

Janusz TOKARSKI
Teresa SZADKOWSKA
Brunon SZADKOWSKI
Politechnika Śląska

UKŁAD DO POMIARU NAPIĘĆ POWROTNYCH W DIELEKTRYKACH

Streszczenie. Podano podstawowe informacje o warunkach powstawania i mierzenia napięć powrotnych w dielektrykach. Zaproponowano nową koncepcję wykonania układu do pomiaru napięć powrotnych. Przedstawiony układ pomiarowy charakteryzuje się małymi upływnościami oraz możliwością zastosowania końcowego bloku pomiaru napięcia o relatywnie małej rezystancji wejściowej. Przedstawiono wyniki badań doświadczalnego modelu fizycznego opracowanego układu pomiarowego.

A CIRCUIT FOR MEASUREMENTS OF RECOVERY VOLTAGES IN DIELECTRICS

Summary. Basic information on condition of arising and measuring recovery voltages in dielectrics has been given in the paper. A new idea of the circuit for recovery voltages has been suggested. The presented measuring circuit has low leakage conductances and it makes possible to use the final voltage measurement unit with relatively small input resistance. Results of experimental investigations of the physical model of the measuring circuit have been presented as well.

1. WPROWADZENIE

Pomiary napięć powrotnych są stosowane w diagnostyce izolacji elektrycznej, zwłaszcza izolacji transformatorów elektroenergetycznych. Pomiary te zostały wprowadzone do szerszej praktyki diagnostycznej stosunkowo niedawno, w zasadzie od chwili pojawienia się w ofertach handlowych odpowiednich przyrządów pomiarowych — np. firmy Tettex [1] (w latach 1994/95). Wprawdzie zjawisko występowania napięć powrotnych w układach izolacyjnych jest znane od dawna [2], [3], niemniej praktyczne wykorzystanie tego zjawiska (do celów diagnostycznych) nastąpiło znacznie później, gdyż uwarunkowane było między innymi trudnościami w technicznej realizacji odpowiednich przyrządów pomiarowych.

Pierwsze, znane w literaturze opracowania przyrządów do pomiaru napięć powrotnych pojawiły się w latach sześćdziesiątych [4] i były to wyłącznie opracowania jednostkowe, podobnie zresztą jak opracowania późniejsze [5], [6],[8].

Można ogólnie stwierdzić, że znane rozwiązania przyrządów do pomiaru napięć powrotnych charakteryzują się pewnymi niedoskonałościami, a także nadmiernie wysokimi cenami. Wydaje się więc celowe podejmowanie prac nad skonstruowaniem przyrządów o korzystniejszych właściwościach — tym bardziej że pełne wdrożenie pomiarów napięć powrotnych do diagnostyki układów izolacyjnych wymaga jeszcze przeprowadzenia wielu badań w celu określenia najbardziej właściwych warunków testowania izolacji i ustalenia odpowiednich „wskaźników oceny”. Dotychczas korzystano z różnych wskaźników oceny [4], [5], [6], [7], [8], przy czym które z nich są najkorzystniejsze z punktu widzenia diagnostyki, będzie można określić po dłuższym czasie wykonywania badań.

Zwróćmy jeszcze uwagę, że pomiary napięć powrotnych mogą się stać bardzo obiecującym narzędziem diagnostycznym, jednak nie oznacza to, że w celu postawienia diagnozy o stanie izolacji wystarczające będzie wyłącznie wykonanie pomiarów napięcia powrotnego. Diagnoza stanu izolacji wymaga zawsze kompleksowego badania różnych wielkości charakteryzujących izolację (np. pomiary współczynnika strat dielektrycznych, pojemności, rezystancji itp., jak również pomiary różnych właściwości fizykochemicznych) i tutaj pomiary napięć powrotnych mogą stanowić istotne uzupełnienie stosowanych badań.

2. WARUNKI POWSTAWANIA I MIERZENIA NAPIĘĆ POWROTNYCH W DIELEKTRYKACH

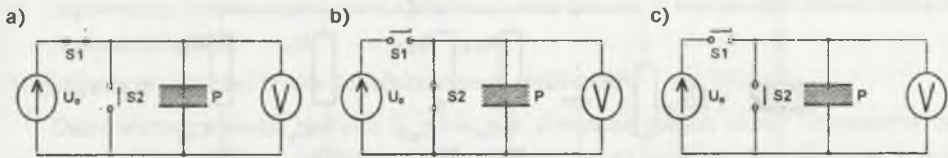
Na rys.1 przedstawiono ogólny schemat ideowy układu do pomiaru napięć powrotnych (mierzonych woltomierzem V) występujących w próbce dielektryka P; pomiar składa się z trzech faz:

- fazy ładowania badanej próbki napięciem stałym U_0 w czasie t_1 (rys. 1a),
- fazy rozładowywania próbki w czasie t_2 (rys. 1b),
- fazy pomiaru (rejestracji) napięcia powrotnego w czasie t_p — trwającym na ogół na tyle długo, aby możliwe było zaobserwowanie maksimum tego napięcia (rys. 1c).

Przebieg poszczególnych faz pomiarowych oraz typową charakterystykę napięcia powrotnego U_p przedstawiono na rys.2.

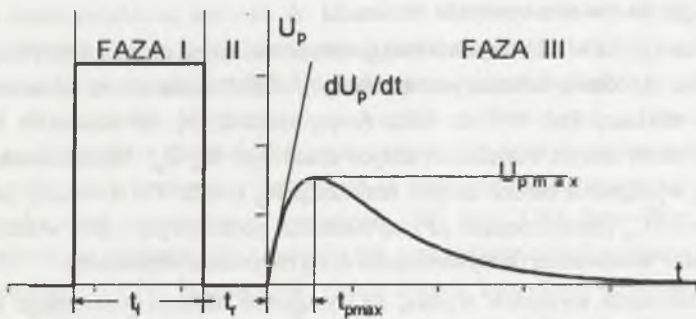
Podczas badań diagnostycznych opisany cykl pomiarowy powtarzany jest na ogół wielokrotnie, dla różnych wartości napięć zasilania U_0 , czasów ładowania t_1 i rozładowania t_2 .

Najczęściej rejestrowanymi parametrami napięcia powrotnego są: maksymalna wartość napięcia $U_{p \max}$, początkowa szybkość narastania napięcia dU_p/dt oraz czas $t_{p \max}$ osiągnięcia maksymalnej wartości napięcia.



Rys.1. Schemat ideowy układu pomiarowego do pomiaru napięcia powrotnego (mierzonego woltmierzem V) na próbce dielektryka P; pomiar wymaga dokonywania przełączeń kluczy S1 i S2 w następującej kolejności: a) faza I — ładowanie próbki napięciem stałym U_0 w czasie t_l (S1 - zamknięty, S2 - otwarty), b) faza II — rozładowanie próbki w czasie t_r (S1 - otwarty, S2 - zamknięty), c) faza III — pomiar napięcia powrotnego w czasie t_p (S1 - otwarty, S2 - otwarty)

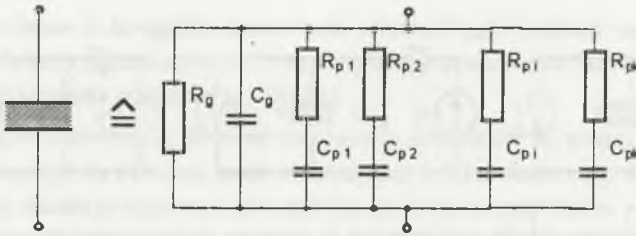
Fig.1. Schematic diagram of the measuring circuit for measurement of recovery voltages (measured by the voltmeter V) of the dielectric P sample; measurement requires switching the switches S1 and S2 in the following order: a) stage I — loading the sample by the constant voltage U_0 during the time t_l (S1 - closed, S2 - open), b) stage II — unloading the sample during the time t_r (S1 - open, S2 - closed), c) stage III — measurement of the recovery voltage during the time t_p (S1 - open, S2 - open)



Rys.2. Charakterystyka napięcia powrotnego U_p (z zaznaczonymi, kolejnymi fazami pomiarowymi I, II, III)

Fig.2. Characteristic of the recovery voltage U_p (the successive stages I, II, III shown)

Przyczyną powstawania opisanego napięcia powrotnego są, w najbardziej ogólnym ujęciu, zjawiska polaryzacji elektrycznej występujące w dielektrykach. Zjawiska te są reprezentowane w schemacie zastępczym dielektryka szeregowymi gałęziami R_{pi} i C_{pi} , przyłączonymi równolegle do głównych rezystancji R_g i pojemności C_g dielektryka; odpowiedni schemat zastępczy przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Schemat zastępczy dielektryka z uwzględnieniem zjawisk polaryzacji (R_{pi} , C_{pi})
 Fig.3. Equivalent circuit of dielectric taking into account polarization phenomena (R_{pi} , C_{pi})

Po uwzględnieniu podanego schematu zastępczego dielektryka w układzie pomiarowym, przedstawionym na rys.1 (w miejsce próbki P), i po przeprowadzeniu odpowiedniej analizy matematycznej otrzymuje się charakterystykę napięcia powrotnego analogiczną do podanej na rys.2 [3], [6]. W praktyce najczęściej można przyjąć, zależnie od rodzaju dielektryka i warunków pomiaru, że jedna z gałęzi [R_{pi} , C_{pi}] wykazuje wyraźną dominację nad pozostałymi i wówczas schemat zastępczy dielektryka upraszcza się do schematu trójgałęzowego (R_g , C_g , [R_p , C_p]), co znacznie upraszcza analizę.

Zwróćmy uwagę, że w dielektrykach mogą występować różne rodzaje polaryzacji (elektrowna, atomowa, dipolowa, ładunku przestrzennego), charakteryzujące się silnie zróżnicowanymi czasami relaksacji (od 10^{-14} do kilku tysięcy sekund) [3]. W schemacie zastępczym odpowiada to takim samym wartościom stałych czasowych R_{pi} , C_{pi} . Należy zatem liczyć się z możliwością wystąpienia bardzo dużych rezystancji R_{pi} (rzędu TW i więcej), jak również dużych pojemności C_{pi} (rzędu dziesiątek μF), co w układzie pomiarowym z rys.1 w istotny sposób utrudnia dobranie woltomierza (o wystarczająco dużej rezystancji wejściowej).

Z przedstawionych wywodów wynika, że wystąpienie napięcia powrotnego uwarunkowane jest odpowiednią procedurą pomiarową oraz stanem badanego dielektryka. Stan dielektryka decyduje o intensywności występowania różnych rodzajów polaryzacji (i tym samym o wartościach poszczególnych parametrów schematu zastępczego), a więc może zaistnieć przypadek, w którym przy właściwej procedurze pomiarowej na badanym dielektryku nie wystąpi napięcie powrotne.

Prawidłowy pomiar napięcia powrotnego, oprócz zapewnienia odpowiedniej procedury pomiarowej, wymaga jeszcze spełnienia innych warunków, a mianowicie:

- dostosowania układu pomiarowego do pracy przy wysokich napięciach zasilania U_0 (od kilkuset V do kilku kV), gdyż jest to wymagane w badaniach większości dielektryków (zwłaszcza w badaniach izolacji transformatorów elektroenergetycznych),
- zapewnienia, aby w układzie pomiarowym nie występowały prądy upływu, tzn. pomiar powinien być realizowany w układzie izolowanym,

- zapewnienia wystarczająco dużej rezystancji woltomierza V mierzącego (rejestrującego) napięcie powrotne.

Wymagania te są bardzo trudne do jednoczesnego spełnienia.

Duża wartość napięcia zasilania U_0 powoduje powstanie dużych różnic potencjałów na zaciskach przełączników i na zaciskach układu mierzącego napięcie. Zastosowanie w roli przełączników elektronicznych — kluczy analogowych nie jest wskazane ze względu na niewielki zakres przełączanych przez nie napięć (maksymalnie do około 100 V). Natomiast zastosowanie jako przełączników — tranzystorów polowych byłoby satysfakcjonujące pod względem przełączanych napięć (do 1 kV), jednak nie gwarantowałyby wystarczająco małych upływności (prąd upływności tranzystora zasilanego pełnym napięciem może osiągać wartość kilkudziesięciu μA). Wydaje się, że najbardziej odpowiednie byłyby wysokonapięciowe kontaktrony, gdyż posiadają one odpowiednio duży zakres przełączanych napięć (do kilkunastu kV) oraz stosunkowo dużą rezystancję pomiędzy stykami (rzędu 1 T Ω). Jednak przy różnicy napięć pomiędzy stykami rzędu 1 kV prąd upływu będzie miał wartość rzędu 1 nA, co w niektórych przypadkach może się okazać wartością niedopuszczalnie dużą.

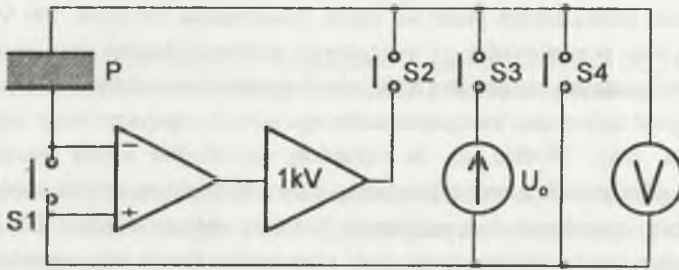
Podobnie trudnym do rozwiązania problemem jest zapewnienie wystarczająco dużej rezystancji woltomierza V mierzącego (rejestrującego) napięcie powrotne, które w opisanych warunkach może przybierać wartości do kilkuset V. Zastosowanie wysokoomowego, rezystancyjnego dzielnika napięcia (np. o rezystancji wejściowej rzędu 100 M Ω) może się okazać niewystarczające (przy napięciach rzędu 1 kV prąd wejściowy dzielnika będzie przybierał wartości rzędu 10^{-5} A). Separacja rezystancyjnego dzielnika pomiarowego za pomocą wtórnika napięciowego, oczywista w układach niskonapięciowych, jest praktycznie niemożliwa ze względu na zbyt mały zakres napięciowy dostępnych na rynku wzmacniaczy operacyjnych oraz ich bardzo wysoką cenę (wzmacniacze operacyjne 3583 oraz 3584 firmy Burr Brown mają prądy wejściowe na poziomie kilkudziesięciu pA oraz zakresy napięć wejściowych i wyjściowych na poziomie 300 V [9], za cenę około tysiąca złotych; hybrydowy wzmacniacz operacyjny PA89 firmy APEX oferuje prądy wejściowe na poziomie kilku pA oraz zakresy napięć wejściowych i wyjściowych na poziomie 1000 V [10], lecz w Polsce jest jeszcze niedostępny).

Ostatecznie, w dalszej części artykułu zostanie przedstawione rozwiązanie układu pomiarowego, w którym opisane wyżej problemy będą w znacznym stopniu wyeliminowane.

3. PROPONOWANY UKŁAD POMIAROWY

Na rys.4 przedstawiono schemat ideowy proponowanego układu do pomiaru napięć powrotnych. W porównaniu z klasycznym układem pomiarowym, podanym na rys.1, w układzie z rys.4 przerwano obwód łączący niskonapięciową elektrodę badanej próbki z niskonapięciowym zaciskiem generatora U_0 (tzn. z masą) i w to miejsce włączono wzmacniacz

operacyjny, sterujący (poprzez obwód ujemnego sprzężenia zwrotnego) potencjałem wysokonapięciowej elektrody badanej próbki w taki sposób, aby potencjał elektrody niskonapięciowej był praktycznie równy potencjałowi masy. W ten sposób następuje skompensowanie (a więc praktycznie całkowita eliminacja) prądów upływu wysokonapięciowej elektrody badanej próbki (m. in. prądów upływu woltomierza V oraz przełączników S3, S4 — w stanie otwartym).



Rys.4. Schemat ideowy proponowanego układu do pomiaru napięć powrotnych w dielektrykach (faza I: S1, S3 - zwarte, S2, S4 - otwarte; faza II: S1, S4 - zwarte, S2, S3 - otwarte; faza III: S2 - zwarty, S1, S3, S4 - otwarte)

Fig.4. Schematic diagram of the suggested circuit for measurement of recovery voltages in dielectrics (stage I: S1, S3- closed, S2, S4 - open; stage II: S1, S4 - closed, S2, S3 - open, stage III: S2 - closed, S1, S3, S4 - open)

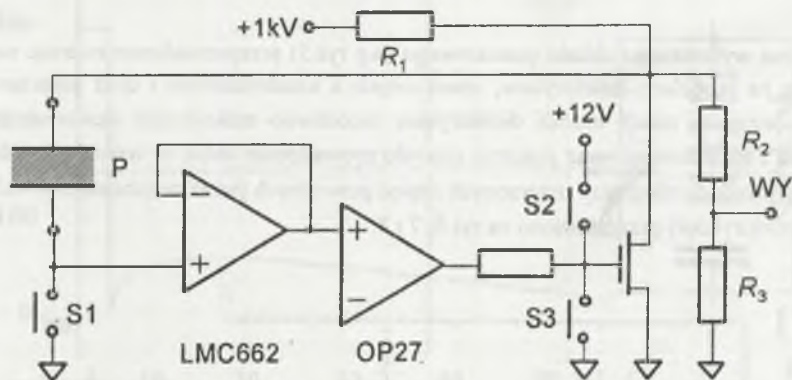
Zauważmy ponadto, że zastosowany wzmacniacz operacyjny może być wzmacniaczem niskonapięciowym, a więc odznaczającym się (w nowoczesnych rozwiązaniach) bardzo małym prądem polaryzacji, na przykład dla wzmacniacza INA116 firmy Burr Brown lub LMC662 firmy National Semiconductor — są to prądy rzędu pojedynczych femtoamperów [11].

Prąd płynący przez elektrodę niskonapięciową badanej próbki jest sumą prądu płynącego przez badaną próbkę oraz prądu polaryzacji wzmacniacza i prądu upływu izolacji elektrody niskonapięciowej. Oczywiście, prądy polaryzacji i upływu są prądami zakłócającymi. Przy prądzie polaryzacji wzmacniacza rzędu femtoamperów zasadnicze znaczenie ma tutaj prąd upływu, który może wielokrotnie przewyższać wartość prądu polaryzacji. Z tego względu staranna izolacja i ekranowanie niskonapięciowego węzła mają pierwszorzędne znaczenie dla poprawności działania układu. Ostatecznie, możliwe jest praktyczne wyeliminowanie wpływu prądów zakłócających w niskonapięciowej elektrodzie badanej próbki.

W układzie z rys.4, w porównaniu z klasycznym układem z rys.1 — zastosowano więcej (i inaczej usytuowanych) przełączników S1 ÷ S4, jednak poszczególne fazy pomiarowe muszą być takie same. Odpowiedni algorytm przełączania przełączników podany jest na rys.4.

Zwróćmy uwagę, że dopiero w fazie III (pomiaru napięcia powrotnego) następuje włączenie badanego dielektryka w obwód ujemnego sprzężenia zwrotnego wzmacniacza operacyjnego, poprzez rozwarcie przełącznika S1 i zwarcie przełącznika S2. Wówczas następuje skompensowanie prądów upływu przełączników S3 i S4 oraz woltomierza V.

Na podstawie opisanej koncepcji układu pomiarowego (wg rys.4.) wykonano odpowiedni model fizyczny układu, który następnie poddano weryfikacji doświadczalnej. Uproszczony schemat wykonanego modelu przedstawiono na rys.5.



Rys.5. Uproszczony schemat ideowy wykonanego modelu układu pomiarowego według koncepcji z rys.4 (faza I: S1, S3 - zwarte, S2 - otwarty, faza II: S1, S2, S3 - zwarte, faza III: S1, S2, S3 - otwarte)

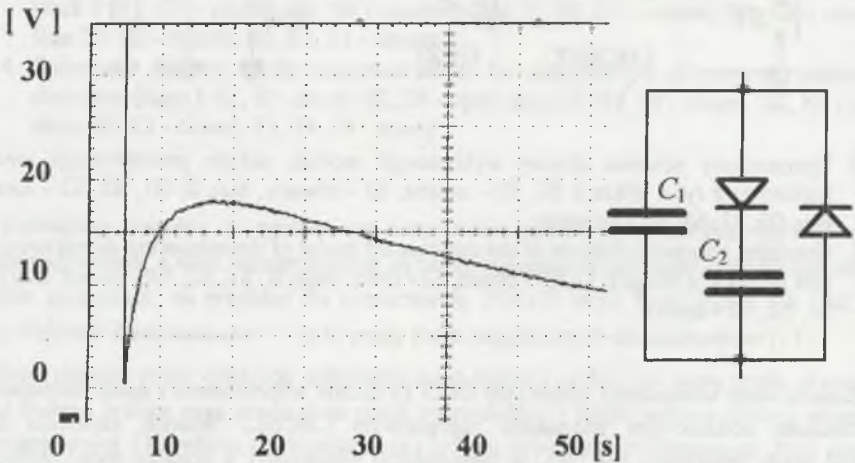
Fig.5. Simplified schematic diagram of the constructed model of the measuring circuit using the idea from Fig.4 (stage I: S1, S3 - closed, S2 - open, stage II: S1, S2, S3 - closed, stage III: S1, S2, S3 - open)

Zastosowany wzmacniacz operacyjny OP27 (o dużym wzmocnieniu i dużej dokładności) poprzedzono dodatkowym wtórnikiem napięciowym LMC662. Wtórnik zapewnia niską wartość prądu polaryzacji (ok. 2fA, w temperaturze pokojowej), a ponadto może służyć do polaryzacji ekranu otaczającego węzeł niskonapięciowy (przy elektrodzie niskonapięciowej badanej próbki), gdyż potencjał wyjścia wtórnika jest praktycznie równy potencjałowi niskonapięciowego węzła. Jako przełącznik S1 zastosowano przekaźnik kontaktronowy. Obydwa styki kontaktronu są zawsze na potencjale zerowym, niezależnie od tego czy są zwarte czy otwarte, dlatego nawet niezbyt duże wartości rezystancji izolacji pomiędzy stykami gwarantują znikomo mały prąd upływu. Wysokonapięciowe wyjście wzmacniacza zrealizowano w postaci pojedynczego, wysokonapięciowego tranzystora polowego mocy. Ten sam tranzystor wykorzystano do wymuszenia napięcia U_0 ładującego badaną próbkę dielektryka w pierwszej fazie pomiaru. Odbywa się to przez zwarcie elektronicznego klucza S3, co powoduje

kolejno: przerwanie pętli sprzężenia zwrotnego, całkowite wyłączenie tranzystora i naładowanie badanej próbki poprzez rezystor R_1 ($R_1 \ll R_2 + R_3$). Faza rozładowania inicjowana jest przez zwarcie elektronicznego klucza S2, co podtrzymuje przerwanie pętli sprzężenia zwrotnego, powoduje pełne wystereowanie tranzystora i rozładowanie pojemności badanego obiektu przez rezystancję dren-źródło tranzystora.

4. WYNIKI BADAŃ, WNIOSKI

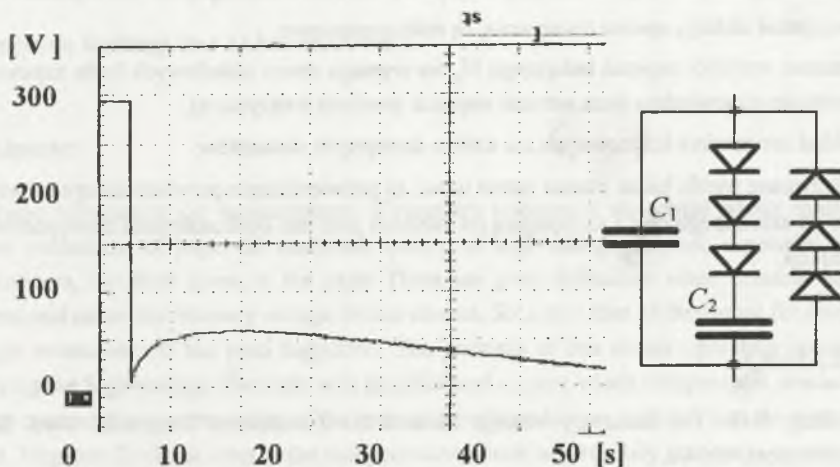
Badania wykonanego układu pomiarowego (wg rys.5) przeprowadzono mierząc napięcia powrotne na modelach dielektryków, utworzonych z kondensatorów i diod półprzewodnikowych; przyjęcie takich modeli dielektryków umożliwiło maksymalne skrócenie czasów ładowania i rozładowania oraz znacznie ułatwiło prowadzenie badań w warunkach laboratoryjnych. Wybrane oscylogramy zmierzonych napięć powrotnych (wraz ze schematami badanych modeli dielektryków) przedstawiono na rys.6, 7 i 8.



Rys.6. Oscylogram napięcia powrotnego przy $U_0 = 100$ V, $C_1 = 1$ nF, $C_2 = 3,9$ nF
 Fig.6. Oscillogram of the recovery voltage for $U_0 = 100$ V, $C_1 = 1$ nF, $C_2 = 3,9$ nF

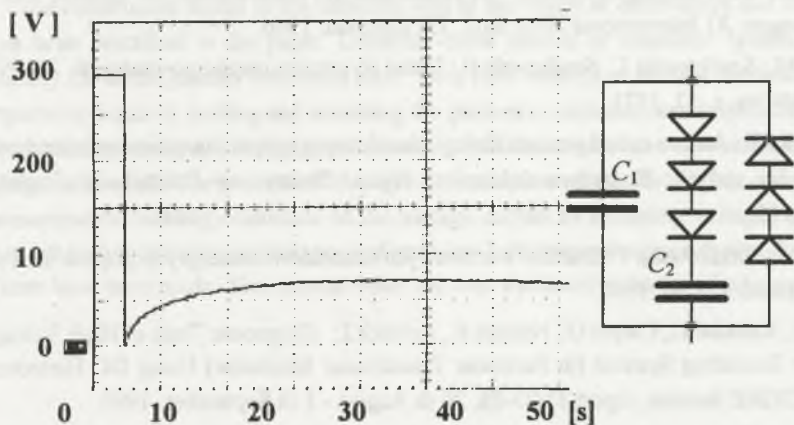
Przeprowadzone badania miały na celu wstępne zweryfikowanie zaproponowanej koncepcji pomiaru napięć powrotnych. W celu zorientowania się, jakiego rzędu są prądy upływu w zrealizowanym układzie pomiarowym (jest to podstawowe źródło błędów pomiarowych w tego typu układach) — zarejestrowano zmiany napięcia na kondensatorze o znanej

pojemności i bardzo małej upływności w przeciągu długiego czasu. Stąd obliczono, że całkowity prąd upływu jest rzędu dziesiątych części pA. Zwróćmy uwagę, że zmiany napięcia na kondensatorze wywołują nie tylko „zewnętrzne” prądy upływu, ale również zjawisko samorozładowania, a zatem przeprowadzone oszacowanie prądu upływu („zewnętrznego”) zostało z pewnością określone z nadmiarem.



Rys.7. Oscylogram napięcia powrotnego przy $U_0 = 300$ V, $C_1 = 0,5$ nF, $C_2 = 0,33$ nF

Fig. 7. Oscillogram of the recovery voltage for $U_0 = 300$ V, $C_1 = 0,5$ nF, $C_2 = 0,33$ nF



Rys.8. Oscylogram napięcia powrotnego przy $U_0 = 300$ V, $C_1 = 1$ nF, $C_2 = 1$ nF

Fig. 8. Oscillogram of the recovery voltage for $U_0 = 300$ V, $C_1 = 1$ nF, $C_2 = 1$ nF

W toku przeprowadzonych badań potwierdzone zostały również pewne, korzystne cechy zaproponowanej konstrukcji układu pomiarowego, a mianowicie:

- wejście wzmacniacza znajduje się stale na potencjale zerowym, co zapewnia łatwe izolowanie i ekranowanie niskonapięciowego węzła,
- na stykach kontaktronu, niezależnie od jego stanu, panuje zerowa różnica potencjałów, co gwarantuje minimalną wartość prądu upływu pomiędzy niskonapięciowym węzłem i masą,
- wszystkie układy, oprócz tranzystora, są niskonapięciowe,
- zmiana wartości napięcia ładującego U_0 nie wymaga zmian układowych (o ile zapewniona zostanie odpowiednio duża wartość napięcia przebicia tranzystora),
- układ nie zawiera kosztownych ani trudno dostępnych elementów.

Otrzymane wyniki badań można zatem uznać za potwierdzające przydatność opracowanego układu do założonego celu i zachęcające do dalszych prac nad doskonaleniem zaproponowanej konstrukcji.

LITERATURA

1. Schlag A.G.: The Recovery Voltage Method for Transformer Diagnosis. Wyd. Tettex Instrument, 1994/5.
2. Gross B.: On Discharge Voltage and Return Voltage Curves for Absorptive Capacitors. Physical Review, Vol. 62, Nr 1, 15, 1942.
3. Vajda D.: Issledowanija powreždienij izolacji. Tłum. z węg., wyd. Energija, Moskwa 1968.
4. Nemeth E.: Zerst rungsfreie Pr fung von Isolationen mit der Methode der Entlade und R ckspannungen. XI International Wiss. Koll. TH Illmenau, 1966.
5. Pluciński M., Szadkowska T., Szadkowski B.: Układ do pomiaru napięć powrotnych. ZN Pol. Śl. s. Elektryka, z. 37, 1973.
6. Szadkowska T.: Analiza metod pomiaru funkcji charakteryzującej wolnozmiennie polaryzacje dielektryków stałych. Rozprawa doktorska, Wyd. Elektryczny Politechniki Śląskiej, Gliwice 1975.
7. Pluciński M., Szadkowska T.: Badanie warstwowych materiałów izolacyjnych prądem stałym. Przegląd Elektr., nr 10, 1967.
8. Bognar A., Kalocsai L., Csepes G., Nemeth E., Schmidt J.: Diagnostic Tests of High Voltage Oil-Paper Insulating Systems (in Particular Transformer Insulation) Using DC Dielectrometrics. CIGRE Session, report 15/33-08, 26 th August - 1 th September, 1990.
9. Burr-Brown Corporation: 3583/3584 High Voltage, High Current Operational Amplifier. Burr-Brown Integrated Circuits Data Book - Linear Products 1996/1997, str. 3.2.101-3.2.110, USA, 1996.

10. Apex Mikrotechnology Corporation: High Voltage Power Operational Amplifiers PA89. Data sheet: http://www.TeamApex.com/apex_pdf/power_op_amps/pa89.pdf, USA, 1996.
11. National Semiconductor Corporation: LMC662 CMOS Dual Operational Amplifier. Operational Amplifiers Databook - 1993 Edition, str. 1.709 - 1.718, USA, 1992.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zygmunt Kuśmierk

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 kwietnia 1998 r.

Abstract

Basic information on measurements of recovery voltages in dielectrics which enable the precise evaluation of paper-oil insulation quality of high-voltage devices, especially power transformers, has been given in the paper. There are great difficulties when constructing the conventional circuit for recovery voltage measurements. So a new idea of the circuit for recovery voltage measurements has been suggested. The principle of this circuit operation consists in supplying the high-voltage electrode with an additional current which compensates precisely all leakage currents due to connection of the measuring voltage source, switches and the measuring circuit. Negative feedback loop in the compensation circuit ensures fully automatic operation of the circuit. The new construction is simple and it does not have any expensive (but the high-voltage final control transistor) and commercially unobtainable electronic elements. It provides simple and efficient insulating and shielding of the most hazarded circuit parts and easy programming of the measuring voltage value, as well.

The constructed model of the circuit as well as the results of observation and measurements have been described in the paper. Capacitor-diode models of insulation system worked out specially for investigations have been used. They have enabled to shorten the tests because the preparatory stages i.e. loading and unloading the geometric capacitance of insulation system have been limited to minimum. So the tests have comprised the stage of measurement of the recovery voltage above all. Correctness of the new construction of the circuit has been confirmed. Measurements enabling evaluation of the leakage current by recording voltage changes of the capacitor with the known capacitance and very low leakage conductance during the long period of time have been made. This current value has been evaluated as tenths of pA.