

MIECZYSLAW PLUCIŃSKI, TERESA SZADKOWSKA,
BRUNON SZADKOWSKI

Katedra Technologii i Metrologii Elektrycznej

O PEWNYCH PRAKTYCZNYCH ASPEKTACH NISKOCZĘSTOTLIWOŚCIOWYCH
BADAŃ WARSTWOWYCH MATERIAŁÓW ELEKTROIZOLACYJNYCH

Streszczenie. Przedstawiono przegląd informacji dotyczących badań dielektryków w zakresie niskich częstotliwości ze szczególnym uwzględnieniem tych badań, które dotyczą możliwości oceny stanu izolacji (stopień zawilgocenia, uszkodzenia mechaniczne, zabrudzenia itp.). Zwrócono uwagę na charakterystyczne własności dyspersyjnych zmian pojemności, przewodności oraz współczynnika strat dielektrycznych w obszarze występowania zjawiska polaryzacji warstwowej.

1. Wstęp

Badania profilaktyczne warstwowych materiałów elektroizolacyjnych maszyn elektrycznych, transformatorów itp. mają m.in. na celu określenie stopnia pogorszenia się badanej izolacji. Obniżenie dobroci izolacji jest najczęściej powodowane zawilgoceniem, tworzeniem się porów sprzyjających penetracji wilgoci oraz intensywnej jonizacji, która wywołuje zwęglenie i utlenienie powierzchni. Czynniki te przeważnie decydują o makroskopowej strukturze układu izolacyjnego, o zmianach w jego stopniu niejednorodności. Zmiany struktury makroskopowej wpływają z kolei przede wszystkim na intensywność występowania zjawiska polaryzacji warstwowej [3]. Oznaczałoby to, że poprzez pomiary parametrów związanych z polaryzacją warstwową możliwe jest dokonanie oceny stanu izolacji. Zagadnieniu temu

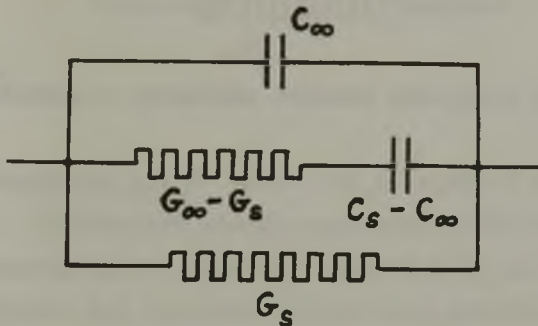
poświęcono m.in. prace [2], [10], [11], wskazując na celowość przeprowadzania pomiarów współczynnika stratności dielektrycznej, pojemności, prądu absorpcji, oporności izolacji w funkcji czasu, napięcia, temperatury itp.

Zjawisko polaryzacji warstwowej może być również wyraźnie obserwowane podczas badania zmienności parametrów dielektryku w funkcji częstotliwości tzn. dyspersji tych parametrów. Nie dotyczy to jednak dowolnie szerokiego pasma częstotliwości, bowiem okres zmian pola elektrycznego działającego na badany dielektryk winien być współmierny z czasem relaksacji badanego zjawiska polaryzacji. Jedynie w tym przypadku intensywność występowania zjawiska polaryzacji jest największa. Ponieważ czasy relaksacji polaryzacji warstwowej osiągają wartości od ułamków sekundy aż do minut, a nawet godzin, polaryzacja warstwowa będzie najlepiej obserwowana w zakresie od bardzo małych częstotliwości podakustycznych (10^{-5} Hz) do początkowych, niewielkich wartości pasma akustycznego. Wobec tego, pod pojęciem "niskoczęstotliwościowych badań warstwowych materiałów izolacyjnych" przyjęto rozumieć badania dyspersji parametrów izolacji w obszarze występowania polaryzacji warstwowej. Badania niskoczęstotliwościowe zapoczątkowane zostały najpóźniej (po 1950 r.) i stanowią istotne uzupełnienie posiadanych do tego czasu informacji, uzyskiwanych z badań stałoprądowych oraz zmiennoprądowych przy częstotliwościach 50 Hz i większych.

2. Dyspersja w obszarze występowania polaryzacji warstwowej

Dyspersji mogą ulegać wszelkie parametry określające własności dielektryku. W dalszych rozważaniach ograniczono się do przedstawienia następujących parametrów: pojemność, przewodność oraz współczynnik strat dielektrycznych $\text{tg}\delta$. Jako podstawę rozważań przyjęto model Maxwella-Wagnera dwuwarstwowego dielektryku, w odniesieniu do którego założono, że w interesującym nas zakresie częstotli-

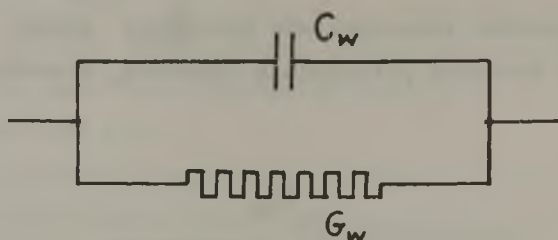
wości oraz temperatur roboczych nie występuje zmiana właściwości dielektrycznych wywołana polaryzacją dipolową, atomową lub elektronową.



Rys. 1. Schemat zastępczy dielektryku z uwzględnieniem polaryzacji warstwowej

Jak wykazano w pracy [10], schemat zastępczy dwuwarstwowego dielektryku z uwzględnieniem polaryzacji warstwowej złożony jest z trzech równolegle połączonych gałęzi. Elementy gałęzi tak przedstawionego schematu (rys. 1) mają wartości niezmiennie z częstotliwością i wyznaczane są przy $\omega = 0$ (C_s , G_s - wielkości statyczne) oraz przy $\omega = \infty$ (C_∞ , G_∞ - wielkości optyczne). Polaryzację warstwową reprezentuje gałąź złożona z elementów ($G_\infty - G_s$) oraz ($C_s - C_\infty$). Gałąź ta nie istnieje w przypadku, gdy nie występują zjawiska polaryzacji. Wtedy wielkości statyczne G_s i C_s są odpowiednio równe wielkościom optycznym G_∞ i C_∞ np. w dielektrykach jednorodnych.

Rozważany dielektryk warstwowy można w dalszym ciągu traktować jako układ o wypadkowej przewodności G_w i wypadkowej pojemności C_w połączonych równolegle. Jednakże w tak przedstawionym schemacie zastępczym dielektryku (rys. 2) parametry wypadkowe G_w i C_w są funkcjami częstotliwości.



Rys. 2. Klasyczny schemat zastępczy dielektryku

Częstotliwościowe funkcje $G_w(\omega)$ oraz $C_w(\omega)$ określają dyspersję tych parametrów i dla rozważanego układu dielektryku warstwowego mogą być wyznaczone na podstawie schematu przedstawionego na rys.

1. Obliczając wypadkową admitancję otrzymuje się ostatecznie:

$$\begin{aligned}
 Y &= \left[G_s + \frac{(G_\infty - G_s) \omega^2 \tau^2}{1 + \omega^2 \tau^2} \right] + j\omega \left[C_\infty + \frac{(C_s - C_\infty)}{1 + \omega^2 \tau^2} \right] = \\
 &= G_w + j\omega C_w
 \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie: $\tau = \frac{C_s - C_\infty}{G_\infty - G_s}$

Otrzymane stąd funkcje $G_w(\omega)$ i $C_w(\omega)$ wyrażone są zależnościami (2) i (3):

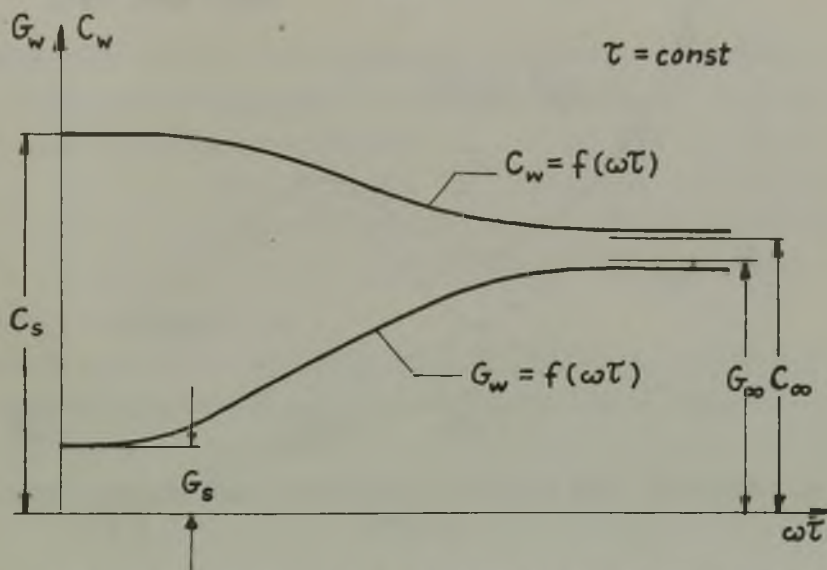
$$G_w(\omega) = G_s + \frac{(G_\infty - G_s) \omega^2 \tau^2}{1 + \omega^2 \tau^2} = \frac{G_s + G_\infty \omega^2 \tau^2}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (2)$$

$$C_w(\omega) = C_\infty + \frac{(C_s - C_\infty)}{1 + \omega^2 \tau^2} = \frac{C_s + C_\infty \omega^2 \tau^2}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (3)$$

Zmienność przewodności i pojemności wypadkowych rozpatrywanego układu w funkcji częstotliwości (lub w funkcji $\omega\tau$ przy $\tau = \text{const}$)

podaje rys. 3. Współczynnik strat dielektrycznych $\text{tg} \delta$ można określić z równania (1)

$$\text{tg} \delta = \frac{G_s + G_\infty \omega^2 \tau^2}{\omega(C_s + C_\infty \omega^2 \tau^2)} \quad (4)$$



Rys. 3. Zmienność przewodności i pojemności wypadkowych dielektryku warstwowego w funkcji częstotliwości

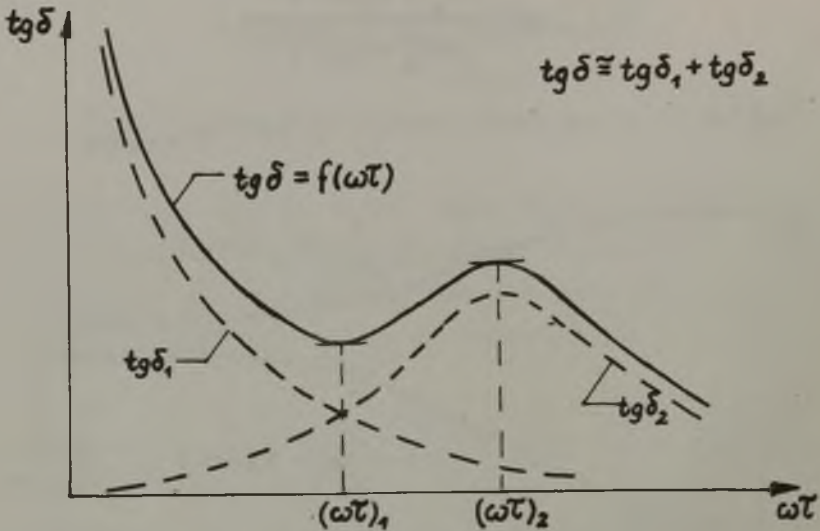
Przy założeniu, że G_s , G_∞ , C_s oraz C_∞ nie zależą od częstotliwości widać, że gdy:

$$\omega = 0 \quad \text{to} \quad \text{tg} \delta = \infty$$

$$\omega = \infty \quad \text{to} \quad \text{tg} \delta = 0$$

poza tym w granicach $0 < \omega < \infty$ współczynnik strat dielektrycznych ma jedno minimum i jedno maksimum występujące przy:

$$(\omega\tau)_{1,2} = \sqrt{\frac{(C_S G_{\infty} - 3 C_{\infty} G_S) \pm \sqrt{(C_S G_{\infty} - 3 C_{\infty} G_S)^2 - 4 G_S G_{\infty} C_S C_{\infty}}}{2 G_{\infty} C_{\infty}}}$$



Rys. 4. Zmienność $\operatorname{tg} \delta = f(\omega\tau)$ dielektryku warstwowego przy $\tau = \text{const}$

Zmienność współczynnika strat dielektrycznych w funkcji częstotliwości (lub w funkcji $\omega\tau$ przy $\tau = \text{const}$) przedstawia rys. 4. Zależność (4) może być z niewielkim błędem przedstawiona w postaci:

$$\operatorname{tg} \delta \approx \frac{G_S}{\omega C_{\infty}} + \frac{(C_S - C_{\infty})\omega\tau}{C_S + G_{\infty}\omega^2\tau^2} = \operatorname{tg} \delta_1 + \operatorname{tg} \delta_2 \quad (5)$$

Wartość $\operatorname{tg} \delta_1$ odpowiada schematowi zastępczemu (rys. 1) z pominięciem gałęzi reprezentującej efekt polaryzacji i maleje z częstotliwością, gdyż jest związana z przewodnością rzeczywistą (przede wszystkim jonową) dielektryku warstwowego. Wartość $\operatorname{tg} \delta_2$ (przy pominięciu gałęzi G_S wg rys. 1) jest związana ze zjawiskiem po-

laryzacji warstwowej i przechodzi przez charakterystyczne maksimum które występuje przy:

$$\omega\tau = \sqrt{\frac{C_B}{C_{\infty}}} \text{ lub przy } \frac{1}{2} T = \pi \sqrt{\frac{C_{\infty}}{C_B}} \tau$$

Przedstawiona na rys. 3 i 4 dyspersja parametrów dielektryku w obszarze występowania polaryzacji warstwowej odznacza się charakterystycznymi przebiegami (narastanie G_w od G_s do G_{∞} , malenie C_w od C_s do C_{∞} , lokalne maksimum $\text{tg}\delta$) widocznymi tym wyraźniej, im bardziej niejednorodny jest dielektryk. Przebiegi te występują w ograniczonym zakresie częstotliwości, współmiernych z odwrotnością stałej czasowej τ .

Rozważane parametry dielektryku (G_w , C_w , $\text{tg}\delta$) są najczęściej stosowanymi parametrami w profilaktycznych badaniach izolacji maszyn elektrycznych, transformatorów itp. Z tego też powodu do nich ograniczono dyskusję znacznie bardziej obszernego zagadnienia dyspersji, zamierzając rozszerzyć interpretację i zakres uzyskiwanych w praktyce pomiarowej wyników.

3. Możliwości oceny stanu izolacji

O niedoskonałości stosowanych dotychczas metod badań materiałów elektroizolacyjnych w wielu przypadkach decyduje stosunkowo niewielka ich czułość, tzn. wpływ zmian parametrów określających stan badanej izolacji (stopień zawilgocenia, uszkodzenia mechaniczne, udział zanieczyszczeń itp.) na zmiany parametrów mierzonych (C_w , G_w , $\text{tg}\delta$ itp.) nie zawsze jest wystarczająco duży.

Z krzywych przedstawionych na rys. 3 i 4 wynika, że wartości parametrów mierzonych są wielokrotnie większe przy częstotliwościach obejmujących pasmo występowania polaryzacji warstwowej, a więc najczęściej w zakresie małych i bardzo małych częstotliwości

podakustycznych. Strata mocy w układzie izolacyjnym liczona z uwzględnieniem wpływu polaryzacji, tzn. biorąc pod uwagę, że:

$$P = U^2 G_w = U^2 \left[G_B + \frac{\omega^2 \tau^2 (G_\infty - G_B)}{1 + \omega^2 \tau^2} \right]$$

może być dużo większa (praktycznie nawet 100-krotnie) od obliczonej tylko z ustalonego prądu upływu i równej $U^2 G_B$ [10].

Pozwala to wyrazić przypuszczenie, że czułość pomiarów niskoczęstotliwościowych może osiągnąć wartości znacznie większe od pomiarów wykonywanych przy częstotliwości 50 Hz i większych. Przypuszczenia takie znalazły już potwierdzenie w opracowaniach innych autorów [4], [10], [13] dotyczących oceny stopnia zawilgocenia izolacji metodą "pojemność - częstotliwość". Autorzy wymienionych prac wskazują, że zmienność pojemności w funkcji stopnia zawilgocenia jest wyraźnie zauważalna w zakresie częstotliwości 1...50 Hz, a w niektórych przypadkach ulega dalszemu wzrostowi jeśli rozszerzyć zakres częstotliwości w kierunku częstotliwości mniejszych od 1 Hz.

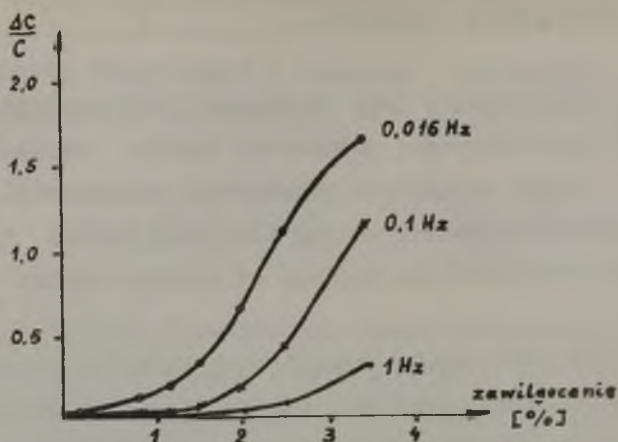
Przedstawione w rozdziale 2 zależności na wyznaczenie C_w , G_w , i $\text{tg } \delta$ można traktować jako złożone z dwóch członów: "przewodnościowego" oraz "polaryzacyjnego" (równ. 2, 3 i 5). Człony "polaryzacyjne" wykazują znacznie większą zmienność pod wpływem zmian stanu izolacji, niż człony "przewodnościowe" [10]. Parametrami stanu izolacji mogą być tutaj oprócz stopnia zawilgocenia również wszystkie inne czynniki, które decydują o niejednorodności układu izolacyjnego, np. udział zanieczyszczeń lub domieszek obcych substancji, uszkodzenia mechaniczne, zabrudzenia itp. Zatem głównie obserwacja zmienności członów "polaryzacyjnych" może służyć jako kryterium oceny stopnia pogorszenia się izolacji. Pomiarowe wyodrębnienie członu "polaryzacyjnego" nie zostało jeszcze opracowa-

ne, niemniej obserwowanie jego zmienności jest wystarczająco dobre o ile zakres częstotliwości pomiarowej będzie współmierny z odwrotnościami czasów relaksacji polaryzacji warstwowej. Wówczas w równaniu na badany parametr udział ilościowy członu "polaryzacyjnego" może być wielokrotnie większy od udziału członu "przewodnościowego".

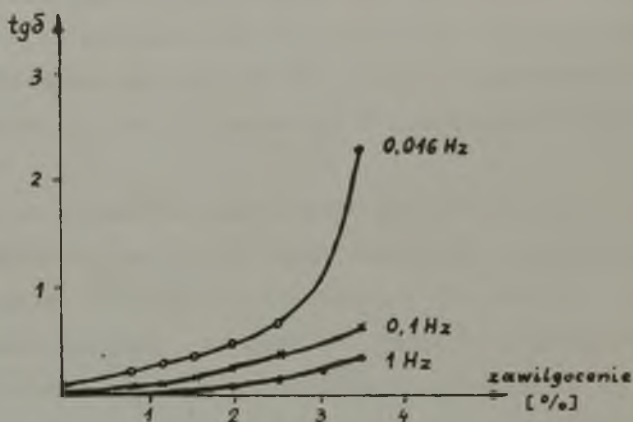
Zastosowanie niskoczęstotliwościowych badań do oceny stanu izolacji jest aktualnie najnowszym zagadnieniem, znajdującym się w stadium opracowań laboratoryjnych oraz początkowych eksperymentów w skali przemysłowej. Główną przyczyną, z powodu której badania te nie mogły być przeprowadzane wcześniej, były trudności związane z budową aparatury pomiarowej na tak małe częstotliwości. W ostatnich latach uzyskano w tej dziedzinie znaczny postęp, stwarzając możliwości przeprowadzania pomiarów w bardzo szerokim zakresie częstotliwości podakustycznych tj. nawet do 10^{-5} Hz włącznie [7], [8], [9], [12], [14].

Do badań niskoczęstotliwościowych zaliczyć można m.in. wymienione metody "pojemność - częstotliwość". Są to w zasadzie jedyne badania, które już znalazły zastosowanie w praktyce eksploatacyjnej układów izolacyjnych do oceny ich stopnia zawilgocenia. Wydaje się jednak, że w najbardziej ogólnym rozumieniu koncepcji niskoczęstotliwościowych badań, metody "pojemność - częstotliwość" należałoby uzupełnić o zdjęcie pełnej charakterystyki $C_w = f(\omega)$. Z takiej charakterystyki można by uzyskać znacznie więcej informacji o obiekcie badanym, m.in. o jego stopniu zawilgocenia. Zamiast wyniku w postaci dwóch punktów charakterystyki $C_w = f(\omega)$ (C_2 oraz C_{50}) określony byłby pełny obraz dyspersji C_w , z którego bezpośrednio wynikałby optymalny zakres częstotliwości, nie zawsze pokrywający się z ogólnie przyjętym: 2 ... 50 Hz.

Badania przeprowadzone przez Bouvier i Morela [1] na modelu kondensatora złożonego z 10 warstw bibułki papierowej wykazują, że w

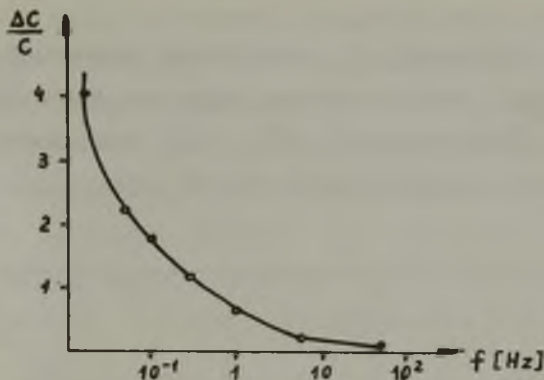


Rys. 5. Zależność względnej pojemności od zawilgocenia dla różnych wartości częstotliwości pomiarowych



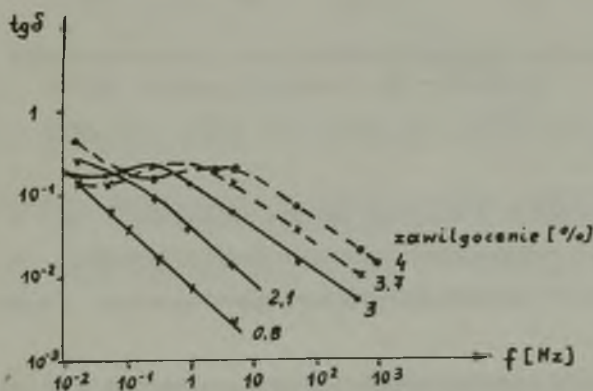
Rys. 6. Zależność współczynnika strat dielektrycznych od zawilgocenia dla różnych wartości częstotliwości pomiarowych

miarę obniżania częstotliwości pomiarowej wpływ zawilgocenia na zmiany parametrów mierzonych jest większy (rys. 5 i 6). Również zmienność względnej pojemności $\frac{\Delta C}{C}$ w funkcji częstotliwości jest większa w obszarze częstotliwości niższych (rys. 7).



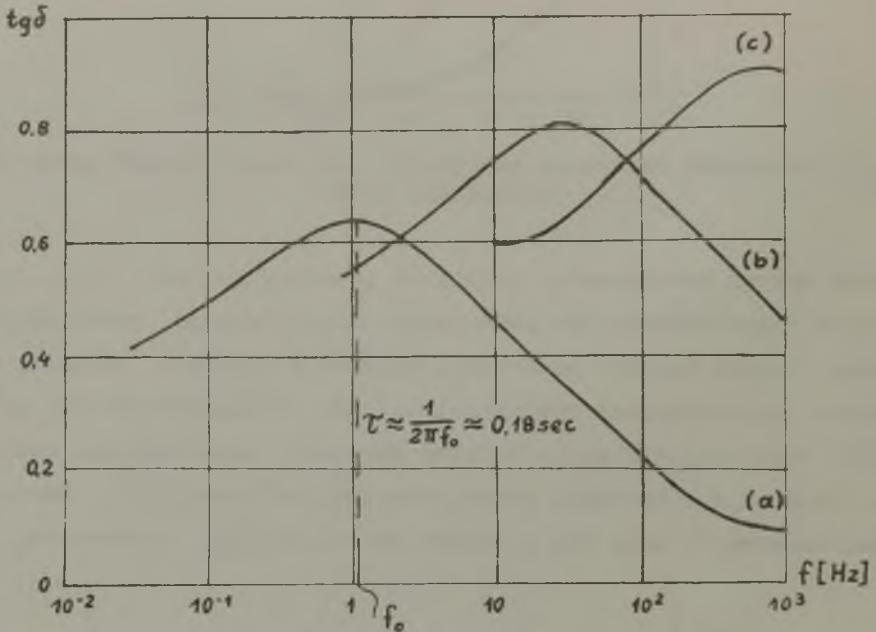
Rys. 7. Zależność względnej pojemności od częstotliwości przy zawilgoceniu 3,7%

Badania wpływu zawilgocenia próbki na przebieg krzywej $\text{tg} \delta = f(\omega)$ wykazały charakterystyczne przesuwanie się lokalnego maksimum tej krzywej w miarę wzrostu zawartości wilgoci w obiekcie badanym, w kierunku częstotliwości wyższych (rys. 8). Z charakterystyk $\text{tg} \delta = f(\omega)$, w których występuje lokalne maksimum, można uzyskać dodatkowo informacje o wartości stałej czasowej relaksacji τ . Wartość stałej czasowej τ może być z dobrym przybliżeniem wyznaczona ze



Rys. 8. Zależność współczynnika strat dielektrycznych od częstotliwości dla różnego stopnia zawilgocenia

znajomości częstotliwości f_0 , przy której występuje lokalne maksimum ($\tau \approx \frac{1}{2\pi f}$). Przykładem tego mogą być prace [6], w których z pomierzonych charakterystyk $\text{tg} \delta = f(\omega)$ wyznaczono m.in. stałe czasowe relaksacji cienkich powłok Na Br (rys. 9).



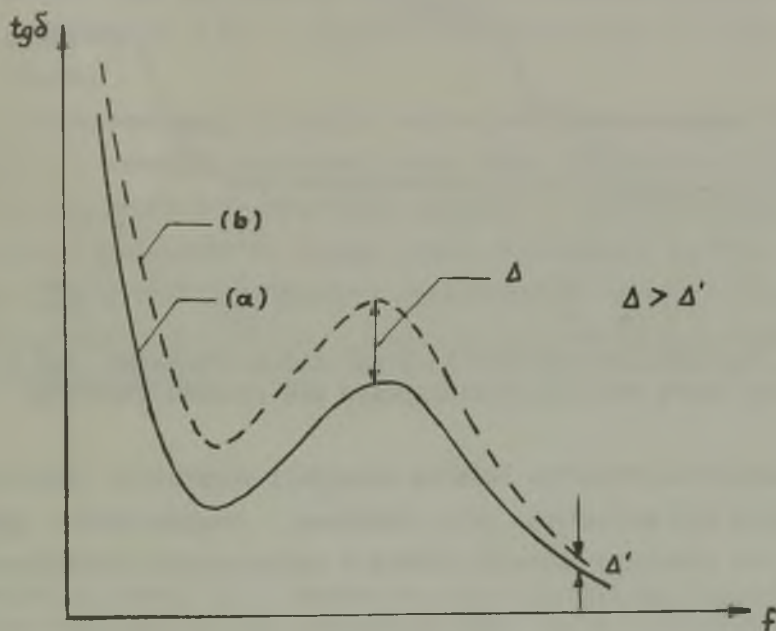
Rys. 9. Zależność współczynnika strat dielektrycznych od częstotliwości dla cienkich powłok NaBr:

a) przy $t = 22^\circ\text{C}$; b) przy $t = 69^\circ\text{C}$; c) przy $t = 99^\circ\text{C}$

Obszar występowania lokalnego maksimum funkcji $\text{tg} \delta = f(\omega)$ informuje również o optymalnym zakresie częstotliwości, w którym należałoby prowadzić niskoczęstotliwościowe badania innych parametrów dielektryku.

Wpływ stopnia zawilgocenia na zmiany charakterystyk dyspersyjnych jest wyraźnie obserwowalny, co potwierdzają przytoczone poprzednio przykłady eksperymentalne. Najogólniej wynika to z faktu, że zawilgocenie decyduje o niejednorodności struktury materiału

izolacyjnego. O niejednorodności struktury izolacji decyduje jednak także wiele innych czynników np. uszkodzenia mechaniczne, występowanie porów, zanieczyszczeń itp. Można zatem przypuszczać, że i te czynniki wywierac będą odpowiednio duży wpływ na przebieg dyspersyjnych charakterystyk dielektryków (np. rys. 10). Wydaje się prawdopodobne, że zmiana wartości $\text{tg} \delta$ na skutek uszkodzenia mechanicznego będzie znacznie większa w okolicach lokalnego maksimum krzywej $\text{tg} \delta = f(\omega)$, niż przy częstotliwościach większych.

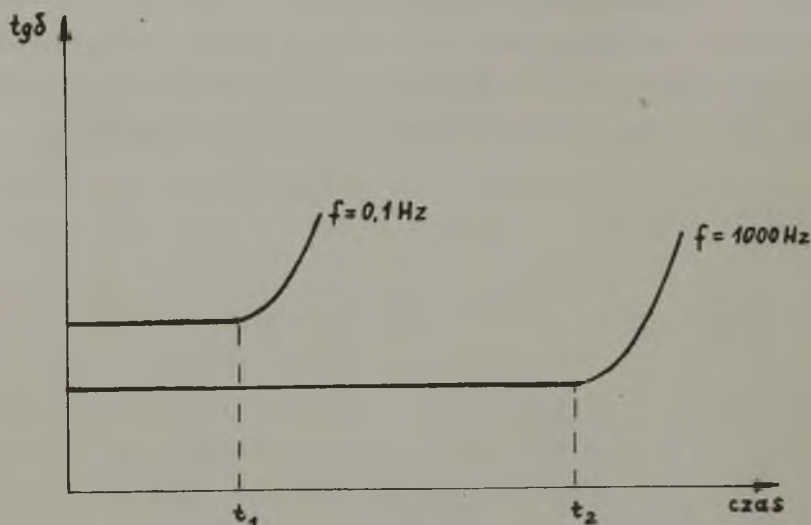


Rys. 10. Zmienność współczynnika strat dielektrycznych $\text{tg} \delta$ w funkcji częstotliwości

a - próbka badana nieuszkodzona, czysta, b - próbka badana uszkodzona mechanicznie, zabrudzona

Rozwijające się w czasie pracy procesy starzenia dielektryku również powodują w nim zmiany strukturalne. Wpływ takich zmian może ujawnić się znacznie wcześniej przy zastosowaniu odpowiednio

niskiej częstotliwości pomiarowej (np. rys. 11). Doświadczalne potwierdzenie przebiegów przedstawionych na rys. 11 oznaczałoby możliwość wcześniejszego wykrywania rozwoju procesów starzeniowych.



Rys. 11. Zmienność współczynnika strat dielektrycznych $\text{tg} \delta$ w funkcji czasu wskutek rozwijającego się procesu starzenia

Niskoczęstotliwościowe badania dyspersji parametrów dielektryków powinny być prowadzone przy określonej temperaturze. Zmiana temperatury powoduje widoczne zmiany w zdejmowanych charakterystykach (np. rys. 9).

4. Zakończenie

Przedstawione przykłady wykorzystania niskoczęstotliwościowych badań do oceny stopnia pogorszenia izolacji mają po części charakter hipotetyczny. Podstawą wysuniętych przypuszczeń jest to, że makroskopowe zmiany struktury dielektryku najwyraźniej uwidaczniają się w zakresie niskich częstotliwości. Wartości $\text{tg} \delta$ lub C_w uzyskiwane z badań w tym zakresie częstotliwości mogą być wielokrot-

nie większe niż przy częstotliwościach wyższych, a zatem i czułość metod pomiarowych może być większa.

W badaniach niskoczęstotliwościowych szczególne znaczenie posiadają badania przy wysokim napięciu. Najistotniejszą ich zaletą jest znaczne obniżenie mocy źródła probierczego służącego do prób wytrzymałościowych izolacji maszyn i transformatorów. Ponadto z serii doświadczeń przeprowadzonych m.in. w pracy [5] wynika, że korelacje pomiędzy zmiennoprądowymi i stażoprądowymi wartościami napięć przebicia mogą być ściślej ustalone z porównania wyników uzyskanych przy $f = 0,1$ Hz i prądzie stałym niż przy $f = 50$ Hz i prądzie stałym.

Można spodziewać się, że wyniki niskoczęstotliwościowych badań przy niskich i wysokich napięciach będą różne. Różnice te wynikać mogą z różnych prędkości narastania napięcia w tym samym przedziale czasowym. Zagadnienie to wymaga jednak opracowania zarówno teoretycznego jak i doświadczalnego i może stanowić istotne uzupełnienie informacji uzyskiwanych z niskoczęstotliwościowych badań materiałów izolacyjnych.

LITERATURA

- [1] Bouvier B., Morel J.F.: Mesure du taux d'humidite dans une isolation complexe par des mesures en tres basse frequence. Rev. Gen. De L'Electr., Novembre, 1966.
- [2] Gąszczak J.: Zagadnienie wpływu zjawiska absorpcji dielektrycznej na wyniki pomiarów pojemności kondensatorów. Praca doktorska, Pol. Wrocław. 1964.
- [3] Hippel A.R.: Dielektryki i fale. PWN, W-wa, 1963. (tłum. z ang.).
- [4] Kułakowski W.B.: Kontrol włączności izolacji po metodu "jcmkost - czastota". Elektrizestwo. 1951, nr 2.
- [5] Lechowski Z., Świątkowska M.: Nowa metoda badania wytrzymałości elektrycznej izolacji generatorów. Energetyka, 1967, nr 11.

- [6] Macfarlane J.C., Weaver C.: Low frequency dielectric losses in thin films of Na Cl and Na Br. Phil. Mag. Vol. 13. April 1966.
- [7] Martinot M.H.: Permittivite complexe de la gomme laque aux tres basses frequences. Lab. de Genie El. - Univ. Tolouse - Travaux et publications - 1963.
- [8] Mole G., Smith D.C.G.: Bridge for the measurement of the admittance of electrical insulation at very - low frequencies. Rapport ERA, ref. V/T 116, 1953.
- [9] Morel J.F.: Un pont pour les mesures a tres basse frequence sur les dielectriques. Rev. Gen. De L'Electr. Fevrier, 1966.
- [10] Pluciński M.: Polaryzacja warstwowa. Podstawy teoretyczne - wnioski praktyczne. Rozpr. Elektr. t. V, z. 2, 1952.
- [11] Pluciński M., Szadkowska T.: Badanie warstwowych materiałów izolacyjnych prądem stałym. Przegląd Elektrotechn. nr 10, 1967.
- [12] Scheiber D.J.: An ultra low frequency bridge for dielectric measurement. J. Res. NBS. 650, 1961.
- [13] Sorokiewicz J.: Pomiar zawilgocenia izolacji metodą dwu różnych częstotliwości. Zeszyty Naukowe Pol. Wrocł. nr 3, 1954.
- [14] Szadkowski B.: Optymalizacja układu mostkowego do badań dielektryków w zakresie częstotliwości podakustycznych. Praca doktorska. Wyd. Elektr. Pol. Śl. 1969.

О НЕКОТОРЫХ ПРАКТИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
СЛОЕВЫХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Р е з ю м е

В статье представлен перечень информации, касающихся исследований диэлектриков по низким частотам с особым учётом тех исследований, которые относятся к возможности оценки состояния изоляции (степень влажности, механические повреждения, загрязнения и т.д.). Обращено внимание на характерные особенности дисперсионных изменений ёмкости, проводимости, коэффициента диэлектрических потерь в области выступления явления междуслойной поляризации.

ABOUT SOME PRACTICAL ASPECTS OF ULTRA-LOW-FREQUENCY INVESTIGATIONS OF LAMINATED INSULATING MATERIALS

S u m m a r y

A review of information concerning investigation of dielectrics within the range of low frequencies, with a particular consideration of those investigations which regard possibilities of insulation evaluation (degree of humidity, mechanical injuries, dirt etc.) has been presented. Attention has been paid to the characteristic dispersive properties of capacity changes, conductivity and coefficient of dielectric losses in the area of interfacial polarization phenomenon.