SYNTEZA obwodów

Zbigniew Leonowicz

Literatura: [1]. S. Bolkowski Elektrotechnika teoretyczna. Tom I. WNT Warszawa 1982 (s.420-439)

[2]. A. Cichocki, K.Mikołajuk, S. Osowski, Z. Trzaska: Zbiór zadań z elektrotechniki Teoretycznej. W-wa, PWN, 1985. (s.238-259)

[3]. M Krakowski : Elektrotechnika teoretyczna. Tom 1. Warszawa-Poznań, 1980r, (s.512-533)

Wstęp

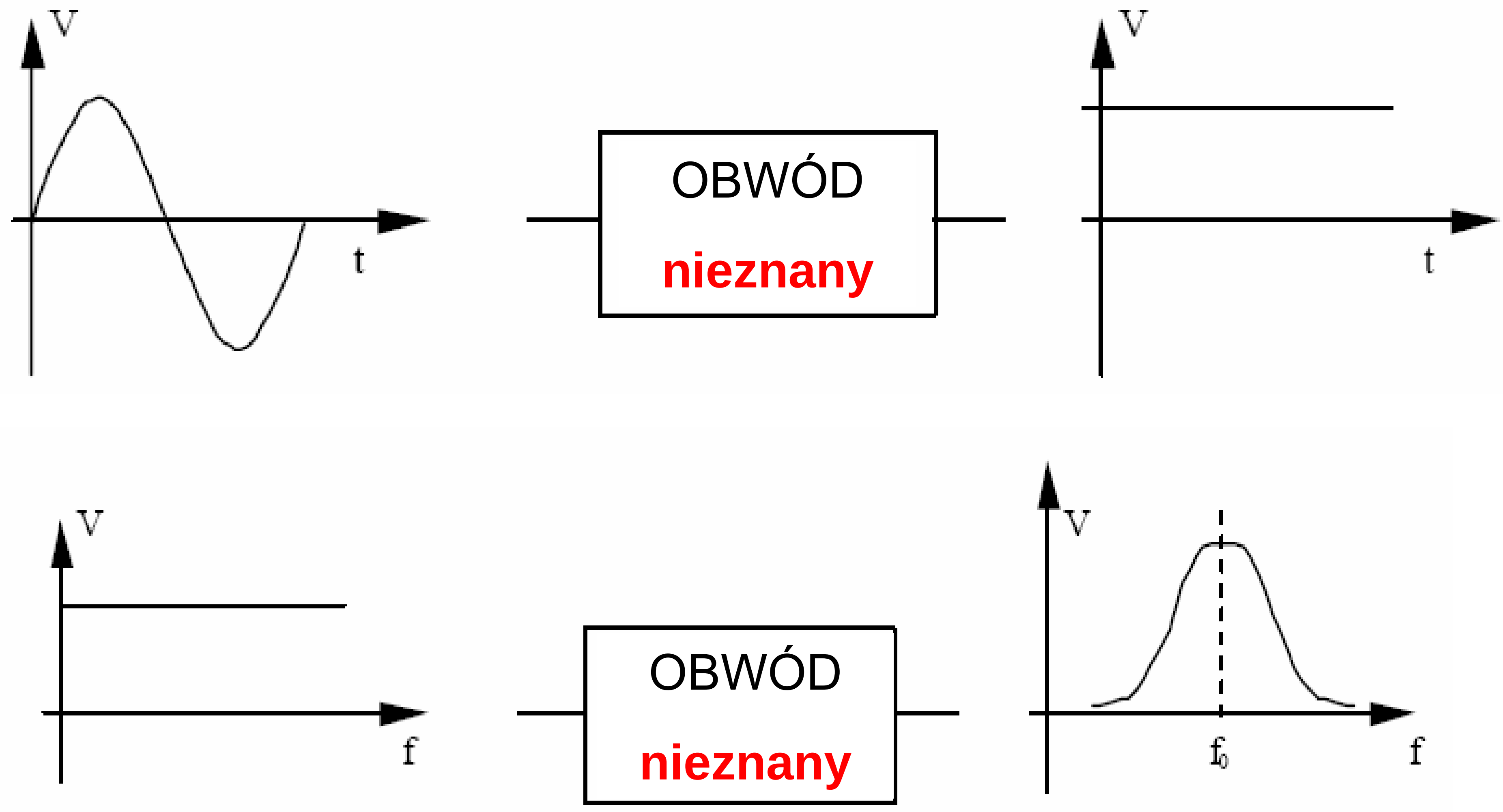
ANALIZA

SYNTEZA

Różnice

- Analiza : teoria obwodów, p. Fouriera, p. Laplace’a, …
- Synteza: wiele metod (lista otwarta!), trudna, b. wymagająca, częściowo eksperymentalna, kompromisowa
  – Dotyczy głównie filtrów, ale nie tylko.

Przykład



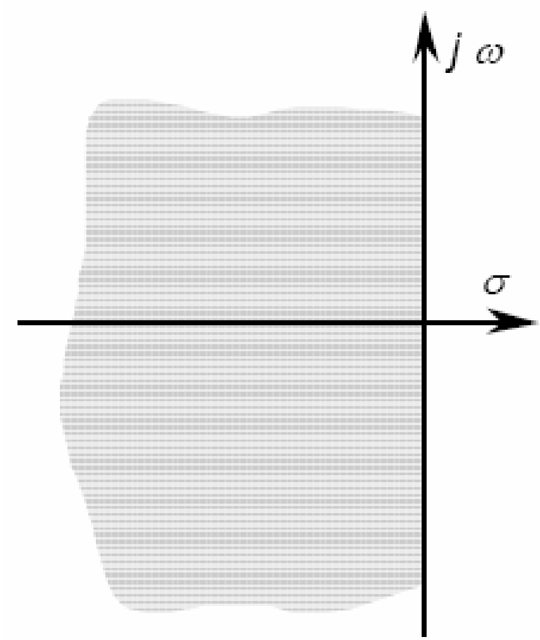
Elementy składowe

- Elementy pasywne
- Elementy i obwody aktywne
- Filtry cyfrowe

Elementy pasywne

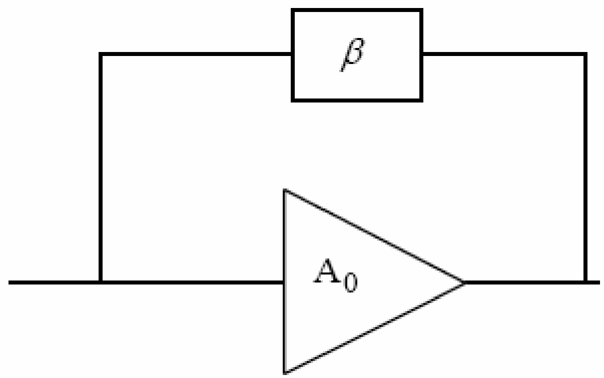
- RLC
  - Przyczynowe
  - Ograniczona pamięć
  - Stabilność

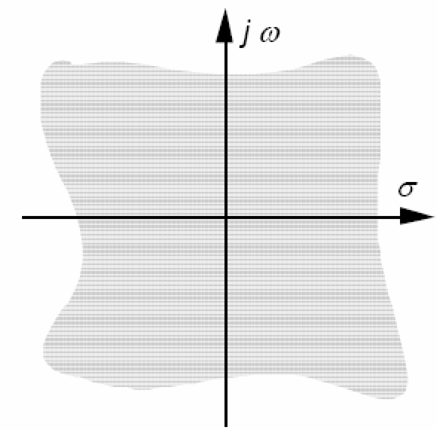
  + Proste, niezawodne, duże moce
  − Problemy z indukcyjnością i Q w IC

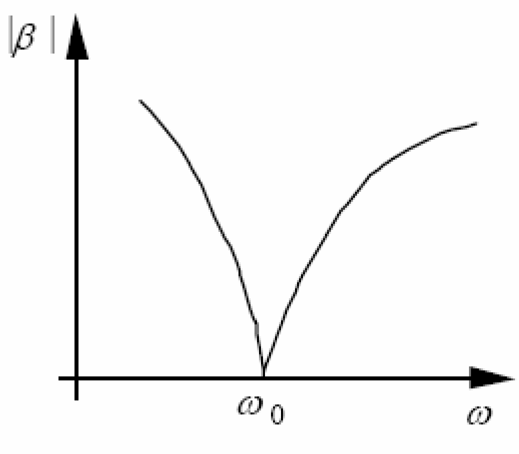


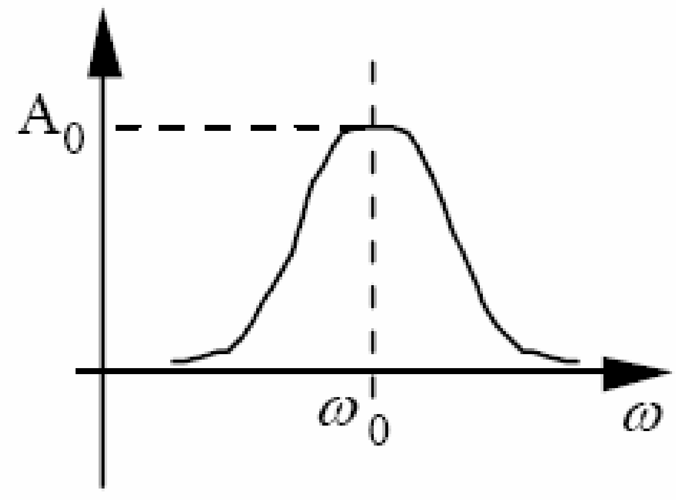
Układy aktywne

- Wzmacniacze
- RC (L)

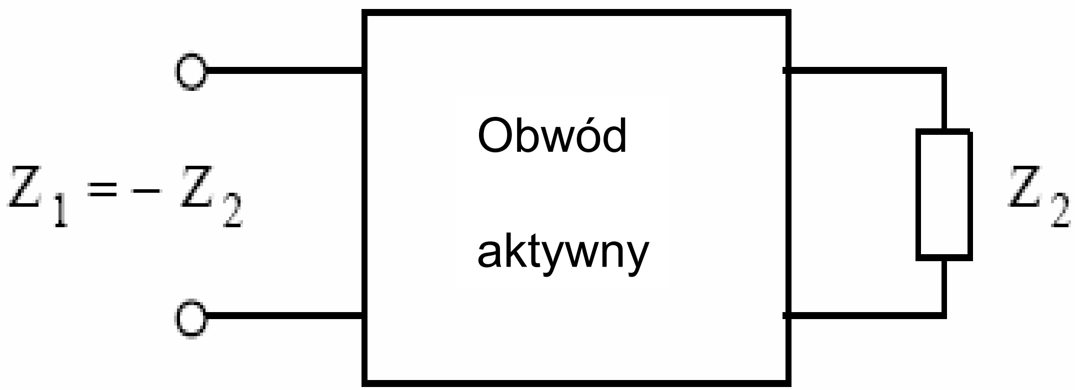


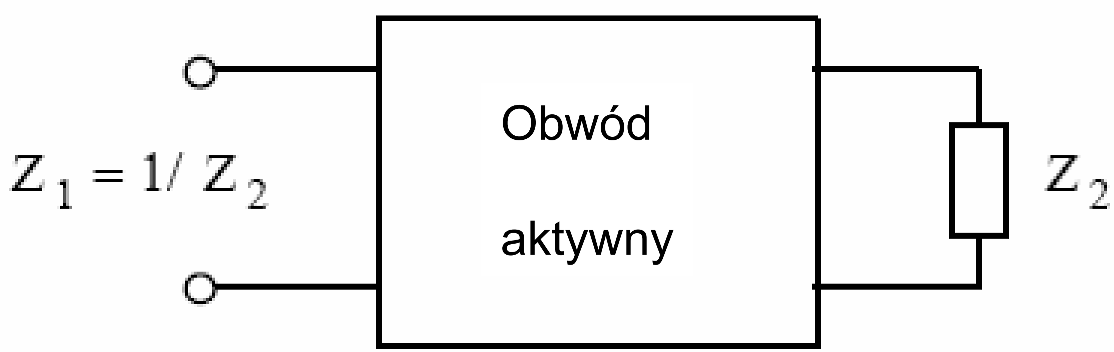






Układy Aktywne





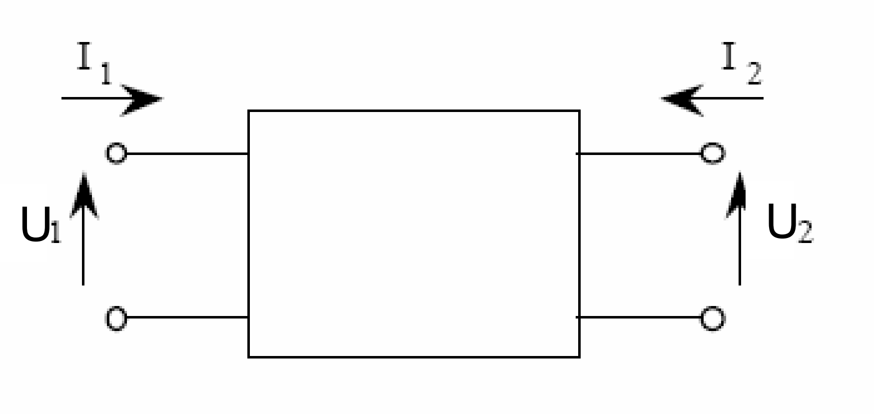
Żyrator

FILTRY CYFROWE

- Operacja liniowa na danych cyfrowych
  - Np. wygładzanie, FFT, separacja sygnałów, predykcja
  - ▪ W układach cyfrowych sygnał może być całkowicie regenerowany
  - Brak problemu dopasowania impedancji
  - Łatwa zmiana charakterystyk
  - Możliwa jest duża pamięć
  - Filtry predykcyjne=może być nieprzyczynowy i niestabilny

SYNTEZA

- Elementy RLC
- Stabilność i przyczynowość



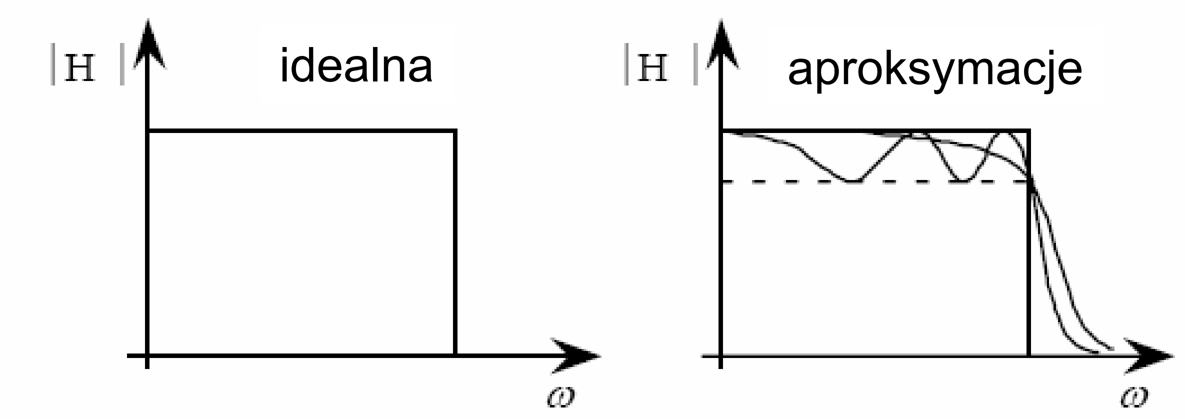
- U_1/I_1 –immitancja wejściowa
- U2/I1- immitancja transmisyjna – transmitancja
- (dwójniki=immitancja)
- (czwórniki=transmitancja)

Synteza obwodów pasywnych

- Transmitancja

$$H(s)=\frac{Y(s)}{X(s)}=\frac{\text{odpowiedź}}{\text{wymuszenie}}$$

- 1) czy jest realizowalny jako obwód pasywny
- 2) znaleźć obwód
- 3) albo aproksymację



Realizowalność

$$Z(s) \text{ albo } Y(s)) = \frac{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \quad \cdots \quad + a_1 s + a_0}{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \quad \cdots \quad + b_1 s + b_0}$$

Funkcja rzeczywista dodatnia (ze względu na realizowalność RLC i stabilność)

$\mathrm{Re}\{Z(s)\} > 0$ jeśli $\mathrm{Re}\{s\} > 0$

$\mathrm{Re}\{Z(s)\} \geq 0$ jeśli $\mathrm{Re}\{s\} = 0$

w praktyce mało przydatne (dlaczego?)

Realizowalność

$$Z(s) = K\frac{(s-z_1)(s-z_2)\cdots(s-z_n)}{(s-p_1)(s-p_2)\cdots(s-p_m)}$$

1. K musi być rzeczywisty i dodatni
2. Rząd licznika i mianownika musi się różnić maksymalnie o 1
3. Zera i bieguny rzeczywiste albo parami sprzężone
4. Zera i bieguny muszą leżeć w lewej półpłaszczyźnie albo na osi urojonej
5. Bieguny na osi urojonej muszą być pojedyncze i mieć dodatnie rzeczywiste residua
6. $\mathrm{Re}\{Z(j\omega)\} \geq 0$

Realizowalność

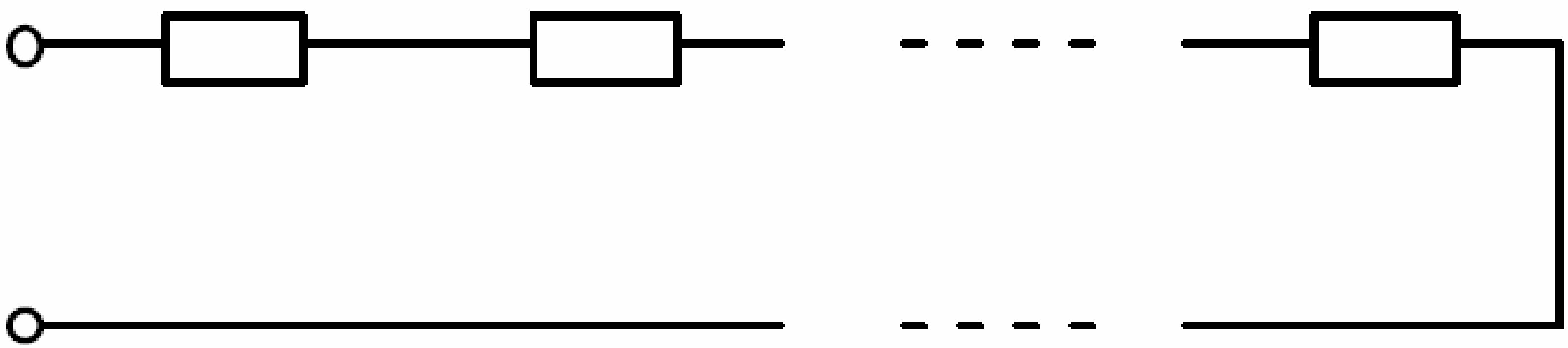
- licznik i mianownik =wielomian *Hurwitza*
- *m(s)* część parzysta,
- *n(s)* część nieparzysta

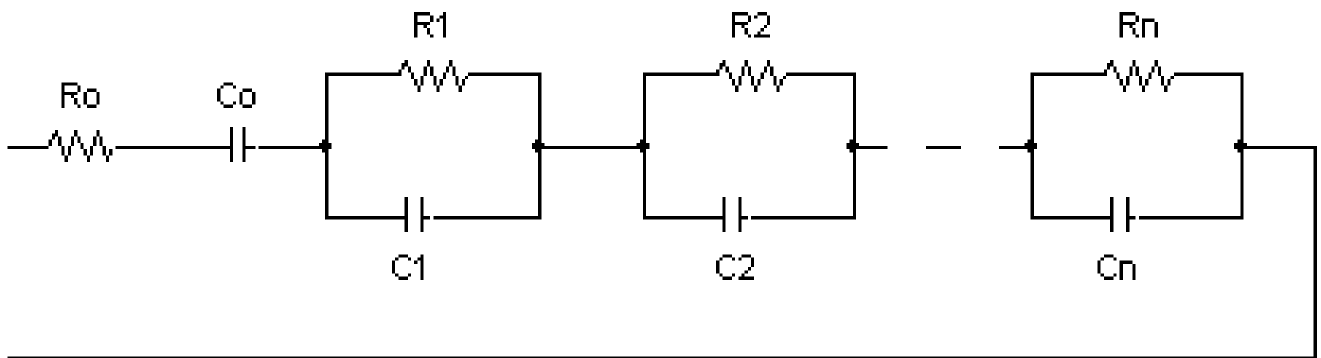
$$P(s) = m(s) + n(s)$$

$$R(s) = \frac{m(s)}{n(s)} = q_1(s) + \cfrac{1}{q_2(s) + \cfrac{1}{\cdots + \cfrac{1}{q_n(s)}}}$$

- *q(s)* **-dodatnie**

Metoda Foster'a





Przykład dwójnika LC

- F. immitancji dwójnika LC jest wymierna i , dodatnia i rzeczywista
- Stopień licznika i mianownika różni się maks. o 1. ?
- Cz. rzeczywista immitancji =0, częśc urojona jest f. nieparzystą
- Nachylenie charakterystyki zawsze dodatnie
- Bieguny i zera f. i. – na osi urojonej, pojedyncze i na przemian.

Układ Fostera 1. rodzaju

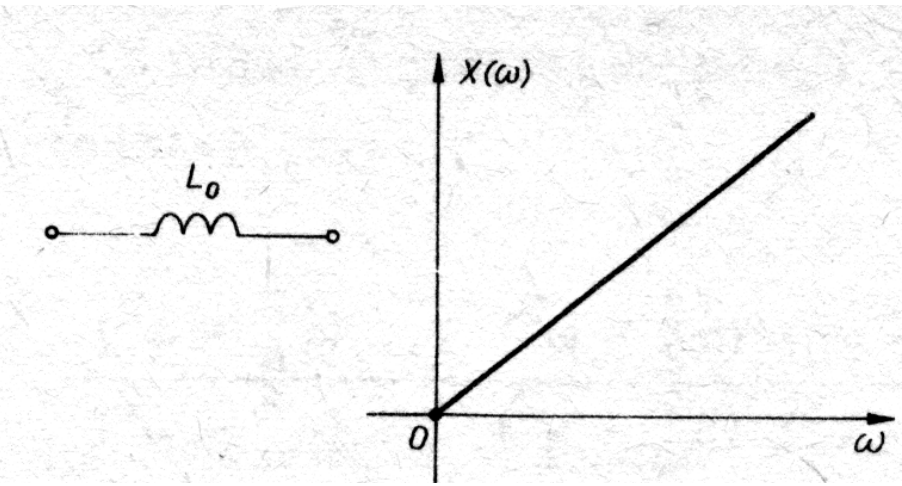
$$Z(s) = P(s)\frac{(s^2+\alpha_1^2)(s^2+\alpha_2^2)\ldots(s^2+\alpha_n^2)}{(s^2+\beta_1^2)(s^2+\beta_2^2)\ldots(s^2+\beta_n^2)}$$

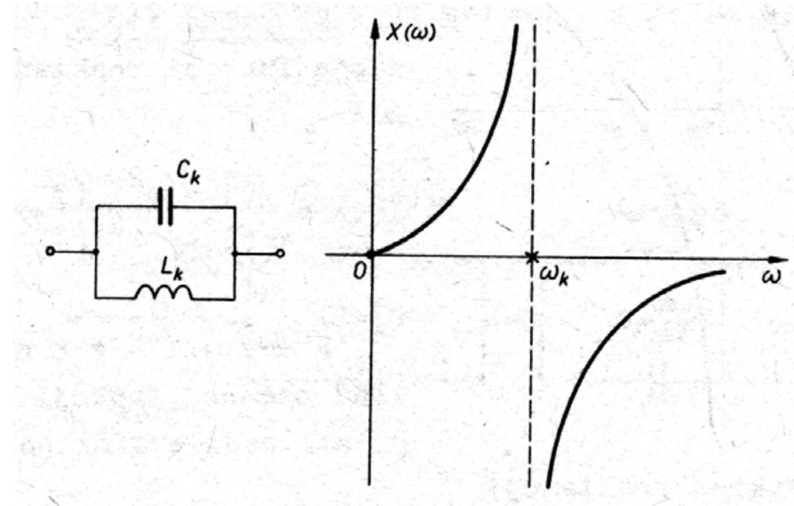
Rozkład na ułamki proste:

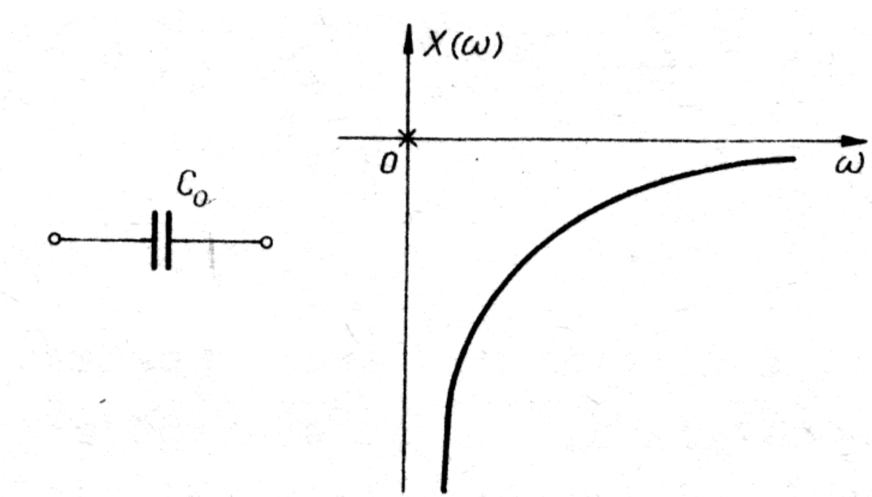
$$Z(s) = h_\infty(s) + h_0\frac{1}{s} + \sum_{k=1}^{n} h_k \frac{s}{s^2+\omega_k^2}$$

Dla $s=j\omega$

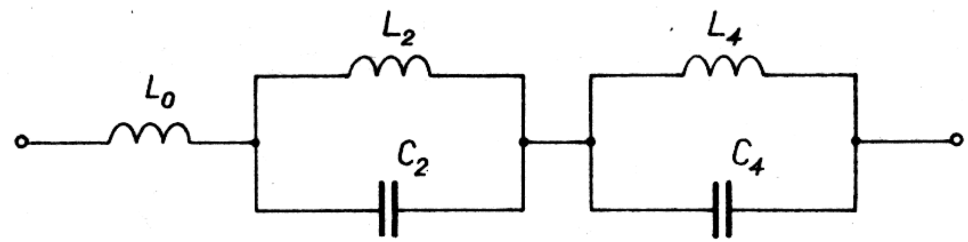
Realizacja





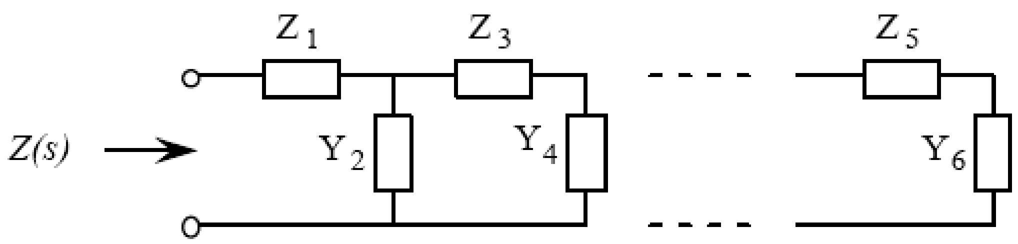


$$X(\omega) = h_\infty \omega + h_2 \frac{\omega}{\omega_2^2 - \omega^2} + h_4 \frac{\omega}{\omega_4^2 - \omega^2}$$



Metoda Cauer'a

- struktura drabinkowa



$$Z(s) = Z_1 + \cfrac{1}{Y_2 + \cfrac{1}{Z_3 + \cfrac{1}{Y_4 + \cfrac{1}{Z_5 + \cfrac{1}{Y_6}}}}}$$

przykład

$$Z(s)=\frac{s^4+4s^2+3}{s^3+2s}$$

$\boxed{Z_1 = s}$

musi być impedancją!

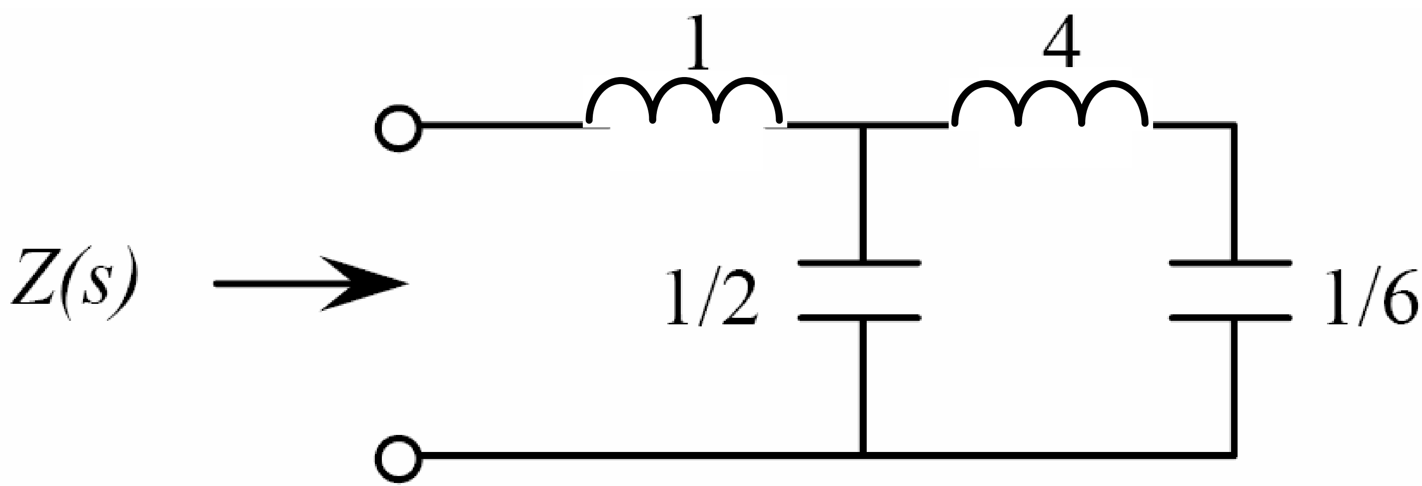
$$Z(s)=\frac{s^4+4s^2+3}{s^3+2s}=Z_1+Z'_2=s+\frac{2s^2+3}{s^3+2s}$$

$$Y'_2=\frac{1}{Z'_2}=\frac{s^3+2s}{2s^2+3}=Y_2+Y'_3=\frac{s}{2}+\frac{(1/2)\,s}{2s^2+3}$$

$$Z_3=\frac{1}{Y'_3}=\frac{2s^2+3}{(1/2)\,s}=Z_3+Z_4=4s+\frac{3}{(1/2)\,s}$$

$$Y_4=s/6$$

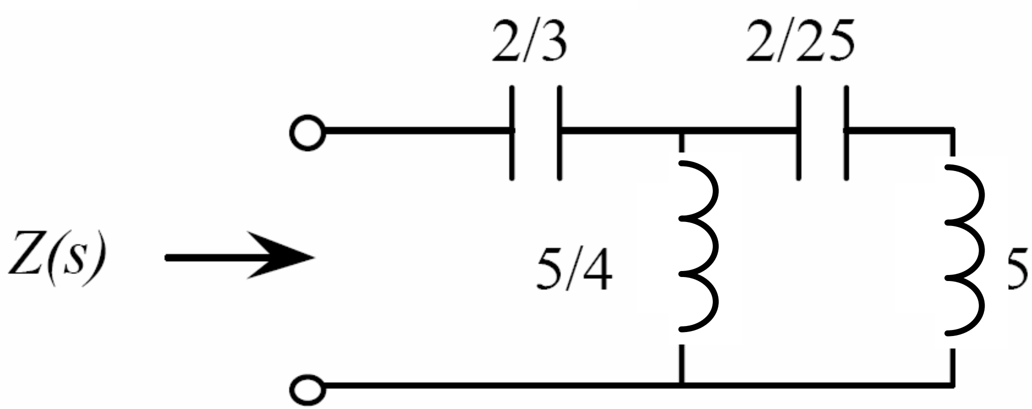
$$Z(s) = s + \cfrac{1}{(1/2)s + \cfrac{1}{4s + \cfrac{1}{(1/6)s}}}$$



2. sposób

$$Z(s) = \frac{3 + 4s^2 + s^4}{2s + s^3} = \frac{3/2}{s} + \frac{(5/2)s^2 + s^4}{2s + s^3} \cdots$$

$$Z(s) = \frac{3/2}{s} + \cfrac{1}{\cfrac{4/5}{s} + \cfrac{1}{\cfrac{25/2}{s} + \cfrac{1}{\cfrac{1/5}{s}}}}$$



Algorytm Euklidesa 1

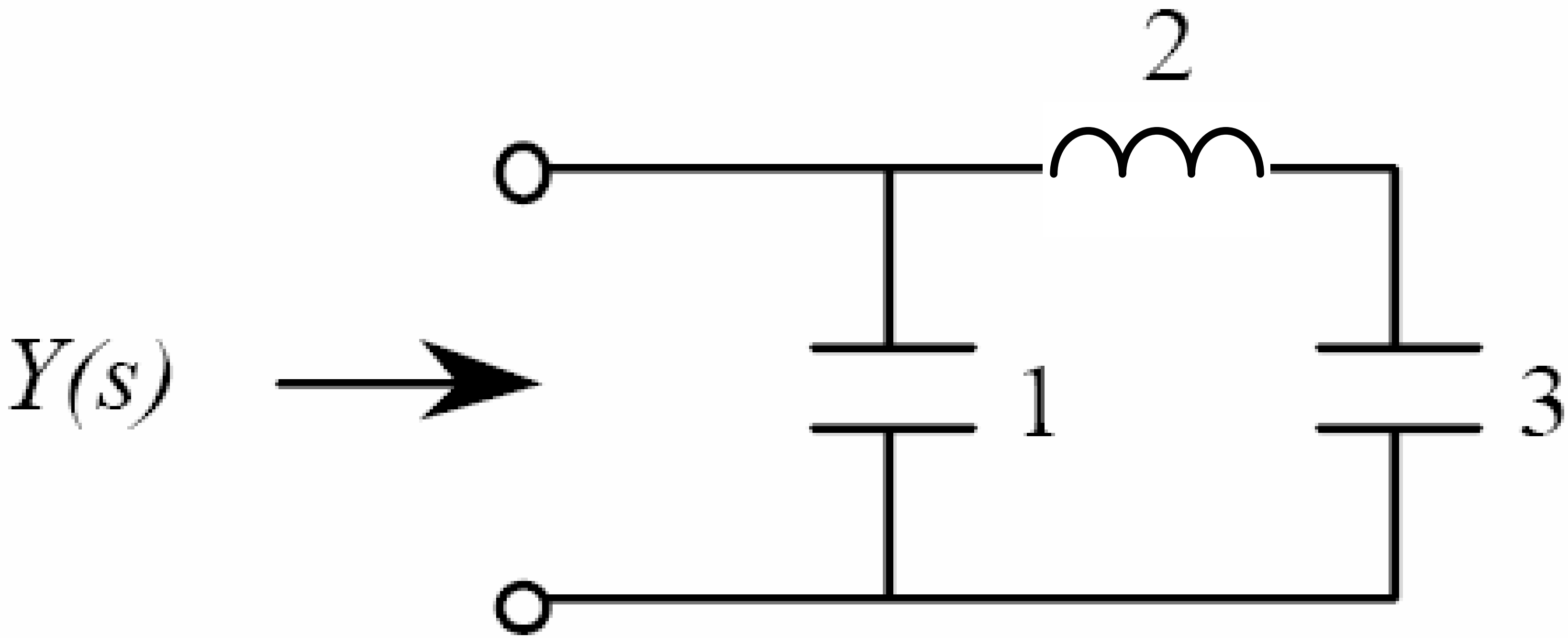
$$Y(s) = \frac{6s^3 + 4s}{6s^2 + 1}$$

4. metody, z których max. 2 są skuteczne, czasem żadna!

(a)

Y elementów równoległych			*Z* elementów szeregowych
s	$6s^3 + 4s$	$: \quad 6s^2 + 1$	
	$6s^3 + s$		
	$3s \rightarrow$	$6s^2$	$2s$
$3s$	$3s \leftarrow$	1	
	0		

obwód



Alg. Euklidesa 2

Y elementów równoległych

(b)

Z elementów szeregowych

$$
\begin{array}{r|rcrcl|}
4s & 4s & + & 6s^3 & : & 1 + 6s^2 \\
 & 4s & + & 24s^3 & & \\
\cline{2-4}
 & & - & 18s^3 & &
\end{array}
$$

nie ma rozwiązania – **reszta ujemna**

Alg. Euklidesa 3

(c)

Y elementów równoległych

Z elementów szeregowych

$$
\begin{array}{l|ccccccccc|l}
 & 6s^2 & + & 1 & \quad : \quad & 6s^3 & + & 4s & & 1/s \\
 & 6s^2 & + & 4 & & & & & & \\
\cline{2-4}
 & & - & 3 & & & & & &
\end{array}
$$

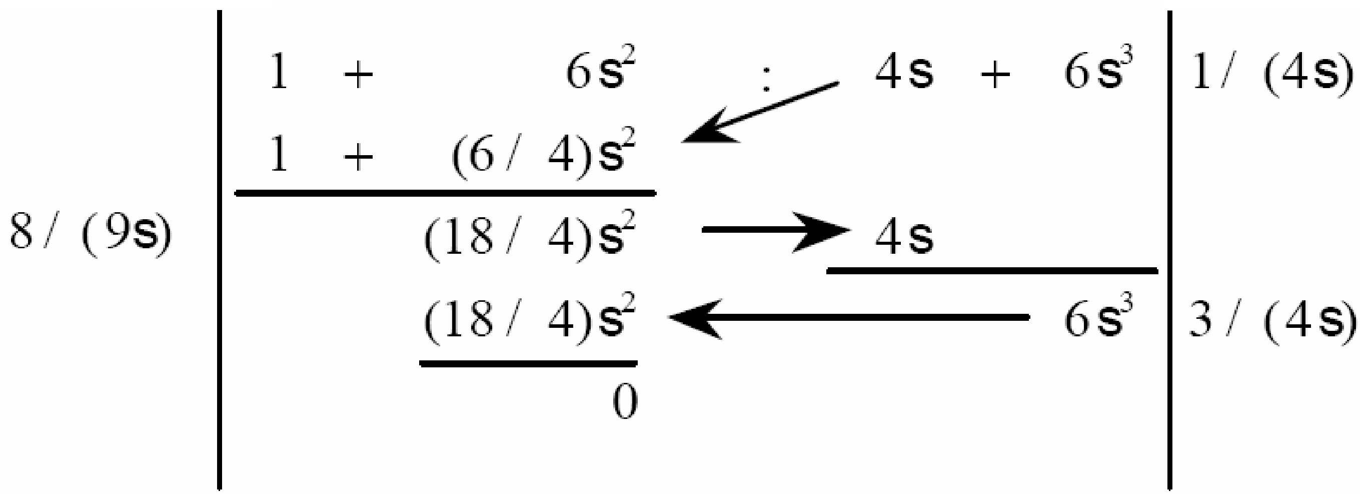
nie ma rozwiązania – **reszta ujemna**

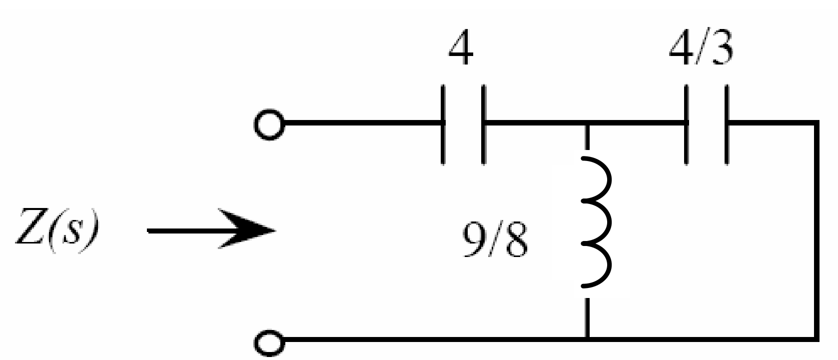
Alg. Euklidesa 4

(d)

Y elementów równoległych

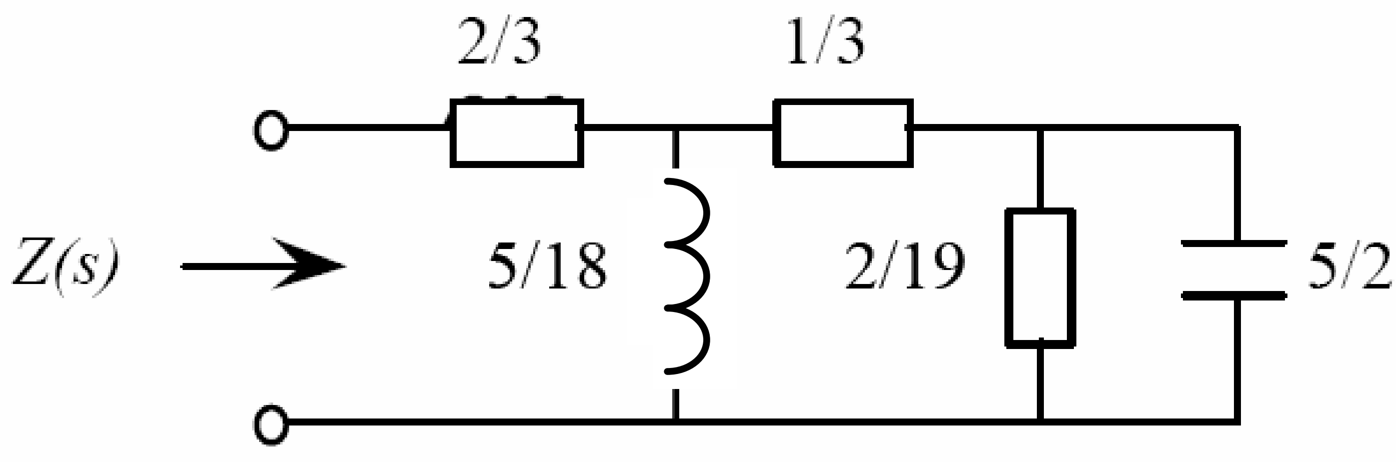
Z elementów szeregowych





Przykład z RLC

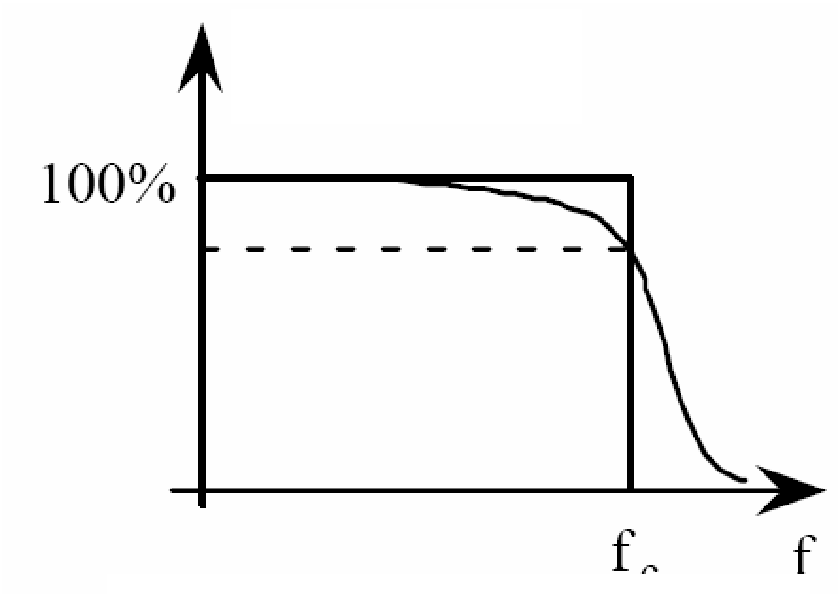
$$Z(s) = \frac{4 + 5s + s^2}{6 + 5s + s^2}$$

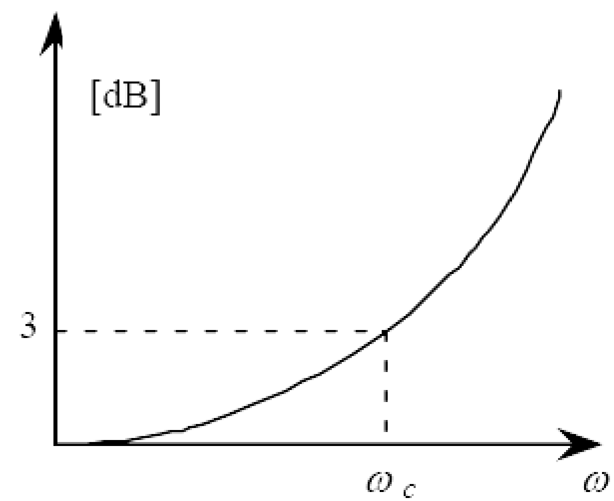


Synteza czwórników pasywnych (filtry)

- nie mamy transmitancji H(s)
- wymagania: kształt charakterystyk (amplitudowych lub fazowych)

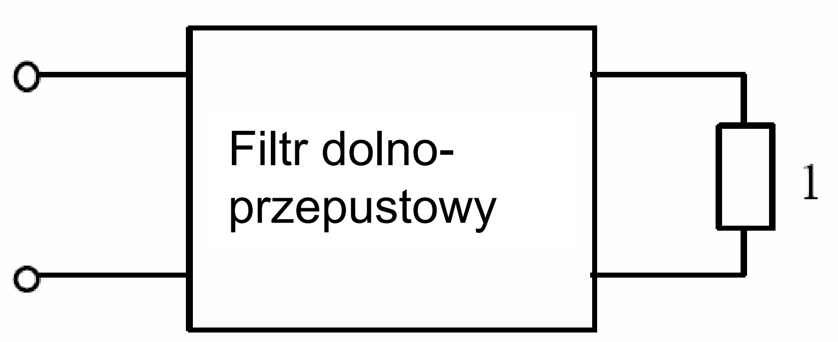
Parametry filtra





Częstotliwość odcięcia
Tłumienie w paśmie p.
Nachylenie charakterystyki
w paśmie z.

„Skalowanie” parametrów



$$Z_{obc} = 1\Omega$$

$$\omega_c = 1 \text{ rad/s}$$

$$k = R_0$$

$$R_n = kR$$

$$L_n = kL$$

$$C_n = \frac{C}{k}$$

$$k = \omega_0$$

$$R = R$$

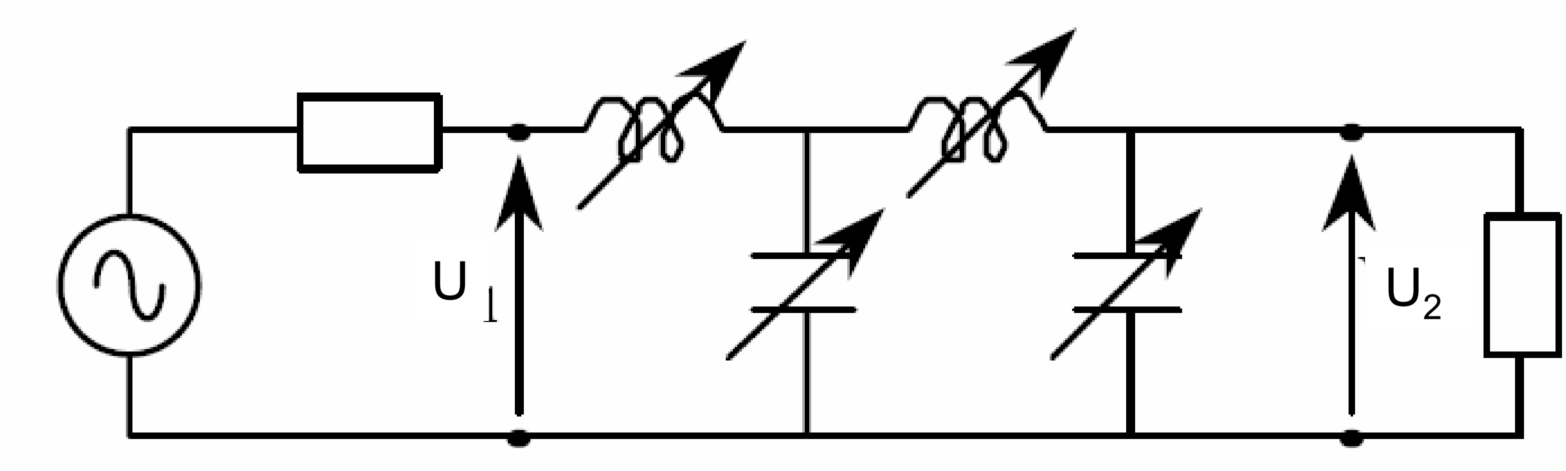
$$L_n = \frac{L}{k}$$

$$C = \frac{C}{k}$$

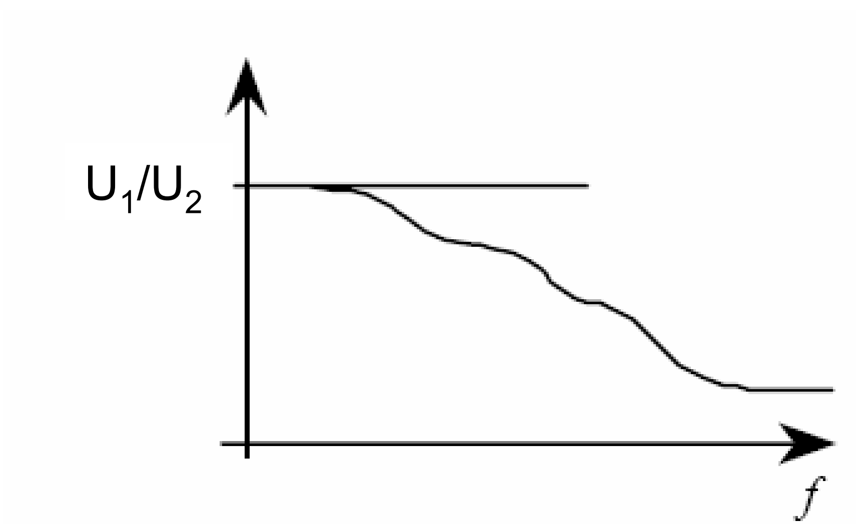
Aproksymacja wielomianem

- Przybliżenie charakterystyki ampl./faz.
- Butterworth
- Bessel
- Chebyshev

- Ważna jest także odpowiedź impulsowa - przejściowa



U 1
U2



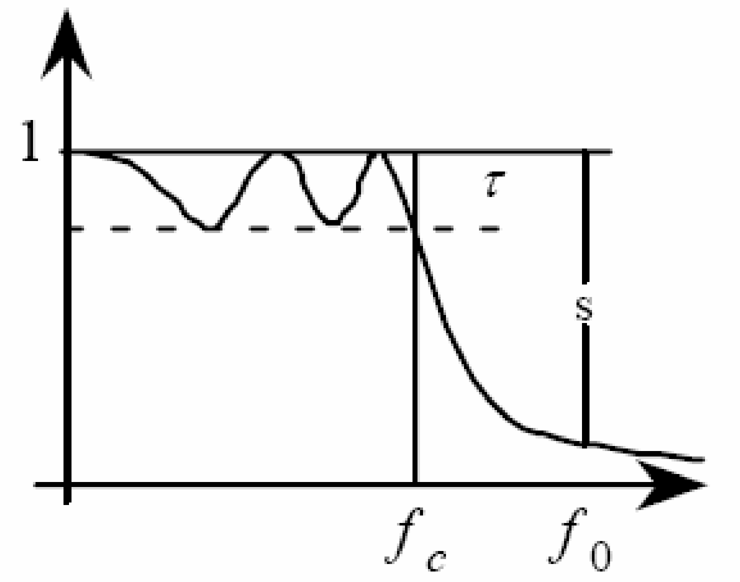
U1/U2
f

Rodzaje filtrów

- Butterworth – odpowiedź maksym. Płaska

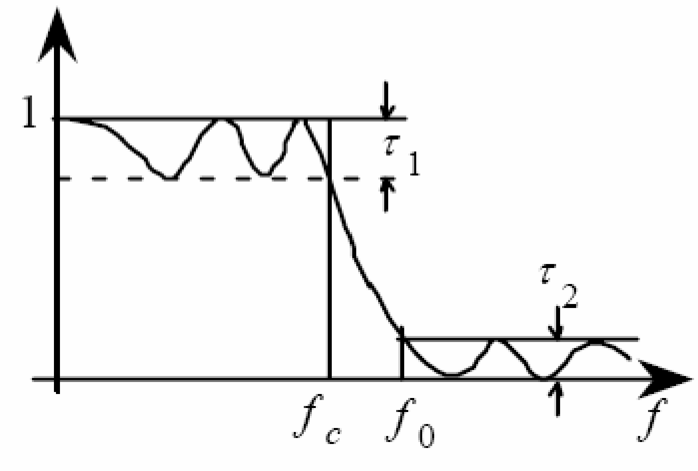
$$\left.\frac{\partial^n U}{\partial \omega^n}\right|_{\omega=0} = 0$$

- Chebyshev- Stała nierównomierność w paśmie p.

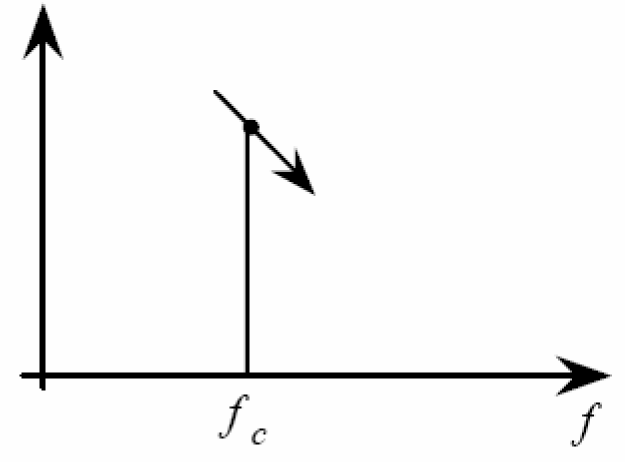


Rodzaje filtrów 2

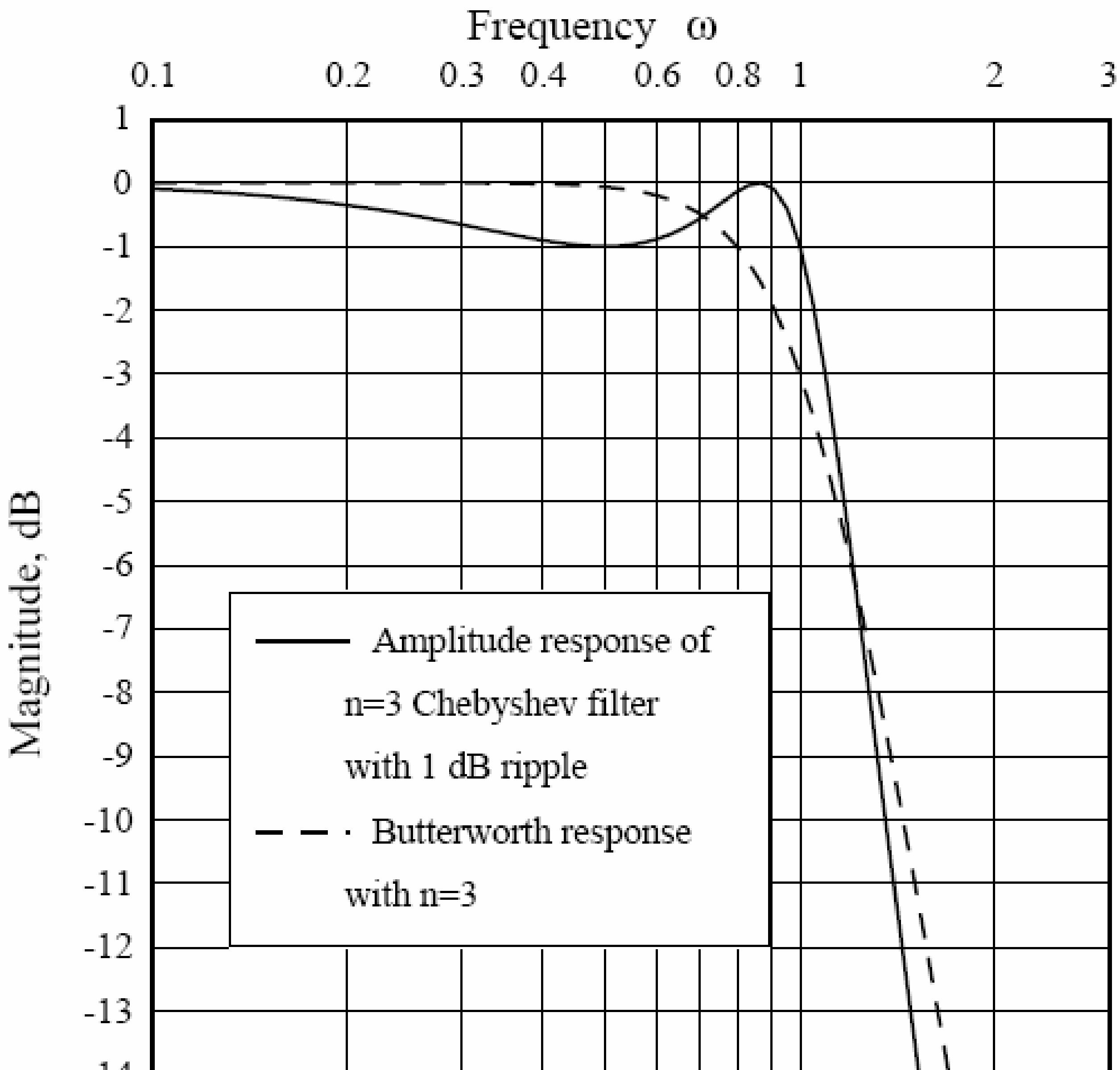
- Eliptyczny



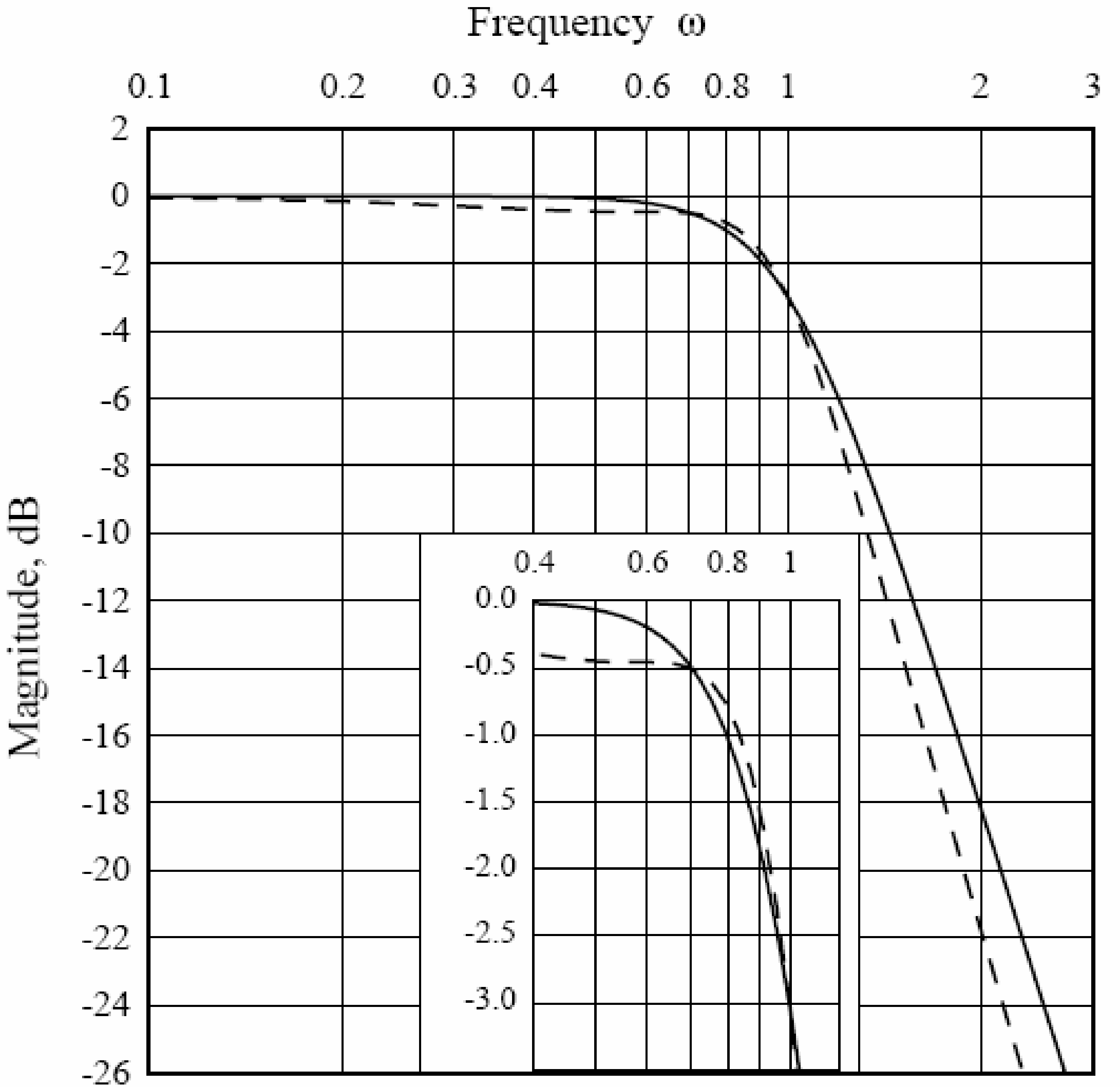
- Optymalny filtr L



- Bessela (f.lin.)



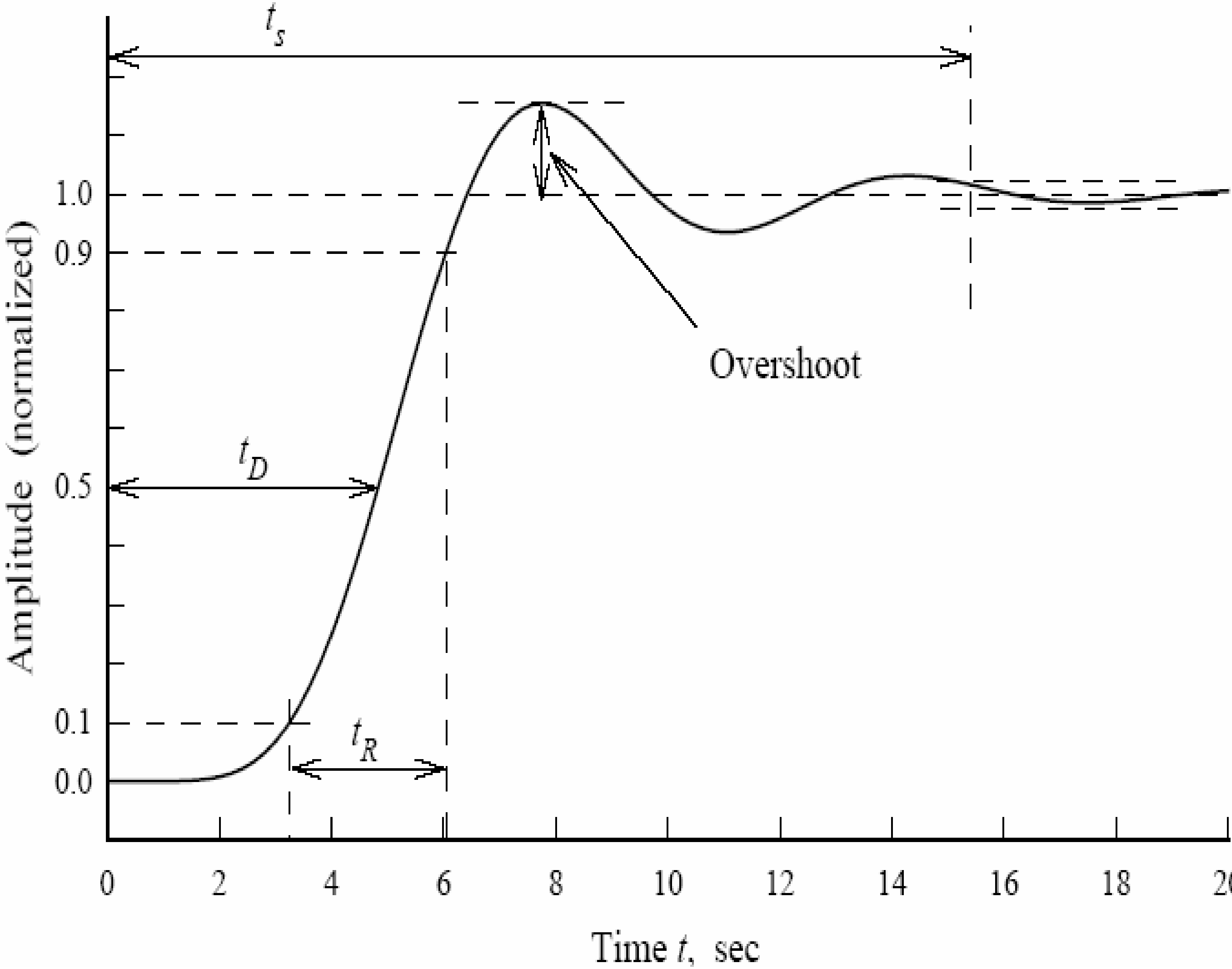
Amplitude responses of third order filters (n = 3).



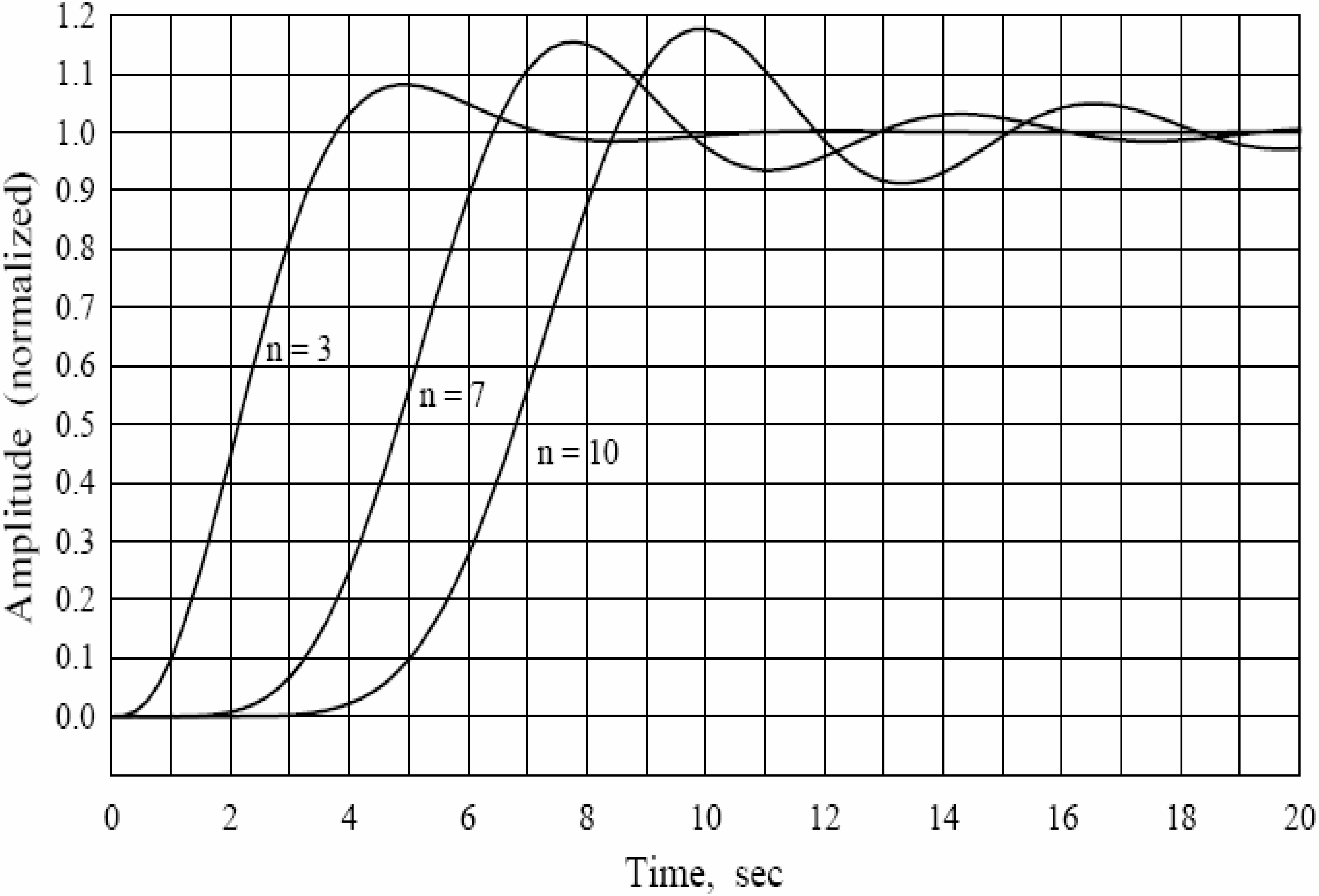
Frequency ω
0.1
0.2
0.3
0.4
0.6
0.8
1
2
3
Magnitude, dB
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
-14
-16
-18
-20
-22
-24
-26
0.4
0.6
0.8
1
0.0
-0.5
-1.0
-1.5
-2.0
-2.5
-3.0

Stany przejściowe filtrów

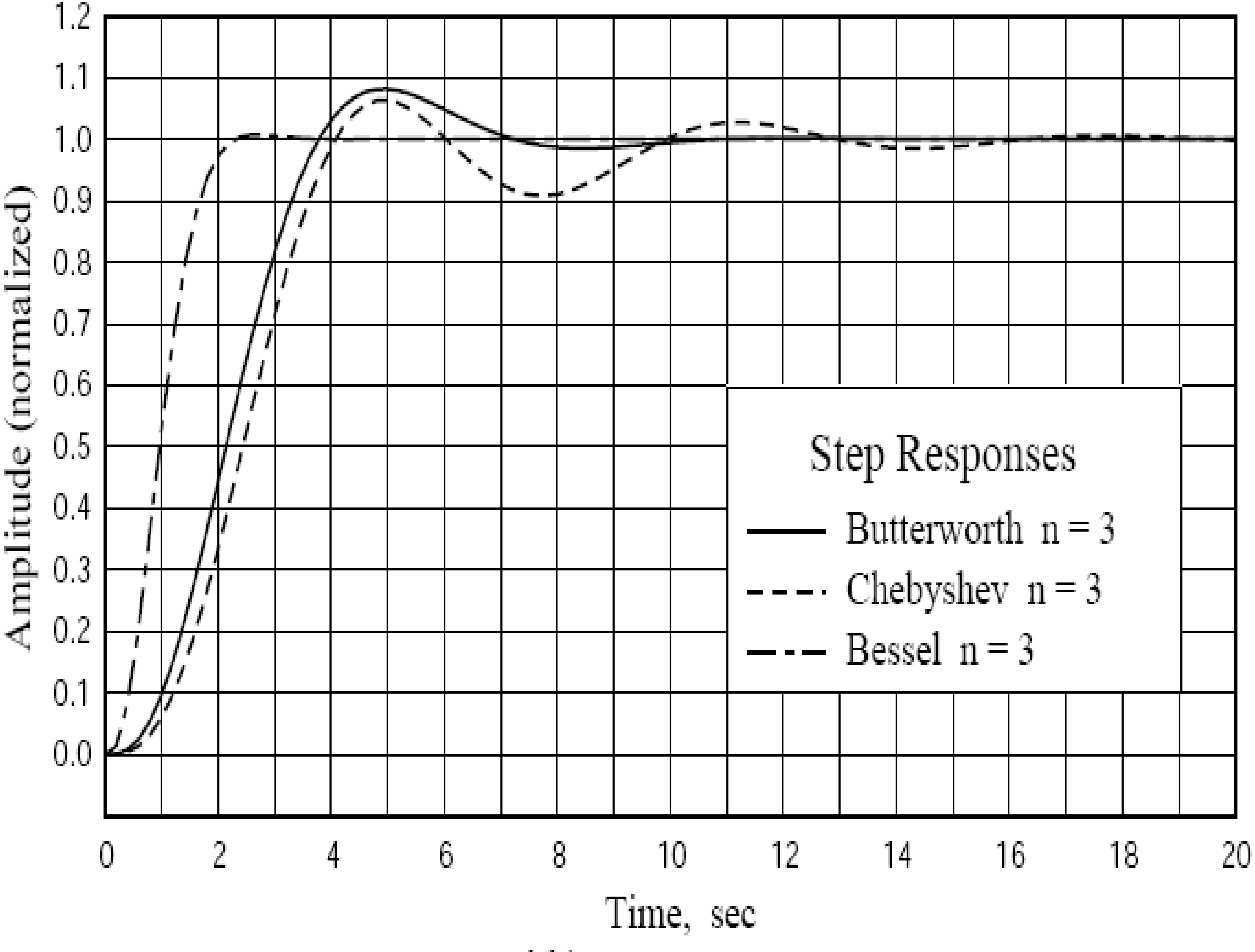
1. Czas narostu (czas 10%-90% odp. skok.)
2. Oscylacje
3. Czas ustalania (±2%)
4. Opóźnienie (50%)
5. „overshoot” –przejście powyżej wartości ustalonej.



t_s
1.0
0.9
0.5
0.1
0.0
Amplitude (normalized)
t_D
t_R
Overshoot
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
Time t, sec



1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
Amplitude (normalized)
n = 3
n = 7
n = 10
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
Time, sec

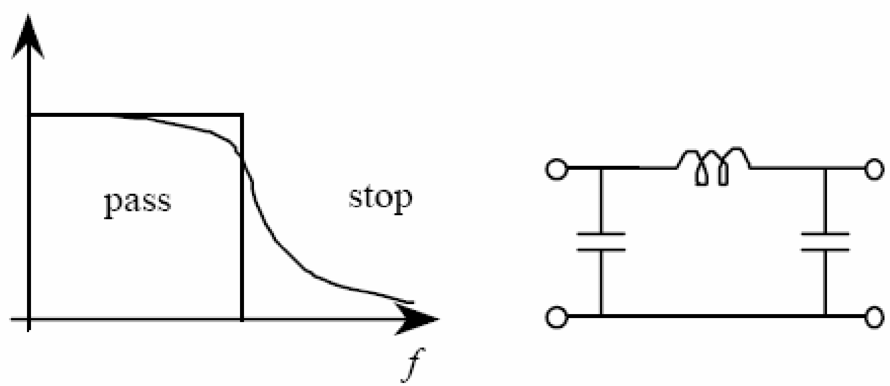


Amplitude (normalized)
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
Time, sec
Step Responses
Butterworth n = 3
Chebyshev n = 3
Bessel n = 3

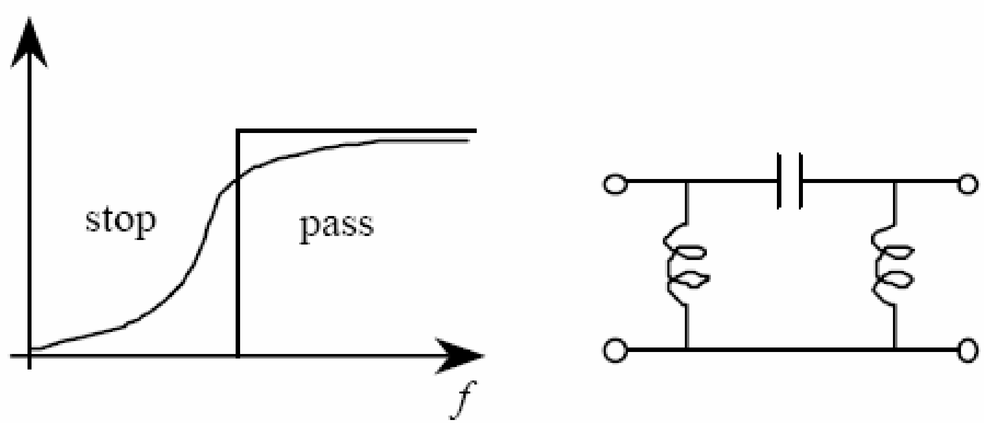
Metody syntezy filtrów

1. Wykorzystanie filtrów-prototypów

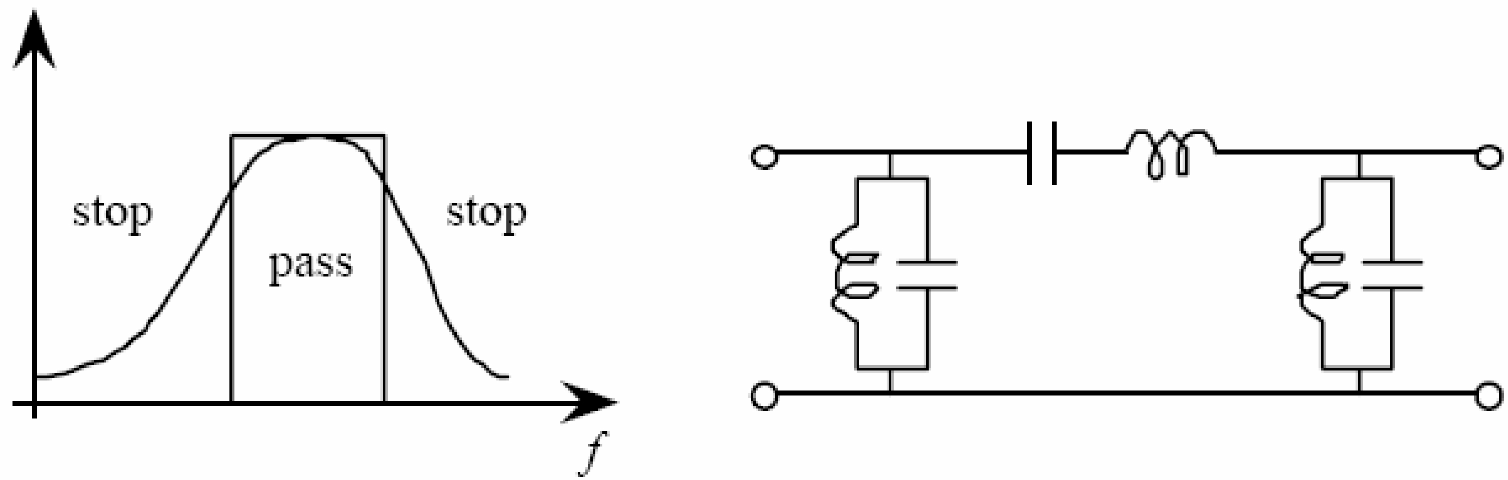
Low-pass



High-pass



Band-pass



Band-stop