

UTILIZAREA ANALIZORULUI FLUKE 41 LA MĂSURAREA ȘI ALEGEREA SOLUȚIEI DE CORECȚIE A FACTORULUI DE PUTERE

*Carmen Golovanov, **Florinel Ludovic Petrilă, *Constantin Daniel Oancea

*Universitatea Politehnică București, Facultatea de Electrotehnică, **Trapec S.A, Divizia Energie.

Abstract:

The work relieves the methods of practical utilization of FLUKE 41 analyzer for marking out the desirability resort to a certain adjustment method (attenuation) of power factors (the installation of a capacitor bank or/and the utilization of the active filters on the feeder bar).

1. INTRODUCERE

Factorul de putere este un parametru important în aprecierea eficienței transportului energiei electrice. Determinarea factorului de putere se face în scopul aprecierii pierderilor suplimentare care apar în rețelele electrice, în raport cu transportul puterii active.

Pe baza factorului de putere, managerii unei companii de electricitate pot monitoriza comportamentul energetic și asigura cel mai mic cost posibil pentru distribuția energiei; la rândul lor, managerii întreprinderilor industriale pot aprecia eficiența utilizării energiei electrice, evitând situațiile care ar conduce la tehnologii costisitoare sau la defectarea unor echipamente scumpe [1],[3].

În *regim nesinusoidal*, în cazul unor circuite cu receptoare neliniare, aparatele utilizate în prezent în energetică pentru analiza și monitorizarea calității energiei electrice afișează două valori, una a factorului de putere pentru armonica fundamentală, P_{F1} (DPF), și alta a factorului total de putere, P_F .

Lucrarea evidențiază modalitatea de utilizare practică a analizorului FLUKE 41 pentru a evidenția oportunitatea recurgerii la o anumită metodă de corecție (ameliorare) a factorului de putere (instalarea unei baterii de condensatoare sau și utilizarea unor filtre active pe barele de alimentare). Problema instalării unor baterii de condensatoare pentru ameliorarea factorului de putere nu poate fi rezolvată prin aplicarea unei simple formule. De aceea, luarea unei decizii se bazează pe măsurarea celor două valori P_{F1} și PF , corelată și cu determinarea spectrului armonic de curent.

Se vor folosi notațiile din standardul american, pentru a facilita interpretarea datelor furnizate de analizorul FLUKE 41.

2. DEFINIȚII PENTRU FACTORUL DE PUTERE ÎN REGIM NESINUSOIDAL

La funcționarea în regim permanent a unui circuit monofazat, o mărime instantanee nesinusoidală (tensiune u sau curent electric i) poate fi considerată ca având două componente [1]:

- o componentă fundamentală de frecvența rețelei (u_1 , respectiv i_1), și
- o componentă, care conține toate armonicile de rang $h \neq 1$ (u_H , respectiv i_H).

$$u = u_1 + u_H = \sqrt{2}U_1 \sin(\omega t - \alpha_1) + \sqrt{2} \sum_{h \neq 1} U_h \sin(h\omega t - \alpha_h) \quad (1)$$

$$i = i_1 + i_H = \sqrt{2}I_1 \sin(\omega t - \beta_1) + \sqrt{2} \sum_{h \neq 1} I_h \sin(h\omega t - \beta_h) \quad (2)$$

Indicatorii de calitate a formei de variație în timp a unui semnal în regim nesinusoidal sunt:

- factorul total de distorsiune a tensiunii, THD_U , dat de relația:

$$THD_U = \frac{U_H}{U_1} = \sqrt{\frac{\sum_{h \neq 1} U_h^2}{U_1^2}} \quad (3)$$

- factorul total de distorsiune de curent, THD_I :

$$THD_I = \frac{I_H}{I_1} = \sqrt{\frac{\sum_{h \neq 1} I_h^2}{I_1^2}} \quad (4)$$

Puterea activă, definită ca media pe o perioadă a puterii instantanee, este:

$$P = \sum_{h=1} U_h I_h \cos(\alpha_h - \beta_h) = \sum_{h=1} U_h I_h \cos \varphi_h = P_1 + P_H \quad (5)$$

Deci, în regim nesinusoidal, puterea activă este dată de suma puterilor active corespunzătoare fiecărei armonici în parte și poate fi considerată ca o sumă de două componente:

- puterea activă fundamentală:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 \quad (6)$$

- suma puterilor armonice:

$$P_H = \sum_{h \neq 1} U_h I_h \cos \varphi_h \quad (7)$$

Puterea aparentă a unui dipol electric este mărimea definită de produsul pozitiv al valorilor efective ale tensiunii și curentului, notat cu S :

$$S = UI > 0 \quad (8)$$

Fără a avea semnificație energetică nemijlocită ca puterea activă, puterea aparentă este importantă, deoarece reprezintă valoarea maximă a puterii active, la valori efective invariabile ale tensiunii și curentului și la defazaj variabil.

Similar puterii active, puterea aparentă poate fi descompusă în:

- puterea aparentă fundamentală sau de frecvență 50/60 Hz, S_1 :

Puterea aparentă fundamentală S_1 și componentele sale P_1 și Q_1 sunt mărimile care interesează în mod deosebit atât furnizorul, cât și consumatorul, deoarece intervin în studiul circulației de puteri din circuit:

$$S_1 = U_1 I_1 \quad (9)$$

$$S_1^2 = P_1^2 + Q_1^2 \quad (10)$$

- puterea aparentă armonică (puterea aparentă nonfundamentală), S_N

În regim nesinusoidal, puterea aparentă poate fi exprimată în funcție de valoarea efectivă a tensiunii și valoarea efectivă a curentului:

$$S^2 = (UI)^2 = (U_1^2 + U_H^2)(I_1^2 + I_H^2) = S_1^2 + S_N^2 \quad (11)$$

Puterea aparentă nonfundamentală se poate determina cu relația:

$$S_N = \sqrt{S^2 - S_1^2} \quad (12)$$

Dacă se introduc factorii totali de distorsiune de tensiune și de curent în expresia (11) a puterii aparente, se obține pentru regimul nesinusoidal relația:

$$S = UI = \sqrt{\sum_{h=1} U_h^2} \cdot \sqrt{\sum_{h=1} I_h^2} = \sqrt{U_1^2 \left(1 + \frac{\sum_{h \neq 1} U_h^2}{U_1^2}\right)} \cdot \sqrt{I_1^2 \left(1 + \frac{\sum_{h \neq 1} I_h^2}{I_1^2}\right)} \quad (14)$$

sau:

$$S = U_1 I_1 \sqrt{1 + THD_U^2} \sqrt{1 + THD_I^2} \quad (15)$$

În regim nesinusoidal, se definesc:

- Factorul de putere fundamental (displacement power factor):

$$\lambda_1 = P_{F1} = DPF = \cos \phi_1 = \frac{P_1}{S_1} \quad (16)$$

Acest raport permite evaluarea separată a condițiilor de circulație a puterilor și poate fi denumit factor de putere fundamental sau factor de putere la 50/60 Hz.

- Factorul de putere

$$\begin{aligned} \lambda = P_F = \frac{P}{S} &= \frac{P_1 + P_H}{\sqrt{S_1^2 + S_N^2}} = \frac{(P_1/S_1)[1 + (P_H/P_1)]P_{F1}}{\sqrt{1 + (S_N/S_1)^2}} = \\ &= \frac{[1 + (P_H/P_1)]P_{F1}}{\sqrt{1 + THD_I^2 + THD_U^2 + (THD_I \cdot THD_U)^2}} \end{aligned} \quad (17)$$

3. STUDIU DE CAZ

S-a studiat un consumator industrial, care cuprinde un redresor trifazat dublă alternanță comandat, având pe partea de tensiune continuă un filtru capacitiv. Receptoarele de acest tip, monofazate sau trifazate, sunt din ce în ce mai utilizate în industria modernă, fiind caracterizate de absorbția, din rețeaua de alimentare, a unui curent electric puternic deformat. Pe circuitul de alimentare s-au vizualizat și măsurat mărimile electrice generale ale consumatorului, cu un analizor FLUKE 41 (fig.1 și tabelul 1).

Tabelul 1 Mărimile electrice generale ale consumatorului

			Voltage	Current
Frequency	50	RMS	229.6	0.48
Power		Peak	329.6	1.05
Watts	40.1	DC Offset	-0.1	-0.02
VA	109.31	Crest	1.44	2.2
Vars	73.26	THD Rms	9.04	62.18
Peak W	82.41	THD Fund	9.07	79.4
Phase	60° lag	HRMS	20.8	0.3
Total PF	0.37	KFactor		9.27
DPF	0.5			

Spectrul armonic de curent este prezentat în figura 2.

Dependența celor doi factori de putere (total și pentru fundamentală) de unghiul de intrare în conducție al redresorului sunt prezentate în fig.3.

La valori mari ale factorului de distorsiune al curentului, care corespund la unghiuri mici de intrare în conducție (fig.4), regimul este pronunțat nesinusoidal, rezultând o abatere raportată a factorului de putere față de cel fundamental de circa – 26% la 30°.

În regim sinusoidal sau apropiat de acesta (unghiuri de intrare în conducție în vecinătatea valorii de 180°), (fig.3, fig.4), abaterea raportată a factorului de putere față de factorul de putere fundamental este nulă sau mică (-2% la 150°).

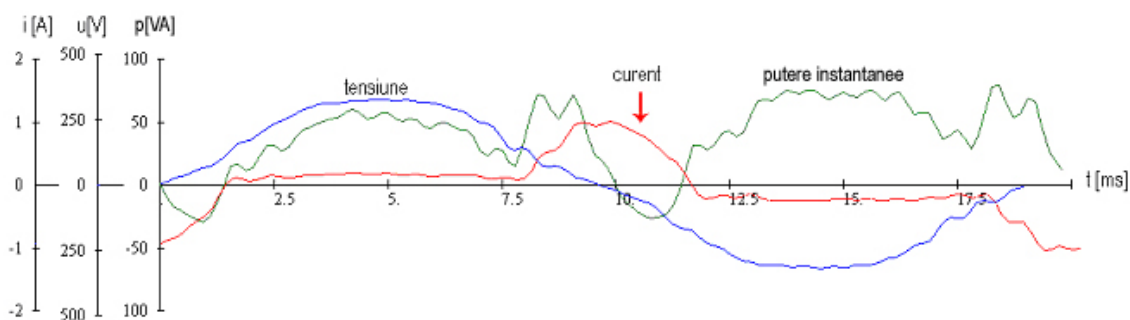


Fig.1 Variația în timp a curentului, tensiunii și puterii.

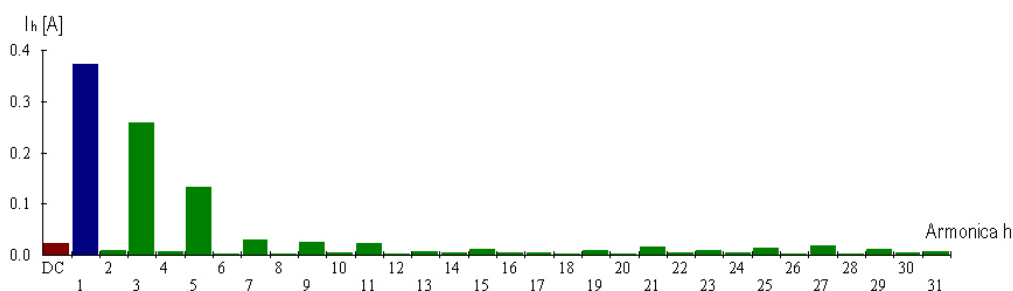


Fig.2 Spectrul armonic de curent

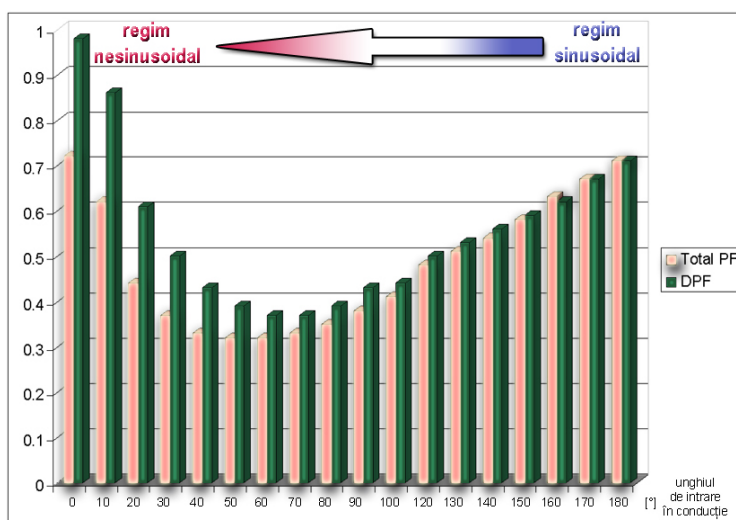


Fig.3 Variația P_F și DPF cu unghiul de intrare în conducție

Analiza datelor din tabelul 1 pune în evidență următoarele aspecte principale:

- tensiunea la barele de alimentare ale consumatorului este practic sinusoidală (factorul de distorsiune de tensiune = 9,04 și factorul de vârf = 1,44);
- receptorul are o caracteristică puternic neliniară (factorul de distorsiune de curent raportat la fundamentală = 79,04, factorul de distorsiune de curent raportat la valoarea efectivă = 62,18, factorul de vârf = 2,2);
- consumatorul absoarbe practic numai putere activă (curba puterii instantanee are numai valori pozitive);

- factorul de putere $P_F = \frac{P}{S} = 0,37$, ceea ce pune în evidență faptul că acest consumator va fi penalizat pentru un factor de putere sub valoarea neutrală (0,92);
- diferența dintre factorul de putere total (P_F) și fundamental (DPF) este considerabilă atunci când factorul de distorsiune al curentului este mare, deci pentru unghiuri mici de intrare în conducție.

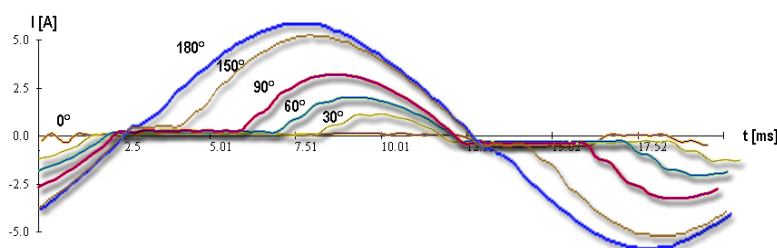


Fig.4 Forma curentului în funcție de unghiul de intrare în conducție

4. METODE DE CORECȚIE A FACTORULUI DE PUTERE

Se cunosc soluțiile pentru eficientizarea unui sistem (montarea unei baterii de condensatoare, folosirea de filtre active), dar orice modificare în rețea necesită o examinare completă a alternativelor, deoarece problema ameliorării factorului de putere este în conexiune și cu necesitatea de diminuare a regimului deformant. Folosind analizorul FLUKE 41, se recomandă următoarea procedură de lucru pentru alegerea soluției de ameliorare a factorului de putere la un consumator [2]:

- Se localizează punctul în care intră în întreprindere liniile de alimentare cu energie electrică sau un alt punct unde pot fi montate capacitoare de corecție.
- Se citesc factorul de putere (P_F) și $\cos \varphi$ (DPF) în acest punct.
- Se compară măsurătorile.
- Dacă valorile sunt aceleași sau aproape egale, reducerea factorului de putere nu trebuie făcută pe seama armonicilor. *Capacitoarele de corecție* pot fi folosite pentru a ameliora defazajul care cauzează un factor de putere de valoare scăzută. Un specialist energetic va trebui însă să analizeze dacă prin montarea unei baterii de condensatoare nu se amplifică regimului deformant, nu apar supratensiuni din cauza unor posibile rezonanțe, care ar putea chiar periclita componentele din rețea, și nu apar pierderi suplimentare de energie electrică. Din cauza funcționării în regim capacitiv se poate ajunge uneori chiar la creșterea facturii de energie electrică a consumatorului, deci un efect opus celui scontat.
- Dacă P_F este cu peste 10% mai mic decât DPF , armonicile suplimentare de curent cauzează aproape sigur micșorarea factorului de putere.
- Se afișează armonicile sub forma unei histograme; graficul poate indica dacă nivelul armonicilor din circuit poate duce la degradarea factorului de putere.
- Dacă nivelul armonicilor este semnificativ, un specialist energetic poate considera utilă folosirea unor filtre active pentru diminuarea regimului deformant. Montarea de *filtre active de armonici la barele de alimentare*, poate asigura limitarea puterii deformante dar implică un important aport de putere capacitivă determinat de circuitul filtrelor, cu caracter capacitiv pentru armonica fundamentală.
- Puterea Q_C furnizată de bateria de condensatoare cu capacitatea electrică C și având la borne tensiunea de fază U_f este dată de relația:

$$Q_C = m \cdot \omega \cdot C \cdot U_f^2 \quad (18)$$

în care m este numărul de faze iar $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ - pulsația tensiunii de alimentare.

- Pentru determinarea puterii reactive Q_C a bateriei de condensatoare este necesar să se cu-noască: puterea activă P absorbită de receptor; valoarea naturală (neîmbunătățită) a factorului de putere, $\cos \varphi_1$; valoarea factorului de putere impus (neutral), după îmbunătățire, $\cos \varphi_2$.

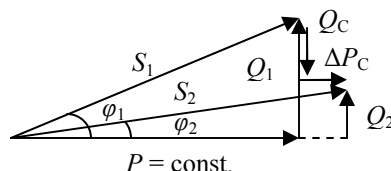


Fig.5 Diagrama puterilor

Pe baza diagramei puterilor din fig.5, în care mărimile de fază au fost notate cu indicele 1 înainte de compensare și cu 2 după compensare, se poate scrie:

$$Q_C = P \cdot \tan \varphi_1 - (P + \Delta P_C) \cdot \tan \varphi_2 = Q_1 - Q_2 \quad (19)$$

unde ΔP_C este pierderea de putere în dielectricul condensatoarelor, neglijabilă față de puterea P , în special la rețelele de frecvență industrială, astfel încât relația (21) devine:

$$Q_C = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (20)$$

5. CONCLUZII

1. Spre deosebire de factorul de putere fundamental, DPF , factorul de putere P_F include și efectul armonicilor asupra puterii aparente.
2. Când $THD_U < 5\%$ și $THD_I > 40\%$, este convenabilă folosirea expresiei:

$$P_F \approx \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I)^2}} P_{F1} \quad (20)$$

3. Când tensiunea are practic numai componenta fundamentală, iar curentul de armonică fundamentală este practic în fază cu tensiunea la bare, factorul de putere poate fi calculat, ca fiind aproximativ egal cu raportul dintre valoarea efectivă a curentului de armonică fundamentală și valoarea efectivă a curentului total ($P_F \approx \frac{I_1}{I}$).
4. Analizorul FLUKE 41 poate fi folosit la măsurarea factorului de putere și la alegerea soluției de ameliorare a acestuia, orice modificare în rețea necesitând o competentă comparare a alternativelor posibile.
5. Conectarea unor capacitatoare de corecție trebuie însoțită și de montarea unor filtre active, dacă din histograma spectrului armonic al curentului rezultă un nivel ridicat al armonicilor de ordin n .

BIBLIOGRAFIE

- [1] *** :IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions. IEE Std 1459 – 2000.
- [2] *** : Analizoare de armonici pentru regim deformant. Metode de corecție a factorului de putere în sistemele deformante. RONEX, X4409, 1994.
- [3] Lowenstein, M.: Power Factor Measurement. Copyright 2000 CRC Press LLC. <http://www.engnetbase.com>.