

Józef Parohański

Katedra Technologii
i Metrologii Elektrycznej

MOSTEK Z DETEKTOREM WARTOŚCI SKUTECZNEJ

Streszczenie. W artykule przeprowadzono analizę dokładności pomiarów liniowymi mostkami prądu przemiennego z detektorem reagującym na wartość skuteczną napięcia występującego na przekątnej pomiarowej mostka. Wskazano przyczynę dużego błędu nieozułości oraz wykazano brak błędu równowagi pozornej mostka.

Jak wiadomo, odchylenie α miernika wartości skutecznej (np. elektrodynamicznego, elektromagnetycznego, elektrostatycznego, lampowego itp.) określa zależność

$$\alpha = K \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_0^2(t) dt}, \quad (1)$$

gdzie:

K - stała konstrukcyjna,

T - okres,

t - czas,

$u_0(t)$ - chwilowa wartość napięcia na przekątnej pomiarowej mostka.

Dyskusja wpływu harmonicznych na dokładność pomiarów liniowymi mostkami prądu przemiennego w przypadku ogólnym, to znaczy gdy napięcie zasilające mostek zawiera pierwszą i n wyższych harmonicznych jest mało przejrzyste. W związku z tym przyjęto, że napięcie zasilające mostek zawiera tylko pierwszą i k -tą harmoniczną.

Zgodnie z wzorem (8) podanym w [2] mamy

$$u'_0 = |K_1| \sin(\omega t + \beta_1) + |K_k| \cdot m_k \cdot \sin(k\omega t + \beta_k), \quad (2)$$

gdzie:

$$u'_0 = \frac{u_0(t)}{z_{sin}} - \text{względne napięcie na przekątnej pomiarowej,}$$

- U_{z1m} - amplituda pierwszej harmonicznej napięcia zasilającego mostek,
 $|K_1|, |K_k|$ - moduły współczynników przenoszenia mostka odpowiednio dla pierwszej i k-tej harmonicznej,
 m_k - współczynnik zawartości k-tej harmonicznej,
 $\psi_k = \alpha_k + \beta_k$,
 α_k - kąt fazowy k-tej harmonicznej napięcia zasilającego mostek,
 β_1, β_k - argumenty współczynników przenoszenia.

Dla $\psi_k = 0$, otrzymamy

$$u_0'' = n_k \sin(\omega t + \beta_1) + m_k \sin k\omega t, \quad (3)$$

gdzie:

$$u_0'' = \frac{u_0'}{|K_k|},$$

$$n_k = \frac{|K_1|}{|K_k|} - \text{stopień niezrównoważenia mostka dla pierwszej harmonicznej.}$$

Wstawiając (3) do (1) otrzymamy

$$\alpha_k = K \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [n_k \sin(\omega t + \beta_1) + m_k \sin k\omega t]^2 dt}, \quad (4)$$

gdzie:

α_k - odchylenie detektora wartości skutecznej dla przypadku, gdy napięcie zawiera tylko pierwszą i k-tą harmoniczną.

Po rozwiązaniu (4) otrzymamy (szczegóły w C [3])

$$\alpha_k = \frac{\sqrt{2} K}{2} \cdot \sqrt{n_k^2 + m_k^2}. \quad (5)$$

Różniczkując wyrażenie (5) względem n_k , otrzymamy

$$S_k = \frac{d\alpha_k}{dn_k} = \frac{\sqrt{2} K \cdot n_k}{2 \sqrt{n_k^2 + m_k^2}}, \quad (6)$$

gdzie:

S_k - osułość mostka dla przypadku, gdy napięcie zawiera tylko pierwszą i k-tą harmoniczną.

Przyrównując (6) do zera, otrzymamy dla $n_k^2 + m_k^2 \neq 0$

$$n_k = 0.$$

Znaczy to, że minimum odchylenia detektora wartości skutecznej przypada w punkcie $n_k = 0$ ($\delta R_1 = \delta C_1 = 0$), czyli w stanie równowagi rzeczywistej mostka dla pierwszej harmonicznej. Wnioski jak w rozdziale 2 [2].

Przyrównując drugą pochodną wyrażenia (5) względem n_k do zera mamy

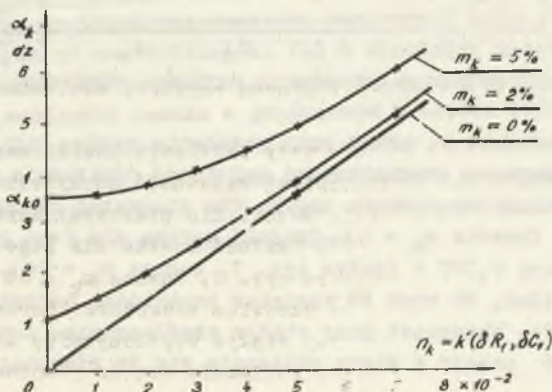
$$\frac{d^2 \alpha_k}{dn_k^2} = \frac{\sqrt{2} K}{2} \frac{\sqrt{n_k^2 + m_k^2} - n_k \frac{n_k}{\sqrt{n_k^2 + m_k^2}}}{n_k^2 + m_k^2} = 0.$$

Stąd dla $n_k^2 + m_k^2 \neq 0$, otrzymamy $n_k = 0$.

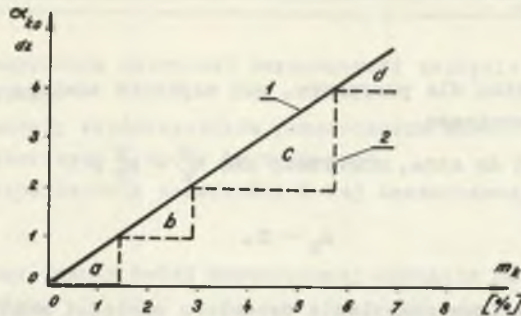
Znaczy to, że maksimum osułości S_{\max} detektora reagującego na wartość skuteczną, wystąpi przy zerowym współczynniku zawartości harmonicznych (napięciu ściśle sinusoidalnym) i zgodnie z (6) wynosi:

$$S_{\max} = \frac{\sqrt{2} K}{2}.$$

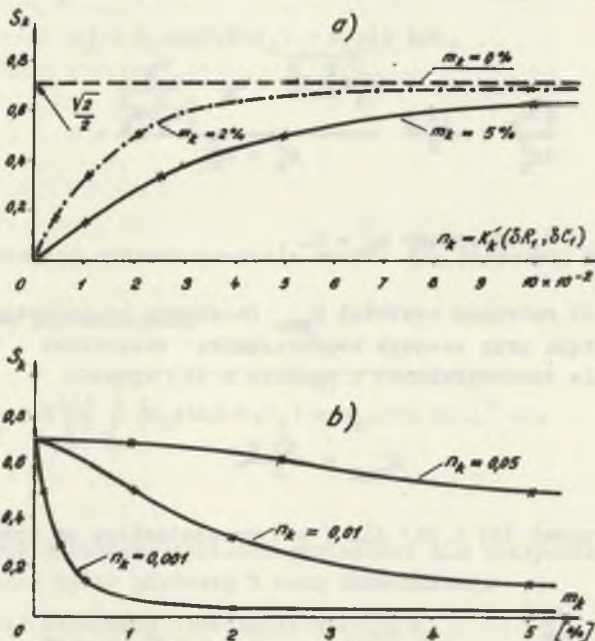
Wartości wyrażen (5) i (6) dla $K = 1$ przedstawiono na rysunkach 1, 2 i 3.



Rys. 1. Odchylenie detektora wartości skutecznej dla $K = 1$



Rys. 2. Krzywa 1 - odchylenie detektora wartości skutecznej dla $n_k = 0$,
krzywa 2 - poszczególne stopnie oszułości wskaźnika



Rys. 3. Czułość mostka z detektorem wartości skutecznej dla $K = 1$

Jak wynika z rysunku 1, tylko przy zasilaniu mostka napięciem ściśle sinusoidalnym otrzymamy prostoliniową zależność odchylenia detektora w funkcji stopnia alezrównoważenia oraz dla pierwszej harmonicznej napięcia zasilającego (pręta $m_k = 0$). Czułość mostka dla tego przypadku jest maksymalna i wynosi 0,707 K (patrz rys. 3, zamana $m_k = 0\%$).

Z rysunku 3 widać, że wraz ze wzrostem zawartości harmonicznych, oszułość mostka maleje. Natomiast przy stałym współczynniku zawartości harmonicznych, oszułość maleje w miarę zbliżania się do równowagi mostka dla

pierwszej harmonicznej. W stanie równowagi mostka dla pierwszej harmonicznej osułość jest równa zero (porównaj rozdz. 2 i 3 [2]).

Należy jeszcze zwrócić uwagę na to, że wykresy na rysunku 3 zostały wykonane dla jednego zakresu osułości użytego detektora. Odchylenie detektora w stanie równowagi mostka dla pierwszej harmonicznej jest nieznacznie większe niż zero i jest funkcją współczynnika zawartości harmonicznych (prosta 1 na rys. 2). Z tego względu nie można wykorzystać wyższych stopni osułości detektora przy większej zawartości harmonicznych. Np. nie można wykorzystać najwyższego stopnia osułości, który przedstawia odcinek "a" łamanej 2 na rysunku 2, jeżeli $m_k > 1,4\%$. Jeżeli $m_k > 2,8\%$ nie można wykorzystać nawet stopnia niższego "b" itd., ponieważ detektor odchyłalby się poza skalę nawet w równowadze mostka dla pierwszej harmonicznej.

Przy wykreśleniu łamanej 2 przyjęto, że zakres detektora na najwyższym stopniu osułości (odcinek a) wynosi $\alpha_{ko} = 1$ K oraz to, że osułość na niższym stopniu jest dwa razy mniejsza niż osułość na kolejnym stopniu wyższym.

A więc ze wzrostem zawartości harmonicznych, zmniejsza się osułość mostka z powodu niemożliwości wykorzystania wyższych stopni osułości detektora (wskaźnik odchyłalby się poza skalę). Jednocześnie występuje dalsze obniżenie osułości spowodowane spłaszczeniem charakterystyki $\alpha_k = f(n_k)$ w pobliżu równowagi mostka dla pierwszej harmonicznej (porównaj krzywe $m_k = 0\%$, $m_k = 2\%$ i $m_k = 5\%$ na rys. 1). Jest to przyczyną dużego błędu nieoszułości mostka.

Zaletą detektora wartości skutecznej w porównaniu z detektorem wartości średniej jest to, że jego odchylenie nie zależy od kąta przesunięcia fazowego poszczególnych harmonicznych (zarówno parzystych jak i nieparzystych) względem pierwszej harmonicznej. Zatem krzywa $\alpha_k = f(n_k)$ dla $f_k = 0$ pokrywa się z krzywą $\alpha_k = f(n_k)$ dla $f_k = \pi$ rad. Dzięki temu nie powstaje dodatkowy błąd, zwany przez autora błędem równowagi pozornej (porównaj rozdz. 2 i 3 [2]).

Stąd wniosek, że detektory wartości skutecznej można stosować w mostkach niezależnych od częstotliwości lub w dowolnych mostkach liniowych zasilanych napięciem ściśle sinusoidalnym. W innym przypadku wystąpi zwiększony błąd nieoszułości mostka w porównaniu z błędem nieoszułości jaki byłby przy zasilaniu tego mostka napięciem ściśle sinusoidalnym. Błąd ten będzie tym większy, im większy będzie współczynnik przenoszenia mostka dla wyższych harmonicznych (por. [1]) i tym większy, im większy będzie współczynnik zawartości wyższych harmonicznych.

LITERATURA

- [1] Parohański J. - Współczynnik przenoszenia mostka prądu przemiennego. Zeszyty Nauk. Politechniki Śląskiej 1971, Elektryka nr 32.
- [2] Parohański J. - Mostek z detektorem wartości średniej. Zesz.Nauk.Pol. Śl. 1971, Elektryka nr 32.
- [3] Parohański J. - Wpływ harmonicznych napięcia zasilającego na dokładność mostków liniowych. Praca doktorska Politechniki Śląskiej, 1968 r.

Wpłynęło do redakcji w kwietniu 1971 r.

МОСТ С ДЕТЕКТОРОМ ЭФФЕКТИВНОГО ЗНАЧЕНИЯ

Р е з ю м е

Проведен анализ точности измерений линейными мостами переменного тока с детектором реагирующим на эффективное значение напряжения. Указано причины большой ошибки нечувствительности и доказано отсутствие ошибки кажущегося равновесия моста.

BRIDGE WITH AN EFFECTIVE DETECTOR

S u m m a r y

An analysis of the accuracy of a.c. linear bridges measurements with a detector responding to effective voltage value is performed. A cause of big insensitivity error is shown and it is proved that there's no error of apparent bridge equilibrium.