



Patent dodatkowy
do patentu _____

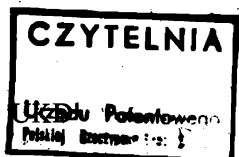
Zgłoszono: 02.VI.1970 (P 141 044)

Pierwszeństwo: _____

Opublikowano: 31.I.1973

Kl. 21e,27/26

MKP G01r 27/26



Współtwórcy wynalazku: Sławoj Gwiazdowski, Ryszard Jachowicz

Właściciel patentu: Politechnika Warszawska, Warszawa (Polska)

Urządzenie do bezpośredniego pomiaru przenikalności elektrycznej dielektryków

1

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do bezpośredniego pomiaru przenikalności elektrycznej dielektryków stałych w postaci płyt, folii lub pasów, dielektryków warstwowych i włóknistych jak również materiałów sypkich o własnościach dielektrycznych.

Dotychczas przenikalność elektryczną mierzono metodą pośrednią poprzez pomiar pojemności i wymiarów próbki, na przykład grubości próbki płaskiej. Znając wymiary liniowe i pojemność próbki oblicza się przenikalność elektryczną. Metoda ta jest powolna, gdyż wymaga oprócz pomiarów wykonywania obliczeń. Ponadto obarczona jest uchybami związanymi z pomiarem pośrednim.

Znane są mierniki umożliwiające bezpośredni odczyt przenikalności elektrycznej dielektryków ale tylko w przypadku, gdy badane próbki mają z góry zadane wymiary. Badany dielektryk umieszcza się pomiędzy okładkami kondensatora płaskiego, których odległość ma zawsze tę samą wartość. Dielektryk powinien szczególnie przylegać do okładek kondensatora i wypełniać sobą całą przestrzeń między okładkami. Pojemność tak przygotowanego kondensatora dla różnych dielektryków jest zależna tylko od przenikalności elektrycznej tych dielektryków.

Pomiar przenikalności elektrycznej w tej metodzie sprowadza się tylko do pomiaru pojemności czujnika w postaci kondensatora płaskiego. W tych typach mierników pozwalających na bezpośredni odczyt przenikalności elektrycznej wymaga się stałych wymiarów grubości mierzonej próbki z materiału stałego lub ściśłego, na-

2

tomiast dozowania wagowego lub objętościowego materiału sypkiego i włóknistego. Metoda ta jest powolna i uciążliwa, gdyż wymaga wstępnego przygotowania próbki, a wszelkie niedokładności w przygotowaniu próbki powodują uchyb pomiaru.

Znana jest również metoda mikrofalowa bezpośredniego pomiaru przenikalności elektrycznej dielektryków, którą można dokonywać pomiarów dielektryków stosowanych później tylko w pasmie częstotliwości mikrofalowych. Wynika to z tego, że przenikalność elektryczna dielektryków jest funkcją częstotliwości.

Urządzenie do bezpośredniego pomiaru przenikalności elektrycznej dielektryków według wynalazku pozwala również mierzyć wilgotność materiałów, która jest funkcją wypadkowej przenikalności elektrycznej niezależnie od grubości mierzonej próbki stałej lub ilości substancji próbki sypkiej włóknistej lub warstwowej.

Celem wynalazku jest opracowanie urządzenia do bezpośredniego pomiaru przenikalności elektrycznej dielektryków niezależnie od grubości próbki materiałów stałych lub ilości materiałów sypkich i włóknistych.

Cel ten został osiągnięty w urządzeniu według wynalazku przez jednoczesne dokonywanie pomiaru dwoma czujnikami przy czym jeden z czujników w postaci kondensatora płaskiego mierzy pojemność próbki, drugi dowolny, a najkorzystniej indukcyjny, mierzy grubość próbki, natomiast sygnały wyjściowe otrzymane z obu czujników, w postaci funkcji liniowych, mnożone są w dowolnym układzie mnożącym, którego sygnał wyjściowy uniezależniony od grubości próbki, a zależny tylko

od jej przenikalności elektrycznej, mierzony jest dowolnym układem pomiarowym korzystnie miernikiem magnetoelektrycznym wyskalowanym w wartościach przenikalności elektrycznej.

Urządzenie według wynalazku zawiera dowolny układ mnożący, korzystnie elektroniczny, do którego jednego z dwóch wejść dołączony jest dowolny płaski czujnik pojemnościowy do pomiaru pojemności badanej próbki, a do drugiego wejścia dołączony jest dowolny czujnik do pomiaru grubości, korzystnie transformatorowo-różnicowy, przy czym czujniki te połączone są najkorzystniej elektrycznie łańcuchowo poprzez układy pomiaru i przetwarzania sygnału, jak mostki pomiarowe, wzmacniacze ze sprzężeniem zwrotnym lub układy linearyzacji. Do wyjścia układu mnożącego dołączony jest dowolny układ pomiarowy napięcia lub prądu.

Stosując urządzenie do bezpośredniego pomiaru przenikalności elektrycznej dielektryków według wynalazku, uzyskuje się szybki, dokładny pomiar przenikalności elektrycznej dielektryków stałych w postaci płyt lub folii, włóknistych lub warstwowych, niezależnie od ich grubości.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładach wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat blokowy urządzenia do bezpośredniego pomiaru przenikalności elektrycznej dielektryków, fig. 2 przykład wykonania urządzenia z liniowymi układami pomiarowymi i liniowo pracującymi czujnikami, fig. 3 przykład wykonania urządzenia z liniowym pomiarem pojemności i z pomiarem grubości o charakterystyce hiperbolicznej (najczęściej stosowanym ze względu na wysoką czułość i dokładność pomiaru), gdzie linearyzację sygnału przeprowadza się przy pomocy układu nieliniowego sprzężenia zwrotnego, fig. 4 schemat blokowy urządzenia z nieliniowymi układami pomiarowymi i z blokami linearyzacji parametrycznej.

Urządzenie według wynalazku działa na zasadzie jednoczesnego pomiaru badanej próbki dwoma czujnikami. Jeden z czujników, czujnik pojemnościowy mierzy pojemność próbki płaskiej według zależności

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot S}{d}$$

gdzie C — jest mierzona pojemnością próbki, ϵ_0 — stałą elektryczną, ϵ — względną przenikalnością elektryczną próbki, S — powierzchnią elektrod pomiarowych czujnika, a d — grubością próbki.

Stosując układ pomiarowy pojemności o charakterystyce liniowej, korzystnie układ integracyjny — otrzymuje się sygnał na przykład napięciowy U_1 stało lub zmiennie prądowy proporcjonalny do mierzonej pojemności próbki według zależności

$$U_1 = k_1 \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot S}{d}$$

gdzie k_1 — jest współczynnikiem proporcjonalności.

Używając do pomiaru jako drugi czujnik o liniowej charakterystyce pomiaru grubości, na przykład czujnik transformatorowo-różnicowy, otrzymuje się sygnał U_2 zmiennie lub stało prądowy z zastosowaniem znanego integratora szczytowego

$$U_2 = k_2 \cdot d$$

gdzie k_2 — jest współczynnikiem proporcjonalności.

Zasada pracy urządzenia do bezpośredniego pomiaru przenikalności elektrycznej według wynalazku polega na liniowym pomiarze pojemności i liniowym pomiarze grubości próbki dielektryka i pomnożeniu obu sygnałów w dowolnym układzie mnożącym według zależności:

$$U_{wy} = U_1 \cdot U_2 = k \cdot \epsilon$$

gdzie k — jest współczynnikiem proporcjonalności.

Przedstawione na fig. 1 urządzenie zawiera dowolny czujnik pojemnościowy 1 do pomiaru pojemności próbki i dowolny czujnik 2 do pomiaru grubości próbki, które poprzez układy pomiarowe lub linearyzujące połączone są każde z jednym z dwóch wejść dowolnego znanego układu mnożącego 3. Wyjście układu mnożącego 3 połączone jest elektrycznie łańcuchowo z układem pomiarowym 4 na przykład z miernikiem magnetoelektrycznym.

Na fig. 2 przedstawiony jest przykład urządzenia z fig. 1, które wyposażone jest w czujnik do pomiaru pojemności 1a o liniowej charakterystyce pomiaru i w dowolny czujnik 2a do pomiaru grubości próbki również o liniowej charakterystyce pomiaru, a najkorzystniej w czujnik transformatorowo-różnicowy. Pomiedzy czujnik do pomiaru pojemności 1a a jedno z wejść układu mnożącego 3 włączony jest liniowy układ do pomiaru pojemności 5 a między czujnik 2a i drugie wejście układu mnożącego 3 włączony jest elektrycznie łańcuchowo korzystnie wzmacniacz 6 lub w miejsce wzmacniacza 6 włączony jest układ pomiaru podstawowego parametru czujnika 2a.

Na fig. 3 przedstawiony jest przykład urządzenia z fig. 2, które posiada czujnik indukcyjny dławikowy 2b do pomiaru grubości próbki połączony elektrycznie łańcuchowo z liniowym układem do pomiaru indukcyjności 6b. Wyjście liniowego układu pomiaru indukcyjności 6b dołączone jest do wzmacniacza 7 z nieliniową pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego zawierającą układ zmiennej impedancji 8 i do wejścia kwadratora 9, a wyjście układu kwadratora 9 połączone jest z dodatkowym wejściem układu zmiennej impedancji 8. Wyjście wzmacniacza 7 połączone jest łańcuchowo z drugim wejściem układu mnożącego 3.

Na fig. 4 przedstawiony jest przykład wykonania urządzenia z fig. 1, które wyposażone jest w czujnik do pomiaru pojemności 1a i czujnik 2c o dowolnej nieliniowej charakterystyce pomiaru grubości. Czujnik 1a połączony jest łańcuchowo z układem pomiaru pojemności o nieliniowej charakterystyce 5c na przykład z układem mostkowym pracującym przy znacznie korzystniejszym pobudzeniu sinusoidalnym. Układ mostkowy połączony jest z jednym z dwóch wejść układu mnożącego 3 poprzez wzmacniacz parametryczny 10 o nieliniowej charakterystyce wzmocnienia. Czujnik 2c połączony jest elektrycznie łańcuchowo z wzmacniaczem parametrycznym 7c o nieliniowej charakterystyce wzmocnienia poprzez układ pomiarowy 6c mierzący główny parametr elektryczny czujnika 2c. Wyjście wzmacniacza 7c połączone jest łańcuchowo z drugim wejściem układu mnożącego 3.

Urządzenie według wynalazku przedstawione na fig. 1 działa na zasadzie jednoczesnego pomiaru badanej próbki dwoma czujnikami. Czujnik do pomiaru pojemności 1 połączony jest z układami pomiarowymi lub linearyzującymi takimi, z których sygnał wyjściowy poda-

wany na jedno z wejść układu mnożącego 3 jest liniową funkcją mierzonej pojemności czyli wprost proporcjonalny do względnej przenikalności elektrycznej próbki a odwrotnie proporcjonalny do jej grubości. Analogicznie czujnik do pomiaru grubości próbki 2 połączony jest z drugim wejściem układu mnożącego 3 poprzez układ mierzący główny parametr elektryczny tego czujnika lub układy linearyzacji ale takie, aby sygnał wychodzący na drugie wejście układu mnożącego 3 był liniową funkcją grubości próbki. Sygnał wychodzący z układu mnożącego 3 jest liniową funkcją tylko przenikalności elektrycznej badanej próbki i jest mierzony układem pomiarowym 4 analogowym lub cyfrowym, wyskalowanym w wartości względnej przenikalności elektrycznej i dającym wskazanie w postaci zapisu lub odczytu wizualnego.

Urządzenie przedstawione na fig. 2 działa analogicznie do urządzenia z fig. 1. Liniowy układ pomiaru pojemności 5 współpracujący z liniowym czujnikiem pojemnościowym 1a daje sygnał będący liniową funkcją mierzonej pojemności. Sygnał wyjściowy ze wzmacniacza 6 jest liniową funkcją grubości próbki, gdyż wzmacniacz 6 jest liniowy i współpracuje z liniowym czujnikiem 2a do pomiaru grubości. Układy 3 i 4 działają jak poprzednio.

Na fig. 3 przedstawione jest urządzenie, które posiada identyczny tor pomiaru pojemności jak w urządzeniu na fig. 2, natomiast do pomiaru grubości użyty jest czujnik indukcyjny dławikowy 2b szczególnie korzystny ze względu na jego dużą czułość do pomiaru cienkich próbek dielektryka. Sygnał wyjściowy U_2 z współpracującego z czujnikiem 2b liniowego układu pomiaru indukcyjności 6b jest o charakterystyce hiperbolicznej w postaci

$$U_2 = \frac{A}{d}$$

gdzie A — jest współczynnikiem proporcjonalności.

Linearyzację tego sygnału dokonuje się we wzmacniaczu 7 z nieliniową pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego zawierającą zmienną impedancję 8, której wartość jest sterowana na dodatkowym wejściu sygnałem z liniowego układu pomiaru indukcyjności 6b, ale po jego uprzednim podniesieniu do kwadratu na kwadratorze 9. Sygnał wyjściowy z wzmacniacza 7 jest liniowo zależny od grubości mierzonej próbki z błędem mniejszym od 1% jeżeli $\beta_{\min} \cdot K_u > 100$, gdzie $\beta_{\min}$ — jest minimalną wartością sprzężenia zwrotnego, a K_u — jest wzmocnieniem wzmacniacza 7. Układ mnożący 3 i układ pomiarowy 4 działają tak jak w urządzeniach przedstawionych na fig. 1 i fig. 2.

Urządzenie przedstawione na fig. 4 działa tak jak urządzenie z fig. 1 z tym, że sygnał wyjściowy U_1 z układu do pomiaru pojemności 5c jest o charakterystyce nieliniowej ze względu na nieliniowy charakter pracy układu do pomiaru pojemności 5c współpracującego z liniowym czujnikiem pojemnościowym 1a i ma postać

$$U_1 = f_1(C)$$

Linearyzację tego sygnału przeprowadza się we wzmacniaczu parametrycznym 10 o nieliniowej charakterystyce wzmocnienia K_1 mającej postać

$$K_1 = \frac{aC}{f_1(C)}$$

gdzie a — jest współczynnikiem proporcjonalności.

Sygnał wyjściowy z wzmacniacza 10 jest liniową funkcją pojemności mierzonej próbki. Do pomiaru grubości zastosowany jest dowolny czujnik 2c o charakterystyce nieliniowej, a korzystnie ze względu na dużą czułość czujnik indukcyjny dławikowy oraz współpracujący z nim dowolny układ pomiarowy 6c. Sygnał wyjściowy U_2 z układu 6c jest nieliniową funkcją f_2 grubości mierzonej próbki.

$$U_2 = f_2(d)$$

Linearyzację tego sygnału przeprowadza się we wzmacniaczu parametrycznym 7c o nieliniowej charakterystyce wzmocnienia K_2

$$K_2 = \frac{b \cdot d}{f_2(d)}$$

gdzie b — jest współczynnikiem proporcjonalności.

Sygnał wychodzący ze wzmacniacza 7c jest liniową funkcją grubości mierzonej próbki. Układ mnożący 3 i układ pomiarowy 4 działają jak w urządzeniach poprzednich.

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do bezpośredniego pomiaru przenikalności elektrycznej dielektryków płaskich posiadające płaski czujnik pojemnościowy mierzący pojemność badanej próbki oraz dowolny znany czujnik do pomiaru grubości próbki — najkorzystniej czujnik transformatorowo-różnicowy i dowolny układ pomiaru napięcia lub prądu na przykład miernik magnetoelektryczny, **znamiennie tym**, że zawiera układ mnożący (3) korzystnie elektroniczny, do którego jednego z dwóch wejść dołączony jest czujnik pojemnościowy (1) a do drugiego wejścia czujnik do pomiaru grubości (2), przy czym każdy z czujników połączony jest korzystnie elektrycznie łańcuchowo poprzez układ pomiaru i przetwarzania sygnału a do wyjścia układu mnożącego (3) dołączony jest łańcuchowo dowolny układ pomiarowy (4) korzystnie miernik magnetoelektryczny.

2. Urządzenie według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że czujnik do pomiaru grubości (2a) o sygnale wyjściowym proporcjonalnym do mierzonej grubości połączony jest łańcuchowo korzystnie poprzez wzmacniacz (6) z jednym z wejść dowolnego układu mnożącego (3) korzystnie elektronicznego i czujnik pojemnościowy (1a) w postaci kondensatora płaskiego połączony jest elektrycznie łańcuchowo z układem pomiarowym pojemności (5) o liniowej charakterystyce sygnału w funkcji pojemności korzystnie z układem integracyjnym, korzystnie wyposażonym w układ przetwarzania sygnału impulsowego eksponencjalnego na sygnał stałoprądowy lub sinusoidalny, przy czym wyjście układu pomiarowego pojemności (5) połączone jest łańcuchowo z drugim wejściem układu mnożącego (3).

3. Urządzenie według zastrz. 1 i 2, **znamiennie tym**, że czujnik do pomiaru grubości (2b) o hiperbolicznej charakterystyce sygnału w funkcji grubości, korzystnie czujnik indukcyjny dławikowy połączony jest łańcuchowo elektrycznie z liniowym układem pomiaru indukcyjności (6b) a wyjście tego układu połączone jest łańcuchowo ze wzmacniaczem (7) z pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego wyposażoną w sterowaną impedancję (8) korzystnie układ z waristorem, do którego dodatkowego

wejścia dołączone jest wyjście układu kwadratora elektronicznego (9) podnoszącego do kwadratu sygnał otrzymany z połączonego z nim układu pomiaru indukcyjności (6b) i sterującego wartością układu zmiennej impedancji (8) w pętli sprzężenia zwrotnego, a wyjście wzmacniacza (7) dołączone jest do jednego z dwóch wejść układu mnożącego (3).

4. Urządzenie według zastrz. 1 i 2, **znamiennie tym**, że czujnik do pomiaru grubości (2c) o nieliniowej charakterystyce sygnału w funkcji grubości, korzystnie czujnik indukcyjny dławikowy połączony jest łańcuchowo z układem pomiarowym o dowolnej charakterystyce (6c), mierzącym podstawowy parametr czujnika (2c) korzystnie indukcyjność, a układ pomiarowy o dowolnej charakterystyce (6c) połączony jest łańcuchowo z

parametrycznym wzmacniaczem (7c) linearyzującym wskazanie korzystnie z elektronicznym układem zbudowanym na diodzie o charakterystyce nieliniowej odwrotnej do charakterystyki czujnika (2c), przy czym wyjście parametrycznego wzmacniacza (7c) połączone jest elektronicznie z jednym z dwóch wejść układu mnożącego (3), natomiast czujnik pojemnościowy (1a) połączony jest z dowolnym układem pomiarowym pojemności o charakterystyce nieliniowej (5c) korzystnie z analogowo pracującym dowolnym mostkiem do pomiaru pojemności zaś wyjście układu pomiarowego pojemności o charakterystyce nieliniowej (5c) połączone jest łańcuchowo z drugim wejściem układu mnożącego (3) poprzez wzmacniacz parametryczny (10) linearyzujący sygnał wyjściowy w funkcji pojemności czujnika (1a).

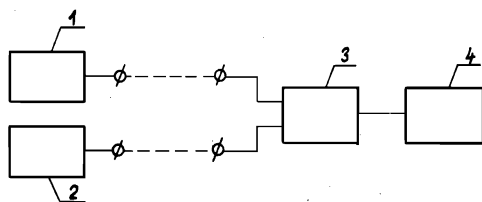


Fig. 1

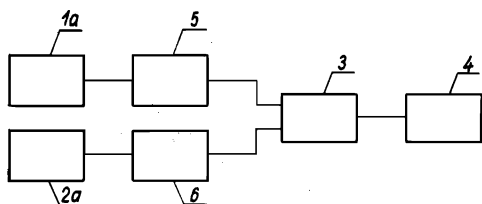


Fig. 2

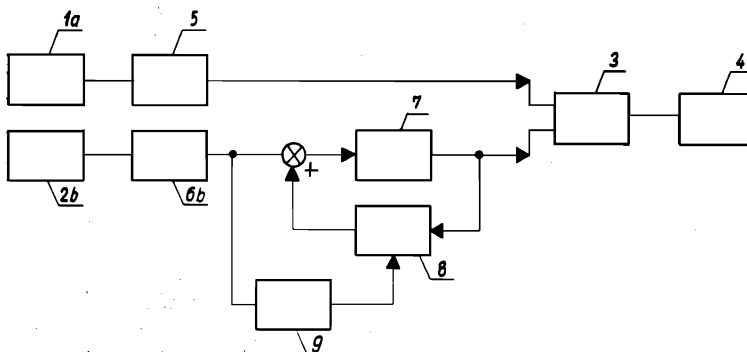


Fig. 3

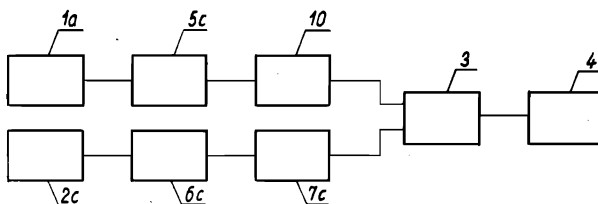


Fig. 4