ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Δημιουργία ενός εικονικού Εργαστηρίου με την χρήση Multisim για Εκπαίδευση από Απόσταση

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ελευθερία Παπάζογλου 210105

Επιβλέπων: Μιχαήλ Μανιός,
ΕΔΙΠ του Τμήματος Πληροφορικής του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης
Συν Επιβλέπουσα

Καβάλα, Οκτώβριος 2026

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Δημιουργία ενός εικονικού Εργαστηρίου με την χρήση Multisim για Εκπαίδευση από Απόσταση

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ελευθερία Παπάζογλου 210105

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία υποβλήθηκε στο Τμήμα Πληροφορικής του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης για την απόκτηση του πτυχίου του Τμήματος.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων: Μιχαήλ Μανιός, ΕΔΙΠ του Τμήματος Πληροφορικής του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης

Συν επιβλέπων: Ελένη Βροχίδου, Επίκουρη Καθηγήτρια του Τμήματος Πληροφορικής του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης

Μέλος: Ιωάννης Τσιμπερίδης, ΕΔΙΠ του Τμήματος Πληροφορικής του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης

Καβάλα, Οκτώβριος 2026

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Ελευθερία Παπάζογλου, 2026

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πληροφορικής του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης δε δηλώνει απαραιτήτως την αποδοχή των απόψεων της συγγραφέα.

Τήρηση ακαδημαϊκών αρχών και δεοντολογίας

Η παρούσα εργασία είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε εξ ολοκλήρου από την φοιτήτρια Ελευθερία Παπάζογλου του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Πληροφορικής, υπό την καθοδήγηση του επιβλέποντα. Η φοιτήτρια βεβαιώνει ότι κατά την εκπόνηση και τη συγγραφή της παρούσας πτυχιακής εργασίας τήρησε τα προβλεπόμενα από τον νόμο, τον εσωτερικό κανονισμό και τον κανονισμό εκπόνησης πτυχιακών εργασιών του Τμήματος, καθώς και ότι σεβάστηκε πλήρως τις Αρχές της Ακαδημαϊκής Ηθικής και του Κώδικα Δεοντολογίας, οι οποίες απαγορεύουν την παραποίηση των ερευνητικών/πειραματικών αποτελεσμάτων, την αναφορά ψευδών στοιχείων, την κατάχρηση της διανοητικής ιδιοκτησίας τρίτων και τη λογοκλοπή.

Η συγγραφέας

Ελευθερία Παπάζογλου

[Υπογραφή]

DEMOCRITUS UNIVERSITY OF THRACE
SCHOOL OF SCIENCE
DEPARTMENT OF INFORMATICS

Development of a Virtual Electronics Laboratory Using Multisim for Distance Education

UNDERGRADUATE DISSERTATION

Eleftheria Papazoglou 210105

A dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the undergraduate degree in the Department of Informatics, Democritus University of Thrace.

COMMITTEE OF EXAMINERS

Supervisor: Michael Manios, Laboratory Teaching Staff (EDIP) at the Department of Informatics, Democritus University of Thrace
Co-supervisor: Eleni Vrochidou, Assistant Professor at the Department of Informatics, Democritus University of Thrace
Member: Ioannis Tsimperidis, Laboratory Teaching Staff (EDIP) at the Department of Informatics, Democritus University of Thrace

Kavala, October 2026

All rights reserved

Copyright © Eleftheria Papazoglou,2026

The approval of the undergraduate dissertation by the Department of Informatics, Democritus University of Thrace, does not necessarily indicate the acceptance of the views of the author.

Fulfillment of academic principles and ethics

The present undergraduate dissertation is original and was prepared entirely by the student Eleftheria Papazoglou of the Undergraduate Program of Studies of the Department of Informatics, under the guidance of the supervisor. The student certifies that during the preparation and writing of this undergraduate dissertation he/she complied with the provisions of the law and the corresponding internal regulations of the Department, as well as that he/she fully respected the Principles of Academic Ethics and the Code of Ethics, which prohibit falsification of research/experimental results, false reporting, misuse of third-party intellectual property and plagiarism.

The author

Eleftheria Papazoglou

[Signature]

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου Μιχαήλ Μανιό, για την εμπιστοσύνη και τη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης και υλοποίησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζει ένα εικονικό εργαστήριο ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με το λογισμικό προσομοίωσης NI Multisim και μια εφαρμογή απομακρυσμένης πρόσβασης σε αυτό, για την εκπαίδευση από απόσταση. Σκοπός είναι οι φοιτητές να σχεδιάζουν, να προσομοιώνουν και να μετρούν κυκλώματα χωρίς να βρίσκονται στο φυσικό εργαστήριο. Σχεδιάστηκαν εργαστηριακές ασκήσεις για τους νόμους του Kirchhoff, το θεώρημα επαλληλίας, τη φόρτιση και εκφόρτιση πυκνωτών, τα κυκλώματα R–C στο εναλλασσόμενο, τις διόδους και τους ανορθωτές, τη δίοδο Zener, την πόλωση τρανζίστορ, τους ενισχυτές κοινού εκπομπού και κοινού απαγωγού και τον τελεστικό ενισχυτή uA741. Χρησιμοποιήθηκαν εικονικά όργανα (πολύμετρο, παλμογράφος, γεννήτρια σήματος) και στις περισσότερες ασκήσεις οι μετρήσεις του Multisim παρατίθενται δίπλα στις πειραματικές μετρήσεις του φυσικού εργαστηρίου. Η πρόσβαση στον υπολογιστή του εργαστηρίου γίνεται με την εφαρμογή AppDesk, που αναπτύχθηκε σε Python: ο Host μεταδίδει την οθόνη του ως εικόνες JPEG μέσω TCP και ο Client στέλνει εντολές ποντικιού και πληκτρολογίου, με ενδιάμεσο Relay Server σε εικονική μηχανή Linux. Στις δοκιμές η καθυστέρηση ήταν περίπου 30–50 ms σε τοπικό δίκτυο και 150–300 ms μέσω διαδικτύου, με 20–30 και 5–15 καρέ ανά δευτερόλεπτο αντίστοιχα. Η εφαρμογή υποστηρίζει έναν Client ανά συνεδρία και δεν χρησιμοποιεί κρυπτογράφηση. Η επίδραση του εργαστηρίου στην κατανόηση των φοιτητών δεν αξιολογήθηκε και προτείνεται ως μελλοντική εργασία.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Δημιουργία ενός εικονικού Εργαστηρίου με την χρήση Multisim για Εκπαίδευση από Απόσταση

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Εικονικό εργαστήριο, NI Multisim, Προσομοίωση κυκλωμάτων, Απομακρυσμένη πρόσβαση, Εκπαίδευση από απόσταση

ABSTRACT

This thesis presents a virtual electronics laboratory built with the NI Multisim simulation software, together with a remote-access application for it, for distance education. The aim is for students to design, simulate and measure circuits without being in the physical laboratory. Laboratory exercises were designed on Kirchhoff's laws, the superposition theorem, capacitor charging and discharging, R–C circuits under AC, diodes and rectifiers, the Zener diode, transistor biasing, common-emitter and common-drain amplifiers, and the uA741 operational amplifier. Virtual instruments (multimeter, oscilloscope, signal generator) were used, and in most exercises the Multisim measurements are listed next to experimental measurements from the physical laboratory. Access to the laboratory computer is provided by AppDesk, an application developed in Python: the Host streams its screen as JPEG images over TCP, and the Client sends mouse and keyboard commands, through a Relay Server running on a Linux virtual machine. In the tests, latency was about 30–50 ms on a local network and 150–300 ms over the internet, with 20–30 and 5–15 frames per second respectively. The application supports one Client per session and does not use encryption. The effect of the laboratory on student learning was not evaluated and is proposed as future work.

SUBJECT AREA: Development of a Virtual Electronics Laboratory Using Multisim for Distance Education

KEYWORDS: Virtual laboratory, NI Multisim, Circuit simulation, Remote access, Distance education

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ **20**
1.1 Ανάλυση της Ανάγκης για Εικονικά Εργαστήρια 20
1.2 Σημασία της Πλατφόρμας Multisim στην Εκπαίδευση Κυκλωμάτων 20
1.3 Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας 20
2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΚΟΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ **22**
2.1 Βασικές Αρχές 22
2.2 Ιστορική Εξέλιξη 22
2.3 Εκπαιδευτική Αξία 23
2.3.1 Πλεονεκτήματα 23
2.3.2 Μειονεκτήματα 23
3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ **25**
3.1 Προσομοίωση Κυκλωμάτων 25
3.1.1 Προσομοίωση Στατικών Κυκλωμάτων 25
3.1.2 Προσομοίωση Δυναμικών Κυκλωμάτων 25
3.1.3 Εφαρμογές 25
3.2 Μοντελοποίηση Συστημάτων 25
3.2.1 Δημιουργία Μοντέλων Κυκλωμάτων 26
3.2.2 Πλεονεκτήματα της Μοντελοποίησης 26
3.2.3 Εφαρμογές 26
3.3 Τύποι Εργαλείων 26
3.3.1 Multisim 26
3.3.2 MATLAB/Simulink 27
3.4 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί της Πλατφόρμας Multisim 27
3.4.1 Πλεονεκτήματα της εφαρμογής Multisim 27
3.4.2 Περιορισμοί της εφαρμογής Multisim 28
4ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΟΦΕΛΗ **29**
4.1 Τεχνική Περιγραφή του Multisim 29
4.2 Εκπαιδευτικά Οφέλη των Εικονικών Εργαστηρίων 29
4.3 Ανατροφοδότηση από εκπαιδευτικούς 29
5ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΩΝ **30**
5.1 Νόμοι του Kirchhoff - Διαιρέτες τάσης και ρεύματος 30
5.2 Θεώρημα επαλληλίας 32
5.3 Μελέτη του πυκνωτή στο συνεχές – μεταβατικά φαινόμενα 35
5.4 Ανάλυση κυκλωμάτων R – C στο εναλλασσόμενο 42
5.5 Βασικοί νόμοι – Γνωριμία με τα όργανα 44
5.6 Γνωριμία με τα Όργανα - Παλμογράφος 45
5.7 Η Δίοδος ως Ημιαγωγός. 47
5.8 Απλή ανόρθωση ή ημιανόρθωση 50

5.9 Διπλή ή πλήρης ανόρθωση 55
5.10 Η δίοδος Zener και πολλαπλασιαστές τάσης 57
5.11 Τρανζίστορ – Πόλωση τρανζίστορ 61
5.12 Μελέτη ενισχυτή κοινού εκπομπού (CE) 64
5.13 Μελέτη ενισχυτή κοινού απαγωγού (CD) με JFET 69
5.14 Ο τελεστικός ενισχυτής uA741 - Εφαρμογές 73
6ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ 80
6.1 Συμπεράσματα από την Ανάπτυξη και Εφαρμογή του Εικονικού Εργαστηρίου 80
6.2 Μελλοντική Προοπτική και Περαιτέρω Έρευνα 80
7ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ MULTISIM 80
8ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ 83
8.1 Τροφοδοτικό/Πηγή 83
8.2 Πολύμετρο 84
8.3 Αντιστάτης 85
8.4 Ποτενσιόμετρο 85
8.5 Πυκνωτής 86
8.5.1 Κεραμικοί πυκνωτές 86
8.5.2 Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές (αλουμινίου, τανταλίου) 86
8.6 Δίοδος 87
8.6.1 Δίοδος Zener 87
8.6.2 Δίοδος LED (Δίοδος εκπομπής φωτός) 88
8.7 Τρανζίστορ 88
8.7.1 Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής (BJT) 88
8.7.2 Τρανζίστορ Επίδρασης Πεδίου (FET) 89
8.8 Ολοκληρωμένο κύκλωμα uA741 90
8.9 Παλμογράφος 91
8.10 Γεννήτρια σήματος 92
9ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 93
9.1 Σκοπός του Κεφαλαίου 93
9.2 Αποτίμηση της εφαρμογής 93
9.2.1 Επίτευξη στόχων 93
9.2.2 Διεπαφή της Εφαρμογής (GUI) 94
9.3 Αποτελέσματα Υλοποίησης 96
9.3.1 Αρχιτεκτονική του Συστήματος 96
9.3.2 Βασικά χαρακτηριστικά 97
9.3.3 Σύλληψη και συμπίεση οθόνης 97
9.3.4 Μετάδοση frame μεσω TCP 98
9.3.5 Λήψη και αποκωδικοποίηση frames 99
9.3.6 Αποστολή γεγονότων εισόδου 100
9.3.7 Εκτέλεση remote input στον Host 101
9.3.8 Διαδρομική προώθηση δεδομένων 102

9.3.9 Διεπαφή προβολής και latency metrics 102
10ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ 103
10.1 Δοκιμές και Παρατηρήσεις 103
10.1.1 Σενάρια Δοκιμών 103
10.1.2 Μετρήσεις Απόδοσης 104
10.2 Οδηγός Εγκατάστασης 104
10.3 Παρατηρήσεις και Αξιολόγηση 105
10.4 Περιορισμοί 105
10.5 Μελλοντικές Επεκτάσεις 106
10.5.1 Ασφάλεια και Κρυπτογράφηση 106
10.5.2 Βελτίωση Απόδοσης 106
10.5.3 Επέκταση Λειτουργικότητας 106
10.5.4 Βελτιώσεις Διεπαφής Χρήστη 107
10.5.5 Διαχείριση και Παρακολούθηση 107
10.5.6 Συμβατότητα Πλατφορμών 107
10.6 Συμπεράσματα 108
ΑΝΑΦΟΡΕΣ 109
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α 110
Α.1 Απαιτήσεις Συστήματος 111
Α.2 Εκτέλεση της Εφαρμογής Host και Client 111
Α.3 Εγκατάσταση Εξαρτήσεων Python 111
Α.4 Ανάπτυξη του Relay Server σε Linux VPS 112
Α.4.1 Φιλοξενία του Relay Server στο Google Cloud 113
Α.4.2 Σύνδεση και Διαχείριση του Relay Server 113
Α.5 Εκτέλεση του Relay Server ως systemd Service 114
Α.6 Έλεγχος Λειτουργίας της Εφαρμογής 115
Α.7 Αντιμετώπιση Προβλημάτων 115
Α.8 Παρατηρήσεις 116

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Μέτρηση αντιστάσεων σε σειρά 30
Εικόνα 2: Παράλληλη συνδεσμολογία 31
Εικόνα 3: Μικτή συνδεσμολογία 32
Εικόνα 4: Θεώρημα επαλληλίας 33
Εικόνα 5: Κύκλωμα με πηγή 15 Volt 33
Εικόνα 6: Κύκλωμα με πηγή 24 Volt 34
Εικόνα 7: Μέτρηση της αντίστασης $R_{Thevenin}$ με ωμόμετρο 34
Εικόνα 8: Μέτρηση της τάσης Thevenin 35
Εικόνα 9: Φόρτιση πυκνωτή για 100μF 36
Εικόνα 10: Εκφόρτιση πυκνωτή για 100μF 36
Εικόνα 11: Φόρτιση και Εκφόρτιση πυκνωτή 100μF Πειραματικά 37
Εικόνα 12: Φόρτιση και Εκφόρτιση πυκνωτή 100μF στο Multisim 38
Εικόνα 13: Φόρτιση πυκνωτή για 470μF 38
Εικόνα 14: Εκφόρτιση πυκνωτή για 470μF 38
Εικόνα 15: Φόρτιση και Εκφόρτιση πυκνωτή 470μF Πειραματικά 39
Εικόνα 16: Φόρτιση και Εκφόρτιση πυκνωτή 470μF στο Multisim 40
Εικόνα 17: Φόρτιση πυκνωτή για 1000μF 40
Εικόνα 18: Εκφόρτιση πυκνωτή για 1000μF 40
Εικόνα 19: Φόρτιση και Εκφόρτιση πυκνωτή 1000μF Πειραματικά 42
Εικόνα 20: Φόρτιση και Εκφόρτιση πυκνωτή 1000μF στο Multisim 42
Εικόνα 21: Σύνδεση γεννήτριας και παλμογράφου για C = 100nF 43
Εικόνα 22: Σύνδεση γεννήτριας και παλμογράφου για C = 470nF 43
Εικόνα 23: Μέτρηση αντιστάσεων με πηγή συνεχούς τάσης 44
Εικόνα 24: Μέτρηση αντιστάσεων με πηγή ημιτονικού σήματος 45
Εικόνα 25: Σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά και πηγή συνεχούς τάσης 46
Εικόνα 26: Σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά και πηγή γεννήτριας ημιτονικού σήματος 46
Εικόνα 27: Ανάστροφη Πόλωση Διόδου 47
Εικόνα 28: Ορθή Πόλωση Διόδου 48
Εικόνα 29: Ορθή Πόλωση Διόδου κύκλωμα Β 49
Εικόνα 30: Χαρακτηριστική καμπύλη διόδου στο Multisim 49
Εικόνα 31: Χαρακτηριστική καμπύλη διόδου Πειραματικά 50
Εικόνα 32: Κύκλωμα ανόρθωσης με μετασχηματιστή χωρίς εξομάλυνση, RL = 100 Ohm 50
Εικόνα 33: Κύκλωμα ανόρθωσης με μετασχηματιστή χωρίς εξομάλυνση, RL = 10 KOhm 51
Εικόνα 34: Μέτρηση για V(P-P)-ΑΒ και V(P-P)-ΓΔ για 100 Ohm στο Multisim 51
Εικόνα 35: Μέτρηση για V(P-P)-ΑΒ και V(P-P)-ΓΔ για 10 KOhm στο Multisim 52
Εικόνα 36: Μέτρηση για V(P-P)-ΑΒ και V(P-P)-ΓΔ για 100 Ohm Πειραματικά 52
Εικόνα 37: Μέτρηση για V(P-P)-ΑΒ και V(P-P)-ΓΔ για 10 KOhm Πειραματικά 52
Εικόνα 38: Κύκλωμα ημιανόρθωσης με εξομάλυνση C = 100μF 53
Εικόνα 39: Κύκλωμα ημιανόρθωσης με εξομάλυνση C = 470μF 53

Εικόνα 40: Κύκλωμα ημιανόρθωσης με εξομάλυνση C = 1000μF 53
Εικόνα 41: Μέτρηση για V(P-P)-ΑΒ και V(P-P)-ΓΔ για 470μF στο Multisim 54
Εικόνα 42: Μέτρηση για V(P-P)-ΑΒ και V(P-P)-ΓΔ για 470μF Πειραματικά 54
Εικόνα 43: Διπλή ανόρθωση με δύο διόδους και μετασχηματιστή 55
Εικόνα 44: Διπλή ανόρθωση με δύο διόδους, μετασχηματιστή και C = 100μF 56
Εικόνα 45: Διπλή ανόρθωση με δύο διόδους, μετασχηματιστή και C = 470μF 56
Εικόνα 46: Μέτρηση για V(P-P)-ΑΒ και V(P-P)-ΓΔ για 100μF στο Multisim 57
Εικόνα 47: Μέτρηση για V(P-P)-ΑΒ και V(P-P)-ΓΔ για 100μF Πειραματικά 57
Εικόνα 48: Κύκλωμα διόδου Zener 58
Εικόνα 49: Χαρακτηριστική Διόδου Zener στο Multisim 58
Εικόνα 50: Χαρακτηριστική Διόδου Zener Πειραματικά 58
Εικόνα 51: Σύνδεση μετασχηματιστή με αντίσταση φορτίου RL= 1 KOhm 59
Εικόνα 52: Σύνδεση μετασχηματιστή με αντίσταση φορτίου RL= 470 Ohm 59
Εικόνα 53: Σύνδεση μετασχηματιστή με αντίσταση φορτίου RL= 10 KOhm 60
Εικόνα 54: Μέτρηση μετασχηματιστή για αντίσταση φορτίου RL = 1 KOhm στο Multisim 60
Εικόνα 55: Μέτρηση μετασχηματιστή για αντίσταση φορτίου RL = 1 KOhm Πειραματικά 61
Εικόνα 56: Μέτρηση μετασχηματιστή για αντίσταση φορτίου RL = 470 Ohm στο Multisim 61
Εικόνα 57: Μέτρηση μετασχηματιστή για αντίσταση φορτίου RL = 470 Ohm Πειραματικά 61
Εικόνα 58: Σύνδεση Τρανζίστορ για πόλωση 62
Εικόνα 59: Σύνδεση Τρανζίστορ κοινού εκπομπού 65
Εικόνα 60: Σύνδεση Τρανζίστορ με την γεννήτρια 66
Εικόνα 61: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου στο Multisim 66
Εικόνα 62: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου Πειραματικά 67
Εικόνα 63: Κύκλωμα μέτρησης της σύνθετης αντίστασης εισόδου Ri’ 68
Εικόνα 64: Συνδεσμολογία του ενισχυτή απαγωγού με όργανα μέτρησης DC 70
Εικόνα 65: Συνδεσμολογία του ενισχυτή απαγωγού με παλμογράφο 70
Εικόνα 66: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου στο Multisim 71
Εικόνα 67: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου Πειραματικά 71
Εικόνα 68: Κύκλωμα μη αναστρέφων ενισχυτή για R2A = 10 Kohm 73
Εικόνα 69: Κύκλωμα μη αναστρέφων ενισχυτή για R2A = 47 Kohm 74
Εικόνα 70: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 10 Kohm στο Multisim 74
Εικόνα 71: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 47 Kohm στο Multisim 75
Εικόνα 72: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 10 Kohm Πειραματικά 75
Εικόνα 73: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 47 Kohm Πειραματικά 75
Εικόνα 74: Κύκλωμα αναστρέφων ενισχυτή για R2A = 10 Kohm 76
Εικόνα 75: Κύκλωμα αναστρέφων ενισχυτή για R2A = 47 Kohm 76
Εικόνα 76: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 10 Kohm στο Multisim 77
Εικόνα 77: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 47 Kohm στο Multisim 77
Εικόνα 78: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 10 Kohm Πειραματικά 77
Εικόνα 79: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 47 Kohm Πειραματικά 78

Εικόνα 80: Διαφοριστής με R1A = 1 Kohm και C1 = 100nF 79
Εικόνα 81: Διαφοριστής με R1A = 1 Kohm και C1 = 470nF 79
Εικόνα 82: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για C1 = 100nF στο Multisim 79
Εικόνα 83: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για C1 = 470nF στο Multisim 80
Εικόνα 84: Περιβάλλον Multisim 81
Εικόνα 85: Τοποθέτηση εξαρτημάτων από το μενού Place 81
Εικόνα 86: Καλωδίωση μεταξύ των εξαρτημάτων και ground 81
Εικόνα 87: Εικονικά όργανα για την υλοποίηση κυκλωμάτων 82
Εικόνα 88: Εκτέλεση της προσομοίωσης (Run) και εμφάνιση των μετρήσεων στο Multisim 82
Εικόνα 89: Τροφοδοτικό (πηγή συνεχούς τάσης) 83
Εικόνα 90: Είδη πηγών σε πρόγραμμα προσομοίωσης 84
Εικόνα 91: Ψηφιακό Πολύμετρο 84
Εικόνα 92: Αντιστάτης και σύμβολό του 85
Εικόνα 93: Ποτενσιόμετρο 85
Εικόνα 94: Διάφοροι τύποι πυκνωτών 86
Εικόνα 95: Κεραμικοί Πυκνωτές 86
Εικόνα 96: Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής 87
Εικόνα 97: Δίοδος: σύμβολο και μορφή 87
Εικόνα 98: Δίοδος Zener 88
Εικόνα 99: Δίοδος εκπομπής φωτός (LED) 88
Εικόνα 100: Διπολικό τρανζίστορ επαφής: σύμβολο και μορφή 89
Εικόνα 101: Τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (JFET) 89
Εικόνα 102: Ολοκληρωμένο κύκλωμα uA741 90
Εικόνα 103: Παλμογράφος 91
Εικόνα 104: Γεννήτρια σήματος 92
Εικόνα 105: Αρχική Κατάσταση Εφαρμογής 95
Εικόνα 106: Εμφάνιση Αναγνωριστικού Συνεδρίας 95
Εικόνα 107: Σύνδεση του Client με τον Host και άνοιγμα του Multisim 96
Εικόνα 108: Χρήση των εξαρτημάτων του Multisim από τον απομακρυσμένο υπολογιστή 96

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μέτρηση αντιστάσεων σε Σειρά 30
Πίνακας 2: Μέτρηση αντιστάσεων σε παράλληλη συνδεσμολογία 31
Πίνακας 3: Μέτρηση αντιστάσεων σε Μικτή συνδεσμολογία 32
Πίνακας 4: Μέτρηση αντιστάσεων θεώρημα επαλληλίας 34
Πίνακας 5: Μέτρηση τιμών για Thevenin 35
Πίνακας 6: Φόρτιση και εκφόρτιση Πυκνωτή για 100μF 36
Πίνακας 7: Φόρτιση και εκφόρτιση Πυκνωτή για 470μF 38
Πίνακας 8: Φόρτιση και εκφόρτιση Πυκνωτή για 1000μF 41
Πίνακας 9: Μέτρηση με γεννήτρια ημιτονικού σήματος 43
Πίνακας 10: Μέτρηση με γεννήτρια ημιτονικού σήματος κύκλωμα Α 44
Πίνακας 11: Μέτρηση με γεννήτρια ημιτονικού σήματος κύκλωμα Β 45
Πίνακας 12: Μέτρηση τιμών με παλμογράφο 46
Πίνακας 13: Μέτρηση τιμών με παλμογράφο και ως πηγή γεννήτρια ημιτονικού σήματος 47
Πίνακας 14: Μέτρηση τάσης και ρεύματος στην ορθή πόλωση της διόδου 49
Πίνακας 15: Μέτρηση για μετασχηματιστή χωρίς εξομάλυνση δύο αντιστάσεων 51
Πίνακας 16: Μέτρηση για μετασχηματιστή εξομάλυνσης για τρεις πυκνωτές 54
Πίνακας 17: Μέτρηση για μετασχηματιστή χωρίς εξομάλυνση μιας αντίστασης 55
Πίνακας 18: Μέτρηση για μετασχηματιστή με εξομάλυνση δύο πυκνωτών 56
Πίνακας 19: Μέτρηση τιμών διόδου Zener 58
Πίνακας 20: Μέτρηση τιμών για μετασχηματιστή με αντίσταση φορτίου 60
Πίνακας 21: Μέτρηση τιμών θεωρητικά για πόλωση τρανζίστορ 62
Πίνακας 22: Μέτρηση τιμών βάση, συλλέκτη, εκπομπού για πόλωση τρανζίστορ 63
Πίνακας 23: Μέτρηση αντιστάσεων 63
Πίνακας 24: Μέτρηση τιμών για την μεταβολή τιμών του ποτενσιομέτρου 63
Πίνακας 25: Μέτρηση τιμών τρανζίστορ κοινού εκπομπού 65
Πίνακας 26: Μέτρηση τιμών τρανζίστορ αντίσταση εισόδου Ri’ 68
Πίνακας 27: Μέτρηση τιμών τρανζίστορ αντίσταση εξόδου Ro 69
Πίνακας 28: Μέτρηση τιμών τρανζίστορ για ενισχυτή κοινού απαγωγού 70
Πίνακας 29: Μετρήσεις Παλμογράφου στη είσοδο και έξοδο του ενισχυτή 71
Πίνακας 30: Μετρήσεις απολαβή ρεύματος 72
Πίνακας 31: Μετρήσεις μη αναστρέφων ενισχυτή για R2A = 10 Kohm και R2A = 47 Kohm 74
Πίνακας 32: Μετρήσεις αναστρέφων ενισχυτή για R2A = 10 Kohm και R2A = 47 Kohm 76

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός όρος
Adaptive Streaming	Μηχανισμός προσαρμοστικής ποιότητας
Bandwidth	Εύρος ζώνης
Capacitor	Πυκνωτής
Client	Πελάτης
Clipboard	Πρόχειρο
Clipping	Κόρος
Current Limit	Ρύθμιση ρεύματος
Drag-and-Drop	Μεταφορά και απόθεση
Drain	Απαγωγός
Frame	Καρέ
Frame Rate	Ρυθμός Καρέ
Fullscreen Mode	Λειτουργία πλήρους οθόνης
Function Generator	Γεννήτρια σήματος
Gate	Πύλη
Ground	Γείωση
Host	Κεντρικός Υπολογιστής / Κόμβος
Inverting Input	Αναστρέφουσα είσοδος
Keyboard Layout	Διάταξη πληκτρολογίου
Latency	Καθυστέρηση
Logging	Καταγραφή συμβάντων
Multimeter	Πολύμετρο
Non-inverting Input	Μη αναστρέφουσα είσοδος

Offset Voltage	Τάση μετατόπισης
Pins	Ακροδέκτες
Port Forwarding	Προώθηση θυρών
Potentiometer	Ποτενσιόμετρο
Relay Server	Διακομιστής Αναμετάδοσης
Remote Desktop	Απομακρυσμένη Επιφάνεια Εργασίας
Remote Input	Απομακρυσμένη Είσοδος
Resistor	Αντίσταση
Resonance	Συντονισμός
Server	Διακομιστής
Session	Συνεδρία
Socket	Υποδοχή δικτύου
Source	Πηγή
Timestamp	Χρονική σήμανση
Transient	Μεταβατική κατάσταση
User Interface	Διεπαφή Χρήστη
Virtual Laboratory	Εικονικό Εργαστήριο
Virtual Machine	Εικονική μηχανή
Voltage Control	Ρύθμιση τάσης
Wire Tool	Εργαλείο καλωδίωσης

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

Σύντμηση	Πλήρης ονομασία
AC	Alternating Current
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BJT	Bipolar Junction Transistor
CD	Common Drain
CE	Common Emitter
DC	Direct Current
FET	Field-Effect Transistor
FPS	Frames Per Second
GND	Ground
GUI	Graphical User Interface
IAP	Identity-Aware Proxy
ID	Identifier
IP	Internet Protocol
JFET	Junction Field-Effect Transistor
JPEG	Joint Photographic Experts Group
JSON	JavaScript Object Notation
LAN	Local Area Network
LED	Light-Emitting Diode
MacOS	Macintosh Operating System
NI	National Instruments
P-P	Peak-to-Peak
PCB	Printed Circuit Board

RLC	Resistor–Inductor–Capacitor
RMS	Root Mean Square
SPICE	Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis
SSH	Secure Shell
TCP	Transmission Control Protocol
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TLS	Transport Layer Security
VPS	Virtual Private Server
WAN	Wide Area Network
ΔΠΘ	Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ανάλυση της Ανάγκης για Εικονικά Εργαστήρια

Η εξ αποστάσεως εκπαίδευση αποτελεί βασικό πυλώνα της σύγχρονης εκπαιδευτικής διαδικασίας. Τα τελευταία χρόνια έχει καταστεί ακόμη πιο σημαντική στις σημερινές συνθήκες, όπου η πρόσβαση σε φυσικούς χώρους διδασκαλίας μπορεί να είναι περιορισμένη λόγω γεωγραφικών, οικονομικών ή κοινωνικών παραγόντων. Η πρόοδος στις τεχνολογικές υποδομές επιτρέπει τη δημιουργία δυναμικών, διαδραστικών και ευέλικτων μαθησιακών εμπειριών, καθιστώντας εφικτή τη διδασκαλία πολύπλοκων θεμάτων, όπως η ηλεκτρολογία και τα ηλεκτρονικά, μέσα από εικονικά περιβάλλοντα.

Στα πεδία αυτά, η πρακτική εφαρμογή και ο πειραματισμός αποτελούν αναπόσπαστα μέρη της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Οι φοιτητές πρέπει να εξοικειώνονται με τη σχεδίαση, την ανάλυση και τη δοκιμή κυκλωμάτων, ώστε να αποκτούν ουσιαστική κατανόηση της λειτουργίας τους. Ωστόσο, οι φυσικές υποδομές, όπως τα εργαστήρια ηλεκτρολογίας και ηλεκτρονικών, συχνά συνοδεύονται από υψηλό κόστος εγκατάστασης, συντήρησης και λειτουργίας. Επιπλέον, ο περιορισμένος χρόνος χρήσης των εργαστηρίων μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο για τους φοιτητές που επιθυμούν να εξασκηθούν επιπλέον ή να εμβαθύνουν στη γνώση τους **[1]**.

Η ανάγκη αυτή καλύπτεται μέσω των εικονικών εργαστηρίων, τα οποία παρέχουν στους φοιτητές τη δυνατότητα εργασίας σε προσομοιωμένα περιβάλλοντα που αντικατοπτρίζουν ρεαλιστικές συνθήκες. Τα εικονικά εργαστήρια μειώνουν την ανάγκη για φυσικό εξοπλισμό, ενώ ταυτόχρονα προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία στους φοιτητές, αφού μπορούν να μελετούν και να πειραματίζονται από οποιαδήποτε τοποθεσία και οποιαδήποτε στιγμή. Επιπλέον, ενισχύουν τη δημιουργική σκέψη, επιτρέποντας την ασφαλή διερεύνηση διαφορετικών σεναρίων λειτουργίας και τη δοκιμή καινοτόμων ιδεών [1], [2].

1.2 Σημασία της Πλατφόρμας Multisim στην Εκπαίδευση Κυκλωμάτων

Το Multisim είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο λογισμικό προσομοίωσης για την προσομοίωση κυκλωμάτων, το οποίο συνδυάζει ένα ευρύ φάσμα εργαλείων σχεδίασης και ανάλυσης, καθιστώντας το κατάλληλο για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Η πλατφόρμα επιτρέπει στους φοιτητές να δημιουργούν κυκλώματα από το μηδέν, να πειραματίζονται με διαφορετικές διατάξεις και να παρατηρούν τη λειτουργία τους σε πραγματικό χρόνο μέσω προσομοιώσεων. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την κατανόηση των θεμελιωδών αρχών της ηλεκτρολογίας και των ηλεκτρονικών, καθώς και την εμβάθυνση σε πιο προηγμένα θέματα [3].

Το Multisim υποστηρίζει αναλύσεις DC, AC, μεταβατικής απόκρισης και Fourier, καθώς και σαρώσεις θερμοκρασίας και παραμέτρων. Οι αναλύσεις αυτές επιτρέπουν τη μελέτη της συμπεριφοράς ενός μοντέλου κυκλώματος όταν μεταβάλλονται επιλεγμένες συνθήκες λειτουργίας [4].

1.3 Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας

Σκοπός:

Ο σκοπός της εργασίας είναι η δημιουργία ενός σύγχρονου, αποδοτικού και εύχρηστου και προσβάσιμου εικονικού εργαστηριακού περιβάλλοντος με χρήση της πλατφόρμας Multisim, το οποίο

θα δώσει τη δυνατότητα στους φοιτητές να προσομοιώνουν και να εκτελούν πειράματα σε ηλεκτρονικά κυκλώματα, ανεξάρτητα από γεωγραφικούς ή φυσικούς περιορισμούς.

Στόχοι:

- Στη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ θεωρίας και πράξης, επιτρέποντας στους φοιτητές να εφαρμόζουν τις θεωρητικές τους γνώσεις σε ένα ασφαλές και εικονικό περιβάλλον.
- Στην ενίσχυση της εκπαιδευτικής εμπειρίας, μειώνοντας την ανάγκη για φυσικό εξοπλισμό, που μπορεί να είναι δαπανηρός ή δύσκολα διαθέσιμος.
- Στην ανάπτυξη δεξιοτήτων αυτονομίας και διαδραστικής μάθησης, προσφέροντας τη δυνατότητα στους φοιτητές να πειραματίζονται, να κάνουν λάθη και να μαθαίνουν με το δικό τους ρυθμό.
- Στην προώθηση της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης, δίνοντας τη δυνατότητα πρόσβασης σε εκπαιδευτικά εργαλεία από οποιαδήποτε τοποθεσία.
- Στην ενίσχυση της βιωσιμότητας και της αποδοτικότητας της εκπαιδευτικής διαδικασίας, μειώνοντας τις απαιτήσεις για υλικά και χώρους.
- Ο συνολικός στόχος είναι να προσφέρει στους φοιτητές ένα ευέλικτο εργαλείο που θα τους βοηθήσει να αποκτήσουν πρακτική εμπειρία και βαθύτερη κατανόηση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, προετοιμάζοντας τους για επαγγελματικές εφαρμογές στον τομέα της ηλεκτρονικής.

2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΚΟΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ

Οι Εικονικές Εργαστηριακές Πλατφόρμες είναι μια καινοτόμος μέθοδος εκπαίδευσης που χρησιμοποιεί λογισμικό για να προσομοιώσει την πραγματική λειτουργία εργαστηρίων φυσικής, ηλεκτρολογίας, μηχανικής και άλλων επιστημών. Σε αυτές τις πλατφόρμες, οι φοιτητές έχουν τη δυνατότητα να αναπαράγουν και να δοκιμάσουν διάφορα πειράματα και θεωρίες σε ένα ασφαλές, οικονομικό και διαδραστικό περιβάλλον [1], [2].

2.1 Βασικές Αρχές

Η λειτουργία των Εικονικών Εργαστηρίων βασίζεται στην τεχνολογία προσομοίωσης και μοντελοποίησης. Αυτή η τεχνολογία παρέχει στους φοιτητές ένα εργαλείο για την κατασκευή, τη δοκιμή και την ανάλυση ηλεκτρικών κυκλωμάτων, όπως ακριβώς θα έκαναν σε ένα φυσικό εργαστήριο [2].

Προσομοίωση Κυκλωμάτων

Χρησιμοποιούνται μαθηματικά μοντέλα που περιγράφουν τη λειτουργία των ηλεκτρικών εξαρτημάτων (π.χ.αντιστάσεις, πυκνωτές, δίοδοι, τρανζίστορ). Οι πλατφόρμες αυτές επιτρέπουν την παρακολούθηση της λειτουργίας του κυκλώματος σε πραγματικό χρόνο, καθώς και την ανάλυση φαινομένων όπως η υπερφόρτωση ή οι διακυμάνσεις τάσης [4].

Αναπαραγωγή Πραγματικού Εξοπλισμού

Τα εργαλεία που παρέχονται (παλμογράφοι, βολτόμετρα και αμπερόμετρα) λειτουργούν παρόμοια με τα φυσικά όργανα μέτρησης, δίνοντας στους φοιτητές τη δυνατότητα να εξοικειωθούν με τη χρήση τους [5].

Διαδραστική Μάθηση

Στο Multisim, ο χρήστης επιλέγει εξαρτήματα, δημιουργεί συνδέσεις και παρατηρεί τη συμπεριφορά του κυκλώματος μέσω διαδραστικής προσομοίωσης [3], [5].

2.2 Ιστορική Εξέλιξη

Η εξέλιξη των Εικονικών Εργαστηρίων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την πρόοδο της τεχνολογίας υπολογιστών και λογισμικών [1].

Παραδοσιακά Εργαστήρια

Στα φυσικά εργαστήρια, οι εκπαιδευόμενοι αλληλεπιδρούν με πραγματικό εξοπλισμό. Η φυσική εμπειρία διαφέρει από την παρατήρηση και τον χειρισμό ενός υπολογιστικού μοντέλου [2].

Εμφάνιση Λογισμικών Προσομοίωσης

Η χρήση λογισμικών όπως το Multisim επιτρέπει τη σχεδίαση και την προσομοίωση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων πριν από τη φυσική κατασκευή τους [3].

Σύγχρονες Εξελίξεις:

Στη σύγχρονη εκπαιδευτική διαδικασία, τα Εικονικά Εργαστήρια περιλαμβάνουν εργαλεία ανάλυσης δεδομένων και τρισδιάστατη προσομοίωση, επιτρέποντας πιο σύνθετα πειράματα και σενάρια.

2.3 Εκπαιδευτική Αξία

2.3.1 Πλεονεκτήματα

Η εκπαιδευτική αξία των Εικονικών Εργαστηρίων έγκειται στα παρακάτω σημεία:

Οικονομική Προσέγγιση

Η χρήση εικονικών πλατφορμών μειώνει το κόστος αγοράς και συντήρησης φυσικών εξοπλισμών, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για εκπαιδευτικά ιδρύματα με περιορισμένο προϋπολογισμό.

Ασφάλεια

Παρέχει τη δυνατότητα να πειραματιστούν χωρίς να εκτεθούν σε κινδύνους, όπως ηλεκτροπληξία ή καταστροφή εξαρτημάτων. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για αρχάριους χρήστες που δεν έχουν εμπειρία σε εργαστηριακά περιβάλλοντα.

Επανάληψη και Πειραματισμός

Στο Multisim, οι φοιτητές μπορούν να επαναλαμβάνουν τις προσομοιώσεις, να τροποποιούν τις παραμέτρους των εξαρτημάτων και να συγκρίνετε τη συμπεριφορά διαφορετικών διατάξεων κυκλωμάτων [3], [4].

Προετοιμασία για την Πράξη

Η φυσική και η εικονική εργαστηριακή διερεύνηση προσφέρουν διαφορετικές δυνατότητες και μπορούν να συνδυάζονται στην εκπαιδευτική διαδικασία [2].

Στην παρούσα εργασία, η προσομοίωση προτείνεται ως προετοιμασία και συμπλήρωμα της χρήσης πραγματικού εξοπλισμού.

Προσαρμοστικότητα στις Ανάγκες των Φοιτητών

Στο προτεινόμενο εικονικό εργαστήριο, οι ασκήσεις μπορούν να οργανωθούν με διαφορετικό βαθμό δυσκολίας, ανάλογα με το επίπεδο γνώσεων των φοιτητών και τους στόχους του μαθήματος. Η προσαρμογή αυτή αφορά τον σχεδιασμό του εκπαιδευτικού υλικού από τον διδάσκοντα.

Διαθεσιμότητα και Ευκολία Πρόσβασης

Στην προτεινόμενη υλοποίηση, η εφαρμογή AppDesk επιτρέπει την απομακρυσμένη πρόσβαση στον εργαστηριακό υπολογιστή. Η πρόσβαση προϋποθέτει ότι ο υπολογιστής και η εφαρμογή βρίσκονται σε λειτουργία, υπάρχει διαθέσιμη δικτυακή σύνδεση και έχει εξασφαλιστεί η απαιτούμενη άδεια χρήσης του Multisim.

2.3.2 Μειονεκτήματα

Έλλειψη Πρακτικής Εμπειρίας

Η εργασία αποκλειστικά σε προσομοιωμένο περιβάλλον δεν παρέχει την ίδια φυσική αλληλεπίδραση με όργανα και εξαρτήματα όπως ένα πραγματικό εργαστήριο [2].

Περιορισμοί στον Εξοπλισμό

Οι δυνατότητες αναπαράστασης εξαρτώνται από τα μοντέλα και τις αναλύσεις της πλατφόρμας. Η προσομοίωση δεν ταυτίζεται με τον φυσικό χειρισμό εξοπλισμού. Στο Multisim υποστηρίζεται, μεταξύ άλλων, ανάλυση σε διαφορετικές θερμοκρασίες [2], [4].

Απαιτήσεις Υποδομών

Χρειάζεται πρόσβαση σε σύγχρονους υπολογιστές και λογισμικό, το οποίο μπορεί να είναι δύσκολο για κάποιους φοιτητές ή εκπαιδευτικά ιδρύματα. Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται σύνδεση στο διαδίκτυο για ενημερώσεις, διαμοιρασμό αρχείων ή πρόσβαση σε απομακρυσμένους πόρους.

Πολυπλοκότητα Χρήσης

Η αρχική εξοικείωση με το λογισμικό μπορεί να είναι δύσκολη για φοιτητές που δεν έχουν εμπειρία με τεχνολογίες προσομοίωσης. Απαιτείται χρόνος για την εκμάθηση της πλατφόρμας και την κατανόηση της λειτουργίας της.

Μειωμένη Αίσθηση Πραγματικότητας

Η φυσική αλληλεπίδραση και η αίσθηση παρουσίας διαφοροποιούνται μεταξύ φυσικών, προσομοιωμένων και απομακρυσμένων εργαστηρίων και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον εκπαιδευτικό σχεδιασμό [1].

Εξάρτηση από τεχνολογία

Σε περίπτωση τεχνικών προβλημάτων (π.χ., βλάβες στον υπολογιστή, σφάλματα στο λογισμικό), οι φοιτητές δεν μπορούν να προχωρήσουν στα πειράματα. Τα αποτελέσματα βασίζονται αποκλειστικά στις δυνατότητες του λογισμικού, που ενδέχεται να έχει περιορισμούς.

Κόστος Λογισμικού

Στον σχεδιασμό του προτεινόμενου εργαστηρίου πρέπει να συνυπολογίζεται το κόστος των απαιτούμενων αδειών χρήσης του Multisim. Η επιλογή της έκδοσης και του αριθμού αδειών εξαρτάται από τις ανάγκες του μαθήματος και τους διαθέσιμους πόρους του ιδρύματος.

Συνοψίζοντας:

Η εισαγωγή στις Εικονικές Εργαστηριακές Πλατφόρμες αναδεικνύει τη σημαντική συμβολή τους στη σύγχρονη εκπαίδευση. Από την κατανόηση βασικών αρχών έως την εξάσκηση σύνθετων πειραμάτων, τα εργαλεία αυτά προσφέρουν μια ευέλικτη, ασφαλή και οικονομικά αποδοτική μέθοδο για την ενίσχυση της μαθησιακής εμπειρίας. Συνδέοντας τη θεωρία με την πράξη, τα Εικονικά Εργαστήρια ενισχύουν τη μαθησιακή διαδικασία και προετοιμάζουν τους φοιτητές για τις απαιτήσεις του πραγματικού κόσμου.

3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Οι τεχνικές προσομοίωσης και μοντελοποίησης αποτελούν τον πυρήνα των Εικονικών Εργαστηρίων. Βασίζονται στη χρήση προηγμένων λογισμικών για την αναπαράσταση και ανάλυση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και συστημάτων. Μέσω αυτών, οι φοιτητές μπορούν να πειραματιστούν και να μελετήσουν τη συμπεριφορά των κυκλωμάτων σε συνθήκες που προσομοιάζουν τη φυσική πραγματικότητα.

3.1 Προσομοίωση Κυκλωμάτων

Η προσομοίωση κυκλωμάτων είναι μια διαδικασία μέσω της οποίας τα κυκλώματα αναπαριστώνται ψηφιακά για την ανάλυση της συμπεριφοράς τους υπό διάφορες συνθήκες.

3.1.1 Προσομοίωση Στατικών Κυκλωμάτων

Αφορά κυκλώματα στα οποία οι παράμετροι (π.χ., τάση, ρεύμα) παραμένουν σταθερές στο χρόνο [4].

Χρήσιμη για την κατανόηση θεμελιωδών αρχών, όπως:

Οι νόμοι του Ohm και του Kirchhoff και η λειτουργία απλών κυκλωμάτων αντίστασης-τάσης-ρεύματος (R, V, I).

Παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης βασικών ποσοτήτων, όπως:

Η πτώση τάσης σε αντιστάσεις και το ρεύμα σε κλειστό κύκλωμα.

3.1.2 Προσομοίωση Δυναμικών Κυκλωμάτων

Εστιάζει στη μελέτη κυκλωμάτων που λειτουργούν σε συνθήκες μεταβαλλόμενης τάσης ή ρεύματος (π.χ., κυκλώματα AC). Εφαρμόζεται σε κυκλώματα που περιλαμβάνουν Πυκνωτές (C) και πηνία (L), τα οποία επηρεάζουν τη μεταβατική συμπεριφορά του κυκλώματος επηρεάζουν τη λειτουργία του κυκλώματος. Εναλλασσόμενη τάση (AC), όπου η συχνότητα και η φάση παίζουν σημαντικό ρόλο [6],[7].

Επιτρέπει τη μελέτη φαινομένων όπως:

Φάση και συντονισμός (resonance) σε κυκλώματα RLC. Συμπεριφορά φίλτρων χαμηλής, υψηλής και ζώνης διέλευσης.

3.1.3 Εφαρμογές

Χρησιμοποιείται ευρέως σε εκπαιδευτικά προγράμματα και έρευνα. Διευκολύνει την κατανόηση πολύπλοκων εννοιών, όπως τα μεταβατικά φαινόμενα (transients) και οι συχνότητες συντονισμού [4], [7].

3.2 Μοντελοποίηση Συστημάτων

Η μοντελοποίηση είναι η διαδικασία δημιουργίας ενός μαθηματικού μοντέλου που αναπαριστά τη συμπεριφορά ενός κυκλώματος ή συστήματος.

3.2.1 Δημιουργία Μοντέλων Κυκλωμάτων

Τα φυσικά εξαρτήματα (όπως αντιστάσεις, πυκνωτές και πηνία) αναπαρίστανται μέσω μαθηματικών τύπων: Αντιστάσεις: V = IR (νόμος του Ohm). ***Πυκνωτές: I = C(dV/dt) (νόμος φόρτισης πυκνωτή).***

Πηνία: V = L(dI/dt) (νόμος επαγωγής).

Τα μαθηματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της λειτουργίας και της συμπεριφοράς του κυκλώματος υπό διαφορετικές συνθήκες [6], [7].

3.2.2 Πλεονεκτήματα της Μοντελοποίησης

Ακρίβεια: Η αξιοπιστία της πρόβλεψης εξαρτάται από τα μοντέλα, τις παραμέτρους και τις αριθμητικές ρυθμίσεις της προσομοίωσης [8].

Ευελιξία: Επιτρέπει τη δοκιμή διαφορετικών διαμορφώσεων κυκλωμάτων χωρίς τη φυσική κατασκευή τους [3].

Μελέτη πριν από τη φυσική υλοποίηση: Τα υπολογιστικά μοντέλα επιτρέπουν τη θεωρητική διερεύνηση κυκλωμάτων εναλλασσόμενου ρεύματος και ημιαγωγικών διατάξεων πριν από την κατασκευή και τη δοκιμή τους [7], [9].

3.2.3 Εφαρμογές

Ανάλυση κυκλωμάτων RLC για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών τους. Μελέτη συστημάτων ισχύος, όπως μετασχηματιστές και ενισχυτές. Διερεύνηση της συμπεριφοράς ψηφιακών και αναλογικών κυκλωμάτων.

3.3 Τύποι Εργαλείων

Η χρήση εξειδικευμένων εργαλείων λογισμικού είναι απαραίτητη για την προσομοίωση και τη μοντελοποίηση. Ορισμένα από τα πιο δημοφιλή είναι:

3.3.1 Multisim

Το Multisim είναι λογισμικό σχεδίασης και προσομοίωσης ηλεκτρονικών κυκλωμάτων [3].

<u>Χαρακτηριστικά:</u>

Φιλικό γραφικό περιβάλλον που διευκολύνει τη σχεδίαση κυκλωμάτων. Υποστήριξη αναλύσεων DC, AC, transient (μεταβατικές καταστάσεις), και Fourier. Δυνατότητα ενσωμάτωσης εργαλείων μέτρησης, όπως παλμογράφοι και πολύμετρα [4], [5].

<u>Εφαρμογές:</u>

Σχεδίαση βασικών κυκλωμάτων, όπως κυκλώματα RLC. Ανάλυση λειτουργίας ενισχυτών, φίλτρων, και άλλων εξαρτημάτων [4].

Εκτός από το Multisim, υπάρχουν και άλλα εργαλεία προσομοίωσης και μοντελοποίησης που χρησιμοποιούνται στην εκπαίδευση και στην έρευνα.

3.3.2 MATLAB/Simulink

Το Simulink είναι περιβάλλον διαγραμμάτων μπλοκ για προσομοίωση και σχεδίαση βασισμένη σε μοντέλα. Συνεργάζεται με το MATLAB και υποστηρίζει τη μοντελοποίηση συστημάτων, την ανάπτυξη αλγορίθμων και τον έλεγχο της συμπεριφοράς τους [10].

3.3.3 **LTspice**

Το LTspice είναι ένα εργαλείο προσομοίωσης που χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάλυση αναλογικών και κυκλωμάτων ισχύος [11].

Χαρακτηριστικά:

Διατίθεται δωρεάν και συνδυάζει προσομοίωση SPICE, δημιουργία σχηματικών διαγραμμάτων και προβολή κυματομορφών [11].

Εφαρμογές:

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη αναλογικών κυκλωμάτων και κυκλωμάτων ισχύος, με κατάλληλα μοντέλα εξαρτημάτων [11].

Συμπεράσματα

Τα εργαλεία προσομοίωσης υποστηρίζουν διαφορετικά αντικείμενα μοντελοποίησης. Το Multisim και το LTspice επικεντρώνονται στην ανάλυση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, ενώ το Simulink υποστηρίζει μοντελοποίηση συστημάτων με διαγράμματα μπλοκ. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε το Multisim για τις εργαστηριακές ασκήσεις κυκλωμάτων [3], [11], [10].

3.4 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί της Πλατφόρμας Multisim

3.4.1 Πλεονεκτήματα της εφαρμογής Multisim

Εύχρηστο Περιβάλλον Χρήσης

Το Multisim διαθέτει διαισθητικό γραφικό περιβάλλον και υποστηρίζει εύκολη τοποθέτηση και καλωδίωση εξαρτημάτων για την κατασκευή σχηματικών διαγραμμάτων [3], [5].

Πλούσια Βιβλιοθήκη Εξαρτημάτων

Διαθέτει βιβλιοθήκη ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και μοντέλων προσομοίωσης, το εύρος της οποίας διαφοροποιείται ανά έκδοση. Υποστηρίζει επίσης μοντέλα PSpice, με περιορισμούς συμβατότητας ως προς τη σύνταξή τους [5].

Υποστήριξη Αναλογικών και Ψηφιακών Κυκλωμάτων

Προσομοιώνει κυκλώματα DC, AC, αναλογικά και ψηφιακά.

Εργαλεία ανάλυσης όπως:

Transient Analysis (ανάλυση στο πεδίο του χρόνου), Fourier Analysis (ανάλυση συχνοτήτων), AC Sweep (ανάλυση συχνοτικής απόκρισης) [3],[4].

Προσομοίωση βασισμένη στο SPICE

Το Multisim χρησιμοποιεί προσομοίωση βασισμένη στο SPICE. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων απαιτεί προσοχή στα χρησιμοποιούμενα μοντέλα και στις ρυθμίσεις της προσομοίωσης [3], [8].

Ενσωμάτωση Οργάνων Μέτρησης

Εικονικά όργανα μέτρησης, όπως:

Περιλαμβάνονται πολύμετρα, παλμογράφοι, γεννήτριες συναρτήσεων και βατόμετρα για τη διερεύνηση της συμπεριφοράς κυκλωμάτων [5].

Εκπαιδευτική Χρήση

Το λογισμικό έχει εκπαιδευτικό προσανατολισμό.

Περιέχει εκπαιδευτικά παραδείγματα και οδηγούς, δυνατότητα να δημιουργείς ερωτήσεις και προσομοιώσεις για μάθηση. Δίνει έμφαση στην εκμάθηση των βασικών αρχών των ηλεκτρονικών[3],[5].

Ευελιξία και Συνεργασία

Υποστηρίζει LabVIEW VIs ως όργανα και πηγές, καθώς και μεταφορά πληροφοριών σχεδίασης προς το Ultiboard για σχεδίαση πλακετών [5].

Εξοικονόμηση Κόστους και Χρόνου

Η ανάλυση πριν από τη φυσική υλοποίηση μπορεί να περιορίσει τις επαναλήψεις κατασκευής πρωτοτύπων πλακετών και το κόστος ανάπτυξης [3].

3.4.2 Περιορισμοί της εφαρμογής Multisim

Περιορισμοί στις Εκδόσεις Multisim

Η Student Edition και η Education Edition διαφέρουν ως προς τη βιβλιοθήκη εξαρτημάτων, τις αναλύσεις και τις εκπαιδευτικές λειτουργίες. Για τη σχεδίαση πλακετών χρησιμοποιείται το συνεργαζόμενο λογισμικό Ultiboard [5].

Περιορισμοί Ακρίβειας

Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από τα μοντέλα και τις παραμέτρους του κυκλώματος. Παρότι υποστηρίζονται αναλύσεις ανοχών, θερμοκρασίας και θορύβου, απαιτείται κατάλληλη μοντελοποίηση των συνθηκών λειτουργίας και σύγκριση με πραγματικές μετρήσεις όπου είναι εφικτό [4], [8].

Προβλήματα με Πολύπλοκα Κυκλώματα

Μπορεί να εμφανιστούν προβλήματα σύγκλισης, τα οποία επηρεάζονται από τα μοντέλα, τη συνδεσμολογία και τις ρυθμίσεις ανάλυσης. Η χρήση απλούστερων μοντέλων, όπου είναι κατάλληλη, μπορεί να βελτιώσει τη σύγκλιση και την ταχύτητα εκτέλεσης [8].

4ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΟΦΕΛΗ

4.1 Τεχνική Περιγραφή του Multisim

ο Multisim αποτελεί ένα ολοκληρωμένο λογισμικο προσομοίωσης ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, το οποίο προσφέρει μια μεγάλη βιβλιοθήκη παθητικών και ενεργών στοιχείων, όπως αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία, διόδους, τρανζίστορ και τελεστικούς ενισχυτές. Επιπλέον, περιλαμβάνει εργαλεία όπως γεννήτριες σημάτων, πολύμετρα, παλμογράφους και αναλυτές, τα οποία επιτρέπουν την εκτέλεση μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο. Το λογισμικό υποστηρίζει διαφορετικούς τύπους αναλύσεων, όπως DC, AC και μεταβατική ανάλυση, δίνοντας τη δυνατότητα στους χρήστες να μελετήσουν τη συμπεριφορά των κυκλωμάτων σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας [5], [4].

4.2 Εκπαιδευτικά Οφέλη των Εικονικών Εργαστηρίων

Το Multisim συνδέει τη σχεδίαση κυκλωμάτων με την παρατήρηση της συμπεριφοράς τους μέσω διαδραστικής προσομοίωσης και χρησιμοποιείται στην εκπαίδευση ηλεκτρονικών [3].

Στο προτεινόμενο εργαστήριο επιδιώκεται η δυνατότητα επανάληψης των ασκήσεων, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα της υποδομής και των αδειών χρήσης.

Η τροποποίηση παραμέτρων και η σύγκριση αποτελεσμάτων μπορούν να αξιοποιηθούν σε εκπαιδευτικές δραστηριότητες. Η επίδρασή τους στην κριτική σκέψη και στην επίλυση προβλημάτων χρειάζεται ξεχωριστή μαθησιακή αξιολόγηση.

4.3 Ανατροφοδότηση από εκπαιδευτικούς

Η αξιολόγηση του προτεινόμενου εικονικού εργαστηρίου θα μπορούσε να περιλαμβάνει συλλογή ανατροφοδότησης από εκπαιδευτικούς και φοιτητές μέσω συνεντεύξεων ή ερωτηματολογίων. Η διαδικασία αυτή θα επέτρεπε τη διερεύνηση της χρηστικότητας του περιβάλλοντος, των δυσκολιών κατά την εκτέλεση των ασκήσεων και των αναγκών για βελτίωση του εκπαιδευτικού υλικού. Αποτελεί πρόταση μελλοντικής αξιολόγησης και δεν πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

5ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

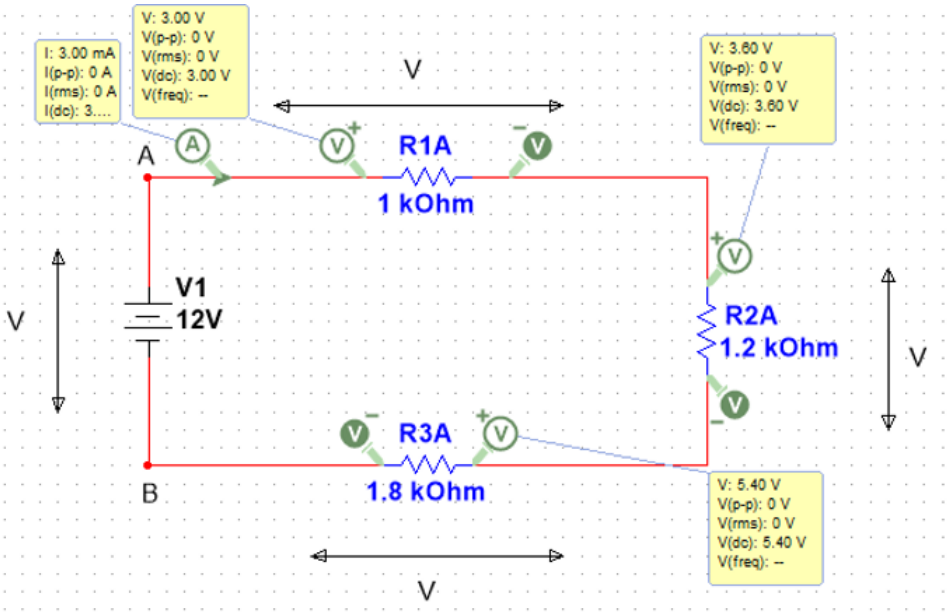
5.1 Νόμοι του Kirchhoff - Διαιρέτες τάσης και ρεύματος

Σκοπός:

Ο σκοπός της άσκησης είναι κάθε φοιτητής να έρθει σε επαφή και να μάθει να χρησιμοποιεί τα βασικά όργανα του εργαστηρίου πολύμετρου και τροφοδοτικό συνεχούς τάσης μέσω της εφαρμογής προσομοίωσης multisim. Να επαληθεύσει τον νόμο του ohm και τους νόμους του kirchhoff σε διαφορετικές μορφές κυκλωμάτων με αντιστάτες και μία πηγή τάσης. Να επαληθεύσει επίσης τις σχέσεις που ισχύουν για τον διαιρέτη τάσης και τον διαιρέτη ρεύματος.

Πορεία Εργασίας:

Ρυθμίζουμε το πολύμετρο αντίστοιχα για τις μετρήσεις αντίστασης, τάσης και ρεύματος και μετράμε τις τιμές των αντιστάσεων R_1 , R_2 και R_3.



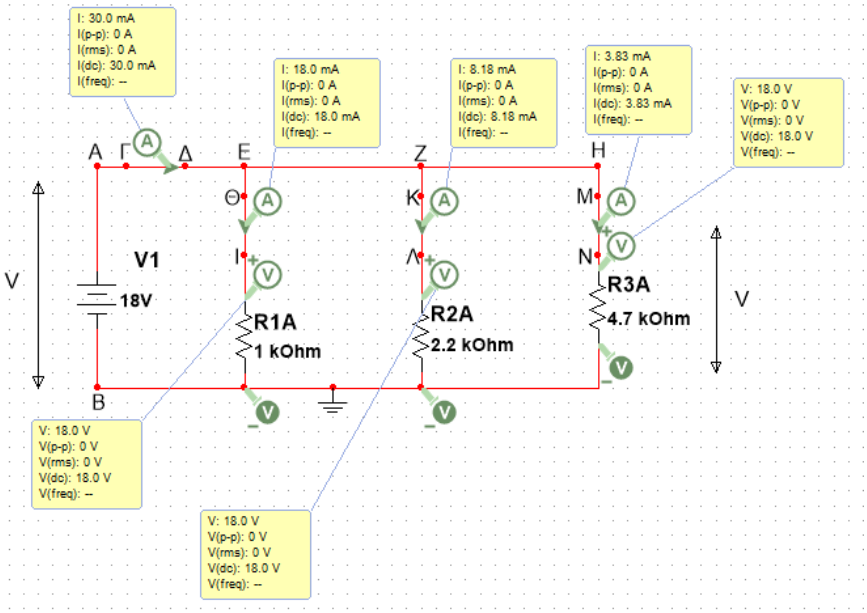
Εικόνα 1: Μέτρηση αντιστάσεων σε σειρά

Μετρήσεις Κυκλώματος:

Πίνακας 1: Μέτρηση αντιστάσεων σε Σειρά

A/A	Ωμόμετρο Multisim (kΩ)	Ωμόμετρο Πειραματικά (kΩ)	VDC Multisim (V)	VDC Πειραματικά (V)	IDC Multisim (mA)	IDC Πειραματικά (mA)	R Θεωρητική (kΩ)
R1	1,00	0,99	3,00	3,07	3,00	2,98	1,00
R2	1,20	1,19	3,60	3,61	3,00	2,98	1,20

R3	1,80	1,80	5,40	5,36	3,00	2,98	1,80
Ρολ	4,00	3,98	12,00	11,99	3,00	2,98	4,00



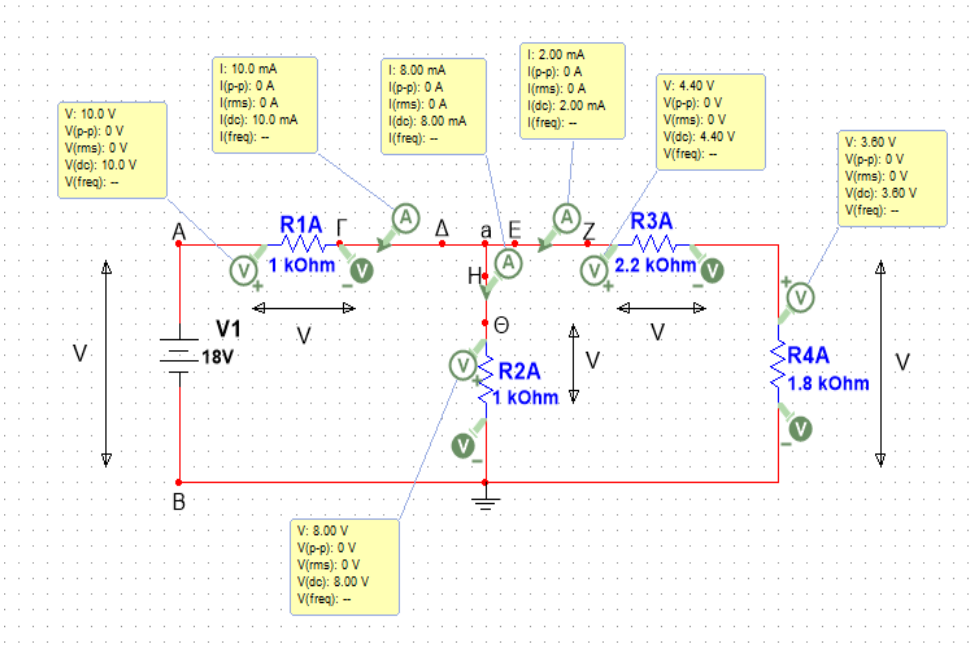
Εικόνα 2: Παράλληλη συνδεσμολογία

Στην συνέχεια κατασκευάστε το κύκλωμα παραλληλίας με τρεις αντιστάσεις που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, ρυθμίζοντας το πολύμετρο κατάλληλα για την μέτρηση των αντιστάσεων.

Πίνακας 2: Μέτρηση αντιστάσεων σε παράλληλη συνδεσμολογία

A/A	**VDC Multisim (V)**	**VDC Πειραματικά (V)**	**IDC Multisim (mA)**	**IDC Πειραματικά (mA)**	**R Multisim (kΩ)**	**R Πειραματικά (kΩ)**	**Σφάλμα (%)**
R1	18,00	18,03	18,00	18,24	1,00	0,98	2,04 %
R2	18,00	18,04	8,18	8,28	2,20	2,17	1,38 %
R3	18,00	18,04	3,83	3,83	4,69	4,70	0,21 %
Ρολ	18,00	18,04	3,30	3,30	0,60	0,59	0,16 %

Συνεχίζοντας την άσκηση, δημιουργήστε το τελευταίο κύκλωμα με μικτή συνδεσμολογία και μετρήστε με το πολύμετρο τις αντιστάσεις.



Εικόνα 3: Μικτή συνδεσμολογία

Πίνακας 3: Μέτρηση αντιστάσεων σε Μικτή συνδεσμολογία

A/A	VDC Multisim (V)	VDC Πειραματικά (V)	IDC Multisim (mA)	IDC Πειραματικά (mA)	R Multisim (kΩ)	R Πειραματικά (kΩ)	Σφάλμα (%)
R1	10,00	10,01	10,00	10,09	1,00	0,99	1,01 %
R2	8,00	8,02	8,00	8,00	1,00	0,99	1,01 %
R3	4,40	4,38	2,00	1,98	2,20	2,21	0,45 %
R4	3,60	3,63	2,00	1,98	1,80	1,83	1,63 %
Ρολ	18,00	18,04	10,00	10,07	1,80	1,79	0,5 %

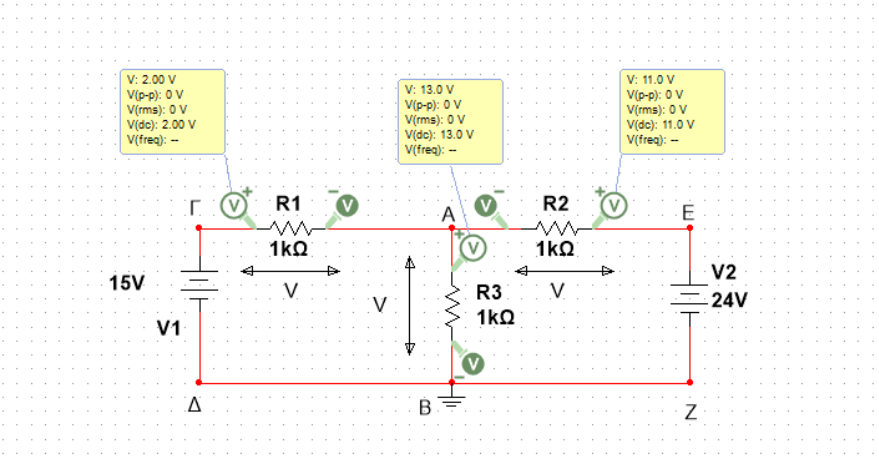
5.2 Θεώρημα επαλληλίας

Σκοπός:

Ο σκοπός της άσκησης είναι κάθε φοιτητής να διαπιστώσει την αξία του θεωρήματος επαλληλίας και να επαληθεύσει τα θεωρήματα Thevenin και Norton μέσα από μετρήσεις ακριβείας απο την υλοποίηση των κυκλωμάτων.

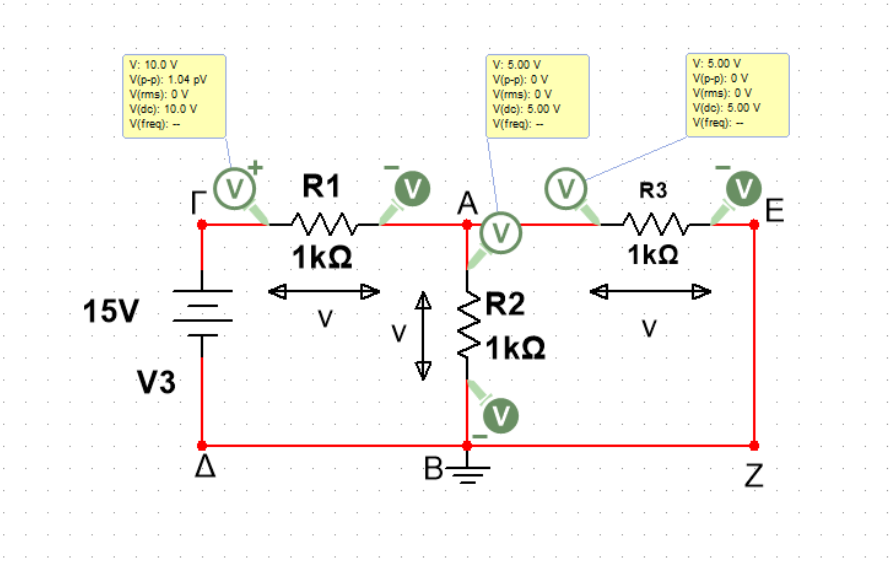
Πορεία Εργασίας:

Συνδέστε 2 πήγες **15 Volt** και **24 Volt** αντίστοιχα και ρυθμίστε το πολύμετρο ωστε να μετρήσετε κατάλληλα τις αντιστάσεις R_1 , R_2 και R_3.



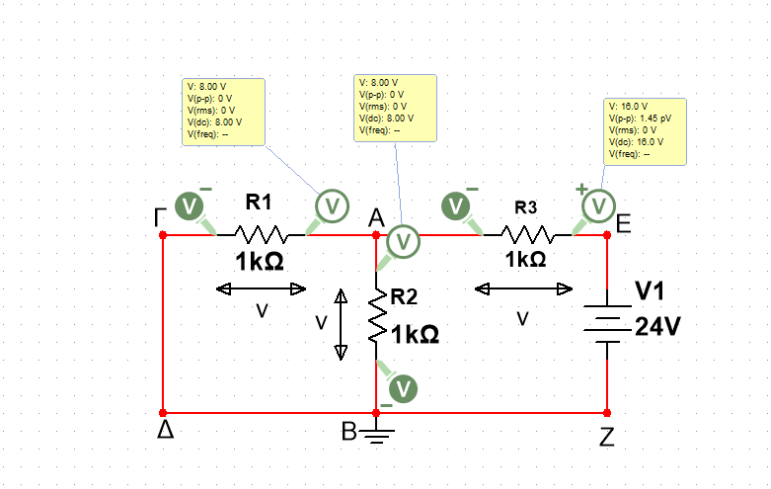
Εικόνα 4: Θεώρημα επαλληλίας

Στην συνέχεια αφαιρείτε τη μία πηγή ρυθμίζεται κατάλληλα το πολύμετρο και μετράτε την πτώση τάση στις αντιστάσεις.



Εικόνα 5: Κύκλωμα με πηγή 15 Volt

Αφαιρείτε τη πηγή **15 Volt** και τοποθετείτε την **24 Volt.** Ρυθμίζεται κατάλληλα το πολύμετρο και μετράτε την πτώση τάση στις αντιστάσεις.



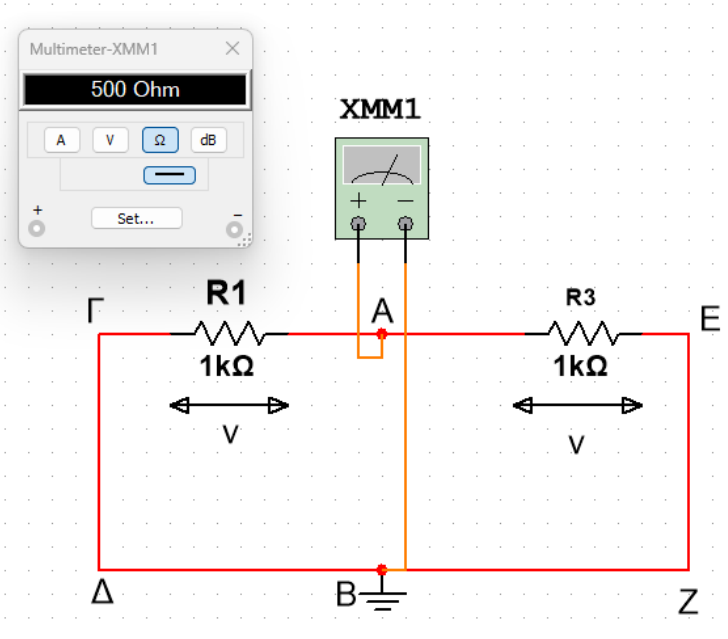
Εικόνα 6: Κύκλωμα με πηγή 24 Volt

Μετρήσεις Κυκλώματος:

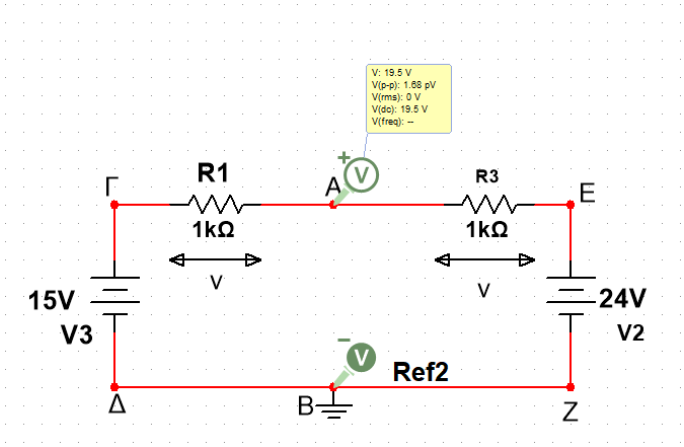
Πίνακας 4: Μέτρηση αντιστάσεων θεώρημα επαλληλίας

A/A	Ωμόμετρο (kΩ)	VDC Multisim (V)	VDC Πειραματικά (V)	VDC (15) Multisim (V)	VDC (15) Πειραματικά (V)	VDC (24) Multisim (V)	VDC (24) Πειραματικά (V)
R1	0,99	2,00	1,97	10,00	9,99	8,00	8,43
R2	0,99	13,00	12,97	5,00	4,99	8,00	8,04
R3	0,99	11,00	11,02	5,00	4,99	16,00	15,95

Στην συνέχεια βρείτε το ισοδύναμο κατα Thevenin κύκλωμα ως προς τα ανοιχτά άκρα ΑΒ.



Εικόνα 7: Μέτρηση της αντίστασης $R_{Thevenin}$ με ωμόμετρο



Εικόνα 8: Μέτρηση της τάσης Thevenin

Πίνακας 5: Μέτρηση τιμών για Thevenin

R_{th} **Multisim**	R_{th} **Πειραματικά**	V_{th} **Multisim**	V_{th} **Πειραματικά**
500 Ω	497 Ω	19,5 Volt	19,5 Volt

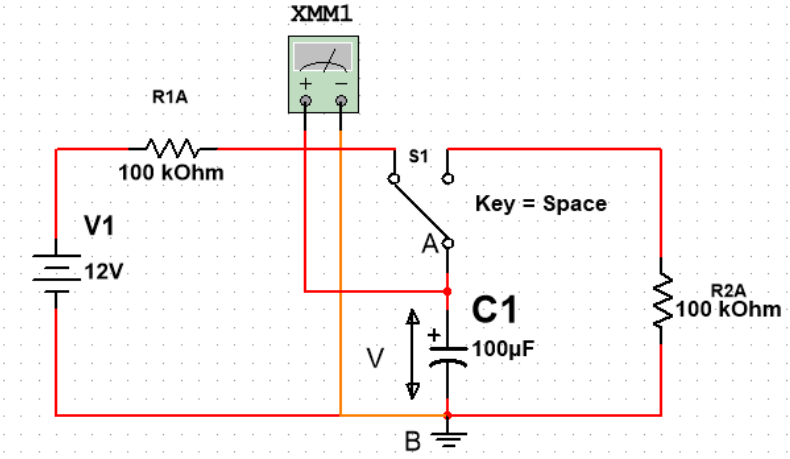
5.3 Μελέτη του πυκνωτή στο συνεχές – μεταβατικά φαινόμενα

Σκοπός:

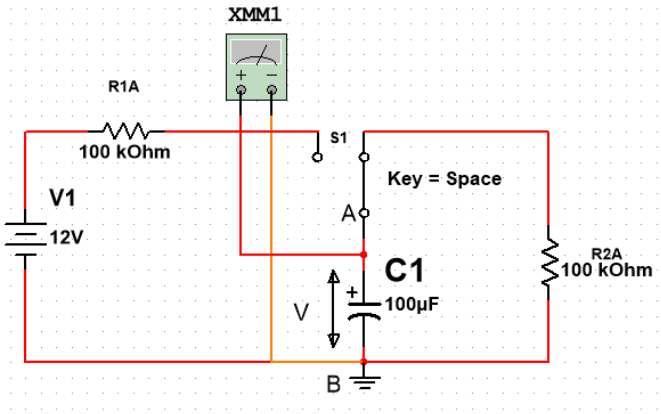
Ο σκοπός της άσκησης είναι κάθε φοιτητής να μελετήσει τον πυκνωτή ως παθητικό εξάρτημα και τη συμπεριφορά του στο συνεχές ρεύμα. Να γνωρίσει επίσης τον τρόπο λειτουργίας δύο ακόμη πολύ σημαντικών οργάνων του εργαστηρίου της γεννήτριας συχνοτήτων και του παλμογράφου που με την βοήθειά τους μπορούν να γίνουν μετρήσεις τόσο στο συνεχές όσο και στο εναλλασσόμενο ρεύμα.

Πορεία Εργασίας:

Ρυθμίστε την πηγή στα 12V και μετρήστε τις τιμές των αντιστατών R_A, R_B, R_C . Καταγράψτε τα ζευγάρια των τιμών τάσης στα άκρα του πυκνωτή και χρόνου σε δευτερόλεπτα παίρνοντας τις μετρήσεις ανα **5 sec.**



Εικόνα 9: Φόρτιση πυκνωτή για 100μF



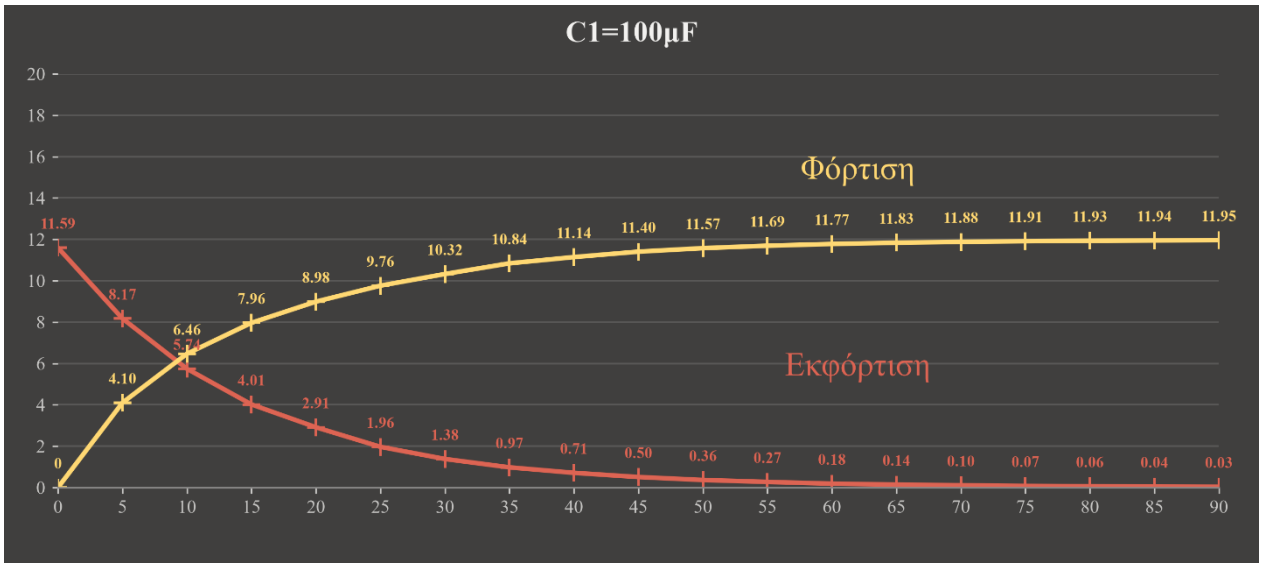
Εικόνα 10: Εκφόρτιση πυκνωτή για 100μF

Μετρήσεις Κυκλώματος:

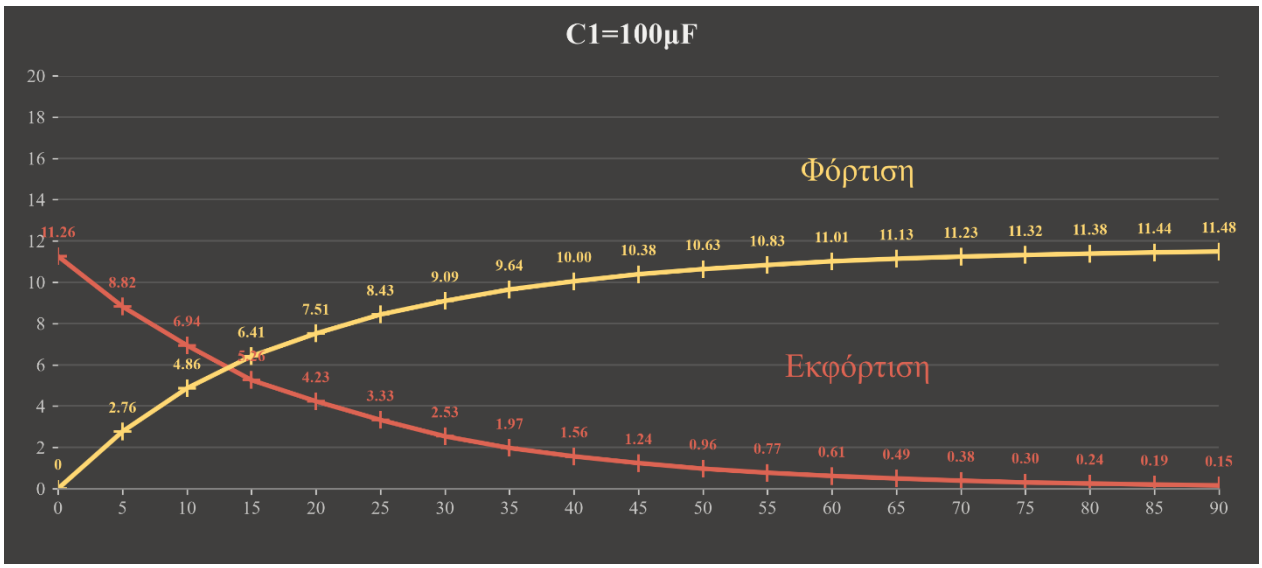
Πίνακας 6: Φόρτιση και εκφόρτιση Πυκνωτή για 100μF

Χρόνος (s)	Φόρτιση (Multisim)	Φόρτιση (Πειραματικά)	Εκφόρτιση (Multisim)	Εκφόρτιση (Πειραματικά)
0	0	0	11.26	11.59
5	2.76	4.10	8.82	8.17
10	4.86	6.46	6.94	5.74
15	6.41	7.96	5.26	4.01
20	7.51	8.98	4.23	2.91
25	8.43	9.76	3.33	1.96
30	9.09	10.32	2.53	1.38
35	9.64	10.84	1.97	0.97
40	10.0	11.14	1.56	0.71
45	10.38	11.40	1.24	0.50

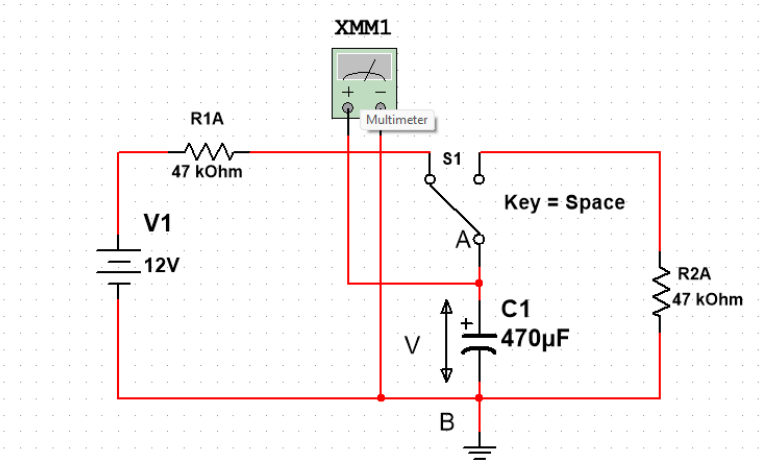
Χρόνος (s)	Φόρτιση (Multisim)	Φόρτιση (Πειραματικά)	Εκφόρτιση (Multisim)	Εκφόρτιση (Πειραματικά)
0	0	0	11.26	11.59
5	2.76	4.10	8.82	8.17
50	10.63	11.57	0.96	0.36
55	10.83	11.69	0.77	0.27
60	11.01	11.77	0.61	0.18
65	11.13	11.83	0.49	0.14
70	11.23	11.88	0.38	0.10
75	11.32	11.91	0.30	0.07
80	11.38	11.93	0.24	0.06
85	11.44	11.94	0.19	0.04
90	11.48	11.95	0.15	0.03



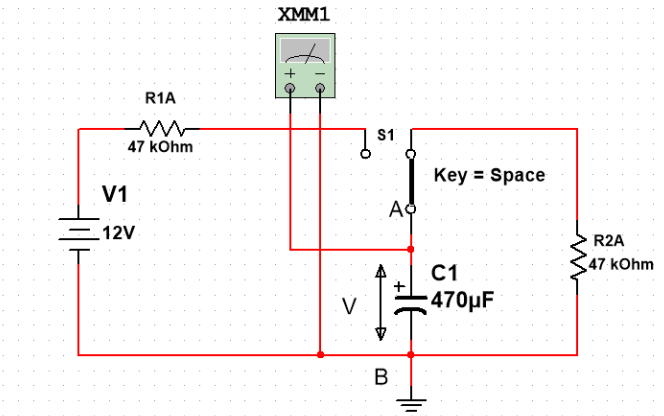
Εικόνα 11: Φόρτιση και Εκφόρτιση πυκνωτή 100μF Πειραματικά



Εικόνα 12: Φόρτιση και Εκφόρτιση πυκνωτή 100μF στο Multisim



Εικόνα 13: Φόρτιση πυκνωτή για 470μF

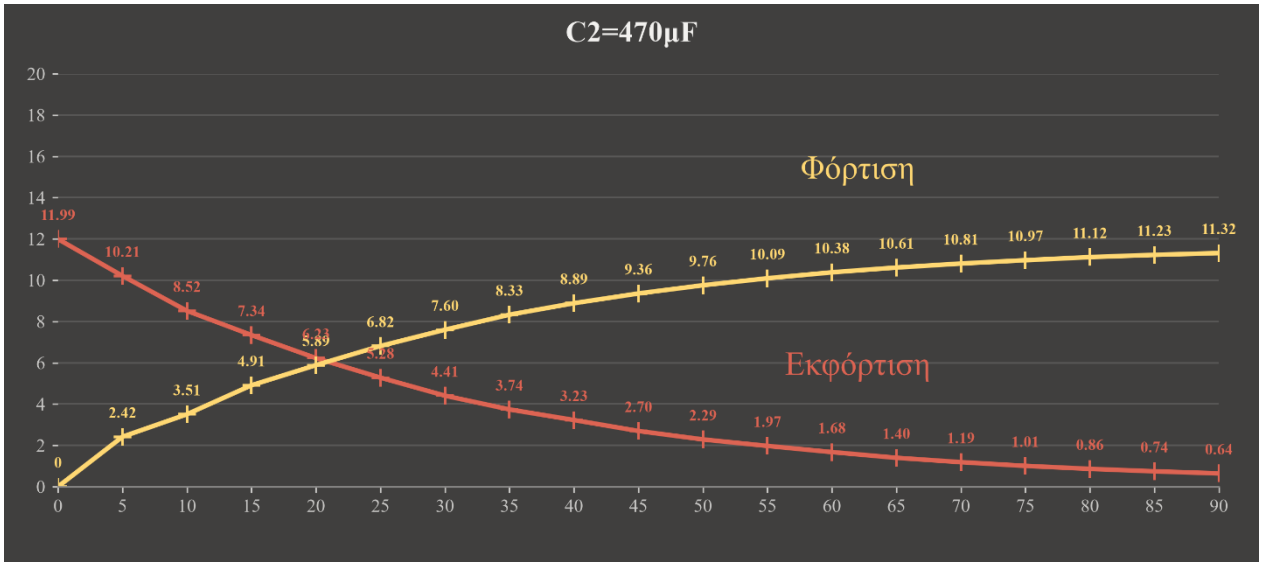


Εικόνα 14: Εκφόρτιση πυκνωτή για 470μF

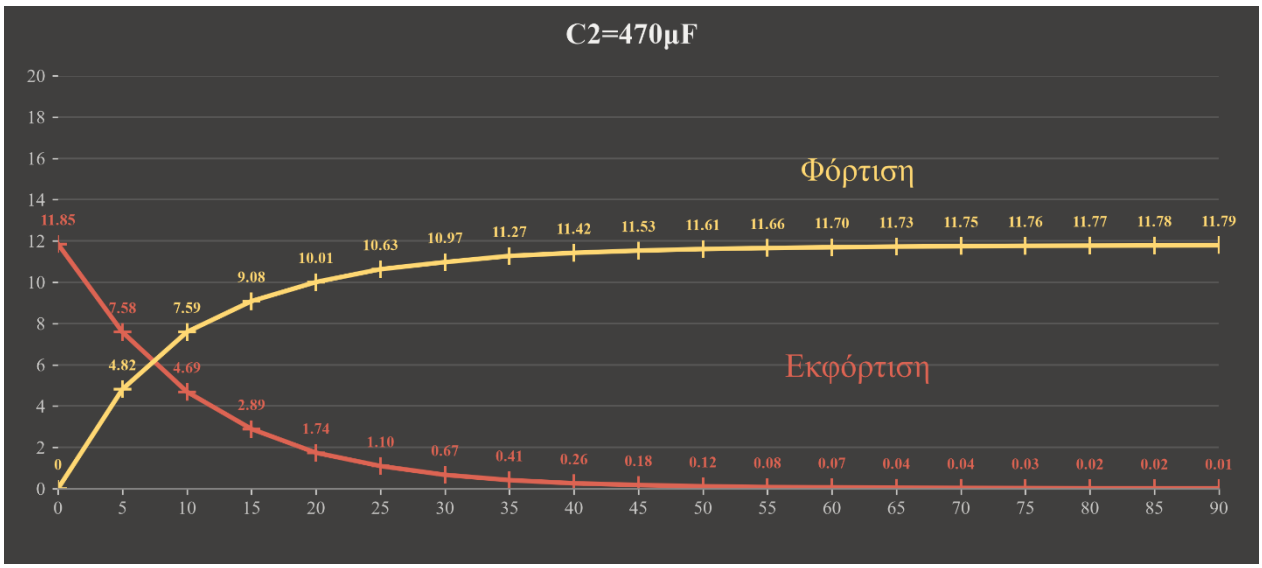
Πίνακας 7: Φόρτιση και εκφόρτιση Πυκνωτή για 470μF

Χρόνος (s)	**Φόρτιση (Multisim)**	**Φόρτιση (Πειραματικά)**	**Εκφόρτιση (Multisim)**	**Εκφόρτιση (Πειραματικά)**
0	0	0	11.85	11.99

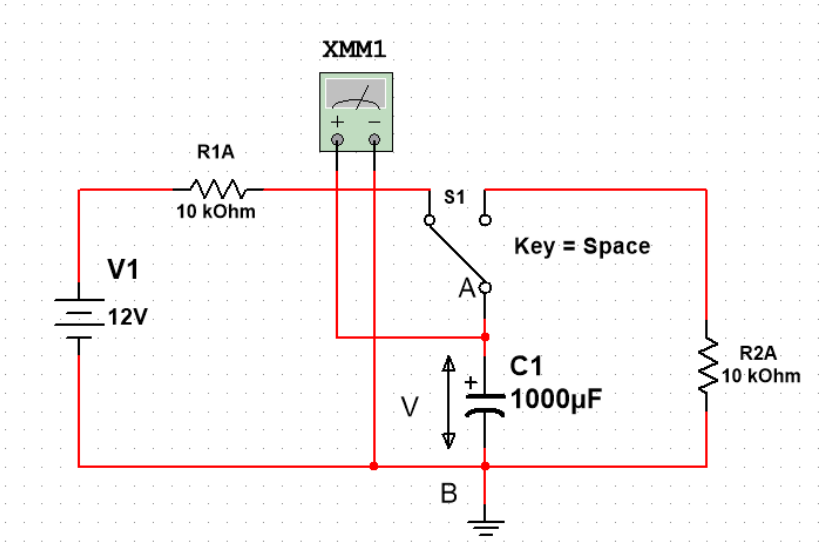
5	4.82	2.42	7.58	10.21
10	7.59	3.51	4.69	8.52
15	9.08	4.91	2.89	7.34
20	10.01	5.89	1.74	6.23
25	10.63	6.82	1.10	5.28
30	10.97	7.60	0.67	4.41
35	11.27	8.33	0.41	3.74
40	11.42	8.89	0.26	3.23
45	11.53	9.36	0.18	2.70
50	11.61	9.76	0.12	2.29
55	11.66	10.09	0.08	1.97
60	11.70	10.38	0.07	1.68
65	11.73	10.61	0.04	1.40
70	11.75	10.81	0.04	1.19
75	11.76	10.97	0.03	1.01
80	11.77	11.12	0.02	0.86
85	11.78	11.23	0.02	0.74
90	11.79	11.32	0.01	0.64



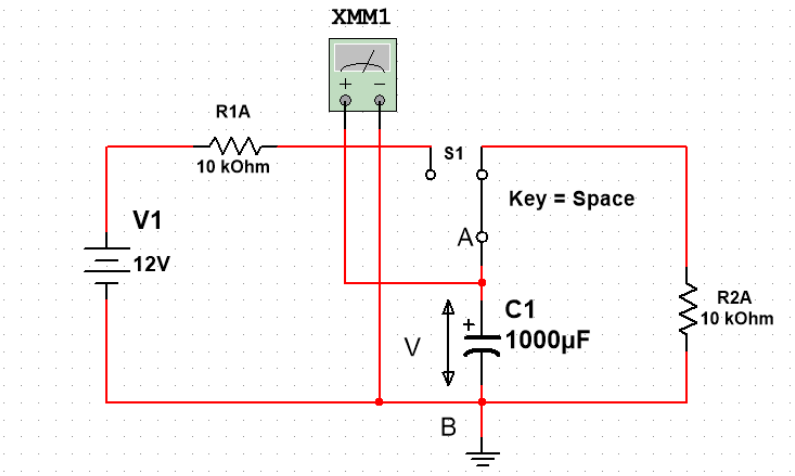
Εικόνα 15: Φόρτιση και Εκφόρτιση πυκνωτή 470μF Πειραματικά



Εικόνα 16: Φόρτιση και Εκφόρτιση πυκνωτή 470μF στο Multisim



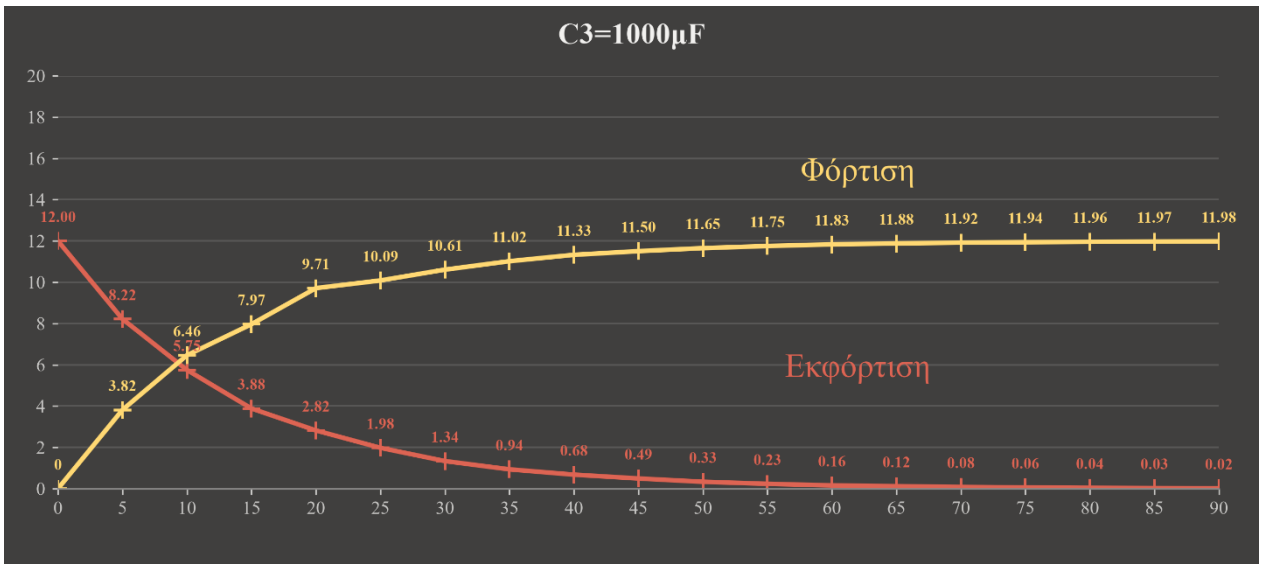
Εικόνα 17: Φόρτιση πυκνωτή για 1000μF



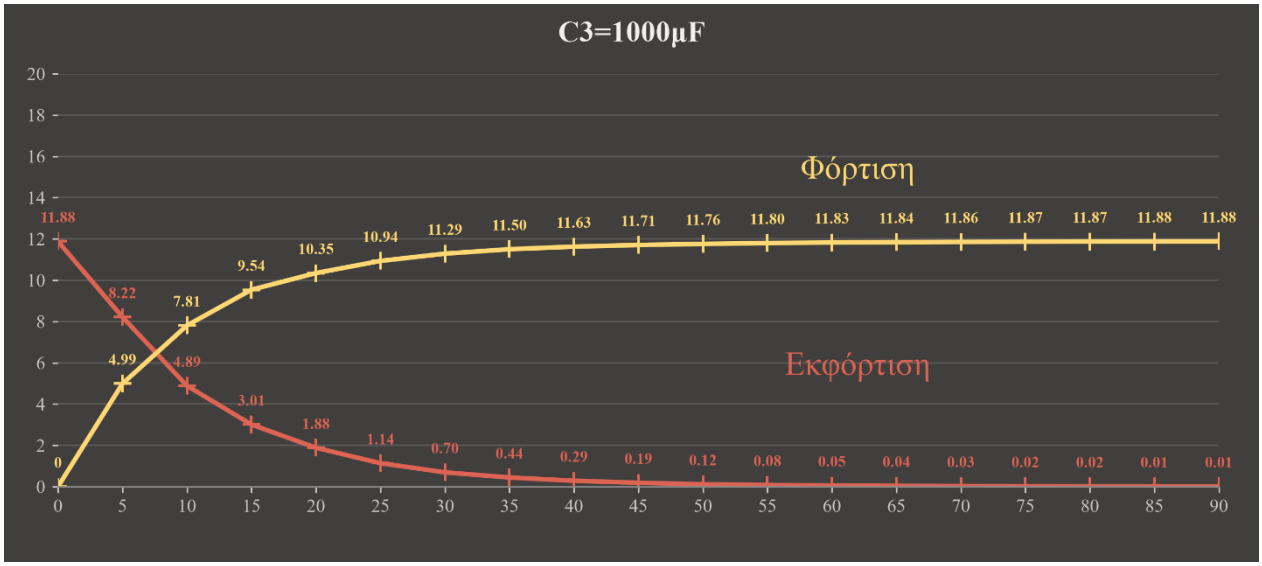
Εικόνα 18: Εκφόρτιση πυκνωτή για 1000μF

Πίνακας 8: Φόρτιση και εκφόρτιση Πυκνωτή για 1000μF

Χρόνος (s)	Φόρτιση (Multisim)	Φόρτιση (Πειραματικά)	Εκφόρτιση (Multisim)	Εκφόρτιση (Πειραματικά)
0	0	0	11.88	12.00
5	4.99	3.82	8.22	8.22
10	7.81	6.46	4.89	5.75
15	9.54	7.97	3.01	3.88
20	10.35	9.71	1.88	2.82
25	10.94	10.09	1.14	1.98
30	11.29	10.61	0.70	1.34
35	11.50	11.02	0.44	0.94
40	11.63	11.33	0.29	0.68
45	11.71	11.50	0.19	0.49
50	11.76	11.65	0.12	0.33
55	11.80	11.75	0.08	0.23
60	11.83	11.83	0.05	0.16
65	11.84	11.88	0.04	0.12
70	11.86	11.92	0.03	0.08
75	11.87	11.94	0.02	0.06
80	11.87	11.96	0.02	0.04
85	11.88	11.97	0.01	0.03
90	11.88	11.98	0.01	0.02



Εικόνα 19: Φόρτιση και Εκφόρτιση πυκνωτή 1000μF Πειραματικά



Εικόνα 20: Φόρτιση και Εκφόρτιση πυκνωτή 1000μF στο Multisim

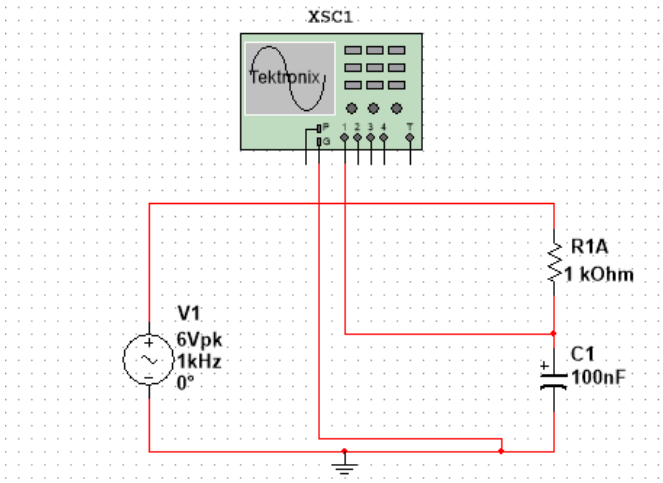
5.4 Ανάλυση κυκλωμάτων R – C στο εναλλασσόμενο

Σκοπός:

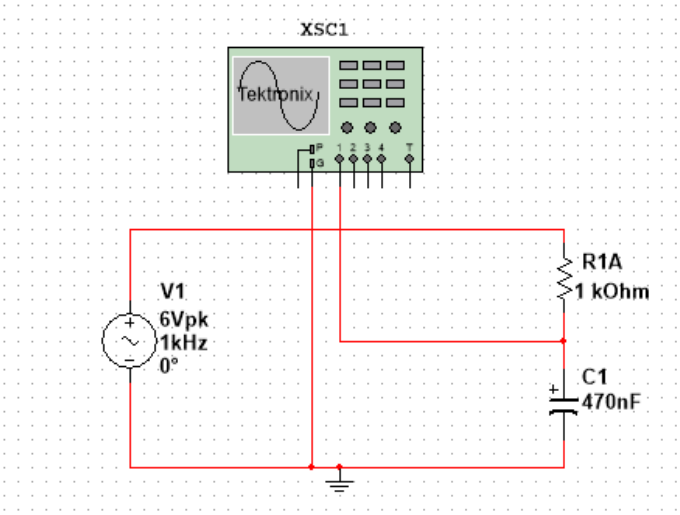
Ο σκοπός της άσκησης είναι κάθε φοιτητής να μελετήσει στο εναλλασσόμενο κύκλωμα που αποτελούνται από μία αντίσταση και έναν πυκνωτή συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα. Να εμβαθύνει επίσης στον τρόπο λειτουργίας δύο ακόμη πολύ σημαντικών οργάνων του εργαστηρίου της γεννήτριας των συχνοτήτων και του παλμογράφου που με την βοήθεια τους μπορούν να γίνουν μετρήσεις τόσο στο συνεχές όσο και στο εναλλασσόμενο ρεύμα.

Πορεία Εργασίας:

Κατασκευάστε το κύκλωμα της άσκησης το οποίο αποτελείται από μία πηγή ημιτονικού σήματος, έναν αντιστάτη και έναν πυκνωτή συνδεδεμένα σε σειρά. Ως πηγή ημιτονικού σήματος θα χρησιμοποιήσετε την γεννήτρια συχνοτήτων. Ρυθμίστε την συχνότητα **1KHz** και την τάση $\mathbf{V_{p-p}}$ **=12 Volt.**



Εικόνα 21: Σύνδεση γεννήτριας και παλμογράφου για C = 100nF



Εικόνα 22: Σύνδεση γεννήτριας και παλμογράφου για C = 470nF

Μετρήσεις Κυκλώματος:

Πίνακας 9: Μέτρηση με γεννήτρια ημιτονικού σήματος

Μέτρηση	**C1 = 100nF Multisim**	**C1 = 100nF Πειραματικό**	**C2 = 470nF Multisim**	**C2 = 470nF Πειραματικό**
Vs p-p (V)	12,00	11,40	12,00	11,84
VR p-p (V)	10,10	9,72	11,90	8,14
VC p-p (V)	6,40	6,08	3,83	3,70
I (mA)	3,12	3,00	3,51	3,25

Vs rms (V)	4,24	3,14	4,24	3,47
VC rms (V)	3,59	2,78	1,36	1,19
VR rms (V)	2,26	1,06	4,02	3,28

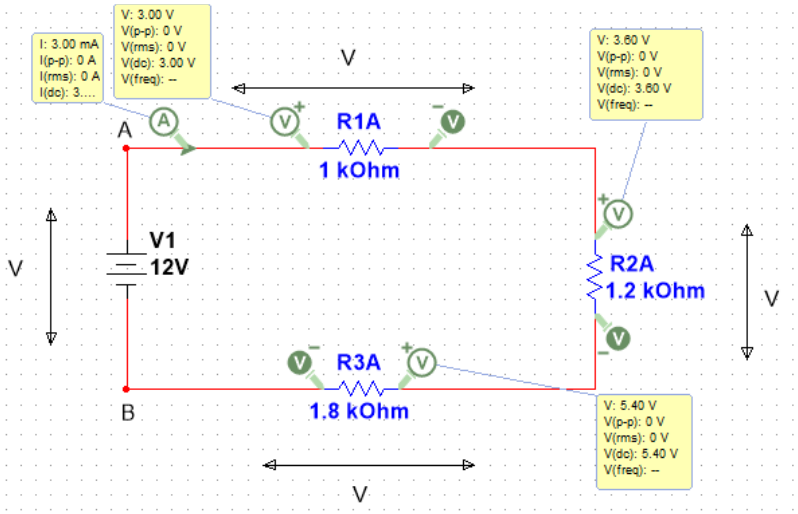
5.5 Βασικοί νόμοι – Γνωριμία με τα όργανα

Σκοπός:

Ο σκοπός της άσκησης είναι κάθε φοιτητής να έρθει σε επαφή και να μάθει να χρησιμοποιεί τα βασικά όργανα του εργαστηρίου πολύμετρο τροφοδοτικό συνεχούς τάσης και γεννήτρια. Να επαληθεύσει επίσης τον νόμο του Ohm και τους κανόνες του Kirchhoff σε ένα απλό κύκλωμα με αντιστάσεις και μία πηγή τάσης.

Πορεία Εργασίας:

Ρυθμίστε τον βολτόμετρο και τοποθετήστε τον στα σημεία **A – B** για να μετρήσετε το V_{DC}. Αποσυνδέστε την πηγή και στην θέση της τοποθετήστε την γεννήτρια κύκλωμα (β). Τοποθετήστε ξανά το βολτόμετρο στα σημεία **A – B** και ρυθμίστε την γεννήτρια στα 6 **V** (τάση rms) και την συχνότητα στα 200**Hz**.



Εικόνα 23: Μέτρηση αντιστάσεων με πηγή συνεχούς τάσης

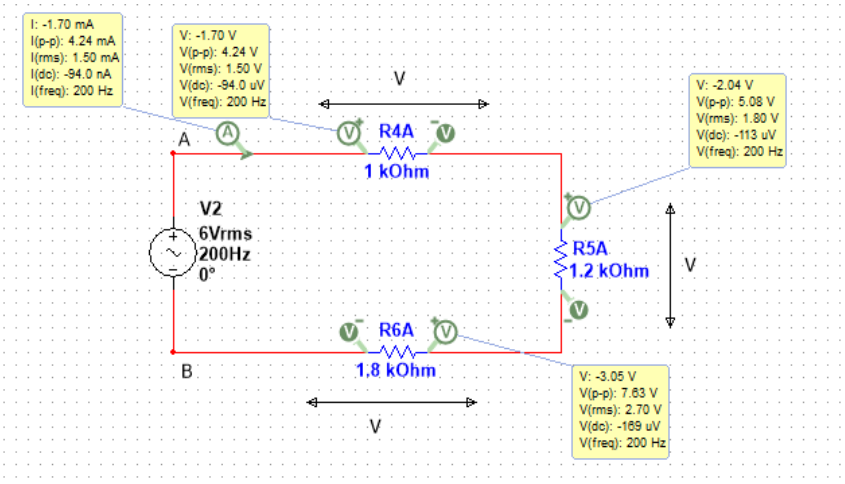
Μετρήσεις Κυκλώματος:

Πίνακας 10: Μέτρηση με γεννήτρια ημιτονικού σήματος κύκλωμα Α

A/A	**V_{DC} Multisim (V)**	**V_{DC} Πειραματικό (V)**	**I_{DC} Multisim (mA)**	**I_{DC} Πειραματικό (mA)**	**R (kΩ) Multisim**	**R (kΩ) Πειραματικό**

R_1	3,00	3,12	3,0	3,10	1,00	1,00
R_2	3,60	3,75	3,0	3,12	1,20	1,20
R_3	5,40	5,30	3,0	3,14	1,20	1,20

Αποσυνδέστε την πηγή και στην θέση της τοποθετήστε την γεννήτρια.



Εικόνα 24: Μέτρηση αντιστάσεων με πηγή ημιτονικού σήματος

Πίνακας 11: Μέτρηση με γεννήτρια ημιτονικού σήματος κύκλωμα Β

Α/Α	**V_{RMS} Multisim (V)**	**V_{RMS} Πειραματικό (V)**	**I_{RMS} Multisim (mA)**	**I_{RMS} Πειραματικό (mA)**	**R (kΩ) Multisim**	**R (kΩ) Πειραματικό**
R_1	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00	1,00
R_2	1,80	1,80	1,50	1,50	1,20	1,20
R_3	2,70	2,70	1,50	1,50	1,20	1,20

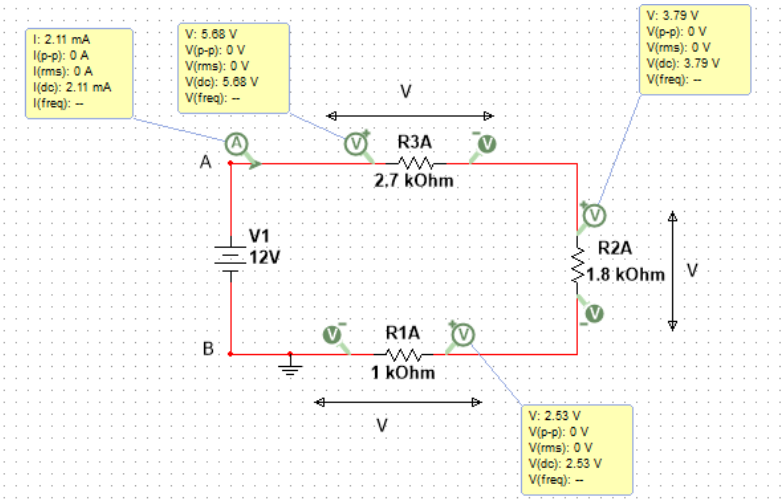
5.6 Γνωριμία με τα Όργανα - Παλμογράφος

Σκοπός:

Ο σκοπός της άσκησης είναι κάθε φοιτητής να εξασκηθεί στις βασικές λειτουργίες του παλμογράφου και να μάθει να τον χρησιμοποιεί σωστά στη μέτρηση συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσης.

Πορεία Εργασίας:

Για το κύκλωμα ρυθμίστε το τροφοδοτικό στα **12V.** Ρυθμίστε τον παλμογράφο και τοποθετήστε τον στα σημεία **A – B** για να μετρήσετε το V_{DC}.



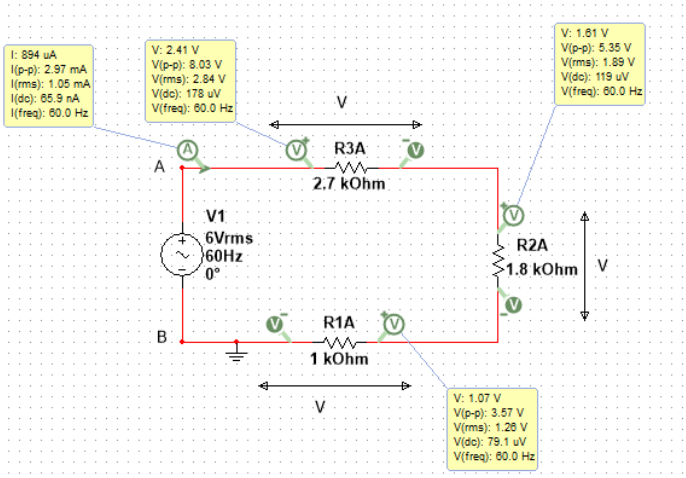
Εικόνα 25: Σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά και πηγή συνεχούς τάσης

Μετρήσεις Κυκλώματος:

Πίνακας 12: Μέτρηση τιμών με παλμογράφο

A/A	**V_{DC} (Παλμογράφος) Multisim**	**V_{DC} (Παλμογράφος) Πειραματικά**	**V_{DC} (Πολύμετρο) Multisim**	**V_{DC} (Πολύμετρο) Πειραματικά**
R_1	2,53	2,55	2,53	2,16
R_2	3,79	4,33	3,790	3,93
R_3	5,68	6,33	5,68	5,89

Στην συνέχεια αλλάξτε την πηγή και τοποθετήστε την γεννήτρια ημιτονικού σήματος.



Εικόνα 26: Σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά και πηγή γεννήτριας ημιτονικού σήματος

Πίνακας 13: Μέτρηση τιμών με παλμογράφο και ως πηγή γεννήτρια ημιτονικού σήματος

A/A	Συχνότητα Γεννήτριας	V_{P-P} (Παλμογράφος) Multisim	V_{P-P} (Παλμογράφος) Πειραματικά	V_{RMS} (Πολύμετρο) Multisim	V_{RMS} (Πολύμετρο) Πειραματικά
R_1	200 Hz	3,57	3,00	1,26	1,06
R_2	200 Hz	5,35	5,80	1,89	2,02
R_3	200 Hz	8,03	8,60	2,84	2,88
R_1	400 Hz	3,57	3,00	1,26	1,06
R_2	400 Hz	5,35	5,80	1,89	2,02
R_3	400 Hz	8,03	8,60	2,84	2,88

5.7 Η Δίοδος ως Ημιαγωγός.

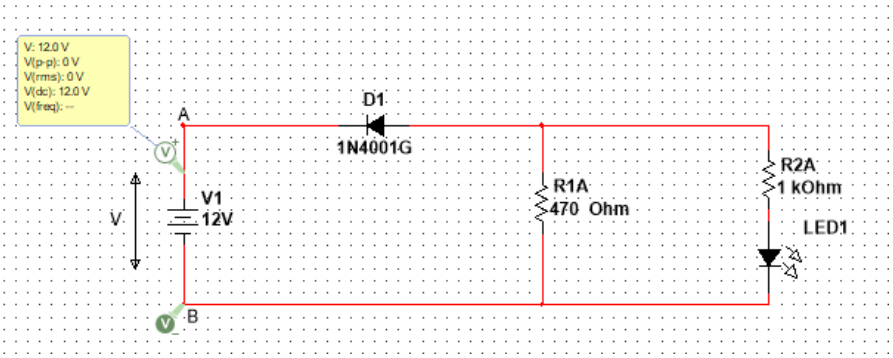
Σκοπός:

Σκόπος της άσκησης είναι κάθε φοιτητής να γνωρίσει ένα από τα βασικότερα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, τη δίοδο. Να μελετήσει την δομή της, την συμπεριφορά της κατά την ορθή και την ανάστροφη πόλωση, τη στατιστική χαρακτηριστική της και τέλος να παρατήσει τη συμπεριφορά της κατά τη χρήση της στα διάφορα κυκλώματα.

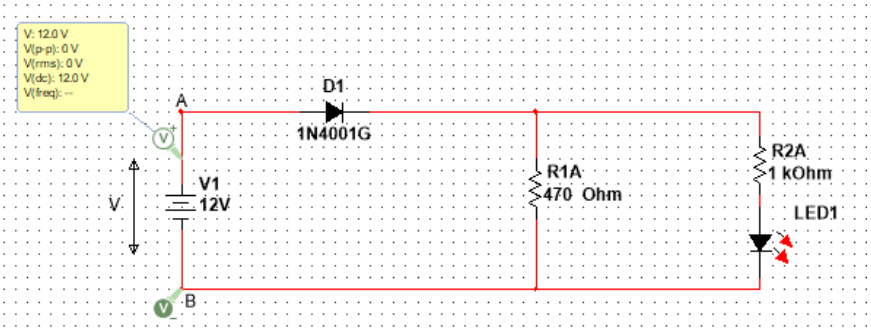
Πορεία Εργασίας:

Στην αρχή ρυθμίστε το τροφοδοτικό και ξεκινήστε να αυξάνεται την τάση σίγα σίγα εως **12V**. Μετρήστε πάνω στην δίοδο με το πολύμετρο.

Μετρήσεις Κυκλώματος:



Εικόνα 27: Ανάστροφη Πόλωση Διόδου



Εικόνα 28: Ορθή Πόλωση Διόδου

Πειραματική μέτρηση:

RΟρθής πόλωση = 2,813 MOhm

RΑνάστροφης πόλωσης = 8,040 MOhm

Μέτρηση εργαστηρίου:

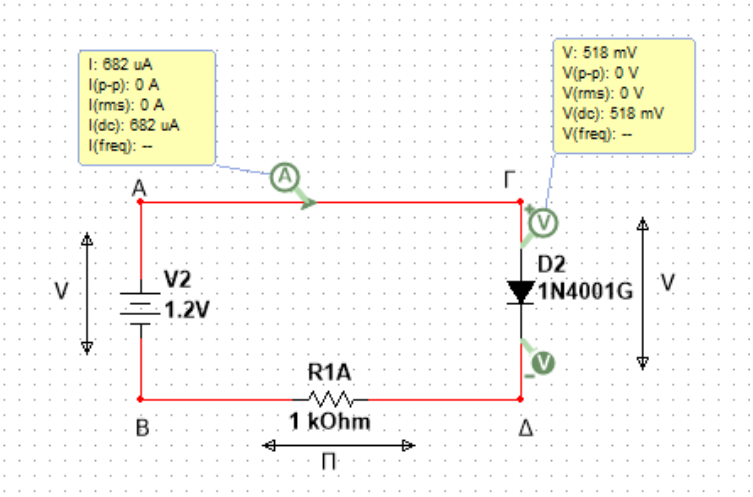
RΟρθής πόλωση = 0,676 V

RΑνάστροφης πόλωσης = ∞

Τι παρατηρείται:

Παρατηρείται οτι στο κύκλωμα ορθής πόλωσης το Led αρχίζει να άγει σίγα- σιγά όσο αυξάνεται η τάση. Ενώ όταν αναστρέψετε την δίοδο δεν θα διέρχεται ρεύμα από το Led και έτσι δεν θα μπορέσει να άγει.

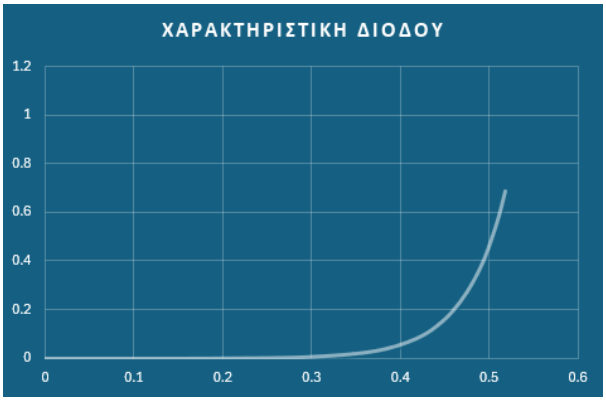
Στην συνέχεια κατασκευάστε το 2ο κύκλωμα. Ρυθμίστε το τροφοδοτικό και ξεκινήστε να αυξάνεται την τάση σίγα σίγα εως **30V**.



Εικόνα 29: Ορθή Πόλωση Διόδου κύκλωμα Β

Πίνακας 14: Μέτρηση τάσης και ρεύματος στην ορθή πόλωση της διόδου

$V_{(mV)}$	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1.0	1.1	1.2
V_{R1} (Multisim)	0	99,9 mV	199 mV	294 mV	370 mV	418 mV	447 mV	467 mV	482 mV	494 mV	503 mV	511 mV	518 mV
V_{R1} (Πειραματικό)	0	118,0 mV	118,8 mV	270,9 mV	359,3 mV	0,450 V	0,485 V	0,518 V	0,530 V	0,549 V	0,556 V	0,562 V	0,572 V
$I_{(mA)}$ (Multisim)	0	0	0	0	0,02 mA	0,08 mA	0,15 mA	0,23 mA	0,31 mA	0,40 mA	0,49 mA	0,58 mA	0,68 mA
$I_{(mA)}$ (Πειραματικό)	0	0	0	0	0,01 mA	0,02 mA	0,08 mA	0,16 mA	0,28 mA	0,34 mA	0,44 mA	0,50 mA	0,61 mA



Εικόνα 30: Χαρακτηριστική καμπύλη διόδου στο Multisim

Εικόνα 31: Χαρακτηριστική καμπύλη διόδου Πειραματικά

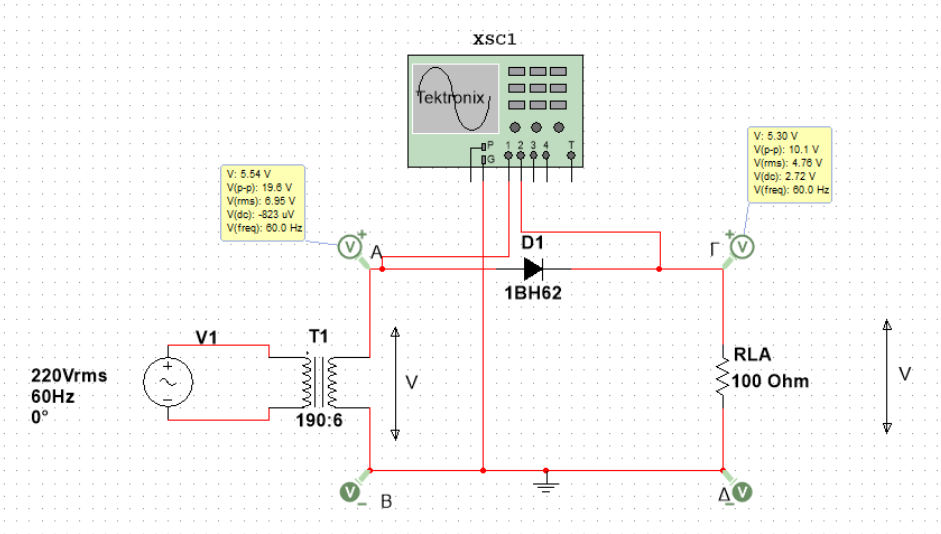
5.8 Απλή ανόρθωση ή ημιανόρθωση

Σκοπός:

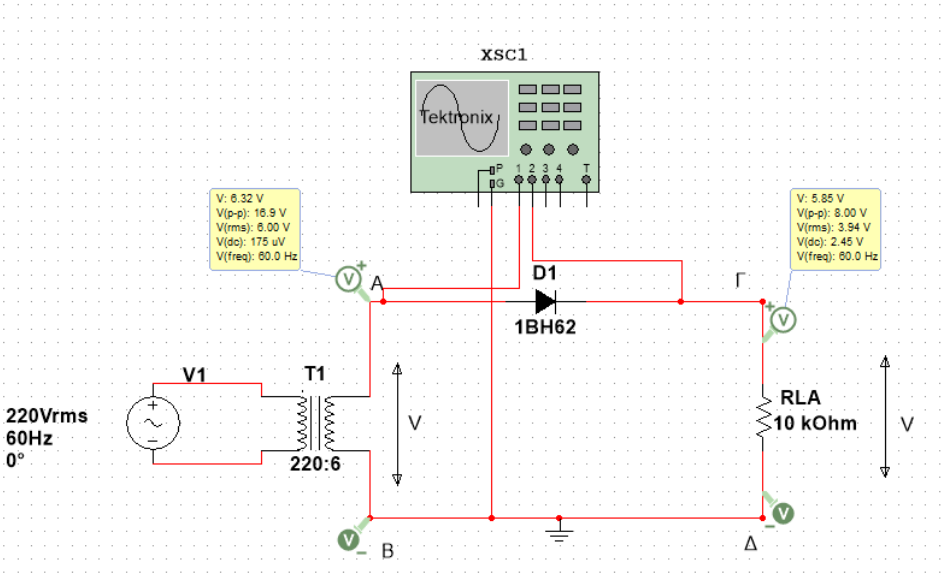
Σκοπός της άσκησης είναι κάθε φοιτητής να γνωρίσει την δομή των τροφοδοτικών διατάξεων. Να μελετήσει την απλή ανόρθωση ή ημιανόρθωση με την χρήση διόδου σε δύο περιπτώσεις: Α) Χωρίς εξομάλυνση της τάσης εξόδου και Β) Με εξομάλυνση της τάσης εξόδου με πυκνωτή**.**

Πορεία Εργασίας:

Κατασκευάστε τα παρακάτω κυκλώματα για αντιστάσεις **R_{LA}** = 10kOhm και **R_{LA}** = 100Ohm. Στην συνέχεια συνδέστε τον μετασχηματιστή στα σημεία **Α – Β** του κυκλώματος. Συμπληρώστε τον πίνακα για τις μετρήσεις που ζητούνται.



Εικόνα 32: Κύκλωμα ανόρθωσης με μετασχηματιστή χωρίς εξομάλυνση, RL = 100 Ohm

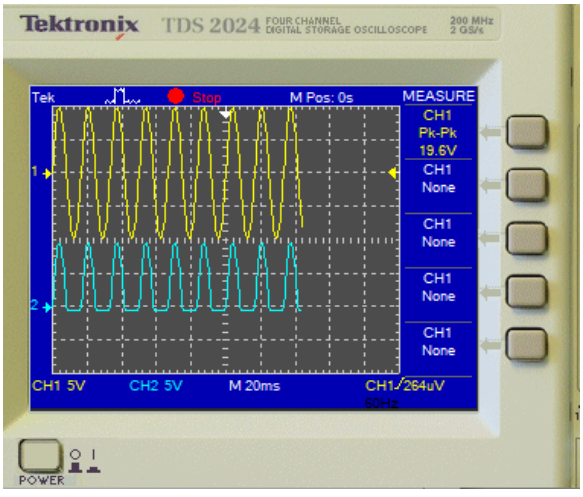


Εικόνα 33: Κύκλωμα ανόρθωσης με μετασχηματιστή χωρίς εξομάλυνση, RL = 10 KOhm

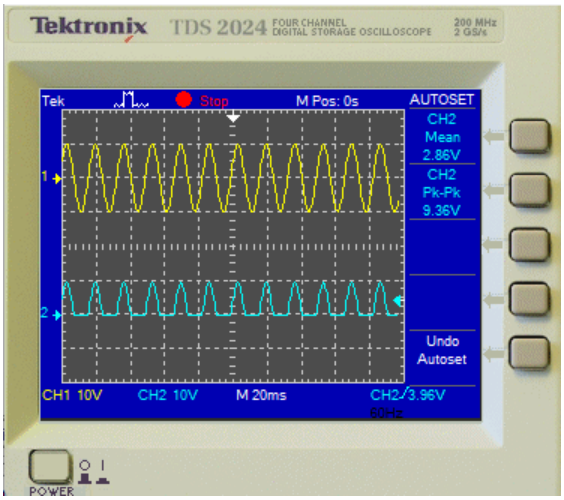
Μετρήσεις Κυκλώματος:

Πίνακας 15: Μέτρηση για μετασχηματιστή χωρίς εξομάλυνση δύο αντιστάσεων

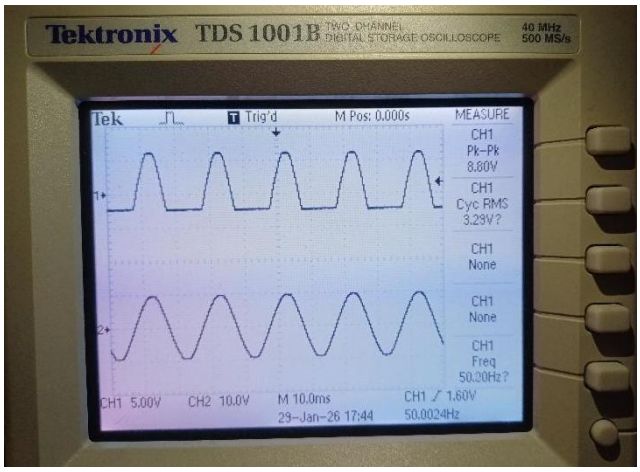
A/A	$V_{(P-P)-AB}$ (Παλμ.) (Multisim)	$V_{(P-P)-AB}$ (Παλμ.) (Πειραμ.)	V_{rms-AB} (Βολτ.) (Multisim)	V_{rms-AB} (Βολτ.) (Πειραμ.)	$V_{(P-P)-ΓΔ}$ (Παλμ.) (Multisim)	$V_{(P-P)-ΓΔ}$ (Παλμ.) (Πειραμ.)	$V_{DC-ΓΔ}$ (Βολτ.) (Multisim)	$V_{DC-ΓΔ}$ (Βολτ.) (Πειραμ.)
100 Ω	19,60 V	19,20 V	6,95 V	6,63 V	10,10 V	8,80 V	2,72 V	2,51 V
10 ΚΩ	19,60 V	19,20V	6,95 V	6,62 V	9,30 V	9,20 V	2,80 V	2,69 V



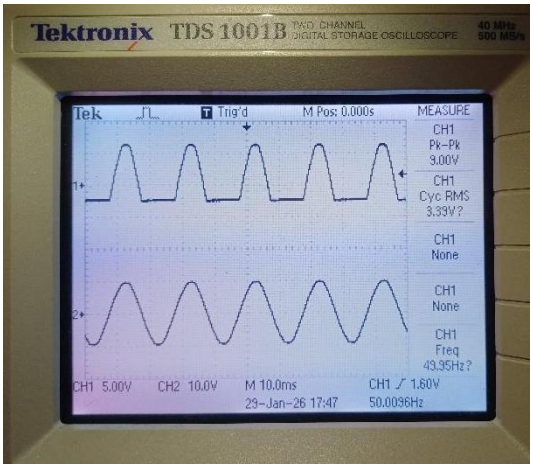
Εικόνα 34: Μέτρηση για V(P-P)-AB και V(P-P)-ΓΔ για 100 Ohm στο Multisim



Εικόνα 35: Μέτρηση για V(P-P)-ΑΒ και V(P-P)-ΓΔ για 10 KOhm στο Multisim

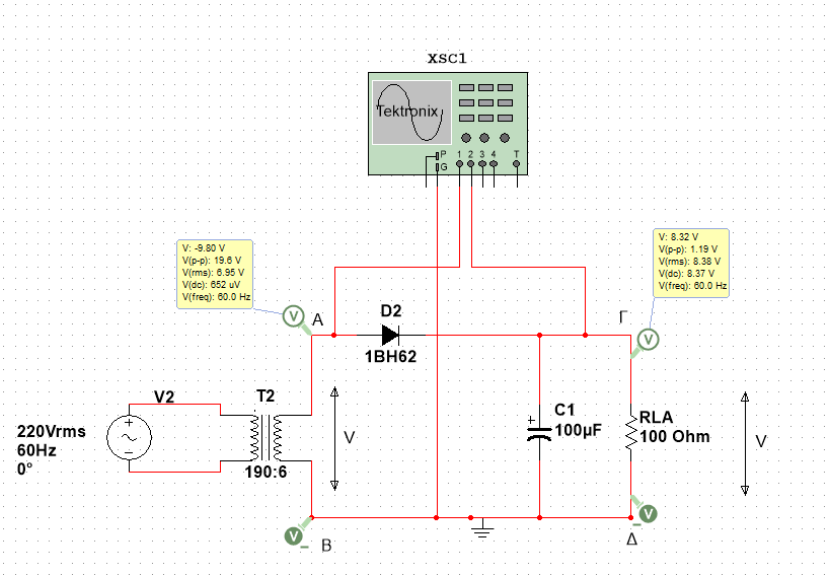


Εικόνα 36: Μέτρηση για V(P-P)-ΑΒ και V(P-P)-ΓΔ για 100 Ohm Πειραματικά

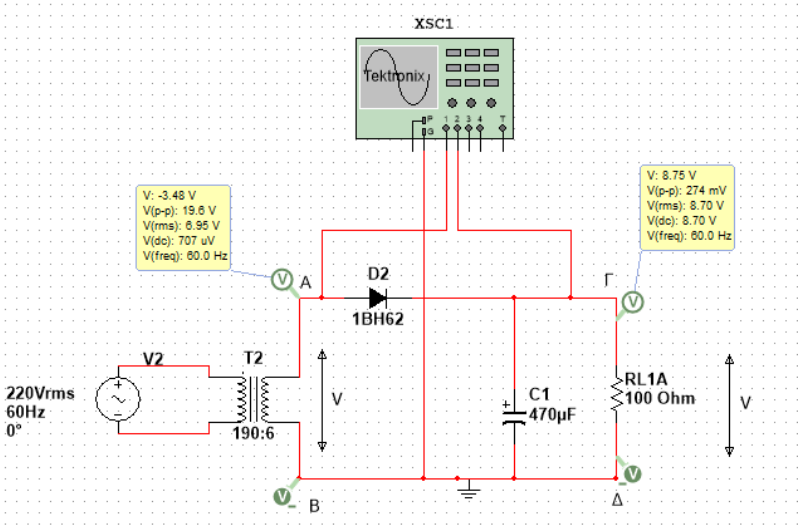


Εικόνα 37: Μέτρηση για V(P-P)-ΑΒ και V(P-P)-ΓΔ για 10 KOhm Πειραματικά

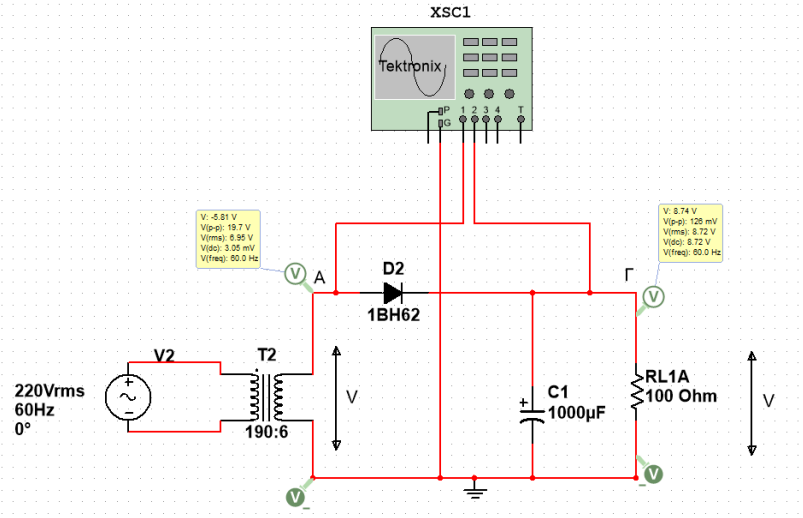
Προχωρώντας την άσκηση προσθέσετε τους πυκνωτές C = 100μF, 470μF και 1000μF**.** Μετρήστε τις τάσεις κορυφής στην είσοδο **Α – Β** του κυκλώματος και τις τάσεις κυμάτωσης έξοδο (**Γ-Δ**) με την βοήθεια του παλμογράφου.



Εικόνα 38: Κύκλωμα ημιανόρθωσης με εξομάλυνση C = 100μF



Εικόνα 39: Κύκλωμα ημιανόρθωσης με εξομάλυνση C = 470μF

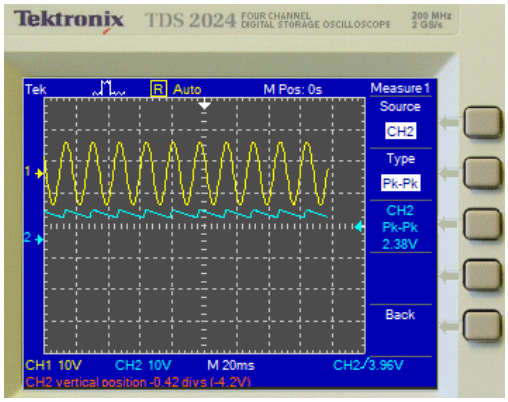


Εικόνα 40: Κύκλωμα ημιανόρθωσης με εξομάλυνση C = 1000μF

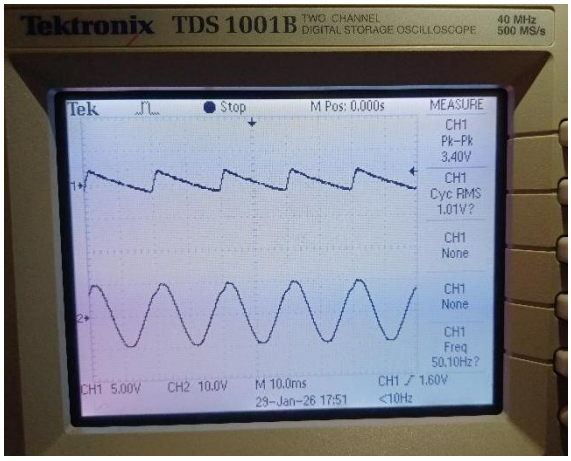
Πίνακας 16: Μέτρηση για μετασχηματιστή εξομάλυνσης για τρεις πυκνωτές

Α/Α	**$V_{(P-P)-AB}$ (Παλμ.) (Multisim)**	**$V_{(P-P)-AB}$ (Παλμ.) (Πειραμ.)**	**V_{rms-AB} (Βολτ.) (Multisim)**	**V_{rms-AB} (Βολτ.) (Πειραμ.)**	**$V_{r(P-P)-ΓΔ}$ (Παλμ.) (Multisim)**	**$V_{r(P-P)-ΓΔ}$ (Παλμ.) (Πειραμ.)**	**$V_{DC-ΓΔ}$ (Παλμ.) (Multisim)**	**$V_{DC-ΓΔ}$ (Παλμ.) (Πειραμ.)**	**$V_{DC-ΓΔ}$ (Βολτ.) (Multisim)**	**$V_{DC-ΓΔ}$ (Βολτ.) Πειραμ.)**
100 μF	19,60 V	18,80 V	6,95 V	6,63V	5,60 V	7,20 V	5,52 V	5,33 V	5,52 V	4,63 V
470 μF	19,60 V	19,20 V	6,95 V	6,60 V	2,20 V	3,40 V	7,87 V	7,45 V	7,87 V	6,92 V
1000 μF	19,60 V	19,00 V	6,95 V	6,58 V	1,80 V	1,80 V	8,41 V	8,18 V	8,41 V	7,00 V

Τέλος σχεδιάστε με ακρίβεια τις κυματομορφές που παρατηρείτε στον παλμογράφο για τα σημεία **ΑΒ** και **ΓΔ** αντίστοιχα για αντίσταση φορτίου R_l=100 Ω και πυκνωτή εξομάλυνσης 470 μF.



Εικόνα 41: Μέτρηση για V(P-P)-AB και V(P-P)-ΓΔ για 470μF στο Multisim



Εικόνα 42: Μέτρηση για V(P-P)-AB και V(P-P)-ΓΔ για 470μF Πειραματικά

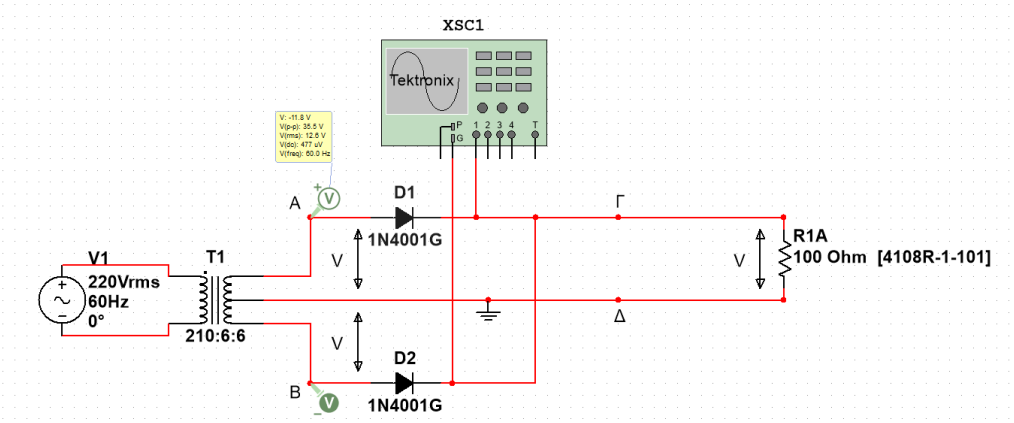
5.9 Διπλή ή πλήρης ανόρθωση

Σκοπός:

Ο σκοπός της άσκησης είναι κάθε φοιτητής να μελετήσει τη διπλή ή πλήρη ανόρθωση με την χρήση δύο διοδίων και μετασχηματιστή με μεσαία λήψη σε δύο περιπτώσεις: Α) Χωρίς εξομάλυνση της τάσης εξόδου και Β) Με εξομάλυνση της τάσης εξόδου με πυκνωτή.

<u>Πορεία Εργασίας:</u>

Κατασκευάστε το παραπάνω κύκλωμα (α) για αρχή χωρίς τον πυκνωτή. Μετρήστε με το βολτόμετρο στα σημεία **Α – Β** στο κύκλωμα για την μέτρηση εναλλασσόμενης τάση**.** Συνδέστε επίσης τους ακροδέκτες του παλμογράφου στα σημεία **Α – Γ** και αντίστοιχα το σήμα εισόδου και το σήμα εξόδου στα σημεία **Α – Β, Α – Δ, Β – Δ, Γ - Δ**.

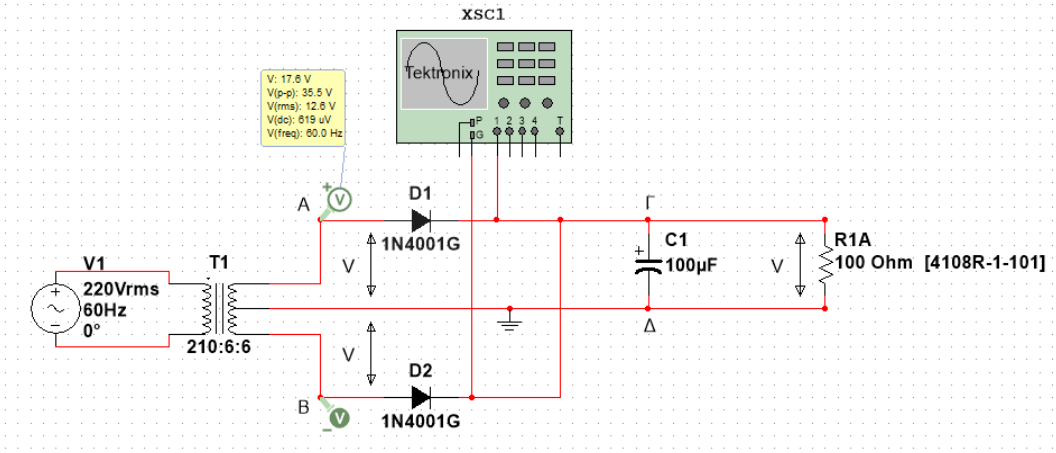


Εικόνα 43: Διπλή ανόρθωση με δύο διόδους και μετασχηματιστή

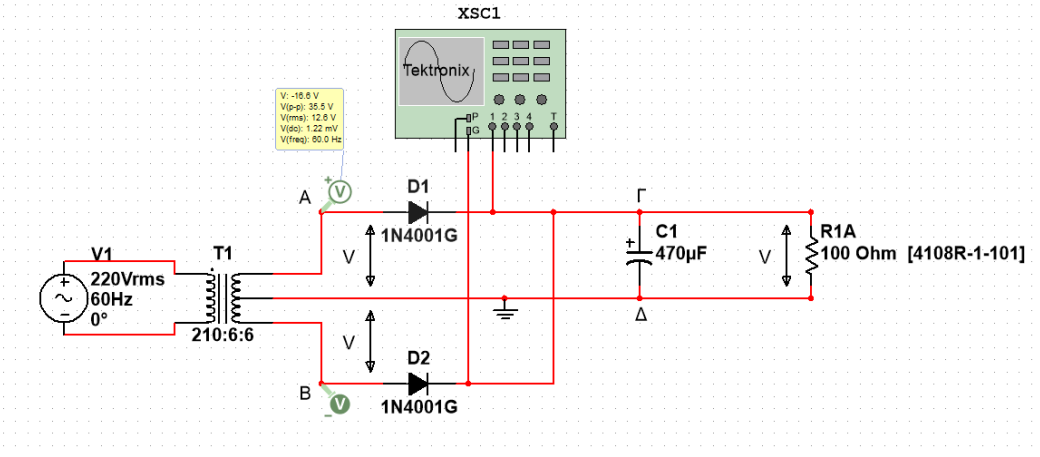
<u>Μετρήσεις Κυκλώματος:</u>

Πίνακας 17: Μέτρηση για μετασχηματιστή χωρίς εξομάλυνση μιας αντίστασης

Α/Α	**$V_{(P-P)-AB}$ (Παλμ.) (Multisim)**	**$V_{(P-P)-AB}$ (Παλμ.) (Πειραμ.)**	**$V_{rms-A\Delta}$ (Βολτ.) (Multisim)**	**$V_{rms-A\Delta}$ (Βολτ.) (Πειραμ.)**	**$V_{rms-B\Delta}$ (Βολτ.) (Multisim)**	**$V_{rms-B\Delta}$ (Βολτ.) (Πειραμ.)**	**$V_{(P-P)-\Gamma\Delta}$ (Παλμ.) (Multisim)**	**$V_{(P-P)-\Gamma\Delta}$ (Παλμ.) (Πειραμ.)**	**$V_{DC-\Gamma\Delta}$ (Βολτ.) (Multisim)**	**$V_{DC-\Gamma\Delta}$ (Βολτ.) (Πειραμ.)**
100 Ω	19,10 V	19,00 V	3,38 V	3,37 V	3,38 V	3,51 V	4,07 V	3,76 V	2,40V	5,16 V



Εικόνα 44: Διπλή ανόρθωση με δύο διόδους, μετασχηματιστή και C = 100μF



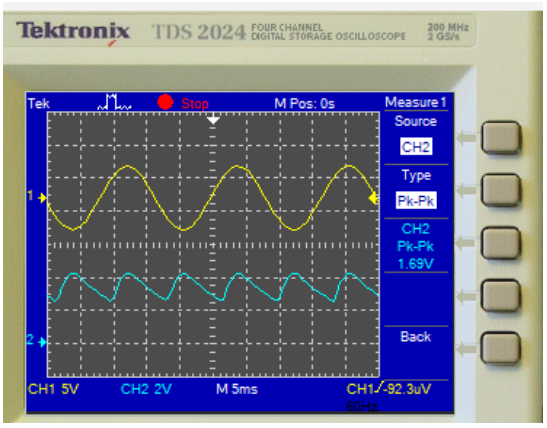
Εικόνα 45: Διπλή ανόρθωση με δύο διόδους, μετασχηματιστή και C = 470μF

Στην συνέχεια προσθέστε στο κύκλωμα τον πυκνωτή των 100 μF παράλληλα στην αντίσταση φορτίου. Μετρήστε τις τάσεις κορυφής στην είσοδο **(Α - Β)** και τις συνεχείς τάσεις καθώς και τις τάσεις κυμμάτωσης στην έξοδο **(Γ – Δ)** με την βοήθεια του παλμογράφου για τους διαφορετικούς πυκνωτές.

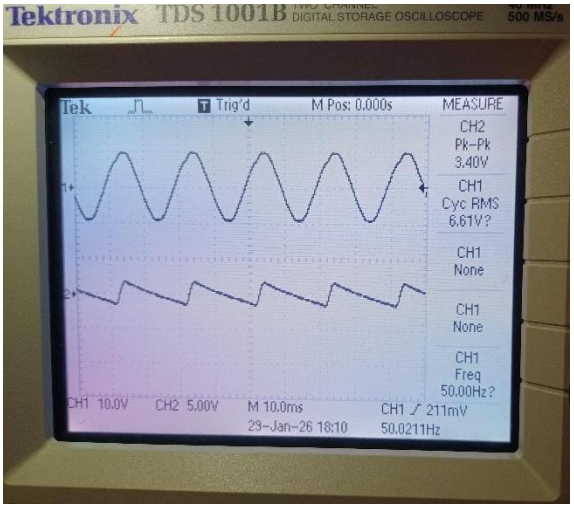
Πίνακας 18: Μέτρηση για μετασχηματιστή με εξομάλυνση δύο πυκνωτών

Α/Α	**$V_{(P-P)-AB}$ (Παλμ.) (Multisim)**	**$V_{(P-P)-AB}$ (Παλμ.) (Πειραμ.)**	**V_{rms-AB} (Βολτ.) (Multisim)**	**$V_{rms-AΔ}$ (Βολτ.) (Πειραμ.)**	**$V_{r(P-P)-ΓΔ}$ (Παλμ.) (Multisim)**	**$V_{r(P-P)-ΓΔ}$ (Παλμ.) (Πειραμ.)**	**$V_{DC-ΓΔ}$ (Παλμ.) (Multisim)**	**$V_{DC-ΓΔ}$ (Παλμ.) (Πειραμ.)**	**$V_{DC-ΓΔ}$ (Βολτ.) (Multisim)**	**$V_{DC-ΓΔ}$ (Βολτ.) Πειραμ.)**
100 μF	19,10 V	19,20 V	6,77 V	13,50 V	4,50 V	4,40 V	6,57 V	6,58 V	7,64 V	6,60 V
470 μF	19,10 V	19,20 V	6,77 V	13,50 V	2,90 V	3,40 V	7,64 V	7,75 V	7,64 V	7,74 V

Σχεδιάστε τις κυματομορφές που παρατηρείτε στον παλμογράφο για τα σημεία **ΑΒ** και **ΓΔ** αντίστοιχα για αντίσταση φορτίου RL=100Ω και πυκνωτή εξομάλυνσης 100μF.



Εικόνα 46: Μέτρηση για V(P-P)-ΑΒ και V(P-P)-ΓΔ για 100μF στο Multisim



Εικόνα 47: Μέτρηση για V(P-P)-ΑΒ και V(P-P)-ΓΔ για 100μF Πειραματικά

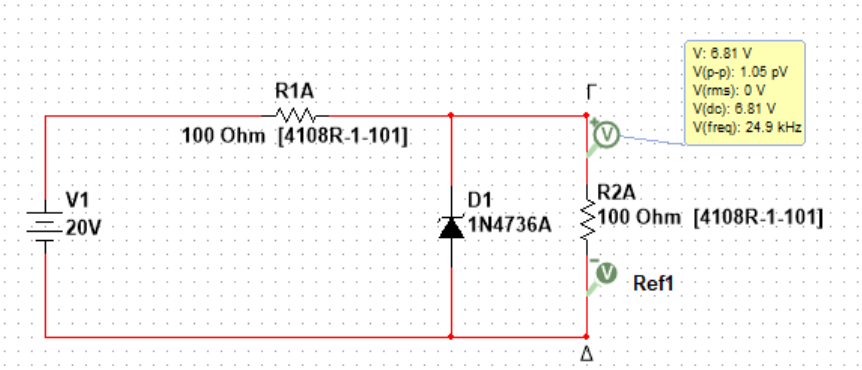
5.10 Η δίοδος Zener και πολλαπλασιαστές τάσης

Σκοπός:

Σκοπός είναι κάθε φοιτητής να γνωρίσει τη δίοδο Zener και να μελετήσει τον τρόπο με τον οποίο γίνεται ο πολλαπλασιασμός της τάσης χρησιμοποιώντας απλές διόδους και πυκνωτές. Ειδικότερα να μελετήσει τη συμπεριφορα της Zener κατα την ανάστροφη πόλωση όταν μεταβάλλεται η τάση της πηγής. Ως εφαρμογή κυκλώματος πολλαπλασιασμού τάσης θα κατασκευαστεί ένα κύκλωμα διπλασιαστή και θα μελετηθεί η επίδραση της αντίστασης φορτίου στην τελική τιμή της τάσης εξόδου.

Πορεία Εργασίας:

Κατασκευάστε το παρακάτω κύκλωμα. Συνδέστε το βολτόμετρο στα άκρα **Γ - Δ** της αντίστασης φορτίου.Ρυθμίστε το τροφοδοτικό διαδοχικά.Συμπληρώστε τον πίνακα με τις αντίστοιχες τιμές της τάσης στα άκρα της αντίστασης φορτίου (τάση Zener).

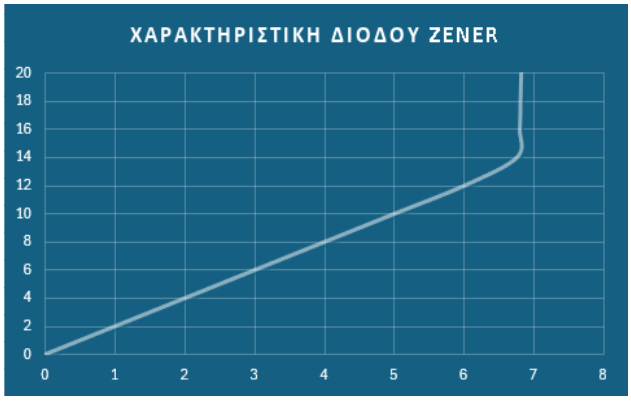


Εικόνα 48: Κύκλωμα διόδου Zener

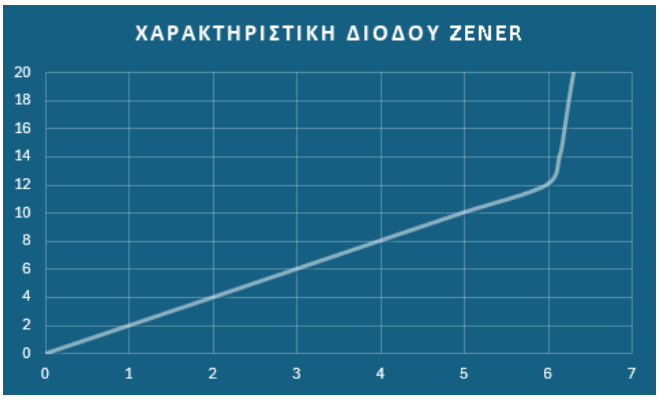
Μετρήσεις Κυκλώματος:

Πίνακας 19: Μέτρηση τιμών διόδου Zener

$V_{i\,(V)}$	**0**	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**	**16**	**18**	**20**
V_L=V_Z (Multisim)	0 V	1,00V	2,00 V	3,00 V	4,00 V	5,00 V	6,00 V	6,75 V	6,79 V	6,80 V	6,81 V
V_L=V_Z (Πειραματικό)	0 V	0,99 V	1,99 V	2,97 V	3,97 V	4,96 V	5,96 V	6,12 V	6,18 V	6,23 V	6,29 V

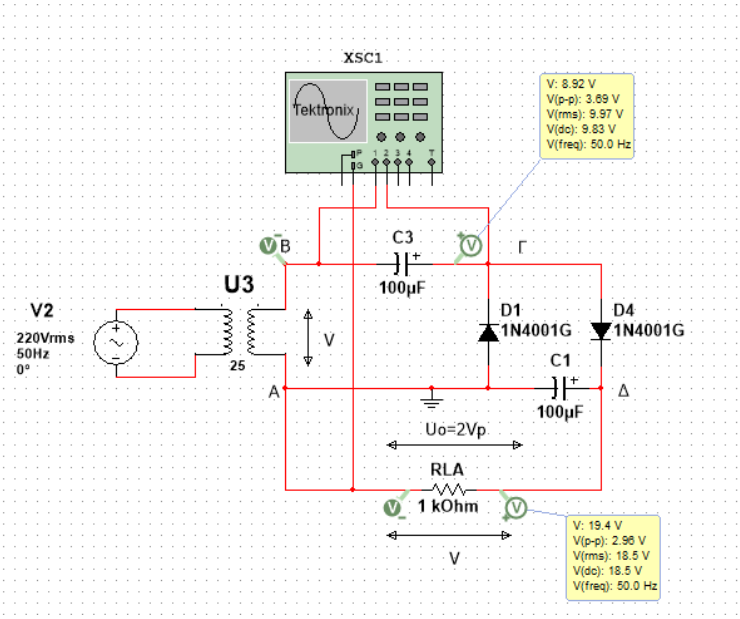


Εικόνα 49: Χαρακτηριστική Διόδου Zener στο Multisim

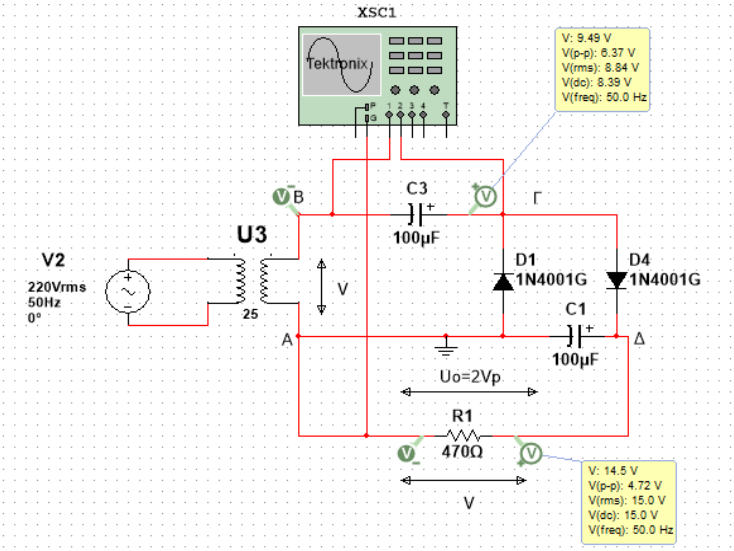


Εικόνα 50: Χαρακτηριστική Διόδου Zener Πειραματικά

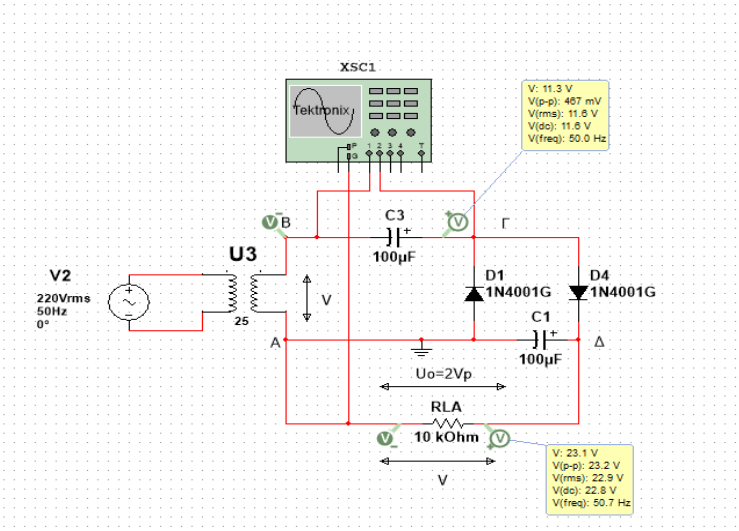
Στην συνέχεια κατασκευάστε το κύκλωμα με τον μετασχηματιστή. Η αντίσταση φορτίου είναι R_L= **1 KOhm**. Συνδέστε τον μετασχηματιστή στα σημεία **Α – Γ** του κυκλώματος. Τοποθετήστε το βολτόμετρο στα άκρα της αντίστασης φορτίου R_L κατάλληλα ρυθμισμένο για την μέτρηση **συνεχούς** τάσης. Συνδέστε τον παλμογράφο στα σημεία **Α – Β**. Τέλος τοποθετήστε και τις δύο υπόλοιπες αντιστάσεις R_L= **470 Ohm** και R_L= **10 KOhm.**



Εικόνα 51: Σύνδεση μετασχηματιστή με αντίσταση φορτίου RL= 1 KOhm



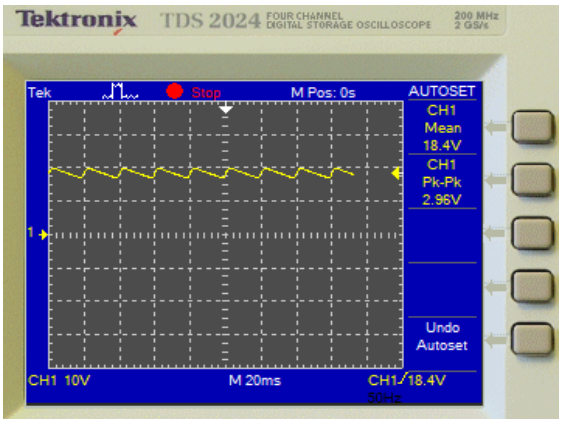
Εικόνα 52: Σύνδεση μετασχηματιστή με αντίσταση φορτίου RL= 470 Ohm



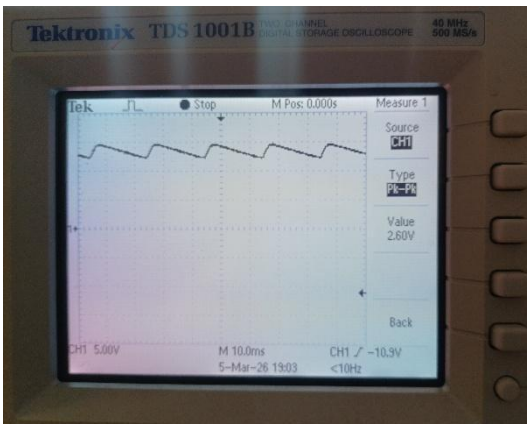
Εικόνα 53: Σύνδεση μετασχηματιστή με αντίσταση φορτίου RL= 10 KOhm

Πίνακας 20: Μέτρηση τιμών για μετασχηματιστή με αντίσταση φορτίου

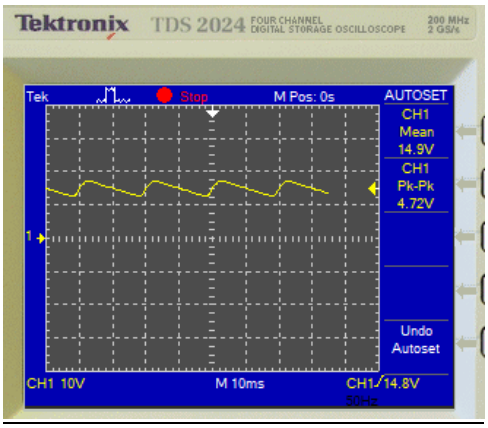
Α/Α	**$V_{(P-P)-AB}$ (Παλμ.) (Multisim)**	**$V_{(P-P)-AB}$ (Παλμ.) (Πειραμ.)**	**$V_{DC-ΔΑ}$ (Παλμ.) (Multisim)**	**$V_{DC-ΔΑ}$ (Παλμ.) (Πειραμ.)**	**$V_{r(P-P)-ΔΑ}$ (Παλμ.) (Multisim)**	**$V_{r(P-P)-ΔΑ}$ (Παλμ.) (Πειραμ.)**	**$V_{DC-ΓΒ}$ (Βολτ.) (Multisim)**	**$V_{DC-ΓΒ}$ (Βολτ.) (Πειραμ.)**	**$V_{DC-ΔΑ}$ (Βολτ.) (Multisim)**	**$V_{DC-ΔΑ}$ (Βολτ.) (Πειραμ)**
470Ω	19,40 V	19,20 V	8,56 V	10,80 V	5,20 V	4,20 V	6,45 V	5,78 V	11,50 V	10,27 V
1KΩ	19,40 V	19,20 V	14,20 V	13,50 V	2,30 V	2,60 V	7,56 V	6,86 V	14,20 V	12,79 V
10KΩ	19,40 V	19,20 V	17,70 V	17,30 V	800 mV	800 mV	8,89 V	8,29 V	17,70 V	16,40 V



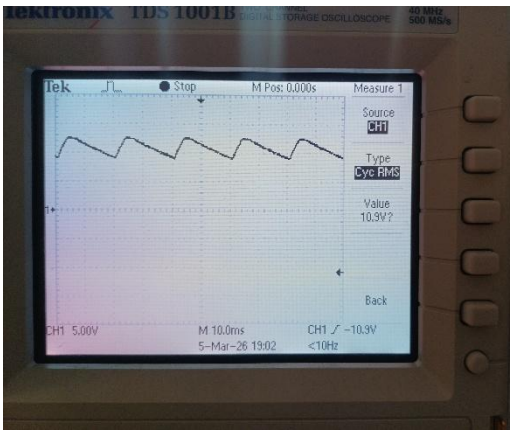
Εικόνα 54: Μέτρηση μετασχηματιστή για αντίσταση φορτίου RL = 1 KOhm στο Multisim



Εικόνα 55: Μέτρηση μετασχηματιστή για αντίσταση φορτίου RL = 1 KOhm Πειραματικά



Εικόνα 56: Μέτρηση μετασχηματιστή για αντίσταση φορτίου RL = 470 Ohm στο Multisim



Εικόνα 57: Μέτρηση μετασχηματιστή για αντίσταση φορτίου RL = 470 Ohm Πειραματικά

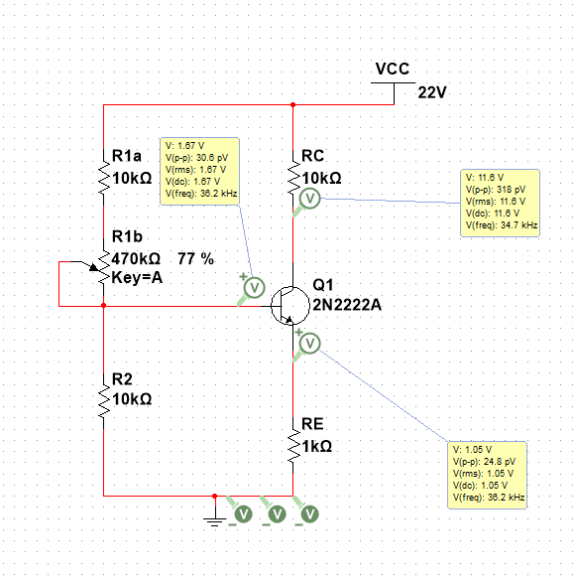
5.11 Τρανζίστορ – Πόλωση τρανζίστορ

Σκοπός:

Η εκμάθηση α) του τρόπου υπολογισμού των μεγεθών που σχετίζονται με την πόλωση ενός διπολικού τρανζίστορ, β) του τρόπου σχεδίασης της ευθείας φόρτου στο συνεχές και γ) της συμπεριφοράς του κυκλώματος καθώς μετακινείται το σημείο ηρεμίας η λειτουργίας Q του τρανζίστορ απο την περιοχή αποκοπής στην περιοχή κόρου.

Πορεία Εργασίας:

Κατασκευάστε το παραπάνω κύκλωμα. Ρυθμίστε το τροφοδοτικό στα σημεία V_{cc} και την γείωση και ρυθμίστε το σε τάση **+22 Volt DC**. Υπολογίστε θεωρητικά τα μεγέθη V_{CEQ}, I_{CQ}, V_C, V_E, V_B , θεωρώντας ότι το σημείο ηρεμίας **Q** βρίσκεται στο μέσο της **DC** ευθείας φόρτου και συμπληρώστε τον πίνακα **I.**



Εικόνα 58: Σύνδεση Τρανζίστορ για πόλωση

<u>Για να υπολογίσουμε θεωρητικά τις τιμές:</u>

- VB = (R2 / (R1 + R2)) * VCC
- VE = VB - VBE
- VC = VCC - IC * RC
- ICQ=VB−VBE/RE

<u>Μετρήσεις Κυκλώματος:</u>

Πίνακας 21: Μέτρηση τιμών θεωρητικά για πόλωση τρανζίστορ

V_{CEQ}	11 V
I_{CQ}	1,10 V
V_C	11 V
V_E	1,10 V
V_B	1,80 V

Για να θέσετε πειραματικά το σημείο λειτουργίας **Q** στο μεσο της **DC** ευθείας φόρτου ρυθμίστε το ποτενσιόμετρο R_{1b} έτσι ώστε η τάση που θα μετράτε μεταξύ συλλέκτη και εκπομπού του τρανζίστορ **V_{CE}** να γίνει **:**

$$V_{CEQ} = \frac{Vcc}{2} = 11\ V$$

Με το πολύμετρο μετρήστε και καταγράψτε τις τάσεις **Βάσης – Συλλέκτη – Εκπομπού (V_B, V_C, V_E)** Συγκρίνεται με αυτές που υπολογίσατε θεωρητικά.

Πίνακας 22: Μέτρηση τιμών βάση, συλλέκτη, εκπομπού για πόλωση τρανζίστορ

V_B (Multisim)	1,67 V	V_B (Πειραματικό)	1,63 V
V_C (Multisim)	11,60 V	V_C (Πειραματικό)	12,05 V
V_E (Multisim)	1,05 V	V_E (Πειραματικό)	1,00 V

Στην συνέχεια για να βρείτε το ρεύμα I_{CQ} γραφικά , σχεδιαστε την DC ευθείας φόρτου. Βαθμονομήστε κατάλληλα τον οριζόντιο και τον κατακόρυφο άξονα θεωρώντας ως δεδομένη την τάση τροφοδοσίας V_{cc} και τις αντιστάσεις του κυκλώματος εξόδου R_C , R_E . Για τάση $V_{CEQ} = \frac{Vcc}{2} =$ βρείτε φέρνοντας παράλληλη προς τον άξονα των τάσεων το ρεύμα ηρεμίας I_{CQ}.

Μετρήστε αφού ρυθμίσετε το πολύμετρο ως ωμόμετρο τις αντιστάσεις **R_{1a} , R_{1b}** καταγράψτε τις τιμές**.**

Πίνακας 23: Μέτρηση αντιστάσεων

R_{1a} (Multisim)	**10,00 ΚΩ**	**R_{1a} (Πειραμ.)**	**10,00 ΚΩ**	**R_{1b} (Multisim)**	**108,09 ΚΩ**	**R_{1b} (Πειραμ.)**	**110,06 ΚΩ**	**R_1 (Multisim)**	**118,09 ΚΩ**	**R_1 (Πειραμ.)**	**120,06 ΚΩ**

Μεταβάλλεται την τιμή του ποτενσιομέτρου για αρχή στα **7V** και στη συνέχεια στα **15V** για να μετρήσετε τις τιμές.

Πίνακας 24: Μέτρηση τιμών για την μεταβολή τιμών του ποτενσιομέτρου

V_{CE} (Volt) (Multisim)	**V_{CE} (Volt) (Πειραμ.)**	**V_{BE} (Volt) (Multisim)**	**V_{BE} (Volt) (Πειραμ.)**	**I_C (mA) (Multisim)**	**I_C (mA) (Πειραμ.)**	**R_{1b} (ΚΩ) (Multisim)**	**R_{1b} (ΚΩ) (Πειραμ.)**	**R_1 (ΚΩ) (Multisim)**	**R_1 (ΚΩ) (Πειραμ.)**
7	7	0,650	0,633	1,364	1,466	84	84,36	10	10
15	15	0,650	0,612	0,636	0,657	85	148,20	10	10

<u>Ερωτήσεις:</u>

Για ποια τιμή της αντίστασης R1b το σημείο ηρεμίας Q φτάνει στην περιοχή του κόρου; Όταν ένα τρανζίστορ βρίσκεται στην περιοχή κόρου θεωρείται ότι η τάση VCE είναι πολύ μικρή, περίπου ίση ή μικρότερη από 0,2 Volt. Καταγράψτε την τιμή της αντίστασης όταν VCE = 0,2 Volt.

R_{1bsat}= 58,30 KOhm

Για ποια τιμή της αντίστασης R1b το σημείο ηρεμίας Q φτάνει στην περιοχή αποκοπής; Όταν ένα τρανζίστορ βρίσκεται στην περιοχή αποκοπής τότε το ρεύμα του συλλέκτη IC είναι πολύ μικρό (θεωρητικά ίσο με μηδέν). Καταγράψτε την τιμή της αντίστασης μόλις το ρεύμα IC γίνει IC = 2 μA.

R_{1bcut}= 446,5 KOhm

5.12 Μελέτη ενισχυτή κοινού εκπομπού (CE)

Σκοπός:

Η εκμάθηση του τρόπου υπολογισμού της απολαβής τάσης ενός ενισχυτή, της μέτρησης της διαφοράς φάσης μεταξύ σήματος εξόδου και εισόδου και η εκμάθηση του τρόπου με τον οποίο βρίσκονται πρακτικά οι σύνθετες αντιστάσεις εισόδου και εξόδου του ενισχυτή. Μελέτη της συμπεριφοράς του ενισχυτή με την χρήση του πυκνωτή διέλευσης.

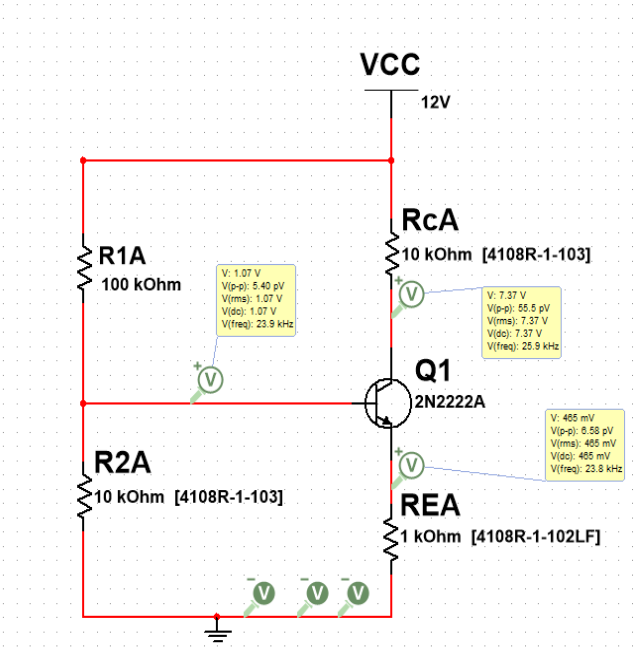
Πορεία Εργασίας:

Κατασκευάστε το παραπάνω κύκλωμα του ενισχυτή σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού. Θα κατασκευάσετε για αρχή το κύκλωμα χωρίς το ποτενσιόμετρο **R_L = 470** και τον πυκνωτή **C_E =10 μF**.

Ρυθμίστε το τροφοδοτικό στα σημεία V_{cc} και την γείωση και ρυθμίστε το σε τάση **+12 Volt DC**. Υπολογίστε θεωρητικά την τάση στην βάση **V_B** από την σχέση :

$$V_B = V_{cc}\frac{R_2}{R_{1+R_2}} = 1{,}090 \text{ V}$$

Με το ψηφιακό πολύμετρο μετρήστε και καταγράψτε τις τάσεις **Βάσης – Συλλέκτη – Εκπομπού (V_B , V_C , V_E)**. Συγκρίνεται με αυτές που υπολογίσατε θεωρητικά.



Εικόνα 59: Σύνδεση Τρανζίστορ κοινού εκπομπού

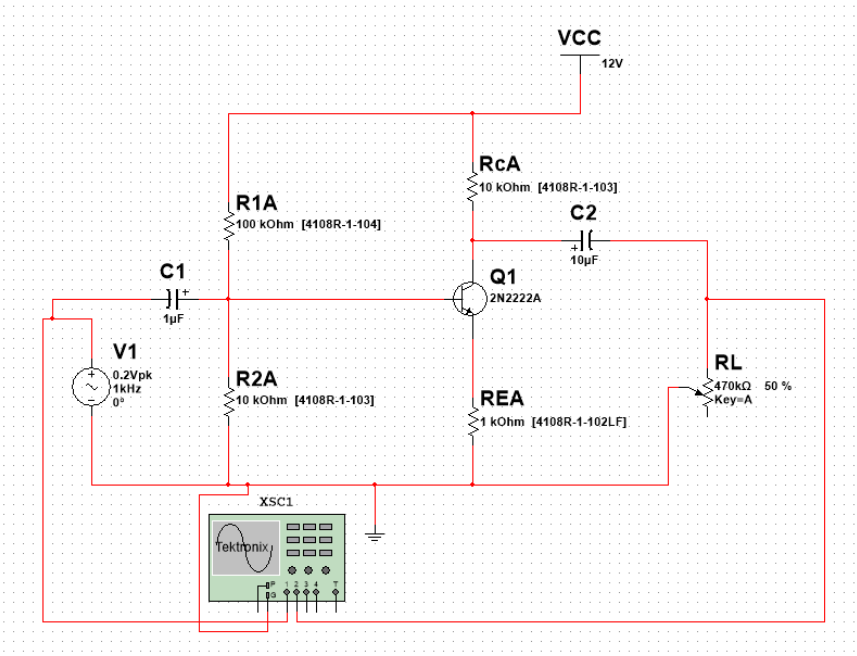
Μετρήσεις Κυκλώματος:

Πίνακας 25: Μέτρηση τιμών τρανζίστορ κοινού εκπομπού

Μέτρηση	**Multisim**	**Πειραματικά**
V_B	1,07 V	1,02 V
V_C	7,37 V	7,83 V
V_E	0,46 V	0,42 V

Συνδέστε στην είσοδο του κυκλώματος **(Α – Β)** την γεννήτρια χαμηλών συχνοτήτων. Ρυθμίστε το της γεννήτρια στα **0.2 Volt.**

Συνδέστε το ένα κανάλι του παλμογράφου στην είσοδο **(Α – Β)** και το άλλο στην έξοδο **(Γ - Δ).** Ρυθμίστε στην συνέχεια την τάση εξόδου της γεννήτριας έτσι ώστε το σήμα εξόδου του ενισχυτή που παρατηρείτε στον παλμογράφο να μην είναι παραμορφωμένο.



Εικόνα 60: Σύνδεση Τρανζίστορ με την γεννήτρια

Με την βοήθεια του παλμογράφου υπολογίστε την απολαβή της τάσης (ενίσχυση) του ενισχυτή από την σχέση :

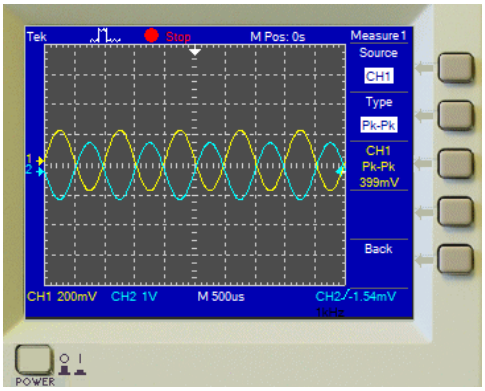
Πειραματική Μέτρηση:

$$A = \frac{U_o}{U_i} = \frac{3{,}39}{0{,}399} = 8{,}496$$

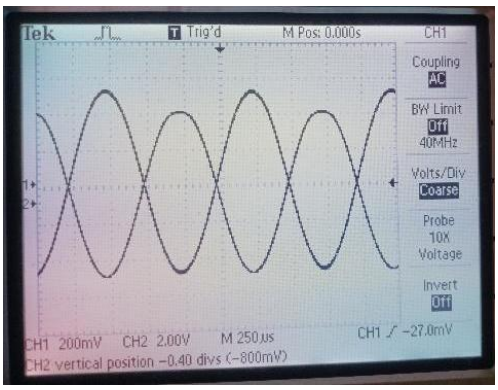
Εργαστηριακή Μέτρηση:

$$A = \frac{U_o}{U_i} = \frac{9{,}04}{1{,}02} = 8{,}862$$

Σχεδιάστε τις κυματομορφές εισόδου και εξόδου που παρατηρείτε στον παλμογράφο στο ίδιο διάγραμμα και από αυτές υπολογίστε τις διαφορά φάσης μεταξύ των δύο σημάτων.



Εικόνα 61: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου στο Multisim



Εικόνα 62: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου Πειραματικά

Μετρήστε τη σύνθετη αντίσταση εισόδου **R_i'** του ενισχυτή. Για την εύρεσή της τοποθετήστε το ποτενσιόμετρο **R_a** μεταξύ της γεννήτριας σήματος και του πυκνωτή εισόδου **C1**.

Μηδενίστε αρχικά την αντίσταση του ποτενσιόμετρου και μετρήστε το πλάτος της τάσης εισόδου στα σημεία **(Γ – Δ).** Αυξήστε στη συνέχεια την αντίσταση του ποτενσιόμετρου μέχρι το σήμα εξόδου να γίνει το μισό του αρχικού.

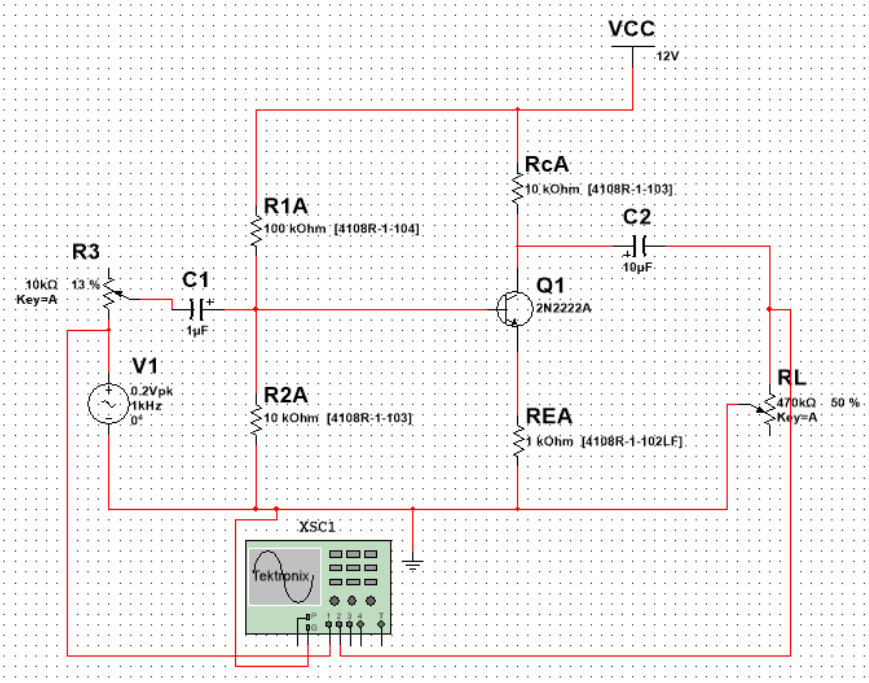
Τότε η αντίσταση του ποτενσιόμετρου **R_a** είναι ίση με την αντίσταση εισόδου **R_i'** του ενισχυτή.

Μετρήστε προσεκτικά αυτή την αντίσταση χωρίς να περιστρέψετε τον δρομέα της και αφού αποσυνδέσετε τουλάχιστον ένα άκρο της.

Καταγράψτε την τιμή που μετρήσατε καθώς και αυτή που υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση για την αντίσταση εισόδου.

Σχέση αντίσταση εισόδου:

$$R_i' = \frac{U_i}{i_i} = R_1 \,||\, R_2 \,||\, R_i \approx R_1 \,||\, R_2 \,||\, \beta R_E$$



Εικόνα 63: Κύκλωμα μέτρησης της σύνθετης αντίστασης εισόδου Ri'

Πίνακας 26: Μέτρηση τιμών τρανζίστορ αντίσταση εισόδου Ri'

Μέτρηση	**Multisim**	**Πειραματικά**
Αντίσταση Εισόδου Ri' (Θεωρητική τιμή)	8,65 ΚΩ	8,57 ΚΩ
Αντίσταση Εισόδου Ri' (Πειραματική τιμή)	8,50 ΚΩ	9,20 ΚΩ

Μετρήστε τη σύνθετη αντίσταση εξόδου R_o του ενισχυτή. Για την εύρεσή της μετρήστε πρώτα την AC τάση εξόδου (σημεία Γ - Δ) χωρίς φορτίο. Στη συνέχεια ρυθμίστε το ποτενσιόμετρο R_L στη μέγιστη τιμή του και συνδέστε το στο κύκλωμα.

Μειώστε προσεκτικά την αντίσταση φορτίου έως ότου μετρήσετε με τον παλμογράφο το πλάτος της τάσης στην έξοδο να γίνει ίσο με το μισό του πλάτους της τάσης που μετρήσαμε χωρίς φορτίο. Η τιμή τότε της αντίστασης στο ποτενσιόμετρο R_L ισοδυναμεί με τη σύνθετη αντίσταση εξόδου R_o του ενισχυτή.

Μετρήστε προσεκτικά αυτή την αντίσταση χωρίς να περιστρέψετε τον δρομέα της και αφού αποσυνδέσετε τουλάχιστον ένα άκρο της. Καταγράψτε την τιμή που μετρήσατε καθώς και αυτή που υπολογίζεται θεωρητικά για την αντίσταση εξόδου.

<u>Η αντίσταση εξόδου υπολογίζεται θεωρητικά από τη σχέση:</u>

$$Ro = \frac{Uo}{Ic} \approx \frac{Rc}{R_E}$$

Πίνακας 27: Μέτρηση τιμών τρανζίστορ αντίσταση εξόδου Ro

Μέτρηση	Multisim	Πειραματικά
Αντίσταση Εισόδου R_o (Θεωρητική τιμή)	10 kΩ	10 kΩ
Αντίσταση Εισόδου R_o (Πειραματική τιμή)	10 KΩ	10,35KΩ

Στη συνέχεια συνδέστε τον πυκνωτή CE στο κύκλωμα. Τι παρατηρείτε ως προς την απολαβή τάσης; Αυξάνεται ή μειώνεται; Είναι το σήμα παραμορφωμένο στην έξοδο; Δικαιολογήστε τις παρατηρήσεις σας και υπολογίστε θεωρητικά και πειραματικά τη νέα ενίσχυση.

Πειραματική Μέτρηση:

$$A = \frac{U_o}{Ui} = \frac{8,41}{0,2} = 42,05$$

Εργαστηριακή Μέτρηση:

$$A = \frac{U_o}{Ui} = \frac{8,40}{0,2} = 42,00$$

Παρατηρείται ότι:

Παρατηρείται παραμόρφωση στην έξοδο όταν το σήμα εισόδου είναι μεγάλο, επειδή το τρανζίστορ οδηγείται σε αποκοπή/κόρο (clipping).

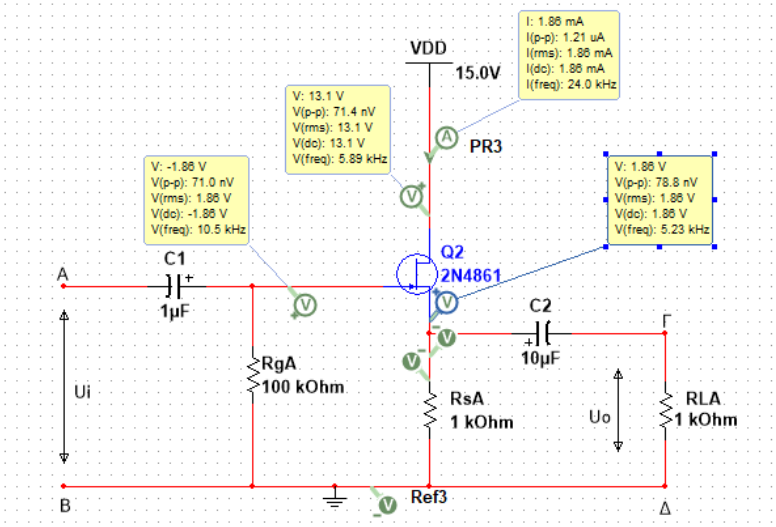
5.13 Μελέτη ενισχυτή κοινού απαγωγού (CD) με JFET

Σκοπός:

Η εκμάθηση του τρόπου εύρεσης των απολαβών τάσης και ρεύματος ενός ενισχυτή κοινού απαγωγού , της μέτρησης της διαφοράς φάσης μεταξύ σήματος εισόδου και εξόδου και η εκμάθηση του τρόπου με τον οποίο βρίσκονται πρακτικά οι σύνθετες αντιστάσεις εισόδου και εξόδου του ενισχυτή.

Πορεία Εργασίας:

Κατασκευάστε το παραπάνω κύκλωμα του ενισχυτή σε συνδεσμολογία απαγωγού. Ρυθμίστε το τροφοδοτικό στα σημεία $\mathbf{V_{cc}}$ και την γείωση και ρυθμίστε το σε τάση **+15 Volt DC**. Μετρήστε με την βοήθεια του πολυμέτρου το συνεχές ρεύμα $\mathbf{I_D}$ του απαγωγού στο σημείο ηρεμίας, την τάση πύλης – πηγής $\mathbf{V_{GS}}$ την τάση – απαγωγού πηγής $\mathbf{V_{DS}}$ και το δυναμικό $\mathbf{V_S}$ στην πηγή.

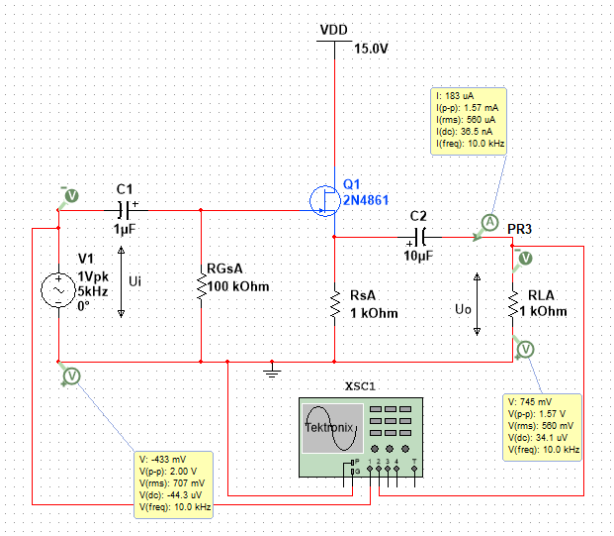


Εικόνα 64: Συνδεσμολογία του ενισχυτή απαγωγού με όργανα μέτρησης DC

Μετρήσεις Κυκλώματος:

Πίνακας 28: Μέτρηση τιμών τρανζίστορ για ενισχυτή κοινού απαγωγού

I_D (mA) (Multisim)	I_D (mA) (Πειραμ.)	V_{GS} (Volt) (Multisim)	V_{GS} (Volt) (Πειραμ.)	V_{DS} (Volt) (Multisim)	V_{DS} (Volt) (Πειραμ.)	V_S (Volt) (Multisim)	V_S (Volt) (Πειραμ.)
1,86	1,08	-1,86	-1,88	13,10	13,91	1,86	1,08



Εικόνα 65: Συνδεσμολογία του ενισχυτή απαγωγού με παλμογράφο

Συνδέστε το πρώτο κανάλι του παλμογράφου στην είσοδο ενισχυτή **(Α - Β)** και το δεύτερο κανάλι στην έξοδο του ενισχυτή στα άκρα της αντίστασης φορτίου **(Γ - Δ)**.

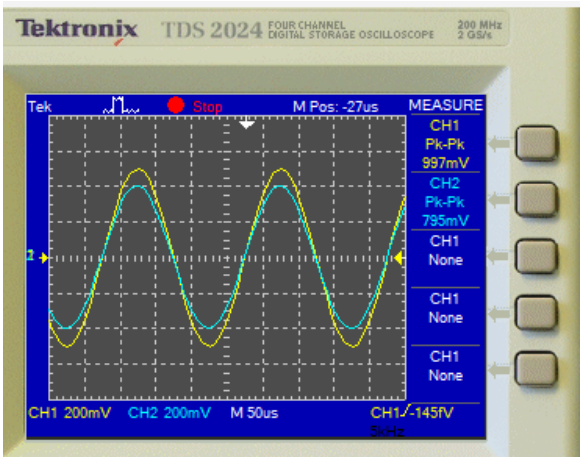
Στην συνέχεια συνδέστε την γεννήτρια συχνοτήτων στην είσοδο του ενισχυτή και ρυθμίστε για ημιτονικό σήμα V_{P-P} = 1 Volt και συχνοτήτων 5 KHz.

Με την βοήθεια του παλμογράφου την τάση εισόδου από κορυφή σε κορυφή $V_{i,\,P-P}$ και την τάση εξόδου $V_{o,\,P-P}$.

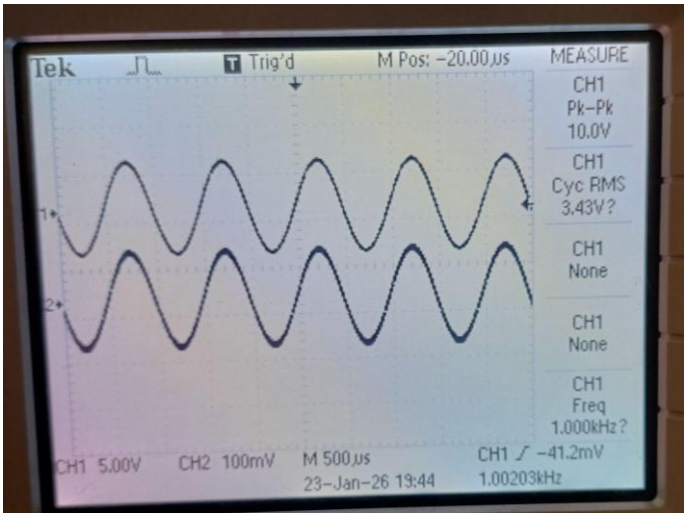
Πίνακας 29: Μετρήσεις Παλμογράφου στη είσοδο και έξοδο του ενισχυτή

$V_{i,P-P}$ (Volt) (Multisim)	$V_{i,P-P}$ (Volt) (Πειραμ.)	$V_{o,P-P}$ (Volt) (Multisim)	$V_{o,P-P}$ (Volt) (Πειραμ.)	A_v (Multisim)	A_v (Πειραμ.)
1,0	2,0	559	610	0,559	0,800

Σχεδιάστε το διάγραμμα εισόδου και την τάση εξόδου.



Εικόνα 66: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου στο Multisim



Εικόνα 67: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου Πειραματικά

Τι παρατηρείτε;

Από τα διαγράμματα εισόδου και εξόδου παρατηρείται ότι το σήμα εξόδου διατηρεί την ημιτονοειδή μορφή και τη συχνότητα του σήματος εισόδου, χωρίς αντιστροφή φάσης, αλλά εμφανίζει μικρότερο πλάτος. Τα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζουν απόκλιση από την προσομοίωση Multisim, χωρίς όμως να μεταβάλλεται η βασική συμπεριφορά του κυκλώματος.

Μετρήστε στην συνέχεια με την βοήθεια του πολυμέτρου την rms τιμή του ρεύματος εισόδου $i_{i,rms}$ και την τιμή rms τιμή ρεύματος στο φορτίο $i_{o,rms}$.

Πειραματικές Μετρήσεις :

Στην συνέχεια υπολογίστε την απολαβή ρεύματος από την σχέση:

$$A_i = \frac{i_{out}}{i_{in}} = \frac{560\mu A}{7.070\mu A} = 79{,}207$$

Την αντίσταση εισόδου από την σχέση:

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{i_{in}} = \frac{707mV}{7.07\mu A} = 100Kohm$$

Την αντίσταση εξόδου από την σχέση :

$$R_{out} = \frac{V_{out}}{i_{out}} = \frac{559mV}{560\mu A} = 0{,}998Kohm$$

Εργαστηριακές Μετρήσεις :

Στην συνέχεια υπολογίστε την απολαβή ρεύματος από την σχέση:

$$A_i = \frac{i_{out}}{i_{in}} = \frac{560\mu A}{7.070\mu A} = 79{,}207$$

Την αντίσταση εισόδου από την σχέση:

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{i_{in}} = \frac{707mV}{7.07\mu A} = 100Kohm$$

Την αντίσταση εξόδου από την σχέση :

$$R_{out} = \frac{V_{out}}{i_{out}} = \frac{559mV}{560\mu A} = 0{,}998Kohm$$

Αφού προηγουμένως μετατρέψετε κατάλληλα τα μεγέθη (τιμες **rms** ρευμάτων και τάσεις απο κορυφη σε κορυφη).

Πίνακας 30: Μετρήσεις απολαβή ρεύματος

$i_{i,rms}$ (μA) (Mult.)	$i_{i,rms}$ (μA) (Πειραμ.)	$i_{o,rms}$ (μA) (Mult.)	$i_{o,rms}$ (μA) (Πειραμ.)	A_i (Mult.)	A_i (Πειραμ.)	R_{in} (KΩ) (Mult.)	R_{in} (KΩ) (Πειραμ.)	R_{out} (KΩ) (Mult.)	R_{out} (KΩ) (Πειραμ.)
7,07	7,09	560	532	79,20	75,02	100	99,97	0,99	1,06

5.14 Ο τελεστικός ενισχυτής uA741 - Εφαρμογές

Σκοπός:

Η υλοποίηση διαφορετικών κυκλωμάτων με τον τελεστικό ενισχυτή uA741 και η μελέτη του τρόπου λειτουργίας τους.

Πορεία Εργασίας:

Κύκλωμα Μη Αναστρέφων Ενισχυτής:

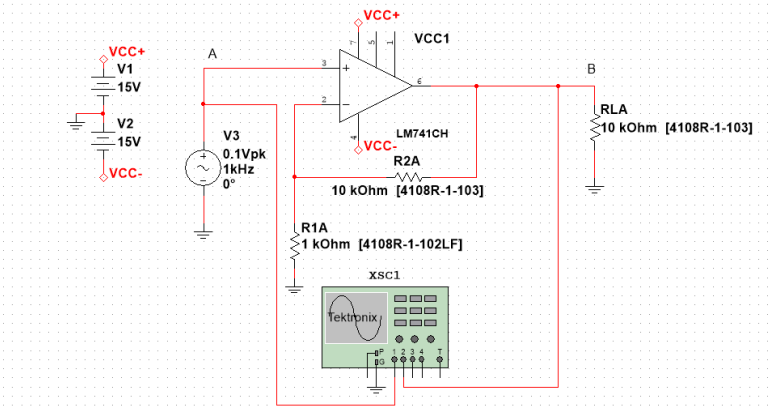
Κατασκευάστε το πρωτο κύκλωμα με αρχική αντίσταση R_2 = 10 Kohm. Ρυθμίστε την τάση και τις δύο πήγες του τροφοδοτικού στα **15 Volt**. Στην συνέχεια συνδέστε τον ελεύθερο θετικό πόλο στο V_{cc+} του κυκλώματος και τον ελεύθερο αρνητικό πόλο στο V_{cc-} .

Ρυθμίστε **το ημιτονικό σήμα από κορυφή σε κορυφή 200 mV και συχνότητα 1 KHz** και συνδέστε την στο κύκλωμα μεταξύ του σημείου Α και της γείωσης.

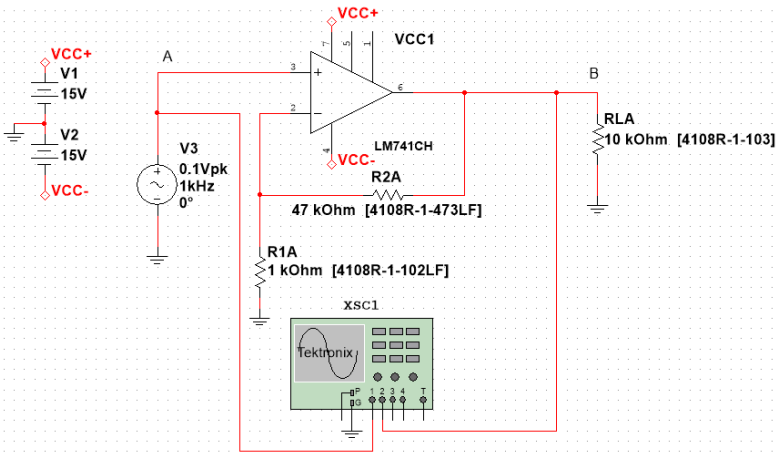
Συνδέστε επίσης το 1ο κανάλι του παλμογράφου στην είσοδο του μη αναστρέφοντος ενισχυτή και το 2ο κανάλι του παλμογράφου στην έξοδο στα άκρα της αντίστασης φορτίου.

Με την βοήθεια του παλμογράφου καταγράψτε την τάση εισόδου $\mathbf{V_{in(p-p)}}$ και καταγράψτε τα αποτελέσματα και την τάση εξόδου ΤΕ, $\mathbf{V_{out(P-P)}}$ στον πίνακα Ι. Να επαναλάβετε τις ίδιες μετρήσεις για την αντίσταση $\mathbf{R_2}$ **= 47 Kohm.**

Μετρήστε επίσης την απολαβή τάσης που προκύπτει από τις πειραματικές και θεωρητικές τιμές.



Εικόνα 68: Κύκλωμα μη αναστρέφων ενισχυτή για R2A = 10 Kohm

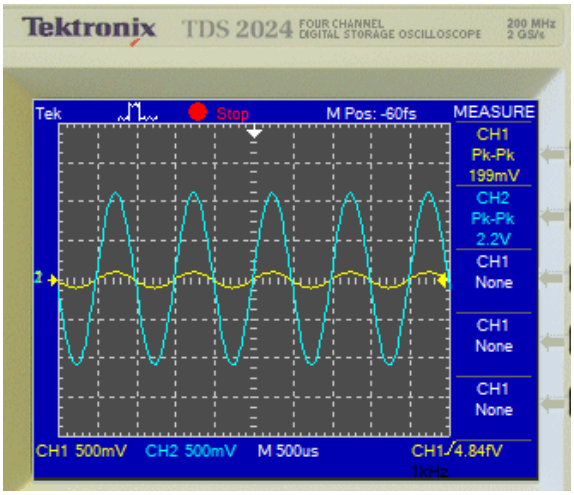


Εικόνα 69: Κύκλωμα μη αναστρέφων ενισχυτή για R2A = 47 Kohm

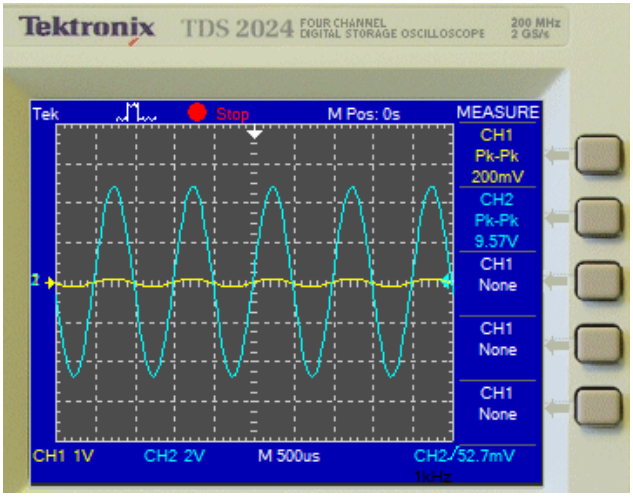
Μετρήσεις Κυκλώματος:

Πίνακας 31: Μετρήσεις μη αναστρέφων ενισχυτή για R2A = 10 Kohm και R2A = 47 Kohm

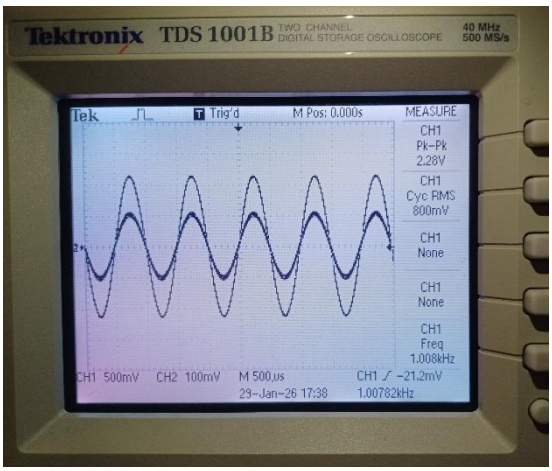
R2	$V_{in(P-P)}$ (Volt) (Multisim)	$V_{in(P-P)}$ (Volt) (Πειραμ.)	$V_{out(P-P)}$ (Volt) (Multisim)	$V_{out(P-P)}$ (Volt) (Πειραμ.)	Av = $V_{out(P-P)}$ /$V_{in(P-P)}$ (Multisim)	Av = $V_{out(P-P)}$ / $V_{in(P-P)}$ (Πειραμ.)	Av = (1 + R2/R1) (Multisim)	Av = (1 + R2/R1) (Πειραμ.)
R2 = 10 KΩ	199 mV	200 mV	2,19 V	2,28 V	10,95	10	11	11
R2 = 47 KΩ	200 mV	200 mV	9,57 V	9,68 V	47,85	48,40	48	48



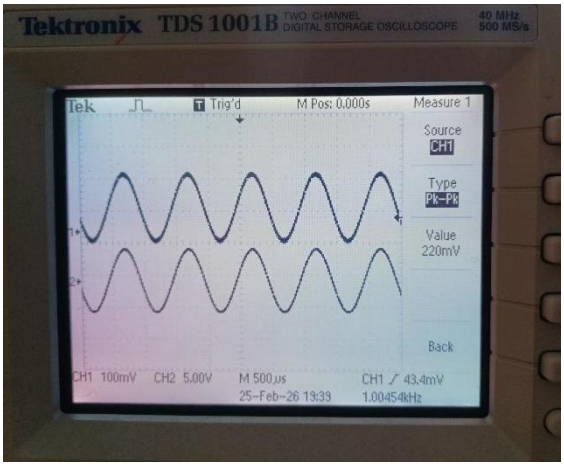
Εικόνα 70: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 10 Kohm στο Multisim



Εικόνα 71: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 47 Kohm στο Multisim

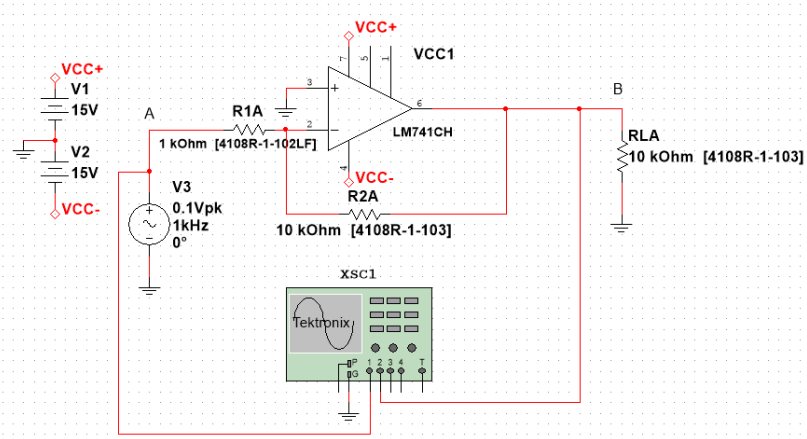


Εικόνα 72: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 10 Kohm Πειραματικά

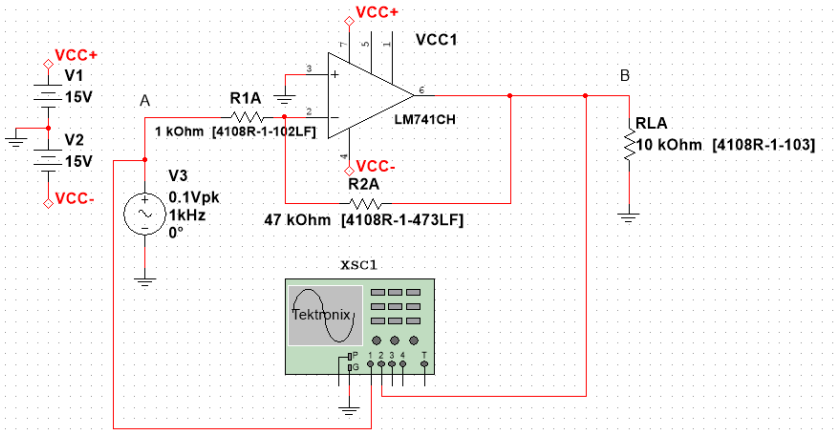


Εικόνα 73: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 47 Kohm Πειραματικά

Κύκλωμα Αναστρέφων Ενισχυτής



Εικόνα 74: Κύκλωμα αναστρέφων ενισχυτή για R2A = 10 Kohm



Εικόνα 75: Κύκλωμα αναστρέφων ενισχυτή για R2A = 47 Kohm

Στην συνέχεια κατασκευάστε το κύκλωμα του **αναστρέφοντος ενισχυτή.** Ρυθμίστε **πάλι το ημιτονικό σήμα από κορυφή σε κορυφή 200 mV και συχνότητα 1 KHz** και συνδέστε την στο κύκλωμα μεταξύ του σημείου Α και της γείωσης.

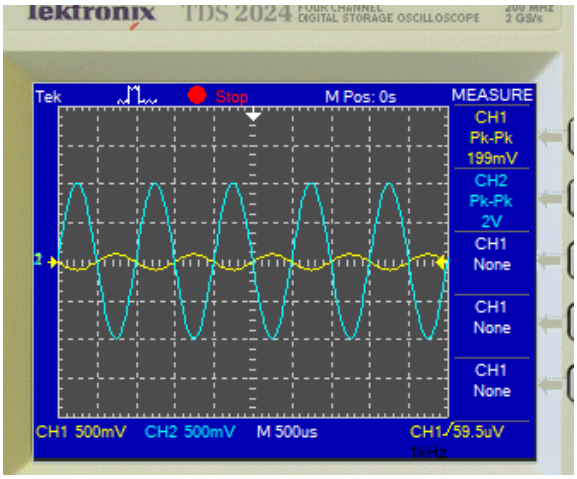
Με την βοήθεια του παλμογράφου καταγράψτε την τάση εισόδου $\mathbf{V_{in(p-p)}}$ και καταγράψτε τα αποτελέσματα και την τάση εξόδου ΤΕ, $\mathbf{V_{out(P-P)}}$ στον πίνακα Ι. Να επαναλάβετε τις ίδιες μετρήσεις για την αντίσταση $\mathbf{R_2 = 47\ K\Omega.}$

Μετρήστε επίσης την απολαβή τάσης που προκύπτει απο τις πειραματικές τιμές και θεωρητικά και συμπληρώστε τις τιμές στον ίδιο πίνακα.

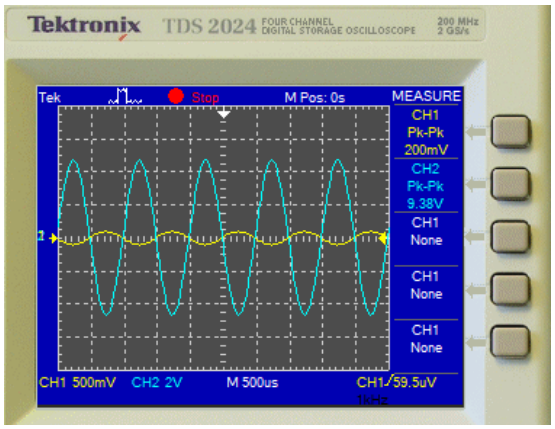
Πίνακας 32: Μετρήσεις αναστρέφων ενισχυτή για R2A = 10 Kohm και R2A = 47 Kohm

R2	**$V_{in(P-P)}$ (Volt) (Multisim)**	**$V_{in(P-P)}$ (Volt) (Πειραμ.)**	**$V_{out(P-P)}$ (Volt) (Multisim)**	**$V_{out(P-P)}$ (Volt) (Πειραμ.)**	**Av = $V_{out(P-P)}$ /$V_{in(P-P)}$ (Multisim)**	**Av = $V_{out(P-P)}$ / $V_{in(P-P)}$ (Πειραμ.)**	**Av = -R_2/R_1 (Multisim)**	**Av = -R_2/R_1 (Πειραμ.)**
R2 = 10 KΩ	200 mV	200 mV	2,00 V	1,74 V	10,0	8,0	-10	-10

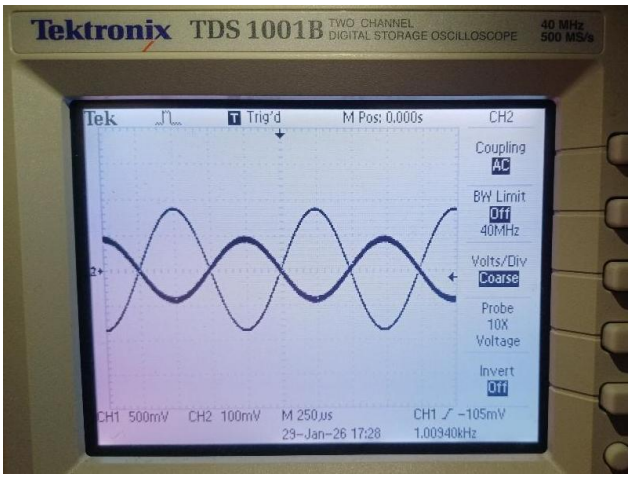
R2 = 47 KΩ	200 mV	200 mV	9,36 V	8,00 V	46,8	40,0	47	47



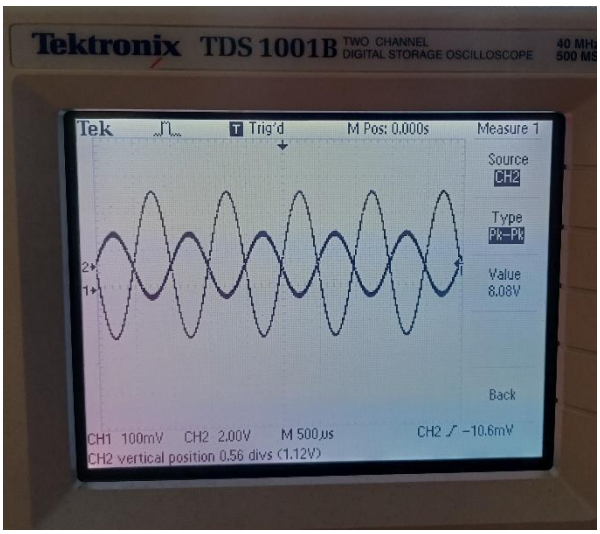
Εικόνα 76: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 10 Kohm στο Multisim



Εικόνα 77: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 47 Kohm στο Multisim



Εικόνα 78: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 10 Kohm Πειραματικά



Εικόνα 79: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για R2A = 47 Kohm Πειραματικά

<u>Κυκλωμα με διαφοριστή ΤΕ uA741</u>

Στην συνέχεια κατασκεύασε και το κύκλωμα του διαφοριστή με πυκνωτή **C = 100nF**.

Ρυθμίστε **στη γεννήτρια τετραγωνικό σήμα από κορυφή σε κορυφή 2 V και συχνότητα 100 Hz** και συνδέστε την στο κύκλωμα μεταξύ του σημείου Α και της γείωσης.

Παρατηρείστε την είσοδο του σήματος στο 1ο κανάλι του παλμογράφου και την έξοδο στο 2ο καναλι όταν $\mathbf{R_2 = 1\ K\Omega}$ και ο πυκνωτής **C = 100nF**. Σχεδιάστε το παρακάτω διάγραμμα που βλέπετε στον παλμογράφο το σήμα εισόδου και εξόδου.

Διατηρώντας σταθερό το σήμα στην γεννήτρια αντικαταστήστε προσεκτικά τον πυκνωτή με έναν άλλον πυκνωτή **C = 470 nF**.

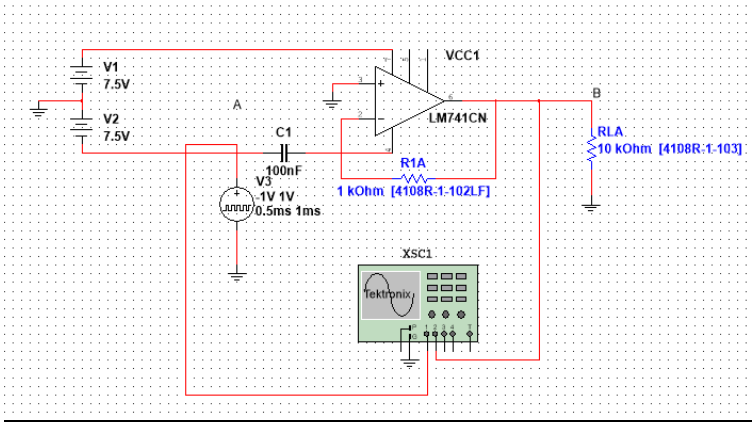
Παρατηρείστε και πάλι την είσοδο του σήματος στο 1ο κανάλι του παλμογράφου και την έξοδο στο 2ο καναλι όταν $\mathbf{R_2 = 1\ K\Omega}$ και ο πυκνωτής **C = 470 nF**. Σχεδιάστε το παρακάτω διάγραμμα που βλέπετε στον παλμογράφο το σήμα εισόδου και εξόδου.

<u>Τι παρατηρείται απο τους διαφορετικούς πυκνωτές ;</u>

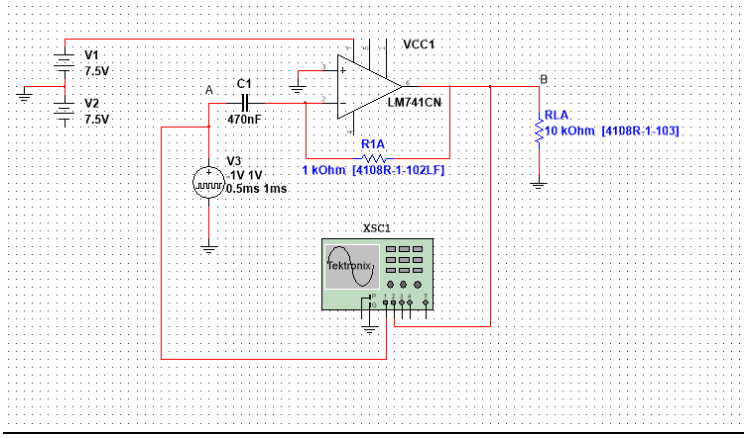
Στο κύκλωμα του διαφοριστή κρατώντας τον πυκνωτή **C = 470 nF** αυξομειώσεις στη συχνότητα από την γεννήτρια.

<u>Τι παρατηρείτε καθως αλλάζει η περίοδος του σήματος εισόδου;</u>

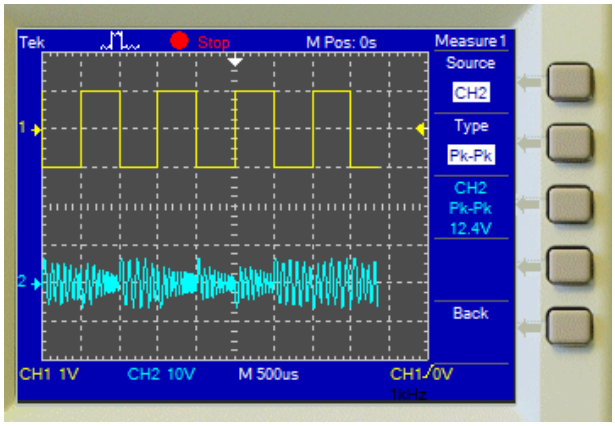
Παρατηρείται ότι καθώς αυξάνεται η συχνότητα του σήματος εισόδου, μειώνεται η περίοδός του και οι παλμοί στην έξοδο εμφανίζονται πιο συχνά. Αντίθετα, όταν μειώνεται η συχνότητα, αυξάνεται η περίοδος και οι παλμοί της εξόδου απέχουν περισσότερο μεταξύ τους. Ο διαφοριστής ανταποκρίνεται κυρίως στις μεταβολές του σήματος εισόδου, με την έξοδο να παρουσιάζει αιχμές στις απότομες αλλαγές του τετραγωνικού σήματος.



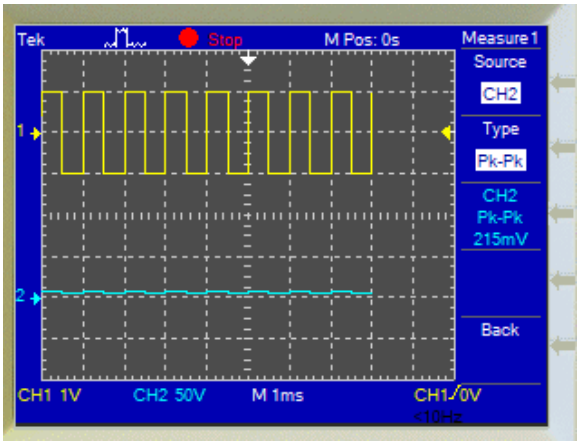
Εικόνα 80: Διαφοριστής με R1A = 1 Kohm και C1 = 100nF



Εικόνα 81: Διαφοριστής με R1A = 1 Kohm και C1 = 470nF



Εικόνα 82: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για C1 = 100nF στο Multisim



Εικόνα 83: Κυματομορφές εισόδου και εξόδου για C1 = 470nF στο Multisim

6ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ

6.1 Συμπεράσματα από την Ανάπτυξη και Εφαρμογή του Εικονικού Εργαστηρίου

Η ανάπτυξη του εικονικού εργαστηρίου παρέχει ένα περιβάλλον στο οποίο μπορούν να υλοποιηθούν και να παρατηρηθούν προσομοιωμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Η βελτίωση της κατανόησης των φοιτητών αποτελεί επιδιωκόμενο εκπαιδευτικό αποτέλεσμα που χρειάζεται κατάλληλη αξιολόγηση.

Η επανάληψη των ασκήσεων και η παρατήρηση των αποτελεσμάτων μπορούν να αξιοποιηθούν συμπληρωματικά προς τη φυσική εργαστηριακή εμπειρία. Η βιβλιογραφία εξετάζει τον συνδυασμό των δύο προσεγγίσεων στην εκπαίδευση [2].

6.2 Μελλοντική Προοπτική και Περαιτέρω Έρευνα

Η περαιτέρω ανάπτυξη των εικονικών εργαστηρίων μπορεί να οδηγήσει σε ακόμη πιο διαδραστικές και αποδοτικές μαθησιακές εμπειρίες. Η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών, όπως διαδικτυακές πλατφόρμες μάθησης και απομακρυσμένα εργαστήρια, μπορεί να διευρύνει τη χρήση του Multisim σε περισσότερα γνωστικά αντικείμενα και μαθήματα.

Παράλληλα, η βελτίωση των εργαλείων αξιολόγησης και η συνεχής συλλογή ανατροφοδότησης από φοιτητές και εκπαιδευτικούς θα συμβάλουν στη βελτιστοποίηση της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Μελλοντική έρευνα μπορεί να εστιάσει στην αποτελεσματικότητα των εικονικών εργαστηρίων σε σύγκριση με τα παραδοσιακά, καθώς και στον συνδυασμό τους με υβριδικές μορφές μάθησης.

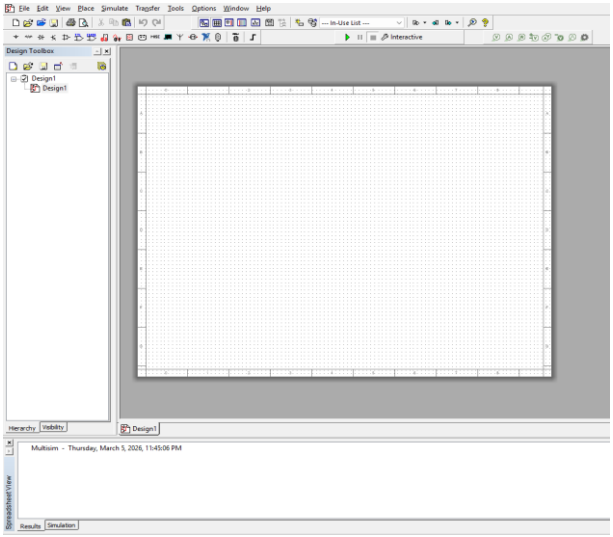
7ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ MULTISIM

Το Multisim είναι ένα λογισμικό σχεδίασης και προσομοίωσης ηλεκτρονικών κυκλωμάτων που αναπτύχθηκε από την National Instruments. Χρησιμοποιείται ευρέως στην εκπαίδευση και στην έρευνα για τη δημιουργία, την ανάλυση και την προσομοίωση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων πριν από την πραγματική τους υλοποίηση [3].

Βασικά βήματα χρήσης του Multisim

1. **Δημιουργία νέου έργου**

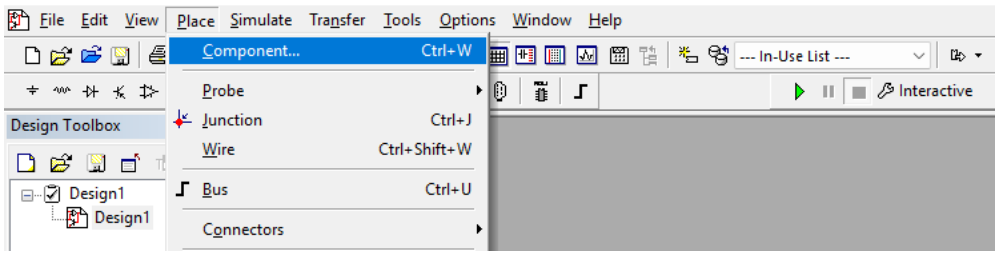
Αρχικά, ο χρήστης ανοίγει το εγκατεστημένο πρόγραμμα στον υπολογιστή του και εμφανίζεται ο χώρος σχεδίασης όπου μπορεί να δημιουργηθεί το κύκλωμα.



Εικόνα 84: Περιβάλλον Multisim

2. **Επιλογή και τοποθέτηση εξαρτημάτων**

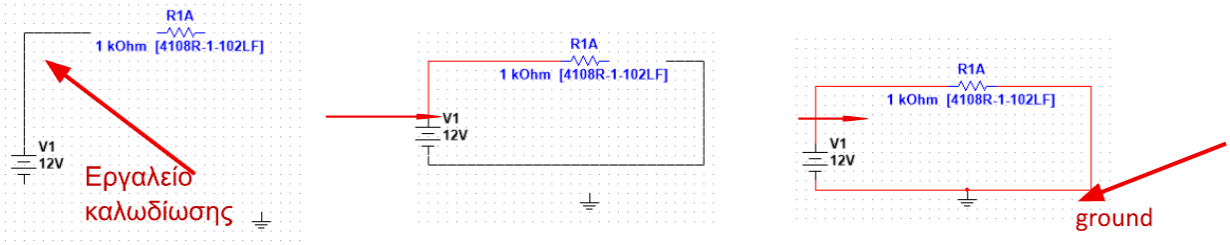
Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα (αντιστάσεις, πυκνωτές, διόδους, τρανζίστορ, πηγές τάσης κ.λπ.) επιλέγονται από τη βιβλιοθήκη εξαρτημάτων μέσω της επιλογής Place → Component. Ο χρήστης επιλέγει το κατάλληλο εξάρτημα και το τοποθετεί στο χώρο σχεδίασης.



Εικόνα 85: Τοποθέτηση εξαρτημάτων από το μενού Place

3. **Σύνδεση των εξαρτημάτων**

Με το εργαλείο καλωδίωσης (wire tool) συνδέονται τα εξαρτήματα μεταξύ τους ώστε να δημιουργηθεί το επιθυμητό ηλεκτρονικό κύκλωμα. Είναι απαραίτητο να υπάρχει επίσης γείωση (ground) στο κύκλωμα για να λειτουργήσει σωστά η προσομοίωση [12].



Εικόνα 86: Καλωδίωση μεταξύ των εξαρτημάτων και ground

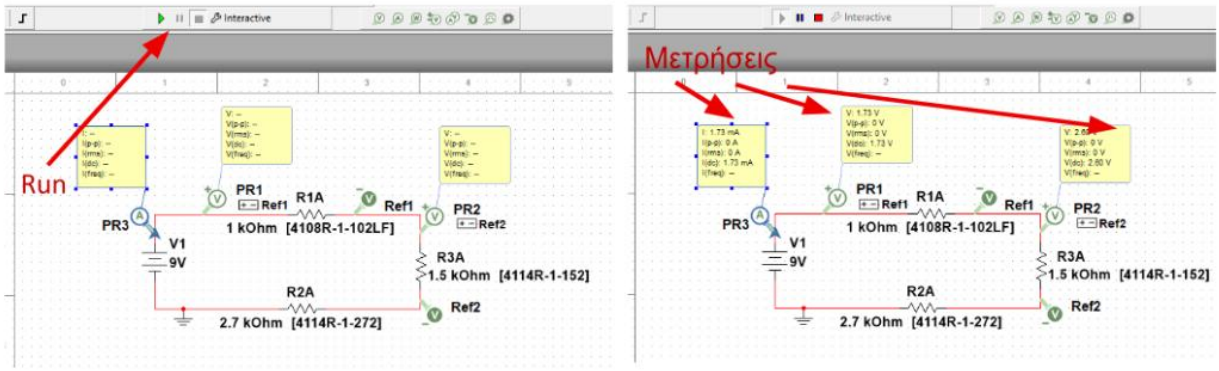
4. Προσθήκη των Οργάνων μέτρησης

Το Multisim διαθέτει εικονικά όργανα μέτρησης, όπως πολύμετρο, παλμογράφο και πηγές ημιτονικού σήματος (γεννήτρια σήματος), τα οποία μπορούν να προστεθούν στο κύκλωμα για την παρακολούθηση των ηλεκτρικών μεγεθών [5].

Εικόνα 87: Εικονικά όργανα για την υλοποίηση κυκλωμάτων

5. Εκτέλεση Προσομοίωσης

Αφού ολοκληρωθεί η σχεδίαση, η προσομοίωση ξεκινά πατώντας το κουμπί Run. Το πρόγραμμα υπολογίζει τη λειτουργία του κυκλώματος και εμφανίζει τις μετρήσεις των οργάνων σε πραγματικό χρόνο [12].



Εικόνα 88: Εκτέλεση της προσομοίωσης (Run) και εμφάνιση των μετρήσεων στο Multisim

6. Ανάλυση αποτελεσμάτων

Ο χρήστης μπορεί να παρατηρήσει τάσεις, ρεύματα και κυματομορφές μέσω των οργάνων ή των εργαλείων ανάλυσης του προγράμματος, ώστε να αξιολογήσει τη λειτουργία του κυκλώματος και να εντοπίσει πιθανά σφάλματα. Το Multisim επιτρέπει την εύκολη τροποποίηση των παραμέτρων

των εξαρτημάτων και την επανάληψη της προσομοίωσης, γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για την κατανόηση και τον σχεδιασμό ηλεκτρονικών κυκλωμάτων [4], [12].

8ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

8.1 Τροφοδοτικό/Πηγή

Εικόνα 89: Τροφοδοτικό (πηγή συνεχούς τάσης)

Ένα τροφοδοτικό AC–DC μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση εισόδου σε συνεχείς τάσεις κατάλληλες για την τροφοδοσία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων [13], [9].

<u>Ενα τροφοδοτικό αποτελείται από :</u>

Ρύθμιση τάσης (Voltage control) και Ρύθμιση ρεύματος (Current limit)

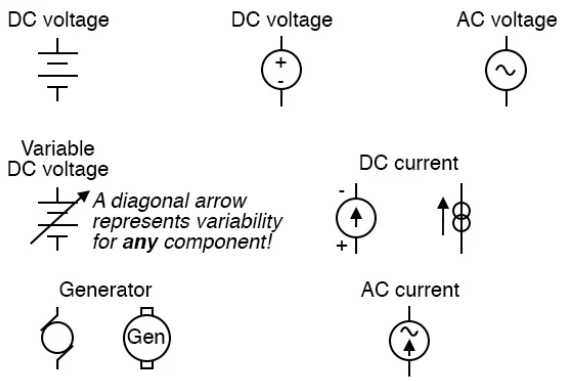
<u>Οθόνη που δείχνει:</u>

1. Τάση (V)
2. Ρεύμα (A)

<u>Και τους ακροδέκτες:</u>

1. θετικός
2. αρνητικός / GND

<u>Κι άλλα είδη πηγών που χρησιμοποιούμε στην προσομοίωση:</u>



Εικόνα 90: Είδη πηγών σε πρόγραμμα προσομοίωσης

8.2 Πολύμετρο

Εικόνα 91: Ψηφιακό Πολύμετρο

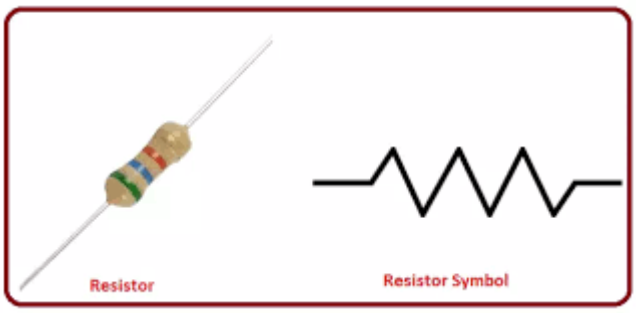
Το πολύμετρο **(*multimeter*)** είναι ένα όργανο μέτρησης που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και τη μέτρηση διαφόρων ηλεκτρικών μεγεθών. Όπως δείχνει και το όνομά του, πρόκειται για έναν «πολύ-μετρητή», δηλαδή μια συσκευή που συνδυάζει πολλές λειτουργίες μέτρησης σε ένα όργανο.

Κυρίως χρησιμοποιείται ως βολτόμετρο για τη μέτρηση της ηλεκτρικής τάσης V (Volt) και ως αμπερόμετρο για τη μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος A (Ampere). Μπορεί επίσης να λειτουργήσει ως ωμόμετρο, δηλαδή όργανο μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης, η οποία εκφράζεται σε Ωμ (Ohm).

Τα περισσότερα σύγχρονα πολύμετρα επιτρέπουν επίσης τη μέτρηση και άλλων μεγεθών, όπως η τάση διόδων, η χωρητικότητα πυκνωτών και η θερμοκρασία. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο ηλεκτρονικών στοιχείων, όπως διόδων και διπολικών τρανζίστορ.

Για τον λόγο αυτό, το πολύμετρο ονομάζεται συχνά και καθολικός μετρητής, επειδή συγκεντρώνει πολλές δυνατότητες μέτρησης σε μία μόνο συσκευή [14].

8.3 Αντιστάτης



Εικόνα 92: Αντιστάτης και σύμβολό του

Μια αντίσταση (resistor) είναι ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα που εμποδίζει τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα κύκλωμα.

Αυτό που κάνει μια αντίσταση στην τάση είναι να δημιουργεί μια πτώση ανάλογη με το ρεύμα που τη διαρρέει και την τιμή της αντίστασης της (όπως περιγράφεται από τον νόμο του Ohm: $V = I \times R$).

Η κύρια λειτουργία της είναι να εισάγει μια συγκεκριμένη ποσότητα αντίστασης, μετρούμενη σε ohms (Ω). Αυτή η αντίσταση μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμότητα, ελέγχοντας αποτελεσματικά το ρεύμα [15].

8.4 Ποτενσιόμετρο

Εικόνα 93: Ποτενσιόμετρο

Τα ποτενσιόμετρα (potentiometers) είναι ένα άλλο είδος αντιστάσεων που μπορούν να ρυθμιστούν μεταξύ ενός συγκεκριμένου εύρους τιμών.

Ο κινητός δρομέας του ποτενσιόμετρου χωρίζει το αντιστατικό στοιχείο σε δύο τμήματα και επιτρέπει τη λειτουργία του ως ρυθμιζόμενου διαιρέτη τάσης.

Αυτές οι μεταβλητές αντιστάσεις χρησιμοποιούνται συχνά για εισόδους, όπως κουμπιά έντασης, τα οποία πρέπει να είναι ρυθμιζόμενα [6].

8.5 Πυκνωτής

Εικόνα 94: Διάφοροι τύποι πυκνωτών

Ένας πυκνωτής (capacitor) αποτελείται από δύο αγώγιμα σώματα που ονομάζονται οπλισμοί τοποθετημένα το ένα κοντά στο άλλο, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται μονωτικό υλικό που ονομάζεται διηλεκτρικό.

Ο επίπεδος πυκνωτής αποτελείται από δύο επίπεδες παράλληλες μεταλλικές πλάκες, που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, μεταξύ των οποίων υπάρχει μονωτικό υλικό.

Χαρακτηριστικό μέγεθος του πυκνωτή είναι η χωρητικότητά του **F (Farad)**. Αναφέρεται στην ιδιότητα του πυκνωτή να συγκρατεί ηλεκτρικά φορτία στους οπλισμούς του, όταν συνδέεται με μια ηλεκτρική πηγή [6].

Δύο από τα βασικά είδη των πυκνωτών στα οποία και εστιάζουμε είναι οι:

8.5.1 Κεραμικοί πυκνωτές

Οι κεραμικοί πυκνωτές χρησιμοποιούν κεραμικό διηλεκτρικό και διατίθενται σε διαφορετικές μορφές και τιμές χωρητικότητας. Η καταλληλότητά τους για συγκεκριμένη συχνότητα εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εξαρτήματος [6].

Εικόνα 95: Κεραμικοί Πυκνωτές

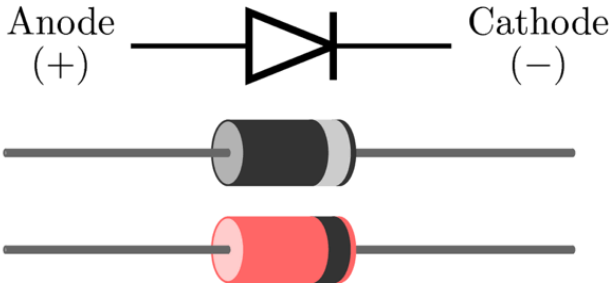
8.5.2 Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές (αλουμινίου, ταντάλιου)

Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές (αλουμινίου, ταντάλιου), χρησιμοποιούν ηλεκτρολύτη και λεπτό στρώμα οξειδίου ως διηλεκτρικό, προσφέροντας μεγάλη χωρητικότητα σε μικρό όγκο και χρησιμοποιούνται κυρίως σε φιλτράρισμα και εξομάλυνση τάσης.

Έχουν πολικότητα, κυκλοφορούν κυρίως σε τύπους αλουμινίου και τανταλίου και είναι ευαίσθητοι σε υπέρταση ή λανθασμένη σύνδεση [6].

Εικόνα 96: Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής

8.6 Δίοδος



Εικόνα 97: Δίοδος: σύμβολο και μορφή

Η δίοδος είναι ημιαγωγικό εξάρτημα δύο ακροδεκτών, της ανόδου και της καθόδου. Η αγωγιμότητά της διαφέρει σημαντικά μεταξύ ορθής και ανάστροφης πόλωσης [9].

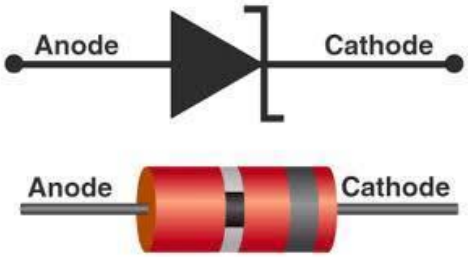
Στην ορθή πόλωση, η άνοδος βρίσκεται σε υψηλότερο δυναμικό από την κάθοδο και η δίοδος μπορεί να άγει. Στην ανάστροφη πόλωση εμφανίζεται μικρό ρεύμα διαρροής, μέχρι να προσεγγιστεί η περιοχή διάσπασης [9].

Οι δίοδοι επιλέγονται σύμφωνα με τον τύπο τους και τις προδιαγραφές τάσης, ρεύματος και άλλων χαρακτηριστικών στο φύλλο δεδομένων τους [9].

Η άνοδος και η κάθοδος είναι ονομασίες ακροδεκτών και δεν δηλώνουν σταθερή πολικότητα ανεξάρτητα από τη σύνδεση.

8.6.1 Δίοδος Zener

Η δίοδος Zener είναι ένας ειδικός τύπος διόδου σύνδεσης PN που έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί στην περιοχή αντίστροφης διάσπασης του χαρακτηριστικού ρεύματος-τάσης της. Χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της τάσης σε ηλεκτρονικά κυκλώματα [9].



Εικόνα 98: Δίοδος Zener

8.6.2 Δίοδος LED (Δίοδος εκπομπής φωτός)

Οι δίοδοι εκπομπής φωτός (LED) εκπέμπουν φως κατά την ορθή πόλωση και διαθέτουν άνοδο και κάθοδο. Χρησιμοποιούνται σε ενδεικτικές λυχνίες, οθόνες και φωτισμό [9].

Εικόνα 99: Δίοδος εκπομπής φωτός (LED)

8.7 Τρανζίστορ

Το τρανζίστορ είναι ημιαγωγικό εξάρτημα που χρησιμοποιείται, μεταξύ άλλων, για ενίσχυση σημάτων και διακοπτική λειτουργία. Στην παρούσα ενότητα εξετάζονται τα BJT και FET [9].

Οι δύο οικογένειες διαφέρουν ως προς τη δομή και τον τρόπο ελέγχου της αγωγιμότητάς τους [9].

Τα τρανζίστορ χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες. Οι δύο που θα εξεταστούν είναι:

8.7.1 Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής (BJT)

Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής (BJT) είναι ένας τύπος τρανζίστορ που βασίζεται στη μετακίνηση τόσο ηλεκτρονίων όσο και οπών για την αγωγή ρεύματος. Διαθέτει τρεις ακροδέκτες:

Εκπομπός (Emitter – E):

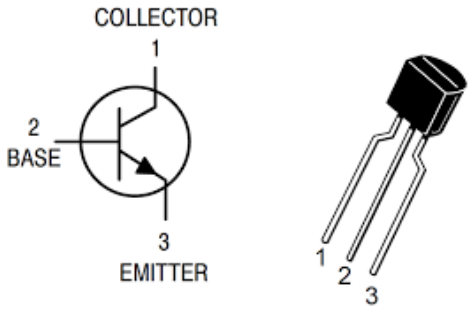
Είναι ο ακροδέκτης που εγχέει φορείς φορτίου (ηλεκτρόνια ή οπές) προς τη βάση και είναι έντονα νοθευμένος ώστε να παρέχει μεγάλη συγκέντρωση φορέων.

Βάση (Base – B):

Είναι μια πολύ λεπτή και ελαφρά νοθευμένη περιοχή που λειτουργεί ως περιοχή ελέγχου· ένα μικρό ρεύμα ή τάση στη βάση ρυθμίζει τη ροή των φορέων μεταξύ εκπομπού και συλλέκτη.

Συλλέκτης (Collector – C):

Είναι ο ακροδέκτης που συλλέγει τους φορείς φορτίου από τον εκπομπό μέσω της βάσης· είναι μέτρια νοθευμένος και μεγαλύτερος σε μέγεθος ώστε να μπορεί να διαχειρίζεται μεγαλύτερο ρεύμα **[9].**



Εικόνα 100: Διπολικό τρανζίστορ επαφής: σύμβολο και μορφή

8.7.2 Τρανζίστορ Επίδρασης Πεδίου (FET)

Πηγή (Source – S):

Η πηγή (Source) είναι ένας από τους δύο ακροδέκτες του καναλιού αγωγής του FET. Η περιγραφή της φοράς του ρεύματος εξαρτάται από τον τύπο του εξαρτήματος και τη σύμβαση που χρησιμοποιείται.

Πύλη (Gate – G):

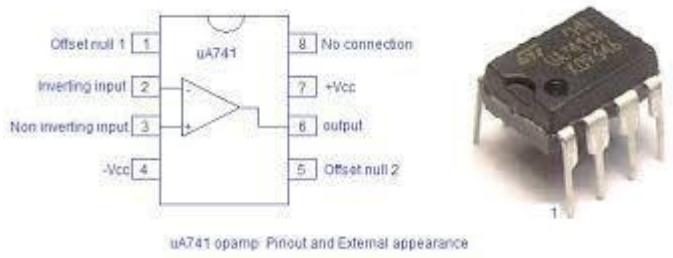
Η πύλη (Gate) ελέγχει την αγωγιμότητα του καναλιού μέσω της εφαρμοζόμενης τάσης. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας απαιτείται πολύ μικρό ρεύμα πύλης σε σύγκριση με τον έλεγχο βάσης ενός BJT.

Απαγωγός (Drain – D):

Ο δεύτερος ακροδέκτης του καναλιού αγωγής. Η τάση μεταξύ πηγής και απαγωγού και η τάση ελέγχου της πύλης καθορίζουν τη λειτουργία του FET [9].

Εικόνα 101: Τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (JFET)

8.8 Ολοκληρωμένο κύκλωμα uA741



Εικόνα 102: Ολοκληρωμένο κύκλωμα uA741

Το μA741 είναι τελεστικός ενισχυτής γενικής χρήσης. Τα χαρακτηριστικά και οι συνθήκες λειτουργίας του καθορίζονται στο φύλλο δεδομένων του κατασκευαστή [16].

Πρόκειται για μονολιθικό ολοκληρωμένο κύκλωμα που χρησιμοποιείται σε αναλογικές εφαρμογές [16].

Διαθέτει εσωτερική αντιστάθμιση συχνότητας και προστασία της εξόδου από βραχυκύκλωμα. Οι ακροδέκτες offset null επιτρέπουν τη ρύθμιση της τάσης μετατόπισης με κατάλληλη εξωτερική συνδεσμολογία [16].

Το επιτρεπόμενο θερμοκρασιακό εύρος εξαρτάται από την έκδοση του εξαρτήματος· για την εμπορική έκδοση μA741C αναφέρεται εύρος 0 °C έως 70 °C [16].

Τι είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα uA741 IC;

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα **uA741 IC** είναι ένας μονολιθικός τελεστικός ενισχυτής υψηλής απόδοσης και έχει σχεδιαστεί μόνο με τσιπ Si (Silicon). Αυτό το ολοκληρωμένο κύκλωμα χρησιμοποιείται σε μια ευρεία γκάμα αναλογικών εφαρμογών.

Η τάση λειτουργίας ευρείας εμβέλειας καθώς και το υψηλό κέρδος παρέχουν καλύτερες επιδόσεις σε εφαρμογές όπως ολοκληρωτές, εφαρμογές γενικής ανάδρασης και ενισχυτών άθροισης. Το εσωτερικό δίκτυο αντιστάθμισης εξασφαλίζει σταθερότητα σε κυκλώματα κλειστού βρόχου[16].

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα **uA741 IC** αποτελείται από 8 ακροδέκτες (pins), των οποίων οι λειτουργίες περιγράφονται παρακάτω:

Ακροδέκτες 1 & 5 (Offset N1 & N2):

Χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της τάσης μετατόπισης (offset voltage), εφόσον απαιτείται.

Ακροδέκτης 2 (IN−):

Αναστρέφουσα είσοδος (inverting input) του τελεστικού ενισχυτή.

Ακροδέκτης 3 (IN+):

Μη αναστρέφουσα είσοδος (non-inverting input) του τελεστικού ενισχυτή.

Ακροδέκτης 4 (Vcc−):

Συνδέεται στη γείωση ή στον αρνητικό πόλο της τροφοδοσίας.

Ακροδέκτης 6 (Output):

Έξοδος του τελεστικού ενισχυτή.

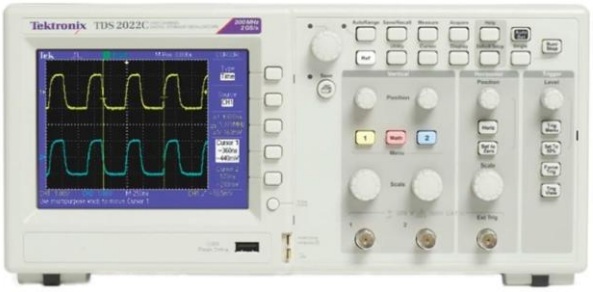
Ακροδέκτης 7 (Vcc+):

Συνδέεται στο θετικό πόλο της τροφοδοσίας.

Ακροδέκτης 8 (NC):

Δεν έχει εσωτερική σύνδεση (No Connection) [16].

8.9 Παλμογράφος



Εικόνα 103: Παλμογράφος

Ο παλμογράφος είναι όργανο απεικόνισης κυματομορφών. Στην τυπική προβολή χρόνου, ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στην τάση και ο οριζόντιος στον χρόνο. Η τάση από κορυφή σε κορυφή (Vp-p) είναι μετρούμενο χαρακτηριστικό της κυματομορφής [17].

Με αυτόν τον τρόπο, ο παλμογράφος παρουσιάζει τη γραφική παράσταση του πλάτους της τάσης του σήματος σε συνάρτηση με τον χρόνο.Ο παλμογράφος εμφανίζει την κυματομορφή ενός σήματος και επιτρέπει στους χρήστες να παρακολουθούν τις μεταβολές της τάσης σε σχέση με τον χρόνο.

Έτσι, μπορούν να μελετηθούν σημαντικά χαρακτηριστικά του σήματος, όπως η συχνότητα, το πλάτος, η διάρκεια των παλμών και η γενικότερη μορφή της κυματομορφής [17].

Οι Χρήσεις των παλμογράφων αναφέρονται σε:

1. **Ανάλυση κυκλωμάτων:** Οι παλμογράφοι χρησιμοποιούνται για την ανάλυση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, επιτρέποντας τον εντοπισμό σφαλμάτων ή παραμορφώσεων στα σήματα.
2. **Δοκιμή και ανάπτυξη:** Χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη και τη δοκιμή ηλεκτρονικών συσκευών, όπως ενισχυτές, ταλαντωτές, τροφοδοτικά και άλλα ηλεκτρονικά συστήματα.

3. **Εκπαίδευση:** Οι παλμογράφοι χρησιμοποιούνται ευρέως σε εκπαιδευτικά ιδρύματα για τη διδασκαλία βασικών και προχωρημένων εννοιών της ηλεκτρονικής.
4. **Επισκευή και συντήρηση:** Σε εργαστήρια επισκευών, οι παλμογράφοι βοηθούν στην αναγνώριση και διάγνωση προβλημάτων σε ηλεκτρονικές συσκευές και κυκλώματα [17].

8.10 Γεννήτρια σήματος

Εικόνα 104: Γεννήτρια σήματος

Η γεννήτρια σήματος (function generator) είναι ένα ηλεκτρονικό όργανο εργαστηρίου που παράγει ηλεκτρικά σήματα σε διάφορες συχνότητες, πλάτη και μορφές κυματομορφών [18].

Χρησιμοποιείται ως πηγή διέγερσης για τη δοκιμή και τη μελέτη ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Υπάρχουν γεννήτριες συναρτήσεων και γεννήτριες αυθαίρετων κυματομορφών, με διαφορετικές δυνατότητες [18].

Οι αναλογικές χρησιμοποιούν αναλογική τεχνολογία, ενώ οι ψηφιακές βασίζονται σε ψηφιακή επεξεργασία για την παραγωγή σημάτων.

<u>Σημαντικές παράμετροι γεννήτριας σήματος:</u>

Συχνότητα: καθορίζει πόσο γρήγορα επαναλαμβάνεται η κυματομορφή.

Πλάτος: η μέγιστη τάση του σήματος που παράγει η γεννήτρια.

Σχήμα κυματομορφής: μορφή του σήματος, όπως ημιτονοειδές, τετραγωνικό ή πριονωτό.

DC offset: η μετατόπιση της μέσης τιμής της κυματομορφής από το μηδέν.

Φάση: η δυνατότητα μεταβολής της σχετικής χρονικής διαφοράς μεταξύ σημάτων [16].

Χρήσεις των Ηλεκτρονικών Γεννήτριας Σήματος:

<u>Δοκιμή Ηλεκτρονικών Κυκλωμάτων:</u>

Οι γεννήτριες σήματος χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή διαφόρων τύπων κυκλωμάτων, όπως ενισχυτές, φίλτρα, ταλαντωτές, και άλλα αναλογικά και ψηφιακά κυκλώματα.

Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Συσκευών:

Παρέχουν ελεγχόμενα σήματα εισόδου για τη μελέτη της απόκρισης ενός κυκλώματος [18].

Δοκιμές Ευαισθησίας και Απόκρισης:

Οι γεννήτριες σήματος χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή της απόκρισης των κυκλωμάτων σε διαφορετικά σήματα και για την αξιολόγηση της ακρίβειας και της αντοχής τους σε διάφορες συνθήκες.

Εκπαίδευση:

Σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, οι γεννήτριες χρησιμοποιούνται για τη διδασκαλία των βασικών αρχών των σημάτων και των κυκλωμάτων.

9ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

9.1 Σκοπός του Κεφαλαίου

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι η παρουσίαση και αξιολόγηση της εφαρμογής AppDesk, η οποία αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας ως σύστημα απομακρυσμένης πρόσβασης σε εργαστηριακό υπολογιστή. Η εφαρμογή επιτρέπει τη μετάδοση εικόνας σε πραγματικό χρόνο, καθώς και την αποστολή εντολών ποντικιού και πληκτρολογίου μέσω δικτύου.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται η αρχιτεκτονική του συστήματος, τα βασικά τμήματα της υλοποίησης, τα αποτελέσματα των δοκιμών, καθώς και οι περιορισμοί και οι δυνατότητες μελλοντικής επέκτασης της εφαρμογής.

9.2 Αποτίμηση της εφαρμογής

Η εφαρμογή AppDesk ανταποκρίνεται επιτυχώς στους βασικούς στόχους της πτυχιακής εργασίας, παρέχοντας λειτουργικό απομακρυσμένο έλεγχο υπολογιστή μέσω δικτύου. Η αρχιτεκτονική βασίζεται σε μοντέλο **Client–Server** με χρήση **Relay Server**, επιτρέποντας σύνδεση ακόμη και μεταξύ διαφορετικών δικτύων χωρίς ανάγκη για port forwarding.

9.2.1 Επίτευξη στόχων

Κατά την υλοποίηση του συστήματος επιτεύχθηκαν οι βασικοί στόχοι που είχαν τεθεί. Αρχικά, υλοποιήθηκε η απομακρυσμένη προβολή της οθόνης, επιτρέποντας στον **Client** να λαμβάνει και να προβάλλει σε πραγματικό χρόνο την οθόνη του **Host**. Παράλληλα, προστέθηκε η δυνατότητα αποστολής και διαχείρισης εισόδου, μέσω της οποίας ο **Client** μπορεί να ελέγχει τον απομακρυσμένο υπολογιστή χρησιμοποιώντας το ποντίκι και το πληκτρολόγιο.

Για τη διαχείριση της επικοινωνίας μεταξύ **Host** και **Client** υλοποιήθηκε **Relay-Based** αρχιτεκτονική, όπου ο **Relay Server** αναλαμβάνει τη διαμεσολάβηση και τη διαχείριση της σύνδεσης μεταξύ των δύο πλευρών. Επιπλέον, υλοποιήθηκε μηχανισμός διαχείρισης συνεδρίων, με κάθε συνεδρία να αντιστοιχίζεται σε ένα μοναδικό Session ID, ώστε να είναι δυνατή η αναγνώριση και η ορθή διαχείριση των ενεργών συνδέσεων.

Τέλος, υλοποιήθηκε η μετάδοση της εικόνας μέσω TCP sockets, εξασφαλίζοντας τη μεταφορά των δεδομένων της οθόνης από τον host προς τον **Client**. Με την ολοκλήρωση των παραπάνω λειτουργιών, καλύφθηκαν οι βασικές απαιτήσεις του συστήματος και επιτεύχθηκε η λειτουργία ενός ολοκληρωμένου μηχανισμού απομακρυσμένης πρόσβασης.

9.2.2 Διεπαφή της Εφαρμογής (GUI)

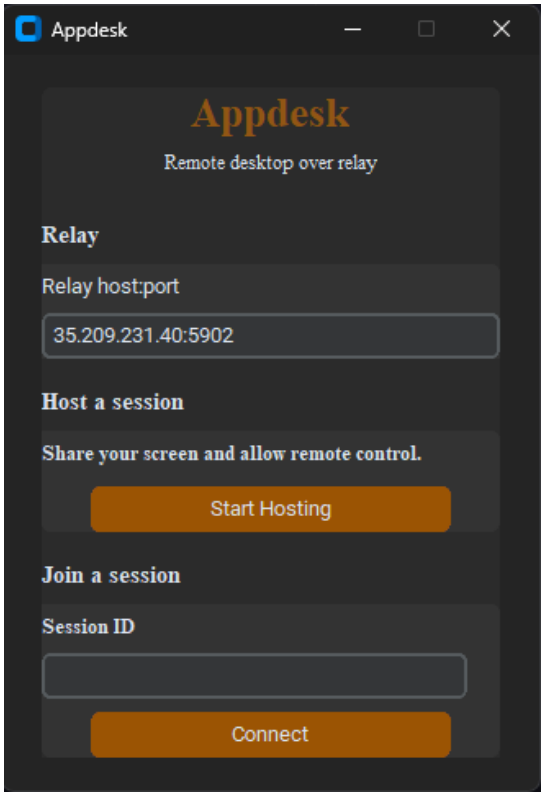
Η εφαρμογή διαθέτει απλή και λειτουργική διεπαφή χρήστη, η οποία επιτρέπει:

Το σύστημα παρέχει ένα σύνολο βασικών λειτουργιών που διευκολύνουν τη διαδικασία απομακρυσμένης πρόσβασης. Αρχικά, υποστηρίζεται η εύκολη εκκίνηση μιας συνεδρίας σε λειτουργία host (host mode), επιτρέποντας στον χρήστη να δημιουργήσει μια νέα συνεδρία και να καταστήσει το σύστημά του διαθέσιμο για απομακρυσμένη πρόσβαση.

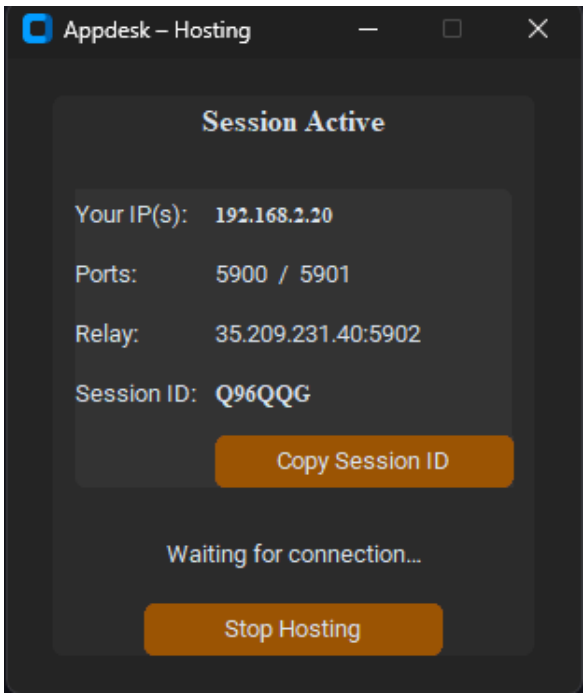
Παράλληλα, ο client έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί σε μια ήδη υπάρχουσα συνεδρία χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο Session ID. Με αυτόν τον τρόπο, η σύνδεση μεταξύ των δύο πλευρών μπορεί να πραγματοποιηθεί με βάση ένα μοναδικό αναγνωριστικό, χωρίς να απαιτείται άμεση γνώση των στοιχείων του απομακρυσμένου υπολογιστή.

Μετά την επιτυχή σύνδεση, παρέχεται προβολή της απομακρυσμένης οθόνης σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στον client να παρακολουθεί τις ενέργειες που πραγματοποιούνται στο σύστημα του host. Η εικόνα της οθόνης μεταδίδεται συνεχώς κατά τη διάρκεια της ενεργής συνεδρίας.

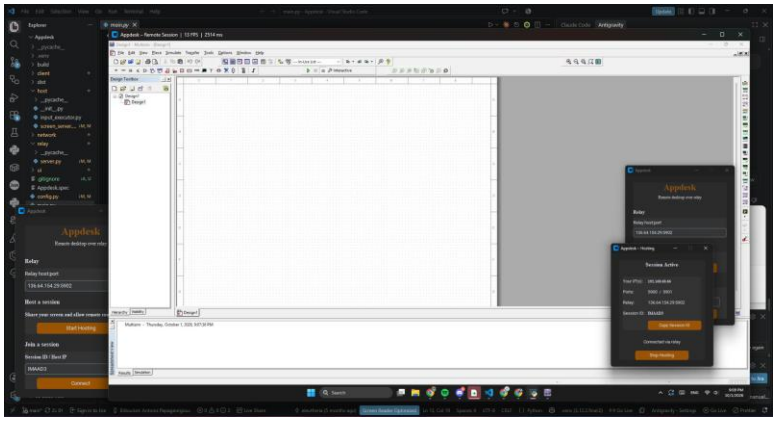
Τέλος, το σύστημα υποστηρίζει αλληλεπίδραση με το απομακρυσμένο σύστημα μέσω input events. Συγκεκριμένα, οι ενέργειες του χρήστη, όπως οι κινήσεις και τα click του ποντικιού καθώς και οι ενέργειες του πληκτρολογίου, μεταφέρονται στον host και εκτελούνται στο απομακρυσμένο σύστημα. Με τον τρόπο αυτό, η εφαρμογή δεν περιορίζεται μόνο στην προβολή της οθόνης, αλλά παρέχει και δυνατότητα ενεργού ελέγχου του host.



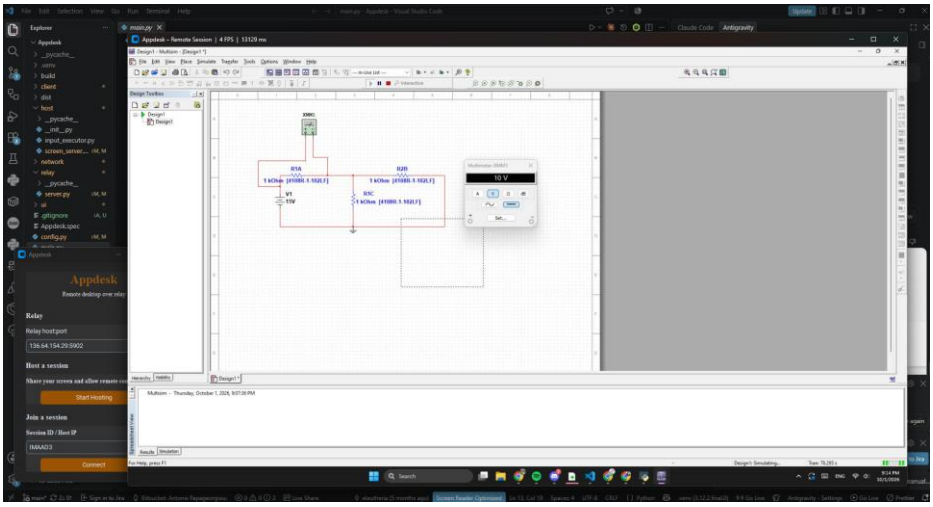
Εικόνα 105: Αρχική Κατάσταση Εφαρμογής



Εικόνα 106: Εμφάνιση Αναγνωριστικού Συνεδρίας



Εικόνα 107: Σύνδεση του Client με τον Host και άνοιγμα του Multisim



Εικόνα 108: Χρήση των εξαρτημάτων του Multisim από τον απομακρυσμένο υπολογιστή

9.3 Αποτελέσματα Υλοποίησης

Η εφαρμογή βασίζεται σε αρχιτεκτονική τριών βασικών συνιστωσών:

9.3.1 Αρχιτεκτονική του Συστήματος

Η εφαρμογή AppDesk αποτελείται από τρεις κύριες συνιστώσες: τον **Host**, τον **Client** και τον **Relay Server**, οι οποίες συνεργάζονται για την παροχή απομακρυσμένης πρόσβασης και ελέγχου.

Ο **Host**, ο οποίος αντιστοιχεί στον υπολογιστή του εργαστηρίου, είναι υπεύθυνος για την καταγραφή της οθόνης με τη χρήση της βιβλιοθήκης mss, καθώς και για τη συμπίεση των στιγμιότυπων σε μορφή JPEG. Παράλληλα, αναλαμβάνει την εκτέλεση των εντολών εισόδου που αποστέλλονται από τον χρήστη και τη μετάδοση των απαραίτητων δεδομένων προς τον **Relay Server**.

Ο **Client**, δηλαδή ο υπολογιστής του χρήστη, παρέχει τη γραφική διεπαφή μέσω της οποίας πραγματοποιείται η αλληλεπίδραση με την εφαρμογή. Είναι υπεύθυνος για τη λήψη και προβολή της ροής εικόνας που αποστέλλεται από τον **Host**, καθώς και για την αποστολή εντολών ελέγχου. Με αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης αποκτά μια διαδραστική εμπειρία απομακρυσμένης χρήσης του υπολογιστή του εργαστηρίου.

Τέλος, ο **Relay Server** λειτουργεί ως ενδιάμεσος διαμεσολαβητής μεταξύ του **Host** και του **Client**. Αναλαμβάνει τη διαχείριση των συνδέσεων και την προώθηση των δεδομένων μεταξύ των δύο πλευρών.

Επιπλέον, υποστηρίζει τη δημιουργία και τη διαχείριση sessions, οι οποίες αναγνωρίζονται μέσω μοναδικών Session IDs (αναγνωριστικών συνεδρίας). Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η σωστή αντιστοίχιση του **Host** με τον αντίστοιχο **Client** και η ομαλή ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ τους.

<u>Παράδειγμα δημιουργίας συνεδρίας:</u>

```
if  role == "host" and chan == "screen":
        sid = _gen_id()
        session = _Session(sid)

        with _registry_lock:
                _sessions[sid] = session

        _send(conn, {"ok": True, "id": sid})
```

Ο παραπάνω κώδικας δημιουργεί ένα νέο session και αποδίδει μοναδικό Session ID (αναγνωριστικό συνεδρίας) στον **Host** . Το ID αυτό χρησιμοποιείται αργότερα από τον **Client** για τη σύνδεση στη συγκεκριμένη συνεδρία.

Όταν ένας **Client** συνδεθεί με το ίδιο Session ID, ο **Relay Server** αντιστοιχίζει τις δύο συνδέσεις και ξεκινά τη διαδρομή προώθηση δεδομένων.

9.3.2 Βασικά χαρακτηριστικά

Η επικοινωνία μεταξύ των συνιστωσών του AppDesk πραγματοποιείται μέσω TCP συνδέσεων. Το TCP παρέχει αξιόπιστη, διατεταγμένη μεταφορά μιας ροής bytes. Η εφαρμογή χρησιμοποιεί συμπίεση JPEG για τη μετάδοση της εικόνας [19], [20].

Επιπλέον, η εφαρμογή διαθέτει μηχανισμό διαχείρισης συνεδριών, όπου κάθε σύνδεση αντιστοιχίζεται σε ένα μοναδικό Session ID (αναγνωριστικό συνεδρίας). Υποστηρίζεται επίσης αυτόματη επανασύνδεση σε περίπτωση διακοπής της επικοινωνίας, καθώς και ανίχνευση σφαλμάτων σύνδεσης, ώστε να εντοπίζονται προβλήματα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

Ορισμένες λειτουργίες της εφαρμογής έχουν υλοποιηθεί σε βασικό ή μερικό επίπεδο. Συγκεκριμένα, η κρυπτογράφηση των δεδομένων είναι περιορισμένη, ενώ η διαχείριση σφαλμάτων βασίζεται σε έναν βασικό μηχανισμό εντοπισμού και αντιμετώπισης προβλημάτων. Τέλος, η συμπίεση της εικόνας πραγματοποιείται με την απλή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μορφή JPEG, χωρίς την εφαρμογή πιο προηγμένων τεχνικών συμπίεσης ή βελτιστοποίησης της μετάδοσης.

9.3.3 Σύλληψη και συμπίεση οθόνης

<u>Η συλλήψη και συμπίεση οθόνης γίνεται με:</u>

```
raw = sct.grab(monitor)
img = Image.frombytes(
      "RGB",
      raw.size,
      bytes(raw.raw),
      "raw",
      "BGRX"
)

img = img.resize(
       (config.STREAM_WIDTH, config.STREAM_HEIGHT),
      _RESAMPLE
)
```

Αρχικά πραγματοποιείται σύλληψη της κύριας οθόνης του **Host** μέσω της βιβλιοθήκης mss. Στη συνέχεια, τα δεδομένα της οθόνης μετατρέπονται σε αντικείμενο εικόνας της βιβλιοθήκης Pillow, από τη μορφή χρωμάτων BGRX σε RGB [21].

Η εικόνα αλλάζει μέγεθος σύμφωνα με τις προκαθορισμένες διαστάσεις STREAM_WIDTH και STREAM_HEIGHT, ώστε να μειωθεί ο όγκος των δεδομένων που θα μεταδοθούν.

<u>Μετά την αλλαγή μεγέθους, η εικόνα συμπιέζεται σε μορφή JPEG:</u>

```
buf = io.BytesIO()

img.save(
      buf,
      format="JPEG",
      quality=config.JPEG_QUALITY
)

data = buf.getvalue()
```

Η εικόνα αποθηκεύεται προσωρινά στη μνήμη με τη χρήση του BytesIO. Η μορφή JPEG μειώνει σημαντικά το μέγεθος κάθε frame, ενώ η μεταβλητή JPEG_QUALITY καθορίζει την ισορροπία μεταξύ ποιότητας εικόνας και απαιτούμενου bandwidth [20].

9.3.4 Μετάδοση frame μεσω TCP

Η μετάδοση Frame μεσω TCP :

```
cursor = _current_cursor().encode("ascii")
ts = struct.pack(">d", time.time())

conn.sendall(
    struct.pack(">L", len(data)) + data
    + struct.pack("B", len(cursor)) + cursor
    + ts
)
```

Τα δεδομένα κάθε frame μεταδίδονται μέσω **TCP socket**, χρησιμοποιώντας ένα προσαρμοσμένο δυαδικό πρωτόκολλο επικοινωνίας. Για κάθε frame, αρχικά αποστέλλεται το μέγεθος της συμπιεσμένης εικόνας **JPEG**, το οποίο καταλαμβάνει **4 bytes** και αποθηκεύεται σε μορφή **big-endian**. Στη συνέχεια μεταδίδονται τα αντίστοιχα δεδομένα της εικόνας [22], [23].

Μετά την αποστολή των δεδομένων JPEG, μεταδίδονται επιπλέον πληροφορίες που σχετίζονται με την κατάσταση του cursor και τον χρόνο αποστολής του frame. Συγκεκριμένα, αποστέλλεται αρχικά το μήκος του ονόματος ή του τύπου του cursor, το οποίο αποθηκεύεται σε **1 byte**, και στη συνέχεια το ίδιο το όνομα ή ο τύπος του cursor. Τέλος, αποστέλλεται ένα **timestamp μεγέθους 8 bytes**, το οποίο αντιστοιχεί στον χρόνο κατά τον οποίο πραγματοποιήθηκε η αποστολή του συγκεκριμένου frame.

Η αποστολή του μεγέθους της εικόνας JPEG πριν από τα ίδια τα δεδομένα επιτρέπει στον **Client** να γνωρίζει με ακρίβεια τον αριθμό των bytes που πρέπει να διαβάσει για κάθε frame. Με αυτόν τον τρόπο, διασφαλίζεται ο σωστός διαχωρισμός των διαδοχικών frames και αποφεύγονται προβλήματα κατά την αποκωδικοποίηση και την προβολή της ροής εικόνας.

9.3.5 Λήψη και αποκωδικοποίηση frames

Στην πλευρά του **Client**, τα εισερχόμενα δεδομένα λαμβάνονται μέσω TCP socket, αποκωδικοποιούνται και μετατρέπονται ξανά σε εικόνα για προβολή στη διεπαφή χρήστη.

Η λήψη και η κωδικοποίηση των Frames πραγματοποιείτε :

```
size = struct.unpack(">L", self._recv_exactly(4))[0]
jpeg = self._recv_exactly(size)

cursor_len = struct.unpack("B", self._recv_exactly(1))[0]
cursor_name = (
    self._recv_exactly(cursor_len).decode("ascii")
    if cursor_len else "arrow"
)

sent_time = struct.unpack(">d", self._recv_exactly(8))[0]

img = Image.open(io.BytesIO(jpeg))
img.load()

if self.frame_queue.full():
    try:
        self.frame_queue.get_nowait()
    except queue.Empty:
```

```
            pass

self.frame_queue.put((img, cursor_name, sent_time))
```

Αρχικά, ο **Client** λαμβάνει τα πρώτα 4 Bytes του πακέτου, τα οποία αντιστοιχούν στο μέγεθος του συμπιεσμένου frame JPEG. Στη συνέχεια, με τη μέθοδο **_recv_exactly()** διαβάζει ακριβώς τον απαιτούμενο αριθμό bytes, ώστε να λάβει πλήρως τα δεδομένα της εικόνας.

Μετά το JPEG frame, λαμβάνονται επιπλέον μεταδεδομένα. Συγκεκριμένα, διαβάζεται το μήκος του ονόματος του cursor σε 1 byte, ακολουθεί το όνομα του cursor σε μορφή ASCII και τέλος λαμβάνεται το timestamp αποστολής του frame σε 8 bytes.

Τα δεδομένα JPEG αποκωδικοποιούνται με τη βιβλιοθήκη Pillow μέσω της Image.open(). Η μέθοδος img.load() εξασφαλίζει ότι η εικόνα έχει φορτωθεί πλήρως στη μνήμη πριν χρησιμοποιηθεί από τη διεπαφή χρήστη [20].

Η αποκωδικοποιημένη εικόνα, το όνομα του cursor και το timestamp τοποθετούνται σε μία ουρά (frame_queue). Όταν η ουρά είναι γεμάτη, αφαιρείται το παλαιότερο frame πριν προστεθεί το νέο. Με αυτόν τον τρόπο προτιμάται πάντοτε η εμφάνιση της πιο πρόσφατης εικόνας και μειώνεται η καθυστέρηση στην απομακρυσμένη προβολή της οθόνης.

9.3.6 Αποστολή γεγονότων εισόδου

Η εφαρμογή υποστηρίζει την αποστολή γεγονότων ποντικιού και πληκτρολογίου από τον **Client** προς τον **Host**. Τα γεγονότα δημιουργούνται στο παράθυρο της απομακρυσμένης συνεδρίας και αποστέλλονται μέσω της κλάσης Input Forwarder.

<u>Η αποστολή γεγονότων εσόδου πραγματοποιείται:</u>

```
rx, ry = self._rel(event)

self._forwarder.send_event(
    {"type": "move", "x": rx, "y": ry}
)
```

<u>Η μέθοδος _rel() μετατρέπει τις συντεταγμένες του ποντικιού σε σχετικές τιμές από 0.0 έως 1.0:</u>

```
def _rel(self, event: tk.Event) -> tuple[float, float]:
    w = self._canvas_w or 1
    h = self._canvas_h or 1
    return event.x / w, event.y / h
```

Οι σχετικές συντεταγμένες επιτρέπουν τη σωστή αντιστοίχιση της θέσης του ποντικιού, ακόμη και όταν ο **Client** και ο **Host** χρησιμοποιούν διαφορετική ανάλυση οθόνης.

<u>Παράδειγμα αποστολής γεγονότος πληκτρολογίου:</u>

```
if keysym in _SPECIAL:
    self._forwarder.send_event(
        {
            "type": "key",
            "key": _SPECIAL[keysym],
            "special": True,
            "pressed": pressed
```

```
            }
        )
elif event.char and event.char.isprintable():
        self._forwarder.send_event(
            {
                "type": "key",
                "key": event.char,
                "special": False,
                "pressed": pressed
            }
        )
```

Για ειδικά πλήκτρα, όπως **Enter**, **Escape** ή **Backspace**, αποστέλλεται η τιμή special: **True**. Για απλούς εκτυπώσιμους χαρακτήρες αποστέλλεται special: **False**. Η μεταβλητή pressed δηλώνει αν το πλήκτρο πατήθηκε (**True**) ή απελευθερώθηκε (**False**).

Κάθε γεγονός μετατρέπεται σε μήνυμα JSON και αποστέλλεται μέσω της TCP σύνδεσης προς τον host:

```
def send_event(self, event: dict) -> None:
        if self._sock is None:
            return
        try:
            self._sock.sendall(
                (json.dumps(event) + "\n").encode("utf-8")
            )
        except OSError:
            pass
```

Η προσθήκη του χαρακτήρα νέας γραμμής (\n) επιτρέπει στον host να διαχωρίζει τα μεμονωμένα JSON μηνύματα που λαμβάνει μέσω της TCP σύνδεσης.

9.3.7 Εκτέλεση remote input στον Host

Στην πλευρά του **Host** , τα εισερχόμενα γεγονότα JSON λαμβάνονται και εκτελούνται στο τοπικό σύστημα με χρήση της βιβλιοθήκης pynput [24].

Η εκτέλεση remote input στον Host πραγματοποιείται:

```
                    etype = event.get("type")
sw, sh = self._screen_w, self._screen_h

if etype == "move":
        self._mouse.position = (
            int(event["x"] * sw),
            int(event["y"] * sh)
        )

elif etype == "scroll":
        self._mouse.position = (
            int(event["x"] * sw),
            int(event["y"] * sh)
```

```
        )
        self._mouse.scroll(
            int(event.get("dx", 0)),
            int(event.get("dy", 0))
        )
```

Οι συντεταγμένες που λαμβάνονται από τον **Client** είναι σχετικές τιμές μεταξύ 0.0 και 1.0. Ο **Host** τις πολλαπλασιάζει με το πλάτος και το ύψος της δικής του οθόνης (**_screen_w**, **_screen_h**), ώστε να υπολογιστεί η αντίστοιχη πραγματική θέση του ποντικιού.

Η εκτέλεση των γεγονότων πληκτρολογίου πραγματοποιείται ως εξής:

```
elif etype == "key":
        key_str = event.get("key")
        if not key_str:
            return
        try:
            if event.get("special"):
                key = pynput.keyboard.Key[key_str]
            else:
                key = pynput.keyboard.KeyCode.from_char(key_str)

            if event.get("pressed"):
                self._keyboard.press(key)
            else:
                self._keyboard.release(key)
        except Exception:
            pass
```

Ο host μετατρέπει τα εισερχόμενα γεγονότα σε πραγματικές κινήσεις ποντικιού, κύλιση και ενέργειες πληκτρολογίου. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται απομακρυσμένος έλεγχος του συστήματος του **Host**.

9.3.8 Διαδρομική προώθηση δεδομένων

Προώθηση δεδομένων μέσω Relay Server:

Ο **Relay Server** χρησιμοποιεί ξεχωριστά threads για την προώθηση δεδομένων σε κάθε κατεύθυνση επικοινωνίας μεταξύ **Host** και **Client** .

Η συνάρτηση που εκτελεί την προώθηση είναι η ακόλουθη:

```
def _pipe(src: socket.socket, dst: socket.socket) -> None:
        """Forward all bytes from src → dst, then close both."""
        try:
            while chunk := src.recv(65536):
                dst.sendall(chunk)
        except OSError:
            pass

        for s in (src, dst):
            try:
                s.close()
            except OSError:
                pass
```

Η συνάρτηση **_pipe()** λαμβάνει δεδομένα από ένα **socket (src)** σε τμήματα μεγέθους έως 65.536 bytes και τα προωθεί απευθείας στο άλλο **socket (dst)**. Τα δεδομένα μεταφέρονται ως raw bytes, χωρίς ο **Relay Server** να επεξεργάζεται ή να ερμηνεύει το περιεχόμενό τους **[23].**

Για κάθε κανάλι επικοινωνίας δημιουργούνται δύο **threads**: ένα για τη μετάδοση δεδομένων από τον **Host** προς τον **Client** και ένα για την αντίστροφη κατεύθυνση. Σε περίπτωση διακοπής της σύνδεσης ή σφάλματος **socket**, οι δύο συνδέσεις κλείνουν. Με αυτόν τον τρόπο, ο **Relay** λειτουργεί ως ελαφρύς διαμεσολαβητής δεδομένων με χαμηλή κατανάλωση πόρων.

9.3.9 Διεπαφή προβολής και latency metrics

Η εφαρμογή υπολογίζει σε πραγματικό χρόνο τον ρυθμό εμφάνισης των frames (FPS) και μια εκτίμηση της καθυστέρησης μετάδοσης (latency). Επιπλέον, δίνει προτεραιότητα στο πιο πρόσφατο διαθέσιμο frame, ώστε να περιορίζεται η καθυστέρηση προβολής.

<u>Η διεπαφή προβολής και latency metrics πραγματοποιείται:</u>

```
now = time.time()

self._frame_times.append(now)
while self._frame_times and self._frame_times[0] < now - 1.0:
    self._frame_times.popleft()

fps = len(self._frame_times)

latency_ms = max(0, int((now - sent_time) * 1000))

self.title(
    f"Appdesk – Remote Session | {fps} FPS | {latency_ms} ms"
)
```

Ο FPS υπολογίζεται με βάση τον αριθμό των frames που έφτασαν στον **Client** κατά το τελευταίο δευτερόλεπτο. Η καθυστέρηση υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ του τρέχοντος χρόνου και του timestamp που είχε προστεθεί στο frame από τον **Host** .

Η εφαρμογή δεν εμφανίζει ξεχωριστή αριθμητική μέτρηση με το όνομα frame freshness.

<u>Ωστόσο, διατηρεί την προβολή ενημερωμένη, επιλέγοντας το νεότερο διαθέσιμο frame από την ουρά:</u>

```
img, cursor_name, sent_time = self._receiver.frame_queue.get_nowait()

while True:
    try:
        img, cursor_name, sent_time = (
            self._receiver.frame_queue.get_nowait()
        )
    except queue.Empty:
        break
```

Οι πληροφορίες FPS και latency εμφανίζονται δυναμικά στον τίτλο του παραθύρου της απομακρυσμένης συνεδρίας και βοηθούν στην αξιολόγηση της απόδοσης της σύνδεσης.

10ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ:ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

10.1 Δοκιμές και Παρατηρήσεις

10.1.1 Σενάρια Δοκιμών

Για την αξιολόγηση της λειτουργίας της εφαρμογής AppDesk πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε περιβάλλον τοπικού δικτύου (LAN) και μέσω διαδικτύου (WAN). Στο τοπικό δίκτυο ελέγχθηκε η απευθείας σύνδεση του Client προς τον Host, ενώ στις συνδέσεις μέσω διαδικτύου χρησιμοποιήθηκε Relay Server.

Αρχικά ελέγχθηκε η δημιουργία μιας συνεδρίας από τον Host. Στη λειτουργία μέσω Relay Server, ο Host λαμβάνει ένα μοναδικό Session ID έξι χαρακτήρων. Ο Client εισάγει το συγκεκριμένο Session ID και συνδέεται στη συνεδρία.

Στη συνέχεια ελέγχθηκε η μετάδοση της εικόνας της κύριας οθόνης του Host. Παράλληλα, ελέγχθηκε ο απομακρυσμένος χειρισμός του ποντικιού, όπως η κίνηση, τα κλικ και η κύλιση, καθώς και η μετάδοση εντολών πληκτρολογίου από τον Client προς τον Host.

Σε περιβάλλον LAN η ροή της εικόνας και ο απομακρυσμένος έλεγχος ήταν ομαλότερα. Στις δοκιμές μέσω διαδικτύου η εφαρμογή παραμένει λειτουργική, ωστόσο παρατηρήθηκε αυξημένη καθυστέρηση σε σύγκριση με το τοπικό δίκτυο.

10.1.2 Μετρήσεις Απόδοσης

Εκτός από τον έλεγχο της λειτουργικότητας, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με στόχο την αξιολόγηση της απόδοσης της εφαρμογής. Οι βασικές παράμετροι που εξετάστηκαν ήταν η καθυστέρηση επικοινωνίας και ο αριθμός των εμφανιζόμενων καρέ ανά δευτερόλεπτο (Frames Per Second – FPS).

Η εφαρμογή μεταδίδει την εικόνα σε ανάλυση 1600 x 900 pixels, με συμπίεση JPEG ποιότητας 70 και με ρυθμό στόχο έως 30 FPS. Η ένδειξη FPS υπολογίζεται από τα καρέ που λαμβάνει ο Client μέσα σε ένα δευτερόλεπτο. Η ένδειξη latency είναι ενδεικτική, καθώς υπολογίζεται από τη διαφορά μεταξύ της χρονικής σήμανσης αποστολής του Host και του χρόνου λήψης του Client.

Κατά τη λειτουργία σε τοπικό δίκτυο, η καθυστέρηση κυμάνθηκε περίπου μεταξύ 30 και 50 ms, ενώ ο ρυθμός μετάδοσης εικόνας βρίσκεται μεταξύ 20 και 30 FPS.

Στις δοκιμές μέσω διαδικτύου, η καθυστέρηση αυξήθηκε περίπου στα 150 έως 300 ms, ενώ ο ρυθμός μετάδοσης εικόνας κυμάνθηκε μεταξύ 5 και 15 FPS. Η εφαρμογή παρέμεινε λειτουργική, αλλά η αυξημένη καθυστέρηση έγινε περισσότερο αισθητή στις γρήγορες κινήσεις του ποντικιού και στις ενέργειες που απαιτούσαν άμεση απόκριση.

Η συνολική απόδοση της εφαρμογής εξαρτάται από το διαθέσιμο bandwidth, την ποιότητα της σύνδεσης, την απόδοση του Host και τη θέση του Relay Server.

10.2 Οδηγός Εγκατάστασης

Η εφαρμογή AppDesk αποτελείται από τρία βασικά μέρη: την εφαρμογή του **Host**, την εφαρμογή του **Client** και τον **Relay Server**. Οι εφαρμογές **Host** και **Client** έχουν σχεδιαστεί για εκτέλεση σε περιβάλλον Windows, ενώ ο **Relay Server** φιλοξενείται σε Linux VPS και λειτουργεί ως ενδιάμεσο σημείο επικοινωνίας μεταξύ των δύο συστημάτων.

Για την έναρξη μιας απομακρυσμένης συνεδρίας απαιτείται αρχικά η λειτουργία του **Relay Server**. Στη συνέχεια, ο χρήστης εκκινεί την εφαρμογή AppDesk στον υπολογιστή που πρόκειται να λειτουργήσει ως host και επιλέγει την έναρξη φιλοξενίας της συνεδρίας. Με τη δημιουργία της συνεδρίας παράγεται ένα μοναδικό **Session ID**, το οποίο χρησιμοποιείται για την αναγνώρισή της.

Στην πλευρά του **Client**, ο χρήστης εκκινεί την εφαρμογή και εισάγει το αντίστοιχο Session ID. Η σύνδεση πραγματοποιείται μέσω του relay server και, εφόσον ολοκληρωθεί επιτυχώς, ξεκινά η μετάδοση της εικόνας της απομακρυσμένης επιφάνειας εργασίας. Παράλληλα, ο **Client** μπορεί να αποστέλλει εντολές ποντικιού και πληκτρολογίου προς τον **Host**, επιτρέποντας τον απομακρυσμένο χειρισμό του συστήματος.

Η εφαρμογή μπορεί να εκτελεστεί είτε απευθείας μέσω του περιβάλλοντος Python, εφόσον έχουν εγκατασταθεί οι απαραίτητες βιβλιοθήκες, είτε μέσω εκτελέσιμου αρχείου, ανάλογα με τον τρόπο διανομής της.

Η αναλυτική διαδικασία εγκατάστασης των απαραίτητων εξαρτήσεων, η εγκατάσταση και παραμετροποίηση του relay server σε Linux VPS, καθώς και οι οδηγίες εκτέλεσης και αντιμετώπισης πιθανών προβλημάτων παρουσιάζονται στο **Παράρτημα Α – Οδηγός Εγκατάστασης και Εκτέλεσης της Εφαρμογής**.

10.3 Παρατηρήσεις και Αξιολόγηση

Με βάση τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, η εφαρμογή AppDesk παρουσιάζει πολύ καλή συμπεριφορά σε περιβάλλον τοπικού δικτύου. Η χαμηλή καθυστέρηση επιτρέπει την ομαλή μετάδοση της εικόνας και την ικανοποιητική απόκριση κατά τον απομακρυσμένο χειρισμό του συστήματος.

Σε συνδέσεις μέσω διαδικτύου παρατηρείται αυξημένη καθυστέρηση, η οποία επηρεάζει περισσότερο τις λειτουργίες που απαιτούν άμεση αλληλεπίδραση. Το φαινόμενο γίνεται ιδιαίτερα αισθητό κατά τις γρήγορες κινήσεις του ποντικιού ή κατά τη συνεχή αλληλεπίδραση με το γραφικό περιβάλλον του απομακρυσμένου υπολογιστή.

Η μεγαλύτερη υπολογιστική επιβάρυνση παρατηρείται στην πλευρά του Host. Αυτό οφείλεται στη συνεχή λήψη της κύριας οθόνης, στην αλλαγή μεγέθους της εικόνας και στη συμπίεσή της σε μορφή JPEG πριν από τη μετάδοση. Ο Client επιβαρύνεται με τη λήψη, αποκωδικοποίηση και

εμφάνιση των καρέ. Ο Relay Server προωθεί τα δεδομένα μεταξύ Host και Client χωρίς να επεξεργάζεται την εικόνα ή τις εντολές εισόδου. Ωστόσο, η χρήση του μπορεί να αυξήσει τη συνολική καθυστέρηση, ιδιαίτερα όταν βρίσκεται γεωγραφικά μακριά από τον Host ή τον Client.

Συνολικά, τα αποτελέσματα των δοκιμών δείχνουν ότι η αρχιτεκτονική του AppDesk μπορεί να καλύψει τις βασικές απαιτήσεις ενός συστήματος απομακρυσμένης πρόσβασης, ιδιαίτερα σε ελεγχόμενα εργαστηριακά και εκπαιδευτικά περιβάλλοντα.

10.4 Περιορισμοί

Παρά την επιτυχή λειτουργία των βασικών χαρακτηριστικών του AppDesk, η παρούσα υλοποίηση παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς.

Αρχικά, η εφαρμογή υποστηρίζει την προβολή και τον έλεγχο μόνο της κύριας οθόνης του Host, χωρίς δυνατότητα επιλογής ή εναλλαγής μεταξύ πολλαπλών οθονών. Επιπλέον, η μεταδιδόμενη εικόνα προσαρμόζεται σε σταθερή ανάλυση 1600 x 900 pixels. Η αρχιτεκτονική έχει σχεδιαστεί για σύνδεση ενός Client ανά συνεδρία και δεν υποστηρίζει ταυτόχρονη προβολή ή συνεργατικό έλεγχο από πολλούς χρήστες.

Στην τρέχουσα έκδοση δεν παρέχεται δυνατότητα μεταφοράς αρχείων μεταξύ Host και Client, συγχρονισμός clipboard ή μετάδοση ήχου. Επίσης, δεν υποστηρίζεται αλλαγή της ποιότητας εικόνας κατά τη διάρκεια της συνεδρίας, επιλογή πολλαπλών οθονών ή αυτόματη επανασύνδεση μετά από απώλεια της δικτυακής σύνδεσης.

Επομένως, η εφαρμογή επικεντρώνεται κυρίως στην απομακρυσμένη προβολή και στον έλεγχο της επιφάνειας εργασίας και δεν αποτελεί ακόμη ένα ολοκληρωμένο σύστημα πολυμεσικής απομακρυσμένης επικοινωνίας.

Ένας ακόμη σημαντικός περιορισμός αφορά την ασφάλεια. Η επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω απλών TCP συνδέσεων χωρίς χρήση TLS ή άλλης μορφής κρυπτογράφησης. Το Session ID αποτελεί το μοναδικό στοιχείο πρόσβασης σε μία συνεδρία. Δεν υλοποιούνται μηχανισμοί αυθεντικοποίησης χρηστών, κωδικός πρόσβασης, token πρόσβασης, επιβεβαίωση σύνδεσης από τον Host ή επίπεδα δικαιωμάτων.

Για τον λόγο αυτό, η συγκεκριμένη έκδοση του AppDesk προορίζεται κυρίως για χρήση σε ελεγχόμενα ή αξιόπιστα δικτυακά περιβάλλοντα και όχι ως έτοιμη λύση για παραγωγική χρήση μέσω μη αξιόπιστων δικτύων.

10.5 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Η περαιτέρω ανάπτυξη του AppDesk μπορεί να επικεντρωθεί σε βελτιώσεις που αφορούν την ασφάλεια, την απόδοση, τη λειτουργικότητα, τη διεπαφή χρήστη και τη συμβατότητα με περισσότερες πλατφόρμες. Οι συγκεκριμένες επεκτάσεις θα μπορούσαν να συμβάλουν στη μετάβαση από την παρούσα πρωτότυπη υλοποίηση σε ένα πληρέστερο σύστημα απομακρυσμένης πρόσβασης.

10.5.1 Ασφάλεια και Κρυπτογράφηση

Ένας από τους σημαντικότερους τομείς μελλοντικής βελτίωσης είναι η ενίσχυση της ασφάλειας της επικοινωνίας. Η ενσωμάτωση του πρωτοκόλλου TLS θα μπορούσε να προστατεύσει τα δεδομένα κατά τη μεταφορά τους και να περιορίσει τον κίνδυνο υποκλοπής ή αλλοίωσης τους [25].

Παράλληλα, θα μπορούσε να προστεθεί μηχανισμός αυθεντικοποίησης χρηστών, μέσω token-based authentication ή προσωρινών κλειδιών πρόσβασης. Με αυτόν τον τρόπο, η πρόσβαση σε μια συνεδρία δεν θα βασίζεται αποκλειστικά στη γνώση του Session ID.

Σε πιο προχωρημένο στάδιο θα μπορούσε να εξεταστεί η εφαρμογή end-to-end κρυπτογράφησης, ώστε τα δεδομένα να κρυπτογραφούνται στην πλευρά του host και να αποκρυπτογραφούνται αποκλειστικά στον εξουσιοδοτημένο **Client**. Σε μια τέτοια περίπτωση, ο **Relay Server** θα εξακολουθούσε να προωθεί τα δεδομένα χωρίς να έχει τη δυνατότητα πρόσβασης στο πραγματικό περιεχόμενό τους.

10.5.2 Βελτίωση Απόδοσης

Η απόδοση της εφαρμογής θα μπορούσε να βελτιωθεί μέσω της υιοθέτησης αποδοτικότερων τεχνικών συμπίεσης και μετάδοσης εικόνας.

Μπορεί να εξεταστεί η χρήση κωδικοποιητών βίντεο όπως H.264 ή VP9. Η επίδραση στην κατανάλωση bandwidth, στην ποιότητα και στην καθυστέρηση του AppDesk πρέπει να αξιολογηθεί πειραματικά [26], [27].

Επιπλέον, η εφαρμογή ενός μηχανισμού προσαρμοστικής ποιότητας (adaptive streaming) θα επέτρεπε τη δυναμική προσαρμογή παραμέτρων, όπως ο ρυθμός ανανέωσης της εικόνας και η ποιότητα συμπίεσης, ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες του δικτύου. Ακόμα θα μπορούσε να προστεθεί δυναμική προσαρμογή της ανάλυσης μετάδοσης, ώστε η σταθερή ανάλυση 1600 x 900 pixels να προσαρμόζεται στις δυνατότητες του δικτύου και στην ανάλυση της οθόνης του Host.

Μία ακόμη πιθανή βελτίωση είναι η αξιοποίηση hardware acceleration για την κωδικοποίηση της εικόνας μέσω της κάρτας γραφικών. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να μειωθεί η επιβάρυνση του επεξεργαστή του host και να βελτιωθεί συνολικά η απόδοση της εφαρμογής.

10.5.3 Επέκταση Λειτουργικότητας

Η εφαρμογή μπορεί να εμπλουτιστεί με πρόσθετες λειτουργίες που θα διευρύνουν τα πιθανά σενάρια χρήσης της. Η υποστήριξη πολλαπλών clients ανά συνεδρία θα μπορούσε, για παράδειγμα, να επιτρέψει την ταυτόχρονη παρακολούθηση ενός εργαστηριακού υπολογιστή από περισσότερους χρήστες.

Παράλληλα, θα μπορούσαν να καθοριστούν διαφορετικά επίπεδα δικαιωμάτων, ώστε ορισμένοι clients να διαθέτουν αποκλειστικά δυνατότητα προβολής, ενώ άλλοι να έχουν δικαίωμα απομακρυσμένου ελέγχου.

Η προσθήκη δυνατότητας μεταφοράς αρχείων μεταξύ **Host** και **Client** θα διευκόλυνε σημαντικά τη χρήση της εφαρμογής σε εκπαιδευτικά και εργαστηριακά περιβάλλοντα. Αντίστοιχα, η προσθήκη συγχρονισμού του clipboard θα επιτρέπει την εύκολη ανταλλαγή κειμένου και άλλων δεδομένων μεταξύ των δύο συστημάτων.

Επιπλέον, θα μπορούσαν να προστεθούν συγχρονισμός clipboard, δυνατότητα επιλογής πολλαπλών οθονών και μηχανισμός αυτόματης επανασύνδεσης μετά από προσωρινή απώλεια δικτύου.

Τέλος, η υποστήριξη μετάδοσης ήχου θα επέτρεπε την αξιοποίηση της εφαρμογής σε περισσότερα σενάρια, όπως η απομακρυσμένη διδασκαλία, η παρουσίαση και η τεχνική υποστήριξη.

10.5.4 Βελτιώσεις Διεπαφής Χρήστη

Η εμπειρία χρήσης μπορεί να βελτιωθεί μέσω της προσθήκης περισσότερων επιλογών στη γραφική διεπαφή. Ενδεικτικά, θα μπορούσαν να προστεθούν λειτουργία πλήρους οθόνης (fullscreen mode), δυνατότητα αλλαγής της ποιότητας της εικόνας κατά τη διάρκεια μιας συνεδρίας και ιστορικό προηγούμενων συνδέσεων.

Επιπλέον, η υποστήριξη διαφορετικών διατάξεων πληκτρολογίου (keyboard layouts) θα διευκόλυνε τη χρήση του συστήματος σε διαφορετικά λειτουργικά και γλωσσικά περιβάλλοντα.

10.5.5 Διαχείριση και Παρακολούθηση

Σε επίπεδο διαχείρισης του συστήματος, η προσθήκη πιο ολοκληρωμένων μηχανισμών καταγραφής συμβάντων (logging) θα μπορούσε να διευκολύνει τόσο την παρακολούθηση των συνεδριών όσο και τον εντοπισμό πιθανών σφαλμάτων.

Παράλληλα, η μόνιμη καταγραφή και συλλογή μετρικών, όπως latency, bandwidth, FPS και uptime, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος.

Σε πιο προχωρημένο στάδιο θα μπορούσε να αναπτυχθεί ένα web-based περιβάλλον διαχείρισης, μέσω του οποίου ο διαχειριστής θα μπορεί να παρακολουθεί τις ενεργές συνεδρίες, την κατάσταση του relay server και βασικά στατιστικά στοιχεία σχετικά με τη λειτουργία του συστήματος.

10.5.6 Συμβατότητα Πλατφορμών

Μία ακόμη σημαντική κατεύθυνση μελλοντικής ανάπτυξης αφορά την υποστήριξη περισσότερων λειτουργικών συστημάτων και συσκευών.

Η δυνατότητα λειτουργίας του **Host** και του **Client** σε Linux και macOS θα αύξανε σημαντικά την ευελιξία και τη χρηστικότητα του συστήματος.

Παράλληλα, η ανάπτυξη mobile client για Android και iOS θα επέτρεπε την απομακρυσμένη πρόσβαση από φορητές συσκευές.

Εναλλακτικά, η δημιουργία ενός web-based client θα μπορούσε να επιτρέψει τη σύνδεση στον απομακρυσμένο υπολογιστή μέσω ενός σύγχρονου web browser, χωρίς να απαιτείται η εγκατάσταση ξεχωριστής εφαρμογής **Client.**

10.6 Συμπεράσματα

Η ανάπτυξη του AppDesk είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός λειτουργικού πρωτοτύπου συστήματος απομακρυσμένης πρόσβασης, το οποίο επιτρέπει τη σύνδεση σε έναν απομακρυσμένο υπολογιστή μέσω δικτύου, τη λήψη της εικόνας της επιφάνειας εργασίας του και την αποστολή εντολών ποντικιού και πληκτρολογίου.

Η χρήση του **Relay Server** απλοποιεί τη διαδικασία επικοινωνίας μεταξύ **Host** και **Client**, παρέχοντας ένα ενδιάμεσο σημείο μέσω του οποίου πραγματοποιείται η ανταλλαγή των δεδομένων. Η συγκεκριμένη προσέγγιση επιτρέπει την υλοποίηση της σύνδεσης χωρίς να απαιτούνται πολύπλοκες ρυθμίσεις από την πλευρά του τελικού χρήστη.

Οι δοκιμές έδειξαν ότι το σύστημα παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά σε περιβάλλον τοπικού δικτύου, όπου η καθυστέρηση παραμένει χαμηλή και επιτυγχάνεται υψηλότερος ρυθμός

ανανέωσης της εικόνας. Σε συνδέσεις μέσω διαδικτύου, η εφαρμογή παραμένει λειτουργική, ωστόσο η αυξημένη καθυστέρηση και οι συνθήκες του δικτύου επηρεάζουν την αμεσότητα του απομακρυσμένου ελέγχου.

Παράλληλα, η παρούσα υλοποίηση παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς, κυρίως ως προς την ασφάλεια, την υποστήριξη πρόσθετων λειτουργιών και την απόδοση σε συνθήκες υψηλής καθυστέρησης. Οι περιορισμοί αυτοί αποτελούν ταυτόχρονα σημεία στα οποία μπορεί να επικεντρωθεί η μελλοντική εξέλιξη του συστήματος.

Συμπερασματικά, το AppDesk επιτυγχάνει τον βασικό στόχο της εργασίας, δηλαδή την ανάπτυξη ενός λειτουργικού συστήματος για την απομακρυσμένη προβολή και τον έλεγχο ενός υπολογιστή μέσω δικτύου.

Παράλληλα, η υλοποίησή του αποδεικνύει στην πράξη τη δυνατότητα ανάπτυξης εφαρμογών απομακρυσμένης πρόσβασης πραγματικού χρόνου με χρήση της Python και μιας σχετικά απλής και κατανοητής αρχιτεκτονικής.

Με την προσθήκη μηχανισμών ασφαλείας, αποδοτικότερων τεχνικών μετάδοσης εικόνας και επιπλέον λειτουργιών, το AppDesk θα μπορούσε μελλοντικά να εξελιχθεί σε μία πληρέστερη και περισσότερο ευέλικτη λύση απομακρυσμένης πρόσβασης.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] J. Ma and J. V. Nickerson, “Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review,” *ACM Computing Surveys*, vol. 38, no. 3, Art. 7, 2006, doi: 10.1145/1132960.1132961. [Online]. Available: https://doi.org/10.1145/1132960.1132961

[2] T. de Jong, M. C. Linn, and Z. C. Zacharia, “Physical and virtual laboratories in science and engineering education,” *Science*, vol. 340, no. 6130, pp. 305–308, 2013, doi: 10.1126/science.1230579. [Online]. Available: https://doi.org/10.1126/science.1230579

[3] National Instruments, “What Is NI Multisim?” [Online]. Available: https://www.ni.com/en/shop/electronic-test-instrumentation/application-software-for-electronic-test-and-instrumentation-category/what-is-multisim.html

[4] National Instruments, “SPICE Analysis Fundamentals.” [Online]. Available: https://www.ni.com/en/shop/electronic-test-instrumentation/application-software-for-electronic-test-and-instrumentation-category/what-is-multisim/spice-analysis-fundamentals.html

[5] National Instruments, “NI Multisim and Ultiboard Academic Features.” [Online]. Available: https://www.ni.com/en/support/documentation/supplemental/10/ni-multisim-and-ultiboard-academic-features.html

[6] J. M. Fiore, *DC Electrical Circuit Analysis: A Practical Approach*. [Online]. Available: https://www.jimfiore.org/books/DCElectricalCircuitAnalysis.pdf

[7] J. M. Fiore, *AC Electrical Circuit Analysis: A Practical Approach*. [Online]. Available: https://www.jimfiore.org/books/ACElectricalCircuitAnalysis.pdf

[8] National Instruments, “Convergence,” *Multisim User Manual*. [Online]. Available: https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/multisim/page/topics/convergence.html

[9] J. M. Fiore, *Semiconductor Devices: Theory and Application*, 2nd ed. [Online]. Available: https://www.jimfiore.org/books/SemiconductorDevices.pdf

[10] MathWorks, “Simulink.” [Online]. Available: https://www.mathworks.com/products/simulink.html

[11] Analog Devices, “LTspice.” [Online]. Available: https://www.analog.com/en/resources/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html

[12] National Instruments, “Introduction to Multisim: Learn to Capture, Simulate, and Layout in Less Than 30 Minutes,” 2018. [Online]. Available: https://www.physics.wisc.edu/courses/home/fall2023/321/MultiSim_docs/NI-multisim_tutorial.pdf

[13] Orthology, “Πώς λειτουργεί το τροφοδοτικό;” 2024. [Online]. Available: https://orthology.gr/el/pos-leitourgei-to-trofodotiko/

[14] P. Górecki, “Πολύμετρο — βασικές λειτουργίες,” *Transfer Multisort Elektronik*. [Online]. Available: https://www.tme.eu/gr/news/library-articles/pgorecki/page/59016/polumetro-basikes-leitourgies/

[15] RS, “Guide to Resistors: Purpose & Types of Resistors.” [Online]. Available: https://au.rs-online.com/web/content/discovery/ideas-and-advice/resistors-guide

[16] Texas Instruments, *μA741 General-Purpose Operational Amplifiers*, datasheet, rev. H. [Online]. Available: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ua741.pdf

[17] Tektronix, “XYZs of Oscilloscopes Primer.” [Online]. Available: https://www.tek.com/en/documents/primer/xyzs-oscilloscopes-primer

[18] Tektronix, “What Is a Signal Generator?” [Online]. Available: https://www.tek.com/en/documents/primer/xyzs-signal-generators

[19] W. Eddy, Ed., “Transmission Control Protocol (TCP),” RFC 9293, 2022. [Online]. Available: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9293.html

[20] Pillow, “Image File Formats — JPEG,” *Pillow Documentation*. [Online]. Available: https://pillow.readthedocs.io/en/stable/handbook/image-file-formats.html#jpeg

[21] Python MSS, *Python MSS Documentation*. [Online]. Available: https://python-mss.readthedocs.io/stable/

[22] Python Software Foundation, “struct — Interpret bytes as packed binary data,” *Python Documentation*. [Online]. Available: https://docs.python.org/3/library/struct.html

[23] Python Software Foundation, “socket — Low-level networking interface,” *Python Documentation*. [Online]. Available: https://docs.python.org/3/library/socket.html

[24] pynput, *pynput Documentation*. [Online]. Available: https://pynput.readthedocs.io/en/latest/

[25] E. Rescorla, “The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3,” RFC 8446, 2018. [Online]. Available: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8446.html

[26] ITU-T, “H.264: Advanced video coding for generic audiovisual services.” [Online]. Available: https://www.itu.int/rec/T-REC-H.264

[27] Google, “VP9,” *Google for Developers*. [Online]. Available: https://developers.google.com/media/vp9

[28] J. M. Fiore, *Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits: Theory and Application*. Engineering LibreTexts. [Online]. Available: https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Electrical_Engineering/Electronics/Operational_Amplifiers_and_Linear_Integrated_Circuits_-_Theory_and_Application_(Fiore)

[29] Python Software Foundation, “json — JSON encoder and decoder,” *Python Documentation*. [Online]. Available: https://docs.python.org/3/library/json.html

[30] Python Software Foundation, “venv — Creation of virtual environments,” *Python Documentation*. [Online]. Available: https://docs.python.org/3/library/venv.html

[31] T. Schimansky, *CustomTkinter Documentation*. [Online]. Available: https://customtkinter.tomschimansky.com/

[32] Google Cloud, “Connect to Linux VMs using Identity-Aware Proxy,” Compute Engine Documentation. [Online]. Available: https://docs.cloud.google.com/compute/docs/connect/ssh-using-iap

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Οδηγός Εγκατάστασης και Εκτέλεσης της Εφαρμογής

Στο παρόν παράρτημα παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία εγκατάστασης, παραμετροποίησης και εκτέλεσης της εφαρμογής AppDesk. Περιγράφονται οι απαιτήσεις του συστήματος, η εγκατάσταση των απαραίτητων εξαρτήσεων, η εκτέλεση των εφαρμογών host και client, καθώς και η εγκατάσταση και λειτουργία του **Relay Server** σε περιβάλλον Linux VPS.

Παράλληλα, παρουσιάζονται τα βασικά βήματα για τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας του συστήματος, καθώς και ενδεικτικές ενέργειες για την αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων σύνδεσης.

Α.1 Απαιτήσεις Συστήματος

Για την εγκατάσταση και την ορθή λειτουργία της εφαρμογής AppDesk απαιτείται κατάλληλο περιβάλλον εκτέλεσης για τα επιμέρους τμήματα του συστήματος.

Οι εφαρμογές Host και Client έχουν αναπτυχθεί και ελεγχθεί κυρίως σε περιβάλλον Windows. Για εκτέλεση μέσω του πηγαίου κώδικα απαιτείται Python 3.10 ή νεότερη και οι απαραίτητες βιβλιοθήκες Python.

Ο Relay Server μπορεί να εκτελεστεί σε Linux VPS και λειτουργεί ως ενδιάμεσο σημείο επικοινωνίας μεταξύ Host και Client. Για την εκτέλεσή του απαιτείται Python 3.

Για σύνδεση μέσω διαφορετικών δικτύων, ο Host και ο Client πρέπει να έχουν πρόσβαση μέσω διαδικτύου στον Relay Server. Για απευθείας σύνδεση σε τοπικό δίκτυο, ο Client πρέπει να έχει πρόσβαση στη διεύθυνση IP του Host.

Α.2 Εκτέλεση της Εφαρμογής Host και Client

Η εφαρμογή AppDesk μπορεί να εκτελεστεί είτε μέσω του πηγαίου κώδικα Python είτε μέσω εκτελέσιμου αρχείου, εφόσον έχει προηγηθεί η δημιουργία του κατάλληλου πακέτου διανομής.

Για σύνδεση μέσω διαφορετικών δικτύων πρέπει αρχικά να βρίσκεται σε λειτουργία ο Relay Server. Στον Host, ο χρήστης εκκινεί την εφαρμογή, συμπληρώνει τη διεύθυνση του Relay Server στη μορφή IP_ή_domain:5902 και επιλέγει «Start Hosting».

Με την έναρξη της φιλοξενίας δημιουργείται ένα μοναδικό Session ID έξι χαρακτήρων. Το συγκεκριμένο Session ID κοινοποιείται στον χρήστη του Client.

Στον Client, ο χρήστης εισάγει τη διεύθυνση του Relay Server, το Session ID που δημιούργησε ο Host και επιλέγει «Connect». Μετά την επιτυχή σύνδεση εμφανίζεται η απομακρυσμένη επιφάνεια εργασίας του Host και ενεργοποιείται η αποστολή εντολών ποντικιού και πληκτρολογίου.

Για απευθείας σύνδεση σε τοπικό δίκτυο, το πεδίο Relay παραμένει κενό. Ο Host επιλέγει «Start Hosting» και ο Client εισάγει στο πεδίο σύνδεσης τη διεύθυνση IP του Host. Στην περίπτωση

αυτή χρησιμοποιούνται οι θύρες 5900 για τη μετάδοση εικόνας και 5901 για τις εντολές ποντικιού και πληκτρολογίου.

Α.3 Εγκατάσταση Εξαρτήσεων Python

Για την εκτέλεση της εφαρμογής μέσω του πηγαίου κώδικα απαιτείται η εγκατάσταση των απαραίτητων βιβλιοθηκών Python. Συνιστάται η χρήση εικονικού περιβάλλοντος Python, ώστε οι εξαρτήσεις της εφαρμογής να εγκατασταθούν ξεχωριστά από το υπόλοιπο σύστημα.

Κώδικας Α.1: Δημιουργία και ενεργοποίηση εικονικού περιβάλλοντος σε Windows PowerShell

```
python -m venv .venv
.\.venv\Scripts\Activate.ps1
```

Κώδικας Α.2: Εγκατάσταση των απαραίτητων βιβλιοθηκών

```
python -m pip install --upgrade pip
pip install -r requirements.txt
```

Το αρχείο requirements.txt εγκαθιστά τις βιβλιοθήκες custom tkinter, mss, Pillow και pynput. Η Custom Tkinter χρησιμοποιείται για τη γραφική διεπαφή, η MSS για τη λήψη της εικόνας της οθόνης, η Pillow για την επεξεργασία και συμπίεση της εικόνας και η Pynput για τον απομακρυσμένο χειρισμό ποντικιού και πληκτρολογίου.

Α.4 Ανάπτυξη του Relay Server σε Linux VPS

Ο Relay Server λειτουργεί ως ενδιάμεσο σημείο επικοινωνίας μεταξύ Host και Client για συνδέσεις μέσω διαφορετικών δικτύων. Ο Relay Server χρησιμοποιεί τη θύρα 5902/TCP. Αρχικά, το αρχείο server.py, το οποίο βρίσκεται στον φάκελο relay του έργου, μεταφέρεται στον Linux VPS.

Κώδικας Α.4: Μεταφορά του Relay Server στον VPS από Windows PowerShell

```
scp  relay/server.py
user@SERVER_IP:/home/user/appdesk-relay-server.py
```

Στην παραπάνω εντολή, το user αντικαθίσταται από το όνομα χρήστη του VPS και το SERVER_IP από τη δημόσια διεύθυνση IP του VPS.

Κώδικας Α.5: Σύνδεση στον Linux VPS

```
ssh user@SERVER_IP
```

Κώδικας Α.6: Ενημέρωση πακέτων και εγκατάσταση Python

```
sudo apt update
sudo apt install -y python3
```

Κώδικας Α.7: Άνοιγμα θύρας Relay Server

```
sudo ufw allow 5902/tcp
sudo ufw reload
```

Η θύρα 5902/TCP πρέπει επίσης να επιτρέπεται από το firewall ή το security group του παρόχου VPS.

Κώδικας Α.8: Χειροκίνητη εκτέλεση Relay Server

```
python3 /home/user/appdesk-relay-server.py
```

Με την επιτυχή εκτέλεση εμφανίζεται το μήνυμα ότι ο Relay Server αναμένει συνδέσεις στη θύρα 5902.

Α.4.1 Φιλοξενία του Relay Server στο Google Cloud

Για τη λειτουργία του Relay Server χρησιμοποιήθηκε εικονική μηχανή (Virtual Machine) στο Google Cloud. Η χρήση μιας υποδομής cloud επιτρέπει στον Relay Server να είναι διαθέσιμος μέσω διαδικτύου και να δέχεται συνδέσεις από Host και Client που βρίσκονται σε διαφορετικά δίκτυα.

Στην εικονική μηχανή εγκαταστάθηκε λειτουργικό σύστημα Linux και το αρχείο του Relay Server εκτελείται μέσω Python. Η εφαρμογή χρησιμοποιεί τη θύρα 5902/TCP για την επικοινωνία μεταξύ Host, Client και Relay Server.

Στο Google Cloud διαμορφώθηκε κανόνας firewall, ώστε να επιτρέπεται εισερχόμενη TCP κίνηση στη θύρα 5902. Επιπλέον, ο Relay Server ρυθμίστηκε ως υπηρεσία systemd, ώστε να ξεκινά αυτόματα μετά από επανεκκίνηση της εικονικής μηχανής.

Η δημόσια διεύθυνση IP της εικονικής μηχανής ορίζεται στην εφαρμογή στη μορφή IP_διεύθυνση:5902. Η ίδια διεύθυνση χρησιμοποιείται τόσο από τον Host όσο και από τον Client για τη δημιουργία και σύνδεση σε απομακρυσμένες συνεδρίες.

Για λόγους ασφάλειας, η πραγματική δημόσια διεύθυνση IP του Relay Server δεν εμφανίζεται στην παρούσα εργασία.

Α.4.2 Σύνδεση και Διαχείριση του Relay Server

Η διαχείριση του Relay Server πραγματοποιείται μέσω SSH σύνδεσης στην εικονική μηχανή του Google Cloud. Από το περιβάλλον Google Cloud Console επιλέγεται η αντίστοιχη Virtual Machine και χρησιμοποιείται η επιλογή SSH για σύνδεση στο Linux σύστημα.

Εναλλακτικά, η σύνδεση μπορεί να πραγματοποιηθεί από τερματικό με χρήση της δημόσιας διεύθυνσης IP της εικονικής μηχανής.

Κώδικας Α.9: Σύνδεση στον Relay Server μέσω SSH

```
ssh user@SERVER_IP
```

Στην εντολή αυτή, το user αντικαθίσταται από το όνομα χρήστη του Linux συστήματος και το SERVER_IP από τη δημόσια διεύθυνση IP της εικονικής μηχανής στο Google Cloud.

Μετά τη σύνδεση, μπορεί να ελεγχθεί η κατάσταση της υπηρεσίας Relay Server με την ακόλουθη εντολή.

Κώδικας Α.10: Έλεγχος κατάστασης Relay Server

```
sudo systemctl status appdesk-relay
```

Εάν η υπηρεσία δεν βρίσκεται σε λειτουργία, μπορεί να εκκινηθεί ή να επανεκκινηθεί.

Κώδικας Α.11: Εκκίνηση Relay Server

```
sudo systemctl start appdesk-relay
```

Κώδικας Α.12: Επανεκκίνηση Relay Server

```
sudo systemctl restart appdesk-relay
```

Για την παρακολούθηση των μηνυμάτων λειτουργίας και πιθανών σφαλμάτων χρησιμοποιείται η ακόλουθη εντολή.

Κώδικας Α.13: Προβολή αρχείων καταγραφής

```
sudo journalctl -u appdesk-relay -f
```

Το Google Cloud επιτρέπει σύνδεση στη VM είτε από το κουμπί SSH του Console είτε μέσω SSH key/terminal. Για πιο ασφαλή διαχείριση, η Google προτείνει πρόσβαση μέσω IAP αντί να είναι το SSH εκτεθειμένο δημόσια.

Α.5 Εκτέλεση του Relay Server ως systemd Service

Για τη συνεχή λειτουργία του Relay Server και την αυτόματη εκκίνηση του μετά από επανεκκίνηση του VPS, μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπηρεσία systemd.

Κώδικας Α.14: Δημιουργία αρχείου υπηρεσίας

```
sudo nano /etc/systemd/system/appdesk-relay.service
```

Κώδικας Α.15: Περιεχόμενο αρχείου υπηρεσίας

```
[Unit]
Description=Appdesk Relay Server
After=network.target

[Service]
Type=simple
User=user
WorkingDirectory=/home/user
ExecStart=/usr/bin/python3 /home/user/appdesk-relay-server.py
```

```
Restart=always
RestartSec=2

[Install]
WantedBy=multi-user.targe
```

Στο παραπάνω αρχείο, το user πρέπει να αντικατασταθεί με το πραγματικό όνομα χρήστη του VPS. Αν το αρχείο appdesk-relay-server.py έχει τοποθετηθεί σε διαφορετικό φάκελο, πρέπει να τροποποιηθεί αντίστοιχα η διαδρομή στην παράμετρο ExecStart.

Κώδικας Α.16: Επαναφόρτωση ρυθμίσεων systemd

```
sudo systemctl daemon-reload
```

Κώδικας Α.17: Ενεργοποίηση και εκκίνηση υπηρεσίας

```
sudo systemctl enable appdesk-relay
sudo systemctl start appdesk-relay
```

Κώδικας Α.18: Έλεγχος κατάστασης υπηρεσίας

```
sudo systemctl status appdesk-relay
```

Κώδικας Α.19: Προβολή logs της υπηρεσίας

```
sudo journalctl -u appdesk-relay -f
```

Α.6 Έλεγχος Λειτουργίας της Εφαρμογής

Μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης πραγματοποιείται έλεγχος της συνολικής λειτουργίας του AppDesk.

Για σύνδεση μέσω Relay Server, αρχικά επιβεβαιώνεται ότι η υπηρεσία appdesk-relay βρίσκεται σε λειτουργία. Στη συνέχεια, στον Host εισάγεται η διεύθυνση του Relay Server στη μορφή IP_ή_domain:5902 και επιλέγεται η λειτουργία «Start Hosting».

Με τη δημιουργία της συνεδρίας εμφανίζεται ένα Session ID. Το συγκεκριμένο αναγνωριστικό εισάγεται στον Client, μαζί με την ίδια διεύθυνση Relay Server. Ο Client επιλέγει «Connect».

Η επιτυχημένη λειτουργία επιβεβαιώνεται όταν στον Client εμφανιστεί η κύρια οθόνη του Host και είναι δυνατή η αποστολή εντολών ποντικιού και πληκτρολογίου.

Για έλεγχο απευθείας σύνδεσης σε LAN, το πεδίο Relay παραμένει κενό. Ο Client εισάγει τη διεύθυνση IP του Host και επιλέγει «Connect».

Α.7 Αντιμετώπιση Προβλημάτων

Σε περίπτωση αποτυχίας σύνδεσης μέσω Relay Server, πρέπει αρχικά να επιβεβαιώνεται ότι η υπηρεσία Relay βρίσκεται σε λειτουργία.

Κώδικας Α.20: Έλεγχος Relay Server

```
sudo systemctl status appdesk-relay
```

Κώδικας Α.21: Επανεκκίνηση Relay Server

```
sudo systemctl restart appdesk-relay
```

Πρέπει να ελέγχεται ότι ο Host και ο Client χρησιμοποιούν την ίδια διεύθυνση Relay Server και ότι η διεύθυνση βρίσκεται στη μορφή IP_ή_domain:5902. Πρέπει επίσης να επιβεβαιώνεται ότι το Session ID του Client αντιστοιχεί σε ενεργή συνεδρία του Host.

Εάν ο Relay Server δεν είναι προσβάσιμος, πρέπει να ελεγχθεί ότι η θύρα 5902/TCP επιτρέπεται από το firewall του VPS και από τον πάροχο φιλοξενίας.

Για απευθείας σύνδεση LAN, πρέπει να ελέγχεται η σωστή IP του Host, η προσβασιμότητα των θυρών 5900 και 5901 και οι ρυθμίσεις firewall του τοπικού δικτύου.

Μία ασταθής δικτυακή σύνδεση μπορεί να προκαλέσει αυξημένη καθυστέρηση, μειωμένο FPS ή διακοπή της απομακρυσμένης συνεδρίας. Μετά από αποσύνδεση, η συνεδρία πρέπει να δημιουργηθεί ή να συνδεθεί ξανά χειροκίνητα.

Α.8 Παρατηρήσεις

Ο Relay Server αποτελεί βασικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής για επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών δικτύων, επειδή επιτρέπει στον Host και στον Client να συνδέονται χωρίς να απαιτείται απευθείας πρόσβαση στη διεύθυνση IP του Host.

Σε τοπικό δίκτυο, η εφαρμογή υποστηρίζει και απευθείας σύνδεση προς τον Host χωρίς χρήση Relay Server.

Η εγκατάσταση του Relay Server ως υπηρεσίας systemd επιτρέπει την αυτόματη εκκίνηση του μετά από επανεκκίνηση του VPS και τη συνεχή διαθεσιμότητά του.

Η δημιουργία μιας απομακρυσμένης συνεδρίας πραγματοποιείται με απλό τρόπο: ο Host ξεκινά τη φιλοξενία και λαμβάνει το Session ID, ενώ ο Client χρησιμοποιεί το ίδιο Session ID για να συνδεθεί στη συνεδρία.

Ο πηγαίος κώδικας της εφαρμογής AppDesk είναι διαθέσιμος στο αποθετήριο GitHub: https://github.com/eleuthpap/Appdesk