

Cap. 11 CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND REGLAREA VITEZEI ÎN SISTEMELE DE ACȚIONARE ELECTRICĂ

11.1 Introducere

S-a analizat în paragrafele anterioare aspectul funcționării statice a unui sistem de acționare electrică. Într-o serie de aplicații însă sistemele de acționare lucrează într-un regim dinamic. Aceste regimuri pot fi clasificate în mai multe grupe:

- **regimul de pornire** reprezintă procesul de trecere de la starea de repaus la starea de mișcare caracterizată prin punctul de funcționare. Acest lucru este posibil pe baza unui cuplu de accelerare asigurat de servomotorul de acționare;
- **regimul de oprire** reprezintă procesul de trecere de la starea de funcționare la starea de repaus, cuplul de frânare datorându-se numai frecărilor naturale din sistem;
- **regimul de frânare** reprezintă procesul de reducere a vitezei prin introducerea unui cuplu de frânare asigurat printr-un procedeu oarecare: mecanic, electromecanic, electric;
- **regimul de reversare** reprezintă schimbarea sensului de mișcare. Acest regim se poate descompune într-un regim de frânare, oprire și pornire în sens invers până în noul punct de funcționare;
- **reglarea vitezei** reprezintă trecerea de la o viteză de lucru la altă viteză de lucru, impusă de desfășurarea procesului tehnologic, printr-o intervenție asupra parametrilor funcționali ai sistemului.

Aceste regimuri dinamice trebuie analizate prin prisma cerințelor funcționale, tehnice, economice etc. Reglarea vitezei reprezintă însă principalul criteriu de care se ține seama la alegerea unui sistem de acționare electrică. Iată motivul pentru care acest aspect este analizat în mod special.

11.2 Cerințele impuse reglării vitezei

Cerințele impuse reglării vitezei sunt în general de ordin:

- **funcțional:** viteză, sarcină, dinamică, comandă;
- **tehnic:** indicele de calitate al reglării, simplitate, siguranță în funcționare;
- **economic:** cost, randament, cheltuieli exploatare etc.

Cerințele de viteză se referă la stabilirea tuturor aspectelor privind funcționarea sistemului cu o viteză, în trepte de viteze sau cu o reglare continuă.

140 Sisteme de acționare

Dacă funcționarea este preconizată la o viteză constantă este necesar să se stabilească dacă sunt admise abateri și care sunt limitele acestor abateri.

De exemplu, viteza punctului caracteristic în operația de sudare robotizată cu arc electric este impusă de procesul de sudare la o viteză constantă. Modificarea vitezei va avea ca și consecință un cordon de sudură necorespunzător sub aspectul formă, rezistență etc. Pentru un robot industrial utilizat în sudură în puncte, abaterile de la viteza prescrisă nu sunt la fel de importante.

În cazul acționării electrice a unui transportor cu bandă problema are un aspect contrar. Se admit modificări ale vitezei benzii funcție de încărcare, procesul tehnologic în care este inclusă banda etc. Trebuie corelat acest aspect cu productivitatea muncii.

În cazul în care se impune o reglare în trepte a vitezei, este necesar să se specifice numărul de trepte și valoarea vitezei pe fiecare treaptă. În cazul reglării continue a vitezei este necesar să se indice limitele de reglare a vitezei și legea de modificare a vitezei (legile de mișcare, funcția de transmitere de ordinul 1). Respectarea legii de variație a vitezei poate influența calitatea producției industriale, productivitatea muncii, consumul specific de energie electrică, etc.

Cerințele de sarcină se referă la sarcina totală aplicată la arborele motorului. Se impune o corelare a vitezei la arborele motorului cu cuplul rezistent având în vedere dependența:

$$P = M_r \cdot \Omega \quad (11.1)$$

unde M_r este cuplul rezistent iar Ω este viteza unghiulară a arborelui motorului.

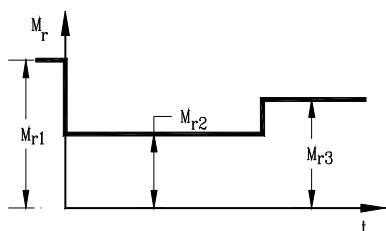


Fig. 11.1

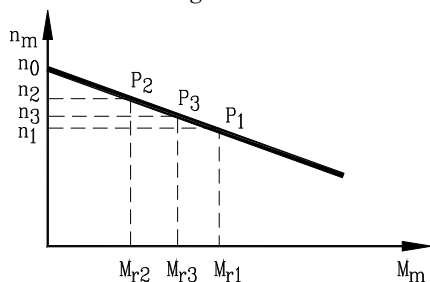


Fig. 11.2

Cuplul rezistent la diversele echipamente periferice poate fi cuplu constant, proporțional sau invers proporțional cu viteza. Din acest motiv, la stabilirea limitei superioare a vitezei de lucru trebuie să se țină seama de modul de variație a cuplului rezistent funcție de viteză.

Repercursiunile unor modificări în șocuri ale sarcinii influențează dimensionarea sistemului de acționare propriu-zis și a aparatului de comandă și reglare.

Exemplificăm problematica abordată luând în considerare un sistem de acționare format dintr-un motor electric cu caracteristica mecanică rigidă și o mașină de lucru la care cuplul este independent de turație. În schimb, cuplul rezistent de sarcină M_r se poate modifica în cursul timpului sub o formă discretă (fig.11.1). Creșterea sarcinii la valoarea M_{r3} are loc la un moment de timp care a permis amortizarea regimului dinamic datorat scăderii acesteia.

Caracteristica prezentată în figura 11.2 scoate în evidență punctele de funcționare staționară corespunzătoare diferitelor sarcini. Problema care se pune este determinarea dependenței turației și a momentului motor ca funcții de timp la deplasarea punctului de funcționare de la P_1 la P_2 și apoi de la P_2 la P_3 .

Admițând că momentul de accelerare M_a este diferența dintre momentul motor și cel rezistent de sarcină și că ecuația caracteristicii mecanice are expresia (M_{mN} și n_N valorile nominale):

$$n_m = n_0 + \frac{n_N - n_0}{M_{mN} - M_{m0}} \cdot M_m \quad (11.2)$$

se obțin expresiile căutate prin integrarea ecuației de mișcare.

Pentru prima variație a sarcinii expresiile sunt:

$$n = n_2 + (n_1 - n_2) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (11.3)$$

$$M_m = M_{r2} + (M_{r1} - M_{r2}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (11.4)$$

Expresii asemănătoare se obțin și pentru cea de-a doua variație și a sarcinii prin înlocuirea indicilor și considerarea timpului din momentul corespunzător variației de sarcină. Calitativ sunt prezentate dependențele corespunzătoare în figurile 11.3 și 11.4..

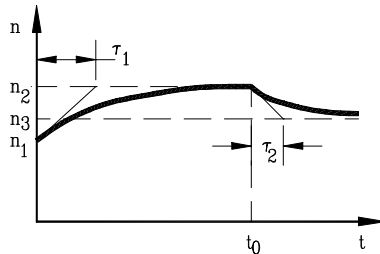


Fig. 11.3

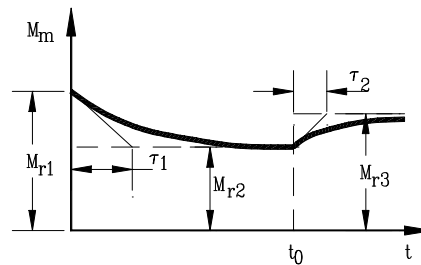


Fig. 11.4

Observație.

Toate procesele dinamice conduc la pierderi energetice mărite față de regimul de funcționare staționară și o dată cu aceasta, la o încălzire mai mare. De aceea, un motor electric dimensionat numai pentru procesul de funcționare nominal, fără a lua în considerare încălzirea suplimentară datorată regimului dinamic, se va supraîncălzi. Este necesar astfel un calcul de verificare.

Cerințele dinamice se referă la sistemele de acționare cu sarcini inerțiale mari (și cazul roboților industriali). Sistemele de acționare cu mase de volant reduse permit o reglare mai rapidă. În cazul sistemelor de acționare cu mase mari de volant trebuie să se adopte metode speciale de reglare și chiar de acționare.

142 Sisteme de acționare

Performanțele dinamice ale unui robot industrial includ precizia, repetabilitatea, stabilitatea și complianța. Aceste performanțe depind de obiectul manipulat (sculă, dispozitiv, piesă, etc.), de procesul tehnologic la care contribuie, alături de geometria dispozitivului de ghidare, softul utilizat și nu în ultimul rând *sistemul de acționare*.

În mod obișnuit atingerea unor performanțe dinamice bune este dificil de obținut la un robot industrial cu cuple de rotație. Sarcina inerțială suportată de servomecanismul de acționare a cuplei depinde nu numai de inerția obiectului manipulat ci și de poziția instantanee a acestora și accelerațiile din sistem. Masa și momentul de inerție al rigidului manipulat, asociat robotului, reprezintă o parte însemnată din sarcina totală a acestor servo-cuple, aflate în mișcare rapidă. O creștere de zece la unu a sarcinii inerțiale la prima cuplă de rotație, împreună cu modificarea poziției acesteia, nu reprezintă ceva neobișnuit la un robot industrial de uz general. Dacă regulatoarele utilizate în sistemul de acționare sunt de tip PID (clasice), pentru ca acestea să asigure precizia dorită, trebuie reglate pentru sarcina inerțială maximă. Această reglare conduce însă la o scădere în mod semnificativ a performanțelor servomecanismului de acționare.

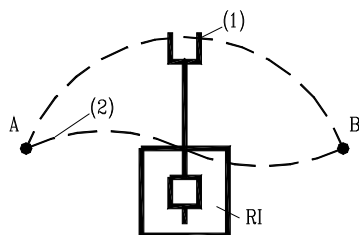


Fig. 11.5

Considerând două puncte A și B, situate la aceeași rază față de centrul de pivotare O al robotului industrial RI (fig. 11.5), mișcarea între două puncte se poate efectua, în cazuri extreme, pe două traiectorii distincte (1 și 2). În primul caz (1) (lungimea maximă a brațului), momentul de inerție raportat la arborele motorului va fi mare cu influențe negative asupra timpului de acționare. În cazul traiectoriei optimizate (2), momentul de inerție al brațului raportat la arborele motorului va fi minim în permanență, putându-se dezvolta accelerații mai mari.

Cerințele de comandă trebuie să precizeze dacă reglarea vitezei trebuie să se facă în ambele sensuri de mișcare, dacă funcționarea sistemului este continuă etc. Sunt necesare precizări privind aserviri sau interblocări între anumite componente ale sistemului.

Simplitatea și siguranța în funcționare sunt cerințe ce se impun de la sine. Trebuie avut în vedere însă un lucru: nu întotdeauna sistemele cele mai simple sunt și cele mai sigure. În acest sens trebuie să existe un “punct de echilibru” astfel încât proiectantul poate să decidă. Cerințele economice se referă în principal la cheltuielile de investiții când trebuie să se ia în considerare cerințele de reglare a vitezei. Cheltuielile privind exploatarea și randamentul sunt alte două cerințe ce trebuie avute în vedere astfel încât sistemul de acționare să fie compatibil.

Cerințele economice se referă în principal la cheltuielile de investiții când trebuie să se ia în considerare cerințele de reglare a vitezei. Cheltuielile privind exploatarea și randamentul sunt alte două cerințe ce trebuie avute în vedere astfel încât sistemul de acționare să fie compatibil.

11. 3 Indici de calitate ai metodelor de reglare a vitezei sistemelor de acționare electrică

Pornind de la exigențele impuse unui sistem de acționare electrică care prevede și reglarea vitezei, pentru alegerea metodei celei mai adecvate se impune și cunoașterea indicilor de calitate ai diferitelor metode de reglare a vitezei.

Gama de reglare a vitezei este un prim parametru de caracterizare a metodei de reglare și se definește prin raportul vitezelor extreme ce pot fi obținute prin metoda de reglare:

$$G_r = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} \quad (11.5)$$

Metoda de reglare cea mai convenabilă este aceea care are gama de reglare cea mai mare.

Finețea reglării este definită ca raportul dintre vitezele stabile pe două trepte de reglare vecine:

$$F_r = \frac{n_i}{n_{i+1}} \quad (11.6)$$

Dacă raportul este un număr întreg se poate spune că reglarea este în trepte. Raportul recomandat este de valoare ce tinde spre "1".

Stabilitatea reglării este dată de rigiditatea caracteristicii de reglare. Cu cât caracteristica este mai rigidă cu atât indicele de stabilitate este mai bun. În cazul reglării vitezei interesează și stabilitatea dinamică a sistemului de reglare a vitezei (de exemplu cum influențează un parametru al sistemului de acționare, prin care se obține modificarea vitezei, obținerea unei viteze stabile).

La analiza stabilității se utilizează ecuația caracteristică a sistemului. Se poate arăta că sistemul de reglare a vitezei este stabil dacă toate rădăcinile reale ale ecuației caracteristice a sistemului și toate părțile reale ale rădăcinilor complexe sunt negative.

Indicele de răspuns al sistemului de reglare reprezintă durata regimului tranzitoriu de trecere de la o viteză la altă viteză stabilă. Indicele de răspuns depinde în mare măsură de inerția mecanică și cea electromagnetică a sistemului prin cele două constante de timp. Metoda de reglare este cu atât mai favorabilă cu cât durata regimului tranzitoriu este mai redusă.

Precizia reglării face referiri la abaterile relative ale vitezei (maxime și minime) în urma stabilirii unei anumite metode de reglare. Dacă viteza unui motor electric este reglabilă de la turația n_1 la turația n_2 , iar abaterile de la aceste turații sunt Δn_1 și respectiv Δn_2 se definesc preciziile de reglare:

$$p_{r1} = \frac{\Delta n_1}{n_1} \cdot 100 \quad [\%] \quad (11.7)$$

pentru reglare la turația minimă și respectiv

144 Sisteme de acționare

$$p_{r2} = \frac{\Delta n_2}{n_2} \cdot 100 \quad [\%] \quad (11.8)$$

pentru reglare la turația maximă.

Dacă viteza este menținută constantă, precizia reglării este definită prin relația:

$$p_r = \frac{\Delta n}{n} \cdot 100 \quad [\%] \quad (11.9)$$

unde Δn reprezintă abaterea turației de la valoarea prescrisă după intervenția sistemului de reglare folosit.

Modul de reglare se poate realiza la cuplu constant sau la putere constantă. În afară de indicii de calitate prezentați se mai pot defini și alți indici: constanța reglării, coeficientul de suprareglare, gradul de amortizare etc.

Funcție de elementele componente ale unui sistem de acționare electrică, reglarea vitezei se poate realiza prin:

- mașina de lucru;
- transmisia mecanică dintre motorul electric de acționare și mașina de lucru;
- motorul electric de acționare.

Întrebări recapitulative

- Care sunt regimurile de funcționare dinamică a unui sistem de acționare?
- Precizați cerințe impuse reglării vitezei;
- Comentați cerințele de sarcină impuse reglării vitezei;
- Un sistem de acționare electrică este compus dintr-un motor de c.c. cu magneți permanenți a cărui caracteristică statică are ecuația $\Omega = 189 - 0.1 \cdot M_m$. Mașina de lucru are ecuația $\Omega = 2 \cdot M_r$. Să se determine coordonatele punctului de funcționare în sistemul (Ω, M) și să se analizeze stabilitatea funcționării.
- Într-un sistem de acționare electrică (motor de c.c. cu $n_{nom}=1500$ rot / min) reglarea vitezei pentru mașina de lucru se poate realiza:
 1. printr-un variator de turație mecanică mono prin fricțiune. Roțile variatorului au valorile $R_1 = 50$ mm, iar $R_2 \in [75,150]$ mm;
 2. printr-o cutie de viteze în 4 trepte fiecare treaptă având raportul de transmitere $i = 2$;
 3. printr-un variator de c.c. de la valoarea zero la valoarea de mers în gol n_0 ;
Să se calculeze care sunt gamele de reglare a vitezei și care variantă este recomandată. Să se precizeze ce indici de calitate trebuie să se mai ia în considerare.