

Sorin ENACHE

**MĂSURĂRI ELECTRICE
ȘI ELECTRONICE**

MANUAL

pentru învățământ cu frecvență redusă



**Editura Universitaria
Craiova, 2022**

Referenți științifici:

Prof. univ. dr. ing. Mircea DOBRICEANU – Universitatea din Craiova

Prof. univ. dr. ing. Ion VLAD – Universitatea din Craiova

Copyright ©2022 Universitaria

Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria Craiova

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
ENACHE, SORIN

**Măsurări electrice și electronice : manual pentru învățământ
cu frecvență redusă / Sorin Enache. - Craiova : Universitaria, 2022**

Conține bibliografie
ISBN 978-606-14-1809-1

621.3

MĂSURARI ELECTRICE ȘI ELECTRONICE

INTRODUCERE

„Măsurări electrice și electronice” este una din disciplinele de *domeniu* (DD), *impuse* (DI) din planul de învățământ al specializării Electromecanică IFR (semestrul 4).

Structura acestei discipline este indicată în următorul tabel.

Total	Numărul orelor pe semestru/activități					
	AI	ST	SF	L	P	SI
125	28	-	-	28	-	69

Obiectivele acestei discipline vizează acumularea unor cunoștințe care să ofere studenților o serie de competențe profesionale și transversale, în concordanță cu planul de învățământ:

a) competențe profesionale:

- aplicarea adecvată a cunoștințelor fundamentale de matematică, fizică, chimie specifice domeniului ingineriei electrice;
- aplicarea adecvată a cunoștințelor privind conversia energetică, fenomenele electromagnetice și mecanice specifice convertoarelor statice, electromecanice, echipamentelor electrice și acționărilor electromecanice;
- utilizarea tehnicilor de măsurare a mărimilor electrice și neelectrice și a sistemelor de achiziție de date în sistemele electromecanice.

b) competențe transversale:

- identificarea obiectivelor de realizat, a resurselor disponibile, condițiilor de finalizare a acestora, etapelor de lucru, timpilor de lucru, termenelor de realizare aferente și riscurilor aferente;
- identificarea rolurilor și responsabilităților într-o echipă pluridisciplinară și aplicarea

de tehnici de relaționare și muncă eficientă în cadrul echipei.

Disciplina conține 8 unități de învățare, enumerate în tabelul următor.

Nr. crt.	Denumirea unității de învățare
1.	Mărimea fizică și măsurarea
2.	Mijloace electrice de măsurare - modalități de descriere a performanțelor
3.	Evaluarea erorilor de măsurare
4.	Măsurarea curenților
5.	Măsurarea tensiunilor electrice
6.	Măsurarea puterilor și energiei electrice
7.	Măsurarea rezistențelor, inductivităților și capacităților
8.	Măsurarea mărimilor neelectrice

Laboratorul se efectuează pe parcursul a 14 săptămâni (2 ore în fiecare săptămână distribuite conform calendarului disciplinei).

Ședințele de laborator sunt în concordanță cu unitățile de învățare. Denumirile lor sunt detaliate în următorul tabel.

Nr. crt.	Denumirea ședinței de laborator
1.	Instructajul de protecția muncii. Prezentarea laboratorului și a lucrărilor
2.	Măsurarea curenților și tensiunilor electrice
3.	Verificarea ampermetrelor și voltmetrelor
4.	Măsurarea puterii active în circuite de curent alternativ monofazat
5.	Măsurarea puterilor active în circuite trifazate fără conductor neutru
6.	Măsurarea energiei electrice active în circuite monofazate de curent alternativ. Verificarea contorului de energie electrică
7.	Măsurarea puterii reactive în circuitele trifazate
8.	Utilizarea trusei de măsură trifazată pentru măsurarea tensiunilor, curenților și puterilor active
9.	Măsurarea rezistențelor cu metoda voltmetrului și ampermetrului. Măsurarea rezistențelor cu ohmmetrul
10.	Măsurarea rezistențelor cu punți de c.c.
11.	Măsurarea inductivităților și capacităților
12.	Măsurarea mărimilor neelectrice
13.	Recuperare lucrări restante
14.	Ședință de verificări și recuperări

Disciplina este prevăzută cu examen care se va susține în sesiunea corespunzătoare.

Modalitatea de evaluare și notare la această disciplină se face conform celor indicate în continuare (la forma de învățământ zi această disciplină este prevăzută cu 2 ore de laborator/săptămână).

Stabilirea notei finale (procente)	evaluare finală	50
	activități aplicative /laborator/lucrări practice/proiect etc.	30
	teste pe parcursul semestrului	20
	teme de control	-

Pentru aprofundarea noțiunilor cuprinse în unitățile de învățare studenții pot consulta o serie de poziții bibliografice (indicate la fiecare unitate de învățare în parte), dintre care cele mai reprezentative sunt următoarele:

1. Enache, S.: Măsurari electrice și electronice, Notițe de curs FR multiplicat la Tipografia Universității din Craiova, 2020.
2. Enache, S.: Măsurari electrice și electronice, Notițe de curs, format electronic postat pe <http://www.em.ucv.ro>, 2017.
3. Enache, S., Vlad, I.: Măsurări electrice și electronice – Îndrumar de laborator, Editura Universitaria, Craiova, 2012, ISBN 978-606-14-0435-3.
4. Belega D.: Măsurari electrice și electronice, Editura Politehnica Timișoara, 2005.
5. Golovanov C.: Măsurari electrice și sisteme de măsurare (p.I și p. a II-a), Universitatea Politehnica București, 1997.
6. Tățulescu, M.: Instrumentație și tehnici electrice de măsurare, Reprografia Universității din Craiova, 1997.

După cum se observă, disciplina este prevăzută cu curs multiplicat, curs în format electronic postat pe sit-ul facultății și îndrumar de laborator corespunzător ședințelor enumerate anterior.

Instrucțiuni pentru parcurgerea materialului de studiu

Pentru a putea parcurge în mod corespunzător materialul ce va fi prezentat în continuare, studenții trebuie să aibă cunoștințe temeinice acumulate în anii anteriori de studiu întrucât „Măsurări electrice și electronice” este în corelație cu alte discipline din planul de învățământ studiate anterior: „Fizică”, „Teoria circuitelor electrice”, „Materiale electrotehnice” etc.

Studenții vor primi gratuit, la începutul anului de studiu, cursul în format tipărit.

În plus, ei vor primi și parola care le va oferi acces la baza de date cu informații arhivate pe sit-ul facultății, corespunzătoare acestei discipline.

Pentru a putea descărca și utiliza materialul electronic, studenții trebuie să dispună de un calculator cu conexiune la INTERNET. Facultatea le oferă aceste facilități prin intermediul rețelelor de calculatoare din cadrul laboratoarelor de informatică.

Materialul corespunzător disciplinei „Măsurări electrice și electronice” este structurat în unități de învățare care, se recomandă a fi studiate în ritmul a 2 ore pe săptămână.

Eventuale neclarități vor fi lămurite în cadrul ședințelor de laborator, care sunt corelate cu unitățile de învățare.

În plus sunt prevăzute consultații periodice, al căror program se va afișa la avizierul laboratorului.

Unitatea de învățare nr. 1

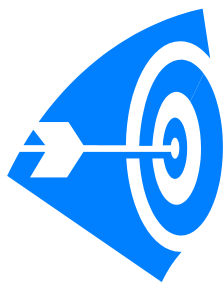
MĂRIMEA FIZICĂ ȘI MĂSURAREA. MIJLOACE ELECTRICE DE MĂSURARE

Cuprins	Pagina
Obiectivele unității de învățare nr. 1	12
1.1. Definiții. Clasificări	12
1.2. Mărimi periodice	15
Test de autoevaluare 1.1	18
1.3. Mijloace electrice de măsurare. Noțiuni de bază	19
1.4. Elemente componente. Clasificări	21
1.5. Caracteristicile metrologice ale aparatelor de măsurat	26
Test de autoevaluare 1.2	28
Lucrare de verificare – unitatea de învățare nr. 1	28
Răspunsuri și comentarii la întrebările din testele de autoevaluare	28
Concluzii	29
Bibliografie – unitatea de învățare nr. 1	29



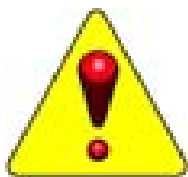
OBIECTIVELE unității de învățare nr. 1

Principalele obiective ale Unității de învățare nr. 1 sunt:



- Cunoașterea principalelor definiții și clasificări din domeniul măsurărilor electrice și electronice
- Cunoașterea valorilor caracteristice ale mărimilor fizice periodice
- Cunoașterea noțiunilor de bază referitoare la mijloacele electrice de măsurare
- Cunoașterea principalelor elemente componente și caracteristici metrologice ale aparatelor de măsurat

1.1. Definiții. Clasificări



Prin **mărime** se înțelege o proprietate comună pentru o clasă de obiecte, evenimente, stări, fenomene, procese etc.

Mărimile ce se poate evalua experimental, așa încât să i se poată atașa o descriere simbolică (de tip numeric) se numește **mărime fizică** (sau mărime măsurabilă). Descrierea numerică atașată se numește *valoarea numerică a mărimii fizice*.

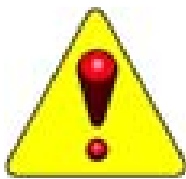
După *tipul simbolului matematic* folosit pentru descrierea mărimii fizice se întâlnesc:

- mărimi fizice scalare, descrise doar prin intermediul unui număr real;
- mărimi fizice vectoriale, cu o descriere numerică n-dimensională, componentele fiind de tip număr real;
- mărimi fizice tensoriale, descrise printr-o valoare numerică de tip matrice de numere reale, cu dimensiunile n,m; n este dimensiunea spațiului în care este descris tensorul, iar m numărul de componente ce descriu o dimensiune a acestui spațiu.

După *evoluția temporală* a valorii numerice într-un interval de timp prestabilit, mărimile fizice se grupează în mărimi de tip determinist și mărimi de tip aleatoriu.

Mărimile de tip determinist (cu evoluție predictibilă) pot fi periodice sau neperiodice, după cum satisfac sau nu corelația $i(t) = i(t + kT)$, cu k număr întreg iar T interval de timp de durată finită (numită perioadă).

Mărimile de tip aleatoriu au o evoluție imprevizibilă a valorii, putând fi descrise doar pe baza unor observații statistice.



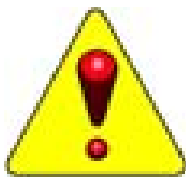
Măsurarea unei mărimi fizice atașate unui obiect sau eveniment real, reprezintă experimentul ce permite asocierea unei descrieri simbolice pentru mărimea fizică respectivă.

Mărimea fizică ce face obiectul unei măsurări se numește *măsurand*.

Procedura rațională de conducere a unei măsurări se numește *metodă de măsurare*. Obiectele fizice specifice folosite într-o măsurare se numesc *mijloace de măsură*; ansamblul mijloacelor de măsură implicate de o metodă de măsurare se numește *structură de măsură*.

Dacă prin măsurare se evaluează nemijlocit măsurandul, metoda de măsurare și măsurarea se numesc directe; dacă pentru evaluarea măsurandului se măsoară direct alte mărimi fizice, aflate față de măsurand într-o corelație cunoscută apriori, metoda și măsurarea se numesc indirecte.

Dacă se realizează automat atât măsurarea cât și memorarea valorii măsurate se spune că s-a realizat achiziția valorii măsurate.



Se numește **sistem de unități de măsură**, o reuniune de unități de măsură distincte ce permite măsurarea tuturor mărimilor fizice din unul sau mai multe domenii ale fizicii.

Un sistem de unități de măsură conține trei categorii de unități de măsură: fundamentale derivate și suplimentare.

Prin unități de măsură fundamentale ale unui sistem de unitati de masura, se intelege un ansamblu minim de unități de măsură independente care, prin relații dimensionale simple, permit exprimarea unităților de măsură derivate; unitățile de măsură suplimentare sunt de tip fundamental dar cu arie restrânsă de utilizare.

Un sistem de unități de măsură trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să fie general, în sensul de a permite măsurarea a cât mai multe mărimi fizice;
- să fie practic adică potrivit măsurărilor uzuale;
- să fie coerent, ceea ce înseamnă că relațiile prin care unitățile de măsură fundamentale definesc unitățile de măsură derivate nu conțin coeficienți numerici;
- unitățile sale fundamentale să fie ușor de reprodus sub formă de etaloane.

Începând din 1961 în România este acceptat oficial doar Sistemul internațional de unități (SI). SI are șapte unități de măsură fundamentală și două suplimentare.

Unitățile de măsură fundamentale din SI sunt: metrul (pentru lungime), kilogramul (pentru masă), secunda (pentru timp), kelvinul (pentru temperatură), amperul (pentru intensitatea curentului electric), molul (pentru cantitatea de substanță), candela (pentru intensitatea luminoasă).

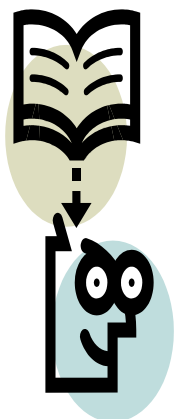
Unitățile de măsură suplimentare din SI sunt: radianul (pentru unghiul plan) și steradianul (pentru unghiul solid).

Unităților de măsură fundamentale sunt definite în felul următor:

- **metrul (m)** – reprezintă distanța parcursă de lumină în vid pe durata a $1/299792458$ s;
- **kilogramul (kg)** – este definit ca masa prototipului de platină aliată cu iridiu adoptat în 1889 de către Conferința Generală de Măsuri și Greutăți și păstrată la Biroul Internațional de Măsuri și Greutăți din Sèvres din Franța;
- **secunda (s)** – este definită ca durata de timp egală cu 9 192 631 770 perioade ale radiației emise de izotopul de cesiu Cs 133 la tranziția între cele două nivele de energie hiperfine ale stării fundamentale;
- **kelvinul (K)** – este unitatea de temperatură ce reprezintă fracțiunea de $1/273,16$ din temperatura termodinamică a punctului triplu al apei;
- **amperul (A)** – este definit ca intensitatea unui curent electric constant care străbătând două conductoare paralele, rectilinii, infinite lungi, așezate în vid la distanța de 1m unul de altul, produce o forță de interacțiune între ele de $2 \cdot 10^{-7}$ N/m;
- **molul (mol)** – este definită ca reprezentând cantitatea de substanță a unui sistem care conține atâtea entități elementare (atomi, molecule, ioni) câți atomi există în 0,012 kg de carbon C12 adică $6,02 \cdot 10^{23}$ atomi;
- **candela (cd)** – reprezintă intensitatea luminoasă, într-o direcție prestabilită, a unei surse de lumină ce emite o radiație monocromatică cu frecvența de $5,4 \cdot 10^{14}$ Hz ($\lambda=0,555 \mu\text{m}$) și a cărei intensitate energetică este de $1/683$ W/sr.

Unitățile suplimentare se definesc după cum urmează:

- **radianul (rad)** – este definit ca unghiul plan cuprins între două raze ale unui cerc ce delimitează pe circumferință o lungime de arc egală cu raza cercului;
- **steradianul (sr)** – este definit ca unghiul solid care, având vârful în centrul unei sfere delimitează pe suprafața acesteia o arie egală cu pătratul razei sferei;



De reținut !

Mărima ce se poate evalua experimental, așa încât să i se poată atașa o descriere simbolică (de tip numeric) se numește mărime fizică (sau mărime măsurabilă).

Măsurarea unei mărimi fizice atașate unui obiect sau eveniment real, reprezintă experimentul ce permite asocierea unei descrieri simbolice pentru mărimea fizică respectivă.

1.2. Mărimi periodice

În continuare se va considera că mărimile analizate sunt variabile în timp. Relațiile vor fi scrise pentru curenți, subînțelegându-se că, sub o formă asemănătoare, acestea sunt valabile și pentru tensiuni.

Astfel, pentru orice curent variabil se poate defini așa numita valoare instantanee.

Valoarea instantanee este valoarea pe care o mărime variabilă o are într-un moment oarecare de timp t . Ea se notează cu litera mică a simbolului mărimii respective (i pentru curent, u pentru tensiune etc.).

O mărime variabilă $i(t)$ este **periodică** dacă se repetă identic, în timp, după intervale egale. În acest caz valoarea instantanee se poate scrie sub următoarea formă:

$$i(t) = i(t + kT), \quad (1.1)$$

unde:

$$k = \pm 1, \pm 2, \dots;$$

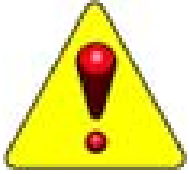
T - perioada mărimii.

Pentru o mărime periodică, se definesc:

- **valoarea de vârf (maximă)** care este definită ca cea mai mare valoare instantanee atinsă de o mărime periodică în cursul unei perioade (pentru cazul curentului aceasta se notează cu I_{\max});

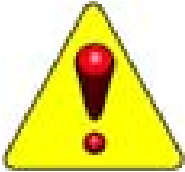
- **valoarea efectivă (eficace)** prin care se înțelege rădăcina pătrată a mediei pătratelor

valorilor instantanee ale unei mărimi periodice în timpul unei perioade:



$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} i^2(t) dt} ; \quad (1.2)$$

- **valoarea medie** a unei mărimi periodice se definește ca fiind media aritmetică a valorilor instantanee într-un interval de timp dat:



$$I_{\text{med}} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} i(t) dt . \quad (1.3)$$

Valoarea medie nu depinde de valoarea inițială t_1 .

O mărime periodică a cărei valoare medie, în decursul unei perioade T este nulă, se numește **mărime alternativă** ($I_{\text{med}} = 0$).

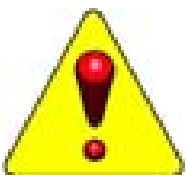
Prin **mărime sinusoidală** se înțelege o mărime alternativă a cărei expresie poate fi scrisă sub forma:

$$i = I_{\text{max}} \sin(\omega t + \gamma), \quad (1.4)$$

unde $I_{\text{max}} > 0$, $\omega > 0$ și $\gamma > 0$ sau $\gamma < 0$, sunt parametrii constanți, caracteristici mărimii (amplitudinea, pulsația și faza inițială).

Observații

1) Pentru o mărime sinusoidală, între amplitudine (valoarea maximă) și valoarea efectivă, există relațiile:



$$I = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}}, \quad I_{\text{max}} = I\sqrt{2} ; \quad (1.5)$$

2) Valoarea medie a unei mărimi sinusoidale este nulă și de aceea nu poate fi utilizată pentru caracterizarea acesteia.

O **mărime periodică nesinusoidală** se poate dezvolta în serie Fourier sub forma:

$$i(t) = I_0 + \sum_{\nu=1}^{\infty} \sqrt{2} I_{\nu} \sin(\nu \omega t + \gamma_{\nu}). \quad (1.6)$$

Această mărime are o componentă continuă, I_0 , și o componentă alternativă.

Valoarea efectivă a sa are expresia:

$$I = \sqrt{I_0^2 + \sum_{\nu=1}^{\infty} I_{\nu}^2} = \sqrt{I_c^2 + I_a^2}. \quad (1.7)$$

Conform acestei relații, valoarea efectivă a unei mărimi periodice este egală cu rădăcina pătrată a sumei pătratului componentei continue ($I_c = I_0$) și a sumei pătratelor valorilor efective ale armonicilor ($I_a = \sum_{\nu=1}^{\infty} I_{\nu}^2$).

Pentru **mărimi periodice alternative** se definesc:

- **coeficientul de vârf:**

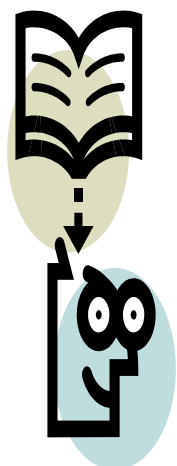
$$k_{\nu} = \frac{I_{\max}}{I}; \quad (1.8)$$

- **coeficientul de formă:**

$$k_f = \frac{I}{\frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i \cdot dt}. \quad (1.9)$$

Conform expresiilor (1.5), pentru **mărimile sinusoidale** se obține:

$$k_{\nu_{\sin}} = \sqrt{2}; \quad k_{f_{\sin}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11. \quad (1.10)$$



De reținut !

Valoarea de vârf este definită ca fiind cea mai mare valoare instantanee atinsă de o mărime periodică în cursul unei perioade.

Prin valoare efectivă (eficace) se înțelege rădăcina pătrată a mediei pătratelor valorilor instantanee ale unei mărimi periodice în timpul unei perioade.

Valoarea medie a unei mărimi periodice se definește ca fiind media aritmetică a valorilor instantanee într-un interval de timp dat.

Test de autoevaluare 1.1

1. Să se definească mărimea fizică.
2. Să se clasifice mărimile fizice în funcție de tipul simbolului matematic.
3. Ce se înțelege prin măsurare?
4. Care sunt unitățile de măsură fundamentale și suplimentare ale Sistemului International de unități de măsură?
5. Să se definească mărimea periodică.
6. Cum se definește valoarea efectivă (eficace) a unei mărimi periodice?
7. Cum se definește valoarea medie a unei mărimi fizice periodice?
8. Să se descrie matematic dezvoltarea în serie a unei mărimi periodice nesinusoidale.
9. Să se definească coeficientul de vârf și coeficientul de formă.
10. Ce valori particulare au factorul de vârf și factorul de formă în cazul mărimilor sinusoidale?

