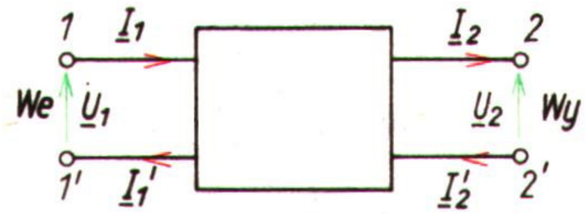
ROZDZIAŁ IV: Czwórniki

Temat 14 : Klasyfikacja czwórników. Pojęcia podstawowe.

Czwórnikiem (dwuwrotnikiem) nazywamy układ mający cztery zaciski, a ściśle dwie pary uporządkowanych zacisków.
Dla czwórnika musi być spełniony warunek

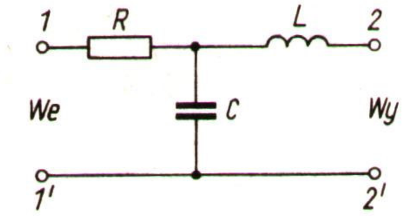
$$\underline{I}_1 = \underline{I}`_1 \qquad\qquad \underline{I}_2 = \underline{I}`_2$$



Rys.14.1. Symbol graficzny czwórnika w postaci tzw. „czarnej skrzynki”.

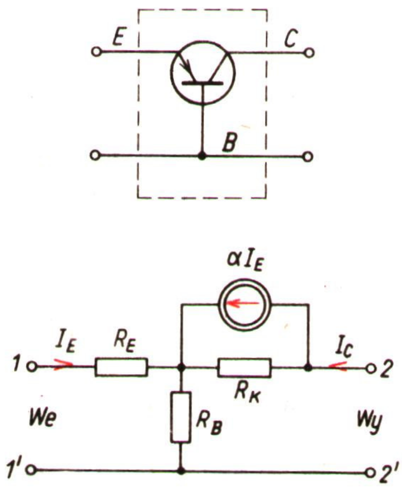
Jedną parę zacisków nazywamy ***wejściem***, a drugą ***wyjściem***. Wielkości związane z wejściem opatrujemy wskaźnikiem ***1***, a wielkości związane z wyjściem – wskaźnikiem ***2***. Przeważnie do wejścia doprowadzone jest źródło energii, a na wyjściu dołączony jest element odbiorczy.
Jeżeli wszystkie elementy wchodzące w skład struktury czwórnika są liniowe, to taki czwórnik nazywamy ***czwórnikiem liniowym***. Jeżeli czwórniki zawiera chociaż jeden element nieliniowy, zaliczamy go do klasy czwórników nieliniowych.
Czwórnik nazywamy ***symetrycznym***, jeżeli przy zamianie miejscami wejścia z wyjściem nie zmieni się rozpływ prądów i rozkład napięć w obwodzie poza czwórnikiem, tzn. w obwodzie dołączonym do wejścia i w obwodzie dołączonym do wyjścia.
Czwórniki dzielimy na ***odwracalne*** i ***nieodwracalne***. Jeżeli do zacisków wejściowych czwórnika 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*. Czwórnik, dla którego spełniony jest podany warunek, zwany warunkiem odwracalności, nazywamy ***czwórnikiem odwracalnym***.
Czwórniki dzielimy na ***pasywne*** i ***aktywne***.
Czwórnik nazywamy pasywnym, jeżeli całkowita energia pobrana przez elementy czwórnika przy dołączeniu do jego zacisków źródła energii, jest nieujemna, tzn. dodatnia lub równa zeru.

Do chwili dołączenia źródła do zacisków czwórnika pasywnego prąd w nim nie płynie. Czwórnik pasywny zbudowany jest np. z rezystorów, cewek i kondensatorów.



Rys.14.2. Przykładowy schemat czwórnika pasywnego.

Czwórnik, który nie spełnia opisanego wymogu nazywamy czwórnikiem ***aktywnym***. Czwórnik aktywny charakteryzuje się tym, że w jego schemacie zastępczym występuje źródło, sterowane bądź niesterowane. Tranzystor *p-n-p* w układzie wspólnej bazy może być przedstawiony za pomocą schematu zastępczego mającego strukturę czwórnika zawierającego źródło sterowane.

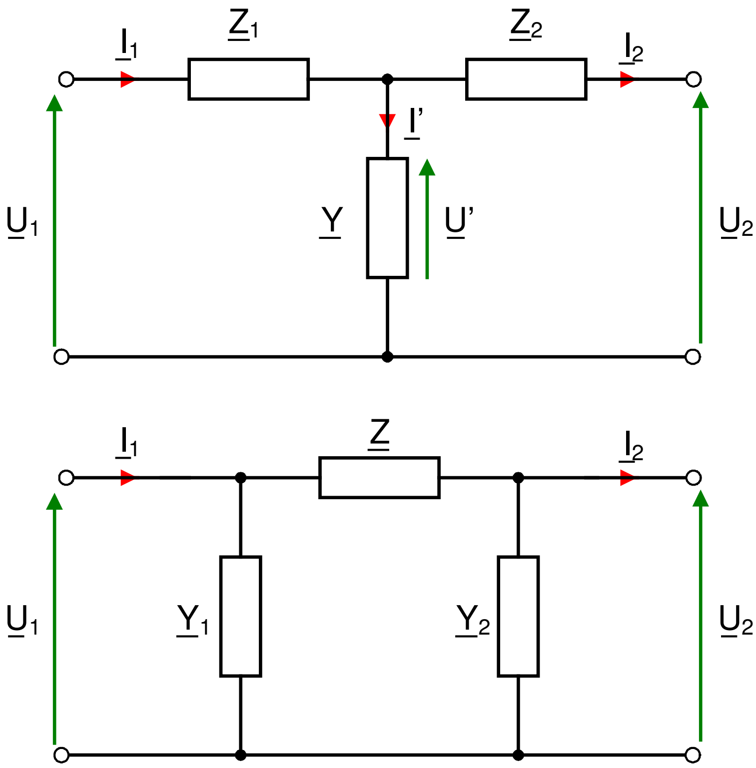


Rys.14.3. Tranzystor *p-n-p* o wspólnej bazie jako czwórnik aktywny: a) schemat; b) schemat zastępczy ze źródłem prądu sterowanym prądem emitera.

Również tranzystor pracujący w układzie o wspólnym kolektorze i w układzie o wspólnym emiterze mają schematy zastępcze zawierające źródła sterowane. Czwórniki pasywne są z reguły odwracalne, natomiast czwórniki aktywne są przeważnie nieodwracalne.

Temat 15 : Schematy zastępcze czwórników.

Czwórniki, jako schematy zastępcze wielu urządzeń, można prawie zawsze przedstawić za pomocą trzech impedancji tworzących strukturę jak na rysunku poniżej.



Rys.15.1. Czwórniki o schemacie: a) typu T; b) typu Π.

Czwórnik przedstawiony na rys. 15.1a, nazywamy **czwórnikiem typu (kształtu) T**, a czwórnik z rysunku 15.1b – **czwórnikiem typu Π**. Pierwszy z tych czwórników nazywany jest też czwórnikiem gwiazdowym, gdyż jego gałęzie tworzą gwiazdę, a drugi nazywany jest czwórnikiem trójkątowym, gdyż połączenie elementów odpowiada połączeniu w trójkąt.

W odniesieniu do gałęzi wzdłużnych posługujemy się pojęciem impedancji gałęzi, a w odniesieniu do gałęzi poprzecznej – pojęciem admitancji.

Czwórnik typu T

- równanie bilansu napięć w oczku, zgodnie z drugim prawem Kirchhoffa

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 + \underline{Z}_2\underline{I}_2 + \underline{Z}_1\underline{I}_1 \qquad \textbf{(1)}$$

- równanie bilansu prądów w węźle, zgodnie z pierwszym prawem Kirchhoffa

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 + \underline{I}^{'} \qquad \textbf{(2)}$$

Ponieważ

$$\underline{I}^{'} = \underline{Y}\underline{U}^{'} = \underline{Y}(\underline{U}_2 + \underline{Z}_2\underline{I}_2) \qquad \textbf{(3)}$$

zatem po podstawieniu (3) do (2) otrzymujemy

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 + \underline{Y}(\underline{U}_2 + \underline{Z}_2\underline{I}_2) = \underline{Y}\underline{U}_2 + (1 + \underline{Z}_2\underline{Y})\underline{I}_2 \qquad \textbf{(4)}$$

Podstawiamy do równania (1) prąd $\underline{I}_1$ opisany równaniem (4) i w wyniku przekształceń otrzymamy:

$$\underline{U}_1 = (1 + \underline{Z}_1\underline{Y})\underline{U}_2 + (\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_1\underline{Z}_2\underline{Y})\underline{I}_2 \qquad \textbf{(5)}$$

Równania (5) i (4) mają postać taką jak równania postaci łańcuchowej prostej

$$\left.\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{A}\underline{U}_2 + \underline{B}\underline{I}_2 \\ \underline{I}_1 &= \underline{C}\underline{U}_2 + \underline{D}\underline{I}_2 \end{aligned}\right\}$$

a zatem z porównania tych układów równań można wywnioskować, że dla czwórników typu ***T***:

$$\left.\begin{aligned} \underline{A} &= 1 + \underline{Z}_1\underline{Y} \\ \underline{B} &= \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_1\underline{Z}_2\underline{Y} \\ \underline{C} &= \underline{Y} \\ \underline{D} &= 1 + \underline{Z}_2\underline{Y} \end{aligned}\right\} \qquad \textbf{(6)}$$

Mając zatem elementy gałęzi tworzących czwórnik typu T można wyznaczyć parametry łańcuchowe tego czwórnika:

$$\underline{A}\underline{D} - \underline{B}\underline{C} = (1 + \underline{Z}_1\underline{Y})(1 + \underline{Z}_2\underline{Y}) - (\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_1\underline{Z}_2\underline{Y})\underline{Y} = 1 + \underline{Z}_2\underline{Y} + \underline{Z}_1\underline{Y} +$$

$$+ \underline{Z}_1\underline{Z}_2\underline{Y}^2 - \underline{Z}_1\underline{Y} - \underline{Z}_2\underline{Y} - \underline{Z}_1\underline{Z}_2\underline{Y}^2 = 1$$

Rozpatrywany czwórnik pasywny typu ***T*** jest więc czwórnikiem odwracalnym. Czwórnik jest symetryczny, jeżeli $\underline{A} = \underline{D}$. Z równań (6) wynika, że warunek symetrii jest spełniony przy $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2$. Patrząc na schemat czwórnika typu ***T***, w którym $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2$ jest oczywiste, że taki czwórnik jest symetryczny i można zamienić wejście z wyjściem.

Czwórnik typu Π

- równanie bilansu napięć w oczku, zgodnie z drugim prawem Kirchhoffa

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 + \underline{Z}\left(\underline{I}_2 + \underline{Y}_2\underline{U}_2\right) = \left(1 + \underline{Y}_2\underline{Z}\right)\underline{U}_2 + \underline{Z}\underline{I}_2 \qquad \textbf{(7)}$$

- równanie bilansu prądów w węźle, zgodnie z pierwszym prawem Kirchhoffa

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 + \underline{Y}_2\underline{U}_2 + \underline{Y}_1\underline{U}_1 \qquad \textbf{(8)}$$

Podstawiamy do równania (8) napięcie $\underline{U}_1$ wyrażone równaniem (7), w rezultacie czego otrzymujemy

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 + \underline{Y}_2\underline{U}_2 + \underline{Y}_1\left[\left(1 + \underline{Y}_2\underline{Z}\right)\underline{U}_2 + \underline{Z}\underline{I}_2\right] = \left(\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_1\underline{Y}_2\underline{Z}\right)\underline{U}_2 + \left(1 + \underline{Y}_1\underline{Z}\right)\underline{I}_2$$

Powyższe równania mają postać taką jak równania postaci łańcuchowej prostej

$$\left.\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{A}\underline{U}_2 + \underline{B}\underline{I}_2 \\ \underline{I}_1 &= \underline{C}\underline{U}_2 + \underline{D}\underline{I}_2 \end{aligned}\right\}$$

a zatem, w wyniku porównania tych równań otrzymamy dla czwórnika typu ***Π***

$$\left.\begin{aligned} \underline{A} &= 1 + \underline{Y}_2\underline{Z} \\ \underline{B} &= \underline{Z} \\ \underline{C} &= \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_1\underline{Y}_2\underline{Z} \\ \underline{D} &= 1 + \underline{Y}_1\underline{Z} \end{aligned}\right\}$$

Sprawdzamy zależność :

$$\underline{A}\,\underline{D} - \underline{B}\,\underline{C} = 1$$

$$\underline{A}\underline{D} - \underline{B}\underline{C} = \left(1 + \underline{Y}_2\underline{Z}\right)\left(1 + \underline{Y}_1\underline{Z}\right) - \underline{Z}\left(\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_1\underline{Y}_2\underline{Z}\right) = 1 + \underline{Y}_2\underline{Z} + \underline{Y}_1\underline{Z} +$$
$$+ \underline{Y}_1\underline{Y}_2\underline{Z}^2 - \underline{Y}_1\underline{Z} - \underline{Y}_2\underline{Z} - \underline{Y}_1\underline{Y}_2\underline{Z}^2 = 1$$

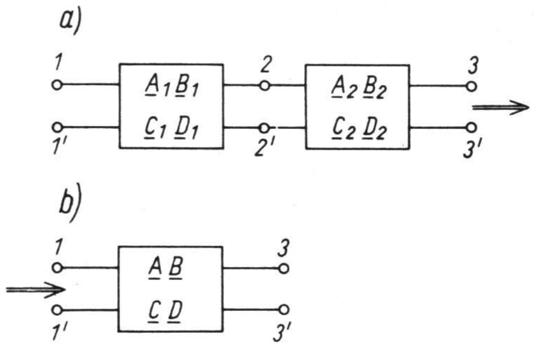
Rozpatrywany czwórnik pasywny typu ***Π*** jest czwórnikiem odwracalnym. Można jednoznacznie stwierdzić, że czwórnik typu ***Π*** jest symetryczny, jeśli $\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2$.

Temat 16 : <u>Połączenia czwórników.</u>

Rozróżniamy trzy podstawowe układy połączeń czwórników:

- kaskadowe (łańcuchowe);
- równoległe;
- szeregowe.

Połączeniem kaskadowym czwórników ***nazywamy takie połączenie, przy którym zaciski wyjściowe pierwszego czwórnika są przyłączone do zacisków wejściowych drugiego czwórnika.***



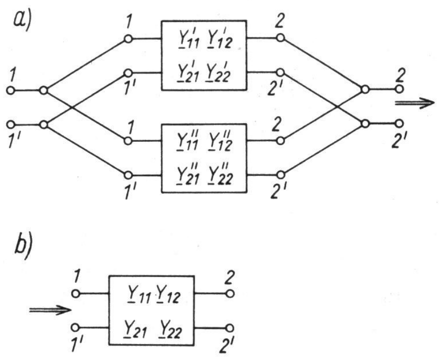
Rys.16.1. Połączenie łańcuchowe dwóch czwórników:
a) schemat; b) czwórnik równoważny.

Jeżeli parametry łańcuchowe pierwszego czwórnika oznaczymy przez $\underline{A}_1$, $\underline{B}_1$, $\underline{C}_1$, $\underline{D}_1$, a parametry łańcuchowe drugiego czwórnika – przez $\underline{A}_2$, $\underline{B}_2$, $\underline{C}_2$, $\underline{D}_2$, to parametry łańcuchowe czwórnika równoważnego obliczamy ze wzorów

$$\left.\begin{aligned}\underline{A} &= \underline{A}_1\underline{A}_2 + \underline{B}_1\underline{C}_2\\ \underline{B} &= \underline{A}_1\underline{B}_2 + \underline{B}_1\underline{D}_2\\ \underline{C} &= \underline{C}_1\underline{A}_2 + \underline{D}_1\underline{C}_2\\ \underline{D} &= \underline{C}_1\underline{B}_2 + \underline{D}_1\underline{D}_2\end{aligned}\right\}$$

Przy połączeniu łańcuchowym dwóch czwórników symetrycznych, czwórnik zastępczy nie jest symetryczny. Wniosek ten wynika z powyższych równań. Jeśli bowiem $\underline{A}_1 = \underline{D}_1$ oraz $\underline{A}_2 = \underline{D}_2$, to jak widać $\underline{A} \neq \underline{D}$, gdyż $\underline{B}_1\underline{C}_2$ nie musi być równe $\underline{C}_1\underline{B}_2$.

Połączeniem równoległym czwórników ***nazywamy takie połączenie, przy którym zaciski wyjściowe pierwszego czwórnika są przyłączone z zaciskami wejściowymi drugiego czwórnika, jak również zaciski wyjściowe pierwszego czwórnika są połączone z zaciskami wyjściowymi drugiego czwórnika.***

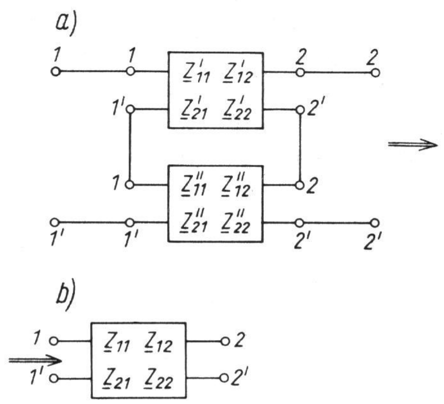


Rys. 16.2. Połączenie równoległe dwóch czwórników:
schemat; b) czwórnik równoważny.

Jeśli parametry admitancyjne pierwszego czwórnika oznaczymy przez $\underline{Y}'_{11}, \underline{Y}'_{12}, \underline{Y}'_{21}, \underline{Y}'_{22}$, a parametry admitancyjne drugiego czwórnika oznaczymy przez $\underline{Y}''_{11}, \underline{Y}''_{12}, \underline{Y}''_{21}, \underline{Y}''_{22}$, to parametry admitancyjne czwórnika wynoszą

$$\left.\begin{aligned} \underline{Y}_{11} &= \underline{Y}'_{11} + \underline{Y}''_{11} \\ \underline{Y}_{12} &= \underline{Y}'_{12} + \underline{Y}''_{12} \\ \underline{Y}_{21} &= \underline{Y}'_{21} + \underline{Y}''_{21} \\ \underline{Y}_{22} &= \underline{Y}'_{22} + \underline{Y}''_{22} \end{aligned}\right\}$$

***Połączenie szeregowe czwórników* zachodzi wtedy, gdy zacisk 1' pierwszego czwórnika jest połączony z zaciskiem 1 drugiego czwórnika, jak również zacisk 2' pierwszego czwórnika jest połączony z zaciskiem 2 drugiego czwórnika.**



Rys.16.3. Połączenie szeregowe dwóch czwórników:
a) schemat; b) czwórnik równoważny.

Jeśli parametry impedancyjne pierwszego czwórnika oznaczymy przez $\underline{Z}'_{11}, \underline{Z}'_{12}, \underline{Z}'_{21}, \underline{Z}'_{22}$, a parametry impedancyjne drugiego czwórnika – przez $\underline{Z}''_{11}, \underline{Z}''_{12}, \underline{Z}''_{21}, \underline{Z}''_{22}$, to parametry impedancyjne czwórnika równoważnego wynoszą

$$\left.\begin{aligned} \underline{Z}_{11} &= \underline{Z}'_{11} + \underline{Z}''_{11} \\ \underline{Z}_{12} &= \underline{Z}'_{12} + \underline{Z}''_{12} \\ \underline{Z}_{21} &= \underline{Z}'_{21} + \underline{Z}''_{21} \\ \underline{Z}_{22} &= \underline{Z}'_{22} + \underline{Z}''_{22} \end{aligned}\right\}$$

Czwórniki mogą też być łączone w sposób mieszany, czyli na wejściu szeregowo na wyjściu równolegle, lub odwrotnie – na wejściu równolegle a na wyjściu szeregowo.

Temat 17 : Parametry czwórników.

Impedancja wejściowa czwórnika – jest to stosunek napięcia na wejściu do prądu na wejściu czwórnika.
W zależności od stanu pracy czwórnika możemy wyznaczyć impedancję wejściową czwórnika w stanie obciążenia, w stanie jałowym i w stanie zwarcia.
W stanie obciążenia impedancją $\underline{Z}_0$ mamy zależności

$$\underline{U}_1 = \underline{A}\underline{U}_2 + \underline{B}\underline{I}_2$$

$$\underline{I}_1 = \underline{C}\underline{U}_2 + \underline{D}\underline{I}_2$$

$$\underline{U}_2 = \underline{Z}_0\underline{I}_2$$

Podstawiając ostatnią zależność do równań 1 i 2 otrzymamy

$$\left.\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{A}\underline{Z}_0\underline{I}_2 + \underline{B}\underline{I}_2 = (\underline{A}\underline{Z}_0 + \underline{B})\underline{I}_2 \\ \underline{I}_1 &= \underline{C}\underline{Z}_0\underline{I}_2 + \underline{D}\underline{I}_2 = (\underline{C}\underline{Z}_0 + \underline{D})\underline{I}_2 \end{aligned}\right\}$$

Zgodnie z definicją, impedancja wejściowa

$$\underline{Z}_{we} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1} = \frac{\underline{A}\underline{Z}_0 + \underline{B}}{\underline{C}\underline{Z}_0 + \underline{D}}$$

Wynika stąd, że impedancja wejściowa czwórnika w stanie obciążenia zależy od impedancji obciążenia $\underline{Z}_0$ i parametrów łańcuchowych $\underline{A}$, $\underline{B}$, $\underline{C}$, $\underline{D}$.
Impedancją charakterystyczną lub falową czwórnika symetrycznego nazywamy taką impedancję $\underline{Z}_C$, która dołączona do zacisków wyjściowych powoduje, że impedancja wejściowa czwórnika jest równa $\underline{Z}_C$.
Zgodnie ze wzorem impedancja wejściowa $\underline{Z}_{we} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1}$, a więc przy obciążeniu czwórnika symetrycznego impedancją $\underline{Z}_C$

$$\underline{U}_2 = \underline{Z}_C\underline{I}_2$$

Zatem

$$\underline{U}_1 = \underline{A}\underline{U}_2 + \underline{B}\frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_C} = \left(\underline{A} + \frac{\underline{B}}{\underline{Z}_C}\right)\underline{U}_2$$

$$\underline{I}_1 = \underline{C}\underline{Z}_C\underline{I}_2 + \underline{A}\underline{I}_2 = (\underline{C}\underline{Z}_C + \underline{A})\underline{I}_2$$

Zgodnie z definicją

$$\frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1} = \frac{\underline{A} + \frac{\underline{B}}{\underline{Z}_C}}{\underline{C}\underline{Z}_C + \underline{A}} \cdot \frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2}$$

Skoro $\underline{Z}_C = \frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2}$, oraz $\underline{Z}_C = \underline{Z}_{we} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1}$, więc możemy zapisać

$$\underline{Z}_C = \frac{\underline{A} + \frac{\underline{B}}{\underline{Z}_C}}{\underline{C}\,\underline{Z}_C + \underline{A}} \cdot \underline{Z}_C$$

Lewa strona będzie równa prawej wtedy i tylko wtedy, gdy licznik ułamka będzie równy mianownikowi, tzn. przy

$$\underline{A} + \frac{\underline{B}}{\underline{Z}_C} = \underline{C}\underline{Z}_C + \underline{A}$$

Stąd

$$\underline{Z}_C = \sqrt{\frac{\underline{B}}{\underline{C}}}$$

Jeżeli czwórnik symetryczny obciążymy impedancją charakterystyczną $\underline{Z}_C$, to jak mówimy czwórnik znajduje się w warunkach dopasowania falowego. **Przy obciążeniu czwórnika symetrycznego impedancją charakterystyczną, stosunek napięć $\underline{U}_1$ do $\underline{U}_2$ jest równy stosunkowi prądów $\underline{I}_1$ do $\underline{I}_2$ i wynosi**

$$\underline{A} + \sqrt{\underline{B}\underline{C}} = e^g$$

Wielkość **g** jest liczbą zespoloną, wyrażoną w postaci algebraicznej nazywamy współczynnikiem przenoszenia czwórnika.

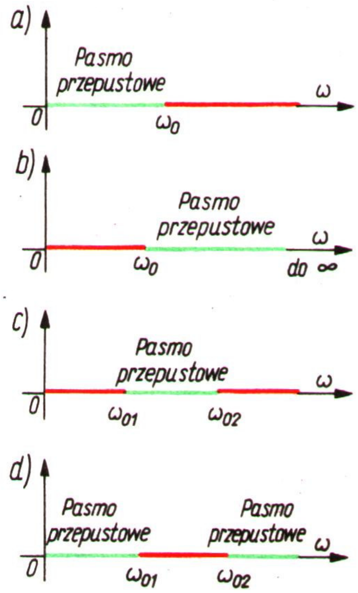
$$g = a + jb$$

Część rzeczywistą (***a***) współczynnika przenoszenia nazywamy współczynnikiem tłumienia czwórnika, a część urojoną (***b***) – współczynnikiem fazowym czwórnika.

Temat 18 : Filtry częstotliwości. Charakterystyki amplitudowe i fazowe filtrów.

Filtrem nazywamy układ o strukturze czwórnika, który przepuszcza bez tłumienia lub z małym tłumieniem napięcia i prądy o określonym pasmie częstotliwości, a tłumi napięcia i prądy leżące poza tym pasmem.
Pasmo częstotliwości, które filtr przepuszcza bez tłumienia nazywamy pasmem przepustowym, a pasmo częstotliwości, które filtr tłumi nazywamy pasmem tłumieniowym.
Częstotliwość, która oddziela pasmo przepustowe od pasma tłumieniowego nazywamy częstotliwością graniczną filtra.
W zależności od położenia pasma przepustowego rozróżniamy filtry:

- dolnoprzepustowe;
- górnoprzepustowe;
- pasmowe;
- zaporowe.



Rys.18.1. Położenie pasma przepustowego i tłumieniowego w filtrze:
a) dolnoprzepustowym; b) górnoprzepustowym;
c) pasmowym; d) zaporowym.

W zależności od konstrukcji filtry dzielimy na:

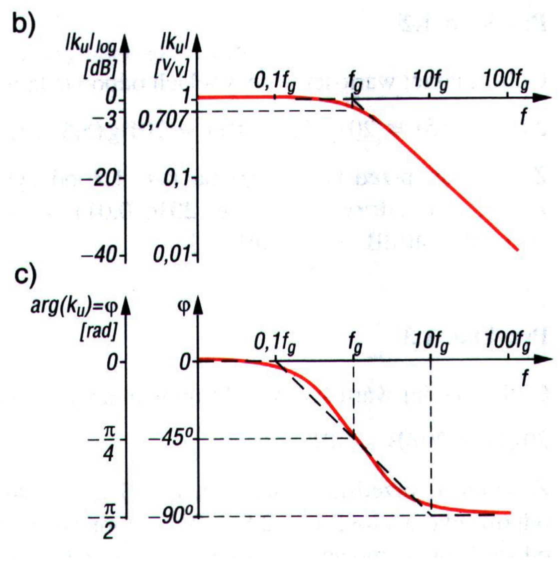
- filtry reaktancyjne L, C, zbudowane z cewek i kondensatorów,
- filtry bezindukcyjne, pasywne R, C, zbudowane z rezystorów i kondensatorów,
- filtry piezoceramiczne,
- filtry aktywne.

Dla filtrów miarodajne są charakterystyki częstotliwościowe. Na podstawie charakterystyki zmienności w funkcji częstotliwości

takich wielkości jak współczynnik tłumienia ***a*** i współczynnik fazowy ***b*** określamy warunki przenoszenia sygnałów przez filtr.
W pasmie przepustowym współczynnik tłumienia powinien być równy zeru lub niewiele różnić się od zera, natomiast w pasmie tłumieniowym współczynnik ten powinien być duży.
Ponieważ filtry reaktancyjne powinny pracować w warunkach dopasowania falowego, tzn. przy obciążeniu filtra impedancją charakterystyczną, podaje się dla filtrów również charakterystyki częstotliwościowe impedancji charakterystycznej.
Najczęściej funkcję transmitancji podaje się w postaci wykładniczej

$$\underline{k}_u = \frac{\underline{U}_{wy}}{\underline{U}_{we}} = \frac{U_{wy} e^{j\varphi_{wy}}}{U_{we} e^{j\varphi_{we}}} = \frac{U_{wy}}{U_{we}} e^{j(\varphi_{wy}-\varphi_{we})} = |\underline{k}_u| e^{j(\varphi_{wy}-\varphi_{we})}$$

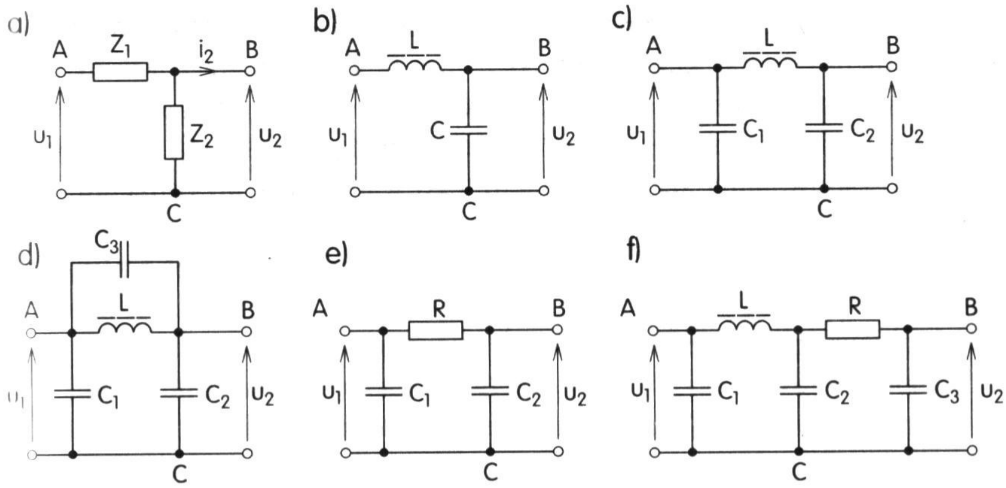
Moduł tej liczby określa stosunek amplitudy sygnału (tutaj napięcia) wyjściowego do amplitudy sygnału wejściowego. Argument liczby wykładniczej określa natomiast przesunięcie fazy napięcia wyjściowego względem napięcia wejściowego.
Jeżeli funkcję $\underline{k}_u(f)$ przedstawi się w postaci wykładniczej, to otrzymamy charakterystykę modułu transmitancji napięciowej, nazywaną ***charakterystyką amplitudową***.
Charakterystykę argumentu funkcji transmitancji nazywana jest charakterystyką przesunięcia fazowego lub ***charakterystyką fazową***.



Rys.18.2. Filtr dolnoprzepustowy RC;
b) logarytmiczna charakterystyka amplitudowa (modułu transmitancji);
c) logarytmiczna charakterystyka fazowa (argumentu transmitancji).

Temat 19 : Filtry LC i RC.

Do tłumienia tętnień napięcia wyprostowanego służą **obwody *RC*** lub ***LC***, zwane **filtrami**. **Filtry powinny przepuszczać na wyjście składową stałą, a jednocześnie blokować składową zmienną, czyli tętnienia**. Wymagania te spełniają filtry dolnoprzepustowe, np. układ inercyjny *RC* lub *LR*. Ze względu na duże straty energii powstające w rezystorach, filtry *RC* stosuje się jedynie w zasilaczach małej mocy (np. w radioodbiornikach lub telewizorach).
W zasilaczach dużej mocy natomiast, używa się wyłącznie filtrów *LC*.



Rys.19.1. Filtry napięcia wyprostowanego: a) schemat ogólny; b) filtr LC; c) filtr z wejściem pojemnościowym; d) filtr z obwodem rezonansowym; e) filtr RC z wejściem pojemnościowym; f) filtr dwuelementowy.

Rozważania na temat budowy i działania filtrów napięcia tętnień w zasilaczach możemy podsumować w następujący sposób:
Filtr napięcia tętnień powinien być tak zbudowany, by impedancja Z_1 łącząca zaciski A i B była:

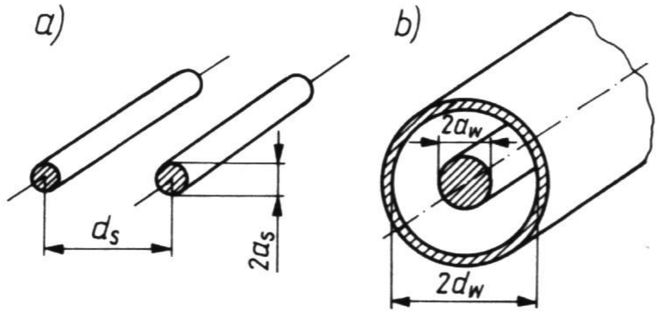
- jak największa przy częstotliwości tętnień oraz jak najmniejsza dla prądu stałego (przy częstotliwości $f = 0$).
- element Z_2 powinien stanowić zwarcie dla tętnień i rozwarcie dla prądu stałego. Z tego względu zaciski B i C są zawsze łączone z okładzinami kondensatora o dużej pojemności (kilkudziesięciu, a nawet kilku tysięcy mikrofaradów).

Zaletą filtrów z wejściem pojemnościowym jest to, że kondensator wejściowy C_1 ładuje się przez rezystor o bardzo małej rezystancji. Zatem ładowanie przebiega bardzo szybko. Zdąży się on naładować prawie do wartości szczytowej napięcia wyprostowanego.
Wadą filtrów z wejściem pojemnościowym jest to, że po włączeniu zasilacza do sieci, prąd ładowania kondensatora C_1 jest bardzo duży. Wymaga to stosowania diod o kilkakrotnym zapasie dopuszczalnego prądu przewodzenia.

Temat 20 : <u>Linie długie.</u>

Przewody (kable) o długości co najmniej kilkakrotnie większej od długości fali przesyłanego sygnału elektromagnetycznego wielkiej częstotliwości nazywamy liniami długimi.

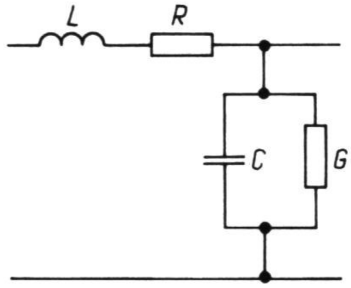
Liniami długimi rzeczywistymi, które są stosowane w praktyce są linie przesyłowe o odpowiedniej długości, służące do przesyłania energii w.cz. A więc takimi liniami są np. linie radiokomunikacyjne i telewizyjne (dla częstotliwości 0,1 .... 1000 MHz) lub linie mikrofalowe dla częstotliwości do 10 GHz. Większość takich linii jest skonstruowana jako kable współosiowe.



Rys.20.1. Rodzaje i wymiary podstawowe linii długiej: a) symetrycznej; b) współosiowej (koncentrycznej). d_s – odległość między środkami przewodów symetrycznych w linii symetrycznej, a_s – promień przewodu linii symetrycznej, d_w – promień wewnętrzny kabla zewnętrznego w linii współosiowej, a_w – promień rdzenia.

Rzeczywista linia dwuprzewodowa (symetryczna) lub współosiowa, niezależnie czy jest to linia długa czy nie, charakteryzuje się następującymi wielkościami jednostkowymi, tj. przypadającymi na jednostkę długości, np. 1 m:

- rezystancja jednostkowa *R* – iloraz łącznej rezystancji obu przewodów linii przez jej długość,
- indukcyjność jednostkowa *L* – iloraz indukcyjności całkowitej obu przewodów linii przez jej długość,
- pojemność jednostkowa *C* – iloraz pojemności między przewodami linii do jego długości,
- upływność jednostkowa *G* – iloraz upływności między przewodami linii do jej długości.



Rys.20.2. Schemat zastępczy linii długiej
R – rezystancja jednostkowa; *L* – indukcyjność jednostkowa;
C – pojemność jednostkowa, *G* – upływność jednostkowa.

Np. Linia dwuprzewodowa z miedzi o średnicy przewodów 4 mm, których osie są oddalone od siebie o 20 cm, umieszczona w powietrzu o temperaturze 12^{O}C ma parametry:

$R = 2{,}87 \cdot 10^{-3}\ \Omega / m$

$L = 1{,}94 \cdot 10^{-6}\ H / m$

$C = 6{,}35 \cdot 10^{-12}\ F / m$

$G = 0{,}7 \cdot 10^{-9}\ S / m$

Tutaj opisane zostały tylko zależności i zjawiska fizyczne występujące w liniach długich bez strat, to jest w liniach, w których $R = 0$ i $G = \infty$. W wielu przypadkach takie przybliżenie jest wystarczające do zrozumienia rzeczywistych zjawisk i zależności fizycznych występujących w linii długiej. Indukcyjność jednostkową i pojemność jednostkową linii długiej symetrycznej dwuprzewodowej i współosiowej, lub inaczej koncentrycznej, jak i impedancję falową Z_C oblicza się z następujących wzorów:

Linia symetryczna:

$$L = 0{,}4 \ln \frac{d_s}{a_s}$$

$$C = 27{,}8 \frac{\varepsilon_r}{\ln \frac{d_s}{a_s}}$$

$$Z_C = \frac{120}{\sqrt{\varepsilon_r}} \ln \frac{d_s}{a_s}$$

Przy czym:

L – indukcyjność 1 m linii symetrycznej [μH/m]
C – pojemność 1 m linii symetrycznej [pF/m]
a_s – promień przewodu [mm]
d_s – odległość między osiami przewodów [mm]

Linia współosiowa:

$$L = 0{,}2 \ln \frac{d_w}{a_w}$$

$$C = 55{,}5 \frac{\varepsilon_r}{\ln \frac{d_w}{a_w}}$$

$$Z_C = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}} \ln \frac{d_w}{a_w}$$

a_w – promień przewodu wewnętrznego [mm]
d_w – promień wewnętrzny przewodu zewnętrznego w linii współosiowej [mm]