

POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY

68 129

Patent dodatkowy
do patentu _____

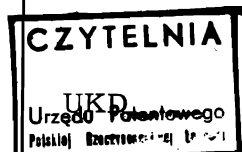
Zgłoszono: 20.IX.1969 (P 135 920)

Pierwszeństwo: _____

Opublikowano: 29.IX.1973

Kl. 21e,27/26

MKP G01r 27/26



Współtwórcy wynalazku: Krzysztof Braclawski, Józef Maciak,
Kazimierz Sadowski

Właściciel patentu: Politechnika Warszawska, Warszawa (Polska)

Urządzenie do pomiaru pojemności elektrycznej, zwłaszcza pojemności nieliniowej

1

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do pomiaru pojemności elektrycznej, zwłaszcza pojemności nieliniowej, pracujące przy ograniczonej i małej amplitudzie sygnału pomiarowego.

Pojemność nieliniowa jest to pojemność, której wartość zależy od przyłożonego napięcia. Elementami o pojemności nieliniowej są na przykład szeroko rozpowszechnione różnorodne przyrządy półprzewodnikowe wykorzystujące właściwości złącz p — n. Przy badaniu charakterystyk pojemnościowych tego rodzaju elementów powstaje konieczność wykonania pomiaru pojemności różniczkowej na wielkiej częstotliwości, na przykład 1 MHz, przy dostatecznie małej amplitudzie sygnału pomiarowego, na przykład nie przekraczającej 10 mV.

Znane urządzenia do pomiaru pojemności nieliniowych budowane są głównie w oparciu o dwie klasyczne metody — metodę rezonansową z amplitudowym odczytem rezonansu (Q — metry) i metodę mostkową (mostki wielkiej częstotliwości). Każda z tych metod przy dokładnych pomiarach pojemności nieliniowej posiada zasadnicze wady. Mostki zapewniają wysoką dokładność przy względnie prostej budowie jedynie w zakresie małych częstotliwości. Ze wzrostem częstotliwości zdolność rozdzielcza i dokładność mostków spełniających warunek małej amplitudy szybko maleją, a ich konstrukcja staje się coraz bardziej skomplikowana. Q — metry służące do pomiaru pojemności nieliniowej metodą rezonansową charakteryzują się

2

dostatecznie szerokim zakresem częstotliwości pracy, lecz ich zdolność rozdzielcza i dokładność jest mała i dla wielu zastosowań niewystarczająca. Przyczyną tego jest mało czuła amplitudowa rejestracja dostrojenia obwodu do rezonansu. W ekstremalnym punkcie krzywej rezonansowej czułość strojenia jest równa zeru, a szумы i fluktuacje amplitudy obejmują w okolicy przywierzchołkowej znaczny zakres zmian pojemności, co przy pomiarze małą amplitudą decyduje o niskiej zdolności rozdzielczej i dokładności pomiaru.

Znane fazowe wskaźniki rezonansu nie znalazły w Q — metrach zastosowania ze względu na to, że przy względnie prostej budowie mogą pracować tylko w zakresie małych częstotliwości, gdzie rezonansowa metoda jest z powodzeniem wypierana przez metodę mostkową. Natomiast znane wskaźniki fazowe wielkiej częstotliwości charakteryzują się nader skomplikowaną budową, co czyni zastosowanie ich w Q — metrach niecelowym.

Celem wynalazku jest opracowanie urządzenia zapewniającego znacznie większą zdolność rozdzielczą i dokładność pomiaru pojemności nieliniowych na wielkiej częstotliwości, przy amplitudzie sygnału ograniczonej do kilku miliwoltów, w stosunku do pomiaru rezonansowego za pomocą Q — metra o amplitudowej rejestracji dostrojenia przy zachowaniu prostej budowy urządzenia.

Wytyczone zadanie jest rozwiązane zgodnie z wynalazkiem w ten sposób, że do wskazania rezonansu

pomiarowego obwodu rezonansowego służącego do pomiaru pojemności metodą rezonansową stosuje się układ dwukrotnej przemiany małej częstotliwości, nazywany dalej układem zamkniętej przemiany częstotliwości.

W układzie tym zachodzi dwukrotna przemiana sygnału małej częstotliwości, w wyniku której amplituda napięcia wyjściowego jest uzależniona od fazowych właściwości obwodu pomiarowego załączonego w torze wielkiej częstotliwości między stopniami przemiany, a częstotliwość i faza pozostaje niezmienna w stosunku do częstotliwości i fazy sygnału wejściowego małej częstotliwości. Ogólne podstawy teoretyczne wielokrotnej przemiany częstotliwości są znane, jednakże dotąd niewykorzystane są dobre cechy rozdzielczości fazowej, jakie posiada zamknięta przemiana częstotliwości w zastosowaniu do wskazania dostrojenia pomiarowego obwodu rezonansowego przy pomiarze reaktancji metodą rezonansową i nie stosowany jest układ zamkniętej przemiany częstotliwości przystosowany do współpracy z pomiarowym obwodem rezonansowym w celu zwiększenia dokładności pomiaru.

Zdolność rozdzielczą przedmiotowego urządzenia określa wzór:

$$\Delta C_r = \frac{C_0}{k \cdot Q_0}$$

gdzie ΔC_r jest najmniejszym wykrywalnym przyrostem pojemności mierzonej, C_0 jest pojemnością rezonansową obwodu, k jest stosunkiem napięcia pomiarowego na obwodzie rezonansowym do napięcia szumów przeliczonych z wyjścia układu na jego wejście w wartościach skutecznych, Q_0 jest dobrocią obwodu rezonansowego.

Urządzenie do pomiaru pojemności elektrycznej, zwłaszcza pojemności nieliniowej, składa się z pomiarowego obwodu rezonansowego wielkiej częstotliwości lub innego przesuwника fazowego wielkiej częstotliwości, do którego dołączony jest element mierzony i układu zamkniętej przemiany częstotliwości, który dołączony łańcuchowo do obwodu wskazuje stan dostrojenia pomiarowego obwodu rezonansowego.

Układ zamkniętej przemiany częstotliwości posiada generator wielkiej częstotliwości. Wyjście tego generatora połączone jest z pierwszym wejściem mieszacza zasilającego i drugim wejściem mieszacza powrotnego. Pierwsze wejście mieszacza powrotnego jest połączone poprzez pomiarowy obwód rezonansowy z wyjściem mieszacza zasilającego. Drugie wejście mieszacza zasilającego jest połączone z wyjściem generatora małej częstotliwości, które poprzez wzmacniacz napięcia wiodącego połączone jest z drugim wejściem prostownika synchronicznego. Prostownik synchroniczny posiada wskaźnik wychyłowy. Pierwsze wejście prostownika synchronicznego jest połączone z wyjściem mieszacza powrotnego poprzez wzmacniacz selektywny. Między wyjściem wzmacniacza napięcia wiodącego i drugim wejściem prostownika synchronicznego załączony jest przesuwnik fazowy małej częstotliwości. Drugie wejście mieszacza powrotnego jest połączone

z pierwszym wejściem poprzez przesuwnik fazowy wielkiej częstotliwości.

Uzyskana tu zdolność rozdzielcza i dokładność pomiaru pojemności jest kilkadziesiąt do stu razy większa niż ta, jaką może zapewnić Q — metr o analogicznych właściwościach szumowych. Poza tym informacja pomiarowa otrzymywana jest w urządzeniu głównie w postaci sygnału o małej częstotliwości, a zatem łatwej do dalszego opracowania układowego. Faza tego sygnału pozostaje niezmienna w stosunku do fazy lokalnego generatora małej częstotliwości, co pozwala na zastosowanie w stopniu wyjściowym małej częstotliwości prostownika synchronicznego. Dzięki dobrym właściwościom selektywnym tego prostownika parametr k wchodzący do wzoru osiąga większe wartości niż w Q — metrach o analogicznym stopniu rozbudowania układowego. Kolejną zasadniczą zaletą urządzenia jest to, że projektowa częstotliwość pracy może być dostatecznie wielka przy zachowaniu wszystkich zasadniczych cech urządzenia. Dodatkową zaletą urządzenia jest mała wrażliwość na zakłócenia przenikające z otoczenia i z sieci zasilającej, co uwarunkowane jest użyciem fazy a nie amplitudy do przenoszenia informacji.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia uproszczony schemat blokowy przedmiotowego urządzenia, fig. 2 — schemat blokowy układu zamkniętej przemiany częstotliwości, fig. 3 — krzywe strojenia obwodu rezonansowego.

Pomiarowy obwód rezonansowy 1 jest połączony z fazoczułym układem zamkniętej przemiany częstotliwości 2. Dostrojenie obwodu pomiarowego 1 wskazywane jest przez układ zamkniętej przemiany częstotliwości 2. Do pomiarowego obwodu rezonansowego dołączany jest element mierzony 3. Funkcję pomiarowego obwodu rezonansowego mogą spełniać również inne przesuwniki fazowe realizujące zależność między kątem przesunięcia fazowego a wartością mierzonej reaktancji.

Na fig. 2 generator wielkiej częstotliwości 4 dostarczający napięcia o częstotliwości nośnej połączony jest z mieszaczem zasilającym 6 i mieszaczem powrotnym 7. Mieszacz zasilający 6 pracuje w symetrycznym układzie zrównoważonym, co ma na celu możliwie dobre wyeliminowanie produktów niepożądanego przemiany pasożytniczej. Do wejścia mieszacza zasilającego 6 jest dołączone wyjście generatora małej częstotliwości 5. Prążki boczne, sumacyjne i różnicowe uzyskiwane na wyjściu mieszacza zasilającego 6 są podawane na połączony z nim pomiarowy obwód rezonansowy 1 wyposażony w zmienny kondensator wzorcowy, do którego przy pomiarze dołącza się równolegle pojemność mierzona 3. Wyjście pomiarowego obwodu rezonansowego jest połączone z wejściem mieszacza powrotnego 7, dzięki czemu przesunięte fazowo na obwodzie rezonansowym 1 prążki boczne podawane są na mieszacz powrotny 7. Sygnał małej częstotliwości otrzymany na wyjściu mieszacza powrotnego 7, zawierający informację pomiarową, wzmacnia się następnie we wzmacniaczu selektywnym 8 i jest doprowadzony z jego wyjścia do wejścia prostownika synchronicznego 9 ze wskaźnikiem wychyło-

wym 12. Napięcie wiodące detektora synchronicznego 9 doprowadzane jest z wyjścia generatora małej częstotliwości 5 przez połączone ze sobą wzmacniacz napięcia wiodącego 11 i przesuwnik fazowy małej częstotliwości 13.

Zamiast prostownika synchronicznego lub wspólnie z nim można stosować detektor aperiodyczny. Na wyjściu mieszacza powrotnego 7 uzyskuje się więc napięcie małej częstotliwości, którego amplituda zależy od kąta przesunięcia fazowego na obwodzie pomiarowym 1 w torze wielkiej częstotliwości według wzoru

$$\bar{U}_{m.cz.} = 2 k_u \cdot \bar{U}_b \cdot \cos \alpha$$

gdzie $\bar{U}_{m.cz.}$ jest amplitudą napięcia małej częstotliwości na wyjściu mieszacza powrotnego, k_u jest wzmacnieniem napięciowym mieszacza powrotnego, $\bar{U}_b$ jest amplitudą prądu bocznego na obwodzie pomiarowym, α — alfa jest kątem przesunięcia fazowego na obwodzie pomiarowym.

Gdy kąt α — alfa dąży do wartości $-\frac{\pi}{2}$ to napięcie małej częstotliwości staje się równe zeru. Pozwala to zastosować w tym wypadku technikę wykonania pomiaru analogiczną do tej, jaką stosuje się w konwencjonalnej metodzie rezonansowej. Odpowiednikiem strojenia obwodu rezonansowego na szczytowe wychylenie w Q — metrze jest w przypadku urządzenia według wynalazku strojenie na wartość zerową napięcia wyjściowego małej częstotliwości. Jednakże w tym przypadku krzywa strojenia zapewnia maksymalną czułość właśnie w punkcie dostrojenia do rezonansu w odróżnieniu od konwencjonalnej metody rezonansowej, przy której w punkcie rezonansu czułość strojenia staje się równa zeru.

Pomiar pojemności przeprowadza się w sposób opisany poniżej. Przed dołączeniem pojemności mierzonej dostraja się pomiarowy obwód rezonansowy do rezonansu. Kąt przesunięcia fazowego na obwodzie staje się przy tym równy $-\frac{\pi}{2}$, a wychylenie wskaźnika wyjściowego równe zeru. Następnie dołącza się pojemność mierzoną i ponownie dostraja się obwód do wartości kąta $-\frac{\pi}{2}$ za pomocą wzorcowego kondensatora obwodu. Wartość pojemności mierzonej określa się jako różnicę odczytów na kondensatorze wzorcowym przy pierwszym i drugim strojeniu. Pierwsze strojenie wystarcza wykonać jeden raz przed kolejną serią pomiarów. Na fig. 3 przedstawiona jest krzywa strojenia urządzenia, gdzie $Q \frac{\Delta C}{C_0}$ jest współrzędną zredukowaną, w której Q jest dobrocią pomiarowego obwodu rezonansowego, $\frac{\Delta C}{C_0}$ względnym pojemnościowym odstrojeniem, ΔC jest odstrojeniem pojemnościowym bezwzględnym, C_0 jest pojemnością rezonansową obwodu pomiarowego a $\frac{U_{wy}}{A Q}$ jest drugą współrzędną zredukowaną, gdzie U_{wy} jest napięciem wyjściowym prostownika synchronicznego, A jest współczynnikiem zależnym od parametrów układu, Q jest dobrocią pomiarowego

obwodu rezonansowego. Krzywą *a* uzyskuje się przy prostowniku synchronicznym, a krzywą *b* przy detektorze aperiodycznym. Obie krzywe posiadają największe nachylenie w punkcie dostrojenia, przy czym krzywa *b* ma tu punkt osobliwy — nieciągłość niezwykle wyraźnie zaznaczającą się przy strojeniu.

Zastosowanie w pierwszym stopniu przemiany symetrycznego mieszacza zrównoważonego 6 skutecznie zapobiega powstawaniu zakłóceń związanych z pewnym rodzajem przemiany pasożytniczej w mieszaczu powrotnym 7. Inny rodzaj przemiany pasożytniczej jest wyeliminowany przez doprowadzenie do pierwszego wejścia mieszacza powrotnego 7 częstotliwości nośnej poprzez przesuwnik fazowy 10. Na wyjściu mieszacza zasilającego 6 powstaje po bezpośrednim wzmacnieniu pasożytniczy sygnał małej częstotliwości o fazie przesuniętej o kąt bliski $\frac{\pi}{2}$ względem fazy napięcia wyjściowego. Sygnał ten przedostaje się na wejście prostownika synchronicznego 9 i może być źródłem błędu. Aby ten błąd wyeliminować dobiera się za pomocą przesuwnika fazowego małej częstotliwości 13 fazę napięcia wiodącego przesuniętą o kąt równy $\frac{\pi}{2}$ względem fazy sygnału pasożytniczego.

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do pomiaru pojemności elektrycznej, zwłaszcza pojemności nieliniowej składające się z pomiarowego obwodu rezonansowego wielkiej częstotliwości, do którego dołączony jest element mierzony, **znamiennie tym**, że posiada układ zamkniętej przemiany częstotliwości (2) połączony łańcuchowo z pomiarowym obwodem rezonansowym (1).

2. Urządzenie według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że układ zamkniętej przemiany częstotliwości (2) posiada generator wielkiej częstotliwości (4), którego wyjście połączone jest z pierwszym wejściem mieszacza zasilającego (6) i drugim wejściem mieszacza powrotnego (7), zaś wejście pierwsze mieszacza powrotnego (7) jest połączone poprzez pomiarowy obwód rezonansowy (1) z wyjściem mieszacza zasilającego (6), którego drugie wejście połączone jest z wyjściem generatora małej częstotliwości (5) i wejściem wzmacniacza napięcia wiodącego (11), którego wyjście połączone jest z drugim wejściem wyposażonego we wskaźnik wychyłowy (12) prostownika synchronicznego (9), którego pierwsze wejście połączone jest z wyjściem mieszacza powrotnego (7) poprzez wzmacniacz selektywny (8).

3. Urządzenie według zastrzeżenia 1, 2, **znamiennie tym**, że między wyjściem wzmacniacza (11) i drugim wejściem prostownika synchronicznego (9) jest włączony przesuwnik fazowy małej częstotliwości (13).

4. Urządzenie według zastrz. 1–3, **znamiennie tym**, że drugie wejście mieszacza powrotnego (7) jest połączone z pierwszym wejściem mieszacza powrotnego (7) poprzez przesuwnik fazowy wielkiej częstotliwości (10).

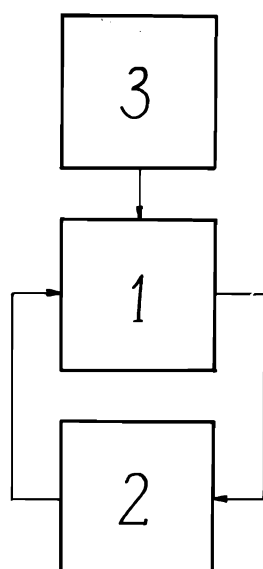


Fig. 1

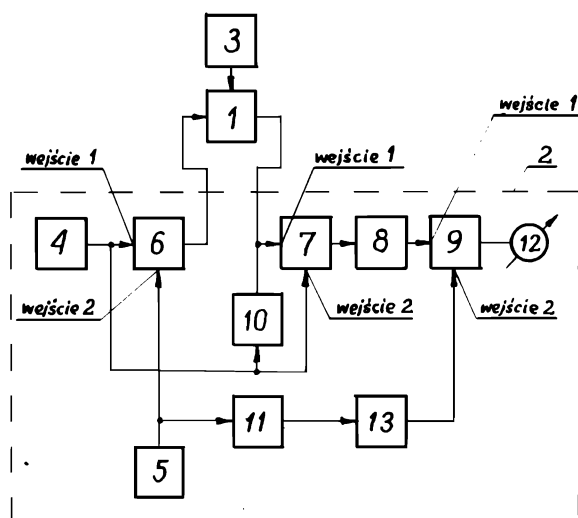


Fig. 2

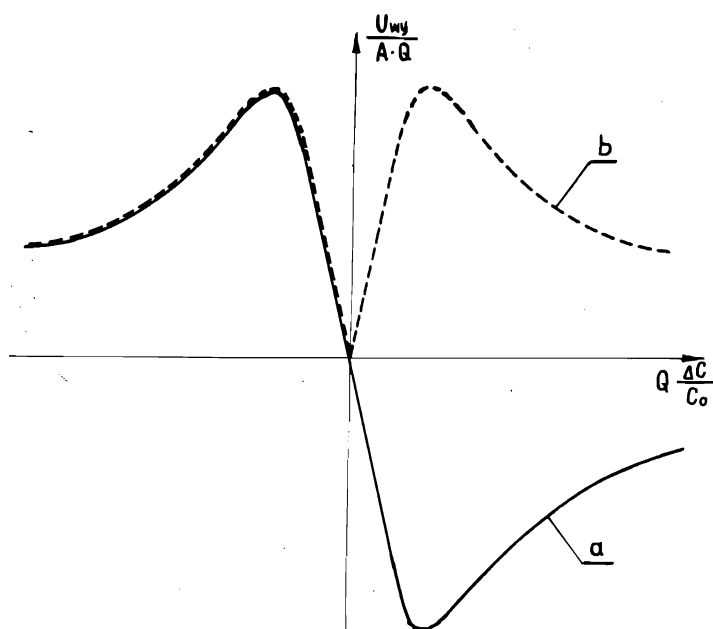


Fig. 3

Cena zł 10,—