



Własności i charakterystyki czwórników

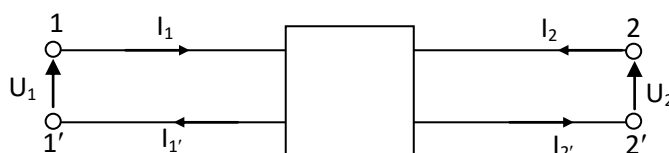
Cel ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest poznanie własności i charakterystyk czwórników.

Zagadnienia teoretyczne.

Pojęcia podstawowe

Czwórnikiem nazywamy element mający dwie pary uporządkowanych zacisków, z których jedną parę nazywamy *wejściem*, a drugą *wyjściem czwórnika*. Przedstawiając schemat czwórnika w postaci tzw. "czarnej skrzynki" (rys. 1) nie wnikamy w jego wewnętrzną strukturę.



Rys. 1. Schemat ogólny czwórnika

Struktura ta ma jednak istotne znaczenie i w zależności od tego, z jakich elementów składają się czwórniki, można przeprowadzić ich klasyfikację.

Jeśli wszystkie elementy wchodzące w skład struktury czwórnika są elementami liniowymi to taki czwórnik nazywamy *liniowym*. Jeżeli czwórnik zawiera chociaż jeden element nieliniowy to taki czwórnik zaliczamy do kategorii czwórników *nieliniowych*.

Czwórnik nazywamy *pasywnym*, jeżeli bądź wszystkie elementy wchodzące w skład czwórnika są pasywne, bądź też elementy aktywne są rozmieszczone tak, że w każdym oczku czwórnika suma napięć źródłowych oczkowych jest równa zero.

Czwórniki dzielimy również na *odwracalne* i *nieodwracalne*. Czwórnik jest odwracalny jeśli spełnia zasadę wzajemności. Jeżeli do wejścia odwracalnego doprowadzimy Idealne źródło napięcia E , które w zwartym obwodzie wyjścia wywoła prąd I , to po przeniesieniu tego źródła do wyjścia w zwartym obwodzie wejścia też popłynie prąd I . Czwórniki odwracalne dzielimy na symetryczne i niesymetryczne.

Czwórnik nazywamy *symetrycznym*, jeśli przy zamianie miejscami wejścia i wyjścia nie zmieni się rozkład prądów i rozkład napięć w obwodzie poza czwórnikiem, tzn. w obwodzie dołączonym do wejścia i w obwodzie dołączonym do wyjścia. Czwórnik, który nie spełnia warunków symetrii nazywamy *niesymetrycznym*.

Czwórniki pasywne są z reguły odwracalne, natomiast czwórniki aktywne są przeważnie nieodwracalne. Dalej w instrukcji opisane będą czwórniki liniowe pasywne.

Równania czwórników

Równania czwórników określają związki między prądami i napięciami na wejściu i wyjściu czwórnika. Są to dwa równania liniowe mające współczynniki zależne od parametrów czwórnika. Równania te mogą mieć różną postać, najważniejsze z nich to:

1. Postać impedancyjna; zmienne U_1 i U_2 są zależne od I_1, I_2

$$\begin{aligned} U_1 &= z_{11}I_1 + z_{12}I_2; \\ U_2 &= z_{21}I_1 + z_{22}I_2; \end{aligned} \quad z_{11}, z_{12}, z_{21}, z_{22} - \text{parametry impedancyjne}$$

2. Postać admitancyjna; zmienne I_1 i I_2 są zależne od U_1, U_2

$$\begin{aligned} I_1 &= y_{11}U_1 + y_{12}U_2; \\ I_2 &= y_{21}U_1 + y_{22}U_2; \end{aligned} \quad y_{11}, y_{12}, y_{21}, y_{22} - \text{parametry admitancyjne}$$

3. Postać łańcuchowa prosta; zmienne U_1 i I_1 są zależne od U_2, I_2

$$\begin{aligned} U_1 &= AU_2 + BI_2; \\ I_1 &= CU_2 + DI_2; \end{aligned} \quad A, B, C, D - \text{parametry łańcuchowe}$$

4. Postać mieszana zwana hybrydową; zmienne U_1 i I_2 są zależne od U_2, I_1

$$\begin{aligned} U_1 &= h_{11}I_1 + h_{12}U_2; \\ I_2 &= h_{21}I_1 + h_{22}U_2; \end{aligned} \quad h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22} - \text{parametry hybrydowe}$$

Do opisu czwórników pasywnych najczęściej stosuje się postać łańcuchową, Przy opisie czwórników aktywnych (zwłaszcza tranzystora) stosuje się postać hybrydową. Parametry wchodzące do którejkolwiek z wymienionych postaci równań wyznacza się na podstawie znajomości struktury czwórnika i wartości impedancji gałęzi tworzących tę strukturę. Znajomość jednej grupy parametrów np. łańcuchowej (A, B, C, D) umożliwia wyznaczenie wszystkich pozostałych parametrów. Dla czwórników pasywnych odwracalnych słuszna jest zależność:

$$AD - BC = 1$$

a dla czwórników odwracalnych:

$$A = D$$

Czwórniki, jako schematy zastępcze wielu urządzeń, można prawie zawsze przedstawić za pomocą trzech impedancji tworzących strukturę Π lub T . Czwórniki takie będą badane w ćwiczeniu.

Stany pracy czwórników i parametry charakterystyczne

Do zacisków 1 – 1' podłączone jest źródło napięciowe. Zaciski wyjściowe 2 – 2' mogą być rozwarte i taki stan pracy nazywamy *stanem jałowym*, mogą być zwarte, ten stan nazywamy *stanem zwarcia* i wreszcie w

przypadku dołączenia do zacisków wyjściowych impedancji Z_0 , czwórnik znajduje się w *stanie obciążenia*. W stanie jałowym i zwarcia równania czwornika ulegają uproszczeniu i można wtedy łatwo pomierzyć parametry czwornika.

stan jałowy $I_2=0$

$$U_{1o} = AU_{2o}$$

$$I_{1o} = CU_{2o}$$

stan zwarcia $U_2=0$

$$U_{1z} = BI_{2z}$$

$$I_{2z} = DI_{2z}$$

Stosunek napięcia na wejściu do prądu na wejściu czwornika nazywamy impedancją wejściową czwornika

$$Z_{we} = \frac{U_1}{I_1}$$

Impedancja wejściowa w stanie obciążenia zależy od impedancji obciążenia Z_0

w stanie jałowym

$$Z_{weo} = \frac{U_{1o}}{I_{1o}} = \frac{A}{C}$$

w stanie zwarcia

$$Z_{wez} = \frac{U_{1z}}{I_{1z}} = \frac{B}{D}$$

Impedancją charakterystyczną (falową) czwornika symetrycznego nazywamy taką impedancję Z_c , która dołączona do zacisków wyjściowych czwornika powoduje, że impedancja wejściowa jest równa Z_c :

$$Z_c = \sqrt{\frac{B}{C}} = \sqrt{Z_{10}Z_{1z}}$$

Współczynnik tłumienia czwornika symetrycznego określa wyrażenie:

$$a = \ln \frac{|U_1|}{|U_2|} = \ln \frac{|I_1|}{|I_2|}$$

gdzie: $|U_1|$ - wartość skuteczna napięcia wejściowego

$|U_2|$ - wartość skuteczna napięcia wyjściowego przy obciążeniu falowym

Współczynnik tłumienia wyrażony w decybelach (dB) jest równy:

$$a = 20 \log \frac{|U_1|}{|U_2|} = 20 \log \frac{|I_1|}{|I_2|}$$

Współczynnik ten równy jest 20 dB, jeżeli stosunek napięć $\frac{|U_1|}{|U_2|}$, lub stosunek prądów $\frac{|I_1|}{|I_2|}$ jest równy 10.

Współczynnik fazowy jest miarą zmiany fazy napięcia lub prądu przy przejściu od zacisków wejściowych do zacisków wyjściowych czwórnika:

Jeżeli wyrazimy napięcia i prądy w postaci:

$$U_1 = |U_1|e^{j\varphi_1} \quad U_2 = |U_2|e^{j\varphi_2} \quad I_1 = |I_1|e^{j\psi_1} \quad I_2 = |I_2|e^{j\psi_2}$$

to

$$b = \varphi_1 - \varphi_2 = \psi_1 - \psi_2$$

Łącznie oba współczynniki wskazują na sposób przenoszenia sygnału w czwórniku, czyli zmianę jego wartości i fazy. Jeżeli zapiszemy:

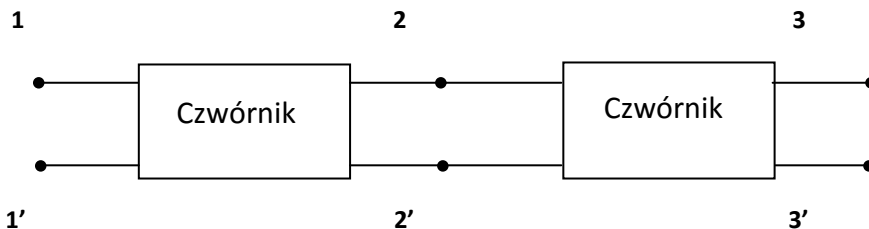
$$g = a + jb$$

to g jest współczynnikiem przenoszenia czwórnika symetrycznego.

Połączenia czwórników

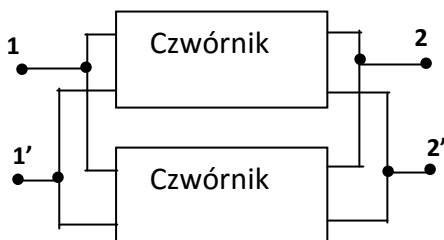
Rozróżniamy trzy podstawowe układy połączeń czwórników:

- połączenia łańcuchowe



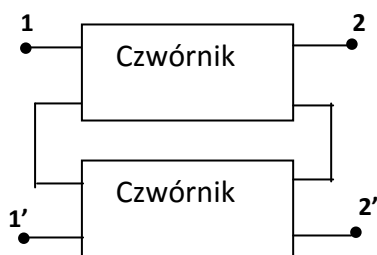
Zaciski wyjściowe pierwszego czwórnika są połączone z zaciskami wejściowymi drugiego czwórnika.

- połączenia równoległe



Zaciski wejściowe pierwszego czwórnika są połączone z zaciskami wejściowymi drugiego czwórnika jak również zaciski wyjściowe pierwszego czwórnika są połączone z zaciskami wyjściowymi drugiego czwórnika.

– połączenie szeregowe

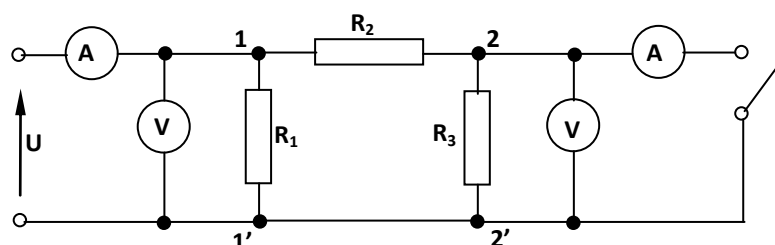


Zaciski wejściowy **1'** pierwszego czwórnika jest połączony z zaciskiem wejściowym **1** drugiego czwórnika jak również zacisk wyjściowy **2'** pierwszego czwórnika jest połączony z zaciskiem wyjściowym **2** drugiego czwórnika.

Przebieg ćwiczenia – badania oraz pomiary.

1. Czwórnik typu Π .

Zestawić układ pomiarowy według podanego schematu



$R_1 = \dots\dots\dots$ $R_2 = \dots\dots\dots$ $R_3 = \dots\dots\dots$

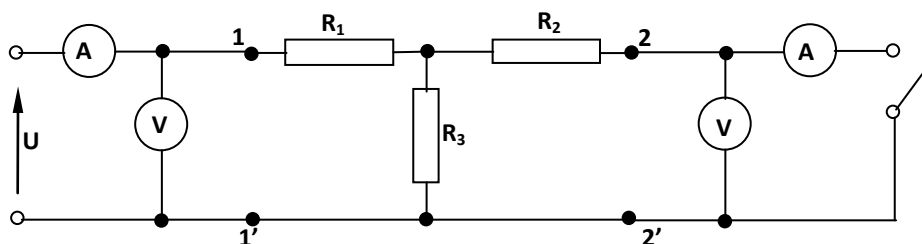
Dla podanych wartości rezystancji czwórnika obliczyć Z_{weo} i Z_{wez} , czyli impedancję widzianą z zacisków 1 – 1' w stanie jałowym i zwarcia, a następnie impedancję falową Z_c . Następnie, korzystając z układu pomiarowego dokonać pomiarów parametrów wejściowych i wyjściowych kolejno w stanie jałowym i zwarcia. Wyniki pomiarów wpisać do **tabeli 1** i na podstawie odpowiednich zależności obliczyć parametry łańcuchowe badanego czwórnika.

Wzory do obliczeń:

$$A = \frac{U_{10}}{U_{20}}, \quad B = \frac{U_{1Z}}{I_{2Z}}, \quad C = \frac{I_{10}}{U_{20}}, \quad D = \frac{I_{1Z}}{I_{2Z}}$$

2. Czwórnik typu T .

Zestawić układ pomiarowy według podanego schematu



$R_1 = \dots\dots\dots$ $R_2 = \dots\dots\dots$ $R_3 = \dots\dots\dots$

Dla podanych wartości rezystancji czwórnika obliczyć Z_{weo} i Z_{wez} , czyli impedancję widzianą z zacisków 1 – 1' w stanie jałowym i zwarcia, a następnie impedancję falową Z_c . Następnie, korzystając z układu pomiarowego dokonać pomiarów parametrów wejściowych i wyjściowych kolejno w stanie jałowym i zwarcia. Wyniki pomiarów wpisać do **tabeli 2** i na podstawie odpowiednich zależności obliczyć parametry łańcuchowe badanego czwórnika. Posługując się tymi parametrami należy obliczyć inne parametry: np. parametry admitancyjne czwórnika.

Po wykonaniu pomiarów i obliczeń opisać wynikające z nich wnioski.

Czwórnik typu Π

Obliczenia:

$$Z_{we0} = \dots\dots\dots \Omega \quad Z_{wez} = \dots\dots\dots \Omega \quad Z_c = \dots\dots\dots \Omega$$

Tabela 1.

Lp	Stan jałowy				Stan zwarcia			
	U ₁₀ [V]	I ₁₀ [mA]	U ₂₀ [V]	I ₂₀ [mA]	U _{1z} [V]	I _{1z} [mA]	U _{2z} [V]	I _{2z} [mA]
1				0			0	
2				0			0	

$$A = \dots\dots\dots \quad B = \dots\dots\dots \quad C = \dots\dots\dots \quad D = \dots\dots\dots$$

Parametry admitancyjne:

Czwórnik typu T

Obliczenia:

$$Z_{we0} = \dots\dots\dots \Omega \quad Z_{wez} = \dots\dots\dots \Omega \quad Z_c = \dots\dots\dots \Omega$$

Tabela 2

Lp	Stan jałowy				Stan zwarcia			
	U ₁₀ [V]	I ₁₀ [mA]	U ₂₀ [V]	I ₂₀ [mA]	U _{1z} [V]	I _{1z} [mA]	U _{2z} [V]	I _{2z} [mA]
1				0			0	
2				0			0	

$$A = \dots\dots\dots \quad B = \dots\dots\dots \quad C = \dots\dots\dots \quad D = \dots\dots\dots$$

Parametry admitancyjne:

Na podstawie zmierzonych parametrów określ własności czwórników Π i T .