

Janusz GUZIK

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT METROLOGII, ELEKTRONIKI I AUTOMATYKI

Aktywny imitator rezystancji do wzorcowania megaomierzy

Dr inż. Janusz GUZIK

Adiunkt w Instytucie Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Autor bądź współautor ok. 40 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

Streszczenie

W pracy zaprezentowano opis realizacji idei imitacji [1] średnich ($0 \div 20 \text{ M}\Omega$) i dużych rezystancji ($0 \div 2000 \text{ M}\Omega$), mającej zastosowanie do wzorcowania megaomierzy metodą pośrednią z wykorzystaniem aktywnego konwertera U/U z optoizolacją. Zasada imitacji dużych wartości rezystancji z wykorzystaniem elementu aktywnego w postaci wzorcowego źródła napięcia stałego (np. kalibratora) o wartości e została przedstawiona na rys. 1. Zaletą prezentowanej koncepcji imitacji rezystancji jest prostota, wadą natomiast - konieczność spełnienia relacji $E_W - e > 0$, gdyż w przeciwnym wypadku, wartość imitowanej rezystancji $R_{\text{HI-LO}}$ osiąga wartości ujemne. Wady takiej nie posiadają analizowane w dalszym ciągu w pracy warianty A i B aktywnych imitatorów rezystancji zamieszczone na rys. 2 i opisane zależnościami (3a) - (3b). Z wzorów (3a) - (3b) wynikają dwa sposoby realizacji liniowej nastawy wartości rezystancji $R_{\text{HI-LO}}$, tj. za pomocą zmian rezystancji $0 \leq R_{\text{NB}} \leq \infty$ lub współczynnika wzmocnienia $0 \leq k \leq \infty$ konwertera U/U. Z punktu widzenia możliwości osiągnięcia dużych wartości imitowanych rezystancji $R_{\text{HI-LO}}$ korzystniejszym pod tym względem jest wariant B układu imitatora (zwłaszcza przy spełnionej relacji: $R_{\text{NC}} \ll R_{\text{NA}}$). Wymaga on jednak odpowiedniego doboru wartości stosunku rezystancji $R_{\text{NA}}/R_{\text{NC}}$, determinującego w istotnym stopniu bezwzględną niepewność standardową $u(R_{\text{HI-LO}})$ daną wzorem (4b). Na rys. 3 zamieszczono przebiegi charakterystyk postaci $R_{\text{HI-LO}} = f(R_{\text{NB}})$ dla obydwu analizowanych wariantów A i B imitatorów rezystancji uzyskanych na drodze pomiarowej i teoretycznej (według wzorów (3a) - (3b)), przy zmianach wartości rezystancji $0 \leq R_{\text{NB}} \leq 90 \text{ k}\Omega$ co $10 \text{ k}\Omega$. Zastosowanie konwerterów U/U z optoizolacją o wzmocnieniu k potwierdziło teoretyczną możliwość uzyskania liniowej nastawy imitowanej rezystancji $R_{\text{HI-LO}}$ (względem rezystancji R_{NB} lub współczynnika wzmocnienia k).

Słowa kluczowe: wzorzec rezystancji, megaomierz.

Active resistance substituter for megaohmmeters calibration

Abstract

In the paper the realization of substitution idea [1] of medium ($0 \div 20 \text{ M}\Omega$) and high resistances ($0 \div 2000 \text{ M}\Omega$), of possible application for indirect calibration of megohmmeters with use of an active optoisolated U/U converter, was presented. In practice the calibration both analog and digital megohmmeters are performed with the help of one of two main methods [1-4]:

- *the direct method* (a). It is in general used for range of calibration values not exceed the value $10^8 \Omega$. It is based on adjustable standard resistor of well-known value, class 0,01 - 1, connected to measuring inputs of calibrated megohmmeter,
- *the indirect method* (b). Several variants of the method are well-known. The interpolative method [3] depends on indication of the error of analog megohmmeter in individual points of reference megaohmmeter (e.g. at its lowest) range, and next suitable interpolation on higher ranges, by knowing the error value only in one point of higher range. Other indirect method variants are based on transformation like "star-delta" [1], when instead of standard resistor on measuring inputs of checked megohmmeter the circuits composed from three resistors substitute the large resistance, e.g. above $10^8 \Omega$.

In the paper the realization of indirect method of megohmmeter calibration based on resistance substituter composed of active elements (e.g. the standard source of direct voltage (calibrator) with value e) there is analyzed, Fig. 1, [1]. The simplicity is the advantage of the presented idea of resistance substitution, the fault however - the necessity of fulfillment the relation $E_W - e > 0$, at which the value of substituted resistance achieves only positive values. Moreover for $e \rightarrow E_W$, the uncertainty value $u(R_{\text{HI-LO}})$ (1b) grows, what importantly limits the range of substituted resistance $R_{\text{HI-LO}}$ (at *a priori* founded uncertainty value $u(R_{\text{HI-LO}})$). The analyzed in the paper active resistance substituters (presented in Fig.2a,b) with use of U/U converters with gain k have not such fault. For resistance substituters according to Fig.2a,b, the current value I_M in measuring circuit of megohmmeter (for $R_W=0$) is defined by Eqs. (2a) - (2b), however Eqs. (3a) - (3b) give the substituted resistance value $R_{\text{HI-LO}}$. From Eqs. (3a) - (3b) appear two ways of linear realization of resistance value settings, i.e. by the help of the resistance changes $0 \leq R_{\text{NB}} \leq \infty$, or U/U converter gain $0 \leq k \leq \infty$. With point of view of higher substituted resistances values $R_{\text{HI-LO}}$ more profitable is the variant B of analyzed substituter (especially by the fulfilled relation: $R_{\text{NC}} \ll R_{\text{NA}}$). It requires however the suitable selection of resistance ratio $R_{\text{NA}}/R_{\text{NC}}$, determining in essential degree the standard uncertainty $u(R_{\text{HI-LO}})$ given by Eq. (4b). It is shown that for substituter variant B the uncertainty $|u_2| \gg |u_1|$ and it depends strongly on the resistance ratio value $R_{\text{NA}}/R_{\text{NC}}$. For the checking of usefulness of analyzed A and B resistance substituter variants for measurements the megohmmeter DI-2000M was used. Measuring ranges $20 \text{ M}\Omega$ and $2000 \text{ M}\Omega$ (with its own uncertainty: $\pm(2\%$ of measured value +5digits)) were chosen. Two resistance values were given experimentally: $R_M(20 \text{ M}\Omega)=0,007 \text{ M}\Omega$, and $R_M(2000 \text{ M}\Omega)=0,032 \text{ M}\Omega$. For experiments was used the U/U optoisolated converter EVA-4360 (FRAMED) with the following parameters (see Fig. 2): $u=(0..50) \text{ mV}$, $e=(0 \pm 10,000) \text{ V}$, $k=200,00$, input resistance $R_{W_{\text{EUA}}}=10 \text{ M}\Omega$ and output resistance $R_{W_{\text{UUA}}}=100 \Omega$. The measured and theoretical (according to Eqs. (3a)-(3b)) characteristics in the form $R_{\text{HI-LO}}=f(R_{\text{NB}})$ for both analyzed resistance substituter variants A and B, at resistance changes $0 \leq R_{\text{NB}} \leq 90 \text{ k}\Omega$ by $10 \text{ k}\Omega$ steps are presented in Fig.3a,b. It becomes noticeable that the resistance substituter variant B - in comparison with the variant A, enables practically the $(1+R_{\text{NA}}/R_{\text{NC}})$ multiplicity of upper range of substituted resistance, but it is bound oneself with increase in uncertainty value $u(R_{\text{HI-LO}})$, strongly depended on its ratio value (see Eq. (4)). Moreover the application of optoisolated U/U converters confirmed the theoretical possibility of obtaining the linear realization of substituted resistance value $R_{\text{HI-LO}}$ settings (considering to resistance R_{NB} or gain k).

Keywords: standard resistance, megohmmeter.

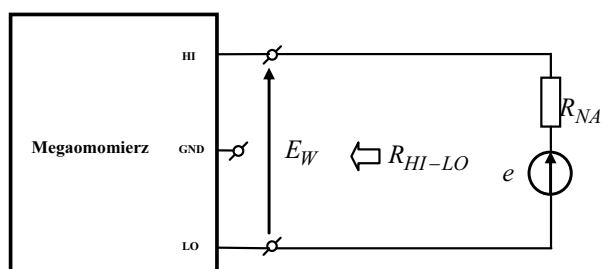
1. Wstęp

W praktyce wzorcowanie megaomierzy, zarówno analogowych, jak i cyfrowych odbywa się z reguły za pomocą jednej z dwóch zasadniczych metod [1 - 4]:

- *metody bezpośredniej* (a), mającej na ogół zastosowanie dla zakresu wzorcowanych wielkości nie przekraczających wartości $10^8 \Omega$. i wykorzystującej do tego celu nastawny rezystor wzorcowy o znanej wartości nominalnej i klasie 0,01 - 1 podłączany do zacisków wejściowych wzorowanego megaomierza,
- *metody pośredniej* (b), której znanych jest kilka wariantów. Metoda interpolacyjna [3], polega na wyznaczeniu błędów wskazań wzorcowanego megaomierza analogowego w pojedynczych punktach skali megaomierza na jednym (np. najniższym) zakresie, a następnie odpowiedniej interpolacji na wyższych zakresach, przy znajomości wartości błędu tylko w jednym punkcie skali wyższego zakresu. Inna metoda pośrednia bazuje z kolei na przekształceniu typu „gwiazda-trójkąt” [1], kiedy to zamiast rezystora wzorcowego na wejście sprawdzanego megaomierza podłącza się układ złożony z trzech rezystorów imitujących dużą rezystancję, np. w zakresie powyżej $10^8 \Omega$.

Ogólnie należy podkreślić, że dla dużych wartości odtwarzanych rezystancji występują jednak określone trudności z realizacją płynnej zmiany nastawy tej wartości. W związku z tym interesująca jest realizacja metody pośredniej wzorcowania megaomierzy bazująca na imitatorze rezystancji wykorzystującym elementy aktywne (np. wzorcowe źródło napięcia stałego (np. kalibrator) o wartości e) [1]. Takie rozwiązanie może między innymi umożliwić na drodze programowej łatwą korekcję nastawy odtwarzanej w układzie wartości rezystancji.

Autor w cytowanej wcześniej pracy [1] przedstawił ideę aktywnej imitacji dużych rezystancji R_{HI-LO} , polegającą właśnie na wykorzystaniu do tego celu źródła napięcia stałego o wartości e (rys. 1).



Rys. 1. Aktywna imitacja rezystancji $R_{HI-LO} \rightarrow \infty$ w układzie ze źródłem napięcia e
Fig. 1. Substitution of resistance $R_{HI-LO} \rightarrow \infty$ with the use of voltage source e

Przy spełnieniu relacji $e \rightarrow E_W$ teoretycznie wartość imitowanej rezystancji $R_{HI-LO} \rightarrow \infty$, co wynika bezpośrednio z zależności:

$$R_{HI-LO} = \frac{E_W \cdot R_W + e \cdot R_{NA}}{E_W - e}, \quad (1a)$$

gdzie: E_W , R_W - parametry wzorcowanego megaomierza (widziane z zacisków HI-LO), zastąpionego dwójnikiem Thevenina, e , R_{NA} - parametry zastępcze imitatora rezystancji.

Zaletą prezentowanej koncepcji imitacji rezystancji jest prostota, wadą natomiast - konieczność spełnienia relacji $E_W - e > 0$, gdyż w przeciwnym wypadku, wartość imitowanej rezystancji osiąga wartości ujemne.

Inną wadą układu według rys. 1 jest to, że bezwzględna niepewność standardowa $u(R_{HI-LO})$ imitacji wartości rezystancji R_{HI-LO} jest wówczas określona za pomocą równania:

$$u(R_{HI-LO}) = \frac{1}{E_W - e} \cdot \left[\frac{e^2 \cdot (R_{NA} + R_W)^2}{(E_W - e)^2} \cdot u^2(E_W) + \frac{E_W^2 \cdot (R_{NA} + R_W)^2}{(E_W - e)^2} \cdot u^2(e) + E_W^2 \cdot u^2(R_W) + e^2 \cdot u^2(R_{NA}) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1b)$$

gdzie: $u(E_W)$, $u(e)$, $u(R_W)$, $u(R_{NA})$ - są bezwzględnymi niepewnościami standardowymi występujących w układzie imitatora rezystancji wielkości wpływowych: E_W , e , R_W , R_{NA} .

Wtedy to dla $e \rightarrow E_W$, wartość niepewności $u(R_{HI-LO})$ rośnie, co znacznie ograniczyłoby zakres odtwarzanych wartości rezystancji R_{HI-LO} (przy założonej *a priori* wartości niepewności $u(R_{HI-LO})$).

Wady takiej nie mają analizowane w dalszym ciągu w pracy aktywne imitatory rezystancji z zastosowaniem konwerterów U/U.

2. Podstawowe zależności teoretyczne

Na rys. 2a i 2b zamieszczono dwa warianty A i B aktywnych imitatorów rezystancji z zastosowaniem konwerterów U/U z optoizolacją o współczynniku wzmocnienia równym: $k=e/u$.

Dla imitatorów rezystancji według rys. 2a,b wartość prądu I_M płynącego w obwodzie pomiarowym megaomierza (dla $R_W=0$) określają następujące wzory:

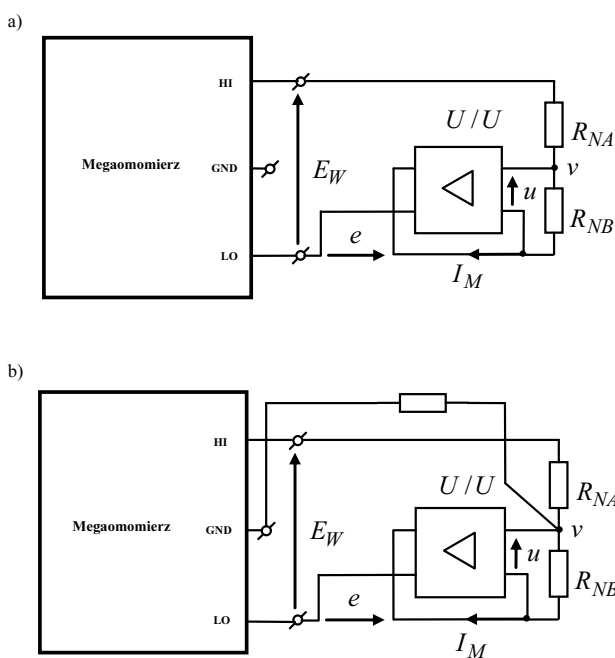
a) dla wariantu A

$$I_M = \frac{v - e}{R_M + R_{NB}} = \frac{E_W}{R_{NA} + R_M + R_{NB} \cdot (1 + k)}, \quad (2a)$$

b) dla wariantu B

$$I_M = \frac{v - e}{R_M + R_{NB}} = \frac{E_W}{R_{NA} + (1 + \frac{R_{NA}}{R_{NC}}) \cdot [R_M + R_{NB} \cdot (1 + k)]}, \quad (2b)$$

gdzie: R_M - rezystancja obwodu pomiarowego (HI-LO) megaomierza.



Rys. 2. Warianty A (rys. a) oraz B (rys. b) układów aktywnych imitatorów rezystancji z zastosowaniem konwerterów U/U z optoizolacją
Fig. 2. Variants A (Fig. a) and B (Fig. b) of active resistance substituter circuits with use of optoisolated U/U converters

Wtedy to odtwarzana przez imitator wartość rezystancji $R_{HI-LO} = E_W / I_M$ jest równa:

a) dla wariantu A:

$$R_{HI-LO} = R_{NA} + R_M + R_{NB} \cdot (1 + k), \quad (3a)$$

b) dla wariantu B:

$$R_{HI-LO} = R_{NA} + (1 + \frac{R_{NA}}{R_{NC}}) \cdot [R_M + R_{NB} \cdot (1 + k)]. \quad (3b)$$

Z wzorów (3a) – (3b) wynikają dwa sposoby realizacji liniowej nastawy wartości rezystancji R_{HI-LO} , tj. za pomocą zmian rezystancji $0 \leq R_{NB} \leq \infty$ lub współczynnika wzmocnienia $0 \leq k \leq \infty$ konwertera U/U.

Dla każdego z tych sposobów można uzyskać teoretyczne spełnienie relacji: $R_{HI-LO} \rightarrow \infty$, jednakże korzystniejszym pod tym względem jest wariant B układu imitatora (zwłaszcza przy spełnieniu relacji: $R_{NC} \ll R_{NA}$).

Wartość bezwzględnej niepewności standardowej $u(R_{HI-LO})$ odzwierciedlenia wartości rezystancji R_{HI-LO} określa się wtedy z równania:

a) dla wariantu A:

$$u_1(R_{HI-LO}) = \left[u^2(R_{NA}) + u^2(R_M) + (1+k)^2 \cdot u^2(R_{NB}) + R_{NB}^2 \cdot u^2(k) \right]^{1/2}, \quad (4a)$$

b) dla wariantu B:

$$u_2(R_{HI-LO}) = \left[u_A^2 + K^2 \cdot u^2(R_M) + K^2 \cdot (1+k)^2 \cdot u^2(R_{NB}) + \left[K^2 \cdot R_{NB}^2 \cdot u^2(k) + L^2 \cdot u^2(R_{NC}) \right] \right]^{1/2}, \quad (4b)$$

gdzie:

$$K^2 = \left(2 + \frac{R_{NA}}{R_{NC}} \right) \cdot \frac{R_{NA}}{R_{NC}},$$

$$L^2 = \left(\frac{R_{NA}}{R_{NC}} \right)^2 \cdot [R_M + R_{NB} \cdot (1+k)]^2,$$

$u(R_{NA}), u(R_M), u(R_{NB}), u(k), u(R_{NC})$ - bezwzględne niepewności standardowe występujących w układzie imitatora rezystancji wielkości wpływowych: $R_{NA}, R_M, R_{NB}, k, R_{NC}$.

Widać stąd, że dla wariantu B imitatora niepewność $|u_2| \gg |u_1|$ i zależy przy tym silnie od wartości stosunku rezystancji R_{NA}/R_{NC} .

3. Wyniki badań

W celu sprawdzenia przydatności analizowanych wariantów A i B aktywnego imitatora rezystancji według rys. 2 do wzorcowania w pomiarach zastosowano megaomierz typu DI-2000M pracujący na zakresach pomiarowych 20 M Ω i 2000 M Ω (o niepewności własnej: $\pm(2\%$ wartości mierzonej +5 cyfr)) i wyznaczonej doświadczalnie wartości rezystancji: $R_M(20 \text{ M}\Omega)=0,007 \text{ M}\Omega$, $R_M(2000 \text{ M}\Omega)=0,032 \text{ M}\Omega$.

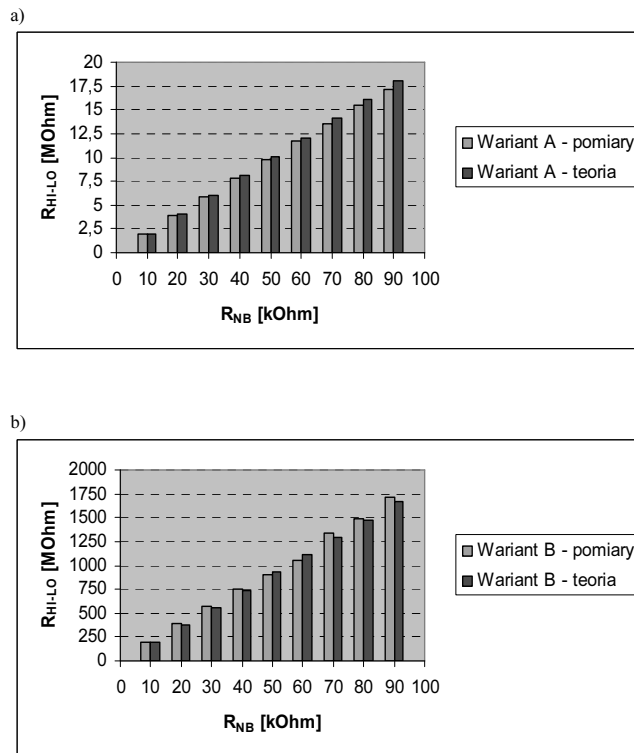
W pomiarach zastosowano konwerter U/U z optoizolacją typu EVA-4360 (FRAMED) o następujących parametrach (por. rys. 2): $u=(0...50) \text{ mV}$, $e=(0\pm 10,000) \text{ V}$, $k=200,00$, input resistance $R_{W_{Ei/U}}=10 \text{ M}\Omega$ and output resistance $R_{W_{U/U}}=100 \Omega$.

Na rys.3 zamieszczono przebiegi charakterystyk postaci $R_{HI-LO}=f(R_{NB})$ dla obydwu analizowanych wariantów A i B imitatorów rezystancji uzyskanych na drodze pomiarowej i teoretycznej (według wzorów (3a)–(3b)), przy zmianach wartości rezystancji $0 \leq R_{NB} \leq 90 \text{ k}\Omega$ co 10 k Ω .

Dla wariantu A imitatora rezystancji na zakresie pomiarowym 20 M Ω megaomierza zastosowano rezystor wzorcowy $R_{NA}=1 \text{ k}\Omega$ klasy 0,01 i rezystor dekadowy R_{NB} klasy 0,05, natomiast dla wariantu B – tj. dla zakresu pomiarowego megaomierza równego 2000 M Ω , zastosowano odpowiednio rezystory: $R_{NA}=1 \text{ M}\Omega$ klasy 0,03 i $R_{NC}=11 \text{ k}\Omega$ klasy 0,05.

Z analizy przedstawionych charakterystyk (por. rys. 3) wynika, że zgodnie z wzorami (3a)–(3b), zastosowanie konwerterów U/U z optoizolacją o wzmacnieniu k pozwala na uzyskanie liniowej nastawy imitowanej rezystancji R_{HI-LO} (względem rezystancji R_{NB} lub współczynnika wzmacnienia k).

Należy jednak przy tym zauważyć, że wariant B imitatora umożliwia praktycznie $(1+R_{NA}/R_{NC})$ - krotne poszerzenie górnego zakresu imitowanej rezystancji R_{HI-LO} , ale wiąże się to ze wzrostem wartości niepewności $u(R_{HI-LO})$, silnie zależnej od wartości tego stosunku (por. (4)).



Rys. 3. Charakterystyki $R_{HI-LO}=f(R_{NB})$ układów aktywnych imitatorów rezystancji a) dla wariantu A; b) dla wariantu B

Fig. 3. Characteristics $R_{HI-LO}=f(R_{NB})$: of active resistance substituter circuits, a) for variant A; b) for variant B

Należy przy tym rozważyć minimalizację tej niepewności, np. przy założeniu istnienia odpowiednich relacji pomiędzy wielkościami wpływowymi $\{R_{NA}, R_M, R_{NB}, k, R_{NC}\}$ układu imitatora.

Reasumując, zaproponowane w pracy aktywne układy imitatorów rezystancji według rys. 2 przeznaczone do wzorcowania (lub sprawdzania wskazań megaomierzy) umożliwiają uzyskanie dobrej zgodności pomiędzy charakterystykami teoretycznymi, a doświadczalnymi $R_{HI-LO}=f(R_{NB})$ (por. rys. 3).

Występujące różnice mogą być bez trudności oszacowane np. w przypadku przyjęcia bardziej szczegółowego modelu dla wzorcowanego typu megaomierza.

4. Literatura

- [1] Guzik J.: Imitator dużych rezystancji do wzorcowania megaomierzy, Materiały Konferencji „Podstawowe Problemy Metrologii PPM'08”, Sucha Beskidzka, 2008r., str.141-146.
- [2] Kłos Z.: Problematyka wzorcowania aparatury elektrometrycznej, Oficyna Wydawnicza Pol. Wrocław, Wrocław 2004.
- [3] Lisowski M.: Metody wzorcowania analogowych mierników bardzo dużych rezystancji. Część I: Metoda bezpośrednia, Pomiary, Automatyka, Kontrola, Nr 6, s. 10-12, vol. 49, 2003, Część II: Metoda interpolacyjna i metody pośrednie, Pomiary, Automatyka, Kontrola, Nr 6, s. 12-14, vol. 49, 2003.
- [4] Lisowski M.: Metody wzorcowania cyfrowych mierników bardzo dużych rezystancji, Pomiary, Automatyka, Kontrola, Nr 10, s. 5-7, vol. 51, 2005.