

Laboratorul 1.

Noțiuni introductive de electronică.

Utilizarea aparaturii de laborator.

1 Scopul lucrării

- Recapitularea unor noțiuni de bază de electricitate
 - Legea lui Ohm
 - Legile lui Kirchhoff
 - Teorema lui Thevenin
 - Sursa de tensiune - modelul ideal și comportamentul surselor reale
 - Sursa de curent - modelul ideal și comportamentul surselor reale
- Însușirea modului de lucru cu aparatura de laborator
 - Sursă de tensiune
 - Generator de semnal
 - Voltmetru
 - Ampermetru
 - Osciloscop
 - Montaje de laborator.

2 Definiții

Tensiunea electrică reprezintă diferența de potențial dintre două puncte din circuit și este proporțională cu energia necesară deplasării unei sarcini electrice între cele două puncte.

$$U = \frac{L}{Q}; \quad \begin{array}{l} U = \text{Tensiunea electromotoare} \\ L = \text{Lucrul mecanic al forței electrice} \\ Q = \text{Sarcina electrică} \end{array} \quad (1)$$

Unitatea de măsură a tensiunii electrice în SI¹ este **Voltul** (V).

$$[U]_{SI} = V(\text{Volt})$$

$$[L]_{SI} = J(\text{Joule})$$

¹Sistem International

$$[Q]_{SI} = C(\text{Coulomb})$$

Observație: Tensiunea electrică este măsurată întotdeauna între două puncte din circuit. În general, în electronică, tensiunile sunt măsurate față de un punct de referință numit masa circuitului (GND). Masa circuitului este o convenție și reprezintă punctul al cărui potențial este considerat nul și în jurul căruia este proiectată schema circuitului.

În anumite cazuri (din motive de siguranță, compatibilitate, etc), circuitele au zone izolate galvanic, și deci mase diferite. Comunicarea cu aceste zone se face prin impulsuri luminoase (în cazul optocuploarelor) sau câmp magnetic (în cazul transformatoarelor).

Rezistența electrică este o mărime fizică care exprimă proprietatea unui material de a se opune trecerii curentului electric. Unitatea de măsură a rezistenței electrice în SI este **Ohm**-ul, notat cu Ω .

$$[R]_{SI} = \Omega(\text{Ohm})$$

Intensitatea curentului electric, numită și curentul electric este o mărime fizică scalară egală cu variația sarcinii electrice ce traversează secțiunea unui conductor în unitatea de timp. Unitatea de măsură în SI este **Amperul** (A). Amperul este o mărime fizică fundamentală.

$$i = \frac{dq}{dt}; \quad \begin{array}{l} i = \text{Intensitatea curentului electric} \\ dq = \text{Variația sarcinii electrice} \\ dt = \text{Variația timpului} \end{array} \quad (2)$$

$$[i]_{SI} = A(\text{Amper})$$

3 Legea lui Ohm

Intensitatea (I) curentului electric ce trece printr-un rezistor este direct proporțională cu tensiunea (U) aplicată pe rezistor și invers proporțională cu valoarea rezistenței acestuia (R).

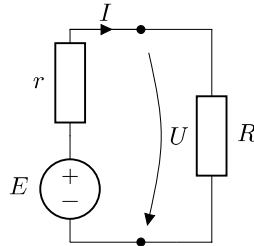


Figura 1

Formula matematică a legii lui Ohm este:

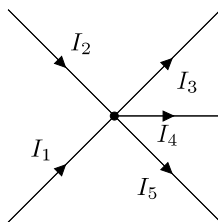
$$I = \frac{U}{R}; \quad \begin{array}{l} I = \text{intensitatea curentului, în Amperi (A)} \\ U = \text{tensiunea aplicată, în Volți (V)} \\ R = \text{rezistența circuitului, în Ohm (\Omega)} \end{array} \quad (3)$$

4 Legea I a lui Kirchhoff

În oricare nod al unui circuit, suma algebrică a intensităților curenților care concură la acel nod (considerate pozitive pentru curenții care intră în nod și negative pentru curenții care ies din nod) este zero.

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0 \quad (4)$$

O formulare alternativă: suma intensităților curenților care intră într-un nod este egală cu suma intensităților curenților care ies din nod.



$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

Figura 2: Exemplu de aplicare a Legii I a lui Kirchhoff

5 Legea a II-a a lui Kirchhoff

Suma orientată a diferențelor de potențial (căderilor de tensiune) dintr-un circuit închis (ochi de circuit) este zero.

Sau

Suma căderilor de tensiune într-un ochi de circuit este egală cu suma tensiunilor electromotoare din ochiul de circuit.

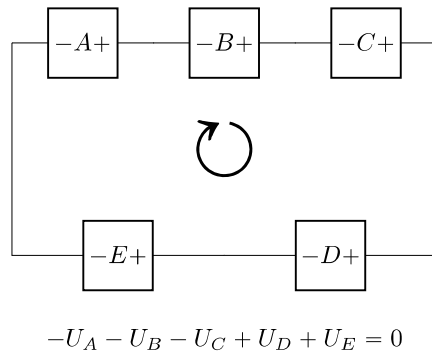


Figura 3: Exemplu de aplicare a Legii a II-a a lui Kirchhoff

6 Teorema lui Thevenin

Orice secțiune de circuit ce conține doar surse de tensiune și rezistențe poate fi înlocuită cu o singură sursă de tensiune în serie cu o singură rezistență. Această secțiune trebuie să fie conectată cu circuitul exterior în doar două puncte.

Tensiunea sursei echivalente (notată E_{Th}) este tensiunea de funcționare în gol, și se determină calculând tensiunea la bornele secțiunii de circuit, presupunând că circuitul exterior nu există.

Curentul de scurt-circuit (notat I_{sc}) se determină calculând curentul prin bornele secțiunii de circuit, presupunând că circuitul exterior este înlocuit cu un fir.

Rezistența echivalentă se calculează cu formula:

$$R_{Th} = \frac{E_{Th}}{I_{sc}} \quad (5)$$

7 Divizorul de tensiune

Există mai multe tipuri de divizoare de tensiune, fiind denumite în funcție de tipul elementelor componente: divizor rezistiv, divizor capacitiv, divizor compensat, etc..

Divizorul de tensiune rezistiv se obține prin aplicarea unei tensiuni E pe o grupare de rezistențe în serie și astfel se poate obține o fracțiune din tensiunea aplicată pe una dintre rezistențele grupării.

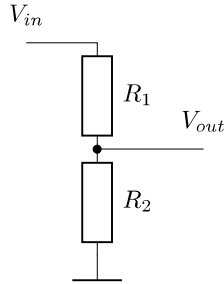


Figura 4

Divizorul de tensiune poate fi considerat o sursă de tensiune doar dacă funcționează în gol (nu are nicio sarcină pe ieșire). În acest caz, tensiunea la ieșire poate fi calculată cu formula:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (6)$$

Dacă la ieșirea divizorului se conectează o sarcină (un consumator), nu mai putem aplica Formula 6, deoarece curentul care trece prin sarcină trebuie să treacă și prin R_1 (legea I a lui Kirchhoff), iar R_1 va avea o cădere de tensiune la borne (din legea lui Ohm).

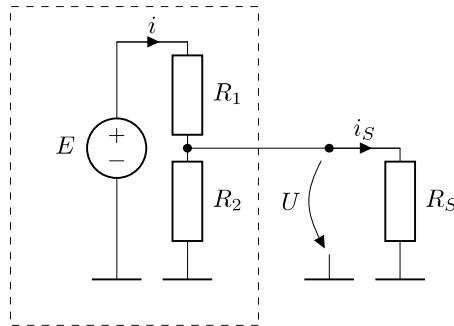
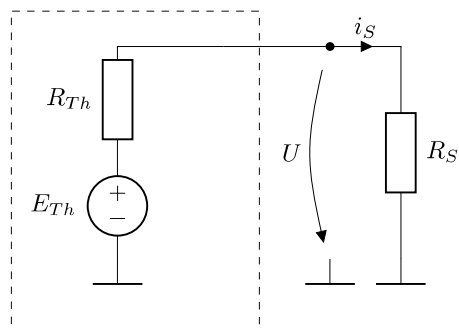


Figura 5

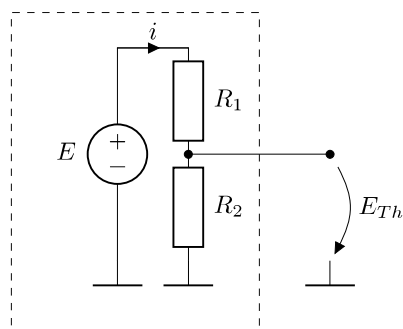
Pentru a simplifica analiza circuitului, folosim teorema lui Thevenin și transformăm secțiunea de circuit într-o sursă reală de tensiune:



$$R_{Th} = \frac{E_{Th}}{I_{SC}}$$

Figura 6

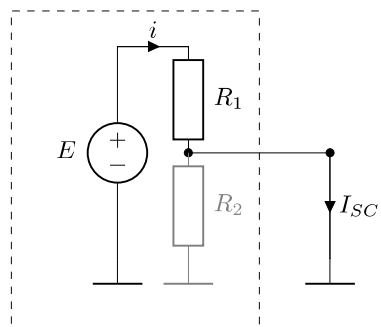
Determinăm E_{Th} :



$$E_{Th} = E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Figura 7

Determinăm I_{SC} :



$$I_{SC} = \frac{E}{R_1}$$

Figura 8

Rezultă:

$$R_{Th} = \frac{E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}}{\frac{E}{R_1}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Astfel, valoarea tensiunii de pe rezistența de sarcină (R_S) este:

$$U = E_{Th} \cdot \frac{R_S}{R_{Th} + R_S} \quad (7)$$

Observație: În cazul în care divizorul de tensiune este între două tensiuni arbitrare (și nu între o tensiune arbitrară și masă), se folosește următoarea generalizare:

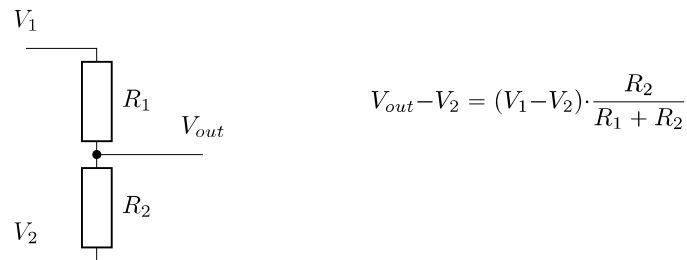


Figura 9

8 Sursa de tensiune

8.1 Sursa de tensiune ideală

Este un dispozitiv care oferă la ieșire tensiune constantă, adică menține diferența de potențial. O sursă ideală de tensiune va menține aceeași tensiune indiferent de curentul absorbit de sarcină. Rezistența internă a unei surse ideale de tensiune este zero.

8.2 Sursa de tensiune nestabilizată

Sursele de tensiune nestabilizate sunt surse de tensiune care au rezistență internă nenulă și care NU dispun de circuite care să mențină tensiunea la ieșire constantă indiferent de sarcină.

Bateriile, acumulatorii, panourile solare sunt exemple de surse de tensiune nestabilizate.

În cazul unei surse reale nestabilizate tensiunea la borne are o valoare maximă, numită **tensiune electromotoare** sau tensiune de mers în gol, atunci când este operată fără sarcină.

În prezența unei sarcini valoarea tensiunii de la ieșirea sursei scade odată cu creșterea curentului prin sursă (absorbit de sarcină). Această dependență este liniară întrucât sursa ne-ideală este modelată cu o sursă ideală de tensiune în serie cu o rezistență (pe care o numim rezistența internă a sursei).

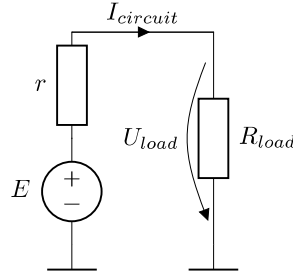


Figura 10

Observăm următoarele relații:

$$I_{circuit} = \frac{E}{R_{load} + r} \quad (8)$$

$$U_{load} = I_{circuit} \cdot R_{load} = \frac{E \cdot R_{load}}{R_{load} + r} \quad (9)$$

Un exemplu practic al momentului în care o sursă de tensiune reală nu face față consumatorilor și reduce tensiunea de ieșire se poate observa când se încearcă pornirea automobilului și farurile sunt pornite. Pentru că acumulatorul auto (sursa) nu poate susține sistemul de iluminat și electromotorul (consumatorii) tensiunea de ieșire o să scadă și implicit și intensitatea luminoasă a farurilor.

8.3 Sursa de tensiune stabilizată

Sursele de tensiune stabilizate sunt montaje electronice proiectate astfel încât tensiunea generată să fie constantă indiferent de curentul prin sarcină (pentru o gamă fixă a valorilor curenților).

Montajul electronic măsoară tensiunea de la ieșirea din sursă și acționează intern pentru a menține ieșirea constantă. Sursa de laborator, alimentatoarele pentru laptopuri, sursele de calculator, precum și subansamble ale diferitelor aparate electronice (monitoare, sisteme audio, televizoare) sunt surse de tensiune stabilizate.

Tensiunea la bornele sursei stabilizate este constantă dacă curentul absorbit nu depășește un anumit prag. Dincolo de acest prag, sursa fie nu mai păstrează constantă tensiunea (care va începe să scadă), fie va limita curentul, fie va intra în modul de protecție (caz în care ieșirea va fi decuplată).

9 Sursa de curent

Este un dispozitiv care generează (source) sau absoarbe (sink) un curent electric constant, independent de rezistența de sarcină. În cazul ideal, acest curent tinde la infinit.

În cazul unei surse reale de tip *source*, menținerea curentului constant se realizează prin variația tensiunii de ieșire. Tensiunea de ieșire are o valoare maximă finită, numită tensiune de complianță. În Figura 11 se observă că atunci când tensiunea de ieșire este în limite ($U_{max} = 20V$) curentul prin sarcină este

cel setat (în cazul nostru $1A$). Atunci când tensiunea de pe sarcină depășește valoarea maximă admisă de sursă, curentul din circuit este limitat de legea lui Ohm (sursa nu poate genera tensiune mai mare pentru a obține curentul dorit), ca în Figura 11c.

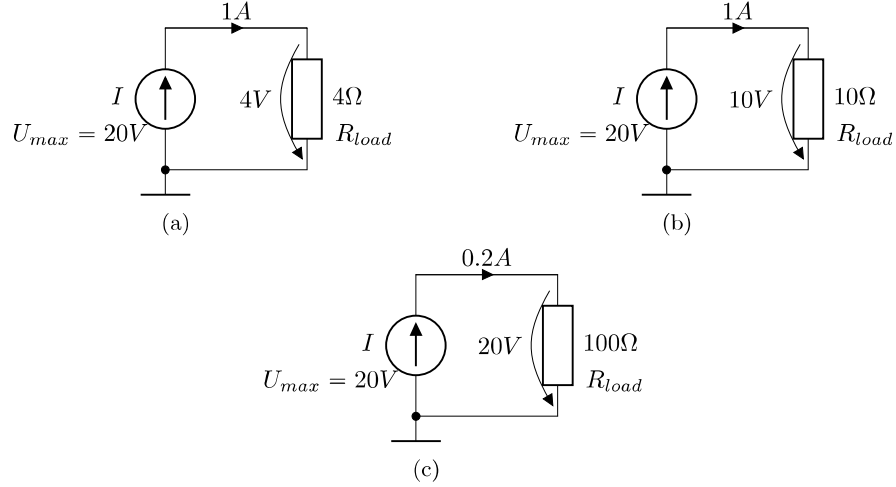


Figura 11: Surse de curent de tip *source*

În cazul sursei de tip *sink*, menținerea curentului constant se realizează prin variația căderii de tensiune de pe sursă¹, care are o valoare maximă finită (dacă această valoare este depășită, componentele interne vor fi afectate).

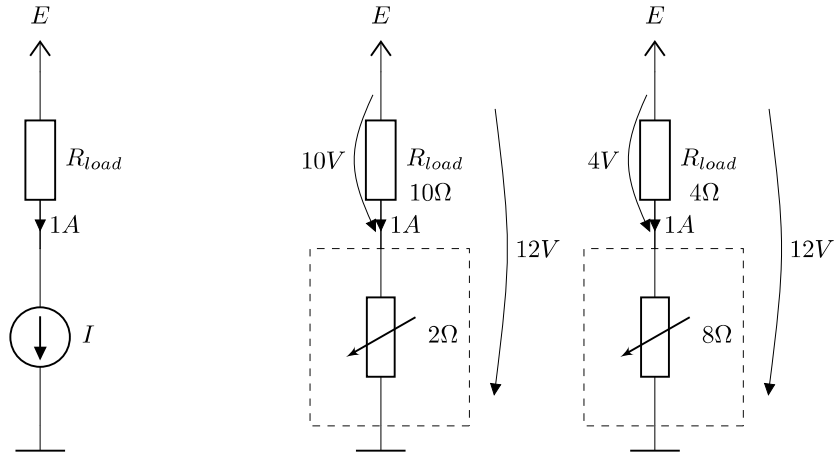


Figura 12: Surse de curent de tip *sink*

¹Putem spune că se comportă ca o rezistență care variază pentru a obține un curent constant.

10 Semnale variabile

În cadrul laboratorului veți utiliza atât curent continuu (care nu își modifică valoarea în timp), cât și semnale periodice (care își modifică amplitudinea în funcție de timp și a căror variație se repetă periodic). Pentru semnalele periodice parametrii principali utilizați sunt:

- Amplitudinea maximă
- Amplitudinea vârf la vârf
- Valoarea efectivă (sau eficace, RMS¹)
- Decalajul (Offset-ul) față de axa Ox (valoarea 0)
- Frecvența
- Perioada
- Forma de undă (sinusoidală, dreptunghiulară, rampă, etc.)

Întrucât semnalele periodice variază constant (amplitudinea diferă de la un moment de timp la altul), uneori în practică se utilizează o valoare echivalentă - valoarea efectivă (RMS). Această valoare reprezintă tensiunea în curent continuu care disipă pe o rezistență aceeași putere ca forma de undă măsurată.

În funcție de aparatul de măsură folosit, tensiunile sunt măsurate fie ca amplitudine (ex: folosind un osciloscop), fie ca valoare efectivă (ex: folosind un multimetru digital).

În continuare sunt prezentați parametrii semnalelor pentru semnale sinusoidale și dreptunghiulare - tipuri de semnale ce vor fi utilizate în cadrul activităților de laborator.

10.1 Semnale sinusoidale

- V_{peak} = Peak Voltage (amplitudinea la vârf²)
- V_{pp} = Peak-to-peak Voltage (amplitudine vârf la vârf a semnalului)

$$V_{pp} = 2 \cdot V_{peak}$$

- V_{rms} = Root Mean Square Voltage (valoare eficace).
Demonstrația în Anexa B.

$$V_{rms} = \frac{V_{peak}}{\sqrt{2}} = \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}}$$

Dacă semnalul are și componentă continuă se folosește formula:

$$V_{rms} = \sqrt{V_{DCoffset}^2 + \frac{V_{peak}^2}{2}}$$

¹RMS = Root Mean Square

²Amplitudinea maximă a semnalului

- T = perioada semnalului (măsurată în secunde sau milisecunde)
- f = frecvența semnalului

$$f = \frac{1}{T}$$

$$[f]_{SI} = Hz(\text{Hertz})$$

Observație: De fiecare dată când vorbim despre tensiunea unui semnal sinusoidal, trebuie menționat ce tip de măsurătoare este folosită (V_{pp} , V_{rms} , etc.).

10.2 Semnale dreptunghiulare

În Figura 13 este ilustrat un semnal dreptunghiular de amplitudine V_p și factor de umplere $d = \frac{t_1}{T}$. În general, factorul de umplere este exprimat în procente.

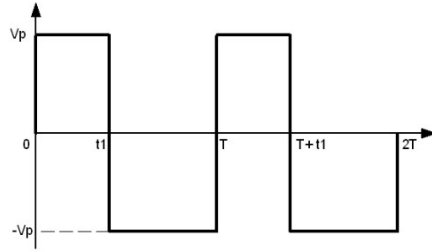


Figura 13: Semnal dreptunghiular cu componentă negativă

Pentru a calcula V_{rms} trebuie să ținem cont și de partea negativă a semnalului ($-V_p$) care contribuie la energia consumată de sarcină. Asta înseamnă că $V_{rms} = V_p^2$. În cazul în care semnalul nu are componentă negativă (Figura 14), folosim ecuația $V_{rms} = V_p \sqrt{\frac{t_1}{T}}$.

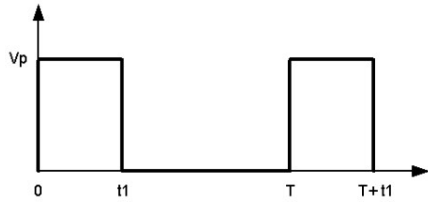


Figura 14: Semnal dreptunghiular fără componentă negativă

Tensiunea medie se calculează folosind formula:

$$V_{avg} = V_{peak} \cdot d + V_{min}(1 - d) \quad (10)$$

11 Amplificarea semnalelor

În analiza circuitelor veți întâlni noțiunea de amplificare¹/atenuare în putere, tensiune sau curent. Raportul valorii măsurate la ieșirea circuitului și valoarea măsurată la intrarea în circuit se exprimă adesea în decibeli.

Decibelul (dB) este o unitate logaritmică utilizată pentru exprimarea raportului a două mărimi. Decibelii sunt utilizați atât pentru măsurarea amplificării în putere cât și în tensiune.

Pentru măsurarea amplificării în putere (A_{PdB}):

$$1dB = 10 \log_{10} \frac{P_{out}}{P_{ref}} \quad (11)$$

O creștere cu $10dB$ a factorului de amplificare în putere se traduce printr-o creștere de 10 ori a puterii.

Exemplu: Spunem ca un circuit care amplifică puterea de 100 de ori are o amplificare de $20dB$.

Pentru măsurarea amplificării în tensiune (A_{UdB}):

$$1dB = 20 \log_{10} \frac{V_{out}}{V_{ref}} \quad (12)$$

O creștere cu $20dB$ a factorului de amplificare în tensiune se traduce printr-o creștere de 10 ori a tensiunii.

Exemplu: Spunem ca un circuit care amplifică tensiunea de 1000 de ori are o amplificare de $60dB$.

Observație: În practică, amplificarea se exprimă atât ca raport direct ("*amplificare de 10x*") cât și la scară logaritmică ("*amplificare cu 20dB*"). Valorile trebuie interpretate ca fiind în dB doar dacă este menționat explicit acest lucru.

¹Amplificarea este întâlnită și sub denumirea de "câștig" sau "gain".