



## Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας



---

## Ηλεκτροτεχνία, ηλ. μηχανές & εγκαταστάσεις πλοίου (Ε)

Ενότητα 4: Το θεώρημα του Thevenin & το θεώρημα του Norton

Δημήτριος - Νικόλαος Παγώνης

Τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών ΤΕ

---



Το περιεχόμενο του μαθήματος διατίθεται με άδεια Creative Commons εκτός και αν αναφέρεται διαφορετικά



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

## **Περιεχόμενα**

Άσκηση 4 .....	3
Θεωρία .....	4
Πορεία Εργασίας.....	9
Τεχνική έκθεση.....	13

## **Περιεχόμενα εικόνων**

Εικόνα 4.1: Εικόνα βήματος 8 .....	10
Εικόνα 4.2: Εικόνα βήματος 17 .....	11
Εικόνα 4.3: Εικόνα βήματος 24 .....	12

## **Περιεχόμενα σχημάτων**

Σχήμα 4.1 .....	4
Σχήμα 4.2.....	5
Σχήμα 4.3.....	5
Σχήμα 4.4.....	5
Σχήμα 4.5.....	6
Σχήμα 4.6.....	7
Σχήμα 4.7.....	7
Σχήμα 4.8.....	8
Σχήμα 4.9: Σχήμα βήματος 7 .....	9
Σχήμα 4.10: Σχήμα βήματος 25 .....	13

## Άσκηση 4

Αντικείμενο:

- Θεώρημα του Thevenin
- Θεώρημα του Norton

Στόχοι αυτού του πειράματος:

- Κατανόηση και εφαρμογή του θεωρήματος του Thevenin
- Κατανόηση και εφαρμογή του θεωρήματος του Norton

Εξοπλισμός που θα χρειαστούμε:

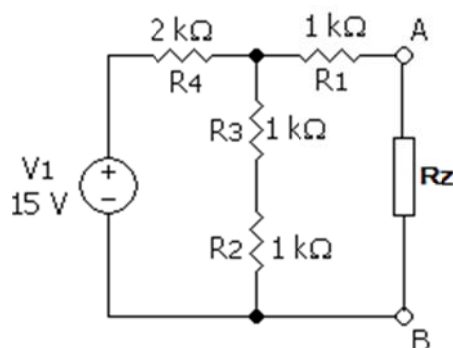
- TPS-3321
  - Ένα πολύμετρο
  - Καλώδια τύπου μπανάνα
-

## Θεωρία

### Θεώρημα του Thevenin

Το θεώρημα του χρησιμοποιείται για την απλοποίηση πολύπλοκων κυκλωμάτων. Σύμφωνα με το θεώρημα οποιοδήποτε γραμμικό ενεργητικό δίκτυο με  $N$  πηγές (τάσης ή έντασης ρεύματος) και στοιχεία  $R, L, C$  με μηδενικές αρχικές συνθήκες, μπορεί να αντικατασταθεί από μία πηγή τάσης και μία σύνθετη ισοδύναμη αντίσταση σε σειρά. Η πηγή της τάσης ονομάζεται τάση Thevenin ( $V_{Th}$ ), και η αντίσταση ονομάζεται ισοδύναμη αντίσταση Thevenin ( $R_{Th}$ ).

Για παράδειγμα ας υποθέσουμε ότι έχουμε το ακόλουθο κύκλωμα:



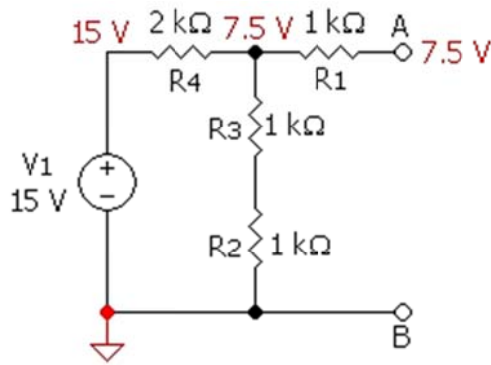
Σχήμα 4.1

Για να εφαρμόσουμε το θεώρημα του Thevenin ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

**A)**

Αφαιρούμε την αντίσταση ( $R_z$ ) της οποίας επιθυμούμε να υπολογίσουμε το ρεύμα ή την τάση (χαρακτηρίζουμε τους ακροδέκτες από τους οποίους αφαιρέθηκε η αντίσταση ως «A» και «B»). Υπολογίζουμε την τάση στους ανοιχτούς ακροδέκτες. Η τιμή αυτή ισούται με την τιμή της πηγής τάσης Thevenin ( $V_{Th}$ ).

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι έχουμε ένα διαιρέτη τάσης (αποτελούμενο από τις  $R_4$  και τις  $R_2, R_3$ ), οπότε η τάση στα άκρα A,B ισούται με:

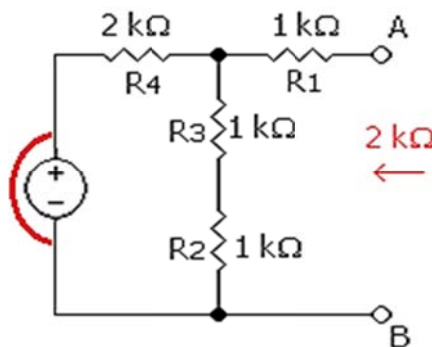


Σχήμα 4.2

$$V_{Th} = \frac{R_2 + R_3}{(R_2 + R_3) + R_4} \times V_1 = \frac{1k\Omega + 1k\Omega}{(1k\Omega + 1k\Omega) + 2k\Omega} \times 15V = \frac{1}{2} \times 15V = 7.5 \times 15V$$

**Β)**

Από τους ανοιχτούς ακροδέκτες, («Α» και «Β») υπολογίζουμε τη συνολική αντίσταση του κυκλώματος αντικαθιστώντας την πηγή τάσης με βραχυκύκλωμα. Αυτή η αντίσταση είναι η  $R_{Th}$ .



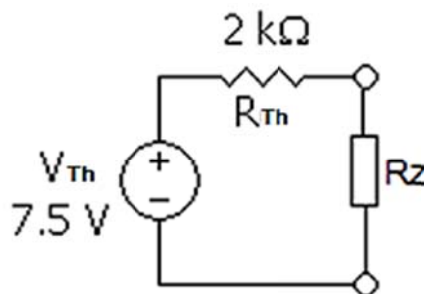
Σχήμα 4.3

$$R_{AB} = R_{Th} = 2k\Omega.$$

Πως υπολογίζεται η συνολική αντίσταση σύμφωνα με την συνδεσμολογία; (Επαληθεύστε την άνω τιμή)

**Γ)**

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το ισοδύναμο κύκλωμα κατά Thevenin είναι το ακόλουθο:



Σχήμα 4.4

Επομένως, το ρεύμα (στο φορτίο  $R_z$ ) που επιθυμούμε να υπολογίσουμε θα ισούται με:

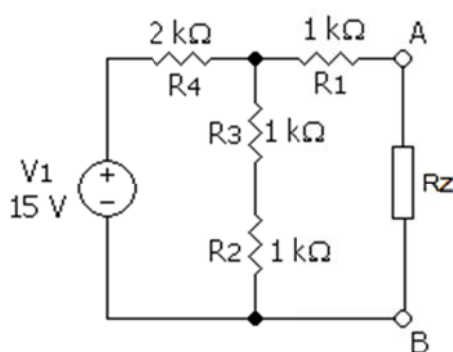
$$I = \frac{V_{Th}}{R_{Th} + R}$$

Γιατί ισχύει ο παραπάνω τύπος;

## Θεώρημα του Norton

Το θεώρημα του Norton χρησιμοποιείται επίσης για την απλοποίηση πολύπλοκων κυκλωμάτων. Οποιοδήποτε γραμμικό ενεργητικό δίκτυο με  $N$  πηγές (τάσης ή έντασης ρεύματος) και στοιχεία  $R, L, C$  με μηδενικές αρχικές συνθήκες, μπορεί να αντικατασταθεί από μία πηγή ρεύματος συνδεδεμένη παράλληλα με μία σύνθετη ισοδύναμη αντίσταση. Η πηγή ρεύματος ονομάζεται πηγή Norton ( $I_N$ ).

Ως παράδειγμα ας υποθέσουμε ότι έχουμε και πάλι το ακόλουθο κύκλωμα:



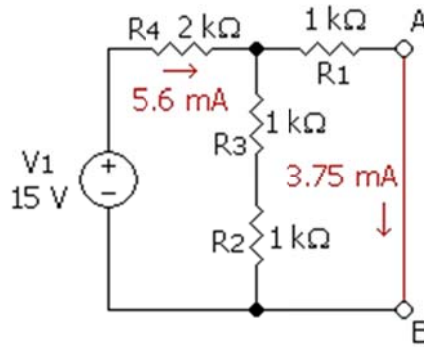
Σχήμα 4.5

Για να εφαρμόσουμε το θεώρημα του Norton ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

### A)

Αφαιρούμε την αντίσταση ( $R_z$ ) της οποίας επιθυμούμε να υπολογίσουμε το ρεύμα ή την τάση (χαρκτηρίζουμε τους ακροδέκτες από τους οποίους αφαιρέθηκε η αντίσταση ως «A» και «B»). Βραχυκυκλώνουμε τους ακροδέκτες και προσδιορίζουμε το ρεύμα βραχυκυκλώματος. Η τιμή του ρεύματος ισούται με την τιμή για την πηγή ρεύματος Norton ( $I_N$ ).

Στο παράδειγμά μας, θεωρώντας ότι έχουμε ένα διαιρέτη ρεύματος ισχύει:



Σχήμα 4.6

Το συνολικό ρεύμα μπορεί να υπολογισθεί ως:

$$I_{\text{total}} = \frac{15\text{V}}{2\text{k}\Omega + (1\text{k}\Omega \parallel (1\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega))} = 5.625\text{mA}$$

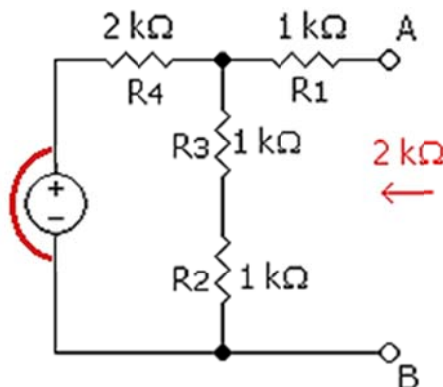
Επομένως το ρεύμα Norton  $I_N$  (θεωρώντας ότι το κύκλωμα αποτελεί ένα διαιρέτη ρεύματος) θα ισούται με:

$$I_{\text{No}} = \frac{1\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega}{(1\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega)} = \frac{2}{3} \times I_{\text{total}} = \frac{2}{3} \times 5.625\text{mA} = 3.75\text{mA}$$

(Επαληθεύστε την παραπάνω τιμή)

**B)**

Από τους ανοιχτούς ακροδέκτες, («α» και «β») υπολογίζουμε τη συνολική αντίσταση του κυκλώματος αντικαθιστώντας την πηγή τάσης με βραχυκύκλωμα (ακριβώς όπως και στην περίπτωση υπολογισμού της αντίστασης Thevenin). Η αντίσταση αυτή είναι η αντίσταση Norton ( $R_N$ ).

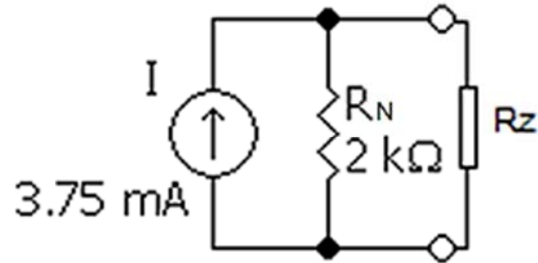


Σχήμα 4.7

Άρα  $R_N=2k\Omega$ .

Γ)

Επομένως το ισοδύναμο κύκλωμα κατά Norton είναι το ακόλουθο:



Σχήμα 4.8

Η τάση που επιθυμούμε να υπολογίσουμε θα ισούται με:  $E = I_N \cdot \frac{R \cdot R_N}{R + R_N}$

Γιατί ισχύει ο παραπάνω τύπος;



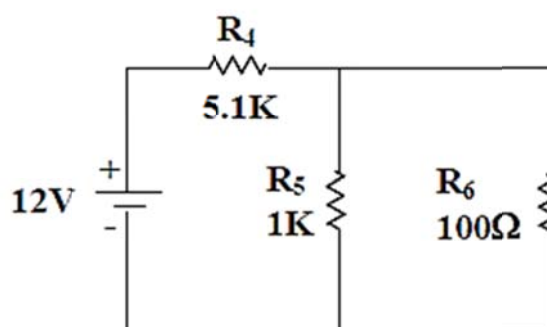
## Πορεία Εργασίας

**ΠΡΟΣΟΧΗ!:** Απαραίτητη η μελέτη και η κατανόηση του παραρτήματος για τη χρήση του πολύμετρου.

### Θεώρημα Thevenin

1. Συνδέστε το TPS-3321 με το τροφοδοτικό.
2. Συνδέστε το TPS-3321 με την ηλεκτρική παροχή.
3. Συνδέστε ένα καλώδιο από το +12V του Power Supply στην αριστερή υποδοχή της αντίστασης R4.
4. Συνδέστε ένα καλώδιο από τη δεξιά υποδοχή της R4 στην αριστερή υποδοχή της R5.
5. Συνδέστε ένα καλώδιο από τη δεξιά υποδοχή της R5 στην υποδοχή GND του Power Supply.
6. Συνδέστε ένα καλώδιο από την αριστερή υποδοχή της R5 στην αριστερή υποδοχή της R6.
7. Συνδέστε ένα καλώδιο από τη δεξιά υποδοχή της R5 στην δεξιά υποδοχή της R6.

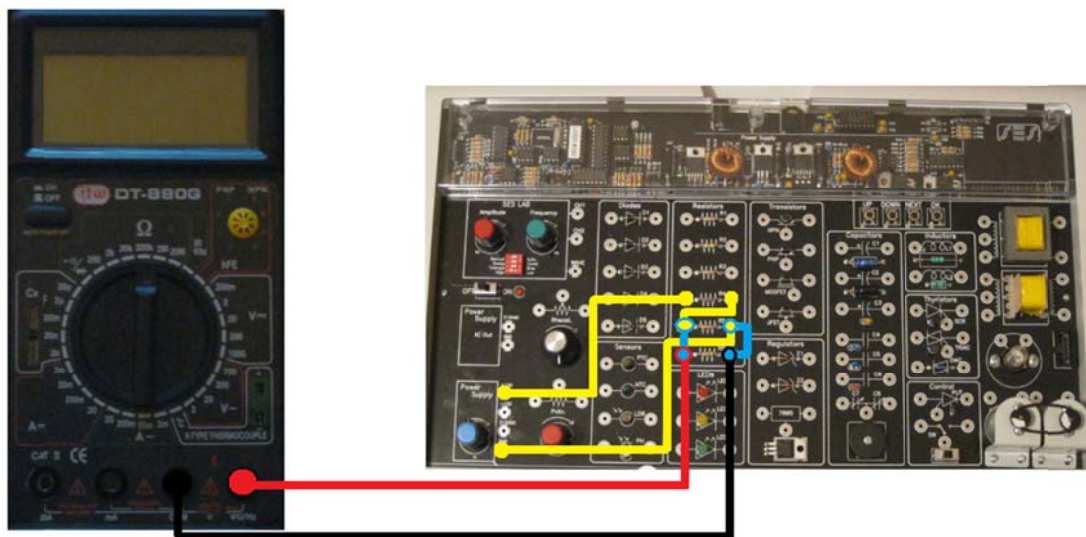
Έχετε κατασκευάσει το ακόλουθο κύκλωμα:



Σχήμα 4.9: Σχήμα βήματος 7

8. Συνδέστε παράλληλα με την R6 ένα πολύμετρο-βολτόμετρο και μετρήστε την τάση πάνω στην αντίσταση R6 ( $V_{R6}$ ). (Ο ακροδέκτης με το σήμα V στην αριστερή υποδοχή και ο ακροδέκτης με το σήμα COM στην δεξιά).

**ΠΡΟΣΟΧΗ!** Μην ενεργοποιήσετε την εκπαιδευτική μονάδα εάν δεν καλέσετε το διδάσκοντα για ένα τυπικό έλεγχο των συνδέσεων.



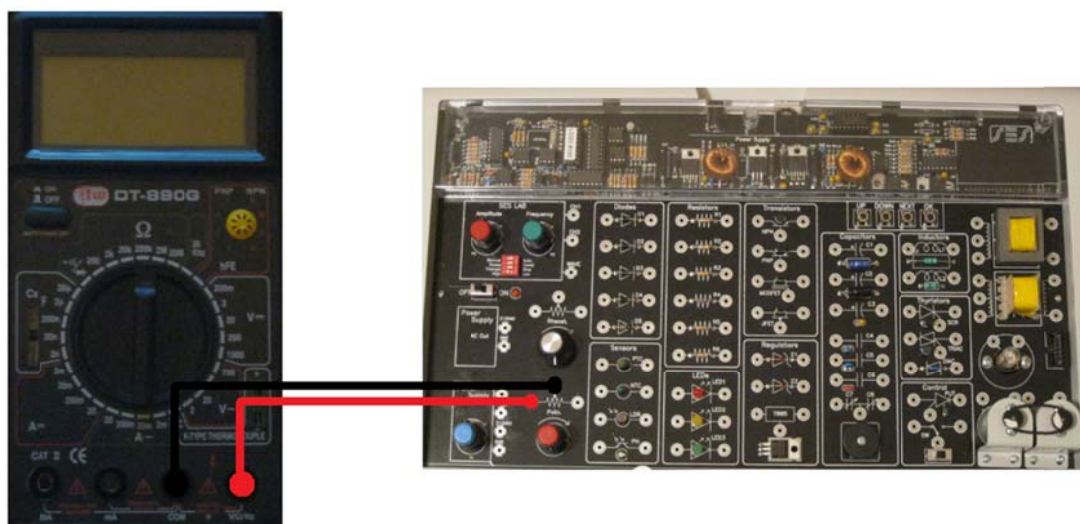
**Εικόνα 4.1:** Εικόνα βήματος 8

9. Ενεργοποιήστε την εκπαιδευτική μονάδα.
10. Σημειώστε την τάση πάνω στην αντίσταση  $R_6$   
 $V_{R_6} =$  (V)
11. Απενεργοποιήστε την εκπαιδευτική μονάδα.
12. Αλλάζοντας κατάλληλα τη συνδεσμολογία του πολύμετρου μετρήστε το ρεύμα που διέρχεται από την αντίσταση  $R_6$  ( $I_{R_6}$ ).  
(το πολύμετρο σε σειρά πλέον με την  $R_6$  – δείτε παράρτημα).
13. Ενεργοποιήστε την εκπαιδευτική μονάδα.
14. Σημειώστε το ρεύμα που διέρχεται από την αντίσταση  $R_6$   
 $I_{R_6} =$  (mA)
15. Απενεργοποιήστε την εκπαιδευτική μονάδα.
  
16. Υπολογίστε την  $V_{Th}$  και την  $R_{Th}$  **εφαρμόζοντας το θεώρημα Thevenin θεωρώντας την  $R_6$  ως φορτίο στο ισοδύναμο κύκλωμα.**  
 $V_{Th} =$  (V)                       $R_{Th} =$  (Ω)
17. Συνδέστε ένα πολύμετρο παράλληλα με το Power Supply. (Ο ακροδέκτης με το σήμα V στην υποδοχή  $\pm 12VDC$  και το COM στην υποδοχή GND του Power supply).

**ΠΡΟΣΟΧΗ!:** Μην ενεργοποιήσετε την εκπαιδευτική μονάδα εάν δεν καλέσετε το διδάσκοντα για ένα τυπικό έλεγχο των συνδέσεων.

18. Ενεργοποιήστε την εκπαιδευτική μονάδα.
19. Ρυθμίστε με το μπλέ ποτενσιόμετρο τάση εισόδου ίση με την  $V_{Th}$  που υπολογίσατε.
20. Απενεργοποιήστε την εκπαιδευτική μονάδα.
21. Συνδέστε ένα ωμόμετρο παράλληλα με το ποτενσιόμετρο. (Ο ακροδέκτης με το σήμα  $\Omega$  στην αριστερή υποδοχή του ποτενσιόμετρου και ο ακροδέκτης με το σήμα COM στην κεντρική υποδοχή).

**ΠΡΟΣΟΧΗ!:** Μην ενεργοποιήσετε την εκπαιδευτική μονάδα εάν δεν καλέσετε το διδάσκοντα για ένα τυπικό έλεγχο των συνδέσεων.

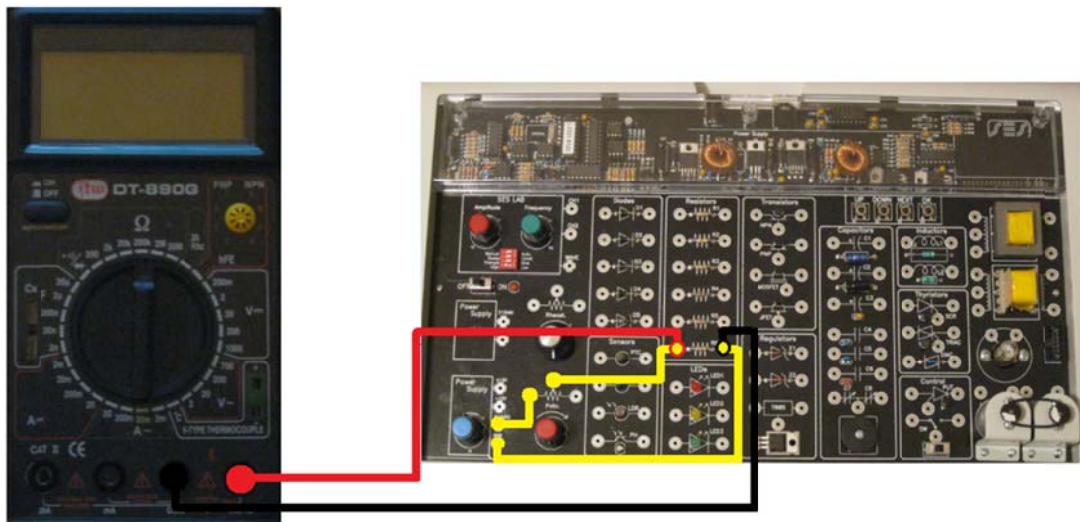


**Εικόνα 4.2:** Εικόνα βήματος 17

22. Ενεργοποιήστε την εκπαιδευτική μονάδα.
23. Ρυθμίστε με το κόκκινο ποτενσιόμετρο αντίσταση ίση με την  $R_{Th}$  που υπολογίσατε.
24. Απενεργοποιήστε την εκπαιδευτική μονάδα.
25. Συνδέστε ένα καλώδιο από την υποδοχή  $\pm 12VDC$  του Power Supply στην αριστερή υποδοχή του ποτενσιόμετρου.
26. Συνδέστε ένα καλώδιο από την κεντρική υποδοχή του ποτενσιόμετρου στην αριστερή υποδοχή της αντίστασης R6.

27. Συνδέστε ένα καλώδιο από τη δεξιά υποδοχή της αντίστασης R6 στην υποδοχή GND του Power Supply.
28. Συνδέστε ένα βολτόμετρο παράλληλα με την αντίσταση R6 και μετρήστε την τάση  $V_{R6}$  (Ο ακροδέκτης με το σήμα V στην αριστερή υποδοχή της αντίστασης R6 και το COM στην δεξιά υποδοχή της αντίστασης).
29. Σημειώστε την τάση πάνω στην αντίσταση R6 όταν τροφοδοτείται από το ισοδύναμο κύκλωμα κατά Thevenin.  
 $V_{R6} = \quad (V)$

**ΠΡΟΣΟΧΗ!:** Μην ενεργοποιήσετε την εκπαιδευτική μονάδα εάν δεν καλέσετε το διδάσκοντα για ένα τυπικό έλεγχο των συνδέσεων.



**Εικόνα 4.3:** Εικόνα βήματος 24

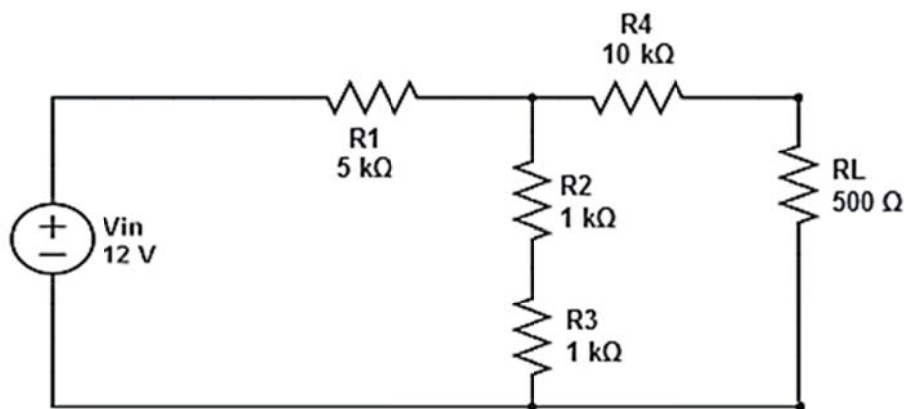
30. Απενεργοποιήστε την εκπαιδευτική μονάδα.
31. Αλλάζοντας κατάλληλα τη συνδεσμολογία του πολύμετρου μετρήστε το ρεύμα που διέρχεται από την  $R_6$  ( $I_{R6}$ )  
 (το πολύμετρο σε σειρά πλέον με την  $R_6$  – δείτε παράρτημα).
32. Σημειώστε το ρεύμα που διέρχεται από την αντίσταση R6 όταν τροφοδοτείται από το ισοδύναμο κύκλωμα κατά Thevenin.  
 $I_{R6} = \quad (mA)$
33. Απενεργοποιήστε την εκπαιδευτική μονάδα.

Τι παρατηρείτε για τις ενδείξεις  $V_{R6}$  και  $I_{R6}$  που μετρήσατε στο αρχικό και στο ισοδύναμο κύκλωμα?

(Στους άνω υπολογισμούς οι τιμές  $V_{TH}$  και  $R_{TH}$  θα πρέπει να βρεθούν ίσες με:  $V_{TH}=1,967\text{ V}$   $R_{TH}=836\ \Omega$ )

### Θεώρημα Norton

Υπολογίστε χρησιμοποιώντας το θεώρημα του Norton την τάση πάνω την αντίσταση φορτίου  $R_L$  στο παρακάτω κύκλωμα:



Σχήμα 4.10: Σχήμα βήματος 25

(Οι τιμές  $I_N$  και  $R_N$  θα πρέπει να βρεθούν ίσες με:  $I_N=0,288\text{ mA}$   $R_N=11,43\text{ k}\Omega$ )

### Τεχνική έκθεση

1. Γράψτε τις παρατηρήσεις σας για τα αποτελέσματα των μετρήσεων και πως αυτά επαληθεύουν τη θεωρία.

# Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας

## Τέλος Ενότητας

### Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Αθήνας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



## Σημειώματα

### Σημείωμα Αναφοράς

Copyright ΤΕΙ Αθήνας, Δημήτριος - Νικόλαος Παγώνης, 2014. Δημήτριος - Νικόλαος Παγώνης. «Ηλεκτροτεχνία, ηλ. μηχανές & εγκαταστάσεις πλοίου (Ε). Ενότητα 4: Το θεώρημα του Thevenin & το θεώρημα του Norton». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: [ocp.teiath.gr](http://ocp.teiath.gr).

### Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό. Οι όροι χρήσης των έργων τρίτων επεξηγούνται στη διαφάνεια «Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων».

Τα έργα για τα οποία έχει ζητηθεί άδεια αναφέρονται στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

## Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων

©	Δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, παρά μόνο εάν ζητηθεί εκ νέου άδεια από το δημιουργό.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου και η δημιουργία παραγώγων αυτού με απλή αναφορά του δημιουργού.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-SA	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού, και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-ND	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η δημιουργία παραγώγων του έργου.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-SA	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-ND	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου και η δημιουργία παραγώγων του.
διαθέσιμο με άδεια CC0 Public Domain	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού.
διαθέσιμο ως κοινό κτήμα	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού.
χωρίς σήμανση	Συνήθως δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου.

## Διατήρηση Σημειωμάτων

- Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:
- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.