

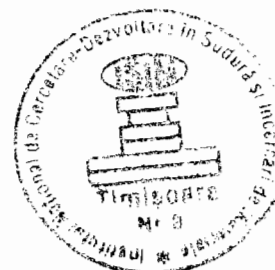
Regulator de turație cu reacție de tensiune electromotoare internă

- Descrierea invenției -

Invenția se referă la un regulator de turație pentru motoare electrice de curent continuu. Regulatorul propus este un dispozitiv electronic ce funcționează în impulsuri modulate în durată, utilizează reacția de tensiune electromotoare a motorului acționat, are circuite de protecție rapidă și temporizată și este prevăzut cu comenzi secvențiale pentru automatizare.

Domeniul de aplicare industrială a regulatorului de turație cu reacție de tensiune electromotoare internă propus îl reprezintă acționările electrice cu turație variabilă de la diverse categorii de utilaje, care solicită menținerea turației cu o stabilitate de $\pm 4\%$ față de valoarea precisă, pentru variații în limite admisibile ale tensiunii de alimentare și ale curentului de sarcină și care au prevăzută o plajă de reglare de cel puțin 20:1, ce reprezintă raportul dintre turația maximă și turația minimă ale domeniului de turație prescris. În particular, regulatorul de turație propus este destinat pentru acționările, având puterea nominală de 0,1 – 2,2 kW, de la echipamente de sudare mecanizată și automatizată.

În *situația actuală*, la regulatoarele sau variatoarele de turație pentru motoarele de curent continuu (c.c.) este utilizată reacția de turație dată de un tahogenerator, cuplat mecanic cu arborele motorului, sub forma unei tensiuni proporționale cu turația, care este însumată algebric, pe cale analogică sau digitală, cu o tensiune de referință (de semn opus), proporțională cu turația prescrisă, iar semnalul de eroare rezultat este amplificat și aplicat la intrarea generatorului de impulsuri de comandă pentru dispozitivele electronice de putere (tiristori, respectiv tranzistori), care sunt elementele de execuție prin care este reglată tensiunea medie de alimentare aplicată la bornele motorului de c.c. [1 – 12]. Aceste scheme electrice de principiu presupun existența unui tahogenerator, ceea ce atrage după sine dezavantajele următoare: gabarit mai mare al mecanismului și dificultăți de amplasare, dificultăți în proiectare și execuție, dar și un cost mai ridicat al acționării electrice. Reacția de turație de la tahogenerator este externă față de sistemul reglat, constituit de motorul electric.



Regulatorul de turație cu reacție de tensiune electromotoare internă propus conform invenției, are ca *obiect* reglarea turației unui motor de c.c. pentru orice valoare din domeniul de turație prescris, fără utilizarea unui tahogenerator, înlăturând astfel dezavantajele menționate.

Principiul de funcționare al regulatorului de turație cu reacție de tensiune electromotoare internă propus este descris în continuare.

La alimentarea în regim de impulsuri modulate în durată a unui motor electric de c.c. există o perioadă de comutație sau perioadă de repetiție a impulsurilor, ce corespunde frecvenței de lucru a generatorului de impulsuri PWM. Pe durata fiecărui impuls există un interval de timp de conducție $\Delta t_{\text{conducție}}$, în care tensiunea de alimentare U_a este aplicată la bornele motorului electric, respectiv un interval de timp de pauză, în care tensiunea de alimentare U_a nu este aplicată motorului.

Tensiunea electromotoare, proporțională cu turația este preluată ca reacție în intervalele de pauză de alimentare. Acest lucru este posibil, întrucât mașina electrică de curent continuu este reversibilă, astfel încât ea funcționează momentan ca generator de c.c. în intervalele $\Delta t_{\text{pauză}}$, conform ecuației tensiunii generatorului de c.c. [13, 14], considerată aici doar pentru intervalul de timp $\Delta t_{\text{pauză}}$:

$$U_e = U(\Delta t_{\text{pauză}}) + I_g R_i \quad (1)$$

$$U_e = k n \quad (2)$$

$$I \approx 0 \quad (3)$$

$$U(\Delta t_{\text{pauză}}) = k n \quad (4)$$

unde:

U_e [V] este tensiunea electromotoare a mașinii de c.c., care funcționează de fapt ca generator de c.c. în intervalele $\Delta t_{\text{pauză}}$;

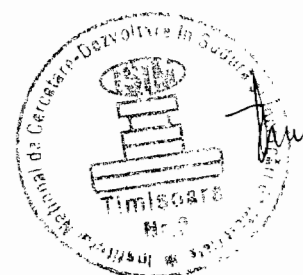
$U(\Delta t_{\text{pauză}})$ [V] este tensiunea la bornele mașinii de c.c. în intervalele de pauză $\Delta t_{\text{pauză}}$;

I_g [mA] este curentul debitat de mașina de c.c. în intervalele $\Delta t_{\text{pauză}}$ către comutatorul de reacție tranzistorizat al regulatorului; acest curent este de ordinul miliamperilor și el se poate neglija;

n [rot/min] este turația rotorului mașinii de c.c., proporțională cu viteza unghiulară Ω [rad/s];

k [Vmin/rot] este constanta mașinii electrice de c.c.;

R_i [Ω] este rezistența electrică a rotorului mașinii de c.c.



În schimb, în intervalele de timp de conducție $\Delta t_{\text{conducție}}$, tensiunea de reacție nu este preluată, deoarece la bornele mașinii de c.c. este aplicată tensiunea de alimentare U_a , conform ecuației tensiunii motorului de c.c. [13, 14], considerată aici doar pentru intervalul de timp $\Delta t_{\text{conducție}}$:

$$U(\Delta t_{\text{conducție}}) = U_e + I_m R_i \quad (5)$$

$$U(\Delta t_{\text{conducție}}) = U_a \quad (6)$$

unde:

$U(\Delta t_{\text{conducție}})$ [V] este tensiunea la bornele motorului electric de c.c.

în intervalele de timp de conducție $\Delta t_{\text{conducție}}$;

U_e [V] este tensiunea electromotoare a motorului de c.c.;

I_m [A] este curentul rotoric de sarcină al motorului de c.c.;

R_i [Ω] este rezistența electrică a rotorului mașinii de c.c. în regim de motor,

identică cu cea din relațiile (1 - 4)

Regulatorul de turație cu reacție de tensiune electromotoare internă propus, conform invenției, prezintă următoarele *avantaje*:

- Asigură menținerea constantă a turației unui motor de c.c. la orice valoare din domeniul de turație prescris, prin utilizarea reacției de tensiune electromotoare a motorului, care este proporțională cu turația, fără a se utiliza un tahogenerator.
- Efectuează limitarea curentului instantaneu în regimul dinamic de funcționare a motorului la o valoare prestabilită i_{MAX} , pentru protecția rapidă.
- Realizează protecția la suprasarcină a tranzistorului de putere și a motorului electric, în cazul în care curentul de sarcină atinge valoarea maximă admisă I_{max} .
- Realizează o secvență de comenzi temporizate la pornire și la oprire, făcând astfel posibilă programarea funcționării unui echipament automatizat.
- Este compatibil cu un programator de proces bazat pe microprocesor sau cu un calculator personal, pentru programarea și conducerea procesului tehnologic
- Permite modificarea turației pe parcursul procesului de exploatare a motorului electric, ceea ce este necesar pentru corecții în timp real ale parametrilor tehnologici.
- Necesită un număr redus de componente suplimentare în aplicații specializate.
- Permite executarea unor sisteme de acționare electrică având gabarit redus.



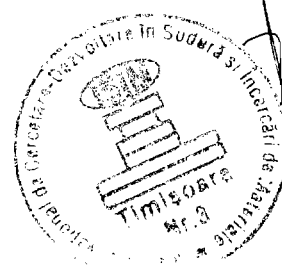
- Permite modernizarea unor sisteme de acționare electrică aflate în exploatare în prezent, unde nu este posibilă sau este dificilă montarea unui tahogenerator.
- Permite efectuarea de comenzi și reglaje rapide.
- Necesită alimentarea în curent alternativ de la o singură tensiune de alimentare.

Se dă, în continuare, un *exemplu de realizare a invenției* în legătură și cu figura 1, care reprezintă schema de principiu a regulatorului de turație cu reacție de tensiune electromotoare internă propus:

Regulatorul de turație cu reacție de tensiune electromotoare internă, conform invenției, este constituit dintr-un comparator combinat cu un amplificator AO1, iar la intrarea directă a comparatorului se aplică o tensiune de referință U_{ref} proporțională cu o turație de referință n_{ref} , preluată de la un potențiomtru R_{ref} și inversată, în prealabil, de către un amplificator AO2 cu rol de inversor, respectiv la intrarea complementară a comparatorului se aplică o *reacție de tensiune electromotoare U_e , care este internă, deoarece este preluată din interiorul sistemului reglat și ea constituie elementul original de principiu al invenției*, astfel încât semnalul de eroare de la ieșirea amplificatorului AO1 este aplicat ca tensiune de comandă u_m la intrarea unui generator de impulsuri modulate în durată PWM, care generează impulsuri ce au o frecvență f de 500 - 1500 Hz, respectiv perioada de repetiție $T = f^{-1}$ și a căror durată $\Delta t_{conducție}$ este proporțională cu valoarea tensiunii de comandă u_m , impulsuri aplicate la intrarea unui amplificator pentru curentul de bază ACB, a cărui ieșire comandă baza unui tranzistor de putere TD, funcționând în regim de comutație în impulsuri dreptunghiulare, care conectează periodic, cu perioada de repetiție T și pe o durată $\Delta t_{conducție}$ reglabilă, un motor electric de curent continuu M la tensiunea de alimentare U_a (obținută prin redresare, în prealabil), în așa fel încât tensiunea medie de alimentare ce rezultă la bornele motorului de c.c. M este dată de relația:

$$U_{med} = U_a \Delta t_{conducție} / T, \quad (7)$$

respectiv în intervalul de timp de pauză $\Delta t_{pauză}$, când tranzistorul de putere TD nu conduce curentul de sarcină, tensiunea la bornele motorului electric M este egală cu tensiunea electromotoare U_e și proporțională cu turația n a motorului de c.c. M, aflat momentan în situația de mașină de curent continuu în regim de generator de c.c., care se rotește în virtutea inerției, iar prin intermediul unui comutator de reacție tranzistorizat CRT comandat de la ieșirea complementară a generatorului de impulsuri PWM, în opoziție de fază cu tranzistorul



de putere TD, această tensiune electromotoare u_e sub formă de impulsuri, este preluată și integrată de către un circuit de integrare CI, analogic sau digital, și aplicată, în continuare, ca reacție de tensiune electromotoare U_e sub formă de tensiune continuă, la intrarea complementară a comparatorului combinat cu amplificatorul AO1, care asigură menținerea turației n a motorului de c.c. M la valoarea turației de referință n_{ref} , având în vedere că reacția de tensiune electromotoare U_e este proporțională cu turația ($U_e = k n$), întrucât circuitul de integrare CI a reconstituit forma continuă a tensiunii electromotoare și a anulat prin compensare reciprocă vârfurile de tensiune pozitive și negative produse de procesele de comutație datorate inductivității rotorului motorului electric M; regulatorul de turație cu reacție de tensiune electromotoare internă, conform invenției, conține, de asemenea, un amplificator AO3, având rol de comparator, iar pe intrarea directă a comparatorului AO3 se aplică o tensiune de referință proporțională cu valoarea curentului instantaneu maxim admis i_{Max} , care este limita dinamică de curent, respectiv la intrarea complementară a comparatorului AO3 se aplică o reacție de curent i_r preluată de pe un șunt R_s înseriat cu motorul electric M, astfel încât, atunci când curentul instantaneu de sarcină i_s a atins valoarea curentului instantaneu maxim admis i_{Max} , comparatorul AO3 dă la ieșirea sa un semnal treaptă de tensiune maximă pozitivă, care comandă amplificatorul pentru curentul de bază ACB, în așa fel încât curentul de colector al tranzistorului de putere TD se reduce rapid, cu un timp de răspuns introdus numai de caracteristicile dinamice ale amplificatorului AO3, precum și de inductivitatea parazită și de capacitatea parazită ale circuitului reacției de curent, până la valoarea prescrisă a unui curent de suprasarcină I_{max} , în scopul protecției rapide la impulsuri de curent a tranzistorului de putere TD și a motorului electric M, la pornire și la variații bruște și de scurtă durată ale cuplului rezistent și ale forțelor inerțiale la arborele motorului electric M; regulatorul de turație cu reacție de tensiune electromotoare internă, conform invenției, conține, de asemenea, un amplificator AO4, având rol de comparator, iar pe intrarea directă a comparatorului AO4 se aplică o tensiune de referință proporțională cu valoarea prescrisă a curentului de suprasarcină maxim I_{max} , respectiv pe intrarea complementară a comparatorului AO4 se aplică o reacție de curent i_r preluată de pe șuntul R_s , prin intermediul unui circuit de temporizare având o anumită constantă de timp T_i , astfel încât, atunci când curentul de sarcină prin motorul electric M a atins valoarea prescrisă a curentului de suprasarcină maxim I_{max} pe un interval de timp $\Delta t_{protecție} = 3 T_i$, comparatorul AO4 produce la ieșirea sa un semnal treaptă de tensiune maximă, care comandă un circuit de automenținere CA, iar acesta aplică tensiunea sa de alimentare la intrarea directă a comparatorului combinat cu amplificatorul AO1, anulând

referința de turație și întrerupând astfel funcționarea motorului electric M, în scopul protecției la suprasarcină a tranzistorului de putere TD și a motorului electric M, ale căror caracteristici tehnice au determinat alegerea valorilor prescrise pentru $I_{\max}$ și $\Delta t_{\text{protecție}}$, în așa fel încât funcționarea poate fi reluată numai după întreruperea alimentării de la întrerupătorul principal K_0 al echipamentului, remedierea deranjamentului sau a defecțiunii ce a cauzat suprasarcina și, apoi, recuplarea alimentării; regulatorul de turație cu reacție de tensiune electromotoare internă, conform invenției, conține, de asemenea, patru microrelee d1, d2, d3 și d4, comandate prin intermediul unor circuite de temporizare T1, T2, T3 și T4, precum și două relee miniatură d23 și d24, un releu de frânare d5 și un releu de reversare d6 (opțional), care realizează împreună o secvență programabilă de conectări temporizate la pornire (de exemplu: gaz de protecție, sursă de sudare, motor, poziționar, etc.), având anumite constante de timp, și, respectiv, o altă secvență programabilă de deconectări temporizate la oprire (de exemplu: oprirea motorului, frânarea, decuplarea sursei de sudare, oprirea manipulatorului, întreruperea gazului de protecție, etc.), având alte constante de timp, ambele secvențe fiind în conformitate cu diagrama temporală de funcționare a echipamentului industrial (de sudare) în cadrul căruia este utilizat regulatorul, iar declanșarea secvenței de conectări de la pornire și a secvenței de deconectări de la oprire se efectuează de la un singur buton K1 pentru comanda centralizată de pornire-oprire; regulatorul de turație cu reacție de tensiune electromotoare internă, conform invenției, conține, de asemenea, următoarele componente necesare pentru funcționare, care nu sunt însă relevante pentru principiul de funcționare: întrerupătorul general K_0 pentru cuplarea tensiunii alternative de alimentare U_0 , la ieșirea căruia se verifică prezența tensiunii U_{ca} , siguranța F1, redresorul V1, siguranța F3, sursa de tensiune pozitivă STP pentru alimentarea cu tensiunea V+ a circuitelor electronice ale componentelor, sursa de tensiune negativă STN pentru alimentarea cu tensiunea V- a circuitelor electronice ale componentelor, siguranța F2, circuitul de supresare a vârfurilor de tensiune de comutație RC, excitația motorului electric parcursă de curentul I_{ex} , dioda de stingere D_m , circuitul de anclanșare A5 comandat de tensiunea U_5 pentru întreruperea frânării, care este normal aplicată prin conectarea rezistenței R_f la bornele rotorului motorului electric, circuitele de anclanșare A3 și A4, diodele D1, D2, D3, D4 și D5, care au rol de separare a circuitelor de comandă.



Revendicări

1. Regulator de turație cu reacție de tensiune electromotoare internă, caracterizat prin aceea că el este constituit dintr-un comparator combinat cu un amplificator (AO1), la intrarea căruia se aplică, pe de o parte, o tensiune de referință U_{ref} , proporțională cu o turație de referință n_{ref} , și, pe de altă parte, o reacție de tensiune electromotoare U_e , care este internă, fiind preluată din interiorul sistemului reglat, ceea ce constituie elementul original de principiu al invenției, astfel încât semnalul de eroare de la ieșirea comparatorului combinat cu amplificator este aplicat ca tensiune de comandă u_m la intrarea unui generator de impulsuri modulate în durată (PWM), care generează la ieșirea sa directă impulsuri, care au frecvența constantă f în domeniul 500 - 1500 Hz, perioada de repetiție $T = f^{-1}$, iar durata $\Delta t_{conducție}$ proporțională cu valoarea tensiunii de comandă u_m , urmată de un interval $\Delta t_{pauză}$, impulsuri aplicate unui amplificator pentru curentul de bază (ACB), a cărui ieșire comandă în bază un tranzistor de putere (TD), funcționând în regim de comutație la frecvența menționată, în impulsuri dreptunghiulare, care conectează periodic, cu perioada de repetiție T și pe câte o durată egală cu $\Delta t_{conducție}$ reglabilă, un motor electric de curent continuu (M) la o tensiune de alimentare U_a (obținută prin redresare prealabilă), în așa fel încât la bornele motorului electric rezultă o tensiune medie de alimentare U_{med} conform relațiilor:

$$U_{med} = U_a \frac{\Delta t_{conducție}}{\Delta t_{conducție} + \Delta t_{pauză}} = U_a \frac{\Delta t_{conducție}}{T},$$

respectiv, în timpul pauzei, când tranzistorul nu conduce un curent de sarcină I_s , la bornele motorului electric există o tensiune egală cu tensiunea electromotoare U_e , proporțională cu turația n a motorului electric, care funcționează momentan ca mașină de curent continuu în regim de generator în intervalul $\Delta t_{pauză}$, întrucât el se rotește în virtutea inerției, iar prin intermediul unui comutator de reacție tranzistorizat (CRT) comandat de la ieșirea complementară a generatorului de impulsuri, în opoziție de fază cu tranzistorul de putere, tensiunea electromotoare u_e , sub formă de impulsuri, este aplicată unui circuit de integrare (CI), analogic sau digital, care reconstituie forma continuă a tensiunii electromotoare și anulează prin compensare reciprocă vârfurile de tensiune pozitive și negative produse de procesele de comutație datorate inductivității rotorului motorului la stabilirea și întreruperea curentului de sarcină I_s , astfel încât tensiunea continuă de la ieșirea circuitului de integrare se aplică mai departe ca reacție de tensiune electromotoare $U_e = k n$ la intrarea comparatorului,



18

în așa fel încât întregul ansamblu are rolul de regulator de tensiune electromotoare internă, care menține turația la valoarea de referință n_{ref} , cu o stabilitate de $\pm 4 \%$, pentru orice valoare a turației de referință din domeniul de prescriere a turației, ale cărui limite se află în raportul $n_{min}/n_{max} = 1/20$.

2. Regulator de turație cu reacție de tensiune electromotoare internă, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că el conține, de asemenea, circuite specializate de protecție la curentul instantaneu maxim admis i_{max} , respectiv la curentul maxim de suprasarcină I_{max} , care funcționează în combinație cu circuitele de reglare a turației.

3. Regulator de turație cu reacție de tensiune electromotoare internă, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că el conține, de asemenea, microrelee, comandate prin intermediul unor circuite de temporizare, relee miniatură, un releu de frânare și un releu de reversare (opțional), care realizează împreună o secvență programabilă de conectări temporizate la pornire, respectiv la oprire, în conformitate cu diagrama temporală de funcționare a echipamentului industrial.



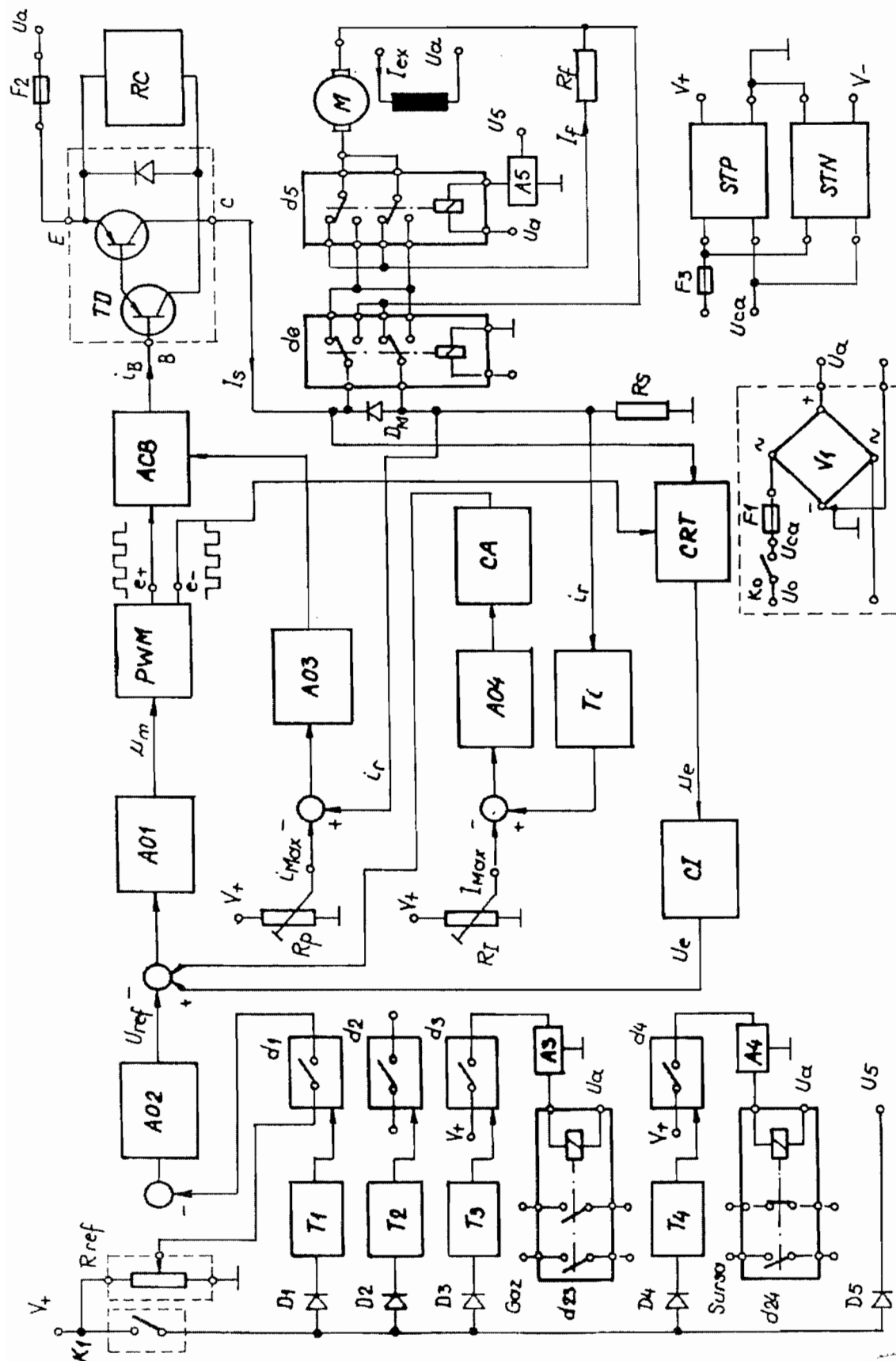


Figura 1

