

OLCZYKOWSKI Zbigniew¹

WPLYW WARUNKÓW ZASILANIA STALOWNI NA WAHANIA NAPIĘCIA GENEROWANE PRZEZ URZĄDZENIA ŁUKOWE

W referacie omówiono wpływ warunków zasilania stalowni na wartość wahań napięcia generowanych przez urządzenia łukowe. Przedstawiono wyniki badań modelowych oraz pomiarów wskaźników migotania światła zarejestrowanych w sieciach o różnych mocach zwarciovych zasilających urządzenia łukowe. Wskazano, jaki powinien być minimalny stosunek mocy zwarciovwej na szynach stalowni do mocy przy trójfazowym zwarciu elektrod z wsadem, by piec nie generował nadmiernych wahań napięcia objawiających się uciążliwym migotaniem światła.

EFFECT OF SUPPLY STEEL PLANT TO VOLTAGE FLUCTUATIONS ARC GENERATED BY THE DEVICE

The paper discusses the influence of the steelworks on the value of supply voltage fluctuations generated by arc device. The results of model tests and measurements of flicker rates recorded in real networks with different power circuit have been presented. It was pointed out what should be the minimum ratio of short-circuit on steel rails to power the three-phase short circuit with an input electrode to the furnace does not generate excessive voltage fluctuations manifested by flickering light nuisance.

1. WSTĘP

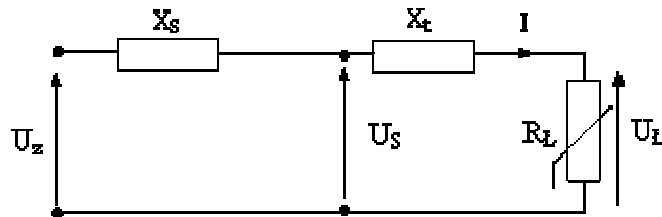
Piece łukowe, ze względu na bardzo duże moce jednostkowe, należą do tych odbiorników, które generują do sieci zasilającej bardzo duże zakłócenia. Głównie są to szybkozmiennne wahania napięcia, które powodują powstawanie zjawiska migotania światła. Wielkość wahań napięcia zależy m.in. od wartości mocy zwarciovwej w punkcie przyłączenia pieców, fazy wytopu, wzajemnego oddziaływania urządzeń łukowych na siebie, rodzaju złomu czy skuteczności zastosowanych urządzeń kompensacyjnych.

W referacie omówiono wpływ mocy zwarciovwej i mocy pieca na wahania napięcia. Wskazano również na zależność stabilnej pracy urządzeń łukowych od występujących szybkozmiennnych wahań napięcia. W dalszych rozważaniach za punkt odniesienia przyjęto stosunek mocy zwarciovwej S_{zw} sieci do mocy przy trójfazowym zwarciu elektrod z wsadem S_{zw} .

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,

2. MODELOWANIE RÓŻNYCH WARUNKÓW ZASILANIA STALOWNI

Na rys. 1 przedstawiony został schemat sieci zasilającej piec łukowy. Pominięto rezystancje sieci oraz transformatora piecowego. Łuk zastąpiony został napięciem o stałej wartości dla danej długości łuku. W celu uwzględnienia zmiany mocy zwarciowej na szynach stalowni, które to zmiany w decydującym stopniu wpływają na wartość wahań napięcia oraz na ich tłumienie, przyjęto do obliczeń trzy wartości reaktancji sieci zasilającej: $X_S = 0,5 - 2 - 5 \%$.



Rys. 1. Uproszczony schemat elektryczny sieci i urządzenia łukowego

X_s - reaktancja sieci zasilającej

X_t - reaktancja toru wielokoprowowego

R_L - rezystancja łuku elektrycznego

U_z - napięcie sieci zasilającej

U_s - napięcie na szynach stalowni

U_L, I - napięcie i prąd łuku elektrycznego

Dla stałego napięcia zasilania $U_z = 100\%$ i prądu znamionowego pobieranego przez urządzenie łukowe, moc znamionowa transformatora piecowego wynosi:

$$S_n = U_z \cdot I_n = 100\% \quad (1)$$

Moc przy trójfazowym zwarciu elektrod z wsadem dla badanych pieców wynosi:

$$S_{zwt} = S_n \cdot 2 = 200\% \quad (2)$$

Moce zwarciowe na szynach stalowni przyjęto do obliczeń dla trzech wartości reaktancji sieci zasilającej: $X_S = 0,5 ; 2 ; 5 \%$:

$$S_{zw1} = \frac{U_z^2}{X_{s1}} = \frac{100^2}{0,5} = 20000\% \quad (3)$$

$$S_{zw2} = \frac{U_z^2}{X_{s2}} = \frac{100^2}{1} = 10000\% \quad (4)$$

$$S_{zw5} = \frac{U_z^2}{X_{s5}} = \frac{100^2}{5} = 2000\% \quad (5)$$

Odpowiednio stosunki mocy zwarciowej S_{zw} do mocy przy trójfazowym zwarciu elektrod z wsadem S_{zwt} wynoszą:

$$\frac{S_{zw1}}{S_{zwt}} = 100 \quad \frac{S_{zw2}}{S_{zwt}} = 50 \quad \frac{S_{zw2}}{S_{zwt}} = 10 \quad (6)$$

Wielkość reaktancji toru wieloprądowego wraz z transformatorem piecowym tj. przykładowo dla pieców o pojemności 50 – 200 Mg z transformatorami 21 – 80 MVA. przyjęto w wysokości X_t -50%

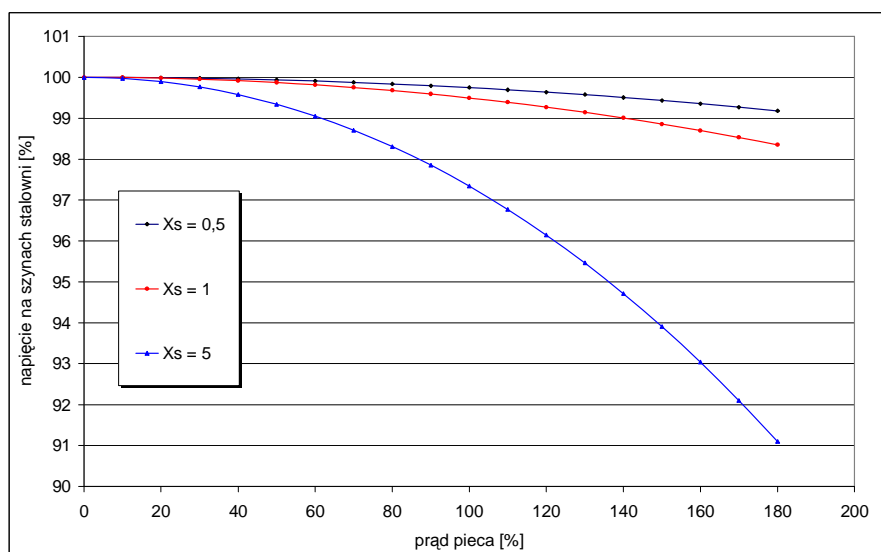
Napięcie łuku U_L wyznaczone zostaje ze wzoru:

$$U_L = \sqrt{U_f^2 - I^2(X_s + X_t)^2} \quad (7)$$

zaś napięcie na szynach stalowni U_S z zależności:

$$U_S = \sqrt{U_L^2 + I^2 X_t^2} = \sqrt{U_f^2 - [(X_t + X_s)^2 - X_t^2] I^2} \quad (8)$$

Rysunek 2 przedstawia zależność napięcia na szynach stalowni U_S w od prądu pobieranego przez piec łukowy, wyznaczone dla trzech reaktancji sieci zasilającej $X_S = 0,5\%$, $X_S = 1\%$ oraz $X_S = 5\%$ przedstawiających trzy różne moce zwarciove.

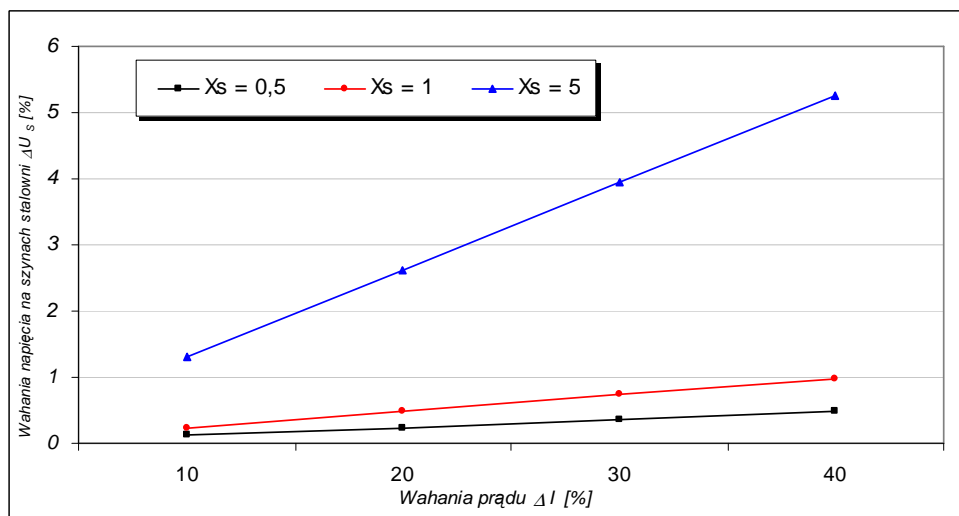


Rys. 2. Zmiany napięcia na szynach stalowni U_S w funkcji prądu pobieranego przez piec łukowy dla trzech reaktancji sieci zasilającej

Spadek napięcia w sieci zasilającej piec łukowy jest tym większy im większa jest reaktancja i wzrasta on ze wzrostem prądu pobieranego przez piec. Zmniejszenie napięcia U_S nie powoduje występowania zjawiska migotania światła i w sposób znaczący nie wpływa na punkt pracy samego pieca, gdyż można korygować napięcie łuku poprzez

przełącznik zaczełów transformatora piecowego oraz układ regulacji elektrod. W warunkach rzeczywistych prąd pobierany przez piec łukowy ulega bardzo gwałtownym zmianom, szczególnie w pierwszej fazie roztopienia złomu oraz po załadowaniu dodatkowych koszy ze złodem. Gwałtowne zmiany prądu powodują szybkozmienne wahania napięcia w sieci zasilającej, co z kolei wywołuje zjawisko migotania światła, zmiany punktu pracy pieca łukowego oraz wpływa na układ regulacji elektrod.

Na rysunku 3 przedstawiono zależność wahań napięcia na szynach stalowni w funkcji wahań prądu pobieranego przez piec łukowy (wokół wartości średniej $1,2I_n$) dla trzech wartości reaktancji sieci zasilającej $X_S = 0,5\%$, $X_S = 1\%$ oraz $X_S = 5\%$ reprezentującej różne moce zwarcia sieci.



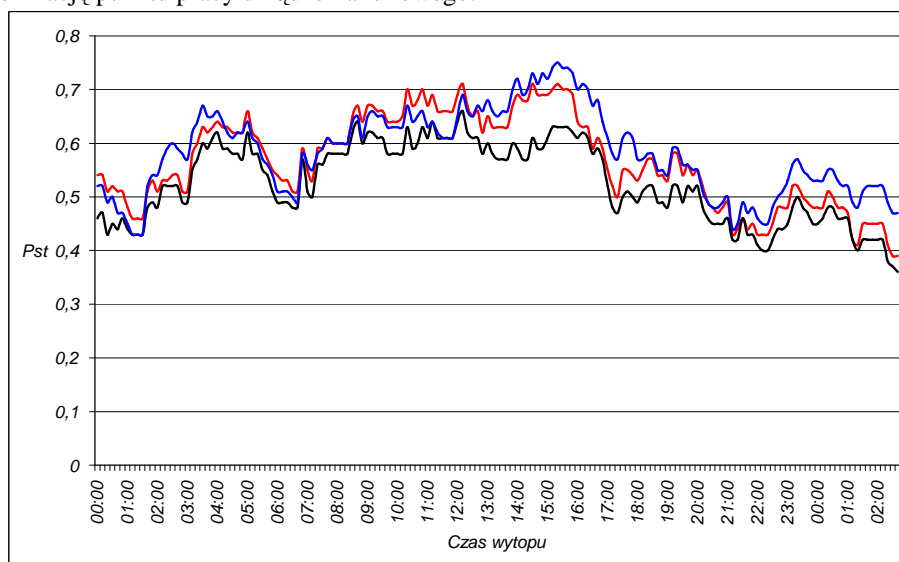
Rys. 3. Zależność wahań napięcia na szynach stalowni od wahań prądu pieca

3. POMIARY PARAMETRÓW JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W SIECI ZASILAJĄCEJ URZĄDZENIA ŁUKOWE PRZY RÓŻNEJ MOCY ZWARCIOWEJ

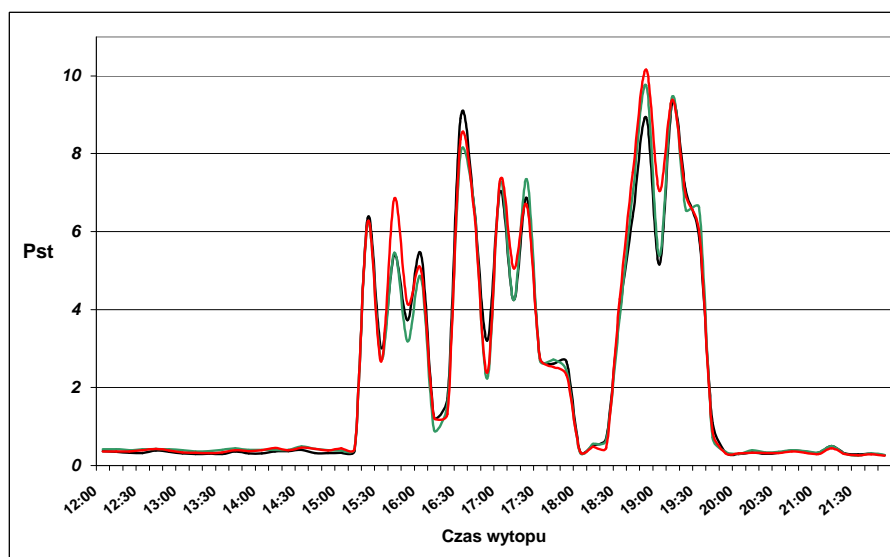
W celu określenia skutków wahań napięcia powodowanych przez piec łukowe dokonano szeregu pomiarów wskaźników migotania światła w sieciach zasilających stalownię. Sieci te charakteryzowały się różną mocą zwarcia i zasilane z niech piece miały różne moce znamionowe.

Rysunek 4 przedstawia zmiany wskaźnika migotania światła zarejestrowane w sieci o napięciu 110 kV zasilającej jedną z hut. Moc zwarcia w punkcie pomiaru wynosiła 6300 MVA. Stosunek mocy zwarcia sieci zasilającej do mocy przy zwarcu elektrod z wsadem pieca łukowego wynosi $S_{zw}/S_{zwl}=129,5$. Przy tak dużej mocy zwarcia wahania napięcia pozostają na bardzo niskim poziomie, nie powodując powstawania dokuczliwego migotania. Na rysunku 5 przedstawione zostały zmiany wskaźnika migotania światła w sieci zasilającej stalownię tej samej huty (linia o napięciu 30kV). W punkcie pomiaru stosunek mocy zwarcia do mocy przy zwarcu elektrod z wsadem wynosi tylko

$S_{zw}/S_{zwt}=10,28$. Skutkuje do pojawieniem się znacznych szybkozmiennych wahań napięcia. Z uwagi na to, że tak duże wahania napięcia mają wpływ na poprawną pracę układów sterowania i automatyki piece zasilane są z innej stacji. Ma to znaczący wpływ na stabilizację punktu pracy urządzenia łukowego.

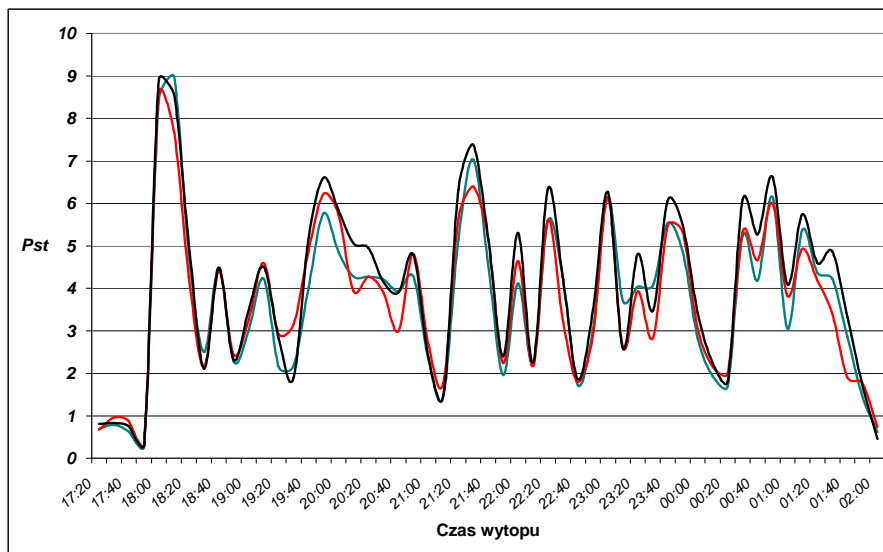


Rys. 4. Zmiany wskaźnika migotania światła P_{st} w sieci zasilającej hutę dla $S_{zw}/S_{zwt}=129,5$



Rys. 5. Zmiany wskaźnika migotania światła P_{st} w sieci zasilającej stalownię dla $S_{zw}/S_{zwt}=10,28$

Na rysunku 6 przedstawiony został przebieg wskaźników migotania światła zarejestrowany w sieci zasilającej hutę, dla którego stosunek mocy zwarciowej do mocy przy trójfazowym zwarciu elektrod z wsadem wynosi $S_{zw}/S_{zwt}=13,12$. Wahania napięcia powodowane przez urządzenia łukowe pracujące w stalowni są oczywiście mniejsze, przy czym sposób oceny wzrostu wahań przy załączanych kolejnych piecach został określony m.in. w [2,3].



Rys. 6. Zmiany wskaźnika migotania światła Pst w sieci zasilającej stalownię dla ($S_{zw}/S_{zwt}=13,12$)

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie badań modelowych i pomiarów wskaźników migotania światła można określić przybliżoną wartość mocy zwarciowej sieci w stosunku do mocy urządzenia łukowego, przy której można spodziewać się dokuczliwego migotania światła. Największe wahania występować będą w początkowej fazie wytopu i po załadowaniu dodatkowych koszy ze złomem. Przyjęcie do analizy mocy pobieranej przez piec przy trójfazowym zwarciu elektrod z wsadem uwzględnia najgorsze warunki pracy odbiornika.

Pracujący piec łukowy powoduje, że napięcie zasilające stalownię U_s jest mniejsze od napięcia zasilającego U_z o spadek napięcia na reaktancji sieci (przy pominięciu rezystancji). Wartość napięcia U_s zależy od prądu pobieranego przez piec i reaktancji sieci zasilającej (rys. 2). Przy stosunku $S_{zw}/S_{zwt}=100$ napięcie na szynach stalowni U_s jest mniejsze od napięcia zasilającego tylko o ok. 1% (dla maksymalnego poboru prądu przez piec łukowy). Zmniejszenie mocy zwarciowej sieci powoduje zmniejszenie napięcia U_s . Ze względu na gwałtowne zmiany prądu pobieranego przez piec łukowy napięcie U_s nie ma stałej wartości tylko ciągle się zmienia, przy czym zmiany te przebiegają w sposób

gwałtowny. Na amplitudę szybkozmiennych wahań napięcia mają wpływ moc zwarciowa sieci i zakres zmian prądu pieca (rys. 3). Oczywiście amplituda wahań napięcia zależna będzie również od ilości równolegle pracujących urządzeń łukowych [2,3].

W poradniku UIE [4] zaproponowano ocenę zależności wahań napięcia i migotania światła zależnie od mocy zwarciowej wg następującego wzoru:

$$K_{ij} = \frac{P_{sti}}{P_{stj}} \approx \frac{S_{zvj}}{S_{zwi}} \quad (9)$$

gdzie:

K_{ij} – współczynnik wzrostu wahań napięcia

P_{sti} – krótkookresowy wskaźnik migotania światła w punkcie i

P_{stj} – krótkookresowy wskaźnik migotania światła w punkcie j

S_{zwi} – moc zwarciowa w punkcie i

S_{zvj} – moc zwarciowa w punkcie j

Według badań modelowych i pomiarów przeprowadzonych w sieciach zasilających stalownie minimalny stosunek wartości mocy zwarciowej do mocy przy trójfazowym zwarciu elektrod z wsadem powinien wynosić ok. 100. Wtedy wahania napięcia nie będą powodować dokuczliwego migotania światła. W [1] zaleca się by stosunek ten był większy od 80.

5. LITERATURA

- [1] Hering M.: *Podstawy elektrotermii*, WNT, Warszawa, 1992
- [2] Olczykowski Z.: *Methods of determination of the voltage fluctuations and light flicker at simultaneous operation of three-phase arc furnaces*. Electrical Power Quality and Utilisation. Vol. IX, No 1, 2003r. str. 47-58,
- [3] Olczykowski Z.: *Superpozycja wahań napięcia przy pracy odbiorników łukowych*. Przegląd elektrotechniczny, Nr 5, 2002r.
- [4] UIE. *Guide to Quality of Electrical Supply for Industrial Installations. Part 1. General Introduction to Electromagnetic Compatibility (EMC), Types of Disturbances and Relevant Standards*. „Power Quality” Working Group WG 2, 1993.