ANOFM
AJOFM MARAMUREȘ

ELECTROMECANIC MAȘINI ȘI ECHIPAMENTE ELECTRICE PERFECȚIONARE Cod COR 741215

APRILIE 2025

PREGĂTIRE TEORETICĂ

CUPRINS

1. FENOMENE ELECTRICE ȘI ELECTROMAGNETICE
   1.1. Câmpul electrostatic
      1.1.1. Sarcina Electrică
      1.1.2. Intensitatea câmpului Electric
      1.1.3. Potențialul Electric
      1.1.4. Capacitatea Electrică – Condensatorul
      1.1.5. Dielectrici în câmpul electric
   1.2. Curentul electric stationar
      1.2.1. Inductia electromagnetică
      1.2.2. Autoinductia
      1.2.3. Energia campului magnetic
      1.2.4. Proprietatile magnetice ale substantei
   1.3. Campul magnetic al curentului electric
   1.4. Inductia electromagnetica
      1.4.1. Inductia electromagnetică
      1.4.2. Autoinductia
      1.4.3. Energia campului magnetic
      1.4.4. Proprietatile magnetice ale substantei
   1.5. Curentul alternativ
      1.5.1. Generarea tensiunii electromotoare (t.e.m) alternative. Circuite in curent alternativ (serie: R, RL, RC, RLC, paralel: RLC)
         1.5.1.1. Circuit serie cu rezistențe în AC:
         1.5.1.2. Circuit paralel cu rezistențe în AC
         1.5.1.3. Circuit serie cu rezistență și inductanță (RL) în AC
         1.5.1.4. Circuit paralel cu rezistență și inductanță (RL) în AC
         1.5.1.5. Circuit serie cu rezistență și capacitate (RC) în AC
         1.5.1.6. Circuit paralel cu rezistență și capacitate (RC) în AC
         1.5.1.7. Circuit serie cu rezistență , inductanță și capacitate (RLC) în AC
      1.5.2. Puterea în curent alternativ

   1.6. Masini electrice rotative
      1.6.1. Clasificare generală
      1.6.2. Curentul alternativ monofazat
         1.6.2.1. Cum se produce curentul alternativ monofazat?

1.6.2.2. Unde se folosește curentul alternativ monofazat?
1.6.3. Sistemul trifazat
1.6.3.1. Ce conține un sistem trifazat?
1.6.3.2. Tipuri de conexiuni
1.6.3.3. Tensiuni într-un sistem trifazat
1.6.3.4. Unde se folosește sistemul trifazat?
1.6.4. Alternatorul trifazat
1.6.4.1. Structura alternatorului trifazat
1.6.4.2. Funcționarea alternatorul trifazat
1.6.4.3. Puterea dezvoltată de un alternator trifazat
1.6.5. Mașini electrice de curent continuu (CC)
1.6.6. Mașini electrice de curent alternativ (CA)
1.6.6.1. Motoare asincrone (inducție)
1.6.6.2. Motoare sincrone
1.6.6.3. Generatoare (alternatoare)
1.6.6.4. Comparație între principalele tipuri de motoare
1.6.6.5. Aplicații ale mașinilor electrice rotative
1.6.7. Reversibilitatea masinilor electrice de curent continuu
1.6.7.1. Cum funcționează în ambele sensuri?
1.6.7.2. Unde se folosește reversibilitatea?
1.6.7.3. Avantaje ale reversibilității:
1.7. Transformatorul
1.7.1. Principiul de funcționare: inducția electromagnetică
1.7.2. Structura unui transformator
1.7.2.1. Miezul magnetic (de fier moale laminat)
1.7.2.2. Înfășurări (bobine)
1.7.3. Funcționarea transformatorului
1.7.3.1. Componente
1.7.3.2. Etapele funcționării:
1.7.3.3. Transferul energiei
1.7.3.4. Puterea transferată:
1.7.3.5. Avantaje ale transformatoarelor

2. MATERIALE ELECTROTEHNICE. STRUCTURI SI PROPRIETATI
2.1. Conductori electrici
2.1.1. Structura atomică a conductorilor
2.1.2. Proprietăți esențiale ale conductorilor

2.1.3. Aplicații practice ale conductorilor
2.2. Semiconductori electrici
2.2.1. Cum devin conductori?
2.2.2. Tipuri de semiconductori
2.2.3. Structura atomică
2.2.4. Proprietăți importante
2.2.5. Componente realizate din semiconductori
2.2.6. Aplicații în viața reală
2.3. Izolatori
2.3.1. Proprietăți
2.3.2. Aplicații
2.4. Comparatie – tabel simplu
2.5. Materiale cu utilizari speciale
2.5.1. Silicon (etansant sau electronic)
2.5.2. Pastă termoconductoare (thermal paste)
2.5.3. Spray-uri tehnice
2.5.4. Clorura ferică ($FeCl_3$)
2.5.5. Soda caustică (hidroxid de sodiu – NaOH)
2.5.6. Antigel (cu etilen glicol sau propilen glicol)
2.5.7. Concluzie comparativa:
2.6. Rezistorul
2.6.1. Clasificarea rezistoarelor
2.6.2. Construcția rezistorului
2.6.3. Marcarea rezistenței – codul culorilor
2.6.4. Construcții specifice în funcție de tipul de rezistor
2.6.5. Influența construcției asupra funcționării
2.7. Condensatorul
2.7.1. Clasificarea condensatoarelor
2.7.2. Construcția condensatorului
2.7.3. Marcarea condensatoarelor
2.7.4. Aplicații ale condensatoarelor
2.8. Bobina
2.8.1. Construcția unei bobine
2.8.2. Tipuri de bobine (după miez)
2.8.3. Tipuri de înfășurare:
2.8.4. Marcarea bobinelor
2.8.5. Utilizarea bobinelor
2.8.6. Comportament în curent alternativ (AC)
2.9. Relee si electromagneti
2.9.1. Electromagnetul
2.9.2. Releul
2.9.2.1. Construcția releului

2.9.2.2. Tipuri de contacte
2.9.2.3. Tipuri de relee
2.9.3. Aplicații ale releelor și electromagneților
2.9.4. Avantaje & Dezavantaje
2.9.5. Diferența: Electromagnet vs Releu
2.10. Transformatoare de semnal si de alimentare
2.10.1. Transformator de alimentare
2.10.2. Transformator de semnal (de cuplaj)
2.10.3. Diferențe-cheie între transformatoare de alimentare și de semnal
2.10.4. Exemple practice
2.10.5. Ce trebuie verificat când alegi un transformator
2.11. Cabluri și conductori
2.11.1. Structura generală a unui cablu electric
2.11.2. Clasificarea conductorilor
2.11.3. Clasificarea cablurilor
2.11.4. Simboluri și coduri de identificare
2.11.5. Alegerea corectă a cablului
2.11.6. Dezizolarea conductorilor
2.11.7. Mufarea conductorilor
2.11.8. Conectarea conductorilor
2.11.9. Aplicații practice
Bibliografie

1 . FENOMENE ELECTRICE ȘI ELECTROMAGNETICE

1.1. Câmpul electrostatic

Sarcina Electrică, Intensitatea Câmpului Electric, Potențialul Electric, Capacitatea Electrică și Dielectrici în Câmpul Electric

Introducere

În acest curs vom explora concepte fundamentale din fizica electricității, incluzând sarcina electrică, intensitatea câmpului electric, potențialul electric, capacitatea electrică și comportamentul dielectricilor în câmpul electric. Toate aceste concepte sunt esențiale pentru înțelegerea fenomenelor electrice din natură și aplicarea lor în tehnologie.

1.1.1. Sarcina Electrică

Definiție:

Sarcina electrică este o proprietate a particulelor subatomice, precum electronii și protonii, care determină interacțiunile electromagnetice între materie. Există două tipuri de sarcini: pozitive și negative. Interacțiunile dintre sarcini urmează legea lui Coulomb, care stipulează că sarcinile de același tip se resping, iar cele de tip diferit se atrag.

Notație: q, Q

Unitate de măsură: coulomb, [C] ; submultipli: mC (10^{-3}), µC (10^{-6}), nC (10^{-9}), pC (10^{-12})

1 Coulomb reprezintă sarcina transportată de o curent electric de 1 Ampere în 1 secundă.

Legea lui Coulomb:

Legea lui Coulomb descrie forța de interacțiune între două sarcini electrice punctiforme:

$$|F| = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

unde:

- F este forța de interacțiune dintre cele două sarcini,
- k_e este constanta electrostatică, aproximativ 8.99×10^9 N·m^2/C^2
- q_1 si q_2 sunt valorile celor două sarcini electrice,
- r este distanța dintre cele două sarcini.

Stări de electrizare ale corpurilor: starea de încărcare electrică

starea de polarizare

Starea de încărcare electrică a corpurilor se poate obține prin mai multe procedee:

- frecare, vergea de sticlă frecată cu postav, sau baston de ebonită frecat cu postav
- contact
- iradiere
- încălzire

Starea de încărcare electrică a corpurilor se manifestă prin efecte:

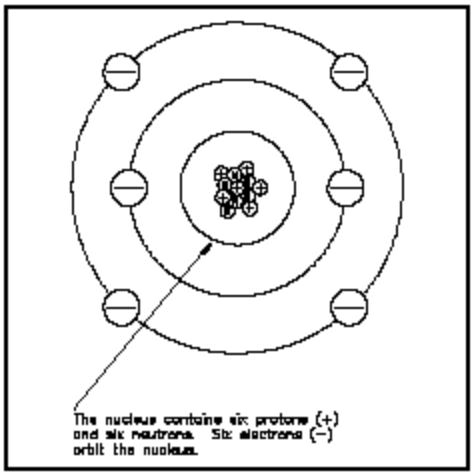
- forțe ce se exercită asupra altor corpuri din vecinătate
- cupluri

Sarcini electrice elementare: electronul, sarcină negativă, $q_e = -1.602\ 10^{-19}C$

Sarcina electrică → este mărime fizică discretă, ea este multiplu al sarcinii electrice elementare

→ se va considera în cadrul teoriei macroscopice o mărime fizică continuă

→ este independentă de sistemul de referință



Principiul conservării sarcinii electrice:

Sarcina electrică nu poate fi creată nici distrusă ci numai transportată

În sisteme fizice izolate electric sarcina electrică se păstrează constantă.

Clasificarea corpurilor din punct de vedere al menținerii stării de electrizare:

- **corpuri izolante**, starea de încărcare electrică se menține pe aceste corpuri în locul unde a fost produsă un timp îndelungat, exemple: sticla, ebonita, lemnul uscat, polietilena, PVC, aerul uscat
- **corpuri conductoare**, transmit starea de electrizare in întreg corpul în timp foarte scurt, exemple: metalele
- **corpuri semiconductoare**, mențin sau transmit starea de electrizare in timpi intermediari

Exemplu practic:

Imaginați-vă o situație în care frecați un balon pe părul unei persoane. Balonul devine încărcat cu sarcină negativă prin transferul de electroni din păr. Apoi, dacă aduceți balonul aproape de părul persoanei, veți observa că părul începe să se ridice. Acesta este un exemplu de atracție între sarcini de semn opus (balonul încărcat negativ și părul care a devenit încărcat pozitiv).

În viața de zi cu zi, acest fenomen poate fi observat și la scânteile care apar când atingi o ușă metalică după ce ai mers pe un covor, fenomen datorat acumulării de sarcină electrică.

1.1.2. Intensitatea câmpului Electric

Definiție:

Câmpul electric este starea de existență a materiei din jurul corpurilor electrizate, ce se caracterizează prin faptul că exercită forțe sau cupluri (acțiuni ponderomotoare) asupra unor corpuri electrizate aflate în câmpul electric.

Studiul câmpului electric se face cu ajutorul unui mic corp încărcat electric, numit **corp de probă** .

Se consideră că un astfel de corp de probă încărcat cu sarcina electrică q este așezat într-un punct, in vid , unde există câmp electric. Vom constata experimental că asupra corpului de probă se exercită o forță $\overline{F}$.

Se definește :

Intensitatea câmpului electric $\overline{E}$ într-un punct este egală cu raportul dintre forța $\overline{F}$ exercitată de câmpul electric asupra unui corp de probă și sarcina electrică q a corpului de probă situat în acel punct.

$$\overline{E} = \frac{\overline{F}}{q} \quad [V/m] \quad \text{V-volt, m-metru}$$

Prin convenție sarcina electrică a corpului de probă se consideră pozitivă, astfel că $\overline{E}$ și $\overline{F}$ au același sens.

Pentru studiul câmpului electric în vid se mai definește:

Inducția electrică $\overline{D}$ în vid este $\overline{D}=\varepsilon_0 \overline{E}$ [C/m^2]

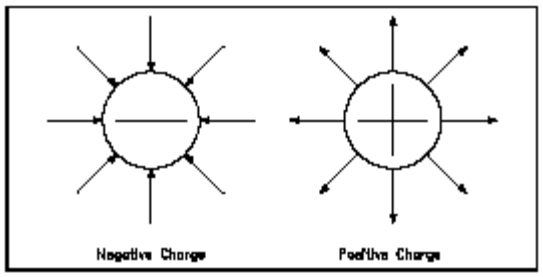
Unde mărimea scalară ε_0 este o constantă universală, numită **permitivitatea vidului**

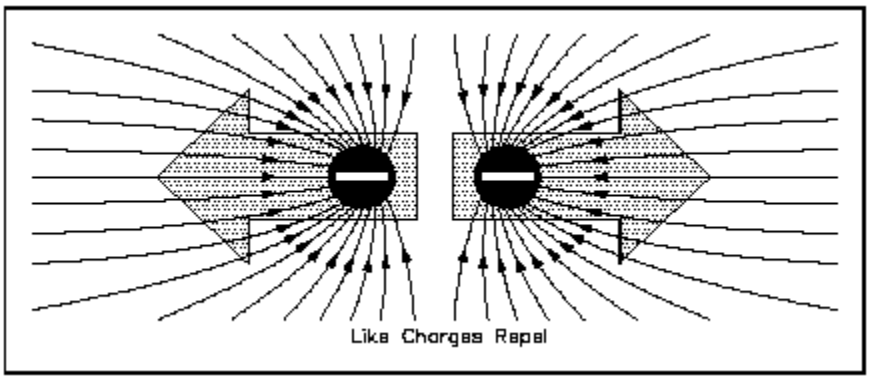
$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi 9 10^9} \quad \text{[F/m]} \quad \text{F – farad}$$

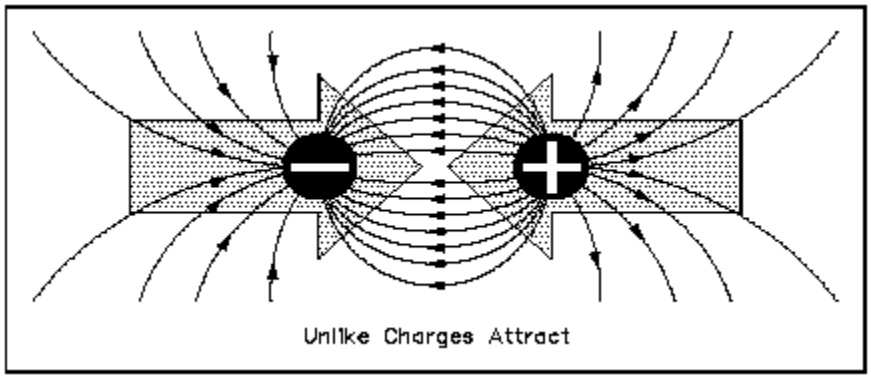
Linia de câmp electric este curba tangentă în orice punct la intensitatea câmpului electric $\overline{E}$.

Linia de câmp electric are sensul de la sarcina electrică pozitivă spre sarcina electrică negativă.

Imaginea liniilor de câmp electric dintr-o secțiune prin câmpul considerat se numește **spectru electric.**







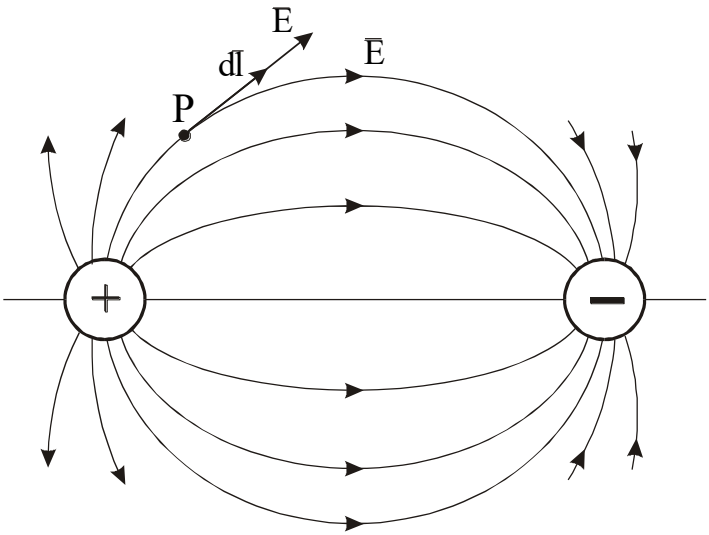


Fig. 1.6

Unități:

Intensitatea câmpului electric se măsoară în **Volți pe metru (V/m)**.

Proprietăți ale câmpului electric:

- Câmpul electric este conservativ, adică lucrul efectuat de câmp atunci când o sarcină se mișcă între două puncte nu depinde de calea urmată, ci doar de pozițiile inițială și finală.
- Câmpul electric creat de o sarcină punctiformă este radial și poate fi reprezentat prin linii de câmp care ies din sarcinile pozitive și intră în sarcinile negative.

Exemplu practic:

- Un exemplu cotidian al câmpului electric este câmpul generat de un fulger. Când se produce un fulger, aerul se ionizează datorită diferenței de potențial uriașe între nor și sol. Câmpul

electric astfel creat este extrem de puternic și, atunci când ionii din aer sunt suficient de excitați, se produce o descărcare electrică sub forma unui fulger.

- Un alt exemplu mai familiar este atunci când folosiți o radieră de cauciuc pentru a șterge o linie de pe hârtie. Aceasta frecare poate crea o diferență de potențial electric, iar câmpul electric va atrage particulele de praf din aer spre radieră.

1.1.3. Potențialul Electric

Definiție:

Potențialul electric este o mărime scalara care descrie energia potențială per unitate de sarcină într-un punct al câmpului electric. Potențialul electric în punctul PPP este definit ca lucrul necesar pentru a aduce o sarcină de test de valoare unitară dintr-un punct de referință (de obicei infinit) la punctul PPP, împărțit la valoarea sarcinii.

- Se definește:
- **Tensiunea electrică** dintre două puncte A și B într-un câmp electric, în vid, este egală cu integrala de linie a vectorului intensitate a câmpului electric $\overline{E}$ de la A până la B pe drumul considerat:
  - $U_{AB}=\int_A^B \overline{E}\,\overline{dl}$ [V]

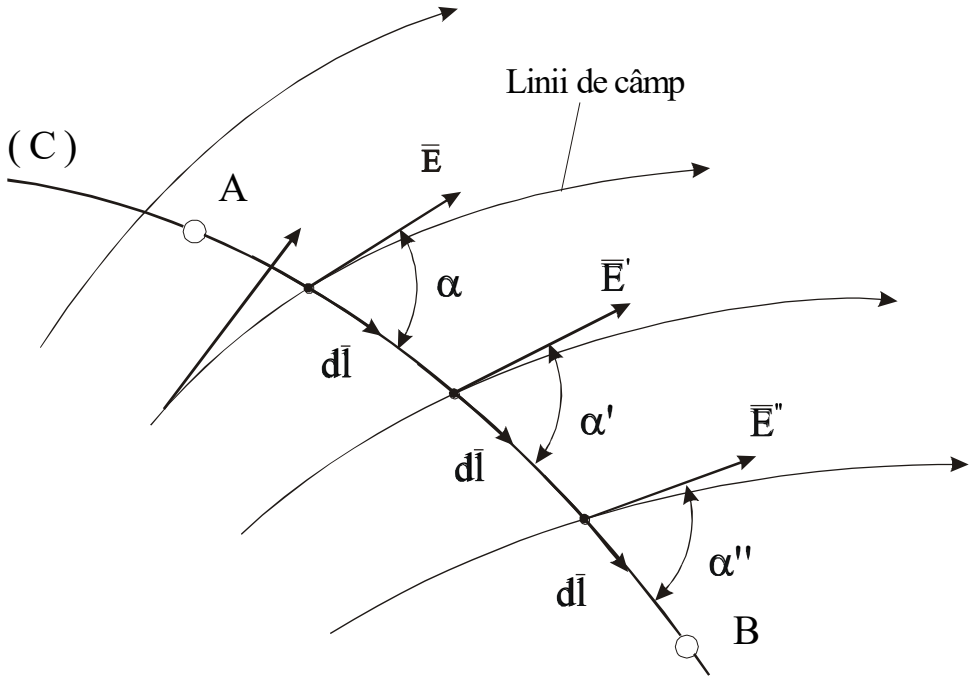


Fig. 1.20

- Tensiunea electrică este o mărime scalară, se măsoară în volți [V], nu depinde de drum în câmp electrostatic.
- Se măsoară cu aparate numite voltmetre ale căror borne se conectează între cele două puncte A și B:
- Mai mult se poate arăta faptul că tensiunea în câmp electrostatic pe un contur închis este nulă:
  - $\oint \overline{E}\,\overline{dl}=0$
- **Potențialul** unui punct oarecare M se definește ca tensiunea dintre acel punct M și un punct de referință M_0 unde potențialul se consideră nul:
  - $V_M = \int_M^{M_0} \overline{E}\,\overline{dl}$
- Tensiunea se poate exprima cu ajutorul potențialului prin relația :
  - $U_{AB} = V_A - V_B$
- Interpretare energetică:
- Lucrul mecanic efectuat pentru a deplasa un corp de probă încărcat cu sarcina electrică q, în câmp electric , din punctual A până în punctual B este:
  - $L_{AB} = \int_A^B \overline{F}\,\overline{dl} = \int_A^B q\,\overline{E}\,\overline{dl} = q\int_A^B \overline{E}\,\overline{dl} = q\,(V_A - V_B) = q\,U_{AB}$
  - $U_{AB} = \frac{L_{AB}}{q} = L_{AB(q=1)}$
- Ca atare, tensiunea dintre două puncte reprezintă raportul dintre lucrul mecanic efectuat pentru a deplasa un corp de probă între cele două puncte și sarcina electrică q a corpului de probă, tensiunea reflectă din acest punct de vedere capacitatea de a efectua un lucru mecanic, sau de a produce energie.

Exemplu practic:

- Un exemplu clasic este condensatorul, un dispozitiv folosit pentru stocarea energiei electrice. Capacitatea unui condensator de a stoca energie depinde de diferența de potențial între plăcile sale. De exemplu, bateriile din telefoane sau laptopuri sunt o formă de condensatoare care stochează energie sub formă de potențial electric.
- În viața cotidiană, când atingi o ușă metalică și simți o mică "lovitură" sau "scânteie", aceasta este datorată diferenței de potențial electric între corpul tău și ușa metalică, care se descarcă rapid atunci când corpul tău intră în contact cu ea.

1.1.4. Capacitatea Electrică - Condensatorul

Se numește condensator sistemul fizic format din două corpuri metalice , numite armături, separate între ele prin materiale electroizolante și încărcate cu sarcini electrice egale și de semne contrare.

In regim electrostatic corpurile metalice se caracterizează prin următoarele:

- intensitatea câmpului electric în interiorul metalului este nulă,
- intensitatea câmpului electric este perpendiculară pe suprafața corpului metallic,
- toate punctele din interiorul unui corp metallic și de pe suprafața acestuia au același potențial (echipotențiale), nu există diferență de potențial (tensiune) între puncte legate metalic între ele,
- intensitatea câmpului electric din interiorul unei colivii (cuști) metalice este nul, efect de ecranare interioară

La încărcarea condensatorului cu sarcinile electrice +Q și –Q, cele două armături vor avea potențialele V_1 și V_2 iar tensiunea dintre armături va fi U_{12}. Modificând sarcina electrică de pe armături la valoarea Q' și tensiunea dintre armături se modifică și devine U_{12}'. Pentru orice condensator avem relația :

$$\frac{Q}{U_{12}}=\frac{Q'}{U_{12}'}=....=const=C \quad [F]$$

C, capacitatea condensatorului

F, farad; $1\mu F = 10^{-6}F$, $1nF = 10^{-9}F$, $1pF = 10^{-12}F$

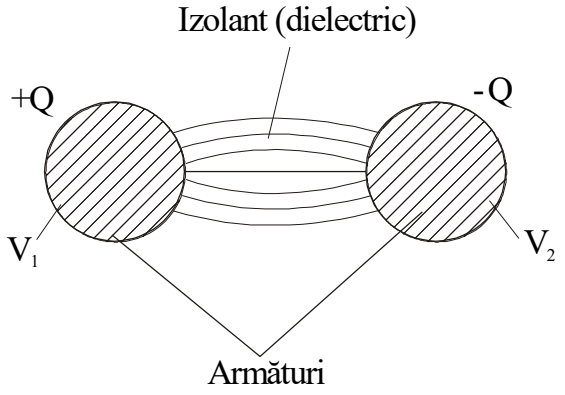


Fig. 1.35

Proprietăți:

- Capacitatea unui condensator depinde de aria plăcilor, distanța dintre ele și proprietățile materialului dintre plăci (dielectric).

- Condensatorii sunt folosiți pentru a stoca energie electrică, a filtra semnale electrice și în multe alte aplicații.

- **Exemplu practic:**
- Un exemplu foarte simplu de condensator în viața de zi cu zi este **bateria** unui telefon mobil. Acesta este un condensator mare care stochează energie sub formă de sarcină electrică. Când bateria se descarcă, capacitatea de stocare a energiei este redusă. Mai multe tipuri de baterii (litiu-ion, litiu-polimer) sunt folosite în diverse electronice, de la telefoane mobile la automobile electrice.
- Într-un circuit electronic, condensatoarele sunt folosite pentru a filtra semnalele electrice. De exemplu, în sursele de alimentare ale televizoarelor, condensatoarele ajută la netezirea semnalului electric și reduc fluctuațiile de tensiune.

1.1.5. Dielectrici în câmpul electric

Definiție:

Dielectricii sunt materiale izolante care nu conduc electricitatea, dar care pot susține un câmp electric intern. Atunci când un dielectric este introdus într-un câmp electric, acesta reduce intensitatea câmpului intern, deoarece materialul polarizează sarcinile la nivel microscopic.

Permitivitatea Dielectricului:

Permitivitatea este o mărime fizică care măsoară capacitatea unui material de a susține câmpuri electrice. Se definește prin:

$$\varepsilon=\varepsilon_0 \varepsilon_r$$

unde:

- ε_0 este permittivitatea vidului (aproximativ 8.85×10^{-12} F/m)
- ε_r este permitivitatea relativă a materialului dielectric.

Efectul unui Dielectric în Câmpul Electric:

Un dielectric introdus între plăcile unui condensator va crește capacitatea acestuia prin reducerea efectului câmpului electric intern. Capacitatea unui condensator cu dielectric devine:

C=C₀ εr = C_0 \varepsilon_rC=C0εr

unde C_0 este capacitatea fără dielectric.

Dielectrici Comuni:

Materialele dielectrici comune includ aerul, sticla, ceramica și plasticul.

Exemplu practic:

Un exemplu comun de utilizare a dielectricelor este condensatorul cu dielectric de **sticlă** sau **ceramică**. În circuitele electronice, condensatoarele sunt adesea construite folosind materiale dielectrice pentru a crește capacitatea de stocare a energiei electrice. De exemplu, condensatorii cu dielectric de ceramica sunt folosiți frecvent în circuite de frecvență înaltă și în circuite de semnal.

Un alt exemplu ar fi **cablurile electrice** care au un strat de izolație (dielectric) în jurul conductorului. Aceste materiale dielectrici, cum ar fi plasticul, protejează cablul de scurtcircuit și asigură că semnalul electric circulă doar pe conductor.

În domeniul **radiocomunicațiilor**, antenele folosesc dielectrici pentru a manipula câmpurile electrice și pentru a crește eficiența semnalului.

Acest capitol, a acoperit câteva dintre conceptele fundamentale ale electricității: sarcina electrică, câmpul electric, potențialul electric, capacitatea electrică și comportamentul dielectricilor într-un câmp electric. Aceste principii stau la baza multor tehnologii moderne, de la condensatori și motoare electrice, până la dispozitivele electronice care ne înconjoară zilnic.

1.2. Curentul electric stationar

1.2.1. Inductia electromagnetică

Inducția electromagnetică este un fenomen fizic prin care o tensiune electrică (sau un curent electric) este generată într-un conductor atunci când acesta este plasat într-un câmp magnetic variabil sau se mișcă printr-un astfel de câmp. Acest principiu a fost descoperit de Michael Faraday în 1831 și stă la baza funcționării multor dispozitive electrice moderne.

Legea inducţiei electromagnetice

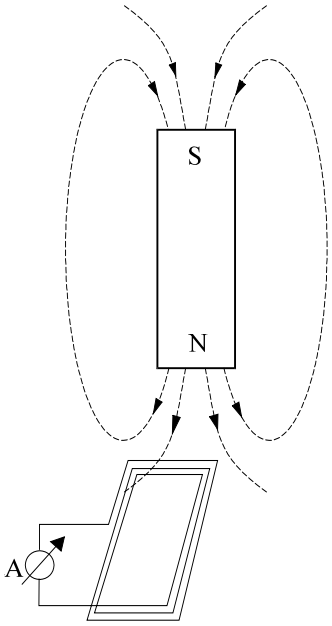
Experienţa arată că în prezenţa unui câmp magnetic variabil în timp apare întotdeauna un câmp electric. Se spune despre acest câmp electric că este un câmp electric indus căruia i se asociază corespunzător o tensiune electromotoare indusă. Astfel, dacă o spiră se află în poziţie fixă în apropierea unui magnet permanent, deşi ea este străbătută de câmp magnetic prin spiră nu apare curent electric (fig. 2.31,a).

În schimb, când spira se deplasează, astfel încât fluxul magnetic prin spiră să se modifice, prin spiră apare un curent electric ce poate fi pus în evidenţă cu un instrument de măsură. Experienţa arată de asemenea că sensul curentului indus în spiră depinde de sensul de variaţie al fluxului magnetic prin suprafaţa ce se sprijină pe conturul spirei.

În formă integrală legea inducţiei electromagnetice se enunţă astfel: *tensiunea electromotoare indusă în lungul unei curbe închise Γ oarecare este egală şi de semn contrar cu derivata în raport cu timpul a fluxului magnetic prin orice suprafaţă deschisă S_Γ ce se sprijină pe curba Γ.*

$$U_e = -\frac{d\Phi_{S_\Gamma}}{dt} = -\frac{d\Psi}{dt} \qquad (2.85)$$

S-a notat cu $\Psi = \phi_{S_\Gamma}$ fluxul magnetic total printr-o suprafaţă deschisă oarecare S_Γ ce se sprijină pe conturul închis Γ. În cazul prezentat în figura 2.31 unde există o singură spiră N=1, fluxul magnetic total $\Psi = \phi_{S_\Gamma} = \phi$ este egal cu fluxul magnetic propriu-zis sau fascicular prin spiră.



În practică intervin însă situaţii când curba închisă Γ are mai multe spire, ca în fig. 2.32. În acest caz notând cu Φ fluxul magnetic fascicular mediu printr-o spiră se observă că:

$$\Psi = N \cdot \phi$$

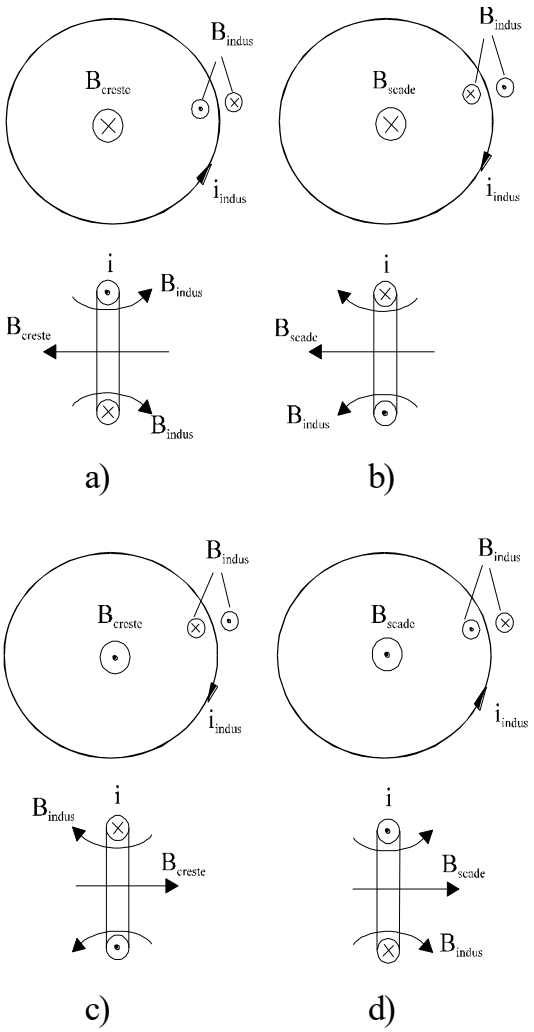
iar relaţia (2.85) se scrie:

$$U_e = -\frac{d(N \cdot \phi)}{dt} = -N\frac{d\phi}{dt} \qquad (2.86)$$

De reţinut faptul că nu este vorba despre un flux magnetic mai mare de N ori produs de magnetul permanent, ci este fluxul magnetic produs de acelaşi magnet prin suprafaţa S_Γ care se sprijină pe un contur Γ ce *înlănţuie fluxul de N ori*.

Semnul minus din expresia legii inducţiei electromagnetice apare pentru a asocia sensul tensiunii electromotoare induse cu sensul de variaţie a fluxului magnetic.

Sensul tensiunii electromotoare induse se poate stabili cu ajutorul regulii lui Lenz independent de expresia analitică a legii inducţiei electromagnetice. Conform regulii lui Lenz: *sensul tensiunii electromotoare induse este astfel încât, dacă circuitul Γ se presupune închis printr-un conductor, atunci curentul indus ce ar apare prin circuit ar avea un astfel de sens încât să se opună variaţiei fluxului magnetic prin suprafaţa S_Γ ce se sprijină pe Γ.*



Se prezintă în fig. 2.34 patru situaţii în care se indică variaţia inducţiei magnetice B (creşte sau scade) şi sensul corespunzător al curentului indus şi al inducţiei magnetice B_{indus} produse de curentul indus.

Referindu-ne la fig. 2.34, a, pentru vederea din faţă a spirei (desenul de sus) se observă că fluxul magnetic prin spiră este orientat spre figură şi creşte datorită creşterii lui B. Ca urmare, pentru a se opune creşterii acestui flux, inducţia magnetică a câmpului produs de curentul indus trebuie să aibă în interiorul spirei sensul dinspre figură spre observator, rezultă astfel sensul curentului indus i_{indus} asociat cu B_{indus} după regula burghiului drept.

În cazul fig. 2.34, b deoarece fluxul inducţiei magnetice B prin spiră scade, sensul câmpului magnetic al curentului indus trebuie să coincidă cu al lui B pentru a se opune scăderii acestuia. Rezultă în consecinţă sensul curentului indus şi al tensiunii electromotoare induse U_e.

Exemple practice:

1. **Dinamuri de bicicletă**
    - Când roata se învârte, mișcă un magnet pe lângă o bobină → se generează curent electric care aprinde becul.

2. **Generatorul electric (hidrocentrale, termocentrale, eoliene)**
    - Mișcarea rotorului într-un câmp magnetic induce curent în bobinele statorului.
3. **Transformatorul**
    - Un curent alternativ într-o bobină creează un câmp magnetic variabil → induce tensiune în cealaltă bobină.
4. **Placa de gătit cu inducție**
    - Câmpul magnetic variabil generează curent electric în baza vasului → se încălzește direct vasul, nu plita.
5. **Încărcare wireless**
    - Un câmp magnetic variabil generat de stația de încărcare induce curent în bobina telefonului.
6. **Frâne electromagnetice** (trenuri, parcuri de distracție)
    - Mișcarea unui conductor printr-un câmp magnetic generează curenți de Foucault care opun rezistență mișcării → frânare.

1.2.2. Autoinductia

Autoinducția este fenomenul prin care o variație a curentului electric într-un conductor (de obicei o bobină) determină apariția unei tensiuni electromotoare (f.e.m.) proprii în acel conductor, care se opune variației curentului.

Cu alte cuvinte:
Când curentul se modifică → creează un câmp magnetic variabil → acel câmp variază chiar prin bobina care l-a generat → rezultă o tensiune indusă în bobina însăși.

Exemple practice de autoinducție:

1. Bobine în circuite cu curent alternativ

- În orice circuit cu o bobină și curent alternativ, apare o f.e.m. autoindusă care se opune schimbării curentului. Asta afectează cum „curge” curentul în circuit (reacție inductivă).

2. Aprinderea la mașini (bobina de inducție)

- Când se întrerupe brusc curentul prin bobina de inducție, autoinducția face să apară o tensiune mare → suficientă pentru a produce scânteia la bujie.

3. Releele și contactele electromagnetice

- Când un curent e întrerupt brusc într-o bobină de releu, tensiunea autoindusă poate produce scântei la contactele releului dacă nu e protejat.

4. Lampile fluorescente

- La aprindere, un starter întrerupe curentul prin bobina balastului → apare o tensiune mare autoindusă care ajută la aprinderea lămpii.

5. Sistemele de protecție cu diode (diodă de flyback)

- În circuitele cu bobine (de exemplu, în motoare), se folosesc **diode speciale** pentru a proteja componentele de tensiunile mari autoinduse când se oprește curentul brusc.

1.2.3. Energia campului magnetic

Când un câmp magnetic este creat (de exemplu, de un curent electric care circulă printr-un conductor sau printr-o bobină), acesta stochează o anumită energie în spațiul din jur.

Circuitul magnetic este un sistem fizic constituit din medii magnetice, frecvent feromagnetice, şi întrefieruri prin care se închid fluxuri magnetice. Porţiunea de miez magnetic pe care se află situată bobina se numeşte miez propriu-zis sau coloană, iar porţiunea fără înfăşurare se numeşte jug sau armătură. Feţele miezului magnetic care mărginesc întrefierul se numesc poli magnetici. Dacă liniile de câmp magnetic ies din pol, acesta poartă denumirea de pol nord, iar în polul sud intră liniile de câmp magnetic (curbele tangente la vectorul inducţie magnetică $\overline{B}$.) De obicei porţiunea de circuit magnetic constituită din miezul feromagnetic este porţiunea utilă. Câmpul magnetic ce nu se închide prin miezul magnetic şi prin întrefier se numeşte câmp magnetic de dispersie sau de scăpări.

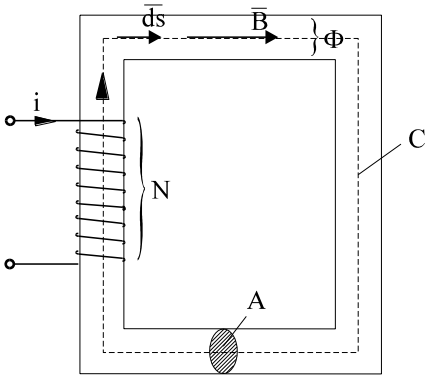


Fig. 2.61

Circuitele magnetice formate din materiale magnetice cu caracteristici liniare se numesc circuite magnetice liniare. Astfel de circuite sunt cele constituite din materiale neferomagnetice sau din materiale feromagnetice moi şi nesaturate. Circuitele magnetice neliniare conţin cel puţin o porţiune din materiale magnetice neliniare cum sunt materialele feromagnetice saturate. În majoritatea cazurilor din practică intervin circuite magnetice neliniare.

Din punct de vedere al surselor de câmp magnetic se întâlnesc:

- circuite magnetice de curent continuu în care prin bobine trece curent continuu

- circuite magnetice de curent alternativ la care înfăşurările sunt străbătute de curenţi alternativi

- circuite magnetice cu magneţi permanenţi unde fluxul magnetic este produs de magnetizaţia perma-nentă a magneţilor permanenţi

- circuite magnetice mixte.

Exemplu practic:

Transformatorul electric

Un transformator are o bobină care creează un câmp magnetic într-un miez feromagnetic. Câmpul stochează energie, care este apoi transferată către cealaltă bobină. Fără această energie stocată temporar în câmpul magnetic, nu s-ar putea face conversia de tensiune eficient.

1.2.4. Proprietatile magnetice ale substantei

Substanțele răspund diferit la câmpuri magnetice, în funcție de structura atomică. Ele se împart în:

Diamagnetice

- Nu au moment magnetic propriu.
- Sunt ușor respinse de câmpurile magnetice.
- Exemplu: **apa**, **cuprul**, **aurul**, **biologic: țesuturile corpului uman**.

Exemplu practic:

Într-un RMN, corpul uman (în mare parte apă) este influențat de câmpuri magnetice puternice, dar fiind diamagnetic, nu devine el însuși magnetic — ceea ce este esențial pentru siguranță.

Paramagnetice

- Au momente magnetice proprii, dar sunt dezordonate.
- Sunt slab atrase de câmpuri magnetice.
- Exemplu: **aluminiu**, **oxigenul**, **ioni metalici**.

Exemplu practic:
La temperaturi scăzute, oxigenul lichid devine paramagnetic și poate fi atras de un magnet — se folosește în experimente științifice pentru a demonstra proprietățile magnetice ale gazelor.

Feromagnetice

- Au momente magnetice care se aliniază și se susțin reciproc.
- Pot deveni magneți permanenți.
- Exemplu: **fier**, **nichel**, **cobalt**, aliaje speciale.

Exemplu practic:
Motorul electric – utilizează miezuri feromagnetice pentru a amplifica și direcționa câmpurile magnetice produse de curentul electric pentru a genera mișcare.

1.3. Campul magnetic al curentului electric

Generarea tensiunii electromotoare (t.e.m) alternative

Ce este tensiunea electromotoare alternativă (t.e.m. alternativă)?

Tensiunea electromotoare (t.e.m.) alternativă este o tensiune care își schimbă periodic sensul și valoarea în timp. Este generată în principal prin inducție electromagnetică, adică atunci când un conductor electric se mișcă într-un câmp magnetic sau când câmpul magnetic se schimbă în timp.

Curentul alternativ este foarte utilizat, atât în industrie, cât şi în consumul casnic, prin faptul că prezintă o serie de avantaje, faţă de curentul continuu: poate fi generat simplu şi cu costuri reduse, se poate transporta la distanţe mari uşor şi cu pierderi mici, se poate transforma.

Cum se generează t.e.m. alternativă?

La baza producerii t.e.m. alternative stă fenomenul de inducţie electromagnetică, descoperit de M. Faraday.

„T.e.m. indusă într-un circuit este proporțională cu viteza de variație a fluxului magnetic prin circuit.”

Metode principale de generare:

1. Prin rotația unui conductor într-un câmp magnetic (ex: generator electric).
2. Prin schimbarea câmpului magnetic într-o bobină staționară.

Dispozitiv practic: Generatorul electric (dinamic alternativ)

Un generator alternativ are:

- **Rotor** (partea mobilă, cu magneți permanenți sau electromagneți).
- **Stator** (bobine în care se induce tensiunea).
- Când rotorul se rotește, fluxul magnetic prin bobine variază ⇒ se induce o t.e.m. alternativă.

Exemple practice de generare a t.e.m. alternative:

Centrale electrice (hidroelectrice, termoelectrice, nucleare, eoliene):

- Energia mecanică (apă, abur, vânt) rotește generatoare ⇒ se produce t.e.m. alternativă.

Dinamuri de bicicletă:

- Rotația roții antrenează un mic generator ⇒ tensiune alternativă pentru becuri.

Panouri solare cu invertoare:

- Panoul generează curent continuu (DC), dar invertorul îl transformă în tensiune alternativă (AC) compatibilă cu rețeaua.

Generator de urgență (benzină/motorină):

- Motorul rotește un rotor ⇒ se generează t.e.m. alternativă pentru alimentarea aparatelor.

1.4. Inductia electromagnetica

1.4.1. Inductia electromagnetică

Inducția electromagnetică este un fenomen fizic prin care o tensiune electrică (sau un curent electric) este generată într-un conductor atunci când acesta este plasat într-un câmp magnetic variabil sau se mișcă printr-un astfel de câmp. Acest principiu a fost descoperit de Michael Faraday în 1831 și stă la baza funcționării multor dispozitive electrice moderne.

Legea inducţiei electromagnetice

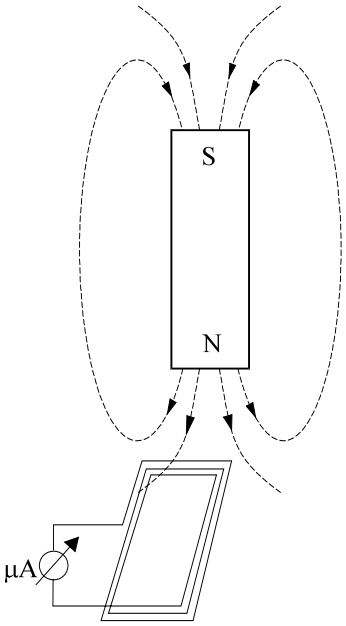
Experienţa arată că în prezenţa unui câmp magnetic variabil în timp apare întotdeauna un câmp electric. Se spune despre acest câmp electric că este un câmp electric indus căruia i se asociază corespunzător o tensiune electromotoare indusă. Astfel, dacă o spiră se află în poziţie fixă în apropierea unui magnet permanent, deşi ea este străbătută de câmp magnetic prin spiră nu apare curent electric (fig. 2.31,a).

În schimb, când spira se deplasează, astfel încât fluxul magnetic prin spiră să se modifice, prin spiră apare un curent electric ce poate fi pus în evidenţă cu un instrument de măsură. Experienţa arată de asemenea că sensul curentului indus în spiră depinde de sensul de variaţie al fluxului magnetic prin suprafaţa ce se sprijină pe conturul spirei.

În formă integrală legea inducţiei electromagnetice se enunţă astfel: *tensiunea electromotoare indusă în lungul unei curbe închise Γ oarecare este egală şi de semn contrar cu derivata în raport cu timpul a fluxului magnetic prin orice suprafaţă deschisă S_Γ ce se sprijină pe curba Γ.*

$$U_e = -\frac{d\Phi_{S_\Gamma}}{dt} = -\frac{d\Psi}{dt} \qquad (2.85)$$

S-a notat cu $\Psi = \phi_{S_\Gamma}$ fluxul magnetic total printr-o suprafaţă deschisă oarecare S_Γ ce se sprijină pe conturul închis Γ. În cazul prezentat în figura 2.31 unde există o singură spiră N=1, fluxul magnetic total $\Psi = \phi_{S_\Gamma} = \phi$ este egal cu fluxul magnetic propriu-zis sau fascicular prin spiră.



În practică intervin însă situaţii când curba închisă Γ are mai multe spire, ca în fig. 2.32. În acest caz notând cu Φ fluxul magnetic fascicular mediu printr-o spiră se observă că:

$$\Psi = N \cdot \phi$$

iar relaţia (2.85) se scrie:

$$U_e = -\frac{d(N \cdot \phi)}{dt} = -N\frac{d\phi}{dt} \qquad (2.86)$$

De reţinut faptul că nu este vorba despre un flux magnetic mai mare de N ori produs de magnetul permanent, ci este fluxul magnetic produs de acelaşi magnet prin suprafaţa S_Γ care se sprijină pe un contur Γ ce *înlănţuie fluxul de N ori*.

Semnul minus din expresia legii inducţiei electromagnetice apare pentru a asocia sensul tensiunii electromotoare induse cu sensul de variaţie a fluxului magnetic.

Sensul tensiunii electromotoare induse se poate stabili cu ajutorul regulii lui Lenz independent de expresia analitică a legii inducţiei electromagnetice. Conform regulii lui Lenz: *sensul tensiunii electromotoare induse este astfel încât, dacă circuitul Γ se presupune închis printr-un conductor, atunci curentul indus ce ar apare prin circuit ar avea un astfel de sens încât să se opună variaţiei fluxului magnetic prin suprafaţa S_Γ ce se sprijină pe Γ.*

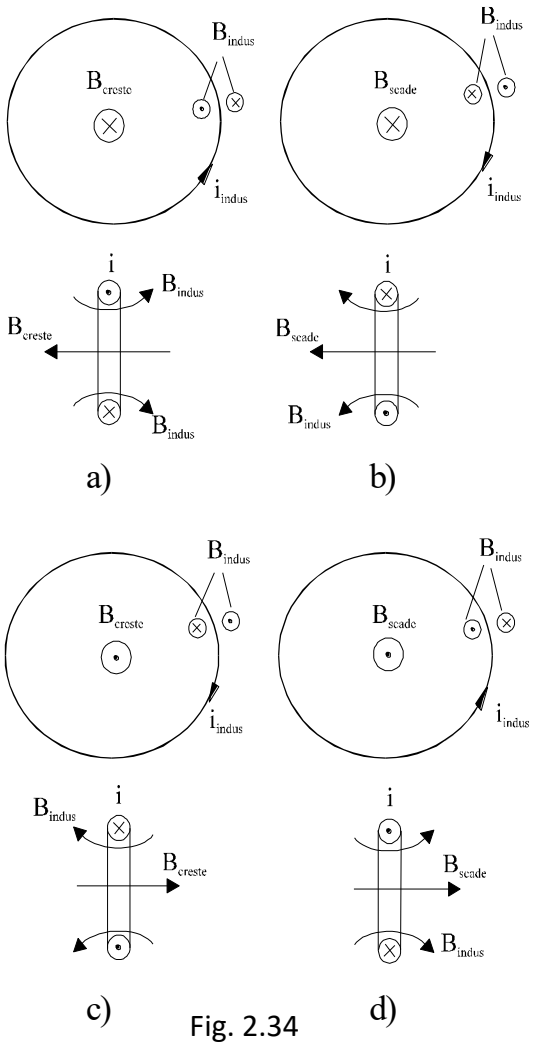


Fig. 2.34

Se prezintă în fig. 2.34 patru situaţii în care se indică variaţia inducţiei magnetice B (creşte sau scade) şi sensul corespunzător al curentului indus şi al inducţiei magnetice B_{indus} produse de curentul indus.

Referindu-ne la fig. 2.34, a, pentru vederea din faţă a spirei (desenul de sus) se observă că fluxul magnetic prin spiră este orientat spre figură şi creşte datorită creşterii lui B. Ca urmare, pentru a se opune creşterii acestui flux, inducţia magnetică a câmpului produs de curentul indus trebuie să aibă în interiorul spirei sensul dinspre figură spre observator, rezultă astfel sensul curentului indus i_{indus} asociat cu B_{indus} după regula burghiului drept.

În cazul fig. 2.34, b deoarece fluxul inducţiei magnetice B prin spiră scade, sensul câmpului magnetic al curentului indus trebuie să coincidă cu al lui B pentru a se opune scăderii acestuia. Rezultă în consecinţă sensul curentului indus şi al tensiunii electromotoare induse U_e.

Exemple practice:

7. **Dinamuri de bicicletă**
   - Când roata se învârte, mișcă un magnet pe lângă o bobină → se generează curent electric care aprinde becul.
8. **Generatorul electric (hidrocentrale, termocentrale, eoliene)**
   - Mișcarea rotorului într-un câmp magnetic induce curent în bobinele statorului.
9. **Transformatorul**

- Un curent alternativ într-o bobină creează un câmp magnetic variabil → induce tensiune în cealaltă bobină.

10. **Placa de gătit cu inducție**
    - Câmpul magnetic variabil generează curent electric în baza vasului → se încălzește direct vasul, nu plita.
11. **Încărcare wireless**
    - Un câmp magnetic variabil generat de stația de încărcare induce curent în bobina telefonului.
12. **Frâne electromagnetice** (trenuri, parcuri de distracție)
    - Mișcarea unui conductor printr-un câmp magnetic generează curenți de Foucault care opun rezistență mișcării → frânare.

1.4.2. Autoinductia

Autoinducția este fenomenul prin care o variație a curentului electric într-un conductor (de obicei o bobină) determină apariția unei tensiuni electromotoare (f.e.m.) proprii în acel conductor, care se opune variației curentului.

Cu alte cuvinte:
Când curentul se modifică → creează un câmp magnetic variabil → acel câmp variază chiar prin bobina care l-a generat → rezultă o tensiune indusă în bobina însăși.

Exemple practice de autoinducție:

1. Bobine în circuite cu curent alternativ

- În orice circuit cu o bobină și curent alternativ, apare o f.e.m. autoindusă care se opune schimbării curentului. Asta afectează cum „curge” curentul în circuit (reacție inductivă).

2. Aprinderea la mașini (bobina de inducție)

- Când se întrerupe brusc curentul prin bobina de inducție, autoinducția face să apară o tensiune mare → suficientă pentru a produce scânteia la bujie.

3. Releele și contactele electromagnetice

- Când un curent e întrerupt brusc într-o bobină de releu, tensiunea autoindusă poate produce scântei la contactele releului dacă nu e protejat.

4. Lampile fluorescente

- La aprindere, un starter întrerupe curentul prin bobina balastului → apare o tensiune mare autoindusă care ajută la aprinderea lămpii.

5. Sistemele de protecție cu diode (diodă de flyback)

- În circuitele cu bobine (de exemplu, în motoare), se folosesc **diode speciale** pentru a proteja componentele de tensiunile mari autoinduse când se oprește curentul brusc.

1.4.3. Energia campului magnetic

Când un câmp magnetic este creat (de exemplu, de un curent electric care circulă printr-un conductor sau printr-o bobină), acesta stochează o anumită energie în spațiul din jur.

Circuitul magnetic este un sistem fizic constituit din medii magnetice, frecvent feromagnetice, şi întrefieruri prin care se închid fluxuri magnetice. Porţiunea de miez magnetic pe care se află situată bobina se numeşte miez propriu-zis sau coloană, iar porţiunea fără înfăşurare se numeşte jug sau armătură. Feţele miezului magnetic care mărginesc întrefierul se numesc poli magnetici. Dacă liniile de câmp magnetic ies din pol, acesta poartă denumirea de pol nord, iar în polul sud intră liniile de câmp magnetic (curbele tangente la vectorul inducţie magnetică $\overline{B}$.) De obicei porţiunea de circuit magnetic constituită din miezul feromagnetic este porţiunea utilă. Câmpul magnetic ce nu se închide prin miezul magnetic şi prin întrefier se numeşte câmp magnetic de dispersie sau de scăpări.

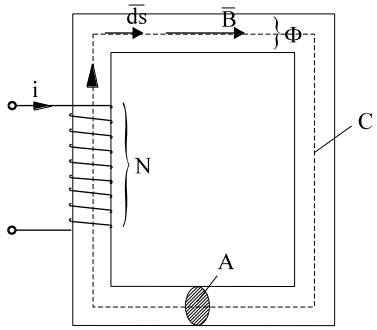


Fig. 2.61

Circuitele magnetice formate din materiale magnetice cu caracteristici liniare se numesc circuite magnetice liniare. Astfel de circuite sunt cele constituite din materiale neferomagnetice sau din materiale feromagnetice moi şi nesaturate. Circuitele magnetice neliniare conţin cel puţin o porţiune din materiale magnetice neliniare cum sunt materialele feromagnetice saturate. În majoritatea cazurilor din practică intervin circuite magnetice neliniare.

Din punct de vedere al surselor de câmp magnetic se întâlnesc:

- circuite magnetice de curent continuu în care prin bobine trece curent continuu

- circuite magnetice de curent alternativ la care înfăşurările sunt străbătute de curenţi alternativi

- circuite magnetice cu magneţi permanenţi unde fluxul magnetic este produs de magnetizaţia perma-nentă a magneţilor permanenţi

- circuite magnetice mixte.

Exemplu practic:

Transformatorul electric
Un transformator are o bobină care creează un câmp magnetic într-un miez feromagnetic. Câmpul stochează energie, care este apoi transferată către cealaltă bobină. Fără această energie stocată temporar în câmpul magnetic, nu s-ar putea face conversia de tensiune eficient.

1.4.4. Proprietatile magnetice ale substantei

Substanțele răspund diferit la câmpuri magnetice, în funcție de structura atomică. Ele se împart în:

Diamagnetice

- Nu au moment magnetic propriu.
- Sunt ușor respinse de câmpurile magnetice.
- Exemplu: **apa**, **cuprul**, **aurul**, **biologic: țesuturile corpului uman**.

Exemplu practic:
Într-un RMN, corpul uman (în mare parte apă) este influențat de câmpuri magnetice puternice, dar fiind diamagnetic, nu devine el însuși magnetic — ceea ce este esențial pentru siguranță.

Paramagnetice

- Au momente magnetice proprii, dar sunt dezordonate.
- Sunt slab atrase de câmpuri magnetice.
- Exemplu: **aluminiu**, **oxigenul**, **ioni metalici**.

Exemplu practic:
La temperaturi scăzute, oxigenul lichid devine paramagnetic și poate fi atras de un magnet — se folosește în experimente științifice pentru a demonstra proprietățile magnetice ale gazelor.

Feromagnetice

2. Au momente magnetice care se aliniază și se susțin reciproc.
3. Pot deveni magneți permanenți.
4. Exemplu: **fier**, **nichel**, **cobalt**, aliaje speciale.

Exemplu practic:
Motorul electric – utilizează miezuri feromagnetice pentru a amplifica și direcționa câmpurile magnetice produse de curentul electric pentru a genera mișcare.

1.5. Curentul alternativ

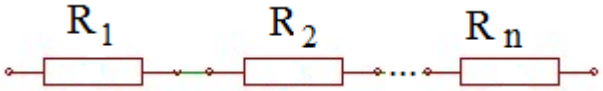
1.5.1. Generarea tensiunii electromotoare (t.e.m) alternative. Circuite in curent alternativ (serie: R, RL, RC, RLC, paralel: RLC)

1.5.1.1. Circuit serie cu rezistențe în AC:

Într-un circuit serie, toate rezistențele sunt conectate una după alta, iar curentul este același prin fiecare rezistență.

Proprietăți:

- Tensiunea totală se împarte între rezistențe:
  $U=U_1+U_2+\cdots+U_n$
- Rezistența echivalentă:



  $Req=R_1+R_2+\cdots+R_n$
- Curentul este același în tot circuitul:
  $I=U / Req$

Exemplu:

Ai un generator AC de 230V și două rezistențe în serie: R1=50Ω, R2=100Ω

Atunci:

- $Req=R_1 + R_2 = 150\Omega$
- $I= U / Req = 230 / 150=1.53$ A
- Tensiunea pe fiecare rezistență:
  - $U_1=I\cdot R_1=1.53\cdot 50=76.5$ V
  - $U_2= I\cdot R_2 = 1.53\cdot 100=153$ V

Problemă practică – Circuit în SERIE

Situație:
Un aparat electric este alimentat la o sursă de 230V AC. Aparatul conține două rezistențe conectate în serie:

- R1=40 Ω

- R2=60 Ω

Cerințe:

1. Calculează rezistența echivalentă a circuitului.
2. Calculează curentul care trece prin circuit.
3. Calculează tensiunea pe fiecare rezistență.
4. Calculează puterea totală consumată.

Rezolvare pas cu pas:

1. Rezistența echivalentă:

Req = R1 + R2 = 40 + 60=100 Ω

2. Curentul prin circuit:

Tensiunea sursei este U=230V. Folosim legea lui Ohm:

I = U / Req = 230 / 100 = 2.3 A

3. Tensiunea pe fiecare rezistență:

- Pe R1:

U1 = I · R1 = 2.3 · 40 =92 V

- Pe R2:

U2 = I ·R2 = 2.3 · 60 = 138 V

Verificare: U1 + U2 = 92 + 138 = 230V ✔

4. Puterea totală consumată:

Folosim:

P = U · I = 230 · 2.3 = 529 W

Sau alternativ:

$P = I^2 \cdot Req = (2.3)^2 \cdot 100 = 5.29 \cdot 100 = 529$ W

1.5.1.2. Circuit paralel cu rezistențe în AC:

Într-un circuit **paralel**, toate rezistențele sunt conectate la aceeași tensiune.

Proprietăți:

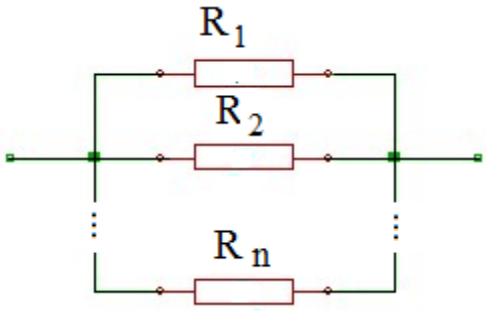
- **Tensiunea este aceeași** pe fiecare rezistență:

$U=U_1=U_2=\cdots= U_n$

- **Curentul total** se împarte între ramuri:

$I=I_1 + I_2 +\cdots+I_n$

- **Rezistența echivalentă**:



Rezistența echivalentă a sistemului format din mai multe rezistoare legate în paralel se calculează cu formula:

$$1/Rp = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 +\ldots+ 1/Rn$$

Exemplu :

Ai o sursă AC de 230V și două rezistențe în paralel: R1=100Ω, R2=200Ω

- Tensiunea pe ambele: U=230V
- Curent prin fiecare:
  - $I_1=U / R_1 = 230 / 100=2.3A$
  - $I_2= U / R_2\ 230 / 200=1.15\ A$
- Curent total:

$I= I_1 + I1 = 2.3 + 1.15=3.45\ A$

- Rezistența echivalentă:

$1 / Req = 1 / R_1 + 1 / R_2 = 1 / 100 + 1 / 200 =3 / 200 \Rightarrow Req=66.67\ \Omega$

Problemă practică – Circuit în paralel

Situație:
Avem un circuit de iluminat alimentat la rețeaua de 230V AC (tensiune eficace). Sunt conectate două becuri în paralel:

- Becurile au următoarele caracteristici:
    - Becurile sunt rezistive, adică se comportă ca niște rezistențe.
    - BEC 1: 100W, 230V
    - BEC 2: 60W, 230V

Cerințe:

1. Calculează rezistența fiecărui bec.
2. Calculează curentul care trece prin fiecare bec.
3. Calculează curentul total tras din rețea.
4. Calculează rezistența echivalentă a circuitului.

Rezolvare pas cu pas:

1. Calcul rezistența fiecărui bec

Folosim formula:

$R=U^2 / P$

- Pentru BEC 1:

$R1=230^2 / 100=52900 / 100 = 529\ \Omega$

- Pentru BEC 2:

$R2=230^2 / 60 = 52900 / 60 = 881.67\ \Omega$

2. Calcul curent prin fiecare bec

Folosim formula:

$I = U / R$

- BEC 1:

$I1 = 230 / 529 = 0.435\ A$

- BEC 2:

I2=230 / 881.67 = 0.261 A

3. Curent total tras din rețea

I_{total} = I1 + I2 = 0.435 + 0.261 = 0.696 A

4. Rezistența echivalentă

1 / Req = 1 / R1 + 1 / R2 = 1 / 529 + 1 / 881.67 = 0.00189 + 0.00113 = 0.00302 ⇒ Req = 1 / 0.00302 = 331.1 Ω

Observații generale:

- În AC **doar cu rezistențe**, comportamentul este similar ca în DC.
- Nu apar defazaje (cum ar apărea dacă ai inductanțe sau capacități).
- Puterea activă este:

$P=U\cdot I = I^2\cdot R = U^2 R$

1.5.1.3 Circuit serie cu rezistență și inductanță (RL) în AC

Într-un circuit **serie RL**, rezistența și inductanța sunt conectate una după alta. Curentul este același în întreg circuitul, dar apare un **defazaj** între curent și tensiune din cauza inductanței.

Formula rezistenței echivalente pentru un circuit RL în serie:

Impedanța totală Z_{serie} este:

$$Z_{serie} = \sqrt{R^2 + (x_L)^2}$$

unde:

- R este rezistența,
- $X_L=\omega L=2\pi fL$ este reactanța inductivă, cu f fiind frecvența semnalului AC și L inductanța.

Defazajul între curent și tensiune:

$$\tan(\varphi) = \frac{X_L}{R}$$

Deci:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{X_L}{R}\right)$$

Curentul în circuitul serie:

$$I = \frac{U}{Z_{serie}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L)^2}}$$

Exemplu Practic: Circuit RL în Serie

Situație:

Ai un circuit RL în serie, cu următoarele date:

- Rezistența R=50 Ω,
- Inductanța L=0.1 H,
- Frecvența semnalului AC f = 50 Hz,
- Tensiunea sursei U = 230 V (eficace).

Cerințe:

1. Calculează reactanța inductivă X_L.
2. Calculează impedanța totală Z_{serie}
3. Calculează curentul din circuit.
4. Calculează puterea activă consumată.

Rezolvare pas cu pas:

1. Calculul reactanței inductive X_L:

$$X_L = 2\pi f L = 2\pi \cdot 50 \cdot 0.1 = 31.42\,\Omega$$

2. Calculul impedanței totale ZserieZ_{serie}Zserie:

$$Z_{serie} = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{50^2 + 31.42^2} = \sqrt{2500 + 986.46} = \sqrt{3486.46} \approx 59.03\,\Omega$$

3. Calculul curentului în circuit:

$$I = \frac{U}{Z_{serie}} = \frac{230}{59.03} \approx 3.9\,A$$

4. Calculul puterii active consumate:

Puterea activă este dată de:

$$P = I^2 \cdot R = (3.9)^2 \cdot 50 \approx 15.21 \cdot 50 = 760.5\,W$$

1.5.1.4 Circuit paralel cu rezistență și inductanță (RL) în AC

Într-un circuit **paralel RL**, rezistența și inductanța sunt conectate în paralel, adică fiecare componentă are aceeași tensiune aplicată. Curentul total se împarte între rezistență și inductanță.

Impedanța totală $Z_{paralel}$ pentru un circuit paralel RL:

Impedanța totală se calculează astfel:

$$\frac{1}{Z_{paralel}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{jX_L}$$

unde j este unitatea imaginară. După simplificare:

$$Z_{paralel} = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

Defazajul între curentul total și tensiune:

$$\tan(\varphi) = \frac{X_L}{R}$$

Curentul total în circuitul paralel:

$$I_{total} = \frac{U}{Z_{paralel}}$$

Exemplu Practic: Circuit RL în Paralel

Situație:
Același tip de circuit, dar acum în paralel, cu următoarele date:

- R=50 Ω,
- L=0.1 H,
- f=50 Hz,
- U=230 V.

Cerințe:

1. Calculează impedanța totală $Z_{paralel}$
2. Calculează curentul total tras din rețea.

Rezolvare pas cu pas:

1. Calculul reactanței inductive X_L (aceeași ca înainte):

$X_L = 2\pi fL = 31.42\ \Omega$

2. Calculul impedanței totale $Z_{paralel}$:

$$\frac{1}{Z_{paralel}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{jX_L}$$

Rezultatul final pentru impedanța paralelă va fi:

$$Z_{paralel} = \frac{50 \cdot 31.42}{\sqrt{50^2 + 31.42^2}} \approx \frac{1571}{59.03} \approx 26.66\,\Omega$$

3. Calculul curentului total tras din rețea:

$$I_{total} = \frac{U}{Z_{paralel}} = \frac{230}{26.66} \approx 8.63\,A$$

1.5.1.5. Circuit serie cu rezistență și capacitate (RC) în AC

Într-un circuit **RC în serie**, rezistența (R) și capacitatea (C) sunt conectate una după alta. Curentul este același în întreg circuitul, dar apare un **defazaj** între curent și tensiune din cauza reactanței capacitive.

Impedanța totală Z_{serie} a unui circuit RC în serie:

$$Z_{serie} = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

unde:

- R este rezistența,
- $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$ este reactanța capacitivă, cu fff fiind frecvența semnalului AC și CCC capacitatea

Defazajul φ între curent și tensiune:

$$\tan(\varphi) = \frac{X_C}{R}$$

Deci:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{X_C}{R}\right)$$

Curentul în circuitul RC în serie:

$$I = \frac{U}{Z_{serie}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

Exemplu practic – Circuit RC în serie

Situație:
Avem un circuit **RC în serie**, cu următoarele date:

- Rezistența R=50 Ω,
- Capacitatea C=10μF=10x10^{-6}F,
- Frecvența semnalului AC f=50 Hz,
- Tensiunea sursei U=230V (eficace).

Cerințe:

1. Calculează reactanța capacitivă X_C.
2. Calculează impedanța totală Z_{serie}
3. Calculează curentul în circuit.
4. Calculează puterea activă consumată.

Rezolvare pas cu pas:

1. Calculul reactanței capacitive X_C:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 10 \times 10^{-6}} \approx 318.31\,\Omega$$

2. Calculul impedanței totale Z_{serie} :

$$Z_{serie} = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{50^2 + 318.31^2} = \sqrt{2500 + 101138.28} \approx \sqrt{103638.28} \approx 322.06\,\Omega$$

3. Calculul curentului în circuit:
4. Calculul puterii active consumate:

$$I = \frac{U}{Z_{serie}} = \frac{230}{322.06} \approx 0.714\,A$$

Puterea activă este dată de:

$$P = I^2 \cdot R = (0.714)^2 \cdot 50 \approx 0.510 \cdot 50 = 25.5\,W$$

1.5.1.6. Circuit paralel cu rezistență și capacitate (RC) în AC

Într-un circuit **paralel RC**, rezistența și capacitatea sunt conectate în paralel, adică fiecare componentă are aceeași tensiune aplicată. Curentul total se împarte între rezistență și condensator.

Impedanța totală $Z_{paralel}$ a unui circuit paralel RC:

Impedanța totală se calculează astfel:

$$\frac{1}{Z_{paralel}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{jX_C}$$

unde j este unitatea imaginară. După simplificare, obținem:

$$Z_{paralel} = \frac{R \cdot X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

Curentul total în circuitul paralel RC:

$$I_{total} = \frac{U}{Z_{paralel}}$$

Exemplu practic – Circuit RC în paralel

Situație:
Același tip de circuit, dar acum în paralel, cu următoarele date:

- R=50 Ω,
- C=10µF,
- f=50 Hz,
- U=230V.

Cerințe:

1. Calculează reactanța capacitivă X_C (aceeași ca în exemplul anterior).
2. Calculează impedanța totală $Z_{paralel}$.
3. Calculează curentul total tras din rețea.

Rezolvare pas cu pas:

1. Calculul reactanței capacitive X_C

X_C=318.31 Ω

3. Calculul impedanței totale $Z_{paralel}$:

$$\frac{1}{Z_{paralel}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{jX_C}$$

Pentru a calcula $Z_{paralel}$, folosim formula dată:

$$Z_{paralel} = \frac{R \cdot X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} = \frac{50 \cdot 318.31}{\sqrt{50^2 + 318.31^2}} \approx \frac{15915.5}{322.06} \approx 49.43\,\Omega$$

4. Calculul curentului total tras din rețea:.

$$I_{total} = \frac{U}{Z_{paralel}} = \frac{230}{49.43} \approx 4.66\,A$$

1.5.1.7. Circuit serie cu rezistență , inductanță și capacitate (RLC) în AC

Într-un circuit **RLC în serie**, rezistența (R), inductanța (L) și capacitatea (C) sunt conectate una după alta. În acest caz, curentul este același în întreg circuitul, dar apare un **defazaj** între curent și tensiune din cauza reacțiilor inductive și capacitive.

Impedanța totală Z_{serie} a unui circuit RLC în serie:

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

unde:

- R este rezistența,
- $X_L=\omega L=2\pi fL$ este reactanța inductivă,
- $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$ este reactanța capacitivă,
- f este frecvența semnalului AC, iar L și C sunt inductanța și capacitatea.

Defazajul φ între curent și tensiune:

$$\tan(\varphi) = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Deci:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right)$$

Curentul în circuitul RLC în serie:

$$I = \frac{U}{Z_{serie}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Exemplu practic – Circuit RLC în Serie

Situație:
Avem un circuit **RLC în serie**, cu următoarele date:

- Rezistența R=50 Ω,
- Inductanța L=0.1 H,
- Capacitatea $C=10\mu F=10\times10^{-6}$ F,
- Frecvența semnalului AC f=50 Hz,

- Tensiunea sursei U=230V (eficace).

Cerințe:

1. Calculează reactanțele inductivă și capacitivă X_L și X_C.
2. Calculează impedanța totală Z_{serie}.
3. Calculează curentul în circuit.
4. Calculează puterea activă consumată.

Rezolvare pas cu pas:

1. Calculul reactanțelor X_L și X_C:

- Reactanța inductivă:

XL=2πfL=2π·50·0.1=31.42 Ω

- Reactanța capacitivă:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 10 \times 10^{-6}} \approx 318.31\,\Omega$$

Calculul impedanței totale Zserie:

$$Z_{serie} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{50^2 + (31.42 - 318.31)^2}$$

Calculăm diferența:

$$X_L - X_C = 31.42 - 318.31 = -286.89$$

$$Z_{serie} = \sqrt{2500 + (-286.89)^2} = \sqrt{2500 + 82250.06} \approx \sqrt{84750.06} \approx 291.17\,\Omega$$

Calculul curentului în circuit:

$$I = \frac{U}{Z_{serie}} = \frac{230}{291.17} \approx 0.79\,A$$

Calculul puterii active consumate:

Puterea activă este dată de:

$$P = I^2 \cdot R = (0.79)^2 \cdot 50 \approx 0.6241 \cdot 50 = 31.2\,W$$

1.5.1.8. Circuit paralel cu rezistență , inductanță și capacitate (RLC) în AC

Într-un circuit **RLC în paralel**, rezistența, inductanța și capacitatea sunt conectate în paralel, adică fiecare componentă are aceeași tensiune aplicată. Curentul total se împarte între aceste componente.

Impedanța totală $Z_{paralel}$ a unui circuit RLC în paralel:

Impedanța totală pentru un circuit paralel este:

$$Z_{paralel} = \frac{R \cdot (X_L \cdot X_C)}{\sqrt{R^2 \cdot (X_L - X_C)^2 + (X_L \cdot X_C)^2}}$$

După simplificare:

$$Z_{paralel} = \frac{R \cdot (X_L \cdot X_C)}{\sqrt{R^2 \cdot (X_L - X_C)^2 + (X_L \cdot X_C)^2}}$$

Curentul total în circuitul RLC în paralel:

$$I_{total} = \frac{U}{Z_{paralel}}$$

Exemplu practic – Circuit RLC în Paralel

Situație:
Același tip de circuit, dar acum în paralel, cu următoarele date:

- R=50 Ω,
- L=0.1 H,
- C=10μF,
- f=50 Hz,
- U=230V.

Cerințe:

1. Calculează reactanțele inductivă și capacitivă X_L și X_C (aceleași ca în exemplul anterior).
2. Calculează impedanța totală $Z_{paralel}$
3. Calculează curentul total tras din rețea.

Rezolvare pas cu pas:

1. Calculul reactanțelor X_L și X_C

- Reactanța inductivă XL=31.42 Ω

- Reactanța capacitivă XC=318.31 Ω

2. Calculul impedanței totale $Z_{paralel}$:

Pentru a calcula impedanța totală într-un circuit RLC în paralel, folosim formula dată:

$$\frac{1}{Z_{paralel}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{jX_L} + \frac{1}{jX_C}$$

Din păcate, acest calcul implică o formulă destul de complexă, dar pentru a simplifica:

$$Z_{paralel} \approx \frac{R \cdot X_L \cdot X_C}{\sqrt{R^2 \cdot (X_L - X_C)^2 + (X_L \cdot X_C)^2}}$$

Folosind valorile date:

$$Z_{paralel} \approx \frac{50 \cdot 31.42 \cdot 318.31}{\sqrt{50^2 \cdot (31.42 - 318.31)^2 + (31.42 \cdot 318.31)^2}}$$

$$Z_{paralel} \approx 6.21\,\Omega$$

Calculul curentului total tras din rețea:

$$I_{total} = \frac{U}{Z_{paralel}} = \frac{230}{6.21} \approx 37.07\,A$$

1.5.2. Puterea în curent alternativ

În curent alternativ, puterea nu e doar un simplu produs P=U·I ca în curentul continuu, din cauză că:

- Tensiunea și curentul **variază sinusoidal**,
- Pot exista **defazaje** între ele (datorită inductanței sau capacității).

De aceea, în AC vorbim despre **trei tipuri de putere**:

Puterea activă (reală) – P

Este **energia efectiv consumată** de rezistențe pentru a produce lucru mecanic, lumină, căldură etc. Se măsoară în **Watt (W)**.

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$$

unde:

- U = tensiune eficace,
- I = curent eficace,
- $\cos(\varphi)$ = **factorul de putere** (diferența de fază dintre tensiune și curent).

Puterea reactivă – Q

Este „puterea oscilantă” între sursă și componentele reactive (L și C), **nu se consumă**, dar e necesară în circuit.
Se măsoară în **VAr (volt-amperi reactivi)**.

$$Q = U \cdot I \cdot \sin(\varphi)$$

Puterea aparentă – S

Este **puterea totală** transmisă prin rețea. Nu ține cont de defazaj.
Se măsoară în **VA (volt-amperi)**.

$$S = U \cdot I$$

Relația dintre cele 3 puteri:

Imaginează-le ca pe un triunghi dreptunghic:

```
  |\
  | \
Q |  \ S
  |   \
  |____\
    P
```

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Exemplu simplu:

Să zicem că avem:

- U=230 V
- I=10 A
- $\cos(\varphi) = 0.8$

Calcule:

- Puterea aparentă:

S=230·10=2300 VA

- Puterea activă:

P=2300·0.8=1840 W

- Puterea reactivă:

$$Q = 2300 \cdot \sin(\arccos(0.8)) \approx 2300 \cdot 0.6 = 1380\,VAr$$

De ce e important să înțelegem P, Q și S într-o instalație electrică?

Pentru că o instalație electrică:

- **plătește energia activă** (Watt),
- **trage energie aparentă** (VA),
- **consumă reactivă** (VAr) dacă are motoare, bobine, neoane etc.,
- iar **energia reactivă afectează eficiența, dimensionarea și costurile**!

Cum influențează puterea reactivă (Q) o instalație?

- **Cablurile și echipamentele trebuie supradimensionate**

Chiar dacă reactiva **nu se consumă**, ea **circulă prin conductoare**, deci:

- Încarcă cablurile,
- Crește căderea de tensiune,
- Încălzește echipamentele,
- Poate cauza **scăderea tensiunii** la receptori.

➡ Deci, e nevoie de **fire mai groase**, **transformatoare mai mari**, **siguranțe mai puternice**.

- **Creează pierderi suplimentare în rețea**

Puterea reactivă contribuie la **pierderi prin efect Joule** în cabluri și transformatoare:

$$P_{pierdere} = I^2 \cdot R$$

Dacă ai mai mult curent (din cauza reactivității), ai pierderi mai mari → **consum mai mare, randament mai mic**.

- **Crește factura de electricitate**

Consumatorii casnici plătesc doar energia activă (kWh).

Consumatorii industriali (firme, fabrici) sunt **penalizați** dacă:

- Factorul de putere $\cos(\varphi)$ e sub 0.9 (depinde de furnizor),
- Pentru că trag prea multă energie reactivă, punând presiune pe rețea.

➡ De aceea, multe fabrici instalează **baterii de condensatoare** pentru a compensa reactivitatea (adică **corecție de factor de putere**).

1.6 Masini electrice rotative

Sunt dispozitive electromagnetice care transformă:

- energie electrică în energie mecanică → motoare electrice
- energie mecanică în energie electrică → generatoare electrice

Se numesc „rotative” pentru că au părți mobile care se rotesc, de obicei un rotor în interiorul unui statator.

1.6.1. Clasificare generală:

După tipul de curent:

Tip curent	**Tipuri de mașini**
Curent continuu (CC)	Motoare și generatoare cu perii
Curent alternativ (CA)	Motoare și generatoare asincrone, sincrone

1.6.2. Curentul alternativ monofazat

Este un tip de curent electric în care:

- Tensiunea și curentul variază sinusoidal în timp,
- Polaritatea se schimbă periodic (ex: de la +230 V la –230 V),

- Se folosește o singură fază (de aceea se numește „monofazat”).

Este cel mai des folosit în locuințe și aparatură electrică simplă (TV, becuri, priza obișnuită).

1.6.2.1. Cum se produce curentul alternativ monofazat?

Se produce cu ajutorul unui generator sincron monofazat, adică:

Componentele principale ale unui generator:

1. Rotor – parte mobilă care creează un câmp magnetic (prin magneți sau electromagneți),
2. Stator – parte fixă, formată dintr-o bobină în care se induce tensiunea,
3. Mișcare mecanică – rotorul este învârtit de o turbină (hidraulică, cu aburi, motor etc.).

Procesul de funcționare (pas cu pas):

1. Rotorul (cu magneți sau bobine) se rotește → creează un câmp magnetic rotativ.

2. Acest câmp magnetic taie spirele bobinei statorului.

3. Conform Legii inducției electromagnetice (Faraday), în bobină se induce o tensiune electrică.

4. Cum mișcarea este continuă și ciclică, și tensiunea indusă este:

$$u(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t)$$

unde:

- Umax este amplitudinea tensiunii,
- ω=2πf este pulsatia,
- f este frecvența (în România: 50 Hz).

➡ Deci, curentul alternativ monofazat este sinusoidal și are o frecvență fixă.

1.6.2.2 Graficul curentului sau tensiunii monofazate:

Arată ca o undă sinusoidală care oscilează:

- de la +230 V la –230 V (valoare eficace este 230 V),
- de 50 de ori pe secundă (adică 50 Hz),
- un ciclu complet durează 20 ms.

1.6.2.2. Unde se folosește curentul alternativ monofazat?

- În locuințe (prize, becuri, electrocasnice),
- În birouri și spații comerciale mici,
- Pentru aparate cu consum redus sau moderat.

Avantaje:

- Simplu de produs și distribuit,
- Costuri reduse,
- Ideal pentru consumatori casnici.

Dezavantaje:

- Nu este eficient pentru consumatori industriali mari (de aceea acolo se folosește curent trifazat),
- Putere transmisă mai mică comparativ cu sistemele trifazate.

1.6.3. Sistemul trifazat

Un sistem trifazat este un tip de curent alternativ format din trei tensiuni sinusoidale, de aceeași frecvență și amplitudine, dar deplasate în fază cu 120° una față de alta.

Este standardul folosit în transportul și distribuția energiei electrice.

Cum arată?

Dacă desenezi cele 3 tensiuni pe un grafic, ai:

- **Faza A**: $u_A(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t)$
- **Faza B**: $u_B(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t - 120^\circ)$
- **Faza C**: $u_C(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t - 240^\circ)$

Împreună, ele formează un sistem echilibrat care transmite energie mai eficient și stabil.

De ce trifazat și nu 1 sau 2 faze?

Pentru că un sistem trifazat are avantaje enorme:

- Furnizează putere constantă, fără pulsații (curentul monofazat are variații mari),
- Permite alimentarea motoarelor trifazate (cuplu constant),
- Transportul pe distanțe lungi este mai eficient (pierderi mai mici),

- Se poate obține curent monofazat din trifazat, dar invers e complicat.

1.6.3.1. Ce conține un sistem trifazat?

1. 3 faze – A, B, C (sau L1, L2, L3),
2. Neutru – în unele cazuri (pentru alimentare mixtă: trifazat + monofazat),
3. Pământare (pentru siguranță).

1.6.3.2. Tipuri de conexiuni:

a) Stea (Y):

- Fiecare fază este conectată la un punct comun (neutru).
- Se folosește des în rețelele de distribuție și în mașini electrice.
- Poți alimenta atât:
  - consumatori trifazici → între faze (400 V),
  - cât și monofazici → între fază și neutru (230 V).

b) Triunghi (Δ):

- Fazele sunt conectate în buclă închisă.
- Folosit în motoare trifazate și în partea de putere.
- Nu există conductor de neutru.

1.6.3.3. Tensiuni într-un sistem trifazat

Tip tensiune	**Simbol**	**Valoare în Europa**
Tensiune de linie	U_L	400 V
Tensiune de fază	U_f	230 V
Relație:		$U_L = \sqrt{3} \cdot U_f$

1.6.3.4. Unde se folosește sistemul trifazat?

- Industrie: motoare mari, pompe, prese, linii de producție,
- Transportul energiei: centrale electrice → orașe → fabrici,

- Clădiri comerciale și instituții: unde se cere putere mare,
- Alimentare mixtă: clădiri mari cu prize monofazate + echipamente trifazate.

Avantajele sistemului trifazat

- Eficiență ridicată în transport și consum,
- Putere mai mare cu același diametru de cablu,
- Posibilitate de a obține curent monofazat,
- Motor trifazat = pornire ușoară, funcționare lină, cuplu constant.

Dezavantaje (puține):

- Necesită echipamente de protecție și echilibrare,
- Instalarea e puțin mai complexă decât la monofazat.

1.6.4. Alternatorul trifazat

Un alternator trifazat este o mașină electrică sincronă care transformă energia mecanică în energie electrică trifazată.

Se numește „trifazat" pentru că generează 3 tensiuni sinusoidale, defazate între ele cu 120°, formând un sistem trifazat.

1.6.4.1. Structura alternatorului trifazat:

a). Statorul (fix)

- Format din miez de fier și trei înfășurări (bobine) dispuse la 120° una față de alta.
- Aici se induce curentul electric.
- Este partea în care apare energia electrică trifazată.

b) Rotorul (mobil)

- Creează un câmp magnetic rotativ (cu magneți permanenți sau electromagneți alimentați cu CC).
- Este antrenat de o turbina (hidraulică, cu aburi, motor diesel etc.).
- Rotește câmpul magnetic în jurul statorului.

1.6.4.2. Funcționarea alternatorul trifazat

1. Rotorul se rotește (prin energie mecanică),
2. Creează un câmp magnetic rotativ,

3. Câmpul taie bobinele statorului,
4. În fiecare bobină se induce o tensiune sinusoidală (legea lui Faraday),
5. Cele trei tensiuni au același modul și frecvență, dar sunt defazate cu 120° → rezultă curent trifazat.

Tensiunile produse:

$$u_A(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t)$$

$$u_B(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$u_C(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t - 240^\circ)$$

Cum sunt conectate înfășurările statorului?

Alternatorul trifazat poate avea ieșirile bobinelor conectate în:

- Stea (Y):

- Capetele bobinelor unite într-un neutru comun,
- Tensiunea între fază și neutru este tensiunea de fază (230 V),
- Tensiunea între faze este tensiunea de linie (400 V).

- Triunghi (Δ):

- Capetele bobinelor sunt conectate cap la cap,
- Nu există neutru,
- Folosit uneori pentru sarcini simetrice și echilibrate.

Unde se folosește alternatorul trifazat?

- Centrale electrice (hidro, termocentrale, nucleare) – pentru a produce energia națională,
- Generatoare trifazate (grupuri electrogene industriale),
- Turbine eoliene moderne,
- Locomotive electrice / diesel-electrice.

Avantaje ale alternatorului trifazat:

- Poate furniza putere mare eficient,
- Permite alimentarea consumatorilor trifazați și monofazați,

- Curentul trifazat este mai stabil și mai economic de transmis,
- Compatibil cu motoarele trifazate, folosite masiv în industrie.

1.6.4.3. Puterea dezvoltată de un alternator trifazat:

Puterea aparentă:

$$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$$

- unde:
  - U_L= tensiunea de linie (ex: 400 V),
  - I_L = curentul de linie.

Puterea activă:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos(\varphi)$$

Puterea reactivă:

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin(\varphi)$$

1.6.5. Mașini electrice de curent continuu (CC)

Structură:

- Stator – generează câmpul magnetic (cu magneți sau electromagneți),
- Rotor / armatură – în care apare tensiune (la generator) sau curge curent (la motor),
- Comutator cu perii – schimbă direcția curentului, pentru a menține rotația.

Tipuri:

- Motor cu excitatie separată,
- Motor cu excitatie derivatie,
- Motor cu excitatie serie.

Avantaje:

- Control fin al turației,
- Cuplu bun la pornire.

Dezavantaje:

- Necesită întreținere (perii și colector),
- Nu sunt potrivite pentru viteze mari sau aplicații industriale grele.

1.6.6. Mașini electrice de curent alternativ (CA)

1.6.6.1. Motoare asincrone (inducție) – cele mai folosite în industrie!

Cum funcționează:

- Statatorul creează un câmp magnetic rotativ,
- Acest câmp induce curent în rotor → produce cuplu,
- Rotorul se rotește mai încet decât câmpul statoric → de aici „asincron”.

Tipuri:

- Cu rotor în colivie de veveriță (cel mai comun),
- Cu rotor bobinat (pentru aplicații speciale).

Avantaje:

- Simplitate, robustețe,
- Cost redus,
- Ușor de întreținut.

Dezavantaje:

- Turația nu se controlează ușor (nevoie de convertizor de frecvență).

1.6.6.2. Motoare sincrone

Cum funcționează:

- Rotorul se rotește exact cu aceeași viteză ca și câmpul magnetic statoric,
- Necesită excitatie cu curent continuu pe rotor.

Avantaje:

- Turație constantă (util în aplicații de precizie),
- Pot fi folosite și pentru compensarea factorului de putere (sincrone reactive).

Dezavantaje:

- Mai complexe și mai scumpe,
- Necesită sistem de pornire (pentru a atinge viteza sincronă).

1.6.6.3. Generatoare (alternatoare)

- Alternator sincron – cel mai utilizat în centrale electrice,
- Generator asincron – mai rar, dar folosit la turbine eoliene mici.

1.6.6.4. Comparație între principalele tipuri de motoare

Caracteristică	Motor CC	Motor asincron	Motor sincron
Alimentare	CC	CA	CA
Control viteză	Foarte bun	Dificil fără VFD	Bun, dar fix
Întreținere	Necesită (perii)	Minimă	Medie
Cost	Mediu	Mic	Mare
Aplicații tipice	Mașini-unelte, locomotive	Pompe, ventilatoare	Precizie, compensare

1.6.6.5. Aplicații ale mașinilor electrice rotative

- Industrie: benzi transportoare, pompe, ventilatoare, macarale
- Transport: trenuri electrice, metrou, troleibuze (motor CC / CA)
- Casnic: mașini de spălat, frigidere, ventilatoare
- Energie: generatoare din centrale electrice (hidro, termice, eoliene)

1.6.7. Reversibilitatea masinilor electrice de curent continuu

O mașină electrică este reversibilă dacă poate funcționa:

- atât ca motor (transformă energie electrică în mecanică),

- cât și ca generator (transformă energie mecanică în electrică),
- fără modificări majore de construcție.

Mașinile de curent continuu sunt natural reversibile, adică:

Același dispozitiv poate funcționa și ca motor CC, și ca generator CC!

1.6.7.1. Cum funcționează în ambele sensuri?

1. **Ca motor CC**:

- Se aplică tensiune electrică la bornele mașinii,
- În bobine apare curent → se generează un câmp magnetic,
- Câmpul interacționează cu cel al statorului → rezultă cuplu,
- Rotorul începe să se rotească = energie mecanică.

2. Ca generator CC:

- Se rotește mecanic arborele motor (de ex. cu o manivelă, turbină, motor termic),
- Mișcarea rotorului prin câmpul magnetic induce tensiune în bobine (prin legea lui Faraday),
- Apare curent la borne = energie electrică generată.

Ce nu se schimbă?

- Construcția mașinii rămâne aceeași (rotor, stator, perii, colector),
- Diferența e doar în modul de alimentare și în sensul fluxului de energie.

Exemplu:

Ai un motor CC care acționează o bandă transportoare.

◇ Când îl alimentezi cu 220 V:

- Funcționează ca motor → învârte banda.

◇ Când oprești alimentarea, dar banda e trasă mecanic (ex: de gravitație):

- Arborele se rotește,
- Motorul devine generator → produce curent înapoi spre sursă sau rezistor de frână.

1.6.7.2. Unde se folosește reversibilitatea?

- Frânare regenerativă la trenuri, metrou, mașini electrice,
- Recuperarea de energie în sisteme industriale,
- Testarea echipamentelor electrice (bănci de probe),
- Turbine eoliene mici (folosesc mașini CC ca generator).

1.6.7.3. Avantaje ale reversibilității:

- Flexibilitate în utilizare,
- Costuri mai mici (un singur dispozitiv pentru 2 funcții),
- Ușurință în întreținere și comutare între regimuri.

Atenție:

- Pentru a funcționa bine ca generator, trebuie:
  - viteză minimă de rotație,
  - câmp de excitație corespunzător,
  - posibil un circuit de reglare a tensiunii.

Concluzie:

Mașinile de curent continuu sunt complet reversibile: același echipament poate lucra ca motor sau ca generator, în funcție de cum este utilizat – mecanic sau electric.

1.7. Transformatorul

Un **transformator** este un aparat electric static care **modifică tensiunea alternativă** (U) între două nivele – fie o **crește**, fie o **scade** – **fără să schimbe frecvența**.

Funcționează **doar cu curent alternativ (AC)**, prin fenomenul de **inducție electromagnetică**.

1.7.1. Principiul de funcționare: inducția electromagnetică

- Când un curent alternativ trece printr-o bobină (în primar), el creează un câmp magnetic variabil.

- Acest câmp se închide prin miezul feromagnetic și induce tensiune în cealaltă bobină (secundar).

1.7.2. Structura unui transformator

1.7.2.1. Miezul magnetic (de fier moale laminat)

- Ghidează și concentrează fluxul magnetic între cele două înfășurări,
- Reduce pierderile de energie prin încălzire (pierderi prin Foucault).

1.7.2.2. Înfășurări (bobine)

- **Înfășurarea primară** – conectată la sursa de tensiune (ex: 230 V),
- **Înfășurarea secundară** – conectată la consumator, oferă tensiunea transformată.

Numărul de spire din fiecare înfășurare determină raportul de transformare.

1.7.3. Funcționarea transformatorului

Se bazează pe **legea inducției electromagnetice (Faraday)**, care spune:

Orice variație a fluxului magnetic printr-o bobină determină apariția unei tensiuni electromotoare (t.e.m.) în acea bobină.

1.7.3.1. Componente :

1. **Înfășurarea primară (bobina 1)** – unde se aplică tensiunea alternativă.
2. **Miezul magnetic (de fier moale)** – ghidează și concentrează fluxul magnetic.
3. **Înfășurarea secundară (bobina 2)** – unde se induce tensiunea de ieșire.

1.7.3.2. Etapele funcționării:

1. Alimentarea primarului

Se aplică o tensiune alternativă sinusoidală U_1 la înfășurarea primară. Aceasta:

- produce un curent alternativ I_1,
- creează un câmp magnetic variabil în jurul bobinei.

2. Formarea fluxului magnetic

Câmpul magnetic generat de primar:

- este captat și canalizat prin miezul de fier,

- devine un flux magnetic variabil Ø care traversează și secundarul.

Miezul asigură o cuplare magnetică cât mai bună între cele două înfășurări.

3. Inducerea tensiunii în secundar

Conform **Legii lui Faraday**:

$$e = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

În înfășurarea secundară, variația fluxului magnetic Ø induce o tensiune:

- proporțională cu numărul de spire N_2,
- cu formă identică cu tensiunea din primar, dar valoare diferită.

4. Obținerea tensiunii transformate

Raportul dintre tensiunile celor două înfășurări este dat de raportul numărului de spire:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Astfel:

- dacă $N_2 > N_1$ → **tensiune se mărește** → transformator ridicător (în centrale electrice)
- dacă $N_2 < N_1$ → **tensiune se reduce** → transformator coborâtor (la intrarea în locuințe sau aparat

1.7.3.3 Transferul energiei

Energie electrică → câmp magnetic → energie electrică din nou:

electrica (primar) → magnetica (miez) → electrica (secundar)

Nu există contact electric între primar și secundar → **izolație galvanică** între circuite.

1.7.3.4. Puterea transferată:

În ipoteza ideală (fără pierderi):

$$P_1 = P_2 \Rightarrow U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

Deci:

- dacă tensiunea crește, curentul scade (și invers),
- transformatorul **nu creează sau pierde putere**, doar o transformă.

Realitatea: pierderile unui transformator

În practică, există două tipuri de pierderi:

1. Pierderi în miez (fier):

- Pierderi prin histerezis – din cauza magnetizării ciclice,
- Pierderi prin curenți turbionari (Foucault) – se reduc prin miezuri laminate.

2. Pierderi în cupru (ohmice):

- datorate rezistenței înfășurărilor → P=I2·RP = I^2 \cdot RP=I2·R

Transformatoarele moderne au randamente de peste 98%!

1.7.3.5. Avantaje ale transformatoarelor

- Transmit energie pe distanțe mari cu **pierderi mici** (ridică tensiunea și scade curentul),
- Nu au părți mobile → **nu necesită întreținere complexă**,
- Foarte eficiente (randament de peste 95–98% în majoritatea cazurilor).

Important: transformatorul NU funcționează în curent continuu (DC)

Dacă pui tensiune **continuă** pe un transformator:

- Nu apare câmp magnetic variabil,
- Nu se induce nimic în secundar,
- Se pot arde înfășurările (curent continuu duce la suprasarcină).

2. MATERIALE ELECTROTEHNICE. STRUCTURI SI PROPRIETATI

2.1. Conductori electrici

Conductorii sunt materiale care permit trecerea curentului electric cu ușurință, datorită prezenței electronilor liberi. Aceste particule se pot deplasa rapid prin material atunci când se aplică o diferență de potențial (tensiune).

În termeni simpli:

Conductoarele sunt „drumuri libere” pe care circulă electronii fără prea multă rezistență.

2.1.1.. Structura atomică a conductorilor

- Atomii din conductori (de obicei metale) au 1–3 electroni în stratul exterior,
- Acești electroni de valență se desprind ușor și formează un „nor” de electroni liberi,
- Acest „nor” permite curgerea curentului când se aplică o tensiune.

Exemple de materiale conductoare:

Material	**Conductivitate relativă**	**Utilizare principală**
Argint (Ag)	🥇 Cea mai bună	Circuite de precizie, conectori
Cupru (Cu)	Excelentă	Cabluri electrice, transformatoare
Aur (Au)	Foarte bună	Conectori de înaltă fiabilitate
Aluminiu (Al)	Bună și ușor	Linii de înaltă tensiune, cabluri
Fier, oțel	Moderată	Bobine, magneți electrici
Grafit	Bună	Perii pentru motoare, contacte electrice

2.1.2 Proprietăți esențiale ale conductorilor:

1. Conductivitate electrică ridicată – curentul circulă cu pierderi minime.
2. Conductivitate termică bună – conduc și căldura eficient.
3. Ductilitate – pot fi trași în fire subțiri fără să se rupă.
4. Rezistență electrică scăzută – se opun foarte puțin curentului.
5. Luciu metalic – aspect caracteristic datorită interacțiunii cu lumina.

Conductivitatea poate fi afectată de **temperatură** – majoritatea conductorilor își **măresc rezistența** când temperatura crește.

Unele materiale (ex: **superconductori**) devin **perfect conductori** la temperaturi extrem de scăzute → rezistență = 0!

Argintul e cel mai bun conductor cunoscut, dar e prea scump pentru uz general. De aceea, **cuprul** este standardul industrial.

2.1.3. Aplicații practice ale conductorilor:

În electricitate:

- Cabluri electrice (cupru, aluminiu),
- Împământări și bare de distribuție,
- Bobine în motoare și transformatoare.

În electronică:

- Plăci de circuite imprimate (PCB) – trasee din cupru,
- Conectori aurii – în echipamente de mare precizie,
- Folosirea grafitului – la perii pentru motoare CC.

Alte utilizări:

- Senzori termici (termocupluri din metale diferite),
- Sudură electrică (folosește curentul pentru a topi metale).

2.2. Semiconductori electrici

Semiconductori = materiale care au conductivitate electrică intermediară între conductori (ex: cupru) și izolatori (ex: plastic).

Ei nu conduc bine în mod natural, dar pot fi transformați în buni conductori în anumite condiții (căldură, lumină, impurități, tensiune).

2.2.1. Cum devin conductori?

Factori care îi fac să conducă:

1. **Încălzire** – energia termică „eliberează” electroni → se pot mișca.
2. **Dopaj** (impurități introduse controlat):
    - Se introduc atomi cu **mai mulți** sau **mai puțini electroni** decât atomii gazdei.
3. **Radiație** (fotoni, lumină) – folosită în celule solare.

4. **Tensiune electrică** – forțează mișcarea electronilor.

2.2.2. Tipuri de semiconductori

1. Semiconductori intrinseci = puri

- Ex: **Siliciu (Si)**, **Germaniu (Ge)**
- Conductivitate mică → crește odată cu temperatura

2**.** Semiconductori extrinseci = dopați

➤ Tip n (negativ):

- Dopaj cu elemente din grupa V (ex: fosfor, arsenic),
- Se adaugă electroni → **transportul se face prin electroni**.

➤ Tip p (pozitiv):

- Dopaj cu elemente din grupa III (ex: bor, galiu),
- Se creează „goluri” (lipse de electroni) → **transport prin goluri**.

P și N sunt baza **tuturor componentelor electronice moderne**.

2.2.3. Structura atomică

- Fiecare atom are **4 electroni de valență** (ex: **siliciu** și **germaniu**),
- Într-un cristal pur (semiconductor „intrinsec”), atomii formează o **rețea covalentă** stabilă → **nu sunt electroni liberi** = **nu conduce** bine.

2.2.4. Proprietăți importante

Proprietate	Semnificație
Conductivitate variabilă	Poate fi controlată (dopaj, tensiune)
Efect fotoelectric	Produc curent sub lumină
Efect termoelectric	Produc tensiune la încălzire
Comutare rapidă	Trecere între conducere și izolare

2.2.5. Componente realizate din semiconductori

1. **Diodă** – lasă curentul să treacă într-o singură direcție
2. **Tranzistor** – comutator sau amplificator de semnal
3. **LED** – diodă care emite lumină

4. **Fotodiodă** – produce curent sub lumină
5. **Circuit integrat (chip)** – milioane de tranzistori pe o plăcuță de siliciu

2.2.6. Aplicații în viața reală

Sunt „inima” tuturor dispozitivelor moderne:

- Telefoane mobile
- Calculatoare
- Televizoare și ecrane
- Panouri solare
- Mașini electrice
- Sisteme medicale

Siliciul (Si) este cel mai folosit semiconductor deoarece:

- Este **ieftin** (se extrage din nisip),
- Are **stabilitate termică** mare,
- Este ușor de dopat.

2.3. Izolatori

Sunt materiale care nu permit trecerea curentului electric, pentru că electronii sunt puternic legați de atomii lor.

Exemple:

- Plastic, cauciuc, sticlă, ceramică, porțelan,
- Aer (până la o anumită tensiune),
- Lemn uscat, hârtie impregnate cu ulei.

2.3.1. Proprietăți:

- Rezistență electrică foarte mare,
- Protejează împotriva șocurilor electrice,
- Nu se încălzesc semnificativ sub curent normal.

2.3.2. Aplicații:

- Mânere de scule electrice ,
- Izolația firelor și cablurilor ,
- Suporturi de transformator, carcase de echipamente.

2.4. Comparatie – tabel simplu

Proprietate	Conductori	Semiconductori	Izolatori
Conductivitate	Foarte mare	Variabilă	Foarte mică
Electroni liberi	Mulți	Putini/modificabili	Foarte puțini
Exemplu	Cupru, aluminiu	Siliciu, germaniu	Plastic, sticlă

2.5. Materiale cu utilizari speciale

2.5.1. Silicon (etansant sau electronic)

Este material sintetic (polimer) cu consistență de gel sau pastă → elastic, impermeabil, rezistent la temperaturi.

Utilizări:

- Izolare și etanșare: în electronice (plăci de bază, carcase), instalații sanitare, ferestre,
- Silicon termic: uneori confundat cu pasta termoconductoare, dar nu conduce bine căldura.

Precauții:

- Folosește mănuși la aplicare, lasă-l să se întărească complet (24 h),
- Nu-l folosi în zone unde ai nevoie de conductivitate electrică (e izolator!).

2.5.2. Pastă termoconductoare (thermal paste)

Este o substanță cu particule metalice sau ceramice, aplicată între procesor și radiator pentru a conduce căldura eficient.

Utilizări:

- Răcirea componentelor: CPU, GPU, tranzistori de putere,
- Se aplică în strat subțire și uniform pentru eficiență maximă.

Precauții:

- Unele variante sunt conductive electric → atenție să nu atingă pini sau circuite,
- Aplică doar cât e necesar – prea mult = contraproductiv.

2.5.3. Spray-uri tehnice

Exemple:

- Spray contact electric – curăță și degresează contacte electrice,
- Spray siliconic – lubrifiere și protecție pentru plastice, cauciuc,
- Spray răcire rapidă – scade brusc temperatura la testarea componentelor,
- Spray curățare PCB – pentru plăci electronice.

Utilizări:

- Întreținere echipamente electronice și electrice,
- Testare și depanare.

Precauții:

- Ventilează bine zona, nu inhala vaporii,
- Sunt inflamabile! Nu folosi lângă flacără sau echipamente în funcțiune.

2.5.4. Clorura ferică ($FeCl_3$)

Este sare corozivă, folosită în soluție apoasă pentru atac chimic (corodare) a cuprului**.**

Utilizări:

- Gravarea (etching) plăcilor de circuite imprimate (PCB),
- Poți „desena” traseele pe plăci cu o mască, apoi le scufunzi în $FeCl_3$ → dizolvă cuprul expus.

Precauții:

- Corozivă! Poartă ochelari, mănuși, folosește tăvi de plastic,
- Nu arunca la canal – trebuie colectată corespunzător.

2.5.5. Soda caustică (hidroxid de sodiu – NaOH)

Este o substanță chimică foarte alcalină și reactivă → folosită ca degrasant, decapant sau în curățare industrială.

Utilizări:

- În electronice: pentru curățarea stratului de protecție la gravarea cu clorură ferică,
- În curățarea țevilor, fabricarea săpunurilor.

Precauții:

- Extrem de corozivă! Poartă echipament complet de protecție (ochelari, mască, mănuși),
- Reacționează violent cu apă → adaugă întotdeauna soda în apă, nu invers!

2.5.6. Antigel (cu etilen glicol sau propilen glicol)

Este un lichid care scade punctul de îngheț și crește punctul de fierbere al apei → protejează instalațiile de temperaturi extreme.

Utilizări:

- Sisteme de răcire auto,
- Răcirea echipamentelor industriale sau a sistemelor de calcul cu răcire pe lichid (water cooling),
- Uneori folosit și în sisteme solare.

Precauții:

- Toxic (etilen glicol) – nu inhala, nu ingera!
- Se degradează în timp → trebuie înlocuit periodic**.**

2.5.7. Concluzie comparativa:

Material	**Utilizare principală**	**Precauții principale**
Silicon	Izolație, etanșare	Nu conduce electric, nu inhala
Pastă termică	Transfer de căldură (CPU, GPU)	Aplicare precisă, unele sunt conductive
Spray tehnic	Curățare, lubrifiere, răcire	Inflamabil, ventilație bună
Clorură ferică	Corodare plăci PCB	Coroziv, protecție totală
Sodă caustică	Curățare, decapare	Extrem de coroziv, mască+ochelari
Antigel	Răcire instalații, auto, PC	Toxic, se înlocuiește periodic

2.6. Rezistorul

Un rezistor este un component electric care se opune trecerii curentului electric, producând o cădere de tensiune.
Este folosit pentru a limita curentul, diviza tensiunea, proteja circuitele și stabiliza semnalele.

Formula de bază:

$$R = \frac{U}{I}$$

Unde:

- R = rezistența (ohmi, Ω),
- U = tensiune (volți, V),
- I= curent (amperi, A)

2.6.1. Clasificarea rezistoarelor

După valoare:

Tip	Descriere
Rezistoare fixe	Au o valoare constantă (ex: 100 Ω)
Rezistoare variabile	Valoarea se poate regla manual

Exemple: potențiometre, trimeri.

După material de fabricație:

Tip	Caracteristici principale
Cu peliculă de carbon	Ieftine, toleranță mare, uz general
Cu peliculă metalică	Precizie mai bună, zgomot redus
Cu sârmă bobinată	Puteri mari, disipă căldură bine
Cu peliculă de oxid metalic	Mai stabile termic

După puterea disipată:

Putere nominală	Utilizare
0,125 W – 0,5 W	Electronice mici
1 W – 5 W	Circuite de putere
> 5 W	Echipamente industriale

2.6.2. Construcția rezistorului

Indiferent de tip, majoritatea rezistoarelor au următoarele părți:

a) Element rezistiv (materialul activ)

Materialul care determină valoarea rezistenței.
Poate fi:

- Carbon (rezistoare cu peliculă de carbon),
- Metal (peliculă metalică sau sârmă rezistivă),
- Oxid metalic (pentru stabilitate la temperaturi mari).

Acesta transformă energia electrică în căldură, ceea ce limitează curentul.

b) Suport (miez, substrat)

- De obicei este ceramic (material izolator și termorezistent),
- Are rol de susținere mecanică și de izolare electrică.

c) Terminale (pini)

- Din cupru placat (cu cositor, nichel sau aur),
- Asigură conexiunea electrică în circuit (sunt capetele pe care le legi).

d) Strat de protecție / înveliș

- Poate fi din email, lac, plastic sau rășină epoxidică,
- Rol:
  - Protecție mecanică (loviri, zgârieturi),
  - Izolare electrică (împotriva scurtcircuitelor),
  - Protecție împotriva umidității și coroziunii.

e) Marcajul valorii

- Sub formă de benzi colorate (codul culorii) sau inscripție directă (la SMD),
- Indică valoarea rezistenței, toleranța și uneori coeficientul termic.

2.6.3. Marcarea rezistenței – codul culorilor

- Majoritatea rezistorilor mici sunt marcați cu **benzi colorate**, care indică:
- **4 benzi:**

Banda	Ce indică
1	Prima cifră
2	A doua cifră
3	Multiplicatorul (numărul de zerouri)
4	Toleranța (ex: ±5%)

- **Exemplu:**
- **Roșu – Violet – Maro – Auriu**
  → 2 – 7 – ×10 = **270 Ω ±5%**
- **Cod culori:**

Culoare	Cifră	Multiplicator	Toleranță
Negru	0	×1	
Maro	1	×10	±1%
Roșu	2	×100	±2%
Portocaliu	3	×1.000	

Culoare	Cifră	Multiplicator	Toleranță
Galben	4	×10.000	
Verde	5	×100.000	±0,5%
Albastru	6	×1.000.000	±0,25%
Violet	7	$\times 10^7$	±0,1%
Gri	8	$\times 10^8$	±0,05%
Alb	9	$\times 10^9$	
Auriu		×0,1	±5%
Argintiu		×0,01	±10%
Fără			±20%

2.6.4. Construcții specifice în funcție de tipul de rezistor

a) Rezistor cu peliculă de carbon (foarte comun în circuite generale)

- Un strat subțire de carbon este aplicat pe un cilindru ceramic,
- Se taie în spirală pentru a regla rezistența (lungimea căii parcurse de curent),
- Se acoperă cu un strat protector și se inscripționează cu codul culorilor.

Avantaj: ieftin
Dezavantaj: toleranță mare, zgomot electric ridicat

b) Rezistor cu peliculă metalică

- Peliculă subțire de nichel-crom sau alte aliaje este depusă pe miez ceramic,
- Foarte precis și stabil, mai ales în medii sensibile la variații de temperatură.

Utilizat în aparatură medicală, de laborator, telecomunicații.

c) Rezistor bobinat (cu sârmă)

- Sârmă rezistivă (ex: nichelina) bobinată pe un suport ceramic,
- Capabil să dissipeze puteri mari (1 W până la sute de W).

Se folosește acolo unde e nevoie de rezistență la curent mare și temperatură.

d) Rezistoare SMD (montaj de suprafață)

- Miniaturizate, fără terminale „ieșite”,
- Fixate direct pe plăci de circuite imprimate (SMT),
- Construcție plană: peliculă depusă pe substrat ceramic, apoi acoperită cu protecție.

Avantaj: dimensiune redusă, ideal pentru electronice moderne (telefoane, laptopuri)

2.6.5. Influența construcției asupra funcționării

Caracteristică	Influențată de…	Efect
Precizia valorii	Tipul materialului + fabricație	Valoare exactă sau aproximativă
Stabilitate termică	Material, protecție, dimensiune	Variație mică la temperatură
Puterea suportată (W)	Dimensiune + material	Rezistența la încălzire
Zgomot electric	Tip peliculă (carbon vs metal)	Afectează semnalele sensibile
Durata de viață	Protecție + calitate construcție	Rezistență în timp

Construcția unui rezistor influențează direct performanța lui electrică, rezistența în timp și aplicația unde poate fi folosit.

2.7. Condensatorul

Un condensator este un component electric pasiv care stochează energie sub formă de câmp electric între două plăci conductoare separate de un material izolator (numit dielelectric).

Se folosește în:

- Filtrare (redresoare),
- Cuplare / decuplare de semnal,
- Stabilizare tensiune,
- Corectarea factorului de putere.

Mărimea principală: capacitatea electrică (C)

$$C = \frac{Q}{U} \quad [\text{Farad}]$$

Unde:

- C = capacitatea (Farad, F),
- Q = sarcina electrică (Coulomb),
- U = tensiunea (Volt)

Capacitățile cele mai comune în circuite electronice: pF, nF, µF.

2.7.1. Clasificarea condensatoarelor

a) După modul de funcționare:

Tip	Caracteristici principale
Condensatoare fixe	Capacitate constantă
Condensatoare variabile	Capacitate reglabilă manual sau automat

b) După tipul dielectricului (materialul izolator):

Tip condensator	Dielectric	Caracteristici principale
Ceramic	Ceramic (oxid metalic)	Mic, rapid, ieftin, folosit la filtrare
Electrolitic (polarizat)	Oxid metalic + electrolit	Capacități mari, dar polarizat
Tantal	Oxid de tantal	Precis, stabil, mai mic decât electrolitic
Folie (poliester, polipropilenă etc.)	Plastic	Stabil, nepolarizat, folosit la audio
Mică	Mică naturală	Extrem de stabil, uz RF (radiofrecvență)
Variabil	Aer, plastic, ceramic	Folosit în radio, acorduri fine

2.7.2. Construcția condensatorului

Toate condensatoarele au 3 componente esențiale:

1. Armături (plăci)

- Sunt două suprafețe conductoare (din aluminiu, cupru sau tantal),
- Rol: rețin sarcina electrică.

2. Dielectric

- Material izolator între plăci → stochează câmpul electric.
- Poate fi: aer, ceramică, oxid metalic, folie plastică, hârtie impregnată.

3. Carcasă / înveliș

- Protejează condensatorul de umiditate, șocuri, variații termice.
- Materiale: plastic, aluminiu, epoxy.

Exemple:

Condensator ceramic:

- Discuri plate subțiri cu terminale axiale.
- Capacități mici (pF–nF), nepolarizate.

Condensator electrolitic:

- Cilindric, cu polaritate (+/-),
- Capacități mari (1µF – mF),
- Conectat corect: plus la plus, minus la minus!

Condensator SMD:

- Miniaturizat, montaj de suprafață,
- Coduri scrise, fără benzi colorate.

2.7.3. Marcarea condensatoarelor

a) Condensatoare axiale (discuri ceramice, foliă):

- Marcaj cu 3 cifre:
  Ex: 104 = 10 + 4 zerouri = 100.000 pF = 100 nF

Cod	Valoare
101	100 pF
221	220 pF
472	4.700 pF
104	100.000 pF (100 nF)

b) Condensatoare electrolitice:

- Valoarea este scrisă direct pe corp (µF și tensiune maximă admisă)

Exemplu:
1000µF 25V → condensator de 1000 microfarazi, max 25 volți.

Atenție la polaritate: sunt marcați cu o dungă sau semnul „-” pe pinul negativ!

c) Condensatoare SMD (de suprafață):

- De obicei, nu sunt marcate vizibil (doar coduri pentru producători),
- Valoarea este identificată din fișa tehnică (datasheet).

Toleranță și tensiune de lucru

- Toleranța: cât de aproape este valoarea reală de cea marcată (±10%, ±5%, ±1%)
- Tensiunea maximă: tensiunea peste care dielectricul cedează → condensatorul se poate sparge/exploda!

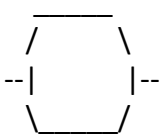
2.7.4. Aplicații ale condensatoarelor

Funcție	Tip condensator utilizat
Filtrare tensiune	Electrolitic + ceramic
Blocare semnal DC	Ceramic / folie
Cuplare/decuplare	Ceramic, tantal
Corectare factor putere	Electrolitic, folie
Oscilatoare / RC-timer	Ceramic / variabil
Memorie temporară	Supercondensatori (GoldCap)

Condensatorul este un component pasiv esențial în electronică, iar materialul dielectric, forma și marcajul determină comportamentul său într-un circuit.

2.8. Bobina

O bobină (sau inductor) este un component electric pasiv format dintr-un fir conductor înfășurat într-o spirală.
Are proprietatea de a opune variațiilor de curent și de a stoca energie în câmp magnetic.



Mărimea principală: Inductanța (L) $L = \frac{\Phi}{I} \quad [H]$

Unde:

- L= inductanța (Henri, H),
- Ø= fluxul magnetic (Weber),
- I = curentul electric (A)

Valori uzuale: µH (microhenri), mH (milihenri)

2.8.1. Construcția unei bobine

Componente de bază:

Componentă	Descriere
Fir conductor	De obicei cupru emailat (izolat cu lac subțire)
Miez	Aer, fier, ferită, ferrit sau alte materiale magnetice

Componentă	Descriere
Carcasă	Uneori prezentă, pentru protecție sau montaj
Terminale	Pini pentru conectarea în circuit

2.8.2. Tipuri de bobine (după miez):

Tip bobină	Caracteristici
Cu miez de aer	Răspuns rapid, uz RF (radio)
Cu miez de ferită	Bună pentru frecvențe joase / medii, inductanță mare
Cu miez de fier laminat	Uz industrial, filtre, transformatoare

2.8.3. Tipuri de înfășurare:

- Axială – înfășurare clasică, cu pini ieșiți
- Toroidală – fir înfășurat pe un miez inelar, cu pierderi reduse
- SMD (montaj de suprafață) – miniaturizate, pentru circuite moderne

2.8.4. Marcarea bobinelor

a) Marcaj numeric (similar condensatoarelor):

- Exemplu: 472 = 47 × 10^2 = 4700 µH = 4,7 mH

Cod	Inductanță
100	10 µH
221	220 µH
473	47.000 µH (47 mH)

b) Coduri de culoare (mai rar întâlnite azi):

Culoare	Cifră	Multiplicator
Negru	0	×1
Maro	1	×10
Roșu	2	×100
Portocaliu	3	×1.000
...	...	...

c) SMD – bobinele de suprafață

- Marcaj codificat sau nicio inscripție → identificarea exactă se face cu datasheet-ul.

2.8.5. Utilizarea bobinelor

a) Circuite electrice

Aplicație	**Rolul bobinei**	**Tip bobină**
Filtre de rețea	Blocare zgomote de înaltă frecvență	Cu ferită, SMD
Stabilizatoare de tensiune (buck/boost)	Stochează energie în câmp magnetic	Bobine cu miez ferită
Transformatoare	Transfer de energie cu inductanță mutuală	Bobine cu miez de fier
Motoare electrice	Parte din înfășurările statorului sau rotorului	Bobine mari

b) Circuite electronice

Aplicație	**Funcție**
Filtrare (filtre LC)	Atenuează anumite frecvențe
Tuning RF	Selectează frecvențe în radio
Oscilatoare	Parte din circuite oscilante LC
Antene	Reglare de impedanță

2.8.6. Comportament în curent alternativ (AC)

- Se opune variațiilor rapide de curent (reactanță inductivă):

$$X_L = 2\pi f L$$

- Cu cât frecvența este mai mare, cu atât se opune mai mult curentului (filtrare în frecvență).

Precauții la utilizare

- Nu suprasolicita curentul maxim → bobina se încinge!
- Atenție la saturația miezului (mai ales la curenți mari)!
- În circuite de semnal – alege bobine cu toleranță mică și pierderi reduse (Q mare).

Bobina este un component esențial pentru filtrare, stocare de energie și control al frecvenței. Construcția și tipul miezului influențează direct aplicația unde poate fi folosită.

2.9. Relee si electromagneti

2.9.1. Electromagnetul este un dispozitiv care produce un câmp magnetic atunci când prin el trece curent electric.

Construcție de bază:

- Bobină: un fir conductor înfășurat (de obicei cupru izolat),
- Miez feromagnetic (fier moale): intensifică câmpul magnetic,
- Când curentul circulă prin bobină → se formează un câmp magnetic.

Câmpul magnetic dispare imediat ce se oprește curentul!

Unde se folosesc electromagneții?

- Sisteme de frânare/control în industrie,
- Electromagneți industriali (ridicarea fierului),
- În relee – pentru comutarea automată a unui circuit,
- Sisteme de blocare/deblocare electromecanică (uși de acces, interfoane),
- Motoare, generatoare, traductoare.

2.9.2. Releul este un comutator electric acționat cu ajutorul unui electromagnet.
Permite controlul unui circuit de putere cu un semnal slab.

Releul acționează mecanic: bobina se energizează → atrage un contact mobil → comută circuitul.

2.9.2.1. Construcția releului:

Componentă	**Rol**
Bobină	Produce câmpul magnetic (electromagnet)
Armătură mobilă	Se mișcă când câmpul magnetic apare
Contacte (NO/NC)	Se închid sau deschid când se mișcă armătura
Arc de revenire	Readuce contactul în poziția inițială
Carcasă	Protecție (plastic, sticlă)

2.9.2.2. Tipuri de contacte:

- NO (Normally Open) – contactul se închide când releul este activat,
- NC (Normally Closed) – contactul se deschide când releul este activat,

- Comutator (SPDT, DPDT, etc.) – schimbă între două circuite.

2.9.2.3. Tipuri de relee:

Tip releu	Caracteristici / Aplicații
Electromecanic	Clasic, cu contacte fizice
Releu temporizat	Acționează după un timp prestabilit
Releu de protecție	Detectează erori (supratensiune, supracurent)
Releu de stare solidă (SSR)	Fără părți mobile, control electronic
Releu auto	Folosit în sistemele electrice auto

2.9.3. Aplicații ale releelor și electromagneților

Domeniu	Utilizare
Automatizări industriale	Comanda motoarelor, pompe, valve
Case inteligente	Control lumini, porți, sisteme de alarmă
Electronice	Separare circuite joasă tensiune / putere
Automotive	Relee pentru faruri, claxon, pornire motor
Siguranță electrică	Protecție la supracurent, supratensiune

2.9.4. Avantaje & Dezavantaje

Avantaje releu electromecanic	Dezavantaje
Izolează electric controlul de sarcină	Contacte se pot uza în timp
Ușor de folosit și de înțeles	Viteză mai mică decât circuitele solide
Suportă tensiuni și curenți mari	Poate produce arcuri electrice

2.9.5. Diferența: Electromagnet vs Releu

Caracteristică	Electromagnet	Releu
Rol principal	Creează câmp magnetic	Comută circuite electrice
Piese mobile	Nu neapărat	Da, are armătură mobilă
Aplicație	Uși automate, ridicare obiecte	Automatizări, comutare sarcini
Are contacte?	Nu	Da (NO, NC, comutare)

2.10. Transformatoare de semnal si de alimentare

Un transformator este un dispozitiv electric fără piese mobile, care funcționează pe bază de inducție electromagnetică, și are rolul de a transfera energie electrică sau semnal între două sau mai multe circuite printr-un câmp magnetic comun.

Componente principale:

Parte	**Funcție**
Înfășurare primară	Primește semnalul sau energia electrică
Înfășurare secundară	Livrează semnalul/energia transformată
Miez magnetic	Canalizează fluxul magnetic dintre înfășurări

2.10.1. Transformator de alimentare

Folosit pentru a furniza energie electrică de la o sursă la o sarcină, modificând tensiunea și curentul.

Caracteristici:

- Transformă 220V AC în 12V, 9V, 5V etc.
- Poate fi izolator (între rețea și circuit),
- Se utilizează în surse de alimentare, încărcătoare, aparate electrice.

Tipuri:

- **Transformator simplu** – două înfășurări, miez de fier,
- **Toroidal** – eficiență ridicată, zgomot scăzut,
- **Transformatoare în comutație (SMPS)** – mici, frecvență mare, folosite în surse moderne.

Parametri importanți:

Parametru	**Ce înseamnă**
Tensiune primară	Tensiunea de intrare (ex: 230V AC)
Tensiune secundară	Tensiunea de ieșire (ex: 12V AC)
Putere nominală	Puterea maximă livrabilă (ex: 30W)
Raport de transformare	NsNp\frac{N_s}{N_p}NpNs între spirele secundar/primar

2.10.2. Transformator de semnal (de cuplaj)

Nu transmite energie mare, ci semnale electrice de joasă putere între circuite, păstrând forma semnalului, dar izolând electric cele două părți.

Caracteristici:

- Folosit în audio, radio, telecomunicații, amplificatoare,
- Asigură adaptarea impedanței și izolare galvanică,
- Poate elimina zgomotul (interferențe de masă),
- Nu e proiectat să suporte sarcini mari.

Exemple:

Tip aplicație	**Rolul transformatorului de semnal**
Audio (ex: amplificatoare)	Separă etajele de amplificare, adaptează impedanțele
Telefonie	Cuplează semnalul între circuite
Rețele (Ethernet)	Filtrare, izolare și protecție
RF (radiofrecvență)	Adaptare antenă / receptor

2.10.3. Diferențe-cheie între transformatoare de alimentare și de semnal:

Caracteristică	**Transformator de alimentare**	**Transformator de semnal**
Scop	Transferă putere electrică	Transferă semnal
Dimensiuni	Mai mari	De obicei mici
Frecvență de lucru	50/60 Hz (sau SMPS: kHz–MHz)	Audio, RF, frecvențe înalte
Putere transportată	Zeci – mii de wați	Milivați – câțiva wați
Izolare galvanică	Da	Da
Forma semnalului	Nu e critică	Trebuie păstrată fidel
Miez	Fier laminat / ferită	Ferită sau aer

2.10.4. Exemple practice:

Transformator de alimentare:

- Într-un încărcător de telefon:
  230V AC → transformator → 12V AC → redresor → 5V DC

Transformator de semnal:

- Într-un mixer audio:
  adaptează semnalul între microfon și amplificator, protejând echipamentele

2.10.5. Ce trebuie verificat când alegi un transformator:

Pentru alimentare:

- Puterea maximă (W),
- Tensiunea de intrare/ieșire,
- Frecvența rețelei (50/60 Hz),
- Izolarea și standardele de siguranță.

Pentru semnal:

- Gama de frecvențe suportate,
- Raportul de impedanță,
- Linearitatea și fidelitatea semnalului.

Transformatorul de alimentare lucrează cu energie mare și schimbă tensiunea, în timp ce **transformatorul de semnal** lucrează cu semnale de joasă putere, păstrând forma și calitatea semnalului.

Ambele oferă **izolare galvanică** între circuite.

2.11. Cabluri și conductori

Un conductor este un material (de obicei metalic) care permite trecerea curentului electric.

Un cablu este un ansamblu de unu sau mai mulți conductori izolați, grupați împreună pentru a transporta energie sau semnal electric.

2.11.1. Structura generală a unui cablu electric

Componentă	**Funcție**
Conductor	Nucleul metalic (cupru/aluminiu) – transportul curentului
Izolație	Strat dielectric (ex: PVC, cauciuc) – protejează împotriva contactului
Ecranaj *(uneori)*	Protejează semnalul de interferențe (în cabluri de date/audio)
Mantă exterioară	Protecție mecanică și împotriva umezelii

2.11.2. Clasificarea conductorilor

a) După material:

Material	**Avantaje**	**Exemple de utilizare**
Cupru	Conductivitate excelentă, flexibil	Majoritatea instalațiilor

Material	Avantaje	Exemple de utilizare
Aluminiu	Mai ușor și mai ieftin, dar conductivitate mai mică	Rețele electrice de medie/înaltă tensiune
Oțel, nichel, aur	Folosite în aplicații speciale (rezistență, semnale fine)	Instrumentație, echipamente RF

b) După construcție:

Tip conductor	Descriere	Utilizare
Plin (solid)	Fir unic, rigid	Instalații fixe, pereți, tablouri
Litat (flexibil)	Din mai mulți fire subțiri	Aplicații mobile, echipamente

2.11.3. Clasificarea cablurilor

a) După scopul utilizării:

Tip cablu	Utilizare principală
Cabluri electrice de alimentare	Transportă energie (230V, 400V etc.)
Cabluri de date	Semnal digital (rețea, USB, HDMI)
Cabluri coaxiale	Transmisii RF, televiziune, antene
Cabluri audio/video	Transmisie semnal audio sau video
Cabluri pentru curenți slabi	Sisteme de alarmă, interfonie, senzori

b) După tensiunea de lucru:

Tip cablu	Domeniu
Joasă tensiune (<1 kV)	Instalații casnice, birouri
Medie tensiune (1–20 kV)	Rețele locale de distribuție
Înaltă tensiune (>20 kV)	Rețele de transport energie electrică

2.11.4. Simboluri și coduri de identificare

Pe cabluri:

Exemplu: NYY-J 3x2.5mm²

Parte cod	Înseamnă
NYY	Cablu izolat PVC pentru energie
J	Cu fir verde-galben (Pământ)
3x2.5	3 conductori, secțiune 2.5 mm²

Culori standardizate (Europa):

Culoare	**Semnificație**
Maro / Negru / Gri	Fază (L)
Albastru	Nul (N)
Verde-Galben	Împământare (PE)

2.11.5. Alegerea corectă a cablului

Trebuie ținut cont de:

- Tensiunea de lucru (230V, 400V etc.),
- Curentul maxim suportat (în A),
- Secțiunea conductorului (mm²) → afectează încălzirea și pierderile,
- Mediu de utilizare (interior, exterior, umiditate, temperatură),
- Flexibilitate sau rigiditate necesară.

Exemplu: pentru o priză obișnuită → cablu cu 3 fire × 2.5 mm²

2.11.6. Dezizolarea conductorilor

Dezizolarea înseamnă îndepărtarea izolației de pe capătul conductorului pentru a permite conectarea acestuia într-un circuit.

Unelte folosite:

Unealtă	**Descriere**
🔹 Patent pentru dezizolat (stripper)	Reglează automat adâncimea și secțiunea firului
🔹 Cutter / cuțit de electrician	Pentru cabluri groase, dar necesită atenție
🔹 Cleste universal	Are zonă specială de dezizolare

Sfaturi utile:

- Nu tăiați firele de cupru!
- Dezizolarea trebuie să fie curată și precisă, fără a deteriora conductorul.

- Lungimea dezizolării: în funcție de conectorul folosit (de obicei 5–10 mm).

2.11.7. Mufarea conductorilor

Mufarea înseamnă unirea permanentă sau temporară a doi sau mai mulți conductori.

Tehnici de mufare:

Tip mufare	Metodă	Exemple de utilizare
Prin răsucire + izolare	Fir cu fir, apoi bandă izolatoare	Provizoriu sau improvizat
Prin cleme de tip WAGO	Cleme rapide, sigure și refolosibile	Instalații casnice moderne
Prin conectori terminali (șurub sau arc)	Se fixează conductorul în clemă	Tablouri electrice, prize
Mufare cu papuci terminali	Firul este sertizat într-un papuc	Conectare la borne (ex: întrerupătoare)
Mufare cu cositorire (lipire cu fludor)	Foarte sigură, dar necesită pistol de lipit	Circuite electronice
Prin manșoane termo-contractabile	Se aplică căldură pentru a fixa izolarea	Protejează zona de contact

Unelte pentru mufare:

- Cleste de sertizat (crimping tool) – pentru papuci și terminale,
- Pistol de lipit / letcon – pentru cositorire,
- Pistol de aer cald / brichetă – pentru mansoane termo-contractabile.

2.11.8. Conectarea conductorilor

Conectarea se referă la fixarea capătului dezizolat al conductorului într-un dispozitiv electric: priză, întrerupător, bornă, șină, etc.

Metode uzuale:

Metodă	Detalii și aplicații
Prin șurub (borne)	Conductor introdus și strâns
Prin arcuri (cleme rapide)	Se apasă și se introduce conductorul
Prin sertizare în papuci	Contact bun, rezistent la vibrații
Cositorire directă pe placă PCB	În electronice (microcontrolere, senzori)

Recomandări:

- Nu lăsa conductorii liberi – întotdeauna fixați și izolați bine.
- Nu combina aluminiu cu cupru direct (oxidare, pericol de incendiu) – folosește mufe speciale bimetalice.
- Verifică tăria fixării – conductorul nu trebuie să iasă dacă tragi ușor de el.

Exemplu practic – Conectarea unui cablu într-o doză electrică

1. Dezizolezi cablul principal (cu atenție, fără a tăia firele).
2. Dezizolezi fiecare conductor interior (fază, nul, împământare).
3. Conectezi fiecare fir la cleme rapide WAGO sau borne cu șurub.
4. Izolezi bine zona de îmbinare dacă nu folosești conectori gata făcuți.
5. Montezi capacul dozei și etichetezi dacă e cazul.

Tehnicile corecte de dezizolare, mufare și conectare asigură siguranța, funcționarea corectă și durabilitatea unei instalații electrice. Un contact prost făcut poate duce la scântei, căldură, ardere sau incendiu.

2.11.9. Aplicații practice

Domeniu	**Cabluri uzuale folosite**
Instalații electrice casnice	Cabluri NYY, FY, MYF, FYY
Mașini și echipamente industriale	Cabluri rezistente la ulei/temperatură
IT / Rețele	Cablu UTP, FTP, coaxial
Audio/video	Cablu RCA, jack, HDMI, optic
Automotive	Cabluri flexibile cu izolație specială

Conductoarele sunt materialul prin care curentul circulă, iar cablurile sunt ansambluri care protejează, izolează și organizează acești conductori.

Alegerea corectă a cablului este esențială pentru siguranță, eficiență și durabilitate în orice instalație electrică.

Bibloiografie

1. **Gh. Toma, Gh. Mihăilă, I. Teodoreanu** - *Electrotehnică*
2. **Popa, Gheorghe** – *Bazele electrotehnicii*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 2018.

3. **Mircea Covrig** - *Mașini electrice*
4. **Ioan Cioată, Al. Cozma** - *Bazele electrotehnicii*
5. **Necula, Cristian** – *Instalații electrice*, Editura Matrix Rom, București, 2016.
6. **Mihail Ceaușu, Vasile Ionescu** - *Transformatoare și mașini electrice*
7. **C. Dinescu** - *Mașini electrice. Teorie și aplicații*
8. **Tănasă, Vasile** – *Mașini electrice. Construcție și funcționare*, Editura Tehnică, 2015.
9. **Mihăilescu, Radu** – *Electronica generală*, Editura Teora, București, 2017.
10. **Manual de utilizare WAGO** – *Tehnici de conectare și cablare electrică*,
11. **Catalog Phoenix Contact** – *Conectoare, cabluri și borne pentru automatizări*,
12. **IEC Standards** – *Electric cables – selection and installation guidelines*, International Electrotechnical Commission.
13. **Codul Tehnic al Instalațiilor Electrice – I7** – Ministerul Dezvoltării, România, actualizat 2022.
14. **Datasheet-uri componente** – STMicroelectronics, Vishay, Siemens, Schneider Electric.