

POMIAR TEMPERATUROWEGO WSPÓŁCZYNNIKA MAŁYCH POJEMNOŚCI
Z WYKORZYSTANIEM CZĘSTOŚCIOMIERZA CYFROWEGO
/Komunikat/

KD: 621.317.335.2.019.33

W komunikacie omówiono zagadnienia pomiaru temperaturowego współczynnika małych pojemności, przy wykorzystaniu częstotściomierzy cyfrowych. Przedyskutowano zalety tej metody w stosunku do metod tradycyjnych. Podano przykłady pomiaru oraz warunki stosowalności opisanego sposobu pomiaru.

Temperaturowy współczynnik pojemności kondensatorów jest jednym z podstawowych czynników decydujących o stabilności pracy elektrycznych obwodów rezonansowych. Znajomość tego współczynnika pozwala przy projektowaniu zastosować środki zmierzające do uzyskania wymaganej stabilności obwodu rezonansowego.

Komunikat niniejszy poświęcony jest zagadnieniu wykorzystania częstotściomierzy cyfrowych do pomiaru temperaturowego współczynnika małych pojemności. Zagadnienie wydaje się być aktualne, ponieważ częstotściomierze cyfrowe stają się coraz łatwiej dostępne.

Temperaturowy współczynnik pojemności kondensatorów jest definiowany jako:

$$\alpha = \frac{\Delta C}{C \cdot \Delta \vartheta} \quad /1/$$

gdzie:

C - pojemność badanego kondensatora,

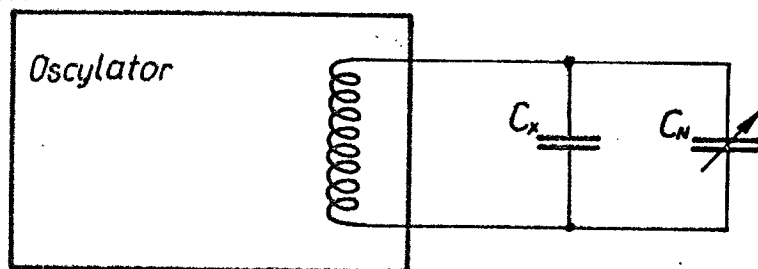
ΔC - przyrost pojemności kondensatora,

$\Delta \vartheta$ - przyrost temperatury.

Dla uproszczenia zapisu współczynnika podaje się go zwykle w formie iloczynu wielkości współczynnika pomnożonego przez 10^{-6} /np.: 100×10^{-6} $\frac{\text{PF}}{\text{PF}}/1^\circ\text{C}/$. Przy równoczesnym wzroście ΔC i ΔV przyjmuje się α jako dodatnie. Wzór ten jest słuszny przy założeniu, że przyrosty ΔC są liniową, powtarzalną funkcją przyrostów ΔV .

Przy pomiarze współczynnika temperaturowego pojemności problem sprowadza się na ogół do pomiaru zmian ΔC kondensatora, spowodowanych zmianami temperatury w granicach ΔV . Stosowane powszechnie metody mostkowe pomiaru zmian pojemności są przydatne w zasadzie w przypadku pomiaru kondensatorów o dużych pojemnościach znamionowych.

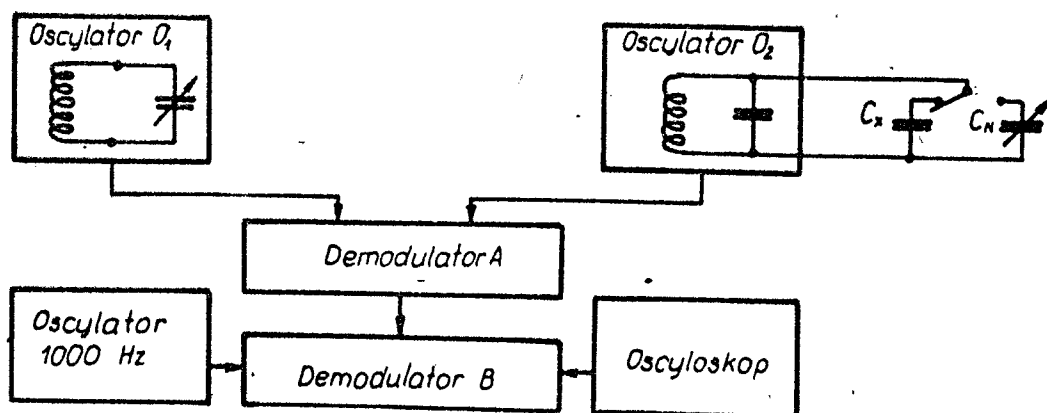
Dla pomiaru współczynników temperaturowych kondensatorów o małych pojemnościach stosuje się metody rezonansowe /rys.1/.



Rys.1. Zasada pomiaru przyrostów pojemności przy pomocy obwodu rezonansowego

Jeżeli C_x oznacza kondensator badany, wówczas zmiana jego wartości może być określona albo ze zmian częstotliwości oscylatora, albo z przyrostu pojemności C_N potrzebnego do uzyskania stałej częstotliwości oscylatora.

Tę zasadę pomiaru w praktyce można zrealizować np. w układzie jak na rys.2.

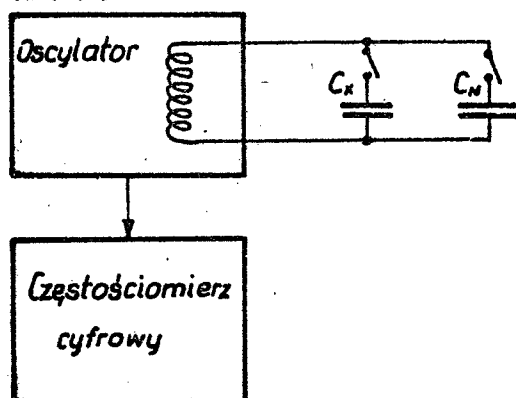


Rys.2. Praktyczny układ do pomiaru małych przyrostów pojemności

W układzie tym zmiany pojemności kondensatora mierzonego C_x są określone na podstawie zmian C_N /metoda podstawienia/. Zadaniem tego dość rozbudowanego układu jest umożliwienie określania zmian częstotliwości oscylatora O_2 z rozróżnialnością kilku Hz przy częstotliwości pomiaru 1 MHz. Wymagana stałość częstotliwości oscylatorów jest rzędu $1 \cdot 10^{-5}$ /godz. Jest to podyktowane tym, że temperaturowy współczynnik pojemności waha się przeciętnie w granicach od $50 - 500 / \cdot 10^{-6} / 1^\circ C$.

Uzyskanie generatora o stałości częstotliwości rzędu $1 \cdot 10^{-5}$ jest trudne; generatory kwarcowe nie wchodzi w rachubę ze względu na małą czułość tych układów na zmiany pojemności.

Przy wykorzystaniu częstotliciemierza cyfrowego można stosować generatory o niezbyt dużej stabilności. Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rys.3. Układ ten przed wykonaniem właściwych pomiarów wymaga wstępnego określenia zależności $\Delta C = f / \Delta f$ //gdzie Δf zmiana częstotliwości oscylatora/.



Rys.3. Układ do pomiaru małych przyrostów pojemności z wykorzystaniem częstotliciemierza cyfrowego

Wskazane jest wyznaczenie tej zależności dla częstotliwości zbliżonych do tych, przy których zamierza się wykonywać pomiar.

Pomiar właściwy polega na zmierzeniu dwóch częstotliwości:

f_{N1} - dla założonej pojemności C_N ,

f_{x1} - dla założonej pojemności C_x .

Po podniesieniu temperatury kondensatora C_x o wartość ΔV powtórnie mierzy się odpowiednie dwie częstotliwości: f_{N2} i f_{x2} . Przyrost pojemności ΔC_x wywołany zmianą temperatury ΔV można obliczyć z uprzednio wyznaczonej zależności $\Delta C = f / \Delta f$, przy czym dla wyeliminowania

wpływu niestalości oscylatora na wynik pomiaru przyrost częstotliwości należy określić z zależności:

$$\Delta f = /f_{N1} - f_{x1}/ - /f_{N2} - f_{x2}/ \quad /2/$$

Jeżeli $f_{N1} = f_{x1}$, co stosunkowo łatwo można zrealizować w praktyce, wówczas $\Delta f = f_{x2} - f_{N2}$.

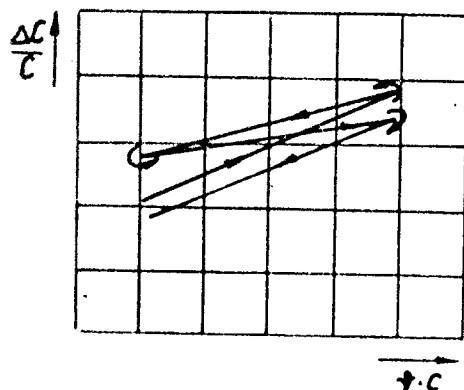
Zę względów rachunkowych najkorzystniej byłoby, gdyby zależność $\Delta C = f/\Delta f/$ była funkcją liniową; dla małych przedziałów Δf można jednak z wystarczającym przybliżeniem założyć liniowość przebiegu

$$\Delta C = A / \Delta f /,$$

gdzie A jest wartością stałą /przykład obliczeń podano w załączonym przykładzie.

Wykonanie pomiaru podaną metodą wymaga dość dużej staranności. Przede wszystkim połączenia elementów powinny być sztywne. Aby pojemności montażowe nie zmieniały się w trakcie pomiaru, wymagana jest powtarzalność przełączeń. W pomiarach wykonywanych w Zakładzie Elektronicznej Aparatury Pomiarowej stwierdzono, że przy zastosowaniu przełączników pokrętnych i przechyłnych nie uzyskuje się dostatecznej powtarzalności. Problem ten radykalnie rozwiązuje zastosowanie w charakterze przełącznika dwóch kontaktronów uruchamianych elektrycznie. Dodatkową zaletą kontaktronów jest mała pojemność rozwartych styków /0,5 pF/.

Współczynnik temperaturowy pojemności kondensatorów przy kilkakrotnym powtarzaniu pomiaru może przyjmować różne wartości. Zmiany pojemności kondensatorów w funkcji temperatury nie są ściśle liniowe, a dla cyklicznych przebiegów wykazują histerezę.



Rys.4. Zmiany pojemności kondensatorów dla cyklicznych przebiegów temperaturowych

W tej sytuacji współczynniki wyliczone dla poszczególnych cykli mogą się różnić między sobą.

W czasie pomiarów należy utrzymywać temperaturę pomiarową przez dostatecznie długi okres czasu potrzebny dla wyrównania temperatury wszystkich części kondensatora i układu pomiarowego. Dokładność pomiaru współczynnika zależy głównie od dokładności wyznaczenia zależności $\Delta C = f / \Delta f$. Przy zastosowaniu częstotliwościomierza cyfrowego pomiar Δf jest wystarczająco dokładny. Najtrudniej jest wyznaczyć przyrosty bardzo małych pojemności. Błąd pomiaru temperatury i pojemności znamionowej jest w tym przypadku do pominięcia.

P r z y k ł a d

Dla ilustracji metody pomiaru pomocny może służyć następujący przykład.

Dane wyjściowe:

- częstotliwość generatora $f = 1$ MHz,
- pojemność obwodu oscylacyjnego $C_1 = 100$ pF.

1. Wyznaczenie zależności $\Delta C = f / \Delta f$

Zmierzone dla $C_2 = 101$ pF częstotliwość $f_2 = 0,997$ MHz. Przy założeniu liniowego przebiegu $\Delta C = A \cdot \Delta f$ stałą A można prosto wyznaczyć z zależności

$$A = \frac{C_2 - C_1}{f_2 - f_1} = 0,202 \text{ pF/kHz}$$

Dzięki znajomości stałej A obwodu oscylacyjnego można na podstawie zmian częstotliwości Δf /w pobliżu częstotliwości f_1 / wyliczyć ΔC , a więc układ jest przygotowany do pomiaru współczynników temperaturewych kondensatorów.

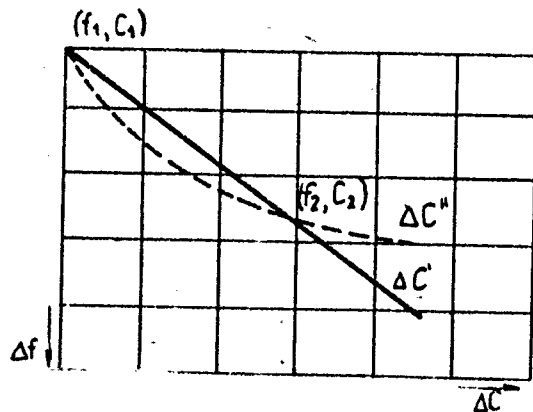
Rzeczywista zależność $\Delta C = f / \Delta f$ jest funkcją kwadratową.

$$\Delta C = B / \frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2} \text{ 2/}$$

Stałą $B = C_1 \cdot f_1$

$$\Delta C = C_1 \left[1 - \frac{f_1^2}{f^2} \right]$$

Na rys.5 przedstawiono przebieg różnic ΔC wyznaczonych dla zależności liniowej $\Delta C'$ i zależności kwadratowej $\Delta C''$.



Rys.5. Odchylenie zmian C w stosunku do przebiegu liniowego C

Dla $C_1 = 100$ pF i $f_1 = 1$ MHz przy $\frac{f}{f_1} = 1\%$ różnica między Δ i ΔC nie przekracza 2%, a więc w praktyce można korzystać z liniowej zależności.

L i t e r a t u r a

1. G.W. Dummer: Radio and Electronic Components. Vol IV. London, 1959r
2. J. Groszkowski: Generacja i stabilizacja częstotliwości, PIT. Warszawa, 1947 r.