

Modulul 3

Sisteme de reglare automată a debitului

Obiective

- Particularități la proiectarea structurii sistemului automat
- Sistem bazat pe elementul de execuție robinet de reglare
- Sistem bazat pe elementul de execuție convertizor static de frecvență – motor electric – pompa centrifugă
- Sistem adaptat pentru utilizarea pompelor volumice
- Probleme și întrebări

3.1. Particularități la proiectarea structurii sistemului automat

Sistemul de reglare a debitului este cel mai răspândit sistem automat destinat reglării parametrilor proceselor. Totuși, datorită particularităților procesului pot exista mai multe structuri de sisteme automate. Factorii care particularizează procesul și implicit sistemul automat sunt următoarele:

- Tipul pompei (centrifugă sau volumică).
- Caracteristica statică a traductorului (liniară sau neliniară).
- Tipul elementului de execuție (robinet de reglare sau motor electric cu turație variabilă).

În funcție de aceste particularități ale procesului au fost proiectate trei tipuri reprezentative de sisteme automate de reglare a debitului:

- a) Sistem bazat pe elementul de execuție robinet de reglare.
- b) Sistem bazat pe elementul de execuție convertizor static de frecvență – motor electric – pompa centrifugă.
- c) Sistem adaptat pentru utilizarea pompelor volumice.

3.2. Sistem bazat pe elementul de execuție robinet de reglare

Sistemul automat este compus din:

- Proces alcătuit din: pompa centrifugă cu turație constantă, conductă sub presiune;
- Traductor de debit compus din diafragma FE și traductorul de presiune diferențială FT;
- Regulator de debit FIC;
- Element de execuție alcătuit din convertor electro – pneumatic FY și robinetul de reglare FV.

Schema P&I a sistemului automat este prezentată în figura 3.1.

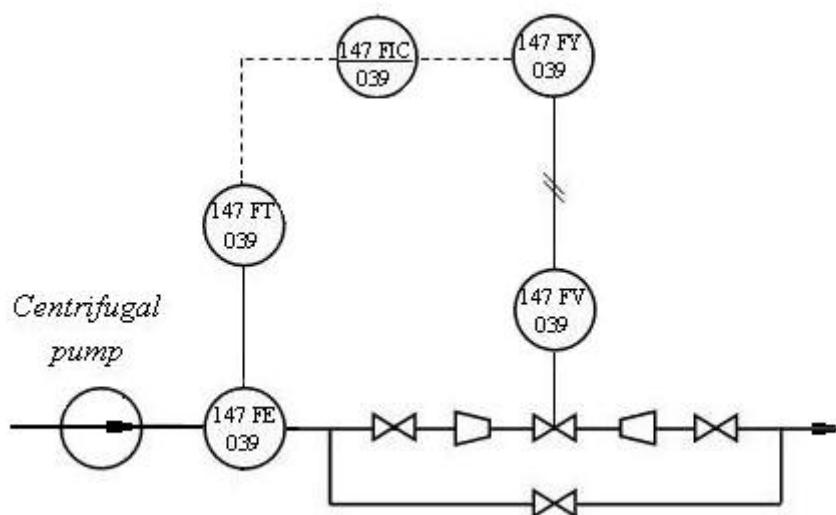


Fig. 3.1. Sistemul de reglare a debitului cu element de execuție robinet de reglare: FE – diafragmă; FT – traductor de presiune diferențială; FIC – regulator de debit; FY – convertor electro - pneumatic; FV – robinet de reglare.

Funcționarea sistemului automat este specifică sistemului hidraulic a cărui structura este prezentată în figura 3.2 [tenerife]. Sistemul hidraulic este caracterizat prin variabilele:

- Presiunea de refulare a pompei P_0 ;
- Căderea de presiune pe robinetul de reglare ΔP_R ;
- Căderea de presiune pe conducta ΔP_C ;
- Presiunea tehnologică la capătul conductei P_{out} ;
- Debitul de fluid Q .

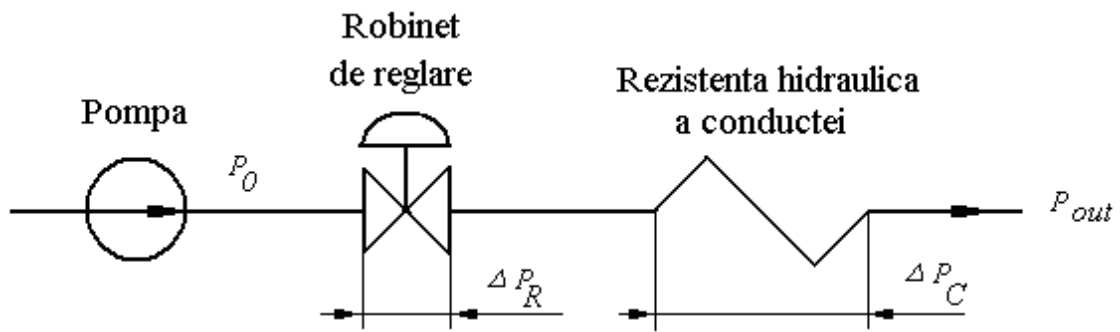


Fig. 3.2. Structura sistemului hidraulic.

Bilanțul energetic al sistemului hidraulic este dat de relația

$$P_o = P_{out} + \Delta P_R + \Delta P_C. \quad (3.1)$$

O interpretare grafică a relației (3.1) este prezentată în figura 3.3 [marinoiu ee].

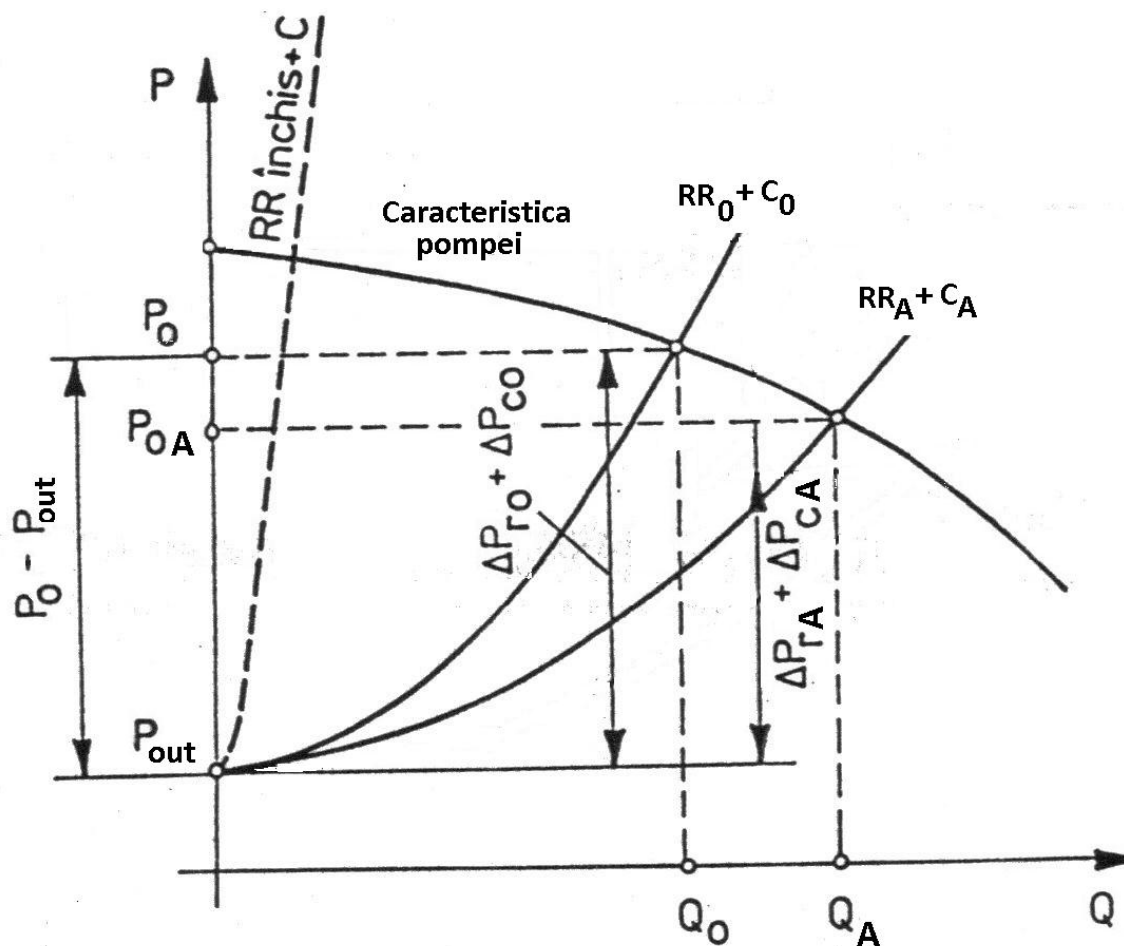


Fig. 3.3. Diagrama bilanțului de presiune în sistemul hidraulic.

Energia hidraulică consumată în sistemul hidraulic, $P_o - P_{out}$, se regăsește în pierderile de presiune din sistem, $\Delta P_R + \Delta P_C$. Prin ipoteză sistemul de reglare se găsește în poziția cu indicele 0 din figura 3.3. Energia consumată în sistemul hidraulic, $P_o - P_{out}$, este disipată pe robinetul de reglare și conductă, $\Delta P_{R0} + \Delta P_{C0}$. Pentru această situație, debitul va avea valoarea Q_o . Dacă se dorește mărirea debitului la valoarea Q_A va fi necesară micșorarea căderii de presiune pe robinetul de reglare, caracteristica $RR_A + C_A$.

În proiectarea sistemului de reglare automată a debitului trebuie parcurse trei etape care contribuie în mod direct la performanțele sistemului automat.

Traductorul. După tipul caracteristicii statice sunt disponibile două tipuri de traductoare:

- Traductoare cu caracteristică neliniară bazate pe reducerea secțiunii și măsurarea pierderii locale de presiune. În această categorie se încadrează traductorul de debit cu diafragmă, caracteristica diafragmei fiind prezentată în figura 3.4.

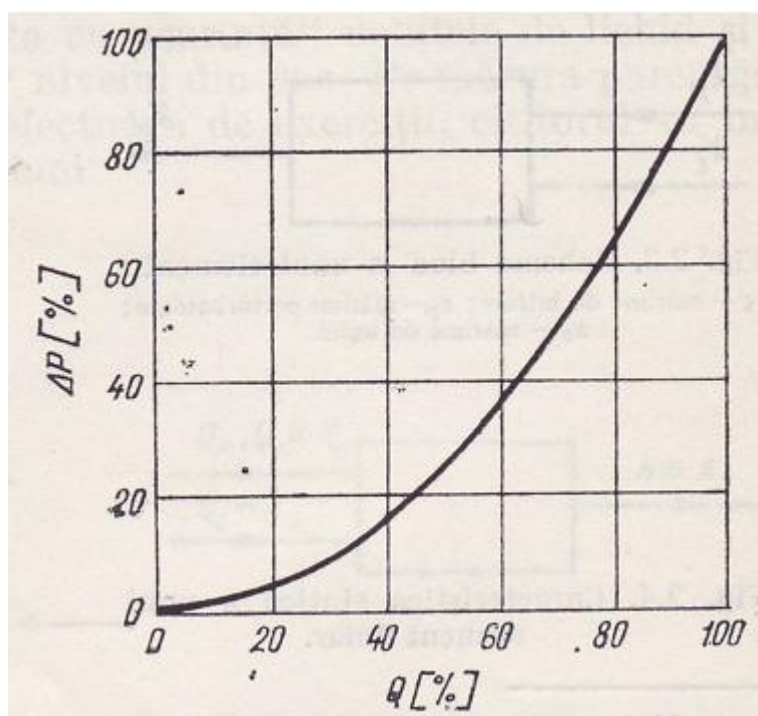


Fig. 3.4. Caracteristica statică a diafragmei.

- Traductoare cu caracteristică statică liniară, categorie din care face parte traductorul bazat pe forța Coriolis dar și traductoarele neliniare prevăzute cu elemente de calcul ce realizează liniarizarea semnalului (extractor de radical).

Robinetul de reglare. Specificitatea robinetelor de reglare constă în alegerea tipului de robinet, logaritmic sau liniar, în funcție de caracteristica statică a traductorului de debit. Pentru a obține o caracteristică liniară a sistemului automat este necesară alegerea unei caracteristici de lucru a robinetului de reglare după cum urmează:

- Dacă caracteristica statică a traductorului este neliniară se alege un robinet de reglare cu caracteristică intrinsecă liniară, robinet ce asigură o caracteristică de lucru neliniară, caracteristică ce compensează caracteristica statică a traductorului, figura 3.5-a.
- Dacă caracteristica statică a traductorului este liniară se alege un robinet de reglare cu caracteristică intrinsecă logaritmică, robinet ce asigură o caracteristică de lucru cvasiliniară, figura 3.5-b.

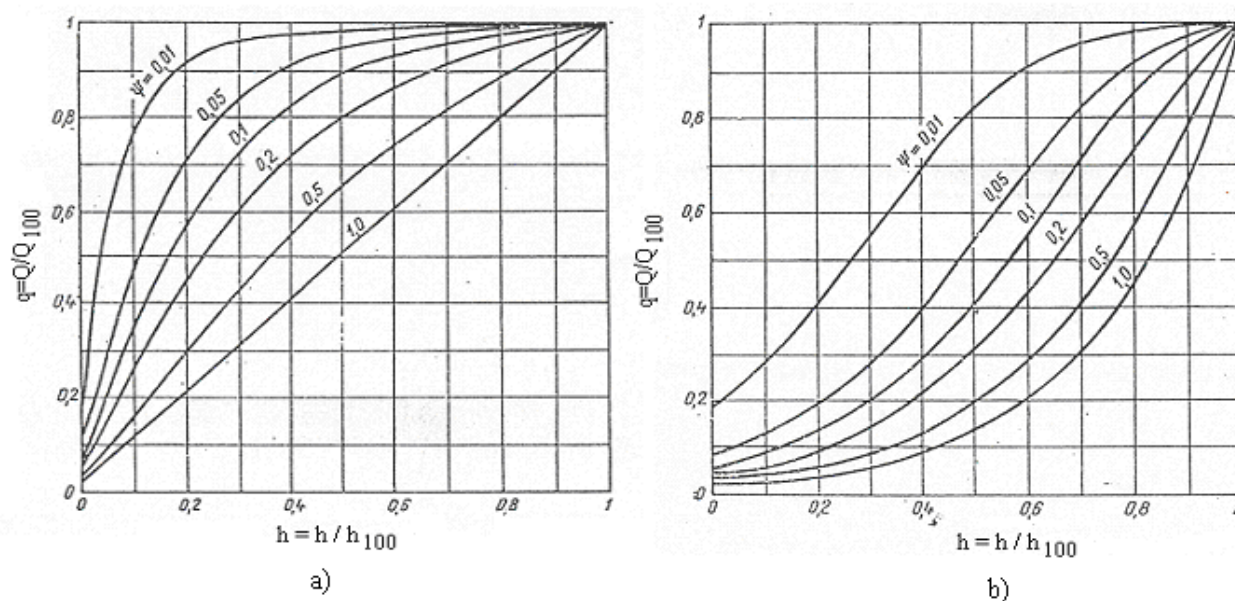


Fig. 3.5. Caracteristicile de lucru ale robinetelor de reglare:
 a) robinet de reglare cu caracteristică intrinsecă liniară;
 b) robinet de reglare cu caracteristică intrinsecă logaritmică.

Consumul energetic. Robinetul de reglare este un consumator de energie hidraulică, energie definită de relația

$$W_{RR} = \Delta P_R * Q, \quad [\text{W}] \quad (3.2)$$

în care ΔP_R și Q sunt exprimate în SI.

Dacă sunt utilizate unitățile de măsură ingineresti, ΔP_R în bar și Q în m^3/h , se obțin variantele următoare:

$$W_{RR} = 27,77 \Delta P_R * Q ; \quad [\text{W}] \quad (3.3)$$

$$W_{RR} = 0,027 \Delta P_R * Q . \quad [\text{kW}] \quad (3.4)$$

Energia consumată pentru reglare este energia hidraulică a pompei disipată pe robinetul de reglare. Un calcul numeric evidențiază nivelul cheltuielilor generate de robinetul de reglare din cadrul sistemului de reglare al debitului. Elementele de calcul sunt următoarele: ΔP_R este 3 bar și Q este $10 \text{ m}^3/\text{h}$. Aplicând relația (3.4) se obține $W_{RR} = 0,81 \text{ kW}$. Pentru un an de funcționare, 8000 ore, și un preț de 0,5 lei/kWh, efortul financiar va fi $Z_{RR} = 0,027 * 3 * 10 * 8000 * 0,5 = 3200 \text{ lei/an}$.

Reducerea consumului energetic poate fi realizat printr-o alegere a unui robinet de reglare cu Ψ mic, ceea ce va conduce la ΔP_R mic.

3.3. Sistem bazat pe elementul de execuție

convertizor static de frecvență – motor electric – pompa centrifugă

Sistemul automat este compus din:

- a) Proces alcătuit din conductă sub presiune;
- b) Traductor de debit compus din diafragma FE și traductorul de presiune diferențială FT;
- c) Extractor de radical FY;
- d) Regulator de debit FIC;
- e) Element de execuție alcătuit din convertizor static de frecvență – motor electric - pompa centrifugă.

Schema P&I a sistemului automat este prezentată în figura 3.6. Deoarece terminologia utilizată pentru elementul de execuție, convertizor static de frecvență – motor electric – pompa centrifugă, este foarte lungă, în cele ce urmează se va folosi doar termenul convertizor static de frecvență.

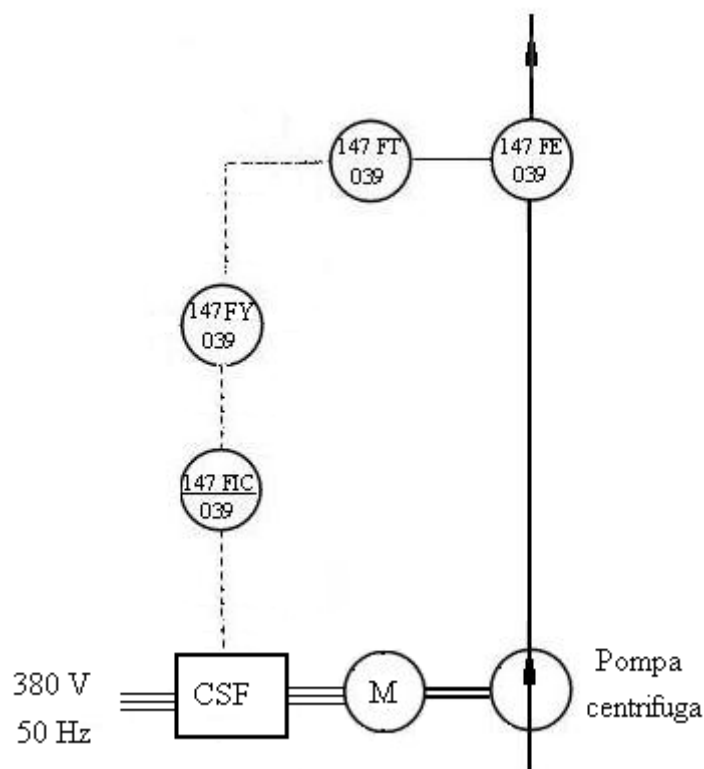


Fig. 3.6. Sistemul de reglare a debitului cu element de execuție convertizor static de frecvență: FE – diafragmă; FT – traductor de presiune diferențială; FY – extractor de radical; FIC – regulator de debit; CSF – convertizor static de frecvență; M – motor electric trifazat.

Convertizoarele de frecvență. Convertizoarele de frecvență transformă curentul alternativ de o anumită frecvență în curent alternativ de o altă frecvență. Convertizorul de frecvență este un dispozitiv bazat pe circuite electronice de putere, care transformă o frecvență fixă de bază (tensiune fixă de undă sinusoidală) într-o frecvență variabilă, tensiune de ieșire variabilă utilizată pentru a controla viteza motorului (motoarelor) de inducție. Acestea reglează viteza unui motor cu inducție trifazat, controlând frecvența și tensiunea puterii furnizate motorului. Viteza motorului poate fi variată de la zero rpm până la tipic 100-120% din turația sa maximă, în timp ce cuplul nominal de până la 150% poate fi obținut la viteză redusă. Motorul poate fi acționat în orice direcție.

Structura convertizorului static de frecvență este deosebit de complexă, fiind prezentată în figura 3.7. Mărimea de intrare a sistemului o reprezintă tensiunea U_i , deoarece comanda frecvenței f are la bază o relație de forma $f = b U_i$. Un sistem

automat de urmărire asigură realizarea tensiunii continue U_0 egală cu tensiunea prescrisă U_i , prin intermediul regulatorului UC.

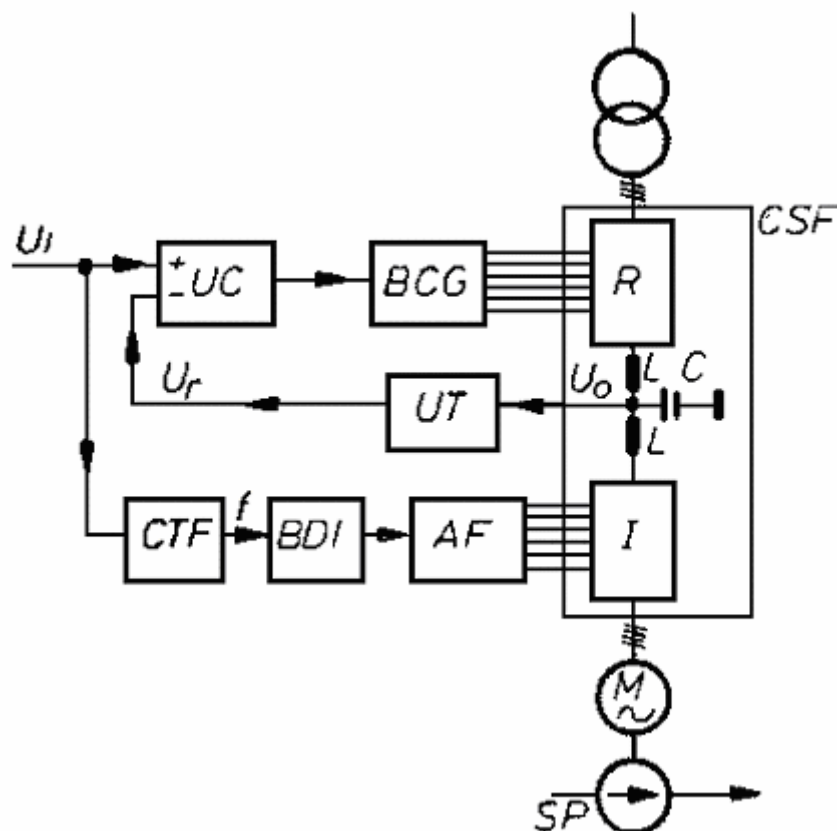


Fig. 3.7. Schema bloc a convertizorului static de frecvență: R - redresor;
I – invertor; UC – regulator de tensiune; BCG – bloc de comandă pe grilă;
UT – traductor de tensiune; CTF – convertizor tensiune - frecvență;
BDI – bloc distribuție impulsuri; AF – amplificatoare finale.

Designul de bază al convertoarelor de frecvență are în componență patru elemente:

- Redresorul
- Circuitul Intermediar
- Invertorul
- Unitatea de Control

Redresorul este format din șase diode (punte redresoare), care permit trecerea curentului într-o singură direcție. Tensiunea obținută este continuă, cu forme de undă de curent alternativ, tensiunea fiind cuprinsă între două limite, figura 3.8.

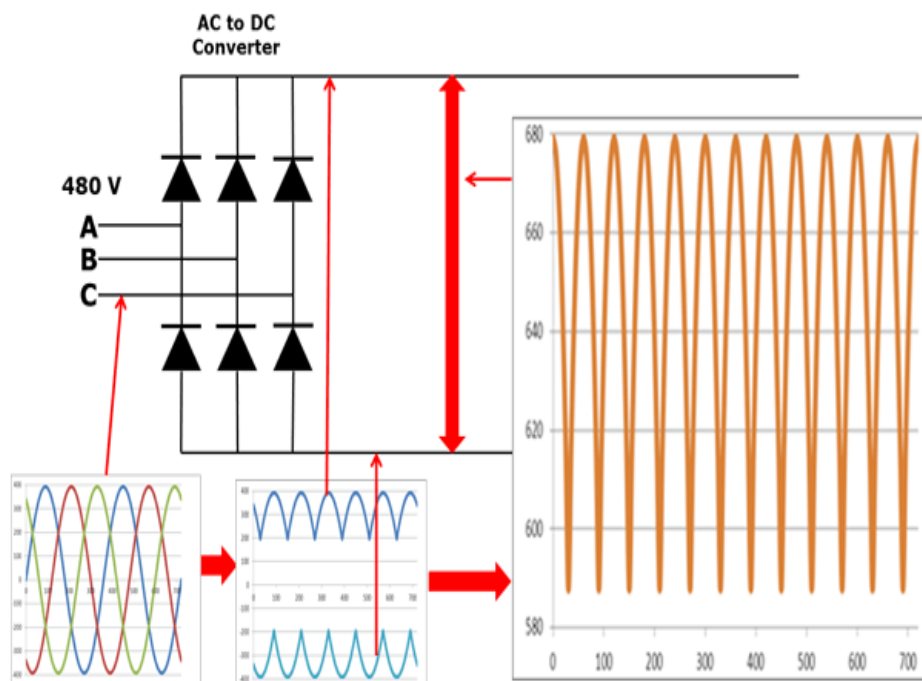


Fig. 3.8. Schema bloc a redresorului și formele de undă redresate.

Circuitul intermediar realizează condiționarea tensiunii redresate, operație ce urmărește atenuarea formelor de undă de curent alternativ pe magistrala DC a convertizorului. Condensatorul existent în structura circuitului intermediar absoarbe formele de undă de curent alternativ și oferă o tensiune continuă. Formele de undă de curent alternativ a magistralei DC este de obicei mai mică de 3 volți, figura 3.9.

Invertorul transformă curentul continuu condiționat într-o sursă de curent alternativ cu frecvență și tensiune variabilă. Pentru realizarea acestei transformări sunt utilizate întrerupătoare semiconductoare comandate pornite și oprite într-o secvență controlată. Prin utilizarea unei frecvențe variabile și a unor timpi de acțiune pentru fiecare întrerupător se obține un curent trifazat în înfășurările motorului. Circuitul electronic de putere este un tranzistor bipolar denumit IGBT. În figura 3.10 este prezentată schema bloc a invertorului, aplicarea pulsurilor PWM cu ajutorul IGBT-urilor și forma tensiunii generate.

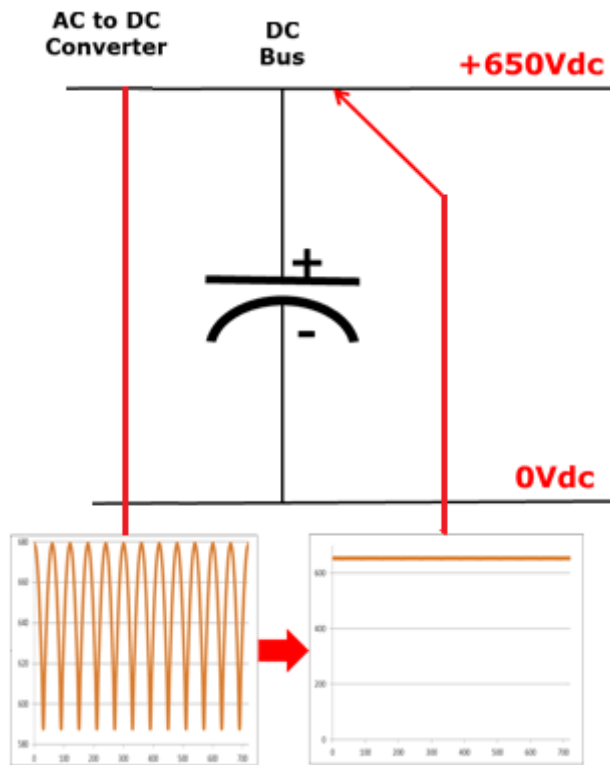


Fig. 3.9. Schema bloc a circuitului intermediar și formele de undă condiționate.

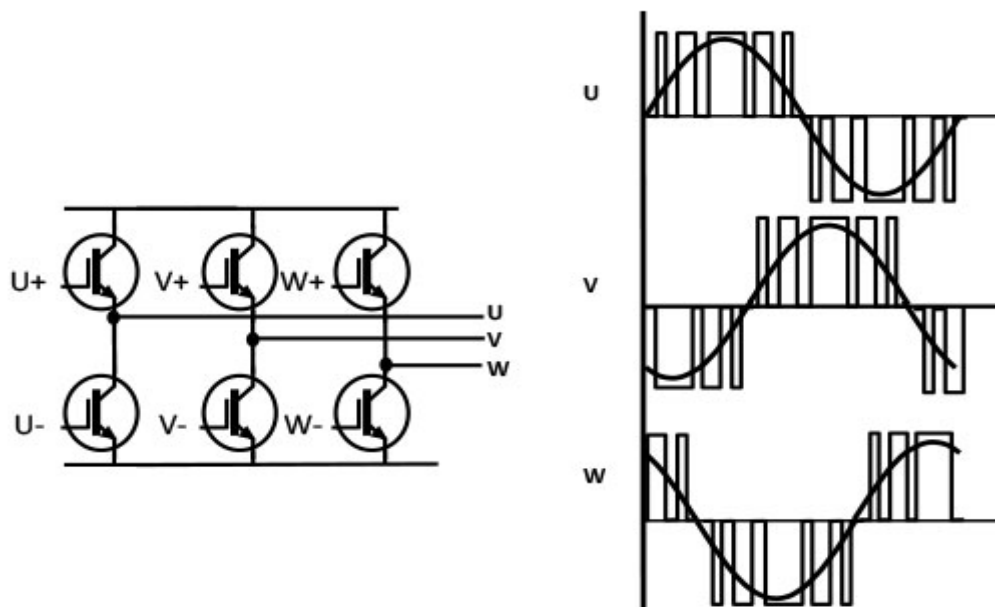


Fig. 3.10. Schema bloc a inverterului, aplicarea pulsurilor PWM cu ajutorul IGBT-urilor și forma tensiunii generate.

Funcționarea SRA debit. În cazul sistemului de reglare a debitului din figura 3.6, elementul de execuție este convertizorul de frecvență. Pentru sistemul automat de reglare a debitului, perturbațiile sunt rezistența hidraulică a conductei și presiunea la capătul conductei. La creșterea rezistenței hidraulice a conductei, prin bilanțul energiei hidraulice debitul va scădea de la valoarea Q_0 la valoarea Q_1 , figura 3.11 [marinoiu v1]. Regulatorul de debit va crește comanda și implicit turația motorului electric și a pompei, de la valoarea n_0 la valoarea n_1 . Noua turație va asigura energia necesară pentru vehicularea debitului Q_0 , referința sistemului automat, în condițiile modificării perturbației.

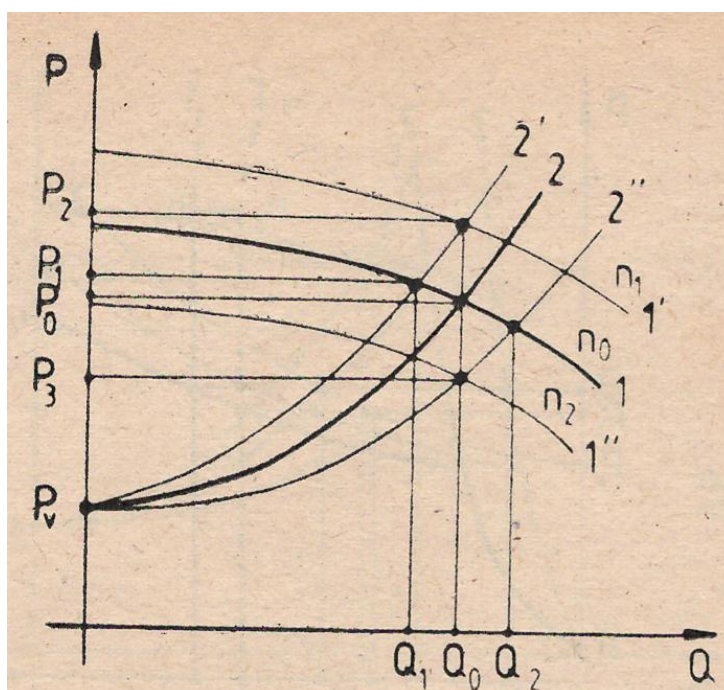


Fig. 3.11. Caracteristica statică a SRA debit la modificarea rezistenței hidraulice a conductei [marinoiu v1].

3.4. Sistem adaptat pentru utilizarea pompelor volumice

Pompa volumică este diferită constructiv și funcțional în raport cu pompa centrifugă. Cele mai importante pompe volumice sunt pompele cu piston, pompele cu roți dințate, figura 3.12. Specificul acestor îl reprezintă transferul total al volumului de fluid și implicit lipsa recirculării fluidului în interiorul pompei. Această caracteristică impune utilizarea unei conducte externe de recirculare a fluidului, conductă utilizată în cadrul sistemului automat de reglare a debitului, figura 3.13.



Fig. 3.12. Imagini ale pompelor volumice.

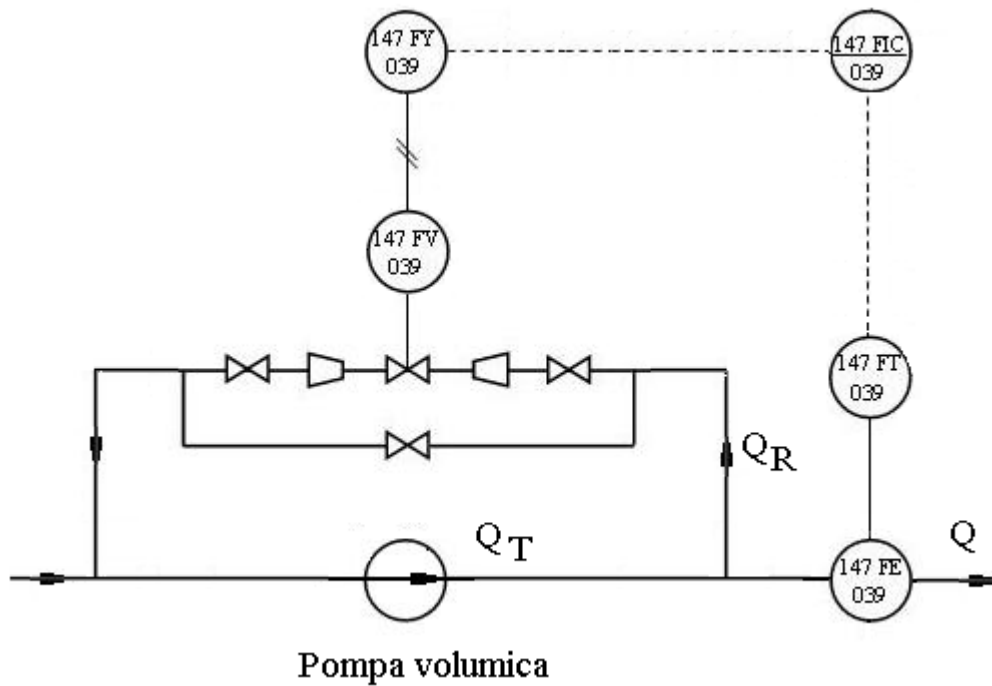


Fig. 3.13. Sistemul de reglare a debitului pentru procese cu pompă volumică:
 FE – diafragmă; FT – traductor de presiune diferențială; FIC – regulator de debit;
 FY – convertor electro - pneumatic; FV – robinet de reglare; Q_T – debitul refulat de
 pompă; Q_R – debitul recirculat; Q – debitul util..

Sistemul automat este compus din:

- a) Proces alcătuit din: pompa volumică, conductă sub presiune, conductă de recirculare;

- b) Traductor de debit compus din diafragma FE și traductorul de presiune diferențială FT;
- c) Regulator de debit FIC;
- d) Element de execuție alcătuit din convertor electro – pneumatic FY și robinetul de reglare FV.

Funcționare. Pompa volumică are o caracteristică de forma

$$Q_T = b n \quad (3.5)$$

unde n este turația pompei. Principalele perturbații care acționează asupra sistemului automat sunt modificarea turației și modificarea rezistenței hidraulice a conductei.

Analiza comportării sistemului automat a reliefat următoarele concluzii [marinoiu v1]:

- a) Având în vedere relația (3.5), caracteristica statică a pompei este cvasi invariabilă, respectiv debitul refulat nu variază cu presiunea. În aceste condiții, variațiile rezistenței hidraulice a conductei nu vor influența debitul Q prin conductă.
- b) Debitul refulat de pompă este sensibil la modificarea turației pompei (motorului de antrenare). La modificarea turației sistemul automat va modifica debit recirculat Q_R iar debitul util Q va reveni la valoarea prescrisă.

3.5. Probleme și întrebări

- 3.5.1. Care sunt factorii care particularizează procesul în vederea proiectării unui sistem automat de reglare a debitului?
- 3.5.2. Desenați structura sistemului de reglare a debitului cu element de execuție robinet de reglare.
- 3.5.3. Desenați structura sistemului hidraulic pentru sistemul de reglare a debitului cu element de execuție robinet de reglare.
- 3.5.4. Comentați diagrama bilanțului de presiune în sistemul hidraulic pentru sistemul de reglare a debitului cu element de execuție robinet de reglare.
- 3.5.5. Ce tip de robinet de reglare alegeți în cazul unui sistem de reglare a debitului prevăzut cu traductor de debit cu diafragmă?
- 3.5.6. Calculați pierderea de energie pe robinetul de reglare în condițiile ΔP_R este 5 bar și Q este $20 \text{ m}^3/\text{h}$.
- 3.5.7. Care este structura sistemului de reglare a debitului cu element de execuție convertizor static de frecvență?
- 3.5.8. Ce este un convertizor de frecvență?
- 3.5.9. Care sunt principalele operații electrice realizate în cadrul unui convertizor de frecvență?
- 3.5.10. Explicați funcționarea SRA debit cu element de execuție convertizor static de frecvență.
- 3.5.11. Ce este o pompă volumică?
- 3.5.12. Care este structura sistemului de reglare a debitului pentru procese cu pompă volumică?
- 3.5.13. Care sunt perturbațiile la care sistemul de reglare a debitului pentru procese cu pompă volumică este sensibil?