

Modulul 5

Sisteme de reglare automată a temperaturii

Obiective

- Particularități la proiectarea structurii sistemului automat
- Sistemul de reglare a temperaturii pentru schimbătoare de căldură fără transformare de fază
- Sistemul de reglare a temperaturii pentru schimbătoare de căldură cu transformare de fază
- Sistemul de reglare a temperaturii pentru schimbătoare de căldură cu transformare de fază și element de execuție aria de transfer termic
- Sistem de reglare a temperaturii bazate pe amestecarea fluidelor
- Probleme și întrebări

5.1. Particularități la proiectarea structurii sistemului automat

Sistemul de reglare a temperaturii este des utilizat în procesele chimice. Deoarece exista doua tipuri de utilaje pentru transferul termic, sistemele automate sunt specifice schimbătoarelor de căldură și cuptoarelor tubulare. Pentru procesele de transfer de căldură ce utilizează schimbătoare de căldură au fost identificate următoarele tipuri de sisteme automate:

- a) Sistemul de reglare a temperaturii pentru schimbătoare de căldură fără transformare de fază
- b) Sistemul de reglare a temperaturii pentru schimbătoare de căldură cu transformare de fază
- c) Sistemul de reglare a temperaturii pentru schimbătoare de căldură cu transformare de fază și element de execuție aria de transfer termic
- d) Sistem de reglare a temperaturii bazate pe amestecarea fluidelor

5.2. Sistemul de reglare a temperaturii pentru schimbătoare de căldură fără transformare de fază

Schimbătorul de căldură fără transformare de fază are o pondere redusă în mulțimea schimbătoarelor de căldură. Un aspect foarte important în utilizarea acestor aparate de transfer termic îl constituie modelul matematic. În funcție de caracteristica statică a schimbătorului determinată pe baza modelului matematic se poate lua decizia de a proiecta un sistem de reglare a temperaturii. În figura 4.1 este prezentat un schimbător de căldură fără transformare de fază, mărimile de proces asociate și schema bloc intrare/ieșire. Semnificația mărimilor este următoarea:

- a) Q_c – debitul fluxului cald;
- b) Q_r – debitul fluxului rece;
- c) T_{c1} – temperatura de intrare a fluxului cald;
- d) T_{r1} – Temperatura de intrare a fluxului rece;
- e) T_{c2} – temperatura de ieșire a fluxului cald;
- f) T_{r2} – temperatura de ieșire a fluxului rece.

Modelul matematic al schimbătorului de căldură este definit de legea lui Newton și de bilanțul termic

$$\begin{cases} Q_T = kA_T \Delta T \\ Q_c C_{pc} (T_{c1} - T_{c2}) = Q_r C_{pr} (T_{r2} - T_{r1}) \end{cases} \quad (5.1)$$

Având în vedere expresia diferenței medii logaritmice a temperaturii

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{c1} - T_{r2}) - (T_{c2} - T_{r1})}{\ln \frac{T_{c1} - T_{r2}}{T_{c2} - T_{r1}}}, \quad (5.2)$$

modelul matematic al schimbătorului de căldură va fi

$$\begin{cases} Q_T = k A_T \frac{(T_{c1} - T_{r2}) - (T_{c2} - T_{r1})}{\ln \frac{T_{c1} - T_{r2}}{T_{c2} - T_{r1}}} \\ Q_c C_{pc} (T_{c1} - T_{c2}) = Q_r C_{pr} (T_{r2} - T_{r1}) \end{cases} \quad (5.3)$$

Relația (5.3) demonstrează o puternică interacțiune între variabilele de ieșire, în sensul că variabilele de ieșire sunt folosite în calculul propriilor valori, figura 5.1. Un asemenea sistem este un sistem cu reacție negativă. Aceasta proprietate face ca schimbătorul de căldură să nu aibă caracteristică liniară.

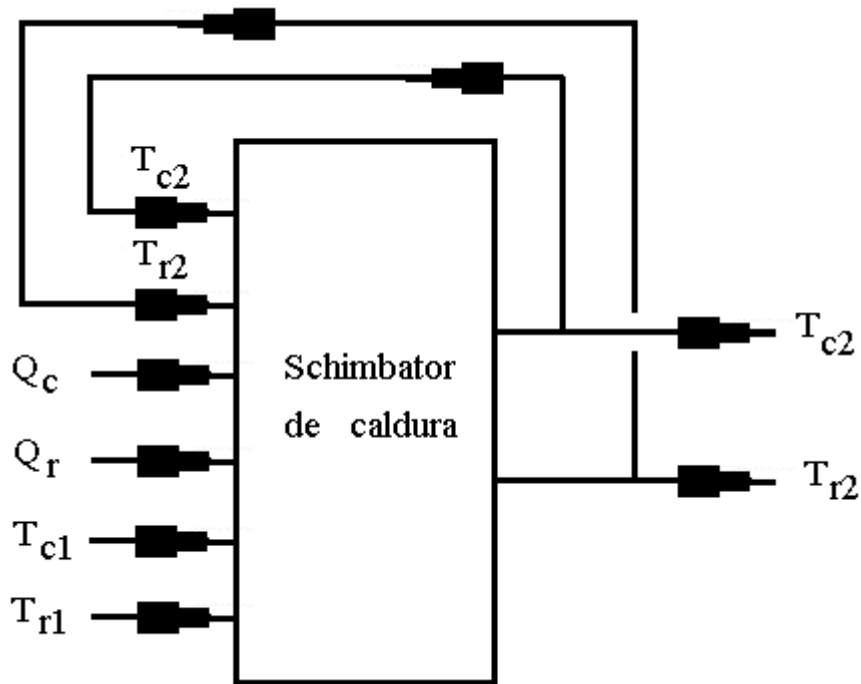


Fig. 5.1. Schema bloc a schimbătorului de căldură.

Din punct de vedere al automatizării, procesul, figura 5.2-a, este caracterizat prin perturbații și un agent de reglare. În ipoteza ca un flux rece trebuie încălzit până la o temperatură impusă, variabilele de intrare ale procesului vor fi împărțite astfel, figura 5.2-b:

a) Perturbații:

- Q_r – debitul fluxului rece;
- T_{c1} – temperatura de intrare a fluxului cald;
- T_{r1} – Temperatura de intrare a fluxului rece.

b) Agent de reglare: Q_c – debitul fluxului cald.

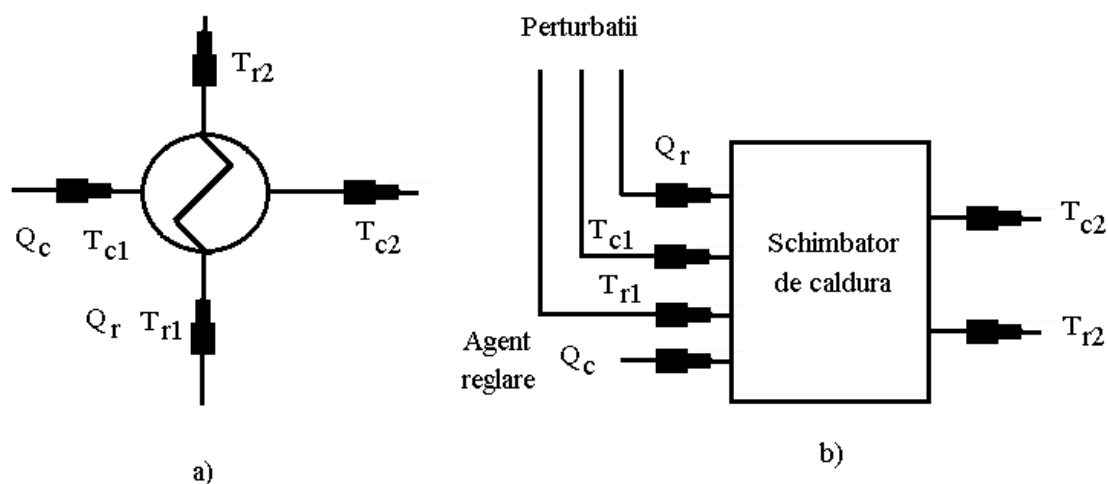


Fig. 5.2. Variabilele schimbătorului de căldură pentru sistemul automat:

a) schema procesului; b) schema bloc.

Sistemul automat de reglare a temperaturii este compus din:

- Proces alcătuit din schimbător de căldură fără schimbare de fază, conducte intrare/ieșire;
- Element sensibil de temperatură (termocuplu) TE;
- Adaptor de temperatură (mV – curent 4...20 mA) TT;
- Regulator de temperatură TIC;
- Element de execuție alcătuit din convertor electro – pneumatic TY și robinetul de reglare TV.

Schema P&I a sistemului automat de reglare a temperaturii este prezentată în figura 5.3. Operarea sistemului automat este deficitară, mai ales la debite mari ale agentului de reglare. Această deficiență a sistemului automat conduce la nerecomandarea acestei structuri pentru reglarea temperaturii.

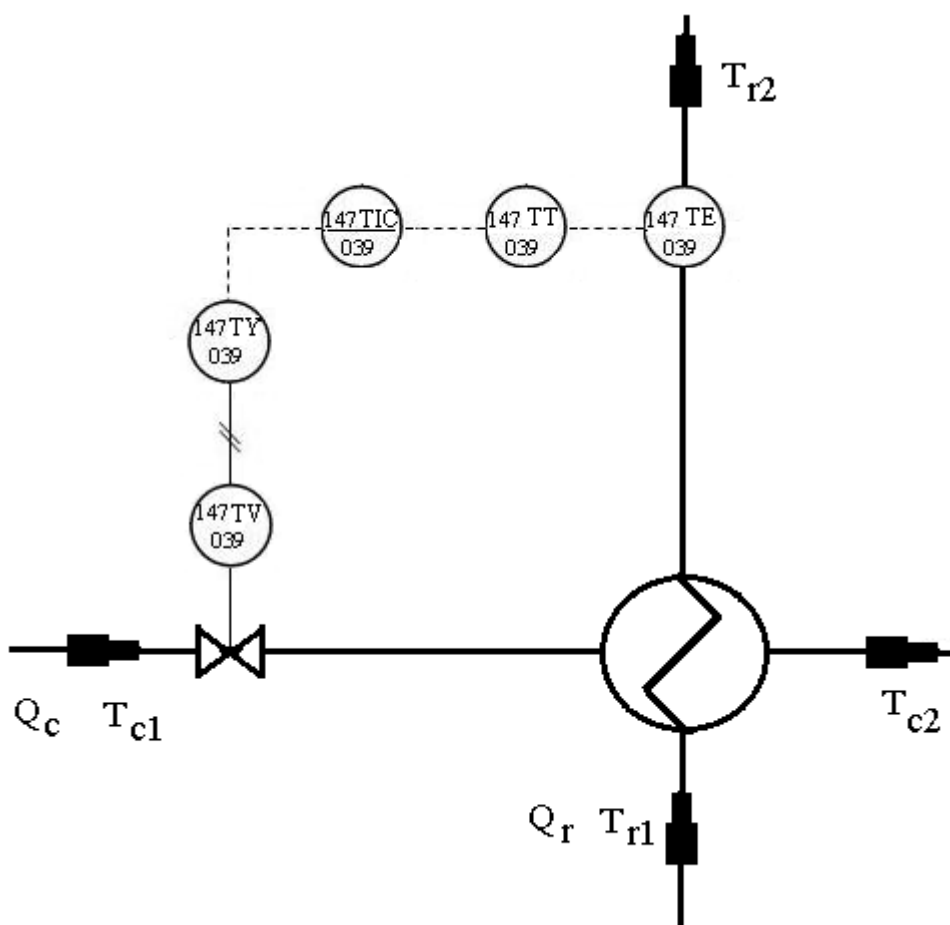


Fig. 5.3. Sistemul de reglare a temperaturii, varianta schimbător de căldură fără transformare de fază: TE – element sensibil (termocuplu); TT – convertor tensiune – curent; TIC – regulator de debit; TY – convertor electro - pneumatic; TV – robinet de reglare.

5.3. Sistemul de reglare a temperaturii pentru schimbătoare de căldură cu transformare de fază

Schimbătoarele de căldură cu transformare de fază au o pondere însemnată în mulțimea schimbătoarelor de căldură. Cele mai răspândite schimbătoare de căldură din aceasta categorie utilizează aburul ca agent termic de încălzire. Transformarea de fază se referă la condensarea la echilibru a aburului. În acest caz, temperatura de ieșire a fluxului cald va fi identică cu temperatura de intrare

$$T_{c2} = T_{c1}. \quad (5.4)$$

Expresia diferenței medii logaritmice a temperaturii va avea forma particulară

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{c1} - T_{r2}) - (T_{c1} - T_{r1})}{\ln \frac{T_{c1} - T_{r2}}{T_{c1} - T_{r1}}} = \frac{T_{r1} - T_{r2}}{\ln \frac{T_{c1} - T_{r2}}{T_{c1} - T_{r1}}}. \quad (5.5)$$

Având în vedere faptul că numărătorul este negativ și expresia de sub logaritm este subunitară, diferența medie logaritmică de temperatură va fi

$$\Delta T_{ml} = \frac{T_{r2} - T_{r1}}{\ln \frac{T_{c1} - T_{r1}}{T_{c1} - T_{r2}}}. \quad (5.6)$$

Modelul matematic al schimbătorului de căldură definit de legea lui Newton și de bilanțul termic va avea forma

$$\begin{cases} Q_T = k A_T \frac{T_{r2} - T_{r1}}{\ln \frac{T_{c1} - T_{r1}}{T_{c1} - T_{r2}}} \\ Q_c \lambda = Q_r C_{pr} (T_{r2} - T_{r1}) \end{cases}. \quad (5.7)$$

Sistemul de ecuații (5.7) are o singură necunoscută, temperatura de ieșire a fluxului încălzit, T_{r2} . Deoarece ambele ecuații reflecta fluxul termic transferat în schimbător, se poate scrie

$$Q_c \lambda = K A_T \frac{T_{r2} - T_{r1}}{\ln \frac{T_{c1} - T_{r1}}{T_{c1} - T_{r2}}}. \quad (5.8)$$

Relația (5.8) indică o variație cvasiliniară între temperatura de ieșire a fluxului încălzit, T_{r2} , și agentul de reglare, debitul de abur Q_c .

Schema P&I a sistemului automat de reglare a temperaturii este prezentată în figura 5.4. Pentru a asigura condensarea totală a aburului, pe conducta de ieșire a amestecului abur-condens este montat un dispozitiv mecanic numit oală de condens, figura 5.5. În oala de condens se acumulează apa rezultată prin condensare. Un plutitor detectează nivelul condensului. La atingerea unui anumit nivel, plutitorul va deschide valva de evacuare a condensului. La scăderea nivelului de condens din oală, un arc va închide valva de evacuare. În acest mod, din schimbătorul de căldură va fi evacuat numai condensul rezultat, aburul introdus fiind obligat să condenseze în întregime.

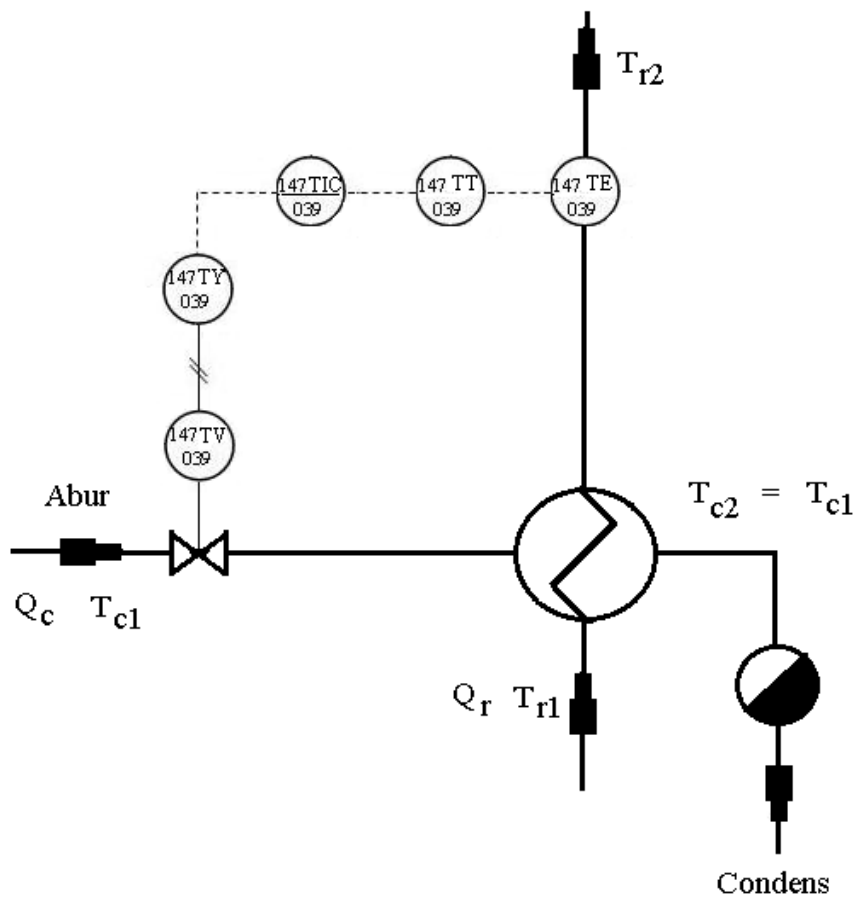


Fig. 5.4. Sistemul de reglare a temperaturii, varianta schimbător de căldură cu transformare de fază: TE – element sensibil (termocuplu); TT – convertor tensiune – curent; TIC – regulator de debit; TY – convertor electro - pneumatic; TV – robinet de reglare.

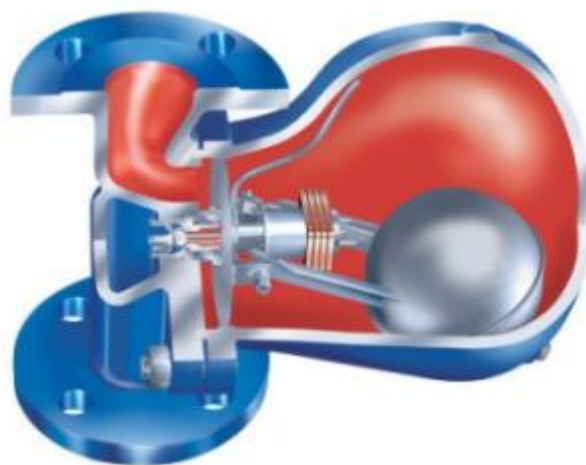


Fig. 5.5. Oala de condens.

Deși acest sistem automat este foarte răspândit, totuși prezintă unele deficiențe. Una dintre deficiențele semnalate în operare este legată de funcționarea discontinuă a oalei de condens. Uzura sistemului mecanic al oalei de condens conduce la eliminarea aburului introdus în schimbător, afectând calitatea reglării temperaturii și măsurarea debitului de abur consumat.

O altă deficiență este legată de robinetul de reglare. Acesta este amplasat pe conducta de abur, mediu cu un volum specific mic, iar conducta are un diametru mare ce va impune un robinet de reglare cu diametru nominal mare, acesta fiind scump.

5.4. Sistemul de reglare a temperaturii pentru schimbătoare de căldură cu transformare de fază și element de execuție aria de transfer termic

În ultimii 40 de ani au fost proiectate sisteme de reglare cu performanțe sporite, sisteme bazate pe utilizarea ariei de transfer termic ca element de execuție. Ca și în cazul sistemului de reglare a presiunii, punctul de plecare îl constituie relația

$$Q_T = kA_T \Delta T. \quad (5.9)$$

Singura variabilă care poate fi modificată în relația (5.9) este aria de transfer termic A_T . În acest mod, fluxul termic transferat devine direct proporțional cu suprafața de schimb termic și implicit caracteristica statică a sistemului automat de reglare a temperaturii poate deveni liniar. În figura 5.6 este prezentat principiul de funcționare al sistemului de reglare a temperaturii. Sistemul automat modifică debitul de condens evacuat din schimbătorul de căldură astfel încât acesta să fie umplut parțial cu lichid. În acest mod, suprafața de transfer de căldură devine variabilă, fiind dependentă de nivelul de condens din schimbătorul de căldură.

În figura 5.7 este prezentată schema P&I a sistemului de reglare a temperaturii, varianta schimbător de căldură cu transformare de fază și element de execuție aria de transfer termic. Semnificația elementelor de automatizare este identică cu cea prezentată în figurile 5.3 și 5.4. Sistemul se remarcă printr-o liniaritate accentuată și prin utilizarea unui robinet de reglare cu diametru mic, deci mult mai ieftin decât în cazul sistemului automat din figura 5.4.

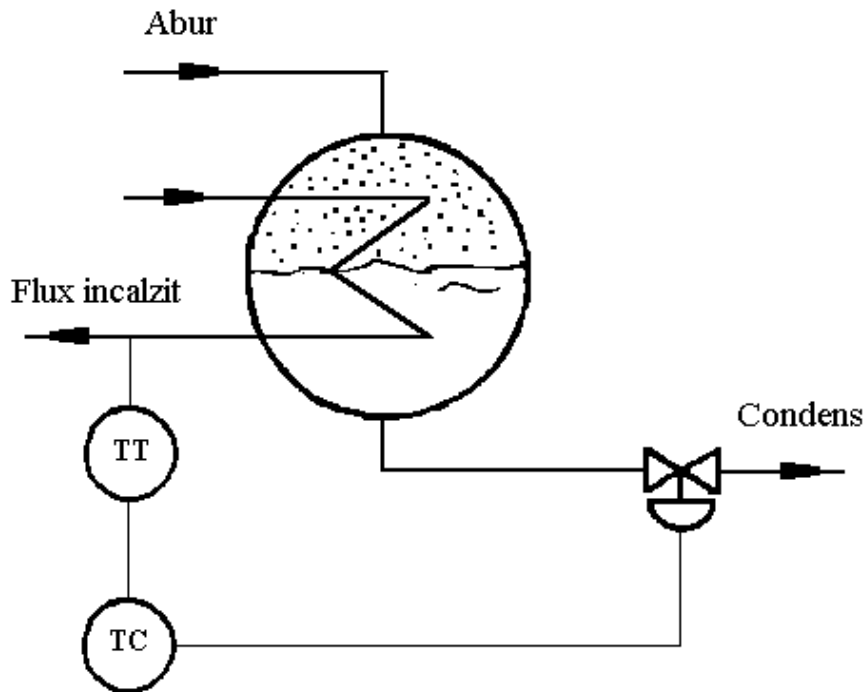


Fig. 5.6. Principiul de funcționare al sistemului de reglare a temperaturii bazat pe variația ariei de transfer de căldură.

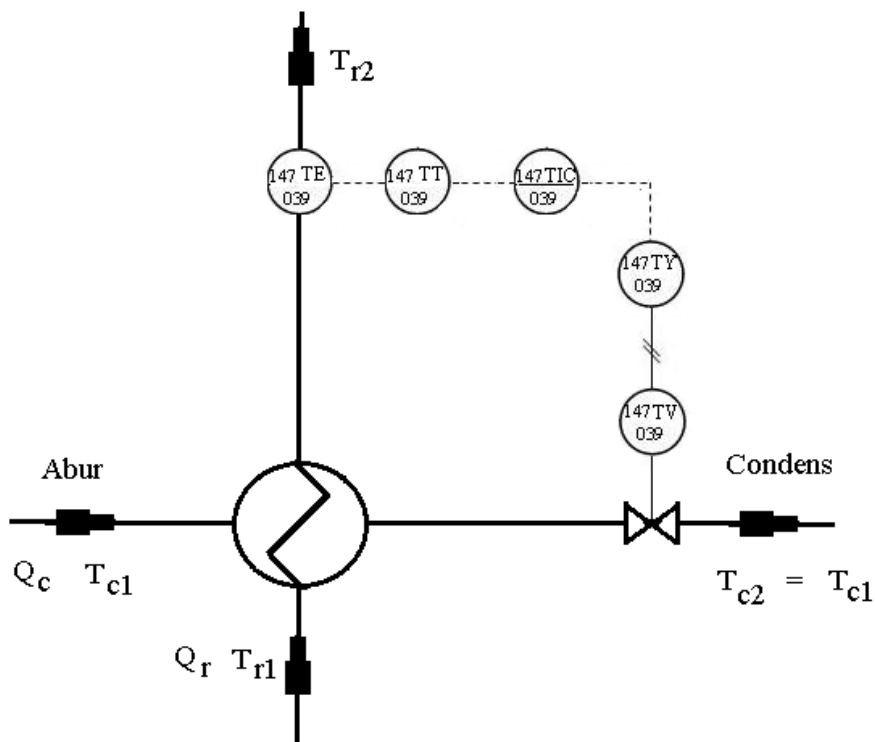


Fig. 5.7. Sistemul de reglare a temperaturii, varianta schimbător de căldură cu transformare de fază și element de execuție aria de transfer termic.

5.5. Sistem de reglare a temperaturii bazate pe amestecarea fluidelor

Recuperarea căldurii reprezintă o modalitate de reducere a costurilor de operare în rafinării. Încălzirea unui flux rece cu ajutorul unui flux cald este des utilizată, vezi paragraful 5.2. Totuși, în unele situații, încălzirea trebuie realizată fără a modifica debitul agentului de reglare, fluxul cad. În acest caz, pe fluxul cald este utilizat un bypass al schimbătorului de căldură, figura 5.8. Sistemul automat prezentat utilizează un robinet de reglare cu trei căi, varianta care este cea mai ieftină soluție de automatizare.

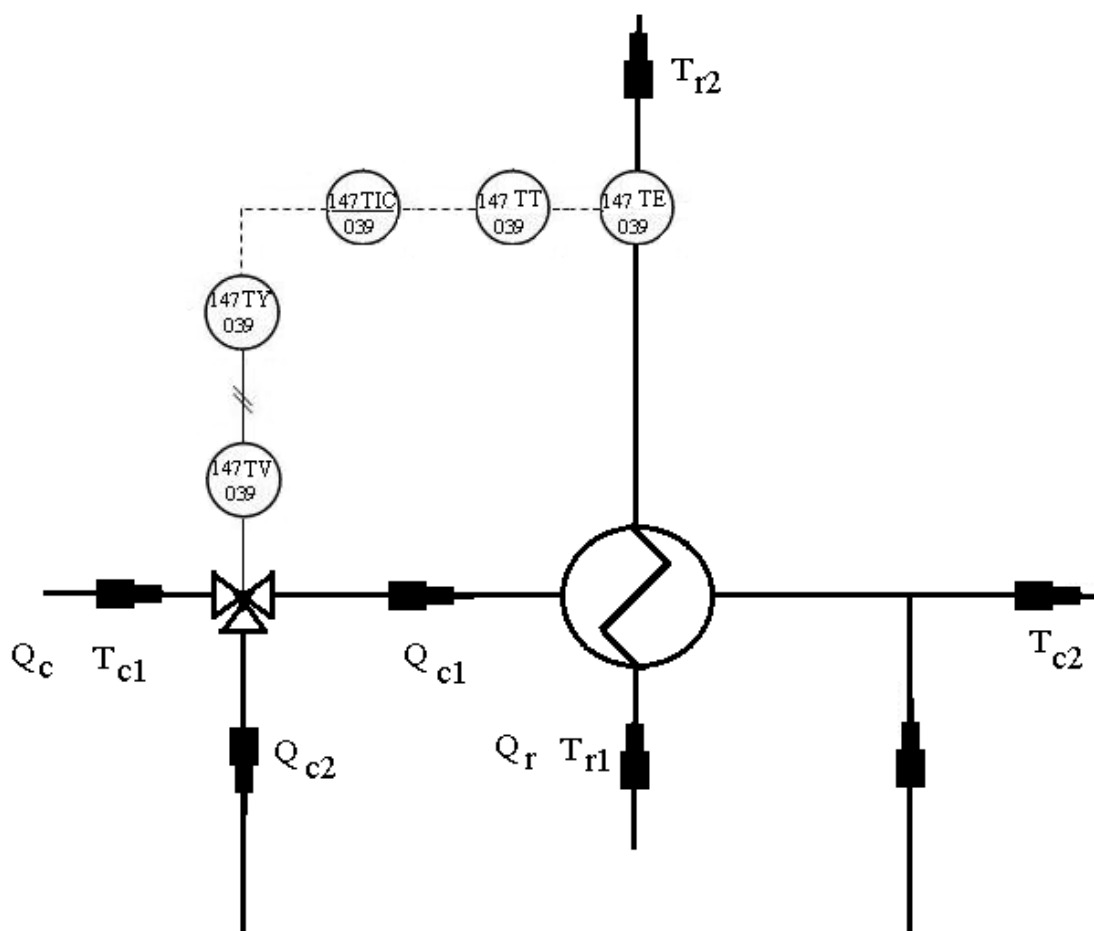


Fig. 5.8. Sistem de reglare a temperaturii bazat pe amestecarea fluidelor.

Robinetul de reglare cu trei căi este un element de execuție special proiectat pentru amestecarea sau divizarea fluidelor. În cele ce urmează vor fi prezentate aspecte particulare ale acestor robinete de reglare. În figura 5.9-a este prezentă o secțiune prin robinetul produs de firma Baumann. Robinetul este prevăzut cu trei orificii notate cu C (intrare/ieșire), U (orificiu superior) și L (orificiu inferior). În figura 5.9-b este

prezentata caracteristica intrinsecă a acestui robinet. Se observă că robinetul de reglare a o caracteristică liniară, proprietate care este foarte necesară în cadrul funcționării sistemului de reglare automata.

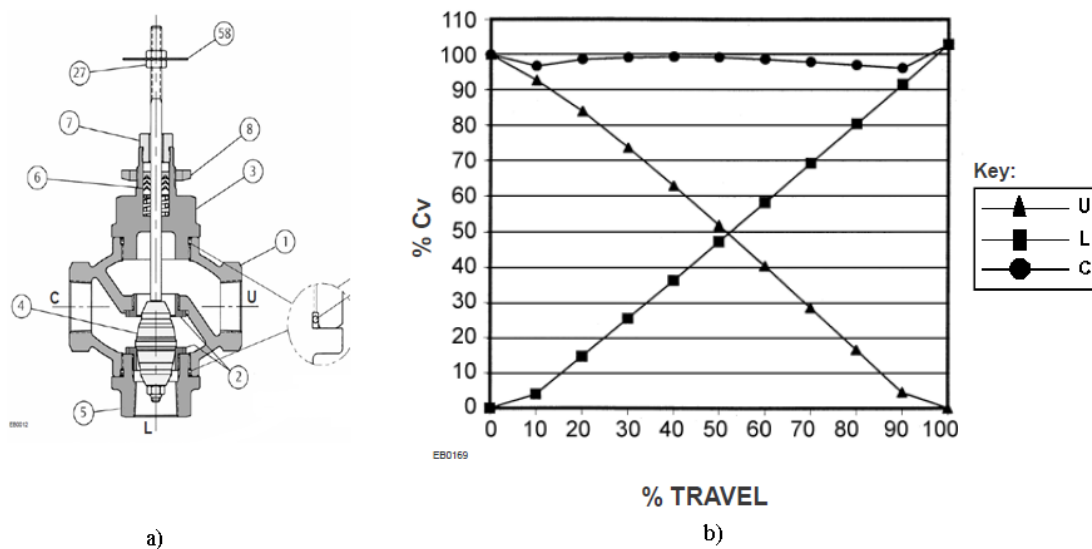


Fig. 5.9. Robinetul de reglare cu trei căi:

a) secțiune prin robinet; b) caracteristica intrinsecă.

5.6. Probleme și întrebări

- 5.6.1. Care sunt utilajele de transfer de căldură?
- 5.6.2. Care este modelul matematic al schimbătorului de căldură?
- 5.6.3. Desenați schema bloc a schimbătorului de căldură.
- 5.6.4. Desenați sistemul de reglare a temperaturii, varianta schimbător de căldura fără transformare de fază.
- 5.6.5. Pentru varianta schimbător de căldură cu transformare de fază argumentați matematic legătura dintre temperatura de ieșire a fluxului încălzit, T_{r2} , și agentul de reglare, debitul de abur Q_c .
- 5.6.6. Desenați sistemul de reglare a temperaturii, varianta schimbător de căldură cu transformare de fază.
- 5.6.7. Ce este oala de condens?
- 5.6.8. Principiul de funcționare al sistemului de reglare a temperaturii bazat pe variația ariei de transfer de căldură.

- 5.6.9. Desenați sistemul de reglare a temperaturii, varianta schimbător de căldură cu transformare de fază și element de execuție aria de transfer termic.
- 5.6.10. Desenați sistemul de reglare a temperaturii bazat pe amestecarea fluidelor.
- 5.6.11. Prezentați structura și proprietățile robinetului de reglare cu trei căi.