



A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională  
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",  
SEBEȘ, 2012

## ÎMBUNĂTĂȚIREA INDICATORILOR CALITATIVI DE UTILIZARE A ENERGIEI ELECTRICE LA CAE

Maria NĂSĂUDEAN, Carmen MOTORGA, Gyöngyi BITTERMANN

### INDICATORS QUALITATIVE IMPROVEMENT OF ELECTRICAL ENERGY AT EAF

Electric arc furnaces are one of consumers who have negative effects in terms of the circulation of reactive power, un-balance consumer, and harmonics injected into the network.

Cuvinte cheie: cuptor electric cu arc, instalație de compensare, factor de putere, filtrare a curenților armonici

Keywords: electric arc furnaces, air compensation, power factor, filtering of harmonic currents

#### 1. Introducere

Una din problemele de mare actualitate pe plan mondial o constituie în prezent calitatea energiei electrice furnizată consumatorilor. În acest sens au fost elaborate standarde care specifică condițiile pe care trebuie să le îndeplinească consumatorii pentru ca funcționarea lor să nu se repercuteze negativ asupra calității energiei electrice utilizată de alți consumatori.

Sursa principală de căldură a procesului de elaborare este de natură electrică, fapt ce impune necesitatea cunoașterii fenomenelor electrotermice și electromagnetice [1].

Echipamentul electric are rolul de a transmite șarjei din cuptorul cu arc electric, valorile necesare ale curentului și tensiunii obținute din puterea absorbită de la rețeaua de alimentare de înaltă (sau medie)

tensiune. Valorile curentului și tensiunii trebuie astfel alese, încât puterii maxime de topire să-i corespundă consumul minim de energie electrică și eroziunea minimă a pereților refractari [2].

Echipamentul electric al cuptorului trebuie să asigure desfășurarea în condiții optime a unor complexe procese tehnologice, procese care au influențe importante asupra rețelei electrice de alimentare.

## 2. Calculul instalațiilor pentru îmbunătățirea indicatorilor calitativi de utilizare a energiei electrice

Îmbunătățirea indicatorilor calitativi de utilizare a energiei electrice necesită întreprinderea unor acțiuni în vederea îmbunătățirii factorului de putere, a echilibrării sarcinii, respectiv de filtrare a curenților armonici [3], [4], [7], [8].

Calculul este făcut pe baza rezultatelor obținute în urma măsurării mărimilor electrice de pe linia de alimentare de medie tensiune, a instalației cuptorului electric cu arc de la Oțelăria OE2 a S.C. Mittal Steel S.A. Hunedoara.

Schema de principiu a instalației de compensare a puterii reactive este prezentată în figura 1, a. Instalația de compensare dinamică este conectată în derivație la linia de alimentare de medie tensiune (30 kV), fiind în mod uzual amplasată în stația de racord adânc (SRA).

Proiectarea instalației de compensare dinamică a puterii reactive se bazează pe compensarea în întregime sau menținerea constantă la o valoare acceptabilă a căderii de tensiune longitudinală  $U_L$ , produsă de curentul cuptorului pe impedanța internă a rețelei, dată de relația

$$\underline{Z}_N = R_N + jX_N. \quad (1)$$

Căderea de tensiune longitudinală pe impedanța rețelei este dată de relația

$$U_L = \operatorname{Re}\{\Delta \underline{u}\} = \operatorname{Re}\{(R_N + jX_N)(I_c + I_{\text{comp}})\}, \quad (2)$$

unde, potrivit figurii 1, b,  $I_c$  este curentul cuptorului și  $I_{\text{comp}}$  este curentul instalației de compensare [5].

Alegând ca referință tensiunea de fază  $\underline{U}_f$  și considerând că între  $I_c$  și tensiunea de fază există defazajul  $\varphi_0$  rezultă diagrama fazorială din figura 2. Se poate deduce ușor că

$$U_L = I_c(R_N \cos \varphi_0 + X_N \sin \varphi_0) - X_N I_{\text{comp}}. \quad (3)$$

În cazul compensării căderea de tensiune trebuie să aibă o valoare constantă dorită, notată  $U_L = U_{\text{comp}} = \text{const.}$  (4)

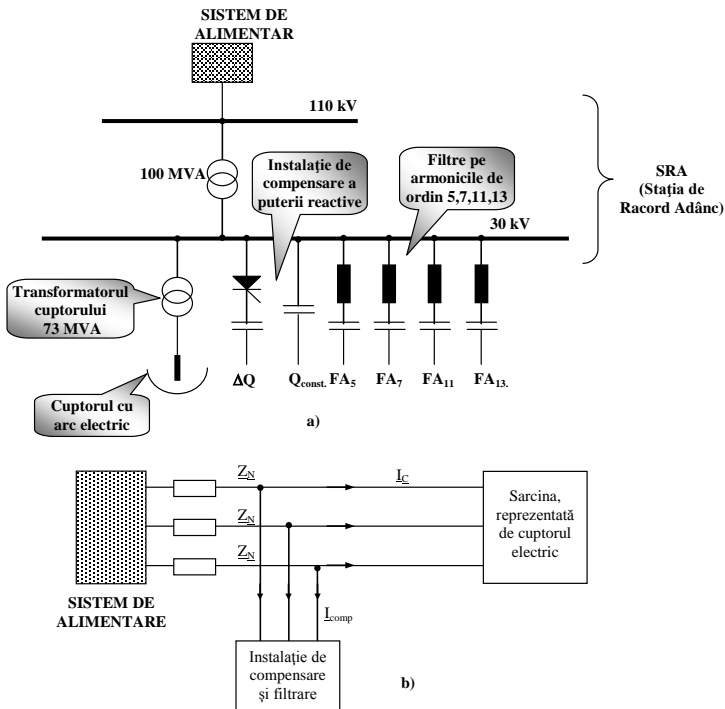


Fig. 1 Instalația de compensare a puterii reactive. a) Modul de racordare a cuptoarelor cu arc electric, a instalației de compensare a puterii reactive și filtrare a armonicilor la sistemul de alimentare; b) Schema electrică echivalentă a circuitului de pe linia de medie tensiune

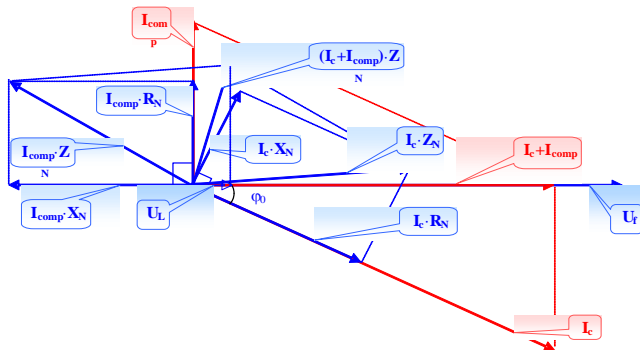


Fig. 2 Diagrama fazorială a relației (2)

Definind caracteristica rețelei de alimentare  $\varepsilon$  potrivit relației:

$$\varepsilon = \frac{R_N}{X_N}, \quad (5)$$

din relațiile (3) și (5) se poate obține

$$I_{\text{comp}} = I_c (\varepsilon \cdot \cos \varphi_0 + \sin \varphi_0) - \frac{U_{\text{comp}}}{X_N}, \quad (6)$$

care prin amplificarea cu  $3U_f$  conduce la obținerea ecuației puterilor

$$Q_{\text{comp}} = S_C \cdot (\varepsilon \cdot \cos \varphi_0 + \sin \varphi_0) - \frac{3U_f \cdot U_{\text{comp}}}{X_N}. \quad (7)$$

Într-o primă etapă de dimensionare se presupune că rețeaua de alimentare scurtă este simetrică, având egale impedanțele pe cele trei faze ale liniei de joasă tensiune egale, iar funcționarea este echilibrată pe cele trei faze ale cuptorului.

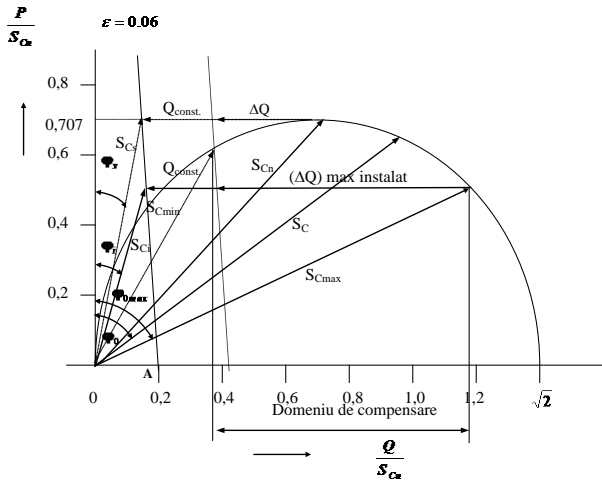


Fig. 3 Diagrama cercului pentru dimensionarea instalației de compensare prin metoda directă

În figura 3 este reprezentată diagrama cercului în sistem trifazat la funcționarea simetrică a rețelei de alimentare [1]. Din această figură se observă că se poate scrie

$$S_C = \sqrt{2} S_{Cn} \sin \varphi_0, \quad (8)$$

unde  $S_{Cn}$  este puterea aparentă de topire de bază corespunzătoare

unui  $\cos \varphi_{0n} = \frac{\sqrt{2}}{2}$ .

Înlocuind (8) în (7) se obține

$$\frac{Q_{\text{comp}}}{S_{Cn}} = \sqrt{2}(\sin^2 \varphi_0 + \varepsilon \cdot \sin \varphi_0 \cos \varphi_0) - \frac{3U_f \cdot U_{\text{comp}}}{S_{Cn} X_N}. \quad (9)$$

Notând cu  $\cos \varphi$  factorul de putere mediu propus a fi realizat, acestuia îi corespunde o cădere de tensiune longitudinală dată de relația

$$U_{\text{comp}} = \frac{S}{3U_f} (R_N \cos \varphi + X_N \sin \varphi), \quad (10)$$

Deoarece  $P = S \cdot \cos \varphi$  și  $Q = S \cdot \sin \varphi$  se poate arăta că

$$P \cdot R_N + Q \cdot X_N = 3U_{\text{comp}} \cdot U_f, \quad (11)$$

relație din care se obține

$$P = -\frac{1}{\varepsilon} \cdot Q + \frac{3U_{\text{comp}} \cdot U_f}{R_N} \quad (12)$$

Ecuția (12) reprezintă o dreaptă cu coeficient unghiular  $\left(-\frac{1}{\varepsilon}\right)$

care intersectează axa absciselor în punctul  $A \left(0, \frac{3\varepsilon U_f \cdot U_{\text{comp}}}{S_{Cn} \cdot R_N}\right)$ .

Neglijând puterea activă pierdută în instalația de compensare se obține

$$S \cos \varphi = S_C \cos \varphi_0 \quad (13)$$

din care prin înlocuire în (11) și utilizând (8) rezultă

$$U_{\text{comp}} = \frac{\sqrt{2} X_N S_{Cn}}{3U_f} \cdot \sin \varphi_0 \cos \varphi_0 (\varepsilon + \text{tg} \varphi). \quad (14)$$

Puterea reactivă a instalației de compensare este

$$\frac{Q_{\text{comp}}}{S_{Cn}} = \sqrt{2} \sin \varphi_0 \cos \varphi_0 (\text{tg} \varphi_0 - \text{tg} \varphi). \quad (15)$$

Notând cu  $\varphi_{\text{max}}$  unghiul corespunzător punctului de pe diagrama cercului pentru care încă se mai dorește o compensare integrală până la  $\cos \varphi_{\text{dorit}}$  se obține relația de dimensionare

$$Q_{\text{comp}} = \sqrt{2} S_{Cn} \sin \varphi_{0\text{max}} \cos \varphi_{0\text{max}} (\text{tg} \varphi_{0\text{max}} - \text{tg} \varphi_{\text{dorit}}) \quad (16)$$

### 3. Concluzii

Principalele probleme care trebuie avute în vedere la alegerea schemei de alimentare sunt: putere activă mare, variabilă între fazele procesului tehnologic; variația puterii active în cadrul aceleiași faze a procesului tehnologic; variația în limite largi a puterii reactive absorbite, cu apariția fenomenului de flicker<sup>1</sup>, fapt care necesită utilizarea instalațiilor de urmărire în timp real a puterii reactive; necesitatea limitării curentului de scurtcircuit cu ajutorul unei bobine de reactanță; factor de putere redus și variabil (între 0,85 la topire și 0,6 la reducere); variații de tensiune ca urmare a variațiilor curentului cuptorului în faza de topire; regim deformant prin existența unor puternice distorsiuni ale curentului; regim dezechilibrat, datorat rezistenței diferite a arcurilor pe cele trei faze și dezechilibrului rețelei scurte; agitație redusă a băii de metal topit, necesitând uneori utilizarea unui agitator inductiv.

### BIBLIOGRAFIE

- [1] Comșa, D., *Proiectarea instalațiilor electrice industriale*, Editura didactică și pedagogică, București, 1983.
- [2] Comșa, D., *Instalații electrotermice industriale – vol.II*, Editura tehnică, București, 1986.
- [3] Emanoil, A., *Protecția prin relee*, Editura tehnică, București, 1984.
- [4] Saimac, A., ș.a., *Utilizarea energiei electrice în metalurgie*, Editura didactică și pedagogică, București, 1980.
- [5] Șora, I., Golovanov, N., ș.a., *Electrotermie și electrotehnologii – vol.I*, Editura tehnică, București, 1997.
- [6] Pedoseev, A.M., *Protecția prin relee a sistemelor electrice*, Editura energetică de stat, 1955.
- [7] Popa, I., Popa, G.N., *Instalații electrice – vol.I*, Editura Mirton, Timișoara, 2000.
- [8] \* \* \* - I.T.I. – P.M., Secția Electrică, S.C.MITTAL STEEL Hunedoara S. A.

Drd.Ing. Maria NĂȘĂUDEAN,

membru AGIR,

e-mail: mariana.nasaudean@fih.upt.ro

Ing. Carmen MOTORGA,

e-mail: carmen.motorga@fih.upt.ro

Ing. Gyöngyi BITTERMANN,

e-mail: gyongyi.bittermann@fih.upt.ro

Facultatea de Inginerie Hunedoara, Universitatea „Politehnica” Timișoara

---

<sup>1</sup> flicker (palpaire). Impresia unei instabilități a senzației vizuale datorate unui stimul luminos a cărui luminiscentă sau repartiție spectrală fluctuează în timp.