

Diagnostyka i protetyka słuchu i wzroku

APARATY SŁUCHOWE

Wprowadzenie

Aparat słuchowy (ang. *hearing aid*)

– urządzenie, którego zadaniem jest przetwarzanie odbieranych sygnałów w taki sposób, aby:

- dźwięki przekazywane do uszkodzonego narządu słuchu użytkownika aparatu były przez niego dobrze słyszane,
- przetwarzana mowa była zrozumiała

Aparat słuchowy musi być dostosowany do charakterystyki słuchu użytkownika.

Rozwiązania konstrukcyjne

Najważniejsze typy aparatów słuchowych:

- **BTE** (*Behind-The-Ear*) – zauszne
- **ITE** (*In-The-Ear*) – wewnętrzne
- **ITC** (*In-The-Canal*) – wewnątrzkanałowe
- **CIC** (*Completely-In-Canal*)
– wewnątrzkanałowe o wysokim stopniu miniaturyzacji

Rozwiązania konstrukcyjne

a) **BTE**



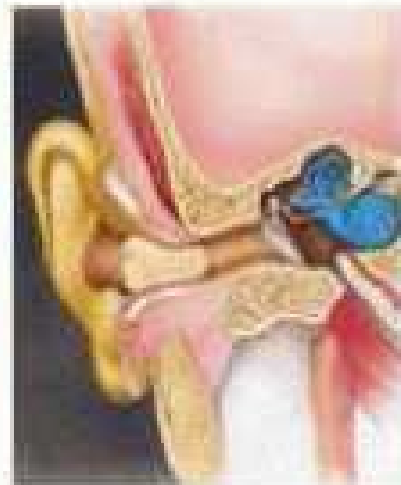
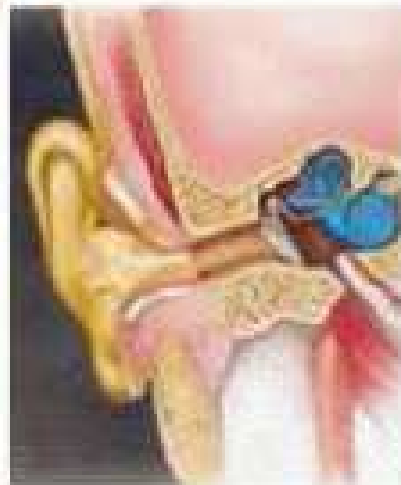
b) **ITE**



c) **ITC**



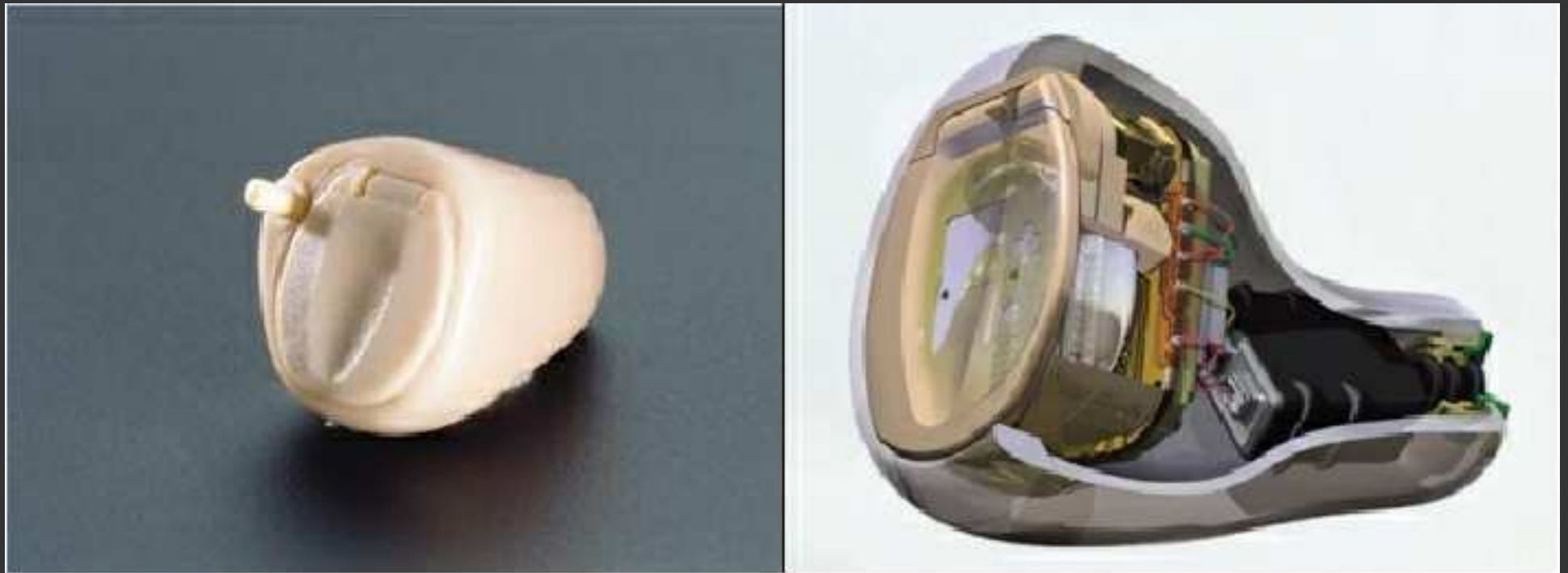
d) **CITC**



Aparat słuchowy zauszny BTE



Aparat słuchowy zminiaturyzowany (ITC)



Aparaty zminiaturyzowane

Zalety typów zminiaturyzowanych:

- są mniej widoczne (małe rozmiary)
 - aspekt psychologiczny
- brak układu akustycznego (mniejsze zniekształcenia)

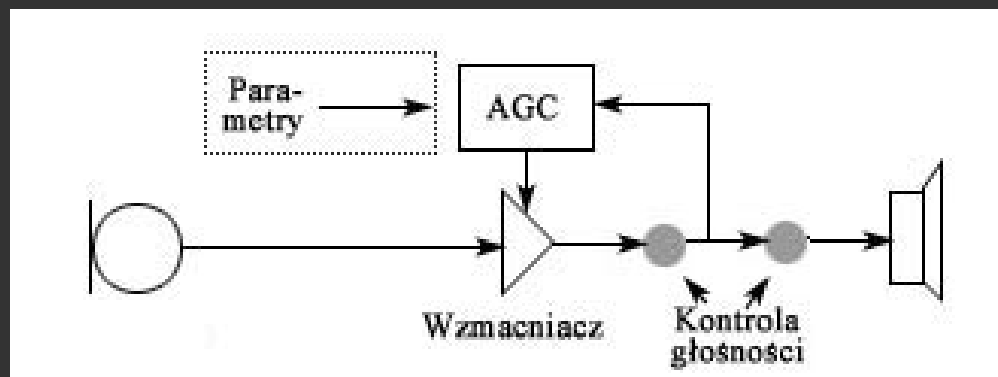
Wady:

- małe wzmocnienie maksymalne (mogą powstawać sprzężenia akustyczne)
- trudna obsługa (małe rozmiary)
- u niektórych – zła tolerancja
- wysoka cena

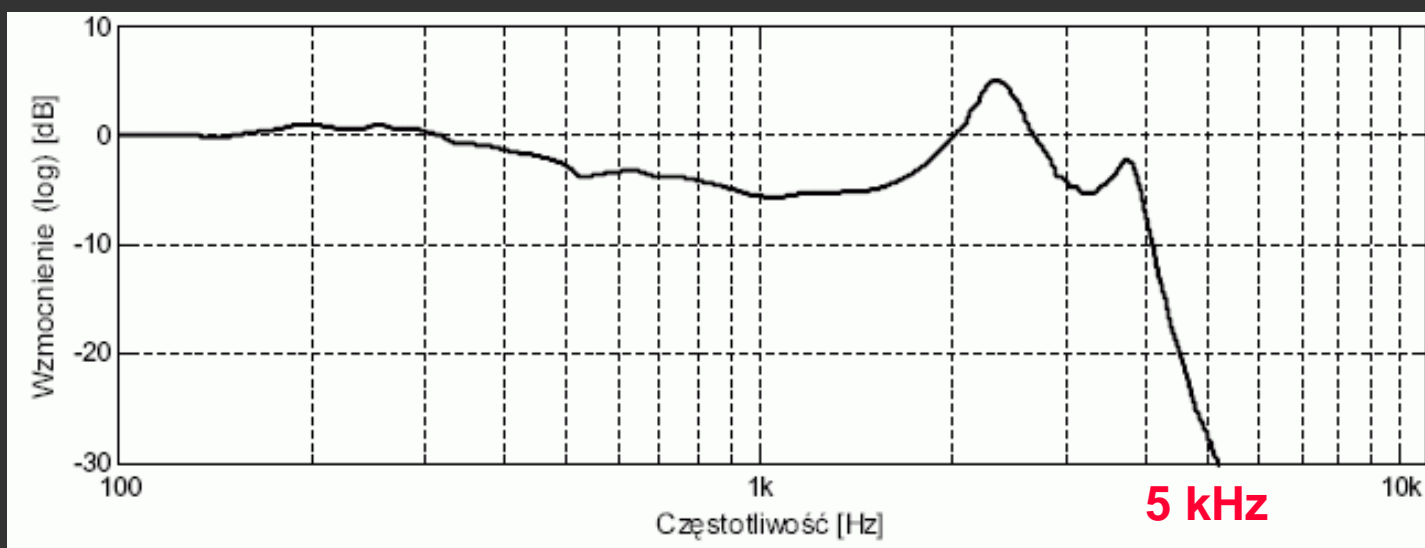
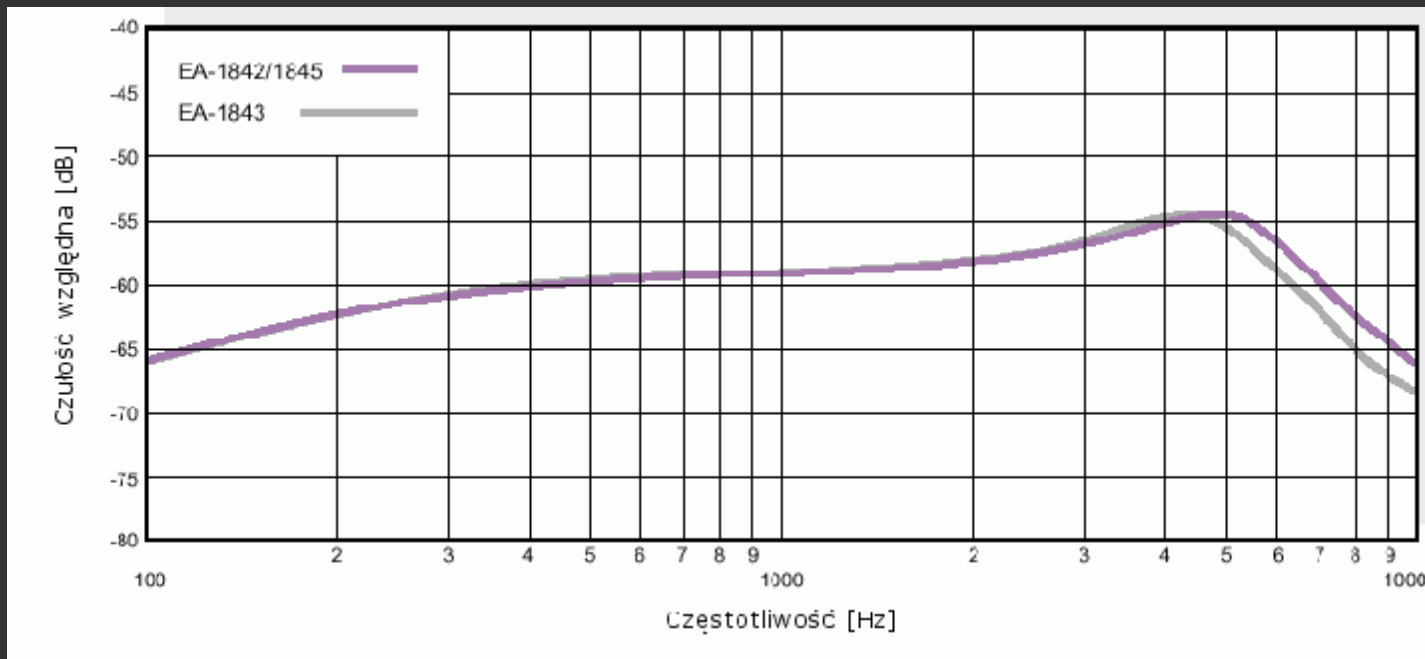
Budowa aparatu analogowego

Elementy składowe aparatu słuchowego:

- mikrofon
- wzmacniacz
- układ kompresji lub regulacji wzmocnienia
- słuchawka
- zasilanie
- elementy kontrolne



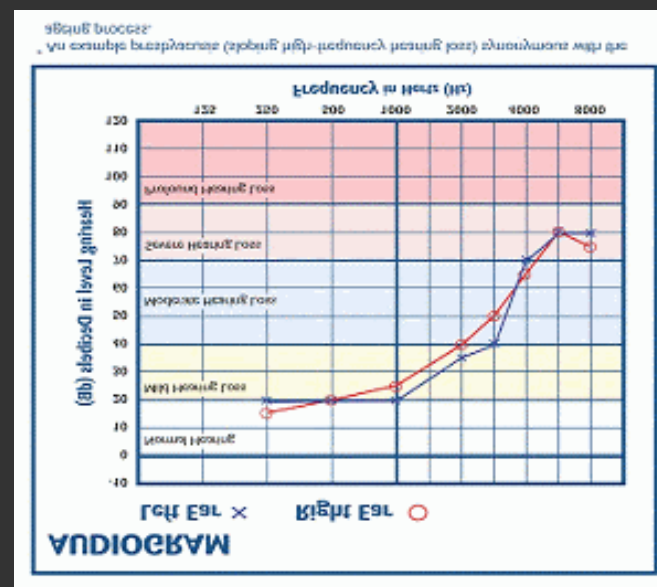
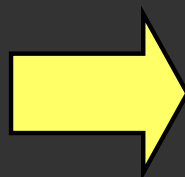
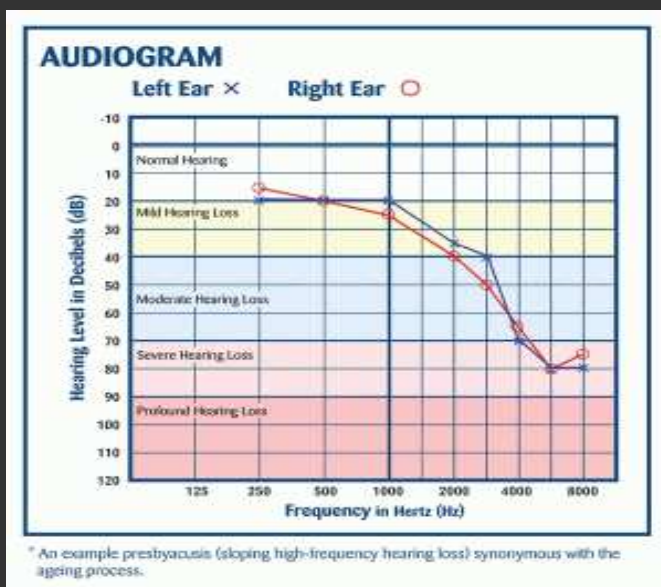
Mikrofon i słuchawka - charakterystyki



Wzmacniacze

Wzmacniacz w aparacie słuchowym dokonuje wzmocnienia sygnału:

- w całym paśmie częstotliwości
 - wzmocnienie „główne” (*master*)
- w zakresach częstotliwości
 - dopasowanie do charakterystyki ubytku słuchu (rodzaj korektora graficznego)

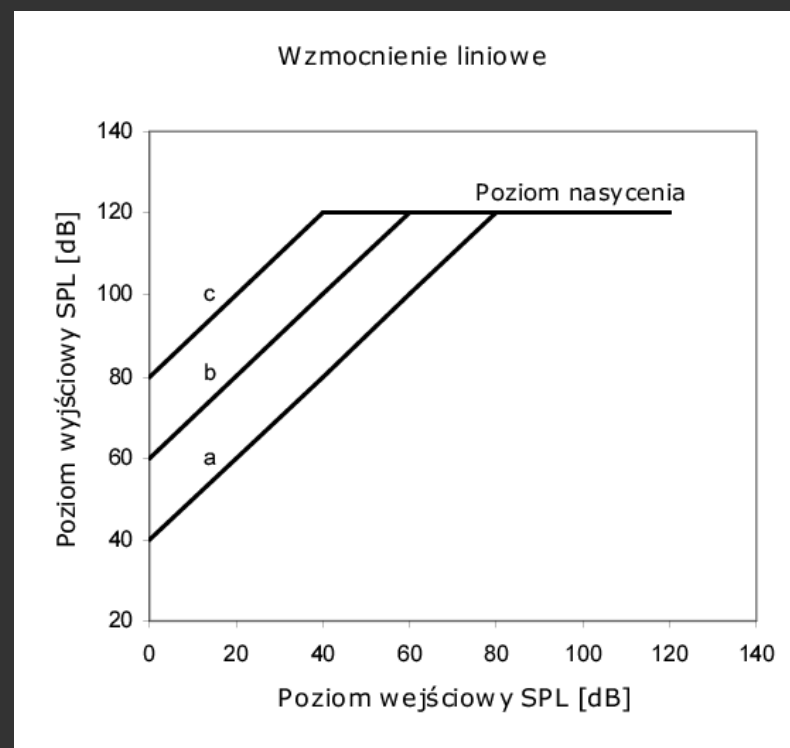


Wzmacniacze liniowe

Najprostsze wzmacniacze w aparatach słuchowych – układy o wzmacnieniu liniowym.

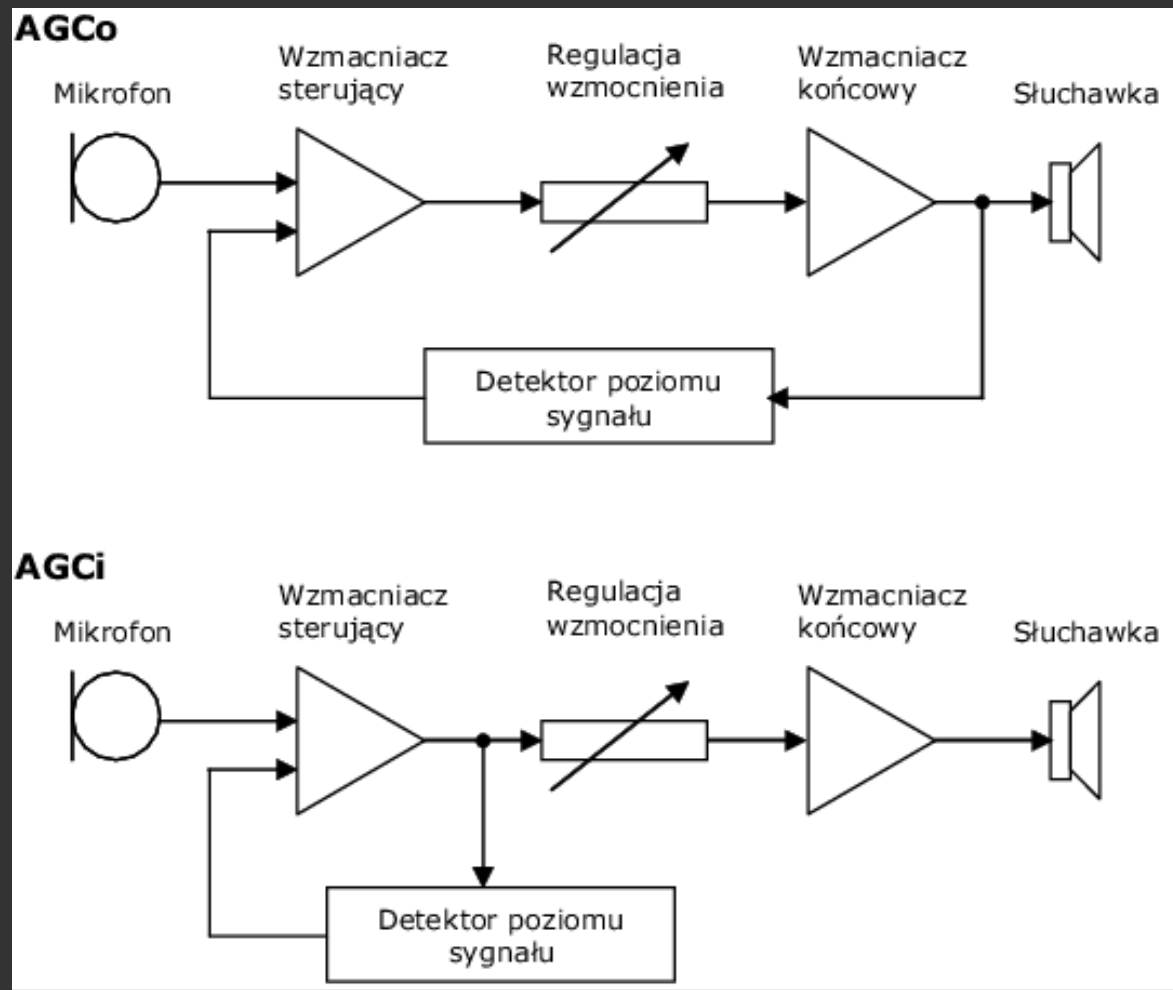
Powyżej **poziomu nasycenia** poziom wyjściowy przestaje narastać – zabezpieczenie przed przesterowaniem układu i zbyt dużym poziomem dźwięku.

Wzmacniacze tego typu powodują nadmierne wzmacnianie głośnych fragmentów sygnału.



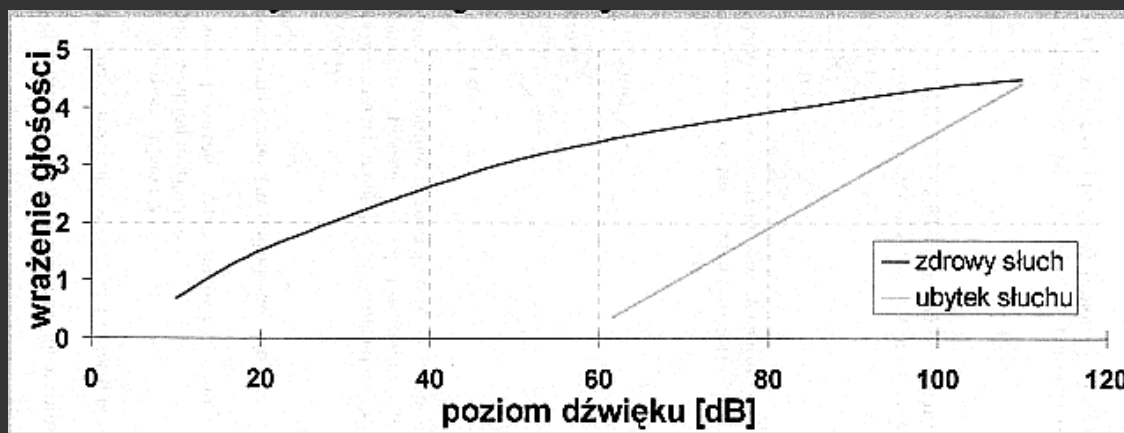
Automatyczna regulacja wzmacnienia

ARW – ang. *automatic gain control* (AGC)
układy wzmacniaczy, w których wzmacnienie
jest zależne od poziomu sygnału.



Problem wzmocnienia liniowego

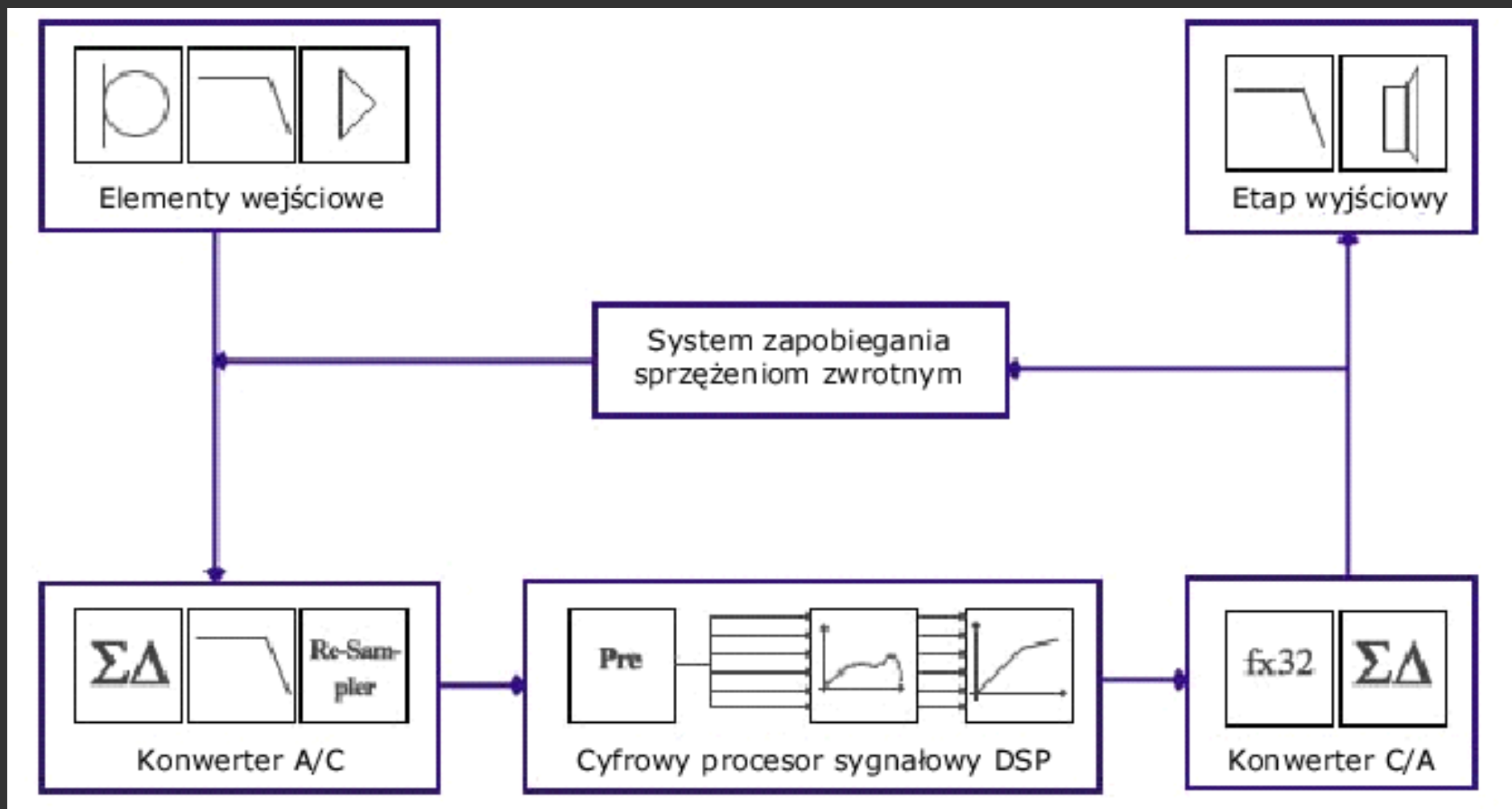
- Większość osób z upośledzonym słuchem ma dużo mniejszy zakres dynamiki słyszenia.
- Zakres dynamiki słuchu jest różny dla różnych częstotliwości.
- Różny jest kształt charakterystyki słyszenia w różnych pasmach częstotliwości.
- Liniowe wzmocnienie sygnału powodowałoby, że ciche dźwięki byłyby niesłyszalne, a dźwięki głośne mogłyby powodować ból



Cyfrowy aparat słuchowy

Mikrofon

Słuchawka



DSP – wzmacnianie i „wzbogacanie” sygnału

Funkcje aparatów cyfrowych

Funkcje odpowiadające aparatom analogowym:

- regulacja głośności w pasmach częstotliwości (wzmacnianie + „kompresja”)

Dodatkowe możliwości aparatów cyfrowych:

- automatyczny dobór programu
- redukcja sprzężeń zwrotnych
- redukcja szumu i zakłóceń
- filtracja przestrzenna
- przetwarzanie percepcyjne

Automatyczny dobór programu

Programy - zestawy ustawień aparatu słuchowego, dostosowane do różnych warunków otoczenia, np. „głośna ulica” lub „cichy pokój”.

Wybór programu:

- ręczny - przez użytkownika
- automatyczny - aparat słuchowy analizuje warunki akustyczne i dobiera najlepszy program

Korzyści: dopasowanie wzmocnienia aparatu do warunków akustycznych otoczenia, redukcja szumu, lepsza jakość dźwięku

Redukcja sprzężeń zwrotnych

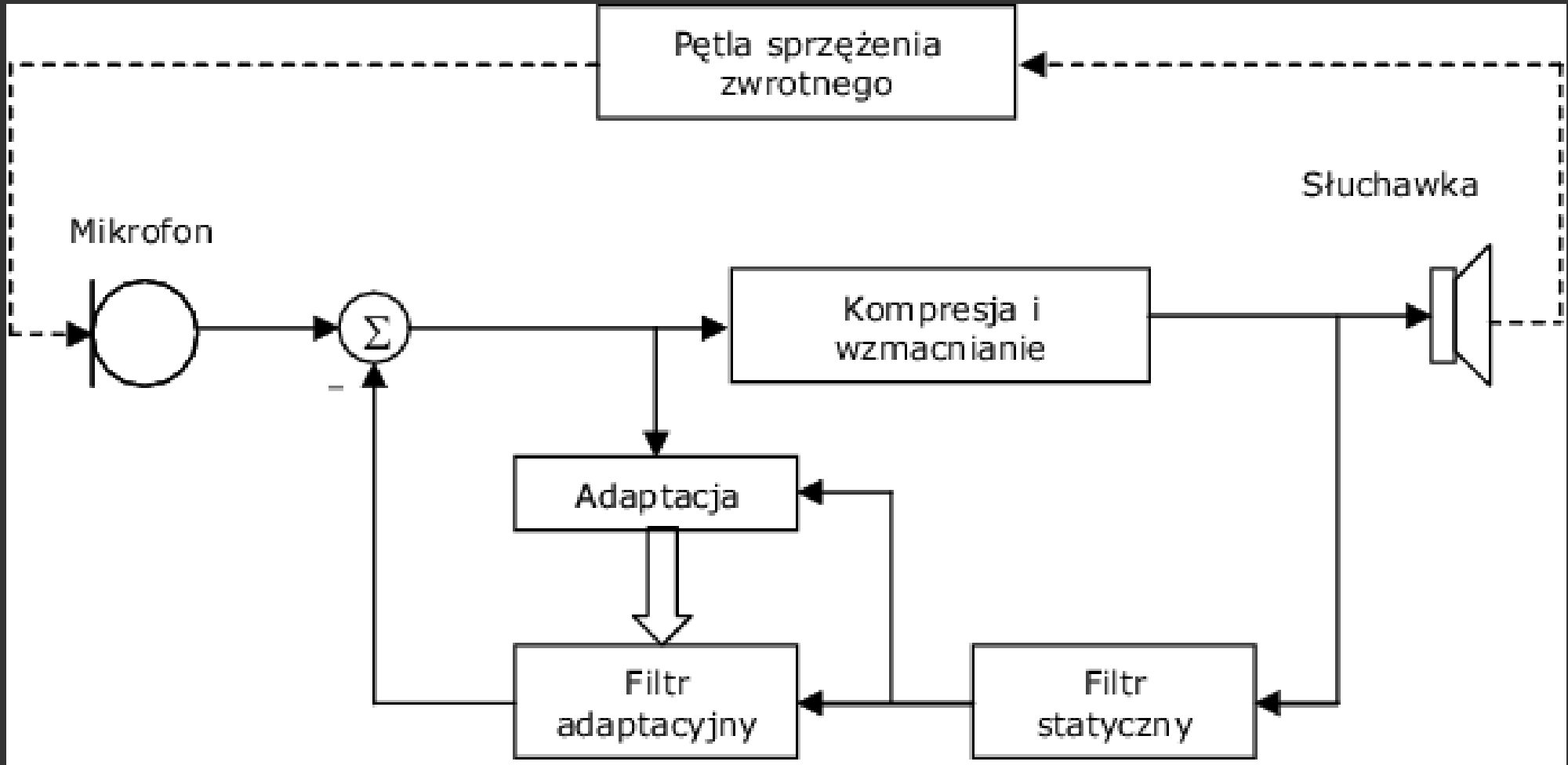
Problem sprzężeń zwrotnych w aparatach słuchowych: powodują konieczność zmniejszenia wzmocnienia, zniechęcają do użytkowania aparatu.

Metody redukcji sprzężeń:

- separacja przetworników akustycznych
- statyczna – zmniejszenie wzmocnienia w niektórych zakresach częstotliwości
- dynamiczna – *feedback cancellation* – monitorowanie sygnału, usuwanie sprzężeń w czasie rzeczywistym, zachowanie wzmocnienia aparatu

Redukcja sprzężeń zwrotnych

Schemat ukł. *Digital Feedback Suppression* (DFS)



Korzyść: zwiększenie wzmocnienia o ok. 10 dB bez ryzyka powstania sprzężeń zwrotnych

Redukcja szumu – *spectral enhancement*

Układ *Fine-scale Noise Canceller*:

- analiza sygnału w 20 pasmach częstotliwości
- wyznaczenie stosunku sygnał-szum w każdym paśmie
- zmniejszenie wzmocnienia aparatu w pasmach o dużym poziomie szumu
- przy redukcji wzmocnienia uwzględniany jest wpływ danego pasma na zrozumiałość mowy

Korzyść: zmniejszenie poziomu szumu przy zachowaniu możliwie największego poziomu i najlepszej zrozumiałości mowy

Filtracja przestrzenna

Odseparowanie sygnału zakłócającego od sygnału użytecznego poprawia zrozumiałość mowy.

W praktyce:

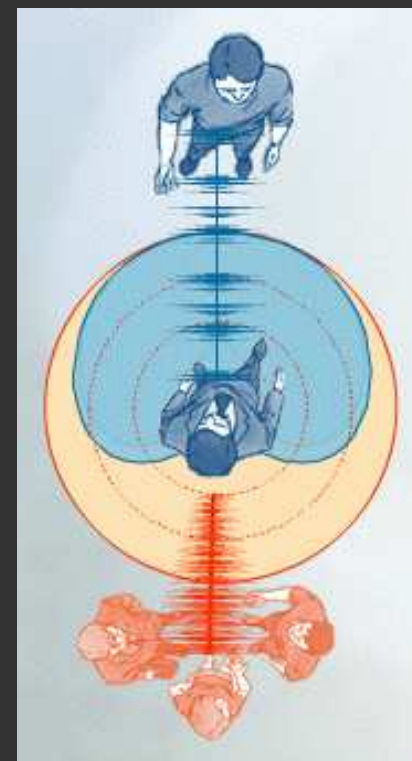
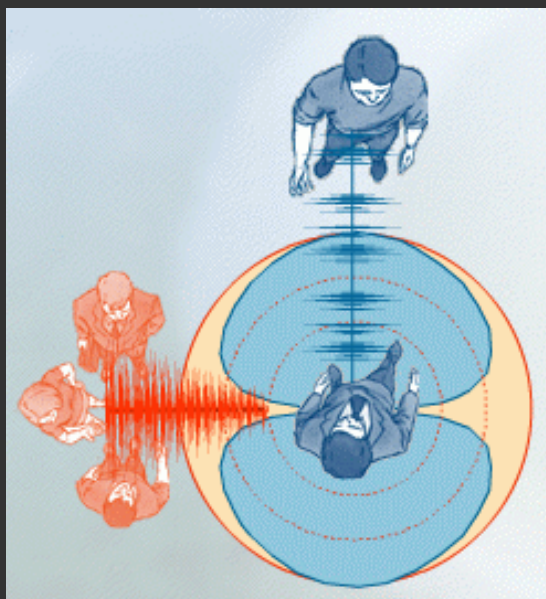
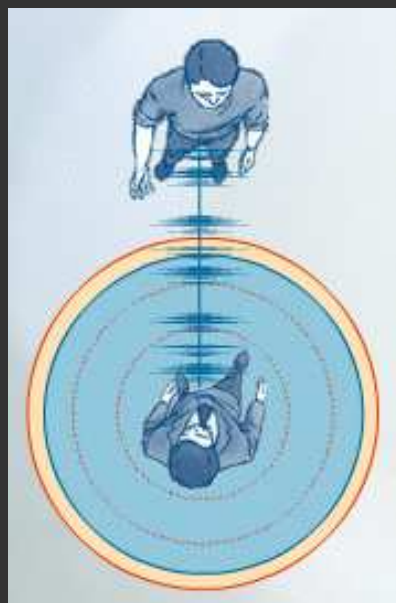
- sygnał użyteczny dochodzi z wybranego kierunku
- sygnał zakłócający – ze wszystkich kierunków (np. efekt „cocktail-party”).

Filtracja przestrzenna (*spatial filtering*) – oddzielenie sygnału użytecznego od zakłóceń.

Jeden mikrofon (nawet kierunkowy) nie umożliwia uzyskania zadawalającej separacji sygnałów. Stosuje się min. 2 mikrofony.

Filtracja przestrzenna

Ilustracja działania układu *Digital AudioZoom*



Percepcyjne przetwarzanie sygnału

Przykład rozwiązania – *Digital Perception Processing* – DPP (Phonak)

- analiza sygnału w 20 pasmach krytycznych słuchu
- na podstawie analizy obliczany jest wzorzec pobudzenia komórek słuchowych w ślimaku
- uwzględnienie zjawisk maskowania składowych widma

Korzyści:

- lepsze dopasowanie aparatu w przypadku objawu wyrównywania głośności