

Janusz GUZIK

WARUNKI BEZPOŚREDNIEGO ODCZYTU W UKŁADZIE AKTYWNEGO, RÓWNONAPIĘCIOWEGO KOMPARATORA PRZEZNACZONEGO DO SZEROKOPASMOWYCH BADAŃ DIELEKTRYKÓW

Streszczenie. W artykule przedstawiono sposoby analitycznego określenia ogólnych warunków bezpośredniego odczytu wraz ze wskazaniem ich najlepszej technicznej realizacji w układzie komparatora.

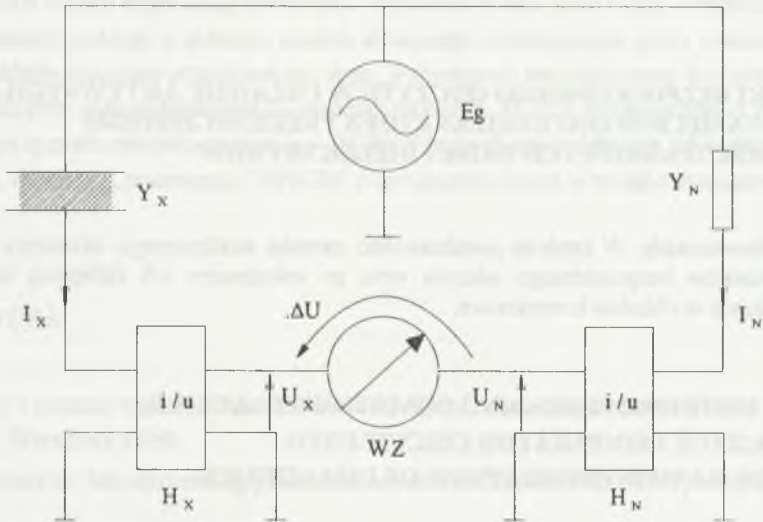
DIRECT INSTRUMENT READING CONDITIONS IN ACTIVE, EQUIVOLTAGE COMPARATOR CIRCUIT USED FOR WIDE-BAND INVESTIGATIONS OF DIELECTRICS

Summary. Description of analytic procedures of general direct instrument reading conditions has been presented in the paper. The best technical realisation ways ensuring these conditions in the comparator circuit have been given as well.

1. WPROWADZENIE

W literaturze znanych jest wiele różnych zmiennoprądowych metod i układów pomiarowych służących do badania właściwości dielektryków, jednakże nie stwierdzono istnienia jednego, uniwersalnego szerokopasmowego układu pomiarowego przeznaczonego do tego celu [1]. Ponadto, z przeprowadzonego przeglądu literatury dotyczącej klasy komparatorów [2] wynika, że najkorzystniejszych rozwiązań układowych przeznaczonych do szerokopasmowych badań dielektryków np. w zakresie od 10^{-3} Hz do 10^{+6} Hz należy poszukiwać w klasie aktywnych, równonapięciowych komparatorów admitancji. Jedną z istotnych właściwości omawianych komparatorów, pozwalającą m.in. na znaczne uproszczenie zautomatyzowania procesu równoważenia komparatora, jest bezpośredni odczyt. Pod pojęciem bezpośredniego odczytu należy tutaj rozumieć takie warunki pomiaru mierzonej admitancji Y_x w układzie komparatora, jak na rys. 1 (np. pary składowych ($\text{Re } Y_x, \text{Im } Y_x$) lub ($\text{Im } Y_x, \text{tg } \delta_x = \text{Re } Y_x / \text{Im } Y_x$), w których wprost

ze skal elementów nastawnych możliwe jest odczytanie wartości mierzonych wielkości, bez potrzeby wykonywania jakichkolwiek obliczeń,[1]



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 compensation of voltages U_X and U_N

W ogólnym przypadku, dla komparatora z rys. 1 równanie porównania jest następujące [1]:

$$Y_X = \frac{H_N}{H_X} \cdot Y_N, \quad (1)$$

gdzie: H_N, H_X — transmitancje zastosowanych przetworników I/U w torach prądów I_X i I_N płynących przez komparowane admitancje Y_X i Y_N ,

Y_X, Y_N — admitancja badanego dielektryka i zastosowanego wzorca.

Odpowiednie, szczegółowe równania porównania można wtedy określić wzorami:

$$\operatorname{Re} Y_x = \operatorname{Re} \left[\frac{H_N}{H_x} \cdot Y_N \right] = k(p, q),$$

$$\operatorname{Im} Y_x = \operatorname{Im} \left[\frac{H_N}{H_x} \cdot Y_N \right] = l(p, q),$$

(2)

$$\operatorname{tg} \delta_x = \frac{\operatorname{Re} Y_x}{\operatorname{Im} Y_x} = \frac{\operatorname{Re} \left[\frac{H_N}{H_x} \cdot Y_N \right]}{\operatorname{Im} \left[\frac{H_N}{H_x} \cdot Y_N \right]} = \frac{k(p, q)}{l(p, q)} = m(p, q),$$

gdzie: p, q — elementy nastawne, pozwalające na sprawdzenie komparatora do stanu porównania $\Delta U = 0$.

Zapewnienie bezpośredniego odczytu w układzie komparatora prowadzi do konieczności sprawdzenia szczegółowych równań porównania (2) do następujących postaci układów równań wzajemnie niezależnych:

- dla pomiaru składowych ($\operatorname{Re} Y_x, \operatorname{Im} Y_x$) admittancji Y_x :

$$\begin{array}{l} \operatorname{Re} Y_x = k_1(p) \\ \operatorname{Im} Y_x = l_1(q) \end{array} \quad \text{lub} \quad \begin{array}{l} \operatorname{Re} Y_x = k_2(q) \\ \operatorname{Im} Y_x = l_2(p) \end{array} \quad (3)$$

- dla pomiaru składowych ($\operatorname{Im} Y_x, \operatorname{tg} \delta_x$) admittancji Y_x :

$$\begin{array}{l} \operatorname{Im} Y_x = l_1(q) \\ \operatorname{tg} \delta_x = m_1(q) \end{array} \quad \text{lub} \quad \begin{array}{l} \operatorname{Im} Y_x = l_2(p) \\ \operatorname{tg} \delta_x = m_2(p) \end{array} \quad (4)$$

2. ANALIZA I REALIZACJA WARUNKÓW BEZPOŚREDNIEGO ODCZYTU DLA ROZPATRYWANEGO UKŁADU KOMPARATORA

Analitycznym warunkiem niezależności funkcji $k(p, q)$ i $l(p, q)$ (dla pomiaru składowych $\operatorname{Re} Y_x, \operatorname{Im} Y_x$) lub $l(p, q)$ i $m(p, q)$ (dla pomiarów składowych $\operatorname{Im} Y_x$ i $\operatorname{tg} \delta_x$) jest, aby jacobian funkcji J był różny od zera, tj. aby [1]:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial k(p, q)}{\partial p} & \frac{\partial k(p, q)}{\partial q} \\ \frac{\partial l(p, q)}{\partial p} & \frac{\partial l(p, q)}{\partial q} \end{vmatrix} \neq 0, \quad (5)$$

lub

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial l(p, q)}{\partial p} & \frac{\partial l(p, q)}{\partial q} \\ \frac{\partial m(p, q)}{\partial p} & \frac{\partial m(p, q)}{\partial q} \end{vmatrix} \neq 0, \quad (6)$$

Wybór pary składowych (p, q) elementów nastawnych umożliwiających zrównoważenie komparatora jest dokonywany przy tym ze zbioru elementów $\{p_N, q_N, p_X, q_X, p_Y, q_Y\}$, z których utworzone są bloki H_N, H_X i Y_N komparatora z rys.1, tzn.:

$$H_N = p_N + jq_N, \quad (7)$$

$$H_X = p_X + jq_X, \quad (8)$$

$$Y_N = p_Y + jq_Y. \quad (9)$$

Szczegółowe równania komparacji (2) po podstawieniu do nich zależności (7) – (9) określone są zatem następująco:

$$\operatorname{Re} Y_X = k(p, q) = \frac{p_X \cdot (p_N \cdot p_Y - q_N \cdot q_Y) + q_X \cdot (p_N \cdot q_Y + q_N \cdot p_Y)}{p_X^2 + q_X^2}, \quad (10)$$

$$\operatorname{Im} Y_X = l(p, q) = \frac{p_X \cdot (p_N \cdot p_Y + q_N \cdot p_Y) - q_X \cdot (p_N \cdot p_Y - q_N \cdot q_Y)}{p_X^2 + q_X^2}, \quad (11)$$

$$\operatorname{tg} \delta_X = m(p, q) = \frac{p_X \cdot (p_N \cdot p_Y - q_N \cdot q_Y) + q_X \cdot (p_N \cdot q_Y + q_N \cdot p_Y)}{p_X \cdot (p_N \cdot p_Y + q_N \cdot p_Y) - q_X \cdot (p_N \cdot p_Y - q_N \cdot q_Y)}, \quad (12)$$

gdzie $(p, q) \in \{p_N, q_N, p_X, q_X, p_Y, q_Y\}$.

Z porównania odpowiednich elementów wyznaczników (5) lub (6) wynikają dwa analityczne warunki bezpośredniego odczytu:

- dla odczytu składowych ($\text{Re } Y_X$, $\text{Im } Y_X$) admitancji Y_X :

$$\begin{aligned} \frac{\partial k(p, q)}{\partial q} = 0 & \quad \frac{\partial k(p, q)}{\partial p} = 0 \\ & \text{lub} \\ \frac{\partial l(p, q)}{\partial p} = 0 & \quad \frac{\partial l(p, q)}{\partial q} = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

- dla pomiaru składowych ($\text{Im } Y_X$, $\text{tg } \delta_X$) admitancji Y_X :

$$\begin{aligned} \frac{\partial l(p, q)}{\partial q} = 0 & \quad \frac{\partial l(p, q)}{\partial p} = 0 \\ & \text{lub} \\ \frac{\partial m(p, q)}{\partial p} = 0 & \quad \frac{\partial m(p, q)}{\partial q} = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

gdzie $(p, q) \in \{p_N, q_N, p_X, p_T, q_T\}$.

W wyniku przeprowadzonych szczegółowych rozważań dla wszystkich możliwych przypadków rozmieszczenia par (p, q) elementów nastawnych komparatora zawartych w rozprawie [1] uzyskano następujące wnioski ogólne dotyczące warunków bezpośredniego odczytu dla układu komparatora z rys. 1:

- Warunkiem koniecznym bezpośredniego odczytu przy pomiarach składowych ($\text{Re } Y_X$, $\text{Im } Y_X$) mierzonej admitancji Y_X jest umieszczenie obu elementów nastawnych (p, q) w jednym z bloków H_X , H_N lub Y_N (por. schemat komparatora wg rys. 1). Natomiast w przypadku pomiaru składowych ($\text{Im } Y_X$, $\text{tg } \delta_X$) — warunkiem koniecznym jest rozmieszczenie par (p, q) elementów nastawnych w różnych blokach, wybranych spośród H_X , H_N i Y_N .
- Warunki bezpośredniego odczytu można zapisać w bardziej ogólnej postaci za pomocą następujących wzorów:

$$\begin{aligned} \text{Arg } A = 0 \quad \text{lub} \quad \pm \frac{\pi}{2}, \\ \text{Arg } B = \text{Arg } A \end{aligned} \quad (15)$$

lub

$$\begin{aligned} \text{Arg } A = 0 \quad \text{lub} \quad \pm \frac{\pi}{2}, \\ \text{Arg } B = \text{Arg } A \pm \frac{\pi}{2} \end{aligned} \quad (16)$$

gdzie $A, B \in \{H_N, H_X, Y_N\}$.

Sposób przyporządkowania H_N , H_X i Y_N do wielkości A , B występujących we wzorach (15) i (16) wynika z tablicy 1. Spośród dwóch możliwych do wyboru ogólnych warunków bezpośredniego odczytu wg relacji (15) i (16) — znacznie prostsze w technicznej realizacji wydaje się przyjęcie warunku określonego za pomocą relacji (15). Dla warunku (16) — konieczne jest zastosowanie przesuwnika fazowego o stałym przesunięciu fazy równym $\pm \frac{\pi}{2}$, co w technicznej realizacji jest zagadnieniem niezmiernie trudnym w przypadku pracy przesuwnika w dostatecznie szerokim paśmie częstotliwości [3].

Tablica 1

Wartości współczynników A i B występujących w ogólnych warunkach bezpośredniego odczytu (15) i (16)

(p, q)	(p_N, q_N)	(p_Y, q_Y)	(p_X, q_N)	(p_N, q_X)	(p_X, q_Y)	(p_Y, q_X)	(p_N, q_Y)	(p_Y, q_N)
A	Y_N	H_N	H_X					
B	H_X		Y_N		H_N		H_N	
	H_X		Y_N		H_N		Y_N	

3. PODSUMOWANIE

Najlepszą techniczną realizacją warunków bezpośredniego odczytu dla układu komparatora wg rys. 1 jest zapewnienie warunku określonego relacją (15) dla wielkości $A, B \in \{H_N, H_X, Y_N\}$ występujących odpowiednio w tablicy 1. Ostateczny jednak wybór pary (p, q) elementów nastawnych umożliwiających bezpośredni odczyt składowych ($\text{Re } Y_X, \text{Im } Y_X$) lub ($\text{Im } Y_X, \text{tg } \delta_X$) mierzonej admitancji Y_X badanego dielektryka powinien również uwzględniać kryterium zadowalającej czułości i maksymalnej zbieżności układu komparatora [1, 4].

Jednym z wniosków z rozważań zamieszczonych w rozprawie [1] jest, by wybór pary (p, q) elementów nastawnych ograniczyć do zbioru elementów $\{p_N, q_N, p_Y, q_Y\}$, co oznacza przyjęcie rozwiązania, że elementy nastawne (p, q) znajdują się wyłącznie w torze wielkości wzorcowej Y_N (por. rys. 1). Pewną niedogodnością takiego podejścia (dla przypadku wyboru pary (p_Y, q_Y)) jest jednak pewne obniżenie dokładności pomiaru ze względu na ograniczoną dokładność wzorców nastawnych typu R lub C. Z drugiej strony takie podejście pozwala na łatwe spełnienie kryterium zadowalającej czułości, o wartości zależnej wprost od transmitancji H_X zastosowanego przetwornika I/U. Również kryterium maksymalnej zbieżności [4] i jego wymagania nie są sprzeczne w przypadku pomiaru składowych ($\text{Re } Y_X, \text{Im } Y_X$) mierzonej admitancji Y_X , kiedy to umieszczenie pary (p, q) elementów nastawnych w bloku H_N lub Y_N (por. rys. 1) analizowanego układu komparatora zapewnia maksymalną, niezależną od częstotliwości, zbieżność (określona

przez tzw. kąt zbieżności $\gamma = \pm \frac{\pi}{2}$) [1, 4]. Przy pomiarach składowych ($\text{Im } Y_x$, $\text{tg } \delta_x$) pewna sprzeczność może wystąpić i wówczas konieczny jest pewien kompromis, polegający na wyborze tej (z możliwych do przyjęcia) par (p, q) ($(p, q) \in \{p_N, q_N, p_T, q_T\}$), dla której wartość kąta zbieżności w założonym zakresie częstotliwości jest większa i bliższa wartości $\pm \frac{\pi}{2}$.

LITERATURA

1. Guzik J.: Szerokopasmowe układy pomiarowe do badania dielektryków. Rozprawa doktorska, Pol. Śl., Gliwice 1996.
2. Guzik J., Szadkowski B.: Analiza aktywnych równonapięciowych komparatorów admitancji z punktu widzenia ich przydatności do szerokopasmowych badań dielektryków, ZN Pol. Śl., ser. Elektryka, z. 144, Gliwice 1995.
3. Mitra S. K.: Analiza i synteza układów aktywnych liniowych. WNT, Warszawa 1974.
4. Szadkowski B.: Synteza metod pomiaru immitancji, ZN Pol. Śl., ser. Elektryka, z. 93, Gliwice 1984.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Danuta Turzeniecka

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 maja 1977

Abstract

The analytic procedures of determining general direct instrument reading conditions have been presented in this paper. Schematic diagram of the analysed active, equivoltage comparator circuit used for wide-band investigations of dielectrics has been shown in Fig. 1. The idea of used procedures is based on solution of the equations (13) and (14) where (p, q) are setting elements of block H_x , H_N and Y_N (see Fig. 1). Then, the comparator equations given in form (2) are reduced to the appropriate form (3) or (4). In conclusion, the concise form (15) and (16) of general direct instrument reading conditions are presented as well. The best technical realisation way ensuring these conditions is when the setting elements (p, q) appear in block H_N and Y_N (see Fig. 1). The final selection of elements $(p, q) \in \{p_N, q_N, p_T, q_T, p_T, q_T\}$ also depends on compliance with requirements of maximal sensitivity and convergence criteria as shown in the paper [1].