

**CONSTANTIN VLAD SURU**

**MIHĂIȚĂ LINCĂ**

**FLORIN RAVIGAN**



**CONSTANTIN VLAD SURU      MIHĂIȚĂ LINCĂ**  
**FLORIN RAVIGAN**

**UTILIZAREA**  
**MICROCONTROLERELOR**  
**ÎN SISTEMELE NUMERICE**



**EDITURA UNIVERSITARIA**  
**CRAIOVA, 2026**

**Referenți științifici:**

**Prof.univ.dr. ing. Dan SELIȘTEANU**

**Conf.univ.dr.ing. Gheorghe Eugen SUBȚIRELU**

Copyright © 2026 Editura Universitaria

Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria

**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**

**SURU, CONSTANTIN VLAD**

**Utilizarea microcontrolerelor în sistemele numerice / Constantin Vlad**

Suru, Mihăiță Lincă, Florin Ravigan. - Craiova : Universitaria, 2026

Conține bibliografie

ISBN 978-606-14-2254-8

I. Lincă, Mihăiță

II. Ravigan, Florin

004

62

© 2026 by Editura Universitaria

Această carte este protejată prin copyright. Reproducerea integrală sau parțială, multiplicarea prin orice mijloace și sub orice formă, cum ar fi xeroxarea, scanarea, transpunerea în format electronic sau audio, punerea la dispoziția publică, inclusiv prin internet sau rețele de calculatoare, stocarea permanentă sau temporară pe dispozitive sau sisteme cu posibilitatea recuperării informațiilor, cu scop comercial sau gratuit, precum și alte fapte similare săvârșite fără permisiunea scrisă a deținătorului copyrightului reprezintă o încălcare a legislației cu privire la protecția proprietății intelectuale și se pedepsesc penal și/sau civil în conformitate cu legile în vigoare.

# 1 INTRODUCERE ÎN SISTEMELE NUMERICE DE COMANDĂ (ECHIPAMENTELE NUMERICE)

Noțiunea de echipament numeric se referă la echipamentul de comandă al unei instalații electromecanice și depinde de complexitatea acesteia (tip și număr de elemente de execuție, traductoare, etc.). Instalația electromecanică include mașini-unelte (Figura 1), linii automate de fabricație, roboți industriali (Figura 2), sisteme de acționare electrice (Figura 4), hidraulice, pneumatice, ș.a.m.d. [1].



a)



b)

*Figura 1. Exemple de mașini unelte cu comandă numerică: a) freză, b) robot de debitare cu plasmă*

Trebuie făcută precizarea că oricare ar fi instalația electromecanică, aceasta conține un număr de elemente de execuție (de exemplu motoare electrice de acționare), alimentate de regulă, prin intermediul unui convertor static, comandat de către echipamentul numeric de comandă. În funcție de complexitatea instalației, elementele de execuție pot fi comandate de un singur echipament numeric de comandă (de exemplu, un automat programabil) sau de mai multe echipamente (fiecare echipament comandă un număr de elemente de execuție), acestea fiind la rândul lor, comandate de un echipament numeric ierarhic superior.

În arhitectura echipamentelor numerice trebuie făcută distincția între comandă și conducere. Comanda se referă la structuri în buclă deschisă, unde mărimea impusă (prescrisă) este independentă. Instalația tehnologică este însă influențată de perturbația  $v$  (Figura 5) [1].

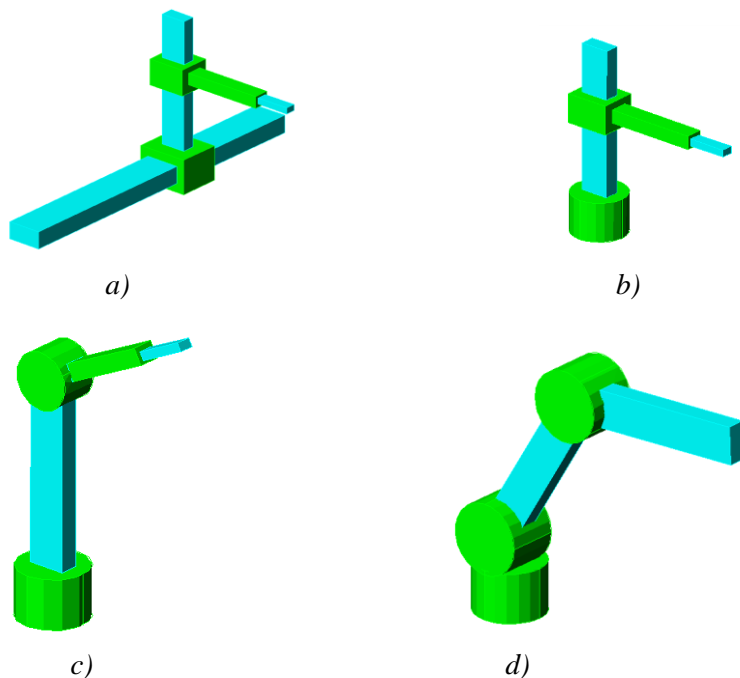


Figura 2. Tipuri de roboți industriali: a) în coordonate carteziene, b) în coordonate cilindrice, c) în coordonate sferice, d) în coordonate antropomorfe

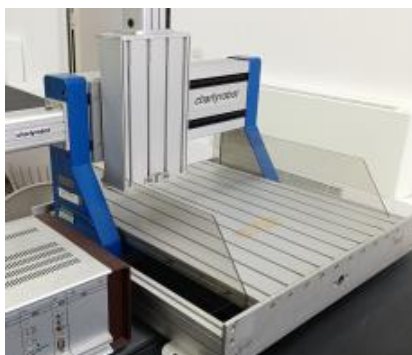


Figura 3. Exemple de roboți industriali: a) în coordonate carteziene, b) în coordonate antropomorfe



a)



b)



c)

Figura 4. Exemple de sisteme de acționare electrică: a) industrial, b) didactic/experimental – motor electric de acționare cu mașină de lucru și traductor de turație, c) calculator industrial cu placa de prototipare și convertorul static de putere

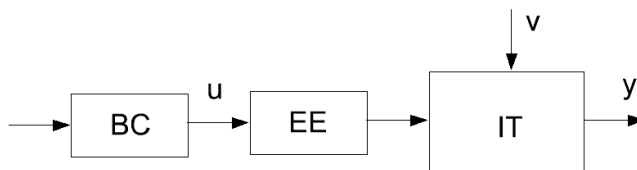


Figura 5. Structură de comandă

Unde:

- $u$  - mărime de intrare (impusă);
- $v$  - perturbație;
- BC - bloc de comandă;
- EE - element de execuție;
- IT - instalație tehnologică;
- $Y$  - mărime de ieșire.

Conducerea se referă la reglarea mărimii de ieșire, în buclă închisă, prin compararea valorii prescrise cu cea reală și ajustarea automată a mărimii de intrare,  $u$  (Figura 6) [1] [2].

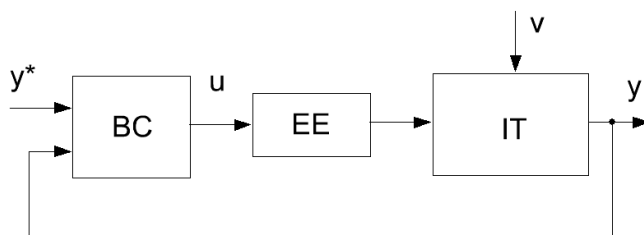


Figura 6. Structură de conducere

Într-o astfel de structură instalația tehnologică poate fi un motor electric de acționare, ce acționează un agregat, iar elementul de execuție poate fi un redresor comandat. Echipamentul numeric va primi mărimea prescrisă (viteza de rotație a motorului) și va genera tensiunea de comandă furnizată dispozitivului de comandă pe grilă al redresorului.

Comanda numerică se referă la utilizarea în blocul de comandă a unor echipamente cu număr finit (discret) de stări [1].

Astfel, dacă un sistem analogic de reglare are structura ilustrată în Figura 7, fiecare mărime din sistem va evolua printr-un număr infinit de valori (sistem analogic, continuu).

Sistemul este descris prin ecuațiile de stare [1] [2]:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases} \quad (1)$$

Unde:

- $x$  - vectorul variabilelor de stare;
- $\dot{x}$  - vectorul derivatelor variabilelor de stare;
- $y$  - vectorul variabilelor de ieșire;
- $u$  - vectorul variabilelor de intrare;

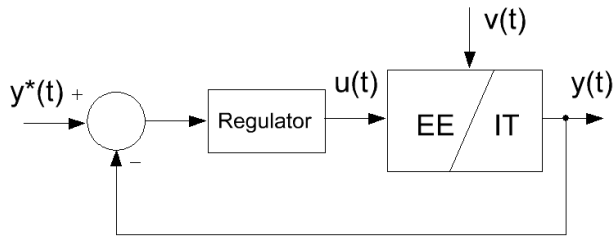


Figura 7. Schema structurală a unui sistem de reglare automată

Pentru simplificare putem considera că perturbațiile fac parte din mărimile de intrare.

De exemplu, pentru un motor de c.c. mărimea de intrare o reprezintă căderea de tensiune pe indus iar cuplul mecanic, perturbația. O situație oarecum teoretică în care cuplul este controlabil, deci tot mărime de intrare o reprezintă acționarea unei benzi transportoare – când cantitatea de material transportat poate fi dozată.

Pentru un sistem de reglare numeric, discret, cu stări finite, sistemul de ecuații de stare va fi [2]:

$$\begin{cases} x_{i+1} = Ax_i + Bu_i \\ y_i = Cx_i + Du_i \end{cases} \quad (2)$$

Unde mărimile cu indicele  $i$  reprezintă mărimile de la pasul curent, iar cele de  $i+1$ , de la pasul de calcul următor.

Sistemele de reglare numerică pot fi de două tipuri [1]:

- *asincrone* – pentru care tranziția de la starea curentă la starea următoare se poate face la orice moment de timp;
- *sincrone* – tranziția se face la momente bine stabilite de către un semnal de tact.

În funcție de tipul elementelor fizice de comandă, există următoarele tipuri de comenzi [1]:

- *în logică cablată* – efectuarea tranzițiilor dintre stări se face printr-un protocol stabilit de schema de montaj (modificările sunt dificile);
- *în logică programată* – efectuarea tranzițiilor dintre stări se face pe baza unui program memorat (modificările sunt ușor de realizat, prin modificarea programului);
- *în logică dinamică* – comutările se obțin prin mișcarea mecanică a unor elemente de comandă (contacte și relee);
- *în logică statică* – fără asociere între comutări și mișcare (cu elemente semiconductoare).

Echipamentele numerice de comandă au cunoscut pe parcursul timpului mai multe generații, de la sistemele de comandă cu contacte și relee până la sistemele multiprocesor [1].

Sistemele moderne bazate pe microprocesor sunt de o mare varietate de soluții [1] [2]:

- *automate programabile* – apărute ca o alternativă dinamică, ușor reprogramabilă la soluția clasică, cu contacte și relee;
- *comanda cu sisteme de dezvoltare cu microcontroler* – sisteme de comandă mici, dinamice, integrabile în sistemul condus după completarea cu elemente de comandă adecvate (relee, contactoare, etc.);
- *comanda cu calculator de proces* – structură numerică de comandă și reglaj dotată cu interfețe puternice pentru achiziția și distribuția semnalelor analogice și digitale, respectiv, cu elemente de programare specializate.

Datorită dezvoltării acestor categorii din punct de vedere al modulelor software și hardware, diferențele de încadrare într-o categorie sau în alta sunt mai șterse [1].

De exemplu, un automat programabil conține în structura sa microcontrolere sau microprocesoare. De asemenea, poate conține convertoare analog-numerice puternice sau module de control a temperaturii specifice unui calculator de proces [1].

Avantajele utilizării echipamentelor bazate pe microprocesoare, sunt [1]:

- flexibilitatea programului de comandă;
- echipamentul de comandă este mic și ușor;
- fiabilitate ridicată prin reducerea complexității schemelor și a cablajelor;
- viteze mari de execuție.

Dezavantajele constau în nivelul profesional ridicat, necesar.

*Aplicație* –Reglarea vitezei unui sistem de acționare cu motor de c.c. și redresor comandat

Sistemul de acționare cu motor de curent continuu și redresor are ca elemente principale componente:

- motorul de curent continuu;
- mașina de lucru;
- convertorul static – uzual, redresor trifazat în punte, complet comandat;
  - o partea de forță (transformator de rețea, puntea tiristorizată);
  - o partea analogică de comandă (DCG - dispozitivul de comandă pe grilă)
- sistemul numeric de comandă.

După cum se știe, turația motorului electric de acționare este reglată în buclă deschisă de către partea de comandă a redresorului (dispozitivul de comandă pe grilă/poartă), însă este dependentă de mai mulți factori:

- sarcina mecanică a motorului electric de acționare (mașina de lucru);
- tensiunea de alimentare a motorului, care la rândul ei, fiind furnizată de către redresorul comandat, este dependentă de:
  - o curentul absorbit de motor din redresor (conform caracteristicilor externe ale redresorului).

Pentru reglarea vitezei acționării (menținerea vitezei motorului electric de acționare la valoarea necesară, indiferent de valoarea sarcinii mecanice) se impune reglarea vitezei în buclă închisă. Pentru aceasta se poate utiliza un sistem analogic de reglare sau un sistem numeric de reglare.

Sistemul numeric de reglare are structura de principiu ilustrată în Figura 8 [1]. Pentru stabilirea structurii acestuia trebuie ținut cont de principiul de funcționare al sistemului de acționare cu redresor și motor de c.c., plecând de la ecuațiile de funcționare (Figura 9).

Prima ecuație se obține aplicând teorema a II-a a lui Kirchhoff pe circuitul ilustrat în Figura 9:

$$u_a = R_a \cdot i_a + L_a \cdot \frac{di_a}{dt} + e \quad (3)$$

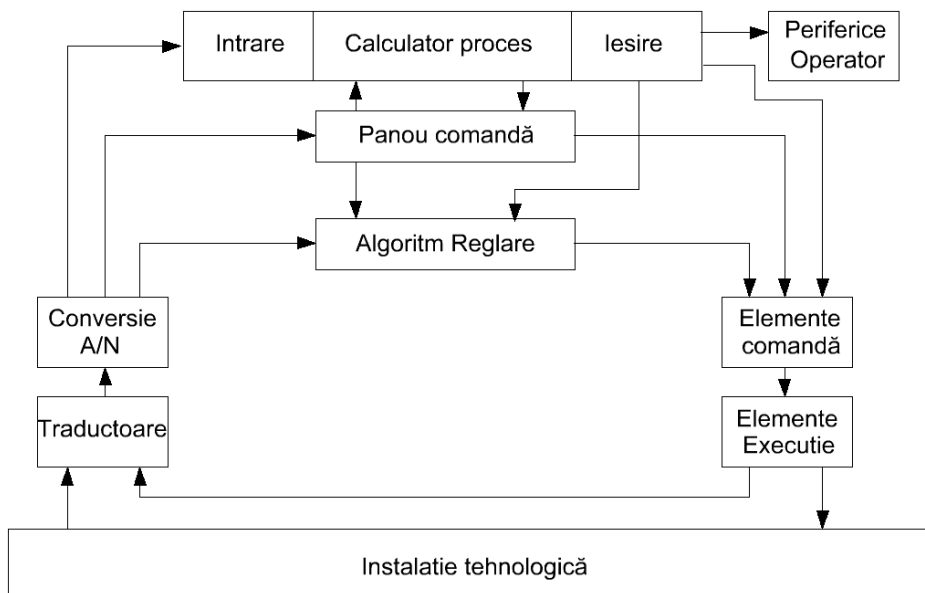


Figura 8. Schema bloc de principiu a unui sistem numeric de reglare

Unde

- $R_a$  - rezistența indusului motorului;
- $L_a$  - inductivitatea indusului motorului;
- $u_a$  - tensiunea de alimentare a indusului;
- $e$  - tensiunea electromotoare indusă;
- $i_a$  - curentul prin indus;

A doua ecuație este dată de expresia tensiunii electromotoare induse:

$$e = k\phi \cdot \omega \quad (4)$$

Unde

- $\omega$  - viteza de rotație a rotorului;

Se obține:

$$u_a = R_a \cdot i_a + L_a \cdot \frac{di_a}{dt} + k\phi \cdot \omega \quad (5)$$

$$\omega = \frac{u_a}{k\phi} - \frac{R_a \cdot i_a}{k\phi} - \frac{L_a \cdot \frac{di_a}{dt}}{k\phi} \quad (6)$$

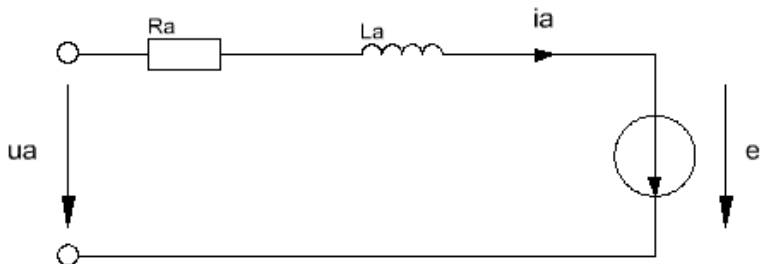


Figura 9. Schema echivalentă a motorului de curent continuu

În regim staționar:

$$\Omega = \frac{U_a}{k\phi} - \frac{R_a \cdot I_a}{k\phi} \quad (7)$$

Ținând cont de faptul că:

$$M = k\phi \cdot I_a \quad (8)$$

Se obține:

$$\Omega = \frac{U_a}{k\phi} - \frac{R_a \cdot M}{(k\phi)^2} \quad (9)$$

Mărimea de intrare în sistemul condus (nu în sistemul de reglare) este, astfel, tensiunea  $U_a$ , iar mărimea de ieșire, viteza unghiulară,  $\Omega$ . În contextul în care tensiunea  $U_a$  reprezintă de fapt tensiunea medie redresată,  $U_d$ , atunci:

$$U_a = U_d = U_{d0} \cdot \cos \alpha \quad (10)$$

În relația (1.10)  $\alpha$  depinde cvasiliniară de tensiunea de comandă aplicată circuitului de comandă pe poartă  $\beta$ AA145.

Astfel, mărimea de comandă generată de către sistemul numeric de reglare elementului de execuție, este tensiunea de comandă pentru circuitul de comandă pe poartă,  $\beta$ AA145 (Figura 10).

Se observă faptul că sistemul numeric de reglare (calculatorul de proces) achiziționează din partea de forță două mărimi:

- Tensiunea redresată;
- Turația motorului măsurată la bornele tahogeneratorului (a cărei tensiune este proporțională cu turația).

Se observă, de asemenea, că sistemul numeric de reglare (calculatorul de proces) dă la ieșire un semnal analogic și anume tensiunea de comandă pentru redresor.

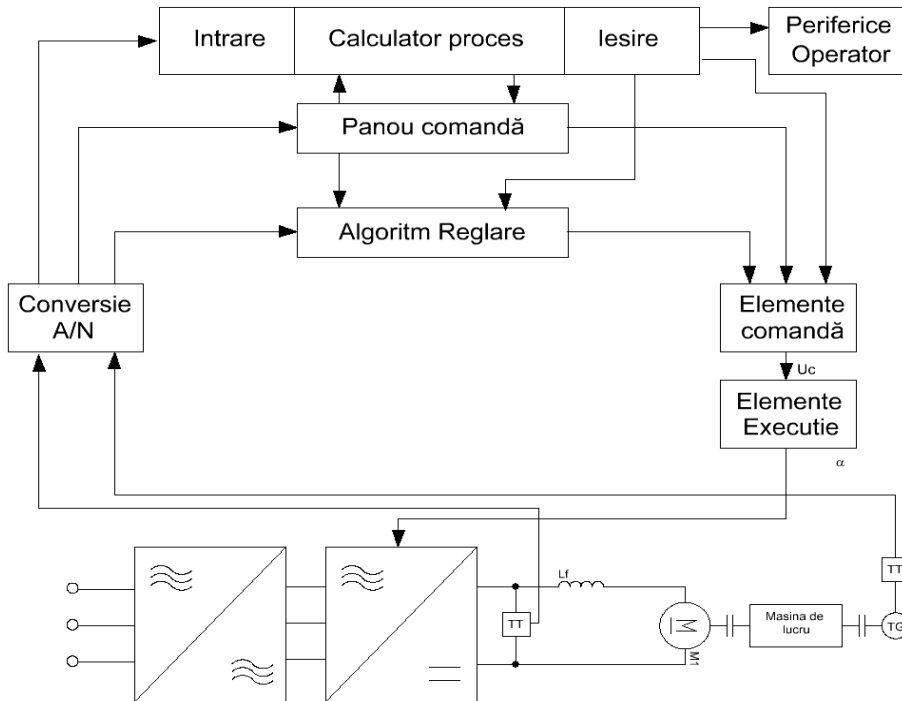


Figura 10. Schema bloc a comenzii numerice a sistemului de acționare cu motor de c.c. și redresor comandat

În Figura 10 s-au folosit notațiile:

- $L_f$  - bobină de filtraj;
- TT - traductor de tensiune;
- TG - tahogenerator.

Rezultă astfel, două semnale analogice de intrare în sistemul numeric de reglare, respectiv un semnal analogic de ieșire.

Schema de reglare aferentă Figura 10 este:

Semnalele analogice de intrare sunt convertite în semnale numerice, prelucrate în interiorul algoritmului de reglare, ce conține cele două bucle:

- bucla de reglare a vitezei, a cărei mărime de ieșire reprezintă tensiunea medie redresată necesară a fi aplicată motorului pentru a obține viteza impusă;
- bucla de reglare a tensiunii medii redresate, a cărei mărime de ieșire reprezintă tensiunea de comandă aplicată circuitului de comandă în fază al redresorului comandat.

Acest din urmă semnal, este aplicat de sistemul de reglare părții de forță, sistemului condus, dar este un semnal numeric, astfel că înainte de a fi aplicat dispozitivului de comandă pe grilă, trebuie să fie convertit într-un semnal analogic.

Semnalele considerate până acum sunt cele necesare asigurării funcționalității cerute ale aplicației. Pot fi avute în vedere și alte semnale, necesare asigurării unor funcționalități auxiliare cum ar fi asigurarea protecției la suprasarcină/scurtcircuit.

După cum se știe, protecția redresoarelor cu tiristoare se face cu siguranțe fuzibile ultrarapide. Este însă utilă (deși complică sistemul de comandă) evitarea situației în care siguranțele sunt arse și trebuie înlocuite. Pentru aceasta, schema de comandă din Figura 11 poate fi completată cu un al treilea semnal analogic achiziționat din partea de forță și anume curentul debitat de redresor.

Acest semnal poate fi folosit în algoritmul de reglare pentru compararea cu un prag limită, de protecție, a cărei depășire să conducă la inhibarea funcționării sistemului (nemaiajungându-se la protejarea redresorului de către siguranțele fuzibile decât în cazul în care protecția software nu acționează în timp util).

O altă variantă constă în implementarea în algoritm a unui al treilea regulator, de curent, care să acționeze în tandem cu regulatorul de tensiune asupra semnalului de comandă generat de sistemul numeric de comandă (și aplicat dispozitivului de comandă pe poartă al redresorului). Astfel, la atingerea curentului limită stabilit, regulatorul de curent acționează în sensul reducerii valorii medii a tensiunii redresate, astfel încât curentul debitat de redresor să nu depășească valoarea limită.

Sistemul numeric de reglare poate realiza prin comandă și funcția de inițializare a sistemului de acționare, prin conectarea la rețea a părții de forță, asigurarea alimentării excitației motorului înaintea pornirii redresorului, etc.

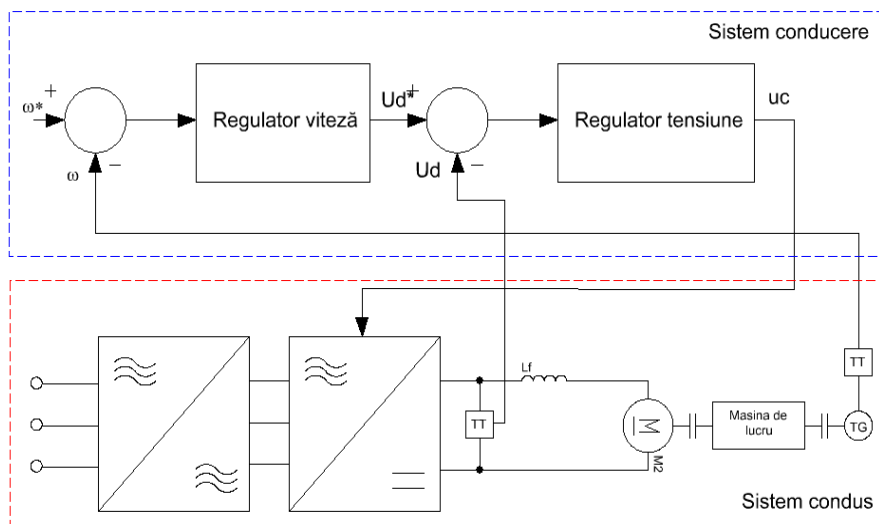


Figura 11. Schema de reglare a vitezei pentru sistemul de acționare cu redresor și motor de curent continuu

Pentru aceasta, sistemul de comandă trebuie prevăzut cu un număr de ieșiri numerice pentru comanda:

- Contactorului de conectare la rețea a transformatorului redresorului principal (de alimentare a indusului motorului electric de acționare)
- Contactorului de conectare la rețea a transformatorului redresorului auxiliar (de alimentare a înfășurării de excitație a motorului electric de acționare).

Pentru a evita hazardul, sistemul de comandă trebuie completat cu încă două semnale analogice aplicate algoritmul de comandă, semnale provenite de la traductoarele aferente montate în partea de forță a sistemului, pentru:

- Monitorizarea tensiunii rețelei trifazate de alimentare (astfel încât algoritmul de comandă să prevină conectarea la rețea a sistemului de acționare când aceasta nu este disponibilă);
  - o Conectarea în această situație ar conduce la saturarea regulatorului de viteză (deoarece motorul nealimentat nu va accelera către valoarea impusă a vitezei), fapt ce va conduce în cascadă la saturarea regulatorului de tensiune (redresorul nefiind alimentat, tensiunea de ieșire va fi nulă, indiferent de valoarea prescrisă a acesteia) și a