

Janusz GUZIK, Lesław TOPÓR-KAMIŃSKI

INSTYTUT METROLOGII, ELEKTRONIKI I AUTOMATYKI,
ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice

Imitatory rezystancji izolacji elektrycznej

Dr inż. Janusz GUZIK

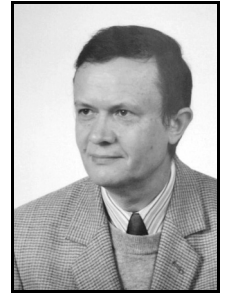
Docent w Instytucie Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Autor bądź współautor około 50 publikacji z zakresu metrologii elektrycznej. Główne zainteresowania naukowe: pomiary impedancji i jej składowych, układy pomiarowe przeznaczone do diagnostyki izolacji elektrycznej i zagadnienia ich wzorcowania.



e-mail: janusz.guzik@polsl.pl

Prof. dr hab. inż. Lesław TOPÓR-KAMIŃSKI

Jest pracownikiem Instytutu Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Zajmuje się zagadnieniami teorii obwodów elektrycznych i elektronicznych, szczególnie analizą i syntezą układów aktywnych, modelowaniem układów elektronicznych za pomocą elementów osobliwych oraz konstruowaniem i zastosowaniami nowoczesnych wzmacniaczy operacyjnych. Jest autorem i współautorem ponad 130 prac naukowych opublikowanych w kraju i za granicą.



e-mail: leslaw.topor-kaminski@polsl.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono ideę budowy wybranych rozwiązań imitatorów rezystancji izolacji elektrycznej, mających zastosowanie do wzorcowania megaomierzy metodą pośrednią z wykorzystaniem elementów pasywnych i aktywnych. Przedstawiono także podstawowe zależności teoretyczne dla uogólnionego modelu imitatora oraz przedstawiono przykładową realizację imitatora pozwalającą na płynną nastawę imitowanej rezystancji. Ponadto określono błędy $\delta(R_M)$ i $\delta(I_M)$ odtwarzania wartości rezystancji R_{HI-LO} , związane z wpływem rezystancji R_M oraz błędów addytywnych $\pm \alpha$ i multiplikatywnych $\pm \beta$ w procesie przetwarzania prądu I_M dla obwodu (LO-GND) megaomierza.

Słowa kluczowe: imitator dużych rezystancji, izolacja elektryczna, wzorcowanie megaomierzy.

Electrical insulation resistance substituters

Abstract

In the paper the idea of chosen solutions of electrical insulation resistance substituters, having application for indirect method of megaohmmeters calibration with use of an active and passive elements, was presented. The simplicity (see Fig.1) is the advantage of the presented idea of resistance substitution, the fault however - the necessity of fulfillment the relation $E - e_A > 0$, at which the value of substituted resistance R_{HI-LO} achieves only positive values. For generalized electrical insulation resistance substituters according to Fig.2, the substituted resistance R_{HI-LO} is defined by Eqs. (4), and fulfillment the relation $R_{HI-LO} \rightarrow \infty$ is presented by Eq. (5). Chosen Eq. (4) variants (A-E) are contained in Tab.1. An example of electrical insulation resistance substituter's realization [3] using optoisolated U/U converter is presented in Fig.3. It becomes noticeable that the substituted resistance R_{HI-LO} enables practically linear realization of setting resistance value R_2 (see Fig. 4). The errors $\delta(R_M)$ and $\delta(I_M)$ of substituted resistance value R_{HI-LO} , connected with influence of resistance R_M as well as the additive error $\pm \alpha$ and multiplicative $\pm \beta$ error of current I_M conversion in megaohmmeter's circuit (LO-GND) were qualified too.

Keywords: high resistance substituter, electrical insulation, megaohmmeters calibration.

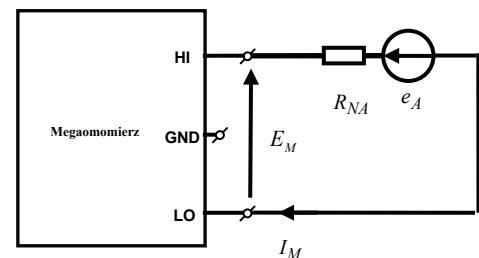
1. Wstęp

Wzorcowanie megaomierzy stosowanych do pomiaru rezystancji izolacji elektrycznej w praktyce odbywa się z reguły za pomocą jednej z dwóch zasadniczych metod [5-7]:

- metody bezpośredniej, mającej na ogół zastosowanie dla zakresu wzorcowanych wielkości nie przekraczających wartości $10^8 \Omega$, wykorzystującej do tego celu nastawny rezystor wzorcowy o znanej wartości nominalnej,
- metody pośredniej, której znanych jest kilka wariantów. Np. znana jest metoda z wykorzystaniem właściwości przekształcenia „gwiazda-trójkąt”, kiedy to zamiast rezystora wzorcowego na wejście sprawdzanego megaomierza podłącza się układ złożony z trzech rezystorów imitujących dużą rezystancję, np. w zakresie powyżej $10^8 \Omega$ [4].

Podstawową wadą znanych metod jest brak możliwości realizacji płynnej nastawy wartości imitowanej rezystancji.

W niniejszej pracy zaproponowano przykładowe rozwiązanie imitatorów pozbawionych tej wady, a bazujące na koncepcji aktywnej imitacji dużych rezystancji $R_{HI-LO} \rightarrow \infty$, z wykorzystaniem do tego celu imitatora o rezystancji R_{HI-LO} , złożonego z części aktywnej (e_A) i pasywnej (R_{NA}) (por. rys. 1) [1-3].



Rys. 1. Aktywny imitator rezystancji izolacji elektrycznej R_{HI-LO} złożony z części aktywnej (e_A) i pasywnej (R_{NA})

Fig. 1. Active electrical insulation resistance substituter R_{HI-LO} composed of active (e_A) and passive (R_{NA}) part

Wartość imitowanej rezystancji (dla $E_M - e_A > 0$ i przy spełnieniu relacji $e_A \rightarrow E_M$) osiąga wtedy teoretycznie wartość równą:

$$R_{HI-LO} = \frac{E_M}{I_M} = \frac{E \cdot R_{NA} + e_A \cdot R_E}{E - e_A} \rightarrow \infty, \quad (1)$$

gdzie: E , R_E to parametry wzorcowanego megaomierza (widziane z zacisków HI-GND) zastąpionego dwójnikiem Thevenina.

2. Podstawowe zależności teoretyczne

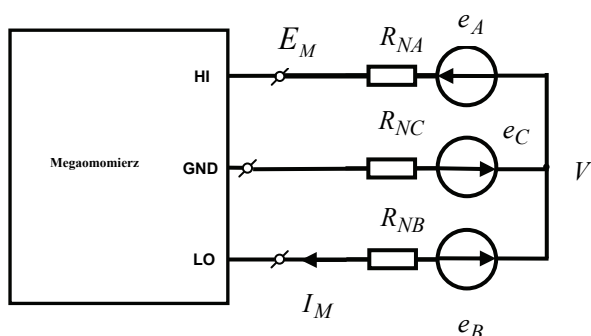
Na rys. 2 zamieszczono uogólniony schemat imitatora dużych rezystancji, będący rozwinięciem podstawowego schematu wg rys. 1.

Dla imitatora wg rys.2 wartość prądu I_M płynącego w obwodzie LO-GND megaomierza o własnej rezystancji wewnętrznej R_M jest wtedy równa:

$$I_M = \frac{V - e_B}{R_{NB} + R_M}, \quad (2)$$

przy czym potencjał V wynika z rozwiązania równania (3) postaci:

$$V \left(\frac{1}{R_{NA} + R_E} + \frac{1}{R_{NC}} + \frac{1}{R_{NB} + R_M} \right) = \frac{E - e_A}{R_{NA} + R_E} + \frac{e_C}{R_{NC}} + \frac{e_B}{R_{NB} + R_M} \quad (3)$$



Rys. 2. Uogólniony schemat imitatora rezystancji izolacji elektrycznej
Fig. 2. Generalized electrical insulation resistance substituter circuit

gdzie: E , R_E - to parametry wzorcowanego megaomierza (widziane z zacisków HI-GND).

Odtwarzana przez imitator wartość rezystancji R_{HI-LO} jest wówczas równa [2]:

$$R_{HI-LO} = \frac{E_M}{I_M} = \frac{E_M}{V - e_B} (R_{NB} + R_M), \quad (4)$$

gdzie R_M jest rezystancją obwodu pomiarowego omierza widzianą z zacisków LO-GND.

Spełnienie relacji $R_{HI-LO} \rightarrow \infty$ ma miejsce dla równości:

$$\frac{E_M - e_A - e_B}{e_C - e_B} = \frac{R_{NA} + R_E}{R_{NC}}. \quad (5)$$

W tabelicy 1 zestawiono przykładowe wybrane warianty (A – E) równania (4) uogólnionego imitatora dużych rezystancji z uwzględnieniem praktycznych relacji pomiędzy napięciami (e_A , e_B , e_C), przy czym wariant (E) dotyczy „klasycznego” pasywnego imitatora dużych rezystancji opisanego w [4].

Tab.1. Wybrane warianty (A-E) równania (4) [2]

Tab.1. Chosen equation (4) variants (A-E) [2]

| Wariant | | R_{HI-LO} |
|---------|----------------------------|---|
| A | $e_A = 0$ | $\frac{E_M[(R_{NA} + R_E + R_{NC})(R_{NB} + R_M) + (R_{NA} + R_E)(R_{NC})]}{(E_M - e_B)R_{NC} + (R_{NA} + R_E)(e_C - e_B)}$ |
| B | $e_B = 0$ | $\frac{E_M[(R_{NA} + R_E + R_{NC})(R_{NB} + R_M) + (R_{NA} + R_E)(R_{NC})]}{(E_M - e_{AB})R_{NC} + (R_{NA} + R_E)e_C}$ |
| C | $e_C = 0$ | $\frac{E_M[(R_{NA} + R_E + R_{NC})(R_{NB} + R_M) + (R_{NA} + R_E)(R_{NC})]}{(E_M - e_A - e_B)R_{NC} - (R_{NA} + R_E)e_B}$ |
| D | $e_A = e_C$ | $\frac{E_M[(R_{NA} + R_E + R_{NC})(R_{NB} + R_M) + (R_{NA} + R_E)(R_{NC})]}{(E_M - e_C - e_B)R_{NC} + (R_{NA} + R_E)(e_C - e_B)}$ |
| E | $e_A = e_B$ $= e_C = 0$ | $(R_{NB} + R_M)(1 + \frac{R_{NA} + R_E}{R_{NC}}) + R_{NA} + R_E$ |

Natomiast relację (5) dla poszczególnych wariantów (A – E) stosuje się odpowiednio.

W dalszym ciągu dla uogólnionego schematu imitatora dużych rezystancji według rys.2 można zdefiniować następujące dwa podstawowe błędy:

a) błąd $\delta(R_M)$ odtwarzania wartości rezystancji R_{HI-LO} , związany z wpływem rezystancji R_M obwodu (LO-GND) megaomierza:

$$\delta(R_M) = \frac{R_{HI-LO}(R_M > 0) - R_{HI-LO}(R_M = 0)}{R_{HI-LO}(R_M = 0)} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Można pokazać [2], że błąd ten po przekształceniach opisuje relacja:

$$\delta(R_M) = \frac{R_M}{R_{NB} + (R_{NA} + R_E) // R_{NC}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

lub dla $R_E \ll R_{NA}$:

$$\delta(R_M) \approx \frac{R_M}{R_{NB} + R_{NA} // R_{NC}} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Wartość błędu $\delta(R_M)$ można łatwo zminimalizować, zapewniając relację $R_{NB} + R_{NA} // R_{NC} \gg R_M$.

Przykładowo dla warunku $|\delta(R_M)| < k$ [%] otrzymuje się:

$$R_{NB} + R_{NA} // R_{NC} > R_M \frac{100\%}{k}. \quad (9)$$

b) błąd $\delta(I_M)$ odtwarzania wartości rezystancji R_{HI-LO} , związany z występowaniem błędów addytywnych $\pm \alpha$ i multiplikatywnych $\pm \beta$ w procesie przetwarzania prądu I_M (w obwodzie (LO-GND) megaomierza) - określony jest z kolei jako:

$$\delta(I_M) = \frac{R_{HI-LO}(I_M) - R_{HI-LO}(I_M)}{R_{HI-LO}(I_M)} \cdot 100\%, \quad (10)$$

przy czym $I_M = \pm \alpha + I_M(1 \pm \beta)$.

Po przekształceniach wzór (10) można zapisać jako:

$$\delta(I_M) = -(1 + \frac{I_M}{\pm \alpha \pm \beta I_M})^{-1} \cdot 100\%, \quad (11)$$

lub

$$\delta(I_M) = -(1 + \frac{1}{\pm \alpha / I_M \pm \beta})^{-1} \cdot 100\% \quad (12)$$

Z kolei wartość błędu $\delta(I_M)$ można zminimalizować, zapewniając odpowiednią relację $|\pm \alpha / I_M \pm \beta| \ll 1$.

Przykładowo dla warunku $|\delta(I_M)| < l$ [%] otrzymuje się:

$$|\pm \alpha / I_M \pm \beta| < \frac{l}{100\%}. \quad (13)$$

Zależność (13) po podstawieniu (por. (4)) $I_M = E_M / R_{HI-LO}$ przyjmuje postać:

$$\left| \pm \alpha \frac{R_{HI-LO}}{E_M} \pm \beta \right| < \frac{l}{100\%}, \quad (14)$$

co oznacza, konieczność odpowiedniego doboru wartości stosunku R_{HI-LO} / E_M dla poszczególnych wariantów (A-E) uwidoczonych w tabelicy 1.

3. Przykład realizacji imitatora rezystancji izolacji elektrycznej

Na rys. 3 zamieszczono przykład realizacji imitatora rezystancji izolacji elektrycznej tj. wariant uogólnionego schematu imitatora według rys. 2 dla $R_{NB} = 0$, $R_{NC} \rightarrow \infty$ i $e_B = e_C = 0$.

Odtwarzaną przez imitator wartość rezystancji R_{HI-LO} określa wzór [3]:

$$R_{HI-LO} = \frac{(R_N + R_M) \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 + (1-k) \cdot R_2}, \quad (15)$$

gdzie k jest współczynnikiem wzmocnienia zastosowanego wzmacniacza typu U/U z optoizolacją.

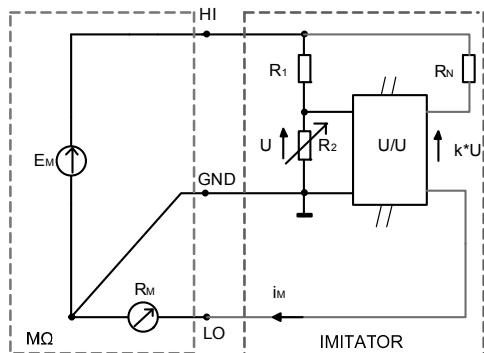
Uzyskanie teoretycznej relacji $R_{HI-LO} \rightarrow \infty$ wymaga zapewnienia zerowania mianownika wzoru (15), tj.:

$$R_1 + (1-k)R_2 \rightarrow 0,$$

co jest możliwe poprzez:

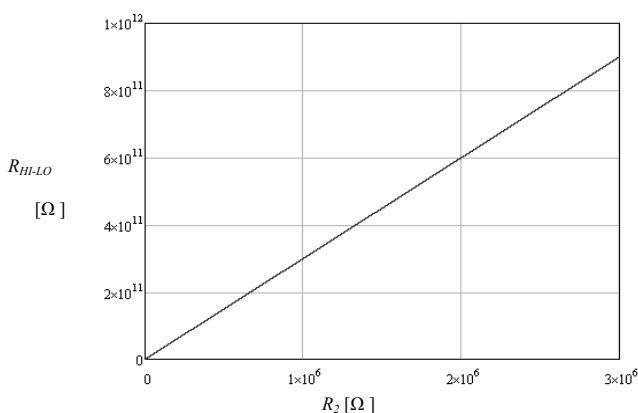
- nastawę wartości rezystancji R_1 , przy czym: $R_1 \rightarrow (k-1)R_2$,
- nastawę wartości współczynnika wzmocnienia k , przy czym: $k \rightarrow 1 + R_1 / R_2$,
- nastawę wartości rezystancji R_2 , przy czym: $R_2 \rightarrow R_1 / (k - 1)$.

Ponadto istotny przy tym jest wybór elementu nastawnego spośród R_1 , R_2 lub k , pozwalający na optymalną realizację nastawy wartości imitowanej rezystancji R_{HI-LO} .



Rys. 3. Przykład realizacji imitatora rezystancji izolacji elektrycznej [3]
Fig. 3. Example of electrical insulation resistance substituter's realization [3]

Można pokazać [3], że takim optymalnym elementem nastawnym dla realizacji imitatora według rys.3 jest rezystancja R_2 (por. rys. 4).



Rys. 4. Charakterystyka imitacji rezystancji $R_{HI-LO} = f(R_2)$ dla układu imitatora rezystancji izolacji według rys. 3
Fig. 4. Substituted resistance characteristics $R_{HI-LO} = f(R_2)$ for electrical insulation resistance substituter circuit according to Fig. 3

Na podstawie zaprezentowanej na rys. 4 charakterystyki imitacji rezystancji izolacji $R_{HI-LO} = f(R_2)$ łatwo można stwierdzić, że zależność ta jest liniowa, przy czym imitację wartości rezystancji R_{HI-LO} rzędu $10^{11} \Omega - 10^{12} \Omega$ można uzyskać dla niewygórowanych wartości parametrów elementów układu R_N, R_1, R_2 lub k [3].

4. Podsumowanie

Zaproponowany układ imitatora rezystancji (o ogólnym schemacie według rys. 2) może umożliwić płynną nastawę wartości imitowanej rezystancji R_{HI-LO} w zakresach typowych dla rezystancji izolacji tj. rzędu $10^6 \Omega - 10^{12} \Omega$.

W szczególności realizacja układowa wzmacniacza typu U/U z optoizolacją, konieczną do odseparowania obwodu wejściowego wzmacniacza od obwodu wysokonapięciowego ze źródłem napięcia stałego megaomomierza E_M .

W pracy opisano podstawowe zależności umożliwiające ocenę: odtwarzanej wartości rezystancji R_{HI-LO} i podstawowych błędów $\delta(R_M)$ oraz $\delta(I_M)$, związanych z parametrami wejściowymi (tj. rezystancją R_M i błędami $\{\pm \alpha; \pm \beta\}$ procesu przetwarzania prądu I_M) obwodu (LO - GND) wzorcowanego megaomomierza.

Należy mieć tutaj na uwadze, że spełnienie warunków minimalizacji błędów $|\delta(R_M)| < k [\%]$ oraz $|\delta(I_M)| < l [\%]$ może okazać się szczególnie trudne dla najwyższych zakresów wzorcowanych megaomomierzy.

W takim przypadku należałoby rozważyć optymalny przypadek doboru wartości parametrów występujących we wzorze (5), względnie zapewnić zasilanie układu imitatora z zewnętrznego źródła o podwyższonej wartości napięcia E_M .

Oznacza to wtedy konieczność odpowiedniego doboru wartości stosunku R_{HI-LO} / E_M według relacji (14) dla innych, pozostałych wariantów (A-E) uwidocznionych w tabelicy 1.

5. Literatura

- Guzik J.: Aktywny imitator rezystancji do wzorcowania megaomomierzy, *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, vol. 55, Nr 9, s. 766-768, 2009.
- Guzik J., Piłśniak A., Rochniński P.: Uogólniony model matematyczny imitatora dużych rezystancji, *Materiały Konferencji „Podstawowe Problemy Metrologii, PPM 2011”*, Krynica-Zdrój, 12-15 czerwca 2011, s.160-163.
- Guzik J., Rochniński P.: Imitatory dużych rezystancji – po-równanie właściwości, *Materiały Konferencji „Podstawowe Problemy Metrologii, PPM 2012”*, Krynica-Zdrój, 3-6 czerwca 2012, s.286-289.
- Kłos Z.: Problematyka wzorcowania aparatury elektrometrycznej, *Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej nr 55, Seria: Monografie nr 17, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2004.*
- Lisowski M.: Metody wzorcowania analogowych mierników bardzo dużych rezystancji. Część I: Metoda bezpośrednia, *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, vol. 49, Nr 6, s. 10-12, 2003.
- Lisowski M.: Metody wzorcowania analogowych mierników bardzo dużych rezystancji. Część II: Metoda interpolacyjna i metody pośrednie, *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, Nr 6, s. 12-14, vol. 49, 2003.
- Lisowski M.: Metody wzorcowania cyfrowych mierników bardzo dużych rezystancji, *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, vol. 51, Nr 10, s. 5-7, 2005.

otrzymano / received: 04.03.2013

przyjęto do druku / accepted: 01.05.2013

artykuł recenzowany / revised paper