

---

# Temă la Bazele Electrotehnicii

---

DRAGNE LAVINIA-ȘTEFANA

314CA, ACS, UPB

lavinia.dragne@stud.acs.upb.ro

10 mai 2020

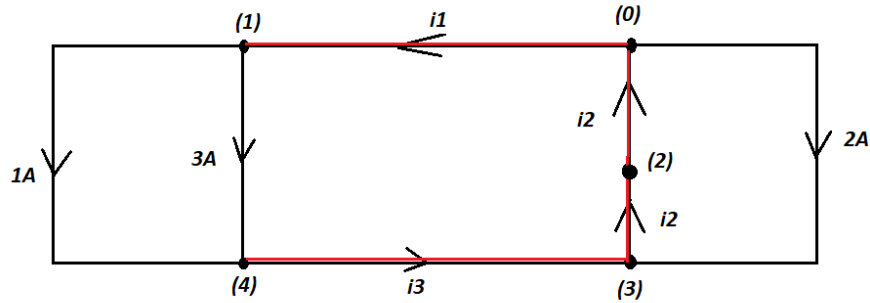
# Contents

<b>1</b>	<b>Generarea unui circuit</b>	<b>3</b>
1.1	Generarea grafului de curenți . . . . .	3
1.2	Generarea grafului de tensiuni . . . . .	4
1.3	Bilanțul de puteri . . . . .	5
1.4	Alegerea elementelor ideale de circuit și calcularea parametrilor .	5
1.5	Alegerea unui arbore normal . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Metode sistematice eficiente</b>	<b>7</b>
2.1	Analiza eficienței metodelor sistematice . . . . .	7
2.2	Rezolvarea sistemului . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Generatorul echivalent de tensiune/curent</b>	<b>9</b>
3.1	Codul necesar obținerii graficelor . . . . .	12
3.2	Graficul intensității curentului în funcție de rezistență . . . . .	13
3.3	Graficul tensiunii în funcție de rezistență . . . . .	14
3.4	Graficul puterii în funcție de rezistență . . . . .	15
3.5	Caracteristica rezistorului liniar și a generatorului liniar . . . . .	17
3.6	Dioda semiconductoare . . . . .	20
<b>4</b>	<b>Surse comandate</b>	<b>26</b>
4.1	Simularea circuitului inițial . . . . .	26
4.2	Sursa de curent comandată în tensiune . . . . .	27
4.3	Sursa de tensiune comandată în curent . . . . .	28
<b>5</b>	<b>Redactarea în Latex</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>30</b>

# 1 Generarea unui circuit

Am ales 2 grafuri,  $G_i$  pentru curenți, respectiv  $G_u$ , pentru tensiuni. Acestea 2 corespund aceluiași circuit, care respectă cerințele din enunț, respectiv este un circuit electric liniar rezistiv, fără surse comandate, cu cel puțin o sursă de tensiune și cel puțin o sursă de curent. Topologia circuitului a fost aleasă, astfel încât graful circuitului să aibă cel puțin 3 ochiuri. Pentru construirea lui, am stabilit valori arbitrare pentru curenți, în coarde, iar pentru tensiuni, în ramuri, după care am dedus celelalte valori.

## 1.1 Generarea grafului de curenți

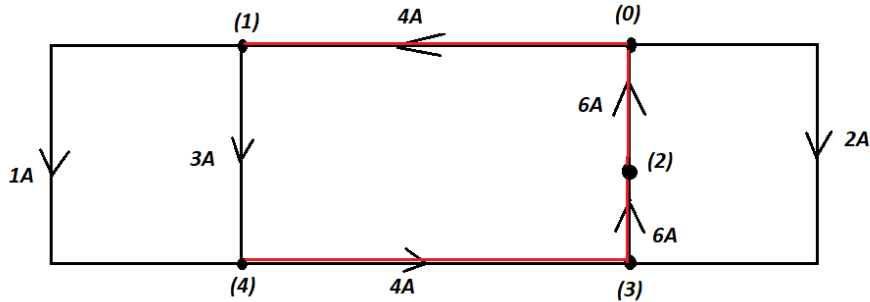


Graful de curenți -  $G_i$

Aplicăm Legea I a lui Kirchhoff și vom obține următoarele valori pentru intensitățile curenților din ramuri:

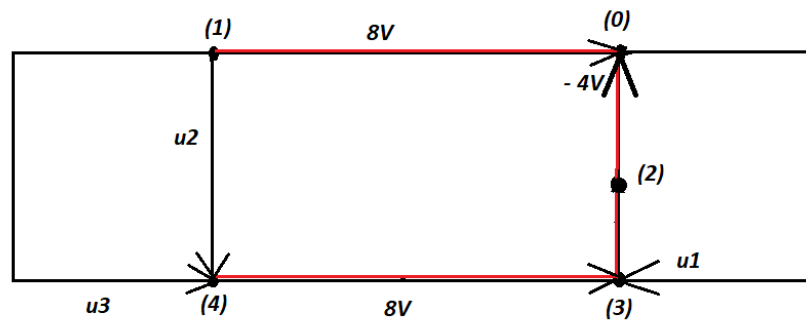
- În nodul (4):  $i_3 = (3A + 1A)$ . Deci  $i_3 = 4A$ .
- În nodul (3):  $i_2 = (2A + i_3)$ . Deci  $i_2 = 6A$ .
- În nodul (0):  $i_1 = (i_2 - 2A)$ . Deci  $i_1 = 4A$ .

Verificare în nodul (1):  $i_1 = 1A + 3A$ . Deci  $i_1 = 4A$  exact cum am calculat mai sus.



Graful de curenți complet -  $G_i$

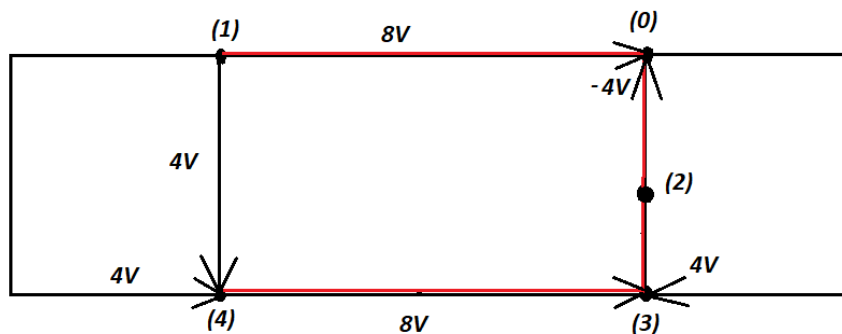
## 1.2 Generarea grafului de tensiuni



Graful de tensiuni -  $G_u$

Aplicăm Legea II a lui Kirchhoff și vom obține următoarele valori pentru tensiunile curenților din coarde:

- $u_1 = 4V$ ;
- $u_2 = (8V + 4V - 8V)$ . Deci  $u_2 = 4V$ .
- $u_3 = u_2$ . Deci  $u_3 = 4V$ .



Graful de tensiuni complet -  $G_u$

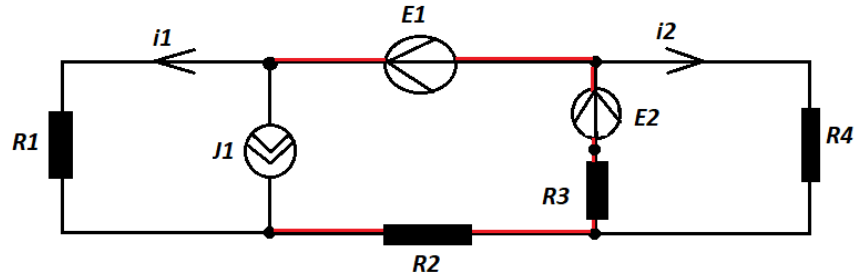
### 1.3 Bilanțul de puteri

Verific perechea de grafuri cu Teorema lui Tellegen și faptul că am calculat corect elementele de circuit, folosindu-mă de bilanțul de puteri.

- $P_r = 1A * 4V + 4A * 8V + 6A * (-4)V + 2A * 4V + 3A * 4V;$
- $P_r = 32w.$
- $P_g = 4A * 8V;$
- $P_g = 32w.$

Deci  $P_r = P_g$ , sumele de puteri sunt egale, Teorema lui Tellegen este respectată.

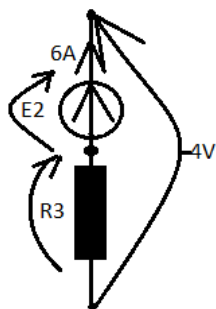
### 1.4 Alegerea elementelor ideale de circuit și calcularea parametrilor



Reprezentarea circuitului

Folosind  $G_i$  și  $G_u$  calculăm parametrii:

- $R_1 = 4V/1A$ . Deci  $R_1 = 4$  ohm.
- $R_2 = 8V/4A$ . Deci  $R_2 = 2$  ohm.
- $R_4 = 4V/2A$ . Deci  $R_4 = 2$  ohm.
- $E_1 = 8$  V.
- $J_1 = 3$  A.



Latura dintre nodurile (0) și (3)

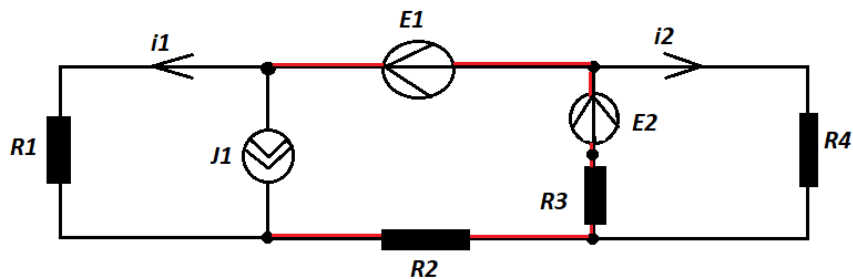
- $(-4) \text{ V} = 6\text{A} * R_3 - E_2$ .  
Aleg  $R_3 = 1 \text{ ohm}$ , deci  $E_2 = 10 \text{ V}$ .

Verific bilanțul de puteri:

- $P_c = (4 \text{ ohm}) * (1\text{A})^2 + (2 \text{ ohm}) * (4\text{A})^2 + (1 \text{ ohm}) * (6\text{A})^2 + (2 \text{ ohm}) * (2\text{A})^2$
  - $P_c = 80 \text{ w}$
  - $P_g = (10 \text{ V}) * (6\text{A}) + (8 \text{ V}) * (4\text{A}) - (4 \text{ V}) * (3\text{A})$
  - $P_g = 80 \text{ w}$
- Deci  $P_c = P_g$ , sumele de puteri sunt egale, Teorema lui Tellegen este respectată.

### 1.5 Alegerea unui arbore normal

Circuitul este formulat corect dacă conține un arbore normal, format din toate sursele ideale de tensiune(SIT-urile) și nicio sursă ideală de curent(SIC).  
În aceste condiții, sursele ideale de curent nu vor forma nici bucle, nici secțiuni.



Arborele normal

## 2 Metode sistematice eficiente

În această secțiune vom analiza ce metodă sistematică este cea mai eficientă pentru problema propusă, conform următorului tabel, ținând cont de elementele topologice ale circuitului.

- Elementele de topologie ale circuitului ales sunt:

- $N(\text{noduri}) = 5$ ;
- $L(\text{laturi}) = 7$ ;
- $n_{SIC} = 1$ ;
- $n_{SIT} = 1$ ;

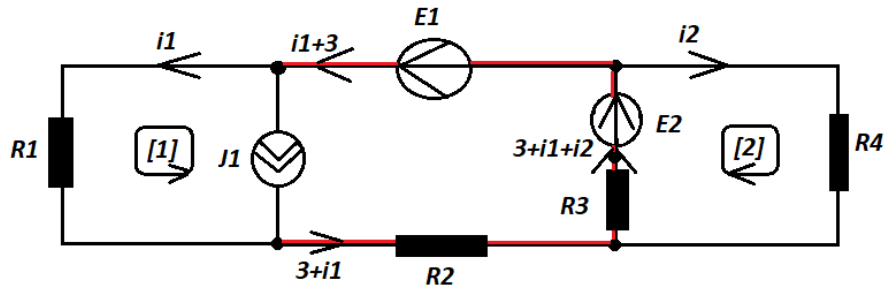
### 2.1 Analiza eficienței metodelor sistematice

Metodă	Număr de ecuații
Kirchhoff clasic	$2L = \mathbf{14}$
Kirchhoff în curenți	$L - N + 1 = \mathbf{3}$
Kirchhoff în tensiuni	$N - 1 = \mathbf{4}$
Curenți de coarde (curenți de bucle/curenți ciclici)	$L - N + 1 - n_{SIC} = \mathbf{2}$
Tensiuni în ramuri (potențiale ale nodurilor dacă SIT formează un subgraf conex)	$N - 1 - n_{SIT} = \mathbf{3}$

Tabel cu metodele posibile, ce pot fi aplicate pentru rezolvare

Voi alege metoda curenților în coarde pentru că aceasta necesită cel mai mic număr de ecuații de rezolvat, deci este cea mai eficientă.

Pentru a rezolva sistemul trebuie să aleg un arbore normal cu un SIC în coarde și cu toate SIT în ramuri.



Arborele normal

## 2.2 Rezolvarea sistemului

Voi reprezenta curenții din ramuri, în funcție de cei din coarde. Sistemul rezultat cu necunoscutele  $I_1$  și  $I_2$  trebuie rezolvat.

- 1:  $I_1 * R_1 - U_j = 0$
- 2:  $I_2 * R_4 + (3 + I_1 + I_2) * R_3 - E_2 = 0$

Sistemul devine:

- 1:  $I_1 * 4 - 4 = 0$
- 2:  $I_2 * 2 + (4 + I_2) * 1 - 10 = 0$

Deci:

- 1:  $I_1 = 1 \text{ A};$
- 2:  $I_2 = 2 \text{ A};$

Intensitățile obținute sunt egale cu cele inițiale, deci am calculat corect.

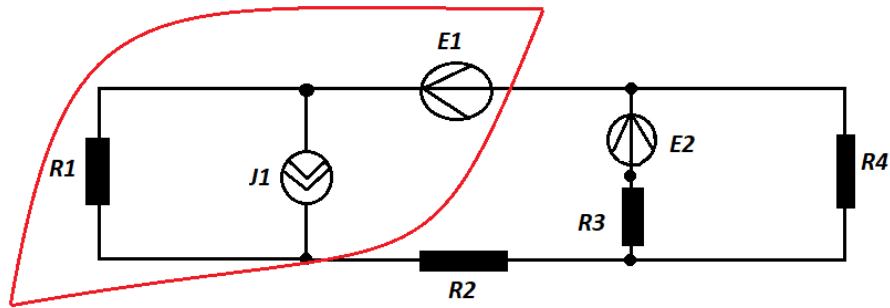


### 3 Generatorul echivalent de tensiune/curent

Am ales latura cu rezistorul  $R_2$ .

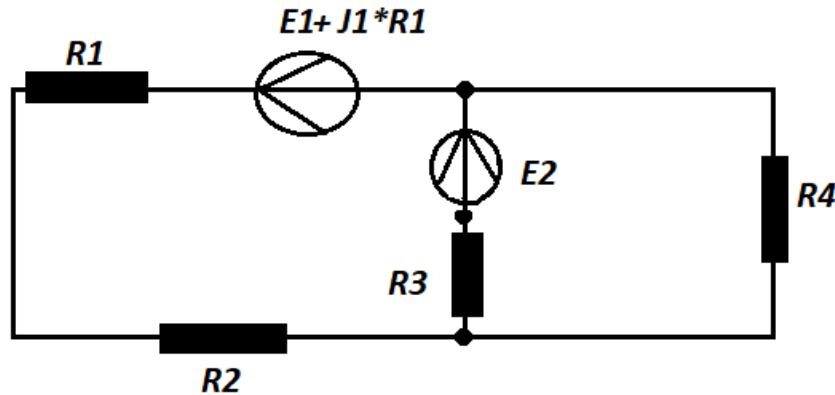
Voi determina, prin metoda echivalențelor, generatorul echivalent de tensiune, față de bornele rezistorului  $R_2$ .

Trebuie să reduc circuitul inițial la unul echivalent.



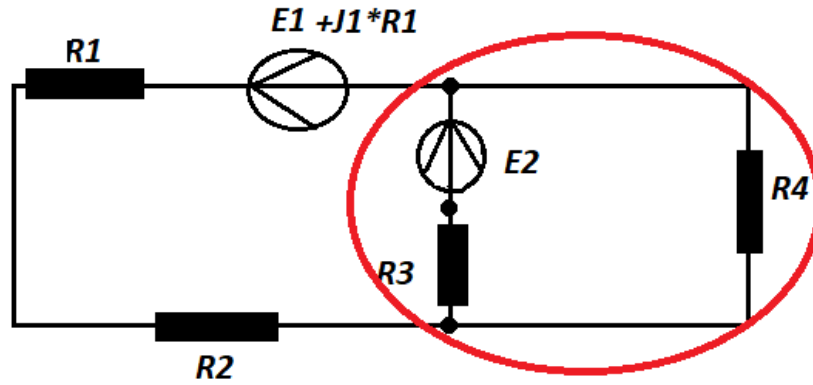
SRC si SIT în serie

Pentru aceasta, voi grupa SRC-ul, format din  $R_1$  și  $J_1$ , în serie, cu SIT-ul, determinat de  $E_1$ , echivalentul lor fiind un SRT, de rezistență  $R_1$  și tensiune  $E_1 + J_1 * R_1$ .



Circuitul rezultat dupa prima echivalență

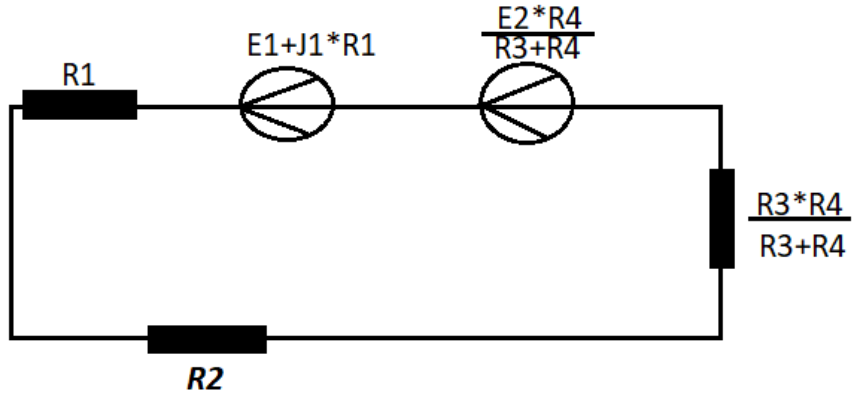
În circuitul rezultat, grupez SRT-ul format din  $E_2$  și  $R_3$  în paralel cu  $R_4$ .



SRT-ul grupat în paralel cu  $R_4$

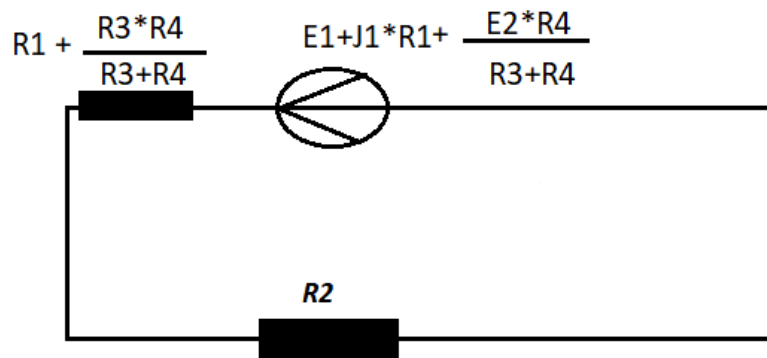
Gruparea este echivalentă cu un SRT de rezistență  $(R_3 * R_4) / (R_3 + R_4)$  și tensiune  $(E_2 * R_4) / (R_3 + R_4)$ .

În continuare, se grupează cele 2 SRT-uri formate, în serie.



Circuitul rezultat după a 2-a echivalență

SRT-ul rezultat va fi de o rezistență echivalentă egală cu  $(R_3 * R_4) / (R_3 + R_4) + R_1$  și tensiune  $(E_2 * R_4) / (R_3 + R_4) + (E_1 + J_1 * R_1)$ .



Circuitul rezultat dupa a 3-a echivalență

Calculez valorile, înlocuind numeric, în expresia algebrică obținută.

Astfel:

$$R_3 + R_4 = 3\text{ohm};$$

- $R_e = [(1\text{ ohm} * 2\text{ ohm}) / (1\text{ ohm} + 2\text{ ohm})] + 4\text{ ohm};$
- $E_e = (8\text{ V} + 3\text{ A} * 4\text{ ohm}) + (10\text{ V} * 2\text{ ohm}) / (1\text{ ohm} + 2\text{ ohm}).$

Deci:

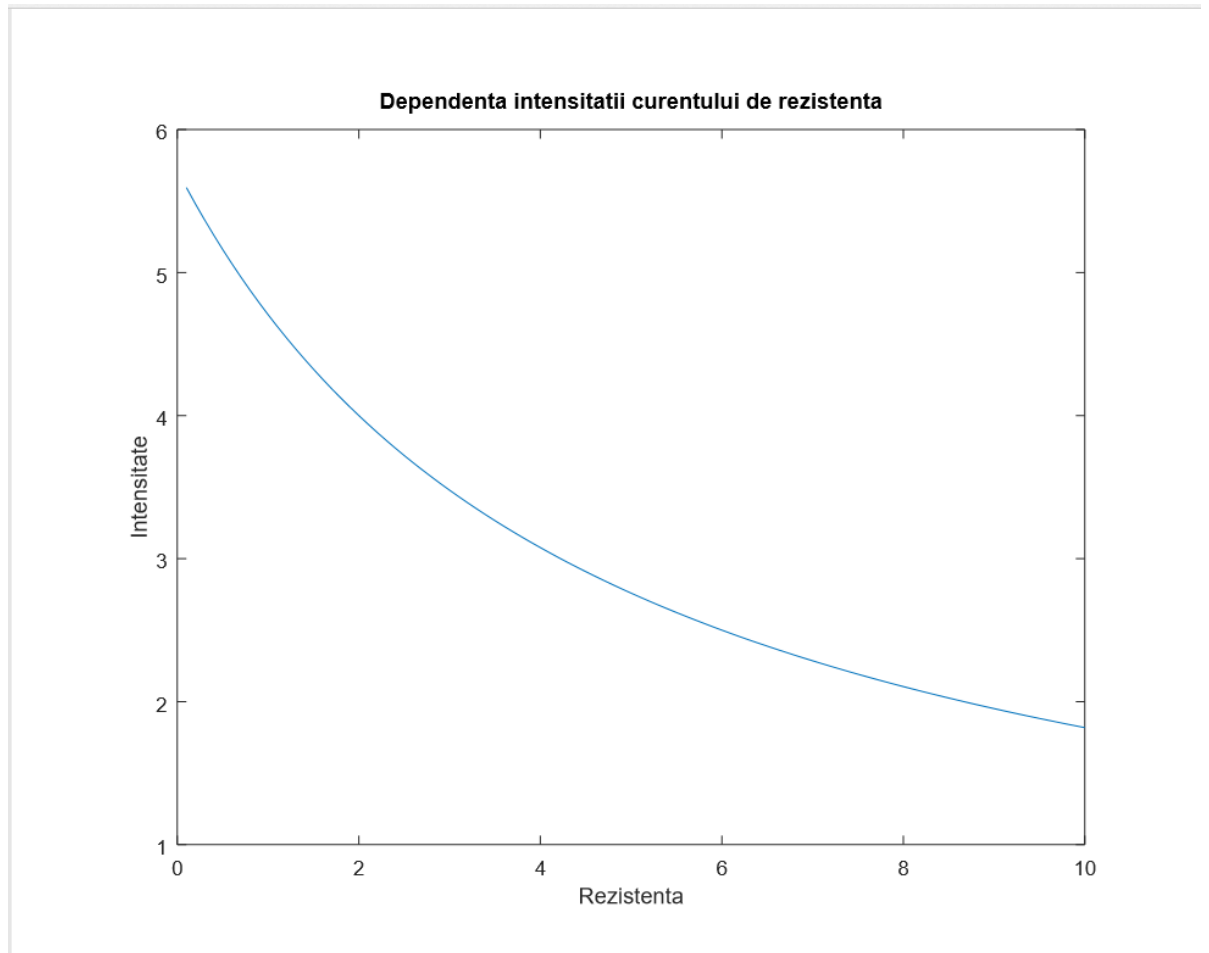
- $R_e = 14/3\text{ ohm};$  Adică  $R_e = 4.666\text{ ohm}.$
- $E_e = 80/3\text{ V}.$  Adică  $E_e = 26.666\text{ V}.$
- $U_{gol} = E_e.$  Deci  $U_{gol} = 80/3\text{ V};$  Adică  $U_{gol} = 26.666\text{ V}.$
- $I_{sc} = E_e / R_e.$  Deci  $I_{sc} = 40/7\text{ A};$  Adică  $I_{sc} = 5.714\text{ A}.$

### 3.1 Codul necesar obținerii graficelor

```
1 function plots()
2
3     R2 = [0.1:0.1:10];
4     Ee = 80 / 3;
5     Re = 14 / 3;
6
7     I = [];
8     U = [];
9     P = [];
10
11
12     I = Ee ./ (Re .+ R2);
13     U = R2 .* I;
14     P = U .* I;
15
16
17     figure(1)
18     plot(R2, I);
19     xlabel("Rezistentă");
20     ylabel("Intensitate");
21     title("Dependenta intensitatii curentului de rezistentă");
22
23     figure(2)
24     plot(R2, U);
25     xlabel("Rezistentă");
26     ylabel("Tensiune");
27     title("Dependenta tensiunii curentului de rezistentă");
28
29     figure(3)
30     plot(R2, P);
31     xlabel("Rezistentă");
32     ylabel("Putere");
33     title("Dependenta puterii curentului de rezistentă");
34
35 endfunction
36
```

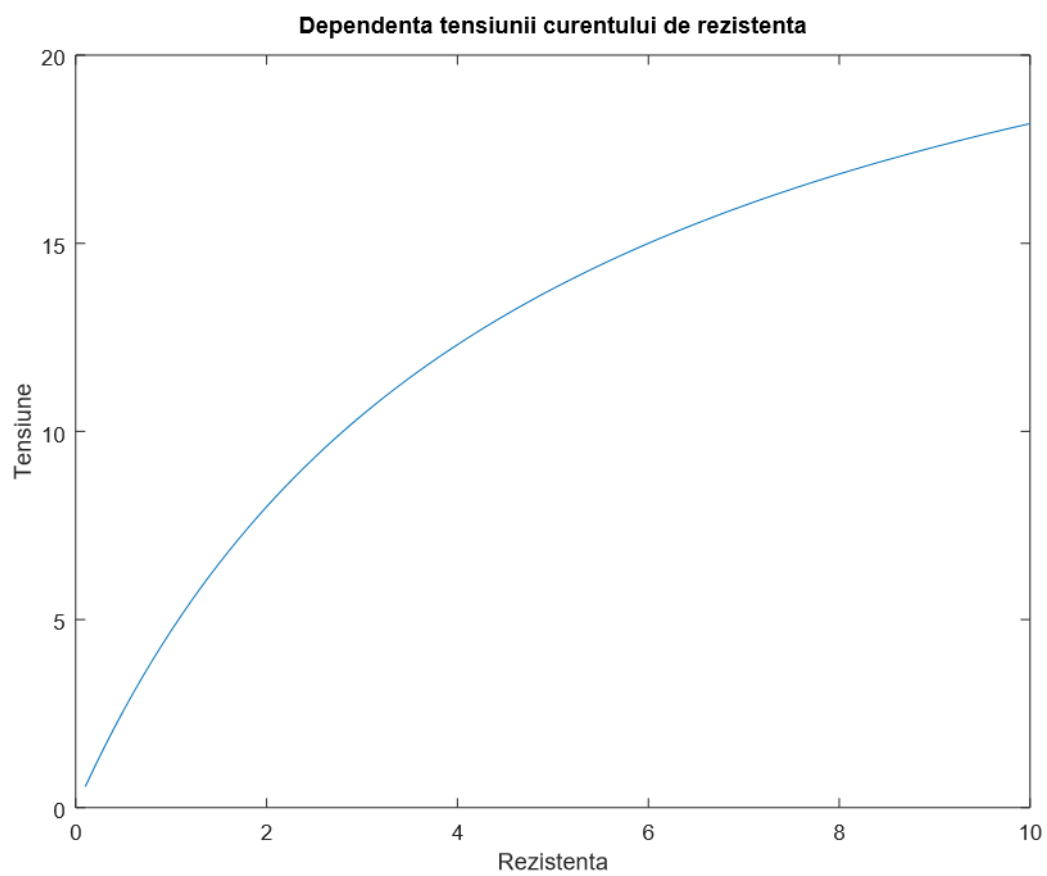
Codul pentru grafice în Octave

### 3.2 Graficul intensității curentului în funcție de rezistență



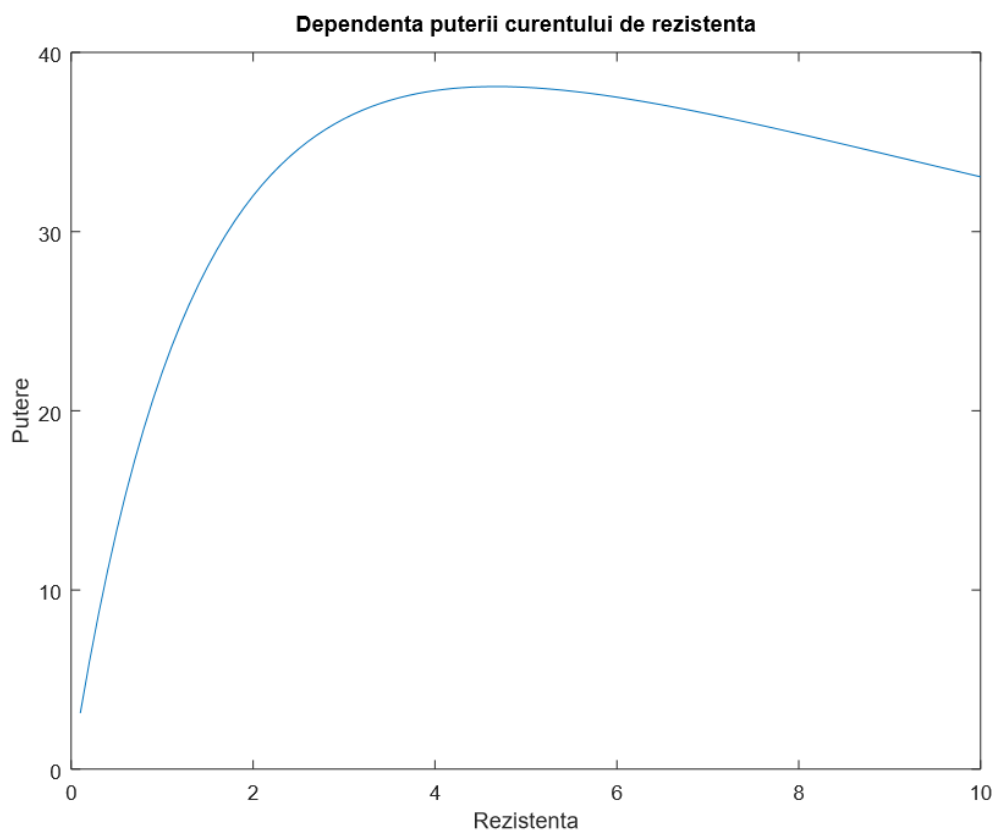
Dependența intensității curentului în funcție de rezistență în Octave

### 3.3 Graficul tensiunii în funcție de rezistență



Dependența tensiunii în funcție de rezistență în Octave

### 3.4 Graficul puterii în funcție de rezistență

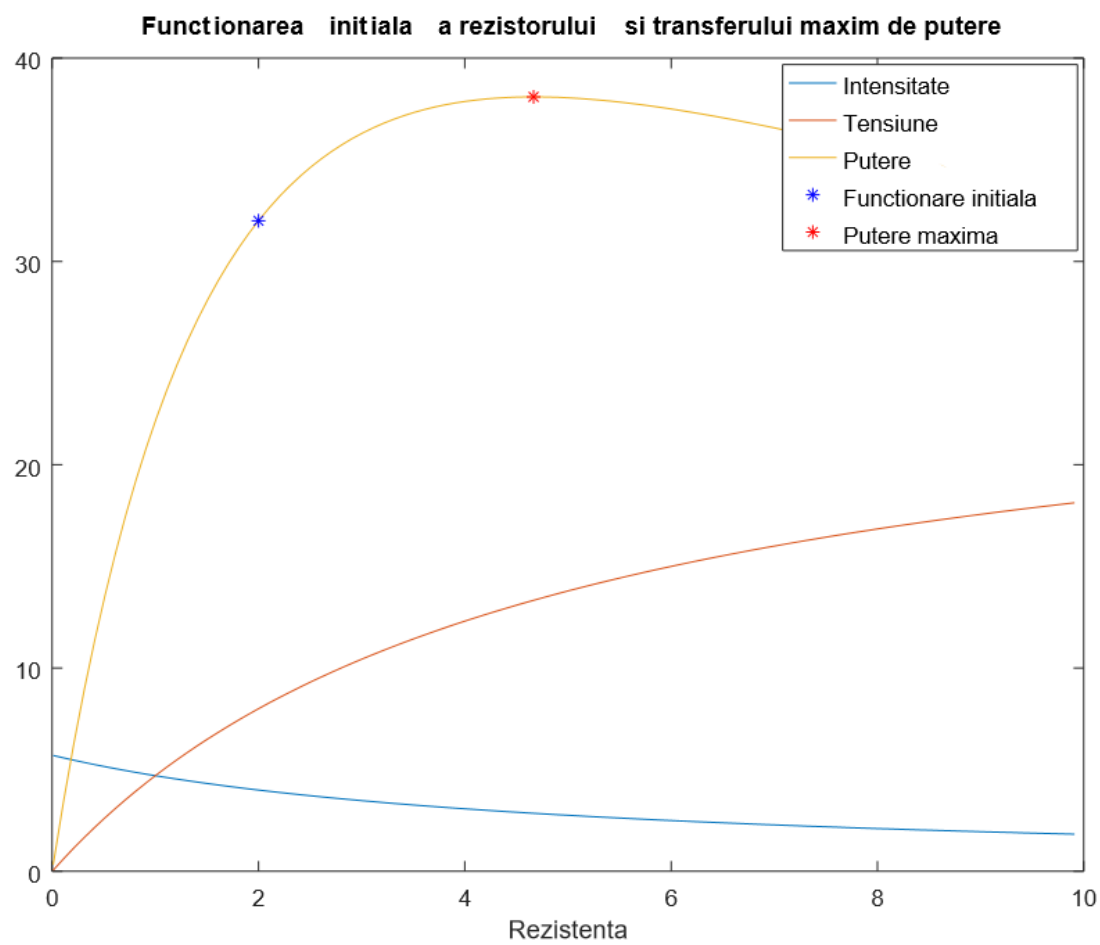


Dependenta puterii în funcție de rezistență în Octave

Pentru reprezentare am ales gama de valori pentru  $R_2$  în intervalul  $[0.01,10]$  ohm. Transferul maxim de putere are loc atunci când rezistența de sarcină este egală cu rezistența generatorului echivalent, adică  $R_2 = R_e$  și este egală cu 38.095 w.

Transferul maxim de putere are loc pentru  $R_2 = 14 / 3$  ohm, adică 4.666 ohm, reprezentat pe grafic prin punctul roșu.

Funcționarea inițială, a circuitului, este marcată pe grafic prin punctul albastru și este corespunzătoare pentru  $R_2 = 2$  ohm.



Cele 3 grafice



```

1 function pmax()
2
3     R2 = [0.01:0.1:10];
4     Ee = 80 / 3;
5     Re = 14 / 3;
6
7     I = [];
8     U = [];
9     P = [];
10
11
12     I = Ee ./ (Re .+ R2);
13     U = R2 .* I;
14     P = U .* I;
15
16     R2i = 2; % R2 initial
17     i = Ee / (R2i + Re); % intensitatea curentului in functionare initiala
18     Pi = i^2 * R2i; % puterea in functionarea initiala
19     Pmax = (Ee^2) / (4 * Re);
20
21     figure(1)
22     plot(R2, I, R2, U, R2, P);
23     hold on
24     plot(R2i, Pi, "b*");
25     plot(Re, Pmax, "r*");
26     xlabel("Rezistenta");
27     title(" Funcționarea inițială a rezistorului și transferului maxim de putere");
28     legend("Intensitate", "Tensiune", "Putere", "Functionare initiala", "Putere maxi
29
30 endfunction

```

Codul pentru cele 3 grafice

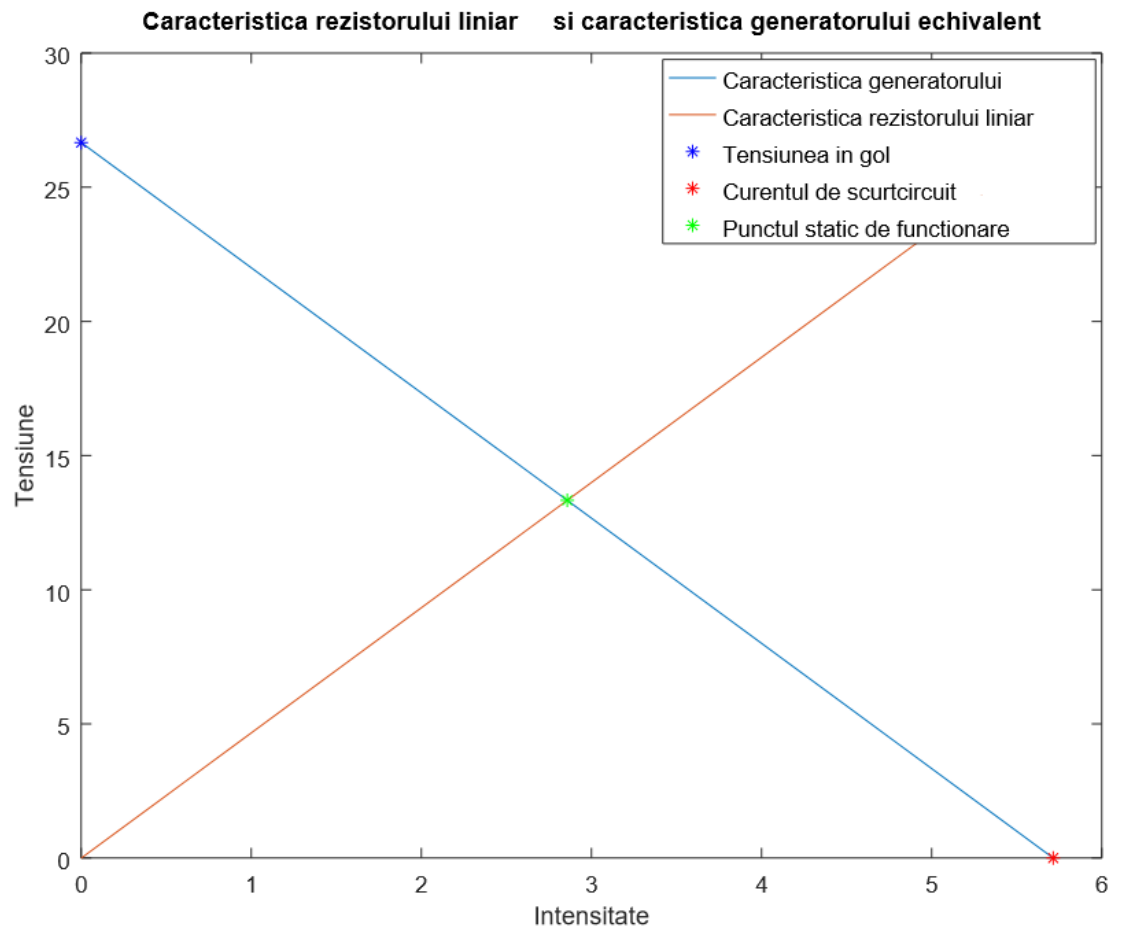
### 3.5 Caracteristica rezistorului liniar și a generatorului liniar

Știm:

- $U_{gol} = 80/3$  V. Deci  $U_{gol} = 26.666$  V.
- $I_{sc} = 40/7$  A. Deci  $I_{sc} = 5.714$  A.

Trasez, pe același grafic, caracteristică rezistorului liniar și caracteristica generatorului echivalent, rezultat în urmă transformărilor.

Punctul static de funcționare se afla la intersecția celor 2 drepte reprezentate, adică la  $20/7 \text{ A} = 2.85 \text{ A}$  și  $40/3 \text{ V} = 13.33 \text{ V}$ .



Caracteristica rezistorului liniar și a generatorului echivalent

```

1 function dependenta()
2
3     R2 = 2;
4     Ee = 80 / 3;
5     Re = 14 / 3;
6     Isc = Ee / Re;
7
8     I = [0:0.1:Isc];
9
10    Ugol = Ee;
11    U1 = -Re .* I + Ee;
12    U2 = Re .* I;
13
14    figure(1)
15    plot(I, U1, I, U2);
16    hold on
17    plot(0, Ugol, "b*");
18    plot(Isc, 0, "r*");
19    plot(20 / 7, 40 / 3, "g*");
20    xlabel("Intensitate");
21    ylabel("Tensiune");
22    title("Caracteristica rezistorului liniar și caracteristica generatorului echivalent");
23    legend("Caracteristica generatorului", "Caracteristica rezistorului liniar",
24    "Tensiunea in gol", "Curentul de scurtcircuit", "Punctul static de functionare");
25
26 endfunction
27

```

Codul corespunzător în Octave pentru cele 2 caracteristici

### 3.6 Dioda semiconductoare

Am înlocuit rezistorul  $R_2$  cu o diodă semiconductoare.

Trebuie să refac graficele pentru evidențierea punctul static de funcționare.

Pe grafice voi reprezenta caracteristica generatorului echivalent, alături de curba elementului neliniar, mai precis caracteristica diodei.

Se alege un model exponențial și se ține cont de ecuația:

$$I(U) = I_s * (e^{(U/V_T)} - 1).$$

Se va alege, conform indicațiilor din breviarul de seminar:

- $V_T = 26\text{mV}$ ;
- $I_s = 10\text{pA}$ .

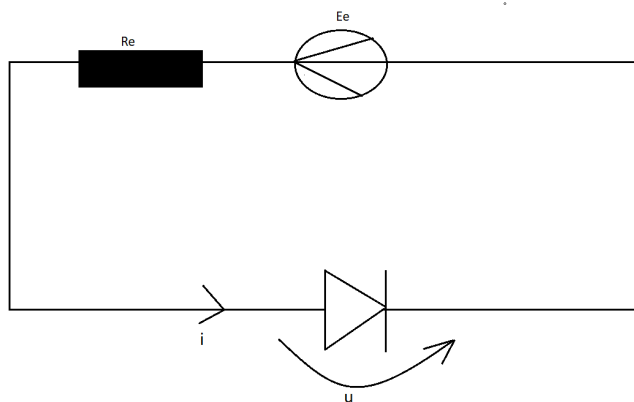
Tensiunea de prag,  $V_p$ , va fi  $0.6\text{V}$ .

Dioda poate fi polarizată direct sau invers. Se vor reprezenta ambele moduri de plasare ale diodei.

Punctul static de funcționare se determină cu metoda de rezolvare geometrică a unui sistem de ecuații și anume metoda dreptei de sarcină. Punctul se va afla la intersecția dintre cele 2 caracteristici.

Dacă se dorește o rezolvare mai precisă se poate folosi o metodă numerică, precum cea a biseției sau modelul liniar pe porțiuni.

- Polarizare directă



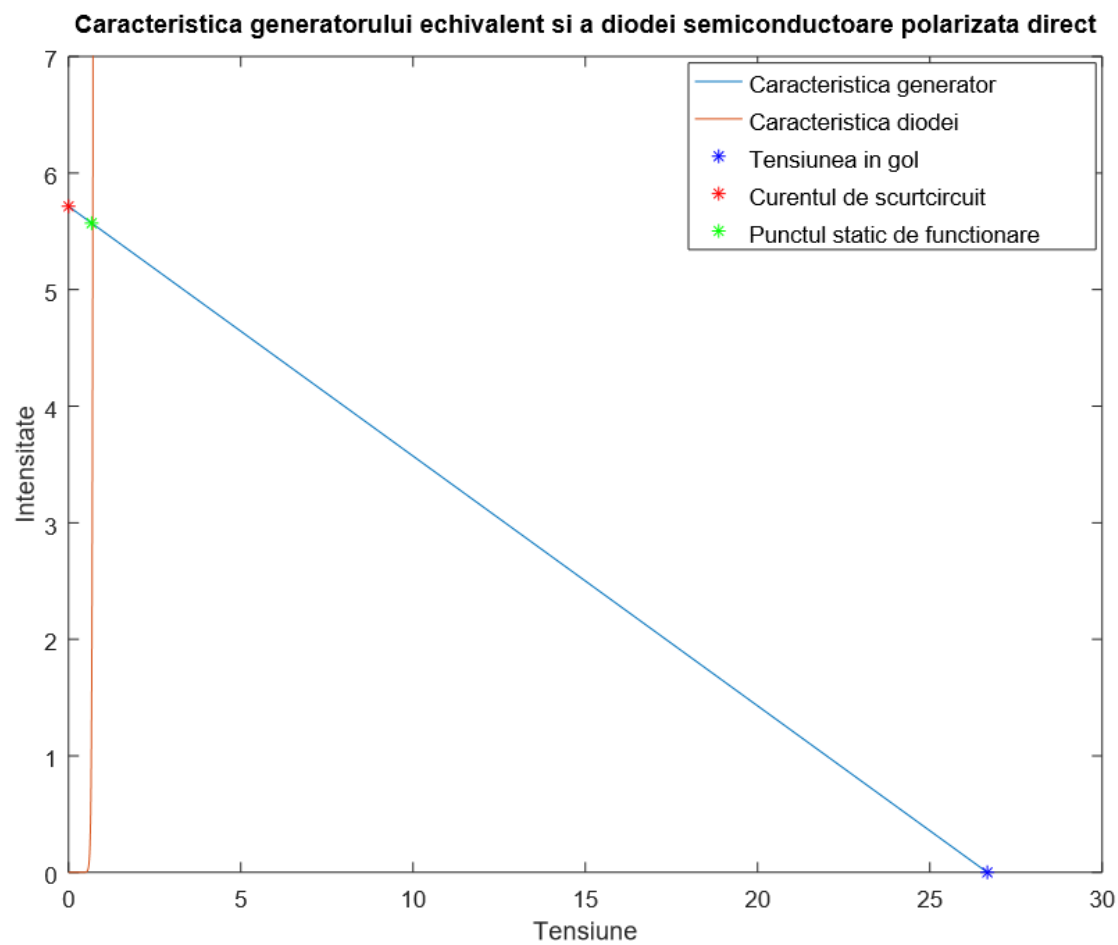
Dioda polarizată direct

```

1 function dioda()
2
3     R2 = 2;
4     Ee = 80 / 3;
5     Re = 14 / 3;
6     Isc = Ee / Re;
7     I_s = 10^(-11);
8     V_T = 0.026;
9
10    U = [0: 0.01: 80 / 3];
11
12    Ugol = Ee;
13    I = (Ee - U) ./ Re;
14    I2 = I_s * (e.^(U / V_T) - 1);
15
16    figure(1)
17    plot(U, I, U, I2);
18    hold on
19    plot(Ugol, 0, "b*");
20    plot(0, Isc, "r*");
21    plot(0.668, 5.57, "g*");
22    axis([0 30 0 7]);
23    xlabel("Tensiune");
24    ylabel("Intensitate");
25    title("Caracteristica generatorului echivalent si a diodei semiconductoare polarizata direct");
26    legend("Caracteristica generator", "Caracteristica diodei", "Tensiunea in gol",
27    "Curentul de scurtcircuit", "Punctul static de functionare");
28
29 endfunction

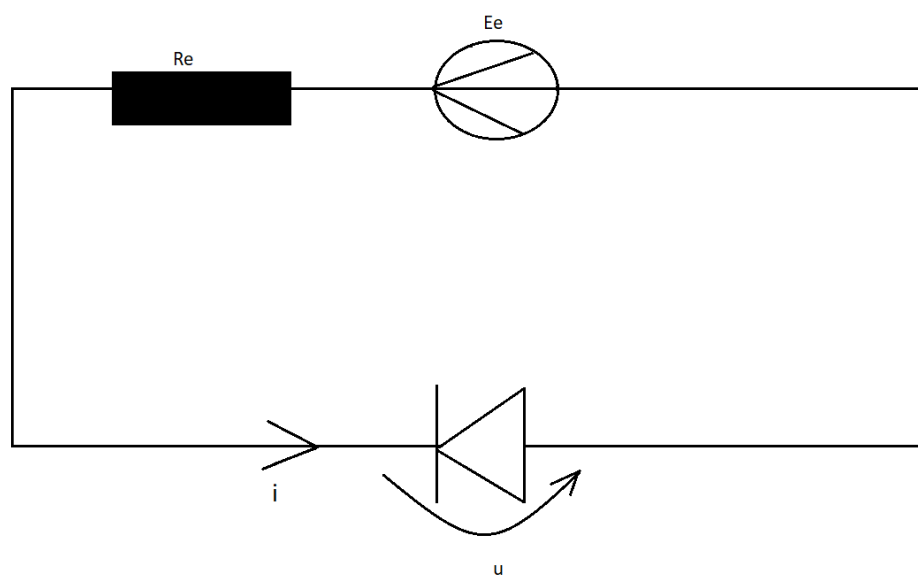
```

Codul corespunzător în Octave pentru cele 2 caracteristici



Caracteristica generatorului echivalent și a diodei semiconductoare polarizate direct

- Polarizare inversă



Dioda polarizată invers

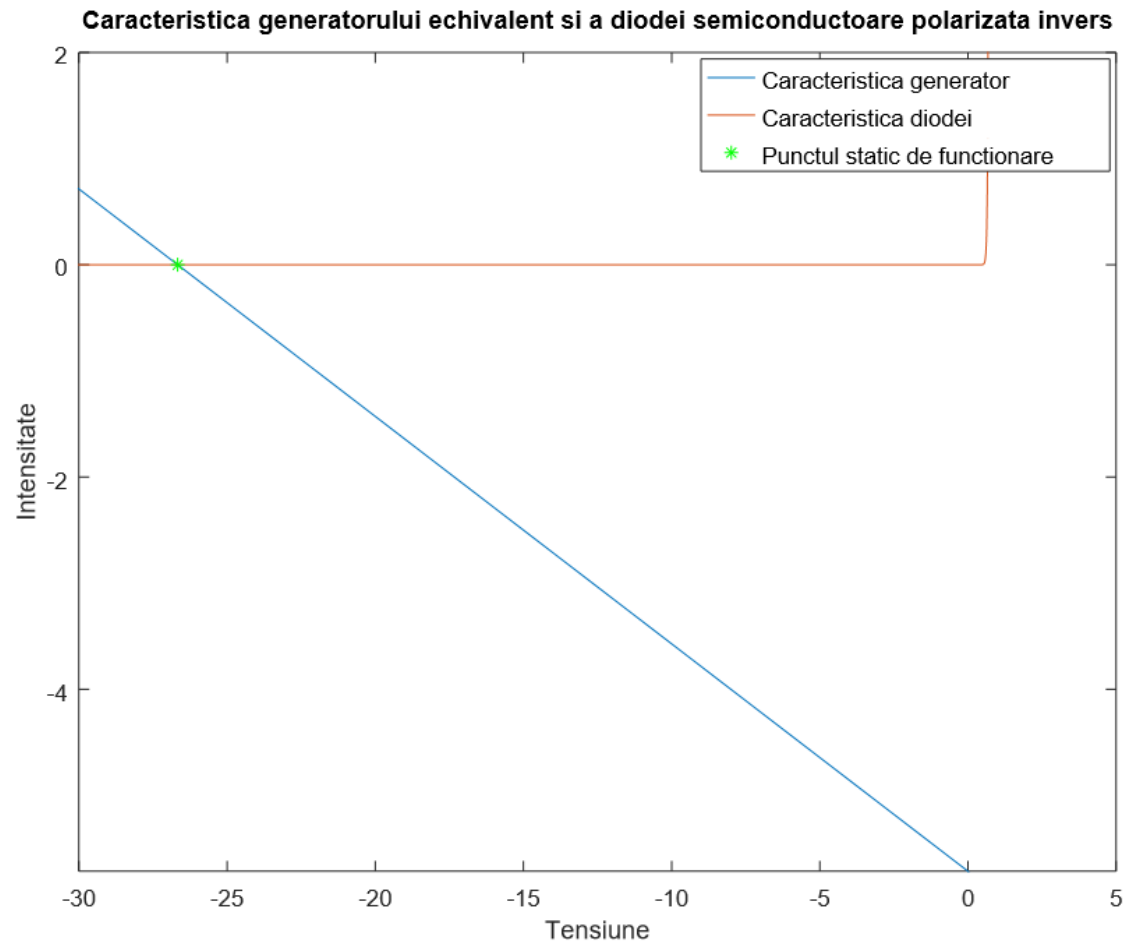
```

1 function diodainv()
2
3     R2 = 2;
4     Ee = -80 / 3;
5     Re = 14 / 3;
6     Isc = Ee / Re;
7     I_s = 10^(-11);
8     V_T = 0.026;
9
10    U = [-32.5: 0.01: 27];
11
12    Ugo1 = Ee;
13    I = (Ee - U) ./ Re;
14    I2 = I_s * (e.^(U / V_T) - 1);
15
16    figure(1)
17    plot(U, I, U, I2);
18    hold on
19    plot(-26.666, 0, "g*");
20    axis([-30 5 Isc 2]);
21    xlabel("Tensiune");
22    ylabel("Intensitate");
23    title("Caracteristica generatorului echivalent si a diodei semiconductoare polarizata invers");
24    legend("Caracteristica generatorului", "Caracteristica diodei", "Punctul static de functionare");
25
26 endfunction
27

```

Codul corespunzător în Octave pentru cele 2 caracteristici



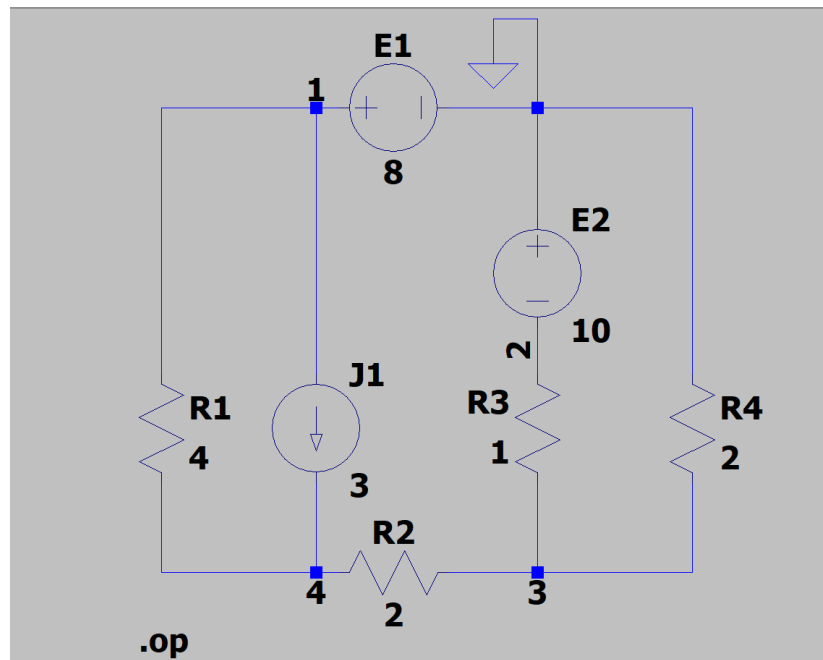


Caracteristica generatorului echivalent și a diodei semiconductoare polarizate invers

## 4 Surse comandate

Pentru generarea circuitului am folosit LTSpice.

### 4.1 Simularea circuitului inițial



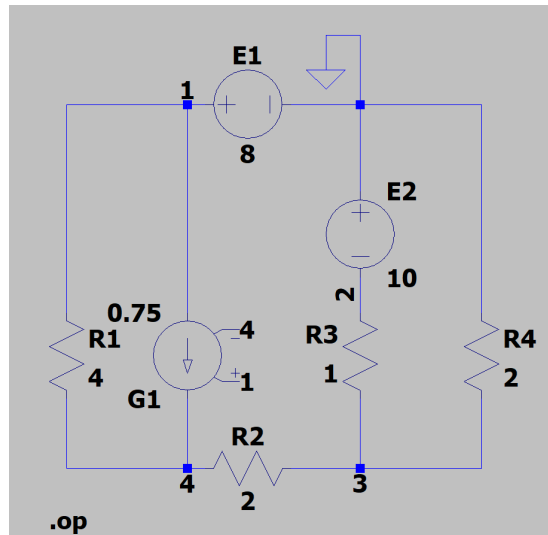
Circuit inițial

Rezultate		* C:\Users\lavin\Desktop\Tema-elth\Circuit.asc	
* C:\Users\lavin\Desktop\Tema-elth\Circuit.asc		--- Operating Point ---	
R1	1 4 4	V(1):	8 voltage
R2	3 4 2	V(4):	4 voltage
R3	3 2 1	V(3):	-4 voltage
ISJ1	1 4 3	V(2):	-10 voltage
VSE2	0 2 10	I(J1):	3 device_current
VSE1	1 0 8	I(R4):	2 device_current
R4	0 3 2	I(R3):	6 device_current
.op		I(R2):	-4 device_current
		I(R1):	1 device_current
		I(E1):	-4 device_current
		I(E2):	-6 device_current

Valori numerice circuit inițial

## 4.2 Sursa de curent comandată în tensiune

Am înlocuit sursa ideală de curent J1 cu o sursă ideală de curent comandată în tensiune, G1. Tensiunea de comandă am ales să fie furnizată de nodurile 4 și 1. Valoarea conductanței de transfer se obține din raportul dintre intensitatea inițială prin sursa ideală de curent și de tensiunea de comandă.



Circuit cu sursa de curent comandată în tensiune

```

LTspice XVII - [transf1-val]
File Edit View Simulate Tools Window Help
Circuit transf1-val
* C:\Users\lavin\Desktop\Tema-elth\Circuit.asc
R1 1 4 4
R2 3 4 2
R3 3 2 1
VSE2 0 2 10
VSE1 1 0 8
R4 0 3 2
G1 1 4 1 4 0.75
.op
.backanno
.end

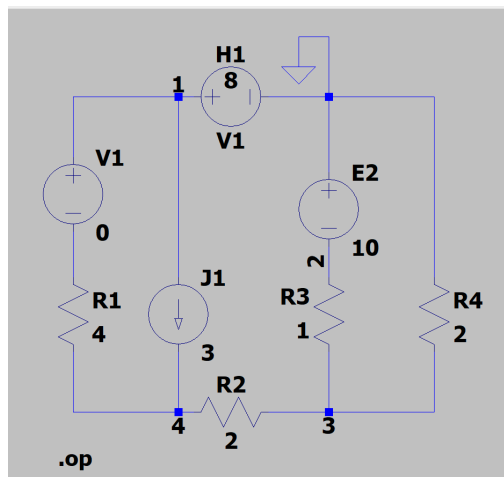
--- Operating Point ---
V(1):      8      voltage
V(4):      4      voltage
V(3):     -4      voltage
V(2):    -10      voltage
I(R4):      2      device_current
I(R3):      6      device_current
I(R2):     -4      device_current
I(R1):      1      device_current
I(G1):      3      device_current
I(E1):     -4      device_current
I(E2):     -6      device_current

```

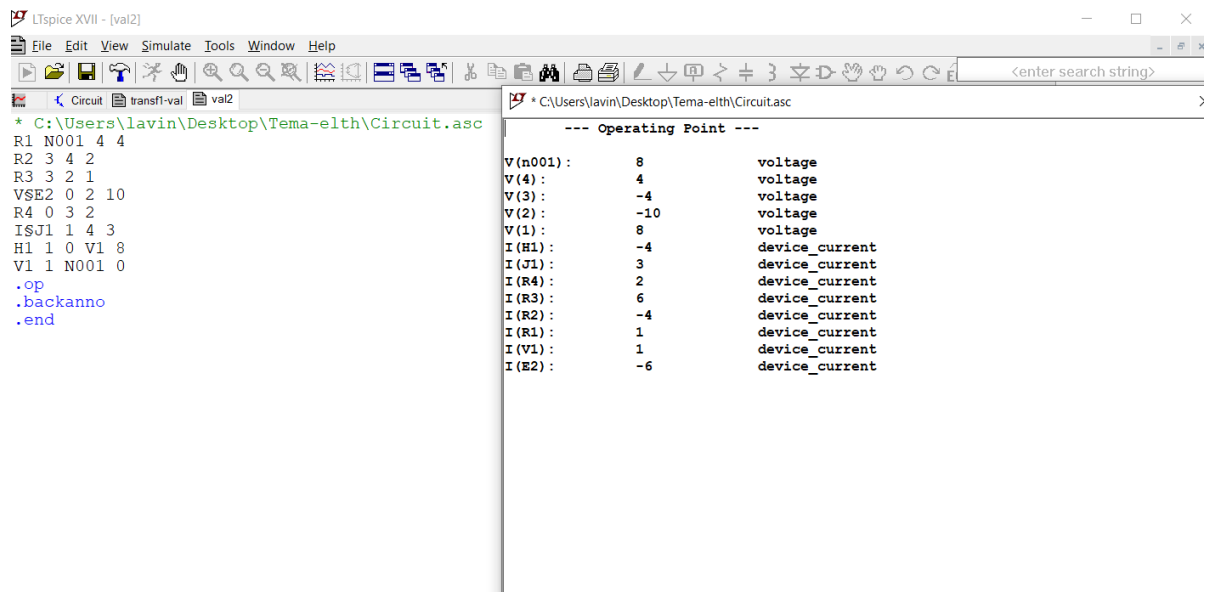
Valori numerice cu sursa de curent comandată în tensiune

### 4.3 Sursa de tensiune comandată în curent

Am înlocuit sursa ideală de tensiune E1 cu o sursă ideală de tensiune comandată în curent, H1. Intensitatea curentului de comandă am ales să fie pe latura determinată de nodurile 1 și 4 și rezistorul  $R_1$ . Valoarea rezistenței de transfer se obține din raportul dintre tensiunea inițială a sursei ideale de tensiune și intensitatea curentului de comandă, de pe latura cu SIT-ul de tensiune 0V.



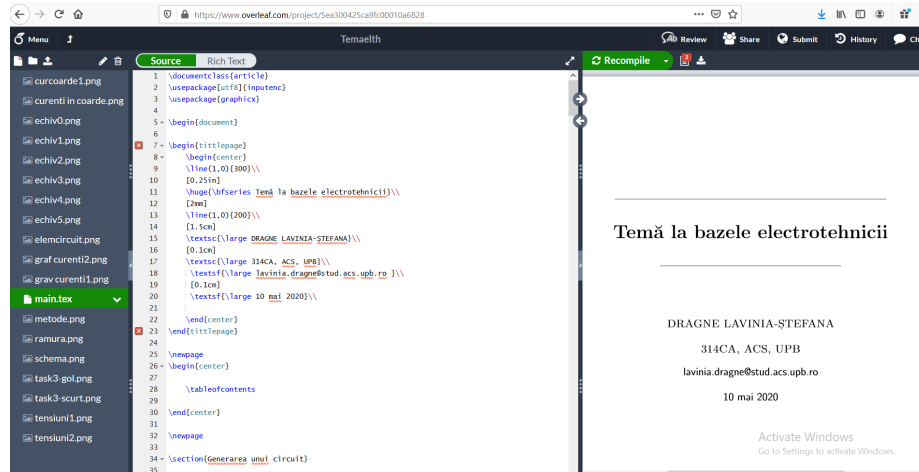
Circuit cu sursa de tensiune comandată în curent



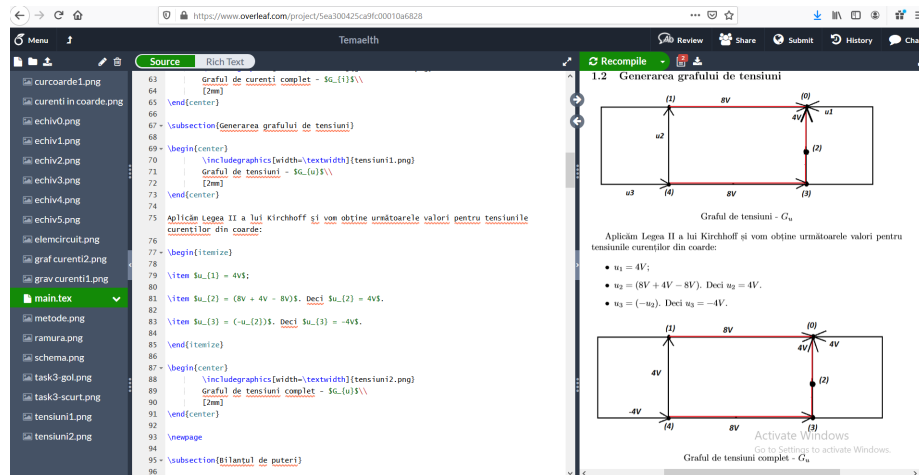
Valori numerice circuit cu sursa de tensiune comandată în curent

## 5 Redactarea în Latex

Pentru redactarea temei, am folosit Latex, varianta online - Overleaf.



Screenshot www.overleaf.com



Screenshot www.overleaf.com

## 6 Bibliografie

- G. Ciuprina, D. Ioan, M. Popescu, A.S. Lup, R. Bărbulescu, Teoria circuitelor electrice. Breviar de seminar
- Gabriela Ciuprina - Template pentru redactarea rapoartelor in LaTeX (v3)
- Daniel Ioan, Circuite electrice rezistive-breviare teoretice, și probleme
- <https://latex.org/forum/viewtopic.php?t=24057>
- <https://www.youtube.com> - Latex Tutorial 1 of 11: Starting a Report and Title Page