Ηλεκτρικά Κυκλώματα Ι

Διάλεξη 05

Α. Δροσόπουλος

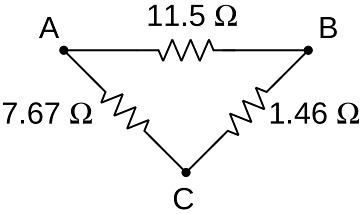
08-11-2021

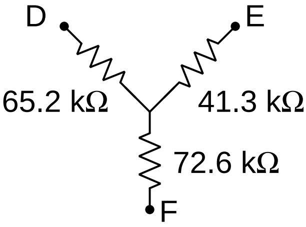
Outline

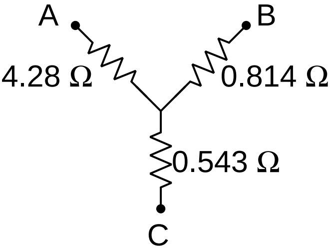
Topic

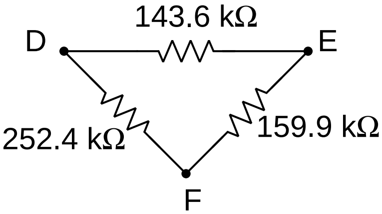
Άσκηση 1

Να μετατραπεί το τρίγωνο σε αστέρα και ο αστέρας σε τρίγωνο







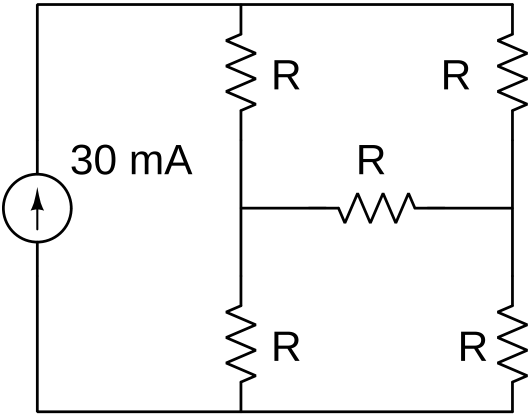


Άσκηση 1b

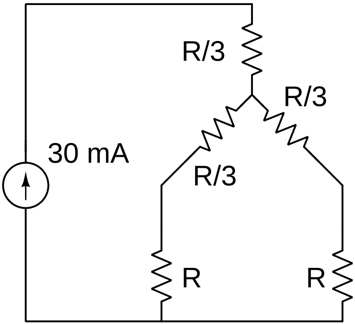
```
octave:1> r1=7.67*11.5/(7.67+11.5+1.46)
r1 =  4.2756
octave:2> r2=1.46*11.5/(7.67+11.5+1.46)
r2 =  0.81386
octave:3> r3=1.46*7.67/(7.67+11.5+1.46)
r3 =  0.54281
octave:4> r4=(65.2*41.3+41.3*72.6+72.6*65.2)/72.6
r4 =  143.59
octave:5> r5=(65.2*41.3+41.3*72.6+72.6*65.2)/41.3
r5 =  252.41
octave:6> r6=(65.2*41.3+41.3*72.6+72.6*65.2)/65.2
r6 =  159.89
```

Άσκηση 2

Για ποια τιμή R θα δώσει η πηγή ρεύματος ισχύ $800\ \mathrm{mW}$;



Άσκηση 2b

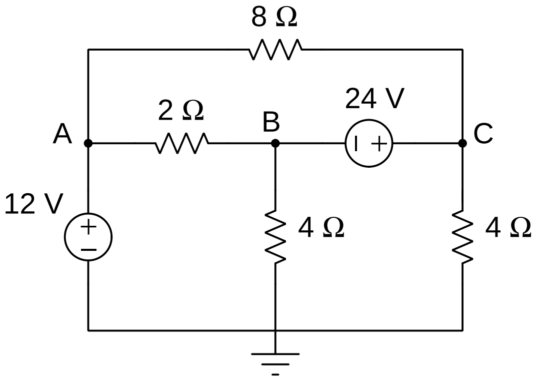


$$\frac{4}{3}R \parallel \frac{4}{3}R = \frac{2}{3}R \quad \text{και} \quad \frac{2}{3}R + \frac{1}{3}R = R$$

```
octave:7> P=800e-3; I=30e-3; R=P/I^2
R =  888.89
```

Άσκηση 3

Ποιες είναι οι τάσεις μεταξύ A, B, C και γής;



Άσκηση 3b

Με μέθοδο κόμβων (προσθέτουμε ρεύμα I_x μεταξύ B και C)

$$\left.\begin{aligned} \frac{V_B-12}{2}+\frac{V_B}{4}+I_x &= 0 \\ \frac{V_C-12}{8}+\frac{V_C}{4}-I_x &= 0 \\ V_C-V_B &= 24 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{aligned} V_B\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{4}\right)+V_C\left(\frac{1}{8}+\frac{1}{4}\right) &= \left(\frac{12}{2}+\frac{12}{8}\right) \\ -V_B+V_C &= 24 \end{aligned}$$

Άσκηση 3c

```
octave:8> A=[1/2+1/4 1/8+1/4;-1 1]
A =
   0.75000   0.37500
  -1.00000   1.00000

octave:9> b=[12/2+12/8; 24]
b =
    7.5000
   24.0000

octave:10> V=inv(A)*b
V =
   -1.3333
   22.6667
```

Άρα, $V_A = 12$ V, $V_B = -1.33$ V, $V_C = 22.7$ V.

Topic

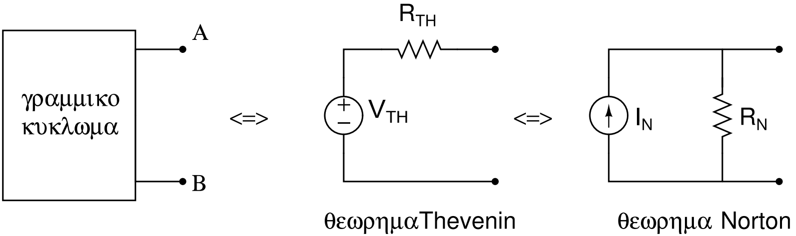
Θεώρημα Thevenin

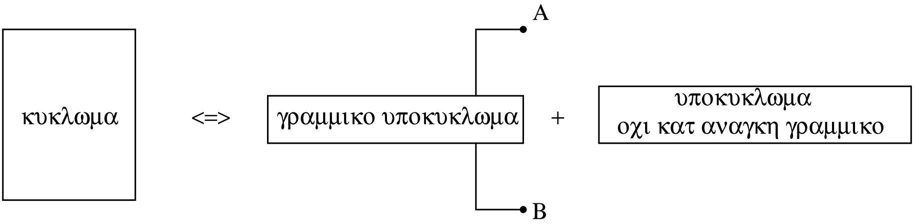
Ένα γραμμικό κύκλωμα με δύο ακροδέκτες Α, Β μπορούμε να το αντικαταστήσουμε με ένα ισοδύναμο κύκλωμα που περιέχει μια πηγή τάσης σε σειρά με μια αντίσταση. Η αντίσταση, R_{TH} είναι η αντίσταση που φαίνεται από τους ανοικτούς ακροδέκτες Α, Β όταν αντικαταστήσουμε τις πηγές με τις εσωτερικές τους αντιστάσεις (πηγές πραγματικές) ή βραχυκυκλώσουμε τις πηγές τάσης και ανοίξουμε τις πηγές ρεύματος (πηγές ιδανικές) στο κύκλωμα. Η τάση V_{TH} είναι η τάση που φαίνεται με το κύκλωμα ενεργό, στους ανοικτούς ακροδέκτες Α, Β.

Θεώρημα Norton

Ένα γραμμικό κύκλωμα με δύο ακροδέκτες Α, Β μπορούμε να το αντικαταστήσουμε με ένα ισοδύναμο κύκλωμα που περιέχει μια πηγή ρεύματος παράλληλα με μια αντίσταση. Η αντίσταση, R_N είναι η αντίσταση που φαίνεται από τους ανοικτούς ακροδέκτες Α, Β όταν αντικαταστήσουμε τις πηγές με τις εσωτερικές τους αντιστάσεις (πηγές πραγματικές) ή βραχυκυκλώσουμε τις πηγές τάσης και ανοίξουμε τις πηγές ρεύματος (πηγές ιδανικές) στο κύκλωμα. Το ρεύμα I_N είναι το ρεύμα που παίρνουμε με το κύκλωμα ενεργό, όταν βραχυκυκλώσουμε τούς ακροδέκτες Α, Β.

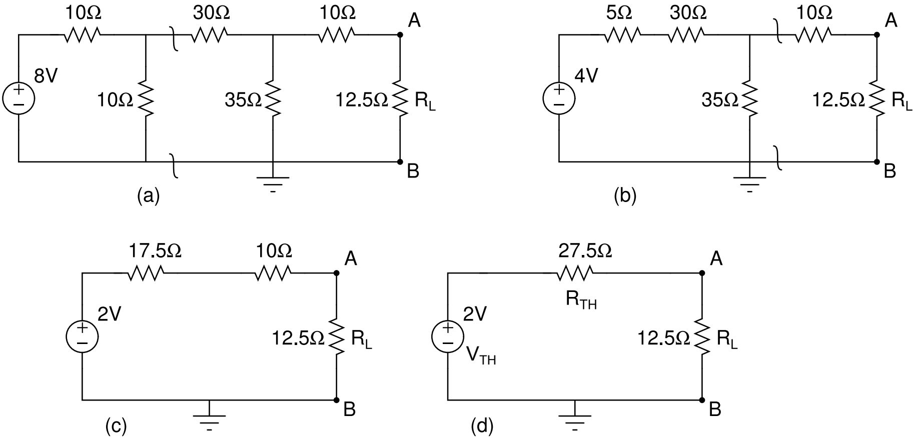
Θεωρήματα Thevenin και Norton





Παράδειγμα 1

Να υπολογιστεί η ισχύς στην αντίσταση $R_L = 12.5\ \Omega$ στο παρακάτω κύκλωμα (a) με το θεώρημα Thevenin.



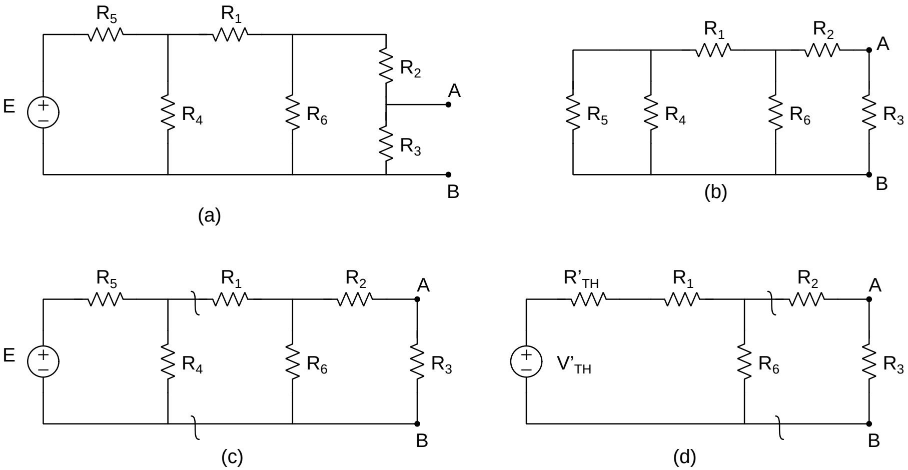
Παράδειγμα 1b

```
octave:11> V=12.5*2/(27.5+12.5)
V =  0.62500
octave:12> P=V^2/12.5
P =  0.031250
```

$$P = 31.25\ \mathrm{mW}$$

Παράδειγμα 2

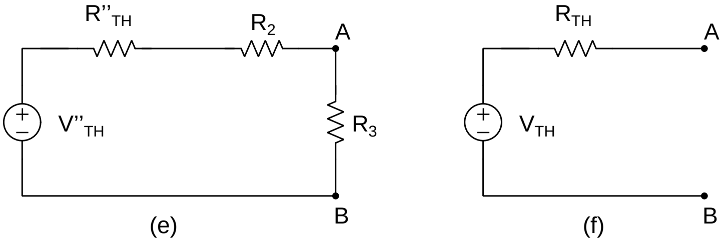
Να υπολογιστεί το ισοδύναμο κατά Thevenin στο παρακάτω κύκλωμα (a) στα σημεία A, B, όταν $E = 12$ V, $R_1 = 330\ \Omega$, $R_2 = 1\ \mathrm{k}\Omega$, $R_3 = 560\ \Omega$, $R_4 = 820\ \Omega$, $R_5 = 100\ \Omega$, και $R_6 = 2.2\ \mathrm{k}\Omega$.



Παράδειγμα 2b

```
octave:13> E=12; R1=330; R2=1e3; R3=560; R4=820; R5=100; R6=2.2e3;
octave:14> r1=1/(1/R5+1/R4)
r1 =  89.130
octave:15> r2=r1+R1
r2 =  419.13
octave:16> r3=r2*R6/(r2+R6)
r3 =  352.06
octave:17> r4=r3+R2
r4 =  1352.1
octave:18> Rth=1/(1/r4+1/R3)
Rth =  395.99
```

Παράδειγμα 2c

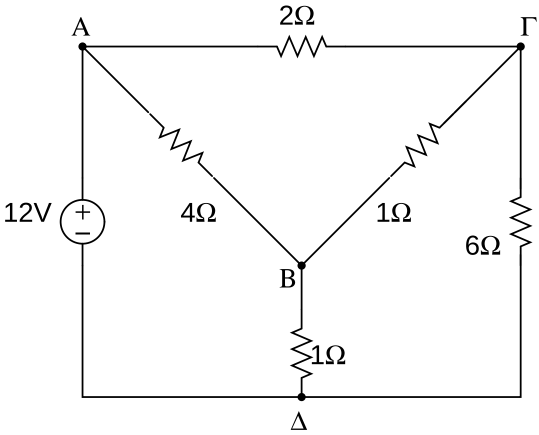


Παράδειγμα 2d

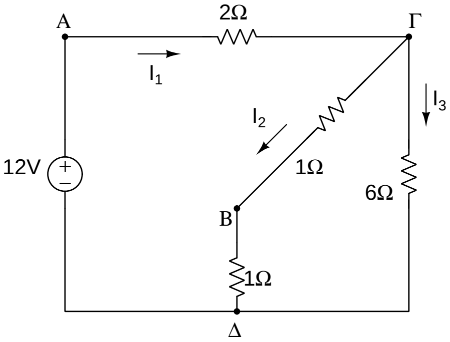
```
octave:19> Rthp = R5*R4/(R5+R4)
Rthp =  89.130
octave:20> Vthp = R4*E/(R4+R5)
Vthp =  10.696
octave:21> Rthpp = R6*(R1+Rthp)/(R6+R1+Rthp)
Rthpp =  352.06
octave:22> Vthpp = R6*Vthp/(R6+R1+Rthp)
Vthpp =  8.9841
octave:23> Rth=R3*(Rthpp+R2)/(R3+Rthpp+R2)
Rth =  395.99
octave:24> Vth=R3*Vthpp/(R3+Rthpp+R2)
Vth =  2.6312
```

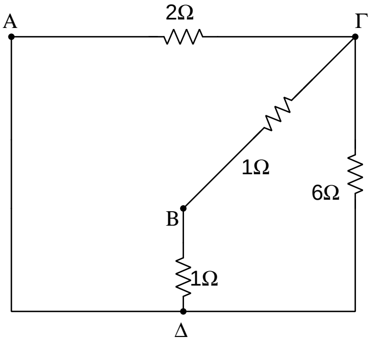
Παράδειγμα 3

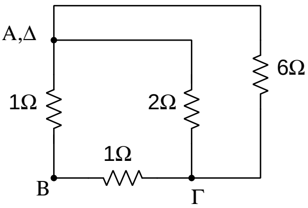
Να υπολογιστεί η ισχύς που καταναλώνεται στην αντίσταση των $4\ \Omega$ στο παρακάτω κύκλωμα χρησιμοποιώντας το θεώρημα Thevenin.

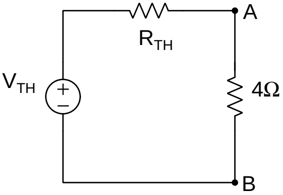


Παράδειγμα 3b









Παράδειγμα 3c

$$R_{TH} = \Big[(6 \parallel 2) + 1\Big] \parallel 1 = 0.714\,\Omega$$

```
octave:25> r1=6*2/(6+2)
r1 =  1.5000
octave:26> r2=r1+1
r2 =  2.5000
octave:27> Rth=r2*1/(r2+1)
Rth =  0.71429

octave:28> r=2*6/(2+6)
r =  1.5000
octave:29> Vgd=r*12/(r+2)
Vgd =  5.1429
octave:30> I2=Vgd/2
I2 =  2.5714
octave:31> Vth=12-I2*1
Vth =  9.4286
```

Παράδειγμα 3d

$$V_{TH} = 9.43 \text{ V}$$

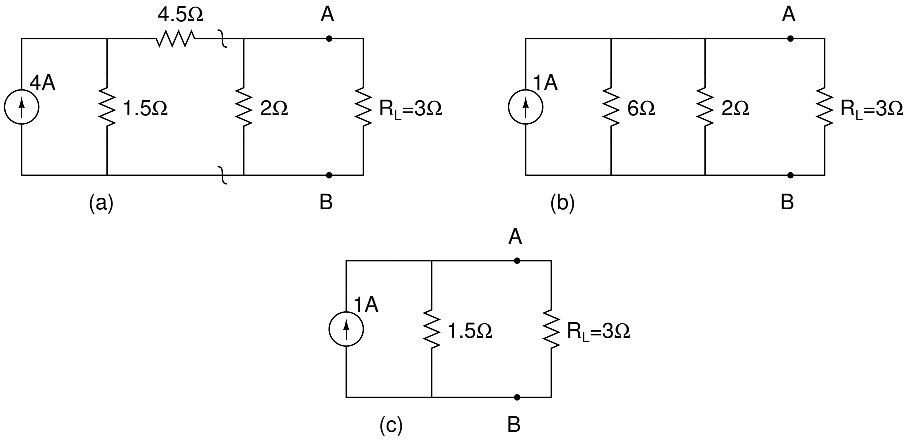
```
octave:32> Vab=4*Vth/(4+Rth)
Vab =  8
octave:33> P=Vab^2/4
P =  16
```

$$P = 16 \text{ W}$$

spice

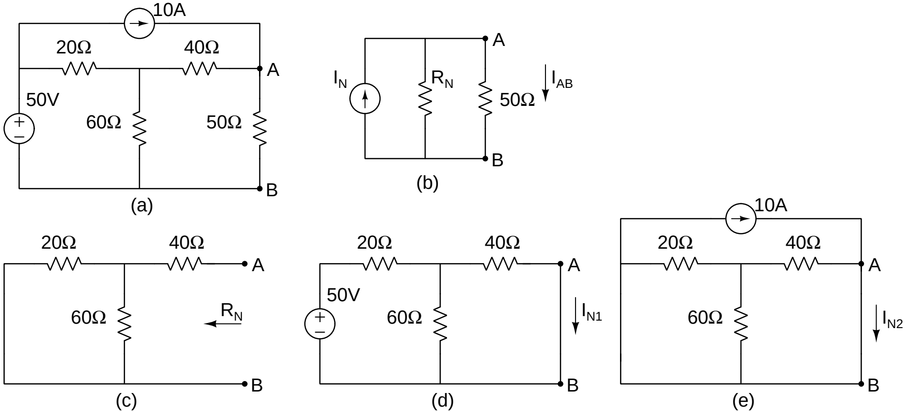
Παράδειγμα 4

Να υπολογιστεί η ισχύς στην αντίσταση $R_L = 3\ \Omega$ στο παρακάτω κύκλωμα (a) με το θεώρημα Norton.



Παράδειγμα 5

Να υπολογιστεί η ισχύς στην αντίσταση $50\ \Omega$ στο παρακάτω κύκλωμα (a) με το θεώρημα Norton και υπέρθεση.

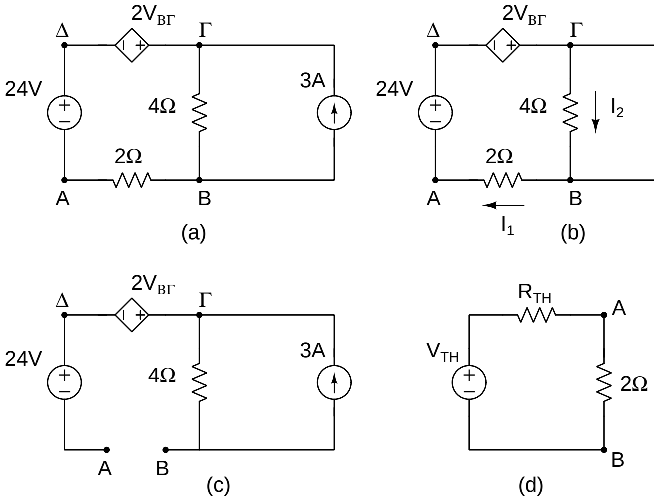


Παράδειγμα 5b

- Θέλουμε να μετατρέψουμε το (a) στο (b)
- Η αντίσταση Norton είναι αυτή που φαίνεται με ανοικτούς ακροδέκτες A,B και σβηστές ανεξάρτητες πηγές (c) $R_N = (20 \parallel 60) + 40 = 55\ \Omega$.
- Με υπέρθεση και ενεργή την πηγή τάσης έχουμε το (d). Με μετασχηματισμό σε πηγή ρεύματος και διαιρέτη ρεύματος $I_{N1} = 0.68$ A.
- Με υπέρθεση και ενεργή την πηγή ρεύματος έχουμε το (e). Στη διακλάδωση στο A έχουμε έναν κλάδο με αντίσταση και άλλο κλάδο βραχυκύκλωμα. Προφανώς $I_{N2} = 10$ A.
- Άρα $I_N = I_{N1} + I_{N2} = 10.68$ A.
- Άρα $I_{AB} = R_N I_N/(R_N + 50) = 5.59$ A και $P_{50} = I_{AB}^2 50 = 1564.8$ W

Παράδειγμα 6

Να υπολογιστεί η τάση V_{AB} στο παρακάτω κύκλωμα (a) με α) κανόνες Kirchhoff και β) θεώρημα Thevenin.



Παράδειγμα 6b - Kirchhoff

Κλαδικά ρεύματα

$$\left.\begin{array}{rrcl} \text{κόμβος B:} & -I_1 + I_2 - 3 & = & 0 \\ \text{αριστερός βρόγχος:} & -2V_{\text{ΒΓ}} + 4I_2 + 2I_1 & = & 24 \\ & V_{\text{ΒΓ}} & = & -4I_2 \end{array}\right\} \Rightarrow \begin{array}{rcl} -I_1 + I_2 & = & 3 \\ 2I_1 + 12I_2 & = & 24 \end{array}$$

```
octave:1> A=[-1 1; 2 12]; b=[3; 24]; I=inv(A)*b
I =
  -0.85714
   2.14286

octave:2> Vab = -2*I(1)
Vab =  1.7143
```

Παράδειγμα 6c - Thevenin

$$V_{AB|oc} = -24 - 2V_{\text{ΒΓ}} + V_{\text{ΓΒ}} = -24 - 3V_{\text{ΒΓ}} = -24 - 3(-3 \cdot 4) = 12 \text{ V}$$

$$2V_{\text{ΒΓ}} + 24 = 4I_2 \Rightarrow 2(-4I_2) + 24 = 4I_2 \Rightarrow I_2 = 2 \text{ A}$$

$$I_{AB|sc} = 3 - I_2 = 1 \text{ A}$$

$$R_{TH} = \frac{V_{TH}}{I_N} = 12\ \Omega$$

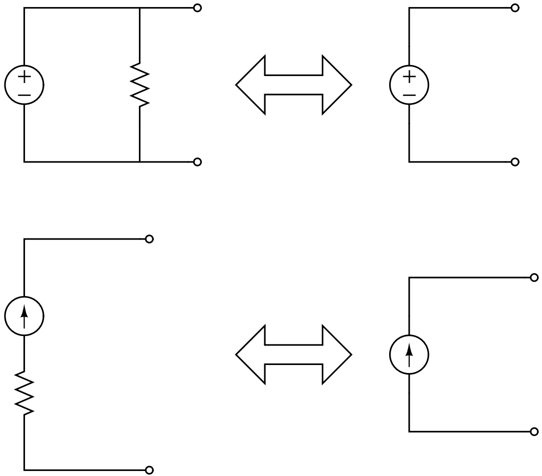
$$V_{AB} = \frac{2V_{TH}}{2 + R_{TH}} = 1.714 \text{ V}$$

Σημαντική Παρατήρηση

Οι εξαρτημένες πηγές τάσης ή ρεύματος είναι τα μόνα μη γραμμικά στοιχεία στα μέχρι τώρα κυκλώματά μας. Η διαδικασία εύρεσης ισοδυνάμου Thevenin / Norton διαφέρει. Πρέπει να βρεθούν:

- η τάση με ανοικτούς ακροδέκτες $V_{oc} = V_{TH}$
- το ρεύμα βραχυκυκλώσεως $I_{sc} = I_N$ και
- η αντίσταση Thevenin / Norton είναι τότε ο λόγος $R_{TH} = R_N = V_{oc}/I_{sc} = V_{TH}/I_N$.

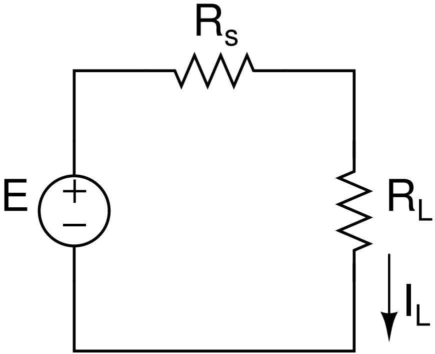
Σημαντική Παρατήρηση 2



Topic

Μέγιστη μεταφορά ισχύος

Η πραγματική πηγή έχει ΗΕΔ E και εσωτερική αντίσταση R_s. Πότε έχουμε μέγιστη μεταφορά ισχύος από την πηγή στο φορτίο R_L;



Μέγιστη μεταφορά ισχύος (συνέχεια 2)

Το ρεύμα που περνάει από το φορτίο είναι

$$I_L = \frac{E}{R_s + R_L}$$

και η ισχύς είναι

$$P_L = I_L^2 R_L = \frac{E^2 R_L}{(R_s + R_L)^2}$$

Ακρότατο $R_{L,0}$ η λύση της

$$\frac{dP_L}{dR_L} = 0$$

$R_{L,0}$ μέγιστο $\left.\frac{d^2 P_L}{dR_L^2}\right|_{R_L = R_{L,0}} < 0$ και ελάχιστο $\left.\frac{d^2 P_L}{dR_L^2}\right|_{R_L = R_{L,0}} > 0$

Μέγιστη μεταφορά ισχύος (συνέχεια 3)

$$\frac{dP_L}{dR_L} = E^2 \; \frac{1 \cdot (R_s + R_L)^2 - R_L \cdot 2 \cdot (R_s + R_L)}{(R_s + R_L)^4} = 0 \;\Rightarrow$$

$$(R_s + R_L) \cdot \Big((R_s + R_L) - 2 \cdot R_L \Big) = 0 \;\Rightarrow\; R_L = R_s$$

$$\frac{d^2P_L}{dR_L^2} = E^2 \; \frac{-1 \cdot (R_s + R_L)^3 - (R_s - R_L) \cdot 3 \cdot (R_s + R_L)^2}{(R_s + R_L)^6}$$

και για $R_L = R_s$

$$\left.\frac{d^2P_L}{dR_L^2}\right|_{R_L = R_s} = -\frac{E^2}{(2R_s)^3} < 0$$

άρα $R_{L,0} = R_s$ είναι ακρότατο που οδηγεί σε μέγιστη ισχύ.

Μέγιστη μεταφορά ισχύος (συνέχεια 4)

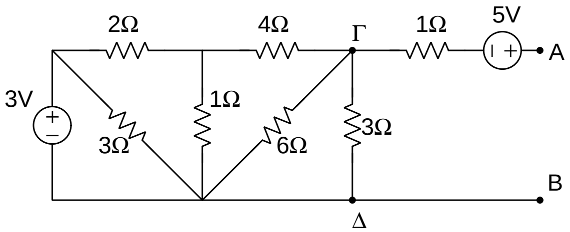
Στη γενική περίπτωση όπου έχουμε ένα οποιοδήποτε γραμμικό κύκλωμα και θέλουμε την μέγιστη ισχύ σε κάποιο φορτίο R_L, αντικαθιστούμε το κύκλωμα (μείον το φορτίο R_L) με το ισοδύναμό του κατά Thevenin, οπότε έχουμε πάλι τη μορφή του απλού βρόχου που εξετάσαμε προηγουμένως. Μέγιστη ισχύ τώρα έχουμε για $R_L = R_{TH}$ και η μέγιστη ισχύς είναι

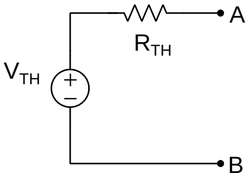
$$P_{L,\text{μεγ}} = \frac{V_{TH}^2}{4R_{TH}}$$

Topic

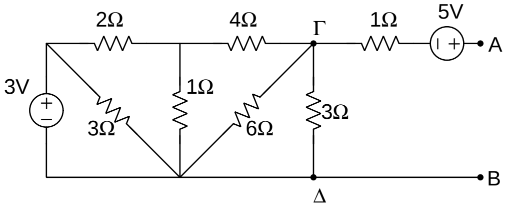
Παράδειγμα 1

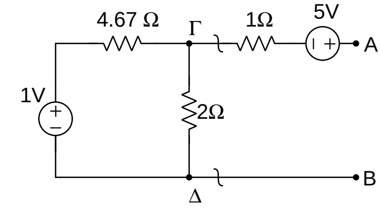
Να υπολογισθεί το κατά Thevenin ισοδύναμο ως προς τους ακροδέκτες Α, Β του παρακάτω κυκλώματος. Να προσδιορισθεί κατόπιν η τιμή του φορτίου R_L στους ακροδέκτες Α, Β που καταναλώνει μέγιστη ισχύ από το κύκλωμα και να βρεθεί η τιμή της.

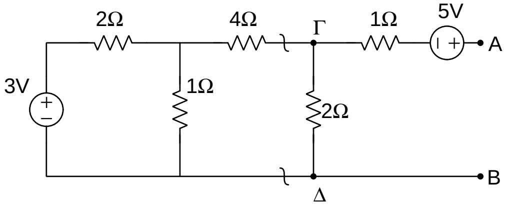


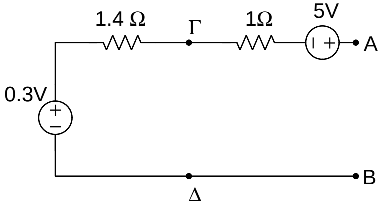


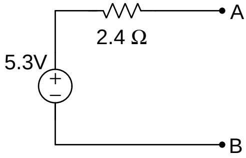
Παράδειγμα 1 (συνέχεια 1)











Παράδειγμα 1 (συνέχεια 2)

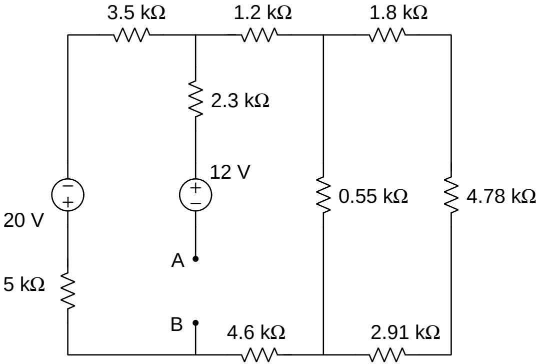
$$R_L = 2.4\ \Omega$$

$$P_{\max} = \frac{V_{TH}^2}{4R_{TH}} = 2.926\ \mathrm{W}$$

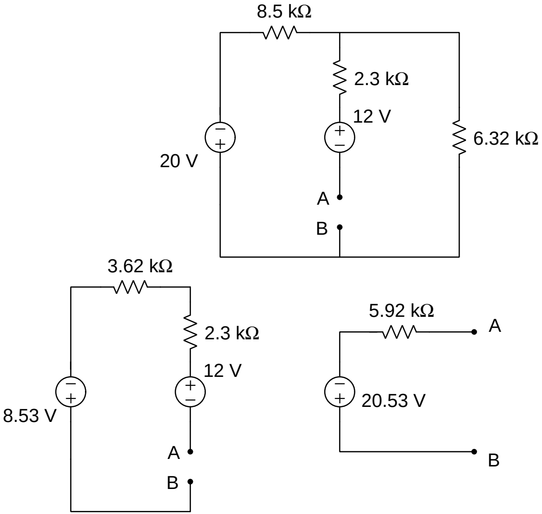
Παράδειγμα 2

Δίδεται το παρακάτω κύκλωμα. Να υπολογιστούν:

- Η τάση V_{AB} με ανοικτούς τους ακροδέκτες Α, Β.
- Η συνολική αντίσταση κατά Thevenin που φαίνεται στους ανοικτούς ακροδέκτες Α, Β.
- Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως I_{AB} όταν οι ακροδέκτες Α, Β είναι βραχυκυκλωμένοι.
- Εάν προσθέσουμε ένα φορτίο R_L μεταξύ των ακροδεκτών Α, Β, ποια είναι η τιμή του φορτίου έτσι ώστε να έχουμε μέγιστη κατανάλωση ισχύος από το κύκλωμα και ποια είναι αυτή η ισχύς;



Παράδειγμα 2 (συνέχεια 1)



Παράδειγμα 2 (συνέχεια 2)

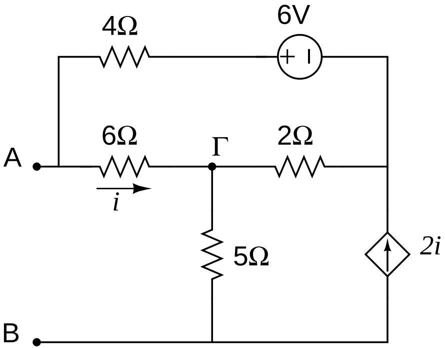
$$R_L = 5.92\ \mathrm{k}\Omega$$

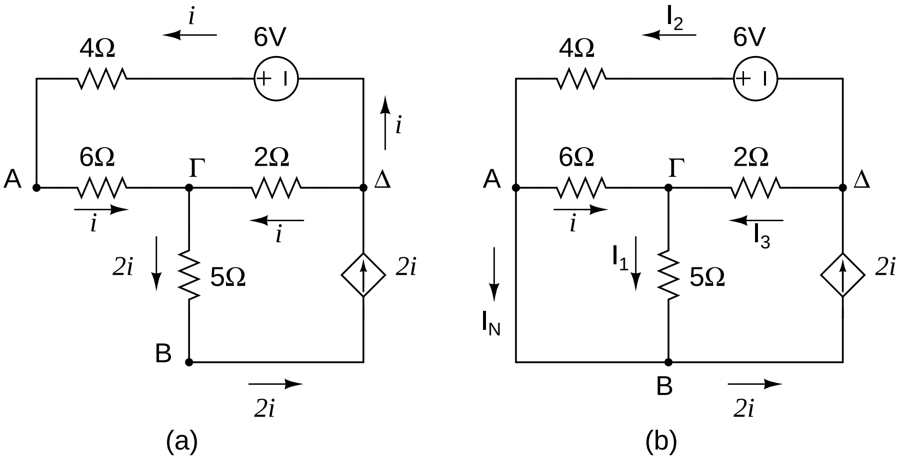
$$P_{\text{max}} = \frac{V_{TH}^2}{4R_{TH}} = 17.8\ \mathrm{mW}$$

Παράδειγμα 3

Δίδεται το παρακάτω κύκλωμα όπου i το κλαδικό ρεύμα μεταξύ Α και Γ. Να υπολογιστούν:

- Η τάση V_{AB} με ανοικτούς τους ακροδέκτες Α, Β.
- Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως I_{AB} όταν οι ακροδέκτες Α, Β είναι βραχυκυκλωμένοι.
- Η συνολική αντίσταση κατά Thevenin που φαίνεται στους ανοικτούς ακροδέκτες Α, Β.
- Εάν προσθέσουμε ένα φορτίο R_L μεταξύ των ακροδεκτών Α, Β, ποια είναι η τιμή του φορτίου έτσι ώστε να έχουμε μέγιστη κατανάλωση ισχύος από το κύκλωμα και ποια είναι αυτή η ισχύς;





Σχήμα: Με κλαδικά ρεύματα

Παράδειγμα 3 (συνέχεια 2)

Τα κλαδικά ρεύματα με τον 1ο κανόνα Kirchhoff (κόμβος Γ) φαίνονται καθαρά στο κύκλωμα (a). Εφαρμόζοντας 2ο κανόνα Kirchhoff στον επάνω βρόγχο ΑΓΔΑ έχουμε:

$$6i - 2i - 6 + 4i = 0 \Rightarrow i = \frac{6}{8} = \frac{3}{4} = 0.75 \text{ A}$$

άρα η τάση V_{AB} με ανοικτούς τους ακροδέκτες Α, Β (τάση Thevenin V_{TH}) είναι:

$$V_{AB} = V_{A\Gamma} + V_{\Gamma B} = 6i + 2i \cdot 5 = 16i = 12 \text{ V}$$

Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως I_{AB} είναι το ρεύμα Norton. Από κόμβους και βρόγχους στο κύκλωμα, με Α, Β βραχυκλωμένα (κύκλωμα (b)) έχουμε

κόμβος Α:	$I_2 = i + I_N$
κόμβος Β:	$I_1 + I_N = 2i$
κόμβος Γ:	$i + I_3 = I_1$
κόμβος Δ:	$2i = I_3 + I_2$
βρόγχος ΑΓΔΑ:	$6i - 2I_3 - 6 + 4I_2 = 0$
βρόγχος ΑΓΒΑ:	$6i + 5I_1 = 0$

Παράδειγμα 3 (συνέχεια 3)

Από τις παραπάνω εξισώσεις έχουμε:

$$I_1 = -\frac{6i}{5}$$

$$I_3 = I_1 - i = -\frac{6i}{5} - i = -\frac{11i}{5}$$

$$I_2 = 2i - I_3 = 2i + \frac{11i}{5} = \frac{21i}{5}$$

$$I_N = I_2 - i = \frac{21i}{5} - i = \frac{16i}{5}$$

$$6i - 2\left(-\frac{11i}{5}\right) - 6 + 4\left(\frac{21i}{5}\right) = 0 \;\Rightarrow\; i = \frac{30}{136} = \frac{15}{68}\ \mathrm{A}$$

οπότε

$$I_N = \frac{16}{5} \cdot \frac{15}{68} = \frac{12}{17} = 0.706\ \mathrm{A}$$

Εφόσον έχουμε εξαρτημένη πηγή στο κύκλωμα, η αντίσταση Thevenin είναι

$$R_{TH} = \frac{V_{TH}}{I_N} = \frac{12}{12/17} = 17\ \Omega$$

Παράδειγμα 3 (συνέχεια 4)

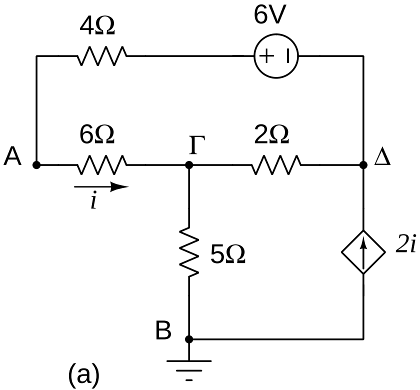
Για μέγιστη κατανάλωση / μεταφορά ισχύος

$$R_L = R_{TH} = 17\ \Omega$$

και η μέγιστη ισχύς είναι

$$P_{\mathrm{max}} = \frac{V_{TH}^2}{4R_{TH}} = \frac{12^2}{4 \cdot 17} = \frac{144}{68} = 2.118\ \mathrm{W}$$

Παράδειγμα 3 (συνέχεια 5)



Σχήμα: Με κομβική ανάλυση

Παράδειγμα 3 (συνέχεια 6)

$$\left.\begin{array}{rcl} -i + \dfrac{V_\Gamma}{5} + \dfrac{V_\Gamma - V_\Delta}{2} & = & 0 \\ i + \dfrac{V_\Delta - V_\Gamma}{2} - 2i & = & 0 \\ i & = & \dfrac{(6 + V_\Delta) - V_\Gamma}{10} \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\left.\begin{array}{rcl} V_\Gamma \left(\dfrac{1}{10} + \dfrac{1}{5} + \dfrac{1}{2}\right) - V_\Delta \left(\dfrac{1}{10} + \dfrac{1}{2}\right) & = & \dfrac{6}{10} \\ V_\Gamma \left(\dfrac{1}{10} - \dfrac{1}{2}\right) + V_\Delta \left(-\dfrac{1}{10} + \dfrac{1}{2}\right) & = & \dfrac{6}{10} \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$V_\Gamma = 7.5 \text{ V} \qquad V_\Delta = 9 \text{ V} \qquad i = 0.75 \text{ A} \qquad V_{TH} = 6i + V_\Gamma = 12 \text{ V}$$

Παράδειγμα 3 (συνέχεια 7)

```
octave:19> A=[1/10+1/5+1/2 -(1/10+1/2); 1/10-1/2 -1/10+1/2]
A =
   0.80000  -0.60000
  -0.40000   0.40000

octave:20> b=[6/10; 6/10]
b =
   0.60000
   0.60000

octave:21> V=inv(A)*b
V =
   7.5000
   9.0000

octave:22> i=((6+V(2))-V(1))/10
i =  0.75000
octave:23> Vac=i*6
Vac =  4.5000
octave:24> Vab=Vac+V(1)
Vab =  12.000
```

Παράδειγμα 3 (συνέχεια 8)

$$\left.\begin{aligned}
\frac{V_\Gamma}{6}+\frac{V_\Gamma}{5}+\frac{V_\Gamma-V_\Delta}{2} &= 0\\
\frac{6+V_\Delta}{4}+\frac{V_\Delta-V_\Gamma}{2}-2i &= 0\\
i &= -\frac{V_\Gamma}{6}
\end{aligned}\right\}\Rightarrow$$

$$\left.\begin{aligned}
V_\Gamma\left(\frac{1}{6}+\frac{1}{5}+\frac{1}{2}\right)-V_\Delta\frac{1}{2} &= 0\\
V_\Gamma\left(-\frac{1}{2}+\frac{1}{3}\right)+V_\Delta\left(\frac{1}{4}+\frac{1}{2}\right) &= -\frac{6}{4}
\end{aligned}\right\}\Rightarrow$$

$$I_N=\frac{6+V_\Delta}{4}+\frac{V_\Gamma}{6}=0.706\ \mathrm{A}$$

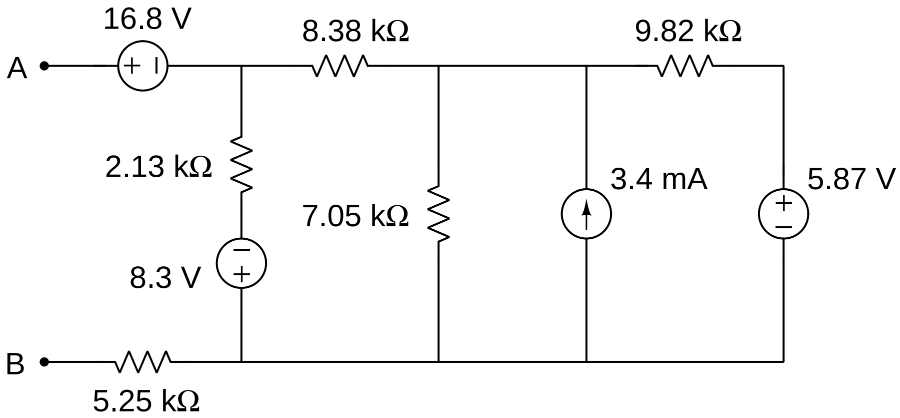
$$R_{TH}=\frac{V_{TH}}{I_N}=17\ \Omega$$

Παράδειγμα 3 (συνέχεια 9)

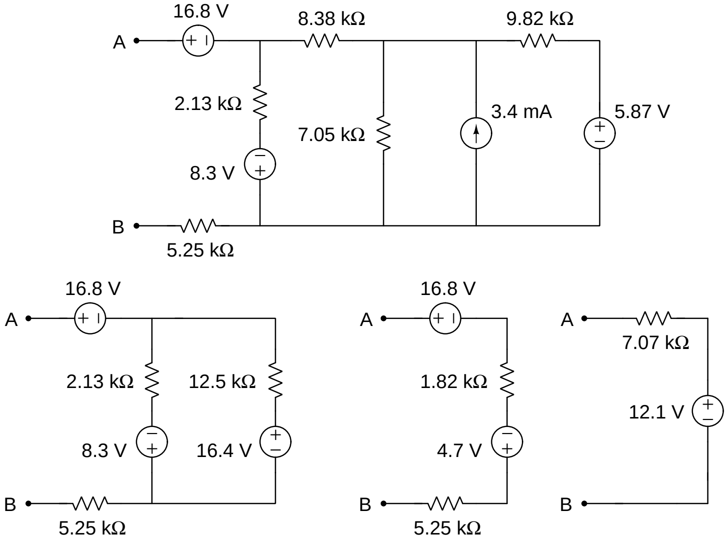
```
octave:30> A=[1/6+1/5+1/2 -1/2; -1/2+1/3 1/4+1/2]
A =
   0.86667  -0.50000
  -0.16667   0.75000

octave:31> b=[0; -6/4]
b =
   0.00000
  -1.50000

octave:32> V=inv(A)*b
V =
  -1.3235
  -2.2941

octave:33> In=(6+V(2))/4 + V(1)/6
In =  0.70588
octave:34> Rth=Vab/In
Rth =  17.000
```

Παράδειγμα 4

Στο παρακάτω κύκλωμα, να υπολογιστεί η τάση $V_{AB}|_{oc}$ με ανοικτούς τους ακροδέκτες A και B. Επίσης, με κλειστούς τους ακροδέκτες A και B να υπολογιστεί το ρεύμα βραχυκυκλώσεως $I_{AB|sc}$. Να υπολογιστεί κατόπιν το ρεύμα I_0 που διέρχεται από ένα φορτίο $R_L = 8.6\ \mathrm{k\Omega}$ όταν αυτό τοποθετηθεί μεταξύ των A και B. Τέλος, να υπολογιστεί η τιμή του R_L έτσι ώστε να έχουμε μέγιστη κατανάλωση ισχύος και να ευρεθεί η μέγιστη αυτή ισχύς.



Παράδειγμα 4 (συνέχεια 1)



Παράδειγμα 4 (συνέχεια 2)

```
octave:1> i1=5.87/9.82
i1 =  0.59776
octave:2> i2=i1+3.4
i2 =  3.9978
octave:3> r1 = 9.82*7.05/(9.82+7.05)
r1 =  4.1038
octave:4> v1=i2*r1
v1 =  16.406
octave:5> r2=r1+8.38
r2 =  12.484
octave:6> Em = (16.4/12.5-8.3/2.13)/(1/12.5+1/2.13)
Em = -4.7039
octave:7> Rm=1/(1/12.5+1/2.13)
Rm =  1.8199
octave:8> Vth=16.8-4.7
Vth =  12.100
octave:9> Rth=1.82+5.25
Rth =  7.0700
octave:10> In=Vth/Rth
In =  1.7115
octave:11> I0=Rth*In/(Rth+8.6)
I0 =  0.77218
octave:12> Pmax=Vth^2/(4*Rth)
Pmax =  5.1772
```

Παράδειγμα 4 (συνέχεια 3)

$$V_{TH} = 12.1 \text{ V} \qquad R_{TH} = 7.07 \text{ k}\Omega \qquad I_N = 1.71 \text{ mA}$$

$$I_0 = 0.772 \text{ mA}$$

$$P_{\text{max}} = 5.18 \text{ mW}$$