

# SISTEM AUTOMAT CU MICROPROCESOR ȘI MOTOR SINCRON PENTRU REGLAREA FACTORULUI DE PUTERE LA CONSUMATOR

**Ioan Săvulescu**

ioansavulescu52@yahoo.com

**Octavian Dinu**

octavytza@yahoo.com

**Petru Junie**

pjunie2000@yahoo.com

**George Condur**

george.condur@yahoo.com

**Cristian Eremia**

cristian\_valentin2003@yahoo.com

Universitatea Petrol Gaze Ploiești

Universitatea Politehnica București

**Rezumat:** Pentru creșterea eficienței economice a oricărei societăți comerciale se impune ca necesară reducerea costurilor, inclusiv la utilități. Întrucât energia electrică este, poate, cea mai importantă dintre acestea, reducerea costurilor determinate de consumul de energie electrică trebuie să constituie o prioritate în acest sens. Una din modalitățile de realizare a acestui deziderat o constituie reducerea „consumului” de energie reactivă prin îmbunătățirea factorului de putere la nivel de consumator. Sistemul automat cu microprocesor propus este de fapt un sistem de reglare automată a factorului de putere la valoarea factorului de putere neutral, ce exploatează proprietatea motoarelor sincrone supraexcitate de a genera putere reactivă. Metoda propusă are eficiență maximă în cazul consumatorilor care, pentru acționarea unor mașini de lucru, utilizează motoare sincrone.

**Cuvinte cheie:** microprocesor, factor de putere, motor sincron, curent de excitație, putere reactivă, supraexcitare, diagramă fazorială.

**Abstract:** In order to increase the economic efficiency of any trade company it is necessary to cut costs, including utility costs. Since electricity is probably the most important utility, cutting electricity costs must come as a priority. One way to achieve this goal is to reduce the quadergy „consumption” by enhancing the power factor at consumer level. The microprocessor automatic system that the authors put forward is actually a system that automatically adjusts the power factor depending on the neutral power factor, while exploiting the capacity of overexcited synchronous motors to generate reactive power. The proposed method ensures maximum efficiency for consumers using work machines driven by synchronous motors.

**Key words:** microprocessor, power factor, synchronous motor, field current, reactive power, overexcitation, phase diagram.

## 1. Introducere

Sistemul propus se adresează consumatorilor industriali care au în dotare cel puțin o mașină de lucru acționată de un motor sincron și exploatează proprietatea motoarelor sincrone supraexcitate de a genera putere reactivă.

După cum se știe factorul de putere ( $\cos\varphi$ ) este un parametru electroenergetic foarte important, valoarea acestuia fiind o măsură a modului mai mult sau mai puțin rațional de utilizare a energiei electrice. Din cele două componente ale puterii aparente debitate de centralele electrice, numai puterea activă  $P$  poate fi transformată în alte forme de energie, puterea reactivă  $Q$  fluctuează cu frecvența de 100 Hz între sursă de consumator reducând capacitatea liniilor de transport și distribuție. Pentru maximizarea puterii active pentru anumite valori ale tensiunii  $U$  și curentului  $I$  este necesară maximizarea factorului de putere  $\cos\varphi$  (deoarece  $P = UI\cos\varphi$  în c.a. monofazat, sau  $P = 3U_f I_f \cos\varphi$  în cazul circuitelor trifazate).

Întrucât majoritatea receptoarelor electrice industriale sunt sarcini inductive (transformatoare electrice, motoare electrice, cuptoare de încălzire prin inducție etc.) este inevitabilă apariția unui defazaj  $\varphi$  al curentului în urma tensiunii. Valoarea acestui defazaj este determinată de valorile inductivităților sarcinilor și de gradul de încărcare al acestora. Cu cât acest defazaj este mai mare cu atât valoarea factorului de putere  $\cos\varphi$  este mai mic, motiv pentru care problematica cunoașterii cauzelor care determină lucrul cu un factor de putere redus

precum și metodele și mijloacele (naturale și artificiale) de îmbunătățire a acestora trebuie bine cunoscute de către specialiști, care vor adopta măsuri în consecință.

De altfel, tocmai în scopul utilizării cât mai rațională a energiei electrice, furnizorul de energie electrică impune consumatorului (prin contractul de furnizare a energiei electrice) lucrul cu un factor de putere mai mare sau egal cu factorul de putere neutral:  $\cos\varphi_n = 0,92$ . Acei consumatori care lucrează cu un  $\cos\varphi < \cos\varphi_n$ , sunt obligați să plătească și „consumul” de energie reactivă, ceea ce conduce indirect la reducerea profiturilor societății și la creșterea prețului produselor fabricate.

## 2. Prezentarea sistemului propus

Sistemul automat propus are drept scop reglarea factorului de putere la valoarea factorului de putere neutral:  $\cos\varphi_n = 0,92$ , folosindu-se în acest scop de proprietatea motoarelor sincrone lucrând în domeniul de supraexcitare de a genera putere reactivă.

Posibilitatea creșterii factorului de putere la nivel de consumator folosind „generatoare” locale de putere reactivă (baterii de condensatoare statice compensatoare sincrone etc.) rezultă din analiza diagramei fazoriale prezentate în figura 1.

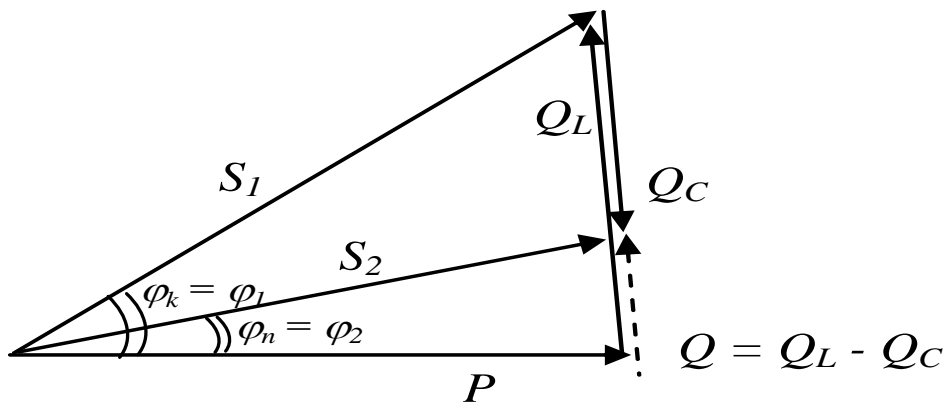


Figura 1. Diagrama fazorială explicativă pentru compensarea puterii reactive

În diagrama din figura 1 semnificația notațiilor este:  $P$  este puterea activă absorbită;  $Q_L$  – puterea reactivă „consumată” de reactanțele inductive ale sarcinii;  $Q_C$  – puterea reactivă debitată de bateria de condensatoare statice sau motoare sincrone supraexcitate;  $Q = Q_L - Q_C$  – consumul final de putere reactivă (puterea reactivă necompensată).

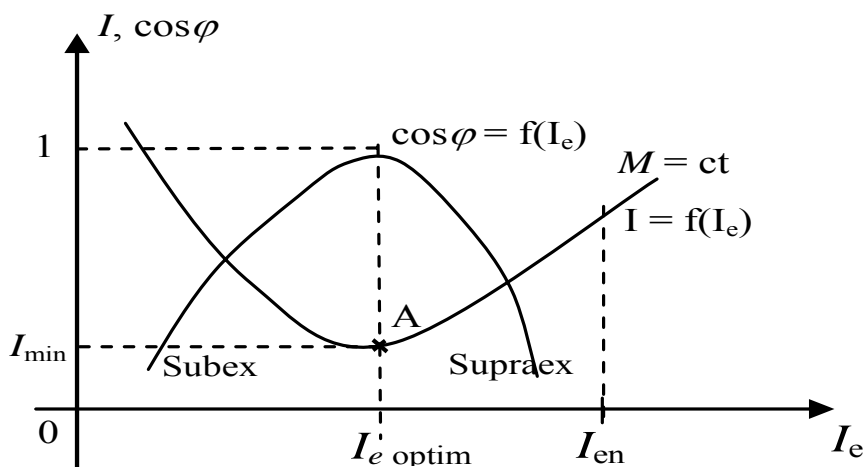


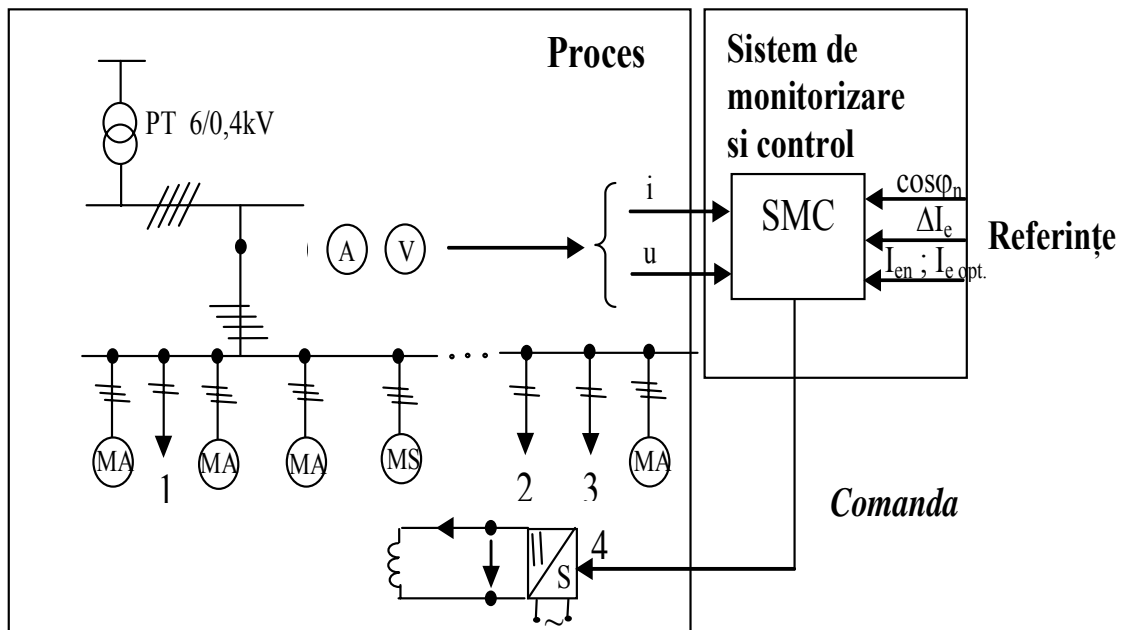
Figura 2. Caracteristica în „V” a motorului sincron

Vom considera un consumator industrial care pe lângă alte receptoare (în general sarcini inductive) are și un sistem de acționare electrică cu un motor sincron. Motorul sincron utilizat, funcționează în punctul optim de funcționare caracterizat prin:  $I_e = I_{e \text{ optim}}$ ;  $I = I_{\text{min}}$ ;  $\cos \varphi = 1$ ;  $Q = 0$ ,  $P = S$  așa cum rezultă din caracteristica în „V” prezentată în figura 2.

De asemenea, trebuie precizat faptul că motorul sincron utilizat va avea puterea normală sensibil mai mare decât cea solicitată de mașina de lucru, astfel încât domeniul de supraexcitare să fie suficient de mare.

Principiul sistemului constă în măsurarea factorului de putere efectiv realizat la nivel de consumator și supraexcitarea progresivă a mașinii sincrone până când acesta devine egal cu factorul de putere neutral:  $\cos \varphi_n = 0,92$ .

Schema electrică a sistemului propus este prezentată în figura 3.

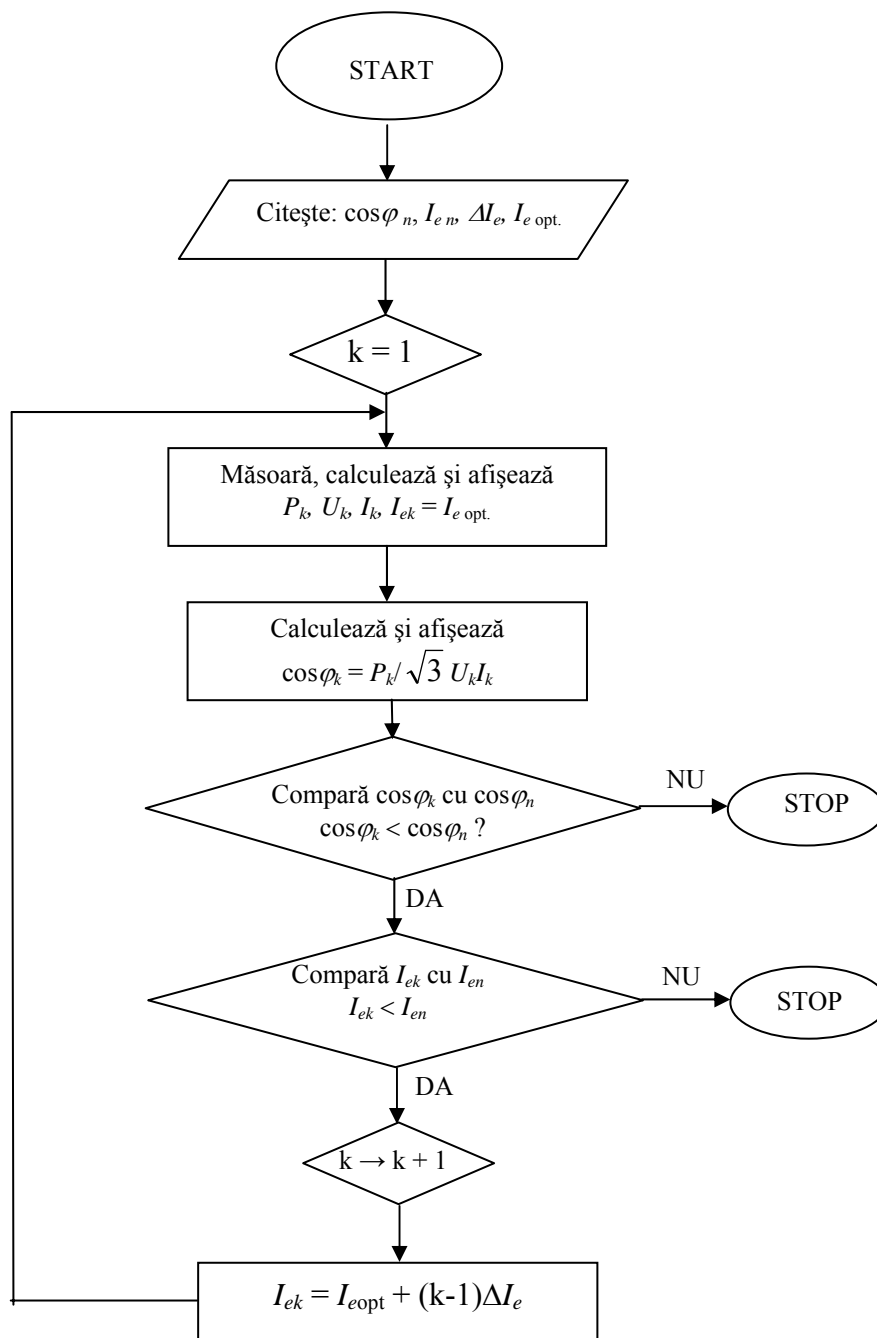


**Figura 3. Schema electrică a sistemului PT 6/0,4 kV – post de transformare; V – senzor tensiune; A – senzor curent; MA – motoare asincrone; MS – motor sincron; SMC – sistem de monitorizare și control; 1, 2, 3 – alimentări circuite monofazate; 4 – redresor comandat.**

Semnalele preluate din proces sunt valorile instantanee ale intensității curentului electric  $i$  și ale tensiunii de fază  $n$ . În acest scop, ca senzori de curent se pot folosi transformatoare de curent sau șunturi dimensionate corespunzător, iar ca senzori de tensiune, transformatoare de tensiune asociate cu divizoare rezistive, în scopul adaptării tensiunii rețelelor la intrarea circuitului integrat specializat ADE 7756 folosit în aplicația propusă [1]. Pe baza semnalelor de intrare, se calculează valorile efective ale tensiunii ( $U$ ) și curentului ( $I$ ), puterea activă ( $P$ ) și puterea aparentă ( $S$ ), energia activă  $W_a$  și cea reactivă  $W_T$ , cât și valoarea curentă a factorului de putere  $\cos \varphi$ , mărimi care sunt afișate cu ajutorul unui afișaj de tip LCD cu 16x2 caractere [2].

Valoarea curentă a factorului de putere se compară cu valoarea prescrisă  $\cos \varphi_n$  și dacă aceasta este mai mică se mărește curentul de excitație cu incrementul  $\Delta I_e$  până când se realizează condiția  $\cos \varphi = \cos \varphi_n$  ( $I_e \leq I_{en}$ ) [7].

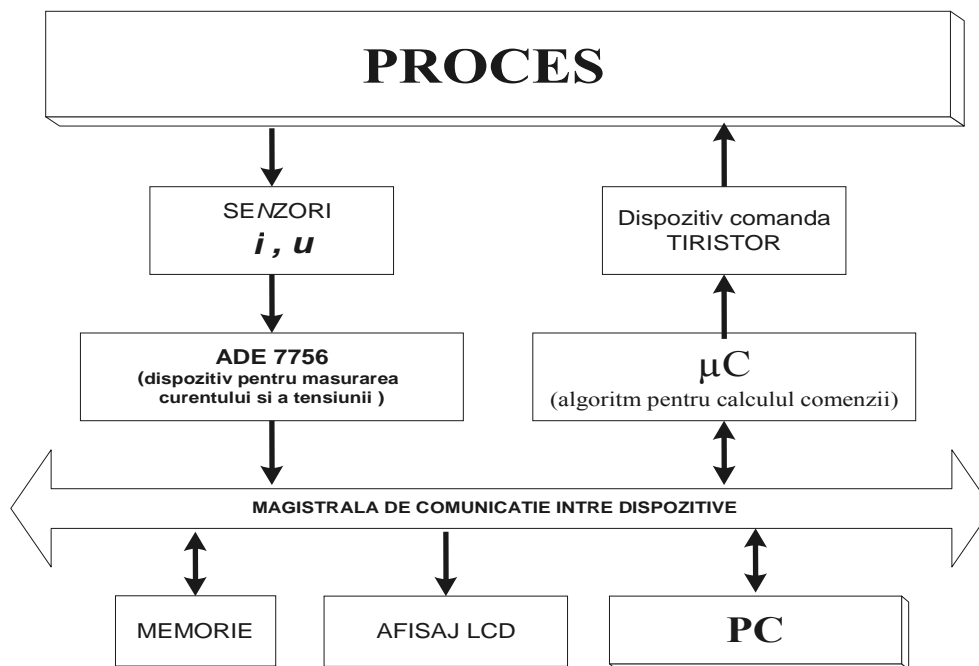
Algoritmul reglării rezultă din schema logică prezentată în figura 4.



**Figura 4. Schema logică a algoritmului reglării**

Ciclul se încheie atunci când una din condițiile:  $\cos \varphi < \cos \varphi_n$  sau  $I_e < I_{en}$  nu mai este îndeplinită [3]. Schema bloc a sistemului de monitorizare și control (SMC) este prezentată în figura 5.

Pentru măsurarea curentului, tensiunii, puterilor, energiilor și a factorului de putere propunem utilizarea circuitului integrat specializat ADE 7756 care conține convertoare analog-numeric de mare precizie, filtre digitale pentru prelucrarea semnalelor, circuite de multiplexare, registre pentru acumularea energiei și pentru setarea unor facilități, la care se adaugă o interfață serială în vederea comunicării cu un microcontroler ( $\mu C$ ) [4].



**Figura 5. Schema bloc a sistemului de monitorizare și control (SMC)**

Pentru măsurarea curentului, tensiunii, puterilor, energiilor și a factorului de putere propunem utilizarea circuitului integrat specializat ADE 7756 care conține convertoare analog-numeric de mare precizie, filtre digitale pentru prelucrarea semnalelor, circuite de multiplexare, registre pentru acumularea energiei și pentru setarea unor facilități, la care se adaugă o interfață serială în vederea comunicării cu un microcontroler ( $\mu C$ ) [5].

Microcontrolerul propus a fi utilizat în aplicație este de tipul H8/3664F care este primul microcontroler din familia H8/300H. Acesta oferă combinația dintre memoria flash încorporată și un puternic CPU pe 16 biți la care se adaugă periferice de mare performanță [6].

În figura 6 este prezentată schema electronică a microcontrolerului, iar dintre cele mai importante caracteristici ale acestuia, menționăm:

- 16 MHz H8/300H CPU Core;
- 32 kB memorie Flash;
- 2 kBRAM;
- 1 x interfață SCI (Serial Communication Interface);
- 1 x interfață I<sup>2</sup>C;
- 1 x 16 bit timer;
- 2 x 8 bit timer;
- 1 x WDT cu oscilator independent;
- 8 canale de convertoare A/D pe 10 biți;
- 37 pini I/O (29 porturi I/O generale și 8 porturi de intrare generale).

În scopul identificării cât mai ușoare a blocurilor în cazul unor depanări cât și în scopul reducerii complexității cablajului, construcția sistemului este modulară. Astfel, el este realizat din trei module interconectabile, așa cum rezultă din schema prezentată în figura 7.

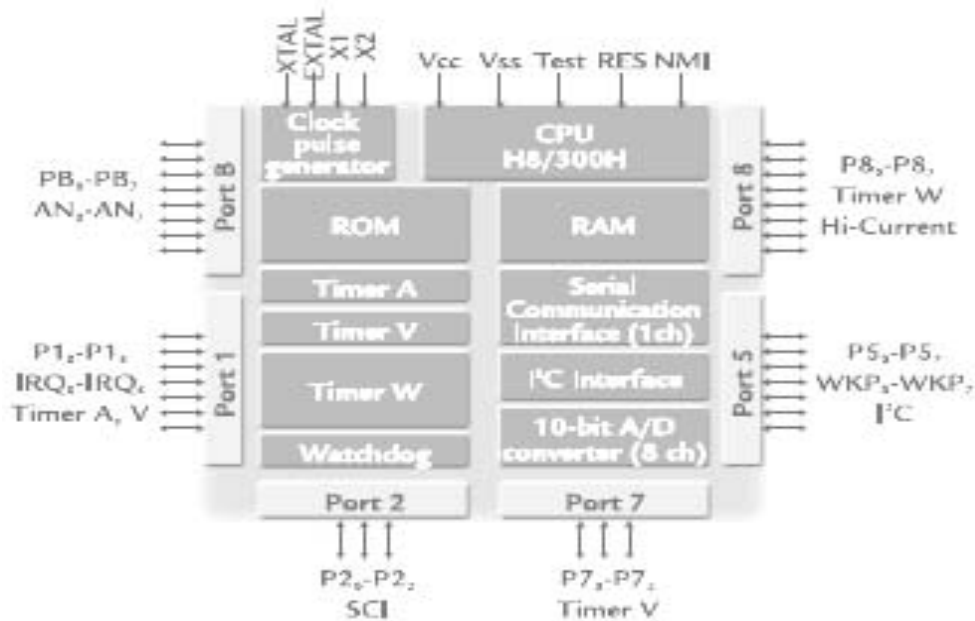


Figura 6. Schema electronică a  $\mu\text{C}$  H8/3664F

În scopul identificării cât mai ușoare a blocurilor în cazul unor defecțiuni cât și în scopul reducerii complexității cablajului, construcția sistemului este modulară. Astfel, el este realizat din trei module interconectabile, așa cum rezultă din schema prezentată în figura 7.

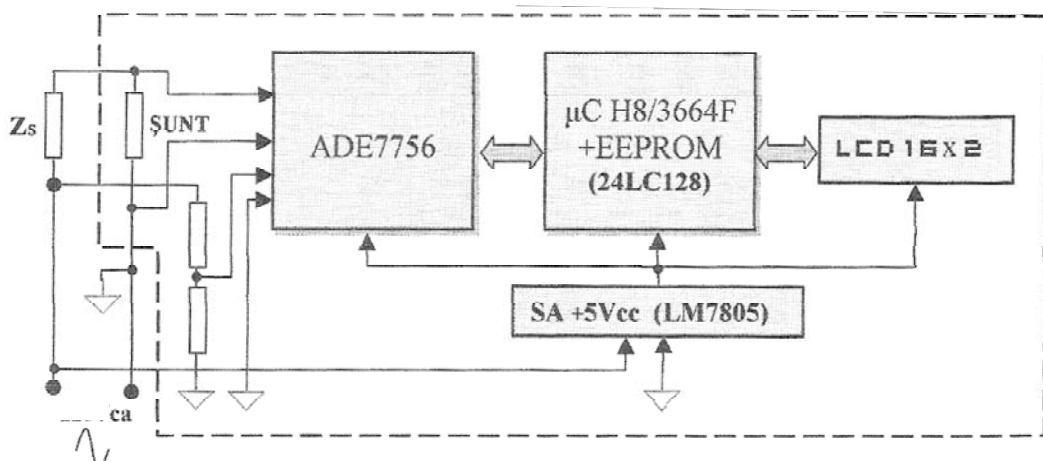


Figura 7. Structura modulară a SMC

Primul modul conține blocul de măsurare, implementat cu circuitul integrat specializat ADE 7756, al doilea modul cuprinde partea de prelucrare a datelor și comanda, și conține microcontrolerul H8/3664F și memoria (EEPROM-ul), iar ultimul modul conține sursa de alimentare de 5Vcc, adică schema de aplicație a circuitului LM 7805 [7].

Atât legăturile dintre module, cât și legăturile senzorilor și al LCD-ului se fac prin fire de tip panglică (cu 2,8 respectiv 14 fire) utilizând conectori corespunzători.

Problema care se pune este aceea de a alege în mod corespunzător puterea motorului sincron (MS), astfel încât acesta, prin supraexcitarea sa corespunzătoare să asigure puterea reactivă necesară creșterii factorului de putere de la valoarea existentă ( $\cos\varphi$ ) la o valoare impusă ( $\cos\varphi = \cos\varphi_n$ ) [8].

Pentru aceasta este necesar să cunoaștem valoarea maximă a puterii active absorbite de consumator ( $P$ ), puterea activă absorbită de motorul sincron pentru antrenarea mașinii de lucru, și cele două valori ale factorului de putere: existent ( $\cos\varphi_1$ ) și prescris ( $\cos\varphi_n$ ).

Folosindu-ne de diagrama fazorială prezentată în figura 1 putem scrie:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{Q_L}{P} \text{ și } \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{Q_L - Q_C}{P}, \text{ sau} \quad (1)$$

$$Q_L = P \operatorname{tg} \varphi_1 \text{ și } Q_L - Q_C = P \operatorname{tg} \varphi_2 \quad (2)$$

$$P \operatorname{tg} \varphi_1 - Q_C = P \operatorname{tg} \varphi_2 \text{ sau} \quad (3)$$

$$Q_C = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad (4)$$

în care  $Q_C$  este puterea reactivă debitată de motorul sincron, care asigură creșterea factorului de putere la nivel de consumator de la valoarea  $\cos \varphi_l$  la valoarea  $\cos \varphi_n$ .

Dacă  $P_{ML}$  este puterea solicitată de mașina de lucru antrenată de motorul sincron (MS) și  $p_t$  sunt pierderile totale de putere activă în motorul sincron, în procesul conversiei electromecanice a energiei, puterea activă absorbită de motorul sincron va fi [9]:

$$P_{MS} = P_{ML} + p_t \quad (5)$$

iar puterea aparentă va fi:

$$S = \sqrt{Q_C^2 + P_{MS}^2} = \sqrt{P^2(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)^2 + (P_{ML} + p_t)^2} \quad (6)$$

Relația (6), este relația care arată care trebuie să fie puterea aparentă a motorului sincron care să asigure creșterea factorului de putere între cele două limite:  $[\cos \varphi_l, \cos \varphi_n]$ .

### 3. Concluzii

- determinarea punctului de optim A ( $I_{e \text{ optim}}, I_{min}$ ) pentru o încărcare dată, se poate face experimental;
- cu creșterea încărcării motorului, domeniul de supraexcitare se reduce, astfel că la încărcare nominală poate dispărea complet;
- deoarece toate receptoarele trifazate sunt echilibrate iar cele monofazate sunt distribuite uniform pe cele trei faze, puterea activă, tensiunea și curentul se pot măsura pe o singură fază;
- modificarea curentului de excitație al motorului sincron se poate realiza prin modificarea tensiunii aplicate înfășurării de excitație a motorului sincron  $U_{ex}$  utilizând un redresor comandat;
- prin realizarea factorului de putere neutral, consumatorul (societatea comercială) poate realiza economii considerabile, nemaifiind obligat de furnizor la plata energiei reactive.

### BIBLIOGRAFIE

1. **ANALOG DEVICES, inc.:** Analog-Digital Conversion Handbook. U.S.A., Prentice-Hall, 1986.
2. **ANALOG DEVICES:** Data acquisition components and Systems 1980, Analog Devices, Data Acquisition Data Book 1993, vol.1, 2.
3. **SĂVULESCU, I.:** Mașini și acționări electrice. Editura U.P.G. Ploiești, 2002.
4. **BODEA, M. și colectiv:** Aparatură electronică pentru măsurare și control. Editura Didactică și Pedagogică, București 1985.

5. **BURR-BROWN:** Integrated Circuits Data Book 1990, vol.33b.
6. **TEXAS INSTRUMENTS:** Data Acquisition Circuits 1998, SLADOO IA.
7. **Maxim,** Integrated Circuits Data Book 1992, vol. 1. Matra MHS, 8 Bit Microcontrolers, Azimut 1995.
8. **BĂLĂ, C.:** Mașini electrice. Teorie și încercări. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
9. **DUMITRESCU, I.; SĂVULESCU, I.; DINU, O. ș.a.:** Măsurări electronice. Editura AGIR București, 2001.