

OLCZYKOWSKI Zbigniew¹

WPLYW ASYMETRII NA WAHANIA NAPIĘCIA W SIECIACH ZASILAJĄCYCH PIECE ŁUKOWE

W referacie omówiono wpływ asymetrii na wahania napięcia. Przedstawiono wyniki obliczeń modelowych oraz przebiegi wskaźników charakteryzujących asymetrię i szybkozmienne wahania, zarejestrowane w sieciach zasilających stalownie.

IMPACT ASYMMETRY TO VOLTAGE FLUCTUATIONS IN THE ARC FURNACES SUPPLY NETWORKS

The paper discusses the impact of asymmetry to voltage fluctuations. Presents the results of model calculations and waveforms and asymmetry indices characterizing the rapidly changing fluctuations recorded in phase and steel mills.

1. WSTĘP

Pomiary prowadzone w polskich hutach z piecami łukowymi wykazały, że współczynniki migotania światła P_{st} oraz P_{lt} (służące za ocenę wahań napięcia w aspekcie generowanego przez nie migotania światła), różnią się w trzech fazach między sobą w sposób nieznaczny. Praktycznie od wielu lat przyjmuje się, że inne zaburzenia powodowane przez piece łukowe, poza wahaniami napięcia mają niewielki wpływ na jakość energii elektrycznej i pomija się je.

Na Politechnice Radomskiej, podjęto prace badawcze nad wpływem asymetrii prądowej spowodowanej przypadkowymi zmianami łuków w fazach pieca łukowego na moc grzejną. Wykazano, że efektem jest na ogół obniżenie tej mocy połączone ze zwiększeniem jednostkowych strat mocy i energii [3,4]. Pomiary współczynnika P_{st} wykazały, że jego wartości w trzech fazach sieci zasilającej piece łukowe są zbliżone ale niejednakowe [2].

2. ANALIZA MODELOWA ZALEŻNOŚĆ WAHAŃ NAPIĘCIA OD ASYMETRII

W referacie przedstawiono ocenę wpływu asymetrii na wartość wahań napięcia. Analiza modelowa oparta została na obliczeniach przeprowadzonych przy następujących założeniach upraszczających:

- Obwód złożony jest z zastępczego źródła, reaktancji sieci zasilającej (system elektroenergetyczny) i urządzenia piecowego,
- Obliczenia przeprowadzono w jednostkach względnych, przy założeniu:

¹Zbigniew Olczykowski, Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki,
26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29, tel. + 48 48 3617769 E-mail: z.olczykowski@pr.radom.pl,

- a) napięcia fazowego zastępczego źródła: $U_z = 100\%$
- b) prądu znamionowego urządzenia piecowego $I = 1$
- c) reaktancji obwodu: $X = 50\%$

W skład tej reaktancji wchodzi reaktancja zastępcza źródła (reaktancja systemu zasilającego do PWP), którą przyjęto w wysokości: $X_s = 1\%$ reszta, w wysokości $X_t = 49\%$ to reaktancja toru wieloprądowego, transformatora piecowego i części systemu zasilającego (od PWP), rezystancja obejmująca łącznie łuk oraz rezystancje pozostałych elementów obwodu (tor wieloprądowy, transformator piecowy i system elektroenergetyczny), wynosi, dla pracy przy prądzie znamionowym

$$R_n = \sqrt{(U_f / I_n)^2 - X^2} = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,866025 \quad (1)$$

Przy tych założeniach moc zwarciova sieci zasilającej w PWP jest 100 razy większa od mocy znamionowej pieca.

Przyjęto, że wszystkie elementy obwodu są symetryczne, zaś asymetria wprowadzana jest przez zmieniające się rezystancje zastępcze w każdej fazie R_A, R_B, R_C , powodujące powstanie zmienności i asymetrii prądowej – określonej przez współczynnik asymetrii, równy stosunkowi składowej przeciwnej do składowej zgodnej prądu k_i oraz kąt przesunięcia fazowego między składową zgodną i przeciwną ψ_i

$$\underline{k}_i = \underline{I}_2 / \underline{I}_1 = k_i \exp(j\psi_i) \quad (2)$$

Rozważania oparto na analizie zmienności modułów napięć międzyprzewodowych w PWP, wyznaczanych z wzorów:

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B = \underline{I}_A (R_A + j(X - X_s)) - \underline{I}_B (R_B + j(X - X_s)) \quad (3)$$

$$\underline{U}_{BC} = \underline{U}_B - \underline{U}_C = \underline{I}_B (R_B + j(X - X_s)) - \underline{I}_C (R_C + j(X - X_s)) \quad (4)$$

$$\underline{U}_{CA} = \underline{U}_C - \underline{U}_A = \underline{I}_C (R_C + j(X - X_s)) - \underline{I}_A (R_A + j(X - X_s)) \quad (5)$$

Zmienność prądów odwzorowano przez zmienność dwustanową, między prądami I_D i I_G wynoszącymi $I_D = 0,75 I_n, I_G = 1,25 I_n$ czyli zmienność $\pm 25\%$ wokół prądu znamionowego.

Za wartość wahań napięcia przyjęto różnice modułów napięć międzyprzewodowych w PWP przy zmianie prądu między wartościami I_D i I_G .

Wartość ta, dla założonych warunków pracy (przy symetrii prądowej) wynosi: $\Delta U_{AB} = \Delta U_{BC} = \Delta U_{CA} = 0,4976 \%$.

Warunki pracy przy asymetrii prądowej wyznaczono dla dwóch wartości składowej zgodnej: $I_{1D} = I_D, I_{1G} = I_G$ oraz asymetrii prądowej oszacowanej alternatywnie przez trzy wartości współczynnika asymetrii prądowej (modułu) $k_i = 0,1 - 0,2 - 0,3$ oraz cztery wartości kąta $\psi_i = 0^\circ - 90^\circ - 180^\circ - 270^\circ$

Dla każdego z powyższych przypadków wyznaczono prądy fazowe I_A , I_B , I_C oraz wartości rezystancji fazowych obwodu R_A , R_B , R_C .

W efekcie uzyskano różne wartości wahań napięcia ΔU_{AB} , ΔU_{BC} , ΔU_{CA} , które oszacowano przez wartość średnią kwadratową:

$$\Delta U_{\dot{s}r kw} = \sqrt{(\Delta U_{AB}^2 + \Delta U_{BC}^2 + \Delta U_{CA}^2)/3} \quad (6)$$

osobno dla każdej z wartości k_i (0,1 - 0,2 - 0,3) oraz dla wszystkich możliwych koincydencji kątów ψ_i ($0^\circ - 90^\circ - 180^\circ - 270^\circ$) dla składowej zgodnej I_{ID} i I_{IG} .

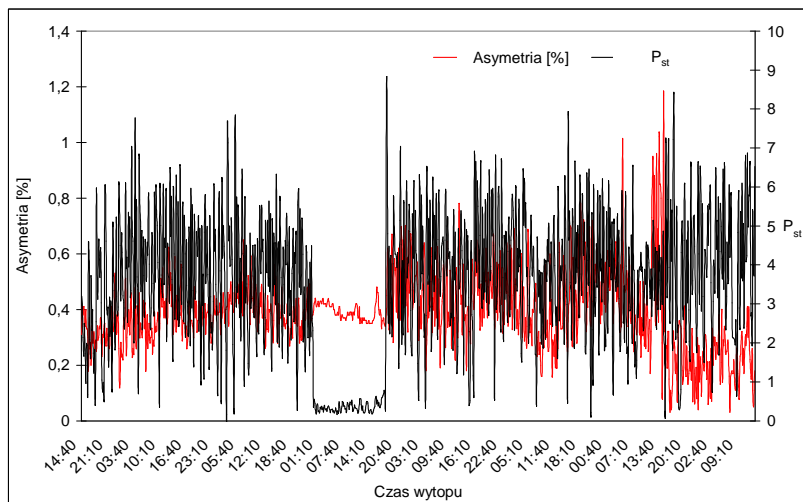
W wyniku obliczeń oszacowano zwiększenie wahań napięcia wskutek pracy z asymetrią prądową, w odniesieniu do pracy z symetrią prądową ($\Delta U_{sym} = 0,4976 \%$):

- dla $k_i = 0,1$ - $\Delta U_{\dot{s}r kw}/\Delta U_{sym} = 1,0$
- dla $k_i = 0,2$ - $\Delta U_{\dot{s}r kw}/\Delta U_{sym} = 1,15$
- dla $k_i = 0,3$ - $\Delta U_{\dot{s}r kw}/\Delta U_{sym} = 1,25$

3. POMIARY ASYMETRII PRZY RÓŻNEJ MOCY ZWARCIOWEJ SIECI ZASILAJĄCYCH URZĄDZENIA ŁUKOWE

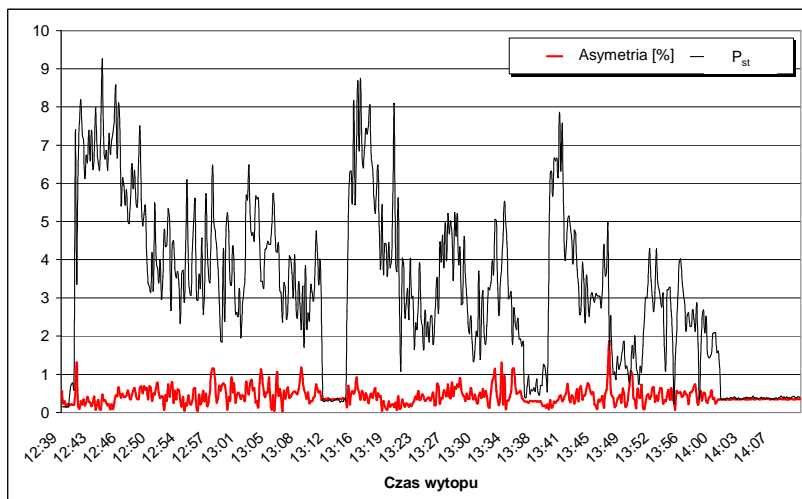
Z pomiarów prowadzonych w hutach wiadomo, że asymetria prądowa występująca podczas roztapiania złomu w piecach łukowych jest rzędu 20-30% ($k_i = 0,2 - 0,3$). Zjawisko to w połączeniu z wpływem asymetrii konstrukcyjnej toru wieloprądowego jest przyczyną różnic wahań napięcia ΔU oraz wskaźników P_{st} w poszczególnych fazach. Różnice te jednak nie są w znaczący sposób istotne.

Na rys. 1 przedstawione zostały przebiegi wskaźnika charakteryzującego asymetrię napięciową (definiowanego jako stosunek składowej przeciwnej do składowej zgodnej) oraz zmiany krótkookresowego wskaźnika migotania światła P_{st} zarejestrowane podczas jednego tygodnia pomiarów. Asymetria w sieci zasilającej urządzenie łukowe ma charakter dobowej zmiany obciążenia systemu, co jest szczególnie widoczne w okresie gdy piece nie pracowały.



Rys. 1. Zmiany asymetrii i wskaźnika krótkookresowego migotania światła podczas jednego tygodnia pomiarów

Oczywiście w czasie poszczególnych wytopów asymetria napięciowa zmienia się (rys. 2), jednak nie wpływa w sposób decydujący na wielkość wahań napięcia, a co za tym idzie na poziomy wskaźników migotania światła.

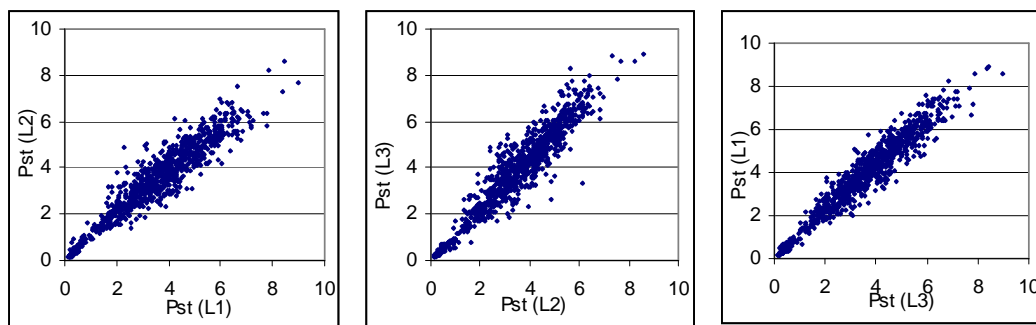


Rys. 2. Zmiany asymetrii i wskaźnika krótkookresowego migotania światła podczas jednego wytopu

Korelację pomiędzy wskaźnikami migotania światła zarejestrowanymi podczas jednego tygodnia pomiarów we wszystkich trzech fazach sieci zasilającej piec łukowy

przedstawiono na rys. 2. Współczynniki korelacji pomiędzy wskaźnikami migotania światła wynoszą odpowiednio:

$$r_{P_{st(L1)}P_{st(L2)}} = 0,9550; \quad r_{P_{st(L2)}P_{st(L3)}} = 0,956; \quad r_{P_{st(L3)}P_{st(L1)}} = 0,970$$



Rys. 3. Korelacja pomiędzy wskaźnikami migotania światła zarejestrowanymi w poszczególnych fazach sieci zasilającej piec łukowy

4. PODSUMOWANIE

W nowoczesnych piecach łukowych z torem wielkoprowadym triangulowanym impedancje fazowe są praktycznie symetryczne. Oczywiście problem asymetrii prądowej i konstrukcyjnej może okazać się istotny w starszych typach pieców łukowych.

Z przeprowadzonej badań modelowych i pomiarów dokonanych w sieciach zasilających urządzenia łukowe słusznym wydaje się przyjmowanie do analizy wahań napięcia jednofazowego układu zastępczego. Ograniczyć można się w zasadzie do uwzględniania wyników pomiarów w fazie o największych waniach napięcia (największym wskaźniku migotania światła), tak jak jest to przyjmowane w Electricite de France [1].

5. LITERATURA

- [1] Désquilbet G.: *Les fluctuations rapides de tension et le phenomene de papillotement des lampes (flicker)*. EDF, HR22/95/GD8.A, Clamart, 1995.
- [2] Olczykowski Z.: *Superpozycja wahań napięcia przy pracy odbiorników łukowych*. Przegląd elektrotechniczny, Nr 5, 2002r.
- [3] Wąsowski A.: *Wpływ rzeczywistych warunków eksploatacyjnych trójfazowego pieca łukowego na kryterium maksymalnej wydajności oraz sprawność ogólną*. Jakość i Użytkowanie Energii Elektrycznej. Tom VI, Zeszyt 1, 2000.
- [4] Wąsowski A.: *Dopasowanie trójfazowego urządzenia łukowego do systemu elektroenergetycznego*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, 2009