

Andrzej LEBIEDZKI

Instytut Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej
Politechniki ŚląskiejUKŁAD DO POMIARU TOLERANCJI POJEMNOŚCI
ZWIJEK KONDENSATOROWYCH W TOKU PROCESU TECHNOLOGICZNEGO

Streszczenie. W artykule omówiono układ do pomiaru tolerancji pojemności zwojek kondensatorowych w toku procesu technologicznego. Z przedstawionych kilku układów pomiarowych charakteryzujących się liniowymi charakterystykami przetwarzania wybrano metodę techniczną pomiaru składowych admitancji zwojki kondensatorowej z wykorzystaniem bocznika pomiarowego. W metodzie tej zmiana zakresu pomiarowego wymaga przełączania tylko jednego elementu, bocznika. Układ ten wykorzystany został do budowy wielozakresowego miernika tolerancji pojemności z sensorowym elektronicznym przełącznikiem zmiany zakresów pomiarowych. Tego typu przełącznik zakresów jest niezbędny przy częstej zmianie zakresów pomiaru w procesie produkcji kilku typów kondensatorów równocześnie. W artykule przedstawiono schemat blokowy wykonanego miernika i jego własności metrologiczne.

1. Wstęp

W procesie produkcji kondensatorów przeciwzakłóceńowych z uwagi na częste zmiany parametrów elektrycznych i mechanicznych bibułki kondensatorowej stosowanej do ich produkcji istnieje konieczność bieżącej kontroli pojemności zwojek kondensatorowych przed i po ich impregnacji.

Znamionowe wartości pojemności gotowych kondensatorów przeciwzakłóceńowych zawarte są w przedziale od 1 nF do 1 μ F w zależności od typu i klasy kondensatora. Tolerancję pojemności tych kondensatorów określa norma przedmiotowa [1], która przewiduje dla kondensatorów klasy X dopuszczalną tolerancję pojemności $\pm 20\%$, a dla kondensatorów klasy Y tolerancję od -40% do 0% wartości znamionowej pojemności. Natomiast wymagana dokładność pomiarów tolerancji pojemności powinna być taka, aby błąd pomiaru pojemności nie przekraczał 10% wartości tolerancji pojemności lub 2% znamionowej wartości zależnie od tego, która z tych wartości jest mniejsza [2].

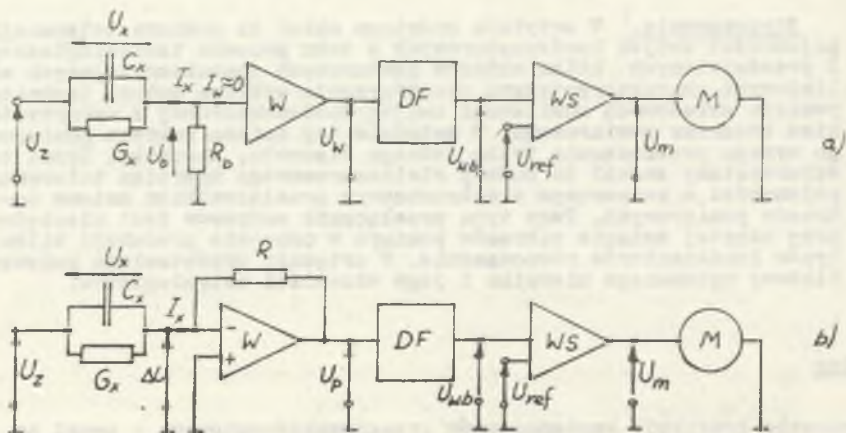
Przy dużej liczbie kontrolowanych elementów układ pomiarowy powinien pozwalać na szybki pomiar i odczyt mierzonej tolerancji oraz łatwy sposób zmiany zakresu pomiarowego w czasie kontroli kilku typów produkowanych zwojek kondensatorowych.

2. Zasada działania

Poniżej przedstawiono i przeanalizowano metodę techniczną i metodę niezrównoważonego mostka transformatorowego do pomiaru tolerancji pojemności zwijek kondensatorowych.

We wszystkich rozważanych układach założony został równoległy schemat zastępczy admittancji zwijki.

W układzie pomiarowym przedstawionym na rys.1a zastosowano do pomiaru prądu I_x bocznik pomiarowy R_b przy założeniu stałej wartości sinusoidalnego napięcia zasilającego U_z i stałej jego pulsacji ω .



Rys.1 Schemat układu do pomiaru tolerancji pojemności ΔC_x metodą techniczną

- a) z bocznikiem R_b
b) z przetwornikiem I/U

Fig.1 Diagram of the system for capacity tolerance ΔC_x measurement performed by technical method:

- a) with shunt R_b
b) with converter I/U

Prąd I_x płynący przez admittancję Y_x zwijki określa zależność:

$$I_x = U_x Y_x = U_x (G_x + j\omega C_x) \quad (1)$$

gdzie: U_x - napięcie na zwijce,
 G_x - kondutancja zwijki,
 C_x - pojemność zwijki

Napięcie U_b na boczniku o rezystancji R_b wywołane przepływem prądu I_x wynosi:

$$U_b = R_b I_x = R_b U_x (G_x + j\omega C_x) \quad (2)$$

Przy założeniu $U_b \ll U_x$ można przyjąć $U_x \approx U_z$.

Napięcie U_w na wyjściu wzmacniacza W o wzmocnieniu napięciowym k_u przy założeniu zerowego przesunięcia fazowego wzmacniacza i pomijalnie małej wartości prądu wejściowego wzmacniacza określa zależność:

$$\underline{U}_w = k_u R_b \underline{U}_z (G_x + j \omega C_x) \quad (3)$$

Stosując detektor fazoczuły DF wyodrębniamy tylko składową bierną

$$U_{wb} = k_u R_b U_z \omega C_x = k_1 C_x \quad (4)$$

Dla pomiaru tolerancji pojemności $\Delta C_x = C_x - C_n$, gdzie C_n jest znamionową wartością pojemności zwijki, należy do napięcia U_{wb} detektora dodać napięcie odniesienia $U_{ref} = -k_1 C_n$. Stosując w tym celu wzmacniacz wzmacniający WS napięcie U_m na jego wyjściu jest proporcjonalne do tolerancji pojemności ΔC_x

$$U_m = k_{us} (U_{wb} + U_{ref}) = k_1 \Delta C_x \quad (5)$$

gdzie: k_{us} - wzmocnienie napięciowe wzmacniacza WS.

$$k_1 = k_{us} k_1$$

Do zmiany zakresu pomiarowego w tym układzie potrzebna jest tylko zmiana wartości bocznika R_b .

W układzie pomiarowym przedstawionym na rys.1b wykorzystano wzmacniacz pomiarowy pracujący w układzie przetwornika I/U do pomiaru prądu płynącego przez admitancję Y_x .

Przy założeniu, że napięcie ΔU na wejściu wzmacniacza spełnia warunek $\Delta U \ll U_x$ można zapisać:

$$\underline{I}_x = \underline{U}_x Y_x = \underline{U}_z (G_x + j \omega C_x) \quad (6)$$

Korzystając z równania przetwarzania przetwornika I/U [4]

$$\underline{I}_x = -U_p R \quad (7)$$

napięcie U_p na wyjściu wzmacniacza ma postać:

$$\underline{U}_p = -\frac{1}{R} \underline{U}_z (G_x + j \omega C_x) \quad (8)$$

gdzie: R - rezystancja sprzężenia zwrotnego wzmacniacza.

Stosując podobnie detektor fazoczuły DF mierzymy tylko składową bierną napięcia

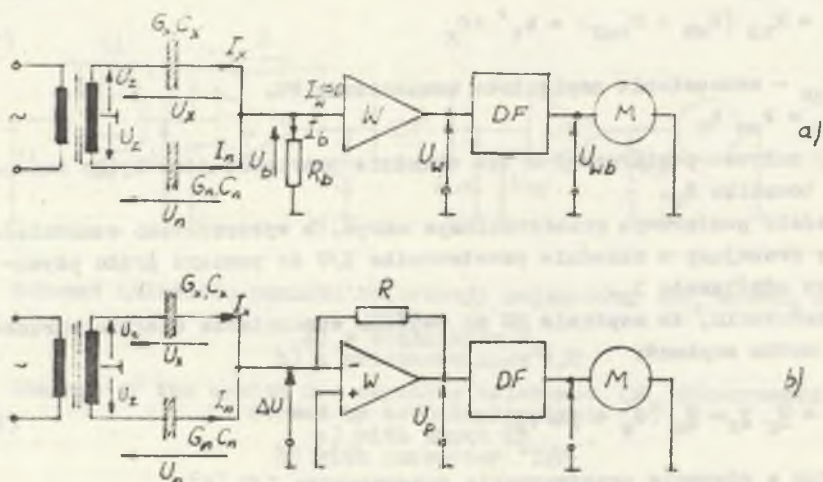
$$U_{pb} = \frac{1}{R} U_z \omega C_x = k_2 C_x \quad (9)$$

Pomiar tolerancji pojemności w tym układzie wymaga również dodania napięcia odniesienia $U_{ref} = -k_2 C_N$ do napięcia U_{pb} z detektora, stosując w tym celu wzmacniacz sumujący WS.

Praktyczna realizacja przetwornika I/U w najprostszej postaci przedstawionej na rys.1b natrafia jednak na trudności z uwagi na skłonność układu wzmacniacza do oscylacji, wrażliwość na szумы i zakłócenia wielkiej częstotliwości spowodowane rosnącą charakterystyką wzmocnienia wzmacniacza w funkcji częstotliwości [4]. Na podstawie badań laboratoryjnych stabilizacja warunków pracy przetwornika I/U w tym układzie jest możliwa przez zbcznikowanie mierzonej pojemności zwijki dodatkowym rezystorem R_d o wartości w przedziale

$$\frac{2}{\omega C_N} < R_d < \frac{5}{\omega C_N} \quad (10)$$

Natomiast warunek $\Delta U \ll U_x$ jest spełniony przez współczesne wzmacniacze operacyjne.



Rys.2 Schemat niezrównoważonego mostka transformatorowego do pomiaru tolerancji pojemności ΔC_x
 a) z bocznikiem R_b
 b) z przetwornikiem I/U

Fig.2 Diagram of unbalanced transformer bridge for capacity tolerance ΔC measurement:
 a) with shunt R_b
 b) with converter I/U

W układzie niezrównoważonego mostka transformatorowego przedstawionego na rys.2a założono jednakowe wartości napięć zasilających $U_{zx} = U_{zn} = U_z$, pojemność mierzonej zwijki C_x i pojemność wzorcowa C_n .

Prąd I_b płynący przez boczniak R_b określa zależność:

$$I_b = I_x - I_n = U_x Y_x - U_n Y_n \quad (11)$$

Przy założeniu $U_b \ll U_x$ i $U_b \ll U_n$ napięcie na boczniku określa zależność:

$$U_b = I_b R_b = U_x R_b (Y_x - Y_n) \quad (12)$$

lub

$$U_b = U_x R_b [(G_x - G_n) + j\omega(C_x - C_n)] \quad (13)$$

Stosując podobnie jak dla układu z rys.1a, wzmacniacz napięciowy o wzmacnieniu k_u i detektor fazoczuły DF, mierzymy tylko składową bierną U_{pb} napięcia

$$U_{pb} = k_u R_b U_x \omega \Delta C_x = k_3 \Delta C_x \quad (14)$$

W układzie tym wprost po detektorze mierzone jest napięcie proporcjonalne do tolerancji pojemności. Przedstawiony układ przy zmianie zakresu pomiarowego wymaga równoczesnego przełączenia wzorca C_N i boczniaka pomiarowego R_b .

W układzie pomiarowym przedstawionym na rys.2b do pomiaru prądu I_b zastosowano przetwornik I/U. Przy założeniach $\Delta U \ll U_x$ i $\Delta U \ll U_n$ korzystając z równania przetwarzania przetwornika (7) napięcie U_p na wyjściu przetwornika wynosi:

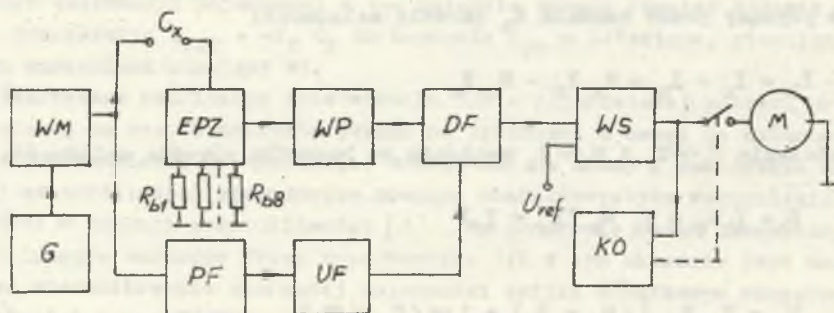
$$U_p = -\frac{1}{R} U_x [(G_x - G_n) - j\omega(C_x - C_n)] \quad (15)$$

Po detekcji fazowej składowa bierna napięcia U_{pb} ma postać:

$$U_{pb} = \frac{U_x}{R} \omega \Delta C_x = k_4 \Delta C_x \quad (16)$$

Dla stabilizacji warunków pracy przetwornika I/U konieczne jest również zbocznikowanie mierzonej pojemności C_x dodatkowym rezystorem o wartości rezystancji podanej zależnością (10). Wszystkie przedstawione powyżej układy pomiaru tolerancji pojemności charakteryzują się liniowymi równaniami przetwarzania. Zastosowanie współczesnych wzmacniaczy scalonych pozwala na łatwą realizację układów pomiarowych spełniających warunki dokładności pomiaru wymagane przy tego typu kondensatorach.

Z przedstawionych powyżej układów do praktycznej realizacji wybrana została metoda techniczna z boczniakiem R_b (rys.1a) wymagająca tylko zmiany wartości rezystancji boczniaka przy zmianie zakresu pomiarowego za pomocą elektronicznego przełącznika zakresów.



Rys.3 Schemat blokowy ośmiozakresowego miernika tolerancji pojemności zwińek kondensatorowych. G - generator. WN - wzmacniacz mocy. EPZ - elektroniczny przełącznik zakresów. WP - wzmacniacz pomiarowy. PF - przesuwnik fazowy. UP - układ formujący. DF - detektor fazoczuły. WS - wzmacniacz sumujący. KO - komparator okienkowy. M - miernik końcowy.

Fig.3 Diagram of eight-range capacity tolerance meter of capacitors. G - generator, WN - power amplifier, EPZ - electronic range switch, WP - voltage amplifier, PF - phase shifter, UF - formative system, DF - phase-sensitive detector, WS - summing amplifier, KO - window comparator, M - micrometer.

Schemat blokowy wykonanego procentowego miernika pojemności przedstawiono na rys.3. Układ pomiarowy zasilany jest z generatora G napięcia sinusoidalnego o częstotliwości $1 \text{ kHz} \pm 5 \text{ Hz}$ o stabilizowanej amplitudzie. Napięcie generatora podawane jest na wzmacniacz mocy WN zbudowany na wzmacniaczu operacyjnym i parze tranzystorów komplementarnych objętych ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Napięcie wzmacniacza WN o wartości 1 V podawane jest na mierzoną pojemność zwińki. Stałość amplitudy napięcia wzmacniacza WN wynosi $\pm 0,5\%$. Zakres pomiarowy wybierany jest przez dotknięcie palcem sensora 8 segmentowego elektronicznego przełącznika współzależnego włączającego bocznik danego zakresu.

Wzmacniacz pomiarowy WP pracuje przy stałym wzmacnieniu k_u wzmacniając napięcie U_b bocznika do wartości potrzebnej dla detektora fazoczułego DF. Detektor fazoczuły DF wykonano w układzie prostowania jednopółkowego z wykorzystaniem klucza typu FET sterowanego z układu formującego UP poprzez przesuwnik fazowy PF, tak aby mierzona była tylko składowa pojemnościowa napięcia wzmacniacza WP. Na wejściu wzmacniacza sumującego WS do napięcia detektora fazoczułego DF dodawane jest napięcie odniesienia U_{ref} o wartości odpowiadającej $60\% C_n$. Na skali miernika M odczytywana jest tolerancja pojemności w zakresie $\pm 40\% C_n$.

Miernik M włączony jest do układu pomiarowego przez kontaktron sterowany z komparatora okienkowego KO tylko w przedziale mierzonych tolerancji pojemności. Układ taki zabezpiecza miernik analogowy przed przecięciem przy odłączonym obiekcie pomiaru i niewłaściwym doborze zakresu pomiarowego.

Dzięki zastosowaniu współczesnych wzmacniaczy scalonych i stabilnych termicznie elementów błędy pomiaru tolerancji pojemności na wszystkich zakresach pomiarowych na podstawie badań doświadczalnych, wykonanego miernika nie przekroczą $1,5\% C_n$.

3. Wnioski końcowe.

Reasumując przedstawiony został układ do pomiaru tolerancji pojemności zwijek kondensatorowych i gotowych kondensatorów, który wykorzystany został do budowy ośmiozakresowego miernika tolerancji pojemności z elektronicznym przełącznikiem ułatwiającym obsługę przyrządu, pozwalającym na bardzo częste zmiany zakresu pomiarowego i eliminującym konieczność czyszczenia styków przełącznika w warunkach produkcyjnych. Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały, że wykonany przyrząd spełnia warunki dokładności pomiarów podane na wstępie.

LITERATURA

- [1] PN-83/T - 80002: Kondensatory przeciwzakłócenkowe. 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. Zygmunt Kuśmierk

Wpłynęło do Redakcji dnia 28 grudnia 1988r.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ДОПУСКОВ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРНЫХ СЕКЦИЙ ВО ВРЕМЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Резюме

В статье обсуждена система измерения допусков ёмкости конденсаторных секций во время технологического процесса. Из представленных нескольких измерительных систем, имеющих линейные характеристики преобразования выбран технический метод измерения составляющих адмитанса конденсаторной секции с использованием измерительного нунта. В данном методе перестройка измерительного диапазона требует переключения только одного элемента - нунта.

Эта система была использована при построении многодиапазонного измерителя допусков ёмкости с применением сенсорного электронного переключателя измеряемых диапазонов. Этот тип переключателя диапазонов необходим при многократной перестройке измеряемых диапазонов в процессе продукции нескольких типов конденсаторов одновременно. В статье представлена блок-схема построенного измерителя и его метрологические свойства.

CAPACITY TOLERANCE MEASUREMENT SYSTEM OF CAPACITORS IN THE COURSE OF MANUFACTURING PROCESS

S u m m a r y

Capacity tolerance measurement system of capacitors in the course of manufacturing process has been discussed in the paper. From a few measuring systems, having linear conversion characteristics, a technical measuring method of admittance components of capacitor wrappers has been chosen, making use of a measuring shunt. In this method only one element switch-over is required to change the measuring range. The system has been used to design a multi-range capacity tolerance meter with an electronic sensor switch to change the ranges. Such a switch is indispensable when frequently changing the measuring ranges in the process of simultaneous production of several types of condensers. A block diagram of designed meter and its metrological properties have been also presented in the paper.