

Analiza niepewności pasywnego wzorca imitującego bardzo duże rezystancje

Piotr Madej

Do wzorcowania i okresowej kontroli piko- i nanoamperomierzy oraz giga- i megaomierzy niezbędne są wzorce rezystancji o bardzo dużych wartościach, nawet do $10^{15} \Omega$. Wzorce rezystancji drutowe o najlepszych parametrach metrologicznych mają wartości do $10^9 \Omega$, gdy są wzorcami pojedynczej wartości, lub rzadko do $10^{10} \Omega$, gdy są wzorcami dekadowymi, np. [3, 9]. Można zwiększyć zakres sprawdzania za pomocą rezystorów wykonanych technologią MOX do $10^{11} \Omega$, jednak z dużą stratą dokładności, nawet po nadaniu im wartości poprawnej za pomocą wzorców drutowych.

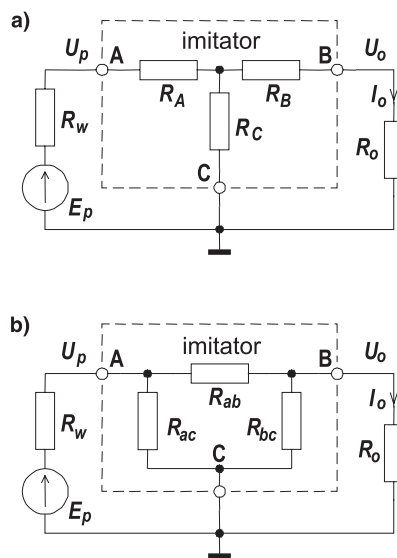
Zakresy aparatury o dużej czułości można sprawdzić jedynie układami symulującymi włączenie do obwodu bardzo dużej rezystancji – imitatorami. Są one budowane jako układy pasywne bądź aktywne. Układ aktywny to źródło bardzo małego prądu sterowane stałym napięciem wejściowym i zawierające wzmacniacze elektrometryczne [1, 8]. Podstawową grupą pasywnych imitatorów są obwody złożone z rezystorów o wartościach rzędu ($10^2 - 10^{10}$) Ω . Ich działanie jest oparte na przekształceniu układu gwiazdy w trójkąt [1, 3, 6]. Zachowują klasę rezystorów składowych, a symulują wartości nawet do ($10^{14} - 10^{15}$) Ω . Charakterystyczną cechą tych układów są stosunkowo niewielkie wartości napięcia i rezystancji w obwodzie wyjściowym, co ma znaczenie przy kontroli aparatury na zakresach o największej czułości.

Celem artykułu jest przedstawienie wyników analizy podstawowej niepewności pasywnego wzorca-imitatora, wynikającej z niepewności podstawowych jego elementów składowych i z niepewności dodatkowych, spowodowanych połączeniem takiego wzorca ze sprawdzanym miernikiem.

Pasywny wzorzec imitujący bardzo duże rezystancje

Wzorzec-imitator jest czwórnikami zawierającym trzy rezystory w układzie T (rys. 1a). Przetwarza on zewnętrzne, wejściowe napięcie pomiarowe U_p na bardzo mały prąd wyjściowy I_o . Podstawową rolę w prze-

tworzeniu pełni bardzo duża zastępcza (symulowana) rezystancja przejściowa R_{ab} , zależna od współczynnika imitacji w_i określonego przez odwrotność podziału dzielnika $R_A R_C$ (rys. 1b) – zależności (1) i (4). Pozostałe rezystancje R_{ac} i R_{bc} wynikają z przekształcenia gwiazda-trójkąt (lub inaczej T-II) – zależności (2) i (3) i łączą wejście i wyjście imitatora z masą. Mają one znacznie mniejsze znaczenie w pracy układu i dlatego w zależnościach dopuszczalne są większe uproszczenia. Układ symetryczny takiego wzorca, o jednakowych poziomych ramionach $R_A = R_B$ ma zamienne wejście i wyjście. Autor poleca układ niesymetryczny o $R_A \ll R_B$ ze względu na użycie tylko jednego wysokoomowego rezystora R_B . Zastosowane dalej przybliżenia zależności dotyczą tego przypadku:



Rys. 1. Współpraca wzorca-imitatora ze źródłem napięcia (E_p , R_w) i obciążeniem (R_o): a) imitator w podstawowym układzie T (gwiazdy), b) imitator z zastępczymi rezystancjami po formalnym przekształceniu w układ Π (trójkąta)

$$R_{ab} = R_A + R_B \left(1 + \frac{R_A}{R_C} \right) = R_A + w_i R_B \quad (1)$$

$$R_{ac} = R_A + R_C \left(1 + \frac{R_A}{R_B} \right) = \frac{R_A}{w_i - 1} \left(w_i + \frac{R_A}{R_B} \right) \approx \frac{w_i}{w_i - 1} R_A \quad (2)$$

$$R_{bc} = R_B + R_C \left(1 + \frac{R_B}{R_A} \right) = R_C + R_B \frac{w_i}{w_i - 1} \approx \frac{w_i}{w_i - 1} R_B \quad (3)$$

dr inż. Piotr Madej – Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych, Politechnika Wrocławska

gdzie

$$w_i = 1 + \frac{R_A}{R_C} \quad (4)$$

współczynnik imitacji.

Gdy współczynnik imitacji $w_i \geq 10$, wówczas zależności (1), (2) i (3) upraszczają się do postaci:

$$R_{ab} \approx w_i R_B, R_{ac} \approx R_A, R_{bc} \approx R_B \quad (5)$$

Jeżeli rezystancja R_C jest bardzo duża, tj. $R_C \gg R_A$, to nie zachodzi imitacja, gdyż wartość w_i dąży do jedności i układ T sprowadza się do klasycznego ekranowanego rezystora o rezystancjach:

$$R_{ab} = R_A + R_B, R_{ac} \approx R_C, R_{bc} \approx R_C(R_B/R_A) \quad (6)$$

Błąd i niepewność podstawowa

Nominalny prąd wyjściowy wzorca I_N definiuje się dla stanu zwarcia jego wyjścia (rys.1, $R_o = 0$):

$$I_N = I_o(R_o = 0) = \frac{U_p}{R_A + w_i R_B} = \frac{U_p}{R_{ab}} \quad (7)$$

Względny błąd systematyczny prądu $\delta(I_N)$, liczony względem wartości nominalnej (7), wynika z rzeczywistych błędów względnych napięcia pomiarowego i rezystorów imitatora. Z różniczkowania (7) oraz z (1) i (4), przy $R_B \gg R_A$, a tym bardziej, gdy $w_i R_B \gg R_A$, wartość jego w praktyce równa się:

$$\delta(I_N) = \delta(U_p) - \delta(R_B) - \frac{w_i - 1}{w_i} [\delta(R_A) - \delta(R_C)] \quad (8)$$

Natomiast dla błędów granicznych $\delta_g(X)$, o rozkładzie prostokątnym, obejmujących obok granicznych wartości odchyłek w warunkach nominalnych także niestabilności czasowe, temperaturowe i napięciowe, należy przy $w_i \geq 10$ i $R_o = 0$ określić wg [10] klasę wzorca prądu (współczynniki wrażliwości praktycznie = 1, poziom ufności $p = 0,95$, tj. współczynnik rozszerzenia $k_p = 2,0$) jako:

$$kl(I_N) \equiv U_{cr}(I_N) \approx \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\delta_g^2(U_p) + \delta_g^2(R_B) + \delta_g^2(R_A) + \delta_g^2(R_C)} \quad (9)$$

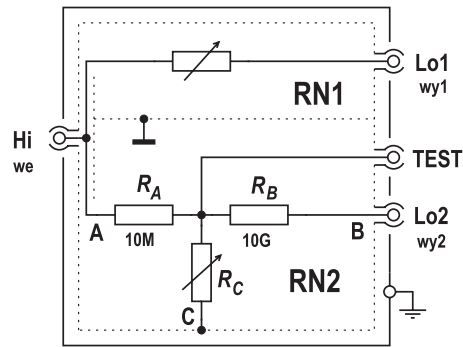
Jest to niepewność względna rozszerzona $U_{cr}(I_N)$ wzorca traktowanego jako źródło prądu o małej wartości. Obejmuje ona wszelkie wpływy poza obciążeniem wyjścia i w tym znaczeniu jest podstawowa.

Głównym składnikiem, ograniczającym możliwości poprawy jakości wzorca jest błąd graniczny wysokoomowego rezystora R_B rzędu (0,2-1) % przy $R_B = (10^9 - 10^{10}) \Omega$. Przy dominacji tego błędu granicznego ponad

trzykrotnie nad pozostałymi, wzorzec ma w praktyce jego klasę.

W (8) i (9) opuszcza się składniki zależne od napięcia pomiarowego U_p , gdy jest to wewnętrzne napięcie sprawdzanego giga- lub megaomomierza. Wzorcową wielkością jest wtedy rezystancja przejściowa imitatora.

Stosowanie imitatora w warunkach rzeczywistych jest źródłem szeregu dodatkowych błędów omówionych dalej, w większości o charakterze systematycznym. Zależą one od wartości elementów wzorca



Rys. 2. Uproszczony schemat dwuwyjściowego wzorca dużych rezystancji: sekcja RN2 – imitator

i elementów zastępczych obwodu wejściowego sprawdzanego miernika.

Autor skonstruował i użytkuje wzorzec-imitator bardzo dużych rezystancji o omawianym układzie [6]. Wzorzec obejmuje szeroki zakres wartości ($10^4 - 10^{15}$) Ω i składa się z dwóch niezależnych sekcji (rys. 2) o wartościach przełączanych dziesiętnie. Pierwsza to wzorzec RN1 z pojedynczymi rezystorami na zakres ($10^4 - 10^9$) Ω , a druga to wzorzec imitujący RN2 na zakres ($10^{10} - 10^{15}$) Ω w układzie gwiazdy ABC o rezystorach stałych R_A, R_B i przełączanym R_C , który ustala współczynnik w_i pozornego zwiększenia wysokoomowej wartości rezystancji R_B , wynoszący $1-10^5$ razy.

Każda z sekcji wzorca ma własny ekran metalowy. Oba są połączone z masą, która jest równocześnie wierzchołkiem C układu gwiazdy imitatora. Z masą połączone są także ekrany gniazd koncentrycznych: wejścia napięciowego Hi, wyjść prądowych Lo1 i Lo2. Dodatkowe gniazdo TEST pozwala na prostą kontrolę elementów składowych imitatora. Całość zamknięto w obudowie metalowej odizolowanej od masy. Wzorzec jest przeznaczony do kontroli mierników z układem przetwarzającym prąd badanego obiektu (torem prądowym). Są to mierniki bardzo małych prądów oraz mierniki dużych rezystancji ze stałym napięciem pomiarowym doprowadzanym do obiektu badanego [4, 5]. W takich miernikach członem wejściowym, decydującym o czułości i zakresie pomiarowym całego miernika jest przetwornik prąd/napięcie $i \rightarrow u$. Imitator, używany do kontroli takiego miernika jest więc wzorcowym przetwornikiem napięcia pomiarowego (rys. 1: we Hi) na prąd wejściowy miernika (wy Lo2).

Wpływ obciążenia imitatora – błąd metody

Imitator symuluje prawidłowo dużą wartość rezystancji przy spełnieniu dwóch warunków (rys. 1):

– zastępcza rezystancja źródła napięcia R_w jest pomijalnie mała w stosunku do rezystancji wejściowej imitatora R_{iwe} lub jest mierzone napięcie U_p bezpośrednio na wejściu imitatora (spełnienie tego warunku zazwyczaj nie stwarza problemów)

– prąd wyjściowy I_o jest odbierany w warunkach zbliżonych do zwarcia wyjścia; tj. rezystancja obciążenia R_o jest pomijalna w stosunku do rezystancji wyjściowej imitatora R_{iwy} (R_o jest rezystancją wejściową toru prądowego miernika kontrolowanego i zależy od rozwiązania jego wejściowego przetwornika $i \rightarrow u$).

Rezystancje imitatora: wejściowa R_{iwe} i wyjściowa R_{iwy} , nie są z definicji równe R_{ac} i R_{bc} wg (2) i (3), jednak w imitatorze niesymetrycznym o $w_i \geq 10$ (co oznacza $R_B \gg R_A$ i $R_A \geq 9 \cdot R_C$) mają wartości w praktyce takie same jak w (5):

$$R_{iwe} = R_A + R_C \parallel (R_B + R_o) \approx R_A \quad (10)$$

$$R_{iwy} = R_B + R_C \parallel (R_A + R_w) \approx R_B \quad (11)$$

Rzeczywista wartość rezystancji przejściowej przetwarzania napięcia U_p na prąd I_o w obciążeniu jest większa od idealnej R_{ab} o $w_i R_o$; występuje więc błąd metody. Prąd I_o ma teraz wartość:

$$I_o = \frac{U_p}{R_A + w_i (R_B + R_o)} \quad (12)$$

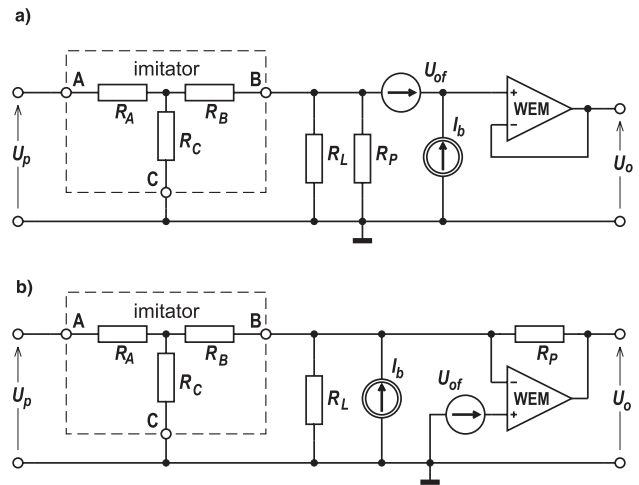
Jest ona mniejsza od nominalnej I_N z (7) i zależy także od zastępczej rezystancji R_o wejścia miernika. Wartość tej rezystancji jest uwarunkowana typem zastosowanego przetwornika $i \rightarrow u$.

Istotną niedogodnością przy stosowaniu imitatora jako wzorca są niekorzystne wartości elementów zastępczych wyjścia imitatora (rys. 1b). Rezystancja wyjściowa R_{iwy} jest około w_i razy mniejsza od imitowanej R_{ab} (11) i (1), a także napięcie w węzle gwiazdy jest w_i razy mniejsze od U_p . Ogranicza to od góry wartość współczynnika imitacji w_i oraz od dołu wartość rezystora R_B . Autor na podstawie swoich dotychczasowych doświadczeń przyjmuje za dopuszczalne wartości $w_i \geq 10^5$ i $R_B = 10^{10} \Omega$. Dostępne w handlu rezystory o większych rezystancjach nie mają wystarczającej klasy dokładności. Przy w_i rzędu $10^3 - 10^5$ napięcie U_p nie powinno być mniejsze odpowiednio od kilkudziesięciu woltów do kilku kilowoltów.

Wpływ obwodu wejściowego kontrolowanego miernika

Poza błędem metody, omówionym w poprzednim punkcie, obwód wejściowy miernika może być jeszcze źródłem błędów innego rodzaju. Ich przyczyną są właściwości wzmacniacza w wejściowym przetworniku prąd/napięcie $i \rightarrow u$. Jest to we współczesnych mierni-

kach wzmacniacz operacyjny o bardzo małym wejściowym prądzie polaryzacji, czyli wzmacniacz elektrometryczny nazywany dalej WEM – patrz rys. 3.



Rys. 3. Wzorcez-imitator i wejściowy przetwornik $i \rightarrow u$ kontrolowanego miernika: a) - przetwornik pasywny, b) - przetwornik aktywny. WEM - wzmacniacz elektrometryczny, R_p - rezystor wzorcowy miernika. Źródła błędów: rezystancja upływu R_L , napięcie niezrównoważenia U_{of} , prąd polaryzacji I_b

Obie wersje przetwornika z rys. 3 zawierają ten człon aktywny, a wartość rezystora R_p określa transmitancję układu. W układzie z rys. 3a WEM objęty jest pętlą napięciowo-szeregowego ujemnego sprzężenia zwrotnego. Powstaje wtórnik napięciowy (wzmocnienie 1V/V), który spełnia jedynie rolę bufora - separatora obwodów. Właściwe przetwarzanie wejściowego prądu miernika na napięcie realizuje wyłącznie pasywny element - rezystor R_p . Nominalnie:

$$U_o = U_{Rp} = I_o \cdot R_p$$

gdzie I_o - wyjściowy prąd imitatora z (12),

U_o - wartość wyjściowego napięcia przetwornika $i \rightarrow u$ (rys. 3).

Dlatego też taki przetwornik autor nazywa pasywnym (w [2] - *Shunt Ammeter*). Układ taki spotyka się w starszych oraz w tanich, prostych i o mniejszej czułości prądowej miernikach mierzących w obwodach o stosunkowo dużej wartości U_p .

Natomiast w układzie z rys. 3b rezystor R_p jest włączony w pętlę napięciowo-równoległego ujemnego sprzężenia zwrotnego WEM i nominalnie $U_o = -I_o \cdot R_p$. WEM bierze bezpośredni udział w przetwarzaniu, dzięki czemu znacznie maleje zastępcza rezystancja układu, ale układ może być mniej stabilny od poprzedniego. Taką wersję przetwornika autor nazywa aktywnym (w [2] - *Feedback Ammeter*). Jest to rozwiązanie obecnie stosowane najczęściej w miernikach laboratoryjnych, wielozakresowych i o kilku funkcjach, np. w elektrometrach [2 - 5].

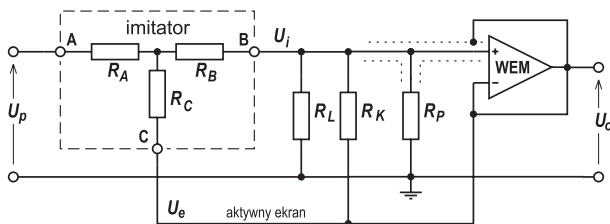
W analizie uwzględniono następujące parametry WEM: napięcie niezrównoważenia U_{of} , prąd polaryzacji I_b , wzmocnienie różnicowe k_r i współczynnik tłumie-

nia sygnału wspólnego $CMRR$. Rezystor R_p z rys. 3 jest podstawowym elementem wzorcowym przetwornika, natomiast R_L reprezentuje rezystancje bocznikujące wejście miernika, tj. rezystancję wejściową WEM oraz rezystancje izolacji kabli, gniazd i montażu. W większości rozwiązań torów prądowych mierników, zakres podstawowy U_o na wyjściu WEM wynosi $\pm 0,1$ V lub ± 1 V. Jest to spowodowane stosowaniem możliwie niewielkich rezystancji R_p ze względu na ich klasę. Na najczulszych zakresach prądowych R_p z reguły nie przekracza 10^{10} Ω .

W układzie z rys. 3a wtórnik z wzmacniaczem WEM spełnia rolę bufora eliminującego wpływ bocznikowania rezystancji R_p przez rezystancje wejściową kolejnego stopnia w torze przetwarzania sygnału. Rezystancja obciążająca wyjście imitatora jest praktycznie równa R_p , a więc o stosunkowo dużej wartości, bliskiej R_{iwy} imitatora. Należy spodziewać się tu dużego błędu metody. W układzie z rys. 3b rezystancja obciążająca imitator jest k_r razy mniejsza niż w poprzednim przypadku, a więc i błąd metody jest tyle razy mniejszy.

W obu układach prąd polaryzacji I_b sumuje się z prądem wyjściowym imitatora. Napięcie niezrównoważenia U_{of} w pierwszym układzie (rys. 3a) dodaje się do spadku napięcia na R_p , w drugim (rys. 3b) – odejmuje od spadku napięcia na R_C , w_i razy mniejszego od U_p . Wpływ rezystancji R_L na wejściu przetwornika $i \rightarrow u$ zależy od wartości spadku napięcia na niej. W pasywnym przetworniku jest to praktycznie U_o i R_L bezpośrednio bocznikuje R_p , a w aktywnym jest ona k_r razy mniejsza. Przy użytkowaniu mierników zaleca się kontrolowanie tej rezystancji, szczególnie w badaniach materiałowych z wykorzystaniem elektrod – uchwytów próbek [7].

Część mierników z pasywnym przetwornikiem $i \rightarrow u$ ma tzw. aktywny ekran (rys. 4). Łączy on ekran kabla wejściowego z wyjściem układu. W takim wypadku znacznie maleje wpływ rezystancji upływu kabla, gdyż wartość napięcia na niej jest U_o/k_r . Przyłączenie węzła C imitatora do aktywnego ekranu, jak na rys. 4, powoduje prawie dokładne wyrównanie potencjałów



Rys. 4. Wzorzec-imitator i pasywny przetwornik miernika z obwodem aktywnego ekranu. Rezystancje upływu: do ziemi R_L , do aktywnego ekranu R_K

węzłów B i C (czyli pozorne ich zwarcie). Równocześnie zmniejsza się napięcie między węzłami A i C do $U_p - U_o$. W rezultacie błąd metody maleje w przybliżeniu w_i razy, w stosunku do układu z rys. 3a.

Rezystancja R_L jest teraz znacznie większa. Składa się tylko z rezystancji upływu wyjścia imitatora do uziemionej osłony oraz wejściowej rezystancji WEM dla sygnału wspólnego. Rezystancja R_K jest wypadkową

rezystancji upływów do aktywnego ekranu: wyjścia imitatora i wejścia miernika, kabla połączeniowego oraz wejściowej rezystancji różnicowej WEM. Napięcie na tych rezystancjach ma małą wartość, równą U_o/k_r .

Zestawienie wyników analizy błędów dodatkowych

Wykonano analizę wpływu poszczególnych źródeł błędów dodatkowych, nieujętych w (8) i (9), na względny błąd napięcia na wyjściu przetwornika $i \rightarrow u$ miernika kontrolowanego za pomocą wzorca-imitatora. Błędy te mają głównie charakter systematyczny. Zależności zestawiono w tabeli 1, o kolumnach oznaczonych A, B, C i wierszach a–f. Pominięto błędy tzw. drugiego rzędu, spowodowane interakcją kilku źródeł błędów. Wyjątkiem są zależności w komórkach Ce i Bf. Błędy te pochodzą od rezystancji upływu R_L , R_K i dla idealnego WEM nie występują. Zastosowano także kilka dopuszczalnych uproszczeń, wymienionych w legendzie tabeli. Znak \pm przy współczynniku tłumienia sygnału wspólnego $CMRR$ wynika z jego zdefiniowania jako modułu ze stosunku wzmocnień WEM: dla sygnału różnicowego k_r i wspólnego k_w .

Błąd metody

Podstawowym ograniczeniem w stosowaniu wzorca-imitatora do miernika z układem A jest bardzo duży błąd metody (komórka Aa) na zakresach o R_p porównywalnej z R_B . Można przyjąć, że dopuszczalne jest sprawdzanie zakresów miernika o $R_p \leq 0,01R_B$. Natomiast w przypadku układu B – przetwornika z aktywnym ekranem (komórka Ba) jest on znacznie mniejszy i praktycznie stały przy stałym U_p , bowiem w miarę wzrostu R_p (wzrost czułości toru prądowego miernika) rośnie konieczny do stosowania współczynnik imitacji w_i we wzorcu. W układzie A istnieje możliwość zastosowania obwodu ekranu aktywnego, jeżeli miernik ma tzw. wyjście analogowe, np. do rejestracji, na którym jest dostępne napięcie z wyjścia przetwornika $i \rightarrow u$. Wtedy do tego wyjścia dołącza się ekrany wejściowego kabla i wzorca; stosuje się zależności jak dla układu B. Jeszcze mniejszą wartość ma błąd metody przy współpracy imitatora z układem C, tj. przetwornikiem aktywnym. Jest on odwrotnie proporcjonalny do wzmocnienia różnicowego k_r wzmacniacza WEM (komórka Cd). Błąd metody nie jest więc istotnym ograniczeniem w zastosowaniu wzorca imitującego rezystancje o podanych parametrach do sprawdzania mierników z przetwornikami typu B i C o $R_p \leq 10^{10}$ Ω .

Błąd spowodowany prądem polaryzacji

Drugi istotny błąd jest spowodowany wpływem prądu polaryzacji I_b (wiersz c) jednakowym we wszystkich układach, zależnym od wartości wejściowego prądu miernika. Błąd ten nie jest specyficzny dla połączenia imitator-miernik; występuje zawsze w miernikach

Tabela 1. Składniki błędu zależne od typu obwodu wejściowego sprawdzanego miernika.
Błąd względny napięcia U_o po przetworniku $i \rightarrow u$

Źródło błędu	A) pasywny przetwornik z rys. 3a	B) pasywny przetwornik z aktywnym ekranem z rys. 4	C) aktywny przetwornik z rys. 3b
a) Błąd metody – obciążenie imitatora różne od zwarcia	$-\frac{R_p}{R_B + R_p}$	$-\frac{R_p}{w_i R_B}$	*
b) U_{of}	$\frac{U_{of}}{U_{oN}}$	$\frac{U_{of}}{U_{oN}} \left(1 + w_i \frac{U_{oN}}{U_p} \right)$	$\frac{U_{of}}{U_{oN}} \left(1 - w_i \frac{U_{oN}}{U_p} \right)^{**}$
c) I_b	$\frac{I_b}{U_p} w_i R_B = \frac{I_b}{I_N}$		
d) k_r i $CMRR$	$-\left(\frac{1}{k_r} \pm \frac{1}{CMRR} \right)$	$-\left(\frac{1}{k_r} \pm \frac{1}{CMRR} \right) \left(1 + w_i \frac{U_{oN}}{U_p} \right)$	$-\frac{1}{k_r} \left(1 - w_i \frac{U_{oN}}{U_p} \right)^{**}$
e) R_L	$-\frac{R_B \ R_p}{R_L}$	$-\frac{R_p}{R_L}$	$-\frac{R_p}{R_L} \left(\frac{1}{k_r} - \frac{U_{of}}{U_{oN}} \right)^{**}$
f) R_K		$\frac{R_p}{R_K} \left(\frac{U_{of}}{U_{oN}} - \frac{1}{k_r} \pm \frac{1}{CMRR} \right)$	
<p>Uproszczenia zastosowane w tabeli: $R_A + w_i \cdot R_B + R_p \approx w_i \cdot R_B$, $(w_i \cdot R_B) \ R_p \approx R_p$, $k_r \pm 1 \approx k_r$, $CMRR \pm 1 \approx CMRR$</p> <p>Oznaczenia główne: U_{of} – wejściowe napięcie niezrównoważenia WEM I_b – prąd polaryzacji wejścia WEM k_r i $CMRR$ – wzmocnienie różnicowe i współczynnik tłumienia sygnału wspólnego WEM R_L – rezystancja izolacji i wejścia WEM, z aktywnym ekranem jest to izolacja do ziemi i wejściowa WEM dla sygnału wspólnego R_K – tylko do aktywnego ekranu, rezystancja izolacji kabla i wejściowa różnicowa WEM</p>		<p>Oznaczenia dodatkowe: R_p – rezystor wzorcowy w przetworniku $i \rightarrow u$ R_B – wysokoomowy rezystor imitatora w_i – współcz. imitacji rezystancji $R_B := 1 + (R_A/R_C)$ U_p – napięcie pomiarowe na wejściu imitatora U_{oN} – napięcie wyjściowe przetwornika $i \rightarrow u$ przy I_N równe $I_N \cdot R_p$, w aktywnym ujemne I_N – wyjściowy nominalny prąd imitatora, przy zwarciu jego wyjścia, równy $U_p / (w_i \cdot R_B)$</p> <p>Uwagi: * – ten błąd nie istnieje, jeżeli $k_r \rightarrow \infty$, patrz Cd ** – w tym przetworniku przy U_p dodatnim, U_{oN} jest ujemne</p>	

z torem prądowym i zasadniczo ogranicza ich rozdzielczość prądową. Wartości U_p i w_i nastawiane przy sprawdzaniu miernika powinny spełniać warunek $U_p/w_i \gg I_b \cdot R_B$, oznaczający znacznie mniejszy spadek napięcia na R_B w stosunku do podzielonego w_i razy napięcia U_p przez dzielnik imitatora $R_A R_C$.

Błąd spowodowany wzmocnieniem i $CMRR$ wzmacniacza

Wzmacniacze stosowane współcześnie w aparaturze elektrometrycznej mają wartości k_r i $CMRR$ nie mniejsze niż 10^4 , przeciętnie rzędu (kilka – 100) $\cdot 10^4$. Składniki błędów, w których występują ich odwrotności z mnożnikiem 1 (np. Ad), można pominąć na najmniejszych zakresach prądowych, gdzie dominują inne błędy. Dotyczy to przede wszystkim mierników o błędzie granicznym $\geq 0,5\%$, np. z odczytem analogowym. Występują jednak składniki o innym mnożniku, takie jak np. w komórkach Bd, Cd, które przy niekorzystnym poziomie w_i (np. 10^4), U_{oN} (np. 1 V), U_p (np. 100 V) mogą dać wartość błędu rzędu (0,1 – 1) %. Składnik błędów komórki Cd: $w_i \cdot U_{oN}/U_p$ występuje także w błędach wiersza b tabeli i może być istotny w stosunku do 1. Należy zatem przyjąć, że stosunek U_{oN}/U_p nie powi-

nien przekraczać (1 – kilka)/ w_i , co oznacza, że wynik podzielenia w_i razy napięcia pomiarowego U_p w imitatorze nie powinien być znacząco mniejszy od napięcia na wyjściu przetwornika $i \rightarrow u$.

Błąd spowodowany napięciem niezrównoważenia

Wpływ napięcia niezrównoważenia w postaci stosunku U_{of}/U_{oN} (wiersze b, e, f) nie jest także specyficzny dla imitatora, tak jak wpływ I_b . W dobrze zaprojektowanych miernikach nie powinien on przekraczać 0,1%, a w cyfrowych nawet 0,01% i mniej. Dostatecznie minimalizuje to wpływy rezystancji R_L i R_K . W komórkach Ce, Bf wystarczy, aby były one kilka razy większe od R_p , natomiast spełnienie warunku dla U_{oN}/U_p z poprzedniego punktu spowoduje tylko kilkakrotnie zwiększenie błędów od U_{of}/U_{oN} w wierszu b. Znacząco ostrzejszy warunek musi spełniać rezystancja upływu R_L w obu układach pasywnego przetwornika (komórki Ae, Be) – powinna przekraczać 10^3 – 10^4 razy rezystancję R_p przetwornika. Jest on jednak możliwy do spełnienia, bowiem R_L w układzie B jest bardzo duża, a w układzie A ograniczenie błędów metody nie zezwala na sprawdzanie przy $R_p > 10^8 \Omega$.

PROMOCJA!!!

Czujnik indukcyjny za 9,99 euro!!!



Zapraszamy
na naszą
stronę
internetową:
www.turck.pl

TURCK - najszerszy wybór czujników indukcyjnych

- Kilka tysięcy różnych typów
- Specjalistyczne wykonania dla różnych gałęzi przemysłu
- Konkurencyjne ceny i promocje
- Najnowsze technologie wykonania zapewniające największe zakresy detekcji i najlepsze parametry techniczne - seria UPROX+
- Czujnik NI4-M12-AN6X 5M już w cenie 9,99 Euro bez względu na ilość do wyczerpania zapasów

TURCK

Wasza satysfakcja to nasz sukces !

TURCK sp. z o. o.
ul. Żeromskiego 1, 45-053 Opole
tel. 77 443 48 00, fax 77 443 48 01
e-mail: turck@turck.pl, internet: www.turck.pl

Błąd systematyczny czy niepewność?

Niektóre błędy systematyczne z tab.1 można wyeliminować, stosując poprawkę pod warunkiem, że nie przekracza ona kilku %. Są to błędy z komórek Aa i Ba tab.1. W pozostałych występują wielkości o zbyt dużym rozrzucie (np. k_r , $CMRR$), aby ta procedura była racjonalna. Błędy te należy zatem zdefiniować jako graniczne i włączyć do budżetu niepewności sprawdzania miernika.

Pożądaną małą wartość napięcia niezrównoważenia U_{of} wzmacniacza WEM osiąga się, stosując zazwyczaj dodatkowe zabiegi, np. obwody kompensacji zmniejszające średnią wartość U_{of} . Obwody te nie zmniejszają szumów i powolnych fluktuacji, a często nawet je zwiększają. Błędy nimi spowodowane mają charakter przypadkowy, co należy uwzględnić w analizie niepewności. Ta uwaga dotyczy także wpływu i ewentualnej kompensacji prądu polaryzacji I_b , szczególnie w układach o skrajnie małej jego średniej wartości, gdy szum prądowy często znacznie ją przekracza.

Podsumowanie

Opisano szerzej mało znaną zasadę konstrukcji pasywnego wzorca imitującego bardzo duże rezystancje, złożonego z rezystorów o znacznie mniejszych wartościach. Przedstawiono przykład rozwiązania takiego wzorca. Podano zależności służące do oszacowania niepewności podstawowej wzorca w warunkach zwarcia wyjścia, w stanie ustalonym i przy określonych zakresach zmian innych czynników wpływających na parametry składowych rezystorów, np. temperatury.

Zestawiono zależności statycznych błędów systematycznych, spowodowanych szeregiem czynników przy sprawdzaniu wzorcem mierników bardzo małych prądów lub bardzo dużych rezystancji. Na najbardziej czułych zakresach prądowych miernika błędy te mogą być porównywalne z podstawową niepewnością wzorca. Podano warunki minimalizacji poszczególnych błędów. Część tych błędów można usunąć obliczeniowo, jak np. błąd metody, ale większość wymaga potraktowania jako błędy graniczne lub niepewności pomiarowe i oszacowania dodatkowej niepewności powstającej przy aplikacji wzorca. Zależy ona od rozwiązania wejściowego układu miernika i powinna być oszacowana w każdym, indywidualnym przypadku.

Bibliografia

1. A.M. Iljukovič, *Metody imitacji bol'sich soprotivlenij*. Izmeritel'naja Technika 1978, nr 12.
2. Keithley Instruments Inc., *Low Level Measurements. Precision DC Current, Voltage and Resistance Measurements*, Keithley Instruments Inc., USA 1998.
3. Z. Kłos, *Problematyka wzorcowania aparatury elektrometrycznej*. Monografia. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2004.
4. Z. Kłos, P. Madej, *Analogowe metody pomiaru wielkich rezystancji*, Normalizacja 1993, nr 3.
5. Z. Kłos, P. Madej, *Elektroniczny megaomomierz analogowy typ EMA-1*, PAK 1/1994.
6. Z. Kłos, P. Madej, *Imitowany wzorec wielkich rezystancji typu IZWR-2*, PAK 9/2001.
7. P. Madej, *Trójelektrodowy zestaw pomiarowy z dodatkowym pierścieniem do badania próbek materiałów izolacyjnych*, PAK 5/2001.
8. P. Madej, *Źródło prądowe do kalibracji aparatury elektrometrycznej*. Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, nr 56, Studia i Materiały nr 24, Ofic. Wyd. PWr 2005.
9. T.B. Roždestvenskaja, W.L. Žutovskij, *Mery bol'sogo soprotivlenija*. Izmeritel'naja Technika, 1968, nr 3.
10. *Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu*, Dokument EA-4/02, GUM, Warszawa 2001. ■