

## Cap. 12 MAGNEȚI, ELECTROMAGNEȚI ȘI ACȚIONĂRI ELECTRICE

### 12. 1 Introducere

Materialele magnetice sunt substanțe care deformează câmpul magnetic, concentrând un număr mare de linii de câmp în spațiul ocupat de ele. În stare magnetizată ele exercită forțe de atracție asupra materialelor feromagnetice. Materialele magnetice dure sunt caracterizate prin reținerea stării de magnetizare și după întreruperea câmpului magnetic exterior. Din materialele magnetice dure se produc **magneții permanenți**.

**Magneții permanenți** sunt utilizați în diverse aplicații pentru a produce fie energie - electrică, mecanică sau acustică - fie forțe de atracție sau de repulsie asupra unor materiale feromagnetice. Aceștia au o largă aplicabilitate în construcția servomotoarelor electrice, traductoare, dispozitive de ridicare și prindere, aparate de măsură etc. În acest context aceștia se regăsesc atât în domeniul mecanicii fine cât și cel al roboților industriali.

Introducerea unei substanțe feromagnetice într-un solenoid, parcurs de un curent electric, duce la întărirea intensității câmpului magnetic creat de către acesta. Ansamblul solenoid cu substanța feromagnetică formează un **electromagnet**.

**Electromagneții** sunt utilizați pentru a transforma energia electrică în energie mecanică, pentru a crea forțe de atracție sau repulsie etc. Construcția simplă și funcționarea sigură determină ca domeniile de utilizare ale acestora să fie foarte extinse. În domeniul mecanicii fine, electromagneții sunt utilizați pentru realizarea contactoarelor, releelor, pentru acționarea unor mecanisme cu mișcare intermitentă etc.

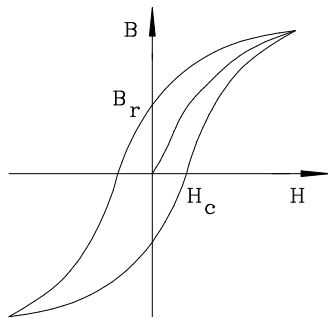


Fig.12.1

### 12. 2. Breviar de magnetostatică

Un sistem fizic format din corpuri și câmp electromagnetic se găsește în regim magnetostatic când corpurile se găsesc în imobilitate relativă, toate mărimile de stare electrică sunt nule iar mărimile locale de stare magnetică nu depind de timp.

Variația inducției magnetice în funcție de câmpul magnetic aplicat redă curba de magnetizare. Complexitatea și diversitatea contribuțiilor în procesul de magnetizare imprimă caracterul neliniar al curbei de magnetizare. Inducția sau magnetizarea care rămâne într-un circuit magnetic închis, după magnetizarea și întreruperea câmpului magnetizant, se numește inducție remanentă  $B_r$ . Câmpul magnetic care anulează magnetizarea se numește câmp coercitiv  $H_c$ . Curba de variație  $B = f(H)$  (de la o valoare  $-H$  la o valoare  $+H$ ) se numește ciclul de histereză (fig. 12.1).

**Legea fluxului magnetic.** Fluxul inducției magnetice instantanee este nul prin toate suprafețele închise  $\Sigma$  care se pot trasa în câmpul magnetic:

$$\int_{\Sigma} \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (12.1)$$

**Teorema potențialului magnetostatic.** În absența curenților electrici și a inducției electrice variabile în timp, tensiunea magnetomotoare din lungul oricărei curbe închise din câmp este nulă:

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{r} = 0 \quad (12.2)$$

**Legea legăturii dintre inducție, intensitate și polarizație.** Inducția magnetică locală și instantanee este funcție lineară și omogenă de intensitatea locală instantanee a câmpului magnetic și de magnetizația instantanee locală:

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot (\vec{H} + \chi \cdot \vec{M}) \quad (12.3)$$

În literatura de specialitate încă se folosește foarte des sistemul de unități CGS în loc de sistemul SI unanim acceptat.

În sistemul SI (caracterizat pentru LMT de sistemul MKS, pentru curenți de amper) sunt introduse unitățile (A/m) pentru intensitatea câmpului magnetic și respectiv (T) pentru inducția magnetică.

**Observație.**

In corelare cu cele spuse anterior se impun câteva relații de legătură dintre unitățile de măsură din sistemele de unități.

$$\frac{1\text{A}}{\text{m}} = 4\pi 10^{-3} \text{Oe} \quad (12.4)$$

unde (Oe) (oersted) reprezintă unitatea de intensitate a câmpului magnetic în sistemul CGS.

$$1\text{T} = 10^4 \text{Gs} \quad (12.5)$$

unde (Gs) (gauss) este unitatea de măsură pentru inducția magnetică în sistemul CGS.

Permeabilitatea magnetică a vidului are valoarea

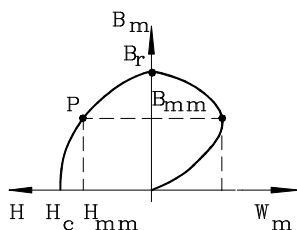


Fig. 12.2

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}} \left[ \text{sau } \frac{\text{N}}{\text{A}^2} \right] \quad (12.6)$$

**Teorema refracției liniilor de câmp.** La trecerea prin suprafețe care separă două corpuri, 1 și 2, de permeabilități magnetice diferite, vectorii intensitate și inducție magnetică suferă modificările descrise de relațiile:

$$B_{n1} = B_{n2} \quad H_{t1} = H_{t2} \quad (12.7)$$

din care rezultă relația:

$$\frac{\text{tg}\alpha_1}{\text{tg}\alpha_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \quad (12.8)$$

unde  $\alpha_1$  și  $\alpha_2$  sunt unghiurile de incidență a liniilor de câmp pe suprafețele de separație.

Caracteristica de bază a materialului magneților permanenți este curba de “demagnetizare” reprezentată prin porțiunea din cadranul II al ciclului de histereză (fig.12.2). Din punct de vedere cantitativ un magnet permanent poate fi caracterizat prin energia localizată în materialul magnetic și definită prin relația:

$$W_m = \frac{B_m \cdot H_m}{2} \quad (12.9)$$

Se observă că această energie variază de la zero la o valoare maximă corespunzătoare punctului P de pe caracteristică.

## 12. 3 Utilizarea magneților permanenți

### 12. 3. 1. Introducere

Utilizarea corectă a magneților permanenți (fig.12.3) este influențată în mare măsură de circuitul magnetic care este completat cu material de reluctanță mică și inducție de saturație mare. După scopul urmărit, se folosește fierul moale sărac în carbon, fier silicios, diferite sorturi de permalloy sau aliaje cu cobalt. Concentrarea fluxului magnetic este posibilă prin utilizarea unor piese polare aplicate pe magnet

astfel încât întrefierul să fie minim (fig.12.4). Fixarea se realizează în general prin lipire.

Deseori circuitul magnetic are o formă relativ complicată care nu poate fi realizată pentru magnet. In aceste cazuri magnetul se va realiza sub formă simplă iar circuitul magnetic se va completa cu piese polare corespunzătoare (fig.12.5). Închiderea liniilor de câmp este prezentată în figura 12.6. Poziția magnetului trebuie aleasă astfel încât să se asigure o dispersie minimă a fluxului și concentrarea fluxului magnetic în întrefier.

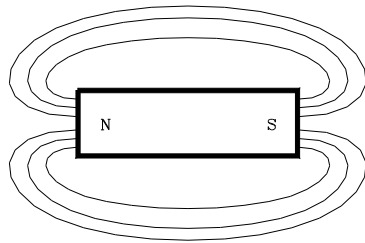


Fig. 12.3

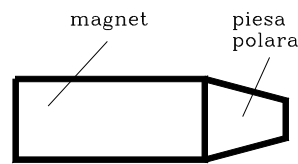


Fig. 12.4

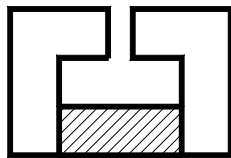


Fig. 12.5

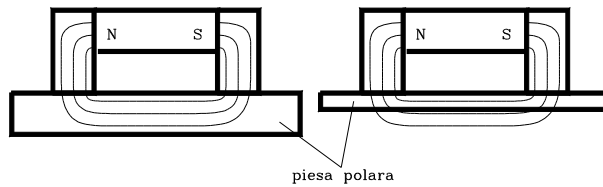


Fig. 12.6

Amplasarea magnetului în circuitul magnetic este o condiție esențială pentru o proiectare corectă.

În figura 12.7 se prezintă amplasarea magnetului în trei poziții diferite pentru un circuit de o aceeași formă. Forma "a" este cea mai favorabilă iar forma "c" cea mai defavorabilă, dispersiile crescând în același sens.

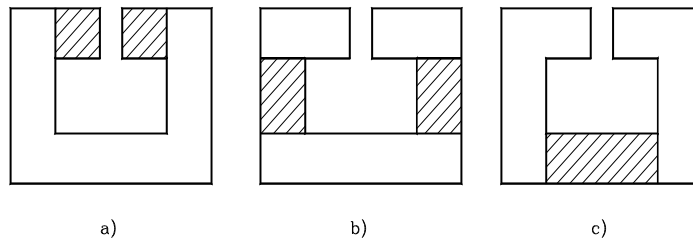


Fig. 12.7

O aplicație extrem de răspândită a magneților permanenți este cea **de fixare** a unei piese feromagnetice. Trebuie deosebite două situații distincte de lucru:

- atunci când magnetul este în contact direct cu piesa feromagnetică
- atunci când magnetul trebuie să atragă de la o distanță oarecare un corp feromagnetic.

În ambele cazuri forța de prindere poate fi micșorată prin scurtcircuitarea parțială sau totală a magnetului sau prin demagnetizarea parțială sau totală a acestuia.

Soluția prin demagnetizare și remagnetizare este des utilizată în aplicațiile în care forța de fixare este mare iar timpii de eliberare sunt reduși. Pentru magnetizare și remagnetizare se utilizează echipamente alimentate prin impulsuri care permit reglaje simple și câmpuri de valori convenabile. În comparație cu electromagneții energia utilizată pentru remagnetizare este neglijabilă.

În figura 12. 8 a, b se prezintă două sisteme de prindere cu magneți permanenți

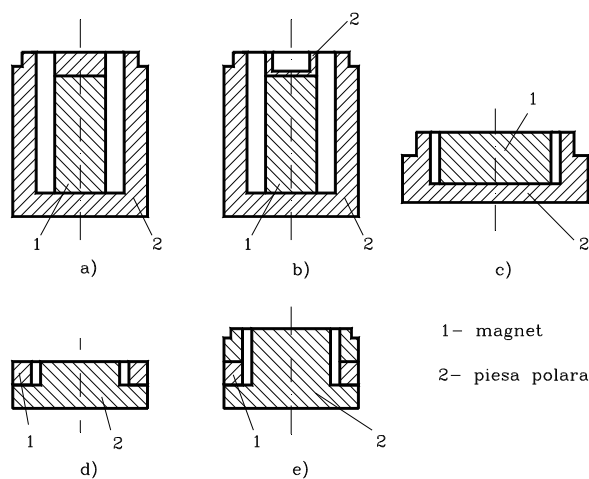
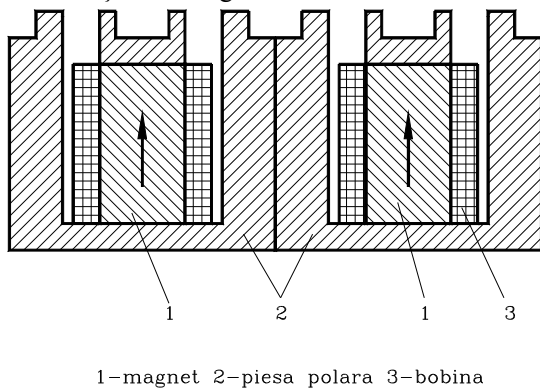


Fig. 12. 8

din aliaj Alnico. Comparativ în figura 12.8 c, d, e sunt prezentate variante de sisteme de prindere cu magneți din ferită de bariu. Forțele magnetomotoare sunt mai mici decât în primele cazuri (magneți pe bază de Alnico) și cresc de la varianta "c" spre "e".

În figura 12.9 este prezentat un sistem de prindere, pe bază de aliaj Alnico, care este prevăzut și cu bobină de demagnetizare. Săgețile

arată direcțiile de magnetizare.



1-magnet 2-piesa polara 3-bobina

Fig. 12.9

Variante ale sistemelor de prindere cu utilizarea de magneți permanenți pe bază de ferită de bariu sunt prezentate în fig.12.10 (1-magnet, 2- piesă polară). Varianta din fig.12.10 b, c sugerează posibilitatea fixării în bune condiții a unei piese de dimensiune transversală redusă

(în contradicție cu varianta din fig.12.6).

O altă aplicație de largă utilitate este cea pentru ridicarea unor piese feromagnetice. În această direcție metoda este folosită în robotică pentru realizarea efectorilor magnetici.

Dispozitivele de prehensiune magnetice sunt recomandate pentru manipularea pieselor feromagnetice de formă complexă și suprafețe de fixare mari. Piesele de formă rotundă au posibilitatea de a se rostogoli peste suprafața magnetului. În cazul pieselor realizate din oțeluri înalt aliate, se impune să se realizeze o testare inițială a materialului pentru a se determina existența proprietăților de fixare magnetice.

În figura 12.11 se prezintă modalitatea de fixare a unei piese cu un dispozitiv de prehensiune magnetic. Magnetul permanent **1** este de construcție plată, dintr-un material cu remanență magnetică mare și este fixat prin lipire în corpul suport **2** din alamă. Ansamblul este fixat la rândul său în suportul **3** al dispozitivului de prehensiune atașat dispozitivului de ghidare **DG**. Operația de prindere poate fi considerată de productivitate medie. Desprinderea piesei **4** se poate face prin smulgere sau tragere, necesitând adaptarea unor măsuri constructive speciale pentru corpuri de formă complexă. Tragerea orizontală necesită o forță mai redusă (aprox. 25 %) decât smulgerea normală. Dezavantajul constă în fixarea pe magnet a așchiilor și piliturilor metalice. În cazul unui extractor de tip pârghie, smulgerea este realizată cu ajutorul unui motor liniar pneumatic.

Forța de prindere depinde esențial de stratul de aer dintre magnet și piesa de prehensat. În tabelul 12.1 se indică modul cum este influențată forța de fixare de dimensiunea stratului de aer. Dispozitivul de prehensiune este cu magneți cilindrici, diametru  $\Phi 40$  mm, cu forța nominală de fixare de 240 N.

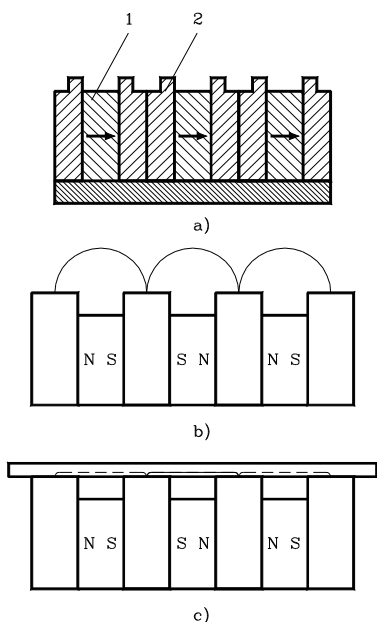


Fig. 12.10

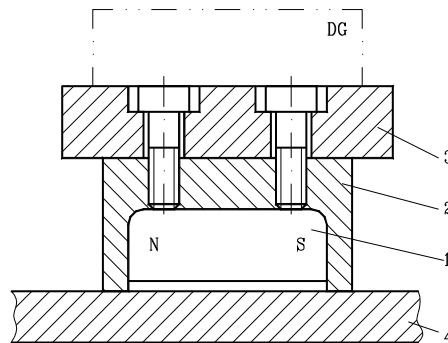


Fig. 12.11

Suprafețele rugoase, murdare și oxidate (rugină, țunder, etc.) măresc grosimea stratului de

aer micșorând forța de fixare. Împiedicarea alunecării poate fi asigurată prin știfturi limitatoare.

O problemă aparte o constituie aplicațiile legate de extragerea foaie cu foaie a tablelor, dintr-o stivă. În acest scop magneți permanenți se dimensionează astfel ca să asigure un câmp magnetic de acțiune limitat doar în apropierea tablei.

Platurile magnetice prezintă o altă aplicație a magneților permanenți. Pentru așezarea pieselor pe mesele sau dispozitivele magnetice, magneții sunt șuntați, iar după așezarea pieselor șuntul este îndepărtat (fig.12. 12).

Fixarea sau ridicarea pieselor este condiționată de realizarea unei anumite forțe portante.

Tabelul 12.1

	Întrefierul [mm]					
	0,05	0,20	0,4	0,6	0,8	1,0
Forța de prindere relativă [%]	80	50	33	27	22	18
Forța de prindere [N]	192	120	80	65	53	44

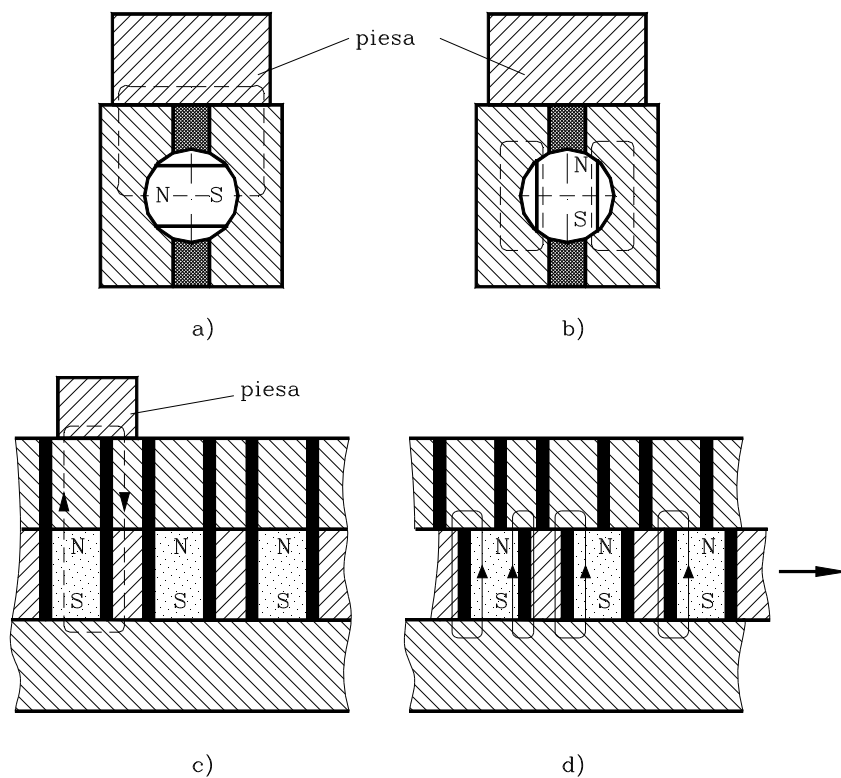


Fig. 12.12

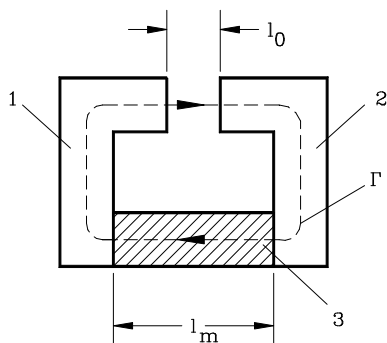


Fig. 12.13

Pentru explicitarea dimensionării unui magnet și a calculului forței portante considerăm circuitul magnetic din figura 12.13 format din piesele polare “1” și “2” și magnetul “3”. Circuitul prezintă un întrefier de lungime  $l_0$  și secțiune transversală  $A_0$ . Magnetul are lungimea  $l_m$  și secțiunea transversală  $A_m$ . Curba de demagnetizare pentru magnetul considerat, funcție de materialul admis (permiabilitate relativă  $\mu_r$ ), este prezentată în figura 12.14 ( $B_r$  - inducția remanentă;  $H_c$  - intensitatea câmpului magnetic coercitiv).

După încetarea operației de magnetizare se constată că inducția magnetică scade corespunzător unui punct de funcționare P de pe curba de magnetizare.

Pentru un calcul practic al circuitului magnetic se pot neglija porțiunile corespunzătoare pieselor polare (din fier moale cu  $\mu_r \rightarrow \infty$  și deci  $H = 0$ ). Aplicând legea circuitului magnetic pe curba ( $\Gamma$ ) se obține:

$$H \cdot l_m + H_0 \cdot l_0 = 0$$

ținând cont de dispersia în întrefier, fluxul magnetic în întrefier este dat de relația:

$$B_0 \cdot A_0 = k \cdot B \cdot A_m \quad (12.11)$$

unde “B” reprezintă inducția în magnet. Din relațiile anterioare se poate deduce intensitatea câmpului magnetic în magnet:

$$H = H_d = -\frac{B \cdot A_m \cdot l_0}{\mu_0 \cdot A_0 \cdot l_m} \quad (12.12)$$

Relația anterioară reprezintă ecuația unei drepte ( $\Delta$ ), în sistemul de axe B - H, de coeficient unghiular:

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{\mu_0 \cdot l_m \cdot A_0}{k \cdot l_0 \cdot A_m} \quad (12.13)$$

Punctul de funcționare se află la intersecția curbei ( $\Gamma_1$ ) și a dreptei ( $\Delta$ ). Mărima

$$N_B = k \cdot \frac{l_0 \cdot A_m}{l_m \cdot A_0} \quad (12.14)$$

poartă denumirea de factor de demagnetizare.

Din curba de demagnetizare se determină inducția “ $B_d$ ” corespunzătoare punctului de funcționare “P” și în mod corespunzător inducția din întrefier:

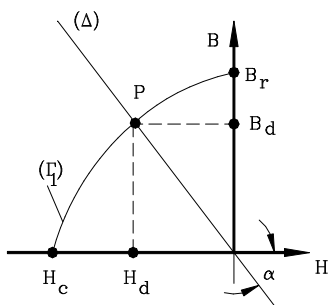


Fig. 12.14



$$B_0 = k \cdot \frac{A_m}{A_0} \cdot B_d \quad (12.15)$$

Din energia localizată în întrefier

$$W_m = \frac{B_0^2 \cdot A_0 \cdot l_0}{2 \cdot \mu_0} \quad (12.16)$$

se poate determina forța portantă:

$$F = \frac{B_0^2 \cdot A_0}{2 \cdot \mu_0} \quad (12.17)$$

Din valorile  $B_d$  și  $H_d$  se poate dimensiona în continuare magnetul.

## 12. 4 Utilizarea electromagneților

### 12. 4. 1 Introducere

Electromagneții sunt aparate electrice utilizate pentru acționarea unor contactoare, relee, mecanisme cu mișcare intermitentă etc.

Clasificarea electromagneților se face după mai multe criterii:

- modul de lucru: atragere și elevator;
- curentul de alimentare: de curent continuu și curent alternativ;
- modul de conectare în circuit: serie și paralel;
- regimul de funcționare: de durată, intermitent și de scurtă durată;
- rapiditatea în acționare: rapizi (0.003 s - 0.004 s), normali, cu temporizare (> 0.3 s)
- mișcarea armăturii: de translație și de rotație.

În figura. 12.15 sunt prezentate variante constructive ale electromagneților (1- armătură mobilă, 2- bobină, 3- carcasă).

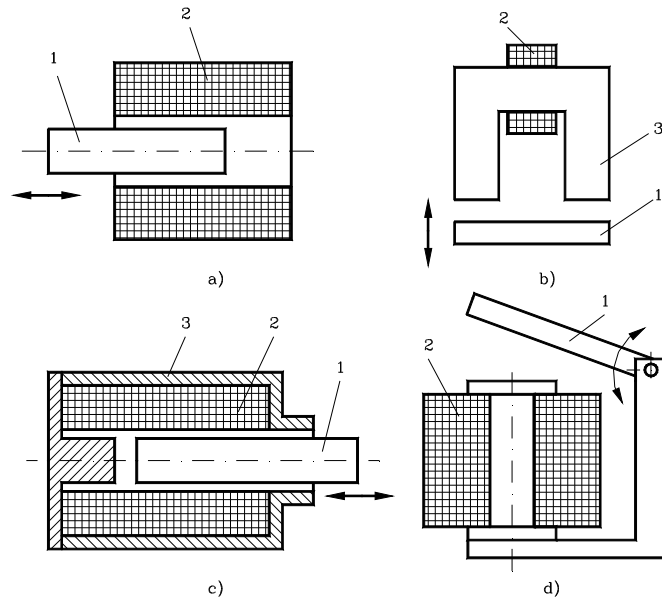


Fig. 12.15

#### 12. 4. 2 Energia și forța de atracție la electromagneți

Se consideră varianta principală a unui electromagnet a cărei bobină este conectată la o sursă de tensiune  $U$ . La parcurgerea bobinei de excitație de curentul "I", pe suprafețele de separație ale armăturii fixe și a celei mobile apar forțe de atracție care tind să reducă întrefierul " $\delta$ " (fig.12.16).

Din punct de vedere electric, un electromagnet reprezintă o bobină reală cu miez feromagnetic.

Forța de atracție a unui electromagnet de curent continuu se determină pornind de la energia magnetică  $W_m$  localizată în întreg sistemul ( $x$  - deplasarea armăturii mobile):

$$F = -\frac{\partial W_m}{\partial x} \quad (12.18)$$

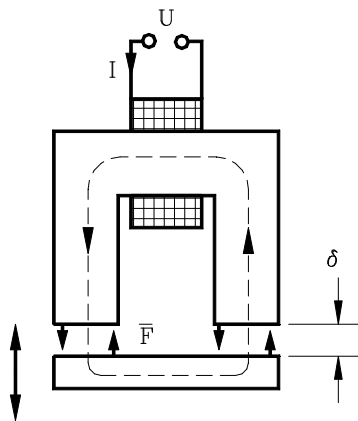


Fig. 12.16

Semnul “-” semnifică diminuarea întrefierului cu creșterea forței.

Energia magnetică acumulată într-un sistem poate fi definită prin una din relațiile:

$$W_m = \sum \frac{I_k \cdot \Phi_k}{2} \quad (12.19)$$

$$W_m = \int_V \frac{\vec{B} \cdot \vec{H}}{2} \cdot dV \quad (12.20)$$

Utilizând relația (12.19) energia magnetică se poate exprima funcție de inductivitatea bobinei prin:

$$W_m = \frac{L_0 \cdot I^2}{2} + \frac{L_d \cdot I^2}{2} \quad (12.21)$$

unde primul termen definește energia magnetică din întrefier iar cel de-al doilea energia de dispersie.

Utilizând relația (12.21), ținând cont că cel de-al doilea termen nu depinde de întrefier și aproximând inductivitatea  $L_0$  prin valoarea:

$$L_0 \cong \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot A}{2 \cdot \delta} \quad (12.22)$$

se obține valoarea forței  $F$  dezvoltate de electromagnet:

$$F = \frac{I^2 \cdot N^2 \cdot \mu_0 \cdot A}{4 \delta^2} \quad (12.23)$$

unde:  $N$ - numărul de spire ale bobinei;  $A$ - secțiunea transversală a întrefierului;  $\mu_0$ - permeabilitatea magnetică a vidului.

Forța de atracție depinde de de forma electromagnetului, de poziția relativă a armăturii și a miezului etc.

Caracteristicile statice ale electromagnetului se pot exprima sub forma dependențelor:

- $F = f(IN)$  sau  $M = \varphi(IN)$  pentru  $\delta$  respectiv  $\alpha = \text{const}$ .
- $F = f(\delta)$  sau  $M = \varphi(\alpha)$  pentru  $IN = \text{const}$ .

unde:  $F, M$  - forța, în sens generalizat, care acționează asupra armăturii mobile;  $\delta, \alpha$  - întrefierul util dintre armătură și miez;  $IN$ - forța magnetomotoare a bobinei.

Potrivit bilanțului energetic al electromagnetului, forța electromagnetică care se exercită asupra sistemului mobil, depinde de variația energiei magnetice înmagazinată în întregul spațiu ocupat de câmpul magnetic al electromagnetului. Acest spațiu cuprinde următoarele domenii distincte: întrefierurile de lucru și parazite, zonele ocupate de fluxurile de dispersie și circuitele feromagnetice. În majoritatea cazurilor căderea de tensiune magnetică în circuitul de fier este neglijabilă și dacă se mai neglijează saturația fierului și dispersia câmpului se poate concluziona că la determinarea forței de atracție se va lua în considerare numai variația energiei localizată în întrefierurile de lucru.

Spre deosebire de electromagneții de curent continuu la care forța este constantă, la electromagneții de curent alternativ, fluxul variază în timp astfel că forța are o variație pulsatorie. Dacă se admite o variație sinusoidală a inducției magnetice, forța electromagnetică are expresia:

$$F_{em} = \frac{B_{\delta}^2 \cdot S}{2 \cdot \mu_0} \cdot \sin^2 \omega t = \frac{F_m}{2} - \frac{F_m}{2} \cdot \cos 2\omega t \quad (12.24)$$

Componenta variabilă a forței generează vibrația nedorită a componentei mobile a electromagnetului. Aceste vibrații dacă persistă pot provoca o ieșire rapidă din uz a electromagnetului. Pentru eliminarea vibrațiilor se recomandă următoarele metode:

- mărirea masei armăturii mobile pentru a se obține un moment de inerție mai mare, astfel ca mișcarea armăturii să nu poată urmări variația forței de atracție;
- producerea a două forțe defazate în timp, astfel ca atunci când una se anulează cealaltă să fie diferită de zero. Cea mai răspândită metodă este cea de ecranare a unei părți din suprafața polară a miezului cu o spiră în scurtcircuit.

#### **12.4.2 Regimul dinamic al electromagneților de curent continuu**

Experiența arată că legile de variație ale curentului și ale fluxului magnetic, în funcție de întrefier, diferă după cum armătura este fixă sau mobilă. În orice moment este valabilă ecuația circuitului electric echivalent:

$$U = i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL}{dt} \quad (12.25)$$

Dacă nu se ia în considerație saturația fierului, pentru armătura fixă  $L = \text{const}$  și  $dL/dt = 0$ . Când armătura se deplasează,  $L$  variază astfel că ultimul termen al ecuației anterioare nu se anulează. În acest mod au loc variații ale curentului din bobina electromagnetului. Prin variația curentului, iau naștere curenți turbionari și fenomenul de histereză, care de asemenea influențează funcționarea electromagnetului. Caracteristicile obținute ținând seama de factorii de mai sus, se numesc **caracteristici dinamice**.

Armătura mobilă nu se mișcă atâta timp cât forța electromagnetică dezvoltată de electromagnet este inferioară forței rezistente totale. În acest timp inductivitatea circuitului este constantă și de valoare minimă. Ca urmare a considerentelor prezentate ecuația (12.25) are soluția:

$$i = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) \quad (12.26)$$

unde  $\tau_1 = \frac{L_{\min}}{R}$  este constanta de timp a circuitului.

Având în vedere relația de definire a forței electromagnetice,  $F_{em} = k \cdot I^2$ , se poate afirma că armătura începe să se miște pentru curentul  $I_{\min}$  de valoare:

$$I_{\min} = \sqrt{\frac{\sum F_{rez}}{k}} \quad (12.27)$$

după atingerea intervalului de timp din momentul aplicării tensiunii de alimentare  $U$  de valoare constantă:

$$t_1 = \ln \left( \frac{1}{1 - \frac{R \cdot I_{\min}}{U}} \right)^{\tau} \quad (12.28)$$

Acești parametri iau diferite dacă se iau în considerare și celelalte fenomene menționate (saturația, curenții turbionari, etc.).

Durata de mișcare  $t_2$  a armăturii se determină prin rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale:

$$L = \frac{\mu \cdot S \cdot N^2}{\delta_{\max} - \int v dt} \quad (12.29)$$

$$U = i \cdot R + L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt} \quad (12.30)$$

$$m_r \frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{2} \frac{dm_r}{dt} = F_{em} - \sum F_r \quad (12.31)$$

unde  $F_{em}$  este forța electromagnetică dezvoltată.

Durata de acționare a electromagnetului  $t_2$  este compusă din timpul scurs până la pornirea armăturii  $t_1$  și timpul de mișcare a acesteia  $t_m$ .

La sfârșitul etapei de mișcare a armăturii întrefierul are valoarea minimă astfel că inductivitatea are valoarea maximă  $L_{\max}$ . Constanta de timp a circuitului electric

este  $\tau_2 = \frac{L_{\max}}{R}$ . Curentul prin bobină are o variație definită de ecuația următoare:

$$i = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) \quad (12.32)$$

Timpul de revenire  $t_0$  a armăturii se determină din relațiile anterioare prin particularizarea specifică etapei, și anume lipsa de alimentare cu tensiune a bobinei  $U=0$  și variația inductivității.

În figura 12.17 se prezintă calitativ modul de variație a curentului în bobina electromagnetului.

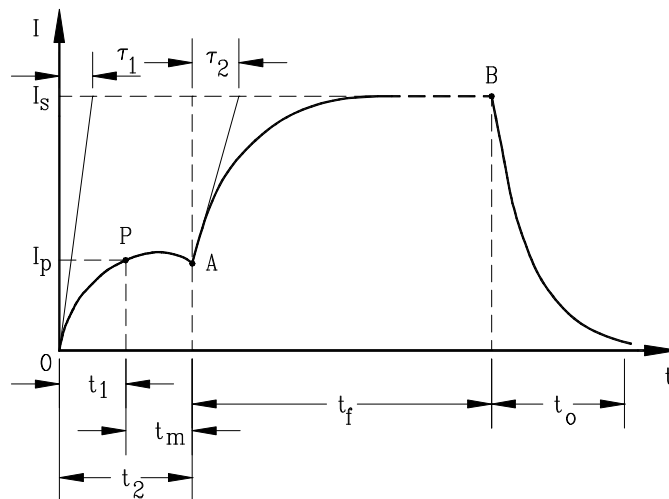


Fig. 12.17

În practică apare deseori necesitatea de a se modifica durata de acționare a electromagnetului.

Mărirea duratei de acționare poate fi obținută prin mărirea constantei de timp  $\tau = \frac{L}{R}$ , prin folosirea unor inductanțe suplimentare, a unei capacități, sau a unor inele de scurtcircuit dispuse pe polii armăturilor.

Pentru a diminua timpul de acționare se pot lua măsurile:

- utilizarea unui miez magnetic din tole, cu o curbă de magnetizare care să producă inducții mari la excitații reduse. Se pot folosi tole laminate la rece și aliaj de tip permalloy;

- reducerea masei armăturii mobile;
- conectarea în serie cu înfășurarea bobinei a unei rezistențe. În acest mod se reduce constanta de timp a circuitului, dar la o funcționare de lungă durată se produc pierderi de energie suplimentară.

#### 12.4.3 Verificarea la încălzire a electromagneților de curent continuu

Pentru a calcula un electromagnet de curent continuu este necesar a se determina încălzirea bobinei și inducția optimă în miezul feromagnetic.

Bobina electromagnetului se execută din sârmă izolată de cupru sau aluminiu pe o carcasă din material izolant. Izolația sârmei poate fi cu bumbac, mătase, email, email-mătase, etc. Izolația între straturile bobinei se realizează cu hârtie electrotehnică.

Încălzirea bobinei peste limitele admise poate sta la originea numeroaselor defecțiuni: deteriorarea izolației din punctul de vedere al stabilității parametrilor mecanici și electrice, străpungerea izolației, deteriorarea unor contacte și lipituri, etc.

Încălzirea bobinei electromagnetului de curent continuu poate constitui condiție de verificare sau condiție de predimensionare.

La un electromagnet de curent continuu, miezul de fier, pe care este plasată bobina, nu constituie o sursă de căldură, astfel că se poate considera că în regim staționar puterea  $P$  dezvoltată prin efect Joule este disipată de suprafețele interioară și exterioară ale bobinei. În mod general se poate scrie:

$$P = R \cdot I^2 = \alpha \cdot A \cdot \theta = 2 \cdot \alpha \cdot L_m \cdot l \cdot \theta \quad (12.33)$$

unde:  $A$  este aria celor două suprafețe de cedare a căldurii;  $\theta$  este încălzirea suprafeței de cedare în raport cu mediul ambiant;  $\alpha$  este transmitivitatea globală a căldurii [ $W/m^2 \text{grd}$ ].

Rezultă că:

$$\theta = \frac{P}{2 \cdot \alpha \cdot L_m \cdot l} = \frac{I^2 \cdot R}{2 \cdot \alpha \cdot L_m \cdot l} \leq \theta_a \quad (12.34)$$

În cazul regimului de lucru intermitent schițat din figura 12.18, unde există timpul de lucru  $t_1$ , timpul de pauză  $t_p$  și  $I$  intensitatea curentului în timpul lucrului, se calculează un curent echivalent pe perioada  $T = t_1 + t_p$ :

$$I_c^2 \cdot T = I^2 \cdot t_1 \quad (12.35)$$

sau:

$$I_c^2 = I^2 \cdot \frac{t_1}{T} = I^2 \cdot D_0 \quad (12.36)$$

unde  $D_0$  este durată relativă de conectare.

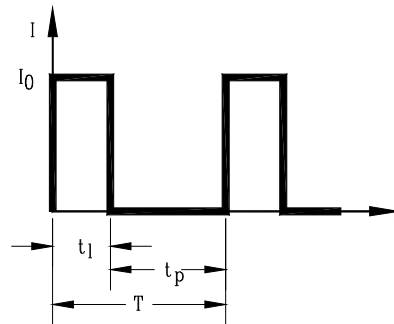


Fig. 12.18

Considerentele anterioare sunt aplicabile numai dacă perioada  $T$  este relativ mică în raport cu constanta de timp a încălzirii bobinei, adică mai mică decât un sfert din aceasta.

#### ***12.4.4 Utilizarea electromagneților în construcția efectorului final al roboților industriali***

Dispozitivele de prehensiune magnetice au o serie de avantaje comparativ cu celelalte dispozitive de prehensiune:

- forță de prehensare mare;
- flexibilitate tehnologică ridicată;
- pot fi prehensate piese cu suprafețe de rugozitate mare, în prezența particulelor de murdărie;
- durată de funcționare ridicată;
- construcție relativ simplă.

Ca dezavantaje se pot menționa:

- posibilitatea utilizării acestora doar în cazul pieselor feromagnetice;
- existența magnetismului remanent care poate provoca aderarea de așchii și pilitură metalică pe suprafața piesei manipulate și a dispozitivului de prehensiune.

Dintre cele două categorii de electromagneți, cea mai utilizată variantă este cea reprezentată de electromagneții de c.c. Acest lucru are explicație în avantajele și dezavantajele celor două variante de electromagneți.

În general suprafața de contact cu piesa se recomandă să difere de suprafața activă a electromagnetului.

În figura 12.19 se prezintă varianta unui dispozitiv de prehensiune magnetic care se atașează dispozitivului de ghidare a robotului industrial.

Sesizarea prezenței piesei pe suprafața de fixare a dispozitivului de ghidare se face în general cu senzori binari realizați pe baza unor microrelee.



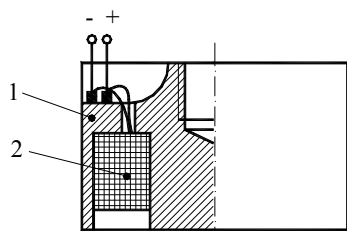


Fig. 12.19

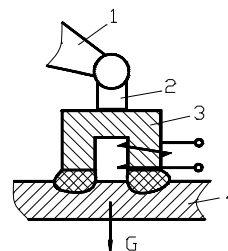


Fig. 12.20

Asigurarea unei prehensării sigure poate fi obținută prin utilizarea unor piese polare adaptate pentru piesa de prehensat. Aceste piese polare (bacuri) pot fi rigide, caz în care se reduce însă flexibilitatea dispozitivului de prehensiune, sau moi. În cel de al doilea caz flexibilitatea crește, dar forța de prehensare este redusă.

În figura 12.20 se prezintă principiul de realizare și utilizare a unui dispozitiv de prehensiune electromagnetic (DPM).

Dispozitivul de prehensiune este conectat în structura mecanică a robotului industrial 1 prin intermediul unui senzor de forță 2.

La începutul ciclului de manipulare, DPM este adus într-o poziție apropiată de piesa de prehensat 4 dintr-un container sau de pe o bandă. În momentul contactului cu piesele, mișcarea robotului încetează iar comanda electromagnetului comută în regim de curent maxim. Urmează ridicarea efectorului, cu piesa reținută, la o înălțime dată, concomitent cu o scădere treptată a curentului până când efectorul eliberează piesele de prisos. Sistemul de comandă al robotului va primi în acest timp informații de la senzorii de forță. Aceste informații sunt comparate cu datele memorate privind greutatea unei piese. Dacă informația senzorului corespunde acestei mărimi, scăderea curentului încetează și se trece din nou în regim de curent maxim. Umează ridicarea efectorului, cu piesa reținută, la o înălțime dată, concomitent cu o scădere treptată a curentului până când efectorul eliberează piesele de prisos. Sistemul de comandă al robotului va primi în tot acest timp informații de la senzorul forță. Aceste informații sunt comparate cu datele memorate privind greutatea unei piese. Dacă informația senzorului corespunde acestei mărimi, scăderea curentului încetează și se trece din nou în regim de curent maxim. După deplasarea piesei în locul dorit, ciclul se repetă. Durata “recunoașterii” piesei este de ordinul 1- 2 secunde.

Calculul preliminar al unui DPM presupune estimarea forței care este dezvoltată asupra piesei și care trebuie echilibrată prin intermediul DPM.

**Exemplu:**

Fie dispozitivul de prehensiune electromagnetică din figura 12.21, care trebuie să asigure fixarea piesei 1 pe parcursul manipulării acesteia pe o traiectorie formată din două translații pe verticală și o rotație în planul orizontal.

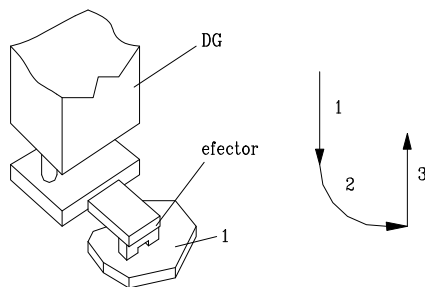


Fig. 12.21

Forțele dezvoltate asupra piesei în cele trei etape sunt:

$$F_1 = m \cdot (g - a_1) \quad (12.37)$$

$$F_2 = m \cdot \omega^2 \cdot R \quad (12.38)$$

$$F_3 = m \cdot (g + a_2) \quad (12.39)$$

unde: "m" este masa piesei prehenzate,  $a_{1,2}$  accelerația pe cele două porțiuni ale ciclului,  $\omega$  este viteza unghiulară de rotație, iar R este raza traiectoriei în plan orizontal.

Considerând un coeficient de siguranță  $C_s$  impus fazei de fixare a piesei față de efectorul magnetic forțele de calcul anterioare au valoarea  $F_{ic} = C_s \cdot F_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ).

Pentru faza 1 și 3 forța electromagnetică dezvoltată de electromagnet trebuie să fie superioară valorii maxime dintre cele două forțe de calcul:

$$F_{em1} \geq \max\{F_{1c}, F_{3c}\} \quad (12.40)$$

Pentru faza 2 din ciclul de mișcare este necesar ca forța de frecare dezvoltată de atracția electromagnetică dintre piesă și efector să fie superioară forței centrifuge de calcul:

$$\mu F_{em2} \geq F_{2c} \quad (12.41)$$

Se constată că acest caz este mult mai dezavantajos, impunându-se coeficienți de frecare ridicați.

Pe baza forței electromagnetice necesare se trece la dimensionarea electromagnetului necesar. Principalele relații de calcul sunt:

- forța electromagnetică

$$F = \frac{I^2 \cdot N^2 \cdot \mu_0 \cdot A}{4 \cdot \delta^2} = \frac{B^2 \cdot A}{2 \cdot \mu_0}$$

- tensiunea de excitație

$$U = R \cdot I = \frac{4 \cdot \rho \cdot L_m \cdot N \cdot l}{\pi \cdot d^2}$$

- legea circuitului magnetic

$$N \cdot I = \frac{B}{\mu_0} \cdot \delta + \sum_i H_i l_i$$

- *verificarea la încălzire*

*Notațiile au semnificațiile cunoscute. Calculul este iterativ și permite abordarea și sub aspectul optimizării ansamblului.*

Electromagneții sunt utilizați și ca elemente motoare liniare pentru acționarea unor dispozitive de prehensiune pe bază de mecanisme cu bare.

#### 12.4.5 Alte aplicații

Atât magneții permanenți cât și electromagneții își găsesc locul într-o serie de aplicații pentru echipamentele periferice ale roboților industriali.

Se pot aminti în acest sens buncărele cu discuri magnetice, buncărele vibratoare, etc.

#### Întrebări recapitulative

- *Definiți magneții permanenți și electromagneții. Specificați domeniile de utilizare ale acestora;*
- *Prezentați curba de magnetizare și comentați parametrii caracteristici;*
- *Care sunt unitățile de măsură SI pentru intensitatea câmpului magnetic și pentru inducția magnetică ?*
- *Care este valoarea permeabilității magnetice a vidului ?*
- *Care este energia magnetică localizată în materialul magnetic ?*
- *Explicați pe larg rolul pieselor polare și exemplificați grafic pe exemple adecvate;*
- *Dați exemple de utilizare a magneților permanenți și comentați;*
- *Precizați criteriile de clasificare a electromagneților;*
- *Comentați forța de atracție a electromagneților;*
- *Care sunt caracteristicile statice ale electromagneților ?*
- *Faceți o comparație între forța dezvoltată de un electromagnet de c.c. și un electromagnet de c.a.;*
- *Enumerați trei modalități de reducere a timpului de acționare a unui electromagnet;*
- *Un electromagnet de curent continuu este alimentat la tensiunea  $U = 24\text{ V}$ . Rezistența bobinei este  $R = 30\ \Omega$  și are  $N = 1800$  spire. Să se determine: curentul din bobină și solenația dezvoltată de aceasta.*  
*Răspuns:  $I = 0.8\text{ A}$  și  $\Theta = 1440\text{ A}$*
- *Explicați importanța verificării la încălzire a electromagneților;*
- *Un electromagnet are aria secțiunii unui pol  $A = 12\text{ cm}^2$  și inducția magnetică în întrefier  $B_{\delta} = 0.8\text{ T}$ . Se cere să se determine: fluxul magnetic pe pol și forța dezvoltată.*

*Răspuns:  $\Phi = 9.6.10^4 \text{ Wb}$  ;  
 $F = 304.4 \text{ N}$ .*