

Brunon SZADKOWSKI  
Eligiusz PASECKI  
Politechnika Śląska

## KOMPARACYJNY MIERNIK REZYSTANCJI IZOLACJI

**Streszczenie.** W artykule opisano miernik, w którym zastosowano metodę komparacyjną z przetwornikiem ilorazowym na wyjściu. W mierniku zastosowano rozwiązanie umożliwiające znaczne ograniczenie liczby niezbędnych, wysokorezystancyjnych wzorców rezystancji w obwodach do przełączania zakresów pomiarowych. Przedstawiono również wyniki badań wykonanego modelu miernika.

## A COMPARATIVE INSTRUMENT FOR INSULATION RESISTANCE MEASUREMENTS

**Summary.** A measuring instrument, in which the comparative method has been used, is described in the paper. A dividing converter is at the output of the instrument. Owing to the instrument construction it is possible to limit necessary, high-resistance standards in the circuits for changing the measuring ranges. Research results of the constructed instrument model are presented in the paper as well.

### 1. WPROWADZENIE

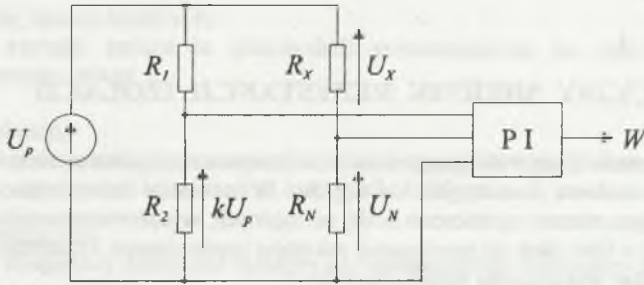
Celem opracowania jest przedstawienie rozwiązania miernika do pomiaru rezystancji izolacji, który umożliwiałby pomiary w zakresie ( $10^8 \div 10^{12}$ )  $\Omega$  z niepewnością wymaganą przez odpowiednią normę [1], a ponadto — który charakteryzowałby się następującymi właściwościami:

- niezależnością sygnału wyjściowego od zmian napięcia zasilania miernika (w szerokim zakresie),
- cyfrowym sygnałem wyjściowym, najlepiej — liniowo zależnym od wartości mierzonej rezystancji (czyli miernikiem z tzw. bezpośrednim odczytem, o charakterystyce liniowej),
- wykonaniem małowabarytowym (przenośnym), tańszym od znanych rozwiązań.

Jednoczesne spełnienie podanych wymagań jest dość trudne i aktualnie stosowane mierniki na ogół ich nie spełniają [2].

Znana w literaturze [3], [4] metoda pomiaru rezystancji  $R_X$  poprzez tzw. równoprądową komparację z rezystorem wzorcowym  $R_N$ , przy jednoczesnym zastosowaniu na wyjściu

przetwornika ilorazowego PI — mogłaby spełnić podane wyżej wymagania, jednak metoda ta nie nadaje się bezpośrednio do pomiarów dużych rezystancji ( $10^8 + 10^{12}$ )  $\Omega$ . W celu przystosowania wspomnianej metody do pomiarów dużych rezystancji można zastosować zmodyfikowany układ komparacyjny o ogólnym schemacie, przedstawionym na rys. 1 [5].



Rys. 1. Ogólny schemat zmodyfikowanego układu komparacji rezystancji  $R_X$  i  $R_N$  (do pomiarów dużych rezystancji)

Fig. 1. General diagram of the modified circuit for resistance  $R_X$  and  $R_N$  comparison (for measurements of high resistances)

Sygnał wyjściowy  $W$  z przetwornika ilorazowego PI określony jest równaniem:

$$W = \frac{k U_x}{U_N} = k \left( \frac{U_x}{U_N} + 1 \right) = k \frac{U_x}{U_N}. \quad (1)$$

Zakładając pomijalnie mały pobór mocy przez przetwornik PI, można przyjąć, że spełniona jest relacja  $\frac{U_x}{U_N} = \frac{R_x}{R_N}$ , a zatem sygnał  $W$  z dobrym przybliżeniem można określić równaniem:

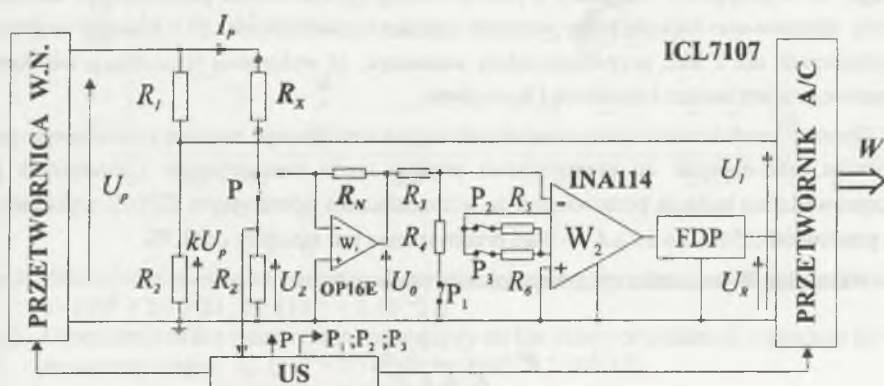
$$W = k \frac{R_x}{R_N}. \quad (2)$$

Wynika stąd, że w rozpatrywanym układzie sygnał  $W$  jest liniowo zależny od mierzonej rezystancji  $R_X$  i nie zależy od zmian napięcia zasilania  $U$ .

W dalszym ciągu opisano miernik rezystancji izolacji zrealizowany wg koncepcji przedstawionej na rys. 1.

## 2. OPIS MIERNIKA

Schemat ideowy opracowanego miernika, działającego wg zasady opisanej w p.1, przedstawiono na rys.2. Funkcję wyjściowego przetwornika ilorazowego PI spełnia tutaj przetwornik a/c o podwójnym całkowaniu ICL7107; do wejścia integracyjnego przetwornika a/c doprowadzone jest podzielone w dzielniku  $R_1, R_2$  napięcie pomiarowe  $U_p$ , natomiast do wejścia referencyjnego — doprowadzone jest podzielone lub wzmacnione napięcie  $U_0$ . Wówczas sygnał wyjściowy  $W$  z przetwornika a/c jest proporcjonalny do ilorazu napięć  $U_p$  i  $U_0$ , a więc także do ilorazu rezystancji  $R_X$  i  $R_N$ .



Rys.2. Schemat miernika rezystancji izolacji (wykonany wg koncepcji podanej na rys.1); US — układ sterujący, FDP — filtr dolnoprzepustowy

Fig.2. Circuit of the instrument for insulation resistance measurement (using the idea from Fig.1); US — control circuit, FDP — low-pass filter

Przetwornik a/c o podwójnym całkowaniu zastosowany jako przetwornik ilorazowy jest wrażliwy na zakłócenia sieciowe. W celu zmniejszenia wpływu tych zakłóceń — w torze referencyjnym przetwornika a/c zastosowano filtr dolnoprzepustowy (FDP) o tłumieniu zakłóceń o częstotliwości sieciowej na poziomie ok. 40 dB, co okazało się wystarczające. Zagadnienie to przedstawiono bliżej w pracy [5].

Napięcie pomiarowe  $U_p = 1000$  V wytwarzane jest w przetwornicy wysokiego napięcia, zasilanej z jednofazowej sieci energetycznej lub z baterii. Po włączeniu napięcia zasilającego przetwornicę napięcie pomiarowe  $U_p$  narasta od zera do 1000 V w czasie ok. 5 s. Układ sterujący US porównuje spadek napięcia  $U_2$  na rezystorze  $R_2$  z napięciem odniesienia. Jeżeli napięcie  $U_2$  przekracza wartość dopuszczalną to układ sterujący powoduje wyłączenie napięcia pomiarowego  $U_p$ , sygnalizuje stan awaryjny (zwarcie) oraz uniemożliwia przełączenie przełącznika P.

Po kilku lub kilkunastu sekundach od chwili załączenia napięcia pomiarowego (w zależności od pojemności badanej izolacji) układ sterujący spowoduje przełączenie przełącznika P na wejście przetwornika prąd-napięcie, zbudowanego na wzmacniaczu operacyjnym  $W_1$  i rezystorze wzorcowym  $R_N$ . Wówczas do przetwornika prąd-napięcie doprowadzony jest prąd  $I_p$  płynący przez rezystancję mierzoną  $R_X$ . Napięcie wyjściowe  $U_0$  przetwornika prąd-napięcie, w zależności od wybranego zakresu pomiarowego — jest dzielone lub wzmacniane odpowiednio w dzielniku  $R_3, R_4$  lub wzmacniaczu pomiarowym  $W_2$ . W ten sposób do zmiany zakresu pomiarowego miernika (w 4 podzakresach, od  $10^8 \Omega$  do  $2 \cdot 10^{12} \Omega$ ) wystarczy zastosowanie tylko jednego, wysokorezystancyjnego wzorca  $R_N$  o wartości rezystancji  $1 \text{ M}\Omega$ . Zwróćmy uwagę, że w przypadku rezygnacji z proponowanego przetwornika prąd-napięcie konieczne byłoby zastosowanie większej liczby wzorców wysokorezystancyjnych i to o znacznie większych rezystancjach niż  $1 \text{ M}\Omega$ , przy czym należy zaznaczyć, że wykonanie wzorców o tak dużych rezystancjach jest bardzo kłopotliwe i kosztowne.

Obecnie produkowane wzmacniacze operacyjne umożliwiają budowę omawianego przetwornika prąd-napięcie do przetwarzania prądów rzędu nanoamperów i mniejszych [6]. Przeprowadzone badania przetwornika ze wzmacniaczem operacyjnym OP16E wykazały, że dla prądów od  $0,5 \text{ nA}$  do  $10 \mu\text{A}$  — błąd przetwarzania jest mniejszy od  $0,5\%$ .

Wskazanie  $W$  wskaźnika cyfrowego określa zależność:

$$W = \frac{c k R_X}{K_1 k_2 k_3 R_N}, \quad (3)$$

gdzie:  $c$  — stała przetwarzania przetwornika  $a/c$ ,

$$k = \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad k_1 = \frac{R_4}{R_3 + R_4}, \quad k_2 = 1 + \frac{50}{R_5}, \quad k_3 = 1 + \frac{50}{R_6},$$

przy czym  $R_5$  i  $R_6$  należy przedstawić w  $k\Omega$ .

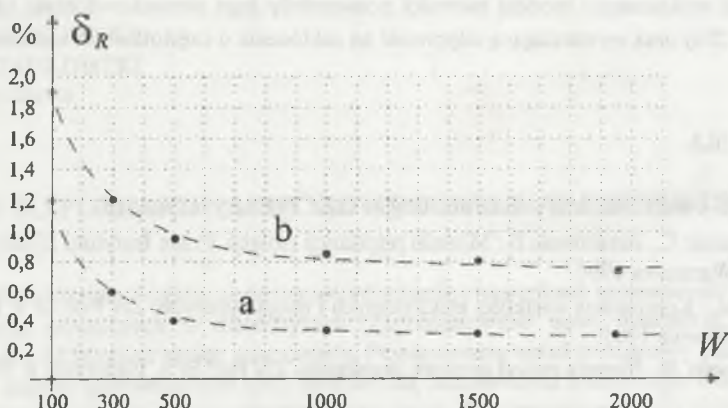
W tabelicy 1 przedstawiono wartości liczbowe stałych  $k_1, k_2$  i  $k_3$  w zależności od zakresu pomiarowego.

Tabela 1

Zależność stałych przetwarzania miernika od zakresu pomiarowego

$R_X [\Omega]$	$10^8 \div 2 \cdot 10^9$	$10^9 \div 2 \cdot 10^{10}$	$10^{10} \div 2 \cdot 10^{11}$	$10^{11} \div 2 \cdot 10^{12}$
$k_1$	0,1	1	1	1
$k_2$	1	1	10	1
$k_3$	1	1	1	100

Na rys.3 przedstawiono zależność niepewności pomiaru  $\delta_R$  od wartości mierzonej rezystancji izolacji  $W$  dla dwóch skrajnych zakresów pomiarowych.



Rys.3. Zależność niepewności pomiaru od wartości mierzonej rezystancji izolacji dla zakresów: a)  $(10^8 \div 2 \cdot 10^9) \Omega$ , b)  $(10^{11} \div 2 \cdot 10^{12}) \Omega$

Fig.3. Dependence of the measurement uncertainty on the values of insulation resistance for the measuring ranges: a)  $(10^8 \div 2 \cdot 10^9) \Omega$ , b)  $(10^{11} \div 2 \cdot 10^{12}) \Omega$

Dla pozostałych zakresów pomiarowych niepewność pomiaru rezystancji izolacji mieści się między krzywymi a i b (rys.3). Z pomiarów wynika, że niepewność pomiaru rezystancji izolacji opracowanym miernikiem nie przekracza  $\pm 2\%$  i jest mniejsza od niepewności pomiaru wymaganej przez odpowiednią normę PN-88/E-04405. Ewentualne zmniejszenie niepewności pomiarów jest możliwe, przede wszystkim poprzez zastosowanie dokładniejszych elementów i wyższej jakości materiałów izolacyjnych.

### 3. WNIOSKI

Zastosowanie w opracowanym mierniku metody komparacyjnej z przetwornikiem ilorazowym (a/c) na wyjściu praktycznie wyeliminowało wpływ niestabilności napięcia zasilania na wynik pomiaru oraz umożliwiło uzyskanie bezpośredniego odczytu wyniku pomiarowego w postaci cyfrowej, przy zachowaniu liniowej charakterystyki przetwarzania.

Z kolei zastosowanie przetwornika prąd-napięcie w obwodzie przełączania zakresów pomiarowych umożliwiło budowę miernika wielozakresowego tylko z jednym, wysokorezy-

stancyjnym wzorcem  $R_N$ . Pozostałe rezystory obwodu przełączania zakresów są rezystorami o stosunkowo małych wartościach rezystancji, a więc jako wzorce są znacznie łatwiejsze do wykonania i wielokrotnie tańsze niż wzorce wysokorezystancyjne.

Badania wykonanego modelu miernika potwierdziły jego stosunkowo małą niepewność pomiaru ( $\pm 2\%$ ) oraz wystarczającą odporność na zakłócenia o częstotliwości sieciowej.

## LITERATURA

1. PN-88/E-04405. Materiały elektroizolacyjne stałe. Pomiary rezystancji.
2. Szczepaniak C., Baranowski B.: Mierniki rezystancji izolacji. Prace Instytutu Elektrotechniki, z. 190, Warszawa 1996.
3. Miłek M.: Komparacja wielkości elektrycznych i magnetycznych. ZN Pol. Śl. s. Elektryka, z. 77, Gliwice 1981.
4. Szadkowski B.: Synteza metod pomiaru imitancji. ZN Pol. Śl. s. Elektryka, z. 93, Gliwice 1984.
5. Pasecki E., Szadkowski B.: Przyrząd do pomiaru rezystancji izolacji dielektryków ciekłych. ZN Pol. Śl. s. Elektryka, z. 128, Gliwice 1992.
6. Kulka Z., Libura A., Nadachowski M.: Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe. WKiŁ, Warszawa 1987.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zygmunt Kuśmierek

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 kwietnia 1998 r.

## Abstract

The principle of operation and construction of a measuring instrument, in which the modified comparative method of resistance measurement has been used, is described in the paper. A dividing circuit is at the output of the instrument (Fig. 1). The output signal  $W$  of the dividing circuit  $PI$  is linearly dependent on the measured resistance  $R_X$ . It does not depend on changes of the supply voltage  $U_p$ . The instrument circuit is presented in Fig. 2. The A/D converter with double integration of type ICL 7107 is used as a dividing circuit in this instrument. It is possible to measure resistances from  $10^8 \Omega$  to  $2 \cdot 10^{12} \Omega$  when using one high-resistance standard  $R_N$  of  $1 M\Omega$ . The measuring range can be changed by dividing or amplifying the output voltage  $U_0$  of the current-voltage converter  $W_1$ . The measuring voltage  $U_p = 1000 V$  is generated by a high voltage converter. The uncertainty of insulation resistance measurements by means of the presented instrument is less than  $\pm 2\%$  (Fig. 3). The instrument is resistant to line interference.