

Eligiusz PASECKI
Brunon SZADKOWSKI

MIERNIK REZYSTANCJI UZWOJEŃ TRANSFORMATORÓW ENERGETYCZNYCH Z ZASILANIEM BATERYJNYM

Streszczenie. W artykule opisano budowę i działanie miernika. Zastosowano komparacyjną metodę pomiaru rezystancji. Funkcję układu dzielącego spełnia przetwornik analogowo-cyfrowy o podwójnym całkowaniu. Ograniczono wartość prądu pomiarowego do 1 A. Przedstawiono wyniki badań opracowanego modelu miernika.

INSTRUMENT FOR MEASUREMENT OF WINDING RESISTANCE OF POWER TRANSFORMERS WITH BATTERY SUPPLY

Summary. The principle of operation of the instrument for measurement of winding resistance of power transformers has been described in the paper. The comparative method of resistance measurement has been applied. The A/D converter with double integration is used as a dividing circuit. The value of measuring current has been limited to 1 A. Results of investigations of the instrument model have been presented.

Typowe wartości rezystancji uzwojeń transformatorów energetycznych zawierają się w granicach 10^{-4} - 10^2 omów. Do pomiaru tych rezystancji stosowane są różne metody, takie jak metoda mostkowa, techniczna i inne. W dotychczas stosowanych metodach, zwłaszcza przy pomiarze bardzo małych rezystancji, konieczne jest stosowanie dużych prądów pomiarowych (do 100 A). W opracowanym mierniku rezystancji uzwojeń transformatorów energetycznych wartość prądu pomiarowego ograniczono do 1 A, co umożliwia zastosowanie w tym mierniku zasilacza bateryjnego.

Układ opracowanego miernika rezystancji uzwojeń transformatorów energetycznych z zasilaniem bateryjnym przedstawiony jest na rys. 1. W mierniku tym wykorzystano komparacyjną metodę pomiaru rezystancji [2]. Wynik pomiaru rezystancji uzyskuje się dzieląc w układzie dzielącym UD spadki napięć na rezystancji mierzonej R_x i wzorcowej R_N , przez które płynie ten sam prąd pomiarowy I_x (rys. 1a). Funkcję układu dzielącego spełnia przetwornik analogowo-

cyfrowy (a/c) o podwójnym całkowaniu (rys.1b). Do wejścia integracyjnego przetwornika a/c doprowadzone jest napięcie U_I proporcjonalne do rezystancji mierzonej, a do wejścia referencyjnego — napięcie U_R równe spadkowi napięcia U_N na rezystancji wzorcowej. Błąd pomiaru rezystancji zależy od wartości napięć U_I i U_R . W opracowanym mierniku zastosowano przetwornik a/c typu ICL 7107, którego błąd przetwarzania jest mniejszy od 0,05% przy zmianie napięcia U_I w zakresie od zera do 200 mV i napięciu $U_R = 100$ mV. Z tego względu przy pomiarze rezystancji mniejszych od 20 m Ω i prądzie pomiarowym wynoszącym 1 A, w torze integracyjnym przetwornika a/c konieczne jest zastosowanie wzmacniacza pomiarowego W_1 .

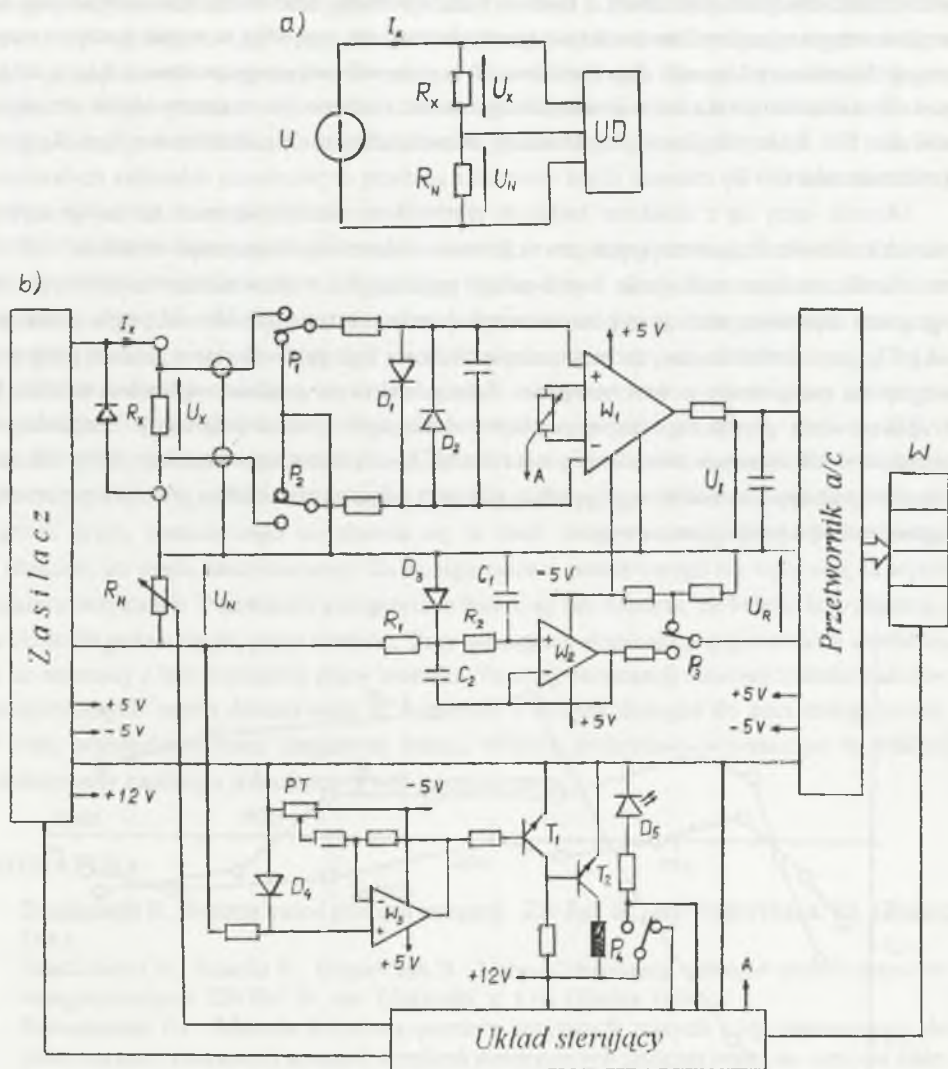
Obecnie budowane scalone wzmacniacze pomiarowe zapewniają stabilne wzmocnienie napięcia stałego rzędu 100 V/V i więcej. W opracowanym modelu miernika zastosowano wzmacniacz pomiarowy typu INA114AP firmy Burr-Brown. W zależności od zakresu pomiarowego zmienia się wartość prądu pomiarowego I_X , współczynnik wzmocnienia K wzmacniacza W_1 oraz wartość rezystancji wzorcowej R_N . W tabelicy 1 podane są znamionowe wartości tych wielkości.

Po włączeniu napięcia zasilania stan przekaźników $P_1 - P_4$ jest taki, jak przedstawiono na rys.1. Wejście wzmacniacza pomiarowego W_1 jest zwarte, a do wejścia referencyjnego przetwornika a/c doprowadzone jest napięcie $U_R = 100$ mV. Taki stan wejść przetwornika a/c wymusza zerowy stan jego wyjścia. Jeżeli rezystancja mierzona $R_X < 200$ m Ω , to układ zbudowany ze wzmacniacza W_3 oraz tranzystorów T_1 i T_2 powoduje włączenie przekaźnika P_4 i świecenie diody elektroluminescencyjnej D_3 . Brak świecenia tej diody świadczy o przerwie w obwodzie prądu pomiarowego I_X lub że prąd ten jest mniejszy od wartości dopuszczalnej, ustawionej potencjometrem PT. Jeżeli dioda D_3 świeci, to włączenie przełącznika POMIAR (układ sterujący) powoduje zmianę stanu przekaźników kontaktronowych P_1, P_2 i P_3 . Do wejścia integracyjnego przetwornika a/c doprowadzone jest napięcie U_X , natomiast do wejścia referencyjnego — napięcie U_N . Wskaźnik W wskazuje wartość zmierzonej rezystancji R_X . Przy przekroczeniu zakresu pomiarowego wskaźnik W wskazuje tylko cyfrę jeden. Zmiany zakresów pomiarowych dokonuje się za pomocą przełączników (układ sterujący). Przy zmianie zakresu pomiarowego zmienia się pozycja przecinka dziesiętnego wskaźnika W .

Tabela 1

Znamionowe wartości prądu pomiarowego I_X , wzmocnienia K i rezystancji wzorcowej R_N w zależności od zakresu pomiarowego

Zakres	1 m Ω	10 m Ω	100 m Ω	1 Ω	10 Ω	100 Ω
I_X	1 A	1 A	1 A	100 mA	10 mA	1 mA
K	100	10	1	1	1	1
R_N	100 m Ω	100 m Ω	100 m Ω	1 Ω	10 Ω	100 Ω

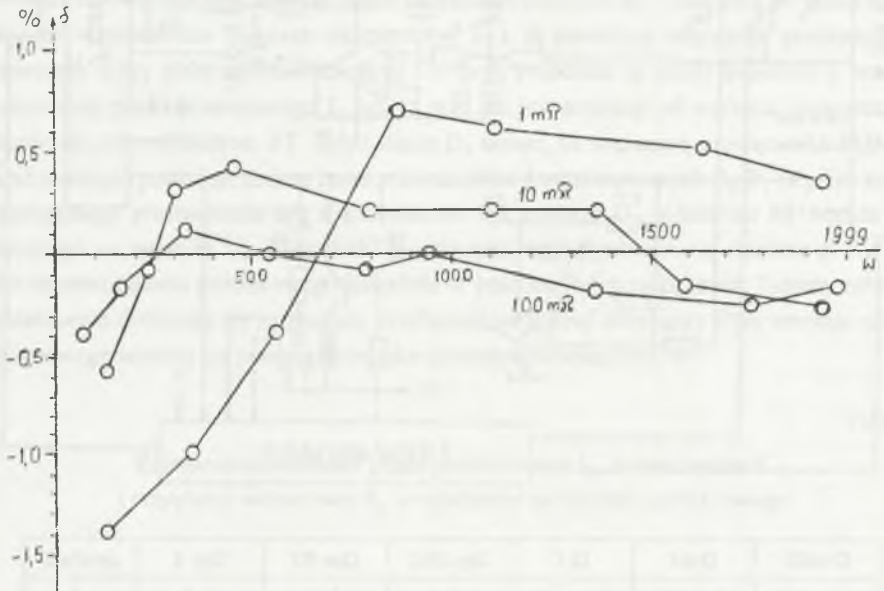


Rys.1. Układ miernika rezystancji uzwojeń transformatorów energetycznych z zasilaniem bateryjnym: a) zasada pomiaru, b) schemat ideowy miernika

Fig.1. Circuit of the instrument for measuring of power transformer winding resistance with battery supply: a) the principle of measurement, b) schematic diagram of the instrument

Pomiar rezystancji uzwojeń transformatorów energetycznych dokonywany jest zwykle w obecności zakłóceń, najczęściej o częstotliwości sieciowej. Zakłócenia te doprowadzone do wejścia integracyjnego przetwornika a/c są uśredniane i nie wpływają na wynik pomiaru rezystancji. Natomiast zakłócenia doprowadzone do wejścia referencyjnego przetwornika a/c mogą powodować zmiany wskazań miernika. Dlatego w torze referencyjnym przetwornika a/c zastosowano filtr dolnoprzepustowy zbudowany ze wzmacniacza W_2 , rezystorów R_1 i R_2 oraz kondensatorów C_1 i C_2 .

Miernik łączy się z obiektem badanym przewodami ekranowanymi o specjalnie wykonanych końcówkach zapewniających pewne połączenie miernika z wyprowadzeniami uzwojenia transformatora oraz rozdzielenie doprowadzeń prądowych i wyprowadzeń napięciowych, co ogranicza wpływ rezystancji styków na wynik pomiaru rezystancji. Obwód prądu pomiarowego I_x jest tak zbudowany, że przy zmianie wartości tego prądu (zmianie zakresu pomiarowego) nie ma przerwy w tym obwodzie. Taka konstrukcja zasilacza ogranicza możliwość wygenerowania zbyt dużego napięcia (duża indukcyjność obiektu badanego) i uszkodzenia układów elektronicznych miernika. Ponadto diody $D_1 - D_4$ zabezpieczają układy elektroniczne przed zbyt dużym napięciem w przypadku, gdy przy włączonym zasilaniu miernika przerwy zostanie obwód prądu pomiarowego.



Rys.2. Zależność błędu pomiaru od wartości mierzonej rezystancji (wskazania miernika W) dla zakresów pomiarowych 1 m Ω , 10 m Ω i 100 m Ω

Fig.2. Dependence of the measurement error on the measured resistance value (indications of the instrument W) for the measuring ranges 1 m Ω , 10 m Ω and 100 m Ω

Badanie laboratoryjne modelu opracowanego miernika rezystancji uzwojeń transformatorów energetycznych z zasilaniem bateryjnym wykazało, że błąd pomiaru rezystancji tym miernikiem zawiera się w granicach $\pm 0,5\%$ przy pomiarze rezystancji większych od $2\text{ m}\Omega$ oraz nie przekracza $1,5\%$ przy pomiarze rezystancji w zakresie od $0,1\text{ m}\Omega$ do $2\text{ m}\Omega$. Na rys.2 przedstawiona jest zależność błędu pomiaru od wartości mierzonej rezystancji (wskazania miernika W bez uwzględnienia przecinka dziesiętnego) dla zakresów pomiarowych $1\text{ m}\Omega$, $10\text{ m}\Omega$ i $100\text{ m}\Omega$. Dla pozostałych zakresów pomiarowych przebieg zależności błędu pomiaru od wartości mierzonej rezystancji jest taki sam, jak dla zakresu $100\text{ m}\Omega$.

Do zasilania opracowanego modelu miernika rezystancji uzwojeń transformatorów energetycznych zastosowano nieorganiczne baterie litowe firmy Sonnenschein. Baterie te charakteryzuje duża trwałość, szeroki zakres temperatur pracy oraz duża pojemność energetyczna przy stosunkowo małej objętości i masie. Napięcie znamionowe tych baterii wynosi $3,6\text{ V}$. W układzie zasilacza baterie łączy się równolegle lub szeregowo wraz z odpowiednio dobranymi rezystancjami w ten sposób, że przy pomiarze rezystancji w zakresie od $0,1\text{ m}\Omega$ do $200\text{ }\Omega$ wartość prądu pomiarowego jest zbliżona do wartości prądu znamionowego dla wybranego zakresu pomiarowego. Ponieważ w czasie pierwszego i drugiego całkowania przetwornika a/c wartość prądu pomiarowego nie zmienia się, to małe zmiany wartości prądu pomiarowego w stosunku do prądu znamionowego dla danego zakresu pomiarowego nie wpływają na wynik pomiaru rezystancji. Pojemności energetyczne baterii są tak dobrane, że baterie te wystarczają na około 50 godzin ciągłej pracy miernika. Przy oszczędnej eksploatacji pojemność ta wystarcza na co najmniej 2 lata poprawnej pracy miernika. Pomiary rezystancji uzwojeń transformatorów energetycznych często dokonywane są w miejscu o łatwym dostępie do sieci energetycznej. W celu przedłużenia czasu eksploatacji baterii, miernik dodatkowo wyposażono w zasilacz stabilizowany zasilany z jednofazowej sieci energetycznej.

LITERATURA

1. Szadkowski B.: Synteza metod pomiaru imitancji. ZN Pol. Śl., ser. Elektryka, z. 93, Gliwice 1984.
2. Szadkowski B., Pasecki E., Kasperczyk B.: Miernik rezystancji uzwojeń transformatorów energetycznych. ZN Pol. Śl., ser. Elektryka, z. 134, Gliwice 1994.
3. Szczepaniak Cz.: Metoda ilorazowa pomiaru rezystancji małych i jej zastosowanie do przetwarzania rezystancji uzwojeń urządzeń elektrycznych podczas pracy na napięcie stałe. Arch. Elektrotechn. tom XXXIX, z. 1/4, Warszawa 1990.
4. Kulka Z., Libura A., Nadachowski M.: Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe. WKiŁ, Warszawa 1987.
5. PN-81/E-04070.05 Transformatory. Metody badań. Pomiary rezystancji uzwojeń.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zygmunt Kuśmierk

Abstract

The measuring methods which have been used for determining very small resistances up to the present need application of large measuring currents. In the worked out instrument the value of measuring current has been limited to 1 A which enables to use the battery supply. The results of resistance measurement is obtained by dividing (in the dividing circuit — Fig. 1a) voltage drops along the resistance being measured R_x and the standard resistance R_N through which the same measuring current I_x is flowing at the time of measurement. The A/D converter with double integration is used as a dividing circuit (Fig. 1b). The measuring amplifier W_1 has been used in integrating circuit of the A/D converter when measuring resistances smaller than 20 m Ω . The values of: the measuring current I_x , the amplifier W_1 gain K and the standard resistance R_N change according to the chosen measuring range (Table 1). The measuring range can be changed by means of the switches (control system). The circuit consisting of the amplifier W_3 and transistors T_1 and T_2 makes impossible to take measurements when the current I_x is smaller than the admissible value which is set by the potentiometer PT. On the other hand the circuit consisting of the amplifier W_2 , resistors R_1 and R_2 and capacitors C_1 and C_2 limits influence of noises on the resistance measurement result. Dependence of the measurement error on the measured resistance value is shown in Fig. 2.

When measuring resistances larger than 2 m Ω this error is within the range $\pm 0,5\%$, whereas when measuring resistances from 0,1 m Ω to 2 m Ω the error is less than 1,5%. Inorganic lithium batteries have been used for supplying the instrument model. They enable its continuous operation for 50 hours.