

Andrzej LEBIEDZKI

PMIAR TOLERANCJI POJEMNOŚCI
ZŁOŻONYCH KONDENSATORÓW PRZECIWKŁÓCENIOWYCH
NIEZRÓWNOWAŻONYM MOSTKIEM TRANSFORMATOROWYM

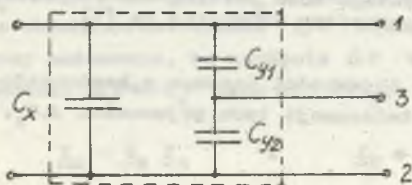
Streszczenie. W artykule omówiono zastosowanie niezrównoważonego mostka transformatorowego do pomiaru tolerancji pojemności złożonych kondensatorów przeciwzakłóceniovych. W przedstawionym układzie prąd pomiarowy I_p będący różnicą prądów płynących przez pojemności mierzoną oraz wzorcową doprowadzany jest do przetwornika I/U zbudowanego na scalonym wzmacniaczu operacyjnym. W detektorze fazo-czułym włączony na wyjściu przetwornik wyodrębniona zostaje tylko składowa bierna prądu pomiarowego. Na podstawie przedstawionych zależności wykazano, że układ pomiarowy ma liniową charakterystykę przetwarzania, a miernik włączony na wyjściu detektora można wyskalować w procentach wartości nominalnej mierzonej pojemności. Omówiono wpływ pojemności bocznikującej uzwojenie pomiarowe transformatora i pojemności bocznikującej wejście wzmacniacza w przypadku pomiaru pojemności kondensatorów klasy X oraz Y. Przedyskutowano wpływ wzmocnienia napięciowego wzmacniacza na dokładność pomiarów. Przeprowadzone pomiary kontrolne wykazały możliwość wykonania wielozakresowego miernika do szybkiej kontroli tolerancji pojemności złożonych kondensatorów przeciwzakłóceniovych.

W badaniach międzyoperacyjnych złożonych kondensatorów przeciwzakłóceniovych wymagana jest szybka kontrola wartości pojemności wykonanych zwiłek kondensatorowych przed i po ich impregnacji oraz gotowych kondensatorów po ich hermetyzacji w obudowie.

Schemat złożonego kondensatora przeciwzakłóceniovego przedstawia rys. 1. Kondensator ten złożony jest z kondensatora C_x klasy X i dwóch kondensatorów C_{y1} i C_{y2} klasy Y. Kondensator C_x [1] przeznaczony jest do stosowania w obwodach niskiego napięcia, w których uszkodzenie izolacji kondensatora nie może spowodować wystąpienia niebezpieczeństwa porażenia prądem elektrycznym.

Kondensatory C_{y1} , C_{y2} o zwiększonej wytrzymałości elektrycznej dielektryka i ograniczonej pojemności przeznaczone są do stosowania w obwodach niskiego napięcia, w których uszkodzenie kondensatora może spowodować porażenie prądem elektrycznym.

Kondensatory C_{y1} , C_{y2} o zwiększonej wytrzymałości elektrycznej dielektryka i ograniczonej pojemności przeznaczone są do stosowania w obwodach niskiego napięcia, w których uszkodzenie kondensatora może spowodować porażenie prądem elektrycznym.



Rys. 1. Schemat złożonego kondensatora przeciwzakłóceniovego

Fig. 1. Diagram of composite radio interference suppressor capacitor

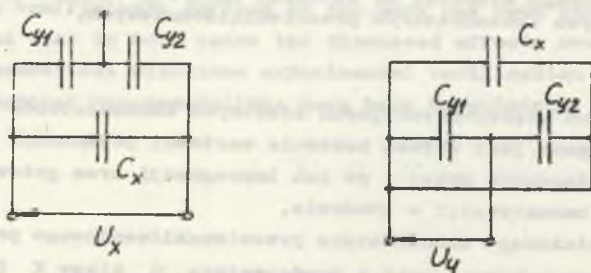
Kondensatory klasy X o wartości nominalnej pojemności C_{XN} do $1 \mu\text{F}$ wykonuje się w tolerancji $\pm 20\%$. Kondensatory klasy Y o wartości nominalnej pojemności C_{YN} do $2,5 \text{ F}$ dla urządzeń i odbiorników niezerowanych oraz wartości kilkudziesięciu nanofardów dla urządzeń zerowanych wykonuje się w tolerancji $-40\% - 0\%$. Wymagana dokładność pomiarów tolerancji pojemności powinna być taka, aby błąd pomiaru nie przekraczał 10% wartości tolerancji pojemności lub 2% znamionowej wartości pojemności zależnie od tego, która z tych wartości jest mniejsza [2].

Zalecany sposób pomiaru pojemności złożonych kondensatorów przedstawia rys. 2a dla pomiaru C_x i rys. 2b dla pomiaru C_y [1]. W obu przypadkach nie mierzy się bezpośrednio pojemności C_x , C_{y1} , C_{y2} , ale pojemność wypadkową wynikającą ze schematów zastępczych (rys. 2), tj.:

$$C_{w1} = C_x + \frac{C_{y1} C_{y2}}{C_{y1} + C_{y2}} \quad (1)$$

$$C_{w2} = C_{y1} + C_{y2} \quad (2)$$

Przyjmując, że $C_{w1} \approx C_x$ i $C_{w2} = 2 C_{y\text{sr}}$, daje to uwikłaną informację o tolerancji pojemności kondensatorów.



Rys. 2. Sposób podłączenia napięcia pomiarowego przy pomiarach złożonego kondensatora przeciwwzakłócenieniowego wg [1]

Fig. 2. Method of connecting measuring voltage when testing the composite radio interference suppressor capacitor according to [1]

Celem powyższych rozważań jest pomiar pojemności każdego z kondensatorów składowych C_x , C_{y1} , C_{y2} , a ściślej tolerancji tych pojemności ΔC_x , ΔC_{y1} , ΔC_{y2} , gdzie

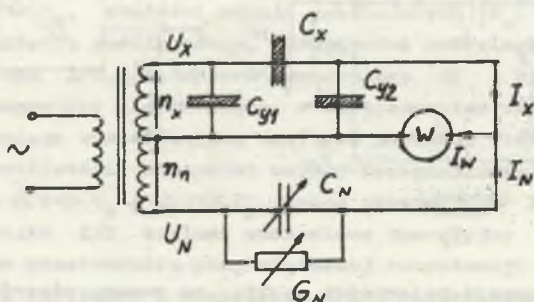
$$\Delta C_x = C_x - C_{xN}$$

$$\Delta C_{y1} = C_{y1} - C_{yN}$$

$$\Delta C_{y2} = C_{y2} - C_{yN}$$

(3)

Do pomiaru pojemności złożonego kondensatora stosowany jest często zrównoważony mostek transformatorowy [3]. Schemat takiego mostka do pomiaru C_x przedstawia rys. 3. Stan równowagi mostka, tj. stan, w którym prąd wskaźnika równowagi $I_w = 0$, uzyskuje się przez regulację wartości pojemności wzorcowej C_N i konduktancji G_N lub przez zmianę liczby zwojów przekładni transformatora pomiarowego n_x, n_{CN}, n_{GN} przy stałych wartościach C_N i G_N , czego nie zaznaczono na rys. 3. Przy założeniu, że impedancja kondensatora C_{y1} jest znacznie większa od impedancji uzwojenia U_x w stanie równowagi mostka, pojemności C_{y1}, C_{y2} nie wpływają na warunki równowagi mostka (na pojemności C_{y2} napięcie jest równe zeru).



Rys. 3. Schemat zrównoważonego mostka transformatorowego

Fig. 3. Diagram of balanced transformer bridge

Wykorzystanie zrównoważonego ręcznie mostka transformatorowego w dużej liczbie pomiarów kontrolnych jest zbyt czasochłonne, a automatycznie zrównoważony mostek jest urządzeniem drogim i skomplikowanym dla tych pomiarów. Pomiar tolerancji pojemności $\pm \Delta C_x, \pm \Delta C_{y1}, \pm \Delta C_{y2}$ złożonych kondensatorów przeciwzłóceniolowych z wymaganą dokładnością może być wykonany za pomocą niesrównoważonego mostka transformatorowego przedstawionego na rys. 4. Dla uproszczenia dalszych rozważań pominięto na rys. 4 pojemności C_{y1}, C_{y2} złożonego kondensatora, biorąc pod uwagę tylko pojemność C_x . Prąd pomiarowy I_p będący różnicą prądów I_x i I_N doprowadzony jest do układu przetwornika I/U zbudowanego na wzmacniaczu operacyjnym W . Przy założeniu, że napięcie ΔU na wejściu przetwornika I/U spełnia warunki $\Delta U \ll U_x$ oraz $\Delta U \ll U_N$, można napisać w przybliżeniu zależności:

$$\underline{I}_x = \underline{U}_x \underline{Y}_x \quad \text{i} \quad \underline{I}_N = \underline{U}_N \underline{Y}_N \quad (4)$$

oraz

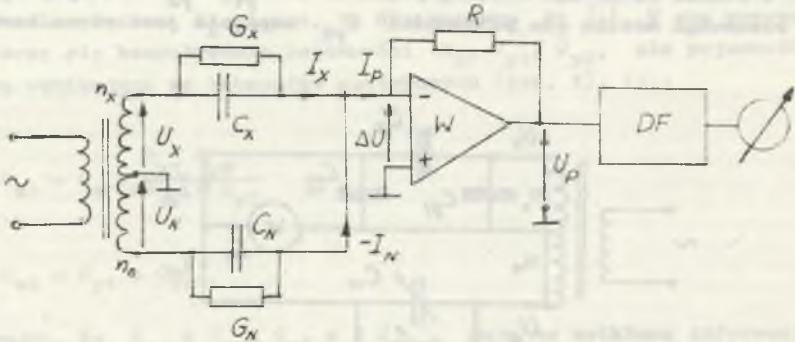
$$\underline{I}_p = \underline{U}_x \underline{Y}_x - \underline{U}_N \underline{Y}_N = \underline{I}_{pen} + j \underline{I}_{pb} \quad (5)$$

lub

$$I_{\text{poz}} = U_x G_x - U_N G_N \quad (6)$$

$$I_{\text{pb}} = U_x \omega C_x - U_N \omega C_N = \omega U_x (C_{xN} \pm \Delta C_x) - U_N \omega C_N \quad (7)$$

gdzie ω - pulsacja napięcia zasilającego mostek.



Rys. 4. Pomiar tolerancji pojemności $\pm \Delta C_x$ za pomocą niezrównoważonego mostka transformatorowego

Fig. 4. Measurement of capacity tolerance $\pm \Delta C_x$ using unbalanced transformer bridge

Stosując detektor fazoczuły DF na wyjściu przetwornika I/U, wyodrębniany w układzie tylko składową bierną I_{pb} . Zakładamy równowagę mostka dla składowej biernej $I_{\text{pb}} = 0$, gdy pojemność C_x ma wartość nominalną C_{xN} , ($\pm \Delta C_x = 0$), co można zapisać równaniem:

$$U_x \omega C_{xN} - U_N \omega C_N = 0. \quad (8)$$

Stąd

$$C_N = \frac{U_x}{U_N} C_{xN} = \frac{n_x}{n_n} C_{xN}. \quad (9)$$

W przypadku pomiaru pojemności C_x , dla której $\pm \Delta C_x \neq 0$, wartość składowej biernej prądu I_{pb} wyznaczamy podstawiając równanie (8) do równania (7) i otrzymujemy:

$$I_{\text{pb}} = \pm \omega U_N \Delta C_x = \pm \omega U_x C_{xN} \frac{\Delta C_x}{C_{xN}} \quad (10)$$

Z zależności (10) wynika, że miernik włączony na wyjściu detektora fazo-
czułego DF można wyskalować w procentach wartości nominalnej mierzonej
pojemności C_{xN} , ponieważ

$$\pm \frac{\Delta C_x}{C_{xN}} \cdot 100 = \frac{100 I_{pb}}{U_x C_{xN}}. \quad (11)$$

Niezerównoważony mostek transformatorowy przedstawiony na rys. 4 posiada
więc liniową charakterystykę przetwarzania tolerancji mierzonej pojemności-
ci C_x na składową bierną prądu I_{pb} .

Dokładność pomiarów tolerancji pojemności zależy od spełnienia założe-
nia pomijanie małej wartości napięcia na wejściu przetwornika I/U
 $\Delta U \ll U_x$ i $\Delta U \ll U_N$, stałości napięć zasilających U_x , U_N mostka, stałoś-
ci pulsacji napięcia zasilającego, właściwości metrologicznych zastosowa-
nego przetwornika I/U, detektora fazooczulęgo DF i klasy miernika.
Współczesne generatory elektroniczne z zastosowaniem wzmacniaczy operacyj-
nych [4] zapewniają wystarczającą dla tych pomiarów stałość napięć zasila-
jących i częstotliwości. Natomiast należy przeanalizować możliwość speł-
nienia warunku $\Delta U \ll U_x$ i $\Delta U \ll U_N$ przez przetwornik I/U. Wykorzystu-
jąc w przetworniku I/U scalony wzmacniacz operacyjny W, napięcie na
wyjściu takiego przetwornika przy włączonej rezystancji R w pętli ujem-
nego sprzężenia zwrotnego i pominięciu prądu polaryzującego wejście
wzmacniacza można opisać zależnością [4]:

$$U_p = -R I_p. \quad (12)$$

Natomiast napięcie ΔU na wejściu wzmacniacza W określa zależność:

$$\Delta U = \frac{-U_p}{A_u} = \frac{R I_p}{A_u}, \quad (13)$$

gdzie A_u - jest współczynnikiem wzmocnienia napięciowego wzmacniacza w
otwartej pętli dla pulsacji ω napięcia pomiarowego. Współczesne układy
scalone o wzmocnieniu $A_u \geq 10^3$ dla częstotliwości pomiarowej $f = 10^3$ Hz
przy założeniu $I_p \geq 10^{-4}$ A, dla $\pm 20\%$ C_{xN} , $R_N \leq 10^4 \Omega$ pozwalają na speł-
nienie warunku $\Delta U \ll U_x$, $\Delta U \ll U_N$. Powracając do przypadku pomiaru tole-
rancji złożonego kondensatora przeciwzakońceniowego (rys. 5) prąd pomia-
rowy I_p podawany na przetwornik I/U jest pomniejszony o prąd I_{y2}
płynący przez pojemność C_{y2} i wynosi:

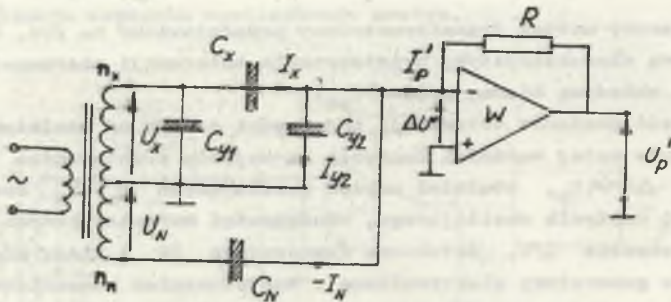
$$I'_p = I_p - I_{y2}, \quad (14)$$

gdzie

$$I_{y2} = j\omega C_{y2} \Delta U. \quad (15)$$

Podstawiając wzór (13) do (15) otrzymamy:

$$I_{y2} = j\omega C_{y2} \frac{I'_p R}{A_u}. \quad (16)$$



Rys. 5. Pomiar tolerancji pojemności $\pm \Delta C_x$ założonego kondensatora
Fig. 5. Measurement of capacity tolerance $\pm \Delta C_x$ of composite capacitor

Zakładając dla uproszczenia najbardziej niekorzystny przypadek algebraicznego odejmowania się prądów I_p i I_{y2} wyznaczmy względny błąd δ_p spowodowany pominięciem prądu I_{y2}

$$\delta_p = \frac{I_p - I'_p}{I'_p}. \quad (17)$$

Po podstawieniu wzorów (14) i (16) do (17) otrzymamy:

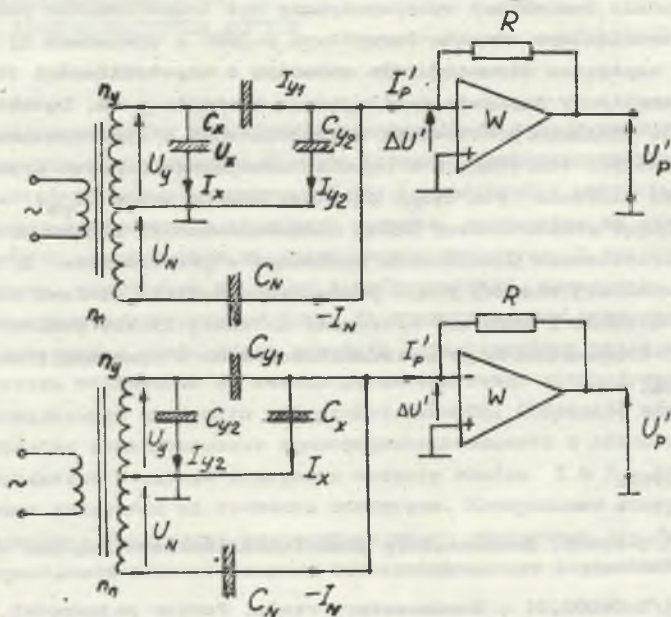
$$\delta_p = \omega C_{y2} \frac{R}{A_u}. \quad (18)$$

Z zależności (18) wynika, że błąd δ_p jest proporcjonalny do pojemności bocznikującej przetwornik I/U i odwrotnie proporcjonalny do wzmacnienia wzmacniacza A_u . Dla pojemności C_{y2} rzędu kilku procent pojemności C_x , opornika $R \leq 10^3 \Omega$ i wzmacnienia napięciowego typowego wzmacniacza (np. $\mu A 741$) $A_u = 10^3$ błąd $\delta_p \approx 10^{-4}$ jest pomijalnie mały. Wpływ pojemności C_{y1} nieznacznie obciążający uzwojenie n_x transformatora można również pominąć.

W przypadku pomiaru pojemności C_{y1} i C_{y2} istnieje możliwość włączenia złożonego kondensatora dwójako (rys. 6):

a) kondensator $C_x \gg C_y$ jest głównym obciążeniem uzwojenia n_y transformatora pomiarowego (rys. 6a),

b) kondensator $C_x \gg C_y$ istotnie bocznikuje wejście przetwornika I/U (rys. 6b).



Rys. 6. Sposoby podłączenia złożonego kondensatora przy pomiarze tolerancji pojemności kondensatora $\pm \Delta C_y$

Fig. 6. Methods of connecting composite capacitor during capacity tolerance $\pm \Delta C_y$ measurement

W przypadku a) wymagana jest dostatecznie mała impedancja uzwojenia n_y transformatora, aby napięcie $U_y = U_x$ nie zmieniło się pod wpływem obciążenia pojemnością C_x . Natomiast błąd δ_p wynikający z pominięcia prądu I_{y2} jest również pomijalnie mały jak w przypadku pomiaru C_x , przyjmując podobnie $R \leq 10^4 \Omega$ i $A_u = 10^3$.

W przypadku b) kondensator $C_{y2} \approx C_{y1}$ w równym stopniu co kondensator mierzony obciąża uzwojenie pomiarowe n_y transformatora pomiarowego.

Wartość błędu δ_p wynikająca z pominięcia prądu I_x bocznikującego wejście przetwornika I/U jest proporcjonalna do pojemności C_x i mogłaby osiągnąć wartość $\delta_p \approx 6\%$ dla $C_x < 1 \mu F$, $F = 10^4 \Omega$ oraz $A_u = 10^3$. Stąd w tym przypadku konieczne jest zastosowanie specjalnego wzmacniacza o wzmocnieniu $A_u \geq 10^4$ dla częstotliwości pomiarowej 1 kHz (np. $\mu A 725$).

Przeprowadzone pomiary kontrolne w układach przedstawionych na rys. 5 i 6a wykazały możliwość wykonania wielozakresowego miernika tolerancji pojemności złożonych kondensatorów przeciwzakłóceńowych z wykorzystaniem

niezrównoważonego mostka transformatorowego i przetwornika I/U spełniającego powyższe warunki. Błąd pomiaru w tych układach nie przekraczał 3% wartości tolerancji pojemności $\pm \Delta C_y$ przy zastosowaniu w przetworniku I/U wzmacniacza scalonego $\mu A 725$.

W układzie pomiarowym wykorzystywany był transformator pomiarowy wykonany na toroidalnym rdzeniu ferrytowym F-3001 o wymiarach 25 x 15 x 12 mm zasilany napięciem sinusoidalnie zmiennym o częstotliwości 1000 \pm 5 Hz. Stałość amplitudy napięcia nasilającego wynosiła \pm 1%. Detektor fazoczuły wykonano w układzie prostowania dwupołkowego z wykorzystaniem kluczy tranzystorowych sterowanych z układu formującego poprzez przesuwnik fazowy, tak że mierzona była tylko składowa bierna prądu I_{pb} .

Reasumując przedstawiony układ niezrównoważony, mostek transformatorowy z wykorzystaniem wzmacniacza scalonego w przetworniku I/U i wyodrębnieniu składowej biernej prądu pomiarowego posiada liniową charakterystykę przetwarzania i może być stosowany do dużej liczby pomiarów tolerancji złożonych kondensatorów przeciwzakłóceńowych z wymaganą przez normę dokładnością.

LITERATURA

- [1] PN-83/T-80002: Kondensatory przeciwzakłóceńowe. Ogólne wymagania i badania.
- [2] PN-75/T-04602.01 - Kondensatory stałe. Pomiar pojemności.
- [3] Marcyniuk A., Pasecki E., Pluciński M., Szadkowski B.: Podstawy metrologii elektrycznej, WNT, Warszawa 1984.
- [4] Kulka Z., Nadachowski M.: Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych. WNT, Warszawa 1986.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Stefan Kubisa

Wpłynęło do Redakcji 15 sierpnia 1987 r.

ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЕРАНТНОСТИ ЕМКОСТИ СЛОЖНЫХ
ПОМЕХОПОДАВЛЯЮЩИХ КОНДЕНСАТОРОВ
НЕРАВНОВЕСНЫМ ТРАНСФОРМАТОРНЫМ МОСТОМ

Р е з ю м е

В статье рассматривается применение неравновесного трансформаторного моста для измерения толерантности емкости сложных помехоподавляющих конденсаторов. На представленной схеме измеряемый ток I_p , являющийся разностью токов протекаемых через измеряемую и эталонную емкости, подводится на вход преобразователя I/U построенном на операционном усилителе. В фазочувствительном детекторе, включенном на выход преобразователя, выделяется только пассивная составляющая измеряемого тока. Из представленных зависимостей следует, что измеряемая схема имеет линейную характеристику преобразования а измеритель включенный на выходе детектора можно проградуировать в процентах номинальной стоимости измеряемой емкости. Обсуждено влияние шунтирующей обмотки измерительного трансформатора емкости и емкости шунтирующей вход усилителя в случае измерения емкости класса X и Y. Оговорено влияние усиления усилителя на точность измерения. Контрольные измерения показали возможность построения многодиапазонного измерителя для быстрого контроля толерантности емкости сложных помехоподавляющих конденсаторов.

CAPACITY TOLERANCE MEASUREMENT
OF COMPOSITE RADIO INTERFERENCE SUPPRESSOR
CAPACITORS WITH UNBALANCED TRANSFORMER BRIDGE

S u m m a r y

An application of unbalanced transformer bridge for the capacity tolerance measurement of composite radio interference suppressor capacitors has been discussed in the paper. In the presented system the measuring current I_p being the difference of the currents flowing through the measured and standard capacities is led to the converter I/U constructed on the integrated operational amplifier. The reactive component of the measuring current is the only one to be isolated in a phase - sensitive detector incorporated on the converter output. It has been proved on the basis of the presented dependencies that measuring system has linear conversion characteristic and the meter connected to the detector output can be scaled in percentage of nominal value of the measured capacity. The influence of the capacity shunting the transformer measuring wiring and the capacity shunting the amplifier input in case of capacity measurement of the X and Y class capacitors have been considered.

The effect of amplifier voltage amplification on measurements accuracy has been discussed. The check measurements carried out during measurements have indicated possibility of manufacturing multirange meter for fast capacity tolerance control of the composite radio interference suppressor capacitors.

- [1] ...
- [2] ...
- [3] ...