

Janusz GUZIK  
Politechnika Śląska

## DOBÓR PARAMETRÓW TORU PRZETWORNIKA I/U PRZY ZAŁOŻONYCH CHARAKTERYSTYKACH CZĘSTOTLIWOŚCIOWYCH KOMPARATORA DO SZEROKOPASMOWYCH BADAŃ DIELEKTRYKÓW

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono dobór parametrów toru przetwornika prąd-napięcie przy założonych częstotliwościowych charakterystykach aktywnego, równonapięciowego komparatora dielektryków (o strukturze zaproponowanej w pracach [1], [2]), jak również wskazano na konieczność wyboru układu korekcji częstotliwościowych właściwości toru przetwarzania o strukturze zamkniętej [6].

### CHOICE OF I/U CONVERTER CHANNEL PARAMETERS BASED ON THE ASSUMED FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE COMPARATOR CIRCUIT USED FOR WIDE - BAND INVESTIGATIONS OF DIELECTRICS

**Summary.** Choice of the current-to-voltage converter channel parameters based on the assumed frequency characteristics of the active, equivoltage comparator circuit used for dielectric investigations (concerning structures suggested in papers [1], [2]) has been presented in the paper. The necessary choice of channel frequency correction circuit with feedback [6] has been given as well.

#### 1. WSTĘP

Z przeprowadzonego przeglądu literatury dotyczącej klasy komparatorów [1] i wyników zawartych w pracy [2] wynika, że najodpowiedniejszą klasą układów do szerokopasmowych badań dielektryków (np. w zakresie od  $10^{-3}$  do  $10^6$  Hz) jest klasa aktywnych, równonapięciowych komparatorów admitancji o schemacie ideowym zamieszczonym na rys. 1.

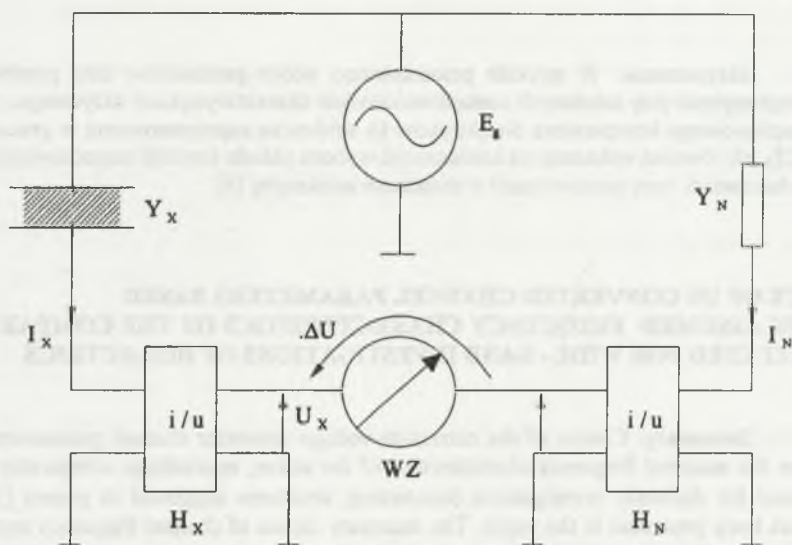
Dla takiego układu równanie przetwarzania jest następujące [1], [2]:

$$\Delta U = E_e (Y_X H_X - Y_N H_N), \quad (1)$$

przy czym dla stanu komparacji ( $\Delta U = 0$ ) obowiązuje zależność

$$Y_X = \frac{H_N}{H_X} Y_N, \quad (2)$$

- gdzie:  $\Delta U$  — sygnał wyjściowy komparatora,  
 WZ — wskaźnik zera typu amplitudowego,  
 $E_g$  — źródło napięcia zasilającego układ komparatora,  
 $U_X, U_N$  — sygnały napięciowe podlegające kompensacji w obwodzie wskaźnika zera,  
 $Y_X, Y_N$  — admitancje badanego dielektryka i zastosowanego wzorca,



Rys. 1. Schemat ideowy ogólnego układu komparatora admitancji z kompensacją napięć  $U_X$  i  $U_N$   
 Fig. 1. Schematic diagram of the general admittance comparator circuit with admittance compensator circuit with compensation of voltages  $U_X$  and  $U_N$

$H_X, H_N$  — transmitancje zastosowanych przetworników I/U o równaniach dających się sprowadzić do postaci

$$H_X = H_X(j\omega) = \frac{H_{0X}}{1 + j \left( \frac{\omega}{\omega_{0X}} \right)}, \quad (3)$$

$$H_N = H_N(j\omega) = \frac{H_{ON}}{1 + j \left( \frac{\omega}{\omega_{ON}} \right)}, \quad (4)$$

gdzie:  $H_{OX}$ ,  $H_{ON}$  — stałoprądowe transmitancje przetworników I/U,

$\omega_{OX}$ ,  $\omega_{ON}$  — pulsacje dominującego bieguna transmitancji  $H_X$  i  $H_N$  opisujących właściwości częstotliwościowe analizowanych przetworników I/U,

$\omega$  — pulsacja źródła napięcia zasilającego układ komparatora.

## 2. DOBÓR PARAMETRÓW TORU PRZETWORNIKA I/U PRZY ZAŁOŻONYCH CZĘSTOTLIWOŚCIOWYCH CHARAKTERYSTYKACH PRZETWARZANIA KOMPARATORA

Ocenę zakresu częstotliwości poprawnej pracy komparatora przeprowadzono w pracy [5] analizując transmitancję  $F(j\omega)$  zdefiniowaną następująco

$$F(j\omega) = H_X(j\omega) - H_N(j\omega), \quad (5)$$

gdzie:  $H_X(j\omega)$  i  $H_N(j\omega)$  są transmitancjami zastosowanych przetworników I/U (por. rys.1). Transmitancja  $F(j\omega)$  opisuje wówczas procedurę samosprawdzenia komparatora [3] odpowiadającą sytuacji, gdy prądy  $I_X$  i  $I_N$  płynące w obwodach wejściowych przetworników I/U o transmitancjach  $H_X(j\omega)$  i  $H_N(j\omega)$  są sobie równe.

Dla idealnego komparatora transmitancja

$$F(j\omega) = 0, \quad (6)$$

co odpowiada identyczności transmitancji  $H_X(j\omega)$  i  $H_N(j\omega)$  zastosowanych przetworników I/U

$$H_X(j\omega) = H_N(j\omega). \quad (7)$$

W praktyce spełnienie równości (7) jest możliwe dla jednej lub kilku częstotliwości, natomiast dla szerszego pasma częstotliwości (np. od  $10^{-3}$  Hz do  $10^{+6}$  Hz) należy stosować dodatkowe środki techniczne — np. włączając w tory przetworników I/U komparatora wg rys.1 odpowiednie układy korekcyjne.

Wówczas transmitancję  $F'(j\omega)$  opisuje relacja

$$F'(j\omega) = H_X'(j\omega) - H_N'(j\omega), \quad (8)$$

gdzie  $H'_X(j\omega) = f[H_X(j\omega), L_X(j\omega)]$ ,  $H'_N(j\omega) = f[H_N(j\omega), L_N(j\omega)]$  — transmitancje torów przetworników I/U z zastosowaniem układów korekcyjnych o transmitancjach odpowiednio równych  $L_X(j\omega)$  i  $L_N(j\omega)$ . Zastosowanie układów korekcyjnych jest przy tym możliwe w następujących strukturach [6]: a) łańcuchowej, b) równoległej, c) zamkniętej.

Przyjęcie układów korekcyjnych o strukturze łańcuchowej odpowiada transmitancji  $F'(j\omega)$  równej

$$F'(j\omega) = H'_X(j\omega) - H'_N(j\omega) = H_X(j\omega) L_X(j\omega) - H_N(j\omega) L_N(j\omega). \quad (9)$$

Stąd dla  $F'(j\omega) = 0$  konieczne jest spełnienie relacji:

$$L(j\omega) = \frac{L_X(j\omega)}{L_N(j\omega)} = \frac{H_N(j\omega)}{H_X(j\omega)}. \quad (10)$$

Korekcja transmitancji  $H'_X(j\omega)$  i  $H'_N(j\omega)$  torów przetworników I/U w strukturze równoległej odpowiada sytuacji, gdy odpowiednie układy korekcyjne pracują w układzie różnicowym, tzn. gdy transmitancję  $F'(j\omega)$  opisuje następująca zależność

$$F'(j\omega) = H'_X(j\omega) - H'_N(j\omega) = [H_X(j\omega) - L_X(j\omega)] - [H_N(j\omega) - L_N(j\omega)]. \quad (11)$$

Wówczas poszukiwana relacja dla  $F(j\omega) = 0$  przyjmuje postać

$$L(j\omega) = L_X(j\omega) - L_N(j\omega) = H_X(j\omega) - H_N(j\omega). \quad (12)$$

Korekcja w strukturze zamkniętej polega z kolei na zastosowaniu w torze przetworników I/U obwodu ujemnego sprzężenia zwrotnego, zawierającego (odpowiednio) transmitancje  $L_X(j\omega)$  i  $L_N(j\omega)$ , przy czym

$$F'(j\omega) = H'_X(j\omega) - H'_N(j\omega) = \frac{H_X(j\omega)}{1 + H_X(j\omega) L_X(j\omega)} - \frac{H_N(j\omega)}{1 + H_N(j\omega) L_N(j\omega)} \quad (13)$$

i dla  $F'(j\omega) = 0$  obowiązuje relacja

$$L(j\omega) = L_X(j\omega) - L_N(j\omega) = \frac{H_X(j\omega) - H_N(j\omega)}{H_X(j\omega) H_N(j\omega)}. \quad (14)$$

Zastosowanie jednej z trzech ((a)-(c)) struktur układów korekcyjnych uzależnione jest od postaci transmitancji  $H(j\omega)$  i  $H'(j\omega)$  zastosowanych przetworników I/U (por. relacje (10), (12) i (14)) układu komparatora wg rys. 1.



Wartości amplitudy  $A_L(\omega)$  i fazy  $\varphi_L(\omega)$  transmitancji  $L(j\omega)$  zdefiniowane następująco:

$$A_L(j\omega) = |L(j\omega)| \quad (15)$$

$$\varphi_L(\omega) = \text{Arg}L(j\omega), \quad (16)$$

można opisać za pomocą zależności (17) i (18):

$$A_L = \begin{cases} \frac{|H_N(j\omega)|}{|H_X(j\omega)|} & \text{— dla korekcji wg (a)} \\ \sqrt{|H_X(j\omega)|^2 + |H_N(j\omega)|^2 - 2|H_X(j\omega)| \cdot |H_N(j\omega)| \cos[\varphi_X(\omega) - \varphi_N(\omega)]} & \text{— dla korekcji wg (b) i} \\ \frac{\sqrt{|H_X(j\omega)|^2 + |H_N(j\omega)|^2 - 2|H_X(j\omega)| \cdot |H_N(j\omega)| \cos[\varphi_X(\omega) - \varphi_N(\omega)]}}{|H_X(j\omega)| \cdot |H_N(j\omega)|} & \text{— dla korekcji wg (c)} \end{cases} \quad (17)$$

$$\varphi_L = \begin{cases} \varphi_N(\omega) - \varphi_X(\omega) & \text{— dla korekcji wg (a)} \\ \text{arctg} \frac{|H_X(j\omega)| \sin(\varphi_X(\omega)) - |H_N(j\omega)| \sin(\varphi_N(\omega))}{|H_X(j\omega)| \cos(\varphi_X(\omega)) - |H_N(j\omega)| \cos(\varphi_N(\omega))} & \text{— dla korekcji wg (b)} \\ \text{arctg} \frac{|H_X(j\omega)| \sin(\varphi_X(\omega)) - |H_N(j\omega)| \sin(\varphi_N(\omega))}{|H_X(j\omega)| \cos(\varphi_X(\omega)) - |H_N(j\omega)| \cos(\varphi_N(\omega))} - \varphi_X(\omega) - \varphi_N(\omega) & \text{— dla korekcji wg (c)} \end{cases} \quad (18)$$

gdzie:

$$\varphi_X(\omega) = \text{Arg}H_X(j\omega) \quad \text{i} \quad \varphi_N(\omega) = \text{Arg}H_N(j\omega).$$

Ogólnie niech transmitancje  $H_X(j\omega)$  i  $H_N(j\omega)$  zastosowanych przetworników I/U (por.rys.1) dla zmian pulsacji  $0 < \omega < \infty$  opisują relacje:

$$H_{X\min} < |H_X(j\omega)| < H_{X\max} \quad \text{i} \quad H_{N\min} < |H_N(j\omega)| < H_{N\max}, \quad (19)$$

$$\varphi_{X\min} < \varphi_X(\omega) < \varphi_{X\max} \quad \text{i} \quad \varphi_{N\min} < \varphi_N(\omega) < \varphi_{N\max}, \quad (20)$$

wówczas graniczne wartości amplitudy  $A_L(\omega)$  i fazy  $\varphi_L(\omega)$  transmitancji  $L(j\omega)$  (por.(17) i (18)) są następujące:

- dla korekcji w strukturze łańcuchowej

$$\frac{H_{N\min}}{H_{X\min}} < A_L(\omega) < \frac{H_{N\max}}{H_{X\max}}, \quad (21)$$

$$\varphi_{N\min} - \varphi_{X\min} < \varphi_L(\omega) < \varphi_{N\max} - \varphi_{X\max},$$

- dla korekcji w strukturze równoległej

$$|H_{X\min} - H_{N\min}| < A_L(\omega) < \sqrt{H_{X\max}^2 + H_{N\max}^2}, \quad (22)$$

$$\arctg \frac{H_{X\min} \sin \varphi_{X\min} - H_{N\min} \sin \varphi_{N\min}}{H_{X\min} \cos \varphi_{X\min} - H_{N\min} \cos \varphi_{N\min}} < \varphi_L(\omega) < \arctg \frac{H_{X\max} \sin \varphi_{X\max} - H_{N\max} \sin \varphi_{N\max}}{H_{X\max} \cos \varphi_{X\max} - H_{N\max} \cos \varphi_{N\max}},$$

- dla korekcji w strukturze zamkniętej

$$\frac{|H_{X\min} - H_{N\min}|}{H_{X\min} H_{N\min}} < A_L(\omega) < \frac{\sqrt{H_{X\max}^2 + H_{N\max}^2}}{H_{X\max} H_{N\max}}, \quad (23)$$

$$\arctg \frac{H_{X\min} \sin \varphi_{X\min} - H_{N\min} \sin \varphi_{N\min}}{H_{X\min} \cos \varphi_{X\min} - H_{N\min} \cos \varphi_{N\min}} - \varphi_{X\min} - \varphi_{N\min} < \\ < \varphi_L(\omega) < \arctg \frac{H_{X\max} \sin \varphi_{X\max} - H_{N\max} \sin \varphi_{N\max}}{H_{X\max} \cos \varphi_{X\max} - H_{N\max} \cos \varphi_{N\max}} - \varphi_{X\max} - \varphi_{N\max}.$$

Porównując zatem graniczne wartości odpowiednich zmian amplitudy  $A_L(\omega)$  i fazy  $\varphi_L(\omega)$  transmitancji  $L(j\omega)$  układu korekcyjnego, można sformułować następujące wnioski:

- Dla zmian pulsacji  $0 < \omega < \infty$  konieczny do zapewnienia zakres zmian amplitudy  $A_L(\omega)$  transmitancji  $L(j\omega)$  jest największy dla korekcji w strukturze równoległej, a najmniejszy dla korekcji przeprowadzanej w układzie zamkniętym.
- Odpowiednie zakresy zmian fazy  $\varphi_L(\omega)$  transmitancji  $L(j\omega)$  są z kolei największe dla korekcji przeprowadzanej w strukturze łańcuchowej, a najmniejsze — dla korekcji o strukturze zamkniętej.
- Z przedstawionych relacji (21) ÷ (23) wynika zatem, że najmniejszą wartość zmian amplitudy  $A_L(\omega)$  i fazy  $\varphi_L(\omega)$  można uzyskać dla układu korekcji o strukturze zamkniętej (z zastosowaniem ujemnego sprzężenia zwrotnego). Odpowiednia dalsza analiza i opty-

malizacja układu komparatora wg rys.1 z zastosowaniem korekcji w układzie zamkniętym może być przeprowadzona w odniesieniu do konkretnego układu; pomocne przy tym jest wykorzystanie metod analizy i wyników zawartych w pracy [2].

### 3. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono metodę doboru parametrów toru przetwornika I/U równonapięciowego komparatora o strukturze przedstawionej na rys.1 pracującego w układzie samosprawdzenia [3], jak również zamieszczono wnioski dotyczące wyboru typu struktury układu korekcyjnego o transmitancji  $L(j\omega)$ , co pozwala na spełnienie równości  $F'(j\omega) = 0$  przy znanych, założonych wartościach modułów i faz transmitancji  $H_X(j\omega)$  i  $H_N(j\omega)$  zastosowanych przetworników I/U. Metoda ta może być zarówno wykorzystywana do oceny maksymalnej wartości błędu komparatora (odniesionego do obwodu wskaźnika zera WZ [4]), jak również do oceny częstotliwości poprawnej pracy komparatora (w układzie bez i z korekcją) w oparciu o wyniki analiz zamieszczone w pracy [5].

### LITERATURA

1. Guzik J., Szadkowski B.: Analiza aktywnych, równonapięciowych komparatorów admitancji z punktu widzenia ich przydatności do szerokopasmowych badań dielektryków. ZN Pol. Śl., s. Elektryka, z. 144, Gliwice 1995.
2. Guzik J.: Szerokopasmowe układy pomiarowe do badania dielektryków. Rozprawa doktorska, Pol. Śl., Gliwice 1996.
3. Miłek M.: Magnetyczne komparatory prądów w pomiarach elektrycznych, WNT, Warszawa 1990.
4. Guzik J., Szadkowski B.: Analiza błędu pomiaru admitancji w układzie aktywnego, równonapięciowego komparatora przeznaczonego do szerokopasmowych badań dielektryków. ZN Pol. Śl., s. Elektryka, z. 156, Gliwice 1996.
5. Guzik J.: Ocena zakresu częstotliwości poprawnej pracy aktywnego równonapięciowego komparatora przeznaczonego do szerokopasmowych badań dielektryków. ZN Pol. Śl., s. Elektryka, z. 158, Gliwice 1997.
6. Hagel R., Zakrzewski J.: Miernictwo dynamiczne. WNT, Warszawa 1984.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Danuta Turzeniecka

Wpłynęło do Redakcji dnia 2 kwietnia 1998 r.

**Abstract**

The analytic procedures of the I / U converter channel parameter choice have been presented in this paper. Schematic diagram of the analysed active, equivoitage comparator circuit used for wide - band investigations of dielectrics has been shown in Fig.1. The idea of the applied procedures is based on the equation (5), where  $H_X(j\omega)$  and  $H_N(j\omega)$  are the I / U converter transmittances of blocks  $H_X(j\omega)$  and  $H_N(j\omega)$  (see Fig.1). For the ideal /real comparator circuit equations (6) and (8) are valid, respectively. The analytic procedures are based on the equation (8), where the transmittances  $H_X(j\omega)$  and  $H_N(j\omega)$  describe the real I/U converter channel parameters with application of channel frequency correction circuits (with transmittances  $L_X(j\omega)$  and  $L_N(j\omega)$ ). The final selection of the suggested frequency correction circuits leads to use of the circuit with feedback (see [6]) described by the adequate equation (23).