

# Technika audio – część 2

Wykład 12


Projektowanie cyfrowych układów elektronicznych

Mgr inż. Łukasz Kirchner

lukasz.kirchner@cs.put.poznan.pl

<http://www.cs.put.poznan.pl/lkirchner>

# Plan wykładu

- ▶ Wprowadzenie do filtracji
  - ▶ Filtry analogowe
  - ▶ Filtry cyfrowe
    - Filtry FIR
    - Filtry IIR
  - ▶ Dyskretna Transformata Fouriera
  - ▶ Szybka Transformata Fouriera
- 

# Bibliografia

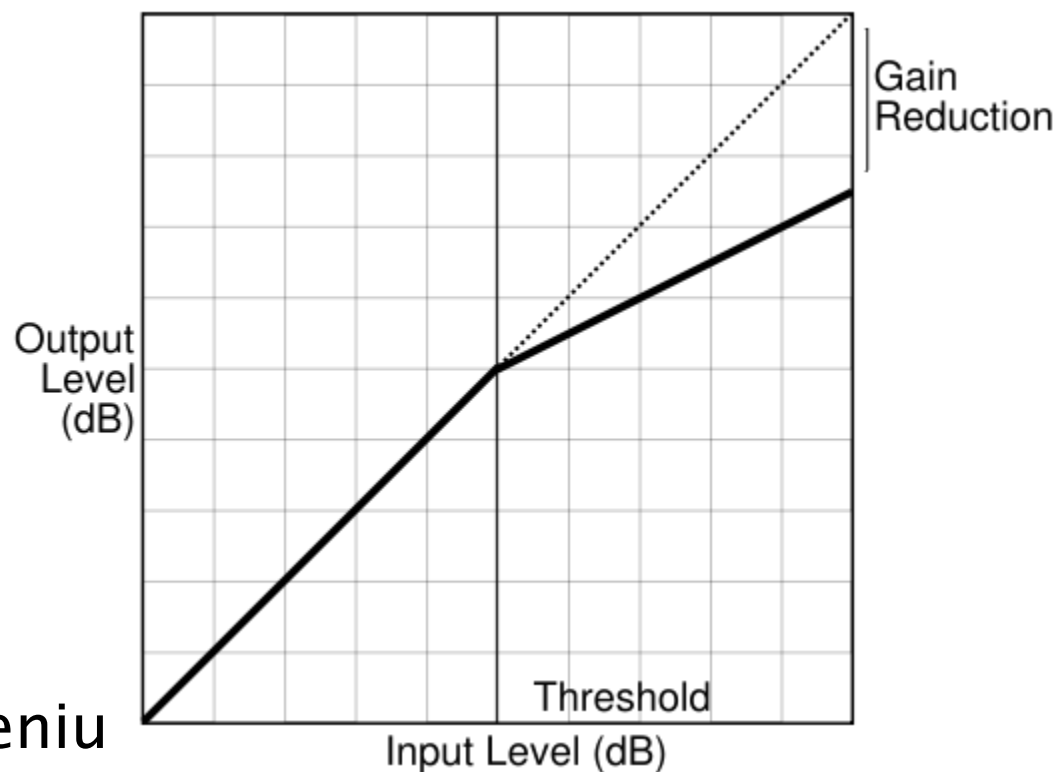
- ▶ [http://pl.wikipedia.org/wiki/Filtr\\_o\\_skończonej\\_odpowiedzi\\_impulsowej](http://pl.wikipedia.org/wiki/Filtr_o_sko%C5%9Czonej_odpowiedzi_impulsowej)
- ▶ [http://pl.wikipedia.org/wiki/Filtr\\_o\\_nieskończonej\\_odpowiedzi\\_impulsowej](http://pl.wikipedia.org/wiki/Filtr_o_niesko%C5%9Czonej_odpowiedzi_impulsowej)
- ▶ [http://pl.wikipedia.org/wiki/Szybka\\_transformacja\\_Fouriera](http://pl.wikipedia.org/wiki/Szybka_transformacja_Fouriera)
- ▶ [http://pl.wikipedia.org/wiki/Dyskretna\\_transformacja\\_Fouriera](http://pl.wikipedia.org/wiki/Dyskretna_transformacja_Fouriera)

# Przetwarzanie dźwięku

- ▶ Kompresja dynamiki – zmniejsza dynamikę sygnału

- Próg
  - Współczynnik kompresji
  - Czas zadziałania i zwalniania
- ATTACK/RELEASE

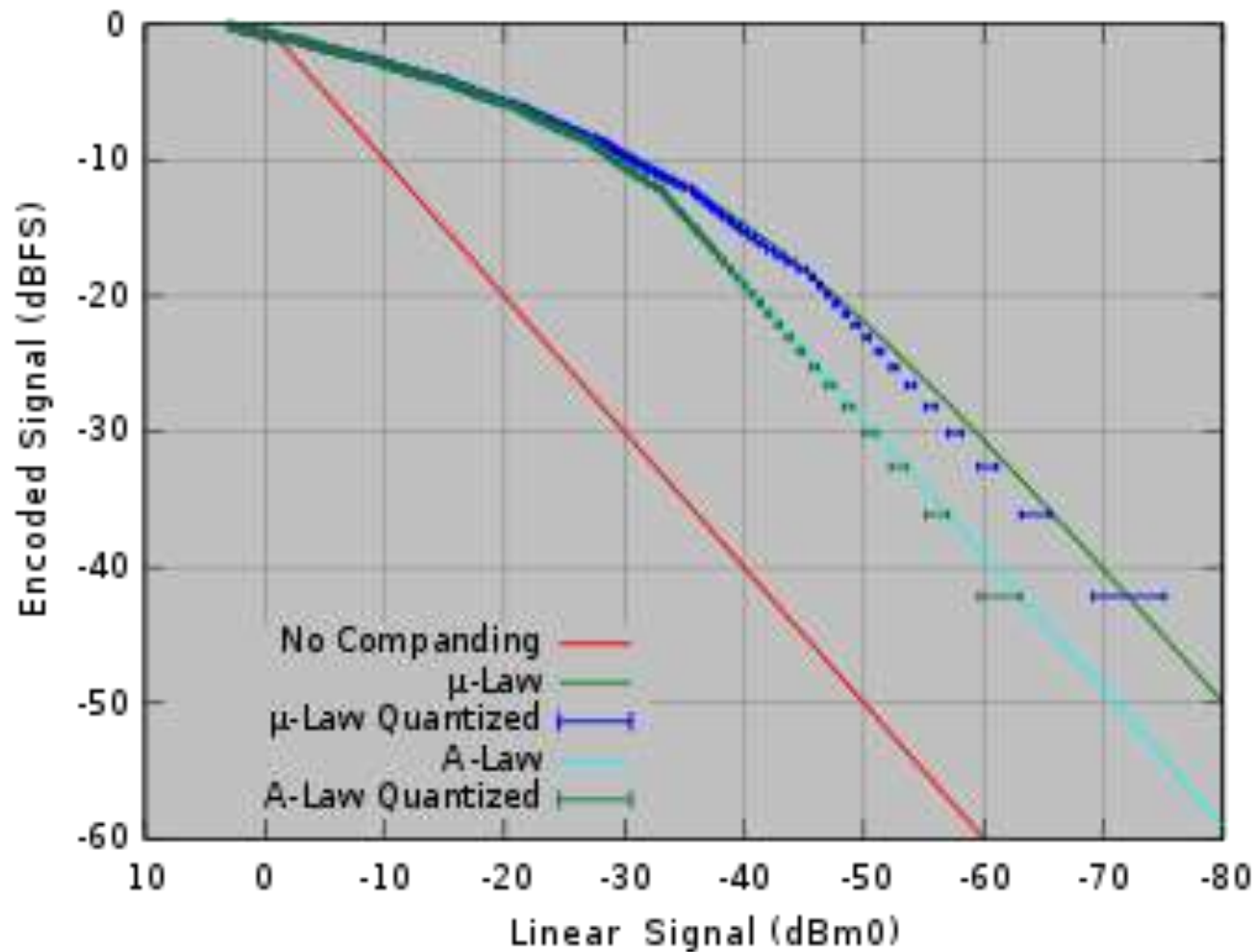
Utwór po kompresji i ponownemu zgłośnieniu daje wrażenie głośniejszego



# Przetwarzanie dźwięku


- ▶ Ekspander – zwiększa głośność powyżej progu
- ▶ W połączeniu z kompresorem tworzy tzw. Kompander
- ▶ Algorytm A-law – używany w Europie w systemach telekomunikacyjnych – zmniejsza zakres dynamiczny sygnału jednocześnie zwiększając efektywność kodowania (zmniejsza SNR)
- ▶ Algorytm  $\mu$ -law – większy zakres dynamiczny niż A-law, używany w USA i Japoni

# Przetwarzanie dźwięku



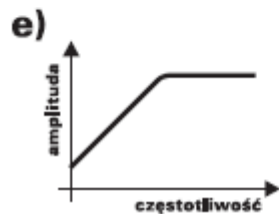
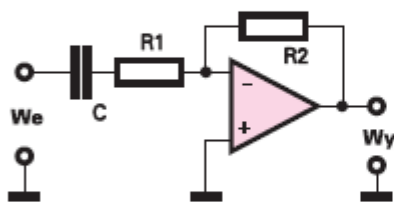
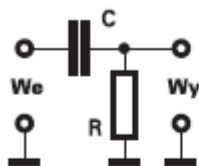
# Wprowadzenie do filtracji analogowej

## ▶ Parametry filtrów:

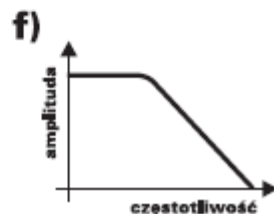
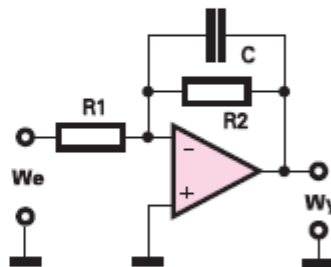
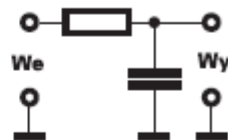
- Rodzaj charakterystyki
  - Nachylenia zbocza charakterystyki filtru a rząd filtru
  - Pasmo przepustowe
  - Częstotliwość graniczna
- 

# Rodzaj charakterystyki

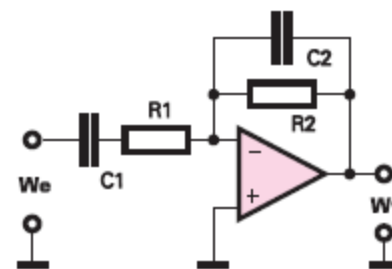
Górnoprzepustowy



Dolnoprzepustowy

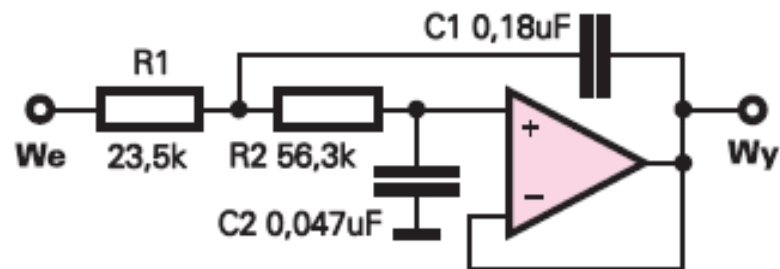
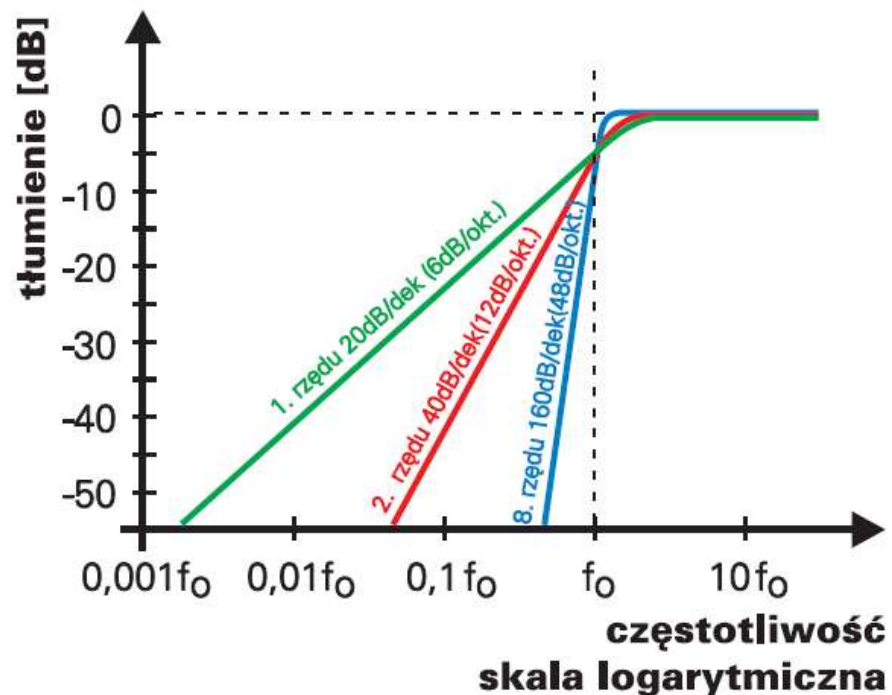
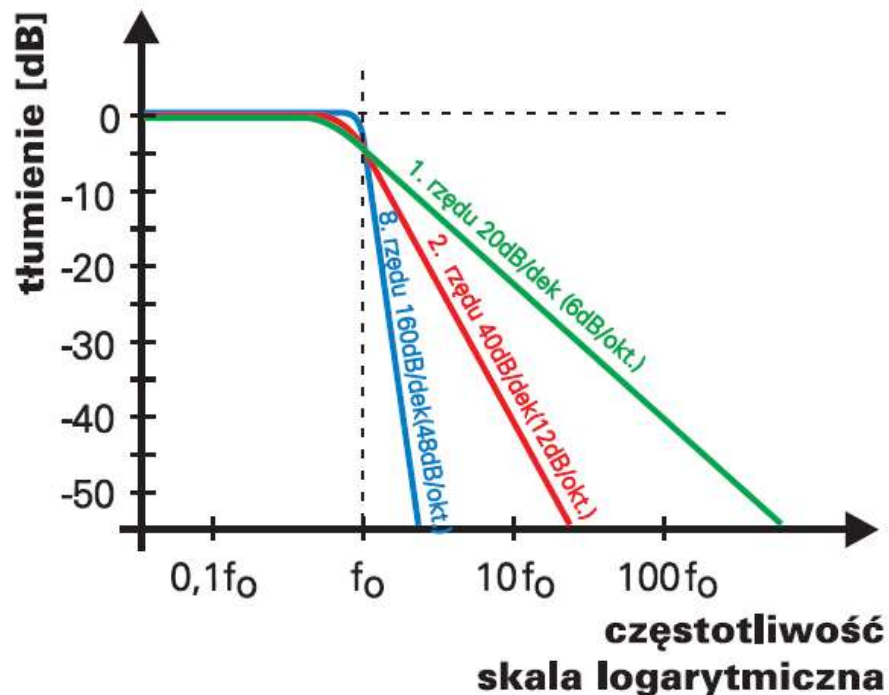


Pasmowo przepustowy

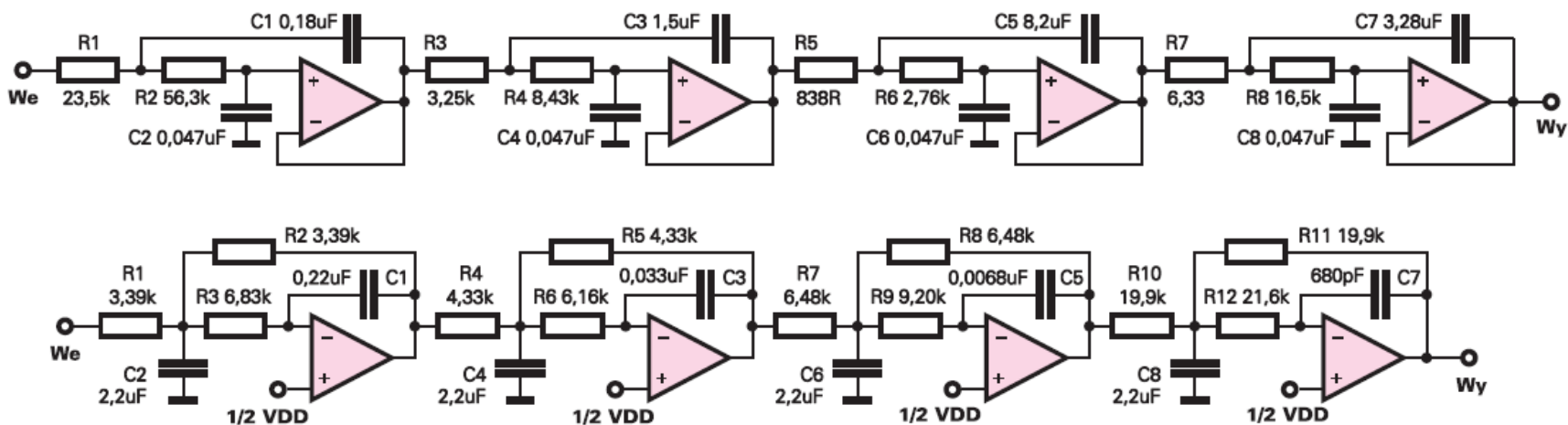




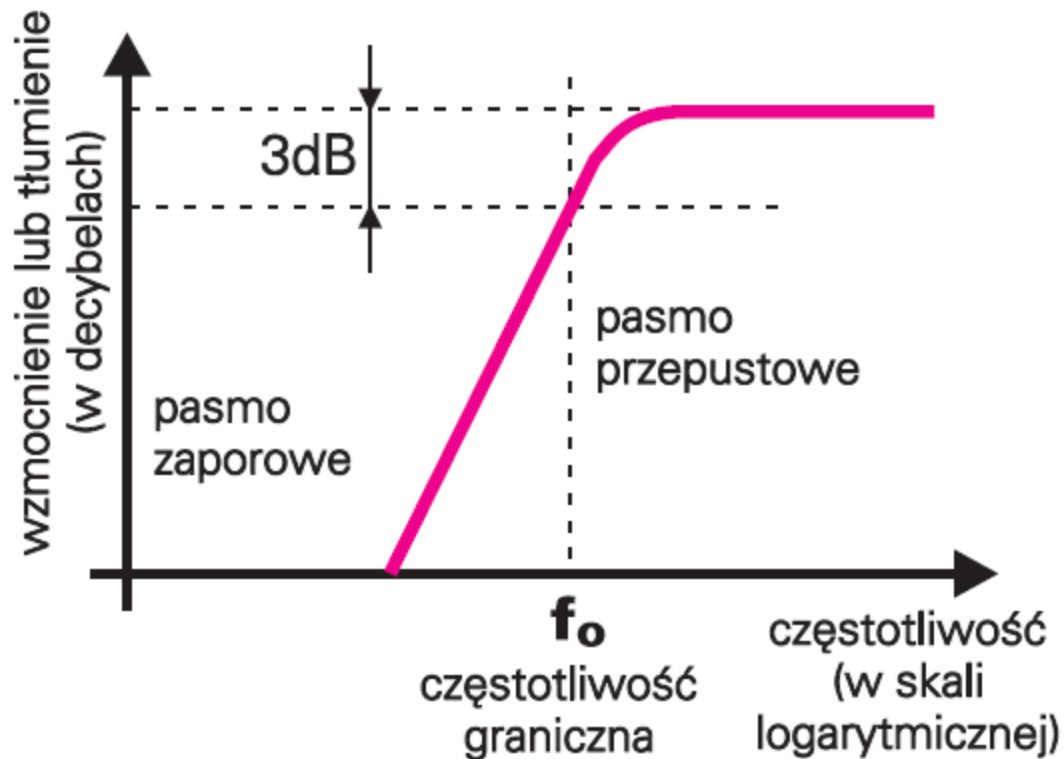
# Nachylenie zbocza charakterystyki a rząd filtru



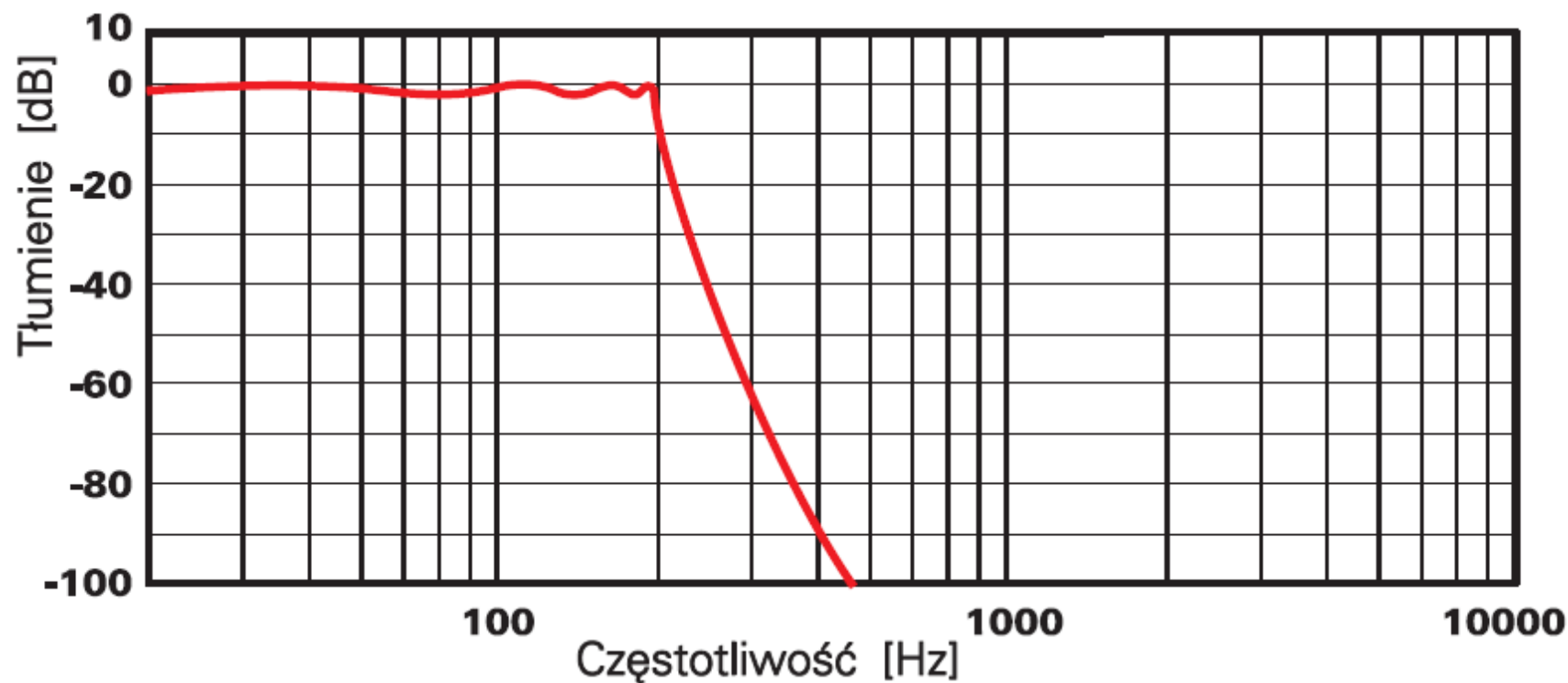
# Filtr wyższego rzędu



# Pasmo przepustowe i częstotliwość graniczna



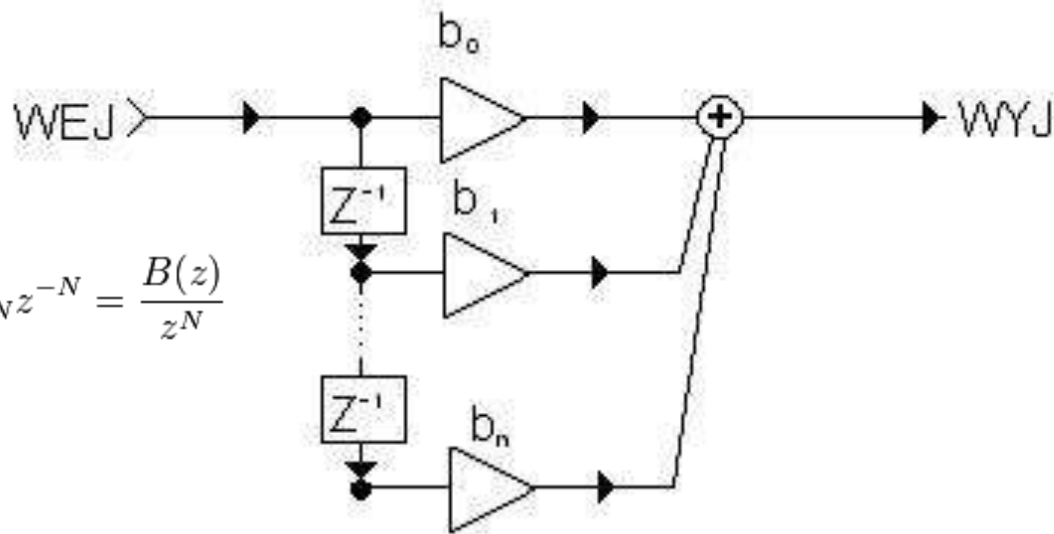
# Przykładowa charakterystyka



# Filtry FIR 1 / 2

- ▶ Filtry o skończonej odpowiedzi impulsowej
- ▶ Reakcja na wyjściu tego układu na pobudzenie o skończonej długości jest również skończona, aby spełnić ten warunek w filtrach tego typu nie występuje sprzężenie zwrotne

$$H(z) = b_0 + b_1z^{-1} + \dots + b_Nz^{-N} = \frac{B(z)}{z^N}$$



# Filtry FIR 2/2

## ► Zalety:

- Implementacja filtrów FIR może być łatwo zrównoleglona, a niektóre procesory wręcz wspomagają operacje sumy iloczynów pozwalając obliczać wynik filtracji w znikomej liczbie cykli zegara
- Projektowanie filtrów FIR jest znacznie łatwiejsze niż filtrów IIR
- Filtry FIR są zawsze stabilne, gdyż w ich funkcji transmitancji występują tylko zera, a nie ma rekursywności mogącej spowodować niestabilność
- W wielu zastosowaniach (przetwarzanie bieżącego sygnału w blokach, przetwarzanie obrazów) skończona odpowiedź impulsowa jest bardzo pożądana
- Łatwo jest uzyskać w tego typu filtrach liniową fazę, filtry z liniową fazą opóźniają wszystkie składowe sygnału w jednakowym stopniu.

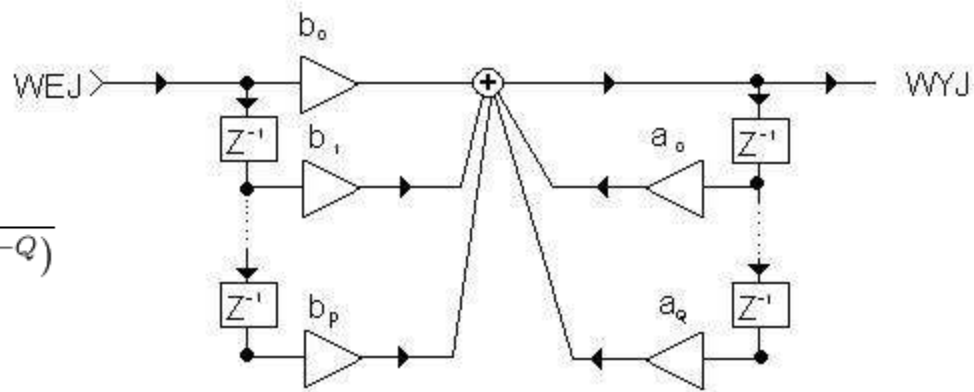
## ► Wady:

- Większa złożoność obliczeniowa
- Większe zapotrzebowania na pamięć operacyjną

# Filtry IIR 1 / 2

- ▶ Filtry o nieskończonej odpowiedzi impulsowej
- ▶ Reakcja na pobudzenie o skończonym czasie trwania jest teoretycznie nieskończenie długa. Jest to efektem występowania pętli sprzężenia zwrotnego widocznej na schemacie blokowym

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_P z^{-P}}{1 - (a_0 + a_1 z^{-1} + \dots + a_Q z^{-Q})}$$



# Filtry IIR 2 / 2

## ▶ Zalety:

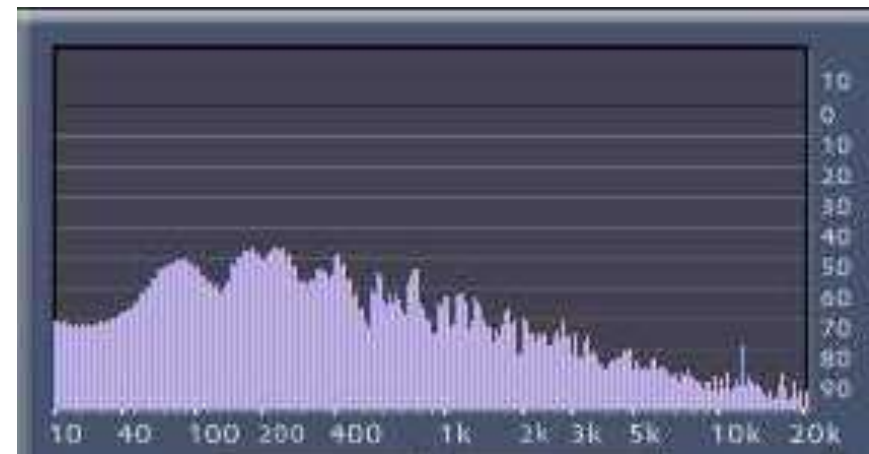
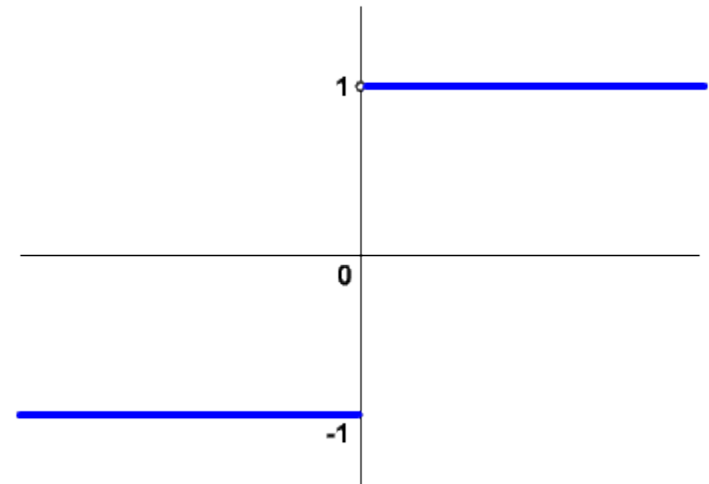
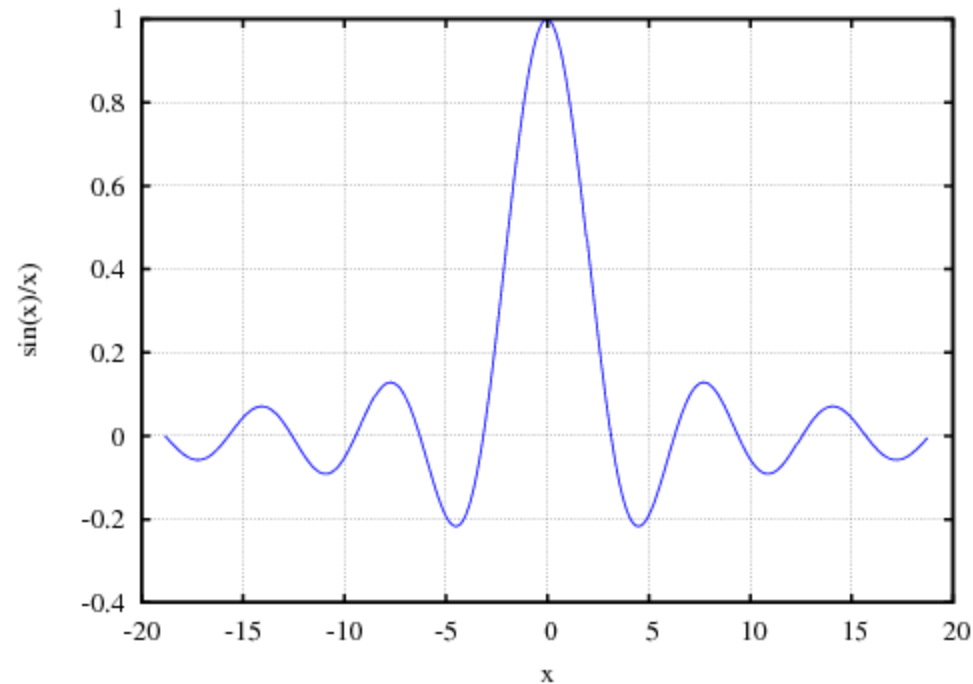
- Niska złożoność obliczeniowa
- Niewielkie zapotrzebowanie na pamięć operacyjną.

## ▶ Wady:

- Rekursywność filtru wprowadza potencjalne zagrożenie utraty stabilności (odpowieź filtru w sposób niekontrolowany narasta do nieskończoności);
- Projektowanie filtrów IIR jest znacznie trudniejsze niż w przypadku filtrów FIR (nie tylko ze względu na dodatkowy warunek zapewnienia stabilności)
- Filtry IIR są znacznie bardziej wrażliwe na błędy zaokrągleń: zaokrąglenia wartości współczynników mogą znacząco zmienić charakterystykę, zaokrąglenia wartości sygnału i wyników pośrednich wprowadzają szum, który może się akumulować
- Nie da się ich zaimplementować jako filtrów o liniowej fazie, czyli takich, które wprowadzają takie samo opóźnienie dla wszystkich składowych częstotliwościowych przepuszczanego sygnału.



# Wprowadzenie do analizy widma



# Dyskretna Transformata Fouriera

- ▶ Dyskretna transformata Fouriera – to transformata Fouriera wyznaczona dla sygnału próbkowanego a więc dyskretnego.

$$\hat{f}(\xi) := \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-2\pi i x \xi} dx,$$

$$(a_0, a_1, a_2, \dots, a_{N-1}), a_i \in \mathbb{R} \quad (A_0, A_1, A_2, \dots, A_{N-1}), A_i \in \mathbb{C}$$

$$A_k = \sum_{n=0}^{N-1} a_n w_N^{-kn}, \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad w_N = e^{i \frac{2\pi}{N}}$$

$$a_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} A_k w_N^{kn}, \quad 0 \leq n \leq N-1$$


# Szybka Transformata Fouriera

- ▶ Szybka transformacja Fouriera (ang. FFT od Fast Fourier Transformation) to algorytm liczenia dyskretnej transformaty Fouriera oraz transformaty do niej odwrotnej.

$$w_N = e^{i \frac{2\pi}{N}}$$
$$A_k = \sum_{n=0}^{N-1} a_n w_N^{-kn}, \quad 0 \leq k \leq N-1$$

- ▶ Obliczanie sum zajmie  $O(N*N)$  operacji
- ▶ Algorytm rekurencyjnie dzieli transformatę o wielkości  $N = N_1 N_2$  na transformaty  $N_1$  i  $N_2$  z wykorzystaniem  $O(N)$  operacji mnożenia
- ▶ Złożoność obliczeniowa FFT jest równa  $O(N \log_2 N)$

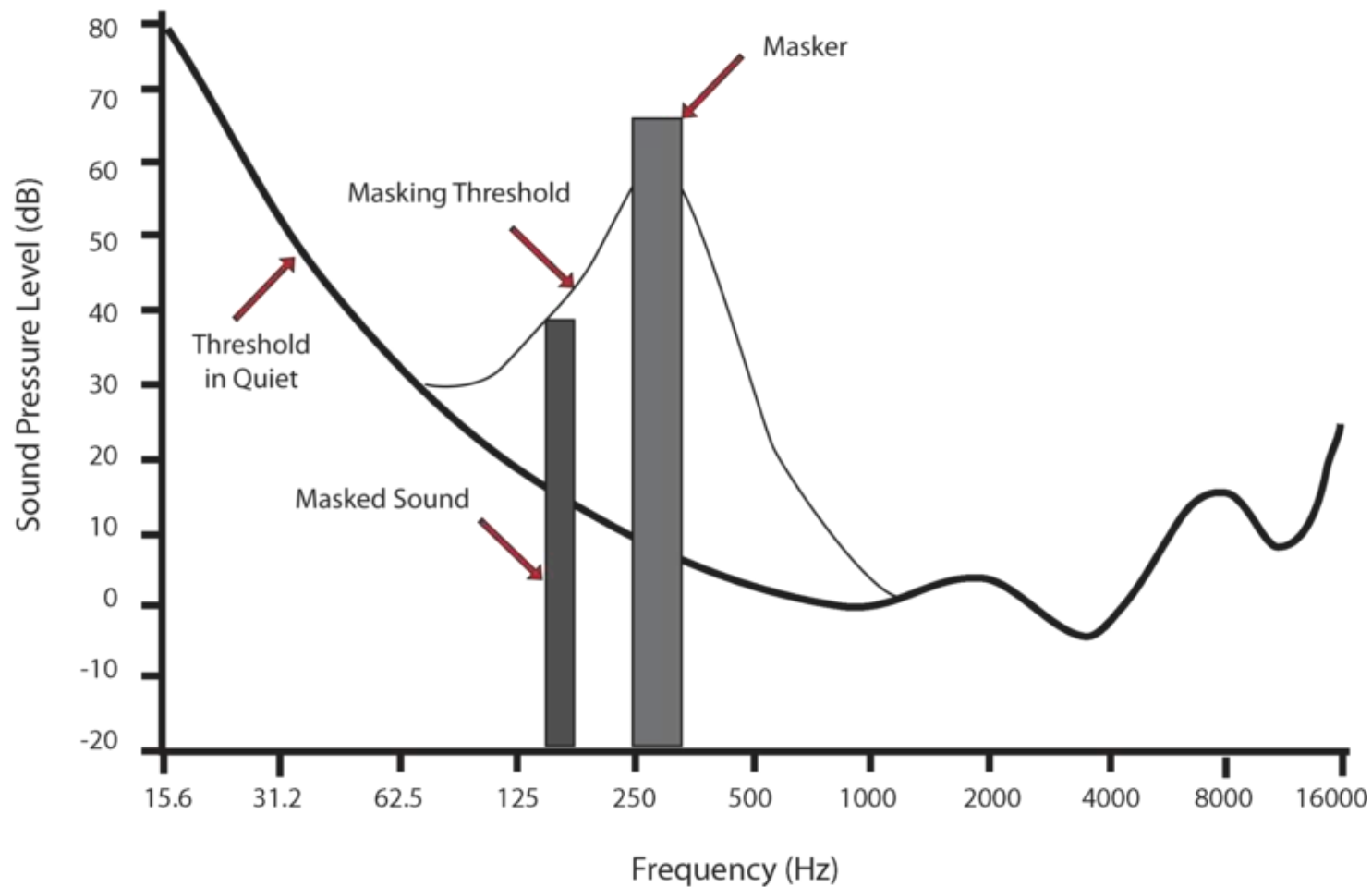
# Kodowanie i Kompresja dźwięku

- ▶ PCM – Pulse Code Modulation
  - ▶ DPCM – Differential PCM
  - ▶ ADPCM – Adaptive Differential PCM (G.726 – VoIP)
  - ▶ DCT – Discret Cosine Transform
  - ▶ MDCT – Modified DCT – bloki nachodzące
- 

# MP3

- ▶ MPEG-1 / MPEG-2 Layer 3
- ▶ Model Psychoakustyczny
  - Zakres słyszalności 20Hz - 20kHz
  - Maskowanie sąsiednich częstotliwości
  - Maskowanie dźwięków następujących
  - Maskowanie dźwięków poprzedzających

# Maskowanie



# Vorbis OGG

- ▶ Porównywalny z AAC, lepszy od MP3 przy tym samym stopniu kompresji
  - ▶ Nieopatentowany i bezpłatny
  - ▶ Wymagana większa moc obliczeniowa niż MP3
  - ▶ VBR
  - ▶ Implementowany w dekodkach scalonych (np. produkty firmy VLSI)
- 