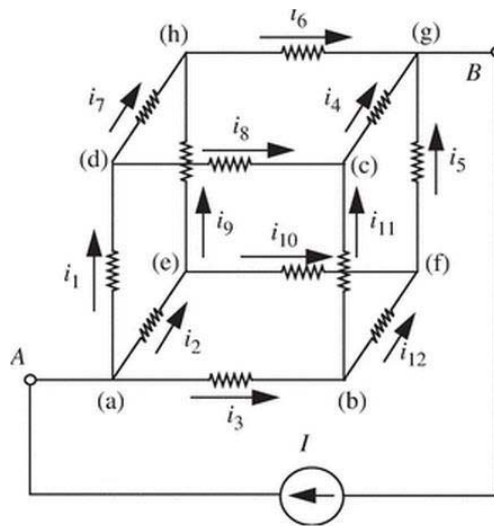


ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΦΕΑ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Ι. ΜΠΑΛΟΥΚΤΣΗΣ
(ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ/ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ,
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ, PhD)



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΘΕΜΑ:

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΦΕΑ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

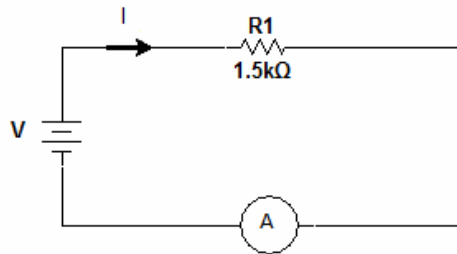
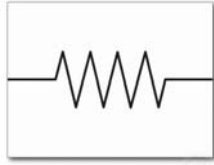
Α.Ε.Μ. 2171

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Ι. ΜΠΑΛΟΥΚΤΣΗΣ
(ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ/ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ,
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ, PhD)**

ΣΕΡΡΕΣ ΜΑΙΟΣ 2013

Υπεύθυνη Δήλωση : Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Πληροφορικής & Επικοινωνιών του Τ.Ε.Ι. Σερρών.

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εξοικείωση με τον εξοπλισμό του εργαστηρίου καθώς και με τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να υλοποιηθούν οι ασκήσεις-εργασίες κάθε μαθήματος. Στα ηλεκτρικά κυκλώματα ο φοιτητής θα ασχοληθεί κυρίως με το ρεύμα, την τάση, τις αντιστάσεις, τα πηνία και τους πυκνωτές. Για να γίνουν μετρήσεις σε ολοκληρωμένα κυκλώματα χρησιμοποιούνται κάποια εργαλεία όπως το πολύμετρο και ο παλμογράφος. Η υλοποίηση κάθε κυκλώματος, έτσι ώστε να συνδέονται όλα τα παραπάνω μεταξύ τους, γίνεται πάνω σε μια πλακέτα που ονομάζεται ράστερ.



Εργαστηριακή άσκηση 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Σκοπός της άσκησης

Εξοικείωση με τον εξοπλισμό του εργαστηρίου καθώς και με τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να υλοποιηθούν οι ασκήσεις-εργασίες κάθε μαθήματος. Στα ηλεκτρικά κυκλώματα ο φοιτητής θα ασχοληθεί κυρίως με το ρεύμα, την τάση, τις αντιστάσεις, τα πηνία και τους πυκνωτές. Για να γίνουν μετρήσεις σε ολοκληρωμένα κυκλώματα χρησιμοποιούνται κάποια εργαλεία όπως το πολύμετρο και τον παλμογράφο. Η υλοποίηση κάθε κυκλώματος, έτσι ώστε να συνδέονται όλα τα παραπάνω μεταξύ τους, γίνεται πάνω σε μια πλακέτα που ονομάζεται ράστερ.

Θεωρητικό μέρος

1.1 Ηλεκτρικό κύκλωμα

Ηλεκτρικό κύκλωμα ονομάζεται μια διάταξη που αποτελείται από ένα σύνολο ηλεκτρικών στοιχείων (αντιστάτες, πυκνωτές, πηνία κ.α), τουλάχιστον ένα εκ των οποίων είναι ηλεκτρική πηγή, κατάλληλα συνδεδεμένων και στα οποία κυκλοφορεί ηλεκτρικό ρεύμα. Είναι δηλαδή ένα σύνολο φυσικών ηλεκτρικών στοιχείων που συνδέονται μεταξύ τους. Σκοπός του ηλεκτρικού κυκλώματος είναι η μεταφορά, η διανομή και η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας. Βασικές συνιστώσες ενός κυκλώματος είναι οι πηγές ενέργειας, οι μετατροπείς ενέργειας (καλούνται και φορτία), καθώς επίσης οι αγωγοί και άλλα ηλεκτρικά στοιχεία που συνδέουν τα παραπάνω. Η θεωρία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων βασίζεται κυρίως στην έννοια των ομοιωμάτων, τα οποία είναι κυκλώματα αποτελούμενα από εξιδανικευμένα ηλεκτρικά στοιχεία με γνωστές "καθαρές" ιδιότητες και παριστάνουν κάποιο φυσικό ηλεκτρικό στοιχείο, τα οποία αναλύονται παρακάτω.

1.2 Βασικά ηλεκτρικά μεγέθη-μονάδες

1.2.1 Ηλεκτρικό φορτίο

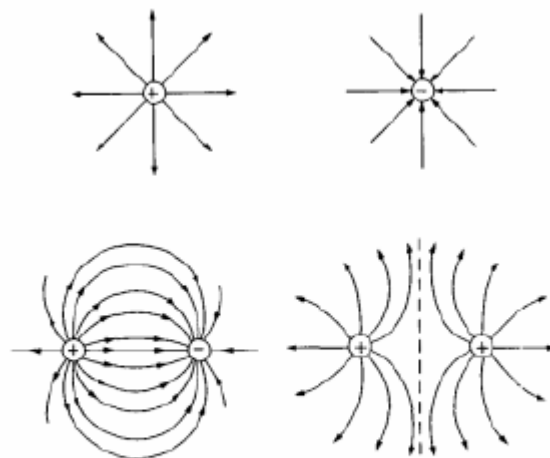
Σύμφωνα με την φυσική το ηλεκτρικό φορτίο είναι χαρακτηριστικό των στοιχειωδών σωματιδίων της ύλης. Ένα άτομο ενός στοιχείου αποτελείται από ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια και έναν πυρήνα, ο οποίος φέρει θετικό ηλεκτρικό φορτίο. Άτομα τα οποία έχουν χάσει, ή κερδίσει ηλεκτρόνια, είναι φορτισμένα θετικά ή αρνητικά καλούνται ιόντα. Η μονάδα μέτρησης είναι το Coulomb.

1.2.2 Ηλεκτρικό δυναμικό

Ο χώρος γύρω από ένα ηλεκτρικό φορτίο επηρεάζεται από την παρουσία του και δημιουργείται ένα ανυσματικό πεδίο δυνάμεων που ονομάζεται ηλεκτρικό πεδίο. Η ένταση E του ηλεκτρικού πεδίου σ' ένα σημείο του, ορίζεται ως η δύναμη που εξασκείται στη μονάδα του θετικού φορτίου q που βρίσκεται σ' αυτό το σημείο:

$$E = \frac{F}{q} \quad (1.1).$$

Στο σχήμα 1.1 φαίνονται οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου.



Σχήμα 1.1: Δυναμικές γραμμές ηλεκτρικού πεδίου

1.2.3 Ηλεκτρικό ρεύμα

Το ηλεκτρικό ρεύμα ορίζεται ως ο ρυθμός μιας συνισταμένης κίνησης φορτίων. Δηλαδή εάν στα άκρα ενός μεταλλικού αγωγού εφαρμοστεί μια διαφορά δυναμικού, τότε το παραγόμενο ηλεκτρικό πεδίο έντασης E δρα πάνω στα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μετάλλου και προκαλεί σε αυτά συνισταμένη κίνηση με κατεύθυνση $-E$. Αν από μια διατομή του αγωγού διέρχεται σε χρόνο dt φορτίο dq , τότε ο ρυθμός μεταβολής του φορτίου είναι dq/dt και συνεπώς το ρεύμα ισούται με :

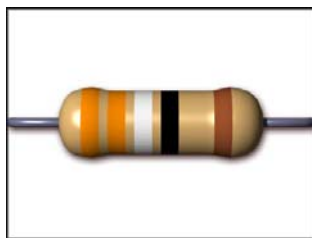
$$i = \frac{dq}{dt} \quad 1.2$$

Η μονάδα του i είναι το A (Ampere).

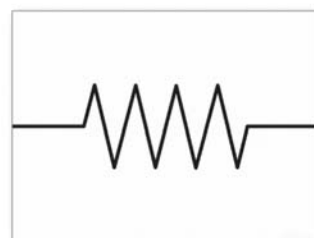
1.3 Αντιστάσεις

Κάθε είδους στοιχείο παρουσιάζει στην ροή του ρεύματος **αντίσταση**. Το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από το υλικό που είναι κατασκευασμένο το στοιχείο, την διάμετρο του και το μήκος του. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος τόσο μικρότερη είναι η αντίσταση και όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του υλικού τόσο αυξάνεται η αντίστασή του. Στα ηλεκτρονικά κυκλώματα η χρήση αντιστάσεων δημιουργεί περιορισμό της ροής του ρεύματος και πτώση τάσης στα άκρα τους.

αντίσταση



ομοίωμα



1.3.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη των αντιστάσεων

1. Τιμή αντίστασης

Είναι η τιμή της αντίστασης με μονάδα μέτρησης το Ω μ. Π.χ. αντίσταση $R = 5 \Omega$ μ. Υπάρχουν και πολλαπλάσια ($K\Omega = 10^3$ και $M\Omega = 10^6$) και υποπολλαπλάσια ($m\Omega = 10^{-3}$ και $\mu\Omega = 10^{-6}$).

2. Ισχύς της αντίστασης

Είναι η μέγιστη τιμή της ισχύος που μπορεί να καταναλωθεί πάνω στην αντίσταση υπό μορφή θερμότητας χωρίς να καταστρέφεται θερμομηχανικά η αντίσταση ή να αλλοιώνονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της. Π.χ. μέγιστη τιμή ισχύος αντίστασης 5 Ω μπορεί να είναι 125 W (βατ), που σημαίνει ότι η αντίσταση αντέχει μέγιστο ρεύμα $\sqrt{(125/5)} = \sqrt{25} \text{ A} = 5\text{A}$, δηλαδή τάση συνεχούς ρεύματος ίση με $(5 \times 5) \text{ V} = 25 \text{ V}$.

3. Ανοχή

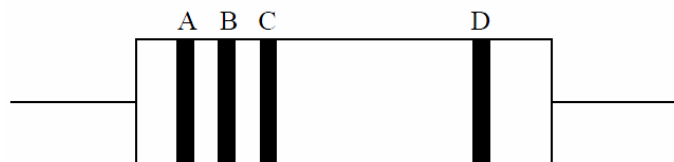
Είναι η απόκλιση της τιμής της αντίστασης από την τιμή που δίνει ο κατασκευαστής. Οι τιμές ανοχής ορίζονται από τον κατασκευαστή και είναι $\pm 10\%$, $\pm 5\%$, $\pm 2\%$, $\pm 1\%$ και $\pm 0,5\%$. Π.χ. αντίσταση $R = 20 \Omega$ με απόκλιση $\pm 5\%$ κυμαίνεται από 19Ω έως 21Ω

1.3.2 Μέτρηση αντιστάσεων

Σε σταθερές αντιστάσεις από 2 Watt και πάνω, η ονομαστική τιμή, η ισχύς και η ανοχή της αντίστασης αναγράφεται στο κέλυφός τους λόγω του μεγάλου μεγέθους της. Για σταθερές αντιστάσεις μικρής ισχύος, από 1 Watt και κάτω δηλαδή, έχει επινοηθεί ένας χρωματικός κώδικας. Η πρώτη μέθοδος είναι με τις χρωματικές δακτυλιοειδείς λωρίδες που υπάρχουν στο σήμα της αντίστασης, ενώ η δεύτερη μέθοδος είναι με το πολύμετρο όπως θα δούμε παρακάτω.

Μέθοδος ανάγνωσης χρωματικού κώδικα

Η μέθοδος αυτή είναι και η πιο δημοφιλής. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο υπάρχουν τουλάχιστον τρεις χρωματικές δακτυλιοειδείς λωρίδες πάνω στο σώμα της αντίστασης. Υπάρχουν 12 συνολικά χρώματα τα οποία χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν την τιμή της αντίστασης, όπως βλέπουμε και στον πίνακα χρωμάτων (σχήμα 1.2). Στο σώμα της αντίστασης συνήθως παρατηρούμε τουλάχιστον 4 χρωματικές λωρίδες, όπου η μία βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από τις υπόλοιπες και καθορίζει την ανοχή της αντίστασης.



$$R = AB \times 10^C \pm D(\%)$$

Χρώμα	A, B, C
Μαύρο	0
Καφέ	1
Κόκκινο	2
Πορτοκαλί	3
Κίτρινο	4
Πράσινο	5
Μπλε	6
Μωβ	7
Σταχτί	8
Λευκό	9

D: Χρυσό → 5%

D: Ασημί → 10%

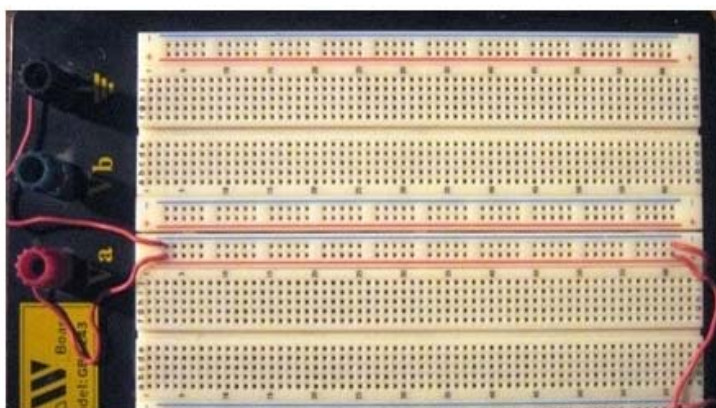
Σχήμα 1.2: Χρωματικός κώδικας αντιστάσεων

Κρατάμε στο χέρι μας την αντίσταση κατά τέτοιον τρόπο ώστε η λωρίδα της ανοχής της αντίστασης να

βρίσκεται δεξιά μας. Από αριστερά η πρώτη χρωματική λωρίδα δίνει το πρώτο ψηφίο του αριθμού που παριστάνει την τιμή της αντίστασης. Η δεύτερη κατά σειρά χρωματική λωρίδα μας δίνει το δεύτερο ψηφίο του αριθμού της ονομαστικής τιμής της αντίστασης, ενώ το τρίτο κατά σειρά είναι ο πολλαπλασιαστής. Ουσιαστικά το τρίτο ψηφίο δίνει τον αριθμό των μηδενικών μετά από τα δύο πρώτα ψηφία και συνολικά την ονομαστική τιμή της αντίστασης σε Ω . Το τέταρτο ψηφίο όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι η τιμή της ανοχής της αντίστασης και για αντιστάσεις 4 λωρίδων συνήθως έχουν χρώμα ή χρυσαφί ή ασημί, που σημαίνει ότι έχει ανοχή ή 5%, ή 10% σύμφωνα με το Σχήμα 1.2.

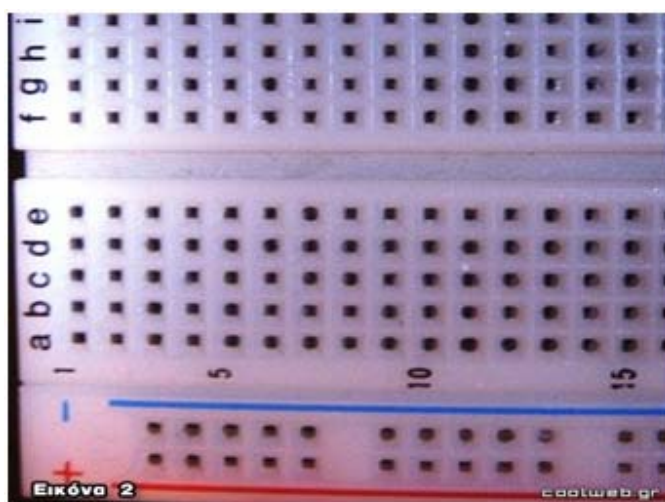
1.4 Ηλεκτρονική πλακέτα ή ράστερ

Η ηλεκτρονική πλακέτα αποτελεί κατά κάποιον τρόπο ένα ηλεκτρονικό «πίνακα» πάνω στον οποίο μπορεί να κατασκευαστεί το κύκλωμα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3, το **ράστερ** αποτελείται από πολλές μικρές οπές, καθώς και από τρεις υποδοχές για να δίνεται η επιθυμητή τροφοδοσία. Οι μεγάλες



Σχήμα 1.3: Ράστερ

οριζόντιες γραμμές (κόκκινη και μπλε) δείχνουν τη σύνδεση των οπών κάτω από την επιφάνεια του ράστερ σε εκείνη την περιοχή. Όλες οι υπόλοιπες οπές ενώνονται ανά κάθετες πεντάδες (σχήμα 1.4). Αυτές αποτελούν ουσιαστικά τους κόμβους του κυκλώματος μας και με αυτές υλοποιείται το κυρίως κύκλωμα που κατασκευάζεται.



Σχήμα 1.4: Οι οπές του ράστερ

Το πρώτο βήμα είναι να συνδεθούν οι **υποδοχές (μπόρνες)** (οι οποίες ξεβιδώνουν) με ένα καλωδάκι με τις μεγάλες οριζόντιες γραμμές επάνω στο ράστερ. Αυτές (κόκκινες και μπλε) είναι μεταξύ τους συνδεδεμένες από κάτω, είναι δηλαδή σαν ένας κόμβος, τα σημεία τροφοδοσία και γείωσης. Συνήθως, για την θετική τάση και την **γείωση**, συνδέεται η κόκκινη μπόρνα (+ τάσης) με την κόκκινη γραμμή και η μαύρη μπόρνα (GND/γείωση) με την μπλε. Η

τρίτη μπόρνα χρησιμεύει στην πιθανότητα χρησιμοποίησης και δεύτερης τροφοδοσίας, διαφορετικής από την πρώτη.

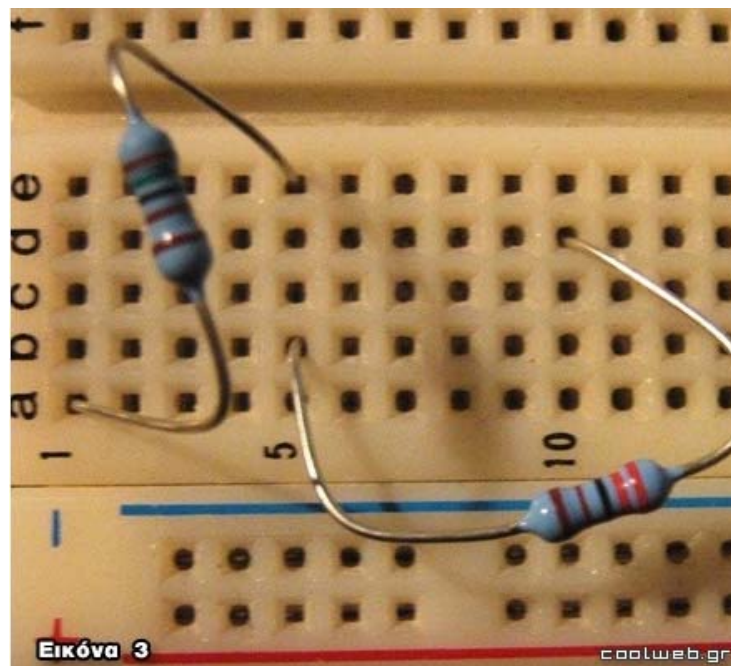
Παρακάτω παραθέτονται δύο παραδείγματα για ευκολότερη κατανόηση του τρόπου σύνδεσης. Στα **ηλεκτρικά** υπάρχουν δύο τρόποι σύνδεσης των επιμέρους στοιχείων μεταξύ τους, **σε σειρά** και **παράλληλα**.

1.5 Σύνδεση σε σειρά:

Όταν η **σύνδεση** είναι **σε σειρά** εννοείται ότι από το ένα άκρο του ενός στοιχείου (θα χρησιμοποιούνται αντιστάσεις, αλλά αυτό επεκτείνεται στη χρήση οποιουδήποτε εξαρτήματος) συνδέεται το δεύτερο. Δηλαδή τα δύο στοιχεία έχουν μόνο το ένα τους άκρο ενωμένο, από εκεί που τελειώνει το ένα στοιχείο ξεκινάει το άλλο. Πως υλοποιείται αυτό επάνω στο ράστερ; Πολύ απλά. Το μόνο που θα χρειαστεί στην υλοποίηση ενός κυκλώματος σε σειρά θα είναι το εξής:



Από την πεντάδα που τελειώνει το ένα στοιχείο, από την ίδια πεντάδα θα πρέπει να συνδεθεί το επόμενο στοιχείο!

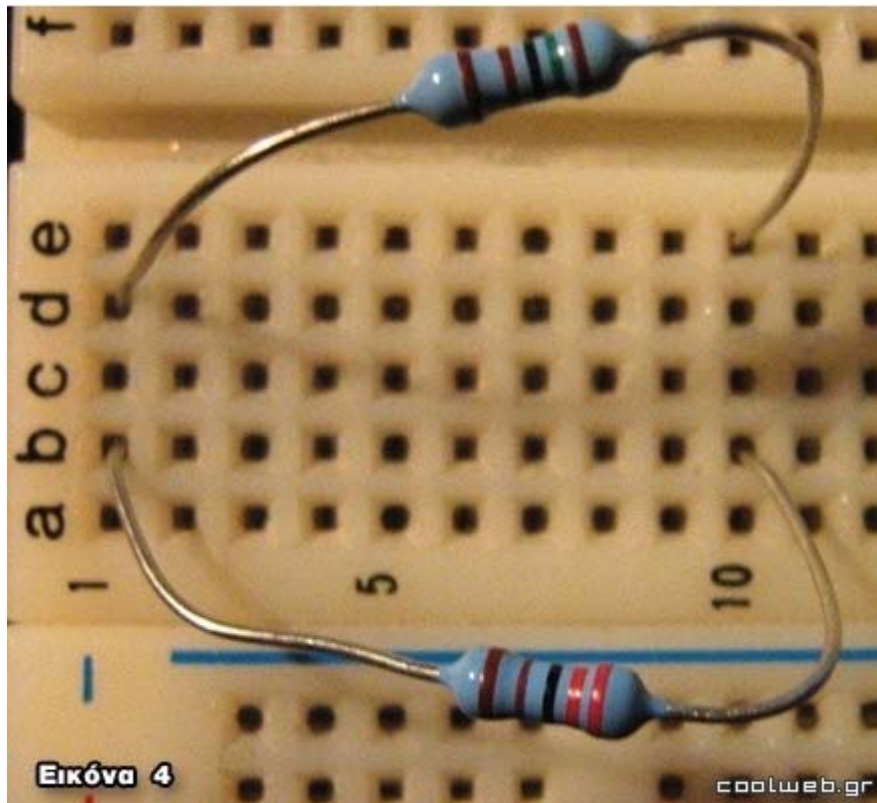
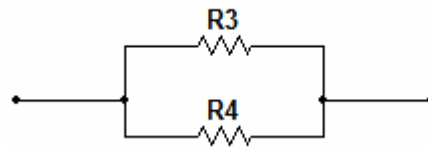


Σχήμα 1.5: Σύνδεση σε σειρά

Όπως φαίνεται στο **σχήμα 1.5**, η πρώτη αντίσταση ξεκινάει από την τρύπα με τις συντεταγμένες (a,1) και καταλήγει στο σημείο (e,5). Η επόμενη αντίσταση ξεκινάει από το σημείο (b,5) και καταλήγει στο (d,10). Απ' ό,τι φαίνεται δεν έχει σημασία από ποιο γράμμα θα ξεκινάει το ποδαράκι του στοιχείου, αρκεί να βρίσκονται στην ίδια πεντάδα. Σε αυτό το σημείο να τονίσουμε ότι οι πεντάδες a-b-c-d-e δεν ενώνονται με τις πεντάδες e-f-g-h-i.

1.6 Παράλληλη σύνδεση:

Στην **παράλληλη σύνδεση** τα ποδαράκια από τα δύο (ή και παραπάνω) στοιχεία έχουν κοινή αρχή και κοινό τέλος. Στο σχήμα 1.6 φαίνεται η συνδεσμολογία πάνω στο ράστερ.



Σχήμα 1.6: Παράλληλη σύνδεση

Από το σχήμα 1.6 είναι φανερή η δεύτερη φιλοσοφία σύνδεσης. Και οι δύο αντιστάσεις ξεκινάνε από την ίδια πεντάδα και τελειώνουν επίσης στην ίδια πεντάδα. Συγκεκριμένα η πρώτη αντίσταση έχει αρχή την οπή (d,1) και τελειώνει στην οπή (e,10). Η δεύτερη αντίσταση ξεκινάει από την οπή (b,1) και τελειώνει στην (b,10). Όπως φαίνεται από τις συντεταγμένες έχουν αρχή και τέλος στις ίδιες πεντάδες. Στην περίπτωση που χρειάζεται να συνδεθούν παραπάνω στοιχεία, απλά με ένα καλωδιάκι συνδέουμε δύο διαφορετικές πεντάδες.

Με αυτόν τον τρόπο λοιπόν, απομονώνοντας τον κάθε κόμβο του κυκλώματος και αναγνωρίζοντας τον τρόπο σύνδεσής του μπορεί να υλοποιηθεί στο ράστερ οποιοδήποτε πειραματικό **κύκλωμα** πριν το γίνει πλακέτα.

1.7 Πολύμετρο

Το **πολύμετρο** είναι ένα ηλεκτρονικό όργανο μέτρησης που χρησιμοποιείται ευρέως για τη μέτρηση χαρακτηριστικών μεγεθών ενός ηλεκτρικού κυκλώματος.

Το πολύμετρο επιτρέπει τη μέτρηση:

- Της έντασης ρεύματος που διαρρέει ένα κύκλωμα.
- Της τάσης ή διαφοράς δυναμικού ανάμεσα σε δύο σημεία ενός κυκλώματος.
- Της ωμικής αντίστασης τμήματος κυκλώματος.

Η **σύνδεση του πολυμέτρου** γίνεται σε σειρά ή παράλληλα ανάλογα με την χρήση του ως αμπερομέτρου ή βολτομέτρου αντίστοιχα. Όπως φαίνεται στην εικόνα υπάρχει ένας περιστροφικός επιλογέας με τον οποίο μπορεί να επιλεγεί το είδος της μέτρησης, καθώς και κάποιες ωπές στις οποίες συνδέονται τα καλώδια ανάλογα πάλι με το είδος της μέτρησης.



Σχήμα 1.7: Πολύμετρο

1.1.4.1 Μέτρηση τάσης με το πολύμετρο

Για να ολοκληρωθεί η μέτρηση της τάσης στο πολύμετρο ο επιλογέας τοποθετείται στην περιοχή V συνεχές και τα καλώδια, το μαύρο στο COM και το κόκκινο στο VΩHz.

1.1.4.2 Μέτρηση έντασης με το πολύμετρο

Για να ολοκληρωθεί μέτρηση της έντασης με το πολύμετρο ο επιλογέας τοποθετείται στην περιοχή A συνεχές και τα καλώδια, το μαύρο στο COM και το κόκκινο στο mA (200m).

1.1.4.3 Μέτρηση ωμικής αντίστασης

Για να ολοκληρωθεί μέτρηση της ωμικής αντίστασης ο επιλογέας τοποθετείται στην περιοχή Ω και τα καλώδια το μαύρο στο COM και το κόκκινο στο VΩHz.

1.8 Παλμογράφος

Ο **παλμογράφος** είναι ένα πολύ χρήσιμο όργανο για τη μελέτη της λειτουργίας των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Χρησιμοποιείται κυρίως για την απεικόνιση τάσεων που εμφανίζονται σε διάφορα σημεία ενός κυκλώματος, και με τη βοήθειά του μπορούν να μετρηθούν χαρακτηριστικά μεγέθη αυτών. Ενδεικτικά αναφέρεται το πλάτος, τη συχνότητα, τη διαφορά φάσης σε σχέση με μία άλλη τάση κ.λπ. Επίσης, ο παλμογράφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη έμμεση (νόμος Ohm) μέτρηση ρευμάτων που διαρρέουν ένα κύκλωμα. Στον κατακόρυφο άξονα μετράται η τάση και στον οριζόντιο άξονα μετράται ο χρόνος. Με αυτό τον τρόπο μελετώνται όχι μόνο οι στιγμιαίες τιμές αλλά και η διαχρονική συμπεριφορά των χαρακτηριστικών των κυκλωμάτων. Η οθόνη του παλμογράφου είναι χωρισμένη σε τετράγωνα με κατακόρυφες και οριζόντιες γραμμές, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ακριβέστερη μέτρηση των δύο μεγεθών.



Σχήμα 1.8: Παλμογράφος

Ο **παλμογράφος** έχει δύο κανάλια εισόδου, επομένως υπάρχει η δυνατότητα ταυτόχρονης μελέτης δύο τάσεων οποιασδήποτε μορφής. Για την μέτρηση κάθε τάσης χρησιμοποιείται ομοαξονικό καλώδιο το οποίο έχει την ιδιαιτερότητα ότι καταλήγει σε μια τσιμπίδα η οποία συνδέεται στο υψηλό δυναμικό και σε ένα μαύρο ακροδέκτη που συνδέεται στο χαμηλό δυναμικό ή στη γείωση.

1.1.5.1 Τα κυριότερα κουμπιά ελέγχου του παλμογράφου, αναφερόμενοι στο σχήμα, είναι:

2. POWER

Ο διακόπτης λειτουργίας του παλμογράφου.

3. POWER λυχνία

Ανάβει όταν ο παλμογράφος τεθεί σε λειτουργία.

4. INTENS

Ρυθμίζει την ένταση της δέσμης στην οθόνη.

5. FOCUS

Εστιάζει τη δέσμη πάνω στην οθόνη

6. VOLTS/DIV

Περιστροφικοί διακόπτες 12 θέσεων, ένας για κάθε ενισχυτή κατακόρυφου.

7. VARIABLE

Ποτενσιόμετρο για συνεχή μεταβολή του πλάτους. Αυξάνει την ευαισθησία όταν περιστρέφεται δεξιά.

8. TIME/DIV

Περιστροφικός διακόπτης 20 θέσεων.

9. X-MAG x 10

Δίνει τη δυνατότητα για συνεχή μεταβολή του χρόνου σάρωσης.

10. HOLD OFF

Ακινητοποιεί στην οθόνη πολύπλοκα σήματα.

11. CH1 INPUT, CH2 INPUT

Ακροδέκτες για την σύνδεση του σήματος που πρόκειται να παρατηρηθεί.

12. Διακόπτης σύζευξης εισόδου (AC-DC)

Θέση AC: Η θέση αυτή είναι χρήσιμη στις περιπτώσεις όπου η εναλλασσόμενη συνιστώσα του σήματος είναι πολύ μικρότερη της συνεχούς. Θέση DC: Το σήμα εισόδου εφαρμόζεται απευθείας στους ενισχυτές κατακόρυφης απόκλισης, με αποτέλεσμα στην οθόνη να έχουμε απεικόνιση όλων των συνιστωσών του σήματος.

13. Διακόπτης σύζευξης εισόδου (GND)

Χρησιμεύει για τον καθορισμό της θέσης αναφοράς των τάσεων.

14. GROUND

Σημείο σύνδεσης για χωριστή γείωση.

15. ADD

Απεικονίζεται στην οθόνη το αλγεβρικό άθροισμα των δύο σημάτων.

16. Y-POS, X-POS

Μας επιτρέπει να μετακινούμε το σήμα κατακόρυφα ή οριζόντια ,αντίστοιχα.

17. DUAL

Επιλέγει την λειτουργία ή ενός ή και των δύο καναλιών.

18. LEVEL

Ρυθμιστής του επιπέδου της τάσης σκανδαλισμού.

19. TRIG. EXT

Επιλογέας εσωτερικού- εξωτερικού σκανδαλισμού.

20. INV

Διακόπτης αντιστροφής της απεικόνισης του σήματος του καναλιού I.

21. CH I/II

Επιλογή απεικόνισης του σήματος του καναλιού I/II.

Εργαστηριακό μέρος

➤ Μετρήστε την τιμή κάθε αντίστασης με το πολύμετρο τοποθετώντας το πολύμετρο στην περιοχή Ω και στη συνέχεια το ένα άκρο της αντίστασης ακουμπήστε το στο κόκκινο καλώδιο και το άλλο άκρο στο μαύρο καλώδιο. Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα.

Αντίσταση	Τιμή με πολύμετρο	Τιμή με κώδικα χρωμάτων
R1		
R2		
R3		
R4		

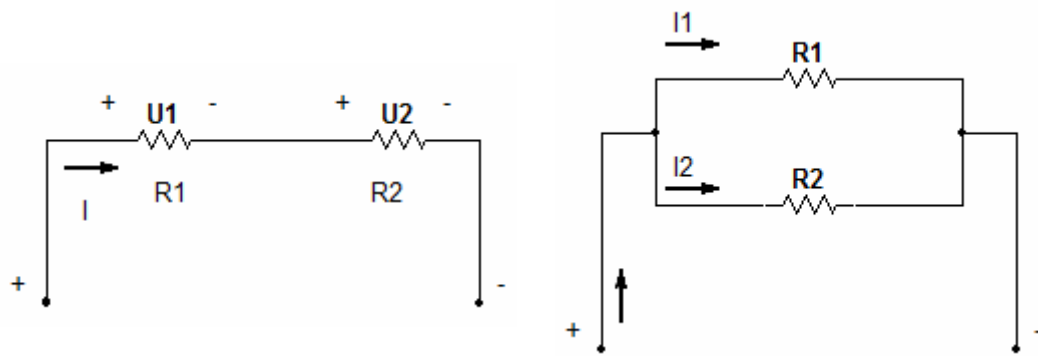
➤ Στη συνέχεια υπολογίστε με βάση τον κώδικα χρωμάτων τις τιμές για κάθε αντίσταση.

➤ Στις επόμενες γραμμές γράψτε τα σχόλια σας σχετικά με τα αποτελέσματα σας:

Ερωτήσεις κατανόησης (ανάπτυξης)

- 1) Δώστε κάποια παραδείγματα ηλεκτρικών κυκλωμάτων στην καθημερινή σας ζωή.
- 2) Οι αντιστάσεις και τα φορτία, πως μπορούν να συνδεθούν στα κυκλώματα;
- 3) Πως ονομάζονται τα υλικά που επιτρέπουν τη μετακίνηση των ηλεκτρονίων από το ένα άτομο στο άλλο;
- 4) Πως ονομάζονται τα υλικά που παρεμποδίζουν τη μετακίνηση των ηλεκτρονίων από το ένα άτομο στο άλλο;

Αιτιολογήστε τις απαντήσεις σας !



Εργαστηριακή άσκηση 2

Ο νόμος του Ohm και η εύρεση ισοδύναμης αντίστασης
στα ηλεκτρικά κυκλώματα

Σκοπός της άσκησης

Κατανόηση του νόμου του Ohm και εξοικείωση με την έννοια της ισοδύναμης αντίστασης . Ο μαθητής θα υλοποιήσει τέσσερα κυκλώματα τα οποία θα τον βοηθήσουν να κατανοήσει τον νόμο του Ohm.

Θεωρητικό μέρος

2.1 Ο νόμος του ΟΗΜ

Αν στα άκρα ενός σύρματος εφαρμοστεί ορισμένη τάση U , θα εμφανιστεί στο σύρμα ρεύμα με ορισμένη ένταση I . Εφ' όσον η τάση είναι η αιτία και το ρεύμα το αποτέλεσμα, πρέπει να υπάρχει ποσοτική σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών. Εφαρμόζοντας στα άκρα του σύρματος ορισμένη τάση, π.χ. 10V και μετράται με ένα πολύμετρο η ένταση I που διαρρέει το σύρμα, έστω ότι αυτή είναι 5A. Κατόπιν αν διπλασιαστεί, τριπλασιαστεί κ.ο.κ. η τάση και μετρηθεί σε κάθε περίπτωση η ένταση του ρεύματος, παρατηρείται ότι η ένταση γίνεται αντίστοιχα διπλάσια, τριπλάσια κ.ο.κ. δηλ. :

Τάση	10	20	30	40	50
Ένταση	5	10	15	20	25

Το ίδιο ισχύει και αν μειωθεί η τάση, μειώνεται και η αντίσταση. Οι παραπάνω παρατηρήσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η ένταση του ρεύματος είναι ανάλογη της τάσης. Σχηματίζοντας το πηλίκο τάσης δια έντασης παρατηρείται η ίδια σταθερή τιμή σε όλες τις περιπτώσεις. Η τιμή αυτή ονομάζεται **αντίσταση** του σύρματος (R) .

$$R = \frac{U}{I} \quad 2.1$$

Νόμος του Ohm:

Η ένταση ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό κυκλώματος είναι ανάλογη της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του αγωγού και αντίστροφος ανάλογη της αντίστασης του.

Ο νόμος του Ohm είναι πειραματικός.

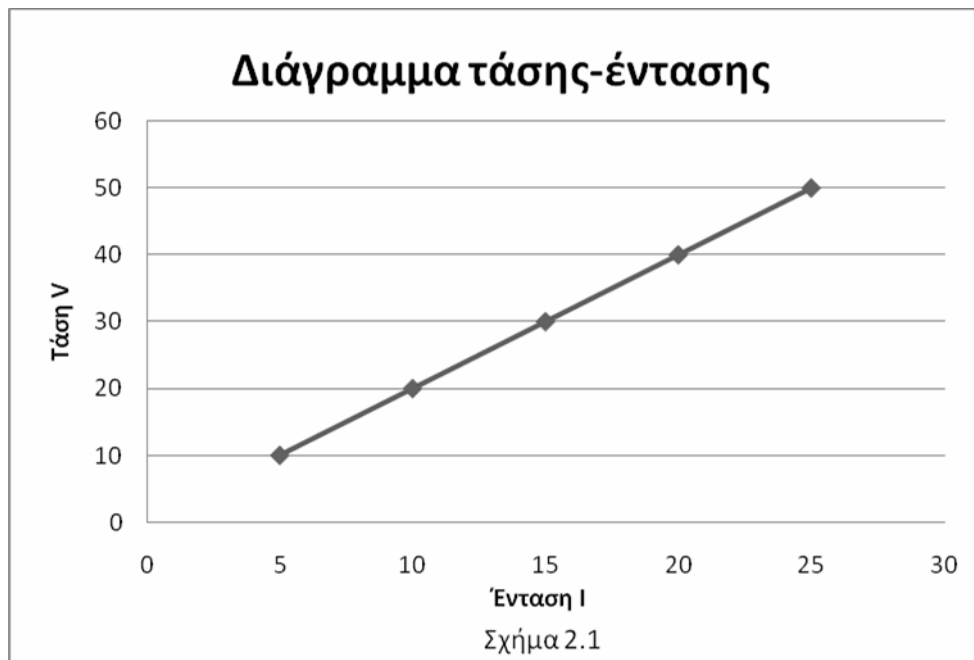
$$u(t) = R \cdot i(t) \quad \text{ή} \quad i(t) = G \cdot u(t) \quad \text{όπου} \quad G = \frac{1}{R} \quad 2.2$$

Για συνεχές ρεύμα:

$$U = R \cdot I \quad \text{ή} \quad I = G \cdot U \quad \text{ή} \quad I = \frac{U}{R} \quad 2.3$$

Ο συντελεστής R καλείται αντίσταση, το δε αντίστροφο αυτής G καλείται **αγωγιμότητα**. Οι μονάδες στο σύστημα SI είναι για την αντίσταση το Ohm(Ω) και για την αγωγιμότητα το Siemens(S) ($1S=1\Omega^{-1}$).

Ο νόμος του Ohm προϋποθέτει αντίσταση R σταθερή, ανεξάρτητη του χρόνου t , της τάσης u και του ρεύματος i . Αρά η σχέση που συνδέει τη τάση και το ρεύμα είναι μια ευθεία γραμμή όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1.



Η **αντίσταση** είναι ένα ηλεκτρικό στοιχείο στο οποίο καταναλίσκεται ενέργεια, που εμφανίζεται υπό μορφή θερμότητας. Η **ισχύς** η οποία καταναλίσκεται σ' ένα γραμμικό αντιστάτη είναι ίση με:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = R \cdot i(t)^2 = \frac{U(t)^2}{R} \quad 2.4$$

Μονάδα ισχύος, όταν το ρεύμα είναι σε (A), η τάση είναι σε (V) και η αντίσταση είναι σε (Ω), είναι το Watt(W).

2.2 Εύρεση ισοδύναμης αντίστασης

Για να βρεθεί η **ισοδύναμη αντίσταση** ανάμεσα σε δύο ακροδέκτες, ενός συστήματος ωμικών αντιστάσεων συνδεδεμένων με μικτή σύνδεση, απλοποιείται διαδοχικά το κύκλωμα βρίσκοντας ανά δύο (σε σειρά ή παράλληλα) τις ισοδύναμες ωμικές αντιστάσεις, μέχρι να βρεθεί η τελική ισοδύναμη ωμική αντίσταση ανάμεσα στα σημεία.

2.2.1 Σύνδεση δύο ωμικών αντιστάτων σε σειρά:

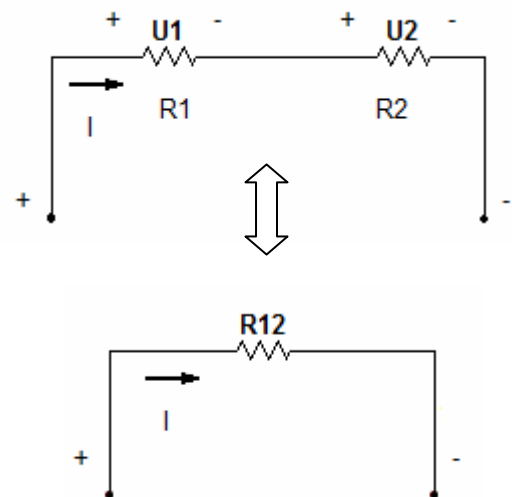
Όταν δυο ωμικοί αντιστάτες $R1$ και $R2$ συνδέονται σε σειρά μπορούν να θεωρηθούν ισοδύναμοι με έναν αντιστάτη R_{12} , όπως στο

Σχήμα 2.2.

Ισχύει :

$$R_{12} = R_1 + R_2$$

2.5



Σχήμα 2.2: Σύνδεση σε σειρά

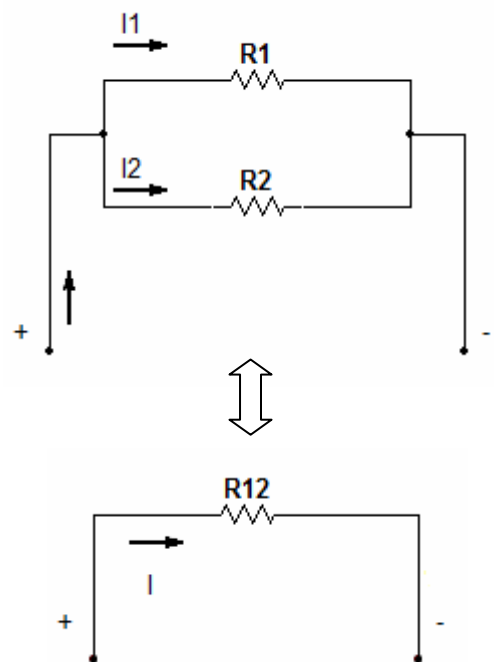
2.2.2 Σύνδεση δύο ωμικών αντιστάσεων παράλληλα:

Όταν δυο αντιστάτες $R1$ και $R2$ συνδέονται παράλληλα (το ρεύμα πριν από τους αντιστάτες χωρίζεται σε δυο μέρη που το κάθε ένα διαρρέει τον ένα από τους δύο αντιστάτες και στη συνέχεια ανασυντίθεται το ίδιο αρχικό ρεύμα μετά τους αντιστάτες), μπορούν να θεωρηθούν ισοδύναμοι με έναν αντιστάτη R_{12} , όπως στο Σχήμα 2.3:

Ισχύει:

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

2.6



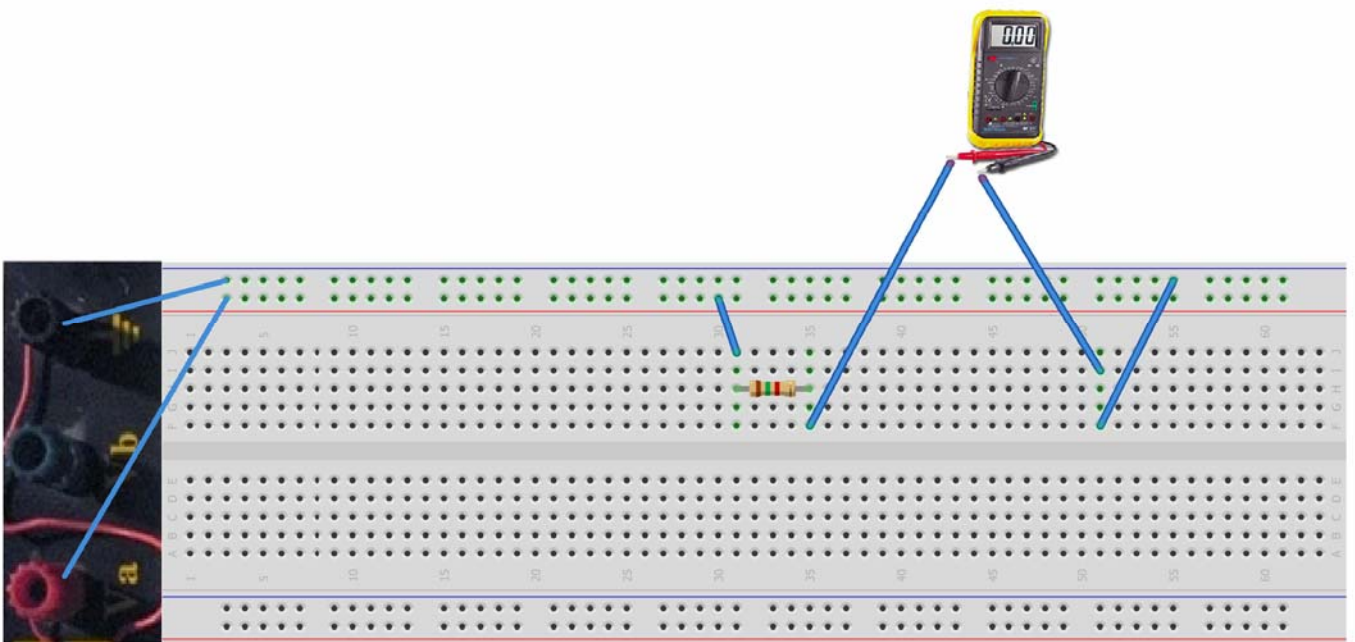
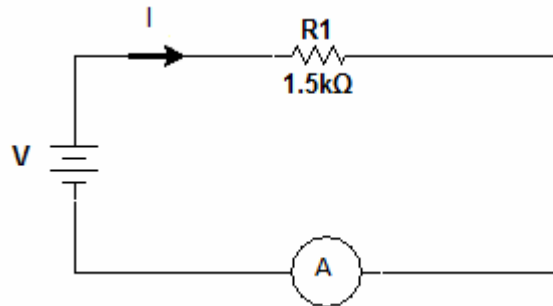
Σχήμα 2.3: Παράλληλη σύνδεση

Όποιες αντιστάσεις είναι βραχυκυκλωμένες δεν λαμβάνονται υπόψη και αφαιρούνται κατά την απλοποίηση του κυκλώματος.

Εργαστηριακό μέρος

Μελέτη κυκλώματος

- Δημιουργήστε το παρακάτω κύκλωμα στο ράστερ.



Κύκλωμα σε ράστερ

- Ρυθμίστε την τάση του τροφοδοτικού από τα 0V έως τα 20V, ανά 4V.
- Μετρήστε το ρεύμα που διαρρέει κάθε φορά την αντίσταση.

➤ Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα.

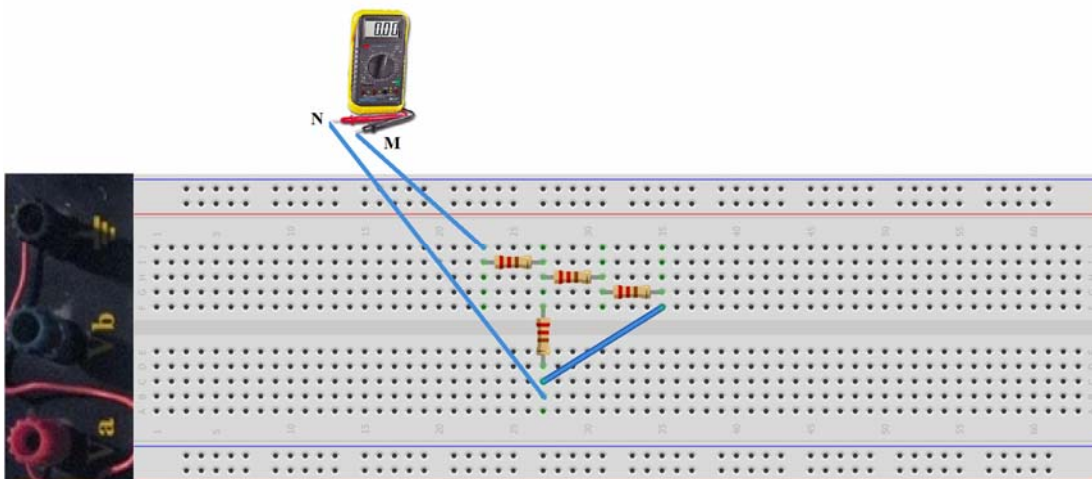
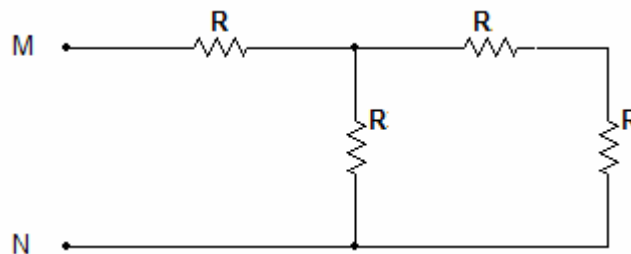
U(V)	Μέτρηση ρεύματος I(mA)	Υπολογισμός ρεύματος $I=U/R$	Υπολογισμός ισχύος $P=U^2/R$	Υπολογισμός ισχύος $P=I^2 \cdot R$
0				
4				
8				
12				
16				
20				

➤ Να σχεδιάσετε, με την βοήθεια Η/Υ, το διάγραμμα τάσης-ρεύματος και να υπολογίσετε, από την κλίση της γραμμής, την αντίσταση.

Μελέτη ισοδύναμης αντίστασης

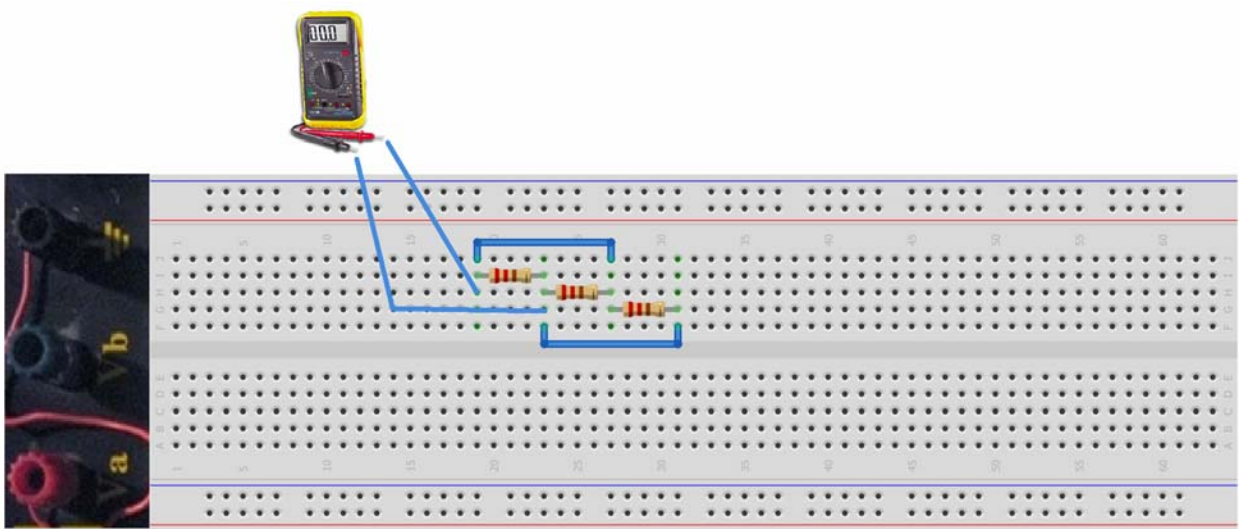
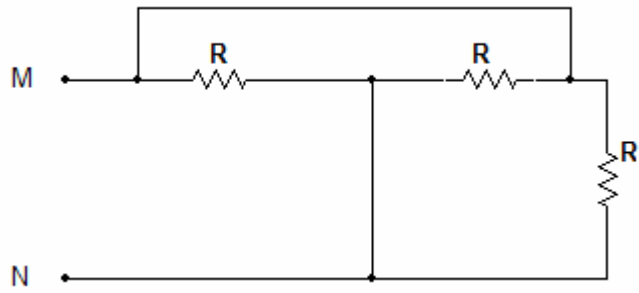
➤ Δημιουργήστε τα παρακάτω κυκλώματα αντιστάσεων στο ράστερ, οι τιμές των αντιστάσεων θα δοθούν από τον υπεύθυνο του εργαστηρίου.

1)



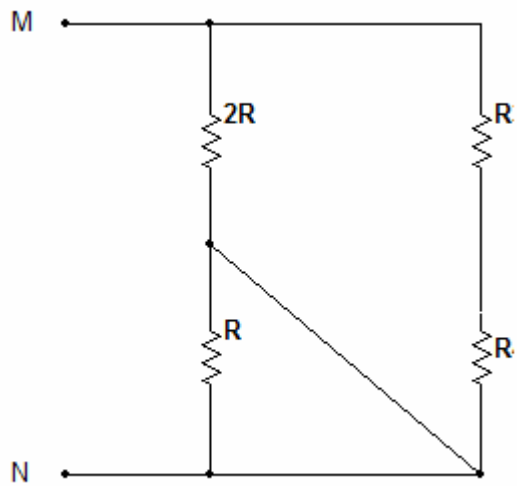
Κύκλωμα σε ράστερ

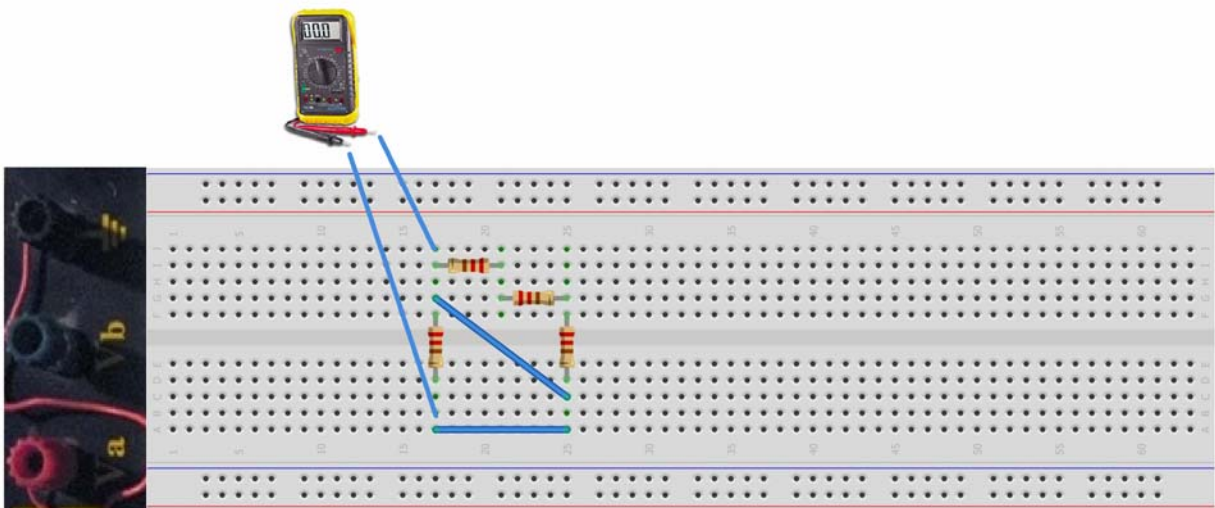
2)



Κύκλωμα σε ράστερ

3)



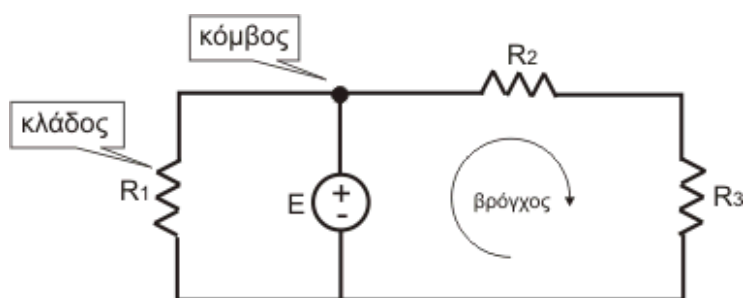
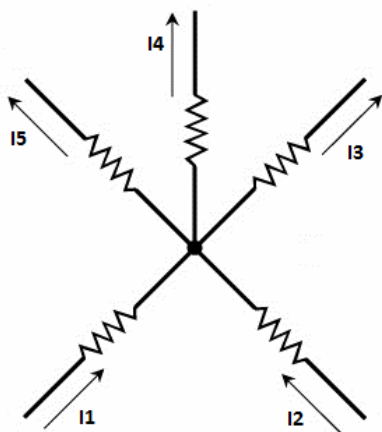


Κύκλωμα σε ράστερ

- Μετρήστε με το πολύμετρο την ισοδύναμη αντίσταση από τα άκρα M,N.
- Υπολογίστε για το κύκλωμα, θεωρητικά, την ισοδύναμη αντίσταση.

Ερωτήσεις κατανόησης (ανάπτυξης)

- 1) Σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα με παράλληλες αντιστάσεις, τι συμβαίνει με το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στο κύκλωμά;
 - 2) Πως συνδέονται οι διακόπτες στα ηλεκτρικά κυκλώματα;
 - 3) Ποιος είναι ο τύπος υπολογισμού τάσης, σύμφωνα με τον νόμο του Ohm;
 - 4) Εάν αυξηθεί η τάση σε ένα κύκλωμα, η ένταση του ρεύματος θα _____;
- Αιτιολογήστε τις απαντήσεις σας !



Εργαστηριακή άσκηση 3

Οι νόμοι του Kirchhoff

Σκοπός της άσκησης

Η κατανόηση και υλοποίηση των νόμων του Kirchhoff. Στην ανάλυση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων δυο σύνολα εξισώσεων πρέπει να ικανοποιούνται. Οι εξισώσεις αυτές καταstrώνονται με βάση δύο νόμους που πρώτο διατυπώθηκαν το 1848 από το Γερμανό Φυσικό Gustav Kirchhoff. Οι νόμοι του Kirchhoff βασίζονται στα τυπολογικά χαρακτηριστικά των κυκλωμάτων και είναι ανεξάρτητοι από τα χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών στοιχείων.

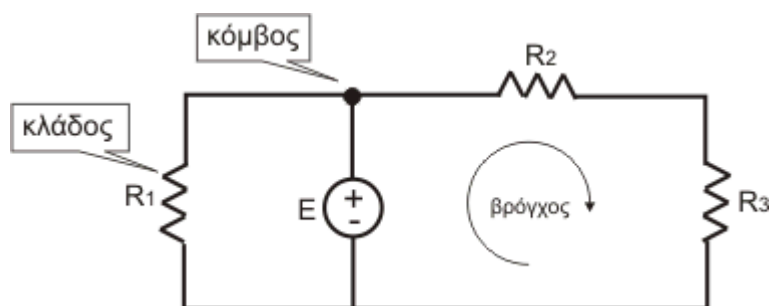
Θεωρητικό μέρος

Οι ηλεκτρικές πηγές τάσης και ρεύματος καθώς και οι αντιστάσεις μπορούν να συνδεθούν μαζί με ποικίλους τρόπους και να σχηματίσουν ένα σύνθετο ηλεκτρικό κύκλωμα. Για τη μελέτη των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, δίδονται οι παρακάτω ορισμοί:

Κλάδος: Είναι οποιαδήποτε ομάδα συνδεδεμένων στοιχείων που σχηματίζουν ένα σύνολο δυο ακροδεκτών.

Κόμβος: Είναι ο κοινός ακροδέκτης, δηλαδή το σημείο στο οποίο καταλήγουν δυο ή περισσότεροι κλάδοι.

Βρόγχος: Είναι οποιαδήποτε κλειστή διαδρομή κλάδων. Διακρίνεται σε απλό και μη απλό βρόγχο.



Σχήμα 3.1 : Κύκλωμα αναγνώρισης κλάδων και κόμβων

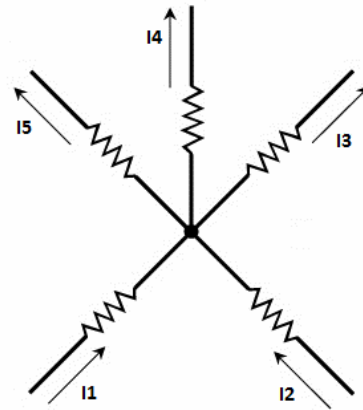
Στο κύκλωμα του παραπάνω σχήματος η αντίσταση R_1 όπως και η πηγή E αποτελούν κλάδους του κυκλώματος. Το σημείο ένωσης των αντιστάσεων R_1 και R_2 καθώς και της πηγής E αποτελούν κόμβο του κυκλώματος. Η διαδρομή που περιλαμβάνει τις αντιστάσεις: R_2 , R_3 και την πηγή E αποτελούν βρόγχο του κυκλώματος.

3.1 Νόμος του Kirchhoff

Οι **νόμοι του Kirchhoff** βοηθούν να υπολογιστούν οι τάσεις στα άκρα κάθε ηλεκτρικού στοιχείου του κυκλώματος και η ένταση ρεύματος που διαρρέει κάθε κλάδο του κυκλώματος. Για παράδειγμα, αν σε ένα κύκλωμα είναι γνωστές όλες οι διαφορές δυναμικού και οι αντιστάσεις, τότε μπορεί εύκολα να επιλυθεί το κύκλωμα δηλαδή να υπολογιστούν οι εντάσεις ρεύματος που διαρρέουν κάθε αντίσταση. Οι **νόμοι του Kirchhoff είναι δύο**. Ο νόμος των κόμβων και ο νόμος των βρόχων.

3.1.1 Νόμος των κόμβων:

Το αλγεβρικό άθροισμα όλων των ρευμάτων σ' ένα κόμβο του κυκλώματος, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, είναι ίσο με μηδέν. Ο νόμος των κόμβων πηγάζει από την αρχή διατήρησης της ποσότητας του ηλεκτρισμού (ηλεκτρικού φορτίου). Για παράδειγμα σ' ένα κόμβο, όπως στο Σχήμα 3.2, ισχύει η Σχέση 3.1.



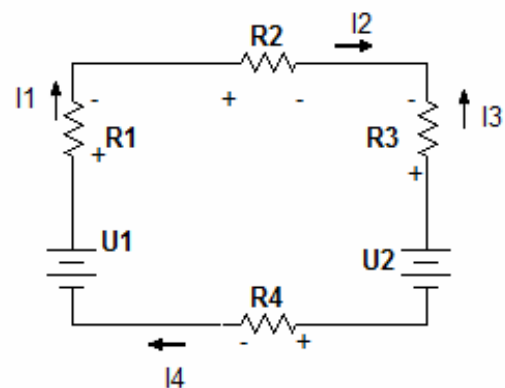
Σχήμα 3.2: Νόμος των κόμβων

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0 \quad \text{ή} \quad \sum_n I_n = 0$$

3.1

3.1.2 Νόμος των βρόχων:

Το αλγεβρικό άθροισμα όλων των τάσεων σε ένα βρόχο του κυκλώματος, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, είναι ίσο με μηδέν. Ο νόμος αυτός πηγάζει από την αρχή του αστροβίλου του ηλεκτρικού πεδίου. Δηλαδή το δυναμικό μεταξύ δύο σημείων A,B ενός ηλεκτρικού πεδίου, που ορίζεται από τη σχέση : $u_{AB} = \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$, εξαρτάται μόνο από τη σχετική θέση των σημείων A και B και όχι από την καμπύλη (διαδρομή) που χρησιμοποιείται στο ολοκλήρωμα για την εύρεση του δυναμικού. Για παράδειγμα σ' ένα βρόχο, όπως στο Σχήμα 3.2, ισχύει η Σχέση 3.2



Σχήμα 3.3: Νόμος των βρόχων

$$U_1 - U_2 - R_1 I_1 - R_2 I_2 + R_3 I_3 - R_4 I_4 = 0 \quad \text{ή} \quad \sum_n U_n = 0$$

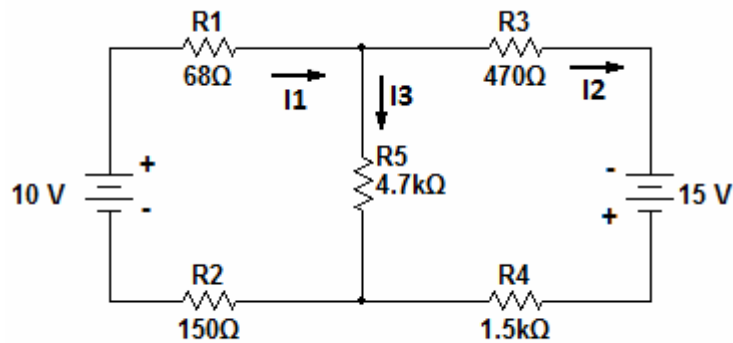
3.2

3.1.2.1 Εφαρμογή του νόμου των βρόχων γίνεται ως εξής:

Επιλέγονται (αυθαίρετα) οι φορές των ρευμάτων στους διάφορους κλάδους του βρόχου, κατόπιν σημειώνονται οι τάσεις στα παθητικά στοιχεία, χρησιμοποιώντας συζευγμένες φορές. Τέλος επιλέγεται μια φορά (αυθαίρετα) στο βρόχο η οποία θεωρείται θετική (δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη). Κατά την αναγραφή των τάσεων στην εξίσωση θεωρούνται ως θετικές τάσεις (ενεργητικών ή παθητικών στοιχείων) όταν η εκλεγείσα ως θετική φορά στο βρόχο εξέρχεται από το σημείο + των τάσεων, ενώ στην αντίθετη περίπτωση λαμβάνονται ως αρνητικές.

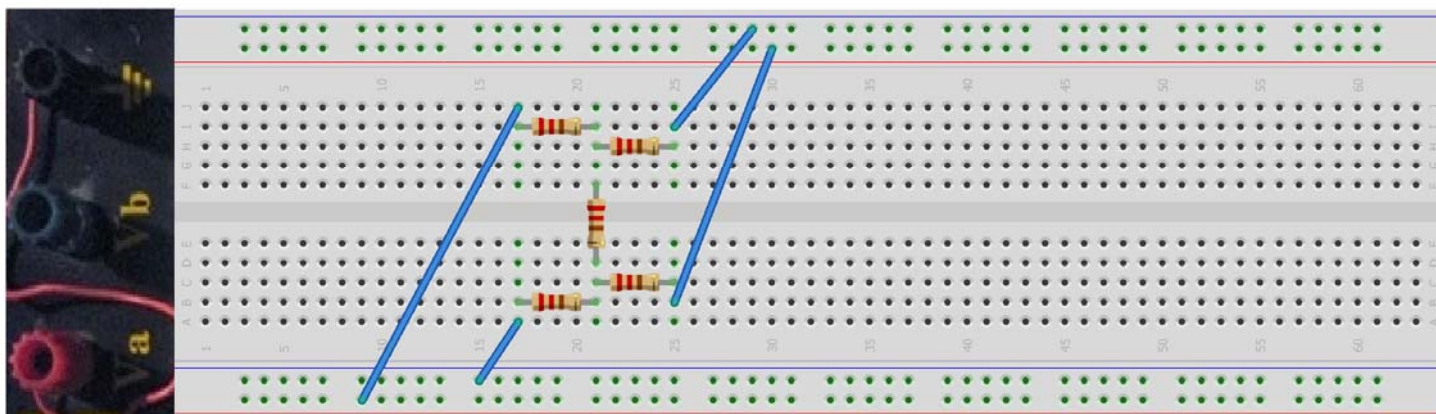
Εργαστηριακό μέρος

- Δημιουργήστε το παρακάτω κύκλωμα.



Σχημα 3.3

Σύνδεση σε πηγή των 15V



Σύνδεση σε πηγή των 10V

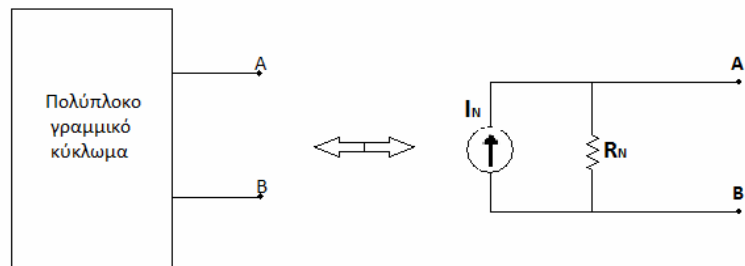
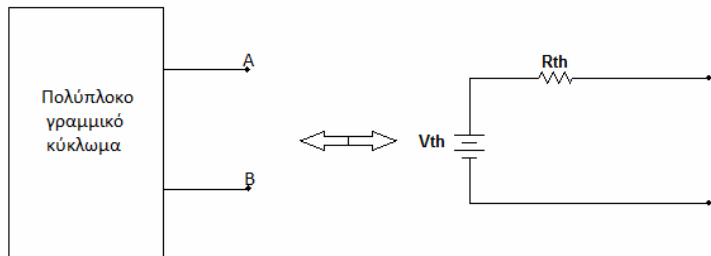
- Δίνονται οι αντιστάσεις:

$$R_1 = 68\Omega, R_2 = 150\Omega, R_3 = 470\Omega, R_4 = 1,5k\Omega \text{ και } R_5 = 4,7k\Omega$$

- Κάνοντας τις κατάλληλες μετρήσεις, συμπληρώστε τον πίνακα.

U_{R1}	U_{R2}	U_{R3}	U_{R4}	U_{R5}	I_1	I_2	I_3

- Το παραπάνω κύκλωμα να επιλυθεί θεωρητικά, χρησιμοποιώντας κατάλληλες εξισώσεις που προκύπτουν από τους νόμους του Kirchhoff.
- Να υπολογίσετε όλα τα μεγέθη του πίνακα θεωρητικά.



Εργαστηριακή άσκηση 4

Θεώρημα Thevenin- Θεώρημα Norton

Σκοπός της άσκησης

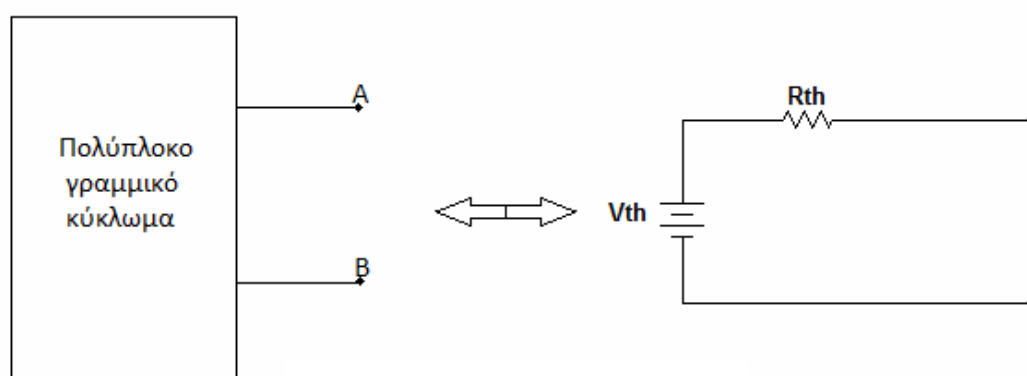
Ανάλυση και επίλυση κυκλωμάτων με βάση την θεωρία των θεωρημάτων Thevenin και Norton. Υλοποίηση ενός κυκλώματος το οποίο θα επεξεργαστεί σε δύο βήματα έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει κατανόηση αρχικά των χαρακτηριστικών και μεταβλητών του θεωρήματος Thevenin και στη συνέχεια το ίδιο κύκλωμα θα επιλυθεί ξανά για να ολοκληρωθεί η ανάλυση και του θεωρήματος του Norton.

Θεωρητικό μέρος

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις, στις οποίες υπάρχει ενδιαφέρον μόνο για τη συμπεριφορά ενός κυκλώματος σε δύο σημεία, στα οποία συνδέεται συνήθως ένα φορτίο, που μπορεί να είναι και μεταβλητό. Στις περιπτώσεις αυτές δεν υπάρχει κανένα απολύτως ενδιαφέρον για το τι συμβαίνει στο υπόλοιπο κύκλωμα, που μπορεί να έχει οποιαδήποτε γνωστή, ή άγνωστη μορφή, ή μέγεθος, όπως είναι το ηλεκτρικό δίκτυο μιας πόλεως. Για τη λύση προβλημάτων της μορφής αυτής υπάρχουν δύο ισχυρά εργαλεία, τα θεωρήματα του **Thevenin** και του **Norton**. Παρά το γεγονός ότι επί του παρόντος ενδιαφερόμαστε μόνο για κυκλώματα με αντιστάσεις, τα θεωρήματα αυτά εφαρμόζονται σε κυκλώματα που περιέχουν οποιοδήποτε είδος γραμμικού στοιχείου.

4.1 Θεώρημα Thevenin

Σύμφωνα με το θεώρημα του **Thevenin**, ένα γραμμικό δίπολο είναι ισοδύναμο προς μία ηλεκτρική πηγή ηλεκτρεγερτικής δύναμης U_0 , σε σειρά με μία ωμική αντίσταση R . Η ηλεκτρεγερτική δύναμη της διπολικής πηγής ισούται με την τάση μεταξύ των άκρων A και B , U_{AB} και η αντίσταση R είναι ίση με την αντίσταση που εμφανίζει το κύκλωμα εάν το αναλυθεί από τα άκρα A, B και όπου οι μεν πηγές τάσης έχουν αντικατασταθεί με βραχυκύκλωμα, οι δε πηγές έντασης με ανοικτό κύκλωμα όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Θεώρημα Thevenin

4.1.1 Το ισοδύναμο κατά Thevenin

Το ισοδύναμο κατά Thevenin υπολογίζεται σε δύο βήματα:

Βήμα 1: Υπολογισμός της V_{th}

- Αφαίρεση του φορτίου (αν υπάρχει) μεταξύ των ακροδεκτών.
- Απλοποίηση του κυκλώματος, αν είναι δυνατόν.
- Υπολογισμός την V_{th} .

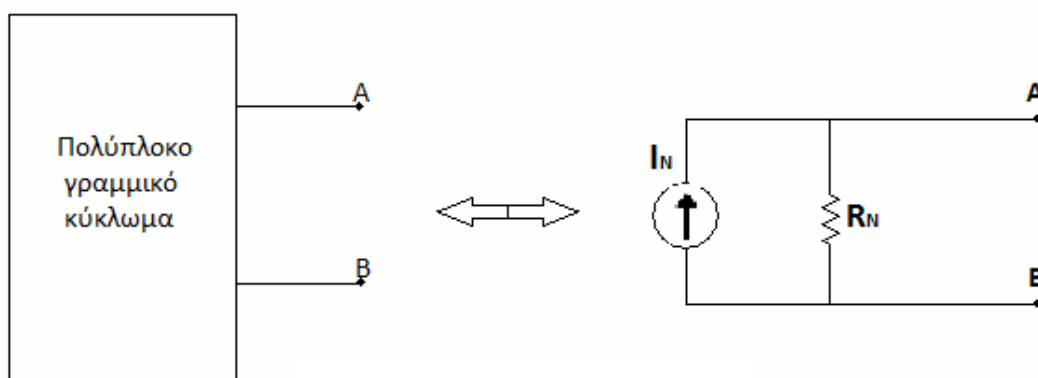
Βήμα 2: Υπολογισμός της R_{th}

- Αφαίρεση του φορτίου (αν υπάρχει) μεταξύ των ακροδεκτών.
- Βραχυκύκλωση όλων των ανεξάρτητων πηγών τάσης (αν υπάρχουν).
- Ανοικτοκύκλωση όλων των ανεξάρτητων πηγών ρεύματος (αν υπάρχουν).
- Υπολογισμός της R_{th} μεταξύ των ακροδεκτών.

4.2 Θεώρημα Norton

Το θεώρημα του **Norton** είναι μια τεχνική που δίνει τη δυνατότητα να αντικατασταθεί ένα πολύπλοκο γραμμικό κύκλωμα, με μία πηγή και μία αντίσταση (Σχήμα 4.2). Το απλούστερο κύκλωμα που δημιουργείται ονομάζεται ισοδύναμο Norton του αρχικού κυκλώματος και αποτελείται από μία πηγή ρεύματος, I_N , παράλληλα με μια αντίσταση, R_N . Μπορεί να θεωρηθεί ως μία άλλη διατύπωση του θεωρήματος Thevenin, επειδή το ισοδύναμο κύκλωμα Norton μπορεί να ληφθεί απ' ευθείας από το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin.

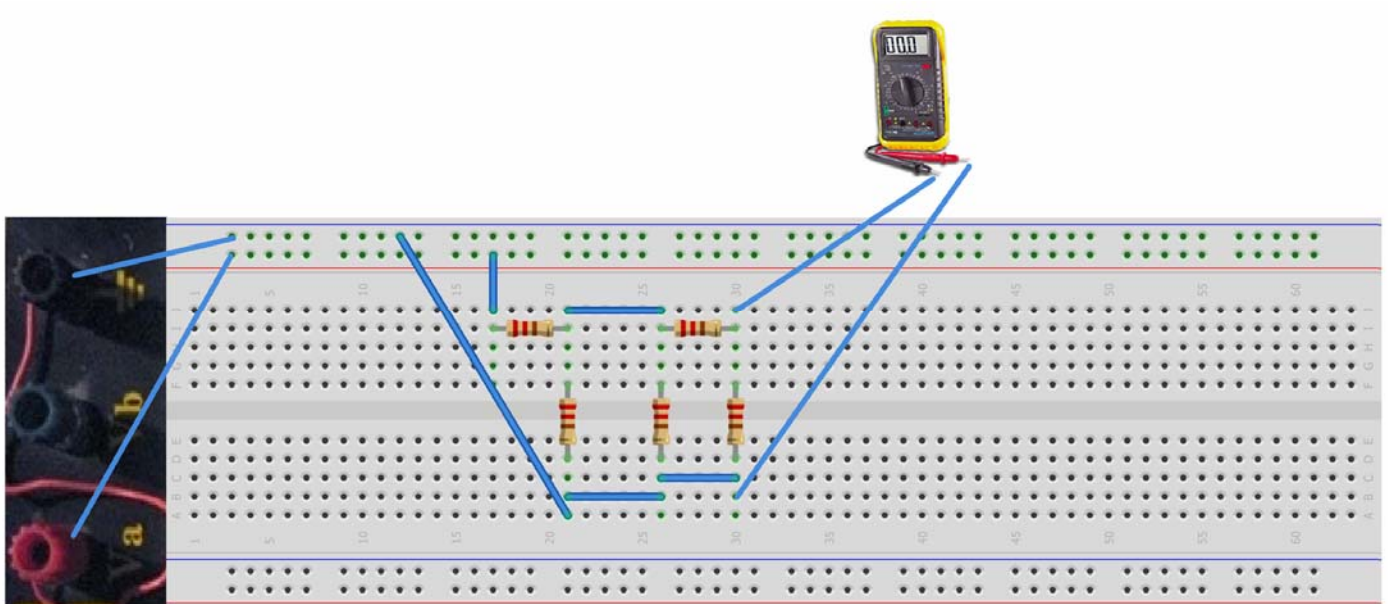
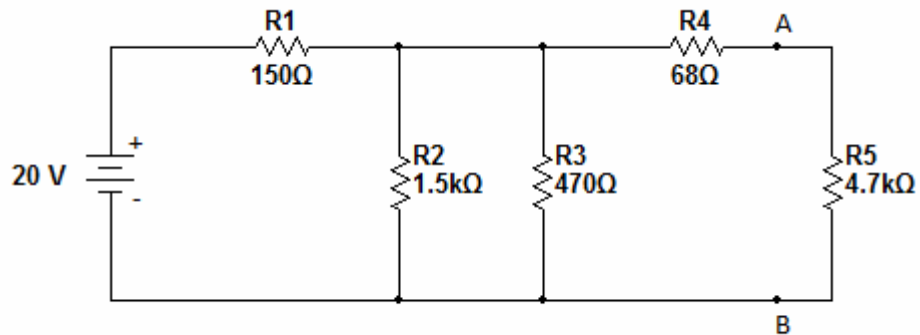
Η ένταση του ρεύματος της διπολικής πηγής είναι ίση με την ένταση που διαρρέει το βραχυκύκλωμα μεταξύ των άκρων A και B και η αντίσταση R είναι ίση με την αντίσταση που εμφανίζει το κύκλωμα εάν το κοιτάξουμε από τα άκρα A, B , και όπου, οι μεν πηγές τάσης έχουν αντικατασταθεί με βραχυκύκλωμα, οι δε πηγές έντασης με ανοικτό κύκλωμα.



Σχήμα 4.2: Θεώρημα Norton

Εργαστηριακό μέρος

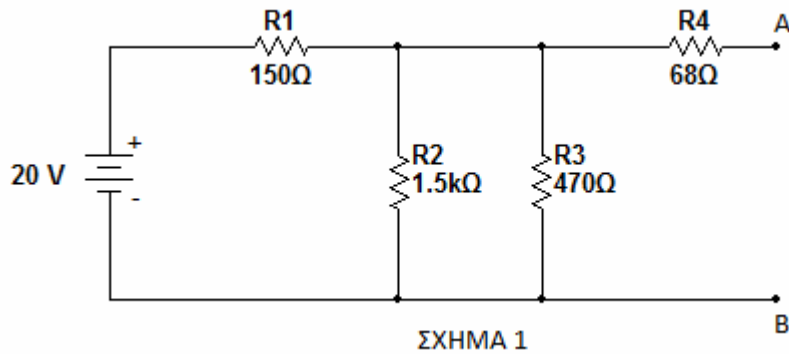
- Δημιουργήστε το παρακάτω κύκλωμα.



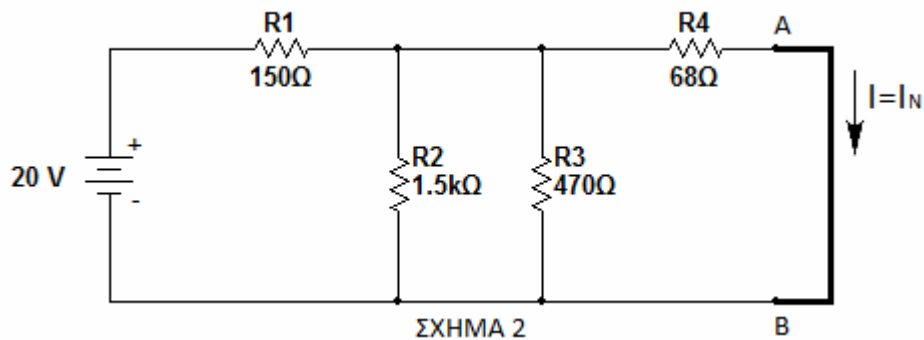
Κύκλωμα σε ράστερ

- Με το πολύμετρο μετρήστε την τάση U_{AB} και το ρεύμα της αντίστασης R_5 .

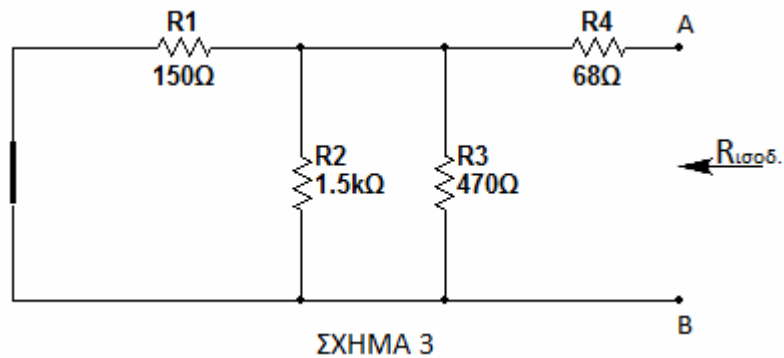
- Αφαιρώντας την αντίσταση R_5 να μετρήσετε την τάση $U_{AB} = U_{ch}$ (Σχήμα 1).



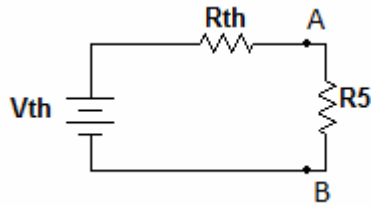
- Αφαιρώντας την αντίσταση R_5 και βραχυκυκλώνοντας τα άκρα A,B να μετρήσετε το ρεύμα του βραχυκυκλώματος $I=I_N$ (Σχήμα 2).



- Αφαιρώντας την αντίσταση R_5 και βραχυκυκλώνοντας την πηγή 20V να μετρήσετε την ισοδύναμη αντίσταση από τα άκρα A,B, $R_{ισοδ} = R_{ch}$ (Σχήμα 3).



- Κατόπιν να δημιουργήσετε το κύκλωμα.



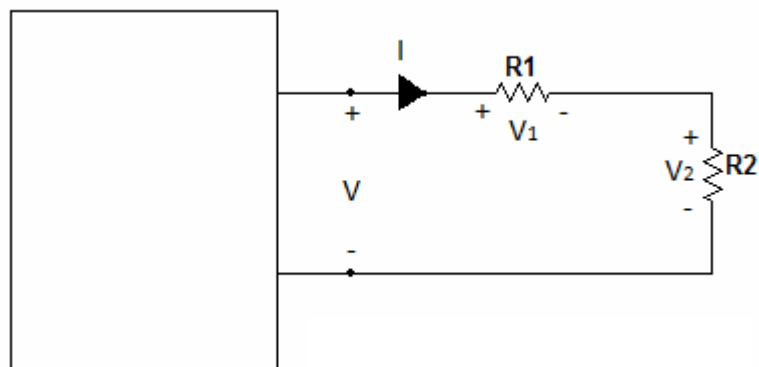
- Μετρήστε την τάση $U_{A'B'}$ και το ρεύμα της αντίστασης R_5 , I_{R5} .
- Από τις μετρήσεις σας να αποδείξετε ότι ισχύουν τα παρακάτω:

$$U_{A'B'} \approx U_{AB} \text{ (του αρχικού κυκλώματος)}$$

$$I_{R5} \approx I \text{ (του αρχικού κυκλώματος)}$$

$$I_N \approx U_{th}/R_{th} \text{ (του αρχικού κυκλώματος)}$$

- Να υπολογίσετε θεωρητικά όλα τα παραπάνω μεγέθη, χρησιμοποιώντας τις τυπικές τιμές των αντιστάσεων και της πηγής τάσης.
- Να συγκρίνετε τις θεωρητικές τιμές των διαφόρων μεγεθών, με τις αντίστοιχες των μετρήσεων.



Εργαστηριακή άσκηση 5

Διαιρέτης ρεύματος-Διαιρέτης τάσης

Σκοπός της άσκησης

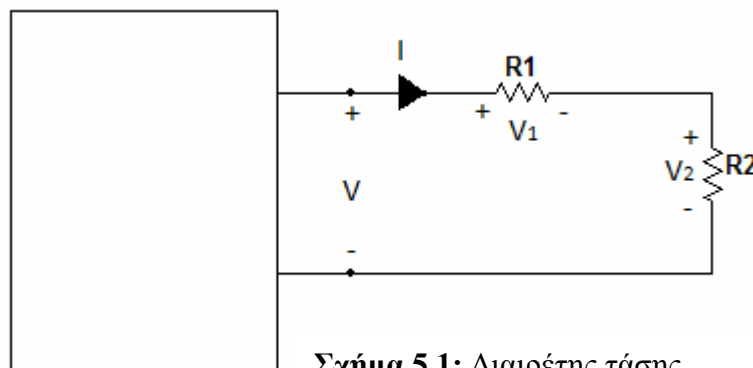
Ο φοιτητής θα εξοικειωθεί με την έννοια επεξεργασίας και ανάλυσης ενός κυκλώματος μόνο σε ένα σημείο χωρίς να υπάρχει ενδιαφέρον για τα στοιχεία τα οποία αποτελούν το υπόλοιπο κύκλωμα. Αυτό θα υλοποιηθεί μετά την κατανόηση των δύο ιδιοτήτων (διαιρέτης έντασης-διαιρέτης τάσης) και μέσα από παραδείγματα και ασκήσεις που θα υλοποιηθούν σ' αυτό το εργαστηριακό μάθημα.

Θεωρητικό μέρος

Στα προηγούμενα μαθήματα αναλύθηκαν τα στοιχεία, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους, που συνθέτουν τα κυκλώματα και αναπτύχθηκαν μέθοδοι ανάλυσης. Οι εξισώσεις που προέκυψαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα με τέτοιο τρόπο ώστε να αντικατασταθούν τμήματα των κυκλωμάτων με άλλα ισοδύναμά τους. Η αντικατάσταση αυτή όχι μόνο βοηθάει στην επίλυση των κυκλωμάτων αλλά ερμηνεύει και την συμπεριφορά τους. Ένα κύκλωμα είναι ισοδύναμο προς ένα άλλο αν οι μαθηματικές σχέσεις τάσης-ρεύματος είναι ίδιες μεταξύ τους. Οι δύο σπουδαιότερες μεθοδολογίες εύρεσης ισοδύναμων κυκλωμάτων είναι ο διαιρέτης τάσης και ο διαιρέτης έντασης. Στη συνέχεια θα αναπτυχθεί και θα εξηγηθεί ο τρόπος χρήσης αυτών στην απλοποίηση και ανάλυση κυκλωμάτων.

5.1 Διαιρέτης τάσης

Στο σχήμα 5.1, δείχνεται μία συνηθισμένη περίπτωση κυκλώματος. Στο κύκλωμα αυτό η τάση V κατανέμεται πάνω στις αντιστάσεις R_1 και R_2 κατά τρόπο ανάλογο προς τις τιμές τους. Το κύκλωμα αυτό καλείται “**διαιρέτης τάσης**” και είναι πολύ χρήσιμο στην ανάλυση των κυκλωμάτων. Οι σχέσεις που συνδέουν τις τάσεις μεταξύ τους προκύπτουν ως εξής:



Σχήμα 5.1: Διαιρέτης τάσης

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2} \quad 5.1$$

Οπότε

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V \quad 5.2$$

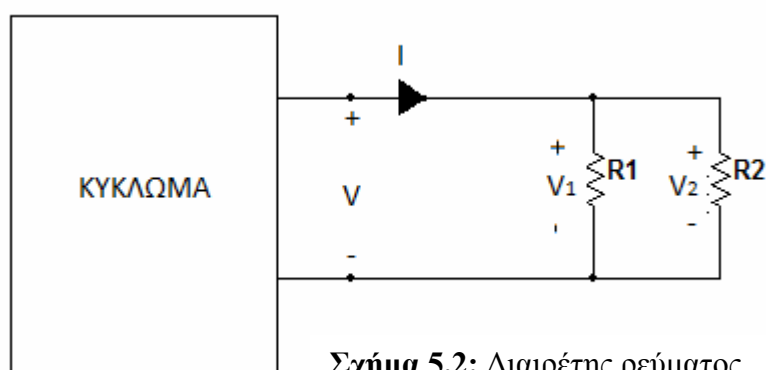
Και

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V \quad 5.3$$

Δηλαδή η τάση σε μία αντίσταση ισούται με την τάση που δημιουργεί αυτήν πολλαπλασιασμένη με ένα κλάσμα του οποίου ο αριθμητής είναι η αντίσταση αυτή και ο παρονομαστής είναι το άθροισμα των σειριακών αντιστάσεων.

5.2 Διαιρέτης ρεύματος

Ένα δεύτερο χρήσιμο κύκλωμα είναι ο “**διαιρέτης ρεύματος**” όπως το κύκλωμα που δείχνεται στο σχήμα 5.2. Εδώ το ρεύμα I διαιρείται στα δύο ρεύματα I_1 και I_2 .



Σχήμα 5.2: Διαιρέτης ρεύματος

Συγκεκριμένα ισχύει:

$$V = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot I = I_1 R_1 = I_2 R_2 \quad 5.4$$

Οπότε

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I \quad 5.5$$

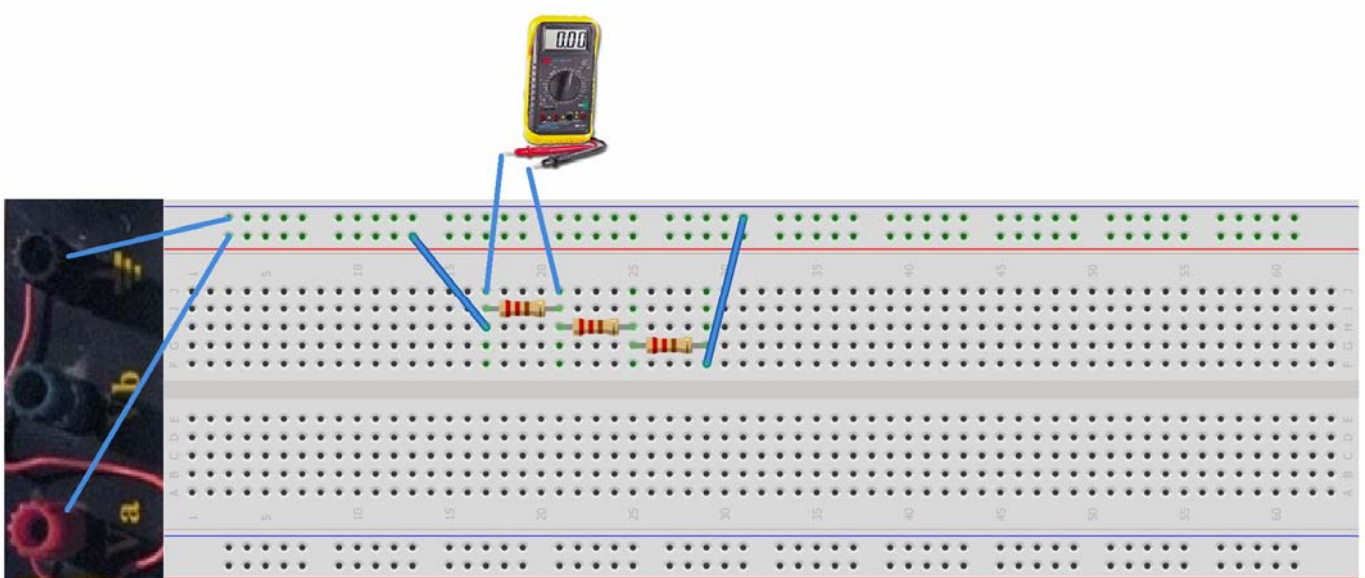
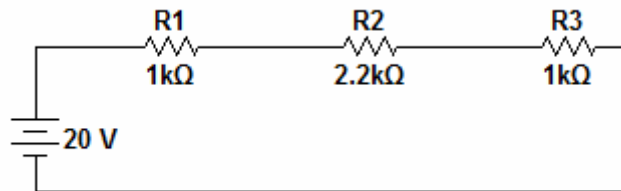
Και

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I \quad 5.6$$

Εργαστηριακό μέρος

Διαιρέτης τάσης

1. Υλοποιήστε το παρακάτω κύκλωμα.

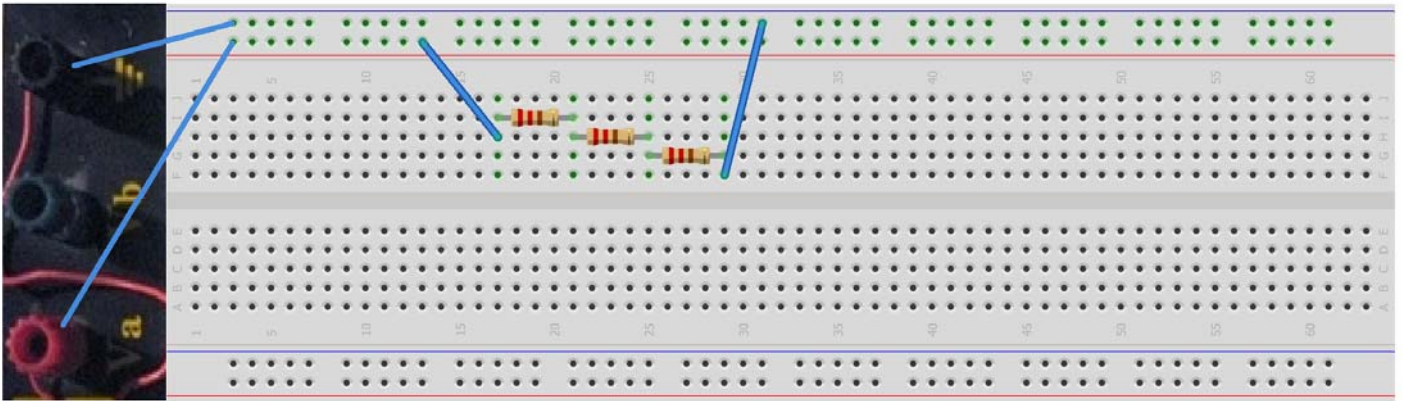
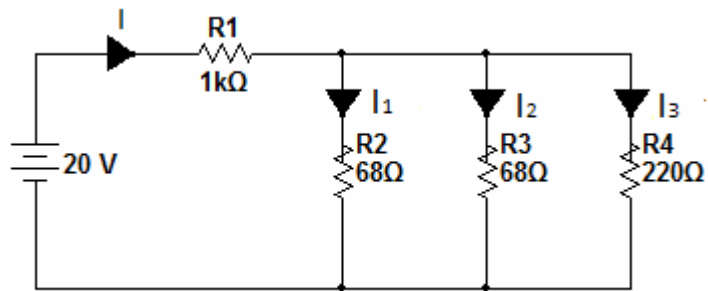


Σχέδιο στο ράστερ

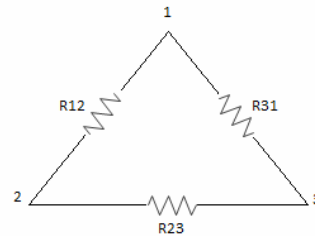
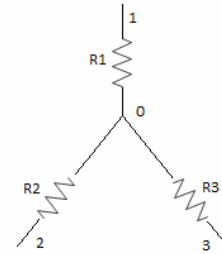
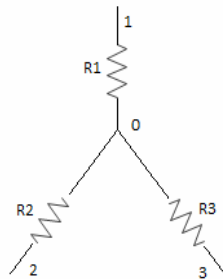
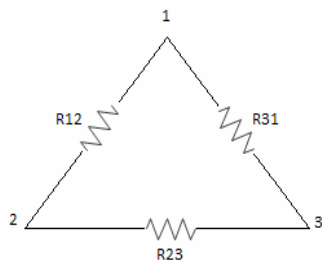
2. Μετρήστε τα V_1, V_2, V_3 ??.
3. Υπολογίστε θεωρητικά τα παραπάνω μεγέθη.
4. Γράψτε τα σχόλια σας.

Διαιρέτης ρεύματος

1. Υλοποιήστε το παρακάτω κύκλωμα.



2. Μετρήστε τα I, I_1, I_2, I_3 ??.
3. Υπολογίστε θεωρητικά τα παραπάνω μεγέθη.
4. Γράψτε τα συμπεράσματά σας.



Εργαστηριακή άσκηση 6

Μέγιστη μεταφορά ισχύος

Μετασχηματισμός τριγώνου σε αστέρα

Μετασχηματισμός αστέρα σε τρίγωνο

Σκοπός της άσκησης

Σ' αυτό το εργαστηριακό μάθημα θα αναλυθούν τρεις μέθοδοι των ηλεκτρικών κυκλωμάτων οι οποίες βοηθούν στην απλοποίηση κυκλωμάτων. Σκοπός του εργαστηρίου είναι η εξοικείωση και η κατανόηση των μεθόδων αυτών καθώς και η πειραματική τους αναπαράσταση για την ευκολότερη κατανόησή τους.

6.1 Μέγιστη μεταφορά ισχύος

Σε πολλές εφαρμογές ηλεκτρικών συστημάτων υπάρχει το ενδιαφέρον για τις συνθήκες μέγιστης μεταφοράς ισχύος από το σύστημα στο φορτίο. Σύμφωνα με το θεώρημα αυτό υπολογίζεται η αντίσταση φορτίου (στο εναλλασσόμενο πρόκειται για σύνθετη αντίσταση) που πρέπει να συνδεθεί σε κάποιο ενεργό κύκλωμα ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη μεταφορά ισχύος. Αποδεικνύεται ότι για να έχουμε τη μέγιστη μεταφορά ισχύος θα πρέπει η αντίσταση του φορτίου να είναι ίση με την ισοδύναμη αντίσταση κατά Thevenin του κυκλώματος όπως φαίνεται από τα άκρα που συνδέεται το φορτίο. Το θεώρημα **της μέγιστης μεταφοράς ισχύος** έχει πολλές πρακτικές εφαρμογές στην ηλεκτρολογία και στα ηλεκτρονικά. Για παράδειγμα μπορεί να προσαρμοστεί κάποιο φορτίο στο δίκτυο ή σε κάποια γεννήτρια ώστε η ισχύς που παίρνουμε στο φορτίο να είναι η μέγιστη. Στα ηλεκτρονικά το θεώρημα εφαρμόζεται για την προσαρμογή των ενισχυτικών βαθμίδων με τη βαθμίδα εξόδου όπως είναι για παράδειγμα τα ηχεία.

6.2 Μετασχηματισμός τριγώνου σε αστέρα

Αρκετά κυκλώματα απλοποιούνται εύκολα με τη χρήση του μετασχηματισμού **τριγώνου σε αστέρα** ή **αστέρα σε τρίγωνο**. Ο Kennelly απέδειξε, βάσει των ισοδύναμων κυκλωμάτων ότι, τρεις αντιστάσεις R_{12}, R_{23}, R_{31} , συνδεδεμένες σε τρίγωνο με σημεία $1, 2, 3$ ισοδυναμούν προς τρεις αντιστάσεις R_1, R_2, R_3 , συνδεδεμένες σε αστέρα μεταξύ ενός σημείου 0 και των τριών άκρων $1, 2, 3$. Οι αντιστάσεις προσδιορίζονται από τις παρακάτω σχέσεις :

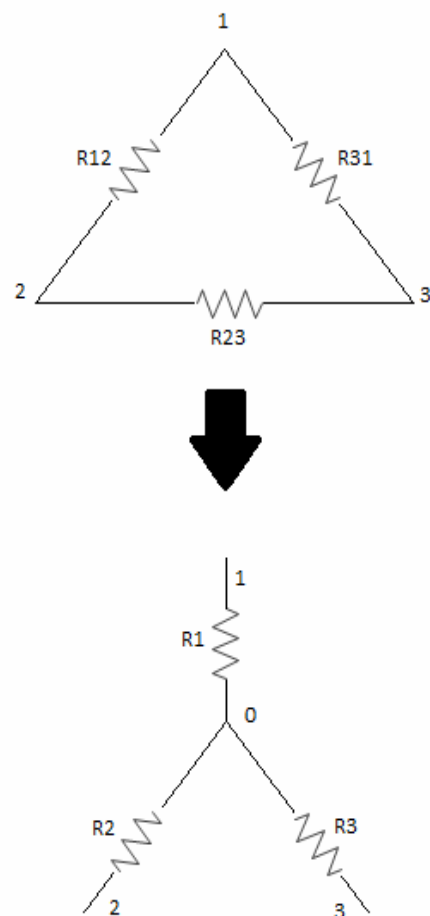
$$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \quad 6.1$$

$$R_2 = \frac{R_{23} \cdot R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \quad 6.2$$

$$R_3 = \frac{R_{31} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \quad 6.3$$

??

Οι σχέσεις αυτές προκύπτουν αν θεωρηθεί ότι και στις τρεις περιπτώσεις και για το ίδιο σύστημα τάσεων U_{12}, U_{23}, U_{31} , προκύπτουν οι ίδιες εντάσεις ρευμάτων



Σχήμα 6.1: Τρίγωνο σε αστέρα

I_{12}, I_{22}, I_{23} . Στη γενική περίπτωση ο μετασχηματισμός ενός πολυγώνου n κόμβων δεν είναι δυνατός.

6.3 Μετασχηματισμός αστέρα σε τρίγωνο

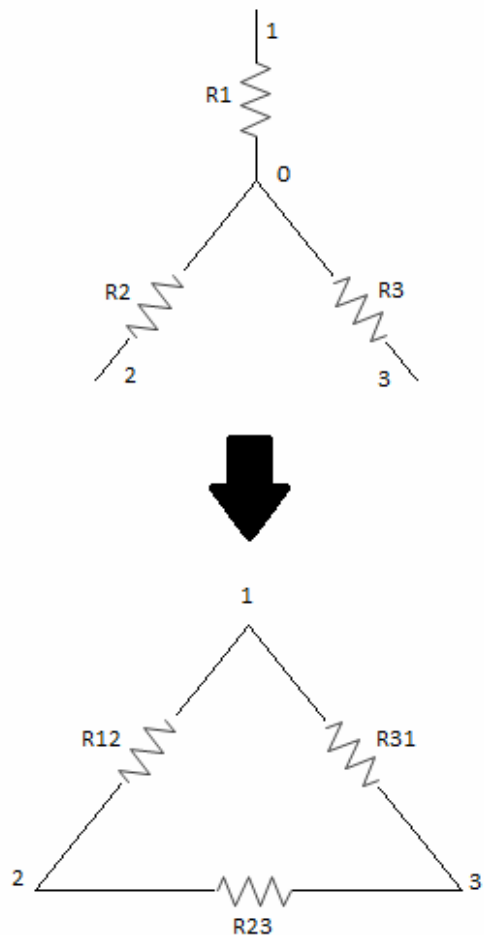
Τρεις αντιστάσεις R_1, R_2, R_3 , συνδεδεμένες σε αστέρα με άκρα 1, 2, 3 ισοδυναμούν προς τρεις αντιστάσεις R_{12}, R_{23}, R_{31} , συνδεδεμένες σε τρίγωνο με άκρα τα σημεία 1, 2 και 3. Οι αντιστάσεις προσδιορίζονται από τις σχέσεις :

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}{R_3} \quad 6.4$$

$$R_{23} = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}{R_1} \quad 6.5$$

$$R_{31} = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}{R_2} \quad 6.6$$

Στην γενική περίπτωση ο μετασχηματισμός ενός αστέρα n κλάδων μπορεί να αντικατασταθεί μ' ένα πολύγωνο n πλευρών και όλων των διαγωνίων του.

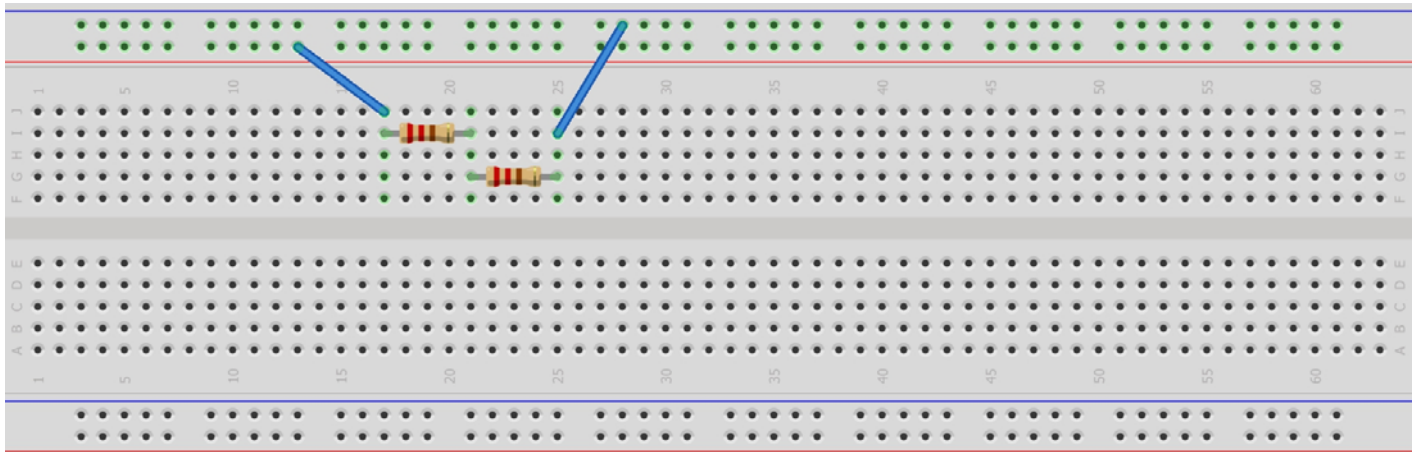
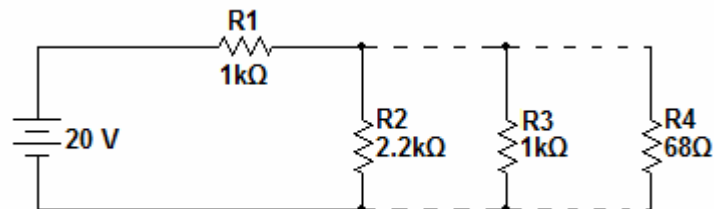


Σχήμα 6.2: Αστέρας σε τρίγωνο

Εργαστηριακό μέρος

Μέγιστη μεταφορά ισχύος

- Υλοποιήστε το παρακάτω κύκλωμα.
- Στη θέση της αντίστασης 2,2kΩ τοποθετήστε την 1kΩ και πάρτε τις απαραίτητες μετρήσεις. Το ίδιο και για την 68Ω.



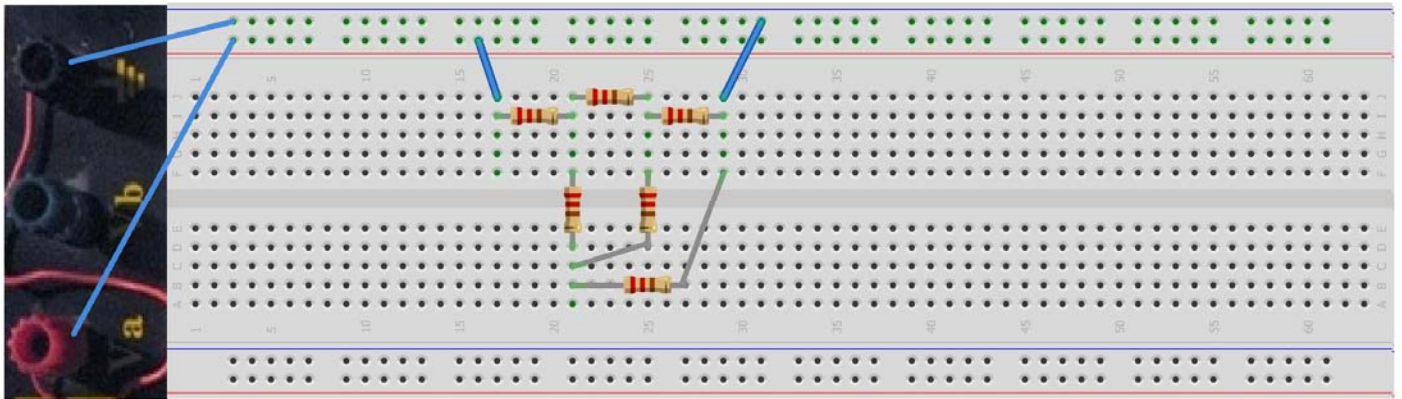
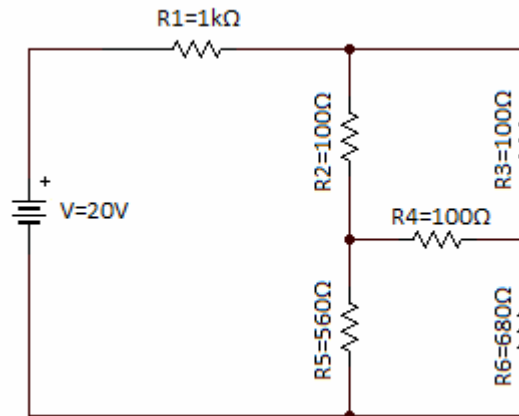
Σχέδιο στο ράστερ

- Μετρήστε το ρεύμα και την τάση για κάθε μια αντίσταση.
- Υπολογίστε την ισχύ για κάθε αντίσταση.

- Με ποια αντίσταση έχουμε μέγιστη μεταφορά ισχύος και γιατί;

Μετασχηματισμός τριγώνου σε αστέρα

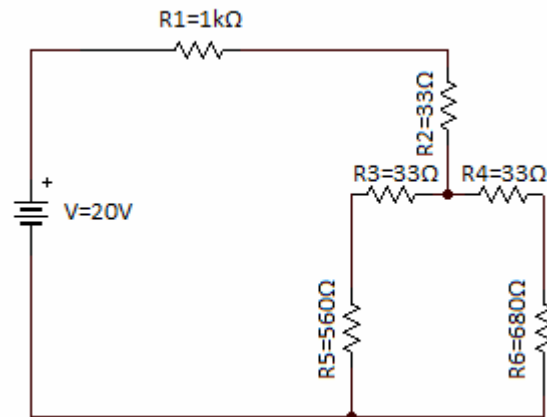
- Υλοποιήστε το παρακάτω κύκλωμα.



Σχέδιο στο ράστερ

- Μετρήστε το ρεύμα I_1 που υπάρχει στο κύκλωμα.

- Υλοποιήστε το δεύτερο κύκλωμα.

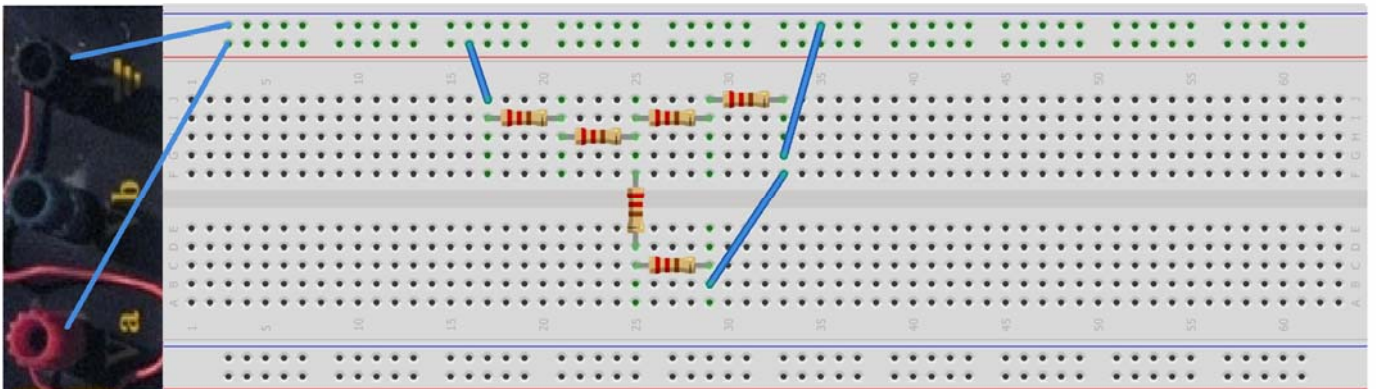
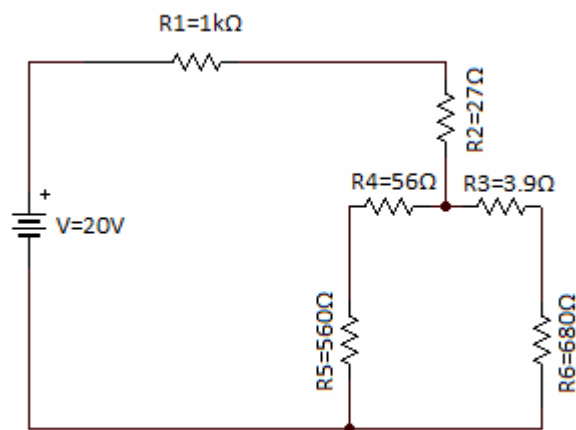


Σχέδιο στο ράστερ

- Μετρήστε το ρεύμα I_2 που υπάρχει στο κύκλωμα.
- Τι παρατηρείται; Γιατί συμβαίνει αυτό; Αιτιολογήστε θεωρητικά την απάντησή σας.

Μετασχηματισμός αστέρα σε τρίγωνο

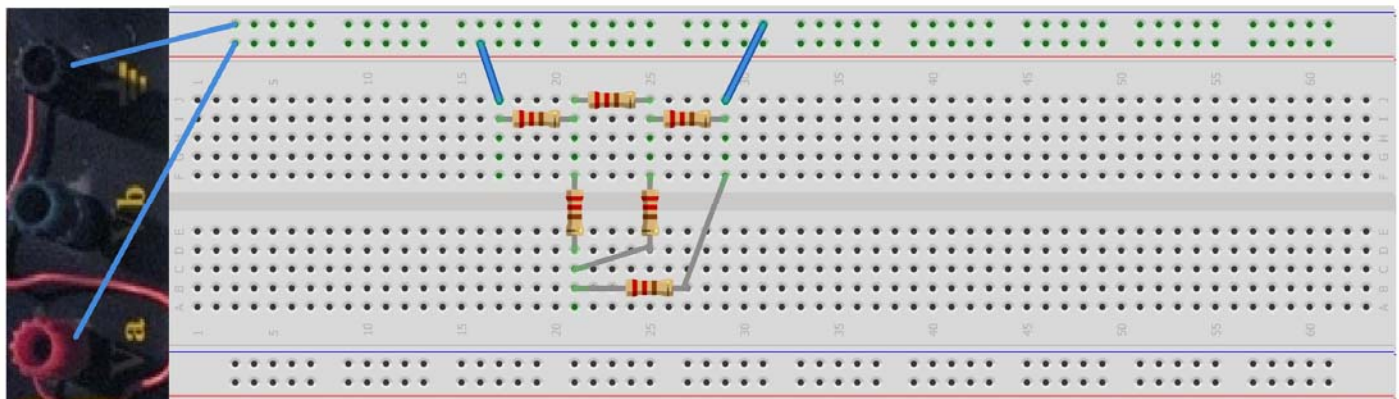
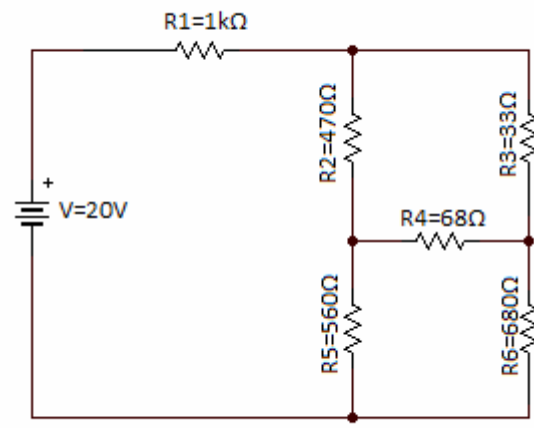
- Υλοποιήστε το παρακάτω κύκλωμα.



Σχέδιο στο ράστερ

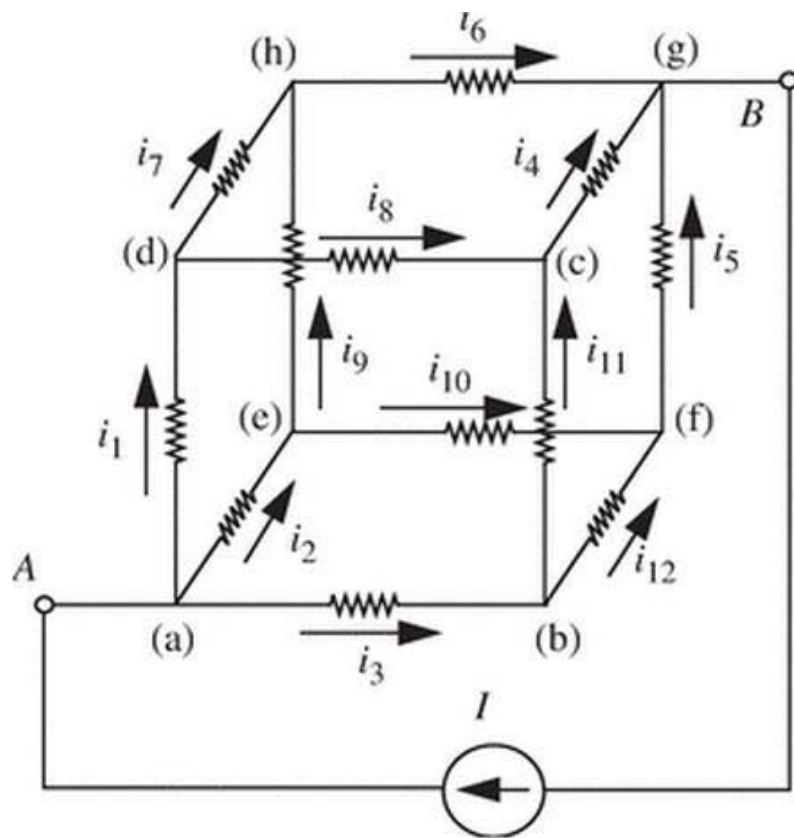
- Μετρήστε το ρεύμα I_1 που υπάρχει στο κύκλωμα.

- Υλοποιήστε το δεύτερο κύκλωμα.



Σχέδιο στο ράστερ

- Μετρήστε το ρεύμα I_2 που υπάρχει στο κύκλωμα.
- Τι παρατηρείται; Γιατί συμβαίνει αυτό; Αιτιολογήστε θεωρητικά την απάντησή σας.



Εργαστηριακή άσκηση 7

Υπέρθεση- Ανάλυση κόμβων

Σκοπός της άσκησης

Η μελέτη και η κατανόηση των μεθόδων της υπέρθεσης και της ανάλυσης των κόμβων. Μέσα από θεωρητικά παραδείγματα και από πειραματική λύση θα αναλυθούν και θα υλοποιηθούν οι παραπάνω μέθοδοι.

7.1 Υπέρθεση

Όλα τα κυκλώματα, που μελετήθηκαν μέχρι τώρα, αλλά και αυτά, που πρόκειται να μελετηθούν στη συνέχεια, είναι γραμμικά και χρονικά αμετάβλητα. Μια βασική ιδιότητα τέτοιων κυκλωμάτων είναι η ιδιότητα **της υπέρθεσης ή επαλληλίας**, όπως διαφορετικά ονομάζεται. Η ιδιότητα αυτή είναι πολύ σημαντική και θα χρησιμοποιηθεί ευρέως για την ανάλυση των κυκλωμάτων.

Το **θεώρημα της υπέρθεσης** διατυπώνεται ως εξής:

Σ' ένα γραμμικό κύκλωμα που περιλαμβάνει πολλά ενεργητικά στοιχεία τα οποία δρουν ταυτόχρονα, η επίδραση σε ένα τμήμα ή στοιχείο του κυκλώματος μπορεί να προκύψει από το άθροισμα των επιδράσεων που είναι αποτέλεσμα της δράσης του κάθε ενεργού στοιχείου του κυκλώματος ξεχωριστά.

Τα βήματα που ακολουθούνται κατά την εφαρμογή της αρχής της επαλληλίας είναι τα ακόλουθα:

- 1) Όπου είναι σφικτή η απλοποίηση στο κύκλωμα, με τους γνωστούς μετασχηματισμούς, υλοποιείται.
- 2) Αφήνεται μια ανεξάρτητη πηγή ρεύματος ή μια ανεξάρτητη πηγή τάσης στο κύκλωμα. Οι υπόλοιπες ανεξάρτητες πηγές τάσης βραχυκυκλώνονται. Οι υπόλοιπες ανεξάρτητες πηγές ρεύματος ανοικτοκυκλώνονται. Οι εξαρτημένες πηγές τάσης και ρεύματος παραμένουν όπως έχουν στο κύκλωμα.
- 3) Υπολογίζεται την απόκριση στο σημείο του κυκλώματος που ενδιαφέρει.
- 4) Επαναλαμβάνονται τα βήματα 2 και 3 για όλες τις ανεξάρτητες πηγές του κυκλώματος.
- 5) Το αλγεβρικό άθροισμα των αποκρίσεων που οφείλεται σε κάθε ανεξάρτητη πηγή είναι η ζητούμενη απόκριση.

7.2 Μέθοδος των κόμβων

Με την **μέθοδο των κόμβων** προσδιορίζονται οι τάσεις στους κόμβους, ως προς ένα κόμβο που λαμβάνεται σαν κόμβο αναφοράς με δυναμικό μηδέν. Ο κόμβος αναφοράς είναι συνήθως ο κόμβος γείωσης του κυκλώματος. Η μέθοδος των κόμβων εφαρμόζεται σε κυκλώματα όπου ο αριθμός n των κόμβων είναι μικρότερος από τον αριθμό των βρόχων. Στη μέθοδο αυτή, άγνωστες είναι οι τάσεις στους κόμβους και υπολογίζονται με εφαρμογή του νόμου ρευμάτων του Kirchhoff.

Τα βήματα που ακολουθούνται είναι :

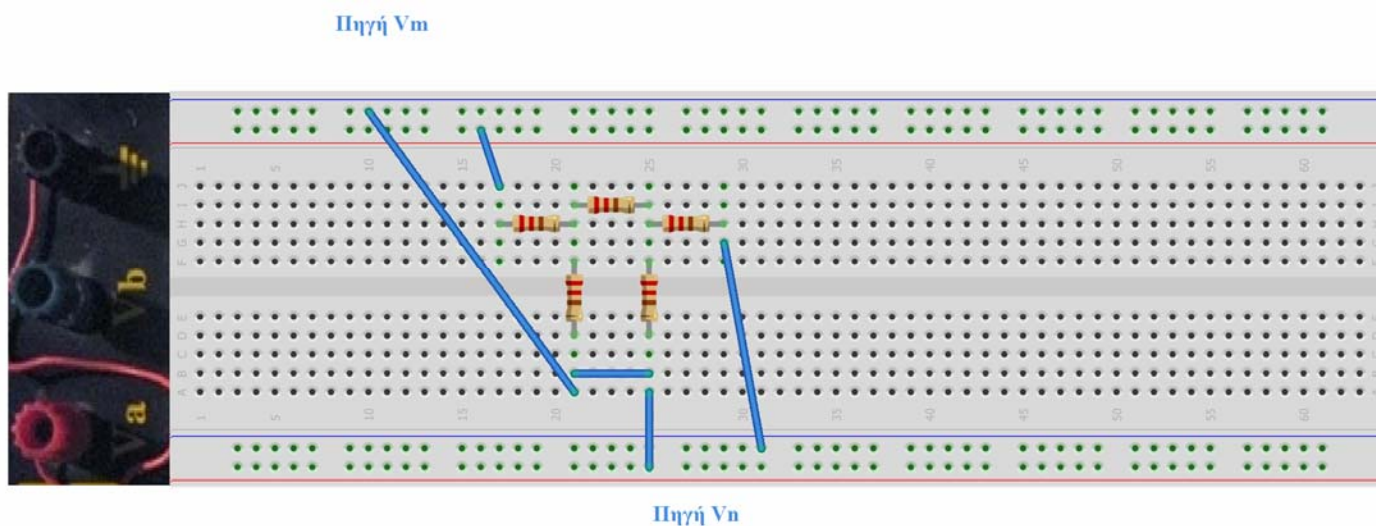
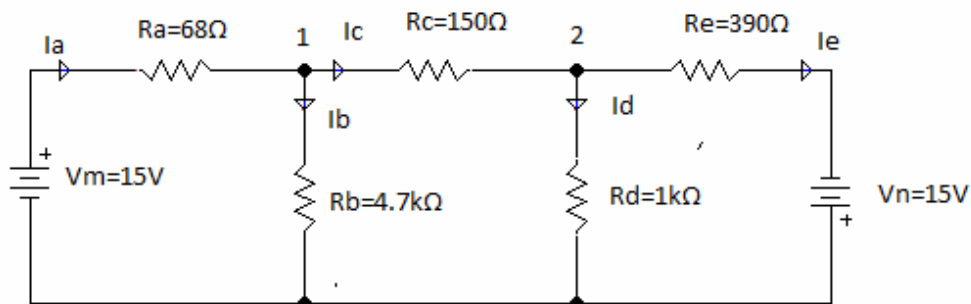
- 1) Απλοποίηση του κυκλώματος αν είναι εφικτή.
- 2) Ορίζεται κόμβος αναφοράς. Επιλέγεται σαν κόμβο αναφοράς:
 - Ο κόμβος στον οποίο συνδέονται οι περισσότεροι κλάδοι, ή
 - Ο κόμβος στον οποίο συνδέονται οι περισσότεροι αρνητικοί πόλοι των πηγών τάσης του κυκλώματος.
- 3) Ορίζονται αυθαίρετες φορές στα ρεύματα των κλάδων και αριθμούνται οι κόμβοι. Εφαρμόζεται ο νόμος του Kirchhoff σε όλους τους κόμβους εκτός από:
 - Τον κόμβο αναφοράς
 - Τον ή τους κόμβους που η τιμή της τάσης τους είναι γνωστή
 - Τους κόμβους μεταξύ των οποίων υπάρχουν συνδεδεμένες πηγές τάσης, δηλαδή αν σε ένα κόμβο είναι γνωστή η τάση του και ο κόμβος αυτός συνδέεται με ένα άλλο κόμβο με μια ανεξάρτητη πηγή τάσης, τότε για τους δύο αυτούς κόμβους δεν εφαρμόζεται ο νόμος του Kirchhoff.

Έτσι ο νόμος του Kirchhoff δίνει $n-1-M$ ανεξάρτητες εξισώσεις, όπου n είναι ο συνολικός αριθμός των κόμβων, 1 είναι ο κόμβος αναφοράς και M είναι οι γνωστές κομβικές τάσεις (αν υπάρχουν).
- 4) Εκφράζονται οι $n-1-M$ εξισώσεις κόμβων του βήματος 3 συναρτήσει των κομβικών τάσεων με την βοήθεια του νόμου του Kirchhoff.
- 5) Λύνεται το σύστημα εξισώσεων που έχει σαν αγνώστους τις κομβικές τάσεις και στη συνέχεια υπολογίζονται τα ρεύματα στους κλάδους.

Εργαστηριακό μέρος

Υπόθεση

- Υλοποιήστε το παρακάτω κύκλωμα στο ράστερ.



Σχέδιο στο ράστερ

- Μετρήστε με το πολύμετρο τις τάσεις των αντιστάσεων R_a, R_b, R_c, R_d, R_e και συμπληρώστε τον Πίνακα 1.

Πίνακας 1

R_a	R_b	R_c	R_d	R_e

- Βραχυκυκλώστε την πηγή τάσης V_n και συμπληρώστε τον Πίνακα 2.

Πίνακας 2

R_a	R_b	R_c	R_d	R_e

- Στη συνέχεια βραχυκυκλώστε την πηγή τάσης V_m και συμπληρώστε τον Πίνακα 3.

Πίνακας 3

R_a	R_b	R_c	R_d	R_e

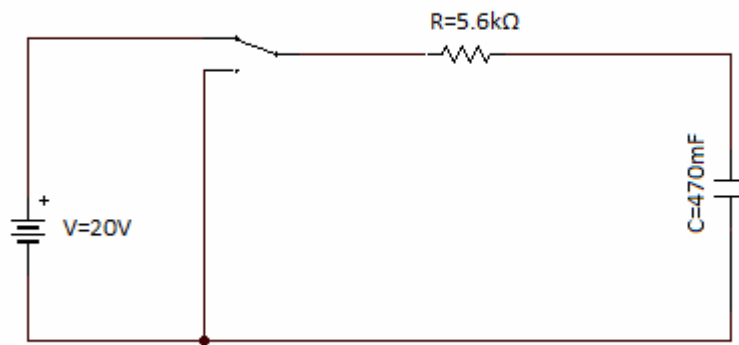
- Τι συμπεράσματα προκύπτουν από τα αποτελέσματά σας;

Μέθοδος κόμβων

- Με το ίδιο κύκλωμα που έχουμε παραπάνω και με την μέθοδο των κόμβων υπολογίστε τις τάσεις και στη συνέχεια τα ρεύματα και συμπληρώστε τον Πίνακα 4.

Πίνακας 4

V_1	V_2	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5



Εργαστηριακή άσκηση 8

Πυκνωτής-Μεταβατικά φαινόμενα

Σκοπός της άσκησης

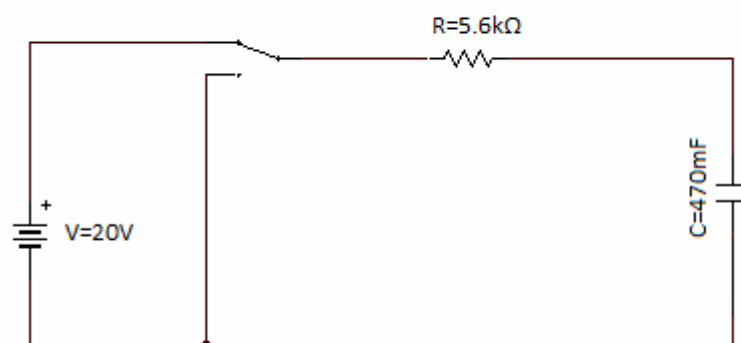
Η μελέτη και η κατανόηση του πυκνωτή και της συμπεριφοράς των γραμμικών κυκλωμάτων στο πεδίο του χρόνου. Τα κυκλώματα που θα αναλυθούν περιέχουν εκτός από αντιστάσεις και στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας, δηλαδή πυκνωτές.

8.1 Πυκνωτής

Πυκνωτής λέγεται κάθε στοιχείο δύο ακροδεκτών στο οποίο αποθηκεύονται ηλεκτρικά φορτία και κατά συνέπεια αποθηκεύεται ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρικού πεδίου.

8.2 Μεταβατικά φαινόμενα

Όταν ένα κύκλωμα λειτουργεί για σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα (θεωρητικά για άπειρο χρόνο), τότε λέγεται ότι έχει φτάσει στη σταθερή μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Στην κατάσταση αυτή και αν το κύκλωμα διεγείρεται από πηγές συνεχείς, τότε οι τάσεις, τα ρεύματα, οι δεσμοί μαγνητικής ροής και τα φορτία δεν μεταβάλλονται ως προς το χρόνο. Για παράδειγμα το κύκλωμα του σχήματος 8.1, το οποίο περιλαμβάνει έναν πυκνωτή σε σειρά με μια αντίσταση και μια πηγή συνεχούς τάσης.



Σχήμα 8.1: Κύκλωμα με πυκνωτή

Ο πυκνωτής είναι αρχικά αφόρτιστος, ενώ ο διακόπτης S κλείνει τη χρονική στιγμή $t=0$. Η εξίσωση βρόχου αυτού του κυκλώματος έχει τη μορφή

$$Ri + v_c = V \quad 8.1$$

Επειδή

$$i = i_c = C \frac{dv_c}{dt} \quad 8.2$$

η εξίσωση 8.1 καταλήγει στην ακόλουθη γραμμική διαφορική εξίσωση

$$\frac{dv_c}{dt} + \frac{1}{RC} v_c = \frac{V}{RC} \quad 8.3$$

Η γενική μορφή της λύσης ως προς $v_c(t)$ είναι

$$v_c(t) = V[1 - e^{-t/RC}] \text{ για } t \geq 0 \quad 8.4$$

Το ρεύμα προκύπτει τώρα εύκολα με παραγωγή της $v_c(t)$

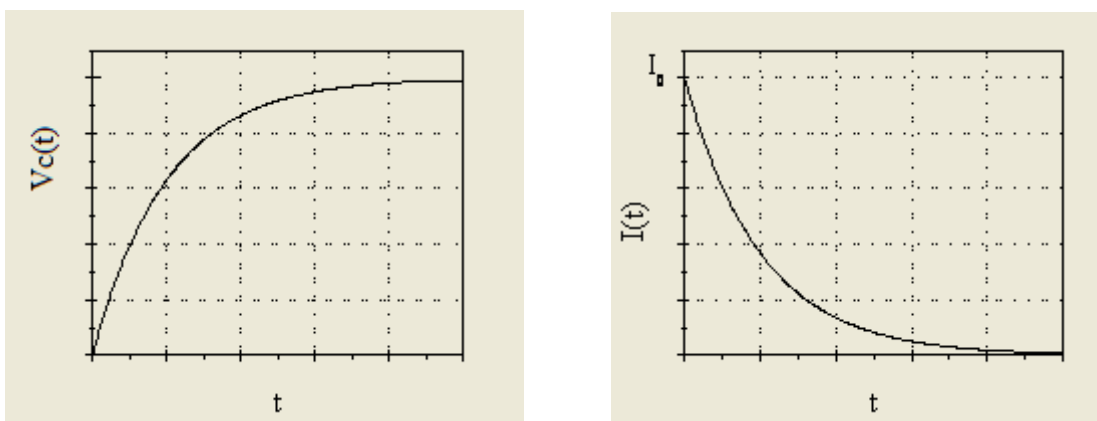
$$i_c(t) = \frac{V}{R} e^{-t/RC} \text{ για } t \geq 0 \quad 8.5$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η συμπεριφορά του πυκνωτή στη μόνιμη κατάσταση, ισοδυναμεί με ανοιχτό κύκλωμα. Δηλαδή υπάρχει μια σταθερή τάση στα άκρα του ενώ το ρεύμα που διαρρέει είναι μηδενικό. Αυτό μπορεί να φανεί και από τη σχέση

$$i_c(t) = C \frac{dv_c(t)}{dt} \quad 8.6$$

Όπου για $v_c(t)$ σταθερό, το ρεύμα $i_c(t)$ ισούται με μηδέν. Εξάλλου η ισχύς που παρέχεται σε έναν πυκνωτή δίνεται από τη σχέση 8.7.

$$p(t) = v_c(t)i_c(t) = Cv_c(t) \frac{dv_c(t)}{dt} \quad 8.7$$



Σχήμα 8.2: α) Απόκριση ως προς $v_c(t)$. β) Απόκριση ως προς $i_c(t)$

Μια χαρακτηριστική παράμετρος της απόκριση είναι η σταθερά χρόνου T , η οποία για το συγκεκριμένο παράδειγμα ισούται με RC . Η σταθερά χρόνου έχει πάντα διαστάσεις χρόνου ενώ είναι μεγάλη η φυσική της σημασία στην ανάλυση και την κατανόηση της συμπεριφοράς των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Παρατηρείται ότι την χρονική στιγμή $t=T$, η τάση του πυκνωτή έχει αυξηθεί στο 36,8% της τιμής.

Για το σχήμα 8.1 ισχύει:

Διακόπτης στη θέση 1

$$\left. \begin{aligned} U &= R_L(t) + U_c(t) \\ \Rightarrow U &= RC \frac{dU_c(t)}{dt} + U_c(t) \\ i(t) &= c \frac{dU_c(t)}{dt} \end{aligned} \right| \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U_c(t) = U(1 - e^{-\frac{1}{RC}t}) \quad (\text{για αρχική φόρτιση πυκνωτή } U_c(0) = 0V)$$

$$\text{Και το ρεύμα } i(t) = C \frac{dU_c(t)}{dt} = \frac{U}{R} e^{-\frac{1}{RC}t}$$

$\tau = RC =$ σταθερά χρόνου

Διακόπτης στη θέση 2

$$R_i(t) + U_c(t) = 0 \Rightarrow RC \frac{dU_c(t)}{dt} + U_c(t) = 0 \Rightarrow U_c(t) = U_c(0) e^{-\frac{1}{RC}t}$$

Όπου $U_c(0)$ η τάση του πυκνωτή κατά τον χρόνο $t=0$.

$$i(t) = -\frac{U_c(0)}{RC} e^{-\frac{1}{RC}t}$$

8.3 Κύκλωμα πρώτης τάξης

Ένα γραμμικό κύκλωμα που περιέχει εκτός από αντιστάσεις και πηγές, ένα μόνο στοιχείο αποθήκευσης καλείται κύκλωμα πρώτης τάξης. Όπως έχει δειχθεί παραπάνω, η απόκριση των πρωτοτάξιων κυκλωμάτων προκύπτει από τη λύση μιας γραμμικής διαφορικής εξίσωσης πρώτης τάξης με σταθερούς συντελεστές. Μια τέτοια εξίσωση έχει τη μορφή

$$\frac{dy(t)}{dt} - py(t) = f(t)$$

8.8

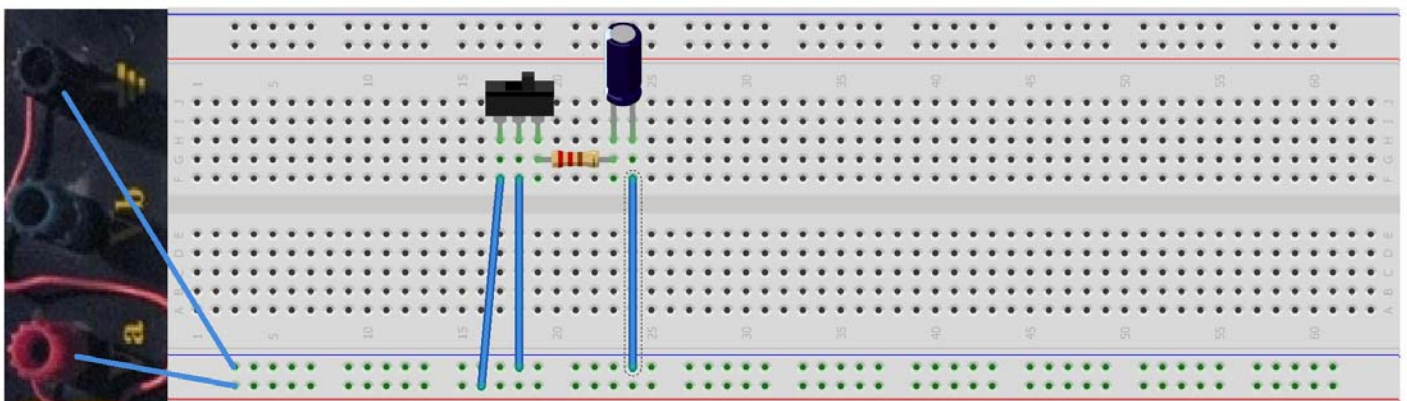
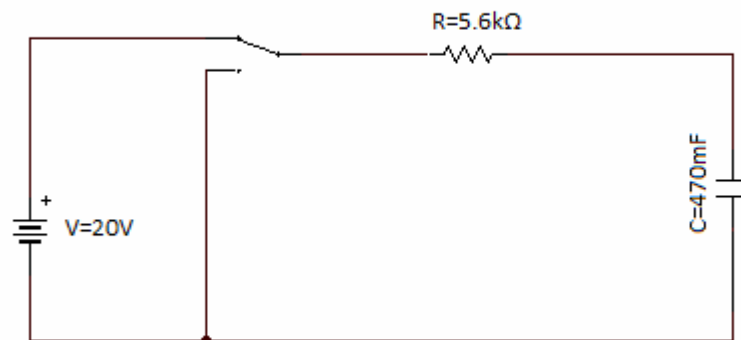
Όπου το p είναι μία σταθερά, το $y(t)$ η εξαρτημένη μεταβλητή, η οποία συνήθως αντιστοιχεί στην απόκριση του κυκλώματος, t η ανεξάρτητη μεταβλητή του χρόνου και $f(t)$ η συνάρτηση διέγερσης του κυκλώματος. Είναι γνωστό ότι αν τεθεί $f(t)=0$ τότε η εξίσωση

$$\frac{dy(t)}{dt} - py(t) = 0 \quad 8.9$$

καλείται ομογενή δ.ε. της εξίσωσης 8.8.

Εργαστηριακό μέρος

- Δημιουργήστε το παρακάτω κύκλωμα.



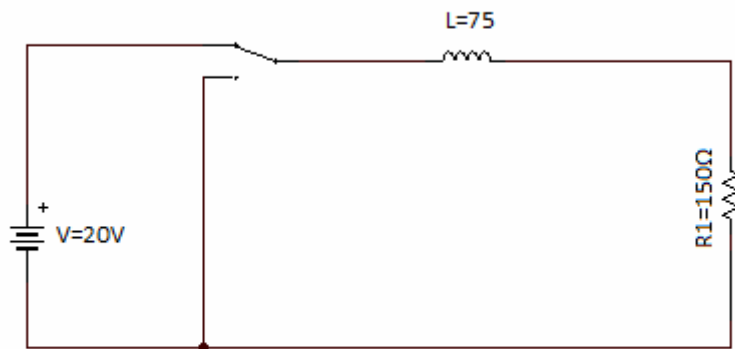
Σχέδιο στο ράστερ

- Υπολογίστε την σταθερά χρόνου τ .
- Με βάση την σταθερά χρόνου που βρήκατε σε sec μετρήστε την τάση του πυκνωτή κατά την φόρτιση και την εκφόρτιση του και συμπληρώστε τον Πίνακα 1 για όσες τιμές χρειαστεί.

Πίνακας 1

Χρόνος(sec)									
Τάση(V)									

- Δημιουργήστε διαγράμματα τάσης-χρόνου και εκτιμήστε την σταθερά χρόνου.



Εργαστηριακή άσκηση 9

Πηνίο-Φόρτιση-Εκφόρτιση

Σκοπός της άσκησης

Η εξοικείωση και η κατανόηση του πηνίου καθώς και της ιδιότητάς του να φορτίζει και να εκφορτίζεται.

9.1 Πηνίο

Το **πηνίο** είναι ένα στοιχείο δυο ακροδεκτών στο οποίο αποθηκεύεται ενέργεια με τη μορφή μαγνητικού πεδίου. Είναι γνωστό ότι όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο γύρω από αυτόν. Η ένταση H του μαγνητικού πεδίου σε ένα σημείο p είναι ανάλογη του γινομένου του ρεύματος i με το διαφορικό μήκος dl και το ημίτονο της γωνίας θ . Η ένταση H είναι επίσης αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης r . Δηλαδή

$$H = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{idl \sin \theta}{4\pi r^2} \quad 9.1$$

Το πλάτος της έντασης του μαγνητικού πεδίου σε ένα σημείο p , που προκαλείται από ένα ρεύμα i σε έναν απείρου μήκους αγωγό, θα ισούται με

$$H = \frac{i}{2\pi r_0} \quad 9.2$$

όπου r_0 η κάθετη απόσταση του σημείου p από τον αγωγό.

Η μαγνητική επαγωγή ή πυκνότητα μαγνητικής ροής B (σε Weber's/m²), σχετίζεται με το H μέσω από τη σχέση

$$B = \mu H \quad 9.3$$

όπου η μεταβλητή μ καλείται μαγνητική διαπερατότητα του αγωγού και έχει διαστάσεις Henry/m. Η μαγνητική διαπερατότητα του κενού μ_0 είναι ίση με

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Henry/m} \quad 9.4$$

Γενικά όμως, η σχέση ανάμεσα στα B και H είναι μη γραμμική δηλαδή είναι καμπύλη. Η κλίση της καμπύλης καλείται συντελεστής αυτεπαγωγής ή απλά αυτεπαγωγή του πηνίου, συμβολίζεται με L και μετράται σε Henry(H). Δηλαδή

$$L = \frac{d\Psi}{di} \quad 9.5$$

όπου Ψ η συνολική πεπλεγμένη ροή. Για παράδειγμα το L του κυλινδρικού πηνίου είναι ίσο με

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l} \quad 9.6$$

9.2 Αυτεπαγωγή πηνίου

Κάθε αγωγός έχει αυτεπαγωγή. Ένας επαγωγέας κατασκευάζεται τυπικά από ένα σύρμα ή άλλο αγωγό τυλιγμένο σε ένα πηνίο, για να αυξηθεί το μαγνητικό πεδίο. Όταν το ρεύμα που ρέει μέσω ενός επαγωγέα αλλάζει, ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργείται στο εσωτερικό του πηνίου, και επάγεται τάση, σύμφωνα με το νόμο του Faraday για την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Ο επαγωγέας είναι ένα από τα βασικά συστατικά που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρονικά, όπου ρεύμα και τάση μεταβάλλονται με το χρόνο, εξαιτίας της ικανότητας των επαγωγών να καθυστερεί και να αναδιαμορφώνει εναλλασσόμενα ρεύματα. Αν ο πυρήνας είναι ένα σίδηρο-μαγνητικό υλικό, τότε το μ θα είναι μια συνάρτηση του ρεύματος i , με αποτέλεσμα το L να μην είναι γραμμικό. Γενικά το L θα είναι μη γραμμικό όταν η χαρακτηριστική καμπύλη του πηνίου είναι μη γραμμική. Στα γραμμικά πηνία όμως, το L είναι σταθερό και ισούται με την κλίση της ευθείας Ψ - i . Επιπλέον των ανωτέρω και σύμφωνα με το νόμο του Faraday, η τάση μεταξύ των ακροδεκτών ενός πηνίου θα ισούται με

$$V_L = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad 9.7$$

Αν η εξίσωση 9.7 λυθεί ως προς $i_L(t)$ προκύπτει

$$i_L(t) = i_L(0) + \frac{1}{L} \int_0^t v_L(t) dt \quad 9.8$$

Η τιμή $i_L(0)$ είναι η αρχική τιμή του ρεύματος $i_L(t)$.

9.3 Ισχύς πηνίου

Το πηνίο είναι ένα στοιχείο που αποθηκεύει και δεν καταναλίσκει πραγματική ενέργεια. Η ισχύς σε ένα πηνίο είναι ίση με

$$p_L(t) = v_L(t)i_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} i_L(t) \quad 9.9$$

9.4 Ενέργεια πηνίου

Η ενέργεια (μετρούμενη σε τζάουλ, στο SI) που αποθηκεύεται από ένα πηνίο είναι ίση με την ποσότητα της εργασίας που απαιτείται για τη δημιουργία του ρεύματος διαμέσου του επαγωγέα, και συνεπώς το μαγνητικό πεδίο. Η ενέργεια που αποθηκεύεται στο πηνίο μέχρι τη χρονική στιγμή t , ισούται με

$$W_L = \frac{1}{2} L i_L^2(t) \quad 9.10$$

Όπως και στην περίπτωση του πυκνωτή έτσι και εδώ καθορίζεται η σταθερά χρόνου τ , που ισούται με

$$\tau = \frac{L}{R} \quad 9.11$$

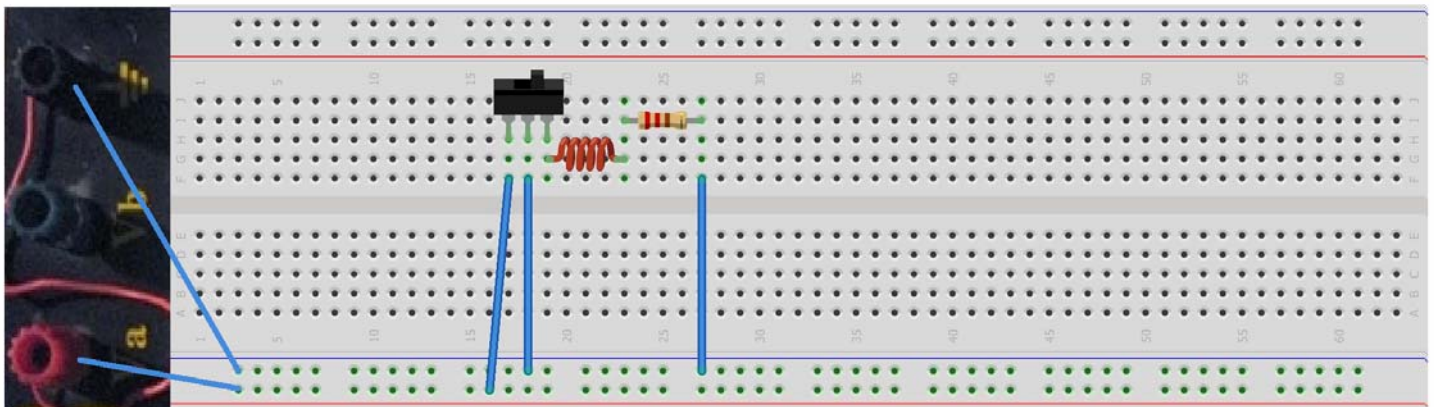
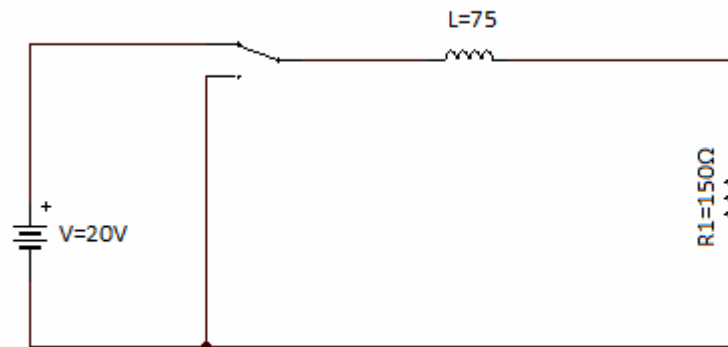
Και για την οποία

$$i_L(\tau - t_1) = Ie^{-1} = 0.368I \quad 9.12$$

Ένα ιδανικό πηνίο θα εμφανίζει απώλειες, ανεξάρτητα από την ποσότητα του ρεύματος διαμέσου της περιέλιξης. Ωστόσο, συνήθως τα πηνία περιέλιξης έχουν αντίσταση από το μεταλλικό σύρμα που σχηματίζονται. Επειδή η αντίσταση περιέλιξης εμφανίζεται ως μια αντίσταση σε σειρά με τον επαγωγέα, καλείται *συχνά αντίσταση σειράς*.

Εργαστηριακό μέρος

- Δημιουργήστε το παρακάτω κύκλωμα.



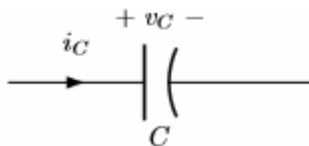
Σχέδιο στο ράστερ

- Υπολογίστε την σταθερά χρόνου τ .
- Με βάση την σταθερά χρόνου που βρήκατε σε sec μετρήστε την τάση του πυκνωτή κατά την φόρτιση και την εκφόρτιση του πηνίου και συμπληρώστε τον Πίνακα 1 για όσες τιμές χρειαστεί.

Πίνακας 1

Χρόνος(sec)									
Τάση(V)									

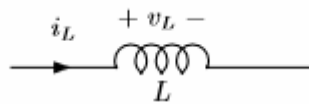
- Δημιουργήστε διαγράμματα τάσης-χρόνου και εκτιμήστε την σταθερά χρόνου.



$$i_C(t) = C v_C'(t)$$

$$I_C(s) = sC V_C(s)$$

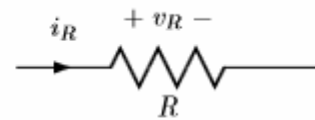
$$Z_C(s) \triangleq \frac{V_C(s)}{I_C(s)} = \frac{1}{sC}$$



$$v_L(t) = L i_L'(t)$$

$$V_L(s) = sL I_L(s)$$

$$Z_L(s) \triangleq \frac{V_L(s)}{I_L(s)} = sL$$



$$v_R(t) = R i_R(t)$$

$$V_R(s) = R I_R(s)$$

$$Z_R(s) \triangleq \frac{V_R(s)}{I_R(s)} = R$$

Εργαστηριακή άσκηση 10

Συνάρτηση μεταφοράς στα ηλεκτρικά κυκλώματα

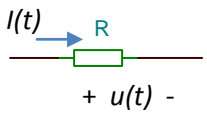
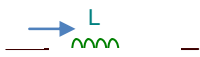

Σκοπός της άσκησης

Εύρεση της συνάρτησης μεταφοράς μεταξύ μιας εισόδου και μιας εξόδου ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Εύρεση και σχετική διερεύνηση της απόκρισης δύο ηλεκτρικών κυκλωμάτων, έχοντας συναρτήσεις μεταφοράς διαφορετικής τάξης, με τη βοήθεια του *simulink*.

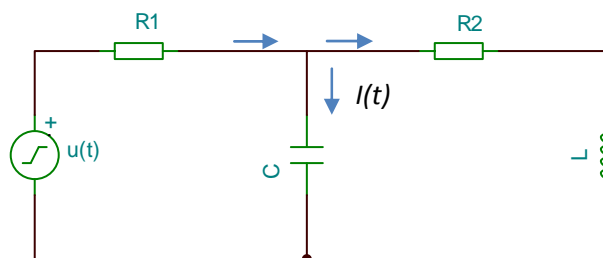
Θεωρητικό μέρος

10.1 Συνάρτηση μεταφοράς

Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα με διάφορες πηγές και παθητικά στοιχεία μπορεί να περιγραφεί, εφαρμόζοντας τους γενικούς νόμους και θεωρήματα (ohm, Kirchhoff, επαλληλίας κλπ.), με ένα σύστημα ολοκληρών διαφορικών εξισώσεων (ο.δ.ε.). Οι σχέσεις μεταξύ ρεύματος και τάσης στα τρία βασικά στοιχεία του κυκλώματος, που είναι η αντίσταση, το πηνίο και ο πυκνωτής, δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Ωμική αντίσταση	Πηνίο	Πυκνωτής
		
$u(t) = Ri(t)$	$u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$ $i(t) = \frac{1}{L} \int_0^t u(\tau) d\tau$	$i(t) = C \frac{du(t)}{dt}$ $u(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau$

Για παράδειγμα εάν δοθεί το παρακάτω κύκλωμα,



οι ολοκληρωδιαφορικές εξισώσεις, εφαρμόζοντας τους νόμους Kirchhoff, που το περιγράφουν είναι:

$$i(t) = i_1(t) + i_2(t) \quad 1$$

$$u(t) = R_1 i(t) + \frac{1}{C} \int_0^t i_1(\tau) d\tau \quad 2$$

$$u(t) = R_1 i(t) + R_2 i_2(t) + L \frac{di_2(t)}{dt} \quad 3$$

Η περιγραφή ενός κυκλώματος με ο.δ.ε. είναι μια περιγραφή στο πεδίο του χρόνου, που έχει εφαρμογή σε γραμμικά και μη γραμμικά κυκλώματα, σε χρονικά μεταβαλλόμενα και μη, με αρχικές συνθήκες μη μηδενικές κλπ.


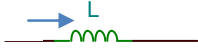

Η **συνάρτηση μεταφοράς** είναι μία περιγραφή του κυκλώματος με εξισώσεις στο πεδίο μιγαδικής συχνότητας, ή πεδίο Laplace, και ισχύει για μια περιορισμένη κατηγορία συστημάτων και συγκεκριμένα για τα γραμμικά, μη χρονικά μεταβαλλόμενα κυκλώματα που έχουν μηδενικές αρχικές συνθήκες. Η συνάρτηση μεταφοράς ορίζεται ως ο λόγος του μετασχηματισμού Laplace της απόκρισης $c(t)$ (τάση, ρεύμα) ενός τμήματος-στοιχείου του κυκλώματος που ορίζεται ως έξοδος, προς την απόκριση $r(t)$ (τάση, ρεύμα) ενός τμήματος-στοιχείου του κυκλώματος που ορίζεται ως είσοδος. Δηλαδή:

$$G(s) = \frac{L\{c(t)\}}{L\{r(t)\}}$$

4

10.2 Μετασχηματισμός Laplace

Ο μετασχηματισμός Laplace των εξισώσεων των βασικών στοιχείων ενός ηλεκτρικού κυκλώματος, με μηδενικές αρχικές συνθήκες, δίνεται από τον πίνακα:

Ωμική αντίσταση	Πηνίο	Πυκνωτής
		
Σχέση τάσης-ρεύματος στο χώρο Laplace $U(s) = RI(s)$	Σχέση τάσης-ρεύματος στο χώρο Laplace $U(s) = Lsl(s)$	Σχέση τάσης-ρεύματος στο χώρο Laplace $I(s) = CsU(s)$
Ωμική αντίσταση στο χώρο Laplace R	Επαγωγική αντίσταση στο χώρο Laplace Ls	Χωρητική αντίσταση στο χώρο Laplace $\frac{1}{Cs}$

Η μέθοδος για να βρεθεί η συνάρτηση μεταφοράς ενός κυκλώματος είναι ή να μετασχηματίσουμε τις ο.δ.ε. στο πεδίο Laplace, ή να μετασχηματίσουμε το κύκλωμα στο πεδίο Laplace και να το επιλύσουμε με όποια μέθοδο επιθυμούμε:

Για το παραπάνω παράδειγμα

α) τρόπος

οι ο.δ.ε. στο πεδίο Laplace μετασχηματίζονται ως εξής:

$$I(s) = I_1(s) + I_2(s) \tag{5}$$

$$U(s) = R_1 I(s) + \frac{1}{Cs} I_1(s) \tag{6}$$

$$U(s) = R_1 I(s) + R_2 I_2(s) + Ls I_2(s) \tag{7}$$

Εάν θεωρηθεί ότι η έξοδος είναι το ρεύμα στο πηνίο και η είσοδος η τάση της πηγής τότε η συνάρτηση μεταφοράς είναι ο λόγος:

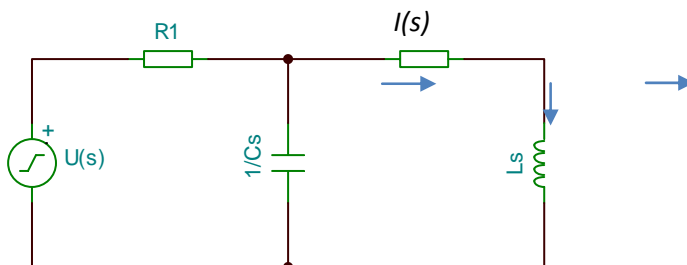
$$G(s) = \frac{I_2(s)}{U(s)} \tag{8}$$

Από τις (5) και (6) υπολογίζεται το $I(s)$ σε συνάρτηση του $U(s)$ και του $I_2(s)$, κατόπιν αντικαθίσταται στην εξίσωση (7) από όπου προκύπτει η συνάρτηση μεταφοράς (σχέση 9):

$$G(s) = \frac{I_2(s)}{U(s)} = \frac{1}{R_1 L C s^2 + (R_1 R_2 C + L)s + R_2 + R_1} \tag{9}$$

β) τρόπος

Το κύκλωμα στο πεδίο Laplace γίνεται:



Χρησιμοποιώντας διαιρέτη ρεύματος προκύπτει η σχέση:

$$I_2(s) = \frac{1/Cs}{R_2 + Ls + 1/Cs} I(s) \tag{10}$$

Η συνολική αντίσταση του κυκλώματος είναι:

$$Z(s) = R_1 + \frac{(R_2 + is)(1/Cs)}{R_2 + is + 1/Cs} \quad 11$$

οπότε αντικαθιστώντας το $I(s)$ από τη σχέση $I(s) = \frac{U(s)}{Z(s)}$ στη σχέση (10) προκύπτει η συνάρτηση μεταφοράς όπως ακριβώς στη σχέση (9).

Το ρεύμα $i_2(t)$ προκύπτει αν ληφθεί ο αντίστροφος μετασχηματισμός Laplaceως εξής:

$$i_2(t) = L^{-1}\{G(s)U(s)\} \quad 12$$

Η θεωρία του μετασχηματισμού Laplace, δεν αναπτύσσεται στην παρούσα εργαστηριακή άσκηση, διότι θεωρείται γνωστή από τα μαθηματικά.

10.3 Χρονική απόκριση συστημάτων πρώτης και δεύτερης τάξης

Η τάξη της συνάρτησης μεταφοράς καθορίζεται από το βαθμό του πολυωνύμου του παρονομαστή, ως προς τη μιγαδική μεταβλητή s . Η τυποποίηση των συστημάτων με συναρτήσεις μεταφοράς πρώτης και δεύτερας τάξης γίνεται εύκολα, ενώ για μεγαλύτερης τάξης είναι δύσκολη.

10.3.1 Συστήματα πρώτης τάξης

Η τυπική μορφή της συνάρτησης μεταφοράς ενός συστήματος πρώτης τάξης είναι:

$$G(s) = \frac{K}{1 + \tau s} \quad 13$$

όπου K είναι η σταθερά κέρδους και τ είναι η σταθερά χρόνου.

Εάν ως είσοδος θεωρηθεί μία βηματική συνάρτηση (μετασχηματισμός Laplace $1/s$) τότε λαμβάνοντας τον αντίστροφο μετασχηματισμό Laplaceτης:

$$G(s)R(s) = \frac{K}{1 + \tau s} \frac{1}{s} \quad 14$$

προκύπτει η απόκριση της εξόδου στο πεδίο του χρόνου $c(t)$:

$$c(t) = L^{-1}\{G(s)R(s)\} = L^{-1}\left\{\frac{K}{1 + \tau s} \frac{1}{s}\right\} = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \quad 15$$

10.4 Συστήματα δεύτερης τάξης

Η τυπική μορφή της συνάρτησης μεταφοράς ενός συστήματος δεύτερης τάξης είναι:

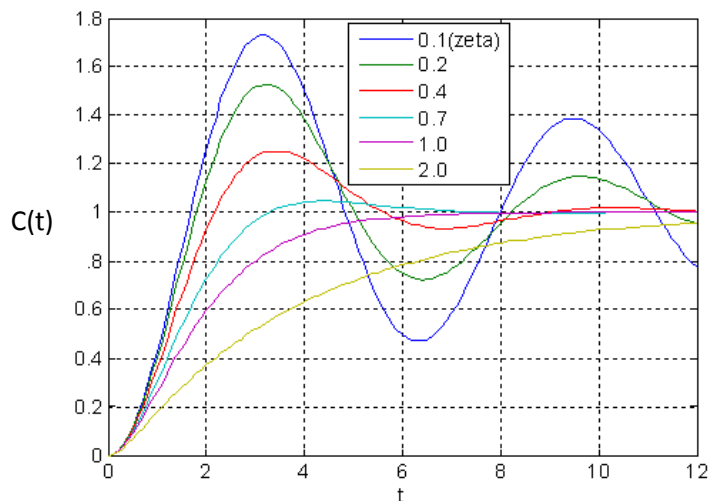
$$G(s) = \frac{K}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + 2\zeta\frac{s}{\omega_0} + 1} \quad 16$$

όπου K είναι η σταθερά κέρδους, ω_0 χωρίς απόσβεση φυσική κυκλική συχνότητα και ζ είναι ο λόγος απόσβεσης του συστήματος.

Εάν ως είσοδος θεωρηθεί μία βηματική συνάρτηση (μετασχηματισμός Laplace $1/s$) τότε λαμβάνοντας τον αντίστροφο μετασχηματισμό Laplace της:

$$\frac{K}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + 2\zeta\frac{s}{\omega_0} + 1} G(s)R(s) = \frac{1}{s} \quad 17$$

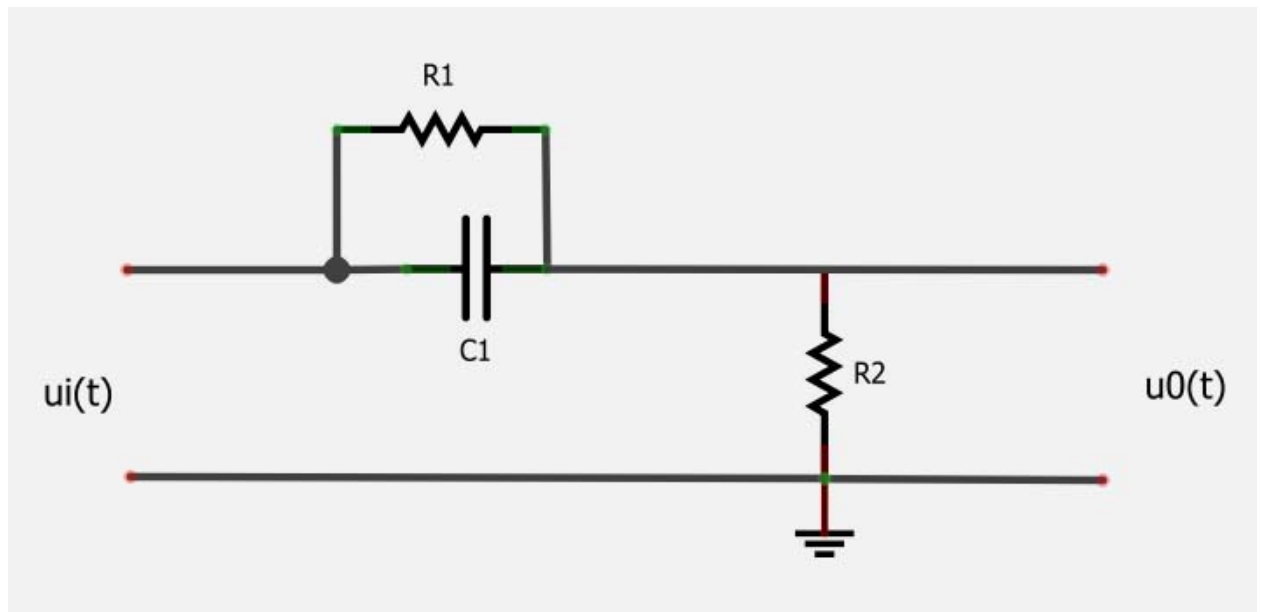
προκύπτει η απόκριση της εξόδου στο πεδίο του χρόνου $c(t)$. Το $c(t)$ υπό μορφή διαγραμμάτων και για $K=1$ δίνεται στο σχήμα:



Εργαστηριακό μέρος

Α) Δίνονται δύο κυκλώματα, ένα πρωτοβάθμιο και ένα δευτεροβάθμιο, όπως τα παρακάτω σχήματα. Να βρεθούν οι συναρτήσεις μεταφοράς των δύο κυκλωμάτων, θεωρώντας ως είσοδο το $u_i(t)$ και ως έξοδο το $u_o(t)$.

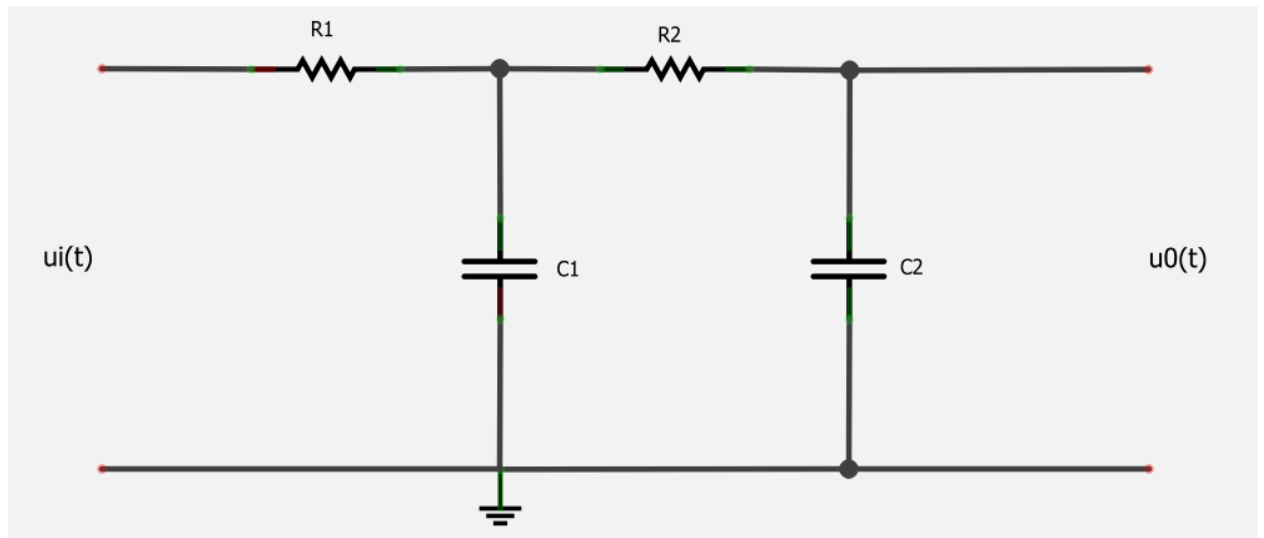
α)



Απάντηση:

$$\frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{C_1 s + 1/R_1}{C_1 s + 1/R_2 + 1/R_1}$$

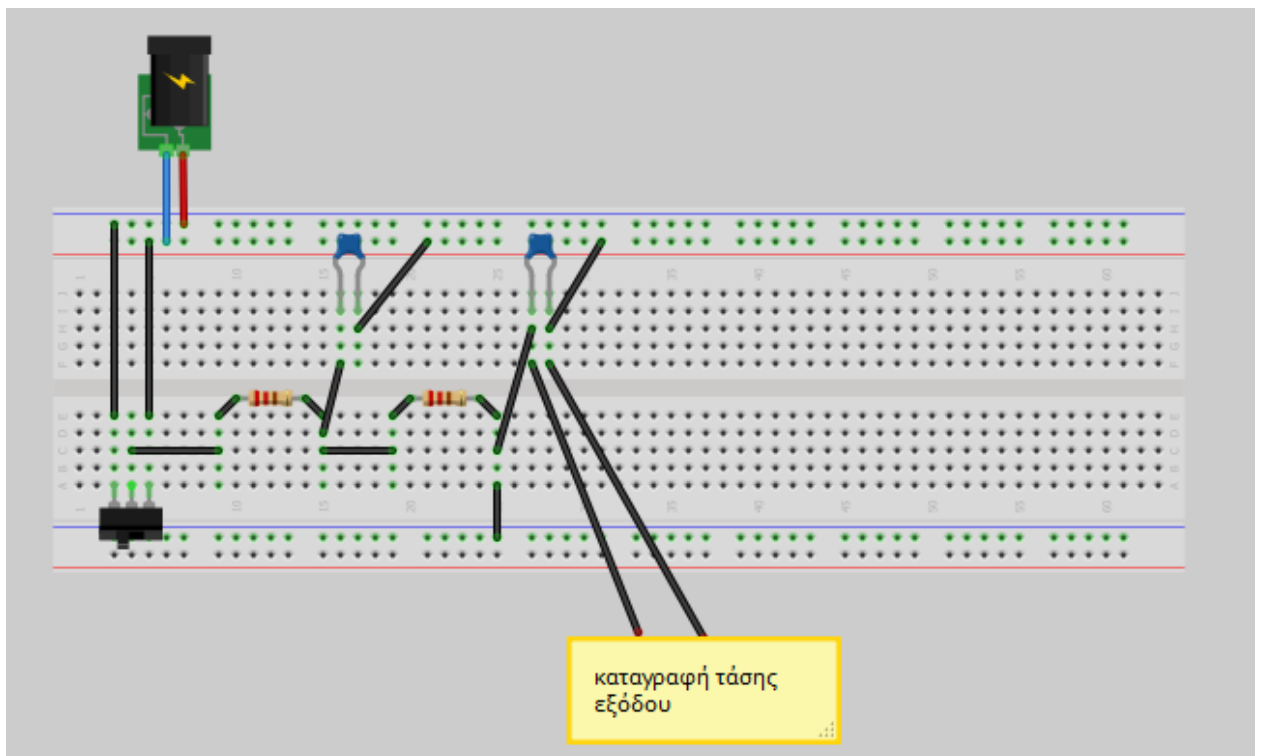
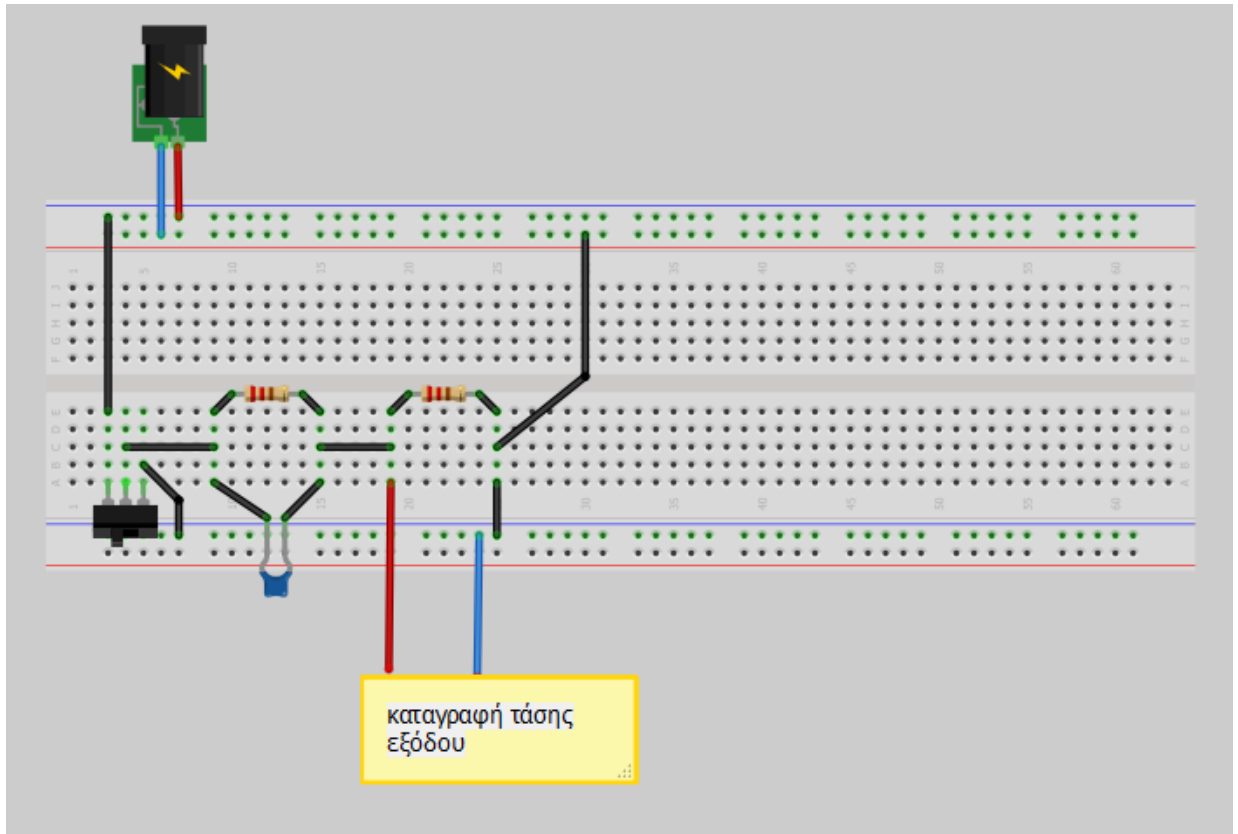
β)



Απάντηση:

$$\frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_2 C_2)s + 1}$$

B) Να υλοποιηθούν τα δύο παραπάνω κυκλώματα στο ράστερ. Με το διακόπτη στην θέση 2 εκφορτίζονται οι πυκνωτές. Κατόπιν ο διακόπτης τίθεται στη θέση 1, εισάγοντας βηματική τάση εισόδου. Να καταγραφεί η τάση εξόδου των δύο κυκλωμάτων για τρία λεπτά σε συνάρτηση με τον χρόνο και να γίνουν τα σχετικά γραφήματα. Κατόπιν από τα γραφήματα για το πρώτο κύκλωμα να υπολογιστούν η σταθερά χρόνου και το κέρδος (τελική τάση του πυκνωτή), ενώ για το δεύτερο να υπολογιστούν η σταθερά χρόνου, το κέρδος, η φυσική συχνότητα και η υπερύψωση της τάσης εξόδου.

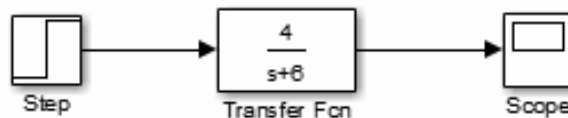


Γ) Να συγκριθούν οι τιμές που θα υπολογιστούν από τα πειραματικά δεδομένα της ερώτησης Β) με αυτά τα οποία θα προσδιοριστούν θεωρητικά. Οι τιμές των

στοιχείων και των τάσεων που θα χρησιμοποιηθούν στα πειράματα, θα δοθούν από του επιβλέποντες καθηγητές του εργαστηρίου.

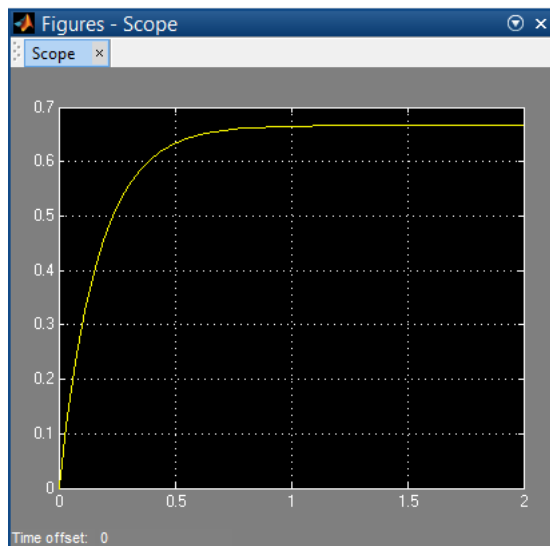
Δ) Θα γίνουν δύο κυκλώματα προσομοίωσης στο λογισμικό Simulink του Matlab.

Αν για παράδειγμα η συνάρτηση μεταφοράς για το σύστημα πρώτης τάξης είναι $T(s) = \frac{4}{s+6}$, στο Simulink θα δημιουργηθεί το παρακάτω

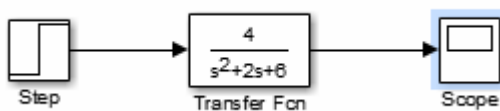


διάγραμμα:

και από την προσομοίωση θα προκύψει στο scope το διάγραμμα:



Αν η συνάρτηση μεταφοράς για το σύστημα δεύτερης τάξης είναι $T(s) = \frac{4}{s^2+2s+6}$, στο Simulink θα δημιουργηθεί το παρακάτω διάγραμμα:



και από την προσομοίωση θα προκύψει στο scope το διάγραμμα:

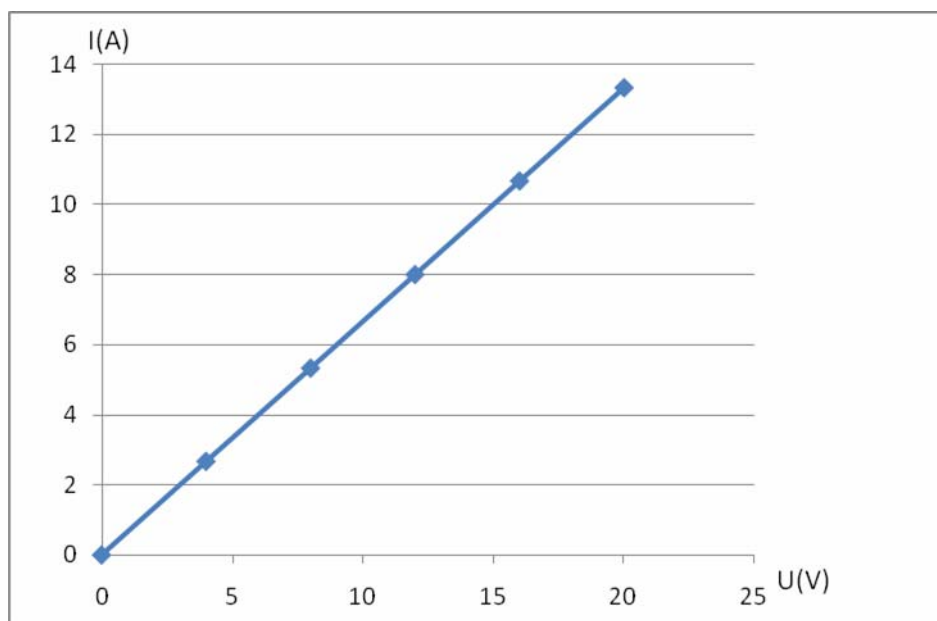
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 2

Μελέτη κυκλώματος

- Υλοποίηση του κυκλώματος και μέτρηση του ρεύματος για τις διάφορες τιμές.
- Συμπλήρωση του πίνακα και υπολογισμός των θεωρητικών τιμών.

U(V)	Μέτρηση ρεύματος I(mA)	Υπολογισμός ρεύματος $I=U/R$	Υπολογισμός ισχύος $P=U^2/R$	Υπολογισμός ισχύος $P=I^2 \cdot R$
0	0	0	0	0
4	2,67	2,66	10,66	10,62
8	5,33	5,33	42,66	42,62
12	8	8	96	96
16	10,67	10,66	170,66	170,45
20	13,33	13,33	266,66	266,53

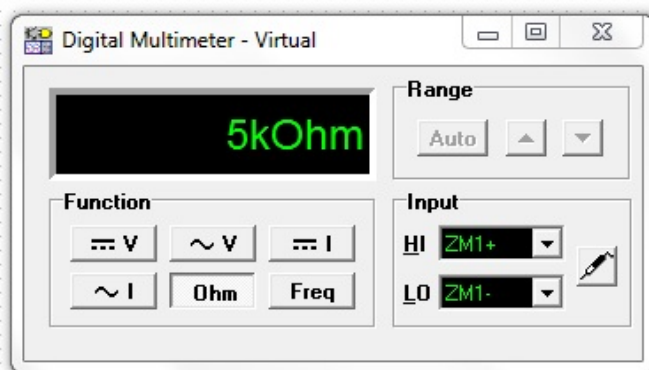
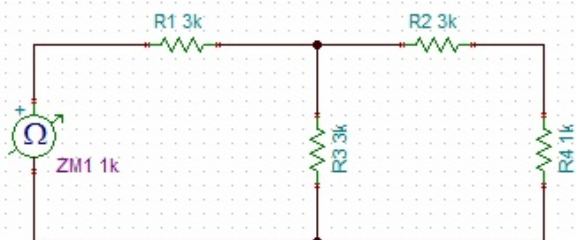
- Διάγραμμα τάσης-ρεύματος



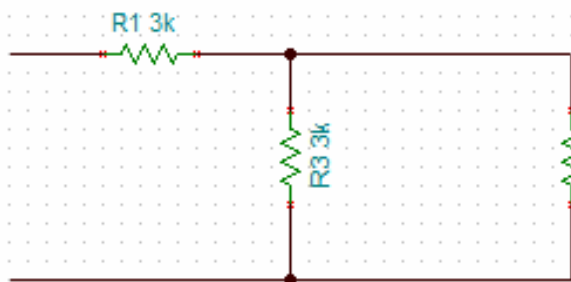
Μελέτη ισοδύναμης αντίστασης

1)

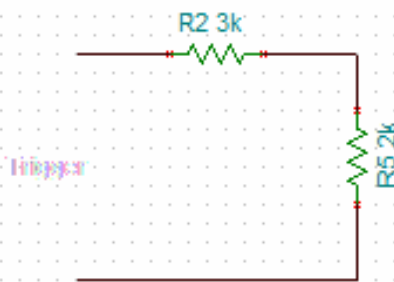
- Επιλέγονται οι αντιστάσεις των $3\text{k}\Omega$, άρα έχουμε το παρακάτω κύκλωμα.



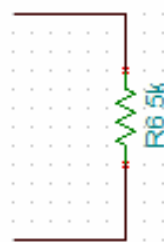
- Θεωρητικός υπολογισμός:



Οι αντιστάσεις είναι σε σειρά άρα $R+R=2R=6$



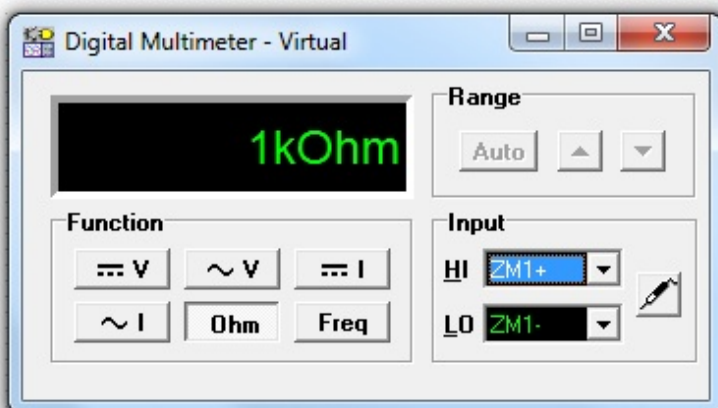
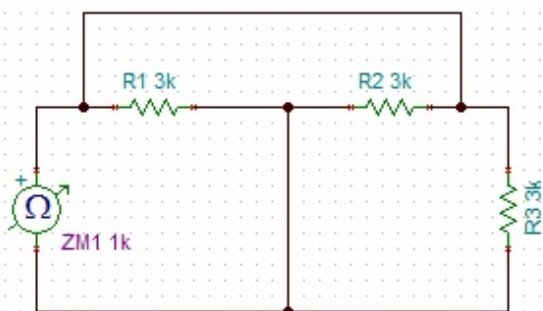
Οι αντιστάσεις είναι παράλληλες
άρα $(1/R)+(1/R)=2$



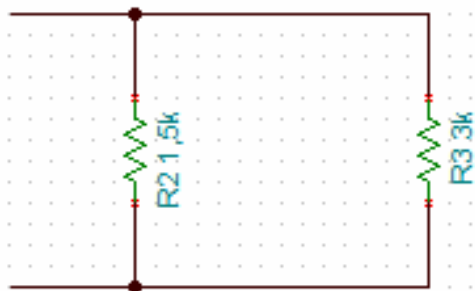
Οι αντιστάσεις είναι σε σειρά
άρα $R+R=3+2=5\text{k}\Omega$

2)

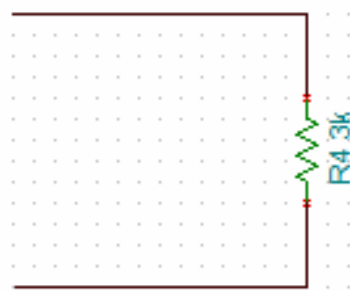
➤ Επιλέγονται οι αντιστάσεις των $3k\Omega$, άρα έχουμε το παρακάτω κύκλωμα.



➤ Θεωρητικός υπολογισμός:



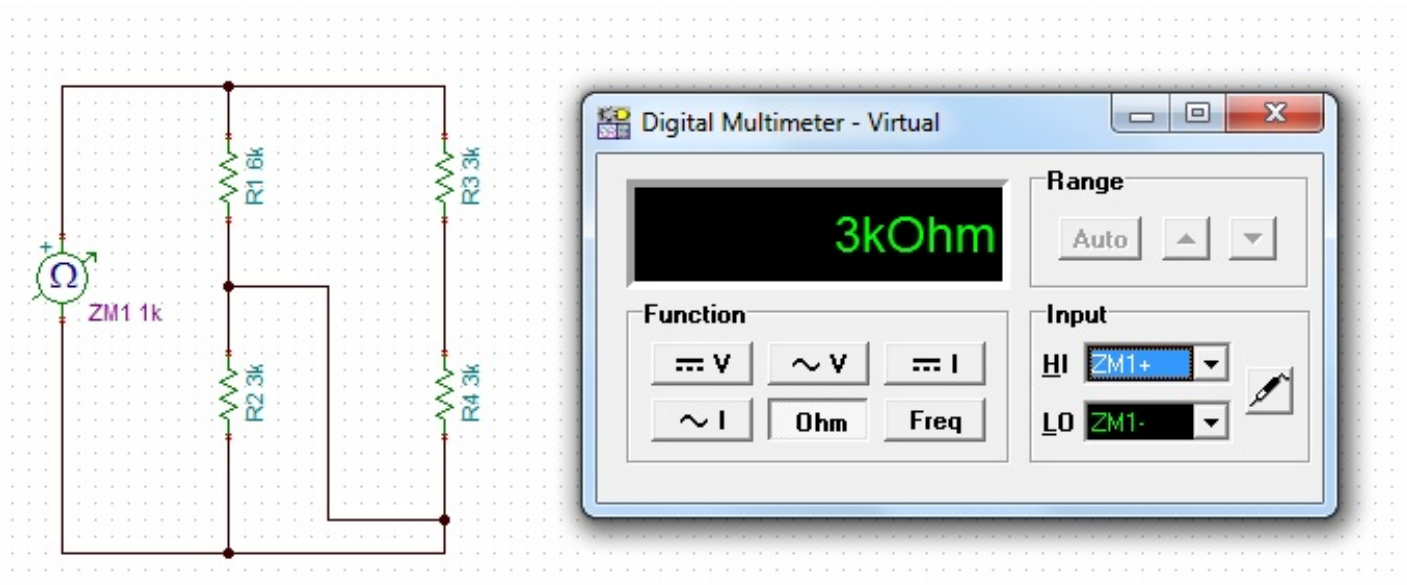
Οι δύο αντιστάσεις είναι παράλληλες
άρα $1/3+1/3=2/3$ $R=3/2=1,5k$



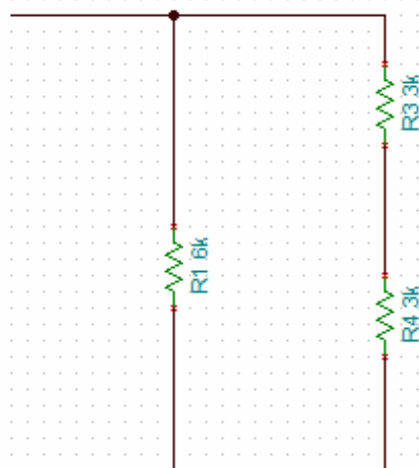
Οι δύο αντιστάσεις είναι παράλληλες
άρα $2/3+1/3=3/3$ $R=1k$

3)

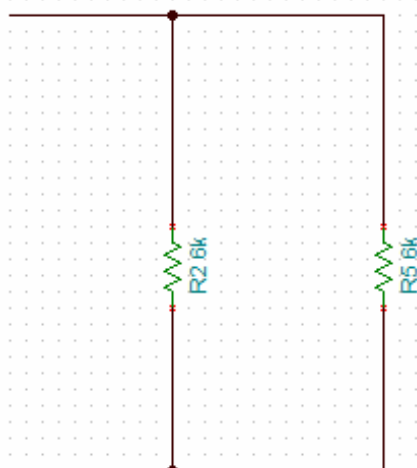
- Επιλέγονται οι αντιστάσεις των $3k\Omega$, άρα έχουμε το παρακάτω κύκλωμα.



- Θεωρητικός υπολογισμός:



Η αντίσταση R2 είναι βραχυκυκλωμένη
άρα δεν την υπολογίζω



Οι αντιστάσεις R3 και R4 είναι σε σειρά
άρα $R5=3+3=6k$



Οι αντιστάσεις R2 και R5 είναι παράλληλες
 $1/6+1/6=2/6$
 $R7=6/2=3k\Omega$

Ερωτήσεις κατανόησης (ανάπτυξης)

1) Σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα με παράλληλες αντιστάσεις, τι συμβαίνει με το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στο κύκλωμα;

Το ηλεκτρικό ρεύμα διαχωρίζεται στις δύο αντιστάσεις. Από τις μικρότερες αντιστάσεις διαρρέει μεγαλύτερο ρεύμα και από τις μεγαλύτερες αντιστάσεις μικρότερο ρεύμα.

2) Πως συνδέονται οι διακόπτες στα ηλεκτρικά κυκλώματα;

Οι διακόπτες συνδέονται σε σειρά στο κύκλωμα.

3) Ποιος είναι ο τύπος υπολογισμού τάσης, σύμφωνα με τον νόμο του Ohm;

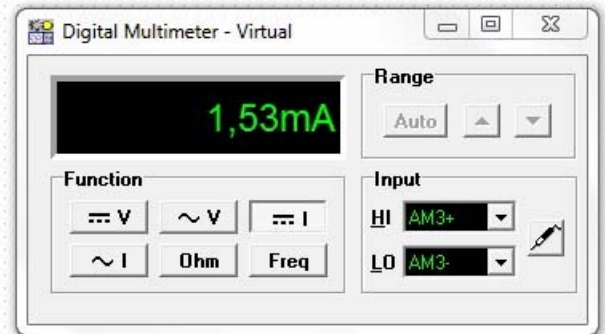
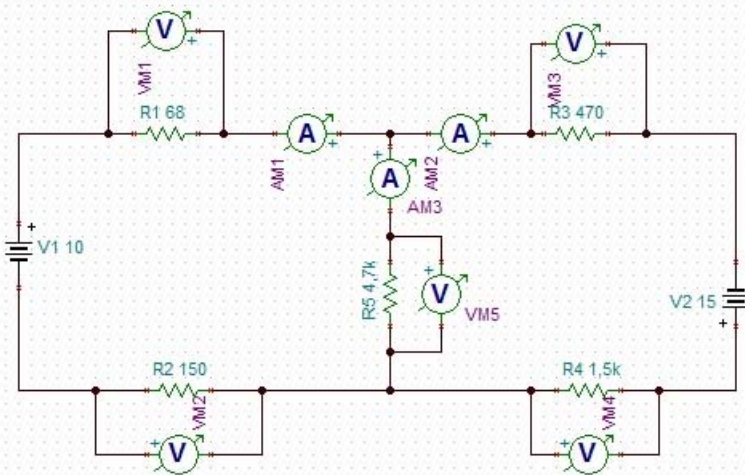
$$V=I \cdot R$$

4) Εάν αυξηθεί η τάση σε ένα κύκλωμα, η ένταση του ρεύματος θα _____;

Αυξηθεί, γιατί σύμφωνα με τον νόμο του Ohm ρεύμα και τάση είναι ανάλογα μεγέθη.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 3

- Υλοποίηση του κυκλώματος και μέτρηση των μεγεθών.



U_{R1}	U_{R2}	U_{R3}	U_{R4}	U_{R5}	I_1	I_2	I_3
870.86mV	1.92V	5.3V	16.91V	7.21V	12.81mA	11.27mA	1.53mA

- Θεωρητική επίλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων.

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$10 - I_1 * R_1 - I_3 * R_5 - I_1 * R_2 = 0$$

$$15 - I_2 * R_4 + I_3 R_5 - I_2 R_3 = 0$$

$$10 - 68I_1 - 4700I_3 - 150I_1 = 0 \Rightarrow$$

$$10 - 218I_1 - 4700I_3 = 0 \quad (1)$$

$$15 - 1500I_2 + 4700I_3 - 470I_2 = 0 \Rightarrow$$

$$15 - 1970I_2 + 4700I_3 = 0 \quad (2)$$

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (3)$$

$$(1)+(3) \Rightarrow 10 - 218I_2 - 4918I_3 = 0 \quad (4)$$

$$(4) * \frac{4700}{4918} \Rightarrow 9.556 - 208.33I_2 - 4700I_3 = 0 \quad (5)$$

$$(2)+(5) \Rightarrow 24,556 - 2178,33I_2 = 0 \Rightarrow$$

$$I_2 = 0,011272A = 11,272mA$$

$$(5) \Rightarrow 9,556 - 208,33 * 0,011272 - 4700I_3 = 0 \Rightarrow$$

$$9,556 - 2,348 - 4700I_3 = 0 \Rightarrow$$

$$4700I_3 = 7,208 \Rightarrow$$

$$I_3 = 0,00153A = 1,53mA$$

$$I_1 = 11,272 + 1,53 = 12,802mA$$

$$U_{R_1} = I_1 * R_1 = 12,802 * 68 = 870,536mV$$

$$U_{R_2} = I_1 * R_2 = 12,802 * 150 = 1920,3mV = 1,92V$$

$$U_{R_3} = I_2 * R_3 = 11,272 * 470 = 5297mV = 5,297V$$

$$U_{R_4} = I_2 * R_4 = 11,272 * 1500 = 16908mV = 16,908V$$

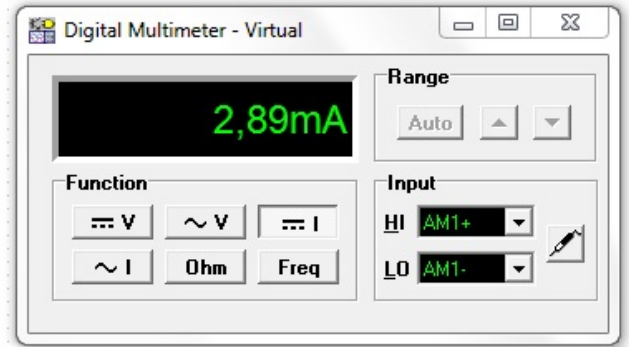
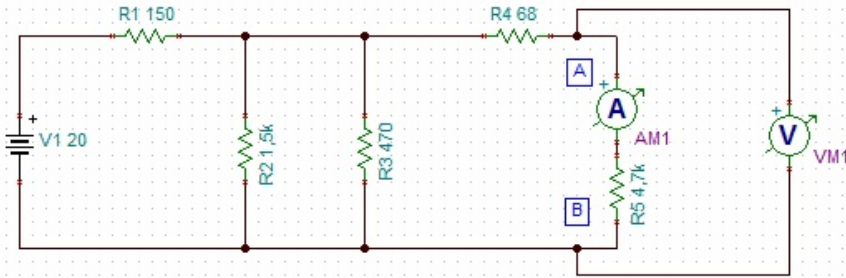
$$U_{R_5} = I_3 * R_5 = 1,53 * 4700 = 7191mV = 7,191V$$

U_{R_1}	U_{R_2}	U_{R_3}	U_{R_4}	U_{R_5}	I_1	I_2	I_3
870,536mV	1,92V	5,297V	16,908V	7,191V	12,802mA	11,27mA	1,53Ma

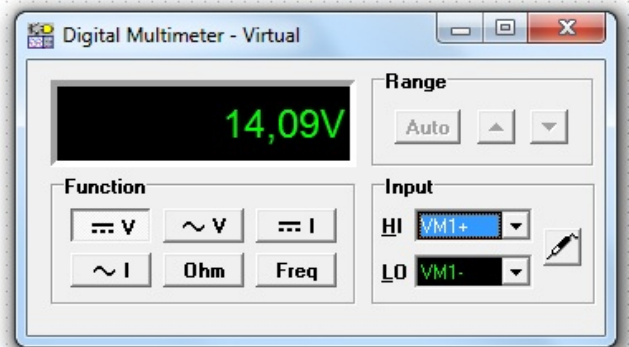
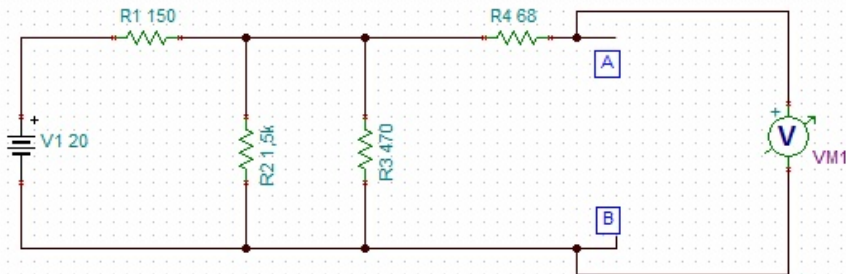
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 4

➤ Μετρήσεις στο κύκλωμα.

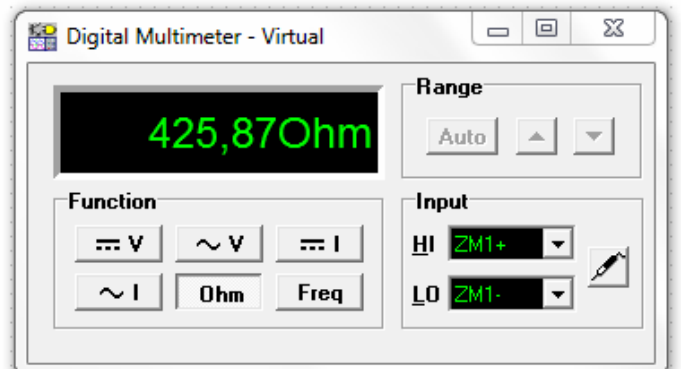
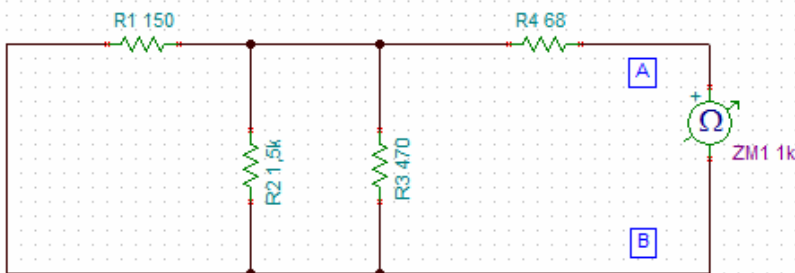
- Με το πολύμετρο μετρήστε την τάση U_{AB} και το ρεύμα της αντίστασης R_5 .



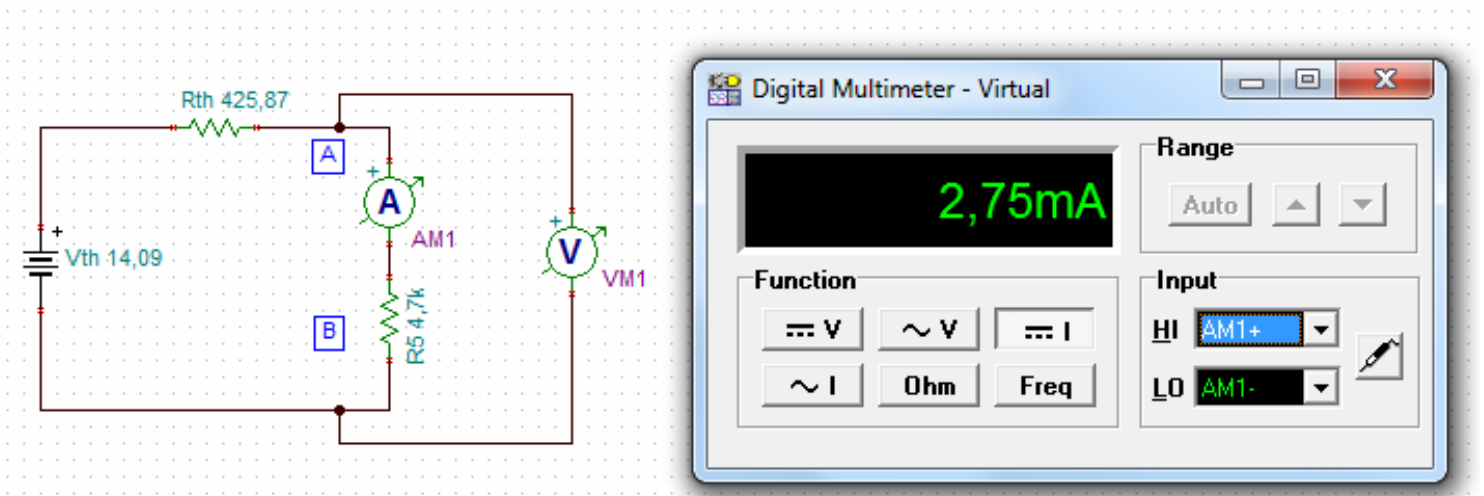
- Αφαιρώντας την αντίσταση R_5 να μετρήσετε την τάση $U_{AB} = U_{th}$



- Αφαιρώντας την αντίσταση R_5 και βραχυκυκλώνοντας την πηγή 20V να μετρήσετε την ισοδύναμη αντίσταση από τα άκρα A,B, $R_{ισοδ} = R_{th}$



- Μετρήστε την τάση $U_{A'B'}$ και το ρεύμα της αντίστασης R_5, I_{R5} .



- Συνολικός πίνακας των μετρήσεων.

U_{AB}	I_{R5}	U_{th}	R_{th}	$U_{A'B'}$	$I_{R5'}$
13,59V	2,89mA	14,09V	425,87Ω	12,91V	2,75mA

- Από τις μετρήσεις αποδεικνύονται τα παρακάτω:

$$U_{A'B'} \approx U_{AB} \Rightarrow 12,91 \approx 13,59$$

$$I_{R5} \approx I \Rightarrow 2,89 \approx 2,75$$

- Θεωρητική επίλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων.

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (1)$$

$$20 - 150 \cdot I_1 - 36 \cdot I_2 = 0 \quad (2)$$

$$68 \cdot I_3 + 4700I_3 - 36I_2 = 0 \quad (3)$$

$$(2) \cap (1) \Rightarrow 20 - 150 \cdot I_2 - 150I_3 - 36 \cdot I_2 = 0 \Rightarrow$$

$$186I_2 + 150I_3 = 20$$

$$186I_2 = 20 - 150I_3$$

$$I_2 = \frac{20}{186} - \frac{150I_3}{186}$$

$$(3) \Rightarrow 68I_3 + 4700I_3 - \frac{20}{186} - \frac{150I_3}{186} = 0$$

$$I_3(68 + 4700 + 0,8064) = 0,11$$

$$I_E = 2,30mA$$

$$U_{AB} = I_E * R_E = 0,0023 * 4700 = 10,857V$$

$$U_{th} = I_E * R_4 = 0,0023 * 68 = 0,15 = 15V$$

$$R_{th} = 68 + 470 = 538\Omega$$

$$15 - I_{R5}' * 538 - I_{R5}' * 4700 = 0$$

$$I_{R5}'(538 + 4700) = 15$$

$$5238I_{R5}' = 15$$

$$I_{R5}' = 0,00286 = 2,86mA$$

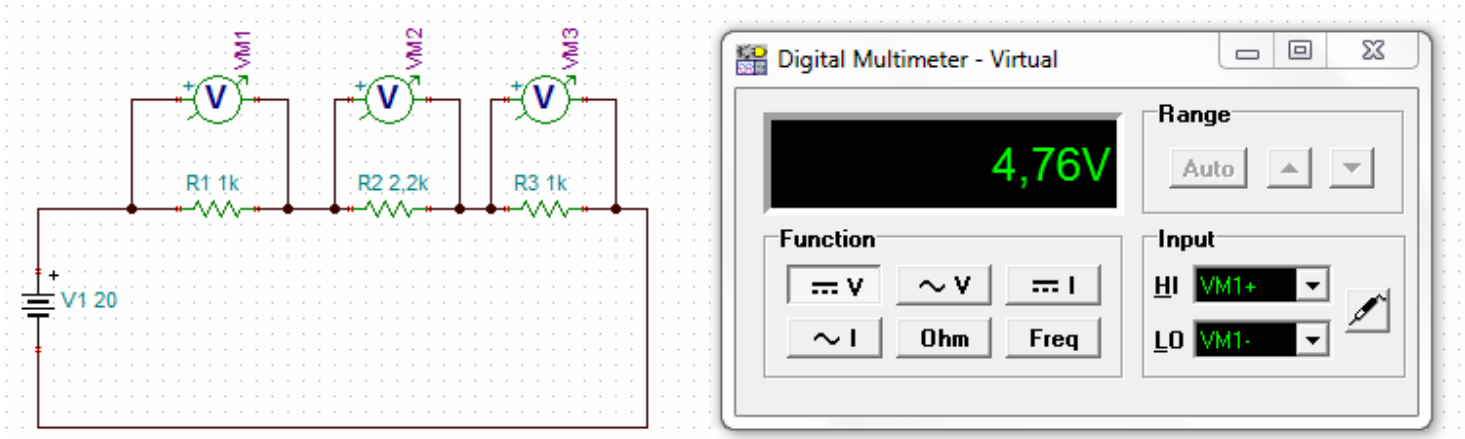
$$U_{A'B'} = 0,00286 * 4700 = 13,46V$$

U_{AB}	I_{R5}	U_{th}	R_{th}	$U_{A'B'}$	I_{R5}'
10,875V	2,30mA	15V	538 Ω	13,46V	2,86mA

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 5

Διαιρέτης τάσης

- Υλοποίηση του κυκλώματος



- Μέτρηση των τάσεων

V_1	V_2	V_3
4,76V	10,48V	4,76V

- Θεωρητικός υπολογισμός των μεγεθών

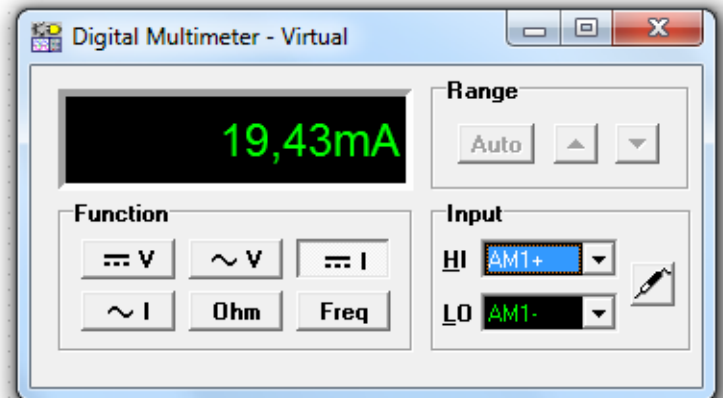
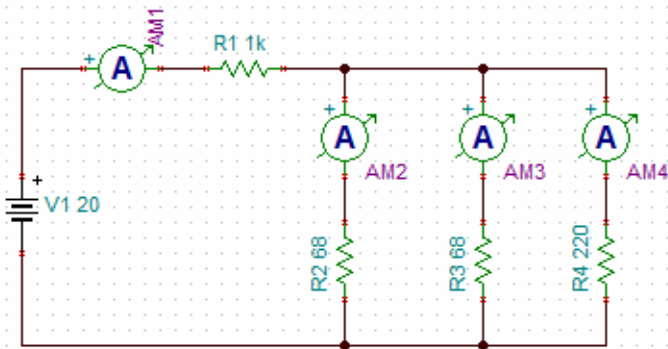
$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} * V = \frac{1000}{1000 + 2200 + 1000} * 20 = 4,76V$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} * V = \frac{2200}{1000 + 2200 + 1000} * 20 = 10,48V$$

$$V_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} * V = \frac{1000}{1000 + 2200 + 1000} * 20 = 4,76V$$

Διαιρέτης ρεύματος

- Υλοποίηση του κυκλώματος



- Μέτρηση των ρευμάτων

I_1	I_2	I_3	I_4
19,43mA	8,41mA	8,41mA	2,6mA

- Θεωρητικός υπολογισμός των μεγεθών

$$20 - 1000I - 30I = 0$$

$$1030I = 20$$

$$I_1 = 0,01941 = 19,41\text{mA}$$

$$I_2 = \frac{\frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} * I = \frac{0,0147}{0,0147 + 0,0147 + 0,0045} * 0,01941 = 8,41\text{mA}$$

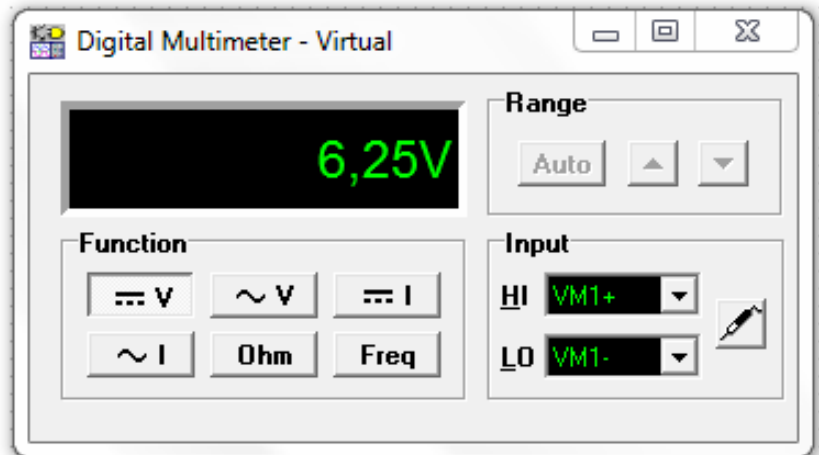
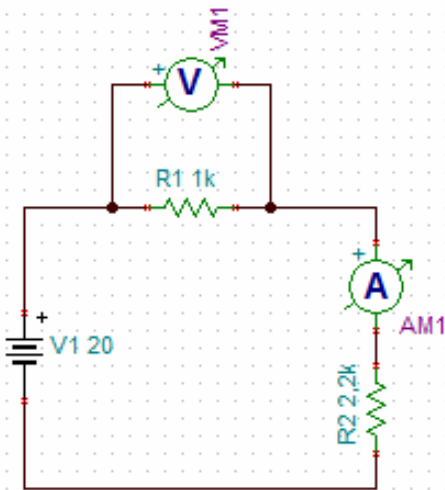
$$I_3 = \frac{\frac{1}{R_3}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} * I = \frac{0,0147}{0,0147 + 0,0147 + 0,0045} * 0,01941 = 8,41\text{mA}$$

$$I_4 = \frac{\frac{1}{R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} * I = \frac{0,0045}{0,0147 + 0,0147 + 0,0045} * 0,01941 = 2,6\text{mA}$$

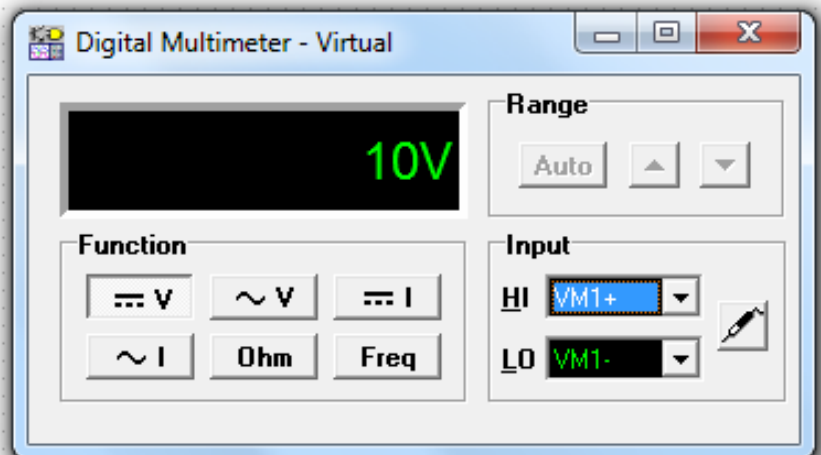
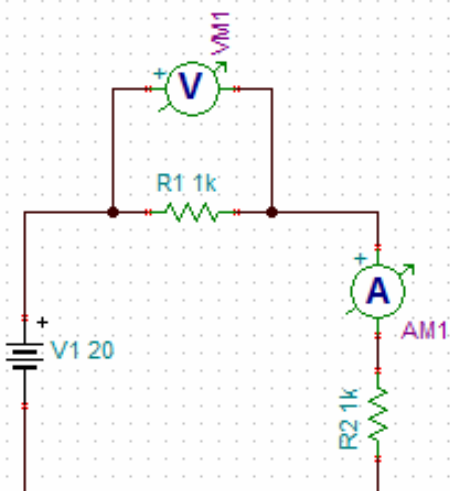
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 6

Μέγιστη μεταφορά ισχύος

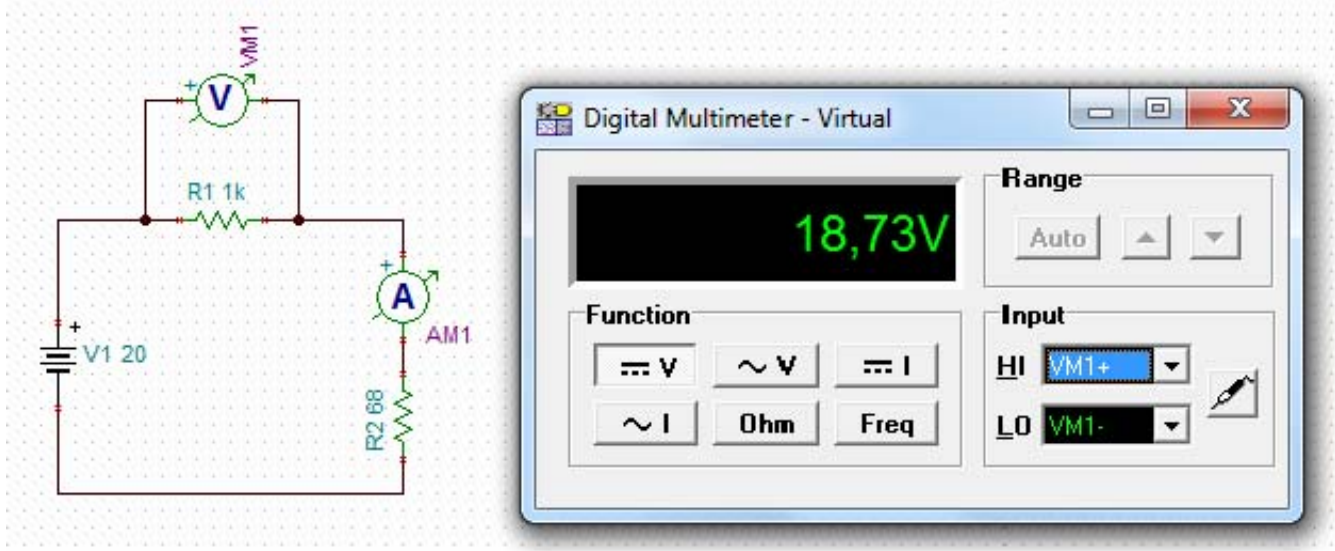
- Υλοποίηση κυκλώματων



$$V_1=6,25V \quad I_1=6,25mA$$



$$V_2=10V \quad I_2=10mA$$



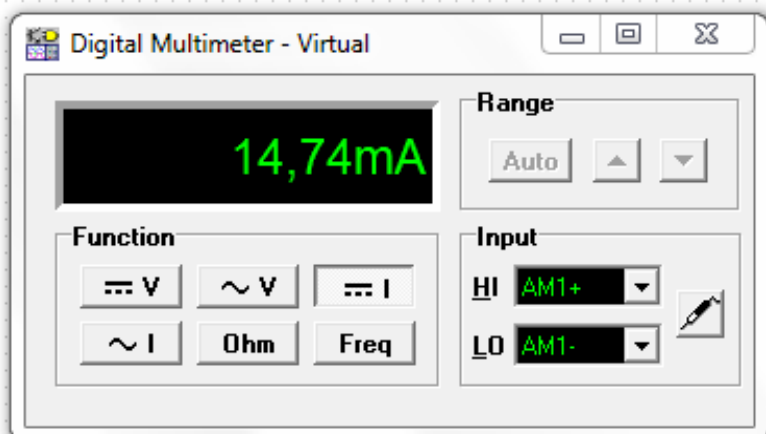
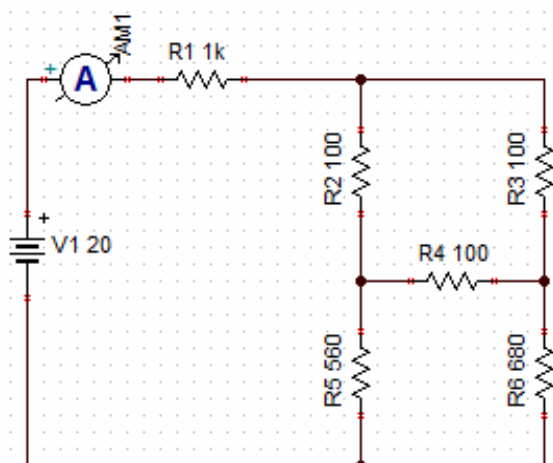
$$V_3=18,73V \quad I_3=18,73mA$$

$P_1=V_1 \cdot I_1$	$P_2=V_2 \cdot I_2$	$P_3=V_3 \cdot I_3$
0,039W	0,01W	0,35W

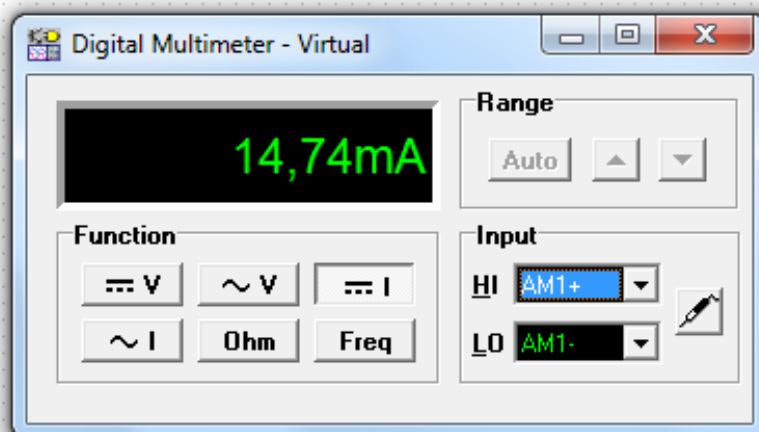
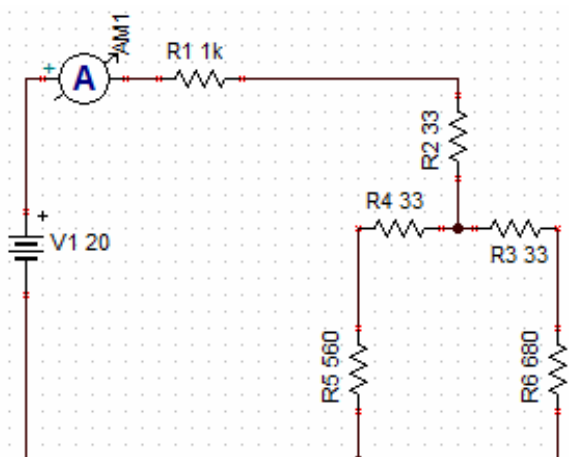
Μεγαλύτερη μεταφορά ισχύος έχουμε στην αντίσταση R_4 που είναι και η πιο μικρή άρα προκαλεί και την μικρότερη αντίσταση.

Μετασχηματισμός τριγώνου σε αστέρα

1. Υλοποίηση κυκλώματος και μέτρηση του I_1 .



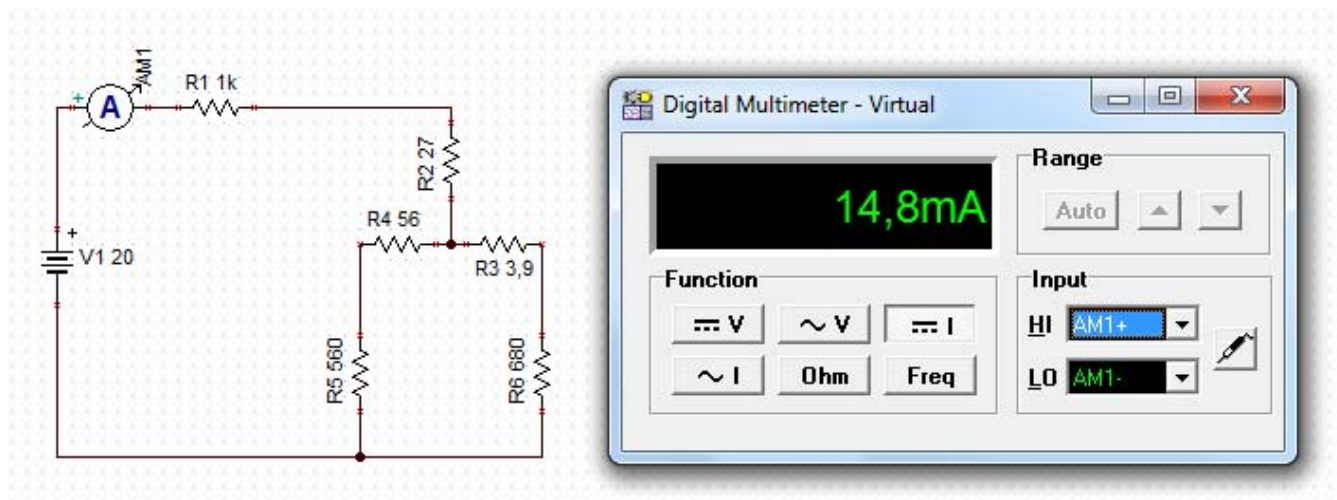
2. Υλοποίηση του δεύτερου κυκλώματος και μέτρηση του I_2 .



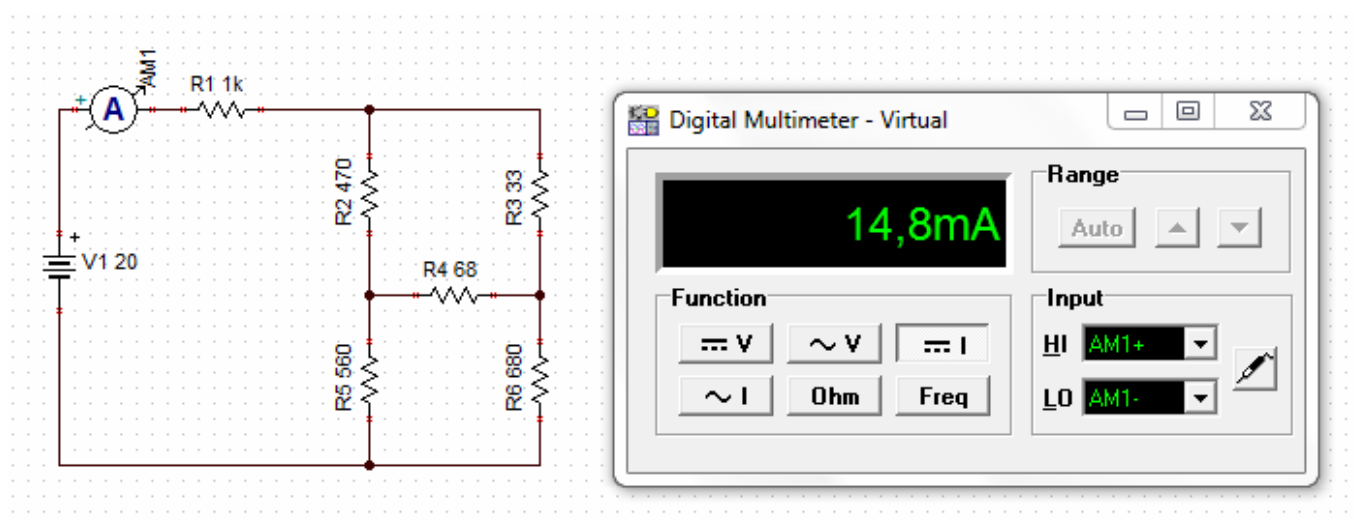
3. Στα δύο κυκλώματα τα ρεύματα είναι ίδια. Αυτό συμβαίνει από το μετασχηματισμό του τριγώνου σε αστέρα γιατί ουσιαστικά δημιουργούμε το ίδιο κύκλωμα αλλά με άλλες αντιστάσεις και με άλλη συνδεσμολογία.

Μετασχηματισμός αστέρα σε τρίγωνο

1. Υλοποίηση κυκλώματος και μέτρηση του I_1 .



2. Υλοποίηση του δεύτερου κυκλώματος και μέτρηση του I_2 .



3. Στα δύο κυκλώματα τα ρεύματα είναι ίδια. Αυτό συμβαίνει από το μετασχηματισμό του αστέρα σε τρίγωνο γιατί ουσιαστικά δημιουργούμε το ίδιο κύκλωμα αλλά με άλλες αντιστάσεις και με άλλη συνδεσμολογία.

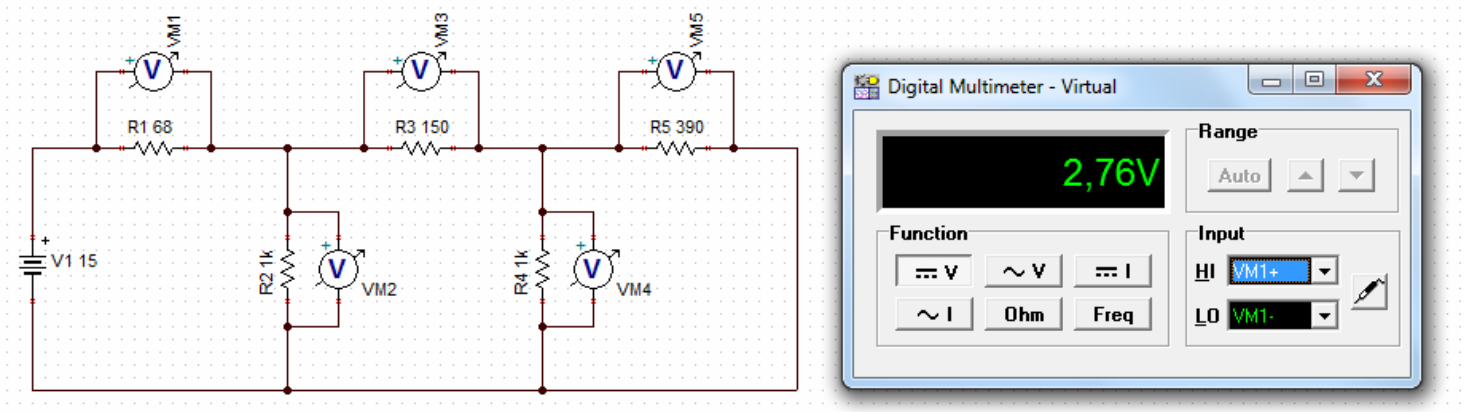
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 7

Υπέρθεση

1. Υλοποίηση του κυκλώματος και μέτρηση των τάσεων.

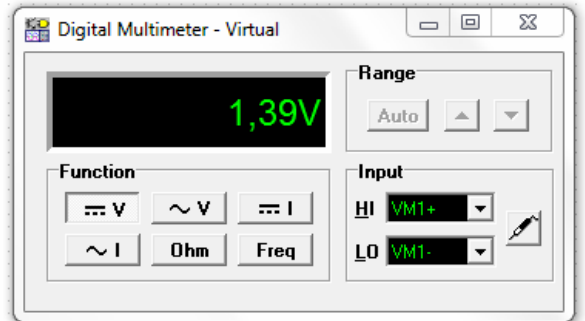
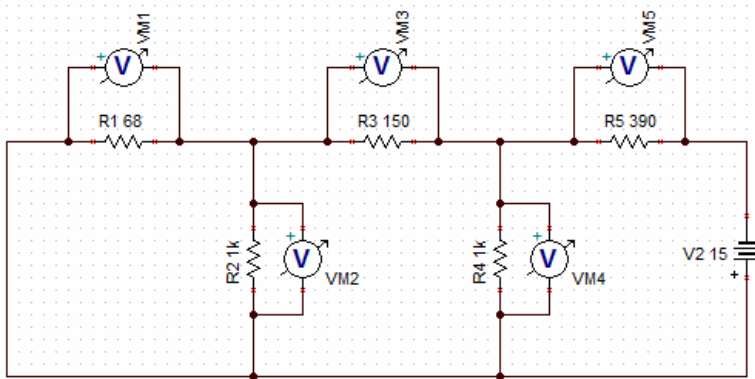
Πίνακας 1

R_a	R_b	R_c	R_d	R_e
3,66V	11,34V	7,71V	3,63V	18,63V



Πίνακας 2

R_a	R_b	R_c	R_d	R_e
2,21V	12,79V	4,46V	8,34V	8,34V



Πίνακας 3

R_a	R_b	R_c	R_d	R_e
1,45V	-1,45V	3,25V	-4,71V	10,33V

Παρατηρούμε ότι το άθροισμα των τάσεων στις περιπτώσεις που αφαιρούμε μία μία τις πηγές τάσης είναι το ίδιο όπως στο αρχικό κύκλωμα που έχουμε συνδεδεμένες και τις δύο τάσεις μαζί. Επίσης και το ολικό άθροισμα των τάσεων στους Πίνακες 2 και 3 είναι ίδιο με το ολικό άθροισμα του αρχικού κυκλώματος.

Μέθοδος κόμβων

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

$$I_C + I_D + I_E = 0$$

$$\frac{V_1 - U_M}{R_a} + \frac{V_1}{R_b} + \frac{V_1 - V_2}{R_c} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{V_1 - V_2}{R_c} - \frac{V_2}{R_d} + \frac{-U_n - V_2}{R_e} = 0 \quad (2)$$

$$(1) \Rightarrow \frac{V_1}{68} - \frac{15}{68} + \frac{V_1}{4700} + \frac{V_1}{150} - \frac{V_2}{150} = 0 \Rightarrow$$

$$0.015V_1 - 0.22 + 0.00021V_1 + 0.0067V_2 \Rightarrow$$

$$0.01521V_1 + 0.0067V_2 = 0.22 \quad (3)$$

$$(2) \Rightarrow \frac{V_1}{150} - \frac{V_2}{150} - \frac{V_2}{1000} - \frac{15}{390} - \frac{V_2}{390} = 0 \Rightarrow$$

$$0.0067V_1 - 0.0103V_2 = 0.038 \Rightarrow$$

$$0.0067V_1 = 0.038 + 0.0103V_2 \Rightarrow$$

$$V_1 = 5.67 + 1.54V_2 \quad (4)$$

$$(3) + (4) \Rightarrow 0.01521(5.67 + 1.54V_2) + 0.0067V_2 = 0.22$$

$$0.0297V_2 = 0.134$$

$$V_2 = 4.5V$$

$$(4) \Rightarrow V_1 = 5.67 + 6.93 = 12.6V$$

$$I_1 = \frac{V_1 - U_M}{R_a} = -35mA$$

$$I_2 = \frac{V_1}{R_b} = 2.6mA$$

$$I_3 = \frac{V_1 - V_2}{R_c} = 54mA$$

$$I_4 = -\frac{V_2}{R_d} = -4.5mA$$

$$I_5 = \frac{-U_n - V_2}{R_e} = -50mA$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Επίλυση των εργαστηριακών ασκήσεων με το πρόγραμμα Tina
ΤΙ και επαλήθευση με τα αποτελέσματα του εργαστηρίου