

III. CONTROLUL SCALAR AL VITEZEI MOTOARELOR ASINCRONE

În funcție de performanțele dinamice impuse sistemului de acționare și de tipul convertorului utilizat pentru comanda motorului asincron, în acționările reglabile cu control în frecvență (control scalar), se utilizează diverse configurații ale schemelor de reglare.

Dacă sistemele trebuie să satisfacă performanțe dinamice deosebite, se adoptă scheme de reglare în buclă închisă, cu reacție externă de viteză și reacții interne după una sau mai multe mărimi, care pot fi tensiuni, curenți, flux magnetic. Uneori, sunt utilizați algoritmi de optimizare a unor parametri energetici cum ar fi: factorul de putere, randamentul, nivelul distorsiunilor, etc.

Echipamentul de reglare poate fi analogic sau analog – numeric la sistemele la care nu se cer performanțe deosebite sau numeric, prin utilizarea circuitelor integrate pe scară largă, a microcontrolerelor. Utilizarea microcontrolerelor specializate, realizate cu microprocesoare sau procesoare numerice de semnal (DSP), asigură un control complet al sistemului de acționare, prin realizarea unui număr mare de funcții cum ar fi: comanda inverterului PWM, reglare, adaptarea algoritmilor de reglare la tipul sarcinii, interfațarea pentru comunicația cu operatorul local și cu sistemele de conducere sau informaționale ierarhice, diagnosticare, protecție, etc.

Sistemele de comandă și reglare utilizate pentru controlul scalar al vitezei motoarelor asincrone se împart în două categorii, în funcție de de lipsa sau prezența buclei exterioare de reglare a vitezei în:

- sisteme de comandă în buclă deschisă;
- sisteme de reglare în buclă închisă.

III.1. SISTEME DE COMANDĂ ÎN BUCLĂ DESCHISĂ

În configurația acestor sisteme de comandă, viteza motorului nu este utilizată ca mărime de reacție pentru elaborarea comenzii, însă pot exista bucle de reglaj interne, cu reacții după unele mărimi controlate cum ar fi: tensiuni, curenți, cuplu, alunecare.

III.1.1. Sisteme de comandă fără reacții interne

Această categorie de sisteme de comandă, fără reacții după mărimea reglată (viteză) sau după alte mărimi, au cea mai simplă structură de comandă scalară a vitezei, având configurația de principiu prezentată în figura III.1.

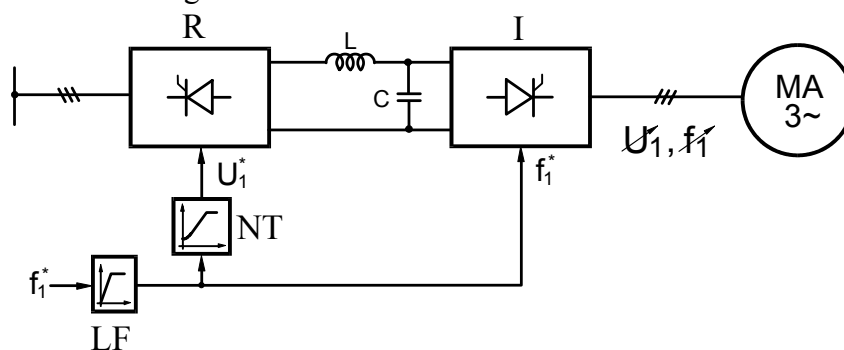


Fig. III.1. Schema de principiu a sistemului de comandă scalară a vitezei fără reacții.

Ecuția tensiunilor circuitului statoric în regim staționar este:

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + jX_{\sigma 1}I_1 + R_1I_1, \quad (3.1)$$

în care $X_{\sigma 1} = \omega_1 L_{\sigma 1}$ este reactanța de scăpări a înfășurării de fază statorice, $L_{\sigma 1}$ este inductanța de scăpări, iar R_1 rezistența ohmică a aceste înfășurări. Dacă se neglijează căderile de tensiune pe

reactanța de scăpări și pe rezistența ohmică, căderi de tensiune care sunt mult mai mici decât tensiunea electromotoare indusă \underline{E}_1 , rezultă:

$$\underline{U}_1 \cong -\underline{E}_1 = \frac{\omega_1}{\sqrt{2}} w_1 k_{w1} \underline{\Phi} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f_1 w_1 k_{w1} \underline{\Phi} = k f_1 \underline{\Phi} . \quad (3.2)$$

Conform relației de mai sus, se poate afirma că fluxul magnetic din întrefier respectă relația:

$$\Phi \sim k \frac{U_1}{f_1} , \quad (3.3)$$

ceea ce înseamnă că este proporțional cu raportul dintre tensiunea și frecvența rețelei de alimentare a înfășurării statorice. Dacă fluxul este menținut constant, componenta reactivă a curentului statoric rămâne constantă, iar tensiunea electromotoare și căderea de tensiune pe reactanța de scăpări variază liniar cu frecvența, în care caz se poate scrie:

$$U_1 \cong k_1 f_1 + R_1 I_{1a} , \quad (3.4)$$

în care I_{1a} reprezintă componenta activă a curentului statoric.

Curentul I_{1a} este proporțional cu cuplul electromagnetic dezvoltat de motor, din care cauză valoarea sa este importantă și căderea de tensiune pe rezistența ohmică a înfășurării statorice $R_1 I_{1a}$, independentă de frecvență trebuie compensată dacă se dorește să se mențină fluxul magnetic constant. La pornire și pentru frecvențe mici ($f_1 \approx 0$), valoarea tensiunii de compensare este: $U_0 \approx R_1 I_{1a}$. Pe măsură ce frecvența crește, căderea de tensiune pe rezistența înfășurării statorice devine neglijabilă în comparație cu tensiunea electromotoare indusă E_1 și compensarea devine inutilă.

Conform figurii III. 2, compensarea tensiunii U_1 se face prin injecția tensiunii U_0 , care poate scădea pe măsură ce frecvența crește, sau se poate stabili valoarea minimă a tensiunii U_1 la nivelul U_0 .

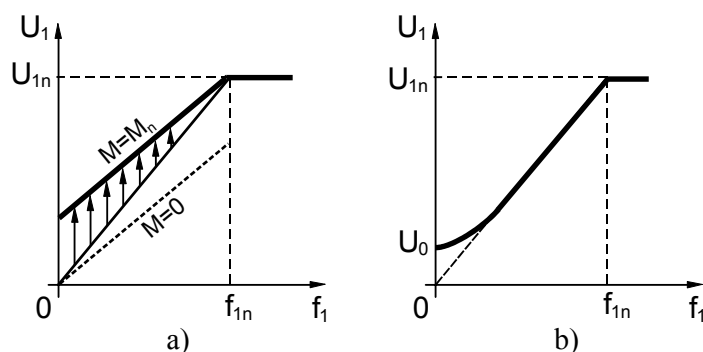


Fig. III.2. Modurile de variație ale tensiunii statorice cu frecvența: a) caracteristica obținută prin compensare; b) caracteristica utilizată practic.

Prin metodele prezentate mai sus se obține dependența $U_1(f_1)$ care este realizată de blocul NT (nivel de tensiune) din figura III.1, care poate fi implementat ușor analogic sau numeric.

Comanda fiind realizată în buclă deschisă, pentru protecția sistemului de acționare se folosesc elemente de protecție ale ansamblului redresor – inverter. Pantele de accelerare – decelerare se limitează prin intermediul unui bloc limitator de rampă pe semnalul de comandă (blocul LF).

III.1.2. Sisteme de comandă cu reacții interne de tensiune și curent

În scopul realizării unor protecții sigure și eficiente și a sporirii vitezei și preciziei operației de reglare a vitezei, sistemele de comandă în buclă deschisă utilizează reacții interne de tensiuni și curenți.

Aceste semnale de reacție internă sunt necesare și la pornirea/oprirea instalației și la controlul ratei de accelerare/decelerare. Semnalul necesar reacției de tensiune se obține de obicei după tensiunea căii de curent continuu, iar semnalul necesar reacției de curent se obține după curentul de la intrarea sau de la ieșirea inverterului. În multe cazuri, se preferă ca semnalul reacției de curent să se obțină din curentul din circuitul intermediar de curent continuu, deoarece acest curent nu mai trebuie să fie redresat și filtrat și este util pentru diagnosticarea și protecția rapidă a inverterului în cazul unor defecte interne.

Schema de principiu a unui astfel de sistem de acționare care utilizează un inverter PWM este prezentată în figura III.3.

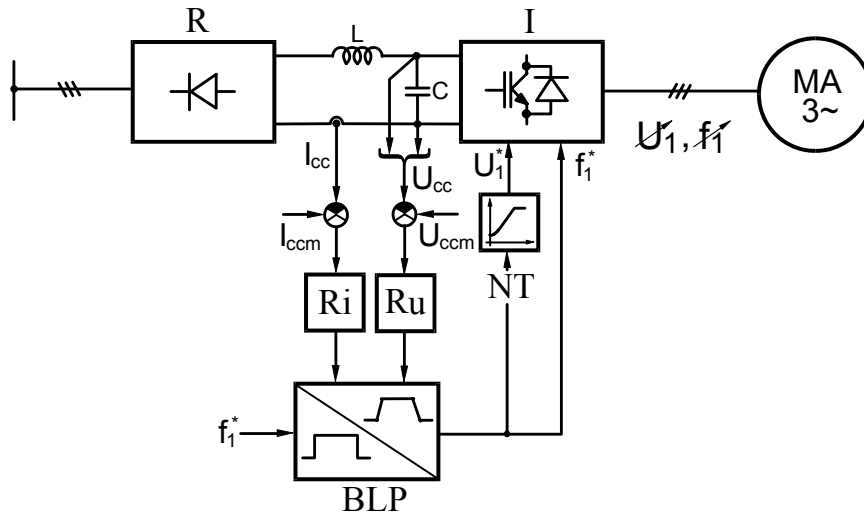


Fig. III.3. Schema de principiu a sistemului de comandă în buclă deschisă cu reacții interne de tensiune și curent.

Blocul de limiare și protecție (BLP) are rolul de a limita pantele de accelerare/decelarare și a realiza o protecție eficientă la depășirea valorilor limită ale curentului în cazul unor defecte interne în inverter sau scurtcircuite. Când mașina funcționează în regim de motor, dacă referința de viteză f_1^* crește prea repede în comparație cu viteza mașinii, alunecarea și deci curentul statoric vor crește rapid. Pentru a limita rata maximă de accelerare astfel încât curentul care circulă prin inverter și motor să nu depășească valoarea limită I_{ccm} , valoarea instantanee a curentului este comparată cu această limită, iar eroarea acționează prin intermediul unui regulator (R_i) în scopul reducerii ratei de accelerare la o valoare maximă admisă. Protecția la scurt circuit se realizează la depășirea bruscă a limitei de curent impusă prin anularea comenzii inverterului și deconectarea acestuia. Reacția de curent funcționează în mod asemănător și când mașina funcționează în regim de frânare, limitând rata de decelerare la o valoare limită admisă.

În regim de frânare, tensiunea la bornele capacității de pe calea de curent continuu trebuie menținută sub o anumită valoare limită. La decelerări rapide, această tensiune poate crește peste limita admisă. Reacția de tensiune acționează similar cu cea de curent, în vederea limitării ratei de decelerare a mașinii.

Trebuie menționat faptul că în anumite cazuri, la acționările moderne cu sisteme de control implementate cu microprocesoare, alegerea ratelor optime de accelerare/decelarare se face apelând la tehnici de control evoluate sau la elemente caracteristice inteligenței artificiale (utilizarea logicii fuzzy la invertoarele Hitachi).

Reacțiile de curent și de tensiune se pot utiliza și pentru compensarea alunecării. În sistemul prezentat anterior, s-a neglijat variația alunecării frecvența statorică impusă fiind considerată aproximativ egală cu frecvența de rotație a mașinii. Însă, la variația cuplului rezistent la arborele mașinii (cuplului de sarcină), alunecarea se modifică. Pentru a menține turația constantă, alunecarea trebuie să fie menținută constantă (de preferință la valoarea nominală). Alunecarea este proporțională cu cuplul electromagnetic dezvoltat de mașină și determinarea ei presupune estimarea cuplului. Cu o aproximație acceptabilă, cuplul se poate estima prin măsurarea puterii din circuitul intermediar de curent continuu (eventual și prin scăderea pierderilor din inverter și din statorul mașinii). Se obține astfel puterea electromagnetică P din care se determină cuplul electromagnetic M și respectiv alunecarea (frecvența de alunecare) f_2 :

$$M = \frac{P}{\Omega_1} \cong \frac{p}{\omega_1} U_{cc} I_{cc} ; \quad f_2 = sf_1 \cong \frac{M}{k\Phi^2} . \quad (3.5)$$

În figura III.4. se prezintă schema de principiu a sistemului de acționare cu compensarea alunecării prin metoda descrisă mai sus.

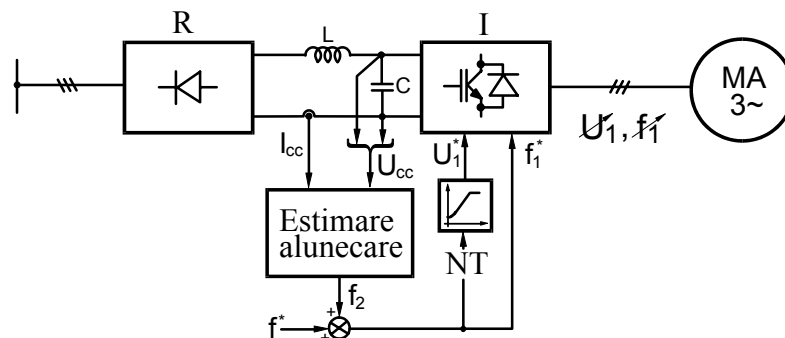


Fig. III.4. Schema de principiu a sistemului de comandă în buclă deschisă cu compensarea alunecării.

III.2. SISTEME DE COMANDĂ ÎN BUCLĂ ÎNCHISĂ

În cazul sistemelor de comandă în buclă deschisă de viteză, viteza este dependantă de cuplu de sarcină dacă nu se iau măsuri de compensare a alunecării, fiind influențată de variațiile de tensiune. Dacă reglarea impune o precizie mai mare a vitezei, este necesar să se facă controlul vitezei în buclă închisă.

III.2.1. Reglarea vitezei în buclă închisă fără reacție de curent

În figura III.5 se prezintă un sistem de reglare a vitezei cu controlul alunecării.

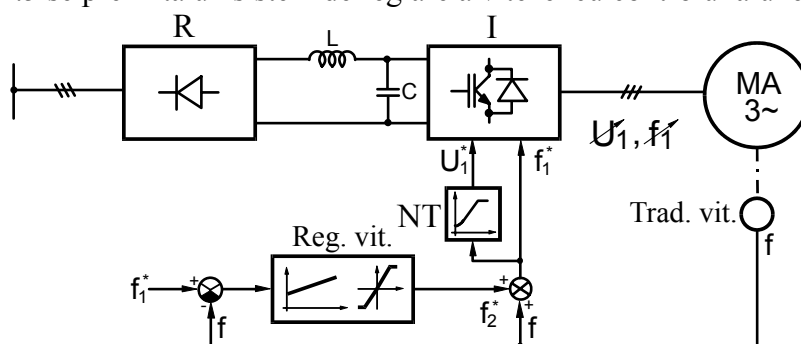


Fig. III.5. Schema de principiu a sistemului de reglare în buclă închisă de viteză.

Semnalul de referință corespunzător alunecării f_2^* este generat prin intermediul unui regulator PI de viteză cu saturație. Semnalul de comandă pentru frecvența statorică f_1^* este obținut prin însumarea alunecării cu viteza (frecvența) de rotație f a motorului. Atât valoarea vitezei cât și viteza de variație a acesteia sunt limitate în vederea asigurării stabilității și a limitării curentului. Semnalul de comandă pentru valoarea tensiunii se obține prin intermediul generatorului de funcții NT, prin care se realizează caracteristica $U_1 = U_1(f_1)$ dorită. Dacă fluxul magnetic este constant, dependența dintre cuplu și alunecare este liniară, fiind asigurat în acest fel controlul cuplului electromagnetic în interiorul buclei de viteză.

Dacă referința de viteză crește în treaptă, motorul accelerează liber cu o alunecare limită corespunzătoare cuplului maxim și după atingerea regimului staționar, alunecarea se stabilește la o valoare corespunzătoare cuplului de sarcină. La scăderea referinței de viteză, alunecarea f_2^* devine negativă și mașina trece în regim de frânare cu recuperare sau frânare dinamică. Principalul avantaj al acestei structuri de comandă constă în faptul că necesită un singur traductor și anume traductorul de viteză.

III.2.2. Reglarea vitezei în buclă închisă cu reacție de curent

Măsurarea curentului din circuitul de fază al mașinii este utilă atât pentru protecție (în sistemele cele mai simple), cât și pentru elaborarea unor strategii de reglare mai complexe pentru creșterea preciziei și a performanțelor sistemului de acționare.

În figura III.6 se prezintă o schemă de reglare în buclă închisă cu buclă internă de curent.

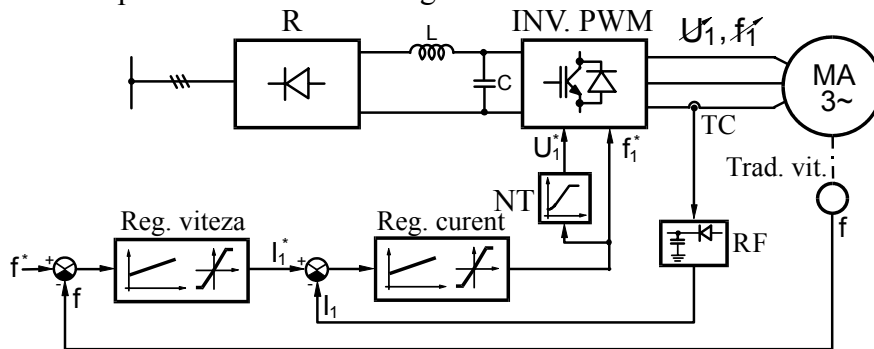


Fig. III.6. Schema de principiu a sistemului de reglare a vitezei cu buclă internă de curent.

Bucula internă de curent utilizează un regulator PI cu saturație pentru limitarea curentului în regim de accelerare/decelerare, asigurându-se astfel un control direct al limitei de curent și implicit al cuplului, funcție care era realizată în schema anterioară prin controlul alunecării. Practic, reacția de curent poate fi luată fie de la ieșirea inverterului (ca în figura III.6), caz în care este necesară redresarea și filtrarea acestuia prin blocul RF, sau poate fi luată din circuitul de curent continuu, caz în care nu mai este necesară redresarea și filtrarea acestuia.

III.2.3. Reglarea vitezei la flux constant cu curent programabil

Dacă se utilizează un inverter de curent, curentul din circuitul intermediar de curent continuu al convertorului de frecvență poate fi controlat utilizând un redresor comandat, conform figurii III.7.

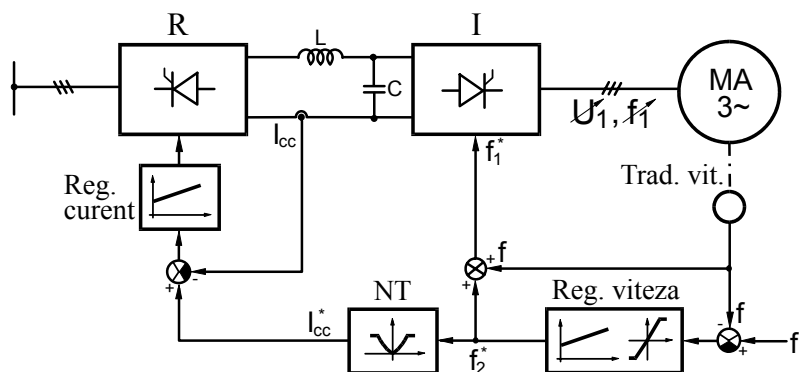


Fig. III.7. Schema de principiu a sistemului de reglare la flux constant cu curent programabil.

Modul de reglare al curentului urmărește o lege care să asigure menținerea constantă a fluxului magnetic. La flux constant, variația curentului statoric cu frecvența rotorică sau cu alunecarea se face după o caracteristică simetrică, putând fi implementată prin intermediul unui generator de funcții NT, conform figurii III.7. Alunecarea (frecvența de alunecare) f_2 care se obține din eroarea buclei de viteză, asigură un control programabil al curentului, în scopul menținerii constante a fluxului magnetic.

Configurația convertorului static de frecvență cu circuit intermediar de curent continuu cu redresor comandat, are avantajul că asigură posibilitatea frânării cu recuperarea energiei în rețeaua de alimentare, atunci când eroarea de viteză și alunecarea devin negative.

Concluzii cu privire la reglarea scalară a vitezei motorului asincron

Metoda controlului scalar a vitezei motorului asincron, cunoscută în literatura de specialitate și sub denumirea de “reglare $U/f = \text{const.}$ ” sau mai concis “principiul V/Hz”, reprezintă singura metodă clasică de control al vitezei utilizată și în prezent. Deși considerată ca fiind o metodă de control eficient numai în regim staționar, ea poate fi utilizată cu rezultate foarte bune și în regimuri dinami-

ce, dacă se adoptă o schemă cu reacții interne după fluxul magnetic și după cuplul electromagnetic sau dacă se iau măsuri de compensare a lunecării.

Sistemele de reglare cu control scalar al vitezei sunt cele mai simple și cele mai sigure sisteme utilizate în prezent. Ele sunt implementate prin folosirea microcontrolerelor. Utilizarea circuitelor VLSI, cu logică programată, de tip microprocesor sau procesor numeric de semnal, asigură o serie de avantaje în optimizarea controlului, cum ar fi:

- posibilitatea alegerii caracteristicilor optime de reglare, în concordanță cu caracteristicile mecanismului de antrenat;
- posibilitatea alegerii unor legi de control U/f care să asigure optimizarea randamentului sau ameliorarea factorului de putere;
- posibilitatea setării unor programe pentru modificarea vitezei de referință;
- posibilitatea setării unor frecvențe critice (de rezonanță mecanică) care trebuie evitate la controlul vitezei într-un sistem de acționare dat;
- posibilitatea setării parametrilor motorului utilizat în vederea calculării sau corectării caracteristicilor de comandă.

Majoritatea acestor avantaje sunt folosite la conceperea sistemelor de comandă și control fabricate în prezent.

Se poate afirma că datorită unor avantaje cum ar fi: simplitatea, fiabilitatea ridicată, costul redus al sistemelor de reglare, metoda controlului scalar al vitezei motorului asincron constituie metoda cea mai indicată pentru acționările reglabile de uz general unde nu se cer performanțe dinamice deosebite la reglarea vitezei.