ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Seria: ELEKTRYKA z. 144

Nr kol. 1291

Janusz GUZIK Brunon SZADKOWSKI

ANALIZA AKTYWNYCH RÓWNONAPIĘCIOWYCH KOMPARATORÓW ADMITANCJI Z PUNKTU WIDZENIA ICH PRZYDATNOŚCI DO SZEROKOPASMOWYCH BADAŃ DIELEKTRYKÓW

<u>Streszczenie</u>. W artykule przeprowadzono analizę różnych rozwiązań układowych komparatorów, należących do klasy aktywnych, równonapięciowych komparatorów admitancji (lub impedancji). Określono równania przetwarzania i komparacji analizowanych układów oraz dokonano wyboru rozwiązania najlepiej nadającego się do szerokopasmowych badań dielektryków w zakresie (10⁻³ - 10⁶) Hz.

ANALYSIS OF ACTIVE, EQUIVOLTAGE ADMITANCE COMPARATORS CONSIDERING THEIR SUITABILITY TO WIDE-BAND INVESTIGATIONS OF DIELECTRICS.

<u>Summary</u>. The paper presents the analysis of various comparator circuits belonging to the active, equivoltage admitance (or impedance) comparator class. Comparation and conversion equations of the analysed circuits have been determined. The best circuit realization for wide-band ac investigations of dielectrics in frequency range from 10^{-3} Hz to 10^{6} Hz has been chosen as well.

1. WSTEP

Badania dielektryków w szerokim zakresie częstotliwości pozwalają na pełniejszą ocenę stanu badanego dielektryka niż w przypadku badań przy jednej częstotliwości — zazwyczaj 50 Hz lub 1000 Hz [1], [2].

W niniejszej pracy przyjęto, że interesujący nas zakres częstotliwości zawiera się w granicach ($10^{-3} - 10^{6}$) Hz. W tym zakresie ujawniają się właściwości dielektryków związane ze zjawiskami polaryzacji o bardzo długich i średnich czasach relaksacji (np. [1]).

Z przeprowadzonego przeglądu literatury dotyczącej rozważanej klasy komparatorów (por. rys.1) wynika, że znana jest stosunkowo niewielka liczba odpowiednich realizacji układowych i żadna z nich nie była stosowana do badań dielektryków w założonym zakresie częstotliwości ($10^3 - 10^6$) Hz [3], [4], [5], [6], [7]. Dotychczas w celu zdjęcia charakterystyki dielektryka w szerokim zakresie częstotliwości stosowano różne układy pomiarowe, każdy dla innego podzakresu częstotliwości. Postępowanie takie jest z wielu powodów niekorzystne, a zdjęte charakterystyki odznaczają się nieciąglościami trudnymi do zinterpretowania. Dlatego też uznano za celowe zbadanie możliwości realizacji układu (w ramach rozważanej klasy komparatorów) nadającego się do badań dielektryków w przyjętym zakresie częstotliwości ($10^{-3} - 10^6$) Hz.

Ogólny schemat aktywnych, równonapięciowych komparatorów admitancji (lub impedancji), stosowanych m.in. do badań dielektryków, przedstawiono na rys. 1.



- Rys.1. Ogólny schemat aktywnych, równonapięciowych komparatorów admitancji (lub impedancji)
- Fig.1. General diagram of active, equivoltage, admitance (or impedance) comparators

Poszczególne symbole zastosowane na schemacie z rys.1 oznaczają:

- Y_x , $Y_N komparowane admitancje (badana i wzorcowa); admitancje Y mogą być zastapione impedancjami Z zgodnie z relacją <math>Z = 1/Y$,
- I/W przetwornik sygnalu prądowego I na sygnał wyjściowy W (prądowy lub napięciowy),
- H_X , H_N transmitancje przetworników I/W w torach prądów I_X i I_N płynących przez komparowane admitancje,
- Eg źródło napięcia zasilającego,
- WZ wskaźnik zera.

Sygnały wyjściowe z przetworników I/W umieszczonych w torach prądów I_x i I_N określone są zależnościami:

$$W_{X} = I_{X} H_{X} \text{ oraz } W_{N} = I_{N} H_{N}.$$
(1)

W równaniu (1) występują wielkości zespolone.

Zakłada się, że przetworniki I/W odznaczają się znikomo małym poborem mocy z obwodów wejściowych, a zatem z dobrym przybliżeniem spełnione są równania:

$$I_{X} = E_{g} Y_{X} \quad \text{oraz} \ I_{N} = E_{g} Y_{N}. \tag{2}$$

Sygnal nierównowagi $\Delta W = W_x - W_N$, po uwzględnieniu równań (1) i (2), określony jest zależnością

$$\Delta W = E_{x} (Y_{x}H_{x} - Y_{N}H_{N}), \qquad (3)$$

nazywaną także równaniem przetwarzania komparatora.

Jeśli w wyniku zmian (regulacji) wartości Y_N , H_N lub H_X sprowadzimy komparator do stanu zerowego $\Delta W = 0$ (stwierdzonego za pomocą wskaźnika zera WZ), wówczas równanie (3) sprowadza się do postaci

$$\frac{Y_X}{Y_N} = \frac{H_N}{H_X}, \qquad (4)$$

zwanej równaniem komparacji.

Równania (3) i (4) są podstawowymi i zarazem najbardziej ogólnymi równaniami rozważanej klasy komparatorów. Z tych równań możemy korzystać zarówno przy wyznaczaniu wielkości mierzonej Y_x , jak i przy określaniu różnych właściwości metrologicznych układu komparacyjnego (m.in. zakresu pomiarowego, czułości, zbieżności, wpływu niedokładności zastosowanych elementów).

2. ROZWIĄZANIA UKŁADOWE

Sygnały wyjściowe W_x i W_N przetworników I/W powinny być sygnałami tego samego rodzaju i na ogół są albo sygnałami prądowymi (W_{xi} , W_{Ni}) albo napięciowymi (W_{XU} , W_{NU}). W każdym z wymienionych przypadków w układzie należy zastosować odpowiednie przetworniki I/I (o transmitancjach H_{xi} i H_{Ni}) lub przetworniki I/U (o transmitancjach H_{XU} i H_{NU}). Wówczas należy również odpowiednio dostosować obwody wyjściowe do wskaźnika zera WZ.

W ten sposób z ogólnego schematu przedstawionego na rys. 1 przechodzimy do schematów podanych na rys.2, które będą wykorzystane w dalszej analizie.

Schematy z rys.2a i b często wygodniej jest przedstawić w postaci czwórników pokazanych na rys.3 [8].



- Rys.2. Schematy aktywnych, równonapięciowych komparatorów admitancji o różnych obwodach wyjściowych: a) z kompensacją napięć W_{xU} i W_{NU}, b) z kompensacją prądów W_{xi} i W_{Ni}
- Fig.2. Diagrams of active, equivoltage, admitance comparators with different output circuits:
 a) with compensation of voltages W_{XU} and W_{NU}, b) with compensation of currents W_{Xi} and W_{Ni}



- Rys.3. Schematy aktywnych równonapięciowych komparatorów admitancji w postaci czwórnikowej: a) z kompensacją napięć W_{XU} i W_{NU}, b) z kompensacją prądów W_{Xi} i W_{Ni}, A_X, A_N macierze łańcuchowe torów wielkości mierzonej i wzorcowej
- Fig.3. Diagrams of active, equivoltage, admitance comparators in from of four terminal network: a) with compensation of voltages W_{XU} and W_{NU}, b) with compensation of currents W_{Xi} and W_{Ni}, A_x, A_N — chain matrices of measuring and standard quantity circuits

W celu racjonalnego ograniczenia liczby analizowanych układów szczegółowych przyjęto do dalszych rozważań 7 podstawowych struktur czwórników, które mogą być zastosowane w torze wielkości wzorcowej — jako czwórnik A_N (por. rys.3). Odpowiednie schematy czwórników przedstawiono na rys.4.



Rys.4. Schematy czwórników (będących realizacjami macierzy A_N) Fig.4. Diagrams of four-terminal networks (being realization of matrix A_N) Stosując czwórniki z rys.4 w układach przedstawionych na rys.3a, b – otrzymujemy odpowiednio różne rozwiązania szczególowe omawianej klasy komparatorów, które zestawiono w tablicach 1 i 2.

Tablica 1

Lp.	Schemat komparatora	Równanie przetwarzania	Równanie komparacji
1.1		$\Delta W_U = (H_{XU} Y_X - H_{NU} Y_N) E_g$	$Y_X = Y_N \frac{H_{NU}}{H_{XU}}$
1.2	V Qra Var Var Var	$\Delta W_U = (H_{XU}Y_X - \frac{Y_{NI}}{Y_{NI} + Y_{N2}}) E_g$	$Y_{\chi} = \frac{1}{H_{\chi U}} \frac{Y_{Nl}}{Y_{Nl} + Y_{N2}}$
1.3	Vin Vin Vin Vin Vin Vin Vin Vin Vin Vin	$\Delta W_{U} = (H_{XU}Y_{X} - \frac{Y_{Nl}}{Y_{Nl} + Y_{N2}})E_{g}$	$Y_{\chi} = \frac{1}{H_{\chi U}} \frac{Y_{NI}}{Y_{NI} + Y_{N2}}$
1.4		$\Delta W_{U} = (H_{XU} Y_{X} - \frac{Y_{NI}}{Y_{NI} + Y_{N2}}) E_{z}$	$Y_X + \frac{1}{H_{XU}} \frac{Y_{NI}}{Y_{NI} + Y_{N2}}$

Komparatory z kompensacją napięć W_{XU} i W_{NU}

Tablica 2

Komparatory z kompensacją pradów W_{xi} i W_{Ni} Schemat komparatora Równanie przetwarzania Równanie komparacji Lp. $Y_X = Y_N \frac{H_{Ni}}{H_{\infty}}$ 2.1 $\Delta W_i = (H_x Y_x - H_M Y_N) E_s$ $Y_{\chi} = \frac{1}{H_{\chi g}} Y_{NI}$ 2.2 $\Delta W_i = -(H_x Y_x - Y_{Ni})E_s$ $Y_X = \frac{1}{H_w} Y_{NI}$ 2.3 $\Delta W_I = -(H_X Y_X - Y_{NI})E_I$ $Y_X = \frac{1}{H_X} Y_{NI}$ 2.4 $\Delta W_i = -(H_x Y_x - Y_{NI})E_x$ $\Delta W_{i} = -(H_{x}Y_{x} - \frac{Y_{N1}Y_{N2}}{Y_{N1} + Y_{N2} + Y_{N3}})E_{g} \quad Y_{x} = \frac{1}{H_{x}} \frac{Y_{N1}Y_{N2}}{Y_{N1} + Y_{N2} + Y_{N3}}$ 2.5 $Y_{\chi} = \frac{1}{H_{\chi}} Y_{NI}$ 2.6 $\Delta W_i = -(H_{Xi}Y_X - Y_{NI})E_s$

Uwaga: Przy obliczaniu równań przetwarzania przyjęto, że wskaźnik zera WZ jest wskaźnikiem o impedancji $Z_{wa} = 0.$

3. ANALIZA PRZYDATNOŚCI UKŁADÓW ZESTAWIONYCH W TABLICACH 1 i 2

Analizę przeprowadzono badając częstotliwościowe zmiany niżej wymienionych parametrów, charakteryzujących podstawowe właściwości metrologiczne układów pomiarowych: A) Czułość Syr, zdefiniowana równaniem

$$S_{Y_X} = \frac{\partial(\Delta W)}{\partial Y_Y},$$
 (5)

gdzie: ΔW - sygnał nierównowagi (por. równ. (3)), przy czym dla układów z tablicy 1: $\Delta W = \Delta W_{u}$, natomiast z tablicy 2: $\Delta W = \Delta W_{i}$.

B) Zakres pomiarowy parametrów badanej admitancji (dielektryka), określony stosunkami

$$K_{C} = \frac{C_{xmax}}{C_{xmin}} \quad i \quad K_{G} = \frac{G_{xmax}}{G_{xmin}}, \tag{6}$$

gdzie $C_{xmax,min}$ oraz $G_{xmax,min}$ są odpowiednio maksymalnymi oraz minimalnymi wartościami parametrów równoległego schematu zastępczego (C_x , G_x) badanego dielektryka. Poszczególne wartości wyznacza się z równania komparacji (por. równ. (4)) przy znanych Y_N , H_x , H_N (innych dla każdego z układów przedstawionych w tablicach 1 i 2).

C) Względna niedokładność pomiaru parametrów C_x i G_x badanej admitancji dielektryka (wyznaczana z równania komparacji (4) po podstawieniu $Y_x = G_x + j\omega C_x$ oraz $Y_N = G_N + j\omega C_N$) określona zależnościami

$$\Delta_{Cr}^{0} = \pm \left[\left| \Delta_{CN}^{0} \right| + \left| \Delta_{Hr}^{0} \right| + \left| \Delta_{HN}^{0} \right| \right]$$

$$i$$

$$\Delta_{Cr}^{0} = \pm \left[\left| \Delta_{CN}^{0} \right| + \left| \Delta_{Hr}^{0} \right| + \left| \Delta_{HN}^{0} \right| \right]$$

gdzie $|\Delta_{CN}^{0}|, |\Delta_{CN}^{0}|$ $i |\Delta_{He}^{0}|, |\Delta_{HN}^{0}|$ są odpowiednio niedokładnościami zastosowanego wzorca admitancji Y_N o parametrach (C_N , G_N) i zbudowanych przetworników I/W o transmitancjach (H_x , H_N).

W celu ulatwienia obserwacji częstotliwościowych zmian parametrów określonych w punktach A, B, C – wprowadzono współczynniki $\alpha(f)$, $\beta_c(f)$, $\beta_o(f)$, $\gamma_c(f)$ i $\gamma_G(f)$ zdefiniowane następująco:

$$\alpha(f) = \frac{S_{\gamma_x}(f)}{S_{\gamma_x}(f_d)}$$
(8)

(7)

$$\beta_{C}(f) = \frac{\frac{C_{zonac}(f)}{C_{zmin}(f)}}{\frac{C_{zmax}(f_{d})}{C_{zmin}(f)}} \quad i \quad \beta_{G}(f) = \frac{\frac{G_{zmax}(f)}{G_{zmin}(f)}}{\frac{G_{zmax}(f_{d})}{G_{zmax}(f_{d})}}, \quad (9)$$

$$\Upsilon_{C}(f) = \frac{|\Delta_{Gr}^{0}(f)|}{|\Delta_{Gr}^{0}(fd)|} \quad i \quad \Upsilon_{G}(f) = \frac{|\Delta_{Gr}^{0}(f)|}{|\Delta_{Gr}^{0}(fd)|}, \quad (10)$$

gdzie: f i f_d - częstotliwość i jej graniczna (dolna) wartość; $f_d = 10^{-3}$ Hz.

Wartości odpowiednich współczynników dla poszczególnych struktur komparatorów wg tablicy 1 i 2, obliczonych z wykorzystaniem równań (5) - (10) zebrano w tablicy 3.

Mając na uwadze przydatność analizowanych układów pomiarowych do szerokopasmowych badań dielektryków w zakresie ($10^{-3} - 10^6$) Hz, przy analizie odpowiednich współczynników zamieszczonych w tablicy 3 należy postawić następujące wymagania:

 a) osiagnięcie wystarczającej czułości w założonym zakresie częstotliwości, co oznacza, że czułość nie powinna być mniejsza od pewnej, założonej wartości. Tak sformułowane wymaganie, odniesione do równania (5) – przyjmuje postać

$$\alpha(f) \ge \alpha_{\min},$$
 (11)

b) niezmienności zakładanych zakresów pomiarowych C_x i G_x w przyjętym zakresie częstotliwości, tzn.

$$\beta_c(f) = const \quad i \quad \beta_c(f) = const,$$
 (12)

c) osiągnięcie wystarczającej dokładności, niezmiennej w przyjętym zakresie częstotliwości, tzn.

$$\gamma_{C}(t) = \gamma_{Cmax}$$
(13)

$$\gamma_G(l) \leq \gamma_{Gmax}$$

 $\gamma_c(f) = const$

 $\gamma_c(f) = const.$

(14)

19

Porównując wartości odpowiednich współczynników (zamieszczonych w tablicy 3) z wymaganiami wg zależności (11) - (14), można sformułować następujące wnioski:

- ad a) Warunek (11) jest stosunkowo najlatwiejszym do spełnienia, gdyż dla wszystkich analizowanych układów komparatorów jest on praktycznie zależny tylko od doboru jednego współczynnika h_{xu} (dla komparatorów wg tablicy 1) lub współczynnika h_{xi} (dla komparatorów wg tablicy 2), którego dobór można przeprowadzić znanymi metodami [9].
- ad b) Dla układów komparatorów o schematach 2.2, 2.3, 2.4 i 2.6 (z tablicy 2) warunek (12) jest z kolei najłatwiejszy do spelnienia, gdyż dotyczy on doboru tylko jednego współczynnika h_{xi} , co jest względnie łatwe [9]. Dla układów komparatorów o schematach 1.1 (z tablicy 1) i 2.1 (z tablicy 2) liczba współczynników wymagających odpowiedniego doboru wzrasta do dwóch odpowiednio równych (h_{xu} , h_{Nu}) oraz (h_{Xi} , h_{Ni}). Natomiast w pozostałych przypadkach odpowiedni dobór jest znacznie utrudniony z uwagi na rosnącą liczbę zmiennych poddanych pod uwage (por. postać funkcji F_1 (...) lub F_2 (...) dla układów o schematach 1.2, 1.3, 1.4 i 2.5 z tablicy 3).
- ad c) Osiągnięcie wystarczającej dokładności, niezmiennej w przyjętym zakresie częstotliwości (por. równania (13) i (14), jest zależne od niedokładności dwóch zmiennych: wzorca ($|\Delta_{CN1}^0|$, $|\Delta_{GN1}^0|$) i zastosowanego przetwornika I/I ($|\Delta_{HXi}(f)\rangle$ — tylko dla układów komparatorów o schematach 2.2, 2.3, 2.4 i 2.6 (z tablicy 2). Dla układów o schematach 1.1 (z tablicy 1) i 2.1 (z tablicy 2) dodatkowo należy uwzględnić niedokładność przetwornika I/I lub I/U umieszczonego w torze wielkości wzorcowej — tak że liczba zmiennych wymagających dalszej optymalizacji wzrasta do trzech — odpowiednio ($|\Delta_{HO6}^0(f)|$, $|\Delta_{HNi}^0(f)\rangle$ oraz ($|\Delta_{HXu}^0(f)|$, $|\Delta_{HNu}^0(f)\rangle$. W innych układach zależności częstotliwościowe odpowiednich współczynników $\gamma_C(f)$ i $\gamma_G(f)$ wyrażają się złożonymi, nieliniowymi zależnościami, przez co spełnienie warunków (13) i (14) jest bardzo trudne.

Oznaczenia:

$$h_{XU} = \frac{H_{XU}(f)}{H_{XU}(f_d)},$$
$$h_{XI} = \frac{H_{XI}(f)}{H_{XI}(f_d)},$$
$$h_{NU} = \frac{H_{NU}(f)}{H_{NU}(f_d)},$$
$$h_{NI} = \frac{H_{NI}(f)}{H_{NI}(f_d)},$$

$$F_{1}(\ldots) = \frac{Y_{N1max}(f)}{Y_{N1max}(f_{d})} \left[\frac{Y_{N1min}(f) + Y_{N2max}(f)}{Y_{N1min}(f_{d}) + Y_{N2max}(f_{d})} \right] \cdot \left[Y_{N1min}(f_{d}) \right]^{-1} \left[Y_{N2max}(f) + Y_{N2max}(f) \right]^{-1}$$

$$\left|\frac{Y_{N1min}(f)}{Y_{N1min}(f_d)}\right|^{T} \left|\frac{Y_{N1max}(f) + Y_{N2min}(f)}{Y_{N1max}(f_d) + Y_{N2min}(f_d)}\right|$$

$$F_{2}(...) = \frac{Y_{N1max}(f)}{Y_{N1max}(f_{d})} \frac{Y_{N2max}(f)}{Y_{N2max}(f_{d})} \left[\frac{Y_{N1min}(f)}{Y_{N1min}(f_{d})}\right]^{-1} \left[\frac{Y_{N2min}(f)}{Y_{N2min}(f_{d})}\right]^{-1}$$

$$\left[\frac{Y_{N1min}(f) + Y_{N2min}(f) + Y_{N3max}(f)}{Y_{N1min}(f_d) + Y_{N2min}(f_d) + Y_{N3min}(f_d)}\right] \left[\frac{Y_{N1max}(f) + Y_{N2max}(f) + Y_{N3min}(f)}{Y_{N1max}(f_d) + Y_{N2max}(f_d) + Y_{N3max}(f_d)}\right]^{-1}$$

$$G_{ZI} = Re\left[\frac{Y_{NI}}{Y_{NI} + Y_{N2}}\right],$$

$$G_{Z2} = Re\left[\frac{Y_{N1}Y_{N2}}{Y_{N1} + Y_{N2} + Y_{N3}}\right],$$

$$C_{ZI} = Im \left[\frac{Y_{NI}}{Y_{NI} + Y_{N2}} \right],$$

$$C_{22} = Im \left[\frac{Y_{NI} Y_{N2}}{Y_{N1} + Y_{N2} + Y_{N3}} \right].$$

Tablica 3

Wartości współczynników $\alpha(f),\ \beta_{c,\sigma}(f)$ i $\gamma_{c,\sigma}(f)$ dla komparatorów wg tablicy 1 i 2

hxu hxu hxu hxu hxu	$\beta_{C}(f)$ $\beta_{NUmax} \frac{h_{NUmax}}{h_{NUmax}} \frac{h_{NUmax}}{h_{NUmax}} \frac{h_{NUmax}}{h_{NUmax}}$ $\frac{h_{NUmax}}{h_{Numax}} \frac{h_{NUmax}}{h_{Numax}}$ $\frac{h_{NUmax}}{h_{NUmax}} \frac{h_{NUmax}}{h_{NUmax}}$ $\frac{h_{NUmax}}{h_{NUmax}} \frac{h_{(-)}}{h_{NUmax}}$	B _G (f) <u>h</u> NU/max h XU/max <u>h</u> NU/min h XU/min <u>h</u> Numu h Xmaa <u>h</u> Numu h Xmaa <u>h</u> Xuma <u>h</u> Xuma <u>h</u> Xuma <u>h</u> Xuma <u>R</u> (F ₁ ())	$\begin{split} \gamma_{C}(\mathbf{D} \\ \gamma_{C}(\mathbf{D} \\ \boxed{\left[\left \Delta_{Cv}^{0} \right + \left \Delta_{locr}^{0}(\mathbf{D}) \right + \left \Delta_{lov}^{0}(\mathbf{D}) \right \right]} \\ \boxed{\left[\left \Delta_{Cv}^{0} \right + \left \Delta_{locr}^{0}(\mathbf{J}) \right + \left \Delta_{lov}^{0}(\mathbf{J}) \right \right]} \\ \boxed{\left[\left \Delta_{Cv}^{0} \right + \left \Delta_{loc}^{0}(\mathbf{J}) \right + \left \Delta_{lov}^{0}(\mathbf{J}) \right \right]} \\ \boxed{\left[\left \Delta_{Cv}^{0} \right + \left \Delta_{loc}^{0}(\mathbf{J}) \right + \left \Delta_{lov}^{0}(\mathbf{J}) \right \right]} \\ \boxed{\left[\left \Delta_{Cvr}^{0} \right + \left \Delta_{locr}^{0}(\mathbf{J}) \right \right]} \\ \boxed{\left[\left \Delta_{Cvr}^{0} \right + \left \Delta_{locr}^{0}(\mathbf{J}) \right \right]} \\ \boxed{\left[\left \Delta_{Cvr}^{0} \right + \left \Delta_{locr}^{0}(\mathbf{J}) \right \right]} \\ \boxed{\left[\left \Delta_{Cvr}^{0} \right + \left \Delta_{locr}^{0}(\mathbf{J}) \right \right]} \\ \end{array} \end{split}$	$\begin{split} \gamma_{G}(\mathbf{f}) \\ \gamma_{G}(\mathbf{f}) \\ \hline \left[\Delta_{GN}^{0} + \Delta_{HNU}^{0}(f) + \Delta_{HNU}^{0}(f_{d}) \right] \\ \hline \left[\Delta_{GN}^{0} + \Delta_{HNU}^{0}(f_{d}) + \Delta_{HNU}^{0}(f_{d}) \right] \\ \hline \left[\Delta_{GN}^{0} + \Delta_{HNU}^{0}(f_{d}) + \Delta_{HNU}^{0}(f_{d}) \right] \\ \hline \left[\Delta_{GN}^{0} + \Delta_{HNU}^{0}(f_{d}) + \Delta_{HNU}^{0}(f_{d}) \right] \\ \hline \left[\Delta_{GNI}^{0} + \Delta_{HNU}^{0}(f_{d}) + \Delta_{HNU}^{0}(f_{d}) \right] \\ \hline \left[\Delta_{GNI}^{0} + \Delta_{HNU}^{0}(f_{d}) \right] \\ \hline \left[\Delta_{GNI}^{0} + \Delta_{HNU}^{0}(f_{d}) \right] \\ \hline \left[\Delta_{GNI}^{0} + \Delta_{HNU}^{0}(f_{d}) \right] \\ \hline \left[\Delta_{GZI}^{0} + \Delta_{HNU}^{0}(f_{d}) \right] \end{split}$
X	$\frac{mn}{nn} Im \{F_2()\} \qquad \frac{h}{h}$	$\frac{i \chi_{\text{finant}}}{i \chi_{\text{finant}}} Re \{F_2()\}$	$\frac{\left[\left \Delta_{CZ2}^{0}\right + \left \Delta_{BZC}^{0}(f)\right \right]}{\left[\left \Delta_{CZ2}^{0}\right + \left \Delta_{BDC}^{0}(f_{a})\right \right]}$	$\frac{\left[\left \Delta_{ozz}^{0}\right + \left \Delta_{izz}^{0}(f)\right \right]}{\left[\left \Delta_{ozz}^{0}\right + \left \Delta_{izz}^{0}(f_{a})\right \right]}$

4. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonej analizy przydatności poszczególnych układów analizowanej klasy równonapięciowych komparatorów admitancji przeprowadzonej pod kątem łącznego spełnienia wymagań (A) - (C) (por. równania (11) - (14)) – kolejność wyboru najkorzystniejszych układów powinna być następująca:

- 1. układy komparatorów o schematach 2.2, 2.3, 2.4 i 2.6 (z tablicy 2),
- 2. uklady komparatorów o schematach 1.1 (z tablicy 1) i 2.1 (z tablicy 2).

Pozostałe, nie wymienione wyżej układy spelniają założone wymagania (A) - (C) w ograniczonym zakresie np. częstotliwości, bądź jest to okupione dużymi trudnościami. W związku z tym ich przydatność do założonych celów (szerokopasmowe badania dielektryków) jest dość silnie ograniczona i nie będą one dalej brane pod uwagę.

Wymienione grupy układów (1) i (2) w istotny sposób umożliwiają szerokopasmowe badania dielektryków, wykazując a priori korzystniejsze właściwości niż inne układy zerowe dotychczas stosowane (np. układy mostkowe [10]). Przykładowo, wyniki wstępnych badań eksperymentalnych układów komparatorów (np. o schemacie 2.2 z tablicy 2) [3] potwierdzają słuszność dokonanego wyboru. Dalsza optymalizacja metrologicznych właściwości wybranych układów komparatorów jest możliwa i wymaga przeprowadzenia dodatkowej szczególowej analizy metrologicznej.

LITERATURA

- 1. Janik M. (red.): Fizyka chemiczna. PWN, Warszawa 1989.
- Kolbiński K., Słowikowski J.: Materiałoznawstwo elektrotechniczne. WNT, Warszawa 1988.
- Guzik J., Szadkowski B.: Komparator do badań dielektryków w zakresie infraniskich częstotliwości (10⁻³ - 10) Hz. ZN Pol. Śl., ser. Elektryka, z. 136, Gliwice 1994.
- Zinn E. i inni: Kapazitäts und Verlustfaktormesseinrichtung mit selbsttätiger Abgleichung. Technisches Messen, vol 44, N⁰ 4, 1977, str. 67-73.
- Hall H.P.: Digital Impedance Comparator with High Resolution. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, IM-29, N⁰, December 1980, str. 337-341.
- Tokoro T. i inni: High-Field Dielectric Properties and ac Dissipation Current Waveforms of Polyethylene Films. IEEE Transactions on Electrical Insulation, vol. 27, N^o 3, June 1992, str. 482-487.
- Saegusa T. i inni: Wide-Band Digital Tan-δ Meter Using a Phase Comparison System, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, IM-29, N⁰4, December 1980, str. 342-345.

- 8. Bolkowski S.: Elektrotechnika teoretyczna. Wyd. IV, tom 1, WNT, Warszawa 1994.
- 9. Nadachowski M., Kulka Z.: Analogowe układy scalone. WKiŁ, Warszawa 1983.
- 10. Rost A.: Messung Dielektrischer Stoffeigenschaften. Vieweg, Braunschweig 1978.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zygmunt Kuśmierek

Wpłynęlo do Redakcji dnia 20 kwietnia 1995 r.

Abstract

The paper presents the idea of active, equivoltage admitance comparation with use of active I/W converters in comparator conversion circuit. This idea is illustrated in Fig.1. The adequate detailed comparator circuits with voltage W_{XU} and W_{NU} and current W_{Xi} and W_{Ni} compensation are shown in Fig.2. The number of comparator circuits has been limited to the circuits presented in Tabs. 1 and 2. These circuits have been taken into account while analysing thier suitability to wide-band ac investigations of dielectrics according to the following criteria:

- a) criterion of sufficient sensitivity (Equations 5, 8 and 11),
- b) criterion of sufficient measuring range (Equations 6, 9 and 12),
- c) criterion of required inaccuracy of admitance measurement (Equations 7, 13 and 14).

The optimum comparator circuits have been chosen after the analysis. They fulfil the criteria mentioned above and therefore are the best ones for wide-band investigations of dielectrics. The chosen circuits are the following ones:

- a) comparator circuits 2.2, 2.3, 2.4 and 2.6 presented in Table 2,
- b) comparator circuits 1.1 shown in Table 1 and comparator circuit 2.1 shown in Table 2.