

## 1.1. Principiile Măsurărilor Electronice

### 1.1.1. Curentul Continuu (C.C.)

### 1.1.2. Elemente ale Circuitului Electric

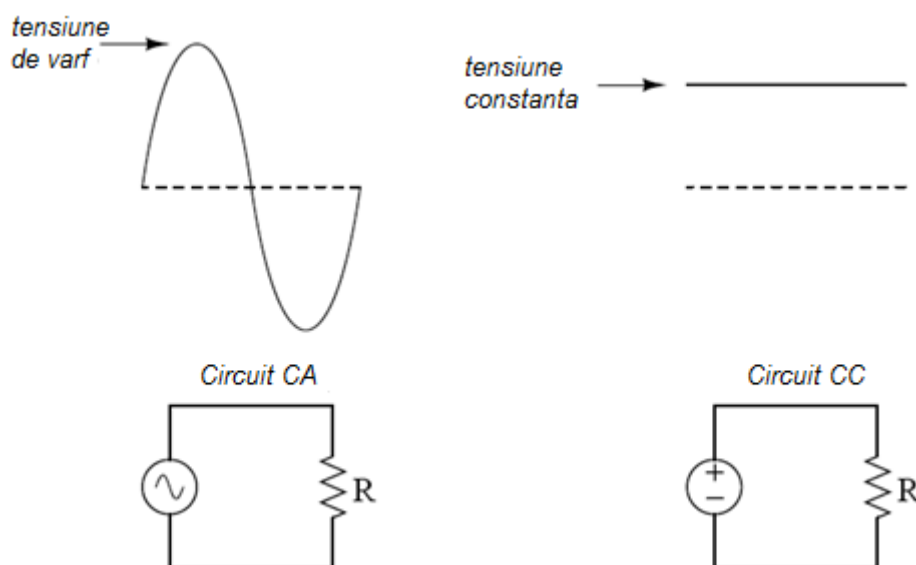
### 1.1.3. Curentul alternativ (C.A.)

În timp ce curentul continuu (C.C.) se referă la fluxul purtătorilor de sarcină electrică într-o direcție continuă, curentul alternativ (C.A.) se referă la o inversare periodică a sensului fluxului sarcinilor. Ca mod de a transfera energie electrică, C.A. este extrem de util, deoarece ne permite să folosim transformatoare pentru a crește sau reduce nivelul de tensiune ușor și eficient. În cazul în care un senzor detectează o mărime fizică care oscilează, semnalul electric produs va oscila (în C.A.) de asemenea. Din aceste motive, un tehnician de instrumente trebuie să fie conștient de modul de funcționare a circuitelor de curent alternativ și să le înțeleagă din punct de vedere matematic.

#### Mărimi efective (RMS)

Adeesea este recomandată exprimarea amplitudinii unei mărimi C.A. (cum ar fi tensiunea sau curentul) în termeni care sunt echivalenți cu mărimile C.C..

Cel mai cunoscut standard de echivalență se bazează pe lucrul și puterea electrică, iar noi numim această valoare a unui formă de undă de curent alternativ ca fiind efectivă (eficace), sau RMS pe scurt. De exemplu, o tensiune C.A. de 120 volți "RMS" înseamnă că această tensiune este capabilă să dezvolte aceeași putere (în Wați), pentru o sarcină electrică, la fel ca o sursă C.C. de 120 volți care alimenează aceeași sarcină. Problema constă în calculul valorii "RMS" dacă tot ceea știm despre forma de undă C.A. este valoarea sa la vârf. Dacă vom compara o undă sinusoidală și o "undă" C.C., una lângă alta, ne va fi clar că unda sinusoidală are o valoare la vârf mai mare decât nivelul constant C.C., acestea fiind echivalente din punctul de vedere al producerii aceluiași lucru electric în intervalul de timp.



La început, ar putea părea o abordare corectă integrarea unei unde sinusoidale pe o jumătate de ciclu (de la 0 la  $\pi$ ) pentru calculul zonei de sub curbă. Această abordare este aproape bună, dar nu este în totalitate corectă. Trebuie remarcat că tensiunea electrică produce o disipare (consum) de putere pe un rezistor care nu este direct proporțională cu mărimea acelei tensiuni, ci mai degrabă proporțională cu pătratul valorii tensiunii! În termeni matematici, puterea este definită de următoarea ecuație:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Dacă vom dubla tensiunea aplicată pe rezistor, puterea crește de patru ori. Dacă triplăm tensiunea, puterea crește de nouă ori! Pentru a afla valoarea echivalentă "RMS" a unei unde sinusoidale, trebuie să luăm în calcul această neliniaritate. În primul rând începem cu echivalența matematică între cazurile C.C. și C.A.. Pe de o parte, cantitatea de lucru efectuat de sursa de tensiune C.C. va fi egală cu puterea aceluia circuit înmulțită cu timpul. Unitatea de măsură a puterii este Watt, definit ca un Joule de lucru pe secundă. Deci, înmulțind puterea în circuitul C.C. cu timpul vom obține rezultatul în Jouli (energia totală disipată pe rezistor):

$$Lucru = \left( \frac{V^2}{R} \right) \cdot t$$

Pe de altă parte, volumul de lucru produs de o tensiune C.A. cu forma de undă sinusoidală este egal cu pătratul funcției sinusoidale împărțite la rezistență, integrată pe o perioadă de timp specificată. Cu alte cuvinte, se va folosi procesul de calcul cu integrală pentru a calcula mai degrabă aria de sub funcția  $\sin^2 t$  decât de sub funcția  $\sin t$ . Deoarece intervalul de la 0 la  $\pi$  radiani va surprinde esența formei unde sinusoidale, acesta va fi intervalul nostru de integrare:

$$Lucru = \int_0^{\pi} \frac{V_{\max}^2 \sin^2 t}{R} dt$$

Egalând cele două ecuații (deoarece dorim să obținem același lucru pentru cele două cazuri), și stabilind ca partea C.C. a ecuației să utilizeze  $\pi$  ca interval de timp (același interval și în partea C.A.), se va obține:

$$\left( \frac{V^2}{R} \right) \cdot \pi = \int_0^{\pi} \frac{V_{\max}^2 \sin^2 t}{R} dt$$

Înmulțind ambele părți ale ecuației cu  $R$ , se elimină complet această variabilă.

$$V^2 \cdot \pi = V_{\max}^2 \int_0^{\pi} \sin^2 t dt$$

Acum putem simplifica funcția integratoare prin substituirea cu echivalența pe jumătatea perioadei pentru funcția  $\sin^2 t$ .

$$V^2 \cdot \pi = V_{\max}^2 \cdot \int_0^{\pi} \frac{1 - \cos 2t}{2} dt$$

În final, putem scăpa de integrală astfel:

$$V^2 \cdot \pi = \frac{V_{\max}^2}{2} \left( \int_0^{\pi} 1 dt - \int_0^{\pi} \cos 2t dt \right)$$

$$V^2 \cdot \pi = \frac{V_{\max}^2}{2} \left( (\pi - 0) - \frac{1}{2} (\sin 2\pi - \sin 0) \right)$$

Putem scăpa acum și de  $\pi$ , egalând cele două părți:

$$V^2 = \frac{1}{2} \cdot V_{\max}^2$$

Scoatem și rădăcina pătrată, și ajungem la rezultatul final:

$$V = \frac{1}{\sqrt{2}} V_{\max}$$

Deci, pentru o tensiune sinusoidală cu valoarea de vârf de 1 volt, valoarea tensiunii C.C. echivalentă "RMS" va fi de  $1/\sqrt{2}$  volți, adică 0.707 volți. Cu alte cuvinte, o tensiune sinusoidală de 1 volt la vârf va produce aceeași disipare de putere pe rezistor ca o tensiune constantă al unei baterii C.C. de 0.7071 volți aplicată pe același rezistor. Astfel, acest 1 volt la vârf de undă sinusoidală este egal cu 0.7071 volți RMS de undă sinusoidală, sau 0.7071 volți "echivalenți C.C." de formă sinusoidală.



#### Observații

Acest factor pentru tensiuni sinusoidale este destul de util pentru calcule în sisteme electroenergetice, unde forma de undă a tensiunii este aproape mereu sinusoidală. În orice casă, tensiunea disponibilă la fiecare priză de perete este de 120 de volți RMS, care înseamnă de fapt 169,7 volți la vârf.

Electricienii și tehnicienii electroniști adeseori memorează  $1/\sqrt{2}$  ca factor de conversie fără a realiza că se aplică numai formei sinusoidale de tensiune și curent. Pentru o formă care nu este sinusoidală, factorul de conversie dintre valoarea la vârf și RMS va fi diferit! Procedura matematică pentru obținerea factorului de conversie va fi identică, deși: integrarea funcției formei de undă (ridicată la pătrat) pe un interval suficient de long pentru a surprinde esența formei, și înmulțită de  $V^2$  ori cu acel interval stabilit.

#### Rezistența, reactanța și impedanța

Rezistența (R) se află în opoziție disipativă cu curentul electric, similară cu frecarea întâlnită de un obiect în mișcare. Reactanța (X) este opoziția față de curent care rezultă din energia stocată în componentele circuitului, similară cu inerția unui obiect în mișcare. Impedanța (Z) este opoziția totală față de curent. Reactanța este de două tipuri: capacitivă ( $X_C$ ) și inductivă ( $X_L$ ). Fiecare dintre ele reprezintă o funcție de frecvență (f) în circuitul C.A.:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$X_L = 2\pi f L$$

Impedanța în circuitul serie este suma ortogonală a rezistenței și reactanței:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L^2 - X_C^2)}$$

#### 1.1.4. Bazele Măsurărilor Electrice

Există mai multe definiții pentru termenul de "măsurări". O astfel de definiție considerată a fi reprezentativă este următoarea: *Măsurarea este procesul cognitiv de colectare a informațiilor din lumea fizică. În acest proces valoarea unei mărimi este determinată (în timp și condiții definite) prin comparația acesteia (cu incertitudine cunoscută) cu valoarea de referință standard.* (Definiția 1)

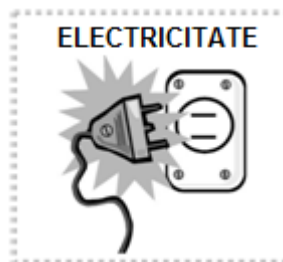
Mărimea măsurată, denumită și *măsurand*, este o proprietate a unui fenomen, obiect sau proces.



### Exemple

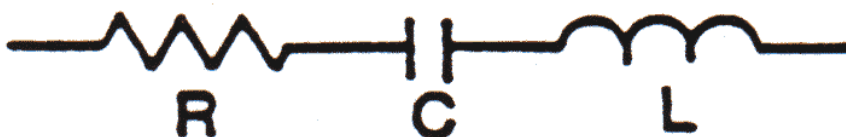
De exemplu, *energia electrică* este un fenomen care este definită de următoarele mărimi (măsuranzi):

- Tensiunea (U),
- Intensitatea curentului (I),
- Frecvența (f),
- Puterea (P, Q, S)



Alte exemple se referă la:

Mărimi parametrice, cum ar fi rezistența, capacitatea și inductanța:



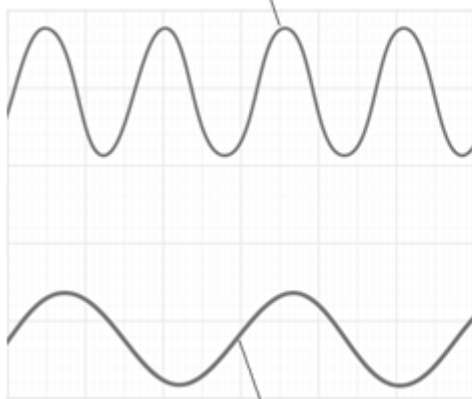
Mărimi ale domeniului de timp. Sunt incluse: frecvența, perioada și defazajul.

De fapt, **frecvența f** este atât **inversul perioadei T** cât și al lungimii de undă **λ** (v este viteza undei)

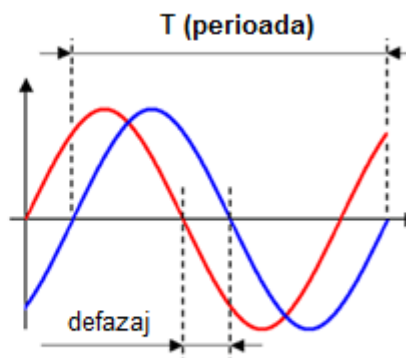
$$f = \frac{1}{T}$$

$$v = f \cdot \lambda$$

Lungime de unda scurta = Frecventa inalta



Lungime de unda lunga = Frecventa joasa



O definiție mai potrivită pentru măsurare este următoarea: **Măsurarea este o procedură experimentală prin care mărimea măsurată X este comparată cu o mărime cunoscută u de același tip – unitatea de măsură** (Definiția 2). Fiecare mărime care poate fi măsurată are o unitate standard (de măsură) corespunzătoare. Pot fi date exemple: Curentul (=măsurand) se măsoară în Amperi (=unitatea); Inductanța se măsoară în Henry; Frecvența se măsoară în Hertzi. Conform Definiției 2, procesul de măsurare poate fi reprezentat ca în Figura 1.10:

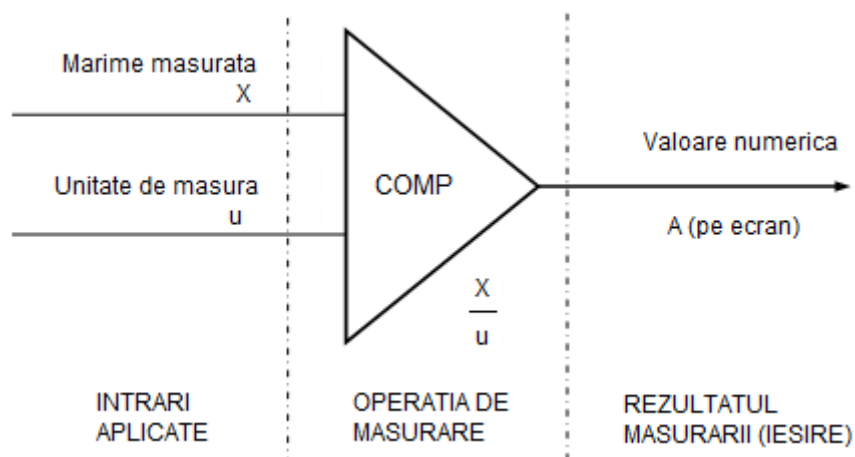


Fig.1.10 Schema pentru procesul de măsurare

Rezultatul **A** al procesului de măsurare este o informație numerică:

$$A = \frac{X}{u}$$



**Exemplu**

Să presupunem că măsurăm 20 V, adică  $X = 20 \text{ V}$ .

Dacă unitatea de măsură este  $u = 1 \text{ mV}$ , atunci rezultatul afișat este:

$$A = \frac{20 \text{ V}}{1 \text{ mV}} = \frac{20000 \text{ mV}}{1 \text{ mV}} = 20000$$

Pentru a realiza procesul de măsurare, sunt necesare următoarele *componente*:

Tab. 1.2. Componente de măsurare

Componentă	Motiv
<i>Mărime măsurată</i>	Ce se măsoară
<i>Unitate de măsură</i>	Cum exprimăm măsurarea
<i>Mijloace de măsură</i>	Ce se utilizează
<i>Metode de măsurat</i>	Cum se folosesc mijloacele
<i>Eroarea măsurării</i>	Există erori?

Mărimile măsurate pot fi clasificate în funcție de diferite criterii.



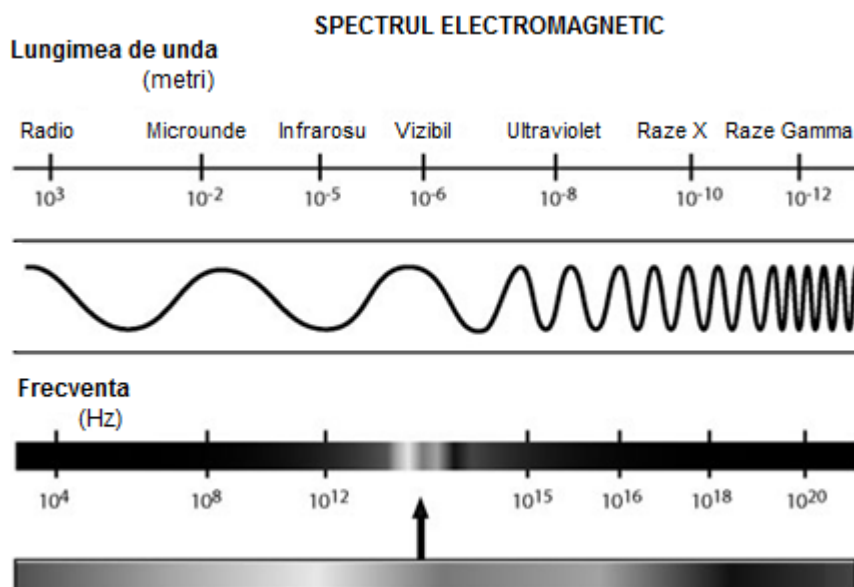
**Exemplu**

Din punct de vedere al sursei (natură) pot fi: - chimice; - biologice, mecanice; - termodinamice; - optice; - electrice; - magnetice, și așa mai departe.



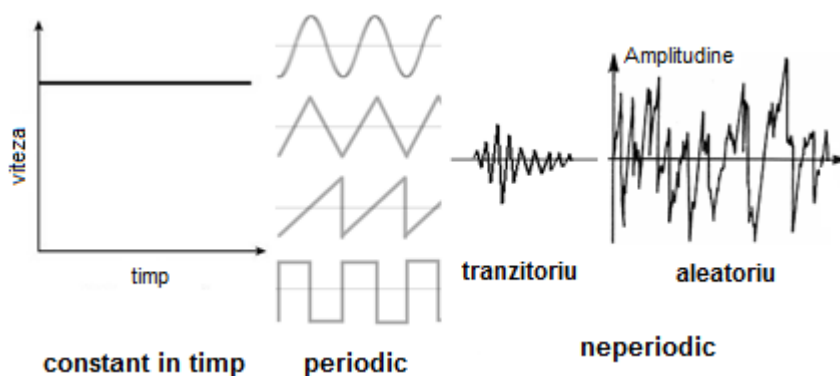
chimic: *molul* termodinamic: *căldură specifică* electric: *sarcină electrică*

Din punct de vedere electric mărimile măsurate pot fi fie electromagnetice fie non-electrice.



Undele electromagnetice reprezintă prima categorie: unde radio, microunde, raze X, etc. Mărimi non-electrice cum ar fi: greutatea, umiditatea, presiunea, masa, curentul de aer, temperatura, intensitatea luminoasă sunt de obicei măsurate cu senzori. Este responsabilitatea unui senzor de a furniza ieșirea electrică care poate fi măsurată în același mod ca o mărime electrică.

Din punct de vedere al domeniului de timp, mărimile pot fi ori constante în timp, ori periodice în timp ori aperiodice în timp (tranzitoriu sau aleatoriu).



De exemplu, viteza poate fi constantă în timp, un semnal de ceas este periodic, oscilațiile sunt aperiodice și tranzitorii, iar zgomotul este mereu aleatoriu.

**Unitatea de măsură** reprezintă o anumită parte a unei mărimi fizice specifice a cărei valoare numerică este considerată a fi egală cu unitatea (de exemplu: 1 Volt, 1 Amper, 1 Watt). Unitățile de măsură pot fi acceptate la nivel local, regional și global.



### Exemple

Pentru lungime, următoarele unități de măsură sunt acceptate: *metrul* (din SI), *picioarul* (1 ft = 0,3048m, ft=feet), *țolul* (1 in = 0,0254m, in=inch), *yardul* (1 yd = 0,915m) și *mila* (1 milă = 1610m).

Pentru masă : *kilogramul* (din SI) și *livra* (1 lb = 0,453 kg).

Pentru fluxul magnetic: *Weber* (din SI) și *Maxwell* (1 Mx =  $10^{-8}$  Wb).

După cum se poate observa, numai o unitate de măsură este acceptată de SI (adică Sistemul Internațional de Unități). Deci, există o singură unitate care corespunde unui măsurand acceptat la nivel global.

Prin gruparea unităților de măsură cu care o clasă de fenomene poate fi definită, vom obține un sistem de unități de măsură. Pentru fenomene mecanice avem sistemul CGS (cm, gram, secundă), și respectiv sistemul MKS (metru, kg, secundă). Pentru fenomenele mecanice și electro-magnetice avem sistemele *electrostatice* CGS (cm, gram, secundă, εo), *electro-magnetice* CGS (cm, gram, secundă, μo) și MKSA (metru, kg., secundă, Amper). Electroniștii și inginerii electrici utilizează sistemele MKS. Trebuie remarcat faptul că toate unitățile practice incluse în MKS se găsesc nemodificate în SI! Deci, inginerul nu are nici o problemă în a adopta SI. Dar, ce este SI?

În cadrul *sistemului metric* de măsurări, există un standard internațional pentru care unitățile sunt fie considerate fundamentale fie considerate “derivate” din unitățile fundamentale. Standardul modern se numește **SI**, adică *Système International d' Unités*. Astfel, în prezent acesta reprezintă sistemul legal de măsurare. Acest standard recunoaște șapte unități fundamentale, sau de bază, din care toate celelalte sunt derivate.

SI are șapte unități de bază, și două unități suplimentare pentru unghi: *unghiul diedru* (exprimat în radian) și *unghiul solid* (exprimat în steradian). Multe din mărimile pe care le măsurăm nu sunt exprimate în unități de bază, ci în unități derivate!

Tab. 1.3. Mărimi și unități de bază a sistemului SI

Mărime fizică	Unitate SI	Simbol SI
Lungime	metru	m
Masă	kilogram	kg
Timp	secundă	s
Curent electric	amper	A
Temperatură	kelvin	K
Cantitate de substanță	mol	mol
Intensitate luminoasă	candela	cd

Anumite unități derivate importante au denumiri speciale și pot fi folosite în combinații la rândul lor pentru a forma nume alternative pentru următoarele derivații. Cele mai importante unități SI derivate sunt:

Tab. 1.4 Unități SI derivate importante

Mărime	Nume unitate	Simbol unitate
Forță	newton	N
Energie	joule	J
Putere	watt	W
Sarcină electrică	coulomb	C
Diferență de potențial electric și EMF	volt	V
Rezistență electrică	ohm	$\Omega$
Capacitate electrică	farad	F
Inductanță electrică	henry	H
Flux magnetic	weber	Wb



#### Exemple

Unitatea SI pentru forță, Newton, este derivată din trei unități mecanice de bază folosind a doua lege a lui Newton; și anume  $N = m \cdot kg \cdot s^{-2}$ . Un Joule, adică unitatea SI pentru energie, rezultă din definiția pentru lucru:  $J = N \cdot m = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$ . În final, unitatea SI pentru putere, Watt, este definită ca  $W = J \cdot s^{-1} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$ . Unitățile: Volt și Ohm sunt derivate din Watt (și astfel din cele trei unități mecanice de bază) și din Amper, unitatea electrică de bază. Formal,  $V = W A^{-1} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$  iar  $\Omega = V A^{-1} = W \cdot A^{-2} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$ .



#### Explicații

**Newton.** Un newton este acea forță care dă unei mase de 1 kg o accelerație de  $1 m s^{-2}$ . **Joule.** Lucrul generat când punctul de aplicare a unei forțe de 1N este deplasat pe distanța de 1m în direcția forței este un joule. **Watt.** Puterea care dă naștere producerii de energie la rata de  $1 J s^{-1}$  este un watt. **Coulomb.** Cantitatea de electricitate transportată în 1 s de un curent de 1A este un coulomb. **Volt.** Diferența de potențial electric dintre două puncte ale unui conductor parcurs de un curent constant de 1 A, când puterea disipată între aceste puncte este egală cu 1W, este un volt. **Ohm.** Rezistența electrică dintre două puncte ale unui conductor când o diferență constantă de 1V, aplicată între aceste două puncte, produce în acest conductor un curent de 1 A, este un ohm, acest conductor nefiind o sursă de forță electromotoare. **Farad.** Capacitatea unui farad apare între plăcile unui condensator pentru care apare o diferență de potențial de 1V când este încărcată cu o cantitate de electricitate egală cu 1 C. **Henry.** Un henry este inductanța unui circuit închis în care o forță electromotoare de 1V este produsă când curentul electric current din circuit variază uniform la o rată de  $1 A s^{-1}$ . **Weber.** Un weber este fluxul magnetic flux care, străbătând circuitul o dată, produce o forță electromotoare de 1V care este redusă la zero la o rată uniformă în 1 s.

Fiecare unitate SI are multiplii și submultiplii, așa cum se observă în Tabelul 1.5.



Tab. 1.5 Multiplii și submultiplii ai unităților SI

Coeficient	Prefix (cod)	Simbol	Coeficient	Prefix (cod)	Simbol
$10^{18}$	exa	<i>E</i>	$10^{-1}$	deci	d
$10^{15}$	peta	<i>P</i>	$10^{-2}$	centi	c
$10^{12}$	tera	<i>T</i>	$10^{-3}$	mili	m
$10^9$	giga	<i>G</i>	$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^6$	mega	<i>M</i>	$10^{-9}$	nano	n
$10^3$	kilo	<i>k</i>	$10^{-12}$	pico	p
$10^2$	hecto	<i>h</i>	$10^{-15}$	femto	f
$10^1$	deca	<i>da</i>	$10^{-18}$	alto	a

De exemplu, dacă  $C = 1 \text{ pF}$ , atunci capacitatea are valoarea de 1 picofarad, adică  $10^{-12}$  farad. În practică, nu toți multiplii și submultiplii din Tab. 1.5 sunt folosiți.

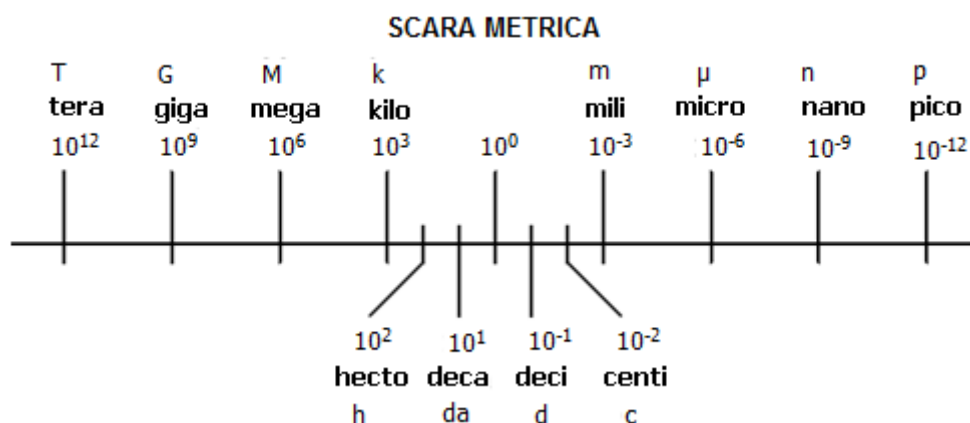
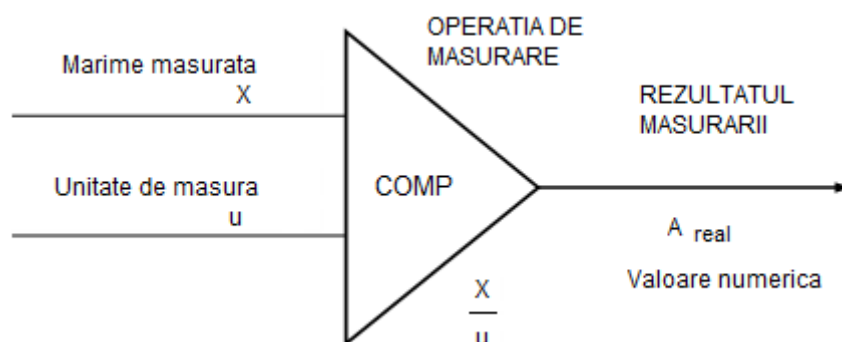


Fig.1.11 Multiplii și submultiplii ai unităților SI folosiți pentru măsurări

Erorile afectează acuratețea rezultatului măsurării! Erorile sunt deviații ale măsurandului de la valoarea **adevărată**.



Rezultatul măsurării  $A_{real}$  ar trebui să fie egal cu  $A_{ideal}$ , pentru a nu avea erori!

$$A_{real} = \frac{X}{u}$$

$$A_{ideal} = \frac{X_t}{u}$$

Asta înseamnă că  $X$  (valoarea măsurată) =  $X_t$  (valoarea **adevărată**). Este știut că majoritatea măsurărilor nu au o acuratețe perfectă. Prin urmare, întotdeauna există o eroare de măsurare care

apare în măsurări reale,  $X \neq X_t$ . Această diferență dintre valori adevărate și măsurate poate fi exprimată astfel:

- **Eroarea absolută  $\Delta X$**  este diferența dintre valoarea măsurată  $X$  și valoarea adevărată  $X_t$ :

$$\Delta X = X - X_t$$

- Raportul  **$\Delta X/X_t$  (eroarea relativă)** este exprimat astfel:

$$\varepsilon = \frac{\Delta X}{X_t} \cdot 100\% = \frac{X - X_t}{X_t} 100\%$$

### Măsurări directe

Acuratețea unui aparat analogic cu indicație directă poate fi definită de **clasa de acuratețe, c**:

$$c = \frac{\Delta X}{X_{DCI}} \cdot 100\%$$

$X_{DCI}$  : *Deviație Completa a Indicației*



### Exemple

Un manometru variază între 0 și 50 psi, cea mai mare divergență în citiri este de  $\pm 4.35$  psi. Care este acuratețea %DCI (sau clasa de acuratețe c)?

$$\%DCI = \pm (4.35 \text{ psi} / 50 \text{ psi}) \times 100 = \pm 8.7\%$$

Clasele de acuratețe au valori de: 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 10 % etc. Deci, clasa de acuratețe este de 10% în acest caz

Folosind relația de mai sus pentru clasa de acuratețe, eroarea absolută va fi obținută astfel:

$$\Delta X = \frac{c \cdot X_{DCI}}{100}$$

Înlocuind  **$\Delta X$**  în ecuația pentru  $\varepsilon_r$ , se va obține:

$$\varepsilon_{r \max} = c \cdot \frac{X_{DCI}}{X}$$

Această relație poate determina **eroarea maximă a indicației** pentru aparate analogice ( $\varepsilon_{r \max}$ ).



### Exemplu

Un voltmetru are valoarea deviației complete a indicației:  $X_{DCI} = 100 \text{ V}$ .

Clasa de acuratețe este  $c = 1\%$  iar citirea  $X = 90 \text{ V}$ .

Se determină  **$\Delta X$**  și  $\varepsilon_{r \max}$ .

$$\Delta X = c \cdot X_{DCI} / 100 = 1 \cdot 100 / 100 = 1 \text{ V}$$

$$\varepsilon_{r \max} = c \cdot X_{DCI} / X = 100 / 90 = 1,11\%$$

Performanța aparatului poate avea o influență majoră asupra erorilor de măsurare. Unul din cei mai importanți parametri este **acuratețea** aparatului. **Două tipuri de erori metodice** (Figura 1.17) pot afecta acuratețea măsurărilor efectuate cu instrumente care au un răspuns liniar:

1. **Eroarea de decalaj** sau **de reglaj a punctului de zero** apare dacă instrumentul nu citește zero când mărimea măsurată este zero. Se mai numește și eroare de calibrare.
2. **Eroarea de scară** sau **de înmulțire** apare dacă instrumentul citește în mod constant variații ale mărimii măsurate mai mari sau mai mici decât variațiile reale.

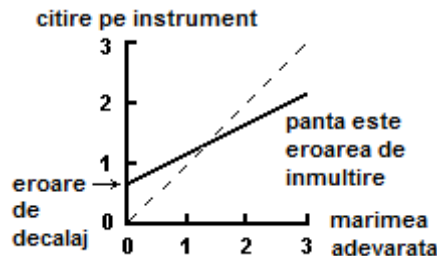


Fig.1.17 Erori metodice într-un instrument liniar (linia continuă).  
Linia întreruptă arată răspunsul unui instrument ideal fără erori.

De exemplu, un instrument poate reda următoarele citiri:  $X_{\text{real}} = 0.6 X + 0.7$ , unde  $X_{\text{ideal}} = X$ . Cum se pot calibra citirile unui instrument pentru a obține o caracteristică ideală? Răspunsul este foarte simplu:  $(X_{\text{real}} + X_{\text{comp}})/2 = X_{\text{ideal}}$ . Linia de compensare este:  $X_{\text{comp}} = 1.4 X - 0.7$

Erorile metodice pot apare și în instrumente neliniare atunci când calibrarea instrumentului nu este cunoscută foarte bine. Procentul (%) de **neliniaritate** descrie **deviația unei relații liniare** dintre intrare și ieșire. Neliniaritatea maximă este:

$$\frac{\sigma}{S} \times 100$$

Unde  $\sigma$  este **deviația maximă a răspunsului neliniar de la răspunsul liniar** iar  $S$  este **domeniul de variație**.

**Intervalul** unui instrument este dat de maximul și minimul semnalelor de intrare și ieșire.

**Domeniul de variație** sau **deviația completă a indicației (dci)** este intervalul de la valoarea minimă a scării instrumentului la cea maximă. Valoarea este dată de variația maximă a intrării sau ieșirii.

$$S = O_{\text{max}} - O_{\text{min}}$$

$S$  este domeniul de variație iar  $O_{\text{max}}$  și  $O_{\text{min}}$  sunt valorile maxime și minime ale ieșirii. De exemplu, un termometru cu scala de la  $-40^{\circ}\text{C}$  la  $100^{\circ}\text{C}$  are un interval de la  $-40^{\circ}\text{C}$  la  $100^{\circ}\text{C}$  iar domeniul de variație de  $140^{\circ}\text{C}$ .

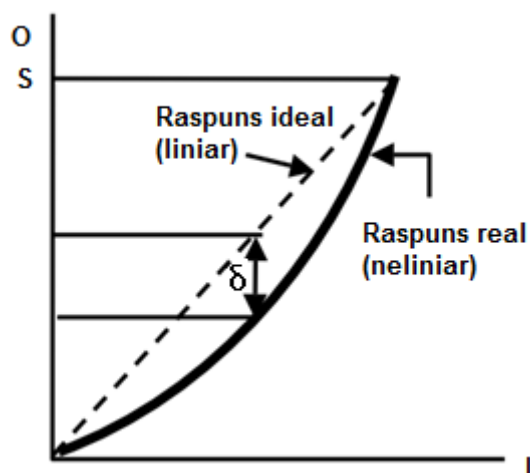


Fig.1.18 Caracteristica neliniară și cea liniară (O=ieșire, I=intrare)

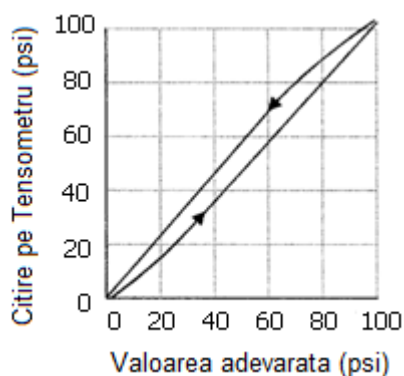


#### Exemplu

Un manometru este calibrat. Presiunea se măsoară de la 0 la 100 psi și înapoi la 0 psi. Următoarele citiri au fost obținute cu acest aparat:

Presiune adev. (psi)	0	20	40	60	80	100	80	60	40	20	0
Presiune măs. (psi)	1.2	19.5	37	57.3	81	104.2	83	63.2	43.1	22.5	1.5

Figura de mai jos arată diferența în citiri atunci când pornesc de la 0 la DCI (=domeniul de variație) și apoi de la DCI înapoi la 0. Există o diferență între citiri de 6 psi sau o diferență de 6 procente de DCI, adică,  $\pm 3$  la sută față de linie.



**Sensibilitatea** este gradul de răspuns al unui aparat de măsurat la o variație a mărimii de intrare. Sensibilitatea unui instrument este definită ca raportul dintre semnalul de ieșire al răspunsului instrumentului și semnalul de intrare sau variabila măsurată:

$$\text{Sensibilitatea} = \frac{\text{variația semnalului de ieșire}}{\text{variația semnalului de intrare}} = \frac{dY}{dX}$$

Sensibilitatea este similară cu panta din Figura 1.19. Prin ajustarea domeniului de variație, panta se modifică. Este preferată o sensibilitate mare a instrumentului deoarece se obțin amplitudini mai mari ale ieșirii, dar acest lucru va însemna că linearitatea, intervalul, și acuratețea se vor înrăutăți.

De exemplu, atunci când ieșirea unui traductor de presiune variază cu 3.2 mV pentru o variație a presiunii de 1 psi, sensibilitatea este 3.2 mV/psi. Parametrii de performanță ai instrumentului

anterior sunt sintetizați în Figura 1.20. **Rezoluția** unui instrument este cea mai mică variație a valorii măsurate pentru care instrumentul va răspunde. Se definește ca mărimea pasului împărțit la DCI și este dată în %.

$$rezolutia = \frac{dY}{S} \times 100$$

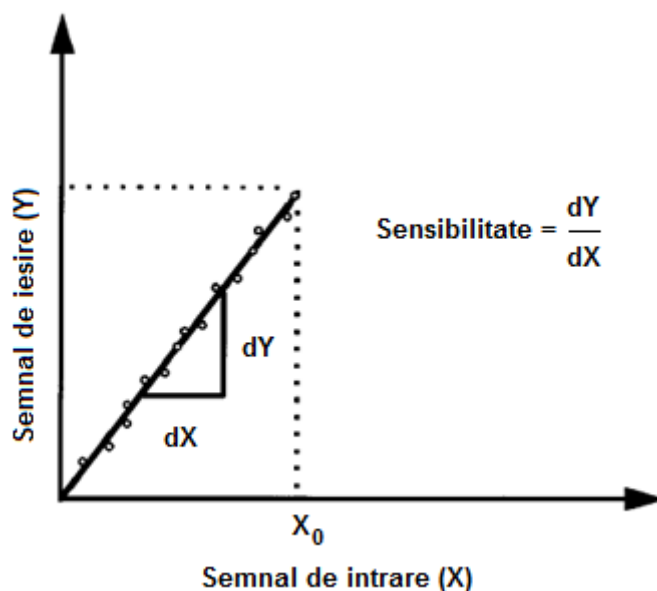


Fig.1.19 Sensibilitatea statică a unui instrument liniar

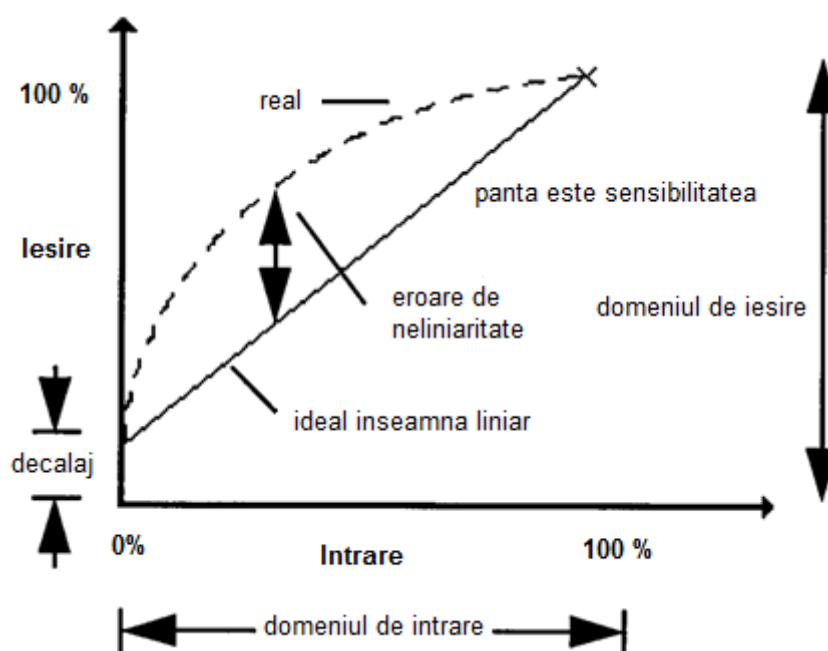


Fig.1.20 Câteva caracteristici statice de performanță distincte

De exemplu, rezoluția unui potențiomtru cu 100 de spire este  $1/100 = 1\%$ . Sau, de exemplu, rezoluția unui voltmetru cu 50 de marcaje este  $1/50 = 2\%$ . Pentru un instrument digital rezoluția depinde de numărul de cifre afișate. Dacă un voltmetru digital indică: xx.xx volți, atunci rezoluția este  $0.01/100 = 0.01\%$ , sau dacă, indicația este: x.x, atunci rezoluția este  $0.1/10 = 1\%$ .

## Testarea cunoștințelor (Cursurile 1-2)

### *Teorie 1:*

Poți explica ce este un aparat de măsurat (instrument) din punctul de vedere al măsurărilor electrice?

Ce este un senzor? La ce poate fi folosit? De exemplu, un senzor de temperatură.

Poți explica de ce corpul uman este de fapt un sistem de măsurare?

Ce este o măsurare? Pentru a răspunde trebuie gândit în termeni de mărime, incertitudine și unitate standard.

Poți explica de ce un automobil este un sistem de măsurare? Poți da câteva exemple de aparate de măsurat (instrumente) folosite?

Ce instrumente pot fi considerate aparate de măsurat moderne?

Ce instrumente pot fi considerate aparate de măsurat tradiționale?

Care este principala diferență dintre aparatele de măsurat moderne și cele tradiționale?

Ce este tensiunea? Pentru a răspunde trebuie să te raportezi la energia potențială.

Ce este curentul? Gândește-te în termeni de sarcină electrică și energie potențială.

Care este diferența dintre direcția de curgere convențională și cea de curgere a electronilor? Care dintre cele două este cea corectă? Care dintre ele este cea mai ușor de folosit?

Ce este un circuit deschis?

Ce este un scurtcircuit?

Care este unitatea standard pentru tensiune?

Care este unitatea standard pentru curent?

Care este unitatea standard pentru rezistență?

În ce constă Legea lui Ohm? Pentru a explica poți începe cu expresia acesteia.

Într-un circuit serie, care sunt relațiile pentru tensiunea totală, curentul total și rezistența totală?

Într-un circuit paralel, care sunt relațiile pentru tensiunea totală, curentul total și rezistența totală?

Ce afirmă Legea Tensiunii a lui Kirchhoff?

Ce afirmă Legea Curentului a lui Kirchhoff?

### *Teorie 2:*

Este rezistența electrică o mărime disipativă? Dacă răspunsul este da, atunci care este puterea disipată pe un rezistor?

Care este unitatea standard pentru capacitate?

Este capacitatea o mărime disipativă? În funcție de răspuns, explică de ce.

Care este relația dintre capacitate, sarcină electrică stocată și tensiune?

Într-un circuit serie, care este relația pentru capacitatea totală?

Într-un circuit paralel, care este relația pentru capacitatea totală?

Poți exprima capacitatea în funcție de permitivitate, arie și distanță?

Care este unitatea standard pentru inductanță?

Este inductanța o mărime disipativă? În funcție de răspuns, explică de ce.

Într-un circuit serie, care este relația pentru inductanța totală?

Într-un circuit paralel, care este relația pentru inductanța totală?

Poți exprima inductanța în funcție de permeabilitate, arie, lungime și număr de spire?

Care este diferența dintre curentul continuu (CC) și curentul alternativ (CA) când te raportezi la direcția sarcinilor electrice?

Poți exprima reactanța capacitivă în funcție de frecvență și capacitate?

Poți exprima reactanța inductivă în funcție de frecvență și inductanță?

Cum poți exprima Legea lui Ohm pentru circuite CA?

Care mărimi (sau măsuranzi) pot descrie energia electrică? Încearcă să dai cinci exemple.

Care este relația dintre viteza unde, lungimea de undă și frecvența?

Poți da trei exemple de mărimi parametrice?

Poți da trei exemple de mărimi ale domeniului de timp?

Poți da trei exemple de mărimi electrice care se referă la unde electromagnetice?

Poți da patru exemple de mărimi neelectrice?

Din punctul de vedere al domeniului de timp, mărimile pot fi fie constante în timp, fie periodice în timp, fie aperiodice în timp (tranziente sau aleatorii). Încearcă să desenezi o diagramă de semnal pentru fiecare caz. În total sunt patru cazuri.

*Teorie 1:*

Ce este defazajul? Pentru a-l putea exprima, poți folosi graficul polar.

Care este unitatea SI pentru lungime? Cunoști și alte unități de măsură?

Care este unitatea SI pentru masă, timp și temperatură?

Care este unitatea SI pentru cantitatea de substanță?

Care este unitatea SI pentru intensitatea luminoasă?

Care este unitatea SI derivată pentru forță?

Care este unitatea SI derivată pentru energie?

Care este unitatea SI derivată pentru putere?

Care este unitatea SI derivată pentru sarcină electrică?

Care este unitatea SI derivată pentru diferența de potențial electric?

Care este unitatea SI derivată pentru flux magnetic?

Care sunt multiplii unităților SI? În total sunt opt, de la  $10^1$  la  $10^{18}$ .

Care sunt submultiplii unităților SI? În total sunt opt, de la  $10^{-1}$  la  $10^{-18}$ .

Ce este eroarea de măsurare? O poți exprima în funcție de valoarea adevărată și măsurandul.

Ce este eroarea absolută? Care este relația pentru aceasta?

Ce este eroarea relativă? Care este relația pentru aceasta?

Ce este clasa de acuratețe? Care este relația pentru aceasta?

Ce este eroarea maximă a indicației pentru aparate de măsurat analogice? Care este relația pentru aceasta?

Ce este neliniaritatea? Cum poți exprima neliniaritatea maximă?

Ce este intervalul?

Ce este domeniul de variație? Este oare același lucru ca intervalul? Încearcă să explici.

Ce este sensibilitatea? Care este relația pentru aceasta? Poți apela la metoda pantei.

Ce este rezoluția? Care este relația pentru aceasta?

*Teorie 3:*

Ce este defazajul? Pentru a-l putea exprima, poți folosi graficul polar.

Care este unitatea SI pentru lungime? Cunoști și alte unități de măsură?

Care este unitatea SI pentru masă, timp și temperatură?

Care este unitatea SI pentru cantitatea de substanță?

Care este unitatea SI pentru intensitatea luminoasă?

Care este unitatea SI derivată pentru forță?



Care este unitatea SI derivată pentru energie?

Care este unitatea SI derivată pentru putere?

Care este unitatea SI derivată pentru sarcină electrică?

Care este unitatea SI derivată pentru diferența de potențial electric?

Care este unitatea SI derivată pentru flux magnetic?

Care sunt multiplii unităților SI? În total sunt opt, de la  $10^1$  la  $10^{18}$ .

Care sunt submultiplii unităților SI? În total sunt opt, de la  $10^{-1}$  la  $10^{-18}$ .

Ce este eroarea de măsurare? O poți exprima în funcție de valoarea adevărată și măsurandul.

Ce este eroarea absolută? Care este relația pentru aceasta?

Ce este eroarea relativă? Care este relația pentru aceasta?

Ce este clasa de acuratețe? Care este relația pentru aceasta?

Ce este eroarea maximă a indicației pentru aparate de măsurat analogice? Care este relația pentru aceasta?

Ce este neliniaritatea? Cum poți exprima neliniaritatea maximă?

Ce este intervalul?

Ce este domeniul de variație? Este oare același lucru ca intervalul? Încearcă să explici.

Ce este sensibilitatea? Care este relația pentru aceasta? Poți apela la metoda pantei.

Ce este rezoluția? Care este relația pentru aceasta?

#### *Exerciții 1:*

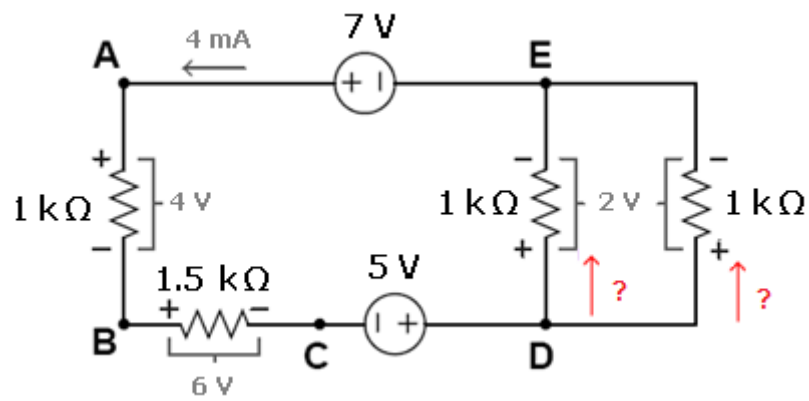
Într-un circuit electric alimentat cu o tensiune de 20 de volți, avem două rezistențe conectate în serie:  $R_1 = 1000$  ohmi și  $R_2 = 3000$  ohmi. Care este valoarea curentului care trece prin  $R_1$ ?

Într-un circuit electric alimentat cu o tensiune de 20 de volți, avem două rezistențe conectate în paralel:  $R_1 = 1000$  ohmi și  $R_2 = 4000$  ohmi. Care este valoarea curentului care trece prin  $R_2$ ?

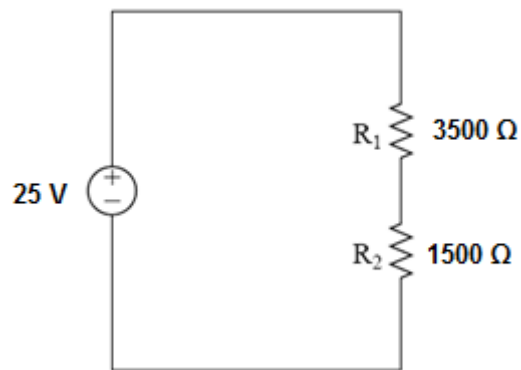
Într-un circuit electric cu două rezistențe conectate în serie:  $R_1 = 2000$  ohmi și  $R_2 = 8000$  ohmi, curentul care trece prin  $R_2$  este de 10 miliamperi. Care este valoarea sursei de tensiune care alimentează cele două rezistențe?

Într-un circuit electric alimentat cu o tensiune de 100 volți, avem trei rezistențe conectate în paralel. Știind că avem un curent total de 0.5 amperi iar  $R_1 = 800$  ohmi și  $R_2 = 400$  ohmi. Care este valoarea lui  $R_3$ ?

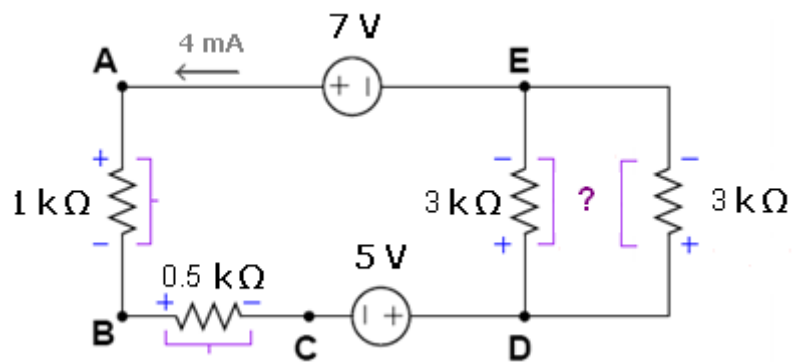
Care este valoarea curentului cu semnul întrebării din figura de mai jos?



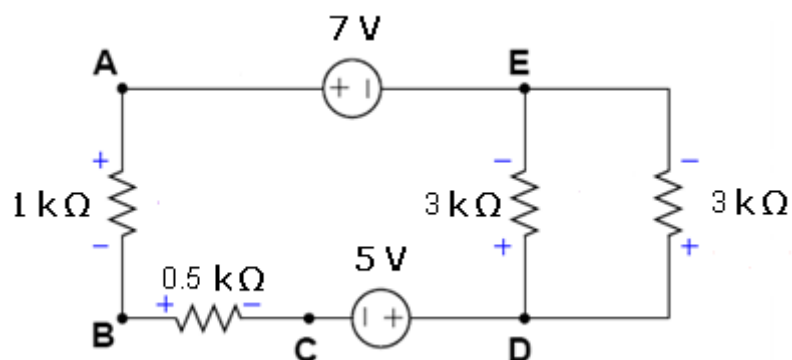
Care este valoarea tensiunii pe R1?



Care este valoarea tensiunii cu semnul întrebării din figura de mai jos?



Care este valoarea rezistenței totale din figura de mai jos?



Cât este puterea disipată pe un rezistor cu  $R = 100$  ohmi, știind că tensiunea de alimentare este  $V = 20$  volți?

Cât este sarcina electrică stocată pe un condensator cu  $C = 10\text{ nF}$  iar tensiunea de alimentare este  $V = 100$  volți?

Într-un circuit electric cu patru condensatori conectați în serie, se știe că  $C_1 = 10\text{ uF}$ ,  $C_2 = 20\text{ uF}$ ,  $C_3 = 20\text{ uF}$  și  $C_4 = 1.25\text{ uF}$ . Cât este capacitatea totală?

Cât este reactanța capacitivă a unui condensator cu  $C = 31.8\text{ nF}$  la frecvența de  $20\text{ MHz}$ ?

Într-un circuit electric cu patru inductori conectați în serie, se știe că  $L_1 = 0.34\text{ H}$ ,  $L_2 = 0.12\text{ H}$ ,  $L_3 = 0.23\text{ H}$  și  $L_4 = 0.11\text{ H}$ . Cât este inductanța totală?

O bobină are 100 de spire, o permeabilitate magnetică de  $4\pi \cdot 10^{-7}\text{ H/m}$ , lungimea sa este de  $6.28\text{ cm}$  iar aria secțiunii transversale este de  $10\text{ m}^2$ . Cât este inductanța bobinei?

Cât este valoarea RMS a unei mărimi CA cum ar fi un curent cu valoarea la vârf de  $56.4$  miliamperi?

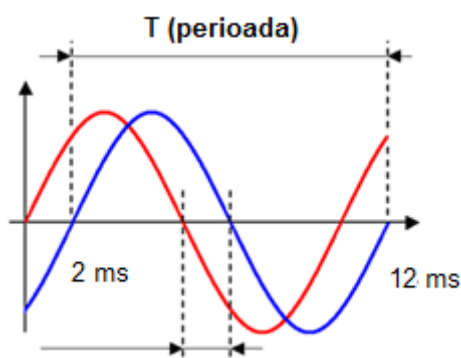
Cât este lucrul dobândit de o tensiune CA cu formă sinusoidală de  $30$  volți pentru un rezistor cu valoarea  $R = 50$  ohmi, de-a lungul unei perioade de timp de  $10$  minute?

Cât este impedanța unui rezistor de  $3000$  ohmi conectat în serie cu o impedanță de  $0.4$  henry, la frecvența de  $159\text{ Hz}$ ?

Cât este impedanța unui circuit electric CA cu  $V = 10$  volți și  $I = 0.2$  amperi?

Calculează perioada pentru o frecvență de  $100\text{ Hz}$ .

Cât este frecvența semnalului albastru?



Calculează lungimea de undă pentru o frecvență de  $100\text{ MHz}$  și o viteză a undei de  $3 \times 10^8\text{ m/s}$ .

Să zicem că măsurăm  $10$  amperi. Dacă unitatea de măsură este un miliamper, cât este rezultatul afișat?

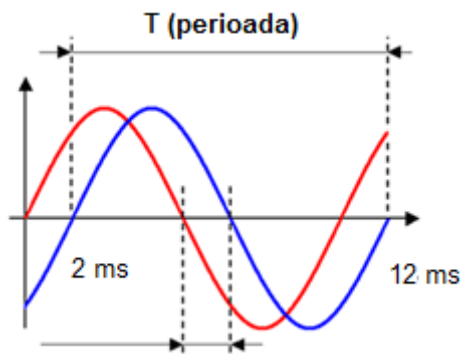
*Exerciții 2:*

Transformă un defazaj de  $7\pi/3$  în grade. Gândește-te la un defazaj de  $60$  de grade. Este oare aceeași valoare?

Cât este impedanța unui circuit electric CA cu  $V = 10$  volți și  $I = 0.2$  amperi?

Calculează perioda pentru o frecvență de 100 Hz.

Cât este frecvența semnalului albastru?



Calculează lungimea de undă pentru o frecvență de 100 MHz și o viteză a undei de  $3 \times 10^8$  m/s.

Să zicem că măsurăm 10 amperi. Dacă unitatea de măsură este 1 miliamper, cât este rezultatul afișat?

Cât este un petamtru în metri?

Cât este un exagram în grame?

Cât este un teramtru în metri?

Cât este un megagram în grame?

Cât este un gigamtru în metri?

Cât este un decamtru în metri?

Cât este un hectolitru în litri?

Cât este un centilitru în litri?

Cât este un decimtru în metri?

Cât este un microgram în grame?

Cât este un nanometru în metri?

Cât este un femtometru în metri?

Cât este un picogram în grame?

Un ampermetru indică 123.4 miliamperi. Dacă valoarea adevărată este 129 miliamperi, cât este eroarea absolută în amperi?

Un voltmetru indică 32.5 volți. Dacă valoarea adevărată este 30 volți, cât este eroarea relativă în procente?

Un senzor de temperatură poate realiza citiri de la -20 la 50 de grade Celsius. Cea mai imprecisă citire are o abatere în jur de 2 grade Celsius. Care este clasa de acuratețe a senzorului de temperatură?

Cât este eroarea maximă a indicației în procente pentru un senzor de presiune care are o clasă de acuratețe de 1%, o deviație completă a scării de 250 lb, la o citire de 200 lb? Cât este eroarea absolută în lb?

Un instrument redă următoarele citiri:  $Y = 1.8 X - 0.6$ . Care este formula pentru linia de compensare? Patru instrumente redau următoarele citiri:  $Y_1 = 1.3 X - 0.5$ ,  $Y_2 = 1.4 X + 0.5$ ,  $Y_3 = 1.4 X - 0.2$ ,  $Y_4 = 1.3 X + 0.5$ . Care dintre aceste instrumente au cea mai bună sensibilitate?

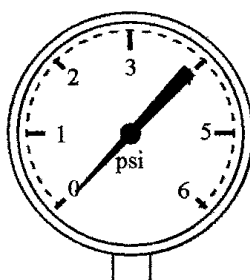
Cât este neliniaritatea maximă a caracteristicii de mai jos?

Presiune adevărată (psi)	0	20	40	60	80	100	80	60	40	20	0
Presiune măsurată (psi)	1.2	19.5	37.0	57.3	81.0	104.2	83.0	63.2	43.1	22.5	1.5

Cât este rezoluția unui voltmetru cu 300 de marcaje?

Cât este rezoluția unui voltmetru digital care indică: xxx.x (x este o cifră de la 0 la 9)?

Instrumentul de mai jos poate realiza citiri cu o precizie de 0.2 psi. Cât este rezoluția acestuia?



Cât este intervalul și domeniul de variație a unui termometru a cărei scară pleacă de la -20°C și ajunge la 60°C ?