ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: ELEKTRYKA z. 169 Nr kol. 1457

Eligiusz PASECKI
Teresa SZADKOWSKA
Brunon SZADKOWSKI

PRZENOŚNY MIERNIK WSPÓŁCZYNNIKA ABSORPCJI IZOLACJI

Streszczenie. W artykule przedstawiono opis miernika współczynnika absorpcji izolacji z zasilaniem bateryjnym oraz układem mikroprocesorowym – sterującym przebiegiem pomiaru. Przedstawiono również wybrane wyniki badań wykonanego modelu miernika.

PORTABLE METER OF INSULATION ABSORPTION COEFFICIENT

Summary. The paper presents the description of an insulation absorption coefficient meter with a battery supply and microprocessor circuit. The microprocessor circuit controls the measurement procedure. The chosen results of investigations of the meter prototype are given in the paper as well.

1. WPROWADZENIE

Współczynnik absorpcji izolacji k_a definiowany jest zależnością

$$k_a = \frac{R_{60}}{R_{15}}, \tag{1}$$

gdzie R_{15} i R_{60} są rezystancjami mierzonymi odpowiednio po 15 s i 60 s od chwili załączenia stałego napięcia pomiarowego na badaną izolację.

Współczynnik k_a w diagnostyce izolacji transformatorów spełnia rolę wskaźnika oceny stanu badanej izolacji, głównie jej stopnia zawilgocenia [1].[1] Przy stałym napięciu pomiarowym U równanie (1) sprowadza się do postaci

$$k_a = \frac{R_{60}}{R_{15}} = \frac{\frac{U}{I_{60}}}{\frac{U}{I_{15}}} = \frac{I_{15}}{I_{60}}, \tag{2}$$

gdzie I_{15} i I_{60} są prądami ładowania izolacji, mierzonymi po 15 s i 60 s.

Pomiar współczynnika k_a może być zatem przeprowadzony nie tylko poprzez pomiary rezystancji (megaomomierzem), lecz także poprzez pomiary prądów ładowania izolacji. Ta druga koncepcja pomiarowa została wykorzystana w opisanym w dalszym ciągu mierniku.

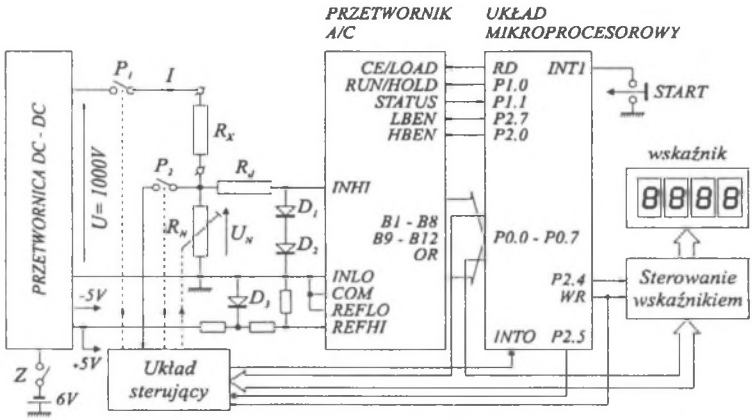
Zamiarem autorów było opracowanie miernika przenośnego, nadającego się do pomiarów w dowolnym miejscu i bez dostępu do sieci elektrycznej (np. w czasie transportu transformatora), w którym pomiar odbywałby się automatycznie i wynik pomiaru k_a otrzymywany byłby bezpośrednio (tzn. bez potrzeby jakichkolwiek obliczeń), a ponadto – aby w mierniku możliwe było dokonywanie pomiarów w różnych chwilach czasowych, nie tylko przy 15s i 60s. To ostatnie wymaganie związane jest z ewentualnym zastosowaniem opracowanego miernika do badań nad określeniem nowych kryteriów oceny stopnia zawilgocenia (por. komentarz [1)] na poprzedniej stronicy).

Aktualnie najczęściej stosowaną metodą pomiaru współczynnika k_a jest pomiar rezystancji w odpowiednich chwilach, za pomocą megaomomierza i czasomierza, a następnie obliczenie stosunku R_{60}/R_{15}. Inne metody stosowane są rzadko i raczej tylko w warunkach laboratoryjnych. Na przykład w pracy [2] przedstawiono rozwiązanie miernika elektronicznego, analogowego, w którym wykorzystano koncepcję pomiaru prądów I_{15} i I_{60}. Ponieważ żadna ze znanych metod nie spełnia jednocześnie wszystkich założonych przez autorów wymagań – w dalszym ciągu podjęto próbę opracowania miernika spełniającego postawione wymagania.

[1)] Współczynnik k_a został wprowadzony (ok. 45 lat temu) do odpowiednich krajowych przepisów związanych z badaniami transformatorów, gdzie zostały określone pewne wartości dopuszczalne /minimalne/, powyżej których izolację można uważać za wystarczająco suchą. Okazuje się jednak, że obowiązujące dotychczas wartości dopuszczalne k_a nie zawsze są wiarygodnymi kryteriami oceny stopnia zawilgocenia w przypadku nowej generacji transformatorów, np. produkowanych w kraju po 1995 r. W związku z tym wspomniane kryteria stosuje się do transformatorów wyprodukowanych przed 1995 r., natomiast w odniesieniu do transformatorów nowo produkowanych podjęte zostały prace nad określeniem nowych kryteriów lub nowych wskaźników.

2. OPIS MIERNIKA

W opracowanym mierniku współczynnika absorpcji k_a zastosowano zasilanie bateryjne oraz układ mikroprocesorowy – sterujący przebiegiem pomiaru i dokonujący niezbędnych obliczeń. Odpowiedni schemat miernika przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Schemat opracowanego miernika współczynnika absorpcji k_a
Fig.1. Schematic diagram of the realised meter for the absorption coefficient k_a measurement

Pomiar współczynnika k_a odbywa się tutaj poprzez pomiar prądu ładowania, a ściślej – poprzez pomiar proporcjonalnego spadku napięcia U_N na rezystorze wzorcowym R_N, przyłączonym szeregowo do badanej izolacji o rezystancji $R = R_X$. Rezystor wzorcowy powinien być tak dobrany, aby $R_N << R$.

Korzystając z równania (2) współczynnik k_a można określić zależnością

$$k_a = \frac{R_{60}}{R_{15}} = \frac{I_{15}}{I_{60}} = \frac{I_{15}R_N}{I_{60}R_N} = \frac{U_{N15}}{U_{N60}}, \tag{3}$$

gdzie U_{N15} i U_{N60} są spadkami napięć na rezystorze wzorcowym R_N, mierzonymi po 15 s i 60 s.

Do pomiaru spadku napięcia U_N zastosowano przetwornik analogowo-cyfrowy (a/c) o podwójnym całkowaniu (ICL 7109), natomiast funkcję układu dzielącego (w celu wyznaczenia wartości k_a) spełnia mikroprocesor. Przetwornik ICL 7109 jest przystosowany do bezpośredniej współpracy z układem mikroprocesorowym [3]. Doprowadzenie krótkiego impulsu dodatniego do wejścia RUN/HOLD przetwornika rozpoczyna cykl przetwarzania analogowo-cyfrowego. O zakończeniu tego cyklu informuje niski stan logiczny wyjścia STATUS prze-

twornika. Poza czasem przetwarzania przetwornik pozostaje w stanie autozerowania. Odczytu danych dokonuje się uaktywniając stanem niskim wejście LBEN przetwornika (młodszy bajt) oraz wejście HBEN (cztery starsze bity, bit przekroczenia zakresu pomiarowego i bit znaku).

Częstotliwość generatora impulsów zegarowych przetwornika ICL 7109 jest tak dobrana, że czas pierwszego całkowania wynosi 20 ms. Miernik jest zatem odporny na zakłócenia o częstotliwości sieciowej, a czas pomiaru napięcia U_N jest wystarczająco krótki w porównaniu z czasem pomiaru współczynnika absorpcji.

Napięcie referencyjne przetwornika a/c wynoszące 100 mV jest uzyskiwane w układzie ze stabilizowaną termicznie diodą stabilizacyjną D_3. Diody D_1 i D_2 oraz rezystor R_d zabezpieczają przetwornik przed skutkami doprowadzenia do jego wejścia zbyt dużego napięcia w przypadku zwarcia elektrod pomiarowych miernika.

Przebiegiem całego procesu pomiarowego steruje układ zbudowany z mikrokontrolera, pamięci EPROM oraz elementu buforującego [4].

Wykonany miernik umożliwia pomiar współczynnika absorpcji obiektów o rezystancjach zawartych w granicach $(10^8 - 10^{12})\ \Omega$. Cały zakres pomiarowy współczynnika k_a podzielony został na 7 podzakresów tak dobranych, aby spadek napięcia U_{N15} (mierzony po 15 s) był zawsze większy od 50 mV. Decyzję o wyborze właściwego podzakresu podejmuje układ mikroprocesorowy.

Po włączeniu napięcia zasilana (wyłącznikiem Z) przetwornik pozostaje w stanie autozerowania, ustalane są warunki początkowe układu mikroprocesorowego oraz wybrana zostaje rezystancja R_N o najmniejszej wartości. Następnie – włączenie przycisku START rozpoczyna pomiar powodując włączenie napięcia pomiarowego (przełącznik P_1 włączony). Po czasie 14,5s układ mikroprocesorowy powoduje włączenie przełącznika P_2 (czas ten może być zmieniony).

Za pomocą 2 komparatorów (nie przedstawionych na rys.1) – spadek napięcia U_N jest porównywany z napięciem referencyjnym. Jeśli $U_N > 300$ mV, to zostaje wyłączony przełącznik P_1 i sygnalizowane jest przekroczenie zakresu pomiarowego. Natomiast jeśli $U_N < 50$ mV, to zwiększana jest (skokowo) wartość rezystancji R_N tak długo, aż napięcie to przekroczy wartość 50 mV.

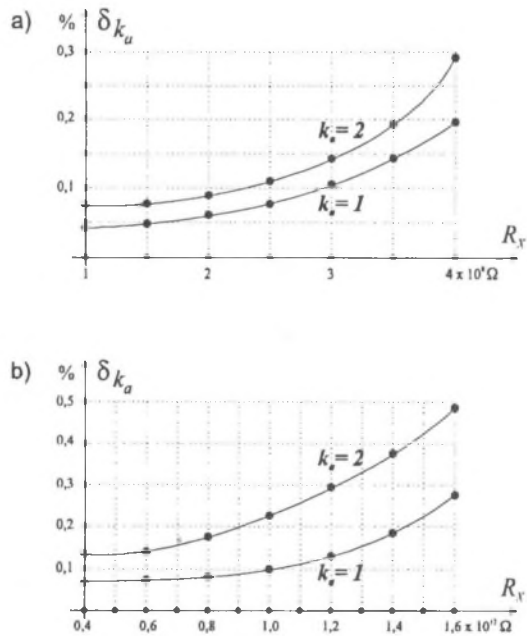
Po 15 s i 60 s od chwili załączenia napięcia pomiarowego, układ mikroprocesorowy uaktywnia przetwornik a/c, dokonuje odczytu danych pomiarowych, oblicza wartość współczynnika absorpcji k_a i przesyła wynik do wskaźnika cyfrowego. Poza czasem wskazywania wyniku – wskaźnik cyfrowy jest wyłączony; wyłączone są również przełączniki P_1 i P_2 oraz nastawiana jest wartość początkowa R_N (najmniejsza). Sygnał START rozpoczyna kolejny cykl pomiarowy.

Ważną funkcję w opisywanym mierniku spełnia przetwornica DC – DC. Napięcie pomiarowe U nie może ulegać zmianie w czasie całego cyklu pomiarowego. W opracowanym mierniku zastosowano samowzbudną przetwornicę zaporową z podwajaczem napięcia i stabilizacją napięcia wyjściowego. Przetwornica jest zasilana z akumulatora 6 V (lub odpowiedniej baterii suchych ogniw). Stwierdzono, że przy zmianie rezystancji obciążenia przetwornicy, tzn. rezystancji badanej, w granicach $(10^8 - 10^{12})\ \Omega$ – napięcie wyjściowe przetwornicy praktycznie nie ulega zmianie; przy zmniejszeniu rezystancji obciążenia do $10^6\ \Omega$ – napięcie wyjściowe przetwornicy maleje o ok. 1%. Przetwornica jest zabezpieczona przed skutkami

zwarcia jej zacisków wyjściowych; wzrost prądu obciążenia powyżej 10 mA powoduje zanik napięcia wyjściowego. W układzie przetwornicy DC - DC znajduje się również zasilacz stabilizowany + 5 V służący do zasilania obwodów elektronicznych miernika, a ponadto zasilacz - 5 V służący do zasilania przetwornika a/c.

Wykonany model miernika poddano badaniom doświadczalnym. Sprawdzenia wskazań dokonywano używając zamiast próbek izolacji – rezystorów wzorcowych. Wobec braku wzorców o odpowiednio dużej rezystancji – zastosowano rezystory wzorcowe o wartościach nie przekraczających 10^6 Ω, przy czym jednocześnie odpowiednio obniżano napięcie pomiarowe – tak, aby prąd płynący przez zastosowany rezystor wzorcowy był porównywalny z prądem jaki płynąłby przez rzeczywisty obiekt (izolację) przy napięciu pomiarowym 1000 V. Zmianę współczynnika absorpcji zadawano zmieniając odpowiednio wartość mierzonej rezystancji wzorcowej w przedziałach czasu do 15 s i do 60 s.

Na rys.2 przedstawiono zdjęte w opisany sposób (i przeliczone dla rzeczywistych obiektów izolacyjnych) charakterystyki błędów δ_{ka} pomiaru współczynnika absorpcji w funkcji rezystancji badanego obiektu.



Rys.2. Zależność błędu pomiaru współczynnika absorpcji δ_{ka} w funkcji rezystancji badanej izolacji; a) – dla podzakresu $(1 - 4)10^8$ Ω, b) – dla podzakresu $(0,4 - 1,6)10^{12}$ Ω

Fig.2. Dependence of the absorption coefficient measurement error δ_{ka} on the tested insulation resistance. a) – for the subrange $(1 - 4)10^8$ Ω, b) – for the subrange $(0,4 - 1,6)10^{12}$ Ω

Na rys.2 przedstawiono wybrane charakterystyki dla dwóch wartości współczynnika absorpcji: $k_a = 1$ oraz $k_a = 2$, dla obiektów o rezystancji izolacji zmieniającej się w zakresie $(1 - 4)10^8\ \Omega$, co odpowiada pierwszemu podzakresowi miernika i dla obiektów o rezystancji zmieniającej się w zakresie $(0,4 - 1,6)10^{12}\ \Omega$ – co odpowiada siódmemu, ostatniemu podzakresowi miernika.

3. WNIOSKI

Zastosowanie w opracowanym mierniku metody polegającej na pomiarze prądu ładowania izolacji oraz układu mikroprocesorowego – umożliwiło zbudowanie miernika spełniającego wszystkie postawione na wstępie wymagania. Uzyskano następujące właściwości miernika:

- pomiar odbywa się automatycznie i wynik pomiaru otrzymywany jest bezpośrednio (tzn. bez potrzeby jakichkolwiek obliczeń),
- miernik nadaje się do pomiarów w dowolnym miejscu i bez dostępu do sieci elektrycznej (np. w czasie transportu transformatora); niewielkie gabaryty i masa miernika czynią go łatwo przenośnym,
- możliwe jest dokonywanie pomiarów w różnych chwilach czasowych, nie tylko przy 15 s i 60 s, co pozwala na ewentualne zastosowanie opracowanego miernika do badań nad określeniem nowych kryteriów oceny stopnia zawilgocenia.

Badania wykonanego modelu miernika wykazały, że jest on odporny na zakłócenia o częstotliwości sieciowej, a błędy pomiarów współczynnika absorpcji obiektów o rezystancji izolacji zawartych w granicach $(10^8 - 10^{12})\ \Omega$ nie przekraczają ± 0,5%.

LITERATURA

1. Jabłoński M.: Badanie transformatorów w przemyśle i eksploatacji. WNT, Warszawa 1969.
2. Szadkowski B., Pasecki E.: Pomiar współczynnika absorpcji R_{60}/R_{15} izolacji transformatorów i maszyn elektrycznych. ZN. Pol. Śl. ser. „Elektryka", z.156, Gliwice 1996.
3. Kulka Z., Libura A., Nadachowski M.: Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe. WKiŁ, Warszawa 1987.
4. Rydzewski A.: Mikrokomputery jednoukładowe rodziny MCS-51. WNT, Warszawa 1992.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zygmunt KUŚMIEREK

Wpłynęło do Redakcji dnia 2 czerwca 1999 r.

Abstract

The method generally used for measurement of the insulation absorption coefficient k_a (see the equation (1)) is the indirect method. In consists in measurement of the insulation resistance by means of a megohm-meter at the appropriate instants, and then calculation of the ratio of the measured resistances. The other methods are seldom used. Besides, they can be used in laboratories only. The paper presents the description of a meter with a battery supply and a microprocessor circuit enabling the direct measurement of the insulation absorption coefficient (Fig.1). The microprocessor circuit controls the measurement procedure as well as carries out the necessary calculations. The measurement of the k_a coefficient is made by measuring the voltage drop U_N along the standard resistor R_N which is connected to a tested insulation resistance R_X in parallel. An A/C converter with double integration is used to measure the voltage drop U_N, whereas the microprocessor controls the dividing of the A/C output signals. The first integration time is 20 ms, so the meter is resistant to line interference. The time of the U_N voltage measurement is short enough when compared to that of the absorption coefficient measurement. The constructed meter makes it possible to measure the absorption coefficient of objects with insulation resistance ranging from 10^8 Ω to 10^{12} Ω. The whole measuring range of the meter is divided into 7 sub-ranges. Each of them ensures the voltage drop U_N measured after 15 s from switching on the measuring voltage U to be higher than 50 mV. The microprocessor circuit selects the appropriate sub-range. The stabilized measuring voltage U = 1000 V is obtained from a DC/DC converter. The converter is fed from a 6 V battery or dry cells. The investigations of the constructed meter performed in laboratories have shown that the uncertainty of the k_a coefficient measurement does not exceed ± 0,5% (Fig.2) within the whole range of the tested insulation resistance.

The meter is safe for operational use because the converter is immediately switched off when short –circuiting the measuring terminals. The meter may be used for assessment of the moisture content in the insulation of transformers and electric machines.