

# Tema - Bazele Electrotehnicii

Bloțiu Mihnea-Andrei

313CA, Facultatea de Automatică și Calculatoare, UPB

mihnea.blotiu@stud.acs.upb.ro

31.05.2021

# Cuprins

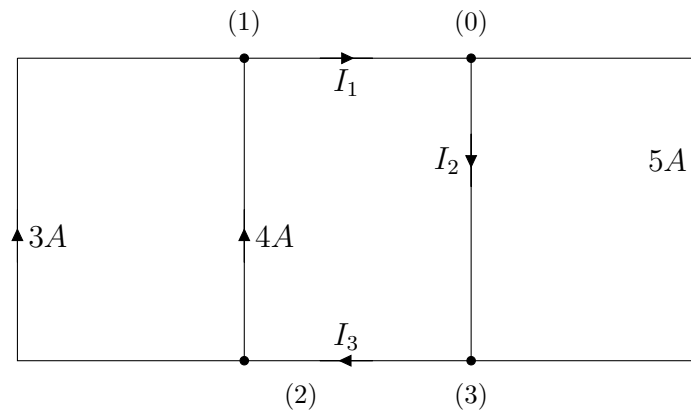
|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Generarea unui circuit</b>  | <b>2</b>  |
| 1.1      | Graful de curenți . . . . .  | 2         |
| 1.2      | Graful de tensiuni . . . . .   | 3         |
| 1.3      | Bilanțul de puteri . . . . .   | 4         |
| 1.4      | Elementele ideale de circuit și generarea efectivă a acestuia . .    | 4         |
| 1.5      | Bilanțul de puteri pe circuitul finalizat . . . . .                  | 5         |
| 1.6      | Alegerea unui arbore normal . . . . .                                | 5         |
| <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 . . . . .                         | 13        |
| 3.2      | Graficul intensității curentului funcție de rezistență . . . . .     | 14        |
| 3.3      | Graficul tensiunii curentului funcție de rezistență . . . . .        | 15        |
| 3.4      | Graficul puterii funcție de rezistență . . . . .                     | 16        |
| 3.5      | Caracteristica rezistorului liniar și a generatorului liniar . . . . | 18        |
| 3.6      | Dioda semiconductoare . . . . .                                      | 19        |
| 3.6.1    | Polarizare directă . . . . .   | 19        |
| 3.6.2    | Polarizare inversă . . . . .   | 19        |
| <b>4</b> | <b>Surse comandate</b>   | <b>24</b> |
| <b>5</b> | <b>Rezolvarea circuitelor de curent alternativ</b>                   | <b>25</b> |
| 5.1      | Generarea noului circuit in LTspice si obtinerea solutiei numerice   | 25        |
| 5.2      | Generarea circuitului complex . . . . .                              | 26        |
| 5.3      | Graful de curenți . . . . .  | 27        |
| 5.4      | Bilanțul de puteri . . . . .   | 28        |
| <b>6</b> | <b>Redactarea temei</b>  | <b>29</b> |

# Capitol 1

## Generarea unui circuit

Pentru generarea circuitului conform cerinței, am ales 2 grafuri, unul pentru curent, și respectiv, unul pentru tensiuni. Acestea corespund unui circuit liniar, rezistiv cu cel puțin o sursă de tensiune și cel puțin o sursă de curent. Topologia circuitului a fost aleasă, astfel încât acesta 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 restul valorilor necesare.

### 1.1 Graful de curenți



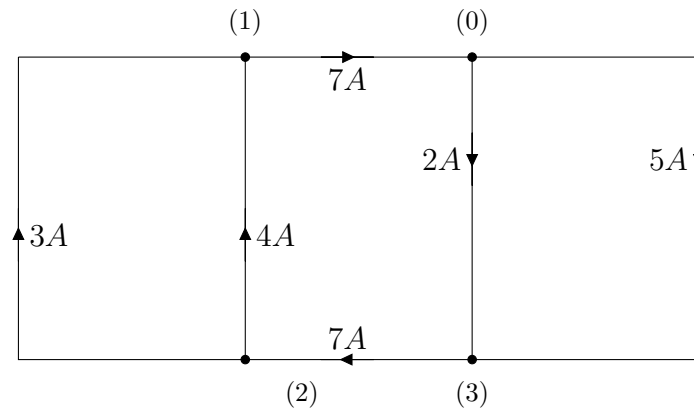
Consideram arborele principal, cel format din laturile ce trec în această ordine prin nodurile  $(1) \rightarrow (0) \rightarrow (3) \rightarrow (2)$  (prin laturile ce au marcate inclusiv intensitățile ca fiind necunoscute).

Pentru celelalte laturi am ales aleator curenți, numere întregi.

Pentru determinarea necunoscutelor precizate anterior, aplicăm pe rând Legea I a lui Kirchhoff și obținem:

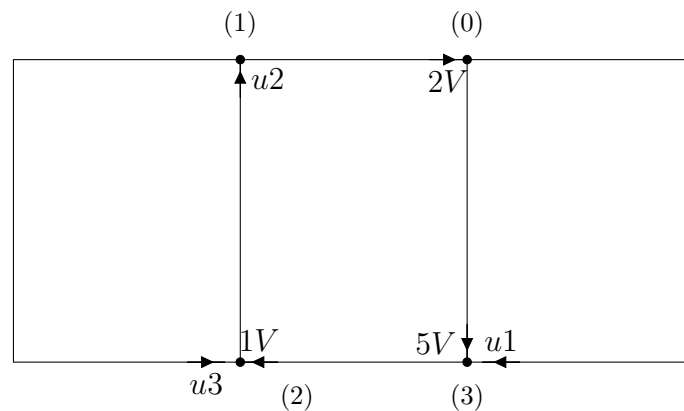
- În nodul (2):  $I_3 = 3A + 4A = 7A \Rightarrow I_3 = 7A$
- În nodul (3):  $I_3 = I_2 + 5A \Rightarrow I_2 = I_3 - 5A = 7A - 5A = 2A \Rightarrow I_2 = 2A$
- În nodul (0):  $I_1 = I_2 + 5A \Rightarrow I_1 = 7A$

Verificare și în nodul (1):  $I_1 = 3A + 4A = 7A$  (Corect conform calculelor anterioare)



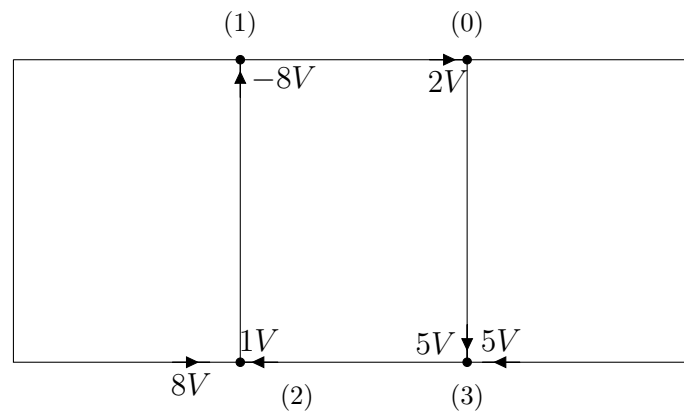
Graful de curenți complet

## 1.2 Graful de tensiuni



Aplicăm Legea II a lui Kirchhoff de mai multe ori și obținem următoarele valori pentru tensiunile curenților din coarde marcate cu necunoscutele  $u_1$ ,  $u_2$  și  $u_3$ :

- $u_1 - 5V = 0 \Rightarrow u_1 = 5V$
- $u_2 + 2V + 5V + 1V = 0 \Rightarrow u_2 + 8V = 0 \Rightarrow u_2 = -8V$
- $u_3 + u_2 = 0 \Rightarrow u_3 = 8V$



Graful de tensiuni complet

### 1.3 Bilanțul de puteri

Verificăm respectarea teoremei lui Tellegen pentru a confirma că tot ceea ce am lucrat anterior este corect:

$$P_r = (-8V) * 4A + 2V * 7A + 5V * 2A + 1V * 7A + 5V * 5A = 24W$$

$$P_r = 24W$$

$$P_g = 8V * 3A = 24W$$

$$P_g = 24W$$

Cum  $P_r = P_g \Rightarrow$  Se respectă teorema lui Tellegen, deci grafurile au fost corect realizate.

### 1.4 Elementele ideale de circuit și generarea efectivă a acestuia

- $E2 = 8V$
- $J1 = 5A$

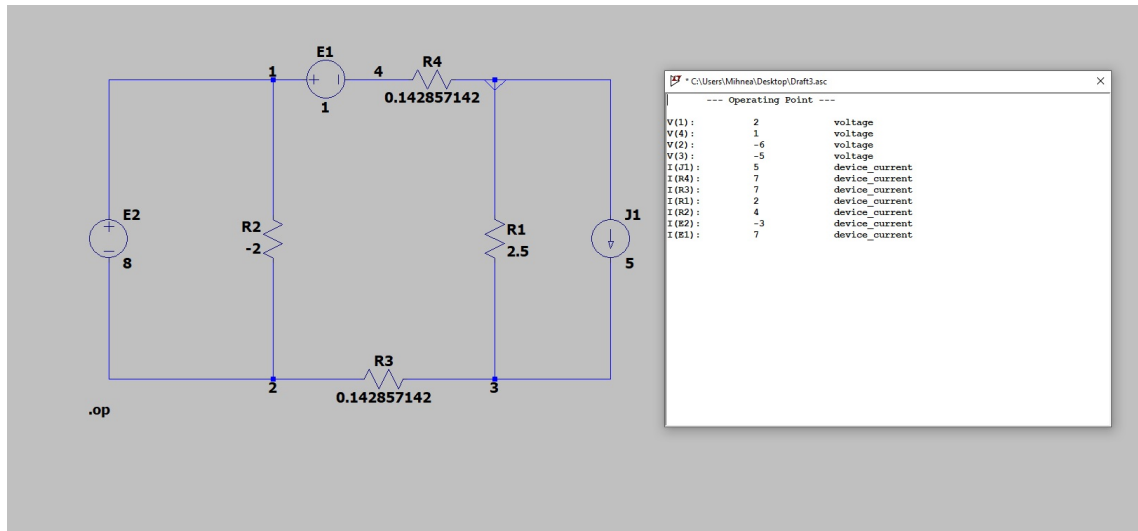


Figure 1.1: Circuitul initial după alegerea elementelor

- $R2 = \frac{U_2}{I_2} \Rightarrow R2 = \frac{-8}{4} \Rightarrow R2 = -2 \text{ ohm}$
- $R1 = \frac{5}{2} \Rightarrow R1 = 2,5 \text{ ohm}$
- $R3 = \frac{1}{7} \Rightarrow R3 = 0,142857142 \text{ ohm}$
- Fie  $E1 = 1V \Rightarrow 1 + 7R1 = 2 \Rightarrow R1 = \frac{1}{7} \Rightarrow R1 = 0,142857142 \text{ ohm}$

## 1.5 Bilanțul de puteri pe circuitul finalizat

$$P_c = (I_3)^2 * R_3 + (I_1)^2 * R_1 + (I_4)^2 * R_4$$

$$P_c = (7)^2 * 1/7 + (2)^2 * 5/2 + (7)^2 * 1/7$$

$$P_c = 7 + 10 + 7 \Rightarrow P_c = 24W$$

$$P_g = -((4)^2 * (-2)) + 8 * 3 - 1 * 7 - 5 * 5 \Rightarrow P_g = 24W$$

!Obs: Rezistorul R2 apare la puterea generată deoarece rezistența sa are o valoare negativă, deci nu este consumator de putere.

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

## 1.6 Alegerea unui arbore normal

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

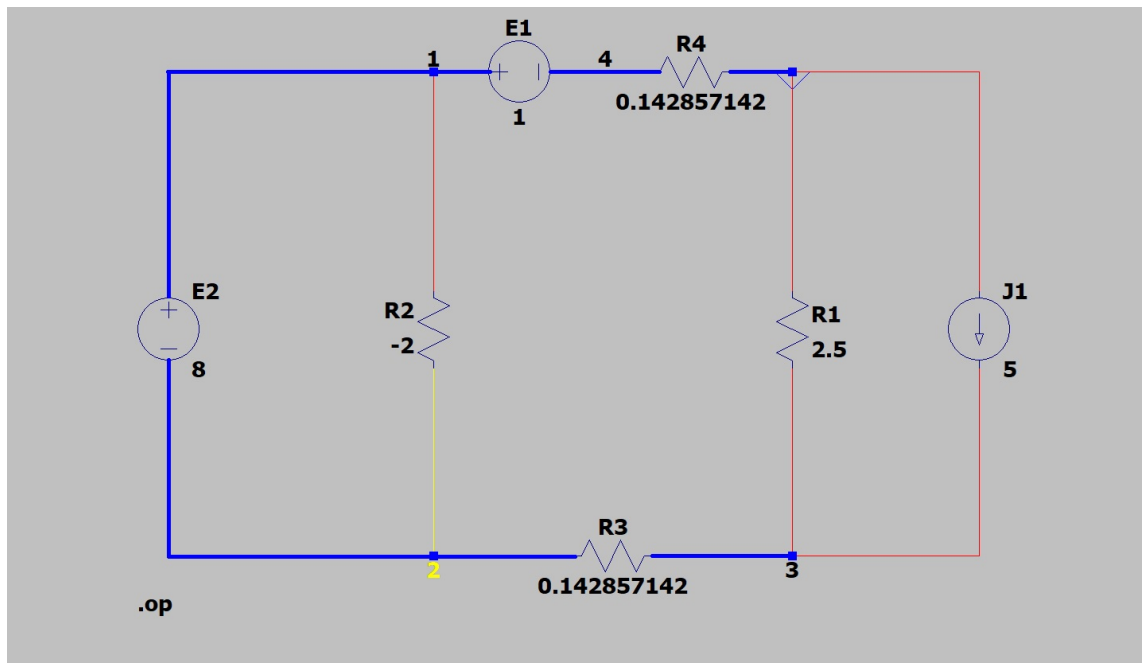


Figure 1.2: Alegerea arborelui normal (Cel de culoare albastră)

Arbore - atinge toate nodurile / fără bucle.

# Capitol 2

## Metode sistematice eficiente

În acest capitol vom discuta ce metodă sistematică este cea mai eficientă pentru problema propusă, conform următorului tabel, propus de către cerință.

Elementele de topologie ale circuitului ales sunt:

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

### 2.1 Analiza eficienței metodelor sistematice

| Metodă   | Număr de ecuații                 |
|--|----------------------------------|
| Kirchhoff clasic                                     | $2L = 14$                        |
| Kirchhoff în curenți                                 | $L - N + 1 = 3$                  |
| Kirchhoff în tensiuni                                | $N - 1 = 4$                      |
| Curenți de coarde (curenți de bucle/Curenți ciclici) | $L - N + 1 - n_{\text{SIC}} = 2$ |
| Tensiuni în ramuri                                   | $N - 1 - n_{\text{SIT}} = 3$     |

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.



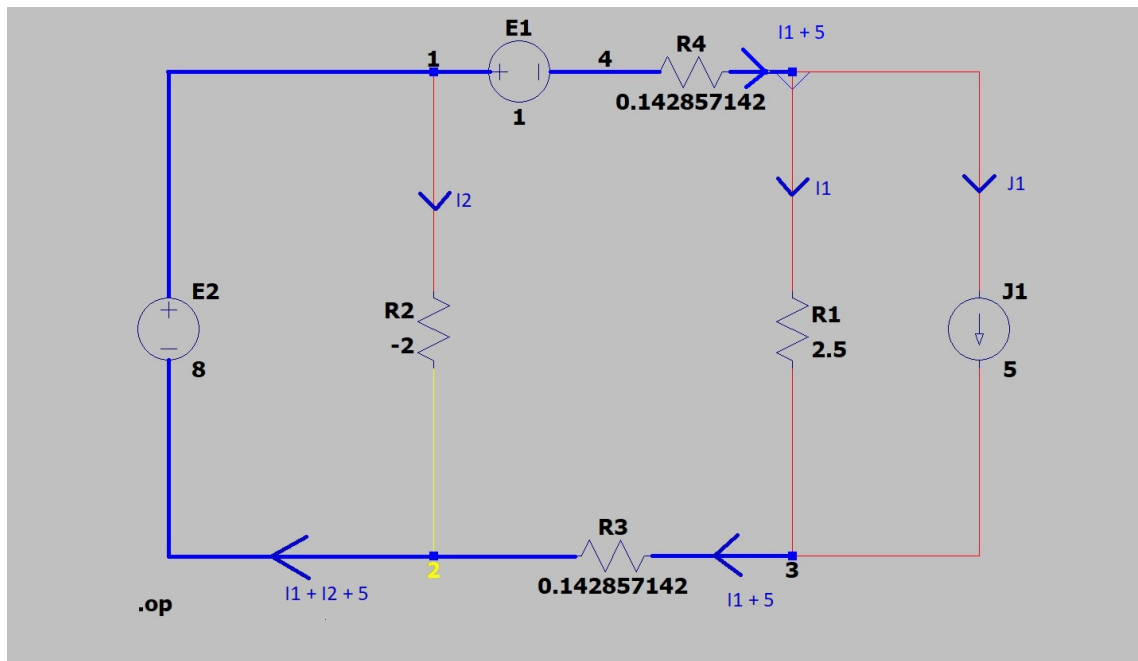


Figure 2.1: Reprezentarea curenților

## 2.2 Rezolvarea sistemului

Avem curenții în coarde după cum urmează. Pe latura cu sursa de curent, intensitatea acestuia este egală cu  $J1$  deci  $I = 5A$ . Analog, pe laturile cu rezistențele  $R1$  și  $R2$  avem curenții  $I_1$  și  $I_2$ , amândoi orientați în jos (de exemplu).

De asemenea, reprezentăm curenții din ramuri în funcție de aceștia.

Astfel, rezolvăm sistemul în  $I_1$  și  $I_2$  rezultat:

- $I1 * R1 - U_j = 0$
- $I2 * R2 - E2 = 0$

Sistemul devine:

- $I1 * 2.5 - 5 = 0$
- $I2 * (-2) - 8 = 0$

Deci:

- $I1 = 2$
- $I2 = -4$

Soluțiile sunt egale cu cele inițiale, deci algoritmul este corect.

## Capitol 3

# Generatorul echivalent de tensiune/curent

Am ales latura cu rezistorul R3.

Voi determina, prin metoda echivalențelor, generatorul echivalent de tensiune, față de bornele rezistorului R3.

Pentru aceasta, voi grupa SRC-ul, format din R1 și J1, în serie, cu SRT-ul, determinat de E1 și R4, echivalentul lor fiind un SRT, de rezistență  $R1 + R4$  și tensiune  $E1 - J1 * R1$ .

Apoi, grupăm SIT-ul din partea stângă, E2 cu rezistența R2 din paralel și astfel rezultă doar sursa de tensiune E2.

În final, avem de grupat în serie o sursă ideală de curent E2 cu SRT-ul format la pasul 1. Și astfel rezultă un SRT cu tensiunea electromotoare  $E1 - E2 + J1 * R1$  și rezistența identică cu cea precedentă.

Toate aceste echivalențe au fost realizate conform tabelului de echivalențe atașat.

Valorile echivalente calculate:

- $R_1 + R_4 = \frac{37}{14}$
- $E_1 - J_1 * R_1 = -11.5V$
- $E_1 - E_2 + J_1 * R_1 = -19.5V$

Putem pune sursa echivalentă în sens invers, dar cu valoarea 19.5V.

Deci:

- $U_g = E_e = 19.5V$
- $I_S = \frac{E_e}{R_e} = \frac{19.5}{2.642} = 7.38A$

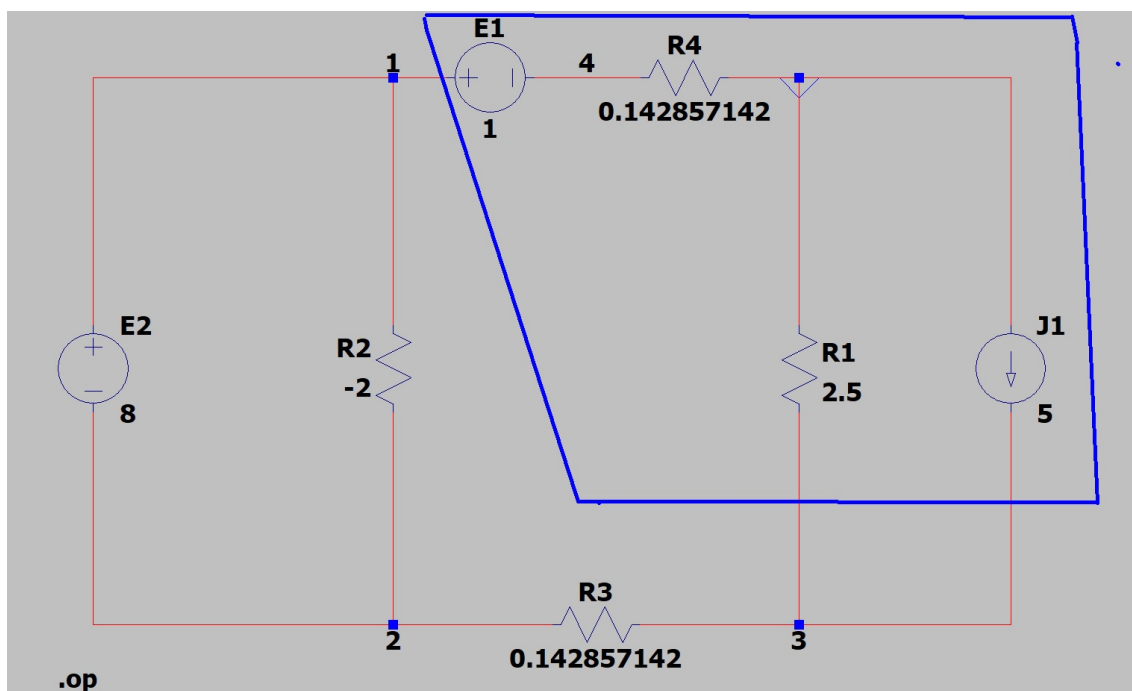


Figure 3.1: Echivalență - Pasul 1

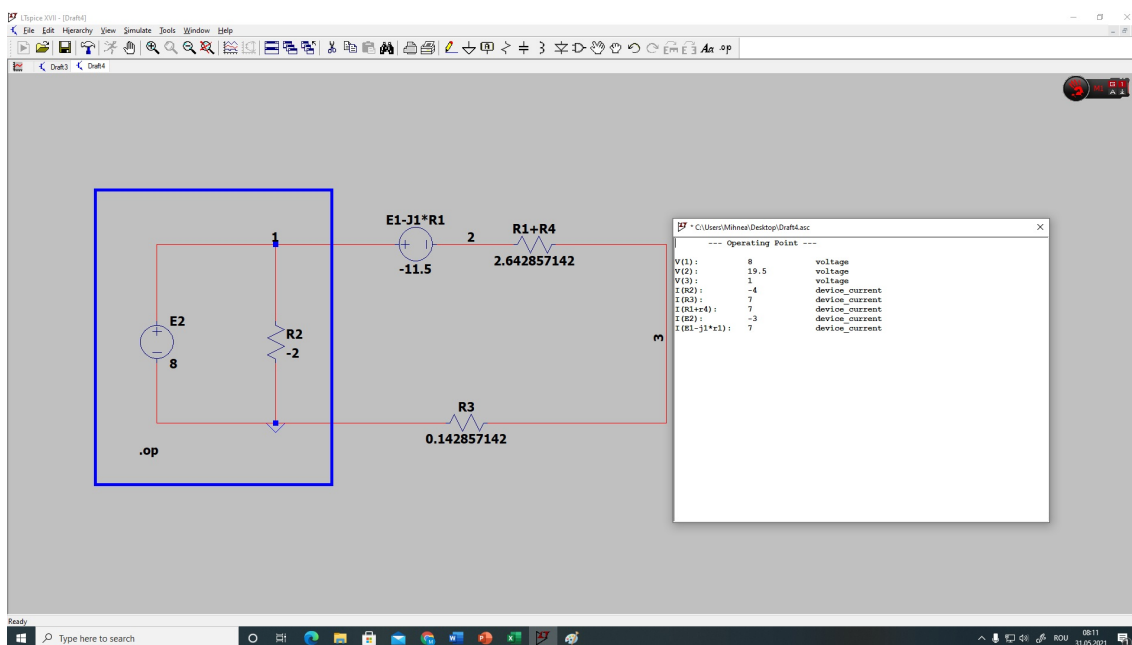


Figure 3.2: Echivalență - Pasul 2

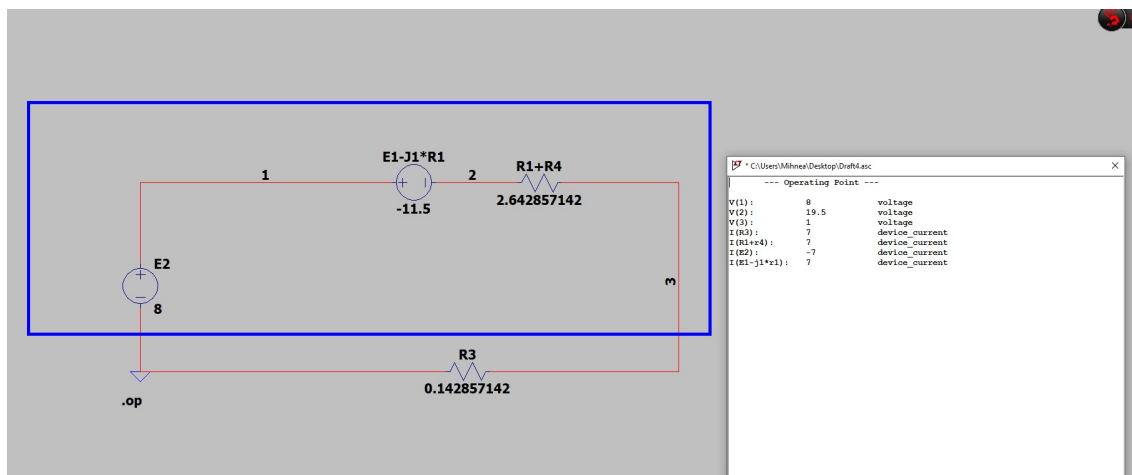


Figure 3.3: Echivalență - Pasul 3

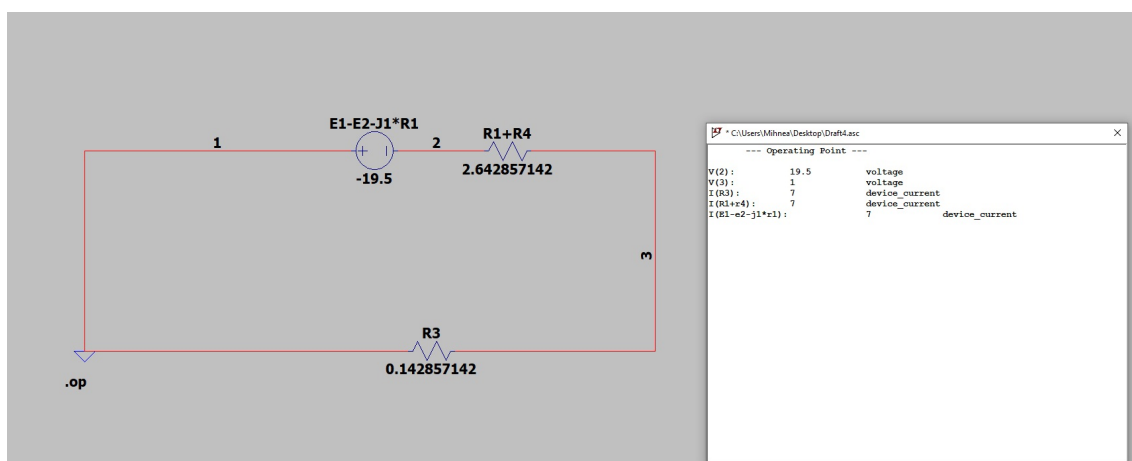


Figure 3.4: Echivalență - Pasul 4

Tabelul 3.1: Tabel de echivalențe.

| serie<br>paralel |  |     |     |  |  |     |     |
|------------------|--|-----|-----|--|--|-----|-----|
|                  |  |     |     |  |  |     |     |
|                  |  | N/A |     |  |  |     |     |
|                  |  |     | N/A |  |  |     | N/A |
|                  |  |     |     |  |  |     |     |
|                  |  |     |     |  |  |     |     |
|                  |  | N/A |     |  |  | N/A |     |

Figure 3.5: Tabel de echivalențe

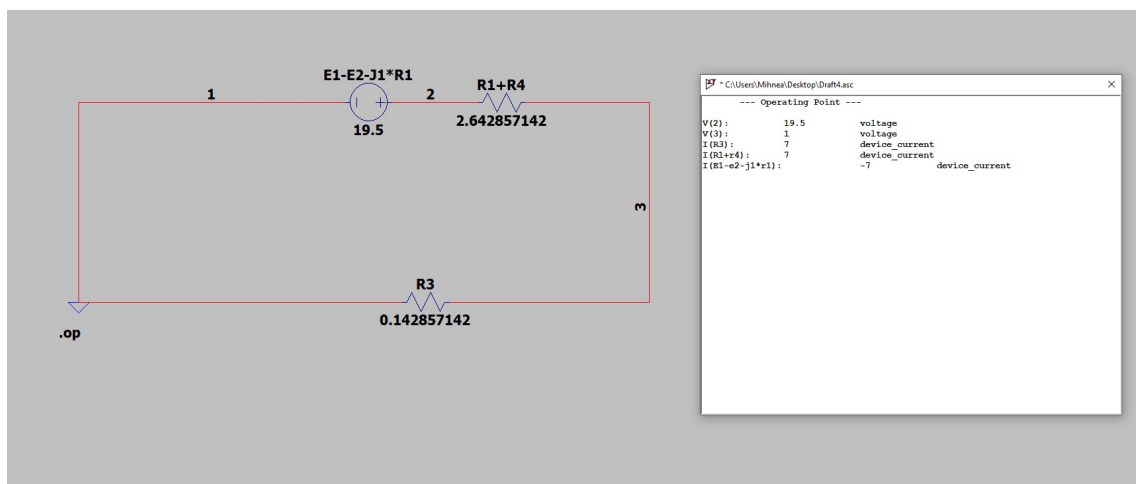


Figure 3.6: Circuitul Final

### 3.1 Codul necesar obținerii graficelor

```
1 function grafice()
2     R3 = [0:0.1:10];
3     Ee = 19.5;
4     Re = 37 / 14;
5
6     I = [];
7     U = [];
8     P = [];
9
10    I = Ee ./ (Re .+ R3);
11    U = R3 .* I;
12    P = U .* I;
13
14    figure(1)
15    plot(R3, I);
16    xlabel("Rezistentă");
17    ylabel("Intensitate");
18    title("Intensitate funcție de rezistentă");
19
20    figure(2)
21    plot(R3, U);
22    xlabel("Rezistentă");
23    ylabel("Tensiune");
24    title("Tensiune funcție de rezistentă");
25
26    figure(3)
27    plot(R3, P);
28    xlabel("Rezistentă");
29    ylabel("Putere");
30    title("Putere funcție de rezistentă");
31 endfunction
```

Figure 3.7: Cod octave pentru realizarea graficelor

### 3.2 Graficul intensității curentului funcție de rezistență

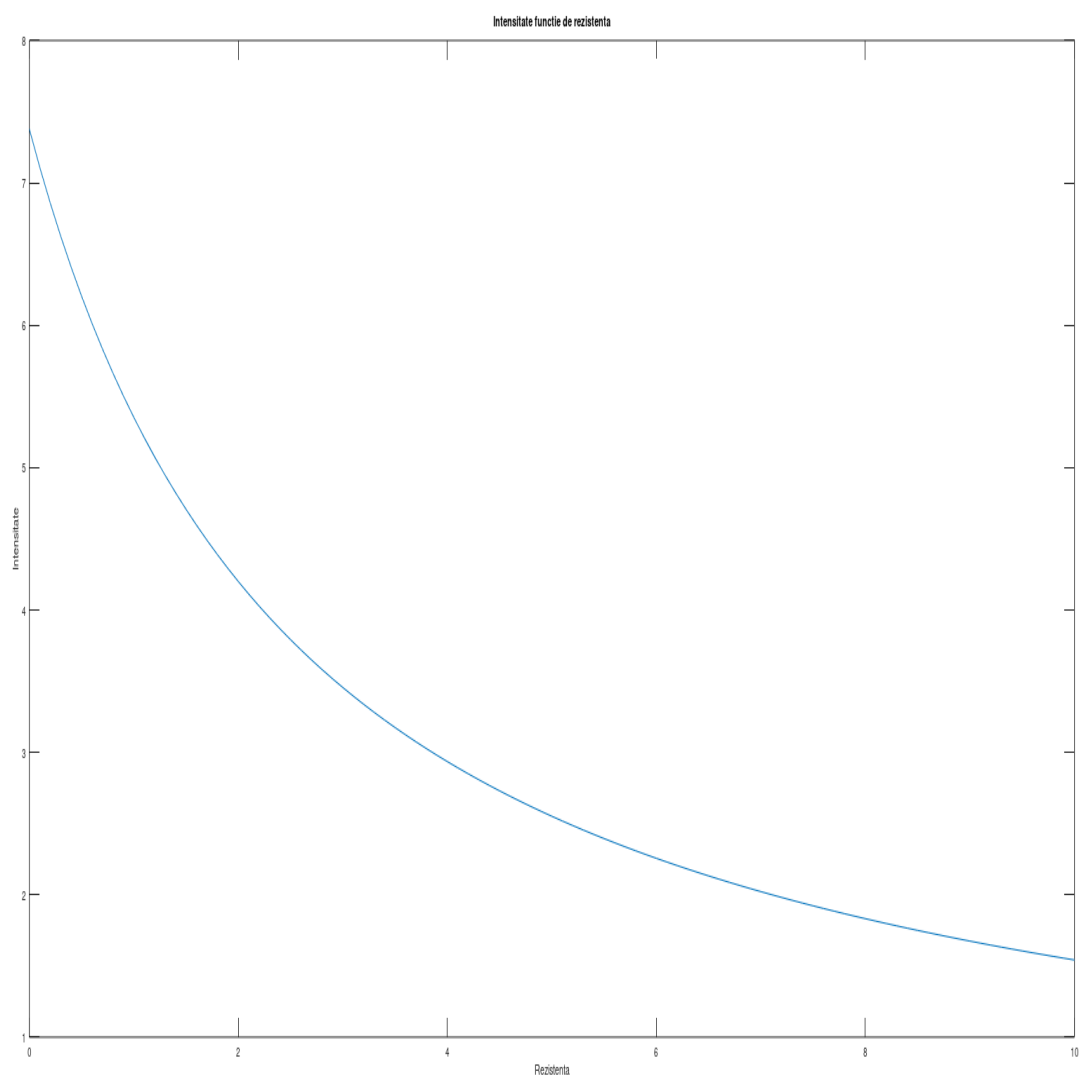


Figure 3.8: Intensitate funcție de rezistență

### 3.3 Graficul tensiunii curentului funcție de rezistență

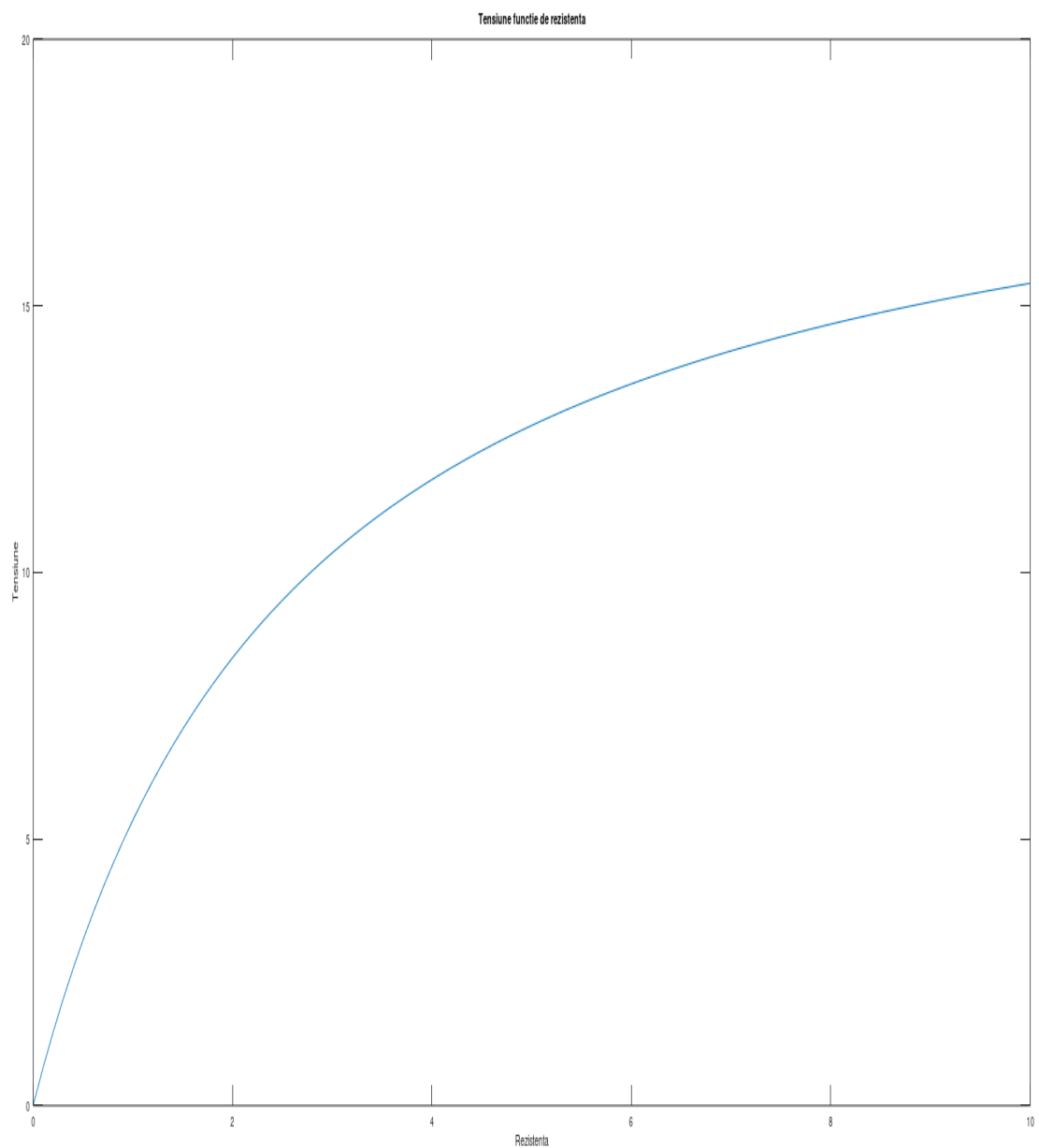


Figure 3.9: Tensiune funcție de rezistență



### 3.4 Graficul puterii funcție de rezistență

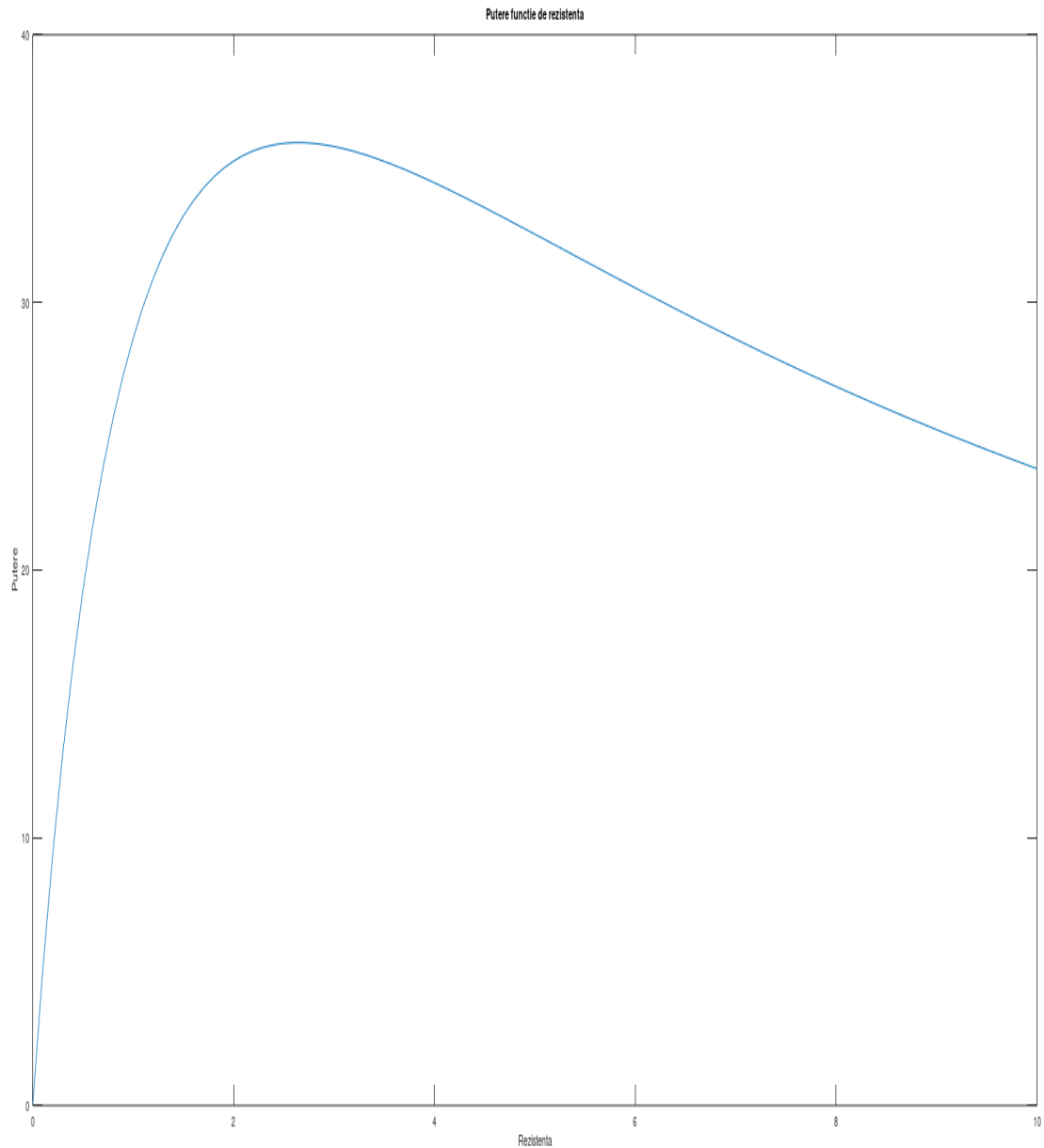


Figure 3.10: Putere funcție de rezistență

Pentru reprezentare am ales gama de valori pentru  $R_3$  în intervalul  $[0, 10]$  ohm.

Transferul maxim de putere are loc atunci când rezistența de sarcină este egală cu rezistența generatorului echivalent, adică  $R_3 = R_e$  și este egală cu 35.96 w.

Transferul maxim de putere are loc pentru  $R_3 = 37 / 14$  ohm, reprezentat pe grafic prin punctul roșu.

Funcționarea inițială, a circuitului, este marcată pe grafic prin punctul albastru și este corespunzătoare pentru  $R_3 = 1/7$  ohm.

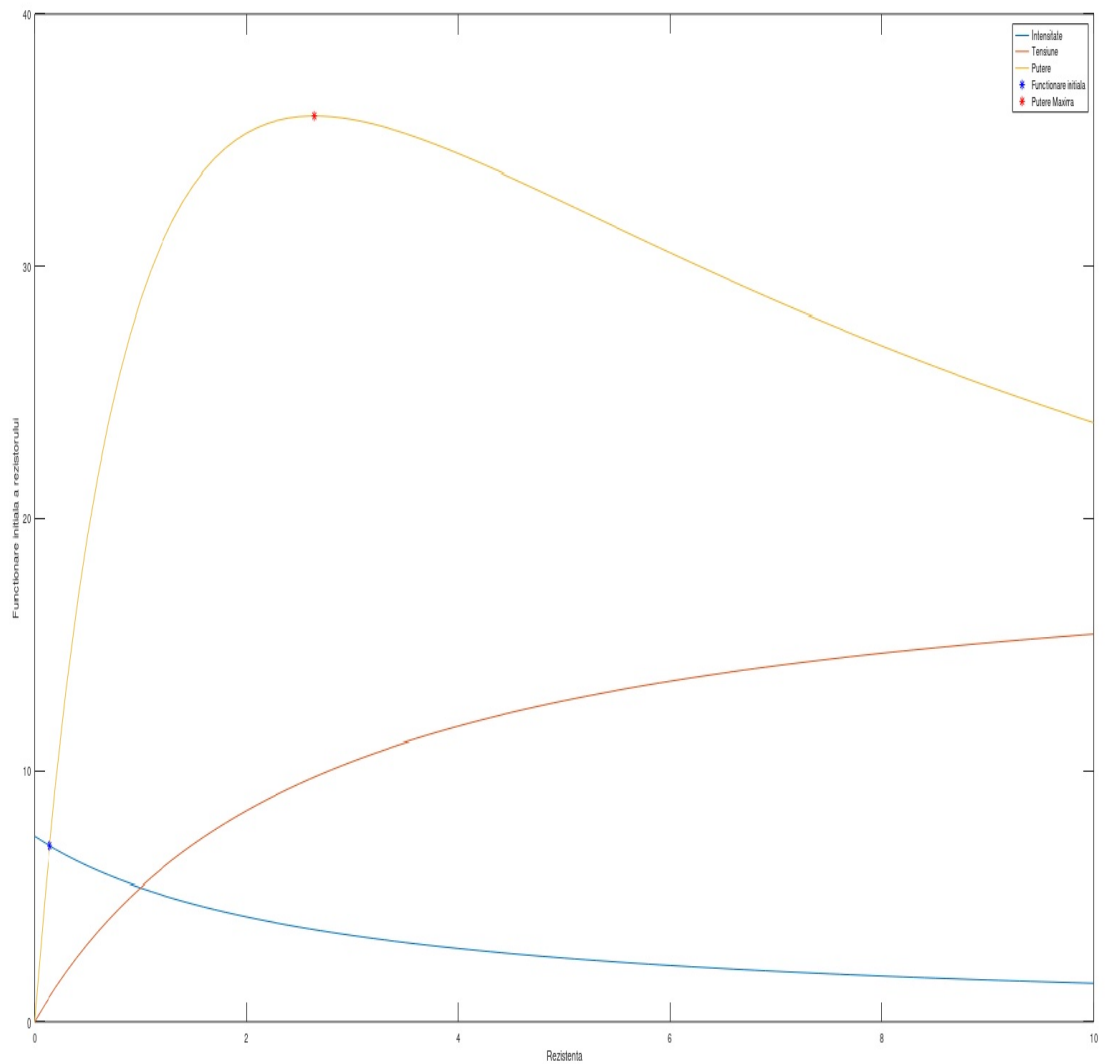


Figure 3.11: Funcționarea inițială a circuitului

### 3.5 Caracteristica rezistorului liniar și a generatorului liniar

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

Punctul static de funcționare se află la intersecția celor 2 drepte reprezentate, adică la 3.68 A și 9.75 V.

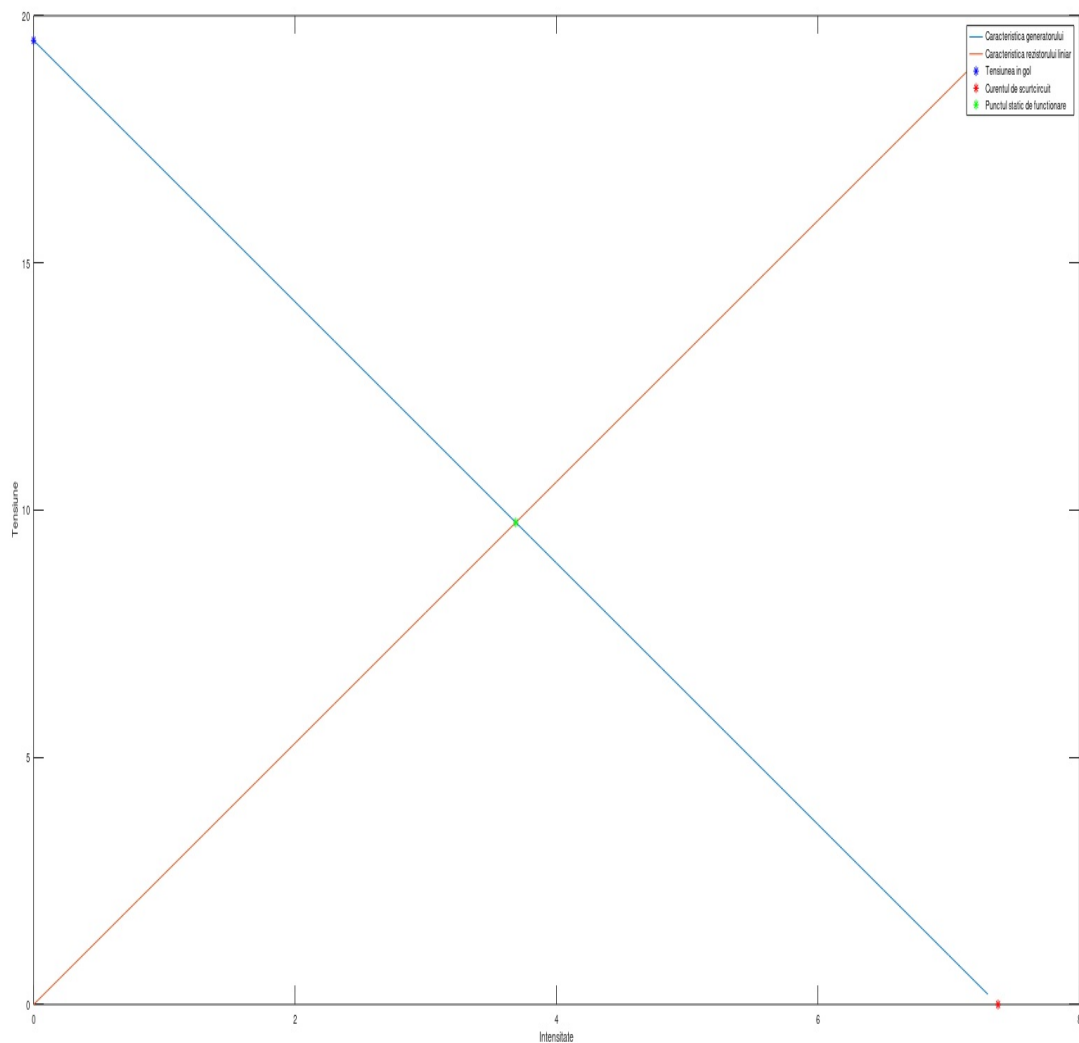


Figure 3.12: Caracteristica rezistorului liniar si a generatorului liniar

## 3.6 Dioda semiconductoare

Am înlocuit rezistorul R3 cu o diodă semiconductoare.

Refacem graficele pentru evidențierea punctului de funcționare.

Pe grafice voi reprezenta caracteristica generatorului echivalent, alături de caracteristica diodei.

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

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

Alegem conform indicațiilor din breviarul de seminar

- $V_T = 20\text{mV}$
- $I_s = 5\text{pA}$

Tensiunea de prag va fi în jur de  $V_p = 0.6\text{V}$

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.

### 3.6.1 Polarizare directă

### 3.6.2 Polarizare inversă

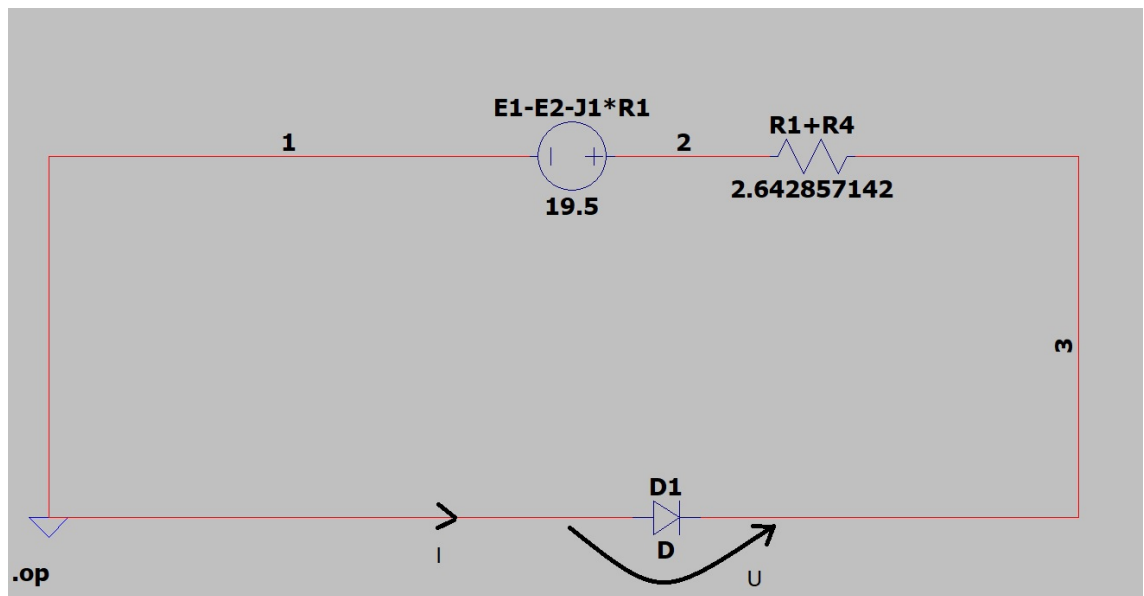


Figure 3.13: Polarizare directa

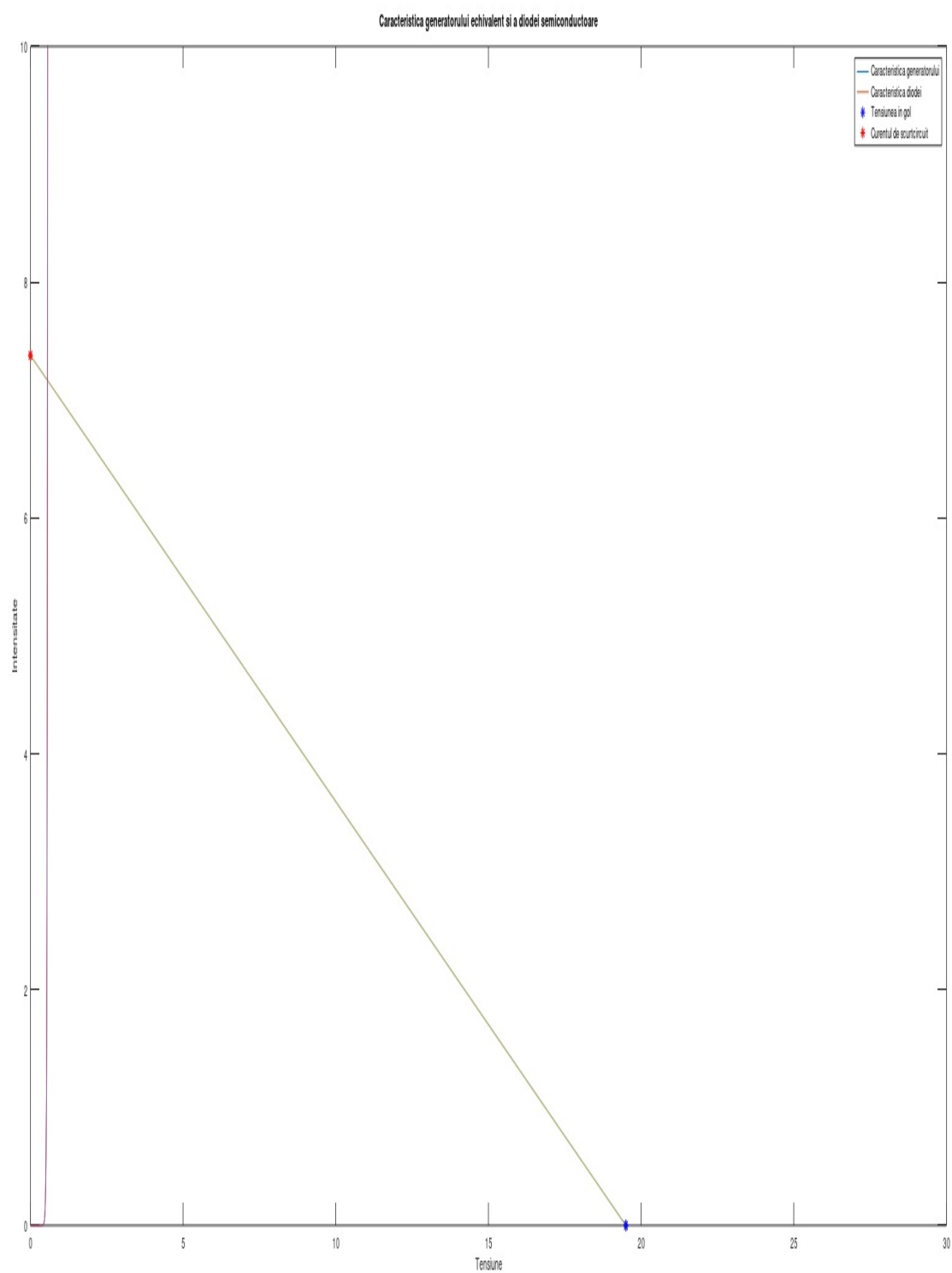


Figure 3.14: Dioda polarizata direct

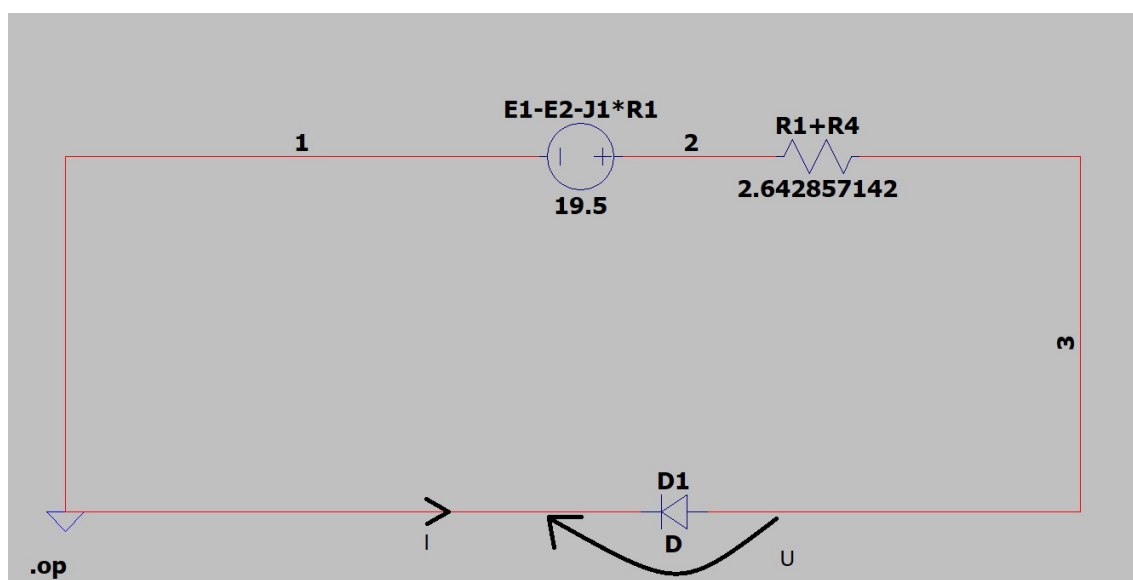


Figure 3.15: Polarizare inversa

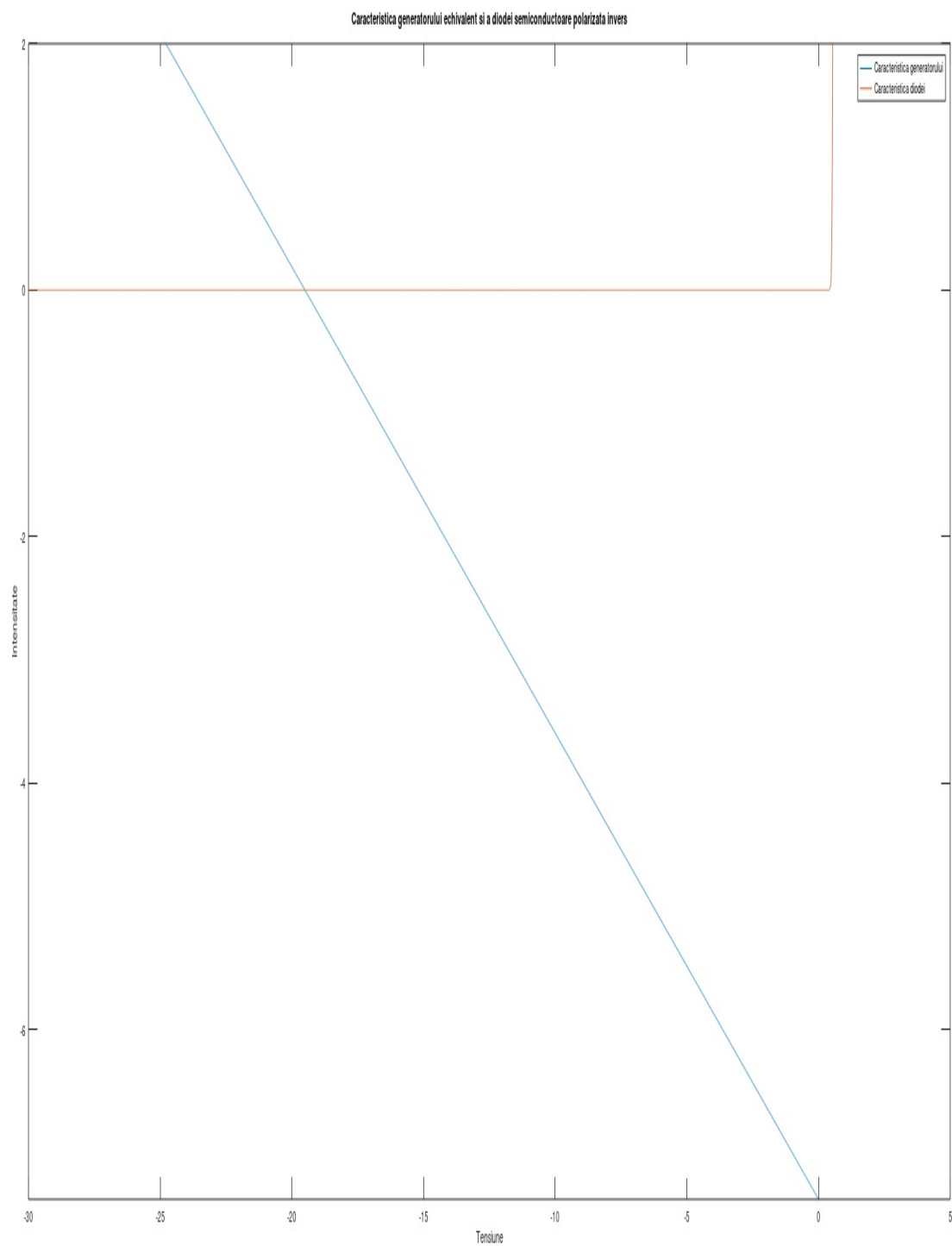


Figure 3.16: Dioda polarizata invers



# Capitol 4

## Surse comandate

Folosim circuitul inițial, prezentat la subpunctul 2 și transformăm SIT-ul în SUCU folosind tensiunea de la bornele sursei de curent.

Asta înseamnă că punem condiția ca  $E = \alpha * U_{03}$

$$8 = \alpha * 5$$

Deci:  $\alpha = 1.6$

Am făcut și simularea cu LTspice pentru a verifica faptul că soluția inițială nu s-a schimbat.

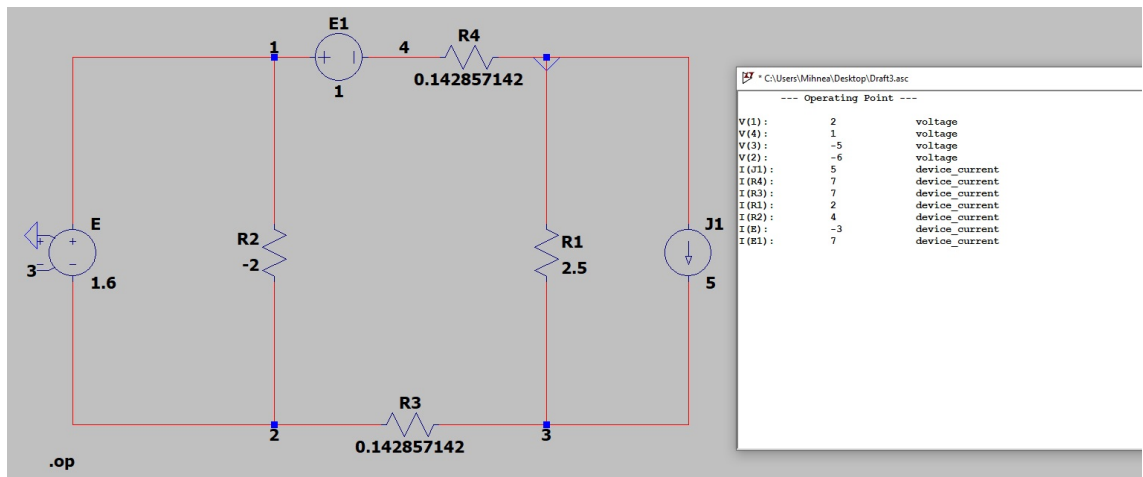


Figure 4.1: Circuit cu SUCU

# Capitol 5

## Rezolvarea circuitelor de curent alternativ

### 5.1 Generarea noului circuit in LTspice si obtinerea solutiei numerice

Avem circuitul urmator generat în LTspice conform cerinței și soluțiile conform desenului.

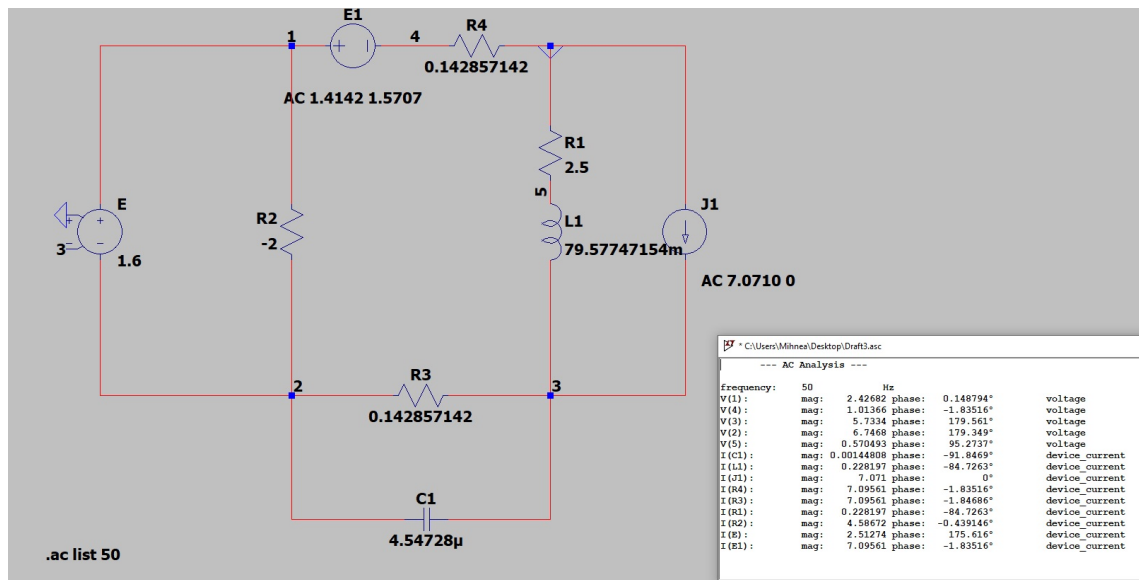


Figure 5.1: Circuitul de curent alternativ conform cerinței

Am ales să pun bobina în serie cu rezistorul R1 și condensatorul în paralel cu rezistorul R3. De asemenea, am ales faza inițială pentru sursa de curent ca fiind 0, iar pentru cea de tensiune ca fiind  $\pi/2$ .

## 5.2 Generarea circuitului complex

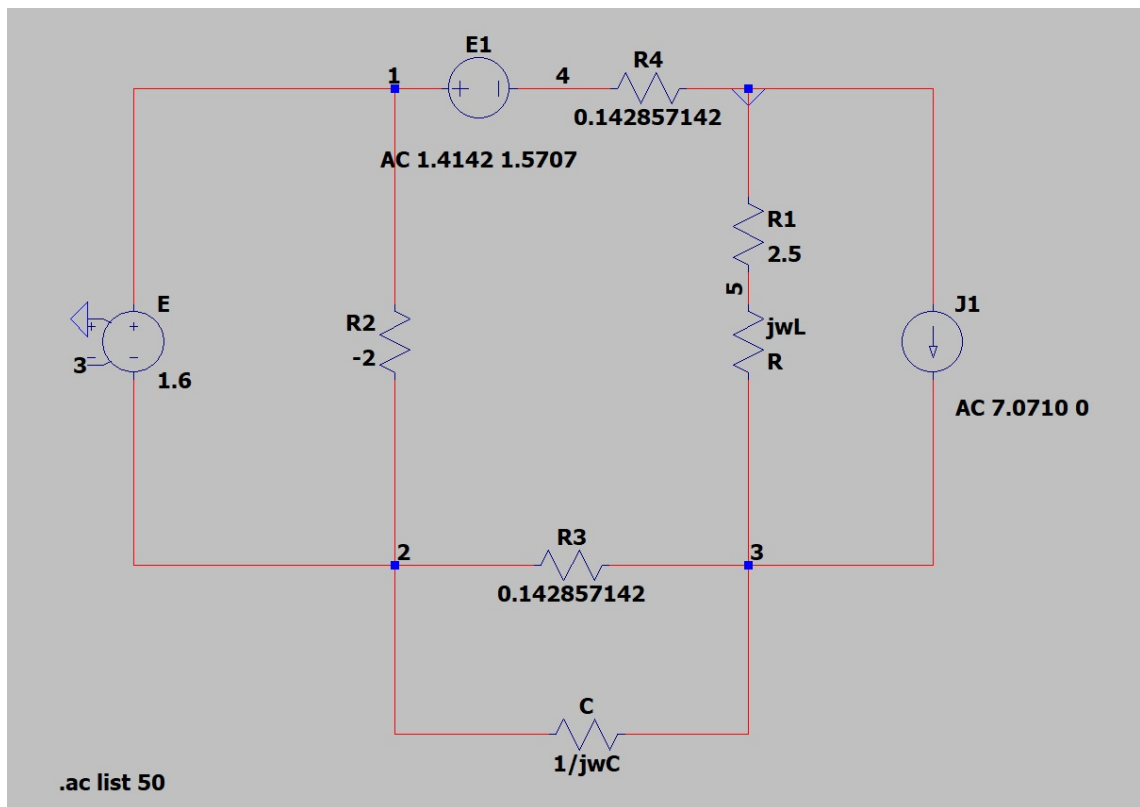
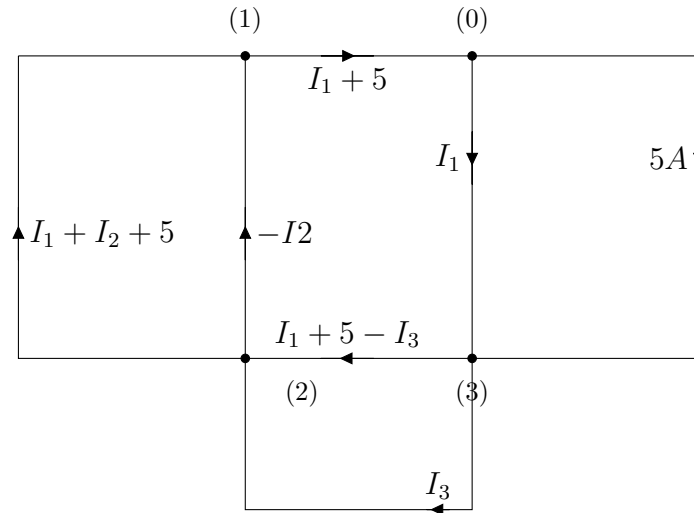


Figure 5.2: Circuitul complex

## 5.3 Graful de curenți

Toate valorile ce urmează sunt în complex.



Pentru acesta, am realizat un mic program in octave si putem observa ca valorile corespund cu cele oferite de catre LTspice.

```

1 function curent_alternativ()
2     f = 50;
3     pulsatie = 2 * pi * f;
4     R3 = 1/7;
5     X_C = 1/(j * pulsatie * 4.54728 * 10^(-6));
6     X_L = j * pulsatie * 79.57747154 * 10^(-3);
7     Uj = 5 * e ^ (j * 0);
8     E1 = e ^ (j * pi/2);
9     Uj = 5.7334/sqrt(2) * e ^ (j * pi);
10    I1 = Uj / (2.5 + X_L);
11    I2 = (1.6 * Uj) / (-3);
12    I3 = ((I1 * R3) + 5*R3) / (R3 + X_C);
13    rho = abs(I1);
14    theta = angle(I1);
15    Amp11 = rho * sqrt(2);
16    theta = rad2deg(theta);
17    rho1 = abs(I2);
18    thetal = angle(I2);
19    Amp12 = rho1 * sqrt(2);
20    thetal = rad2deg(thetal);
21    rho2 = abs(I3);
22    theta2 = angle(I3);
23    Amp13 = rho2 * sqrt(3);
24
25 endfunction
    
```

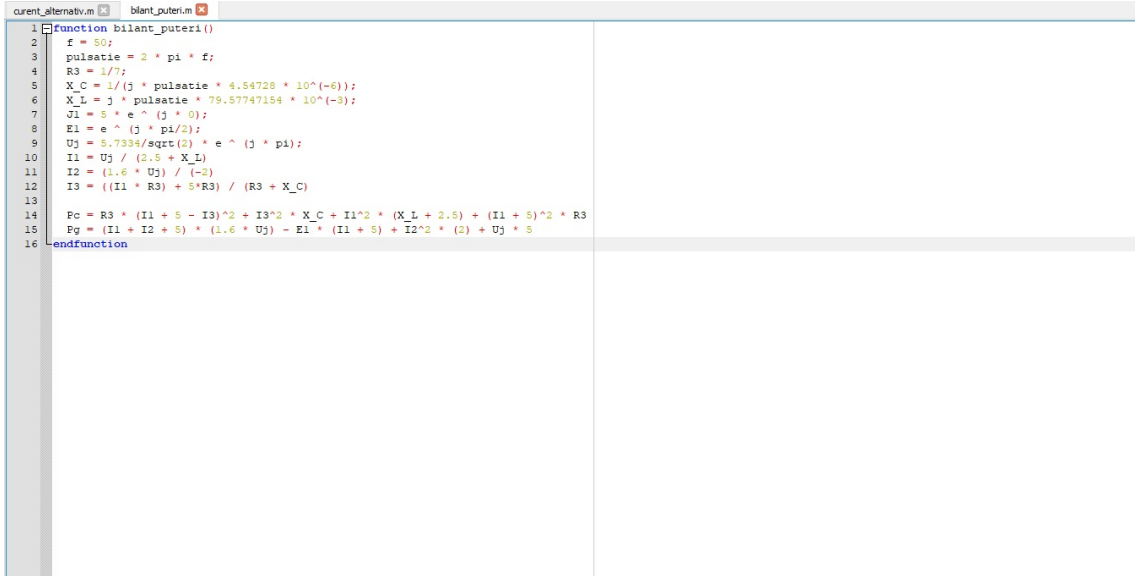
Figure 5.3: Programul din spice pentru rezolvare sistemului

```
>> curent_alternativ()
I1 = -0.016056 + 0.160559i
I2 = 3.2433e+00 - 3.9718e-16i
I3 = -3.2560e-05 + 1.0171e-03i
Amp11 = 0.2282
Amp12 = 4.5867
Amp13 = 1.7626e-03
>> |
```

Figure 5.4: Solutiile din Octave

## 5.4 Bilanțul de puteri

Pentru acesta, am realizat un mic program in octave pentru a calcula puterea generata și cea consumată.



```
1 function bilant_puteri()
2   f = 50;
3   pulsatie = 2 * pi * f;
4   R3 = 1/7;
5   X_C = 1/(j * pulsatie * 4.54728 * 10^(-6));
6   X_L = j * pulsatie * 79.57747154 * 10^(-3);
7   U1 = 5 * e ^ (j * 0);
8   E1 = e ^ (j * pi/2);
9   Uj = 5.7334/sqrt(2) * e ^ (j * pi);
10  I1 = Uj / (2.5 + X_L);
11  I2 = (1.6 * Uj) / (-2);
12  I3 = ((I1 * R3) + 5*R3) / (R3 + X_C);
13
14  Pc = R3 * (I1 + 5 - I3)^2 + I3^2 * X_C + I1^2 * (X_L + 2.5) + (I1 + 5)^2 * R3;
15  Pg = (I1 + I2 + 5) * (1.6 * Uj) - E1 * (I1 + 5) + I2^2 * (2) + Uj * 5;
16 endfunction
```

Figure 5.5: Bilanțul puterilor

# Capitol 6

## Redactarea temei

Această temă a fost redactată în LaTeX conform indicațiilor din cerință

# Bibliografie

- [1] G. Ciuprina, D. Ioan, M. Popescu, A.S. Lup, R. Bărbulescu, *Teoria circuitelor electrice. Seminar*, disponibil pe moodle.
- [2] Daniel Ioan, *Circuite electrice rezistive - breviare teoretice ,si probleme*, <http://www.lmn.pub.ro/daniel/culegere.pdf>, 2000.
- [3] Gabriela Ciuprina, *Template pentru redactarea rapoartelor in LaTeX (v5)*, Disponibil la <http://www.lmn.pub.ro/gabriela/LatexTemplate4Students/>.