

Componente elementare

Tematica: *Circuite electrice*

→ **Capitol:** *Teoria circuitelor*

→ **Secțiunea:**

Tip resursă: *Expunere* *Laborator virtual / Exercițiu* *CVR*

În acest capitol se va studia comportarea câtorva dipoli ideali, care se întâlnesc mai frecvent în circuitele electrice, cum sunt [sursele independente de tensiune](#), [sursele independente de curent](#), [rezistoare](#), [inductanțe](#) și [condensatoare](#). Pentru fiecare, se vor prezenta ecuațiile caracteristice, se vor indica simbolul și modelul matematic cu ajutorul căruia se poate descrie comportamentul acestora.

În final, se vor prezenta câteva exemple de [modele reale](#) ale dipolilor studiați, modele ce traduc cât mai fidel comportamentul elementelor ce compun circuitele electrice.

- cunoștințe anterioare necesare: [Teoremele lui Kirchhoff](#)
- nivel: 1 - introductiv
- durata estimată: 30 minute
- autor: [Maria José Resende](#)
- realizare: Sophie Labrique
- traducere: [Sergiu Ivanov](#)

1. Introducere

Pe baza principiului conservării energiei, se poate afirma că, o sursă de energie electrică este un convertor (dispozitiv sau mașină electrică) ce poate transforma altă formă de energie (chimică, mecanică, termică, solară, potențială, cinetică) în energie electrică.

Exemple de surse de energie electrică:

Pila electrică sau baterie - convertește energia chimică în energie electrică

Panou fotovoltaic - convertește energia solară în energie electrică

Generator - convertește energia mecanică, potențială, cinetică sau termică în energie electrică

Motor - convertește energia electrică, potențială, cinetică sau termică în energie mecanică

O mare parte a surselor utilizate în circuitele electrice, pot fi **reversibile**, ceea ce înseamnă că fluxul de energie se poate inversa. Astfel:

- O pilă electrică, când este încărcată, este un convertor care transformă energia electrică în energie chimică;
- Un generator, poate funcționa ca motor, convertind în energie mecanică, energia electrică pe care o absoarbe.

Panoul fotovoltaic este un exemplu de sursă nereversibilă, în cazul în care ar absorbi energie electrică, nefiind posibilă conversia în energie solară.

2. Sursă de tensiune

O sursă ideală, independentă de tensiune este un dipol ce are capacitatea de a impune o diferență de potențial între bornele sale, indiferent de curentul ce o străbate.

Ecuția ce caracterizează o sursă ideală de tensiune este:

$$u(t) = \mathcal{E}(t)$$

unde, în general, $\mathcal{E}(t)$ se numește **forța electromotoare** a sursei.

În cazul unei surse de tensiune continuă (DC în engleză), $\mathcal{E}(t)$ are o valoare constantă.

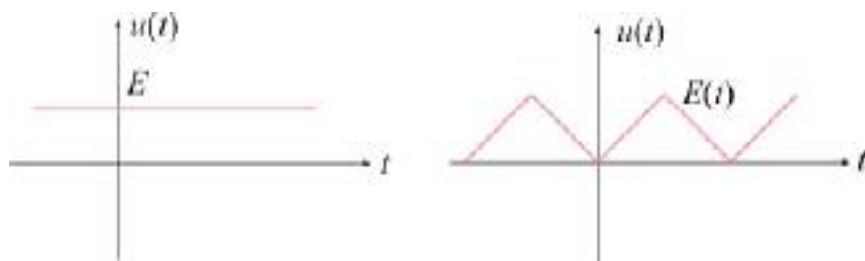


Figura 1 - Exemple de surse de tensiune continuă

Cele mai utilizate simboluri utilizate pentru reprezentarea unei surse de tensiune sunt:

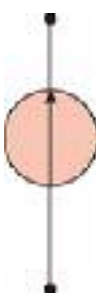
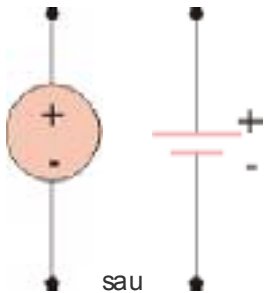

Simbol general pentru sursele de tensiune	Sursă de tensiune Continuă (DC)	Sursă de tensiune alternativă (AC)
	 sau	

Figura 2 - Simbolul al surselor de tensiune

Când se conectează o sursă de tensiune cu un alt element pasiv, se stabilește un circuit pe care circulă curentul $i(t)$.

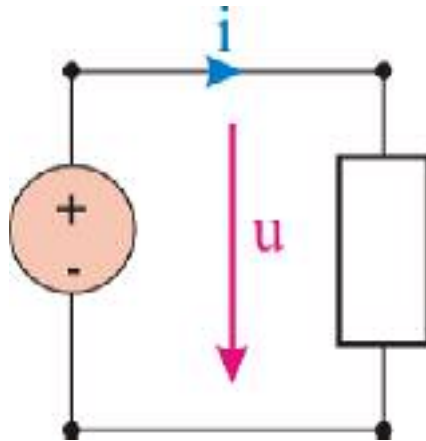


Figura 3 - Sursă ideală de tensiune ce alimentează un element pasiv

Curentul pe care îl furnizează sursa, depinde de elementele pe care le alimentează:

- o sursă de tensiune poate fi lăsată în circuit deschis, respectiv fără nici o conexiune la bornele sale.

În acest caz, curentul $i(t)$ pe care îl furnizează este nul și în consecință, și puterea $p(t) = u(t)i(t)$ pe care o furnizează;

- terminalele unei surse ideale de tensiune nu pot fi legate între ele printr-un conductor ideal (scurt-circuitat), deoarece, această situație corespunde anulării tensiunii generatorului; în timp ce o sursă de tensiune înseamnă $u(t) = E(t)$, un scurt-circuit înseamnă $i(t) = 0$

- două surse de tensiune pot fi legate în paralel, doar dacă forțele electromotoare sunt egale; astfel, cu

Teorema a II-a a lui Kirchhoff se obține $E_1(t) = E_2(t)$, ceea ce conduce la concluzia că cele două forțe electromotoare sunt egale.

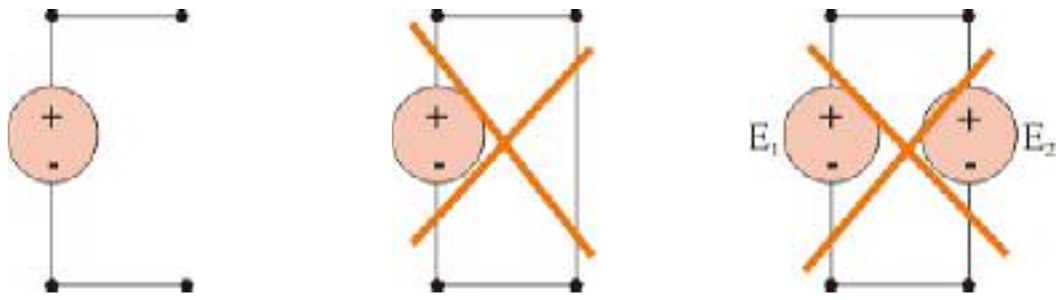


Figura 4 - Sursă ideală de tensiune în gol, în scurt-circuit și două surse de tensiune în paralel

3. Sursă de curent

O sursă ideală, independentă de curent este un dipol ce are capacitatea de a impune curentul pe care îl furnizează, indiferent de tensiunea aplicată terminalelor sale.

Simbolul pentru reprezentarea unei surse de curent este:



Nu există simboluri specifice pentru reprezentarea surselor de curent continuu (DC), respectiv alternativ (AC)

Ecuația ce caracterizează o sursă ideală de curent este:

$$i(t) = I(t)$$

Când se conectează o sursă de curent cu un alt element pasiv, se stabilește un circuit pe care circulă curentul $i(t)$.

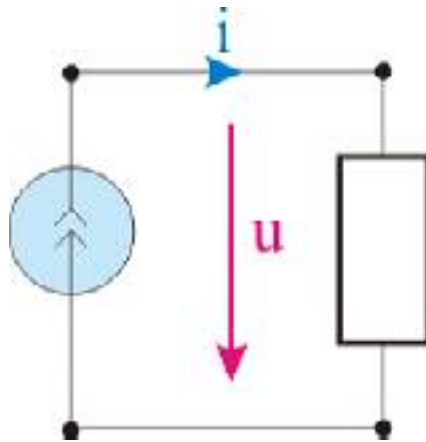


Figura 5 - Sursă ideală de curent ce alimentează un element pasiv

Diferența de potențial $u(t)$ între bornele sale, depinde de elementul pe care îl alimentează sursa:

- în cazul unei surse de curent, terminalele sale pot fi legate între ele. În acest caz, tensiunea între terminalele sale $u(t)$ fiind nulă, rezultă că și puterea pe care o debitează $p(t) = u(t)i(t)$, este nulă;
- o sursă de curent nu poate fi lăsată niciodată în circuit deschis, deoarece aceasta ar corespunde anulării curentului pe care îl furnizează; întotdeauna trebuie să existe un circuit prin care să circule curentul; deoarece o sursă de curent impune $i(t) = I(t)$, un circuit deschis impune $i(t) = 0$
- două surse de curent se pot conecta în serie dacă au aceeași valoare a curentului; astfel, cu **Teorema I a lui Kirchoff** se obține $I_1(t) = I_2(t)$, care este valabilă doar dacă cele două valori ale curentului sunt egale.

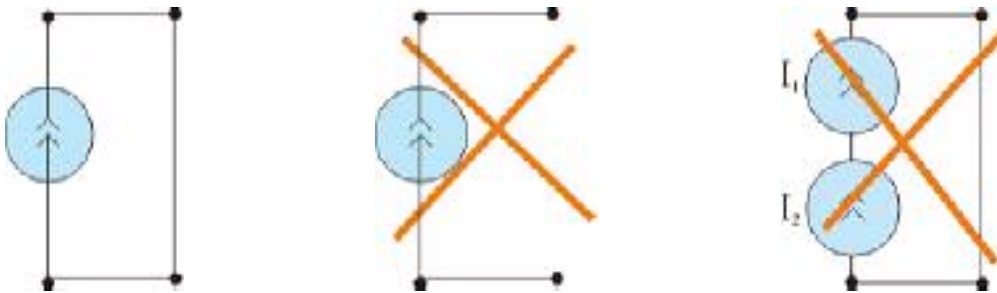


Figura 6 - Sursă ideală de curent în scurt-circuit, în gol și două surse de curent în serie

4. Rezistor

Un rezistor este un dipol care transformă toată energia electrică absorbită, în energie termică. Rezistența reprezintă caracteristica fizică a tuturor materialelor de a se opune trecerii curentului electric; materialele bune conductoare au rezistență mică, iar materialele izolante au rezistență mare.

Rezistența unui conductor depinde de rezistivitatea ρ a materialului din care este realizat, de secțiunea S a conductorului și de lungimea sa l :

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Simbolul unui rezistor și sensurile de referință ale tensiunii și curentului (convenția pentru receptor) sunt:

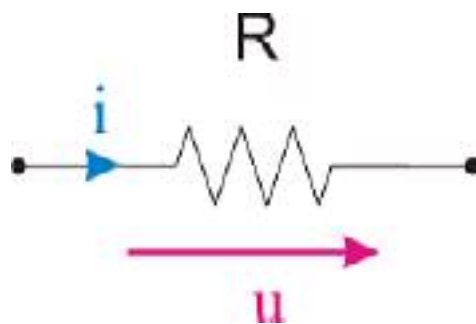


Figura 7 - Reprezentarea simbolică a rezistorului și sensurile de referință

Valoarea R a rezistenței se exprimă în ohm(Ω) ($\Omega = V/A$) și, ținând cont de expresia anterioară, este intrinsec, pozitivă.

Ecuția caracteristică a unui rezistor este:

$$u(t) = R i(t)$$

Puterea la bornele sale, caracterizată de efectul Joule al curentului, se poate scrie:

$$p(t) = u(t) i(t) = R [i(t)]^2 = \frac{[u(t)]^2}{R}$$

Ținând cont că atât $R [i(t)]^2$, cât și $\frac{[u(t)]^2}{R}$ nu pot avea decât valori pozitive și ținând cont că au fost utilizate sensurile pozitive pentru convenția de receptor, rezultă că puterea $p(t)$ este întotdeauna absorbită de un rezistor.

Se poate defini conductanța G asociată unei rezistențe R , ca fiind:

$$G = \frac{1}{R}$$

Conductanța G se exprimă în siemens ($S = \Omega^{-1}$).

ecuația caracteristică a unei conductanțe este:

$$i(t) = G u(t),$$

puterea la bornele sale fiind:

$$p(t) = u(t) i(t) = G [u(t)]^2 = \frac{[i(t)]^2}{G}$$

Analog rezistorului, o conductanță absoarbe energie.

5. Inductanță

O inductanță ideală este un dipol care poate înmagazina energia prin intermediul unui câmp magnetic. Ea este realizată dintr-un anumit număr de spire de material bun conductor electric, care, cel mai adesea, înconjoară un circuit din material feromagnetic (**bun conductor al câmpului magnetic**), a cărui funcție este de a concentra liniile de câmp magnetic induse de curentul ce parcurge bobina.

O inductanță este caracterizată de inductivitatea proprie L , care depinde de numărul de spire N și de **reluctanța magnetică** a circuitului magnetic $R_{m\varphi}$, conform relației:

$$L = \frac{N^2}{R_{m\varphi}}$$

Simbolul unei inductanțe și sensurile de referință ale tensiunii și curentului (convenția pentru receptor) sunt:

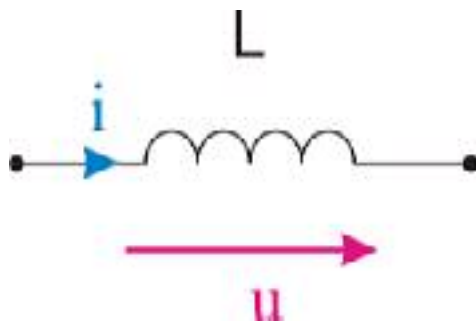


Figura 8 - Reprezentarea simbolică a inductanței și sensurile de referință

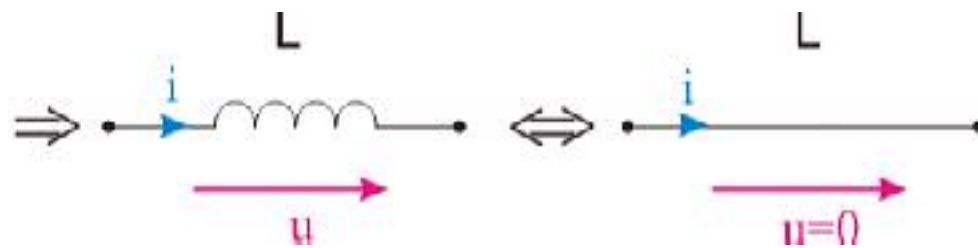
Unitatea de măsură a inductivității proprii L a unei inductivități este Henry ($1H = 1V \cdot 1s / 1A$) și, ținând cont de expresia anterioară, este intrinsec, pozitivă.

În cazul în care elementul este în repaus, tensiunea la bornele unei inductanțe este direct proporțională cu derivata în raport cu timpul a curentului ce o parcurge, multiplicată cu L :

$$u(t) = L \frac{di}{dt}$$

O primă observație ce se poate face, cu referire la expresia de mai sus, este că, în cazul în care curentul $i(t)$ este constant în timp, tensiunea la bornele unei inductanțe este nulă. Aceasta corespunde situației atingerii regimului permanent într-un circuit alimentat în curent continuu (DC); în această situație, o inductanță este echivalentă cu un conductor perfect (scurt-circuit), deoarece

$$\frac{di}{dt} = 0$$



În ceea ce privește puterea la bornele unei inductanțe, se poate scrie:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = L \cdot i \frac{di}{dt}$$

Spre deosebire de expresia puterii la bornele unui rezistor, semnul puterii la bornele unei inductanțe, depinde de semnele curentului ce o parcurge și al derivatei acestuia în raport cu timpul; aceasta înseamnă că o inductanță poate absorbi sau furniza energie.

Energia W_m care parcurge inductanța se poate calcula:

$$W_m = \int_0^t p(t) \cdot dt + W_m(0) = \frac{1}{2} L \cdot [i(t)]^2 + W_m(0)$$

în care $W_m(0)$ este energia înmagazinată la momentul $t = 0$.

Considerând sensurile de referință ale tensiunii și curentului corespunzătoare convenției pentru receptor, se observă:

- dacă $p > 0$ (curentul și derivata lui au același semn), inductanța absoarbe energie, crescând energia înmagazinată;
- dacă $p < 0$ (curentul și derivata lui au semne diferite), inductanța furnizează energie, restituind energia înmagazinată.

6. Condensator

Un condensator este un dipol care poate înmagazina energie electrică, prin intermediul unui câmp electric.

Un condensator este caracterizat de capacitatea C , care depinde de constanta dielectrică a materialului izolant ϵ (permițivitatea electrică), de suprafața plăcilor conductoare A și de distanța d , dintre acestea, conform relației:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Simbolul unui condensator și sensurile de referință ale tensiunii și curentului (convenția pentru receptor) sunt:

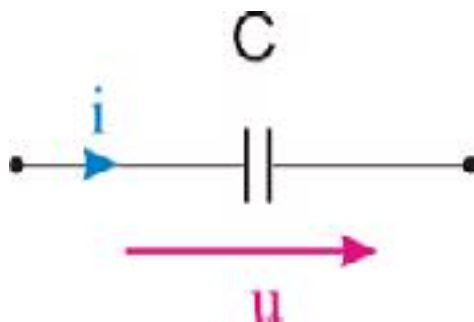


Figura 9 - Reprezentarea simbolică a condensatorului și sensurile de referință

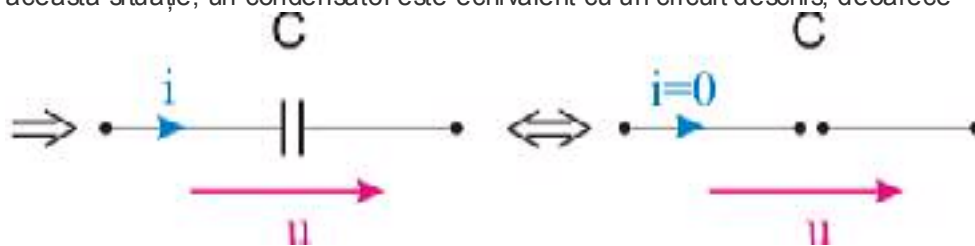
Unitatea de măsură a capacității C a unui condensator este Farad ($1F = 1A \cdot s / 1V$) și, ținând cont de expresia anterioară, este intrinsec, pozitivă.

În cazul în care elementul este în repaus, curentul ce parcurge un condensator este direct proporțional cu derivata în raport cu timpul a tensiunii la bornele sale, multiplicată cu C :

$$i(t) = C \frac{dv}{dt}$$

Similar inductanței, o primă observație ce se poate face, cu referire la expresia de mai sus, este că, în cazul în care tensiunea $v(t)$ este constantă în timp, curentul ce îl parcurge este nul. Aceasta corespunde situației atingerii regimului permanent într-un circuit alimentat în curent continuu (DC); în

această situație, un condensator este echivalent cu un circuit deschis, deoarece $\frac{dU}{dt} = 0$.



În ceea ce privește puterea la bornele unui condensator, se poate scrie:

$$p(t) = u(t) i(t) = C u \frac{du}{dt}$$

Similar unei inductanțe, semnul puterii la bornele unui condensator depinde de semnele tensiunii și ale derivatei acesteia; aceasta înseamnă că un condensator poate absorbi sau furniza energie.

Energia W_C care parcurge condensatorul se poate calcula:

$$W_C = \int_0^t p(t) dt + W_C(0) = \frac{1}{2} C [u(t)]^2 + W_C(0)$$

în care $W_C(0)$ este energia înmagazinată la momentul $t = 0$.

Considerând sensurile de referință ale tensiunii și curentului corespunzătoare convenției pentru receptor, se observă:

- dacă $p > 0$ (tensiunea la borne și derivata sa au același semn), condensatorul absoarbe energie, crescând energia înmagazinată;
- dacă $p < 0$ (tensiunea la borne și derivata sa au semne diferite), condensatorul furnizează energie, restituind energia înmagazinată.

7. Modele reale

Un model este un ansamblu de relații matematice care descriu comportamentul unui sistem. În funcție de precizia dorită, se pot utiliza modele mai mult sau mai puțin precise; există deci, un compromis între simplitatea modelului și reprezentativitatea (precizia) dorită.

În cadrul acestui curs, cea mai mare parte a componentelor din structura circuitelor, se vor considera ca fiind asimilate unor elemente ideale, respectiv sursă de tensiune și elemente R, L și C, studiate anterior.

Pilă electrică sau baterie		sursă de tensiune
Rezistor		dipol R
Bobină		dipol L



În practică, sunt necesare modele care să exprime realitatea mai fidel, fiind necesare modele reale ale componentelor.

În practică, ce se întâmplă dacă scurt-circuităm bornele unei baterii? Răspunsul este că se va stabili un curent foarte mare, iar bateria se va "descărca" repede, ceea ce înseamnă anularea tensiunii la borne. Acest comportament, deși verificat în practică, nu poate fi descris cu ajutorul modelului sursei ideale de tensiune prezentat anterior, deoarece bateria este o sursă reală de tensiune și nu una ideală!

Un model mai real al unei surse de tensiune, constă în legarea în serie cu o sursă ideală de tensiune a unui rezistor cu rezistență mică r_i , numită rezistență internă a sursei, așa cum se vede în figura de mai jos.

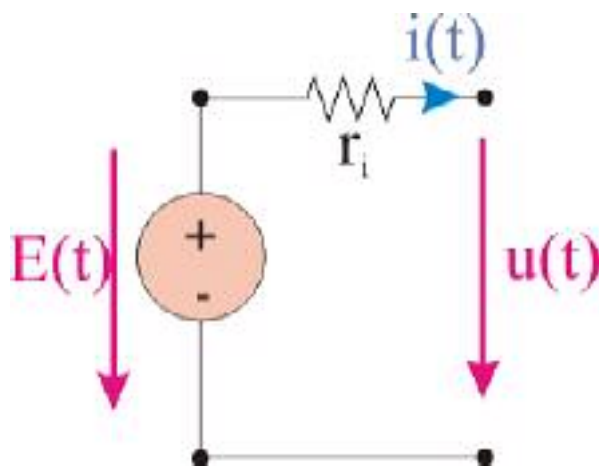


Figura 10 - Schema echivalentă a unei surse de tensiune

Aplicând [Teorema a II-a a lui Kirchoff](#) și ecuația caracteristică a unui rezistor, se obține:

$$u(t) = E(t) - r_i i(t)$$

În cazul unui scurt-circuit la bornele sursei, în expresia de mai sus va fi $u(t) = 0$, iar curentul de scurt-circuit ce va parcurge sursa va fi:

$$i_{sc}(t) = \frac{E(t)}{r_i}$$

Cum valoarea rezistenței r_i este mult mai mică decât valoarea tensiunii electromotoare $E(t)$, curentul de scurt-circuit va atinge valori foarte mari, ce pot distruge sursa.

Valorile parametrilor $E(t)$, r_i și $i_{sc}(t)$ caracterizează sursa. Dacă se cunosc doi dintre ei, al treilea poate fi determinat.

Similar, un model mai real al unei surse de curent, constă în legarea în paralel cu o sursă ideală de curent a unui rezistor de rezistență mare r_i , numită rezistență internă, așa cum se vede în figura de mai jos.

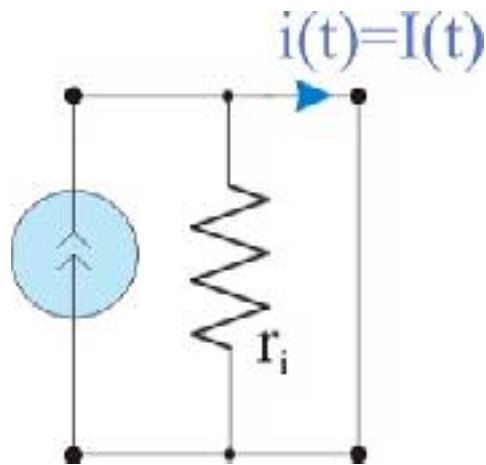


Figura 11 - Schema echivalentă a unei surse de curent

Dacă sursa este lăsată în gol (circuit deschis), atunci $i(t) = 0$, iar curentul $i(t)$ se va închide pe circuitul sursă-rezistență internă, determinând tensiunea la bornele sursei, $u_0(t)$:

$$u_0(t) = r_i \cdot I(t)$$

În practică, datorită tehnologiei de realizare, cea mai mare parte a rezistoarelor real au și un anumit comportament inductiv, ceea ce înseamnă că modelul real al unui rezistor se obține înseriind un rezistor ideal de valoare R a rezistenței, cu o inductanță ℓ , așa cum se vede în figura de mai jos.



Figura 12- Schema echivalentă a unui rezistor real

O bobină este realizată dintr-un anumit număr de spire din material conductor, a cărui conductivitate este foarte bună; chiar și așa, datorită rezistivității materialului conductor, o bobină va avea și un caracter rezistiv. Un model real al unei bobine, se obține înseriind cu inductanța L , un rezistor cu valoare mică a rezistenței r , așa cum se vede în figura de mai jos.



Figura 13- Schema echivalentă a unei bobine reale

Un condensator "încărcat" (tensiunea între bornele sale nu este nulă), chiar dacă nu este parcurs de curent (circuit deschis), în timp, se va "descărca" lent (tensiunea la borne se va reduce). Acest fapt nu poate fi explicat prin modelul prezentat anterior. În practică, un condensator real se comportă ca și o capacitate ideală C , în paralel cu un rezistor r , cu valoarea mare a rezistenței. Curentul care circulă între condensator și această rezistență, modelează fenomenul de "descărcare" a condensatorului. Acest model este reprezentat în figura de mai jos.

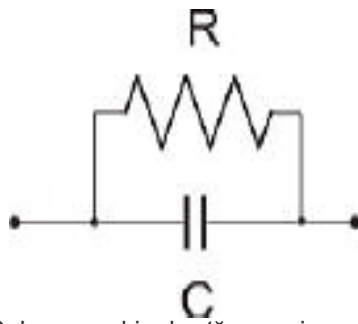


Figura 14- Schema echivalentă a unui condensator real

NOTĂ - Modelele prezentate nu sunt unice; au fost considerate acele modele care, în contextul cursului de față, pot explica majoritatea fenomenelor studiate. Pentru situații particulare, sau pentru obținerea unor precizii mai mari, pot fi considerate modele mai complexe.