



**Πανεπιστήμιο Κύπρου**  
**Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών**  
**Υπολογιστών**

**Εργαστήριο Κυκλωμάτων και Μετρήσεων**

**Εργαστήριο 6**  
**Θεώρημα Thevenin**

**Λευκωσία, 2010**

## Εργαστήριο 6

### Θεώρημα Thevenin

#### Σκοπός:

Σκοπός του εργαστηρίου αυτού είναι

- Η εφαρμογή και η επαλήθευση του θεωρήματος Thevenin.
- Ο υπολογισμός και η κατασκευή ισοδύναμου κυκλώματος Thevenin.

#### Εργαστηριακός Εξοπλισμός

- Πηγή Τάσης
- Ψηφιακό Πολύμετρο (DMM Multimeter)
- Πλακέτα Κατασκευής Κυκλωμάτων (Breadboard)
- Σετ καλωδίων
- Ποτενσιόμετρα 22 k $\Omega$ , 10k $\Omega$
- Αντιστάσεις:
  - 1x1.2 k $\Omega$ , 1x3.3 k $\Omega$ , 1x10 k $\Omega$ .
  - 1x300, 1x680, 2x1.0 k, 2x1.2 k, 1x2.2 k, 1x3.3 k, 1x3.9 k, 1x5.6 k, 1x 6.6 k, 1x10 k  $\Omega$ .

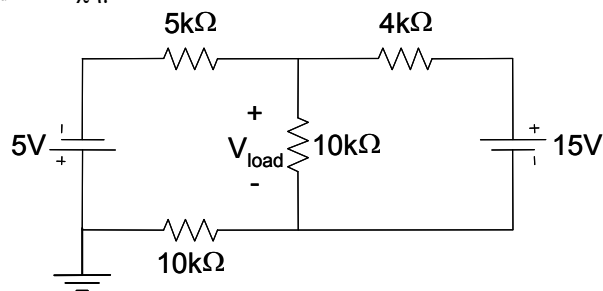
## Προπαρασκευαστική Μελέτη

Πριν την παρακολούθηση του εργαστηρίου απαιτείται η μελέτη των

- Εργαστήριο 6 - Θεώρημα Thevenin

### Πρόβλημα 6.1 (Θεωρητική Άσκηση)

- Βρείτε την  $V_{load}$  στο σχήμα P1.

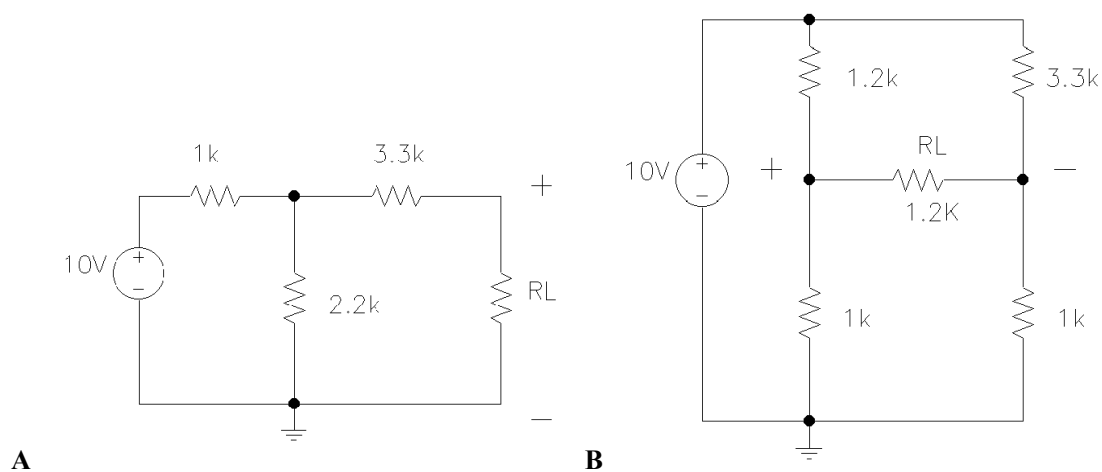


Σχήμα P1: Πρόβλημα 1.

- Εξηγήστε γιατί χρησιμοποιώντας ένα ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin γίνεται η ανάλυση κυκλωμάτων ευκολότερη;

### Πρόβλημα 6.2 (SPICE)

- Υλοποιήστε το κύκλωμα σε SPICE και βρείτε το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin του δικτύου στο σχήμα P2 A, αφαιρώντας την  $R_L$ . Προσθέστε την  $R_L = 1.2\text{ k}\Omega$  και βρείτε το  $I_L$  και  $V_L$  Για το αρχικό και για το ισοδύναμο κύκλωμα.
- Επαναλάβετε το προηγούμενο βήμα για το κύκλωμα του σχήματος P2 B.



Σχήμα P2

## Θεωρία

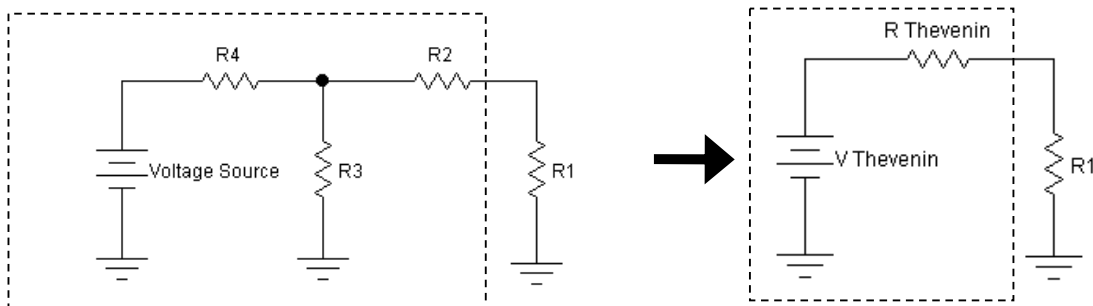
### Ισοδύναμο Thevenin

Σε αυτό το πείραμα θα εξοικειωθείτε με ένα από τα σημαντικότερα θεωρήματα στην ανάλυση κυκλωμάτων, το θεώρημα Thevenin. Το θεώρημα του Thevenin μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δύο λόγους:

- Για να υπολογιστεί το ρεύμα μέσω ενός στοιχείου (ή η τάση στα άκρα του) σε οποιοδήποτε κύκλωμα,
- ή
- Για να αναπτυχθεί ένα σταθερό ισοδύναμο κύκλωμα τάσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απλοποιήσει την ανάλυση ενός σύνθετου κυκλώματος.

Οποιοδήποτε γραμμικό δίκτυο μπορεί να “αντικατασταθεί” με μια **πηγή τάσης σε σειρά με μια αντίσταση (σχήμα 1 πιο κάτω)**. Η πηγή τάσης καλείται ισοδύναμη τάση Thevenin, και η αντίσταση καλείται ισοδύναμη αντίσταση Thevenin. Αυτό σημαίνει ότι η πηγή τάσης με την αντίσταση σε σειρά έχουν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά με το μέρος του κυκλώματος που αντικαθιστούν.

Σε αυτό το πείραμα, θα χρησιμοποιήσουμε το θεώρημα Thevenin για να λύσουμε ένα σύνθετο κύκλωμα DC.

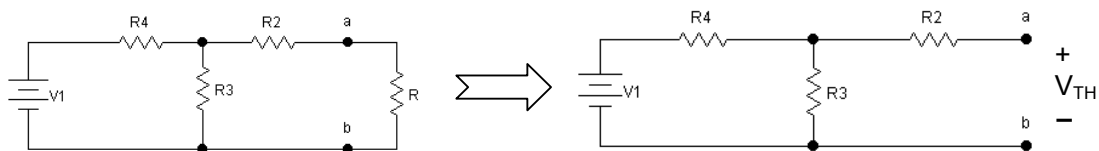


**Σχήμα 1:** Ένα δίκτυο που αντικαθίσταται με το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin του.

Τα βήματα που χρησιμοποιούνται για το θεώρημα Thevenin παρατίθενται πιο κάτω:

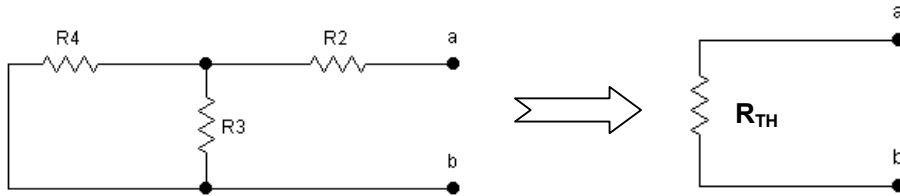
#### Βήμα 1

Αφαιρέστε την αντίσταση ( $R$ ) μέσω της οποίας επιθυμείτε να υπολογίσετε το ρεύμα ή την τάση στα άκρα της. Ονομάστε αυτά τα τερματικά (όπου η αντίσταση αφαιρέθηκε) “a” και “b”. Υπολογίστε την τάση σε αυτά τα ανοικτά τερματικά. Αυτή ονομάζεται τάση ανοικτού κυκλώματος ή ισοδύναμη τάση Thevenin,  $V_{TH}$ .

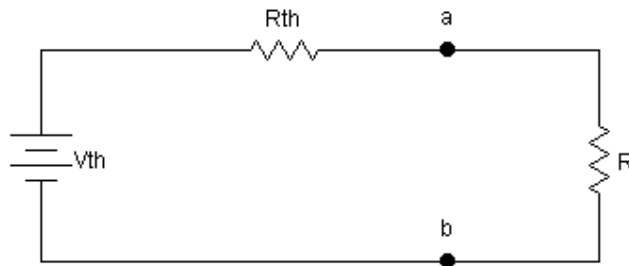


## Βήμα 2

Από τα ανοικτά τερματικά, ("a" και "b") υπολογίστε την αντίσταση "**κοιτάζοντας**" από τα ανοικτά τερματικά με όλες τις πηγές τάσης να αφαιρούνται και να αντικαθίστανται από τις εσωτερικές αντιστάσεις τους (εάν  $R_{\text{Internal}} = 0$ , αντικαταστήστε την πηγή τάσης με **βραχυκύκλωμα**). Αυτή η αντίσταση είναι η  $R_{\text{TH}}$ .



Τώρα έχουμε τα συστατικά που χρειαζόμαστε για να δημιουργήσουμε το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin όπως παρουσιάζεται πιο κάτω με τη χρησιμοποίηση των ισοδύναμων τιμών τάσης Thevenin και αντίστασης.



## Βήμα 3

Το ρεύμα (μέσω της R) το οποίο επιθυμούμε να υπολογίσουμε θα είναι:

$$I_R = \frac{V_{\text{TH}}}{R_{\text{TH}} + R}$$

και η τάση στα άκρα της R θα είναι:

$$V_R = IR = \frac{V_{\text{TH}} R}{R_{\text{TH}} + R}$$

όπου:  $V_{\text{TH}}$  είναι η ισοδύναμη τάση Thevenin βρήκαμε στο βήμα 1,  $R_{\text{TH}}$  είναι η ισοδύναμη αντίσταση Thevenin που βρήκαμε στο βήμα 2, και  $R$  είναι η τιμή της αντίστασης που αφαιρέσαμε στο βήμα 1.

## Μέγιστη μεταφορά ισχύος

Η ισχύς σε ένα φορτίο με αντίσταση  $R_L$  είναι

$$P = IV = \frac{V^2}{R} = I^2 R$$

Μπορούμε να δείξουμε ότι, για οποιοδήποτε κύκλωμα, έχουμε μέγιστη μεταφορά ισχύος στο φορτίο όταν το φορτίο είναι

$$R_L = R_{th}$$

## Πειραματική Εργασία

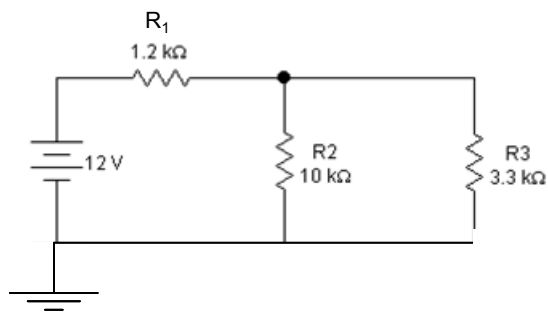
### Εργαστηριακή Άσκηση 6.1 – Θεώρημα Thevenin A

#### Στόχοι

- Η εφαρμογή και η επαλήθευση του θεωρήματος Thevenin.
- Ο υπολογισμός και η κατασκευή ισοδύναμου κυκλώματος Thevenin.

#### Διαδικασία

1. Συνδέστε το κύκλωμα **του σχήματος 1.1**. Θα χρησιμοποιήσουμε το θεώρημα Thevenin για να βρούμε το ρεύμα μέσω της  $R_3$ .



Σχήμα 1.1

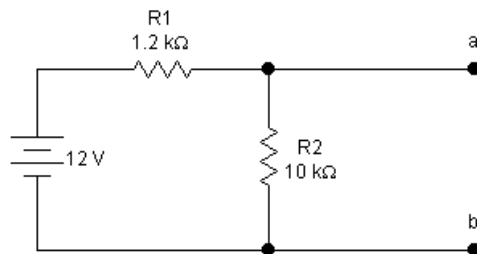
2. Μετρήστε το ρεύμα μέσω της  $R_3$  και την τάση στα άκρα της .

$I_{R3} =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

$V_{R3} =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

3. Θα χρησιμοποιήσετε τώρα το θεώρημα Thevenin για να υπολογίσετε το ρεύμα μέσω της  $R_3$ , ακολουθώντας τα βήματα που περιγράφονται στην εισαγωγή. **ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΤΕ ΟΛΗ ΤΗ ΔΟΥΛΕΙΑ ΣΑΣ στο χώρο πιο κάτω.** Καταγράψτε τα αποτελέσματα για κάθε βήμα.

Στο σχήμα 1.2, το οποίο είναι το σχήμα 1.1 χωρίς την  $R_3$ , υπολογίστε την  $V_{TH}$ . **Δείξτε όλα τα βήματα για τον υπολογισμό.**



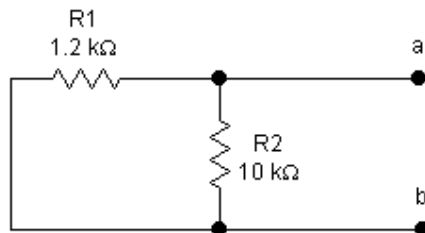
Σχήμα 1.2

$V_{TH} =$  \_\_\_\_\_ (υπολογισμός)

4. Επαληθεύστε την ισοδύναμη τάση Thevenin με μέτρηση: Κατασκευάστε το κύκλωμα στο σχήμα 1.2, και μετρήστε την  $V_{TH}$ .

$V_{TH} =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

5. Κατασκευάστε το κύκλωμα στο σχήμα 1.3, το οποίο είναι το σχήμα 1.1 χωρίς την  $R_3$  και με την πηγή τάσης 12 V αντικατεστημένη με βραχυκύκλωμα. Υπολογίστε την  $R_{TH}$  στο σχήμα 1.3 δείχνοντας τους υπολογισμούς σας πιο κάτω.



Σχήμα 1.3

$R_{TH} =$  \_\_\_\_\_ (υπολογισμός)

6. Επαληθεύστε τον υπολογισμό της  $R_{TH}$  με μέτρηση. Ενώστε το κύκλωμα του σχήματος 1.3 και μετρήστε την ισοδύναμη αντίσταση ( $R_{TH}$ ) στα άκρα a και b.

$R_{TH} =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

7. Σχεδιάστε πιο κάτω το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin, χρησιμοποιώντας τις τιμές για την  $V_{TH}$  και  $R_{TH}$  που μετρήσατε.

8. Θεωρώντας ότι έχετε για φορτίο την  $R_3$ , υπολογίστε το  $I_{R3}$  χρησιμοποιώντας το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin (τη  $V_{TH}$  και  $R_{TH}$  που βρήκατε προηγουμένως).

$$I_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (υπολογισμός)}$$

9. Συγκρίνετε το ρεύμα που μετρήσατε στο βήμα 2 (αρχικό κύκλωμα) και το ρεύμα που υπολογίσατε στο βήμα 8 πιο πάνω (χρησιμοποιώντας το θεώρημα Thevenin). Εάν δεν είναι κοντά οι τιμές, βρείτε το λόγο για την απόκλιση. Σχολιάστε τα αποτελέσματα.

---

---

---

---

10. Κατασκευάστε το κύκλωμα του σχήματος στο βήμα 7. Για την  $R_{TH}$  χρησιμοποιήστε ένα ποτενσιόμετρο (10 k $\Omega$ ), το οποίο μπορείτε να ρυθμίσετε στην τιμή  $R_{TH}$  του βήματος 7.

11. Μετρήστε το ρεύμα μέσω της  $R_3$  και την τάση στα άκρα της  $R_3$  στο κύκλωμα του βήματος 7. Καταγράψτε τα πιο κάτω:

$$I_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (μέτρηση)}$$

$$V_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (μέτρηση)}$$

12. Συγκρίνετε τις μετρήσεις με τα αποτελέσματα του μέρους 2 (αρχικό κύκλωμα). Εάν τα αποτελέσματα δεν είναι κοντά, βρείτε το λόγο για την απόκλιση. Σχολιάστε τα αποτελέσματα.

---

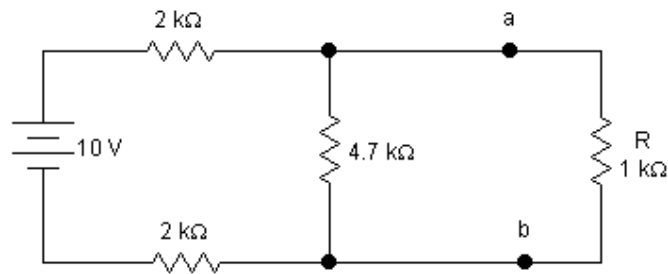
---

---

---

## Μετα-εργαστηριακή Εργασία

1. Τι σημαίνει η λέξη "ισοδύναμη" στα ισοδύναμα κυκλώματα Thevenin;
2. Ποια είναι η πρακτική αξία των ισοδύναμων κυκλωμάτων Thevenin; Δώστε διάφορες πρακτικές εφαρμογές στις οποίες τα ισοδύναμα κυκλώματα Thevenin χρησιμοποιούνται.
3. Για το ακόλουθο κύκλωμα, εφαρμόστε το θεώρημα Thevenin για να βρείτε το ρεύμα μέσω της  $R$ . Δείξτε το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin που χρησιμοποιήσατε και τις τιμές  $R_{TH}$  και  $V_{TH}$  που βρήκατε.



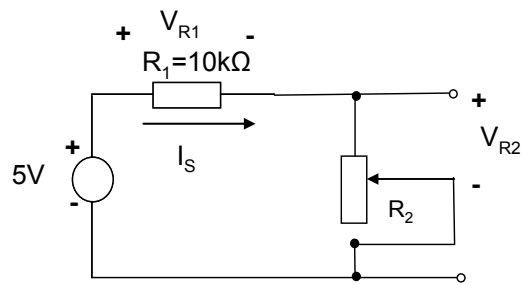
## Εργαστηριακή Άσκηση 6.2 - Μέγιστη μεταφορά ισχύς

### Στόχοι

- Εφαρμογή και επαλήθευση του θεωρήματος μεταφοράς μέγιστης ισχύος

### Διαδικασία

- Κατασκευάστε το κύκλωμα που παρουσιάζεται πιο κάτω.



Σχήμα 2.1

- Μετρήστε την πραγματική τιμή της  $R_1$ .

$R_1 =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

- Ρυθμίστε το ποτενσιόμετρο (22 kΩ) έτσι ώστε η τάση στα άκρα της  $R_1$ , ( $V_{R1}$ ) να γίνει 5 V dc. Καταγράψτε την  $V_{R1}$  και την τάση στα άκρα του ποτενσιόμετρου, ( $V_{R2}$ ) στον πίνακα 2.1.
- Ρυθμίστε το ποτενσιόμετρο ούτως ώστε η  $V_{R1}$  να γίνει 4.5 V dc και καταγράψτε την  $V_{R1}$  και  $V_{R2}$ .
- Μειώστε την  $V_{R1}$  κατά 0.5 V dc και καταγράψτε τις νέες τάσεις. Ακολουθήστε αυτήν τη διαδικασία έως ότου έχετε φθάσει και έχετε καταγράψει την ελάχιστη τάση που μπορεί να ληφθεί για την  $V_{R1}$ .
- Υπολογίστε το ρεύμα στο κύκλωμα σειράς,  $I_s$ , την αντίσταση του ποτενσιόμετρου,  $R_2$ , και την ισχύ που παραδίδεται στο ποτενσιόμετρο σε mW.
- Σε ποια περίπτωση καταλήγει η μέγιστη δυνατή ισχύς στο ποτενσιόμετρο; Σχολιάστε τα αποτελέσματά σας.

---

---

---

---

**Πίνακας 2.1**

| $V_{R1}$<br>(V) | $V_{R2}$<br>(V) | $I_s$<br>(mA) | $R_2$<br>(k $\Omega$ ) | $P_{R2}$<br>(mW) |
|-----------------|-----------------|---------------|------------------------|------------------|
|                 |                 |               |                        |                  |
|                 |                 |               |                        |                  |
|                 |                 |               |                        |                  |
|                 |                 |               |                        |                  |
|                 |                 |               |                        |                  |
|                 |                 |               |                        |                  |
|                 |                 |               |                        |                  |
|                 |                 |               |                        |                  |
|                 |                 |               |                        |                  |
|                 |                 |               |                        |                  |
|                 |                 |               |                        |                  |

### Μετα-εργαστηριακή Εργασία

1. Σχεδιάσετε την ισχύ που παραδίδεται στην  $R_2$  σε mW, σε συνάρτηση με την  $R_2$ . Θα είναι πιο εύκολο αν εισάγετε τα αποτελέσματά σας σε ένα πρόγραμμα spreadsheet (για παράδειγμα EXCEL.)
2. Στο συμπέρασμά σας, αναφέρετε κατά πόσο η γραφική παράσταση της  $P$  σε συνάρτηση με την αντίσταση του ποτενσιόμετρου επαληθεύουν το θεώρημα της μεταφοράς μέγιστης ισχύς.
3. Καθορίστε την αντίσταση για το ποτενσιόμετρο για μεταφορά μέγιστης ισχύς.
4. Χρησιμοποιήστε το θεώρημα μέγιστης ισχύς για να αποδείξετε και μαθηματικά το αποτέλεσμά σας.

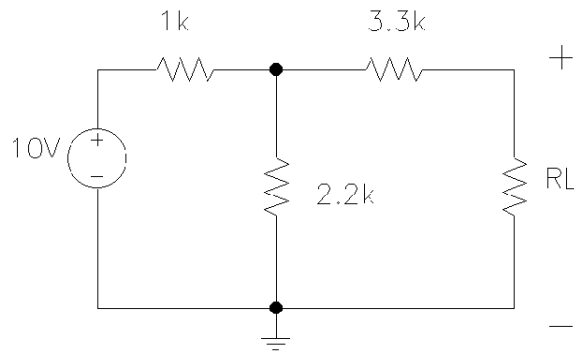
## Εργαστηριακή Άσκηση 6.3 – Ισοδύναμο Thevenin και μέγιστη μεταφορά ισχύος

### Στόχοι

- Η εφαρμογή του θεωρήματος Thevenin.
- Η επαλήθευση του θεωρήματος Thevenin.
- Η κατασκευή ισοδύναμου κυκλώματος Thevenin.

### Διαδικασία

1. Κατασκευάστε το κύκλωμα στο σχήμα 3.1. Μετρήστε το  $I_{TH}$ ,  $V_{TH}$ , και  $R_{TH}$  για το κύκλωμα σας χρησιμοποιώντας τη διαδικασία που εξηγήσαμε προηγουμένως.



Σχήμα 3.1

$I_{TH} =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

$V_{TH} =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

$R_{TH} =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

2. Χρησιμοποιήστε  $R_L = 1.2 \text{ k}\Omega$  για φορτίο στο σχήμα 1. Μετρήστε το  $I_L$  και  $V_L$ .

$I_L =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

$V_L =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

3. Αντικαταστήστε τα στοιχεία στο δίκτυο του σχήματος 3.1, εκτός της  $R_L$ , με το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin και μετρήστε το  $I_L$  και  $V_L$ . Χρησιμοποιήστε το ποτενσιόμετρο για την  $R_{TH}$ .

$I_L =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

$V_L =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

4. Χρησιμοποιήστε το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin και τις ακόλουθες τιμές αντιστάσεων για το φορτίο: 1 k, 2.2 k, 3.9 k, 6.8 k, 10 k  $\Omega$ . Μετρήστε την τάση στα άκρα του φορτίου και καταγράψτε την στον πίνακα 3.1.

5. Υπολογίστε την ισχύ που παραδίδεται στο φορτίο από την εξίσωση:  $P=V^2/R$  και καταγράψτε την στον πίνακα 3.1.

**Πίνακας 3.1**

| $R_L$<br>(k $\Omega$ ) | $V_L$<br>(V) | $P$<br>(mW) |
|------------------------|--------------|-------------|
| 1                      |              |             |
| 2.2                    |              |             |
| 3.9                    |              |             |
| 6.8                    |              |             |
| 10                     |              |             |

6. Σε ποια περίπτωση καταλήγει η μέγιστη δυνατή ισχύς στην  $R_L$ ; Γιατί είναι σημαντική η  $R_{th}$ ; Σχολιάστε τα αποτελέσματά σας.

---



---

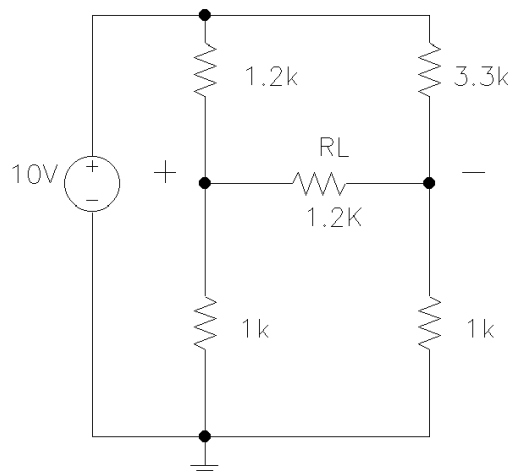


---



---

7. Κατασκευάστε το κύκλωμα του σχήματος 3.2. Μετρήστε το  $I_{TH}$ ,  $V_{TH}$  και  $R_{TH}$  για το κύκλωμα με τη διαδικασία που εξηγήσαμε προηγουμένως.



**Σχήμα 3.2**

$I_{TH} =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

$V_{TH} =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

$R_{TH} =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

8. Χρησιμοποιήστε  $R_L = 1.2\text{ k}\Omega$  για φορτίο στο σχήμα 3.2. Μετρήστε το  $I_L$  και  $V_L$ .

$I_L =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

$V_L =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

9. Αντικαταστήστε τα στοιχεία στο δίκτυο του σχήματος 3.2, εκτός της  $R_L$ , με το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin και μετρήστε το  $I_L$  και  $V_L$ .

$I_L =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

$V_L =$  \_\_\_\_\_ (μέτρηση)

10. Χρησιμοποιήστε το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin και τις ακόλουθες τιμές αντιστάσεων για το φορτίο: 300, 680, 1.2 k, 3.3 k, 5.6 kΩ. Μετρήστε την τάση στα άκρα του φορτίου και καταγράψτε την στον πίνακα 3.2.

11. Υπολογίστε την ισχύ που παραδίδεται στο φορτίο και καταγράψτε την στον πίνακα 3.2.

**Πίνακας 3.2**

| $R_L$<br>(kΩ) | $V_L$<br>(V) | P<br>(mW) |
|---------------|--------------|-----------|
| 0.300         |              |           |
| 0.680         |              |           |
| 1.2           |              |           |
| 3.3           |              |           |
| 5.6           |              |           |

12. Σε ποια περίπτωση καταλήγει η μέγιστη δυνατή ισχύς στην  $R_L$ ; Γιατί είναι σημαντική η  $R_{th}$ ; Σχολιάστε τα αποτελέσματά σας.

---



---



---



---

### Μετά-εργαστηριακή Εργασία

- Συγκρίνετε σε έναν πίνακα το  $I_L$  και  $V_L$  για κάθε κύκλωμα χρησιμοποιώντας το αρχικό και ισοδύναμο κύκλωμα. Εξηγήστε οποιαδήποτε απόκλιση.
- Συγκρίνετε σε έναν πίνακα την ισχύ που παραδίδεται στο φορτίο και από τα δύο. Τι μπορείτε να συμπεράνετε από τα αποτελέσματα; (Η  $R_{TH}$  είναι σημαντική).