INSTYTUT TELEKOMUNIKACJI I AKUSTYKI
ZAKŁAD TEORII OBWODÓW

Ćwiczenie 3

POMIAR PARAMETRÓW CZWÓRNIKÓW

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie podstawowych parametrów charakteryzujących liniowy, bierny czwórnik symetryczny i niesymetryczny.

W ćwiczeniu należy:
- wyznaczyć elementy macierzy admitancyjnej i łańcuchowej czwórnika,
- wyznaczyć parametry charakterystyczne czwórnika,
- zbadać łańcuch czwórników dopasowanych falowo,
- wyznaczyć parametry robocze czwórnika.

A. WPROWADZENIE

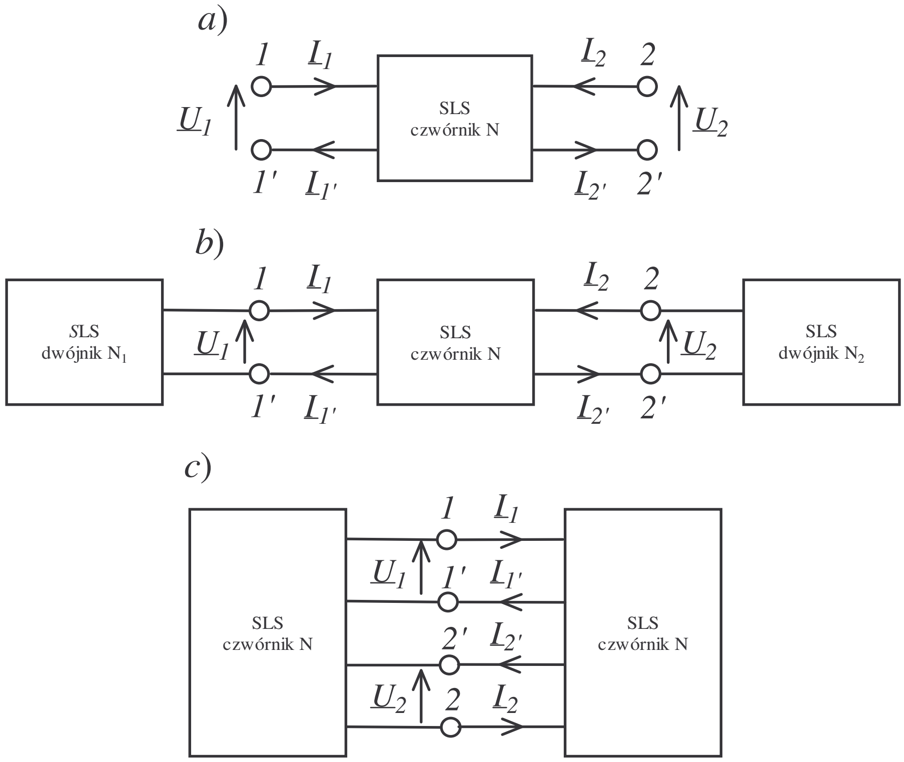
1. Wstęp

Czwórnikiem N nazywa się dowolnie złożony (rys. 1a), czterozaciskowy układ elektryczny, w którym:

a) zostały wyróżnione cztery zaciski 11’22’, zgrupowane w dwie pary (wrota): 11’ i 22’;

b) jest spełniony warunek regularności (zrównoważenia):
$$\underline{I}_{1'} = \underline{I}_1 \wedge \underline{I}_{2'} = \underline{I}_2 , \tag{1}$$
zapewniający, że stan zaciskowy czwórnika można określić przez dwa napięcia $\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$ między zaciskami tworzącymi pary (napięcia wrót) oraz tylko dwa prądy $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$ (prądy wrót);

c) wielkości zaciskowe $\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$, $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$ są ze sobą związane dwoma równaniami, zwanymi równaniami czwórnika i stanowiącymi jego opis.



Rys. 1

Zaciski 11' nazywamy umownie zaciskami pierwotnymi, zaś zaciski 22' zaciskami wtórnymi. Jeśli czwórnik jest włączony między dwa dwójniki (rys. 1b) to mówimy, że pracuje on w sposób transmisyjny, wówczas na pewno spełniony jest warunek regularności. Między dwójnikiem N_1 i N_2 nie mogą występować dodatkowe sprzężenia (np. magnetyczne). Czwórnik może także współpracować z otoczeniem w sposób pokazany na rys. 1c, pod warunkiem, że spełniony jest warunek (1).

Teoria czwórników zajmuje się badaniem własności transmisyjnych czwórników, tzn. właściwości występujących podczas przepływu przez czwórnik sygnałów elektrycznych oraz badaniem warunków współpracy czwórnika z zewnętrznymi obwodami dołączonymi do jego zacisków. Stosowane w teorii czwórników parametry uogólnione pozwalają określić wpływ rozpatrywanego czwórnika na przesyłane przez niego sygnały, bez wnikania w wewnętrzną strukturę układu.

Rozważania poniższe dotyczą tylko czwórników SLS w stanie ustalonym w warunkach pobudzenia sinusoidalnego. Własności czwórnika jako układu transmisyjnego są całkowicie określone zależnościami między napięciami a prądami na wejściu i wyjściu układu. Wielkości $\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$, $\underline{I}_1$ i $\underline{I}_2$ spełniają równania liniowe, zwane równaniami czwórnika.

Współczynniki równań opisujących czwórnik są nazywane jego parametrami własnymi, gdyż nie zależą one od układów współpracujących N_1 i N_2. Do grupy parametrów własnych zalicza się również tzw. parametry charakterystyczne stosowane wówczas, gdy czwórnik pracuje w warunkach dopasowania falowego.

Własności czwórnika występującego podczas współpracy ze źródłem i obciążeniem charakteryzują tzw. parametry robocze.

2. Parametry własne czwórnika

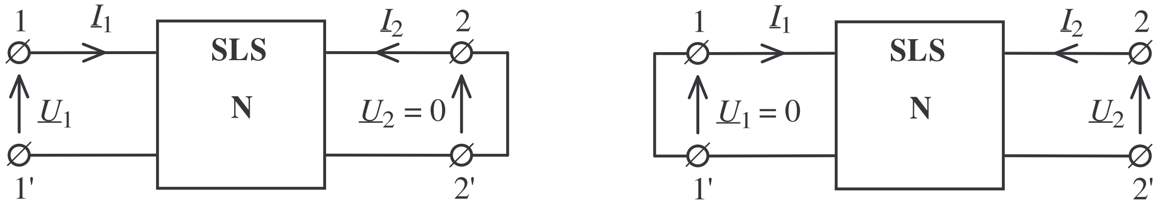
Równania admitancyjne czwórnika mają następującą postać:

$$\begin{aligned} \underline{I}_1 &= \underline{y}_{11}\underline{U}_1 + \underline{y}_{12}\underline{U}_2, \\ \underline{I}_2 &= \underline{y}_{21}\underline{U}_1 + \underline{y}_{22}\underline{U}_2. \end{aligned} \tag{2}$$

lub równoważną postać macierzową

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{y}_{11} & \underline{y}_{12} \\ \underline{y}_{21} & \underline{y}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} = \underline{\mathbf{Y}} \begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix}, \tag{3}$$

gdzie $\underline{\mathbf{Y}}$ – zwarciowa macierz admitancji czwórnika.



Rys. 2

Korzystając z równań admitancyjnych czwórnika można wyznaczyć prądy $\underline{I}_1$ oraz $\underline{I}_2$ dla danych napięć $\underline{U}_1$ i $\underline{U}_2$. Współczynniki występujące w równaniach admitancyjnych mają charakter

transmitancji i mogą być wyznaczone przez pomiar odpowiednich napięć i prądów przy zwartych zaciskach wejściowych lub wyjściowych czwórnika (rys. 2).
Prawdziwe są następujące zależności:

$$\text{a)}\quad \underline{y}_{11} = \left.\frac{\underline{I}_1}{\underline{U}_1}\right|_{\underline{U}_2=0}, \qquad \text{b)}\quad \underline{y}_{12} = \left.\frac{\underline{I}_1}{\underline{U}_2}\right|_{\underline{U}_1=0},$$
$$\text{c)}\quad \underline{y}_{21} = \left.\frac{\underline{I}_2}{\underline{U}_1}\right|_{\underline{U}_2=0} \qquad \text{d)}\quad \underline{y}_{22} = \left.\frac{\underline{I}_2}{\underline{U}_2}\right|_{\underline{U}_1=0}. \tag{4}$$

Postać równań łańcuchowych czwórnika jest następująca:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{a}_{11}\underline{U}_2 - \underline{a}_{12}\underline{I}_2, \\ \underline{I}_1 &= \underline{a}_{21}\underline{U}_2 - \underline{a}_{22}\underline{I}_2 \end{aligned} \tag{5}$$

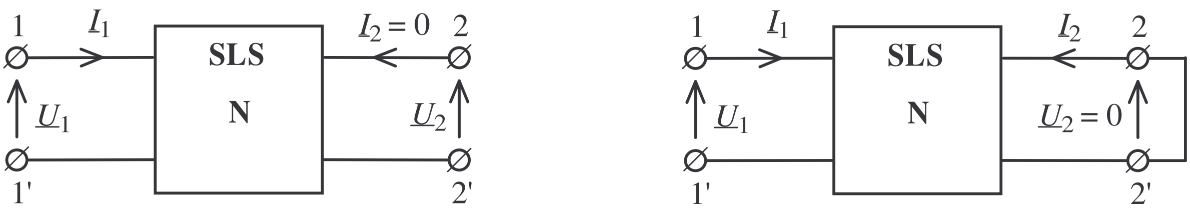
lub

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{a}_{11} & \underline{a}_{12} \\ \underline{a}_{21} & \underline{a}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_2 \\ -\underline{I}_2 \end{bmatrix} = \underline{\mathbf{A}} \begin{bmatrix} \underline{U}_2 \\ -\underline{I}_2 \end{bmatrix}, \tag{6}$$

gdzie $\underline{\mathbf{A}}$ jest macierzą łańcuchową.

Równania (5) i (6) dają odpowiedź na pytanie, jakie muszą być wielkości wejściowe $\underline{U}_1$ i $\underline{I}_1$, aby otrzymać zadanie napięcie $\underline{U}_2$ i prąd $\underline{I}_2$ na wyjściu. Współczynniki równań łańcuchowych są określone następująco (rys. 3):

$$\text{a)}\quad \underline{a}_{11} = \left.\frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2}\right|_{\underline{I}_2=0}, \qquad \text{b)}\quad \underline{a}_{12} = \left.\frac{\underline{U}_1}{-\underline{I}_2}\right|_{\underline{U}_2=0},$$
$$\text{c)}\quad \underline{a}_{21} = \left.\frac{\underline{I}_1}{\underline{U}_2}\right|_{\underline{I}_2=0}, \qquad \text{d)}\quad \underline{a}_{22} = \left.\frac{\underline{I}_1}{-\underline{I}_2}\right|_{\underline{U}_2=0}. \tag{7}$$



Rys. 3

W pewnych przypadkach opis czwórnika upraszcza się. Dla czwórnika odwracalnego opisanego macierzą $\underline{\mathbf{Y}}$(macierz ta istnieje), spełniającego zasadę wzajemności, tj.:

$$\left.\frac{\underline{I}_1}{\underline{U}_2}\right|_{\underline{U}_1=0} = \left.\frac{\underline{I}_2}{\underline{U}_1}\right|_{\underline{U}_2=0}, \tag{8}$$

zwarciowa macierz admitancyjna $\underline{\mathbf{Y}}$ jest macierzą symetryczną, tj.

$$\underline{\mathbf{Y}} = \underline{\mathbf{Y}}^t \tag{9}$$

lub równoważnie

$$\underline{y}_{12} = \underline{y}_{21}. \tag{10}$$

Warunek odwracalności czwórnika wyrażony dla macierzy łańcuchowej jest następujący

$$\det(\underline{\mathbf{A}}) = 1. \tag{11}$$

Do opisu czwórnika odwracalnego wystarczy, zatem podanie trzech elementów macierzy.

Czwórnik symetryczny jest szczególnym przypadkiem czwórnika odwracalnego, dla którego dodatkowo spełniona jest równość

$$\underline{y}_{11} = \underline{y}_{22}, \tag{12}$$

lub

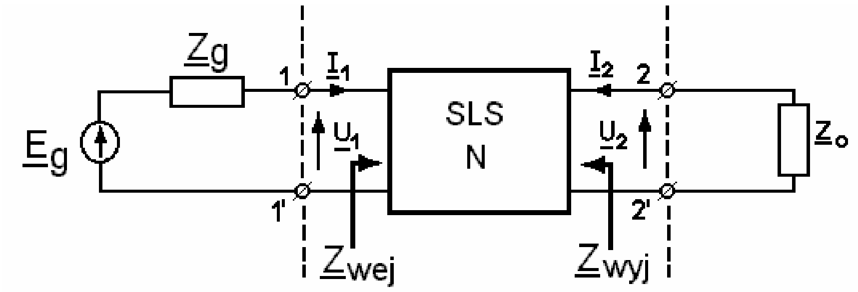
$$\underline{a}_{11} = \underline{a}_{22}. \tag{13}$$

Do opisu czwórnika symetrycznego wystarczy podać dwa elementy macierzy.

Czwórnik złożony z elementów RLC jest odwracalny !

3. Parametry robocze czwórnika

Parametry robocze czwórnika wyznacza się uwzględniając wartości sem $\underline{E}_g$ i impedancji $\underline{Z}_g$ współpracującego z czwórnikiem źródła oraz wartość impedancji obciążenia $\underline{Z}_0$ (rys. 4).



Rys. 4

Poniżej podano definicje parametrów roboczych i określające je wzory, wyrażone przez elementy macierzy $\underline{\mathbf{Y}}$ i $\underline{\mathbf{A}}$.

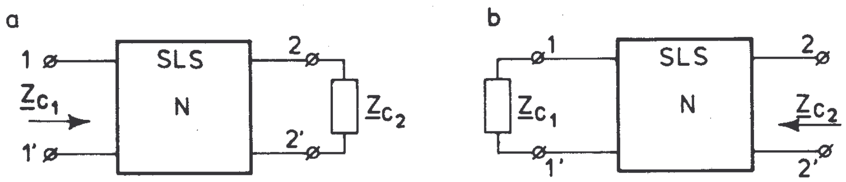
impedancja wejściowa	$\underline{Z}_{wej} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1} = \frac{1+\underline{y}_{22}\underline{Z}_0}{\underline{y}_{11}+\det(\underline{\mathbf{Y}})\underline{Z}_0} = \frac{\underline{a}_{11}\underline{Z}_0+\underline{a}_{12}}{\underline{a}_{21}\underline{Z}_0+\underline{a}_{22}}$,
impedancja wyjściowa	$\underline{Z}_{wyj} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2} = \frac{1+\underline{y}_{11}\underline{Z}_g}{\underline{y}_{22}+\det(\underline{\mathbf{Y}})\underline{Z}_g} = \frac{\underline{a}_{22}\underline{Z}_g+\underline{a}_{12}}{\underline{a}_{21}\underline{Z}_g+\underline{a}_{11}}$,
wzmocnienie napięciowe	$\underline{K}_u = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{-\underline{y}_{21}\underline{Z}_0}{1+\underline{y}_{22}\underline{Z}_0} = \frac{\underline{Z}_0}{\underline{a}_{11}\underline{Z}_0+\underline{a}_{12}}$,
wzmocnienie prądowe	$\underline{K}_i = \frac{\underline{I}_2}{\underline{I}_1} = \frac{\underline{y}_{21}}{\underline{y}_{11}+\det(\underline{\mathbf{Y}})\underline{Z}_0} = \frac{-1}{\underline{a}_{21}\underline{Z}_0+\underline{a}_{22}}$,

skuteczne wzmocnienie napięciowe	$\underline{K}_{usk} = \dfrac{\underline{U}_2}{\underline{E}_g} = \dfrac{-\underline{y}_{21}\underline{Z}_0}{1+\underline{y}_{11}\underline{Z}_g+\underline{y}_{22}\underline{Z}_0+\det(\mathbf{\underline{Y}})\underline{Z}_0\underline{Z}_g} = \dfrac{\underline{Z}_0}{\underline{a}_{12}+\underline{a}_{11}\underline{Z}_0+\underline{a}_{22}\underline{Z}_g+\underline{a}_{21}\underline{Z}_0\underline{Z}_g}$
skuteczne wzmocnienie mocy	$K_{psk} = \dfrac{P_2}{P_{g\,dys}} = 4\lvert\underline{K}_{usk}\rvert^2 \operatorname{Re}\left\{\dfrac{1}{\underline{Z}_0}\right\}\operatorname{Re}\left\{\underline{Z}_g\right\}$

gdzie: P_2 – moc czynna wydzielona w obciążeniu $\underline{Z}_0$,
$P_{\mathrm{g\,dys}}$ – dysponowana moc źródła.

4. Parametry charakterystyczne czwórnika

Parametry charakterystyczne, zwane również falowymi, charakteryzują własności czwórnika przy tzw. Dopasowaniu falowym. Są to następujące wielkości zespolone:
$\underline{Z}_{c1}$ - impedancja charakterystyczna wejściowa,
$\underline{Z}_{c2}$ - impedancja charakterystyczna wyjściowa,
$\underline{\Gamma}_{c1}$ - tamowność charakterystyczna pierwotna,
$\underline{\Gamma}_{c2}$ - tamowność charakterystyczna wtórna.



Rys. 5

Impedancja charakterystyczna wejściowa $\underline{Z}_{c1}$ jest to impedancja wejściowa czwórnika, gdy do zacisków wyjściowych jest dołączona impedancja $\underline{Z}_{c2}$ (rys. 5a). Analogicznie określa się impedancję $\underline{Z}_{c2}$ (rys. 5b).

Impedancje charakterystyczne można wyrazić za pomocą elementów macierzy $\mathbf{\underline{A}}$:

$$\underline{Z}_{c1} = \sqrt{\frac{\underline{a}_{11}\underline{a}_{12}}{\underline{a}_{21}\underline{a}_{22}}}, \qquad \underline{Z}_{c2} = \sqrt{\frac{\underline{a}_{22}\underline{a}_{12}}{\underline{a}_{21}\underline{a}_{11}}}. \tag{14}$$

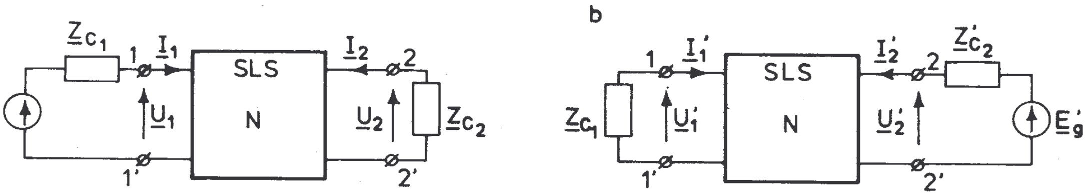
Impedancje $\underline{Z}_{c1}$ i $\underline{Z}_{c2}$ określają własności czwórnika pod względem dopasowania go do obwodów zewnętrznych. Czwórnik o odpowiednio dobranych impedancjach charakterystycznych może być wykorzystany jako element dopasowujący odbiornik do źródła. Dla czwórnika symetrycznego impedancje $\underline{Z}_{c1}$ i $\underline{Z}_{c2}$ są sobie równe:

$$\underline{Z}_{c1} = \underline{Z}_{c2} = \underline{Z}_c\,. \tag{15}$$

Impedancje charakterystyczne czwórnika można wyrazić za pomocą impedancji wejściowych i wyjściowych mierzonych w stanie zwarcia i rozwarcia. Prawdziwe są wzory:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{c1} &= \sqrt{\underline{Z}_{1z}\underline{Z}_{1o}}\,, \\ \underline{Z}_{c2} &= \sqrt{\underline{Z}_{2z}\underline{Z}_{2o}}\,. \end{aligned} \tag{16}$$

gdzie:
$$\underline{Z}_{1z} = \left.\frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1}\right|_{\underline{U}_2 = 0}, \qquad \underline{Z}_{1o} = \left.\frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1}\right|_{\underline{I}_2 = 0},$$
$$\underline{Z}_{2z} = \left.\frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2}\right|_{\underline{U}_1 = 0}, \qquad \underline{Z}_{2o} = \left.\frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2}\right|_{\underline{I}_1 = 0}. \tag{17}$$



Rys. 6

Własności transmisyjne czwórnika, tzn. tłumienie i przesuniecie fazy przechodzących przez czwórnik sygnałów, są określone przez podanie tamowności charakterystycznych $\underline{\Gamma}_{c1}$ i $\underline{\Gamma}_{c2}$. Tamowności charakterystyczne zdefiniowane są następująco (rys. 6):

$$\underline{\Gamma}_{c1} = \frac{1}{2}\ln\left(\frac{\underline{U}_1\underline{I}_1}{-\underline{U}_2\underline{I}_2}\right) = \frac{1}{2}\ln\left(\frac{\underline{U}_1^2\underline{Z}_{c2}}{\underline{U}_2^2\underline{Z}_{c1}}\right) = A_1 + jB_1,$$
$$\underline{\Gamma}_{c2} = \frac{1}{2}\ln\left(\frac{\underline{U}_2'\underline{I}_2'}{-\underline{U}_1'\underline{I}_1'}\right) = \frac{1}{2}\ln\left(\frac{\underline{U}_2'^2\underline{Z}_{c1}}{\underline{U}_1'^2\underline{Z}_{c2}}\right) = A_2 + jB_2, \tag{18}$$

gdzie A_1 i A_2 są nazywane odpowiednio pierwotną i wtórną tłumiennością charakterystyczną wyrażoną w neperach , B_1 i B_2 – pierwotną i wtórną przesuwnością charakterystyczną.

Tłumienność definiowana jest zazwyczaj jako

$$A_1 = 10\log\left(\frac{U_1I_1}{U_2I_2}\right) \tag{19}$$

i wyrażana w decybelach (dB). Przesuwność charakterystyczną określa się w radianach.

Związki między tamownościami charakterystycznymi a elementami macierzy łańcuchowej czwórnika są następujące [1]:

$$\underline{\Gamma}_{c1} = \ln\left(\sqrt{\underline{a}_{11}\underline{a}_{22}} + \sqrt{\underline{a}_{12}\underline{a}_{21}}\right),$$
$$\underline{\Gamma}_{c2} = \ln\left(\frac{\sqrt{\underline{a}_{11}\underline{a}_{22}} + \sqrt{\underline{a}_{12}\underline{a}_{21}}}{\det\left(\underline{\mathbf{A}}\right)}\right), \tag{20}$$
$$\underline{\Gamma}_{c1} - \underline{\Gamma}_{c2} = \ln\left[\det\left(\underline{\mathbf{A}}\right)\right].$$

Dla czwórników odwracalnych $\det\left(\underline{\mathbf{A}}\right) = 1$, zatem $\ln\left[\det\left(\underline{\mathbf{A}}\right)\right] = 0$ oraz

$$\underline{\Gamma}_{c1} = \underline{\Gamma}_{c2} = \underline{\Gamma}_c\,. \tag{21}$$

Wynika stąd, że tamowność czwórnika odwracalnego nie zależy od kierunku przenoszenia sygnałów. Zależność tamowności charakterystycznej $\underline{\Gamma}_c$ czwórnika odwracalnego o impedancjach $\underline{Z}_{1o}$, $\underline{Z}_{1z}$, można wyrazić wzorem

$$\underline{\Gamma}_c = \frac{1}{2}\ln\left(\frac{1+\sqrt{\dfrac{\underline{Z}_{1z}}{\underline{Z}_{1o}}}}{1-\sqrt{\dfrac{\underline{Z}_{1z}}{\underline{Z}_{1o}}}}\right). \tag{22}$$

Macierze $\underline{\mathbf{Y}}$ i $\underline{\mathbf{A}}$ czwórników odwracalnych mogą być wyrażone przez parametry charakterystyczne wzorami:

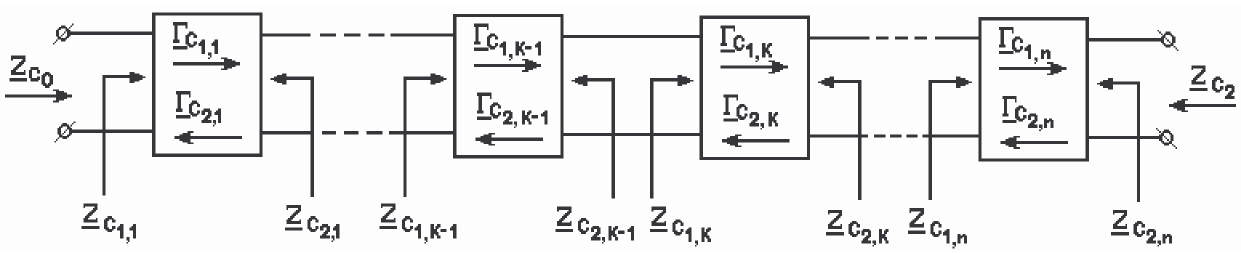
$$\underline{\mathbf{Y}} = \frac{1}{\sqrt{\underline{Z}_{c1}\underline{Z}_{c2}}\,sh\underline{\Gamma}_c}\begin{bmatrix} \sqrt{\dfrac{\underline{Z}_{c2}}{\underline{Z}_{c1}}}ch\underline{\Gamma}_c & -1 \\ -1 & \sqrt{\dfrac{\underline{Z}_{c1}}{\underline{Z}_{c2}}}ch\underline{\Gamma}_c \end{bmatrix},$$

$$\underline{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} \sqrt{\dfrac{\underline{Z}_{c1}}{\underline{Z}_{c2}}}ch\underline{\Gamma}_c & \sqrt{\underline{Z}_{c1}\underline{Z}_{c2}}\,sh\underline{\Gamma}_c \\ \dfrac{1}{\sqrt{\underline{Z}_{c1}\underline{Z}_{c2}}}sh\underline{\Gamma}_c & \sqrt{\dfrac{\underline{Z}_{c2}}{\underline{Z}_{c1}}}ch\underline{\Gamma}_c \end{bmatrix}. \tag{23}$$

5. Łańcuch czwórników dopasowanych

Często stosowanymi układami (np. filtry falowe) są łańcuchy czwórników (rys. 7), spełniających warunki dopasowania, tj.:

$$\underline{Z}_{c2,i} = \underline{Z}_{c1,i+1} \quad \text{dla} \quad i = 1, 2, ..., n\text{-}1 \tag{24}$$



Rys. 7

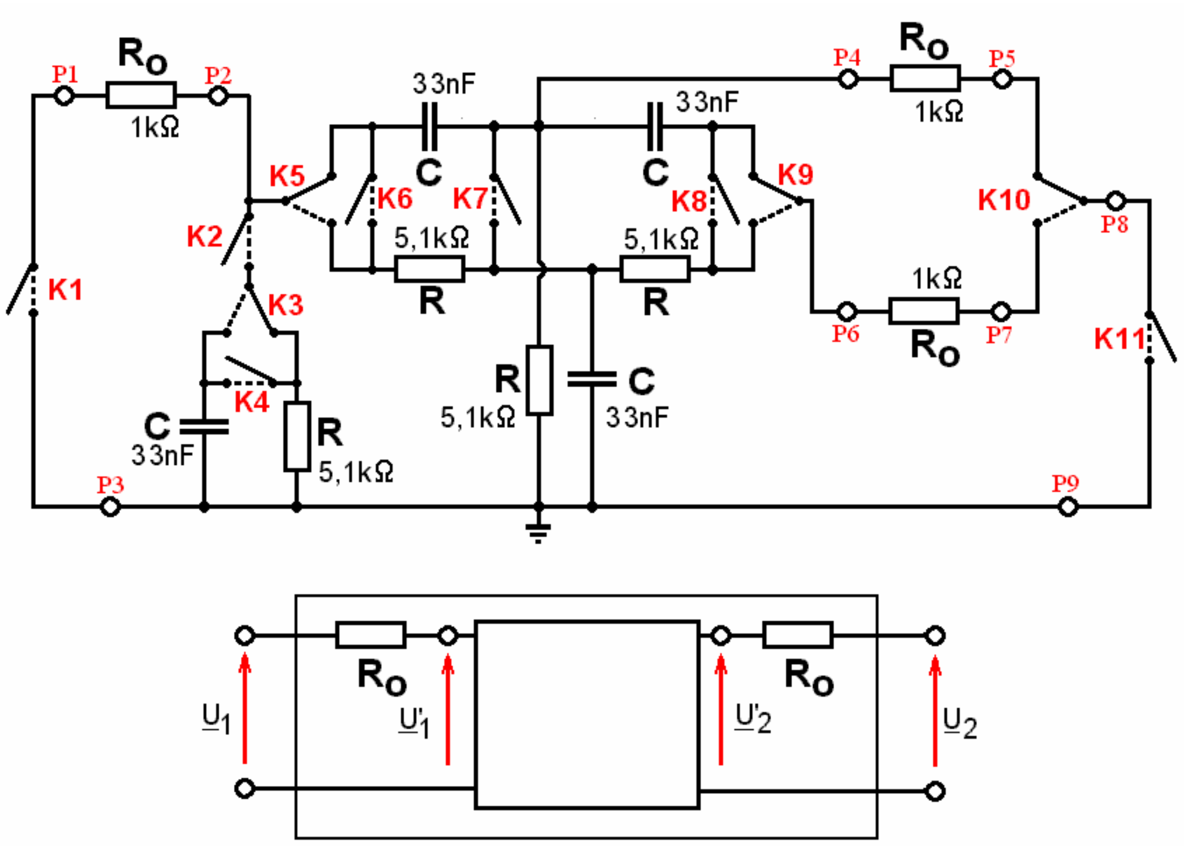
Czwórnik równoważny układowi połączonych kaskadowo czwórników, jeśli jest spełniony warunek (24), ma impedancję wejściową charakterystyczną równą impedancji charakterystycznej wejściowej pierwszego czwórnika i impedancję charakterystyczną wyjściową równą impedancji charakterystycznej wyjściowej ostatniego czwórnika, tj.:

$$\underline{Z}_{c1} = \underline{Z}_{c1,1}, \qquad \underline{Z}_{c2} = \underline{Z}_{c2,n}. \tag{25}$$

Tamowności charakterystyczne $\underline{\Gamma}_{c1}$ i $\underline{\Gamma}_{c2}$ czwórnika równoważnego są równe sumom tamowności charakterystycznych odpowiednio pierwotnych i wtórnych poszczególnych czwórników łańcucha, tj.:

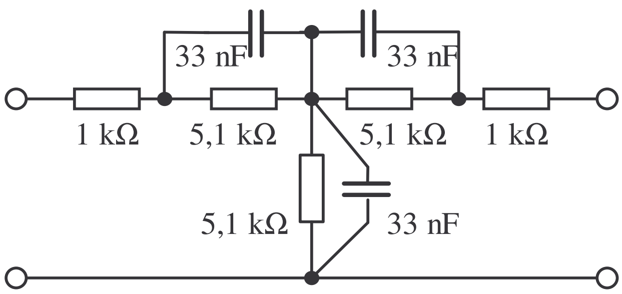
$$\underline{\Gamma}_{c1} = \sum_{i=1}^{n} \underline{\Gamma}_{c1,i}\,, \qquad\qquad \underline{\Gamma}_{c2} = \sum_{i=1}^{n} \underline{\Gamma}_{c2,i} \tag{26}$$

6. Układ laboratoryjny



Rys. 8

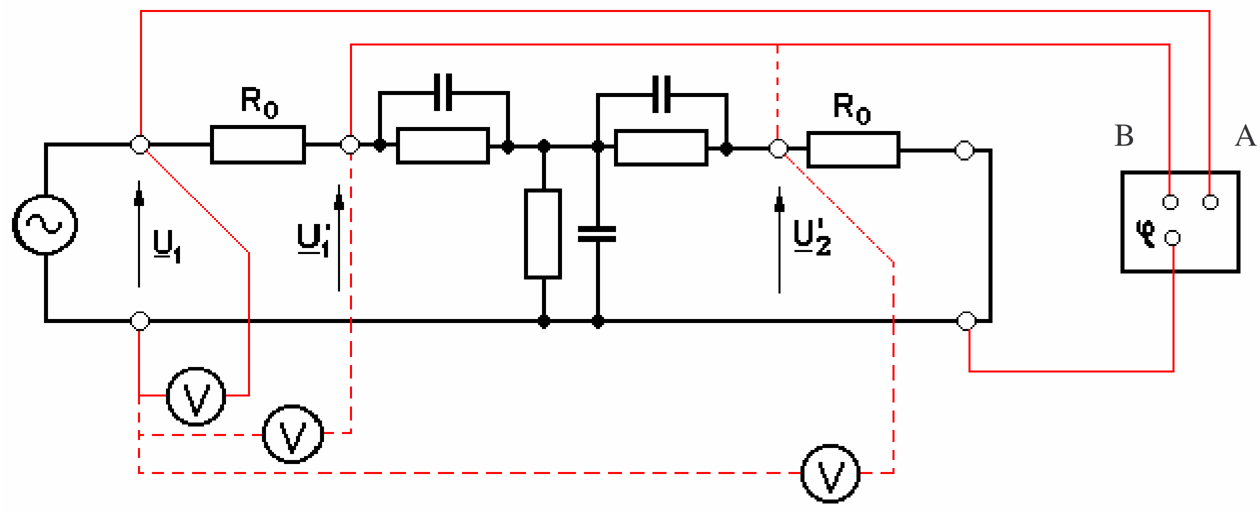
Układ laboratoryjny (rys. 8) umożliwia zbudowanie z elementów RC czwórników symetrycznych i niesymetrycznych. Przykładowo, jeżeli przełączniki P_6, P_7 i P_8 znajdują się w pozycjach oznaczonych linią przerywaną, a pozostałe przełączniki w pozycjach oznaczonych linią ciągłą, to otrzymuje się symetryczny czwórnik typu T (rys. 9).



Rys. 9

Wyznaczając, np. element $\underline{y}_{11}$ należy zmierzyć napięcia $\underline{U}_1$ i $\underline{U}_1^{'}$ przy zwartych zaciskach wyjściowych (dla układu z rys. 9 przełączniki P_{10} i P_{11} w pozycjach oznaczonych linią przerywaną). Układ pomiarowy przedstawiono na rys. 10. Element $\underline{y}_{11}$ określa się ze wzoru

$$\underline{y}_{11} = \left.\frac{\underline{I}_1}{\underline{U}_1}\right|_{\underline{U}_2=0} = \left.\frac{\dfrac{\underline{U}_1 - \underline{U}_1^{'}}{R_0}}{\underline{U}_1}\right|_{\underline{U}_2=0} . \tag{27}$$



Rys. 10

Przy wyznaczaniu $\underline{a}_{22}$ należy zmierzyć napięcia $\underline{U}_1$, $\underline{U}_1^{'}$ i $\underline{U}_2^{'}$ w układzie jak na rys. 10 i obliczyć

$$\underline{a}_{22} = \left.\frac{\underline{I}_1}{-\underline{I}_2}\right|_{\underline{u}_2=0} = \left.\frac{\dfrac{\underline{U}_1 - \underline{U}_1^{'}}{R_0}}{\dfrac{\underline{U}_2^{'}}{R_0}}\right|_{\underline{U}_2=0} . \tag{28}$$

B. CZĘŚĆ LABORATORYJNA

Wykaz przyrządów:
- generator,
- woltomierz,
- miernik fazy,
- miernik impedancji,
- dekada rezystorowa,
- dekada kondensatorowa.

Na stanowisku należy używać programu komputerowego „Czwórniki” do poprawnej realizacji ćwiczenia laboratoryjnego.

1. Wyznaczanie elementów macierzy admitancyjnej i łańcuchowej czwórnika symetrycznego.

1.1. Wyznaczyć określone zależnościami (4) i (7) elementy macierzy admitancyjnej i łańcuchowej czwórnika symetrycznego. W sprawozdaniu sprawdzić czy ze zmierzonej macierzy $\underline{Y}$, drogą przekształceń, otrzymuje się zmierzoną macierz $\underline{A}$.

2. Wyznaczanie parametrów charakterystycznych

2.1 Dla czwórnika symetrycznego badanego w punkcie 1 wyznaczyć impedancje $\underline{Z}_{1z}$ i $\underline{Z}_{10}$, mierząc wartości modułów i przesunięć fazowych odpowiednich napięć oraz wyznaczyć $\underline{Z}_c$ i $\underline{\Gamma}_c$ (wykorzystując program 'Czwórniki') a wyniki pomiarów i obliczeń umieścić w tabeli.

2.2 Zmierzyć za pomocą miernika impedancji $\underline{Z}_{1z}$ i $\underline{Z}_{1o}$ oraz wyznaczyć impedancję charakterystyczną i tamowność charakterystyczną. Otrzymane wyniki porównać z obliczeniami z punktu 2.1.

2.3 Obliczyć wartości elementów dwójnika RC, którego impedancja, przy wybranej częstotliwości, jest równa impedancji charakterystycznej badanego czwórnika. Obciążyć czwórnik od strony zacisków wyjściowych dwójnikiem o impedancji równej impedancji charakterystycznej $\underline{Z}_c$ i zmierzyć impedancję wejściową $\underline{Z}_{wej}$, a następnie obciążyć czwórnik od strony zacisków wejściowych dwójnikiem o impedancji równej impedancji charakterystycznej i zmierzyć impedancję wyjściową $\underline{Z}_{wyj}$. Pomiary wykonać za pomocą miernika impedancji.

2.4 Wyznaczyć elementy macierzy $\underline{\mathbf{A}}$ korzystając z zależności (22 i 23) i z wyznaczonych w punkcie 2.1 parametrów charakterystycznych. Porównać z wynikami pomiarów z punktu 1.1.

3. Wyznaczanie elementów macierzy admitancyjnej i łańcuchowej czwórnika niesymetrycznego.

3.1 Wyznaczyć określone zależnościami (4) i (7) elementy macierzy admitancyjnej i łańcuchowej czwórnika niesymetrycznego. W sprawozdaniu sprawdzić czy ze zmierzonej macierzy $\underline{A}$, drogą przekształceń, otrzymuje się zmierzoną macierz $\underline{Y}$.

4. Wyznaczanie parametrów roboczych

4.1 Dla czwórnika niesymetrycznego badanego **w** punkcie 3, przy wybranej częstotliwości, wyznaczyć wzmocnienie napięciowe $\underline{K}_u$ oraz wzmocnienie prądowe $\underline{K}_i$, uwzględniając wskazane przez prowadzącego ćwiczenie impedancji obciążenia (zalecana wartość $\underline{Z}_0 \approx \frac{1}{\underline{y}_{22}}$ wyznaczona w pkt. 3.1).

4.2 Wyznaczyć wzmocnienie napięciowe i prądowe z wyznaczonej w punkcie 3 macierzy **Y** czwórnika (wykorzystać program 'Czwórniki'). Porównać wyniki.

W punktach 1.1 i 3.1 dla wybranej częstotliwości z przedziału 1-5 kHz należy zmierzyć wartości modułów i przesunięć fazowych napięć i prądów zaciskowych czwórnika w stanie zwarcia i rozwarcia. Wartości prądów $\underline{I}_1$ i $\underline{I}_2$ określa się przez pomiar odpowiednich napięć na rezystorze $R_0 = 1\ \mathrm{k\Omega}$, (patrz(27) i (28)).

Pomiary przesunięć fazy są wykonywane za pomocą miernika fazy, przy założeniu, że faza początkowa napięcia z generatora równa się zeru. W trakcie ćwiczenia należy korzystać z programu komputerowego 'Czwórniki'. Wyniki uzyskane z programu najlepiej w postaci: moduł, argument przepisać do protokółu. **W sprawdzeniu należy te wyniki uzyskać wykorzystując do tego celu odpowiednie zależności oraz kalkulator !**

Uwagi dla studentów:

1. **Należy wybrać czwórnik RC o strukturze niesymetrycznej i symetrycznej, który można zrealizować konfigurując czwórnik z panelu laboratoryjnego. Należy narysować te czwórniki i zapisać te przyciski na płycie, które zostały wciśnięte.**

2. W trakcie pomiarów należy korzystać z programu komputerowego opracowanego specjalnie do tego ćwiczenia. Dane z obliczeń (najczęściej moduł i argument) należy wpisać do protokółu upraszczając nieco przydługi zapis wyników na ekranie monitora.
3. Napięcie generatora podawane na jedno z wrót czwórnika powinno być nieco mniejsze od 2V i mierzone na zakresie 2V przyrządu.
4. Wejście A miernika fazy (dokładniej różnicy przesunięć fazowych) należy dołączyć bezpośrednio do zacisków generatora.
5. Najpierw mierzyć odpowiednie wartości skuteczne napięć, a potem przesunięcia fazowe.
6. Wyniki obliczeń komputerowych należy konfrontować z teorią czwórników, a w razie większych niezgodności należy powtórzyć pomiar.
7. Pomiar miernikiem impedancji wykonuje się za pomocą specjalnych trzech przewodów, po odłączeniu wszystkich przyrządów i przewodów pojedynczych.

Pytania kontrolne

1. Zdefiniować pojęcia: układ czterozaciskowy, trójzaciskowy, czwórnik.
2. Podać interpretację fizyczną parametrów charakterystycznych.
3. W jaki sposób można za pomocą czwórnika dopasować odbiornik do rzeczywistego źródła.
4. Znane są elementy macierzy $\underline{\boldsymbol{A}}$ czwórnika. Wyznaczyć na jej podstawie macierz impedancyjną $\underline{\boldsymbol{Z}}$ tego czwórnika.
5. Pokazać, że jeśli połączenie równoległe czwórników jest regularne, to macierz admitancyjna $\underline{\boldsymbol{Y}}$ czwórnika powstałego w wyniku tego połączenia jest sumą $\underline{\boldsymbol{Y}}_1+\underline{\boldsymbol{Y}}_2$ macierzy admitancyjnych czwórników składowych.
6. Sformułować zasadę wzajemności dla stanów pracy czwórnika (w stanie zwarcia i rozwarcia) i wykazać, że czwórnik o zadanej macierzy impedancyjnej spełnia zasadę wzajemności wtedy i tylko wtedy, kiedy $\underline{z}_{12} = \underline{z}_{21}$.
7. Zmierzono impedancję wejściową czwórnika w przypadku zwarcia i rozwarcia zacisków wyjściowych. Obliczyć tamowność charakterystyczną $\underline{\Gamma}_c$ tego czwórnika. Przyjąć następujące dane: $\underline{Z}_{1z} = 100 - j100\ \Omega$, $\underline{Z}_{1o} = 200 - j100\ \Omega$.
8. Kiedy mówimy, że dwa czwórniki są równoważne? Narysować i opisać układy równoważne czwórników typu T oraz typu Π.
9. Omówić właściwości następujących czwórników: transformator idealny oraz żyrator.
10. Podać, jaka jest relacja między tamownościami czwórnika typu T lub Π a tamownością czwórnika typu Γ, jeżeli założyć, że te czwórniki mają jednakowe impedancje $\underline{Z}_{1z}$ i $\underline{Z}_{1o}$.

Literatura

[1] URUSKI M., WOLSKI W., Teoria obwodów II, skrypt, PWr., Wrocław 1976.

[2] RAJSKI CZ., Teoria obwodów I, WNT, Warszawa 1971.

[3] ATABIEKOW G., Teoria obwodów elektrycznych, WPTT, Warszawa 1967.

[4] OSIOWSKI J., SZABATIN J., Podstawy teorii obwodów, tom III, WNT, Warszawa 1995.