aligned}
 &VBE=VB-VE; \\
 &VC=(2*VC1)-0,1; \\
 &IE=(VE/(R4+R5))*1000; \\
 &VCE=VC-VE; \\
 &VCEC=VCC; \\
 &ICS=(VCC/(R3+R4+R5))*1000;
 \end{aligned}$$

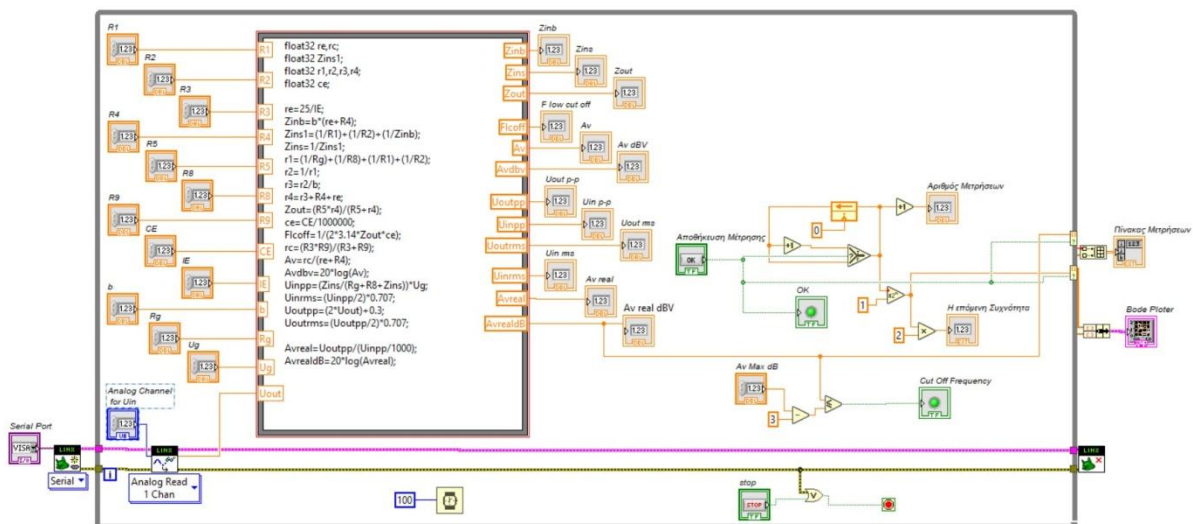
Εικόνα 5.25 : Block Diagram DC – εξισώσεις υπολογισμών από μετρήσεις.



Εικόνα 5.26 : Block Diagram DC – Δημιουργία ευθείας φόρτου στο DC και του σημείου λειτουργίας.

Τέλος στην εικόνα 5.26, μπορούμε να δούμε την δημιουργία της ευθείας φόρτου στο DC και την τοποθέτηση του σημείου λειτουργίας Q του ενισχυτή μας. Στην επάνω πλευρά έχουμε την κατασκευή δύο πινάκων στους οποίους το ένα σημείο είναι η τιμή μηδέν '0' και το άλλο το αντίστοιχο αποτέλεσμα που προκύπτει από τους υπολογισμούς για την τάση, είναι η τάση αποκοπής, (εξίσωση 5.17) και για το ρεύμα το ρεύμα κόρου (εξίσωση 5.18). Για την τοποθέτηση του σημείου ηρεμίας – λειτουργίας του ενισχυτή χρειαζόμαστε δύο συντεταγμένες, μία είναι το ρεύμα λειτουργία $IE=IC$, (εξίσωση 5.16) και της τάσης VCE, (εξίσωση 5.3). Μετά από την κατασκευή των πινάκων και στις δύο περιπτώσεις «δένουμε» τις τιμές αυτές για να κατασκευάσουμε τις συντεταγμένες και τα ίχνη που θα σχεδιαστούν στους άξονες X,Y.

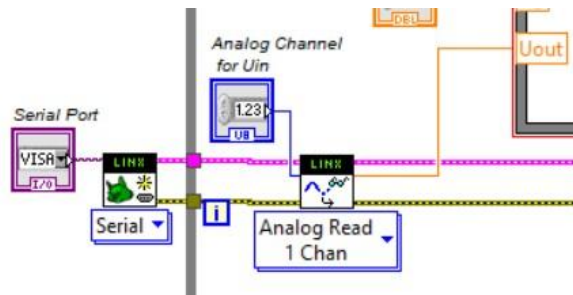
5.3.2.2 Block Diagram AC.



Εικόνα 5.27 : Το Πρόγραμμα του LabView–Block Diagram AC.

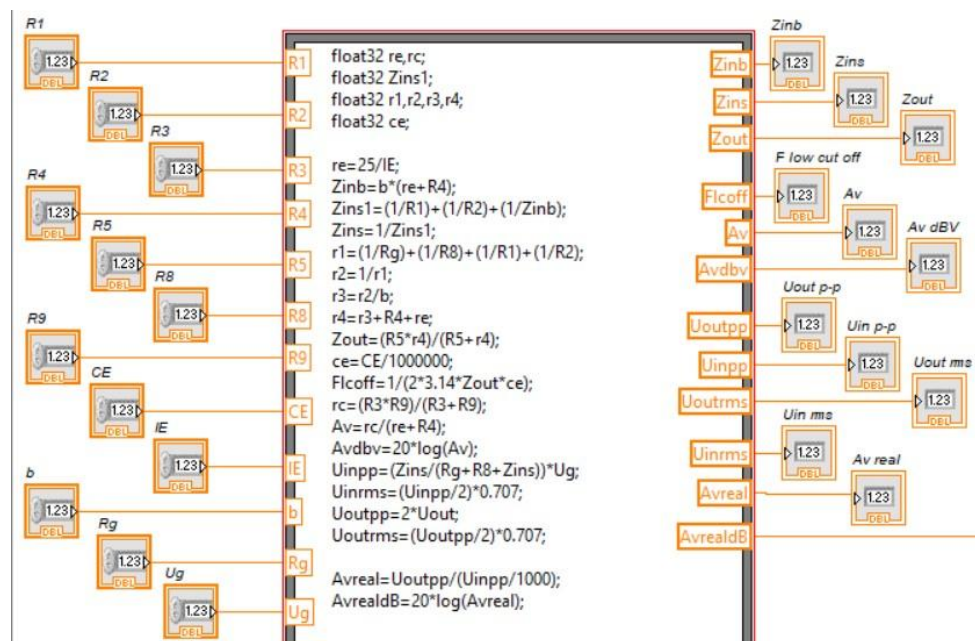
Στην εικόνα 5.27, μπορούμε να δούμε ολόκληρο το πρόγραμμα που έχουμε αναπτύξει στο περιβάλλον προγραμματισμού στο Block diagram του LabView. Στις επόμενες εικόνες θα αναπτύξουμε ξεχωριστά το κάθε ένα τμήμα του και θα το δούμε με λεπτομέρειες.

Στην εικόνα 5.28 που ακολουθεί, βλέπουμε το τμήμα έναρξης της επικοινωνίας με την θύρα USB στην οποία είναι συνδεδεμένο το Arduino (Linx serial port) και στην συνέχεια βλέπουμε το μπλοκ βάσει του οποίου πραγματοποιούμε την μέτρηση στην έξοδο του κυκλώματος ανόρθωσης του τελεστικού ενισχυτή TLC272 (pin 7) από την αναλογική είσοδο A0 του Arduino, μπορούμε να δηλώσουμε όποια είσοδο θέλουμε (analog channel for Uin).



Εικόνα 5.28 : Block Diagram AC – Άνοιγμα επικοινωνίας - Προγραμματισμός μέτρησης τάσης εξόδου ενισχυτή.

Στην εικόνα 5.29, θα παρατηρήσετε τον κόμβο των εξισώσεων που χρησιμοποιούμε για να πραγματοποιήσουμε όλους τους θεωρητικούς υπολογισμούς βάσει της θεωρητικής ανάλυσης, αλλά και τους πρακτικούς υπολογισμούς που μπορούν να γίνουν μετά την μέτρηση της τάσης από το Arduino. Επίσης αποικονίζονται και όλες οι μονάδες εισόδου των δεδομένων και εξόδου των αποτελεσμάτων. Στις μονάδες εισόδου τοποθετούμε τις τιμές από τον πίνακα 5-1, ενώ στις τιμές των αντιστάσεων της γεννήτριας R_g και της τάσης εξόδου της γεννήτριας τοποθετούμε 50 Ω και 500 mV (p-p) αντίστοιχα. Στις μονάδες εξόδου βλέπουμε ως αποτελέσματα τις σύνθετες αντιστάσεις εισόδου βάσης και ενισχυτή, εξόδου, την χαμηλότερη συχνότητα αποκοπής, την απολαβή σε καθαρό αριθμό αλλά και σε db, τις τάσεις εισόδου και εξόδου σε p-p & rms και τέλος την πραγματική απολαβή του ενισχυτή αφού μετρηθεί και η τάση εξόδου του ενισχυτή.



Εικόνα 5.29 :Block Diagram AC – Κόμβος εξισώσεων, μονάδες εισόδου και απεικόνιση αποτελεσμάτων.

Στην εικόνα 5.30, παρουσιάζονται όλες οι εξισώσεις που αναπτύξαμε στον κόμβο. Για τον υπολογισμό της πραγματικής απολαβής χρησιμοποιούμε την εξίσωση 5.47, όπου $U_{in(p-p)}$ είναι η τάση που αναπτύσσεται επάνω στην σύνθετη αντίσταση εισόδου του ενισχυτή $Z_{instage}$.

$$Av_{real} = \frac{U_{out(p-p)}}{U_{in(p-p)}} \quad (5.47)$$

```

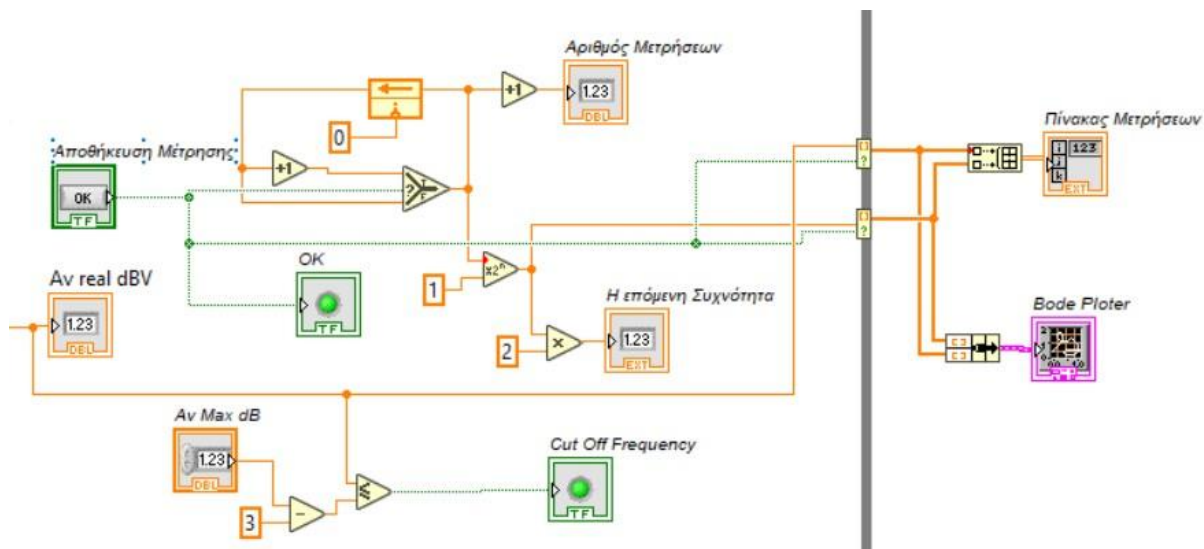
float32 re,rc;
float32 Zins1;
float32 r1,r2,r3,r4;
float32 ce;

re=25/IE;
Zinb=b*(re+R4);
Zins1=(1/R1)+(1/R2)+(1/Zinb);
Zins=1/Zins1;
r1=(1/Rg)+(1/R8)+(1/R1)+(1/R2);
r2=1/r1;
r3=r2/b;
r4=r3+R4+re;
Zout=(R5*r4)/(R5+r4);
ce=CE/1000000;
Flcoff=1/(2*3.14*Zout*ce);
rc=(R3*R9)/(R3+R9);
Av=rc/(re+R4);
Avdbv=20*log(Av);
Uinpp=(Zins/(Rg+R8+Zins))*Ug;
Uinrms=(Uinpp/2)*0.707;
Uoutpp=2*Uout;
Uoutrms=(Uoutpp/2)*0.707;

Avreal=Uoutpp/(Uinpp/1000);
AvrealdB=20*log(Avreal);

```

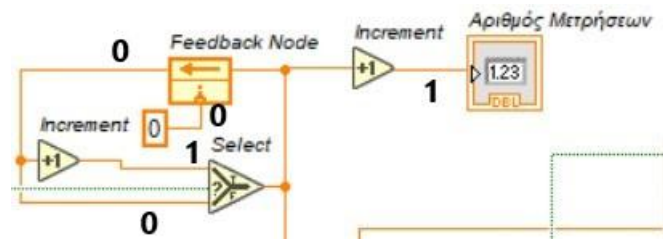
Εικόνα 5.30 : Block Diagram AC – εξισώσεις θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων.



Εικόνα 5.31 : Block Diagram AC – Υπολογισμός και δημιουργία διαγράμματος Bode και πίνακα μετρήσεων.

Στην εικόνα 5.31 θα σας παρουσιάσουμε την διαδικασία που χρησιμοποιήσαμε για να δημιουργήσουμε το διάγραμμα απόκρισης συχνότητας του ενισχυτή (Bode Plot). Η διαδικασία είναι χειροκίνητη κάθε φορά που πατάμε το μπουτόν ‘αποθήκευση μέτρησης’ τότε το μπλοκ ‘Η επόμενη συχνότητα’ μας δείχνει ποια θα είναι η επόμενη συχνότητα που θα τοποθετήσουμε στην γεννήτρια για να κάνουμε την μέτρηση, ενώ το μπλοκ ‘Αριθμός Μετρήσεων’ μας δείχνει πόσες μετρήσεις έχουμε πραγματοποιήσει. Στο κάτω μέρος της εικόνας 5.31, έχουμε τοποθετήσει και μία ενδεικτική λυχνία η οποία απενεργοποιείται όταν η πραγματική απολαβή συμπίσει με την απολαβή της συχνότητας αποκοπής, τότε η συχνότητα που έχει η γεννήτρια είναι και η συχνότητα αποκοπής. Για να

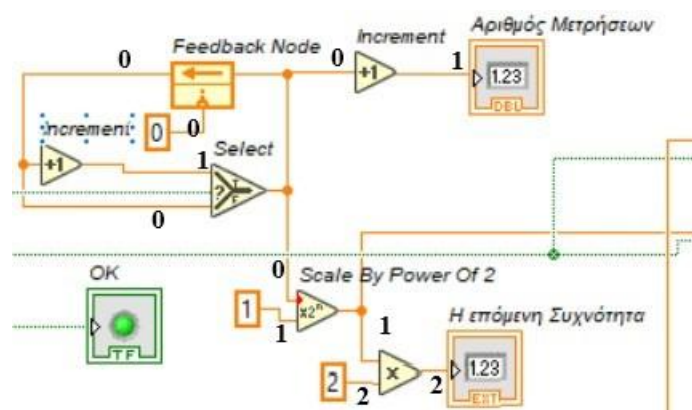
πραγματοποιηθεί ο έλεγχος της συχνότητας αποκοπής θα πρέπει να τοποθετήσουμε στην θέση 'AvMaxdb' την μέγιστη τιμή της πραγματικής απολαβής 'AvrealdBv' που έχουμε βρει τοποθετώντας μια συχνότητα στο μέσο του διαγράμματος.



Εικόνα 5.32 : Block Diagram AC – Διαδικασία επιλογής συχνότητας και αριθμού μέτρησης.

Σύμφωνα με την εικόνα 5.32, με την έναρξη της διαδικασίας ο κόμβος ανατροφοδότησης ξεκινά με τον αριθμό '0', ο οποίος καταλήγει στην κάτω πλευρά του μπλοκ 'επιλογής' και θα περάσει έξω όταν η λογική είσοδος του επιλογέα είναι 'λάθος, false', δηλαδή δεν έχουμε πατήσει το μπουτόν 'Αποθήκευση Μέτρησης'. Στην επάνω είσοδο του επιλογέα, το '0' θα γίνει ο αριθμός '1', ο οποίος θα περάσει στην έξοδο του επιλογέα μόνο όταν πιάσουμε το μπουτόν 'Αποθήκευση Μέτρησης', κατάσταση 'σωστή, true'. Την ίδια χρονική στιγμή το '0' έχει αυξηθεί κατά μια μονάδα και έχει περάσει στον ενδείκτη 'Αριθμός Μετρήσεων', ο οποίος μας δείχνει ότι αυτή είναι η πρώτη μέτρηση.

Στην εικόνα 5.33 παρουσιάζουμε πώς υπολογίζεται η επόμενη συχνότητα που θα πρέπει να τοποθετήσω στην γεννήτρια για να κάνω την επόμενη μέτρηση, αφού φυσικά πριν έχω πιάσει το μπουτόν 'Αποθήκευση Μέτρησης'. Ο αριθμός '0' που αναφέραμε στην προηγούμενη εικόνα, έχει περάσει στο μπλοκ «scale by power of 2», το οποίο πραγματοποιεί την ύψωση του αριθμού 2 στην δύναμη του 'n', όπου 'n' ο αριθμός που προέρχεται από την προηγούμενη διαδικασία (εικόνα 5.32), και το πολλαπλασιάζει με έναν άλλο αριθμό 'χ', στην περίπτωση μας το '1'. Άρα $2^0=1$ και $1*1=1$. μετά το αποτέλεσμα αυτό πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό '2' και απεικονίζεται ως η επόμενη συχνότητα προς μέτρηση. Δηλαδή η πρώτη μέτρηση πραγματοποιείται με την γεννήτρια στην συχνότητα 2 Hz και αφού πιάσουμε το μπουτόν της αποθήκευσης τότε οι επόμενες συχνότητες θα είναι δυνάμεις του 2^n .

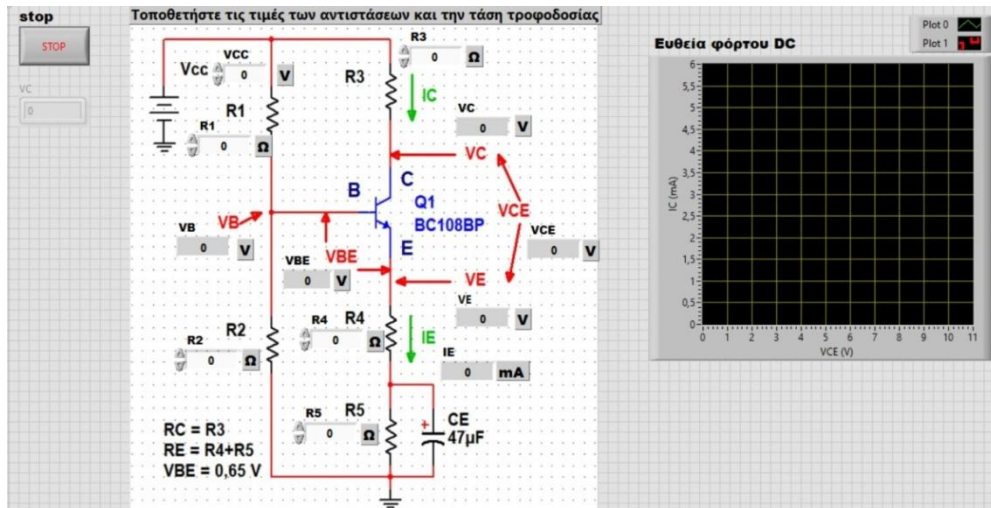


Εικόνα 5.33 : Block Diagram AC – Διαδικασία επιλογής επόμενης συχνότητας.

Με την πίεση του μπουτόν μια ενδεικτική λυχνία μας ειδοποιεί ότι έγινε η αποθήκευση και έχει περάσει και στο διάγραμμα αλλά και στον πίνακα μετρήσεων, τα οποία θα εμφανιστούν όταν σταματήσει η λειτουργία του προγράμματος.

5.3.2.3 Front Panel DC.

Στις επόμενες εικόνες θα σας παρουσιάσουμε την εξωτερική όψη του προγράμματος, την διεπαφή δηλαδή με τον χρήστη, που ονομάζεται Front Panel. Μέσα από αυτό προσπαθήσαμε να δώσουμε στον χρήστη μια κατανοητή και εύκολη οπτική διαδικασία αναγνώρισης των δεδομένων των υπολογισμών και των μετρήσεων στο DC.

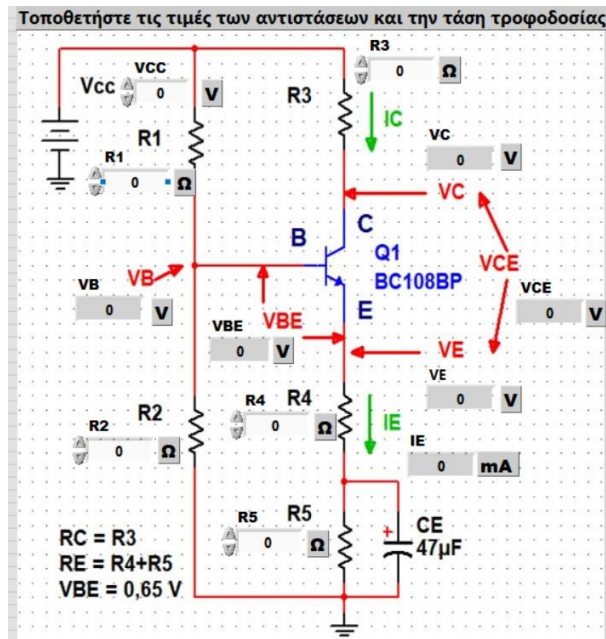


Εικόνα 5.34 : Front Panel DC – Η διεπαφή του χρήστη για τις μετρήσεις στο DC.

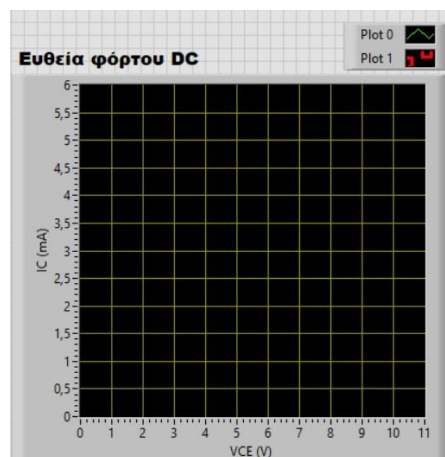
Στην εικόνα 5.34, εμφανίζεται η συνολική μπροστινή όψη του εικονικού μας οργάνου, αποτελείται από δύο μέρη, ένα αυτό της εισαγωγής των τιμών των μεταβλητών και το δεύτερο αυτό της απεικόνισης της ευθείας φόρτου στο DC και του σημείου λειτουργίας Q.

Στην εικόνα 5.35, είναι εμφανές δίπλα από τις αντίστοιχες αντιστάσεις του κυκλώματος τα πεδία μέσα στα οποία θα πληκτρολογήσουμε τις τιμές των αντιστάσεων αλλά και της τροφοδοσίας με τάση του κυκλώματος. Στα πεδία με χρώμα γκρι, θα εμφανιστούν τα αποτελέσματα από τις πράξεις που πραγματοποιήθηκαν στον κόμβο των εξισώσεων (εικόνα 5.22).

Στην εικόνα 5.36 έχουμε δημιουργήσει ένα γράφημα με άξονες X,Y, ικανό να σχεδιάσει την ευθεία φόρτου αλλά και το σημείο λειτουργίας Q. Οι άξονες έχουν ρυθμιστεί στις ανώτερες τιμές που μπορεί να πάρουν οι συγκεκριμένες μεταβλητές με τις υπάρχουσες τιμές των αντιστάσεων, εάν χρειαστεί να χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα για ένα άλλο κύκλωμα θα πρέπει να προσαρμόσουμε ανάλογα τους άξονες.



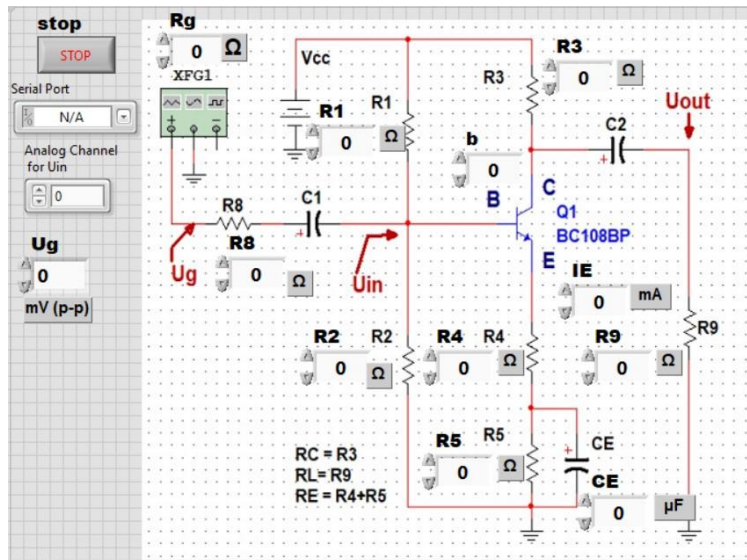
Εικόνα 5.35 : Front Panel DC – Είσοδος τιμών αντιστάσεων, τάσης τροφοδοσίας, εμφάνιση αποτελεσμάτων στο DC.



Εικόνα 5.36 : Front Panel DC – Διάγραμμα X,Y για την εμφάνιση της γραμμής φόρτου και του σημείου ηρεμίας Q.

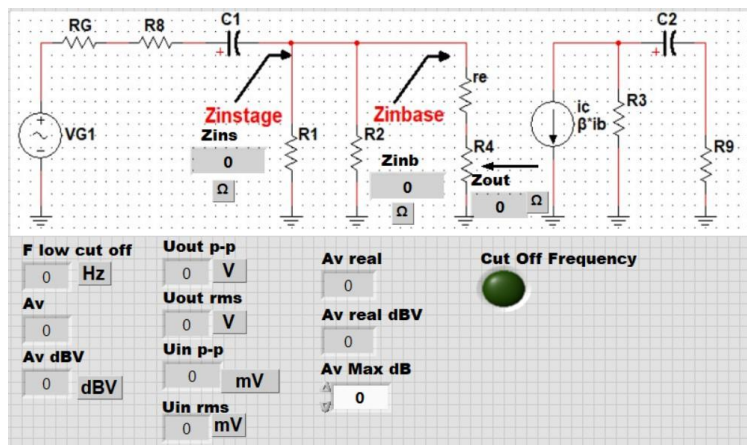
5.3.2.4 Front Panel AC.

Στις επόμενες εικόνες θα σας παρουσιάσουμε την εξωτερική όψη του προγράμματος , την διεπαφή δηλαδή με τον χρήστη, που ονομάζεται Front Panel. Μέσα από αυτό προσπαθήσαμε να δώσουμε στον χρήστη μια κατανοητή και εύκολη οπτική διαδικασία αναγνώρισης των δεδομένων των υπολογισμών και των μετρήσεων στο AC.



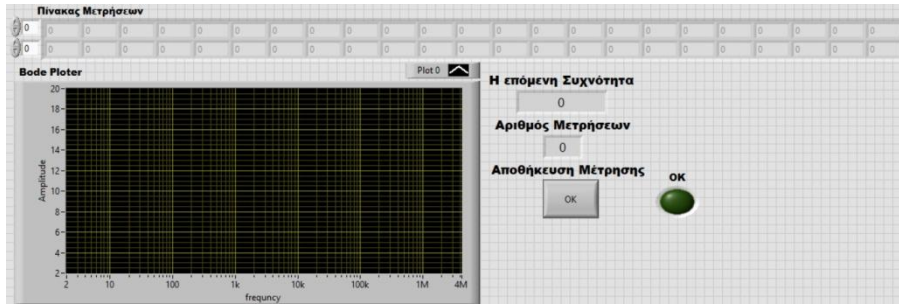
Εικόνα 5.37 : Front Panel AC – εισαγωγή δεδομένων, επιλογή εισόδου μέτρησης.

Η μπροστινή όψη του προγράμματός μας μπορούμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρία μέρη, το πρώτο μέρος (εικόνα 5.38), είναι αυτό στο οποίο εισάγουμε όλα τα δεδομένα που έχουμε υπολογίσει από το θεωρητικό μέρος και επιλέγουμε και την αναλογική είσοδο του Arduino που θα χρησιμοποιήσουμε ως είσοδο μέτρησης.



Εικόνα 5.38 : Front Panel AC – αποτελέσματα σύμφωνα με τα δεδομένα εισόδου.

Στην εικόνα 5.38, βλέπουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις πράξεις των θεωρητικών υπολογισμών με τα δεδομένα εισόδου. Εδώ έχουμε την δυνατότητα να δούμε και το αποτέλεσμα της πραγματικής απολαβής, επίσης έχουμε τοποθετήσει και μία ενδεικτική λυχνία η οποία απενεργοποιείται όταν η πραγματική απολαβή συμπίσει με την απολαβή της συχνότητας αποκοπής, τότε η συχνότητα που έχει η γεννήτρια είναι και η συχνότητα αποκοπής. Για να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος της συχνότητας αποκοπής θα πρέπει να τοποθετήσουμε στην θέση 'AvMaxdb' την μέγιστη τιμή της πραγματικής απολαβής 'AvrealdBV' που έχουμε βρει τοποθετώντας μια συχνότητα στο μέσο του διαγράμματος.



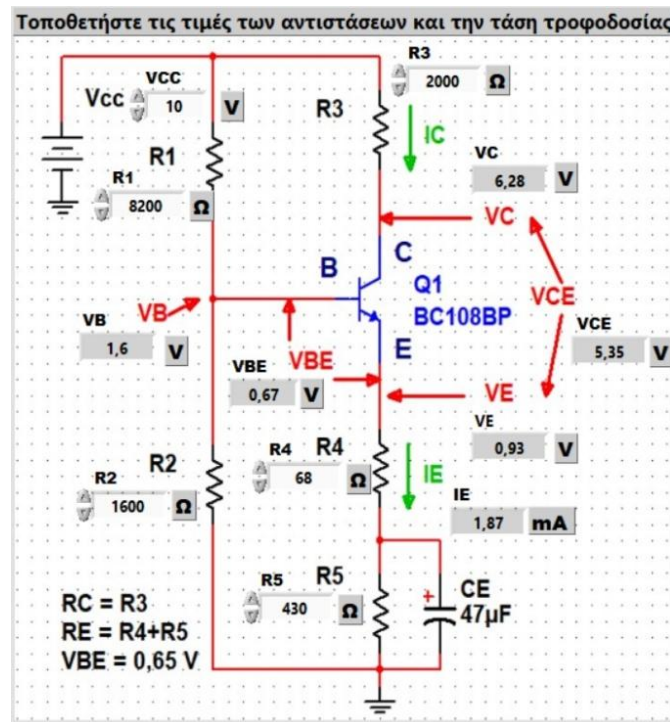
Εικόνα 5.39 : Front Panel AC – Διάγραμμα απόκρισης συχνοτήτων και πίνακας μετρήσεων.

Τέλος στην εικόνα 5.39 παρουσιάζουμε το διάγραμμα απόκρισης συχνοτήτων και τον πίνακα μετρήσεων που θα προκύψουν αμέσως μόλις τερματίσουμε το πρόγραμμα μας, επίσης έχουμε την απεικόνιση του συνόλου των μετρήσεων που πραγματοποιήσαμε και εδώ έχουμε τοποθετήσει και το μπουτόν αποθήκευσης της κάθε μέτρησης που πραγματοποιούμε.

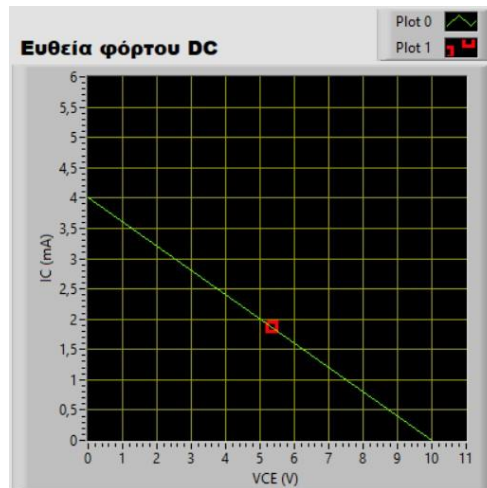
5.3.3 Διαδικασίες μετρήσεων και πίνακες μετρήσεων DC-AC.

5.3.3.1 Διαδικασία μέτρησης και πίνακας μετρήσεων DC.

Θα πρέπει να επαναλάβουμε εδώ ότι θα πρέπει να πραγματοποιηθεί πλήρης έλεγχος του κυκλώματος και των συνδέσεων της γείωσης και των αναλογικών καναλιών του Arduino γιατί η τάση τροφοδοσίας του κυκλώματος είναι τα 10 V, ικανή να καταστρέψει τις εισόδους του. Μετά τον έλεγχο θα πρέπει να τοποθετήσουμε τις τιμές των αντιστάσεων και την τιμή της τάσης τροφοδοσίας και να τρέξουμε το πρόγραμμα. Στην εικόνα 5.28 βλέπουμε τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν και στην εικόνα 5.29 το διάγραμμα της ευθείας φόρτου στο DC.



Εικόνα 5.40 : Front Panel DC - Αποτελέσματα μετρήσεων



Εικόνα 5.41 : Front Panel DC–Ευθεία φόρτου – σημείο λειτουργίας Q.

Πίνακας 5-5 : Συντεταγμένες ευθείας φόρτου και σημείου λειτουργίας Q.

	Plot 0		Plot 1
	Ευθεία φόρτου		σημείο λειτουργίας Q
VCE (V)	10	0	5,32
IC (mA)	0	4,0032	1,87273

Στον πίνακα 5.5 έχουμε τις συντεταγμένες του άνω και κάτω άκρου της ευθείας φόρτου αλλά και τις συντεταγμένες από το σημείο λειτουργίας Q, όπως μας τις μετράει το LabView. Στον πίνακα 5.6 έχουμε συγκεντρωμένα όλα τα θεωρητικά αποτελέσματα αλλά και τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο κύκλωμα στο DC, με πολύμετρο αλλά και με το Arduino. Θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τις ανοχές των εξαρτημάτων που σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έγιναν στα προηγούμενα κεφάλαια θα προκαλέσουν διακυμάνσεις περίπου στο 1% των τιμών. Επίσης θα πρέπει να λάβουμε υπόψη και τις μεταβολές που προκαλεί το ράστερ αλλά και η διαδικασία μέτρησης με τις αναλογικές εισόδους του Arduino. Τέλος θα πρέπει να προσέξουμε να μετρήσουμε μετά από κάποιο χρονικό διάστημα έτσι ώστε να προλάβει να φορτίσει ο πυκνωτής CE.

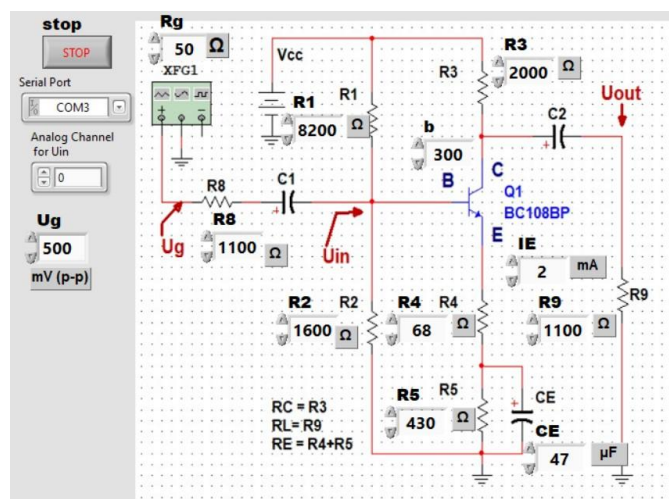
Πίνακας 5-6 : θεωρητικών τιμών και μετρήσεων DC 3^{ου} κυκλώματος.

Μεταβλητή	θεωρητικά	Μετρήσεις με πολύμετρο	Μετρήσεις LabView
VCC (volt)	10 V	10,012 V	----
VBE (volt)	0,65 V	0.644 V	0,67V
R1 (Ω)	8,2 KΩ	8214 Ω	----
R2 (Ω)	1,6 KΩ	1591 Ω	----
R3 (Ω)	2 KΩ	1988 Ω	----
R4 (Ω)	68 Ω	67,86 Ω	----
R5 (Ω)	430 Ω	429,5 Ω	----
VB (volt)	1,63 V	1.608 V	1.6 V
VE (volt)	0,98 V	0.967 V	0.93 V
RE (Ω)	498 Ω	----	----

IE (mA)	1.96 mA	1.93 mA	1.87 mA
IC (mA)	1.96 mA	1,96 mA	----
VCE (volt)	5.08 V	5.142 V	5.35 V
VC (volt)	6.06 V	6.04 V	6.28 V
VCEcutoff	10 V	----	10 V
ICsat	4 mA	----	4 mA

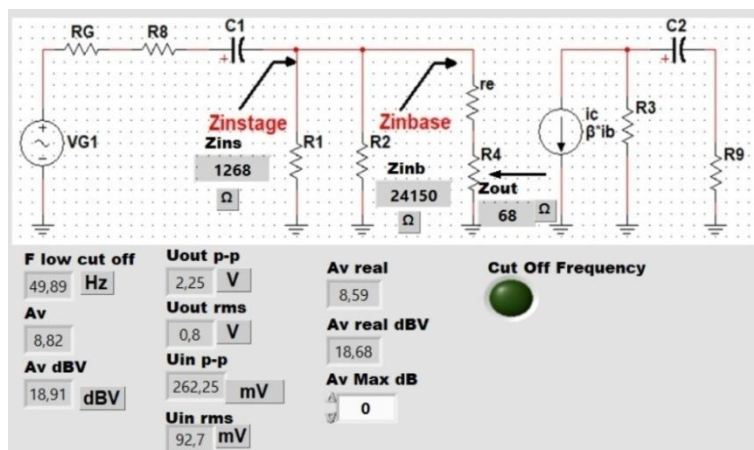
5.3.3.2 Διαδικασία μέτρησης και πίνακας μετρήσεων AC.

Η διαδικασία της πραγματοποίησης των μετρήσεων στο AC, είναι συνέχεια αυτής στο DC, χωρίς να έχουμε μεγάλες αλλαγές, απλά στην είσοδο του ενισχυτή προσθέτουμε την αντίσταση R8 και τον πυκνωτή C1, ενώ στην έξοδο τον πυκνωτή C2 και αντικαθιστούμε την αντίσταση R1 στην εικόνα 5-14 με την R9 όπως φαίνεται στην εικόνα 5.19. στην συνέχεια ανοίγουμε το πρόγραμμα και τοποθετούμε τις τιμές σύμφωνα με τα μέχρι τώρα αποτελέσματα, εικόνα 5.42. Να μην ξεχάσουμε εδώ να αναφέρουμε ότι θα πρέπει να συνδέσουμε την αναλογική είσοδο A0 του Arduino στην έξοδο του κυκλώματος ανόρθωσης.



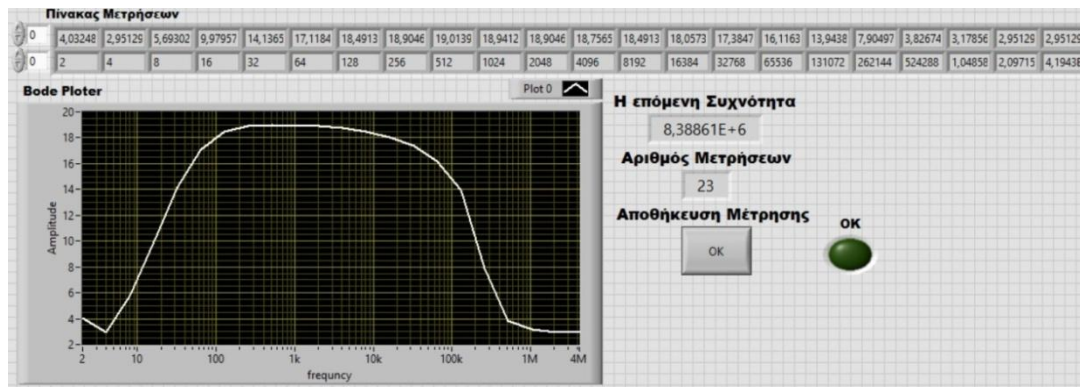
Εικόνα 5.42 : Front panel AC – Τοποθέτηση τιμών στις μεταβλητές.

Στην εικόνα 5.43, παρατηρούμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν αμέσως μετά από την εκτέλεση του προγράμματος. Υπάρχουν τα αποτελέσματα των θεωρητικών υπολογισμών αλλά και της μέτρησης της τάσης εξόδου.



Εικόνα 5.43 : Front panel AC – Αποτελέσματα θεωρητικών υπολογισμών και μέτρησης.

Για να μπορέσουμε να βρούμε ποιές είναι οι συχνότητες αποκοπής θα πρέπει σαν πρώτο βήμα να βρούμε ποια είναι η μέγιστη πραγματική απολαβή του κυκλώματος, τοποθετώντας στην γεννήτρια μια συχνότητα από το μέσων του διαγράμματος (εικόνα 5.11), θα καταγράψουμε την απολαβή αυτή που βλέπουμε από τον ενδείκτη «AvrealdBV» στην θέση «AvMaxdB». Στην εικόνα 5.43. Σαν δεύτερο βήμα θα τοποθετήσουμε στην γεννήτρια την θεωρητικά υπολογισμένη συχνότητα και θα την ρυθμίσουμε πάνω ή κάτω έτσι ώστε η ενδεικτική λυχνία «cut off frequency» να παραμένει μόνιμα σβηστή, αυτή είναι και η συχνότητα αποκοπής, φυσικά μέσα στα πλαίσια των απαιτούμενων ανοχών.



Εικόνα 5.44 : Front panel AC – Διάγραμμα απόκρισης συχνοτήτων του κυκλώματος και πίνακας μετρήσεων.

Στην εικόνα 5.44 μπορούμε να παρατηρήσουμε το διάγραμμα Bode της απόκρισης συχνοτήτων του κυκλώματος και στον πίνακα 5-7 τις τιμές των μετρήσεων. Το διάγραμμα δημιουργείται χειροκίνητα τοποθετώντας κάθε φορά την απαιτούμενη συχνότητα στην γεννήτρια. Τη στιγμή που ξεκινάει την λειτουργία του το πρόγραμμα κι αφού έχουμε ολοκληρώσει τη διαδικασία εύρεσης των συχνοτήτων αποκοπής, στον ενδείκτη «Η επόμενη συχνότητα» μας δείχνει ποια θα είναι η συχνότητα που θα πρέπει να τοποθετήσουμε στη γεννήτρια για την πρώτη μέτρηση, της οποίας ο αριθμός απεικονίζεται στον ενδείκτη «Αριθμός Μετρήσεων». Όταν σταθεροποιηθεί η ένδειξη στον ενδείκτη «Uoutp-r» (εικόνα 5.43) τότε πιέζουμε το μπουτόν “Αποθήκευση Μέτρησης”, ανάβει για ένα πολύ σύντομο χρονικό διάστημα η λυχνία «OK» και μετά είμαστε έτοιμοι για την επόμενη συχνότητα και για την επόμενη μέτρηση. Μια σειρά από 20-24 μετρήσεις είναι αρκετές για την κατασκευή του διαγράμματος.

Πίνακας 5-7 : Τιμών διαγράμματος απόκρισης συχνοτήτων του κυκλώματος.

Frequency Hz	Amplitude dBV	Frequency Hz	Amplitude dBV	Frequency Hz	Amplitude dBV
2	3	1k	19	524k	7
4	3	2k	19	1M	4
8	6	4k	19	2M	4
16	10	8k	18	4M	3
32	14	16k	18		
47	15	33k	17		
64	17	66k	16,2		
128	18	89k	15		
256	19	131k	14		
512	19	262k	11		

Πίνακας 5-8 : Θεωρητικών αποτελεσμάτων και μετρήσεων AC.

Μεταβλητή	θεωρητικά	Μετρήσεις LabView
Zinbase	24150 Ω	24150 Ω
Zinstage	1269 Ω	1268 Ω
Zout	67,91 Ω	68 Ω
F low cut off	49,86 Hz	49,89 Hz
Av	8,82	8,59
Av (dBV)	18,9 dB	18,68 dB
Uin stage	262,4 mV(p-p)	262,25 mV(p-p)
Uout	2,31 V(p-p)	2,25 V(p-p)

Στον πίνακα 5.8 έχουμε συγκεντρωμένα όλα τα θεωρητικά αποτελέσματα αλλά και τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο κύκλωμα στο AC με το Arduino. Θα πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη τις παρασιτικές χωρητικότητες του ράστερ καθώς και τον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο που λαμβάνεται από τα εξαρτήματα.

5.4 Εκπαιδευτική χρήση.

Η εκπαιδευτική χρήση αυτού του προγράμματος μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη λόγω της πολυπλοκότητας που παρουσιάζει στους υπολογισμούς αλλά και στην υλοποίηση του κυκλώματος. Οι μαθητές όταν έρχονται αντιμέτωποι με τον υπολογισμό και την κατασκευή ενός κυκλώματος ενισχυτή με τρανζίστορ, πάντα δυσκολεύονται στο να καταλάβουν έννοιες όπως πόλωση, ευθεία φόρτου, σημείο λειτουργίας, απόκριση συχνοτήτων κ.λ.π. μία πολλή ενδιαφέρουσα παραλλαγή του κυκλώματος θα είναι αυτή στην οποία θα τοποθετήσουμε αντί για σταθερές αντιστάσεις R2, RE, RC ρυθμιζόμενες σε συνδεσμολογία ροοστάτη. Για την εκπαιδευτική χρήση του κυκλώματος αυτού υπάρχουν διαθέσιμα και τα φύλλα πορείας της άσκησης στο παράρτημα Β.

5.5 Επίλογος

Στην ενότητα 5.2 ξεκινήσαμε με μία θεωρητική ανάλυση του κυκλώματος του ενισχυτή και στην ενότητα 5.2.1 χρησιμοποιήσαμε την διαδικασία του οδηγού σχεδίασης κυκλώματος με διαίρετη τάσης για ένα σταθερό σημείο λειτουργίας Q και τον υπολογισμό των DC χαρακτηριστικών. Στην ενότητα 5.2.2 πραγματοποιήσαμε τους υπολογισμούς των AC χαρακτηριστικών, υπολογίζοντας τους πυκνωτές σύζευξης και παράκαμψης και την επίδρασή τους στην απόκριση των συχνοτήτων. Στην ενότητα 5.3 συνδέσαμε το κύκλωμα του ενισχυτή με το Arduino μέσα από την κατασκευή κυκλωμάτων προσαρμογής, έτσι ώστε να μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε τις μετρήσεις. Στην ενότητα 5.3.2 προγραμματίσαμε το σύστημά μας δημιουργώντας δυο διαφορετικά εικονικά όργανα μετρήσεων στο LabView, ένα για το DC και ένα για το AC. Τέλος στην ενότητα 5.4 αναπτύξαμε την εκπαιδευτική χρήση του.

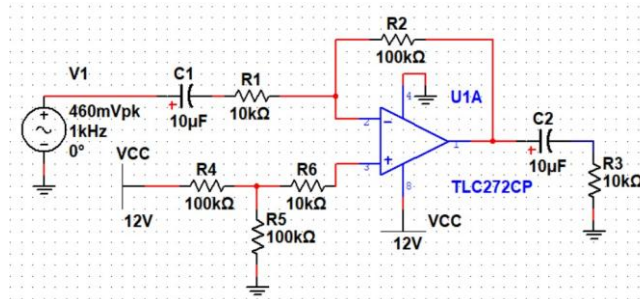
6. Κεφάλαιο 6°. ΤΕ μονής τροφοδοσίας ως αναστρέφων ενισχυτής.

6.1 Εισαγωγή.

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε ένα κύκλωμα ενισχυτή, με την χρήση τελεστικού ενισχυτή σε συνδεσμολογία αναστρέφοντος ενισχυτή, χρησιμοποιώντας τον Τ.Ε. TLC272CP μονοπολικής τροφοδοσίας, του οποίου θα εξετάσουμε την απολαβή του στο πεδίο των συχνοτήτων. Για την προσαρμογή και την μέτρηση της εξόδου από το Arduino θα χρησιμοποιήσουμε το γνωστό μας κύκλωμα του ανορθωτή ακριβείας που χρησιμοποιήσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

6.2 Θεωρητική ανάλυση.

Το κύκλωμά μας (εικόνα 6.1) είναι ένας τελεστικός ενισχυτής μονής τροφοδοσίας σε συνδεσμολογία αναστρέφοντος ενισχυτή. (14).



Εικόνα 6.1 : Το κύκλωμα του ΤΕ σε συνδεσμολογία Αναστρέφοντος Ενισχυτή.

Ο διαιρέτης τάσης R4,R5 παρέχει την μισή τροφοδοσία Vcc στην μη-αναστρέφουσα είσοδο. Επειδή οι δύο είσοδοι είναι φαινομενικά βραχυκυκλωμένες, η αναστρέφουσα είσοδος έχει τάση ηρεμίας περίπου $+0,5 \cdot V_{cc}$. Στο ισοδύναμο dc κύκλωμα, όλοι οι πυκνωτές είναι ανοιχτοί και το κύκλωμα είναι ένας ακόλουθος τάσης που δημιουργεί dc τάση εξόδου $+0,5 \cdot V_{cc}$. Οι παραμένουσες τάσεις εισόδου ελαχιστοποιούνται επειδή το κέρδος τάσης είναι ίσο με την μονάδα. Στο AC ισοδύναμο κύκλωμα, όλοι οι πυκνωτές είναι βραχυκυκλωμένοι και το κύκλωμα είναι ένας αναστρέφων ενισχυτής με κέρδος τάσης $-R2/R1$ (εξίσωση 6.1). Η αντίσταση R6 υπολογίζεται από την παραλληλία των αντιστάσεων R1,R2 (εξίσωση 6.2), τοποθετούμε μια από το εμπόριο 10 KΩ. Η ελάχιστη συχνότητα αποκοπής υπολογίζεται βάσει της τιμής των πυκνωτών C1, C2. Επειδή και οι δύο πυκνωτές C1,C2 και οι δυο αντιστάσεις R1,R3 έχουν τις ίδιες τιμές τότε μπορούμε να υπολογίσουμε την συχνότητα όπως στην εξίσωση 6.3. Εάν είχαν διαφορετικές τότε θα κάναμε ξεχωριστούς υπολογισμούς παίρνοντας ως αποτέλεσμα την μικρότερη συχνότητα που πρόεκυπτε από τους υπολογισμούς.

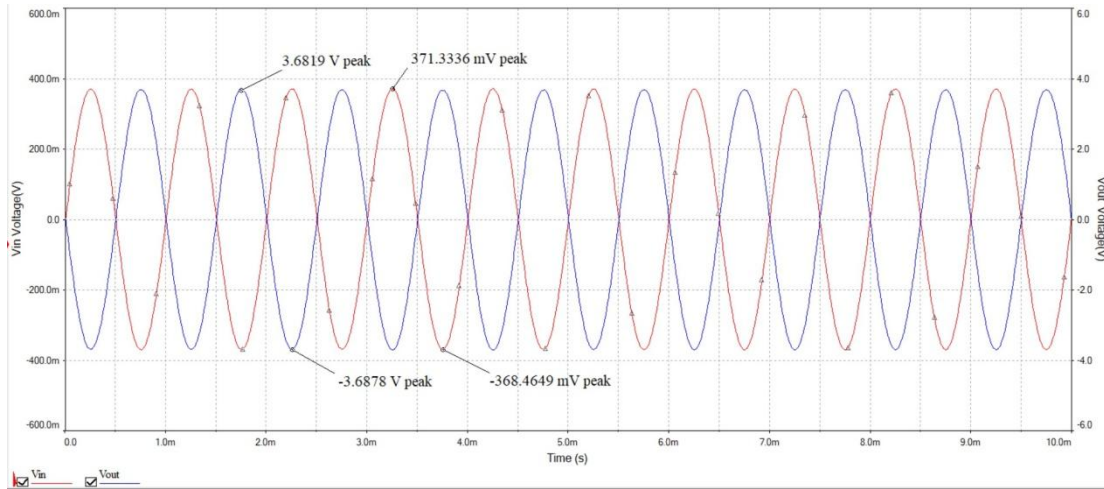
$$A_v = -\frac{R_2}{R_1} = \frac{100 \text{ K}\Omega}{10 \text{ K}\Omega} = 10 \quad (6.1)$$

$$R_6 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1 \text{ M}\Omega}{110 \text{ K}\Omega} = 9090 \Omega \quad (6.2)$$

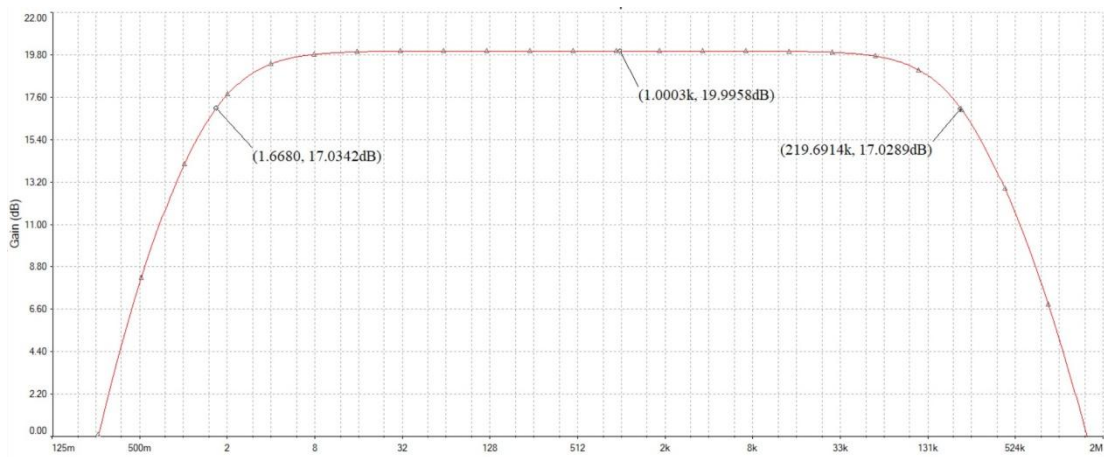
$$F_1 = F_2 = \text{Flowcutoff} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \text{ or } 3 \cdot C_1 \text{ or } 2} = 1,59 \text{ Hz} \quad (6.3)$$

Κατασκευάζοντας και προσομοιάζοντας την λειτουργία του στο πρόγραμμα multisim της National Instruments παίρνουμε ως αποτελέσματα τις παρακάτω εικόνες. Στην εικόνα 6.2 παρατηρούμε την τάση εισόδου και εξόδου του κυκλώματος και από αυτήν μπορούμε να εξάγουμε βάση των εξισώσεων 6.4 & 6.5 ότι η απολαβή είναι αυτή που υπολογίσαμε από την εξίσωση 6.1. Στην εικόνα 6.3 μπορούμε

να παρατηρήσουμε το διάγραμμα απόκρισης των συχνοτήτων του ενισχυτή και από αυτό να εντοπίσουμε τις συχνότητες αποκοπής, οι οποίες είναι $F(\text{lowcutoff}) = 1,66 \text{ Hz}$ & $F(\text{highcutoff}) = 219,69 \text{ KHz}$.



Εικόνα 6.2 : Απεικόνιση τάσεων εισόδου και εξόδου του κυκλώματος.



Εικόνα 6.3 : Διάγραμμα απόκρισης συχνοτήτων (Bode Plot) του κυκλώματος του ενισχυτή.

$$Av = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{7.36 \text{ V}}{0.74 \text{ V}} = 9.94 \quad (6.4)$$

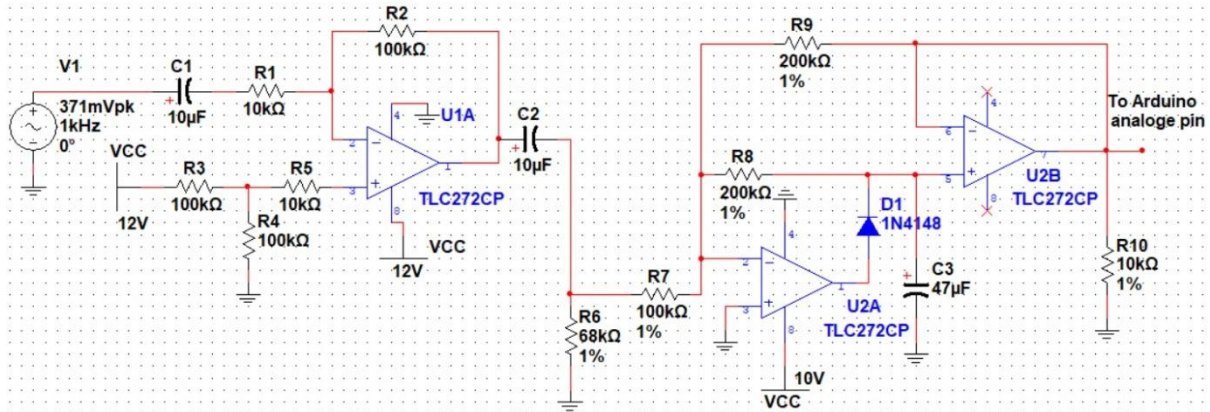
$$Av_{db} = 20 * \log(Av) = 19.95 \text{ db} \quad (6.5)$$

6.3 Σύνδεση κυκλώματος – προγραμματισμός – μετρήσεις.

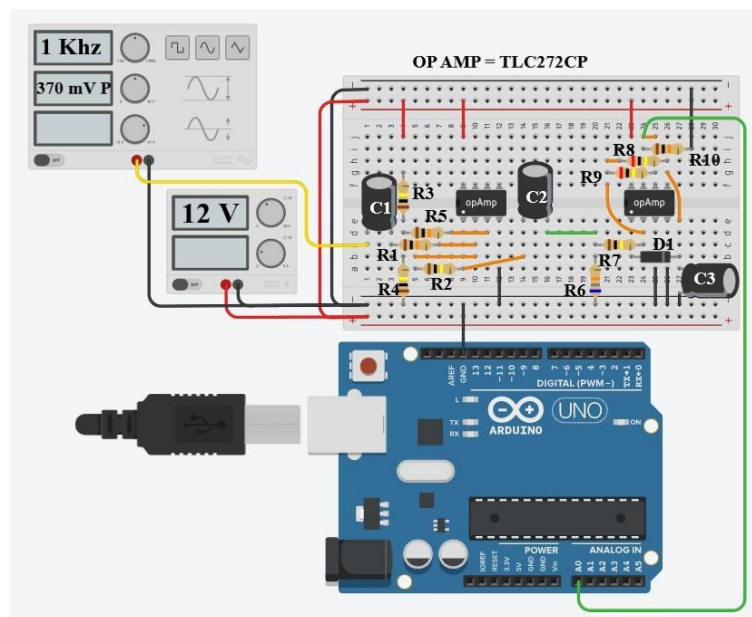
Για να μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε την μέτρηση με το Arduino θα πρέπει να προσαρμόσουμε την μορφή και το επίπεδο της μετρούμενης τάσης εξόδου σε αυτά που μπορεί να μετρήσει και να δεχθούν οι αναλογικές εισοδοί του. Δηλαδή στο παρών κύκλωμα θα χρησιμοποιήσουμε έναν ανορθωτή ακριβείας για να μετατρέψουμε την εναλλασσόμενη τάση AC σε συνεχής DC και να την φέρουμε εντός των επιπέδων μέτρησης. Σε αυτό το κεφάλαιο δεν θα παρουσιάσουμε το κύκλωμα προσαρμογής γιατί έχει παρουσιαστεί στην ενότητα 5.3.1.2.

6.3.1 Σύνδεση του κυκλώματος.

Το κύκλωμα μας είναι όπως απεικονίζεται στην εικόνα 6.4, θα το συναρμολογήσουμε σε ένα ράστερ, προσοχή θα πρέπει να δώσουμε κατά την διάρκεια συναρμολόγησης αλλά και σύνδεσης των ακροδεκτών του Arduino μιας και η τάση η οποία χρησιμοποιούμε εδώ ως τροφοδοσία είναι τα 12 VDC.

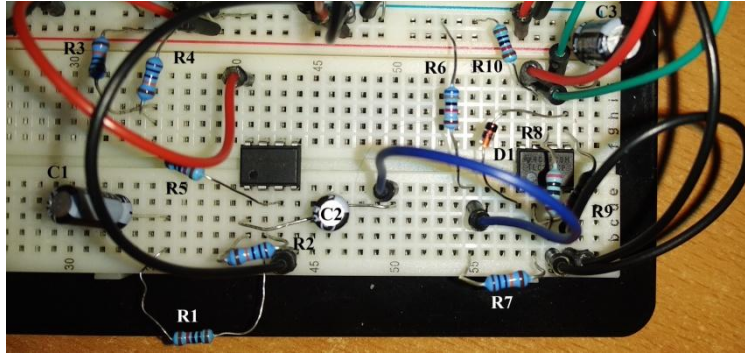


Εικόνα 6.4 : Το πλήρες κύκλωμα του αναστρέφων ενισχυτή με Τ.Ε και ανορθωτή ακριβείας.



Εικόνα 6.5 : Το κύκλωμα μετρήσεων στο AC σε ράστερ.

Στην εικόνα 6.5 βλέπουμε το κύκλωμά μας κατασκευασμένο σε ράστερ με την βοήθεια του προγράμματος Tinkercad, ενώ στην εικόνα 6.6 το πραγματικό κύκλωμα σε φωτογραφία. Τέλος στον πίνακα 6-1 έχουμε την λίστα με τα υλικά και τα όργανα μέτρησης που θα χρησιμοποιήσουμε.



Εικόνα 6.6: Το πραγματικό κύκλωμα μετρήσεων σε ράστερ.

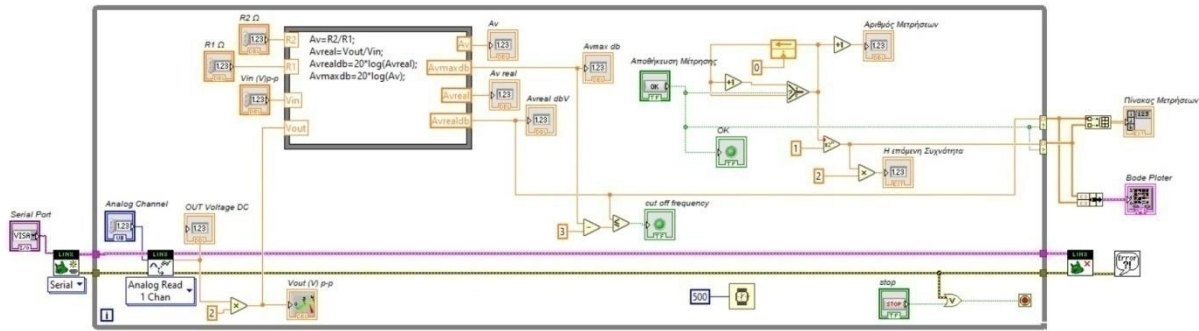
Πίνακας 6-1 : Υλικών και οργάνων του κυκλώματος του ενισχυτή.

Υλικά	Ποσότητα	Όργανα	Ποσότητα
Ηλεκτρολυτικοί Πυκνωτές C1,C2 = 10 μ F	2	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης DC.	1
Ηλεκτρολυτικός Πυκνωτής C3=47 μ F	1	Πλακέτα Arduino Uno.	1
Αντιστάσεις R2,R3,R4,R7 = 100 K Ω	4	Καλώδιο σύνδεσης USB.	1
Αντίσταση R1,R5,R10 = 10 K Ω	3	Καλώδια συνδέσεων (μικρά σε μήκος).	7
Αντιστάσεις R8,R9 = 200K Ω	2	Καλώδια συνδέσεων (μεγάλα σε μήκος).	1
Αντίσταση R6 =68K Ω	1	Ζευγάρι καλωδίων Σύνδεσης τροφοδοτικού με ράστερ.	1
Δίοδος D1 = 1N4148	1	Πολύμετρο	1
Τελεστικός Ενισχυτής TLC272CP (είναι διπλό)	2	Γεννήτρια Συχνοτήτων	1
		Παλμογράφος 2 καναλιών	1

6.3.2 Προγραμματισμός του συστήματος.

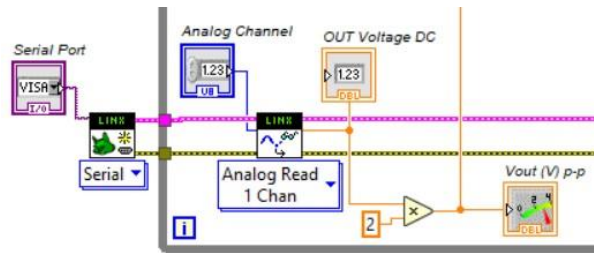
Αφού έχουμε συνδέσει το κύκλωμά μας θα πρέπει να προγραμματίσουμε το αναπτυξιακό μας σύστημα μέσω του LabView. Στο παράρτημα Α παραθέτουμε ένα μικρό απόσπασμα για την γενική διαδικασία προγραμματισμού που θα πρέπει να ακολουθήσουμε, φυσικά θα πρέπει να γνωρίζουμε πώς να εργαστούμε στο περιβάλλον του LabView.

6.3.2.1 Block Diagram



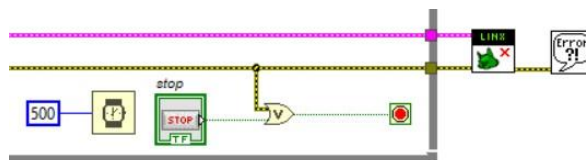
Εικόνα 6.7 : Το Πρόγραμμα του LabView – Block Diagram DC.

Στην παραπάνω εικόνα 6.7, βλέπουμε ολοκληρωμένο το πρόγραμμα που έχουμε αναπτύξει στο περιβάλλον προγραμματισμού του LabView. Στις επόμενες εικόνες θα αναλύσουμε πιο διεξοδικά το κάθε ένα κομμάτι από το οποίο αποτελείται. Στη εικόνα 6.8 παρουσιάζουμε την διαδικασία ενεργοποίησης της επικοινωνίας με το Arduino μέσα από την θύρα usb στην οποία έχει συνδεθεί, δεξιότερα στην εικόνα είναι το μπλοκ ενεργοποίησης και μέτρησης της τάσης εξόδου μέσα από το αναλογικό κανάλι που έχουμε ορίσει, στην συνέχεια και δεξιότερα υπολογίζουμε την πραγματική τάση εξόδου από κορυφή σε κορυφή, θα πρέπει να είναι η διπλάσια από αυτή που μετράμε μίας και έχουμε πλήρη ανόρθωση (ενότητα 5.3.1.2), τέλος την απεικονίζουμε σε ένα αναλογικό όργανο μέτρησης.



Εικόνα 6.8 : Block Diagram - Επικοινωνία, ενεργοποίηση και μέτρηση με το αναλογικό κανάλι του Arduino και υπολογισμός της τάσης εξόδου.

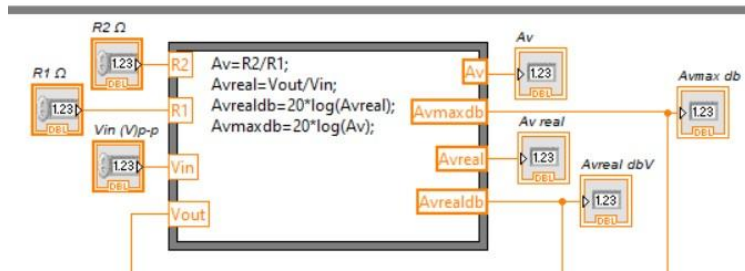
Στην παρακάτω εικόνα 6.9, όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενα κεφάλαια, απεικονίζεται μια καθυστέρηση από μέτρηση σε μέτρηση που έχουμε δημιουργήσει, για να έχουμε πιο σταθερές μετρήσεις, επίσης βλέπουμε και την διαδικασία τερματισμού του προγράμματος μέσα από το μπουτόν και της γραμμής error και τέλος το κλείσιμο της επικοινωνίας με το Arduino και του μπλοκ περιγραφής σφάλματος.



Εικόνα 6.9 : Block Diagram – Εισαγωγή χρονοκαθυστέρησης μεταξύ των μετρήσεων, διακόπτης τερματισμού και έλεγχος σφαλμάτων.

Στις εικόνες 6.10 και 6.11, παρουσιάζονται ο κόμβος και οι εξισώσεις που θα χρειαστούμε για να υπολογίσουμε θεωρητικά αλλά και πρακτικά την απολαβή, επίσης μπορούμε να δούμε και τα μπλοκ

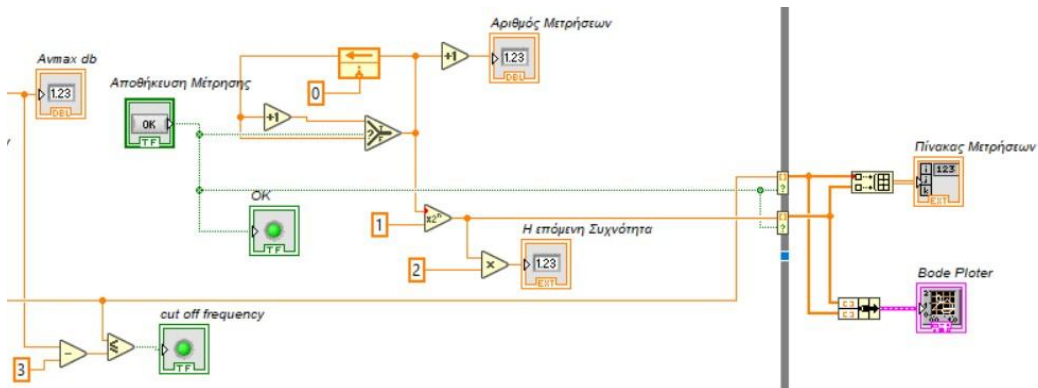
με τα οποία τοποθετούμε τις τιμές των αντιστάσεων και της τάσης εισόδου άλλα και τα μπλοκ εξόδου στα οποία απεικονίζουμε τα αποτελέσματα.



Εικόνα 6.10 : Block Diagram – Κόμβος εξισώσεων, μονάδες εισόδου και απεικόνιση αποτελεσμάτων.

$$\begin{aligned}
 Av &= R2/R1; \\
 Avreal &= Vout/Vin; \\
 AvrealdB &= 20 \cdot \log(Avreal); \\
 AvmaxdB &= 20 \cdot \log(Av);
 \end{aligned}$$

Εικόνα 6.11 : Block Diagram – εξισώσεις θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων.

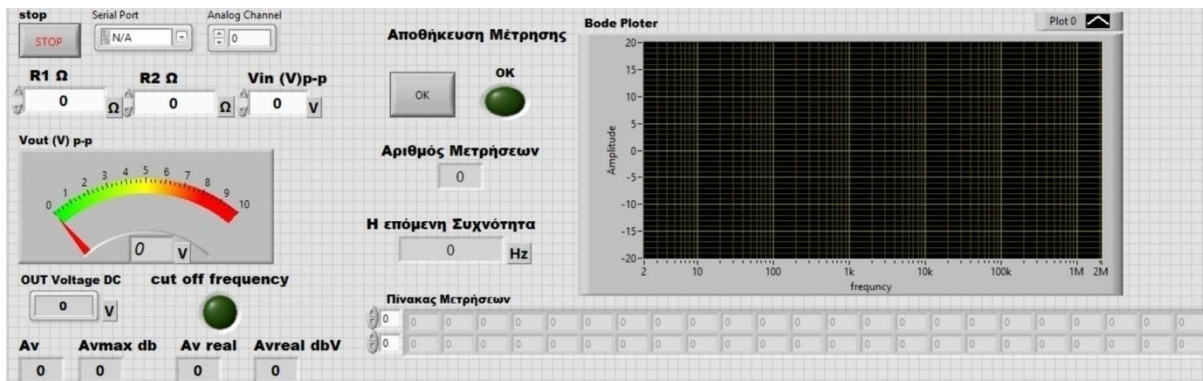


Εικόνα 6.12 : Block Diagram – Υπολογισμός και δημιουργία διαγράμματος Bode και πίνακα μετρήσεων.

Στην εικόνα 6.12 βλέπουμε την διαδικασία που χρησιμοποιούμε για να δημιουργήσουμε το διάγραμμα απόκρισης των συχνοτήτων του κυκλώματος. Έχουμε αναφερθεί σε αυτή διεξοδικά στο προηγούμενο κεφάλαιο και στις εικόνες 6.32 & 6.33.

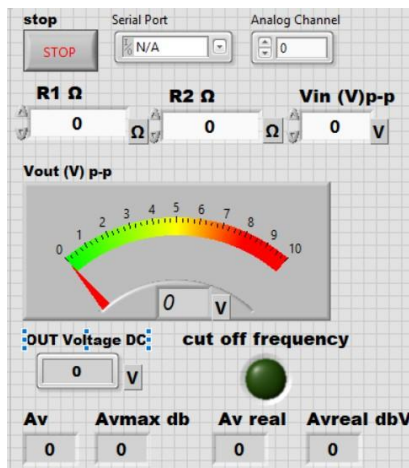
6.3.2.2 Front Panel

Στις επόμενες εικόνες θα σας παρουσιάσουμε την εξωτερική όψη του προγράμματος, την διεπαφή δηλαδή με τον χρήστη, που ονομάζεται Front Panel. Μέσα από αυτό προσπαθήσαμε να δώσουμε στον χρήστη μια κατανοητή και εύκολη οπτική διαδικασία αναγνώρισης των δεδομένων των υπολογισμών και των μετρήσεων.

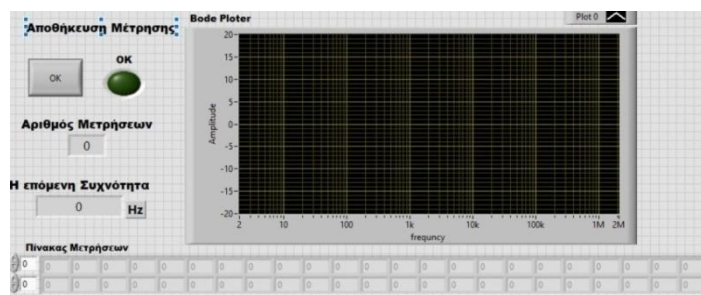


Εικόνα 6.13 : Front Panel – Η διεπαφή του χρήστη.

Στην εικόνα 6.13 μπορούμε να δούμε ολόκληρη στην μπροστινή όψη του οργάνου μέτρησης VI που χρησιμοποιούμε για το συγκεκριμένο κύκλωμα. Στην εικόνα 6.4 βλέπουμε το τμήμα της εισόδου των δεδομένων, όπως τις τιμές των αντιστάσεων και της τάσης εισόδου αλλά και της απεικόνισης των αποτελεσμάτων εξόδου, της απολαβής «Av» σε καθαρό αριθμό και σε db καθώς και της τάσης εξόδου μέτρησης σε DC αλλά και σε AC σε volt p-p. Εδώ έχουμε την δυνατότητα να δούμε και το αποτέλεσμα της πραγματικής απολαβής, επίσης έχουμε τοποθετήσει και μία ενδεικτική λυχνία η οποία απενεργοποιείται όταν η πραγματική απολαβή συμπίσει με την απολαβή της συχνότητας αποκοπής (Avmax - 3db), τότε η συχνότητα που έχει η γεννήτρια είναι και η συχνότητα αποκοπής. Στην εικόνα 6.15 παρουσιάζουμε το διάγραμμα απόκρισης συχνοτήτων και τον πίνακα μετρήσεων που θα προκύψουν αμέσως μόλις τερματίσουμε το πρόγραμμα μας, επίσης έχουμε την απεικόνιση του συνόλου των μετρήσεων που πραγματοποιήσαμε και έχουμε τοποθετήσει και το μπουτόν αποθήκευσης της κάθε μέτρησης που πραγματοποιούμε.



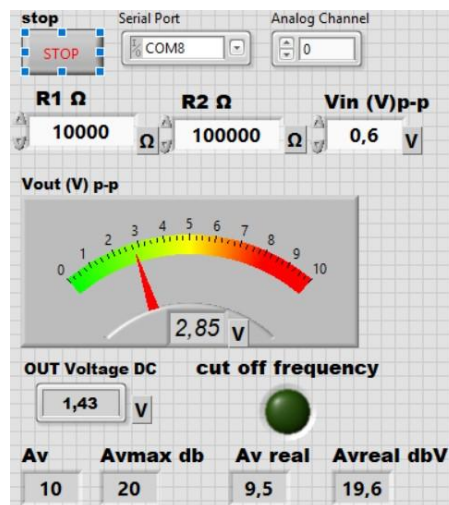
Εικόνα 6.14 : Front Panel – Τμήμα εισόδου δεδομένων και εξόδου αποτελεσμάτων.



Εικόνα 6.15 : Front Panel – Διάγραμμα απόκρισης συχνοτήτων και πίνακας μετρήσεων.

6.3.3 Διαδικασία μέτρησης και πίνακας μετρήσεων.

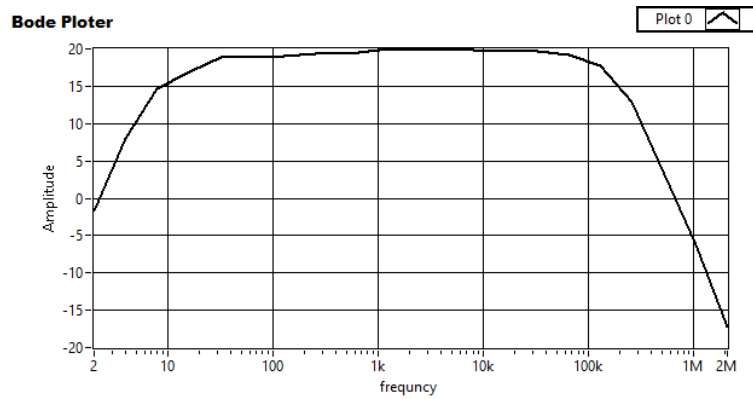
Αφού τοποθετήσουμε τα εξαρτήματα στο ράστερ και κάνουμε τους απαραίτητους ελέγχους, συνδέουμε το Arduino στο ράστερ και στον Η/Υ μέσω USB και ανοίγουμε το τροφοδοτικό, επιλέγουμε την σωστή θύρα επικοινωνίας, τοποθετούμε τις τιμές στις μεταβλητές εισόδου και πιέζουμε το κουμπί RUN στο front panel. Οι μετρήσεις θα πρέπει να γίνουν με προσοχή αφήνοντας τον πυκνωτή φίλτρου C3, να φορτιστεί στην τάση εξόδου. Στην εικόνα 6.6 έχουμε αποτυπώσει τις τιμές της εξόδου για συχνότητα 1 KHz. Στον πίνακα 6.2 έχουμε συγκεντρώσει τους θεωρητικούς υπολογισμούς και τις μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε με το Arduino. Στην εικόνα 6.7 βλέπουμε το διάγραμμα απόκρισης των συχνοτήτων του κυκλώματος και στον πίνακα 6.3 τις μετρήσεις αυτού του διαγράμματος.



Εικόνα 6.16 : Front Panel – Με μετρήσεις στην συχνότητα των 1000 Hz.

Πίνακας 6-2 : Υπολογισμών και μετρήσεων μέγιστο απαραμόρφωτο.

Μεταβλητή	θεωρητικά	Μετρήσεις LabView
Vin (p-p)	0,728 V	800 mV (Γεννήτρια)
Vout (p-p)	7,28 V	7,30 V
Av	10	9,9
Avdbv	20	19,9
Flow cut off	1,59 Hz	10.3 Hz
Fup cut off	223 KHz	145 KHz



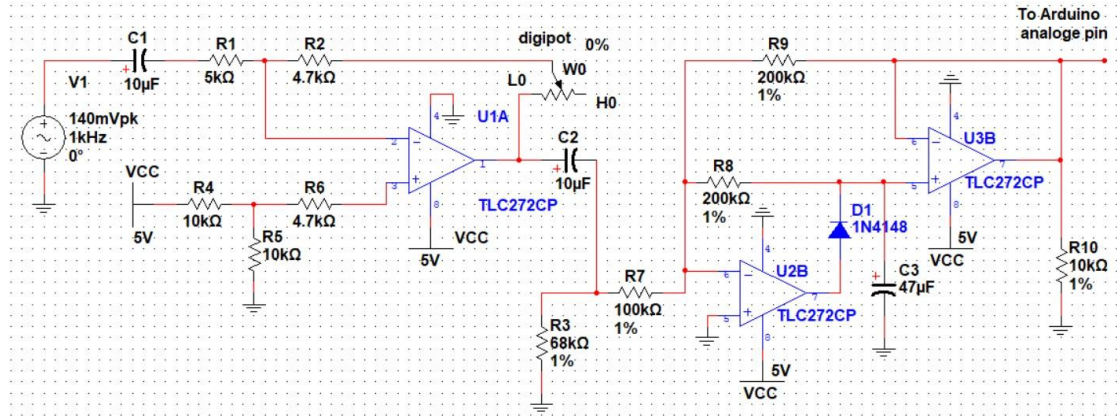
Εικόνα 6.17 : Διάγραμμα απόκρισης συχνοτήτων.

Πίνακας 6-3 : Μετρήσεων διαγράμματος απόκρισης συχνοτήτων.

Frequency	Amplitude
2	-2
4	8
8	15
16	17
32	19
64	19
128	19
256	19
512	19
1k	20
2k	20
4k	20
8k	20
16k	20
33k	20
66k	19
131k	18
262k	13
524k	3
1M	-6
2M	-17

6.4 Το Κύκλωμα του TE μονής τροφοδοσίας ως αναστρέφων ενισχυτής με ρυθμιζόμενη απολαβή από ψηφιακό ποτενσιόμετρο.

Το κύκλωμα αυτό (εικόνα 6.18), είναι το ίδιο με το προηγούμενο μόνο που έχουμε βάλει ένα ψηφιακό ποτενσιόμετρο για να μπορούμε να ρυθμίσουμε το κέρδος του ενισχυτή με ψηφιακό τρόπο. Επειδή διαθέταμε μόνο το DS18030-50, ως ψηφιακό ποτενσιόμετρο, πραγματοποιήσαμε κάποιες αλλαγές έτσι ώστε να μπορούμε να έχουμε ως ελάχιστη απολαβή την μονάδα και μέγιστη περίπου τα 10. Επιλέξαμε να τροφοδοτήσουμε όλο το κύκλωμα με 5 VDC για να είναι συμβατό με την τροφοδοσία του ψηφιακού ποτενσιόμετρου αλλά και του Arduino.



Εικόνα 6.18 : Το κύκλωμα του T.E. με ψηφιακό ποτενσιόμετρο.

Γνωρίζουμε από τα τεχνικά χαρακτηριστικά ότι η ελάχιστη αντίσταση του δρομέα θα πρέπει να την θεωρήσουμε στην τιμή των 400Ω , άρα σε σειρά με την $R2$ η τελική ελάχιστη αντίσταση είναι 5100Ω , (εξίσωση 6.6). Το ψηφιακό ποτενσιόμετρο ξεκινά με την ελάχιστη αντίσταση η οποία είναι 0Ω λαμβάνοντας υπόψη την αντίσταση του δρομέα. Η μέγιστη αντίσταση $R2$ υπολογίζεται από την εξίσωση 6.7.

$$R2_{totalmin} = R2 + (Rw + Rp) = 4700\Omega + (400\Omega + 0\Omega) = 5100 \Omega = 5,1 K\Omega \quad (6.6)$$

$$R2_{totalmax} = R2 + (Rw + Rp) = 4700\Omega + (400\Omega + 50000\Omega) = 55100 \Omega = 55,1 K\Omega \quad (6.7)$$

Άρα η ελάχιστη και η μέγιστη απολαβή του ενισχυτή υπολογίζεται από τις εξισώσεις 6.8 & 6.9.

$$Av_{min} = \frac{R2_{total\ min}}{R1} = \frac{5100 \Omega}{5000 \Omega} = 1,02 \quad (6.8)$$

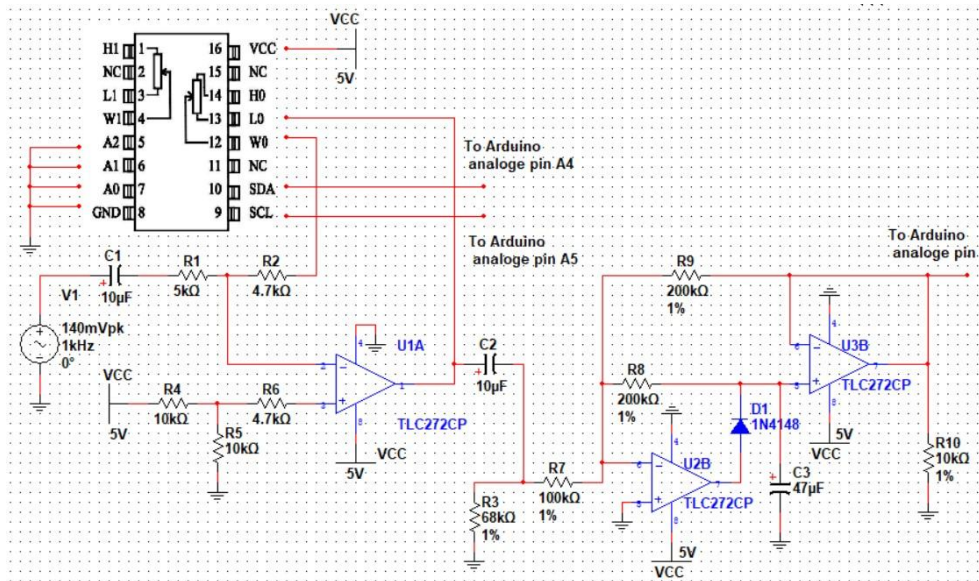
$$Av_{max} = \frac{R2_{total\ max}}{R1} = \frac{55100 \Omega}{5000 \Omega} = 11,02 \quad (6.9)$$

Μετά από μετρήσεις προέκυψε ότι η ελάχιστη είσοδος για μία απαραμόρφωτη έξοδο σε συχνότητα $1 KHz$ είναι $280 mV$ p-p. Άρα η τάση εξόδου θα είναι σύμφωνα με τις εξισώσεις (6.10 – 6.12)

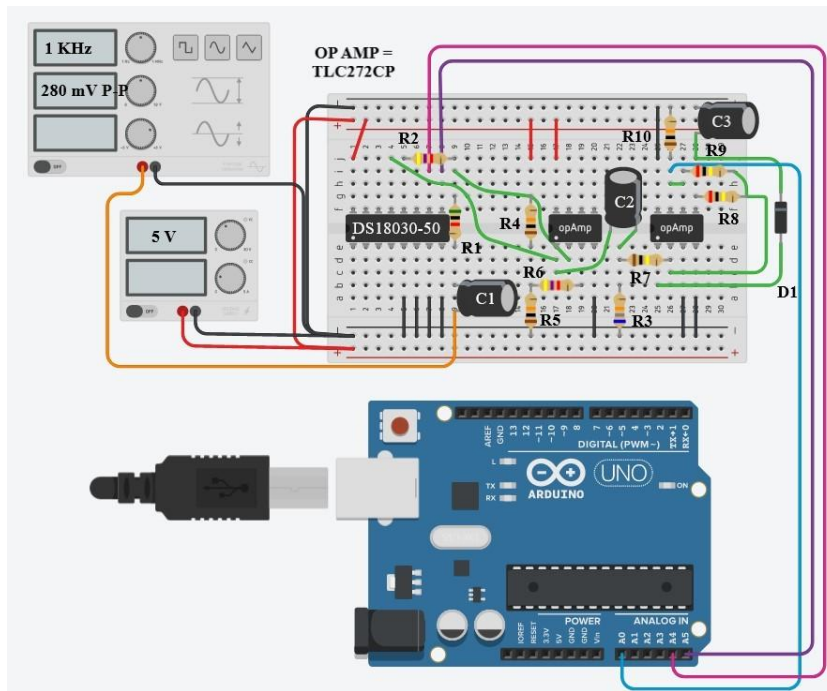
$$Av = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (6.10)$$

$$V_{outmin} = Av_{min} * V_{in} = 1,02 * 0,28 V = 0,2856 Vp - p \quad (6.11)$$

$$V_{outmax} = Av_{max} * V_{in} = 11,02 * 0,28 V = 3,0856 Vp - p \quad (6.12)$$



Εικόνα 6.19 : Το κύκλωμα του T.E. με το Ο.Κ. του ψηφιακού ποτενσιόμετρου.



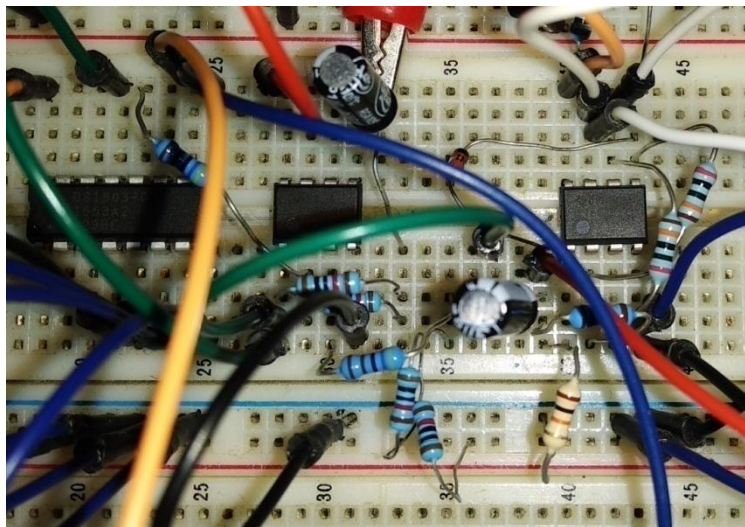
Εικόνα 6.20 : Το κύκλωμα του TE με το ψηφιακό ποτενσιόμετρο σε ράστερ.

Πίνακας 6-4 : Υλικών και οργάνων μέτρησης του κυκλώματος TE με ψηφιακό ποτενσιόμετρο.

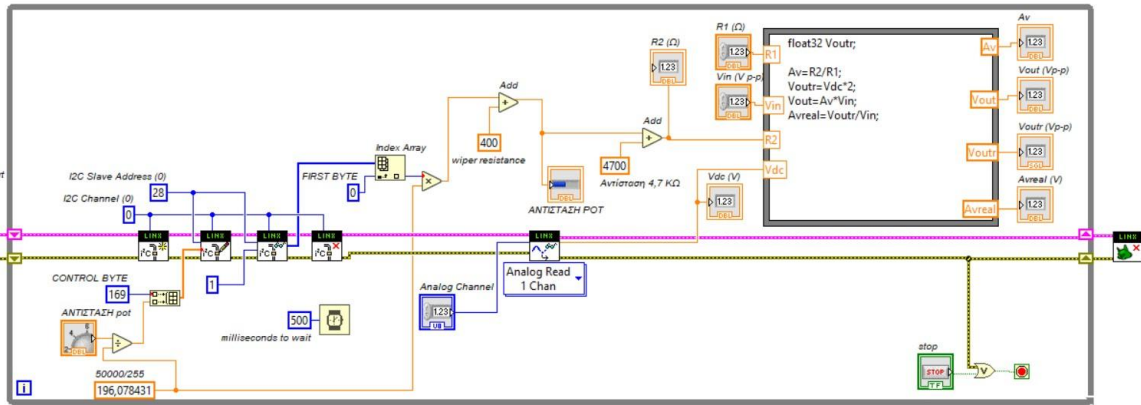
Υλικά	Ποσότητα	Όργανα	Ποσότητα
Ηλεκτρολυτικοί Πυκνωτές C1,C2 = 10 μ F	2	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης DC.	1
Ηλεκτρολυτικός Πυκνωτής C3=47 μ F	1	Πλακέτα Arduino Uno.	1
Αντιστάσεις R1 = 5K Ω	1	Καλώδιο σύνδεσης USB.	1

Αντίσταση R2,R6 = 4,7KΩ	2	Καλώδια συνδέσεων (μικρά σε μήκος).	12
Αντιστάσεις R4,R5,R10 =10KΩ	2	Καλώδια συνδέσεων (μεγάλα σε μήκος).	4
Αντίσταση R7 = 100 KΩ	1	Ζευγάρι καλωδίων σύνδεσης τροφοδοτικού με ράστερ.	1
R8,R9 = 200 KΩ	2	Πολύμετρο	1
Αντίσταση R3=68KΩ	1	Γεννήτρια Συχνοτήτων	1
Δίοδος D1 = 1N4148	1	Παλμογράφος 2 καναλιών	1
Τελεστικός Ενισχυτής TLC272CP (είναι διπλό)	2		
DS18030-50	1		

Στην εικόνα 6.19 μπορούμε να δούμε πώς θα συνδέσουμε το OK του ψηφιακού ποτενσιόμετρου στο κύκλωμά του TE, ενώ στην εικόνα 6.20 παρατηρούμε το συνολικό κύκλωμά μας στο ράστερ με την βοήθεια του προγράμματος Tinkercad. Στον πίνακα 6.4 έχουμε συγκεντρώσει όλα τα υλικά και τα όργανα μέτρησης που θα χρησιμοποιήσουμε στο κύκλωμα για την διεξαγωγή της άσκησης. Τέλος στην εικόνα 6.21 παρατηρούμε το πραγματικό κύκλωμα σε φωτογραφία.



Εικόνα 6.21: Το πραγματικό κύκλωμα του TE με ψηφιακό ποτενσιόμετρο.

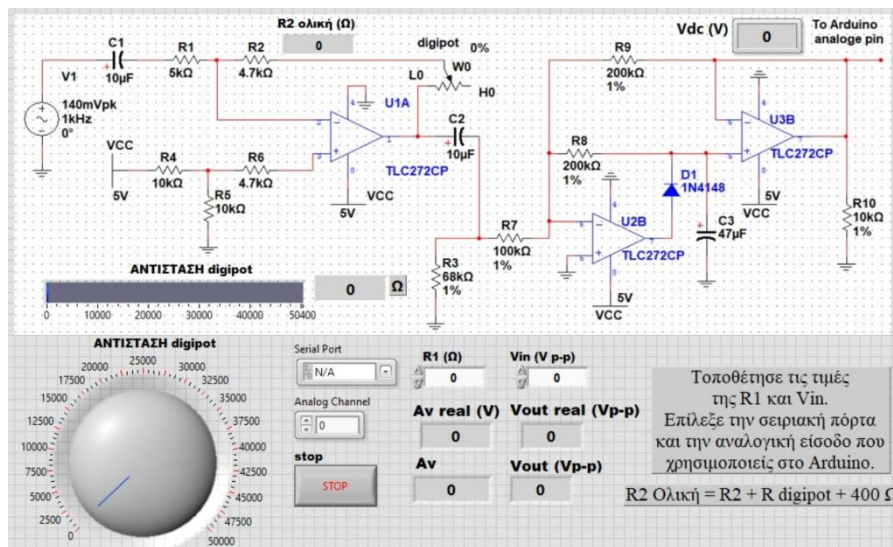


Εικόνα 6.22 : Το Πρόγραμμα του LabView – Block Diagram.

Στην εικόνα 6.22, μπορούμε να δούμε το πρόγραμμα που χρησιμοποιήσαμε στο περιβάλλον block diagram του LabView για να προγραμματίσουμε το Arduino. Δεν υπάρχει κάτι διαφορετικό από αυτά που έχουμε αναλύσει σε όλα τα προηγούμενα κεφάλαια εκτός ότι για την μετατροπή των ενδείξεων του dial «αντίσταση rot» από 0 – 50000 Ω, σε τιμές από 0 – 255 θα πρέπει να υπολογίσουμε το ελάχιστο βήμα αλλαγής της αντίστασης, εξίσωση (6.13). Τον ίδιο αριθμό θα χρησιμοποιήσουμε και για την αντίστροφη μετατροπή για την απεικόνιση σε μπάρα, προσθέτοντας και την αντίσταση του δρομέα.

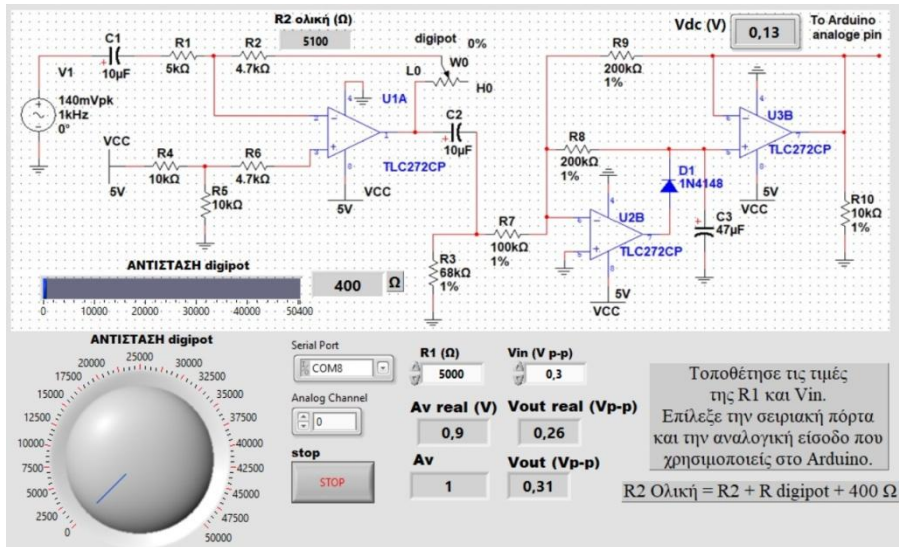
$$DR = \frac{50000 \Omega}{255} = 196,078431 \Omega \quad (6.13)$$

Η τελική αντίσταση R2 η οποία θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της απολαβής προκύπτει προσθέτοντας την σταθερή αντίσταση R2 = 4700 Ω.

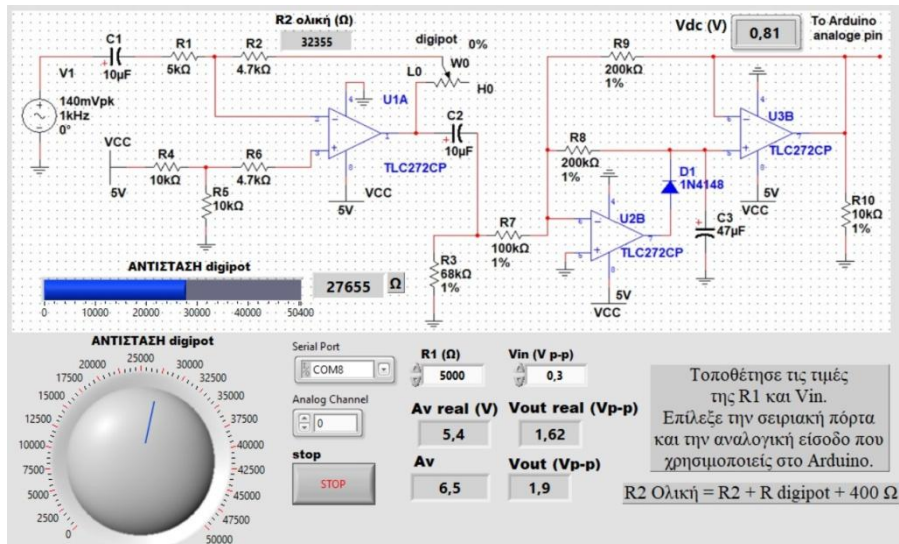


Εικόνα 6.23 : Front Panel – Η διεπαφή του χρήστη.

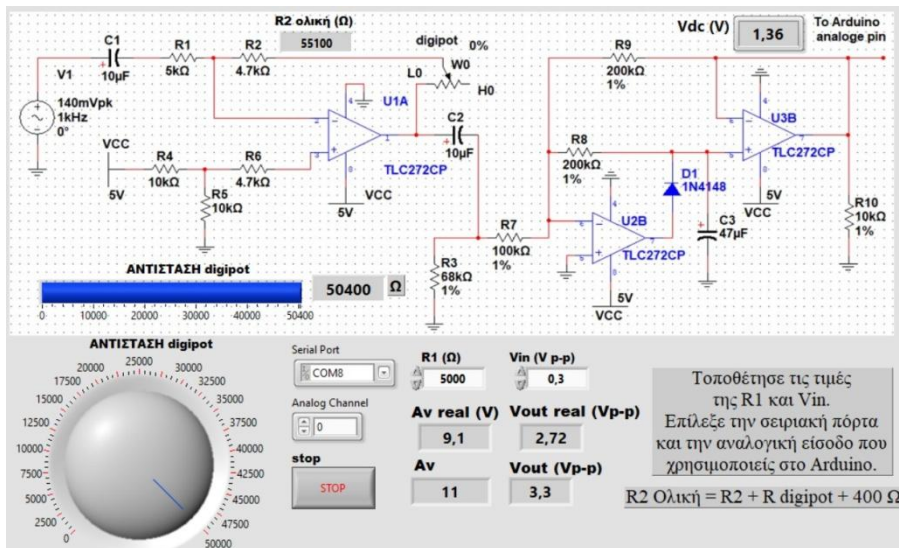
Στην εικόνα 6.23, μπορούμε να δούμε πώς είναι η διεπαφή, η πρόσωση του εικονικού οργάνου που δημιουργήσαμε. Πριν ξεκινήσουμε τις μετρήσεις θα πρέπει να τοποθετήσουμε τις τιμές στην αντίσταση R1 και την τιμή της τάσης εισόδου Vin σε (peak to peak) και να επιλέξουμε την θύρα USB στην οποία έχουμε συνδέσει το Arduino καθώς και την αναλογική είσοδο που χρησιμοποιούμε για να πάρουμε την μέτρηση.



Εικόνα 6.24 : Front Panel – μετρήσεις με την αντίσταση του ποτενσιόμετρου στο ελάχιστο.



Εικόνα 6.25 : Front Panel – μετρήσεις με την αντίσταση του ποτενσιόμετρου στο μέσον.



Εικόνα 6.26 : Front Panel – μετρήσεις με την αντίσταση του ποτενσιόμετρου στο μέγιστο.

Στις εικόνες 6.24 έως 6-26, μπορούμε να δούμε τις μετρήσεις που έχουμε εάν τοποθετήσουμε την ψηφιακά ρυθμιζόμενη αντίσταση στο ελάχιστο, στην μέση έτσι ώστε να έχουμε μια απολαβή 5,5 και τέλος στο μέγιστο. Παρακάτω στον πίνακα 6-5 έχουμε συγκεντρώσει τις μετρήσεις και τους θεωρητικούς υπολογισμούς.

Πίνακας 6-5 : Θεωρητικά αποτελέσματα και μετρήσεις.

Δεδομένα			Θεωρητικός υπολογισμός		Μέτρηση με το Arduino		Σφάλμα Μέτρησης
R2 ολική	R1	Vin (p-p)	Av	Vout (p-p)	Av real	Vout real (p-p)	DVout (p-p)
5100 Ω	5000 Ω	0,3 V	1,02	0,306 V	0.9	0.26 V	0.05 V
32355 Ω	5000 Ω	0,3 V	6,47	1.941 V	5.4	1.62	0.3235 V
55100	5000 Ω	0,3 V	11,02	3.306 V	9.1	2.72	0.551 V

Από τον πίνακα 6-5, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι έχει δημιουργηθεί ένα σφάλμα στην μέτρηση της τάσης εξόδου που μετράει το Arduino που προκύπτει από τις ανοχές των εξαρτημάτων και από την μετατροπή του ADC. Το σφάλμα αυτό είναι της τάξης του 0,05 V, το οποίο πολλαπλασιάζετε με την απολαβή του ενισχυτή σύμφωνα με την εξίσωση 6.14. Ενώ με την εξίσωση 6.15 μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η έξοδος μας είναι πάρα πολύ κοντά στην θεωρητικά υπολογισμένη λαμβάνοντας υπόψη το σφάλμα.

$$DVout(p - p) = Av * 0,05 V(p - p) \quad (6.14)$$

$$Vout(p - p) = Voutreal(p - p) + DVout(p - p) \quad (6.15)$$

6.5 Εκπαιδευτική χρήση.

Ένα ιδιαίτερο σημείο στο οποίο μπορούμε να σταθούμε είναι η παράγραφος 6.4 με την οποία μπορούμε να δώσουμε στους μαθητές την εικόνα της ψηφιακής ρύθμισης της ενίσχυσης – έντασης ενός ραδιοφώνου ως εφαρμογή, (η οποιασδήποτε άλλης εφαρμογής ρύθμισης). Στην γενικότερη χρήση του μπορούμε και πάλι να δώσουμε μέσα απ' αυτό το πρόγραμμα την κατανόηση όλων των απαραίτητων εννοιών που χρησιμοποιούνται σ' ένα τέτοιο κύκλωμα και της σύνδεσης της θεωρίας με την πράξη. Για την εκπαιδευτική χρήση του κυκλώματος αυτού υπάρχουν διαθέσιμα και τα φύλλα πορείας της άσκησης στο παράρτημα Β.

6.6 Επίλογος

Στην ενότητα 6.2 ξεκινήσαμε με μία θεωρητική ανάλυση του κυκλώματος του ενισχυτή. Στην ενότητα 6.3 συνδέσαμε το κύκλωμα του ενισχυτή με το Arduinoμέσα από την κατασκευή κυκλωμάτων προσαρμογής, έτσι ώστε να μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε τις μετρήσεις , προγραμματίσαμε το σύστημά μας και κάναμε τις μετρήσεις συγκεντρώνοντας τα αποτελέσματα σε πίνακες και διαγράμματα. Στην ενότητα 6.4 δοκιμάσαμε μια διαφορετική προσέγγιση στο κύκλωμα, πραγματοποιώντας μια διαδικασία ψηφιακής ρύθμισης της απολαβής, μέσα από μία ψηφιακά ελεγχόμενη από το πρόγραμμα ρυθμιζόμενη αντίσταση. Τέλος στην ενότητα 6.5 αναπτύξαμε την εκπαιδευτική χρήση του.

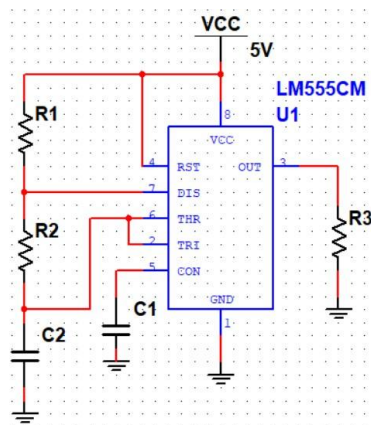
7. Κεφάλαιο 7^ο. Γεννήτρια τετραγωνικών παλμών με το 555.

7.1 Εισαγωγή.

Το κύκλωμα που θα εξετάσουμε σε αυτό το κεφάλαιο, το 5^ο κατά σειρά, είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα '555' σε συνδεσμολογία ασταθούς πολυδονητή. Στην περίπτωση αυτή θα εξετάσουμε την παραγωγή συνεχούς παλμοσειράς τετραγωνικού παλμού της οποίας θα μετρήσουμε την συχνότητα, περίοδο, κύκλο εργασίας και διάρκεια των παλμών "ON" & "OFF".

7.2 Θεωρητική ανάλυση.

Το κύκλωμα μας όπως φαίνεται στην εικόνα 7.1 είναι ένα '555' σε συνδεσμολογία ασταθούς πολυδονητή όπου σύμφωνα με την βιβλιογραφία (15) θα υπολογίσουμε τα στοιχεία του κυκλώματος έτσι ώστε να έχουμε στην έξοδο τετραγωνικούς παλμούς συχνότητας 1 KHz και κύκλου εργασίας κοντά στο 50%.



Εικόνα 7.1 : Το κύκλωμα του ασταθούς πολυδονητή.

Για την συχνότητα των 1KHz η περίοδος υπολογίζεται από την εξίσωση 7.1.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1 \text{ KHz}} = 1 \text{ mSec} \quad (7.1)$$

Σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του 555 (16) και του διαγράμματος 16 στην σελ. 11, για την συχνότητα αυτή θα πρέπει να επιλέξουμε έναν πυκνωτή λίγο μεγαλύτερο από την τιμή των 10 nF. Επιλέγουμε την τιμή 10 nF. Σύμφωνα με τις εξισώσεις 7.2 και 7.3 μπορούμε να υπολογίσουμε τις τιμές των αντιστάσεων που θα χρησιμοποιηθούν για να λειτουργήσει το κύκλωμα.

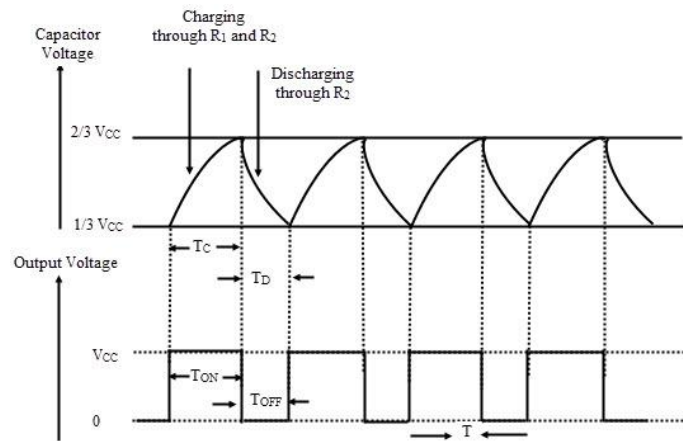
$$T = 0,693 * (R1 + 2 * R2) * C2 \rightarrow 1 \text{ mSec} = (R1 + 2 * R2) * 0,693 * 10 \text{ nF} \rightarrow$$

$$(R1 + 2 * R2) = \frac{1 \text{ mSec}}{6,93 \text{ nF}} = 0,14430014 * 10^6 = 144300,14 \Omega \text{hm} \quad (7.2)$$

Για να έχουμε κύκλο εργασίας κοντά στο 50 % θα πρέπει $R1 \ll R2$. Εάν θέσουμε την $R1=8,2 \text{ K}\Omega$ τότε θα έχουμε :

$$R1 + 2 * R2 = 144300 \Omega \text{hm} \rightarrow 2 * R2 = 144300 - 8200 = 136100 \Omega \text{hm} \rightarrow$$

$$R2 = \frac{136100}{2} = 68050 \Omega \text{hm} \quad (7.3)$$



Εικόνα 7.2 : Τυπικές κυματομορφές εξόδου και φόρτισης πυκνωτή του 555.

Ο χρόνος του θετικού παλμού t_1 ή αλλιώς T_{on} (εικόνα 7.2) υπολογίζεται από την εξίσωση 7.4.

$$t_1 = 0,693 * (R_1 + R_2) * C = 0,693 * (8200 + 68050) * 10 \text{ nF} = 528,41 \text{ nSec} \quad (7.4)$$

Η περίοδος του σήματος εξόδου προκύπτει από την εξίσωση 13.5. Άρα μπορούμε να υπολογίσουμε τον χρόνο t_2 ή αλλιώς T_{off} από την εξίσωση 7.6.

$$T = t_1 + t_2 \quad (7.5)$$

$$t_2 = T - t_1 = 1 \text{ mSec} - 528,41 \text{ nSec} = 471,59 \text{ nSec} \quad (7.6)$$

Ο κύκλος εργασίας (Duty cycle) υπολογίζεται από την εξίσωση 7.7.

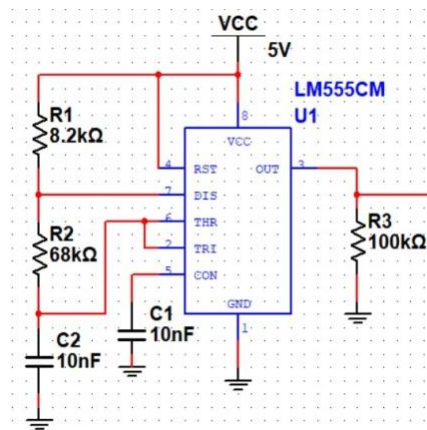
$$Dc = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2 * R_2} = 0,5284 * 100 = 52,84\% \quad (7.7)$$

Επίσης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και τις παρακάτω εξισώσεις για τον υπολογισμό της συχνότητας και της διάρκειας του παλμού t_2 .

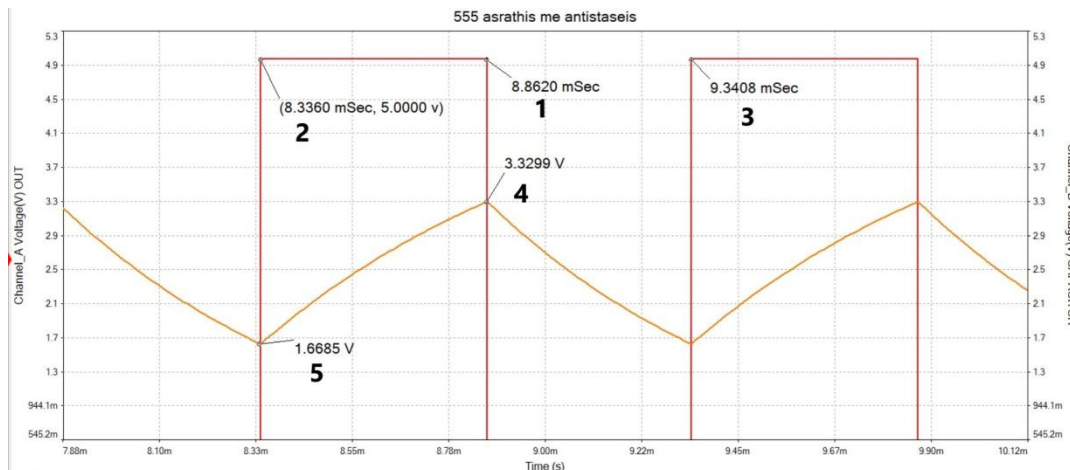
$$f = \frac{1,44}{(R_1 + 2 * R_2) * C} \quad (7.8)$$

$$t_2 = 0,693 * R_2 * C \quad (7.9)$$

Ο πυκνωτής C_2 που τοποθετείται στον ακροδέκτη 5 (CON) είναι για να αποτρέψουμε τυχόν παρασιτικό ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο να παρέμβει στην λειτουργία του 555.



Εικόνα 7.3 : Το κύκλωμα του ασταθή πολυδονητή με τις τιμές των εξαρτημάτων.



Εικόνα 7.4 : Κυματομορφές από την προσομοίωση στο Multisim.

Στην εικόνα 7.4 υπάρχουν οι κυματομορφές της εξόδου αλλά και του πυκνωτή C2 που προέκυψαν από την προσομοίωση από το πρόγραμμα Multisim της National Instruments. Από αυτές μπορούμε να υπολογίσουμε την χρονική διάρκεια των παλμών t_1 & t_2 καθώς και της περιόδου T .

Η περίοδος T υπολογίζεται από την εξίσωση 7.10 εάν αφαιρέσουμε τον χρόνο του σημείου 3 από αυτόν του σημείου 2.

$$T = 9,34 \text{ mS} - 8,33 \text{ mS} = 1,01 \text{ ms} \quad (7.10)$$

Ο χρόνος t_1 υπολογίζεται από την εξίσωση 7.11 εάν αφαιρέσουμε τον χρόνο του σημείου 1 από αυτόν του σημείου 2.

$$t_1 = 8,86 \text{ mS} - 8,33 \text{ mS} = 0,53 \text{ ms} \quad (7.11)$$

Τέλος ο χρόνος t_2 υπολογίζεται από την εξίσωση 13.12 εάν αφαιρέσουμε τον χρόνο του σημείου 3 από αυτόν του σημείου 1.

$$t_2 = 9,34 \text{ mS} - 8,86 \text{ mS} = 0,48 \text{ ms} \quad (7.12)$$

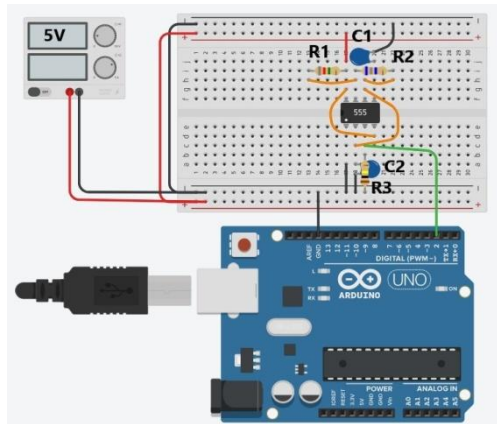
Επίσης στο σημείο 5 μπορούμε να δούμε την τάση από την οποία ξεκινά να φορτίζεται ο πυκνωτής C1 και η οποία είναι το $1/3$ της τάσης τροφοδοσίας V_{cc} , ενώ στο σημείο 4 τοποθετούμε την τάση στην οποία φορτίζεται ο πυκνωτής η οποία είναι το $2/3$ της τάσης τροφοδοσίας V_{cc} .

7.3 Σύνδεση κυκλώματος – προγραμματισμός – μετρήσεις.

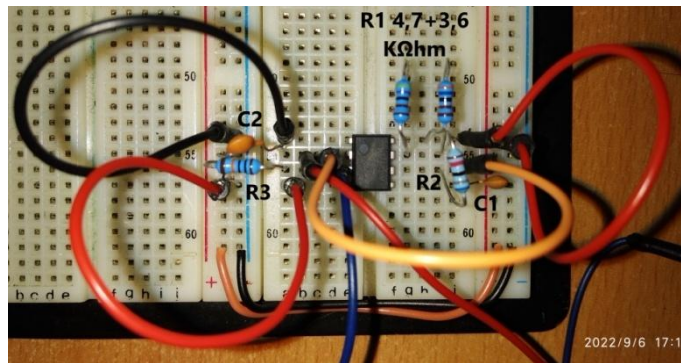
Η σύνδεση του κυκλώματος δεν παρουσιάζει κάποια ιδιαιτερότητα, είναι όπως απεικονίζεται στην εικόνα 7.3, θα το συναρμολογήσουμε σε ένα ράστερ, προσοχή θα πρέπει να δώσουμε κατά την διάρκεια συναρμολόγησης αλλά και σύνδεσης των ακροδεκτών του Arduino.

7.3.1 Σύνδεση του κυκλώματος.

Στην εικόνα 7.5 βλέπουμε το κύκλωμά μας κατασκευασμένο σε ράστερ με την βοήθεια του προγράμματος Tinkercad, ενώ στην εικόνα 7.6 το πραγματικό κύκλωμα σε φωτογραφία. Εδώ θα παρατηρήσετε ότι έχουμε τοποθετήσει δύο αντιστάσεις για να δημιουργήσουμε μια αντίσταση $8,3\text{K}\Omega$. Τέλος στον πίνακα 7-1 έχουμε τη λίστα με τα υλικά και τα όργανα μέτρησης που θα χρησιμοποιήσουμε.



Εικόνα 7.5 : Κύκλωμα 555. Σε ράστερ με την βοήθεια του προγράμματος Tinkercad.



Εικόνα 7.6 : Το πραγματικό κύκλωμα σε ράστερ.

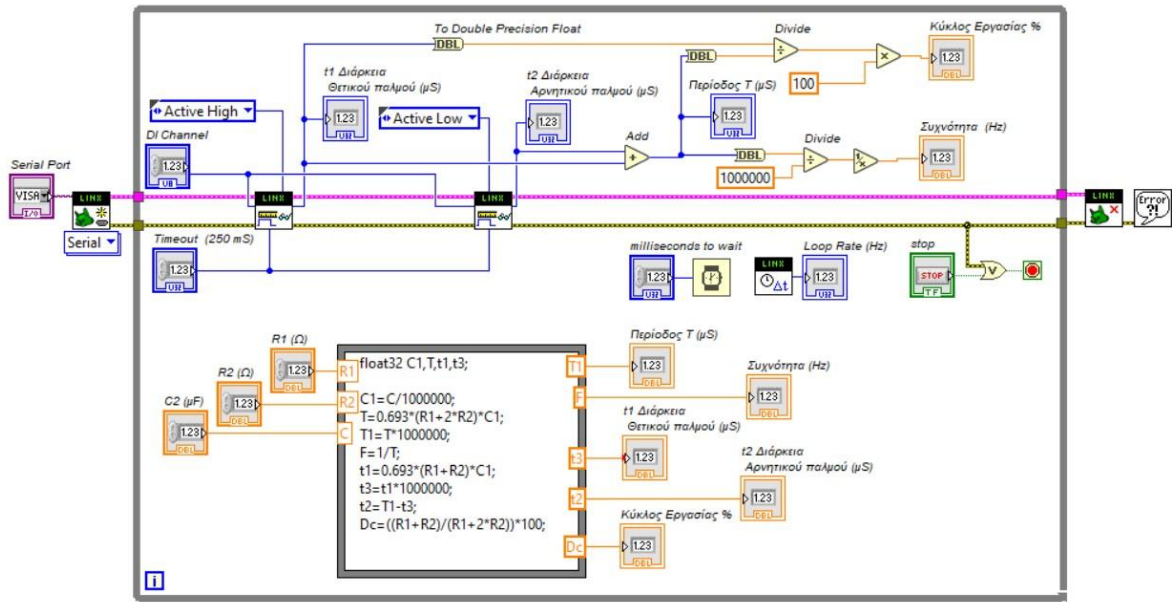
Πίνακας 7-1 : Υλικών και οργάνων του κυκλώματος 555 ασταθούς πολυδονητή.

Υλικά	Ποσότητα	Όργανα	Ποσότητα
Πυκνωτές C1,C2 = 10 nF	2	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης DC.	1
Αντίσταση R1 = 8,2KΩ	1	Πλακέτα Arduino Uno.	1
Αντιστάσεις R2 = 68 KΩ	1	Καλώδιο σύνδεσης USB.	1
Αντίσταση R3 = 100 KΩ	1	Καλώδια συνδέσεων (μικρά σε μήκος).	5
Ο.Κ LM555cn	1	Καλώδια συνδέσεων (μεγάλα σε μήκος).	1
		Ζευγάρι καλωδίων Σύνδεσης τροφοδοτικού με ράστερ.	1
		Πολύμετρο	1
		Παλμογράφος 2 καναλιών	1

7.3.2 Προγραμματισμός του συστήματος.

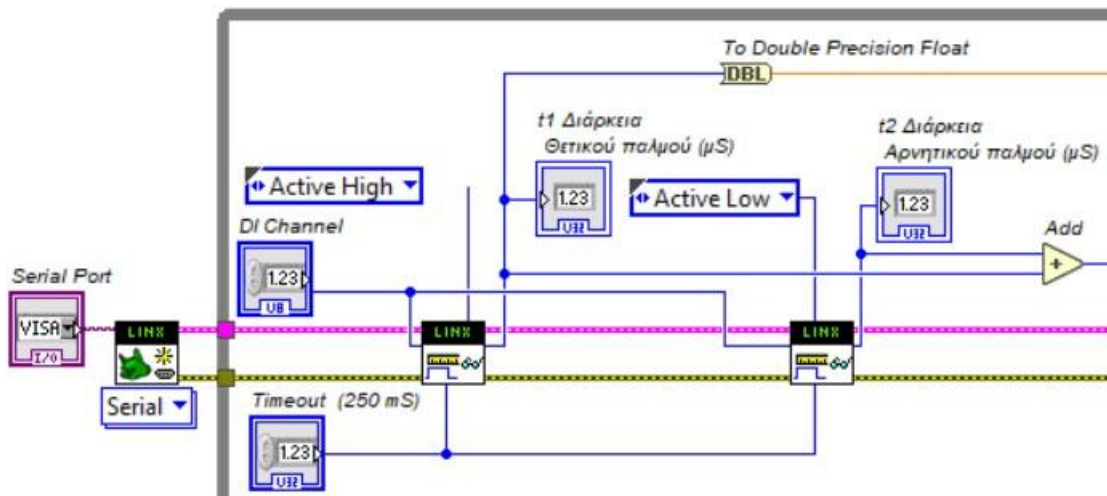
Αφού έχουμε συνδέσει το κύκλωμά μας θα πρέπει να προγραμματίσουμε το αναπτυξιακό μας σύστημα μέσω του LabView. Στο παράρτημα Α παραθέτουμε ένα μικρό απόσπασμα για την γενική διαδικασία προγραμματισμού που θα πρέπει να ακολουθήσουμε, φυσικά θα πρέπει να γνωρίζουμε πώς να εργαστούμε στο περιβάλλον του LabView.

7.3.2.1 Block Diagram



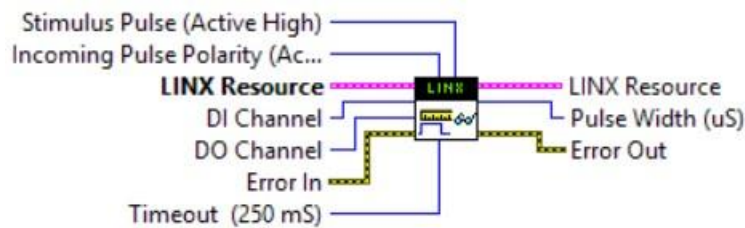
Εικόνα 7.7: Το Πρόγραμμα του LabView – Block Diagram.

Στην παραπάνω εικόνα 7.7, βλέπουμε ολοκληρωμένο το πρόγραμμα που έχουμε αναπτύξει στο περιβάλλον προγραμματισμού του LabView. Στις επόμενες εικόνες θα αναλύσουμε τα τμήματα από τα οποία αποτελείται.



Εικόνα 7.8 : Block Diagram – Μπλοκ μετρήσεων παλμών ON, OFF.

Στην εικόνα 7.8 εκτός των γνωστών μπλοκ ενεργοποίησης επικοινωνίας με το Arduino και της επιλογής της θύρας USB, μπορούμε να δούμε και τα μπλοκ που χρησιμοποιούμε για να μετρήσουμε την διάρκεια των παλμών t_1 (T_{on}) και t_2 (T_{off}), καθώς και τις μονάδες απεικόνισης του χρόνου σε μS . Στην εικόνα 7.9 θα παρουσιάσουμε το μπλοκ που χρησιμοποιήσαμε για να κάνουμε τις απαραίτητες μετρήσεις, είναι το μπλοκ digital read pulse width, το οποίο μπορεί να διαβάσει αλλά μπορεί και να παράγει παλμό, οι ερμηνείες των ακροδεκτών εισόδου και εξόδου δίνονται παρακάτω.



Εικόνα 7.9 : Block Diagram – Μπλοκ μέτρησης διάρκειας παλμού.

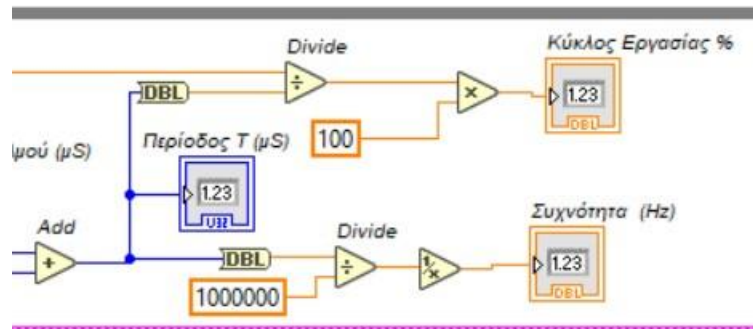
Είσοδοι

- **Stimulus Pulse (Active High).**
Παλμός διέγερσης εξόδου. Σύμφωνα με αυτή την είσοδο μπορούμε να επιλέξουμε, εάν δεν θα έχει καμία πολικότητα (None) ή θετική πολικότητα (Active High) ή αρνητική πολικότητα (Active Low).
- **Incoming Pulse Polarity (Active High).**
Πολικότητα εισερχόμενου παλμού. Σύμφωνα με αυτήν την είσοδο μπορούμε να επιλέξουμε εάν θα μετρήσουμε την διάρκεια του παλμού Ton (Active High) ή την διάρκεια του παλμού Toff (Active Low).
- **LINX Resource.**
Από αυτή την είσοδο διοχετεύονται όλες οι πληροφορίες για την λειτουργία των μπλοκ, σε αυτήν την είσοδο συνδέουμε άλλα μπλοκ.
- **DI Channel.**
Με αυτή την είσοδο επιλέγουμε τον ψηφιακό ακροδέκτη εισόδου από τον οποίο θα κάνουμε την μέτρηση.
- **DO Channel.**
Με αυτή την είσοδο επιλέγουμε τον ψηφιακό ακροδέκτη εξόδου από τον οποίο θα δώσουμε τον παλμό διέγερσης (οδήγηση αισθητηρίου υπερήχων).
- **Error In.**
Είσοδος που συνδέονται άλλα μπλοκ και περιγράφει τις συνθήκες σφάλματος που εμφανίζονται πριν από την εκτέλεση αυτού του μπλοκ. Αυτή η είσοδος παρέχει τυπικό σφάλμα στη λειτουργικότητα.
- **Time out (250 mS).**
Καθορίζει το ποσό του χρόνου στον οποίο θα περιμένει για την έναρξη της μέτρησης του εισερχόμενου παλμού.

Έξοδοι

- **LINX Resource.**
Από αυτή την έξοδο διοχετεύονται όλες οι πληροφορίες για την λειτουργία των μπλοκ, σε άλλα μπλοκ.
- **Pulse Width (uS).**
Μας δίνει τον μετρούμενο χρόνο του παλμού σε μSec .
- **Error Out.**
Έξοδος στην οποία συνδέονται άλλα μπλοκ και μεταφέρει τις συνθήκες σφάλματος που εμφανίζονται από την εκτέλεση αυτού του μπλοκ.

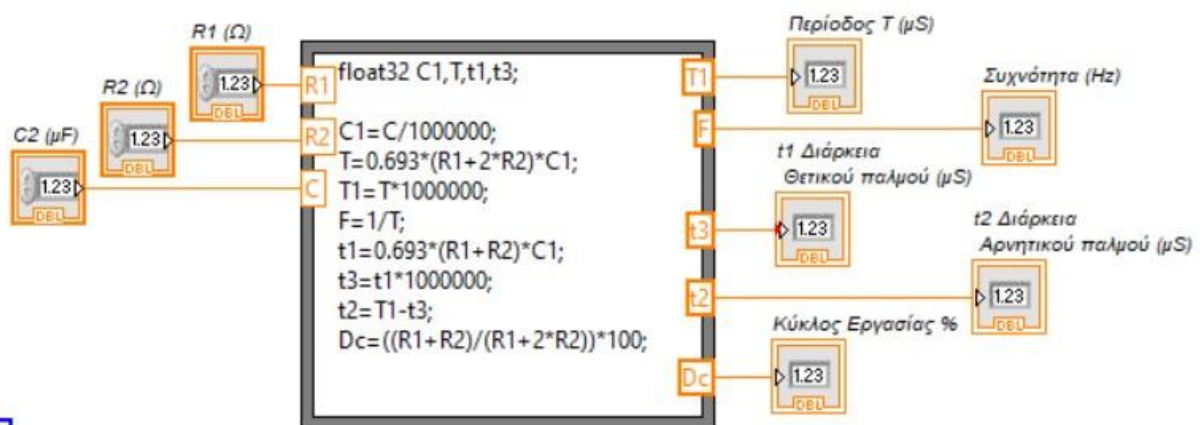
Σύμφωνα με τα παραπάνω και παρατηρώντας την εικόνα 7.8, ορίζουμε και για τα δύο μπλοκ μέτρησης την ψηφιακή είσοδο D2 την οποία θα συνδέσουμε στο κύκλωμα μας, τον χρόνο timeout τον αφήνουμε ως έχει από την προτοποθέτηση του στα 250 mS (Μπορούμε να ορίσουμε μια τιμή και στα 50 mS, αλλά όχι κάτω από 5 mS). Στο πρώτο μπλοκ μέτρησης ορίζουμε την πολικότητα του εισερχόμενου παλμού στο θετικό, έτσι ώστε να μετρήσουμε τον χρόνο t1 –Ton, ενώ στο δεύτερο μπλοκ ορίζουμε την πολικότητα στο αρνητικό, έτσι ώστε να μετρήσουμε τον χρόνο t2 – Toff και οδηγούμε τα αποτελέσματα σε έναν ενδείκτη.



Εικόνα 7.10 : Block Diagram – Διαδικασία υπολογισμού περιόδου, συχνότητας και κύκλου εργασίας.

Στην εικόνα 7.10, βλέπουμε την διαδικασία που χρησιμοποιούμε για να υπολογίσουμε την περίοδο του σήματος, την συχνότητα του αλλά και τον κύκλο εργασίας (duty cycle), ο οποίος υπολογίζεται από την εξίσωση 7.13. Πριν τον υπολογισμό της συχνότητας και του κύκλου εργασίας θα πρέπει να μετατρέψουμε τους χρόνους που μετρήσαμε από αριθμούς διπλής ακρίβειας σε κινούμενης υποδιαστολής, επίσης θα πρέπει να μετατρέψουμε τον μετρούμενο χρόνο από μS σε Sec για να δώσουμε το αποτέλεσμα της συχνότητας σε Hz.

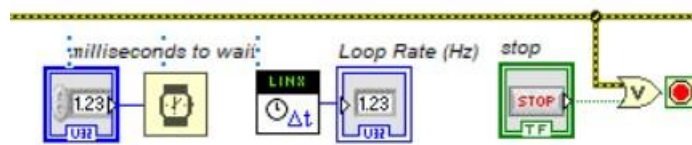
$$DC(\text{Duty Cycle}) = \frac{T_{\text{on}}}{T} * 100 \quad (7.13)$$



π

Εικόνα 7.11 : Block Diagram – Κόμβος υπολογισμού θεωρητικών αποτελεσμάτων.

Στην εικόνα 7.11 έχουμε τοποθετήσει μέσα στον κόμβο των εξισώσεων, τις απαραίτητες εξισώσεις για τον θεωρητικό υπολογισμό των ζητούμενων χαρακτηριστικών, περίοδος και συχνότητα σήματος, χρόνοι διάρκειας παλμών και κύκλου εργασίας, λαμβάνοντας υπόψη τις ονομαστικές τιμές των εξαρτημάτων. Εδώ θα πρέπει να πούμε ότι χρειάζονται και οι απαραίτητες μετατροπές από μS σε Sec (T1,t3).



Εικόνα 7.12 : Block Diagram – Χρονοκαθυστέρηση μετρήσεων, μέτρηση αριθμού μετρήσεων, μπουτόν τερματισμού.

Στην εικόνα 7.12 παρατηρούμε την διαδικασία με την οποία δημιουργούμε μια τεχνητή χρονοκαθυστέρηση μεταξύ των μετρήσεων, τους λόγους τους οποίους εξηγήσαμε νωρίτερα σε προηγούμενα κεφάλαια, την διαδικασία με την οποία μετράμε σε Hz την εκτέλεση των μετρήσεων, δηλαδή πόσες φορές έχουμε κάνει την μέτρηση και τέλος την γνωστή διαδικασία τερματισμού του προγράμματος με το μπουτόν stop.

7.3.2.2 Front Panel

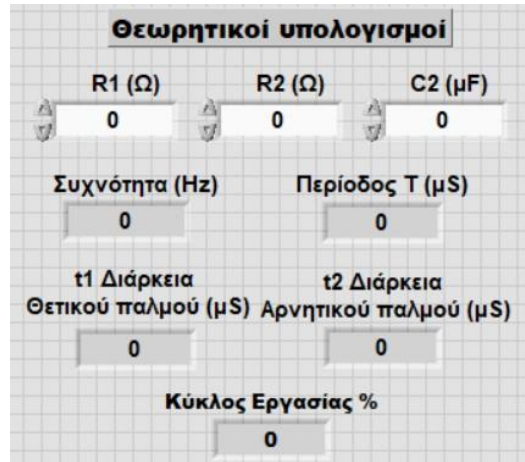
Στις επόμενες εικόνες θα σας παρουσιάσουμε την εξωτερική όψη του προγράμματος, την διεπαφή δηλαδή με τον χρήστη, που ονομάζεται Front Panel. Μέσα από αυτό προσπαθήσαμε να δώσουμε στον χρήστη μια κατανοητή και εύκολη οπτική διαδικασία αναγνώρισης των δεδομένων των υπολογισμών και των μετρήσεων.

Εικόνα 7.13 : Front Panel – Η διεπαφή του χρήστη.

Στην εικόνα 7.13 μπορούμε να δούμε ολόκληρη στην μπροστινή όψη του οργάνου μέτρησης VI που χρησιμοποιούμε για το συγκεκριμένο κύκλωμα, μπορούμε να διακρίνουμε ότι αποτελείται από τρία μέρη. Το πρώτο μέρος παρουσιάζεται στην εικόνα 7.14 και περιλαμβάνει το μπουτόν τερματισμού του προγράμματος, την επιλογή τη θύρας επικοινωνίας USB, την επιλογή της ψηφιακής εισόδου για την μέτρηση, την χρονική διάρκεια «timeout», την χρονική καθυστέρηση μεταξύ των μετρήσεων και τέλος μας απεικονίζει τον αριθμό των μετρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί. Το δεύτερο μέρος μπορούμε να το δούμε στην εικόνα 7.15. Εδώ θα πρέπει να τοποθετήσουμε τις τιμές των εξαρτημάτων και να δούμε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τους θεωρητικούς υπολογισμούς σύμφωνα με την εικόνα 7.11. Τέλος στο τρίτο μέρος στην εικόνα 7.16 μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήσαμε σύμφωνα με τους υπολογισμούς του μπλοκ διαγράμματος στην εικόνα 7.10.



Εικόνα 7.14 : Front Panel – Εισαγωγή βασικών παραμέτρων.



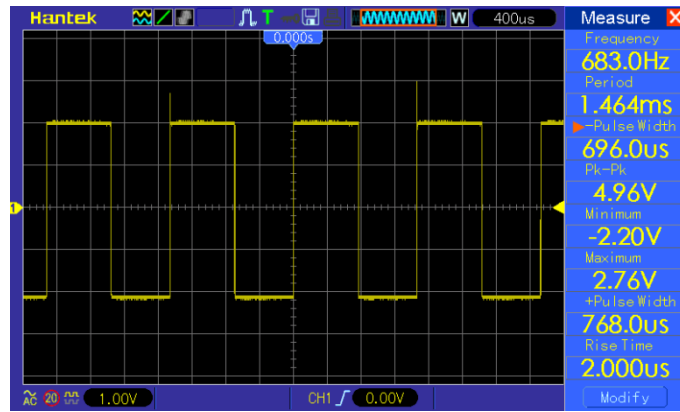
Εικόνα 7.15 : Front Panel – Εισαγωγή τιμών εξαρτημάτων και θεωρητικός υπολογισμός



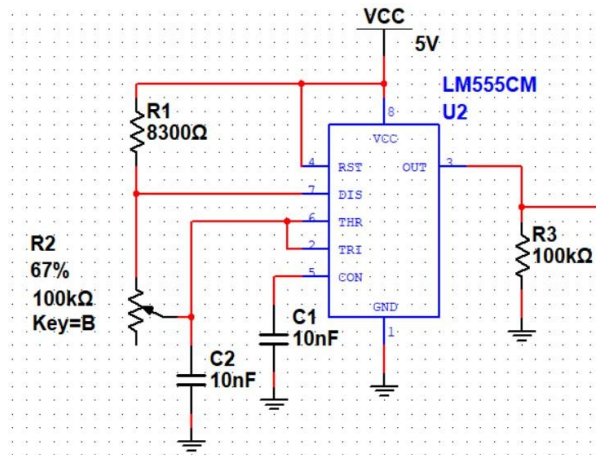
Εικόνα 7.16 : Front Panel –Απεικόνιση μετρήσεων.

7.3.3 Διαδικασία μέτρησης και πίνακας μετρήσεων.

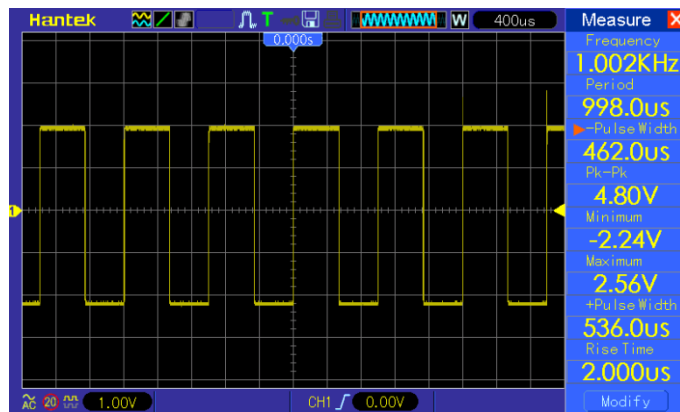
Αφού τοποθετήσουμε τα εξαρτήματα στο ράστερ και κάνουμε τους απαραίτητους ελέγχους, συνδέουμε το Arduino στο ράστερ και στον Η/Υ μέσω USB και ανοίγουμε το τροφοδοτικό, επιλέγουμε την σωστή θύρα επικοινωνίας, τοποθετούμε τις τιμές στις μεταβλητές εισόδου και πιέζουμε το κουμπί RUN στο front panel. Στο πραγματικό κύκλωμα για να δημιουργήσουμε την R1 τοποθετήσαμε δυο αντιστάσεις σε σειρά μια 4,7 KΩ και μια 3,6 KΩ, για να έχουμε μια αντίσταση 8,3 KΩ. Από τις μετρήσεις στο πραγματικό κύκλωμα (εικόνα 7.17), παρατηρούμε σημαντικές αποκλίσεις, θα δοκιμάσουμε να βρούμε τις πραγματικές τιμές των αντιστάσεων κρατώντας την αντίσταση R1 σταθερή στη τιμή των 8,3 KΩ και τοποθετώντας μια ρυθμιζόμενη αντίσταση σε συνδεσμολογία ροοστάτη τιμής 100 KΩ και στην θέση της R2 όπως βλέπουμε στο κύκλωμα της εικόνας 7.18.



Εικόνα 7.17: Μέτρηση κυματομορφής εξόδου με παλμογράφο.

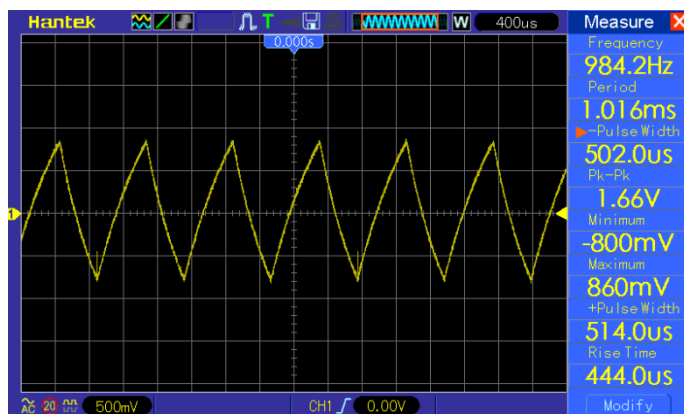


Εικόνα 7.18 : Το κύκλωμα του 555 με ρυθμιζόμενη αντίσταση



Εικόνα 7.19 : Κυματομορφή εξόδου του 555 με ρυθμιζόμενη αντίσταση.

Από τις μετρήσεις (εικόνες 7.19 & 7.20) παρατηρούμε ότι είμαστε μέσα στα θεωρητικά υπολογισμένα όρια, εκτός από την διάρκεια των παλμών και τον κύκλο εργασίας όπου παρατηρούμε ότι ο θετικός παλμός είναι περίπου στα 536 μSec και ο κύκλος εργασίας στο 53%. Η αντίσταση R2 μετρήθηκε στην τιμή 45060 Ωhm . Θα μπορούσαμε να τοποθετήσουμε και μια ρυθμιζόμενη αντίσταση στην R1 για να πλησιάσουμε ρυθμίζοντας την στους σωστούς χρόνους και κύκλο εργασίας. Η διαφορά από τους θεωρητικούς υπολογισμούς προκύπτει από τις ανοχές των εξαρτημάτων, ο πυκνωτής παρουσιάζει 10%, οι αντιστάσεις 1%, η ρυθμιζόμενη αντίσταση 20% και θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τις παρασιτικές χωρητικότητες των γραμμών του ράστερ στο οποίο πραγματοποιήθηκε το κύκλωμα.

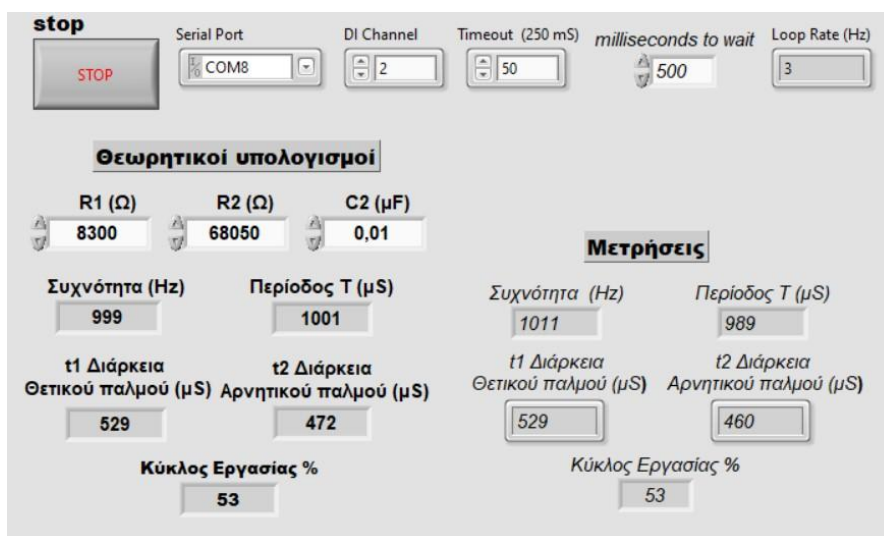


Εικόνα 7.20 : Κυματομορφή φόρτισης και εκφόρτισης πυκνωτή C2.

Π.Χ εάν θέσουμε τον πυκνωτή στα 15 nF, λόγω ανοχής (όπως μετρήθηκε με το πολύμετρο, πίνακας 7.2) και μαζί με τις παρασιτικές χωρητικότητες να φτάσουμε στα 16 nF με τιμές αντιστάσεων $R1=8300 \Omega$, $R2=45060 \Omega$ προκύπτει μία συχνότητα 975Hz σύμφωνα με την εξίσωση 7.14.

$$f = \frac{1,44}{(R1+2*R2)*C} = 975 \text{ Hz} \quad (7.14)$$

Η οποία είναι αρκετά κοντά στην θεωρητική, εάν μέσα σ' αυτά υπολογίσουμε την ανοχή των αντιστάσεων και την ακρίβεια μέτρησης των οργάνων τότε πλησιάζουμε ακόμα περισσότερο. Πιο συγκεκριμένα μπορούμε να πούμε ότι ο παράγοντας $(R1+2*R2)$ είναι πολύ κοντά στις 100000 Ω και σύμφωνα με την τιμή του πυκνωτή στα 15 μF βλέπουμε ότι είμαστε πολύ κοντά στο διάγραμμα 16 στην σελ. 11 του φυλλαδίου τεχνικών προδιαγραφών του LM555. (16).



Εικόνα 7.21 : Front Panel – Αποτελέσματα μετρήσεων με την ρυθμιζόμενη αντίσταση.

Συγκεντρώνουμε στον πίνακα 7.12 τις μετρήσεις μαζί με τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές του αρχικού κυκλώματος χωρίς την επέμβαση της ρύθμισης με εξωτερική αντίσταση, ενώ στον πίνακα 7.13 είναι οι μετρήσεις μετά από την ρύθμιση με την εξωτερική αντίσταση όπως περιγράψαμε πιο πάνω στην εικόνα 7.18.

Πίνακας 7-2: Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων χωρίς διόρθωση

Θεωρητικοί υπολογισμοί		Μετρήσεις με πολύμετρο	Μετρήσεις με το multisim	Μετρήσεις με παλμογράφο
R1	8300 Ω	8265 Ω		
R2	68050 Ω	68040 Ω		
C2	10 nF	14.3 nF		
T	1 mS		1,01 mS	1,464mS
F	1 Khz		990 Hz	683 Hz
Ton	528,41 μSec		526 μSec	768 μSec
Toff	471,59 μSec		478.8 μSec	696 μSec
Duty Cycle	52,84%		52.08 %	52,45 %

Πίνακας 7-3: Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων με διόρθωση

Θεωρητικοί υπολογισμοί		Μετρήσεις με πολύμετρο	Μετρήσεις με το multisim	Μετρήσεις με παλμογράφο	Μετρήσεις με το Arduino
R1	8300 Ω	8265 Ω			
R2	68050 Ω	45060Ω			
C2	10 nF	14.3 nF			
T	1 mS		1,01 mS	998 μS	989μSec
F	1 Khz		990 Hz	1002Hz	1011Hz
Ton	528,41 μSec		526 μSec	536μSec	529μSec
Toff	471,59 μSec		478.8 μSec	462 μSec	460μSec
Duty Cycle	52,84%		52.08 %	53,7 %	53 %

7.4 Εκπαιδευτική χρήση.

Ένα ιδιαίτερο σημείο που μπορούμε να αναφέρουμε εδώ είναι η διαφορά που προκύπτει μεταξύ των τιμών του θεωρητικού υπολογισμού και των πρακτικών μετρήσεων. Να αναφέρουμε από πού προκύπτουν και πως μπορούν να αντισταθμιστούν. Στην γενικότερη χρήση του μπορούμε και πάλι να δώσουμε μέσα απ' αυτό το πρόγραμμα την κατανόηση όλων των απαραίτητων εννοιών που χρησιμοποιούνται σ' ένα τέτοιο κύκλωμα και της σύνδεσης της θεωρίας με την πράξη. Για την

εκπαιδευτική χρήση του κυκλώματος αυτού υπάρχουν διαθέσιμα και τα φύλλα πορείας της άσκησης στο παράρτημα Β.

7.5 Επίλογος

Στην ενότητα 7.2 ξεκινήσαμε με μία θεωρητική ανάλυση του κυκλώματος του ταλαντωτή. Στην ενότητα 7.3 συνδέσαμε το κύκλωμα του ταλαντωτή με το Arduino ώστε να μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε τις μετρήσεις, προγραμματίσαμε το σύστημά μας και κάναμε τις μετρήσεις συγκεντρώνοντας τα αποτελέσματα σε πίνακες. Τέλος στην ενότητα 7.4 αναπτύξαμε την εκπαιδευτική χρήση του.

8. Συμπεράσματα – προτάσεις βελτίωσης.

8.1 Συμπεράσματα.

Συμπερασματικά στην τεχνολογική αξιολόγηση του συστήματος μπορούμε να πούμε ότι οι μετρήσεις είναι κοντά στις αρχικές θεωρητικά υπολογισμένες και έχουν περίπου την ίδια ακρίβεια με αυτές των μετρούμενων μεγεθών με όργανα μετρήσεων, όπως πολύμετρο και παλμογράφο. Υπάρχει ένα σημαντικό πρόβλημα ακρίβειας όσον αφορά τις μετρήσεις στο πεδίο του χρόνου, (απόκριση συχνότητας, μετρήσεις κυματομορφών), αλλά για την επίτευξη των στόχων για την συγκεκριμένη εργασία κρίνεται ικανοποιητική. Άρα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το Arduino μαζί με το πρόγραμμα του LabView ως μετρητική διάταξη DAQ με αρκετά καλή ακρίβεια.

Από την εκπαιδευτική χρήση του συστήματος μπορούμε να πούμε ότι μετά από την εφαρμογή των ασκήσεων σε δύο τμήματα της Γ' τάξης και με την διαδικασία των ατομικών συνεντεύξεων συμπεράναμε ότι :

- ✓ Σχεδόν όλοι οι μαθητές ένιωσαν ευχαριστημένοι και ενθουσιασμένοι με το αποτέλεσμα.
- ✓ Χρειάζονται δύο προπαρασκευαστικά μαθήματα για την χρήση του προγράμματος.
- ✓ Το βίντεο που θα δείχνει την διαδικασία που περιγράφεται στο παράρτημα Γ, είναι καθοριστικής σημασίας στην περαιτέρω συρρίκνωση του χρόνου διεξαγωγής.
- ✓ Περισσότερο χρόνο χρειάστηκε να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις με το πολύμετρο απ' ότι να πραγματοποιηθούν το Block Diagram και Front Panel.
- ✓ Η κάθε άσκηση θα πρέπει να εκτελείται σε δύο εργαστηριακά μαθήματα λόγω του μικρού χρόνου διεξαγωγής στο συγκεκριμένο μάθημα (Εργαστήριο Εφαρμοσμένα Ηλεκτρονικά).
- ✓ Πολύ ενδιαφέρουσα ήταν η συζήτηση μετά το πέρας των ασκήσεων. Εκεί έγινε και η αφομοίωση των περισσότερων θεωρητικών γνώσεων.
- ✓ Υπήρξαν μεγάλα προβλήματα με τον εργαστηριακό εξοπλισμό και κυρίως με τους Ηλεκτρονικούς Υπολογιστές.

Συμπερασματικά να πούμε ότι με τα έτοιμα αρχεία του προγράμματος μπορούμε να έχουμε τους θεωρητικούς υπολογισμούς ταυτόχρονα με το πραγματικό κύκλωμα γλιτώνοντας έτσι χρόνο. Η διαφορά με τα προγράμματα προσομοίωσης είναι ότι εδώ έχουμε άμεση επαφή με το πραγματικό κύκλωμα.

8.2 Προτάσεις Βελτίωσης

Από τεχνικής άποψης θα μπορούσαμε να βελτιώσουμε την ακρίβεια του συστήματος εάν χρησιμοποιούσαμε ένα άλλο μικροπολογιστικό σύστημα ή βοηθητικά εξωτερικά Ο.Κ ADC τα οποία θα βελτίωναν και την απόκριση του συστήματος στο πεδίο του χρόνου. Επίσης μια διαφορετική προσέγγιση θα ήταν να μην χρησιμοποιήσουμε το πρόσθετο LINX και το LabView και να δοκιμάζαμε αποκλειστικά μόνο με την μικροπολογιστική πλατφόρμα του Arduino. Επίσης θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε μόνο το LabView χωρίς το πρόσθετο του LINX με απευθείας επικοινωνία με το Arduino. Σ' όλες τις περιπτώσεις (εκτός της αλλαγής του μικροϋπολογιστικού συστήματος) οι αλλαγές δεν θα ήταν ουσιαστικές γιατί περιοριζόμαστε στις δυνατότητες του υλικού συστήματος του Arduino, στις δύο τελευταίες περιπτώσεις θα χάναμε και το πλεονέκτημα του οπτικού προγραμματισμού ή της ευκολίας στον προγραμματισμό που μας δίνει το πρόσθετο LINX.

Από εκπαιδευτικής οπτικής θα πρέπει οπωσδήποτε να πραγματοποιηθεί μεγαλύτερη έρευνα σε περισσότερα σχολεία για την εφαρμογή του συστήματος στην τάξη. Επίσης θα πρέπει να βελτιωθούν τα φύλλα πορείας των ασκήσεων με προτάσεις από την περαιτέρω εφαρμογή τους.

Βιβλιογραφία

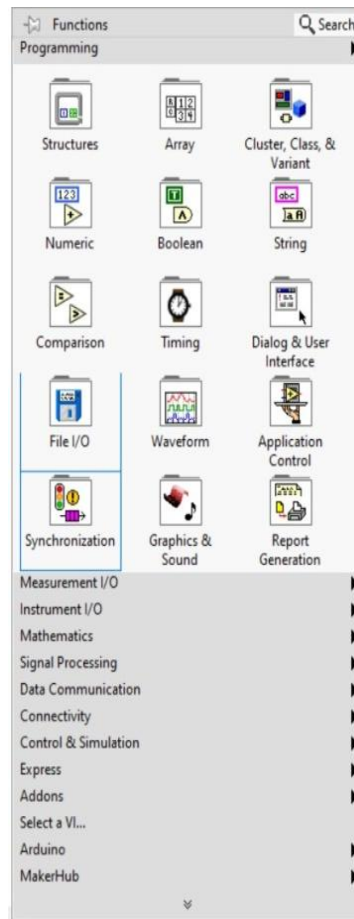
1. **ΖΕΡΒΑΣ, ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ.** blog ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΖΕΡΒΑΣ. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 28 9 2022.] <https://blogs.sch.gr/konzervas/archives/132>.
2. **Κ.Βουρνάς, Ο.Δαφέρμος,Σ.Πάγκαλος,Γ.Χατζαρακης.** Ηλεκτροτεχνία. *Κεφάλαιο 2, Ενότητα 2.1 – 2.1.2, σελ 80.* Αθήνα : ΙΤΥΕ ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ, 2017.
3. **Κ.Βουρνάς, Ο.Δαφέρμος, Σ.Πάγκαλος, Γ.Χατζαράκης.** Κεφάλαιο 2, Ενότητα 2.2 - 2.2.4, σελ 109. *Ηλεκτροτεχνία.* Αθήνα : ΙΤΥΕ ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ, 2017.
4. **Κ. Βουρνάς, Ο. Δαφέρμος, Σ. Πάγκαλος, Γ. Χατζαράκης.** Κεφάλαιο 2, Ενότητα 2.2 - 2.2.5 σελ 112. *Ηλεκτροτεχνία.* Αθήνα : ΙΤΥΕ ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ, 2017.
5. **DALLAS SEMICONDUCTOR - MAXIM - ANALOG DEVICES.** MAXIM INTERGRATED. *Addressable Dual Digital Potentiometer.* [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 9 10 2022.] <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/data-converters/digital-potentiometers/DS1803.html#tech-docs>.
6. **Κ. Βουρνάς, Ο. Δαφέρμος, Σ. Πάγκαλος, Γ. Χατζαράκης.** Κεφάλαιο 2, Ενότητα 2.2. - 2.2.10, σελ 124. *Ηλεκτροτεχνία.* Αθήνα : ΙΤΥΕ ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ, 2017.
7. **Κ. Βουρνάς, Ο. Δαφέρμος, Σ. Πάγκαλος, Γ. Χατζαράκης.** Κεφάλαιο 2, Ενότητα 2.2 - 2.2.3, σελ 108. *Ηλεκτροτεχνία.* Αθήνα : ΙΤΥΕ ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ, 2017.
8. **Engineering, Maurizio Di Paolo Emilio EDM.** *Data Acquisition Systems From Fundamentals to Applied Design.* New York Heidelberg Dordrecht London : Springer, 2013. ISBN 978-1-4614-4214-1 (eBook).
9. **A.Malvino, D.J.Bates.** Κεφάλαιο 7, Ενότητα 7.7, Σελ 220. *Ηλεκτρονική Αρχές και Εφαρμογές.* 8η. Θεσσαλονίκη : Τζιόλα, 2017.
10. **A.Malvino, D.J.Bates.** Κεφάλαιο 8, Ενότητα 8.6, Σελ 254. *Ηλεκτρονική Αρχές και Εφαρμογές.* 8η. Θεσσαλονίκη : Τζιόλα, 2017.
11. **A.Malvino, D.J.Bates.** Κεφάλαιο 14, Ενότητα 8.6, Σελ 513. *Ηλεκτρονική Αρχές και Εφαρμογές.* 8η. Θεσσαλονίκη : Τζιόλα, 2017.
12. **A.Malvino, D.J.Bates.** Κεφάλαιο 16, Ενότητα 16.5, Σελ 586. *Ηλεκτρονική Αρχές και Εφαρμογές.* 8η. Θεσσαλονίκη : Τζιόλα, 2017.
13. **M.N., Σπάσος.** Κεφάλαιο 8, Ενότητα 8.1.5 & 8.1.6. *Αναλογική Επεξεργασία Σημάτων Αισθητηρίων.* Θεσσαλονίκη : ΑΙΒΑΖΗ, 2018.
14. —. Κεφάλαιο 3, Παραγραφος 3.2.4. Σελ 84. *Αναλογική Επεξεργασία Σημάτων Αισθητηρίων.* Θεσσαλονίκη : ΑΙΒΑΖΗ, 2018.
15. **A.Malvino, D.J.Bates.** Κεφάλαιο 21, Παράγραφος 21.8. Σελ 784. *Ηλεκτρονική Αρχές και Εφαρμογές.* 8η. Θεσσαλονίκη : Τζιόλα, 2017.
16. **Instruments, Texas.** Data sheet LM555. *SNAS548D.* FEBRUARY 2000 – REVISED JANUARY 2015.
17. **team, Arduino.** Arduino. [Ηλεκτρονικό] 15 9 2021. [Παραπομπή: 27 9 2022.] <https://www.arduino.cc>.

18. **National Instruments.** Lab View. *What Is LabVIEW ?* [Ηλεκτρονικό] National Instruments. [Παραπομπή: 27 9 2022.] <https://www.ni.com/en-us/shop/labview.html>.
19. **Driven by LabVIEW users. Created by NI.** Lab View Maker Hub. *LINX.* [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 27 9 2022.] <https://www.labviewmakerhub.com/doku.php?id=libraries:linx:start>.
20. **A.K. Maini, Nakul Maini.** All-in-One Electronics Simplified. *PAGE 27.* New Delhi - India : KHANNA BOOK PUBLISHING CO (P) LTD, 2018.
21. **Σπάσος, Μ.Ν.** Κεφάλαιο 8, Ενότητα 8.1.5 & 8.1.6. *Αναλογική Επεξεργασία Σημάτων Αισθητηρίων.* Θεσσαλονίκη : Εκδόσεις ΑΙΒΑΖΗ, 2018.

9. Παράρτημα Α. Διαδικασία δημιουργίας block diagram και front view.

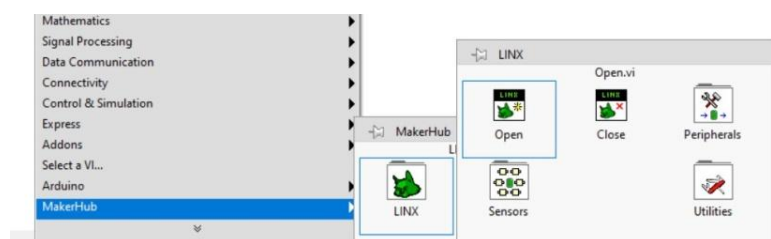
9.1 Παράθυρο Block Diagram.

Εκτελέστε το πρόγραμμα LabView, στο περιβάλλον (παράθυρο) Block Diagram, κάντε δεξί κλικ στην επιφάνεια εργασίας και εμφανίστε την παλέτα των εργαλείων functions (εικόνα 9.1).



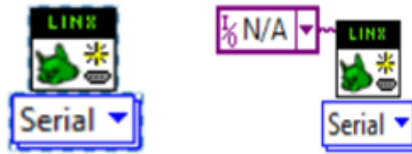
Εικόνα 9.1: Block Diagram - παλέτα των εργαλείων functions

Επιλέξτε το μενού Maker Hub, μετά το Linx και τέλος το Open (εικόνα 9.2).



Εικόνα 9.2 : Block Diagram – Linx Open

Τοποθετήστε τον κέρσορα του ποντικιού επάνω στην αριστερή πλευρά κι εντοπίστε τον ακροδέκτη Serial Port. Κάντε δεξί κλικ επάνω του και επιλέξτε απ' το μενού την επιλογή create, μετά επιλέξτε constant. Θα εμφανιστεί ένα ροζ παραλληλόγραμμα με την ένδειξη N/A, εκεί θα βάλετε αργότερα την σειριακή θύρα στην οποία θα συνδέσετε το Arduino (εικόνα 9.3).

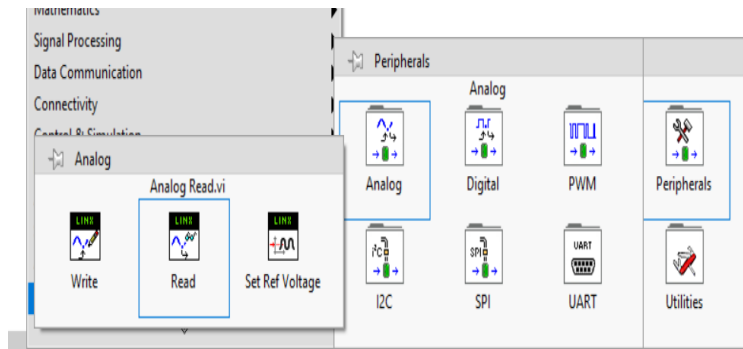


Εικόνα 9.3 : Block Diagram – Παραμετροποίηση του Linx Open.

Με την ίδια διαδικασία όπως παραπάνω επιλέξτε :

1. Παλέτα Functions.
2. Maker Hub.
3. LINX.
4. Peripherals.
5. Analog.
6. Read.

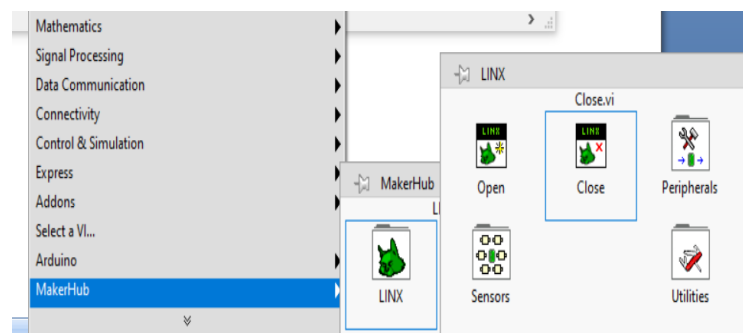
Και επιλέγετε Read (εικόνα 9.4). Και το τοποθετείτε λίγο πιο δίπλα.



Εικόνα 9.4 : Block Diagram – Επιλογή ANALOG READ.

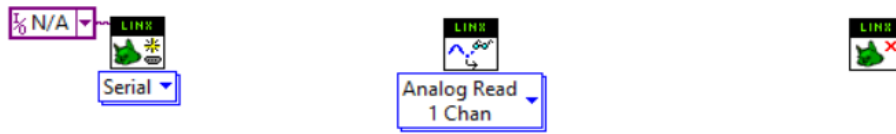
Με την ίδια διαδικασία όπως παραπάνω επιλέξτε το close (εικόνα 9.5) και τοποθετήστε το στην ίδια σειρά λίγο πιο δίπλα.

1. Παλέτα Functions.
2. Maker Hub.
3. LINX.
4. Close.



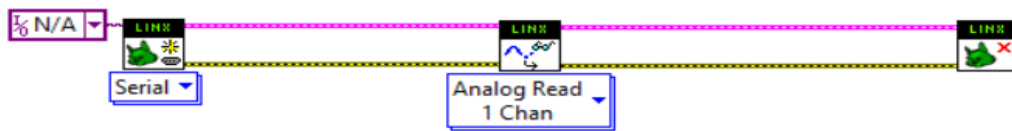
Εικόνα 9.5 : Block Diagram – Επιλογή CLOSE.

Και η επιφάνεια εργασίας μας θα φαίνεται όπως η εικόνα 9.6.



Εικόνα 9.6 : Block Diagram –Τελική εικόνα LINX open-read-close.

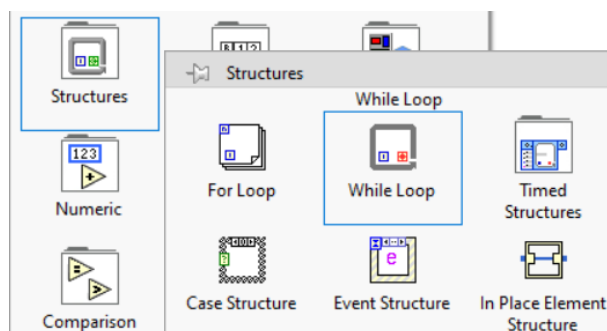
Από το πρώτο μπλοκ, το Linx open και από την δεξιά του πλευρά τραβήξτε καλώδια σύνδεσης από τον πρώτο ακροδέκτη (Linx Resource) τέρμα επάνω τον οποίο τον ενώνετε με το (Linx Resource) ακροδέκτη του Linx Analog Read και με τον ίδιο τρόπο με το Linx close. Επαναλαμβάνετε το ίδιο και από το τέρμα κάτω ακροδέκτη (Error out) όπου τον συνδέετε με το (Error in) του Linx Analog Read. Επαναλαμβάνετε το ίδιο και με το Linx close. (εικόνα 9.7).



Εικόνα 9.7 : Block Diagram – Τελική εικόνα συνδέσεων open-read-close.

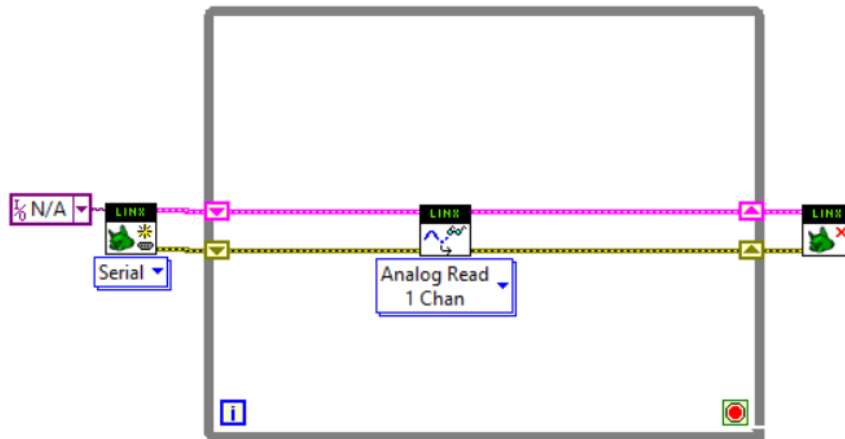
Με την ίδια διαδικασία όπως παραπάνω επιλέξτε (εικόνα 9.8) :

1. Παλέτα Functions.
2. Structures.
3. While loop.



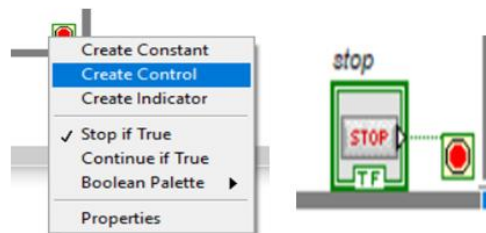
Εικόνα 9.8 : Block Diagram – Επιλογή While Loop.

Λίγο πιο πάνω αριστερά από το Linx Analog Read, πατώντας και κρατώντας πατημένο το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού, δημιουργήστε ένα παραλληλόγραμμα μέσα στο οποίο θα βάλετε μόνο το Linx Analog Read. Αυτό είναι ένας βρόγχος επανάληψης (While). Το πρόγραμμα που βρίσκεται μέσα σε αυτό εκτελείται συνεχώς μέχρι να ενεργοποιηθεί μια συνθήκη, στην συγκεκριμένη περίπτωση το κουμπί STOP, το οποίο με την ενεργοποίησή του και σταματάει την εκτέλεση του προγράμματος (εικόνα 9.9).



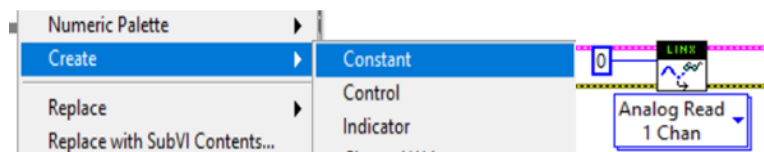
Εικόνα 9.9 : Block Diagram – Τελική εικόνα με while loop.

Βάζοντας τον κέρσορα του ποντικιού επάνω στην αριστερή πλευρά της κόκκινης τελείας (κάτω δεξιά του παραλληλόγραμμου) εντοπίστε τον ακροδέκτη Loop Condition και κάνοντας δεξιά κλικ επάνω του, επιλέξτε create Control. Θα δημιουργηθεί ένα κουμπί STOP. Με αυτό σταματάμε την λειτουργία της εφαρμογής. (εικόνα 9.10).



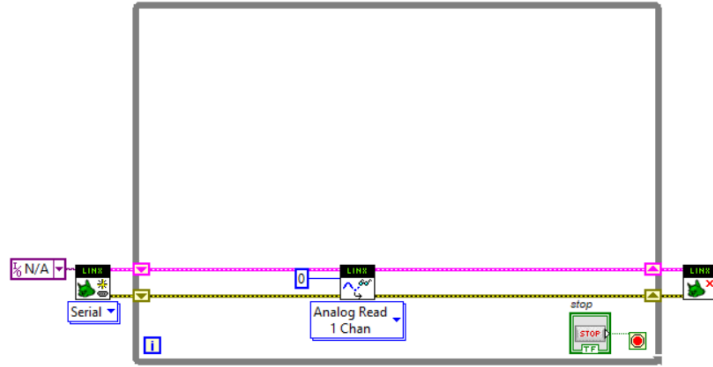
Εικόνα 9.10 : Block Diagram – Δημιουργία μπουτόν STOP.

Βάζοντας τον κέρσορα του ποντικιού επάνω στην αριστερή πλευρά Linx Analog Read , επάνω στον ακροδέκτη Analog Chanel και κάνοντας δεξιά κλικ επάνω του, επιλέγετε create Constant. Θα δημιουργηθεί ένα μικρό μπλε τετράγωνο με τον αριθμό 0 μέσα του. Με αυτό επιλέγετε το αναλογικό κανάλι από το οποίο θα διαβάσετε την μετρούμενη τάση, εδώ είναι το A0 (εικόνα 9.11).



Εικόνα 9.11 : Block Diagram – Παραμετροποίηση του μπλοκ Analog read.

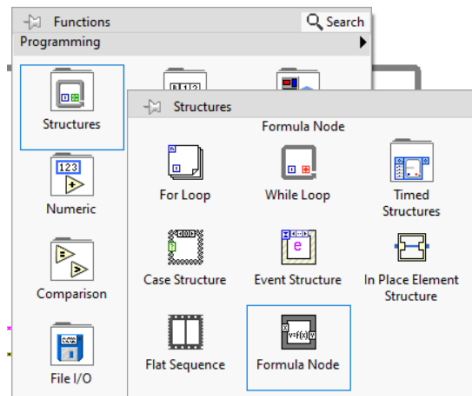
Μεγαλώστε λίγο τον χώρο , τακτοποιήστε και ευθυγραμμίστε τα εικονίδια για να μπορέσετε μέσα στο υπάρχον παραλληλόγραμμο να τοποθετήσετε άλλο ένα (εικόνα 9.12).



Εικόνα 9.12 : Block Diagram – Μεγέθυνση – τακτοποίηση.

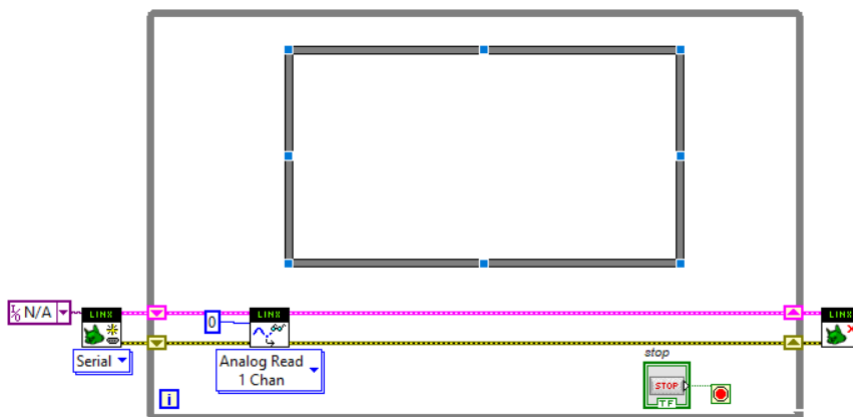
Με την ίδια διαδικασία όπως παραπάνω επιλέγουμε (εικόνα 9.13) :

1. Παλέτα Functions.
2. Structures.
3. Επιλέγουμε το Formula Node.



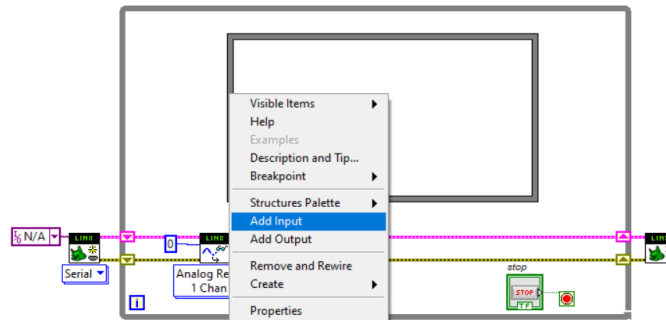
Εικόνα 9.13 : Block Diagram – Επιλογή Formula Node.

Λίγο πιο πάνω στον κενό χώρο, πατώντας και κρατώντας πατημένο το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού, δημιουργήστε ένα παραλληλόγραμμο (εικόνα 9.14).



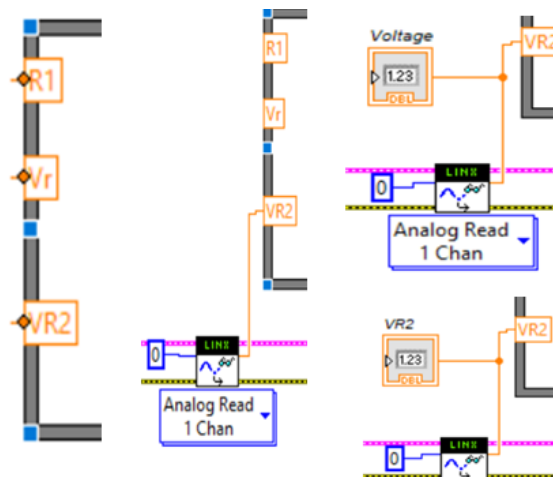
Εικόνα 9.14 : Block Diagram – Τοποθέτηση Formula Node.

Βάλτε τον κέρσορα του ποντικιού επάνω στην αριστερή πλευρά του νέου παραλληλόγραμμου και κάντε δεξί κλικ επιλέγοντας Add Input (εικόνα 9.15).



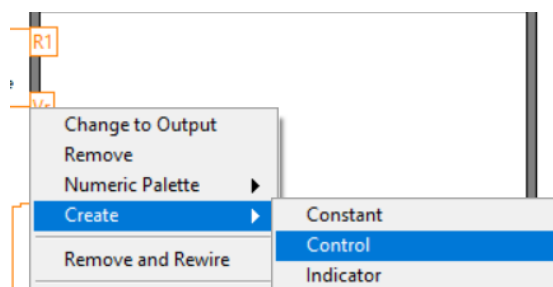
Εικόνα 9.15 : Block Diagram – Εισαγωγή Add Input.

Με αυτήν την διαδικασία θα βάλετε όλες τις μεταβλητές εισόδου. Πιο συγκεκριμένα τις μεταβλητές R1, Vr, VR2, τα υπόλοιπα θα τα υπολογίσετε και θα τα δώσετε ως μεταβλητές εξόδου R2, Ro, VR1, I. Συνδέστε την μεταβλητή Vr με την έξοδο τάσης του Linx Analog Read. Επίσης κάντε δεξί κλικ επάνω στο καλώδιο που συνδέει το Analog Read με την μεταβλητή VR2 και επιλέξτε create, indicator. Διπλό κλικ στο όνομα και τοποθετήστε το VR2 (εικόνα 9.16).



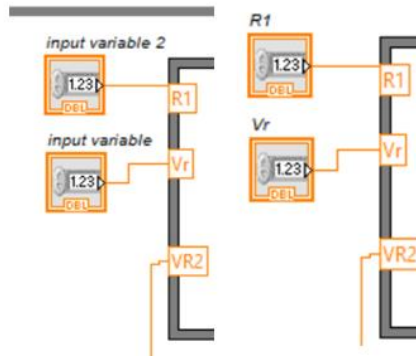
Εικόνα 9.16 : Block Diagram – Εισαγωγή μεταβλητών εισόδου.

Με δεξί κλικ στους ακροδέκτες των άλλων δύο μεταβλητών επιλέξτε το Create, Control και τοποθετήστε ένα κουτί (εικόνα 9.17).



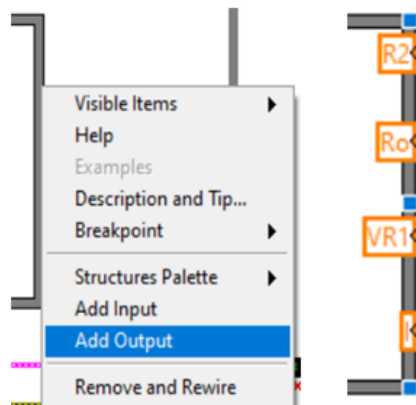
Εικόνα 9.17 : Block Diagram – Δημιουργία μπλοκ εισαγωγής δεδομένων στις μεταβλητές.

Κάνουμε διπλό κλικ επάνω στο κάθε ένα όνομα και βάζουμε την ονομασία της κάθε μεταβλητής (εικόνα 9.18)



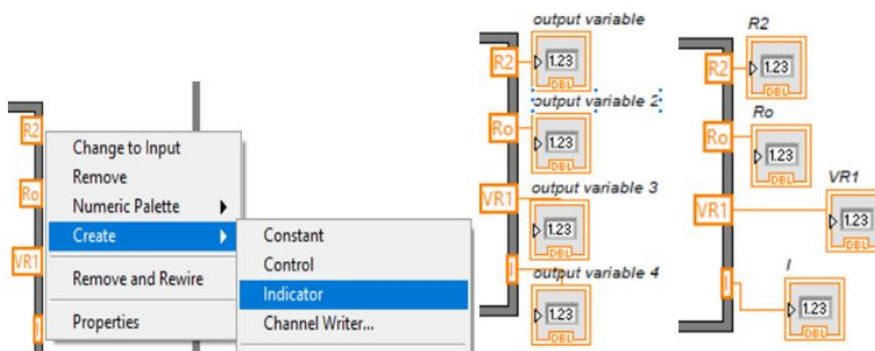
Εικόνα 9.18: Block Diagram – Εισαγωγή ονομασίας στα μπλοκ εισαγωγής δεδομένων.

Βάζοντας τον κέρσορα του ποντικιού επάνω στην δεξιά πλευρά του παραλληλόγραμμου και κάνοντας δεξί κλικ επιλέξτε Add Output. Με την ίδια διαδικασία θα βάλλτε όλες τις μεταβλητές εξόδου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση R2, Ro, VR1, I (εικόνα 9.19).

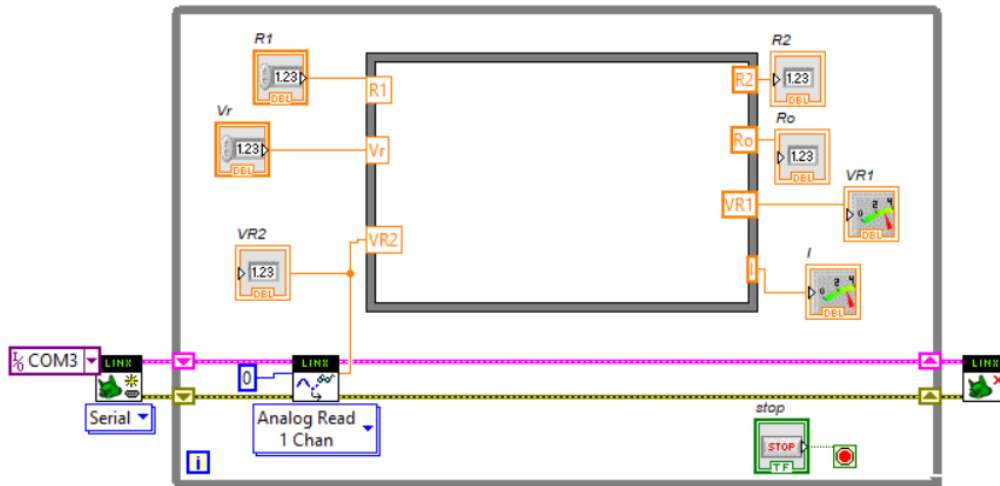


Εικόνα 9.19 : Block Diagram – Εισαγωγή μεταβλητών εξόδου.

Για το κάθε ένα από αυτά με δεξί κλικ επιλέξτε, Create, Indicator. Κάντε διπλό κλικ επάνω στο κάθε ένα όνομα και βάλλτε την ονομασία τις κάθε μεταβλητής (εικόνα 9.20). Στην εικόνα 9.21 μπορείτε να δείτε το τελικό αποτέλεσμα του προγραμματισμού στο Block Diagram.



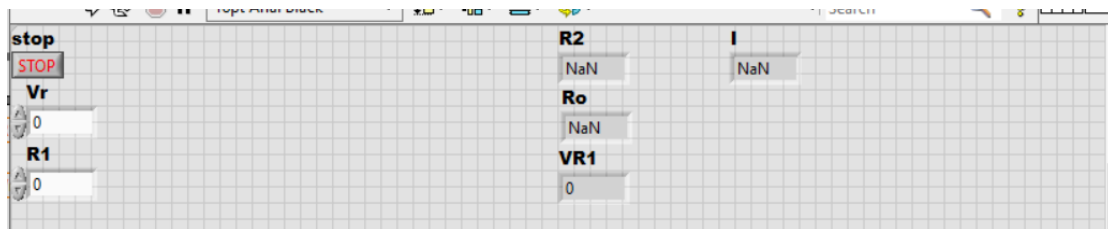
Εικόνα 9.20 : Block Diagram – Δημιουργία μπλοκ απεικόνισης αποτελεσμάτων.



Εικόνα 9.21 : Block Diagram – Τελικό αποτέλεσμα.

9.2 Front View.

Το επόμενο που θα κάνουμε είναι να διαμορφώσουμε την εξωτερική εμφάνιση της εφαρμογής, Front Panel, (εικόνα 9.22) σε αυτό το περιβάλλον θα αλληλοεπιδρά ο χρήστης με το σύστημα. Θα πρέπει να θυμηθείτε την προηγούμενη άσκηση, ζητήστε βοήθεια από τον καθηγητή σας.

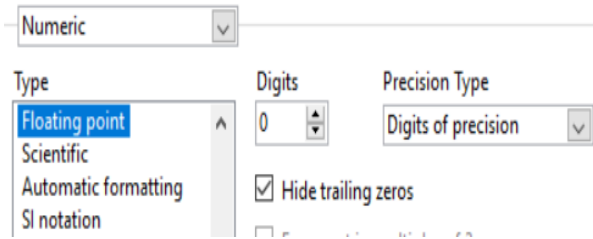


Εικόνα 9.22 : Front View – Αρχική οθόνη.

Αυξήστε το μέγεθος του κουμπιού STOP (επιλέξτε το μπουτόν και από την κάτω δεξιά τελεία τραβήξτε κάτω δεξιά). Στην συνέχεια θα τοποθετήσουμε την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή της τάσης τροφοδοσίας, με δεξί κλικ επάνω στο άσπρο πλαίσιο του Vr επιλέξτε :

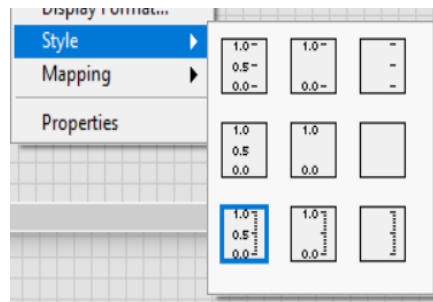
1. Properties.
2. Επιλέξτε την καρτέλα Data Entry.
3. Ξετσεκάρτε το Use Default Limits.
4. Βάλτε στο minimum 0 και στο maximum 5.
5. Επιλέξτε την καρτέλα Display Format.
6. Και βάλτε στο πλαίσιο digits τον αριθμό 1.
7. Πατήστε OK.

Αυξήστε το μέγεθος των πλαισίων του R2 και Ro. Επιλέξτε την μορφή με την οποία θα απεικονίζονται τα αποτελέσματα, με Δεξί κλικ στο πλαίσιο του R2 επιλέγουμε : Type : Floating Point, Precision Type : Digits of precision και τέλος Digits : 0. Το επαναλαμβάνουμε και στο πλαίσιο του Ro. (εικόνα 9.23)

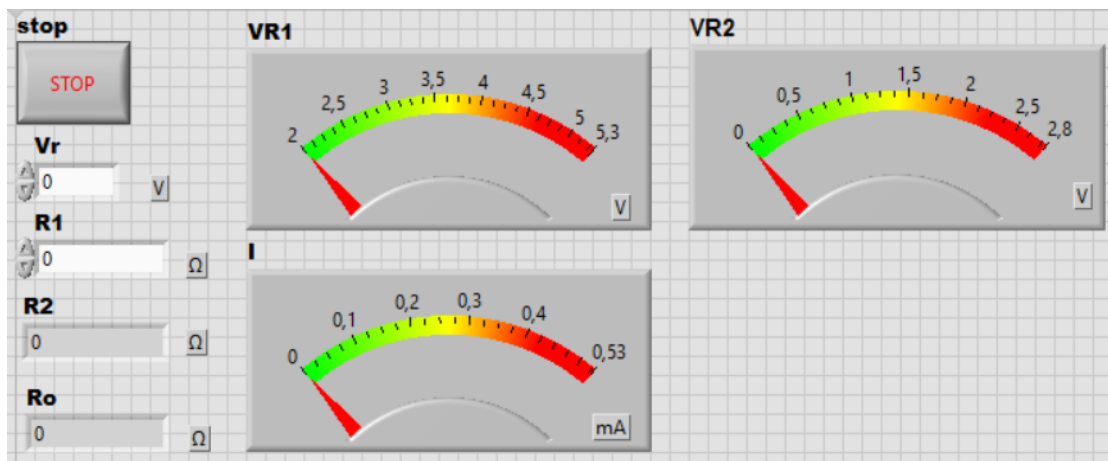


Εικόνα 9.23 : Front View – Επιλογή μορφής απεικόνισης αποτελεσμάτων.

Για να μπορέσουμε να έχουμε μια φιλικότερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων μπορούμε να τοποθετήσουμε κάποια εικονικά όργανα μετρήσεων. Με δεξί κλικ στο πλαίσιο του VR1, επιλέξτε Replace και την καρτέλα, Numeric και μετά Meter. Θα δείτε στην επιφάνεια ένα όργανο μέτρησης, όπως ένα αναλογικό βολτόμετρο. Κάνουμε το ίδιο για το ρεύμα (I), την τάση VR2 και την τάση Vr. Θα πρέπει να προσαρμόσετε τις κλίμακες μέτρησης των οργάνων σύμφωνα με τις ελάχιστες (MIN) και μέγιστες (MAX) τιμές τις τάσης VR2 και του ρεύματος (I) που υπολογίσατε στο 1^ο βήμα στην θεωρία. Τοποθετούμε λίγο μικρότερες και λίγο μεγαλύτερες από τις τελικές τιμές. Κάνοντας κλικ επάνω στο νούμερο πληκτρολογούμε αυτό που θέλουμε. (εικόνα 9.24). Στην εικόνα 9.25 μπορούμε να παρατηρήσουμε την τελική μορφή του front panel.



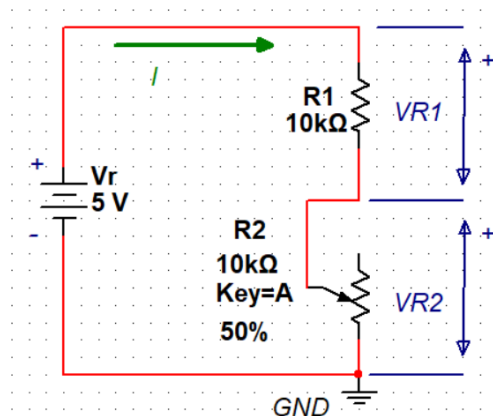
Εικόνα 9.24 : Front View – Επιλογή μορφής απεικόνισης της κλίμακας μέτρησης.



Εικόνα 9.25 : Front View – Τελική μορφή απεικόνισης.

10. Παράρτημα Β. Φύλλα εργαστηριακών ασκήσεων.

10.1 Φύλλο εργασίας 1^{ης} άσκησης, αντιστάσεις σε συνδεσμολογία σειράς.



Εικόνα 10.1 : Το κύκλωμα της 1^{ης} Άσκησης.

Πριν πραγματοποιήσετε το κύκλωμα της εικόνας 10.1 με τα υλικά του πίνακα 10-1 στο ράστερ θα πρέπει να πραγματοποιήσετε το 1^ο βήμα.

Πίνακας 10-1 : Υλικών και οργάνων 1^{ης} άσκησης.

Υλικά	Ποσότητα	Όργανα	Ποσότητα
Πλακέτα ανάπτυξης κυκλωμάτων (ράστερ).	1	Ψηφιακό Πολύμετρο με ακροδέκτες μετρήσεων.	1
Πλακέτα Arduino Uno.	1	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης DC.	1
Καλώδιο σύνδεσης USB.	1		
Αντίσταση 10 ΚΩ/1%/ ¼ W.	1		
Ρυθμιζόμενη αντίσταση 10 ΚΩ / LIN / + - 20 % / 0,4 W.	1		
Καλώδια συνδέσεων (μικρά).	4		
Ζευγάρι καλωδίων Σύνδεσης τροφοδοτικού με ράστερ.	1		

10.1.1 Βήμα 1^ο. Θεωρητικοί υπολογισμοί.

Στο μάθημα της θεωρίας ή στο σπίτι σας να πραγματοποιήσετε τους παρακάτω θεωρητικούς υπολογισμούς και να καταγράψετε τα αποτελέσματά σας στον πίνακα 10.2 «Μετρήσεων – Αποτελεσμάτων» στην στήλη «θεωρητικά».

Στους παρακάτω υπολογισμούς χρησιμοποιήστε τις ονομαστικές τιμές των αντιστάσεων και της τάσης τροφοδοσίας. Οι υπολογισμοί της ολικής αντίστασης R_o , του ρεύματος I_o και των τάσεων $VR1$ & $VR2$ θα πρέπει να γίνουν λαμβάνοντας υπόψη στον πρώτο υπολογισμό μόνο την ονομαστική τιμή, στον δεύτερο (min) την ελάχιστη τιμή που μπορεί να πάρει η αντίσταση $R2$ και τέλος στον τρίτο (max) την μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει η $R2$.

$$R_o = R1 + R2 =$$

$$R_{o \min} = R1 + R2 \min =$$

$$R_{o \max} = R1 + R2 \max =$$

$$I = \frac{V_r}{R_o} =$$

$$I \min = \frac{V_r}{R_{o \min}} =$$

$$I \max = \frac{V_r}{R_{o \max}} =$$

$$VR2 = I * R2 =$$

$$VR2 \min = I * R2 \min =$$

$$VR2 \max = I * R2 \max =$$

$$VR1 = V_r - VR2 =$$

$$VR1 \min = V_r - VR2 \min =$$

$$VR1 \max = V_r - VR2 \max =$$

Στους παρακάτω υπολογισμούς υπολογίστε τις τιμές των αντιστάσεων λαμβάνοντας υπόψη την ανοχή τους. Για την αντίσταση R2 να πάρετε την μέγιστη τιμή της αντίστασης από άκρο σε άκρο.

$$R1 (-1\%) =$$

$$R1 (+1\%) =$$

$$R2 (-20\%) =$$

$$R2 (+20\%) =$$

Υπολογίστε την νέα ανοχή της ολικής αντίστασης R_o στην μέγιστη τιμή της.

$$total \ tolerance = \frac{1}{R_{total}} \sum_{i=1}^n tolerance(i) * R_i$$

Ερωτήσεις :

1. Ποια είναι η τιμή της ανοχής της ολικής αντίστασης όταν η R2 είναι στην ελάχιστη τιμή της ;
2. Ποια θα είναι η διακύμανση (σύμφωνα με την ανοχή) στην μέγιστη και ελάχιστη τιμή του ρεύματος όταν η R2 είναι στην ελάχιστη και στην μέγιστη τιμή της ;
3. Ποιες θα είναι οι διακυμάνσεις (σύμφωνα με την ανοχή) στις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των τάσεων VR1 & VR2 ;

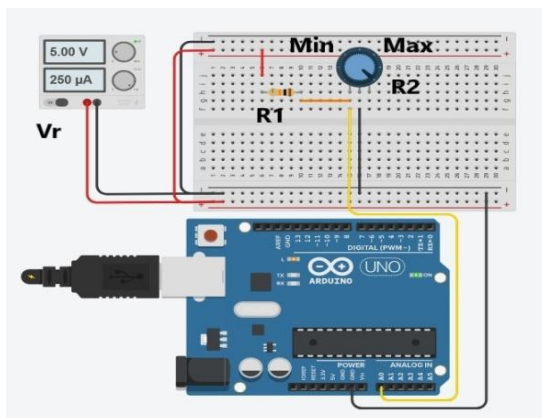
Απαντήσεις :

Πίνακας 10-2: Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων^{1ης} άσκησης.

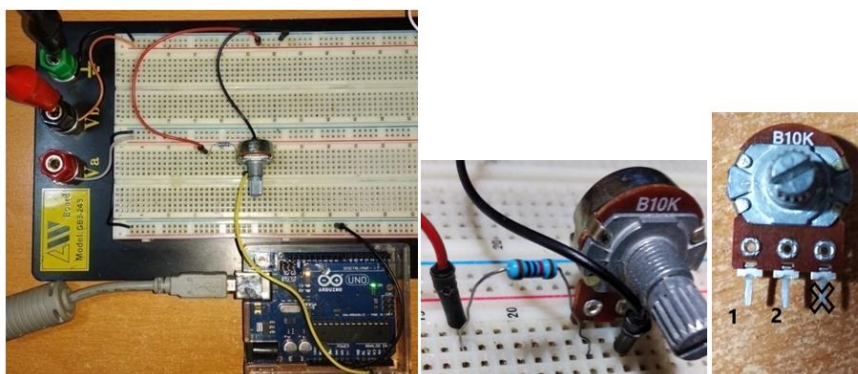
Μεταβλητή	θεωρητικά	Μετρήσεις LabView	Μετρήσεις με πολύμετρο
R1 Ονομαστική τιμή	10 ΚΩ		
R2 (Min έως Max) Ονομαστική τιμή	0 Ω έως 10 ΚΩ		
R1 (+-1%)			
R2 (+- 20%)			
Ro (Min έως Max)			
VR1 (Min έως Max)			
VR2 (Min έως Max)			
Vr	5 V		
I (Min έως Max)			

10.1.2 Βήμα 2^ο . Πραγματοποίηση του κυκλώματος – Μετρήσεις.

1. Πριν πραγματοποιήσετε το κύκλωμα μετρήστε τις τιμές των αντιστάσεων με το πολύμετρο και καταγράψτε τις στον πίνακα στην στήλη 3 «Μετρήσεις με πολύμετρο».
2. Κατασκευάστε το κύκλωμα (εικόνες 10.1 , 10.2 , 10.3) και μετρήστε με το πολύμετρο την ελάχιστη και μέγιστη ολική αντίσταση και καταγράψτε τις στον πίνακα 10.2 στην στήλη 3 «Μετρήσεις με πολύμετρο».
3. **Προσοχή ! Πριν συνδέσετε το κύκλωμα με το τροφοδοτικό θα πρέπει να το ελέγξει ο καθηγητής.**
4. Συνδέστε την τάση τροφοδοσίας και μετρήστε την με το πολύμετρο, κάντε την απαραίτητη ρύθμιση έτσι ώστε να είναι η απαραίτητη ονομαστική τιμή και καταγράψτε την στον πίνακα 10.2 στην στήλη 3 «Μετρήσεις με πολύμετρο».
5. Πραγματοποιήστε όλες τις υπόλοιπες μετρήσεις με το πολύμετρο (VR1 min-max, VR2 min-max, Imin-max) και καταγράψτε τις στον πίνακα 10.2 στην στήλη 3 «Μετρήσεις με πολύμετρο».



Εικόνα 10.2 : Το κύκλωμα της 1^{ης} άσκησης σε ράστερ.



Εικόνα 10.3 : Το πραγματικό κύκλωμα της 1^{ης} άσκησης – Σύνδεση ρυθμιζόμενης αντίστασης.

10.1.3 Βήμα 3^ο. Σύνδεση Arduino – Μετρήσεις.

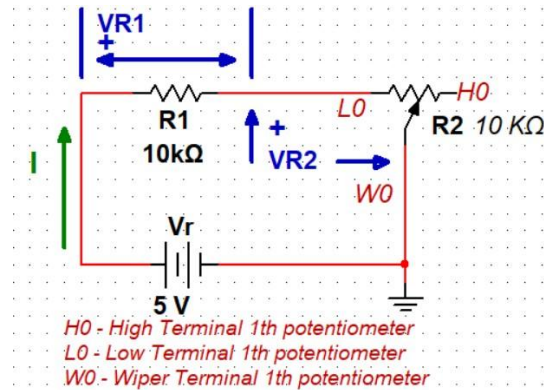
1. Αποσυνδέστε το κύκλωμα από την τροφοδοσία.
2. Συνδέστε στο Arduino στην θύρα USB του υπολογιστή σας. Συνδέστε τον ακροδέκτη της γείωσης και τον ακροδέκτη μέτρησης.
3. **Προσοχή ! Πριν συνδέσετε το κύκλωμα με το τροφοδοτικό θα πρέπει να το ελέγξει ο καθηγητής.**
4. Συνδέστε την τάση τροφοδοσίας.
5. Ανοίξτε το πρόγραμμα της άσκησης από το LabView.
6. Τοποθετήστε στο πρόγραμμα τις ονομαστικές τιμές των αντιστάσεων , των ανοχών και της τάσης τροφοδοσίας.
7. Εκτελέστε το πρόγραμμα (RUN).
8. Ρυθμίστε την αντίσταση R2 στην ελάχιστη τιμή της.
9. Καταγράψτε τα απαραίτητα αποτελέσματα στον πίνακα 10.2 στην στήλη 2 «Μετρήσεις με LabView».
10. Ρυθμίστε την αντίσταση R2 στην μέγιστη τιμή της.
11. Καταγράψτε τα απαραίτητα αποτελέσματα στον πίνακα 10.2 στην στήλη 2 «Μετρήσεις με LabView».
12. Σταματήστε την εκτέλεση του προγράμματος.
13. Αφαιρέστε την τροφοδοσία απ' το κύκλωμα.

Ερωτήσεις :

1. Τα όρια μέσα στα οποία κυμαίνονται οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές (όπως υπολογίσατε στο 1^ο βήμα) είναι σύμφωνες με τα αποτελέσματα του προγράμματος ;
2. Οι ενδεικτικές λυχνίες είναι ανάμενες ή σβηστές ; και γιατί ;
3. Εάν οι μετρήσεις είναι εκτός ορίων για ποιο λόγο είναι ; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.
4. Υπάρχει διαφορά μεταξύ των θεωρητικών υπολογισμών και των πραγματικών μετρήσεων ;
5. Που αλλού μπορούν να οφείλονται οι διαφορές πέραν από την ανοχή ;

Απαντήσεις :

10.2 Φύλλο εργασίας 2^{ης} άσκησης. Αντιστάσεις σε συνδεσμολογία εν σειρά με ψηφιακά ρυθμιζόμενη αντίσταση.



Εικόνα 10.4 : Το κύκλωμα της 2^{ης} άσκησης με το ψηφιακά ρυθμιζόμενη αντίσταση.

Πριν πραγματοποιήσετε το κύκλωμα της εικόνας 10.4 με τα υλικά του πίνακα 10-3 στο ράστερ θα πρέπει να πραγματοποιήσετε το 1^ο βήμα.

Πίνακας 10-3 : Υλικών και οργάνων μέτρησης 2^{ης} άσκησης.

Υλικά	Ποσότητα	Όργανα	Ποσότητα
Πλακέτα ανάπτυξης κυκλωμάτων (ράστερ).	1	Ψηφιακό Πολύμετρο με ακροδέκτες μετρήσεων.	1
Πλακέτα Arduino Uno.	1	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης DC.	1
Καλώδιο σύνδεσης USB.	1	Καλώδια συνδέσεων (μικρά).	7
Αντίσταση 10 KΩ/1%/ ¼ W.	1	Καλώδια συνδέσεων (μεγάλα).	3
Ολοκληρωμένο κύκλωμα DS18030-10	1	Ζευγάρι καλωδίων Σύνδεσης τροφοδοτικού με ράστερ.	1

10.2.1 Βήμα 1^ο. Θεωρητικοί υπολογισμοί.

Πραγματοποιήστε τους παρακάτω θεωρητικούς υπολογισμούς λαμβάνοντας υπόψη την τυπική τιμή της αντίστασης του δρομέα R_{wo} . Στο τέλος θα συγκρίνετε τα αποτελέσματα αυτά με του πίνακα υπολογισμών και μετρήσεων.

$$R_{o \min} = R1 + R2 \min + R_{wo} =$$

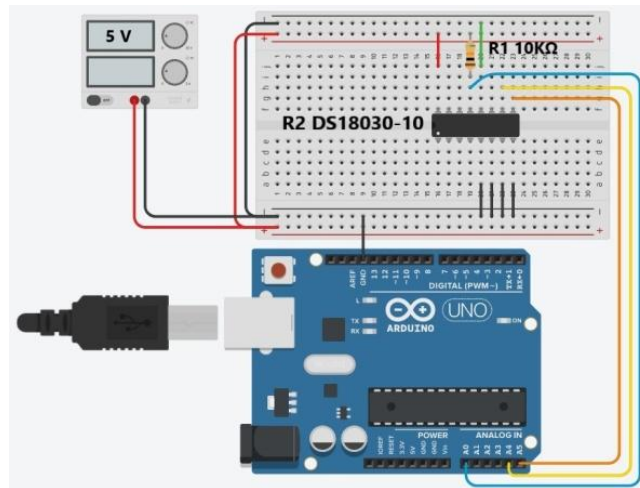
$$R_{o \max} = R1 + R2 \max + R_{wo} =$$

$$I \min = \frac{Vr}{R_{o \min}} =$$

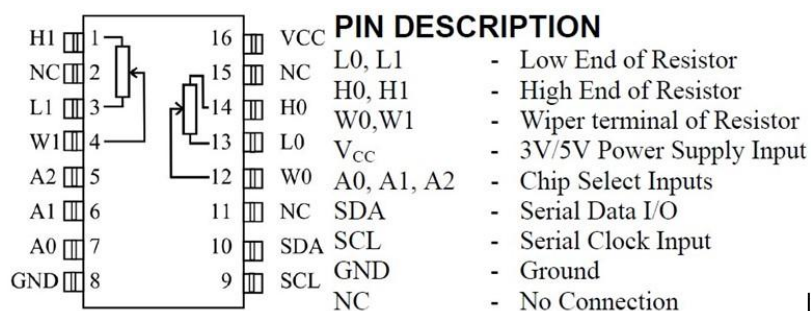
$$I \max = \frac{Vr}{R_{o \max}} =$$

Πίνακας 10-4 : Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων 2^{ης} άσκησης.

Μεταβλητή	Θεωρητικά	Μετρήσεις LabView	Μετρήσεις με πολύμετρο
R1 Ονομαστική τιμή	10 ΚΩ		
R2 (Min έως Max) Ονομαστική τιμή	0 Ω έως 10 ΚΩ		
R1 (+-1%)			
R2 (+- 20%)			
R_o (Min έως Max)			
VR1 (Min έως Max)			
VR2 (Min έως Max)			
V_r	5 V		
I (Min έως Max)			



Εικόνα 10.5: Το κύκλωμα της 2^{ης} άσκησης σε ράστερ



Εικόνα 10.6 : Περιγραφή των ακροδεκτών του O.K.

10.2.2 Βήμα 2^ο . Πραγματοποίηση του κυκλώματος – Σύνδεση με το Arduino - Μετρήσεις.

1. Πριν πραγματοποιήσετε το κύκλωμα μετρήστε την τιμή της αντίστασης R1 με το πολύμετρο και καταγράψτε την στον πίνακα 10-4 στην στήλη 3 «Μετρήσεις με πολύμετρο».
2. Κατασκευάστε το κύκλωμα (εικόνες 10.5 & 10.6).

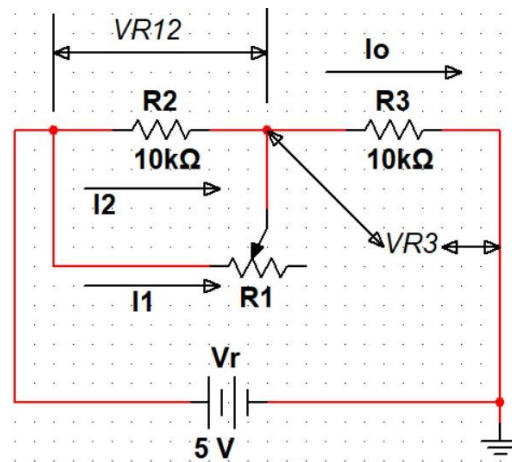
3. Συνδέστε στο Arduinoστην θύρα USB του υπολογιστή σας. Συνδέστε τον ακροδέκτη της γείωσης, τον ακροδέκτη μέτρησης και τους ακροδέκτες για τον έλεγχο της ψηφιακής αντίστασης.
4. **Προσοχή ! Πριν συνδέσετε το κύκλωμα με το τροφοδοτικό θα πρέπει να το ελέγξει ο καθηγητής.**
5. Συνδέστε την τάση τροφοδοσίας και μετρήστε την με το πολύμετρο, κάντε την απαραίτητη ρύθμιση έτσι ώστε να είναι η απαραίτητη ονομαστική τιμή και καταγράψτε την στον πίνακα 10.4 στην στήλη 3 «Μετρήσεις με πολύμετρο».
1. Τοποθετήστε στο πρόγραμμα τις ονομαστικές τιμές των αντιστάσεων , των ανοχών, της αντίστασης του δρομέα και της τάσης τροφοδοσίας την θύρα επικοινωνίας USB και ορίστε την χρονοκαθυστέρηση στα 100 ms.
6. Εκτελέστε το πρόγραμμα (RUN).
7. Καταγράψτε τα θεωρητικά αποτελέσματα που σας απεικονίζει το LabViewπίνακα 10.4 στην στήλη 1 «Θεωρητικά».
8. Ρυθμίστε την αντίσταση R2 στην ελάχιστη τιμή της.
9. Καταγράψτε τα απαραίτητα μετρούμενα αποτελέσματα (VR1 max, VR2 min, I_{max}) στον πίνακα 10.4 στην στήλη 2 «Μετρήσεις με LabView».
10. Πραγματοποιήστε τις ίδιες μετρήσεις με το πολύμετρο (VR1 max, VR2 min, I_{max}) και καταγράψτε τις στον πίνακα 10.4 στην στήλη 3 «Μετρήσεις με πολύμετρο».
11. Ρυθμίστε την αντίσταση R2 στην μέγιστη τιμή της.
12. Καταγράψτε τα απαραίτητα μετρούμενα αποτελέσματα (VR1 max, VR2 min, I_{max}) στον πίνακα 10.4 στην στήλη 2 «Μετρήσεις με LabView».
13. Πραγματοποιήστε τις ίδιες μετρήσεις με το πολύμετρο (VR1 min, VR2 max, I_{min}) και καταγράψτε τις στον πίνακα 10.4 στην στήλη 3 «Μετρήσεις με πολύμετρο».

10.2.3 Βήμα 3^ο. Σύγκριση αποτελεσμάτων – ερωτήσεις.

1. Σταματήστε την εκτέλεση του προγράμματος.
2. Αφαιρέστε την τροφοδοσία από το κύκλωμα.
3. Συγκρίνετε τ' αποτελέσματα των πράξεων στο 1^ο βήμα μ' αυτά του πίνακα.
4. Συγκρίνετε τ' αποτελέσματα μέσα στον πίνακα μεταξύ τους. Υπάρχει διαφορά ; εάν ναι που οφείλεται κατά την άποψή σας ;
5. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα και ποια τα μειονεκτήματα της ψηφιακής ρύθμισης ;

Απαντήσεις :

10.3 Φύλλο εργασίας 3^{ης} άσκησης. Αντιστάσεις σε μεικτή συνδεσμολογία.



Εικόνα 10.7 : Το κύκλωμα της 3^{ης} άσκησης μικτή συνδεσμολογία αντιστάσεων.

Πριν πραγματοποιήσετε το κύκλωμα της εικόνας 10.7 με τα υλικά του πίνακα 10-5 στο ράστερ θα πρέπει να πραγματοποιήσετε το 1^ο βήμα.

Πίνακας 10-5 : Υλικών και οργάνων μέτρησης 3^{ης} άσκησης.

Υλικά	Ποσότητα	Όργανα	Ποσότητα
Πλακέτα ανάπτυξης κυκλωμάτων (ράστερ).	1	Ψηφιακό Πολύμετρο με ακροδέκτες μετρήσεων.	1
Πλακέτα Arduino Uno.	1	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης DC.	1
Καλώδιο σύνδεσης USB.	1		
Αντίσταση 10 ΚΩ/1%/ ¼ W.	2		
Ρυθμιζόμενη αντίσταση 10 ΚΩ / LIN / + - 20 % / 0,4 W.	1		
Καλώδια συνδέσεων (μικρά).	6		
Ζευγάρι καλωδίων Σύνδεσης τροφοδοτικού με ράστερ.	1		

10.3.1 Βήμα 1^ο. Θεωρητικοί υπολογισμοί.

Στο μάθημα της θεωρίας ή στο σπίτι σας να πραγματοποιήσετε τους παρακάτω θεωρητικούς υπολογισμούς. Στους παρακάτω υπολογισμούς χρησιμοποιήστε τις ονομαστικές τιμές των αντιστάσεων και της τάσης τροφοδοσίας. **Μην** καταγράψετε τις τιμές στον πίνακα. Οι υπολογισμοί της ολικής αντίστασης R12 και της τάσης VR3 θα πρέπει να γίνουν λαμβάνοντας υπόψη στον πρώτο υπολογισμό (min) την ελάχιστη τιμή που μπορεί να πάρει η αντίσταση R1 και στο (max) την μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει η R1.

$$R12(MIN) = \frac{R1(MIN) * R2}{R1 + R2} =$$

$$R12(MAX) = \frac{R1(MAX) * R2}{R1 + R2} =$$

$$VR3(MIN) = \frac{R3}{R12(MAX) + R3} * Vr =$$

$$VR3(MAX) = \frac{R3}{R12(MIN) + R3} * Vr =$$

$$VR12(MIN) = Vr - VR3(MAX) =$$

$$VR12(MAX) = Vr - VR3(MIN) =$$

$$Io(MIN) = \frac{VR3(MIN)}{R3} =$$

$$Io(MAX) = \frac{VR3(MAX)}{R3} =$$

$$I2(MIN) = \frac{VR12(MIN)}{R2} =$$

$$I2(MAX) = \frac{VR12(MAX)}{R2} =$$

$$I1(MIN) = Io(MIN) - I2(MAX) =$$

$$I1(MAX) = Io(MAX) - I2(MIN) =$$

$$R1(MIN) = \frac{VR12(MIN)}{I1(MAX)} =$$

$$R1(MAX) = \frac{VR12(MAX)}{I1(MIN)} =$$

$$Ro(MIN) = R12(MIN) + R3 =$$

$$Ro(MAX) = R12(MAX) + R3 =$$

Υπολογίστε την νέα ανοχή της ολικής αντίστασης R12 στην μέγιστη τιμή της R1.Όπου

$$T1 = tolerance R1/100 T2 = tolerance R2/100$$

$$New Tolerance R12 = \frac{(R1 + R2) * (1 + T1) * (1 + T2)}{R1 * (1 + T1) + R2 * (1 + T2) - 1}$$

Υπολογίστε την νέα ανοχή της ολικής αντίστασης Ro στην μέγιστη τιμή της R1.

$$total tolerance = \frac{1}{Rtotal} \sum_{i=1}^n tolerance(i) * Ri$$

Ερωτήσεις :

1. Ποια θα είναι η τιμή της ανοχής της αντίστασης R12 όταν η R1 είναι στην ελάχιστη τιμή της ;
2. Ποια θα είναι η τιμή της ανοχής της ολικής αντίστασης όταν η R1 είναι στην ελάχιστη τιμή της ;

3. Ποια θα είναι η διακύμανση (σύμφωνα με την ανοχή) στην μέγιστη και ελάχιστη τιμή του ολικού ρεύματος όταν η R1 είναι στην ελάχιστη και στην μέγιστη τιμή της ;
4. Ποιες θα είναι οι διακυμάνσεις (σύμφωνα με την ανοχή) στις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των τάσεων VR12 & VR3;

Απαντήσεις :

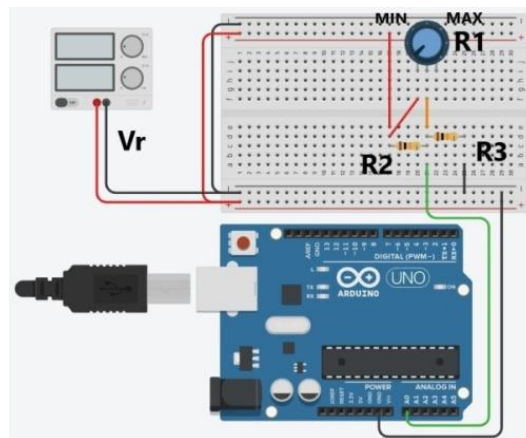
Πίνακας 10-6: Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων 3^{ης} άσκησης.

Μεταβλητή	Θεωρητικά αποτελέσματα Από LabView		Μετρήσεις LabView	
R1 (Min έως Max)	0 – 10 ΚΩ			
R2	10 ΚΩ			
R3	10 ΚΩ		10 ΚΩ	
R12 (Min έως Max)				
Ro (Min έως Max)				
VR12 (Min έως Max)				
VR3 (Min έως Max)				
Vr	5 V		5 V	
Io (Min έως Max)				
I1 (Min έως Max)				
I2 (Min έως Max)				

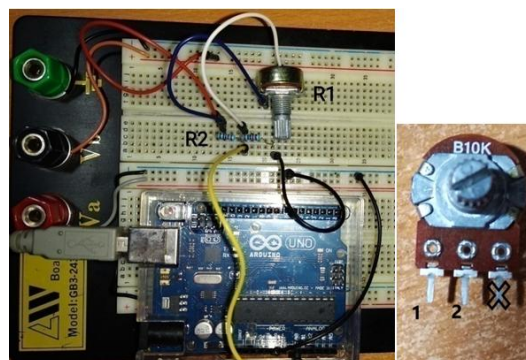
10.3.2 Βήμα 2^ο. Κατασκευή κυκλώματος – Σύνδεση Arduino - Μετρήσεις.

2. Κατασκευάστε το κύκλωμα σύμφωνα με τις εικόνες 10.7 , 10.8 , 10.9.
3. Συνδέστε στο Arduino στην θύρα USB του υπολογιστή σας. Συνδέστε τον ακροδέκτη της γείωσης και τον ακροδέκτη μέτρησης.
4. **Προσοχή ! Πριν συνδέσετε το κύκλωμα με το τροφοδοτικό θα πρέπει να το ελέγξει ο καθηγητής.**
5. Ελέγξτε την τάση με ένα πολύμετρο, συνδέστε την τάση τροφοδοσίας.
6. Ανοίξτε το πρόγραμμα της άσκησης από το LabView.

7. Τοποθετήστε στο πρόγραμμα τις ονομαστικές τιμές των αντιστάσεων , των ανοχών και της τάσης τροφοδοσίας, την θύρα επικοινωνίας USB και ορίστε την χρονοκαθυστερήση στα 100 ms.
8. Εκτελέστε το πρόγραμμα (RUN).
9. Ρυθμίστε την αντίσταση R1 στην ελάχιστη τιμή της.
10. Καταγράψτε τα απαραίτητα θεωρητικά αποτελέσματα από την μεσαία στήλη των «θεωρητικών υπολογισμών» από το front view, στον πίνακα 10.6 στην στήλη 2 «θεωρητικά αποτελέσματα από το LabView» στο MIN.
11. Καταγράψτε τα απαραίτητα αποτελέσματα στον πίνακα 10.6 στην στήλη 3 «Μετρήσεις με LabView» στο MIN.
12. Ρυθμίστε την αντίσταση R1 στην μέγιστη τιμή της.
13. Καταγράψτε τα απαραίτητα θεωρητικά αποτελέσματα από την μεσαία στήλη των «θεωρητικών υπολογισμών» από το front view, στον πίνακα 10.6 στην στήλη 2 «θεωρητικά αποτελέσματα από το LabView», στο MAX.
14. Καταγράψτε τα απαραίτητα αποτελέσματα στον πίνακα 10.6 στην στήλη 3 «Μετρήσεις με LabView» στο MAX.
15. Σταματήστε την εκτέλεση του προγράμματος.
16. Αφαιρέστε την τροφοδοσία από το κύκλωμα.



Εικόνα 10.8: Το κύκλωμα της 3^{ης} άσκησης σε ράστερ.



Εικόνα 10.9 : Το πραγματικό κύκλωμα της 3^{ης} άσκησης – Σύνδεση ρυθμιζόμενης αντίστασης.

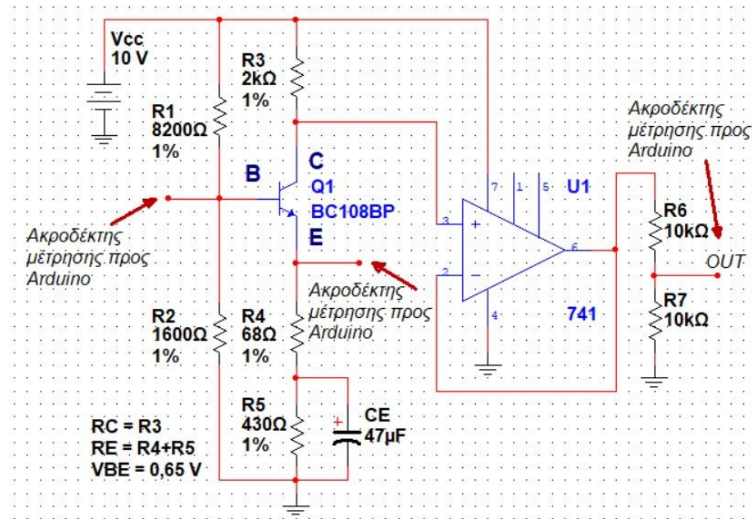
10.3.3 Βήμα 3^ο. Σύγκριση αποτελεσμάτων – ερωτήσεις.

1. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα των πράξεων στο 1^ο βήμα με αυτά του πίνακα.
2. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα μέσα στον πίνακα μεταξύ τους. Υπάρχει διαφορά ; Εάν ναι που οφείλεται κατά την άποψή σας ;

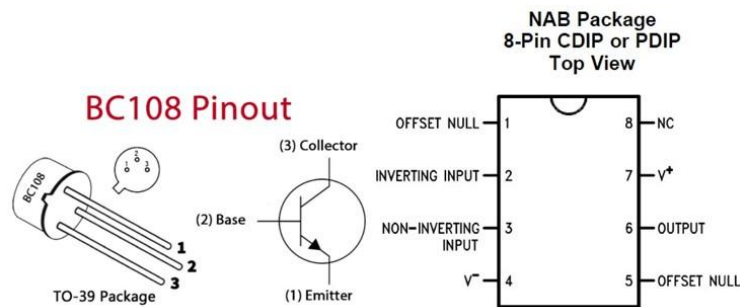
Απαντήσεις :

10.4 Φύλλο εργασίας 4^{ης} άσκησης. Μονοβάθμιος ενισχυτής AC με διπολικό τρανζίστορ (BJT).

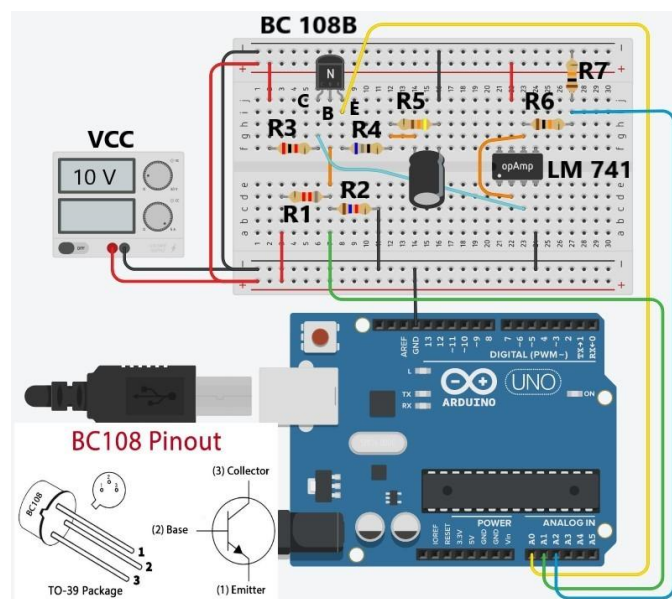
10.4.1 Βήμα 1^ο. Μετρήσεις DC χαρακτηριστικών.



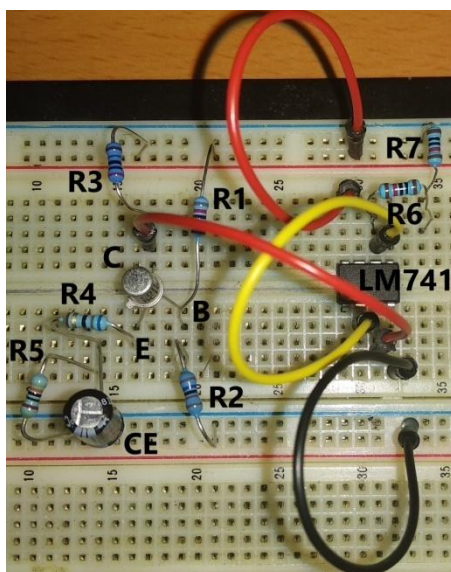
Εικόνα 10.10 : Το κύκλωμα της 4^{ης} άσκησης, DC χαρακτηριστικά.



Εικόνα 10.11 : Η διάταξη των ακροδεκτών του τρανζίστορ BC108 & του T.E. LM741.



Εικόνα 10.12 : Το κύκλωμα μετρήσεων της 4^{ης} άσκησης στο DC σε ράστερ.



Εικόνα 10.13 : Το πραγματικό κύκλωμα μετρήσεων της 4^{ης} άσκησης στο DC σε ράστερ.,

Πίνακας 10-7 : Υλικών και οργάνων για την 4^η άσκηση στο DC.

Υλικά	Ποσότητα	Όργανα	Ποσότητα
Πλακέτα ανάπτυξης κυκλωμάτων (ράστερ).	1	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης DC.	1
Αντίσταση R1 8,2 KΩ /1%/ ¼W	1	Πλακέτα Arduino Uno.	1
Αντίσταση R2 1,6 KΩ /1%/ ¼W	1	Καλώδιο σύνδεσης USB.	1
Αντίσταση R3 2 KΩ /1%/ ¼W	1	Καλώδια συνδέσεων (μικρά σε μήκος).	5
Αντίσταση R4 68 Ω /1%/ ¼W	1	Καλώδια συνδέσεων (μεγάλα σε μήκος).	3
Αντίσταση R5 430 Ω /1%/ ¼W	1	Ζευγάρι καλωδίων Σύνδεσης τροφοδοτικού με ράστερ.	1
Αντίσταση R6,R7 10 KΩ /1%/ ¼W	2		
BJT Τρανζίστορ BC108B	1		
LM 741 OP AMP	1		
Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής CE 47 μF / 63V	1		

1. Κατασκευάστε το κύκλωμα στο ράστερ με την βοήθεια των εικόνων 10.10 - 10.13. Δεν είναι απαραίτητο να συνδέσετε τον πυκνωτή CE.
2. Μετρήστε την τάση τροφοδοσίας πριν την συνδέσετε στο κύκλωμα.
3. Συνδέστε στο Arduino στην θύρα USB του υπολογιστή σας. Συνδέστε τον ακροδέκτη της γείωσης και τους ακροδέκτες μέτρησης.
4. **Προσοχή ! Πριν συνδέσετε το κύκλωμα με το τροφοδοτικό θα πρέπει να το ελέγξει ο καθηγητής.**
5. Ελέγξτε την τάση με ένα πολύμετρο, συνδέστε την τάση τροφοδοσίας.
6. Ανοίξτε το πρόγραμμα της άσκησης από το LabView.
7. Τοποθετήστε τις τιμές των αντιστάσεων και της τάσης τροφοδοσίας.
8. Τρέξτε το πρόγραμμα (RUN).

9. Καταγράψτε στην 3 στήλη του πίνακα 10-8 (μετρήσεις LabView), τα αποτελέσματα που βλέπετε στο κύκλωμα στο front view.
10. Σταματήστε την εκτέλεση του προγράμματος.
11. Αφαιρέστε την τροφοδοσία.
12. Ελέγξτε το γράφημα της ευθείας φόρτου. Με δεξί κλικ επάνω στο γράφημα, επιλέξτε “export”, μετά “export data to excel” κι από τον πίνακα του excel που θα δημιουργηθεί αντιγράψτε τα αποτελέσματα στον πίνακα 10-8 ως εξής : τις μετρήσεις από το PLOT 0 στις θέσεις VCEcutoff και ICsat κι από το PLOT 1 το ρεύμα στην θέση IC, ενώ ελέγξτε εάν η άλλη μέτρηση είναι σύμφωνη με την τάση VCE που μετρήσατε και καταγράψατε στον πίνακα.

10.4.2 Βήμα 2^ο. Θεωρητική προσομοίωση – υπολογισμοί στο DC.

1. Εκτελέστε το πρόγραμμα multisim και κατασκευάστε το κύκλωμα.
2. Πραγματοποιήστε τις μετρήσεις με το πολύμετρο επάνω στο εικονικό κύκλωμα στο Multisim.
3. Καταγράψτε τις μετρήσεις στον πίνακα 10-8 στην δεύτερη στήλη “Θεωρητικά – Multisim”.
4. Υπολογίστε με τους παρακάτω τύπους την VCEcutoff και ICsat και τοποθετήστε τα αποτελέσματα στον πίνακα 10-7.

$$VCE\ cutoff = Vcc$$

$$IC\ sat = \frac{Vcc}{R3 + R4 + R5} =$$

Πίνακας 10-8 : Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων 4^{ης} άσκησης.

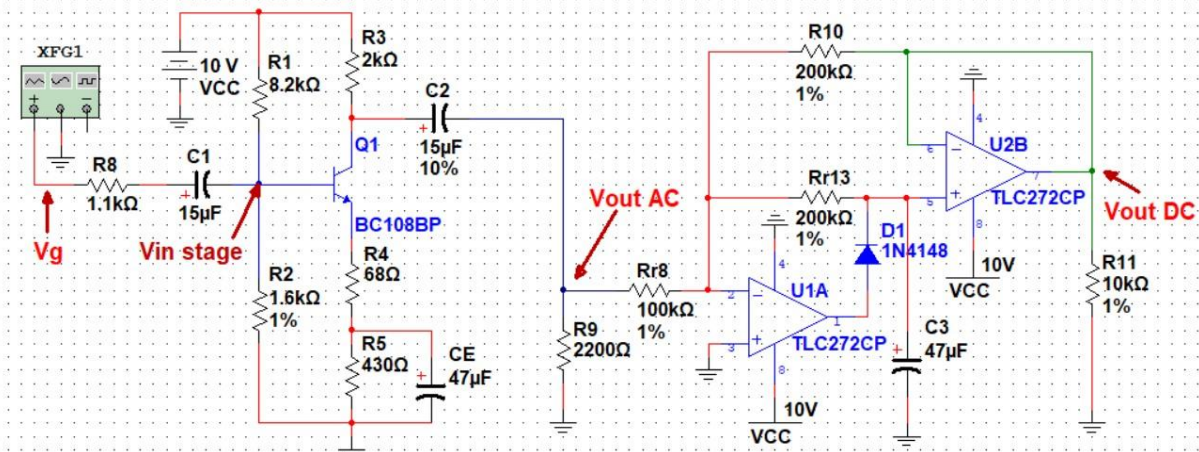
Μεταβλητή	Θεωρητικά - Multisim	Μετρήσεις LabView
VCC (volt)	10 V	
R1 (Ω)	8,2 KΩ	
R2 (Ω)	1,6 KΩ	
R3 (Ω)	2 KΩ	
R4 (Ω)	68 Ω	
R5 (Ω)	430 Ω	
RE (Ω) = R4+R5	498 Ω	
VB (volt)		
VE (volt)		
VC (volt)		
VCE (volt)		
VBE (volt)		
IE (mA)		
IC (mA)		
VCEcutoff		
ICsat		

10.4.3 Βήμα 3^ο. Σύγκριση αποτελεσμάτων - συμπεράσματα

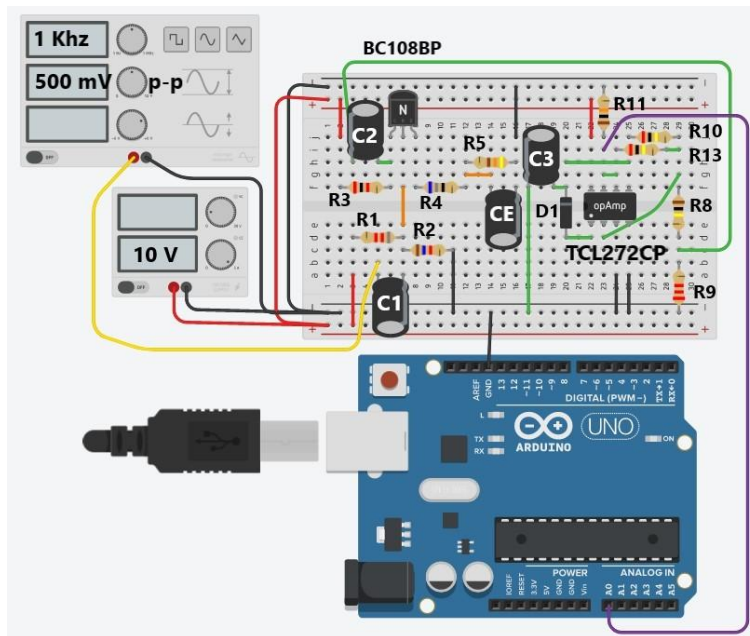
1. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα της 2^{ης} και της 3^{ης} στήλης. Οι διαφορές είναι μεγάλες η μικρές ; εάν είναι μεγάλες που οφείλονται ;
2. Είναι το σημείο λειτουργίας Q στην μέση της ευθείας φόρτου ; Εάν όχι γιατί ; Πως μπορώ να το φέρω στη μέση ;

Απαντήσεις :

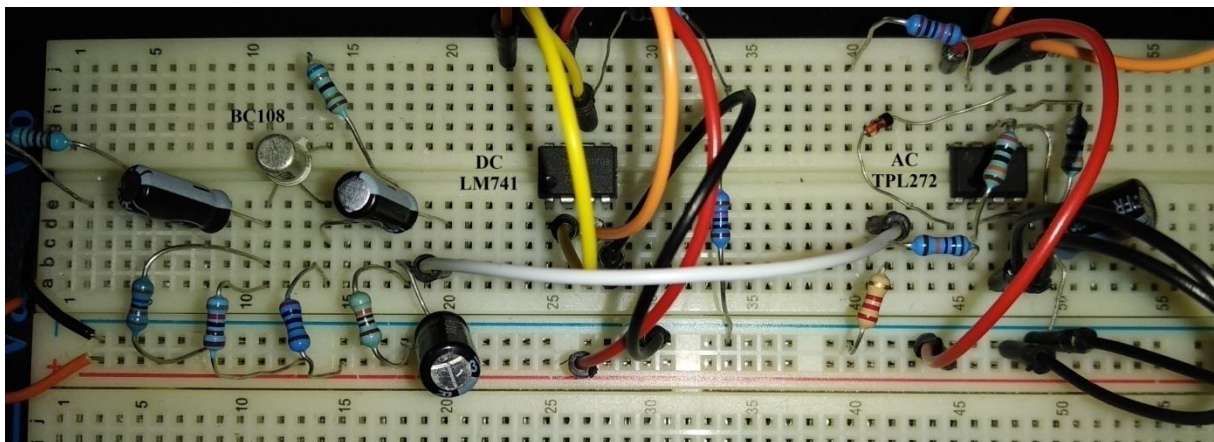
10.4.4 Βήμα 4^ο . Μετρήσεις AC χαρακτηριστικών.



Εικόνα 10.14 : Το κύκλωμα της 4^{ης} άσκησης. AC χαρακτηριστικά.



Εικόνα 10.15 : Το κύκλωμα μετρήσεων της 4^{ης} άσκησης στο AC σε ράστερ.



Εικόνα 10.16 : Το πραγματικό κύκλωμα μετρήσεων της 4^{ης} άσκησης στο AC σε ράστερ.

Πίνακας 10-9 : Υλικών και οργάνων για την 4^η άσκηση στο AC.

Υλικά	Ποσότητα	Όργανα	Ποσότητα
Ηλεκτρολυτικοί Πυκνωτές C1,C2 = 15 μ F	2	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης DC.	1
Ηλεκτρολυτικός Πυκνωτής C3=47 μ F	1	Πλακέτα Arduino Uno.	1
Αντιστάσεις R8 = 1,1K Ω , R9 =2200 Ω	1 +1	Καλώδιο σύνδεσης USB.	1
Αντίσταση R10 = 100 K Ω	1	Καλώδια συνδέσεων (μικρά σε μήκος).	5
Αντιστάσεις R11,R12 = 200 K Ω	2	Καλώδια συνδέσεων (μεγάλα σε μήκος).	3
Αντίσταση R13 = 10 K Ω	1	Ζευγάρι καλωδίων Σύνδεσης τροφοδοτικού με ράστερ.	1
Δίοδος D1 = 1N4148	1	Πολύμετρο	1
Τελεστικός Ενισχυτής TLC272CP (είναι διπλό)	1	Γεννήτρια Συχνοτήτων	1

- Κατασκευάστε το κύκλωμα στο ράστερ με τη βοήθεια των εικόνων 10.14 - 10.16. Στο υπάρχον κύκλωμα συνδέστε τους πυκνωτές , την R8 και κατασκευάστε το κύκλωμα του ανορθωτή ακριβείας.
- Μετρήστε την τάση τροφοδοσίας πριν την συνδέσετε στο κύκλωμα.
- Συνδέστε στο Arduino στην θύρα USB του υπολογιστή σας. Συνδέστε τον ακροδέκτη της γείωσης και τους ακροδέκτες μέτρησης.
- Προσοχή ! Πριν συνδέσετε το κύκλωμα με το τροφοδοτικό θα πρέπει να το ελέγξει ο καθηγητής.**
- Συνδέστε την τάση τροφοδοσίας , ελέγξτε την τάση μ' ένα πολύμετρο,.
- Ανοίξτε το πρόγραμμα της άσκησης από το LabView.
- Τοποθετήστε τις τιμές των αντιστάσεων, της τάσης τροφοδοσίας, του ρεύματος ΙΕ, τις τιμές των πυκνωτών, της τάσης της γεννήτριας, την αντίσταση της γεννήτριας, του συντελεστή ενίσχυσης b και τέλος της θύρας USB και τον αριθμό του αναλογικού Pin από το οποίο θα γίνει η μέτρηση.
- Τρέξτε το πρόγραμμα (RUN).
- Καταγράψτε στην 2η στήλη του πίνακα 10-10 (θεωρητικά), τα αποτελέσματα που βλέπετε στο front view. Υπολογίστε την Av cut off (dBV).
- Ενεργοποιήστε την γεννήτρια σημάτων και με τον παλμογράφο μετρήστε την έξοδο της γεννήτριας να μας δίνει μια ημιτονική έξοδο πλάτους περίπου 500 mV(p-p) και συχνότητας 1kHz (το πλάτος της γεννήτριας θα πρέπει να είναι τόσο όσο η έξοδος να είναι απαραμόρφωτη). Συνδέστε την έξοδο της γεννήτριας στην είσοδο του κυκλώματος και ξανά μετρήστε με τον παλμογράφο για να ελέγξετε εάν παραμένει η ίδια τάση, αφήστε συνδεδεμένο τον παλμογράφο.
- Καταγράψτε την μέτρηση Avreal και AvrealdB στον πίνακα 10-10 στην 3^η στήλη, καταγράψτε την τιμή του AvmaxdB στο AvmaxdB του front view του προγράμματος.

12. Αλλάξτε τη συχνότητα της γεννήτριας σε συχνότητα κοντά στην «κάτω» συχνότητα αποκοπής «**Flowcutoff**». Μεταβάλλετε τη συχνότητα λίγο επάνω, λίγο κάτω μέχρι η ενδεικτική λυχνία “cut off frequency” να παραμένει μόνιμα σβηστή και να σταθεροποιηθούν οι μετρήσεις, αυτή την συχνότητα να την καταγράψετε στον πίνακα 10-10 στην 3^η στήλη (μετρήσεις LabView), στην αντίστοιχη θέση. Επίσης καταγράψτε την μέτρηση στην από την θέση “AvrealDBv”, στην θέση «**Avcutoff (dBV)**» στην 3^η στήλη (μετρήσεις LabView).
13. Αλλάξτε την συχνότητα της γεννήτριας σε 2 Hz.
14. Ελέγξτε εάν η μέτρηση U_{out} (p-p) έχει σταθεροποιηθεί σε μία τιμή (μετά από περίπου 30 sec) και πιέστε στιγμιαία το πλήκτρο OK αποθήκευσης μέτρησης.
15. Αυξήστε την συχνότητα σύμφωνα με την ένδειξη «Η επόμενη συχνότητα» και επαναλάβετε το βήμα 14. Πραγματοποιήστε 23 μετρήσεις.
16. Σταματήστε την εκτέλεση του προγράμματος.
17. Αφαιρέστε την τροφοδοσία.
18. Στο κάτω μέρος του παραθύρου θα εμφανιστεί το διάγραμμα απόκρισης των συχνοτήτων του ενισχυτή. Αντιγράψτε το και τοποθετήστε το στο φύλλο εργασίας.
19. Με δεξί κλικ επάνω στο γράφημα κάντε εξαγωγή των μετρήσεων σε αρχείο excel.

Πίνακας 10-10: Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων 4^{ης} άσκησης.

Μεταβλητή	θεωρητικά	Μετρήσεις LabView
Rg	50 Ω	
Ug	500 mV(p-p)	
IE	2 mA	
Zinbase		
Zinstage		
Zout		
F low cut off		
Av		
Av (dBV)		
Av cut off (dBV)	Av(dBv)-3dB=	
Uin p-p		
Uout p-p		
Av real		
Av real dBV		

10.4.5 Βήμα 5^ο. Θεωρητική προσομοίωση – υπολογισμοί στο AC.

1. Στο κύκλωμα που έχετε κάνει στο πρόγραμμα multisim, συμπληρώστε και τα υπόλοιπα στοιχεία (όπως πυκνωτές και αντιστάσεις σύμφωνα με την εικόνα 10.14).
2. Συνδέστε την εικονική γεννήτρια και δώστε σήμα εισόδου με συχνότητα 1 KHz και πλάτος τόσο όσο η έξοδος να είναι απαραμόρφωτη.

3. Συνδέστε το εικονικό όργανο bode plotter, ρυθμίστε το κατάλληλα και εξάγετε το διάγραμμα απόκρισης των συχνοτήτων.
4. Εντοπίστε με τους κέρσορες τις δύο συχνότητες αποκοπής (άνω και κάτω) και καταγράψτε τις τιμές τους παρακάτω. Ταυτόχρονα καταγράψτε και την απολαβή σ' εκείνα τα σημεία (Avcutoff).

F low cut off =

Avlow cutoff=

F high cut off=

Avhigh cutoff=

5. Εντοπίστε χρησιμοποιώντας έναν κέρσορα την μέγιστη απολαβή και καταγράψτε την παρακάτω.

Av dBv=

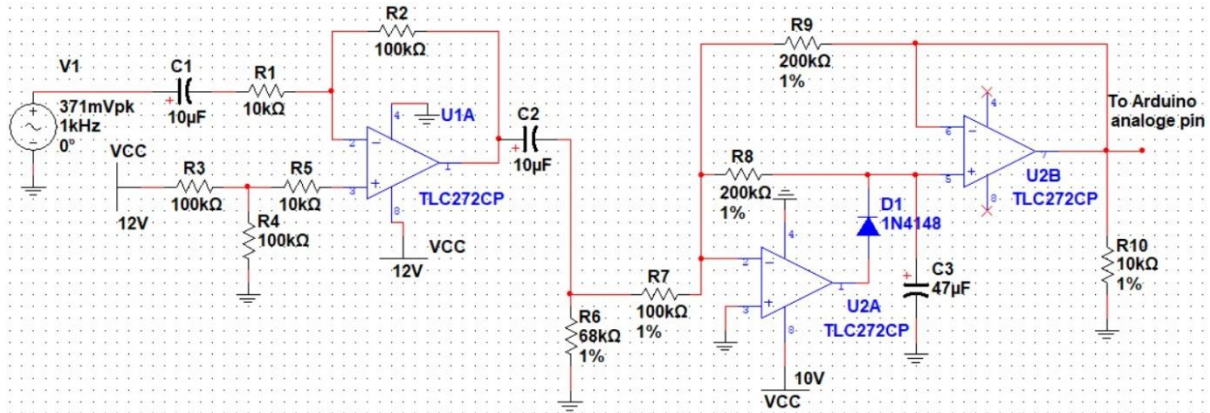
10.4.6 Βήμα 6^ο. Σύγκριση αποτελεσμάτων – συμπεράσματα.

1. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα μεταξύ τους. Να συγκρίνετε την AvdBv της στήλης 2 (θεωρητικά) του πίνακα 10-10 με την AvrealdBv και την AvdBv του βήματος 5 (στο 5).
2. Να συγκρίνετε την Flowcutoff της στήλης 2 (θεωρητικά) του πίνακα 17-10 με Flowcutoff της στήλης 3 (Μετρήσεις στο LabView) μαζί με την Flowcutoff του βήματος 5 (στο 4).
3. Να συγκρίνετε την Avcutoff της στήλης 2 (θεωρητικά) του πίνακα 17-10 με τιμή της στήλης 3 (Μετρήσεις στο LabView) μαζί με την Avlowcutoff του βήματος 5 (στο 4).
4. Τι συμπεράσματα μπορείτε να βγάλετε από τις συγκρίσεις όλων αυτών των τιμών μεταξύ τους ;

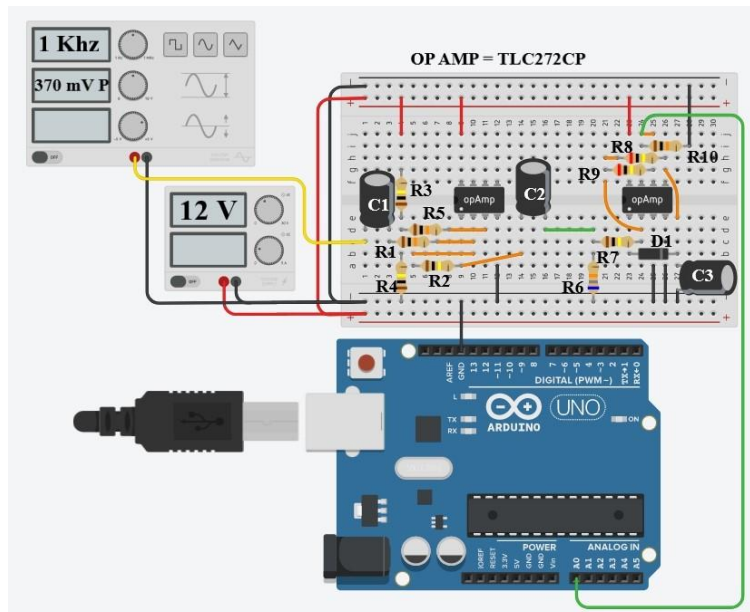
5. Τα διαγράμματα (αυτό του LabView με αυτό του Multisim) είναι τα ίδια ; Που διαφέρουν ; Που οφείλεται η διαφορά ;

10.5 Φύλλο εργασίας 5^{ης} άσκησης. Τελεστικός ενισχυτής (TE) σε συνδεσμολογία αναστρέφοντος ενισχυτή.

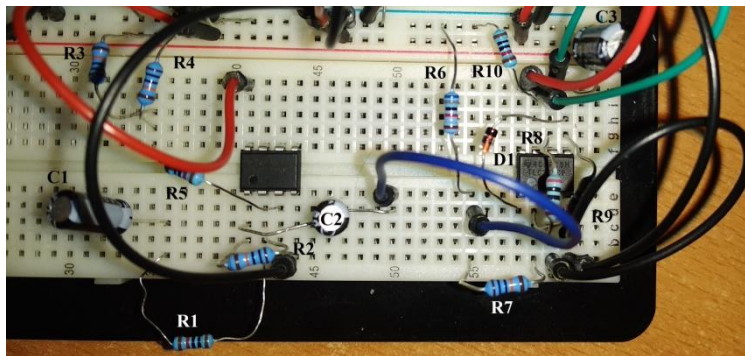
10.5.1 Βήμα 1^ο. Κατασκευή κυκλώματος – Σύνδεση Arduino – Μετρήσεις.



Εικόνα 10.17 : Το πλήρες κύκλωμα της 5^{ης} άσκησης.



Εικόνα 10.18 : Το κύκλωμα της 5^{ης} άσκησης σε ράστερ.



Εικόνα 10.19 : Το πραγματικό κύκλωμα της 5^{ης} άσκησης σε ράστερ.

Πίνακας 10-11: Υλικών και οργάνων της 5^{ης} άσκησης.

Υλικά	Ποσότητα	Όργανα	Ποσότητα
Ηλεκτρολυτικοί Πυκνωτές C1,C2 = 10 μF	2	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης DC.	1
Ηλεκτρολυτικός Πυκνωτής C3=47μF	1	Πλακέτα Arduino Uno.	1
Αντιστάσεις R2,R3,R4,R7 = 100 ΚΩ	4	Καλώδιο σύνδεσης USB.	1
Αντίσταση R1,R5,R10 = 10 ΚΩ	3	Καλώδια συνδέσεων (μικρά σε μήκος).	7
Αντιστάσεις R8,R9 = 200ΚΩ	2	Καλώδια συνδέσεων (μεγάλα σε μήκος).	1
Αντίσταση R6 =68ΚΩ	1	Ζευγάρι καλωδίων Σύνδεσης τροφοδοτικού με ράστερ.	1
Δίοδος D1 = 1N4148	1	Πολύμετρο	1
Τελεστικός Ενισχυτής TLC272CP (είναι διπλό)	2	Γεννήτρια Συχνοτήτων	1
		Παλμογράφος 2 καναλιών	1

- Κατασκευάστε το κύκλωμα στο ράστερ με την βοήθεια των εικόνων 10.17 - 10.19.
- Μετρήστε την τάση τροφοδοσίας πριν την συνδέσετε στο κύκλωμα.
- Συνδέστε στο Arduinoστην θύρα USB του υπολογιστή σας. Συνδέστε τον ακροδέκτη της γείωσης και τους ακροδέκτες μέτρησης.
- Προσοχή ! Πριν συνδέσετε το κύκλωμα με το τροφοδοτικό θα πρέπει να το ελέγξει ο καθηγητής.**
- Συνδέστε την τάση τροφοδοσίας . Ελέγξτε την τάση με ένα πολύμετρο,.
- Ανοίξτε το πρόγραμμα της άσκησης από το LabView.
- Τοποθετήστε τις τιμές των αντιστάσεων, της τάσης τροφοδοσίας, της τάσης της γεννήτριας, και τέλος της θύρας USB και τον αριθμό του αναλογικού Ριναπό το οποίο θα γίνει η μέτρηση.
- Ενεργοποιήστε την γεννήτρια σημάτων και με τον παλμογράφο μετρήστε την έξοδο της γεννήτριας να μας δίνει μια ημιτονική έξοδο πλάτους περίπου 720 mV(p-p) και συχνότητας 1kHz (το πλάτος της γεννήτριας θα πρέπει να είναι τόσο όσο η έξοδος να είναι απαραμόρφωτη). Συνδέστε την έξοδο της γεννήτριας στην είσοδο του κυκλώματος και ξανά μετρήστε με τον παλμογράφο για να ελέγξετε εάν παραμένει η ίδια τάση, αφήστε συνδεδεμένο τον παλμογράφο.
- Τρέξτε το πρόγραμμα (RUN).
- Καταγράψτε στην 3η στήλη του πίνακα 10-12 (μετρήσεις με το LabView), τα αποτελέσματα που βλέπετε στο front view.
- Υπολογίστε την κάτω συχνότητα αποκοπής.

$$\text{Flowcutoff} = \frac{1}{2 * \pi * R1 * C1} =$$

- Αλλάξτε την συχνότητα της γεννήτριας σε συχνότητα κοντά στην «κάτω» συχνότητα αποκοπής «**Flowcutoff**». Μεταβάλετε την συχνότητα λίγο επάνω, λίγο κάτω μέχρι η

ενδεικτική λυχνία “cut off frequency” να παραμένει μόνιμα σβηστή και να σταθεροποιηθούν οι μετρήσεις. Αυτή την συχνότητα να την καταγράψετε στον πίνακα 10-12 στην 3^η στήλη (μετρήσεις LabView), στην αντίστοιχη θέση. Επίσης καταγράψτε και την αντίστοιχη απολαβή Av cut off.

13. Αλλάξτε την συχνότητα της γεννήτριας σε συχνότητα πολύ μεγαλύτερη απ’ την προηγούμενη λίγο επάνω, λίγο κάτω μέχρι η ενδεικτική λυχνία “cut off frequency” να παραμένει μόνιμα σβηστή και να σταθεροποιηθούν οι μετρήσεις. Αυτή την συχνότητα να την καταγράψετε στον πίνακα 10-12 στην 3^η στήλη (μετρήσεις LabView), στην αντίστοιχη θέση Fhighcutoff. Επίσης καταγράψτε και την αντίστοιχη απολαβή Av cut off.
14. Αλλάξτε την συχνότητα της γεννήτριας σε 2 Hz.
15. Ελέγξτε εάν η μέτρηση Uout (p-p) έχει σταθεροποιηθεί σε μία τιμή (μετά από περίπου 30 sec) και πιέστε στιγμιαία το πλήκτρο OK αποθήκευσης μέτρησης.
16. Αυξήστε την συχνότητα σύμφωνα με την ένδειξη «Η επόμενη συχνότητα» και επαναλάβετε το βήμα 15. Πραγματοποιήστε 23 μετρήσεις.
17. Σταματήστε την εκτέλεση του προγράμματος.
18. Αφαιρέστε την τροφοδοσία.
19. Στο κάτω μέρος του παραθύρου θα εμφανιστεί το διάγραμμα απόκρισης των συχνοτήτων του ενισχυτή, αντιγράψτε το και τοποθετήστε το στο φύλο εργασίας.
20. Με δεξί κλικ επάνω στο γράφημα κάντε εξαγωγή των μετρήσεων σε αρχείο excel.

10.5.2 Βήμα 2^ο. Κατασκευή κυκλώματος στο multisim – Θεωρητικοί υπολογισμοί.

1. Κατασκευάσετε το κύκλωμα στο multisim.
2. Συνδέστε την εικονική γεννήτρια και δώστε σήμα εισόδου με συχνότητα 1 KHz και πλάτος τόσο όσο η έξοδος να είναι απαραμόρφωτη (Συνδέστε παλμογράφο).
3. Συνδέστε το εικονικό όργανο bode plotter, ρυθμίστε το κατάλληλα και εξάγετε το διάγραμμα απόκρισης των συχνοτήτων.
4. Εντοπίστε με τους κέρσορες τις δύο συχνότητες αποκοπής (άνω και κάτω) και καταγράψτε τις τιμές τους στον πίνακα 10-12 στην 2^η στήλη «Θεωρητικά με multisim».

10.5.3 Βήμα 3^ο. Σύγκριση αποτελεσμάτων – συμπεράσματα.

1. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα της στήλης 2 με αυτά της στήλης 3.
2. Τι συμπεράσματα μπορείτε να βγάλετε από τις συγκρίσεις όλων αυτών των τιμών μεταξύ τους;

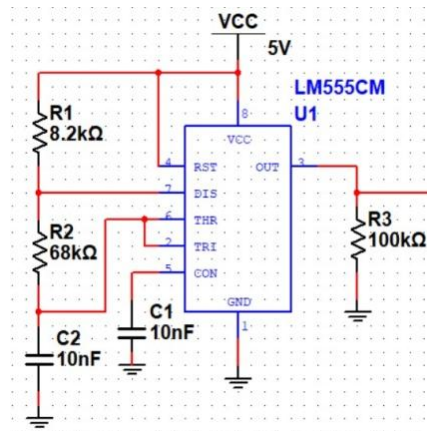
3. Τα διαγράμματα (αυτό του LabView με αυτό του Multisim) είναι τα ίδια ; Που διαφέρουν ; Που οφείλεται η διαφορά ;

Πίνακας 10-12 : Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων 5^{ης} άσκησης.

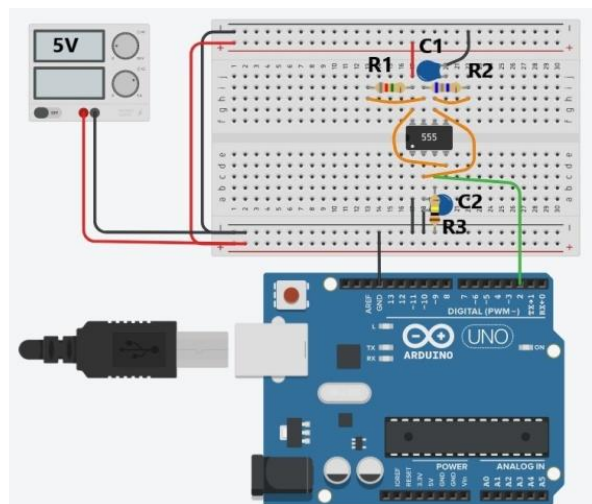
Μεταβλητή	Θεωρητικά με multisim	Μετρήσεις LabView
Vdc		
V out (p-p)		
V in (p-p)		
Av		
Av dBv		
Av real		
Av real dBv		
Av cut off		
F low cut off		
F high cut off		

10.6 Φύλλο εργασίας 6^{ης} άσκησης. Γεννήτρια τετραγωνικών παλμών - ασταθής πολυδονητής με το 555.

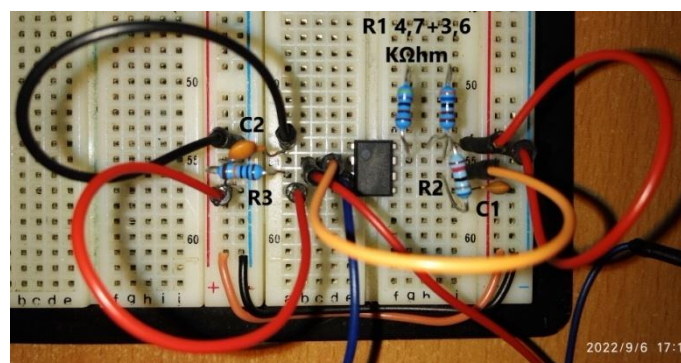
10.6.1 Βήμα 1^ο. Κατασκευή κυκλώματος – σύνδεση Arduino – μετρήσεις.



Εικόνα 10.20 : Το κύκλωμα της 6^{ης} άσκησης.



Εικόνα 10.21 : Το κύκλωμα της 6^{ης} άσκησης σε ράστερ.



Εικόνα 10.22 : Το πραγματικό κύκλωμα της 6^{ης} άσκησης σε ράστερ.

Πίνακας 10-13 : Υλικών και οργάνων της 6^{ης} άσκησης.

Υλικά	Ποσότητα	Όργανα	Ποσότητα
Πυκνωτές C1,C2 = 10 nF	2	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης DC.	1
Αντίσταση R1 = 8,2KΩ	1	Πλακέτα Arduino Uno.	1
Αντιστάσεις R2 = 68 KΩ	1	Καλώδιο σύνδεσης USB.	1
Αντίσταση R3 = 100 KΩ	1	Καλώδια συνδέσεων (μικρά σε μήκος).	5
Ο.Κ LM555cn	1	Καλώδια συνδέσεων (μεγάλα σε μήκος).	1
		Ζευγάρι καλωδίων Σύνδεσης τροφοδοτικού με ράστερ.	1
		Πολύμετρο	1
		Παλμογράφος 2 καναλιών	1

- Κατασκευάστε το κύκλωμα στο ράστερ με την βοήθεια των εικόνων 10.20 - 10.22.
- Μετρήστε την τάση τροφοδοσίας πριν την συνδέσετε στο κύκλωμα.
- Συνδέστε στο Arduino στην θύρα USB του υπολογιστή σας. Συνδέστε τον ακροδέκτη της γείωσης και τον ακροδέκτη μέτρησης.
- Προσοχή ! Πριν συνδέσετε το κύκλωμα με το τροφοδοτικό θα πρέπει να το ελέγξει ο καθηγητής.**
- Συνδέστε την τάση τροφοδοσίας. Ελέγξτε την τάση μ' ένα πολύμετρο,.
- Ανοίξτε το πρόγραμμα της άσκησης από το LabView.
- Τοποθετήστε τις τιμές των αντιστάσεων R1,R2, του πυκνωτή C2, την θύρα USB στην οποία συνδέθηκε το Arduino, τον αριθμό του ψηφιακού Pin από το οποίο θα γίνει η μέτρηση, το time out στα 50 mS και τον χρόνο καθυστέρησης της μέτρησης στα 500 ms.
- Τρέξτε το πρόγραμμα (RUN).
- Συμπληρώστε τον πίνακα 10-14, στην 2^η στήλη «Θεωρητικά από το LabView» τις τιμές της συχνότητας F, περιόδου T, τον χρόνο διάρκειας θετικού παλμού T_{on}, τον χρόνο διάρκειας του αρνητικού παλμού T_{off} και τέλος τον κύκλο εργασίας DC (duty cycle) από το πλαίσιο «Θεωρητικοί υπολογισμοί» του front view.
- Συμπληρώστε τον πίνακα 10-14, στην 3^η στήλη «Μετρήσεις από το LabView» τις τιμές της συχνότητας F, περιόδου T, τον χρόνο διάρκειας θετικού παλμού T_{on}, τον χρόνο διάρκειας του αρνητικού παλμού T_{off} και τέλος τον κύκλο εργασίας DC (duty cycle) από το πλαίσιο «Μετρήσεις» του front view.
- Σταματήστε την εκτέλεση του προγράμματος.
- Αφαιρέστε την τροφοδοσία.

10.6.2 Βήμα 2^ο. Σύγκριση αποτελεσμάτων – εξαγωγή συμπερασμάτων.

- Να συγκρίνετε τα αποτελέσματα της 2^{ης} στήλης με αυτά της 3^{ης} του πίνακα 10-14.
- Υπάρχουν διαφορές ; Είναι μεγάλες οι διαφορές μεταξύ τους ;
- Εάν ναι που μπορεί να οφείλονται ;

Απαντήσεις :

Πίνακας 10-14 : Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων 6^{ης} άσκησης.

Μεταβλητή	Θεωρητικά από το LabView	Μετρήσεις από το LabView
R1	8,2 ΚΩ	
R2	68000 Ω	
C2	10 nF	
T		
F		
Ton		
Toff		
Duty Cycle		

10.6.3 Βήμα 3^ο. διόρθωση θεωρητικών αποτελεσμάτων.

1. Με αποσυνδεδεμένο το κύκλωμα απ' την τροφοδοσία.
2. Αντικαταστήστε την αντίσταση R2 με μια ρυθμιζόμενη αντίσταση σε συνδεσμολογία ροοστάτη.
3. **Προσοχή ! Πριν συνδέσετε το κύκλωμα με το τροφοδοτικό θα πρέπει να το ελέγξει ο καθηγητής.**
4. Συνδέστε την τάση τροφοδοσίας.
5. Τρέξτε το πρόγραμμα (RUN).
6. Ρυθμίστε την αντίσταση R2 μέχρι η μέτρηση στο front panel του LabView της συχνότητας να είναι στους 1Khz.
7. Με αποσυνδεδεμένο το κύκλωμα απ' την τροφοδοσία.
8. Αφαιρέστε την αντίσταση R1, R2 και τον πυκνωτή C2 και μετρήστε τις τιμές τους μ' ένα πολύμετρο.
9. Καταγράψτε αυτές τις τιμές στον πίνακα 10-15 στην 2^η στήλη «Θεωρητικά από το LabView».
10. Επανατοποθετήστε τα υλικά εξαρτήματα στο κύκλωμα.
11. **Προσοχή ! Πριν συνδέσετε το κύκλωμα με το τροφοδοτικό θα πρέπει να το ελέγξει ο καθηγητής.**

12. Συνδέστε την τάση τροφοδοσίας.
13. Τοποθετήστε τις νέες τιμές των αντιστάσεων R1,R2, του πυκνωτή C2.
14. Τρέξτε το πρόγραμμα (RUN).
15. Συμπληρώστε τον πίνακα 10-15, στην 2^η στήλη «Θεωρητικά από το LabView» τις τιμές της συχνότητας F, περιόδου T, τον χρόνο διάρκειας θετικού παλμού T_{on}, τον χρόνο διάρκειας του αρνητικού παλμού T_{off} και τέλος τον κύκλο εργασίας DC (duty cycle) απ' το πλαίσιο «Θεωρητικοί υπολογισμοί» του front view.
16. Συμπληρώστε τον πίνακα 10-15, στην 3^η στήλη «Μετρήσεις από το LabView» τις τιμές της συχνότητας F, περιόδου T, τον χρόνο διάρκειας θετικού παλμού T_{on}, τον χρόνο διάρκειας του αρνητικού παλμού T_{off} και τέλος τον κύκλο εργασίας DC (duty cycle) απ' το πλαίσιο «Μετρήσεις» του front view.
17. Σταματήστε την εκτέλεση του προγράμματος.
18. Αφαιρέστε την τροφοδοσία.

Πίνακας 10-15 : Θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων 6^{ης} άσκησης με διόρθωση.

Μεταβλητή	Θεωρητικά από το LabView	Μετρήσεις από το LabView
R1		
R2		
C2		
T		
F		
T _{on}		
T _{off}		
Duty Cycle		

10.6.4 Βήμα 4^ο. Σύγκριση αποτελεσμάτων – εξαγωγή συμπερασμάτων.

4. Να συγκρίνετε τα αποτελέσματα της 2^{ης} στήλης μ' αυτά της 3^{ης} του πίνακα 10 -15.
5. Υπάρχουν διαφορές ; Είναι μικρότερες σε σχέση με την προηγούμενη σύγκριση ;
6. Εάν ναι που μπορεί να οφείλονται ;
7. Μπορείτε να συμβουλευτείτε και το φύλλο τεχνικών προδιαγραφών του 555.

Απαντήσεις :
