

Brunon SZADKOWSKI
Eligiusz PASECKI

POMIAR WSPÓŁCZYNNIKA ABSORPCJI R_{60}/R_{15} IZOLACJI TRANSFORMATORÓW I MASZYN ELEKTRYCZNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono opis przyrządu do pomiaru współczynnika R_{60}/R_{15} oraz wybrane wyniki badań przeprowadzonych na wykonanym modelu.

MEASUREMENT OF INSULATION ABSORPTION COEFFICIENT R_{60}/R_{15} OF TRANSFORMERS AND ELECTRIC MACHINES

Summary. Description of an instrument for R_{60}/R_{15} coefficient measurement has been presented in the paper. Some investigation results obtained for the executed model have been given as well.

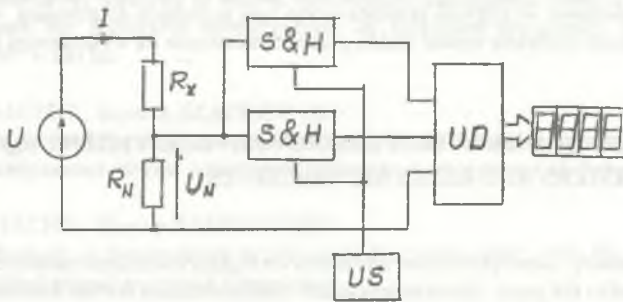
1. WPROWADZENIE

Podczas pomiarów rezystancji i izolacji transformatorów i maszyn elektrycznych obserwuje się zjawisko narastania wartości tej rezystancji w miarę upływu czasu, licząc od chwili załączenia napięcia pomiarowego (stałego). Stosunek rezystancji R_{60}/R_{15} zmierzonych odpowiednio po 60 s oraz 15 s od chwili załączenia napięcia nazywany jest współczynnikiem absorpcji i jest jednym ze wskaźników stosowanych do oceny stopnia zawilgocenia badanej izolacji [1, 2]. Stosuje się również wskaźnik R_{300}/R_{60} , będący stosunkiem rezystancji zmierzonych po 300 s oraz 60 s. Ponadto wskaźnikami stopnia zawilgocenia izolacji są także współczynnik strat dielektrycznych $\text{tg}\delta$, bezwzględna wartość rezystancji badanej izolacji lub inne parametry fizykochemiczne.

Dla izolacji suchej, wskaźnik R_{60}/R_{15} przyjmuje wartości większe niż 1 (jednak na ogół nie przekraczające 2), natomiast dla izolacji zawilgoconej — odpowiednie wartości zawierają się w przedziale $1 \div 1,5$. Szczegółowe wartości omawianego wskaźnika, powyżej których uznaje się izolację za wystarczająco suchą (tzn. wartości najmniejsze dopuszczalne) zależą od temperatury izolacji i określone są w odpowiednich przepisach [3].

Aktualnie, pomiary współczynnika absorpcji R_{60}/R_{15} wykonuje się najczęściej metodą pośrednią, za pomocą megaomomierza i czasomierza, dokonując odczytów z megaomomierza odpowiednio po 15 s oraz 60 s od chwili rozpoczęcia pomiaru. Metoda megaomomierza i czasomierza jest jednak dość niewygodna i mało dokładna. Pożądana w tych pomiarach stałość napięcia zasilania, zwłaszcza w przypadku często stosowanych megaomomierzy indukcyjnych, nie jest wystarczająca. Wydaje się zatem celowe podjęcie prac zmierzających do opracowania przyrządu pomiarowego pozwalającego na bezpośrednie pomiary omawianego współczynnika i odznaczającego się korzystnymi właściwościami metrologicznymi oraz eksploatacyjnymi.

Do budowy opisanego w dalszym ciągu przyrządu pomiarowego wykorzystano koncepcję pomiaru prądu ładowania I , płynącego przez badaną izolację (R_x) po przyłączeniu stałego napięcia zasilania U . Ogólny schemat odpowiedniego układu pomiarowego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Ogólny schemat układu do pomiaru współczynnika absorpcji R_{60}/R_{15}
 Fig. 1. General diagram of the circuit for measurement of absorption coefficient R_{60}/R_{15}

W przedstawionym układzie pomiarowym — pomiar prądu I zrealizowany jest pośrednio poprzez pomiar napięcia U_N na wzorcowym rezystorze R_N . Czasowy przebieg prądu ładowania (a więc także napięcia U_N) jest złożoną funkcją różnych parametrów badanej izolacji (w tym również parametrów jej stanu fizykochemicznego) i w ogólnym ujęciu jest to przebieg rozpoczynający się w chwili załączenia napięcia skokowym wzrostem, a następnie opadający — aż do osiągnięcia pewnej wartości ustalonej [4]. Dokonując kolejnych pomiarów napięcia U_N : U_{N15} oraz U_{N60} (odpowiednio po 15 s i 60 s od chwili załączenia napięcia zasilania U), a następnie obliczając stosunek tych napięć — otrzymujemy z dobrym przybliżeniem

$$\frac{U_{N15}}{U_{N60}} = \frac{I_{15}}{I_{60}} = \frac{I_{15}}{I_{60}} \cdot \frac{R_{60}}{R_{15}} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$$

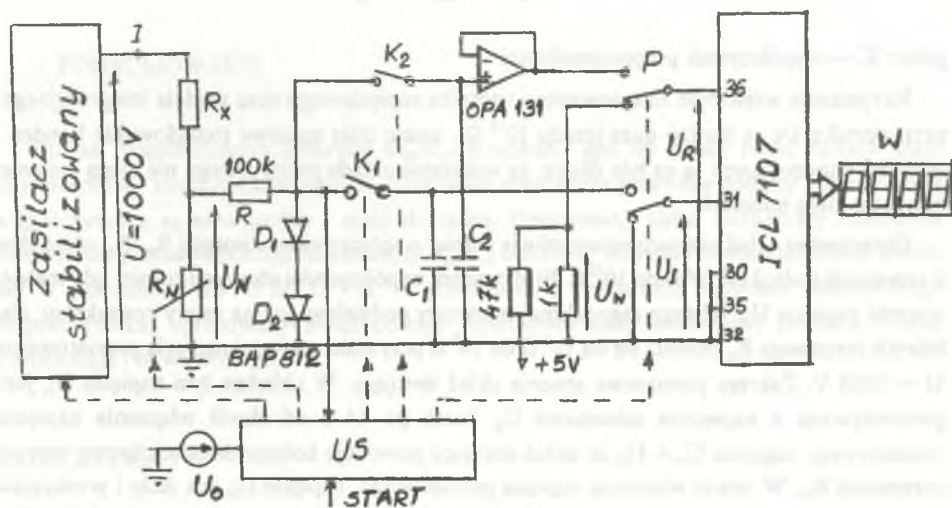
Z przedstawionego równania wynika, że w celu zmierzenia współczynnika absorpcji R_{60}/R_{15} — wystarczy zmierzyć stosunek napięć U_{N15}/U_{N60} .

Zastosowane w układzie z rys. 1 przetworniki próbkująco-pamiętające S&H wraz z układem sterującym US umożliwiają pobranie próbek napięcia U_N w odpowiednich chwilach czasowych i następnie przekazanie pobranych próbek do układu dzielącego UD w celu bezpośredniego wyznaczania interesującego nas stosunku R_{60}/R_{15} .

W dalszym ciągu przedstawione zostanie bliższe omówienie opracowanego układu pomiarowego, działającego według koncepcji podanej na rys. 1.

2. OPIS WYKONANEGO UKŁADU POMIAROWEGO

Pomiar stosunku dwóch rezystancji może być zrealizowany za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego (a/c) o podwójnym całkowaniu. Cyfrowy sygnał wyjściowy takiego przetwornika jest proporcjonalny do stosunku dwóch napięć analogowych, doprowadzonych do wejść przetwornika w czasie pierwszego i drugiego całkowania [5]. Przy pomiarze współczynnika absorpcji R_{60}/R_{15} do wejść tego przetwornika należy doprowadzić napięcia zapamiętane w układzie próbkująco-pamiętającym, odpowiednio po 15 s i 60 s od chwili włączenia napięcia pomiarowego.



Rys.2. Układ do pomiaru współczynnika absorpcji R_{60}/R_{15}

Fig.2. Practical circuit for absorption coefficient R_{60}/R_{15} measurement

Na rys.2 przedstawiony jest układ do pomiaru współczynnika absorpcji R_{60}/R_{15} , w którym funkcję układu dzielącego spełnia przetwornik a/c o podwójnym całkowaniu typu ICL 7107. Układ próbkująco-pamiętający, składający się z kondensatorów C_1 i C_2 oraz przełączników K_1 i K_2 , służy do zapamiętania wartości napięcia U_N w chwilach próbkowania. Po załączeniu napięcia zasilającego układ pomiarowy, stan wszystkich przełączników jest taki, jak przedstawiono na rys.2. Do wejścia referencyjnego U_R przetwornika a/c doprowadzone jest napięcie U_w , a wejście integracyjne U_I połączone jest z masą analogową. Stan wyjściowy przetwornika a/c jest zerowy.

Cykl pomiaru rozpoczyna się od włączenia impulsem START napięcia pomiarowego U . Po 15 s i 60 s od chwili włączenia tego napięcia, układ sterujący US powoduje kolejno włączanie na czas próbkowania przełączników K_1 i K_2 . Stałe czasowe ładowania kondensatorów pamiętających C_1 i C_2 są znacznie krótsze od czasu próbkowania. Na kondensatorach C_1 i C_2 zostają zapamiętane napięcia U_{N15} i U_{N60} proporcjonalne do prądów I_{15} i I_{60} płynących przez rezystor R_x po 15 s i 60 s od chwili włączenia napięcia U . Po zakończeniu cyklu próbkowania, układ sterujący powoduje zmianę stanu przełącznika P. Wówczas do wejścia integracyjnego przetwornika a/c doprowadzona jest zapamiętana wcześniej wartość napięcia U_{N15} , a do wejścia referencyjnego — wartość napięcia U_{N60} . A zatem wskazanie W wskaźnika wyjściowego będzie określone zależnością

$$W = K \frac{U_I}{U_R} = K \frac{U_{N15}}{U_{N60}} = K \frac{R_{60}}{R_{15}},$$

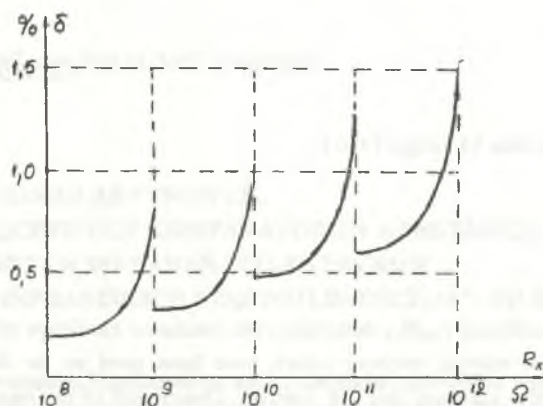
gdzie: K — współczynnik proporcjonalności.

Rezystancje wejściowe zastosowanego wtórnika napięciowego oraz wejścia integracyjnego przetwornika a/c są bardzo duże (rzędu $10^{12} \Omega$), zatem stałe czasowe rozładowania kondensatorów pamiętających są na tyle długie, że wskazanie układu pomiarowego nie ulega zmianie nawet po kilku minutach.

Opracowany układ pomiarowy umożliwia pomiar współczynnika absorpcji R_{60}/R_{15} obiektów o rezystancji izolacji od $10^8 \Omega$ do $10^{12} \Omega$. Błąd pomiaru współczynnika absorpcji rośnie, gdy maleje wartość napięcia U_N . Dlatego cały zakres pomiarowy podzielony jest na cztery podzakresy, dla których rezystancja R_N zmienia się od $10^5 \Omega$ do $10^8 \Omega$ przy stałej wartości napięcia pomiarowego $U = 1000 \text{ V}$. Zakresy pomiarowe zmienia układ sterujący. W układzie tym napięcie U_N jest porównywane z napięciem odniesienia U_0 . Jeżeli po 14 s od chwili włączenia napięcia pomiarowego napięcie $U_N < U_0$, to układ sterujący powoduje kolejny dziesięciokrotny wzrost rezystancji R_N . W chwili włączenia napięcia pomiarowego, napięcie U_N jest duże i przekracza dopuszczalne napięcia wejściowe układów elektronicznych. Rezystor R oraz diody D_1 i D_2 ograniczają wartość tego napięcia.

Badania laboratoryjne wykonanego modelu układu pomiarowego wykazały, że błąd pomiaru współczynnika absorpcji R_{60}/R_{15} nie przekracza 1,5% (dla badanych obiektów o rezystancji izolacji $10^8 \Omega$ do $10^{12} \Omega$). Na rys.3 przedstawiono zależność błędu pomiaru współczynnika R_{60}/R_{15} od

rezystancji izolacji obiektu badanego, przy podziale całego zakresu pomiarowego na cztery podzakresy. Błąd pomiaru można zmniejszyć zwiększając liczbę podzakresów pomiarowych.



Rys.3. Zależność błędu pomiaru współczynnika absorpcji R_{60}/R_{15} od rezystancji izolacji
Fig.3. Dependence of the absorption coefficient R_{60}/R_{15} measurement error on insulation resistance

3. PODSUMOWANIE

Pomiar współczynnika absorpcji R_{60}/R_{15} stosowany jest do oceny stanu izolacji transformatorów i maszyn elektrycznych. Stosowane dotychczas pośrednie metody pomiaru tego współczynnika są niewygodne i mało dokładne. Opracowany układ pomiarowy umożliwia bezpośredni pomiar współczynnika absorpcji R_{60}/R_{15} obiektów, których rezystancja izolacji mieści się w zakresie od $10^8 \Omega$ do $10^{12} \Omega$. W porównaniu z pośrednimi metodami pomiaru tego współczynnika, opracowany układ cechuje stosunkowo duża dokładność pomiaru, prosta konstrukcja i łatwa obsługa.

LITERATURA

1. Jabłoński M.: Badanie transformatorów w przemyśle i eksploatacji. WNT, Warszawa 1969.
2. Latek W.: Badanie maszyn elektrycznych w przemyśle. WNT, Warszawa 1987.
3. Wojdat S.: Przepisy eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych. Centr. Ośr. Szkol. i Wyd. SEP, Warszawa 1994.
4. Vajda G.: Issledowanija powreždienij izolacji. „Energija”, Moskwa 1968.

5. Kulka Z., Libura A., Nadachowski M.: Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe. WKiŁ, Warszawa 1987.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zygmunt Kuśmierk

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 lutego 1996 r.

Abstract

The absorption coefficient R_{60}/R_{15} determines the insulation condition of transformers and electric machines. The indirect methods which have been used so far for this coefficient measurement are of low accuracy and low comfort. Description of the measuring instrument enabling direct measurement of the absorption coefficient of objects with insulation resistance within the range from $10^8 \Omega$ to $10^{12} \Omega$ has been presented in the paper. A/C converter with double integration is a dividing circuit in the executed instrument (Fig.2). The value of voltage U_N is hold in the sample-and-hold circuit (consisting of capacitors C_1 and C_2 and switches K_1 and K_2) after 15 s and 60 s since the moment of switching of the measuring voltage U on. The voltage U_N is proportional to the current I flowing through the measured resistance R_X . The absorption coefficient measurement error increases if the voltage U_N value decreases. The whole measuring range is divided into four sub-ranges in order to reduce this error. The sub-ranges are chosen by means of a control circuit U_S . It causes that the resistance R_N is ten times greater when the voltage $U_N < U_0$ after 14 s since the moment of switching the measuring voltage on.