

APARATY SŁUCHOWE i IMPLANTY ŚLIMAKOWE

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.

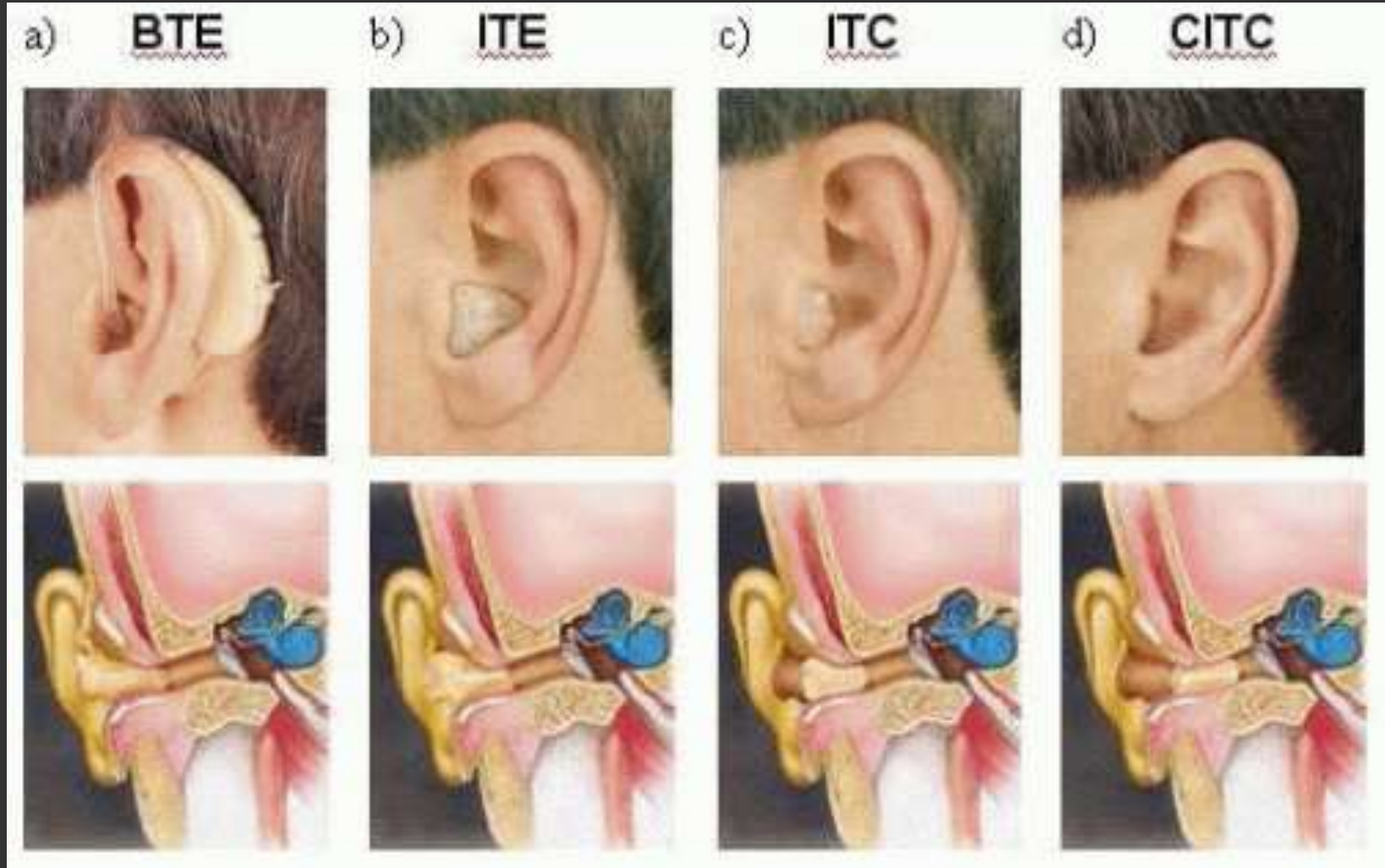
Aparat słuchowy musi być dostosowany do charakterystyki słuchu użytkownika.

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



Aparat słuchowy zauszny BTE



Aparat słuchowy zminiaturyzowany (ITC)



Aparaty zminiaturyzowane

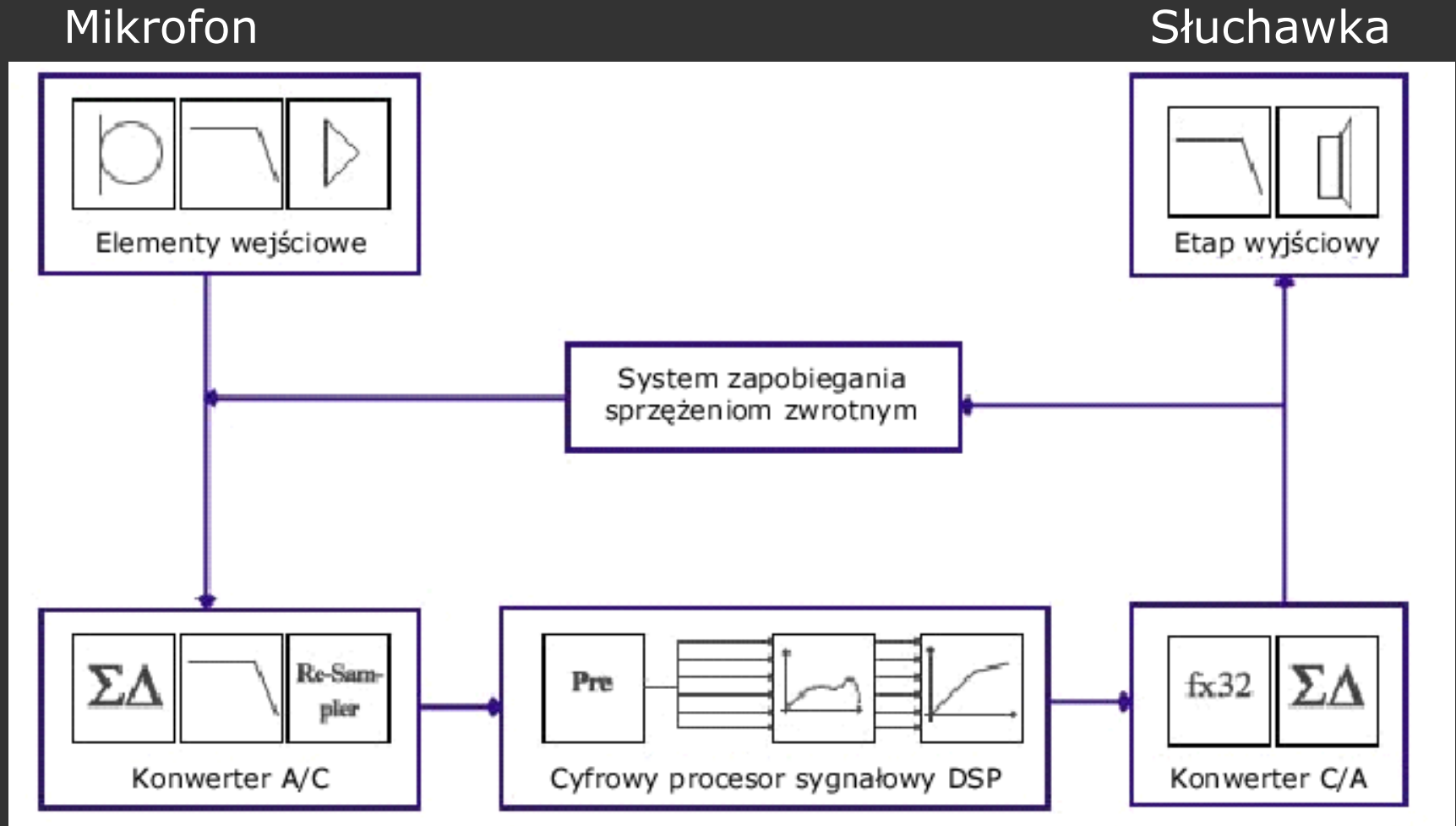
Zalety typów zminiaturyzowanych:

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

Wady:

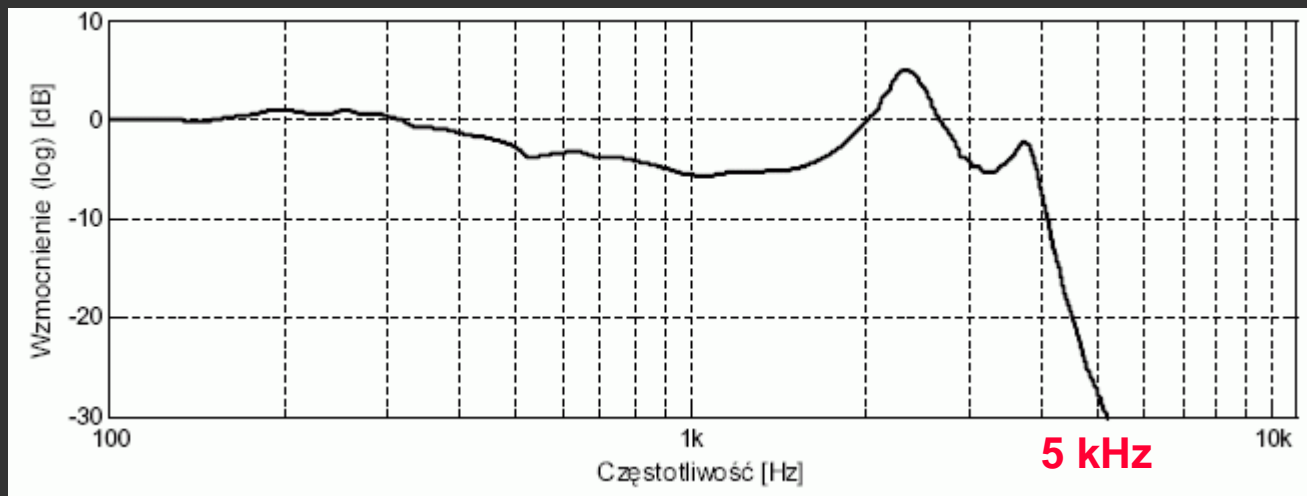
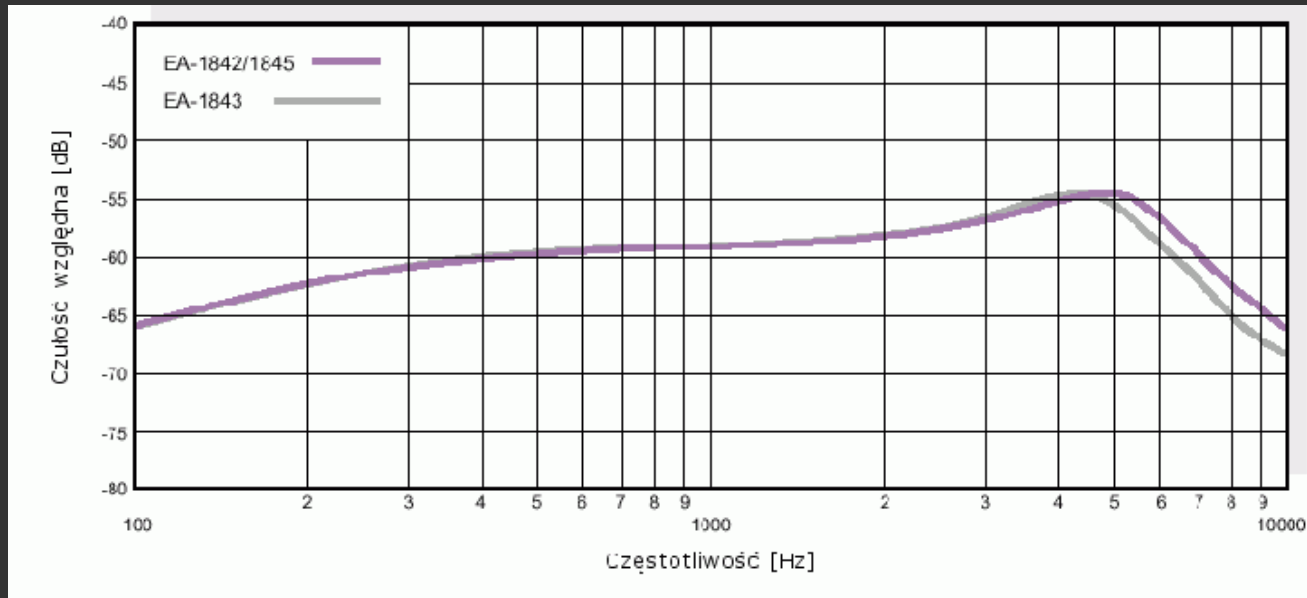
- małe wzmocnienie maksymalne (mogą powstawać sprzężenia akustyczne)
- trudna obsługa (małe rozmiary)
- u niektórych – zła tolerancja
- wysoka cena

Cyfrowy aparat słuchowy



DSP – wzmacnianie
i „wzbogacanie” sygnału

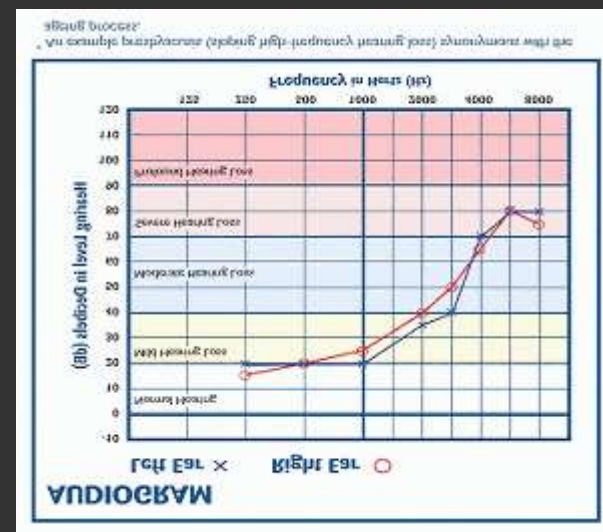
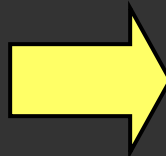
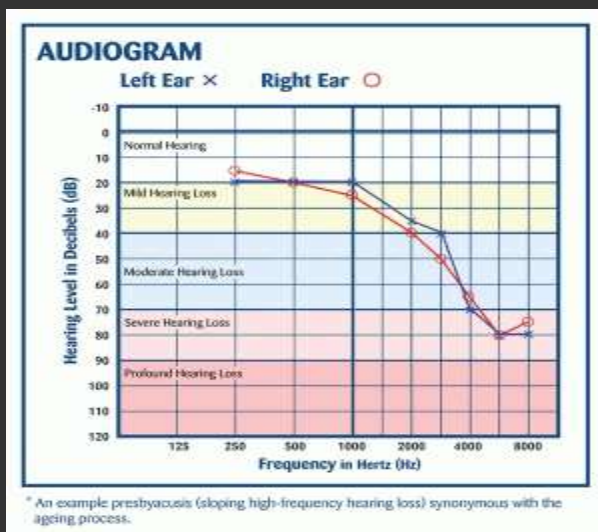
Mikrofon i słuchawka - charakterystyki



Wzmacniacze

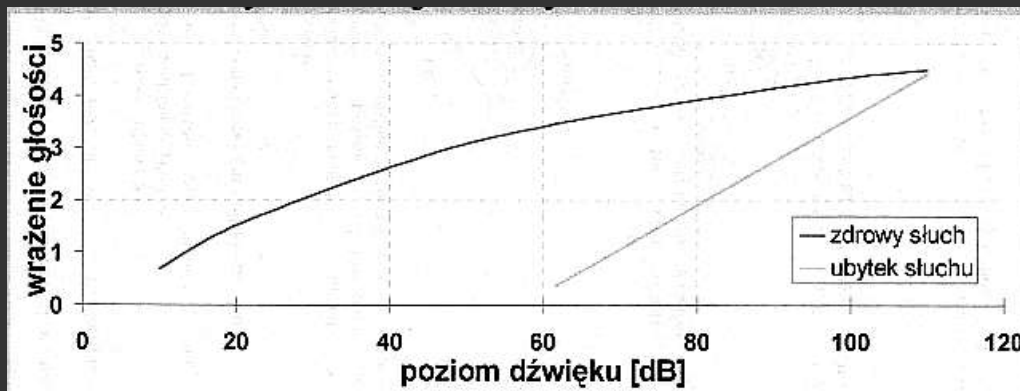
Wzmacniacz w aparacie słuchowym dokonuje wzmocnienia sygnału:

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



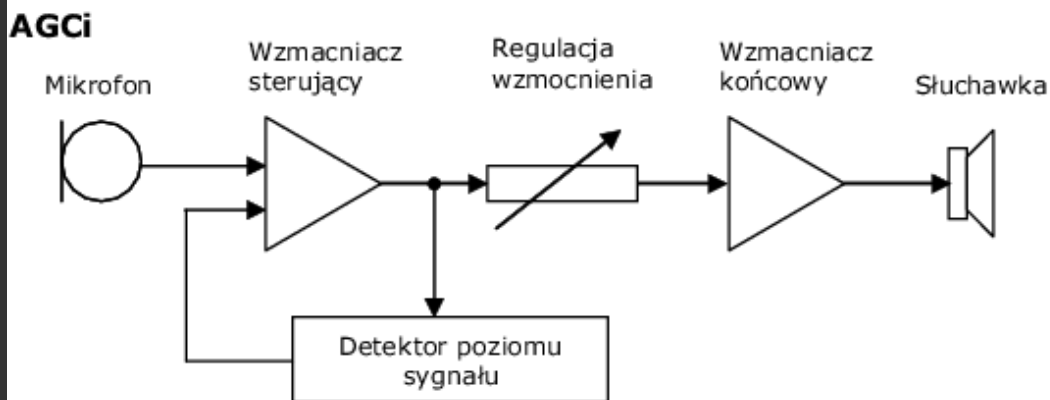
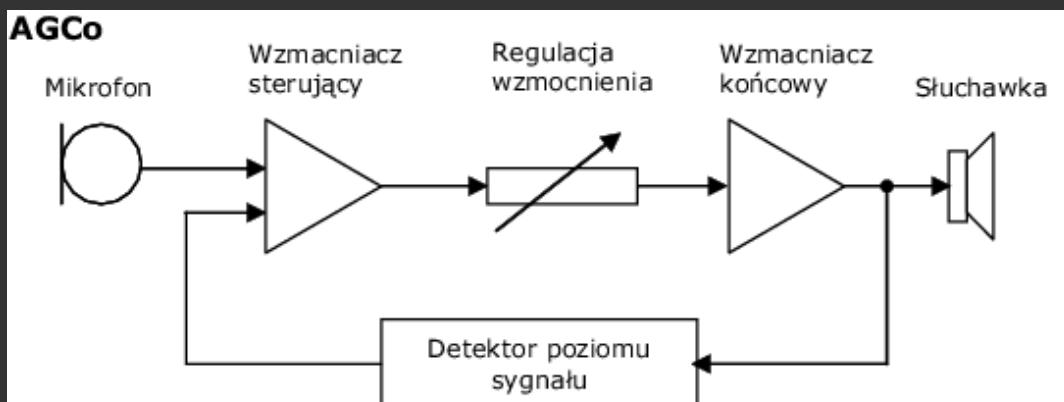
Problem wzmocnienia liniowego

- 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



Automatyczna regulacja wzmacnienia

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



Funkcje aparatów cyfrowych

Podstawowa funkcja aparatu:

- regulacja wzmacnienia sygnału:
 - w pasmach częstotliwości,
 - zależnie od poziomu sygnału.

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

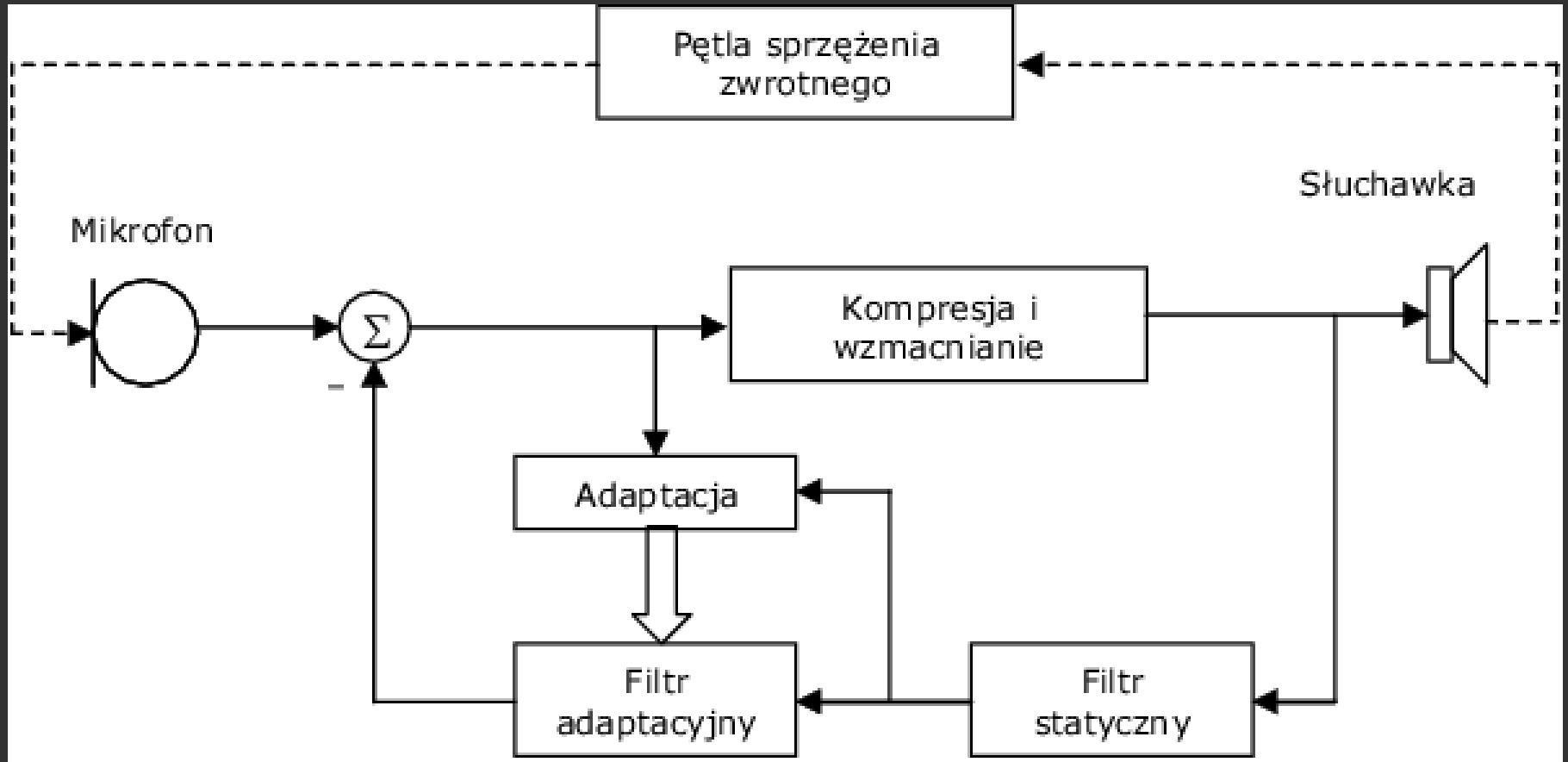
Problem sprzężeń zwrotnych w aparatach słuchowych: powodują konieczność zmniejszenia wzmocnienia, zniechęcają do użytkowania aparatu.

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:

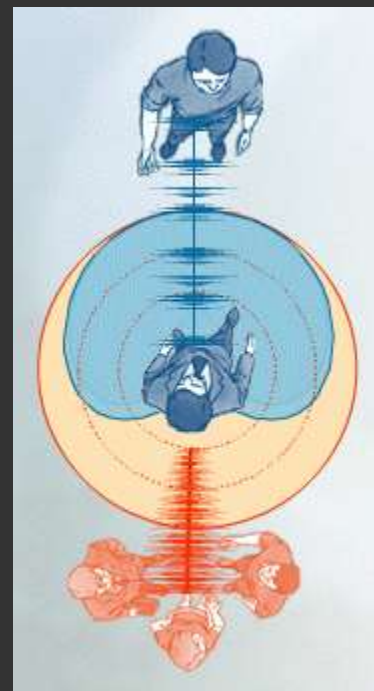
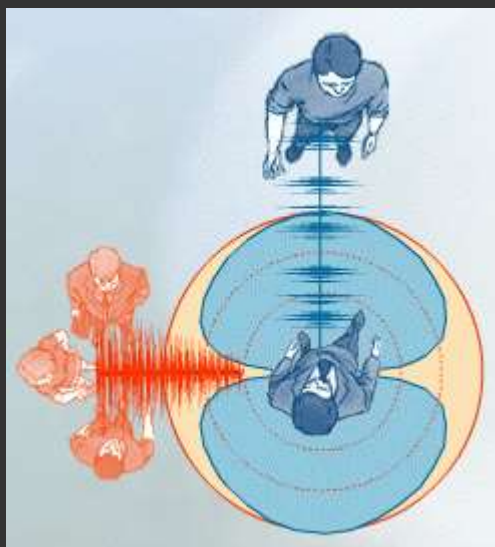
- sygnał użyteczny dochodzi z wybranego kierunku
- sygnał zakłócający – ze wszystkich kierunków (np. efekt „cocktail-party”).

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

IMPLANTY ŚLIMAKOWE

- U niektórych osób z upośledzeniem słuchu nastąpiło uszkodzenie ucha wewnętrznego.
- Stosowanie aparatów słuchowych nie daje w tych przypadkach poprawy słyszenia.
- Większość z tych osób ma jednak zachowane włókna nerwowe.
- U takich osób możliwe jest częściowe przywrócenie zdolności do słyszenia poprzez zastosowanie chirurgicznie wszczepianych **implantów**.

Implanty ślimakowe

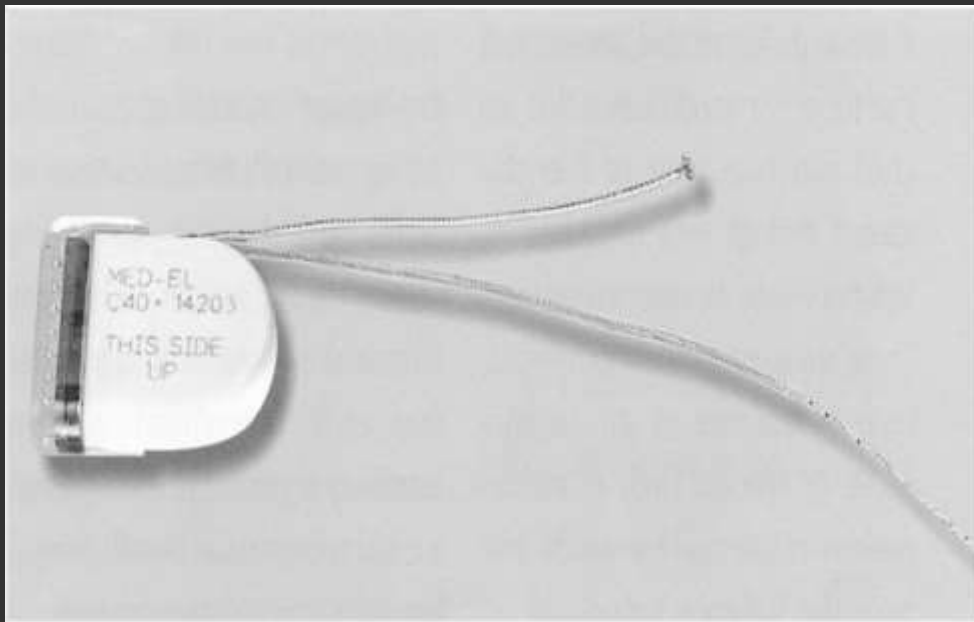
Implanty ślimakowe (*cochlear implants*) umożliwiają bezpośrednią stymulację elektryczną zakończeń włókien nerwowych w celu wywołania wrażeń słuchowych.



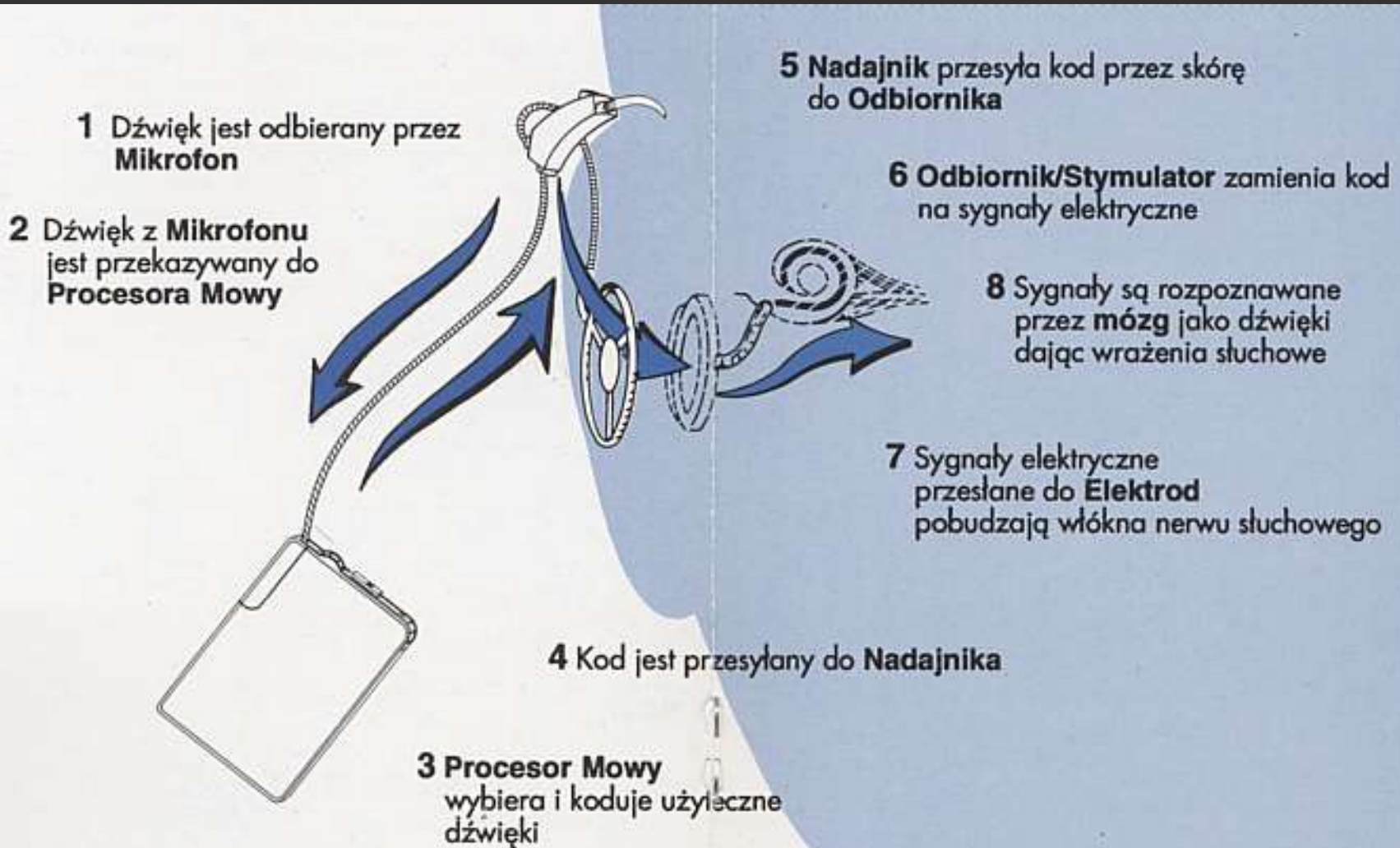
Budowa implantu ślimakowego

Część wszczepiana – odbiornik i elektrody.

Część zewnętrzna – procesor i nadajnik.



Działanie implantu ślimakowego



Kryteria implantowania

Kryteria zastosowania implantów:

- obustronna całkowita utrata słuchu
- prawidłowe działanie nerwów słuchowych
- klasyczne aparaty słuchowe nie powodują poprawy słyszenia
- brak innych poważnych problemów zdrowotnych
- ukończony drugi rok życia
- gotowość do wzięcia udziału w długotrwałym treningu słuchowym

Procesor mowy

Zdrowe ucho wewnętrzne jest równoległym analizatorem widma.

W przypadku implantowania, procesor mowy musi przejąć funkcje ucha wewnętrznego:

- analiza sygnału w pasmach częstotliwości
- kodowanie do impulsów pobudzających włókna (przesyłanych do elektrody)

We współczesnych procesorach mowy stosuje się zaawansowane algorytmy DSP poprawiające jakość sygnału mowy.

Kodowanie sygnału

We współczesnych implantach stosuje się macierze elektrod. Sygnał mowy jest przetwarzany na sygnały pobudzające dla każdej z elektrod. Dwa zasadnicze podejścia:

- oparte na **analizie** sygnału mowy **w pasmach częstotliwości** – każde z pasm daje sygnał dla innej elektrody,
- oparte na **ekstrakcji cech** widma sygnału mowy, np. formantów – sygnały wysyłane tylko do wybranych elektrod.

Kodowanie metodą CIS

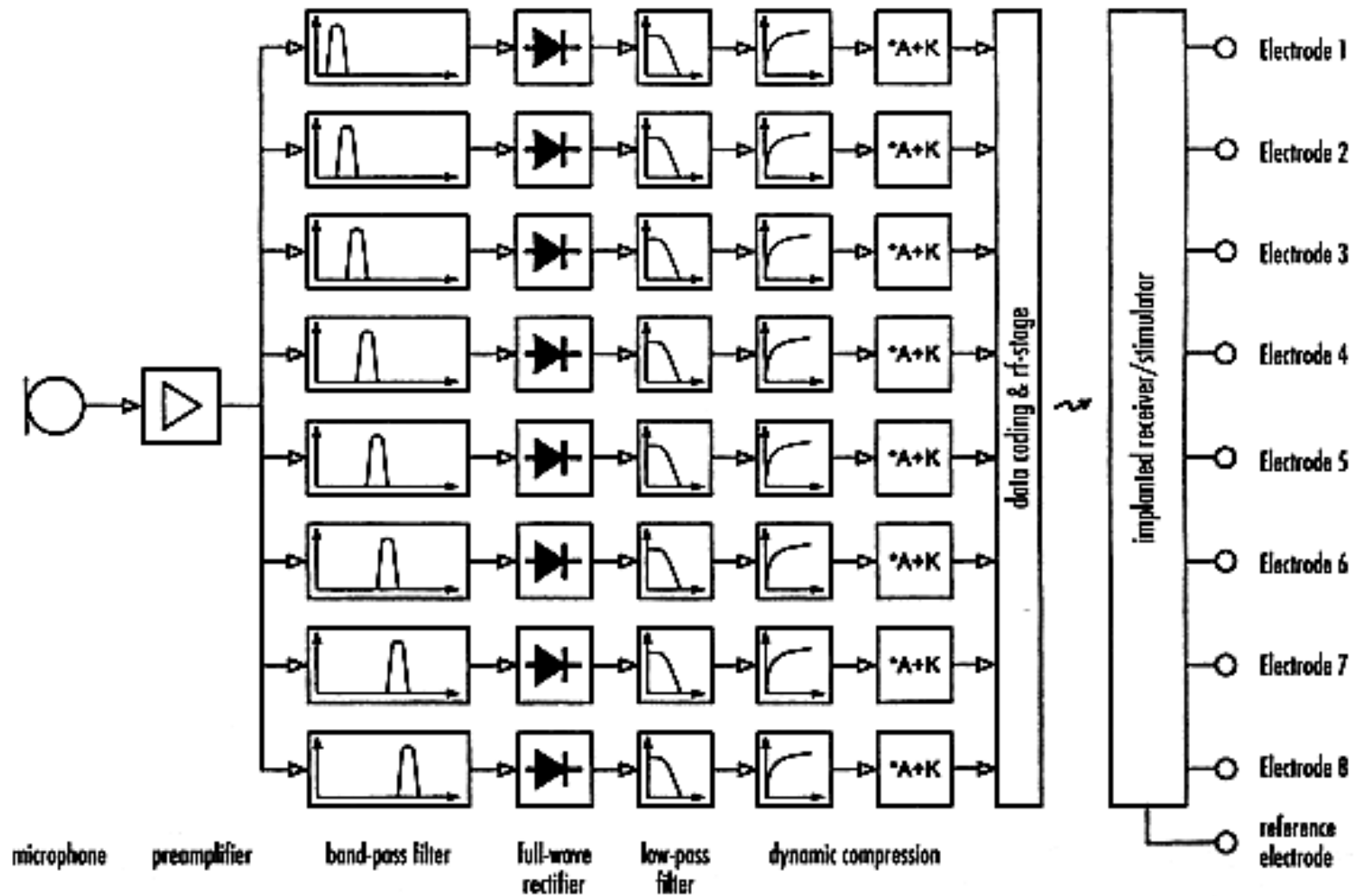
CIS – *Continuous Interleaved Sampling*

(strategia ciągłego niejednoczesnego próbkowania)

Metoda oparta na analizie sygnału w pasmach częstotliwości:

- wstępnie wzmacniony sygnał jest filtrowany za pomocą banku filtrów pasmowych
- sygnały po filtracji przechodzą przez układy prostownika oraz filtru dolnoprzepustowego – wyznaczanie obwiedni w paśmie
- sygnał jest poddawany kompresji
- sygnał służy do modulowania amplitudowego ciągu impulsów pobudzających

Kodowanie metodą CIS



Metody ekstrakcji cech widma mowy

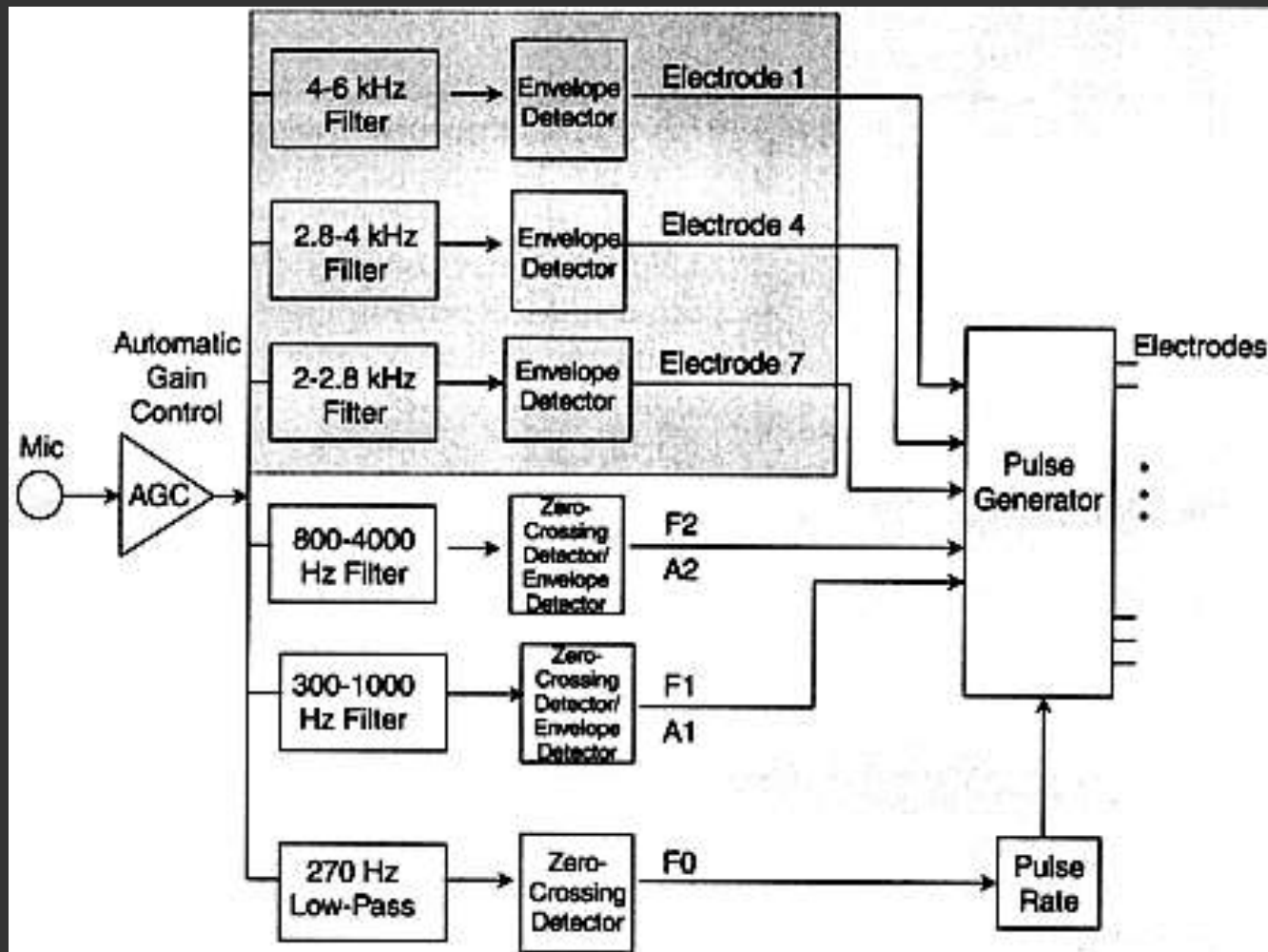
Inna grupa algorytmów kodowania oparta jest na ekstrakcji cech widma sygnału mowy.

Najczęściej dokonuje się ekstrakcji formantów mowy – maksimum charakterystyki widmowej:

- filtracja sygnału w wybranych pasmach,
- detektor przejść przez zero wyznacza częstotliwość formantów,
- detektor obwiedni wyznacza amplitudę formantów,
- wybierane i stymulowane są odpowiednie elektrody.

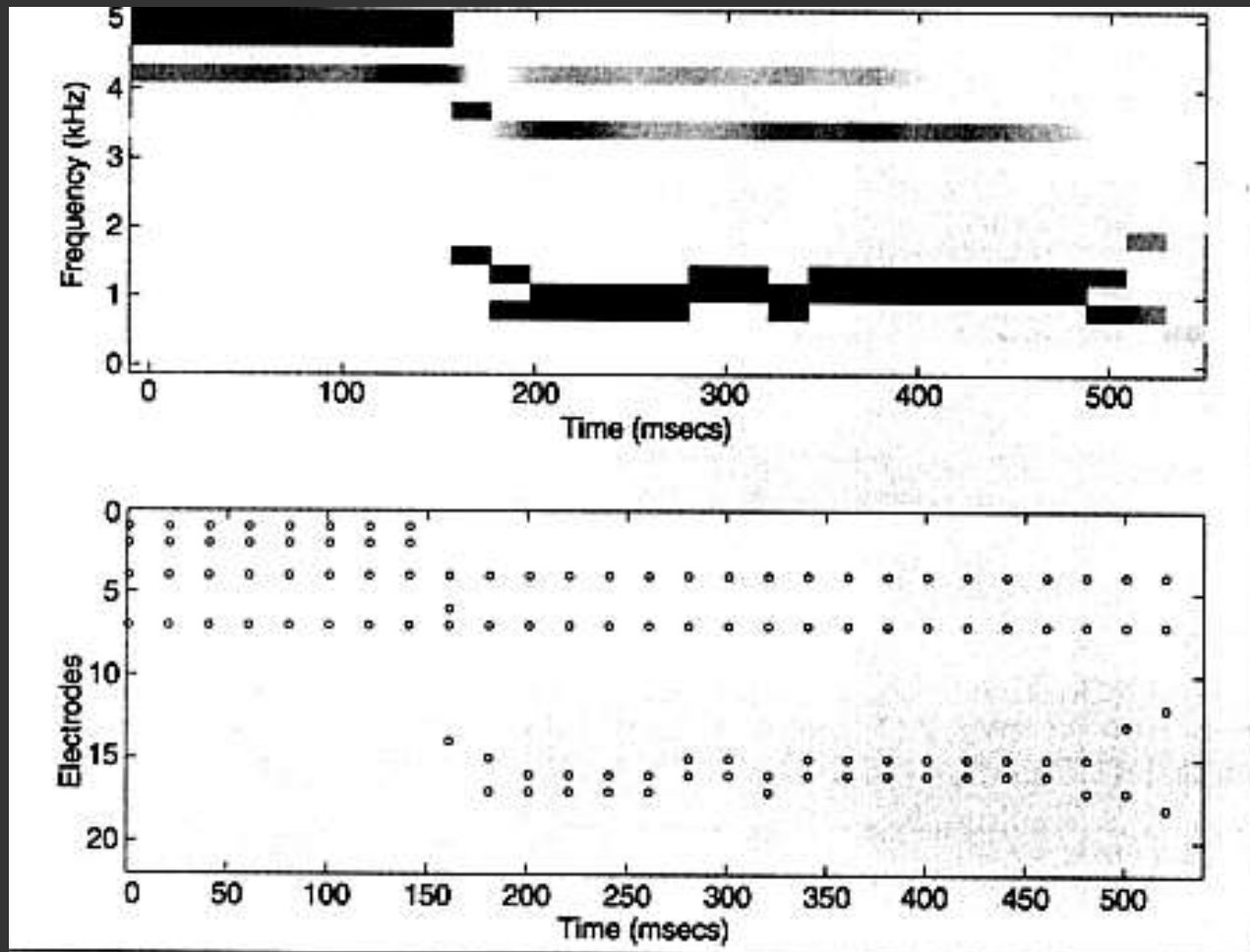
MPEAK

Schemat układu MPEAK



MPEAK

Przykład kodowania sygnału mowy w systemie MPEAK



Strojenie implantu ślimakowego

Po wszczępieniu implantu ślimakowego, zanim rozpocznie się trening słuchowy, audiolog dokonuje programowania procesora mowy.

Każda z elektrod dla danych wysokości i głośności dźwięków jest z osobna dostrajana zgodnie z subiektywnymi wrażeniami użytkownika.

Jeżeli pojawią się po pewnym czasie zmiany w jakości słyszenia, procesor może być ponownie dostrojony.

Trening słuchowy

1. Rozpoznawanie sygnałów informacyjnych
2. Rozpoznawanie głosek z czytaniem z ust
3. Rozpoznawanie głosek bez czytania z ust
4. Rozróżnianie głosek żeńskich i męskich
5. Rozpoznawanie słów z czytaniem z ust
6. Rozpoznawanie słów bez czytania z ust
7. Powtarzanie słyszanych zdań
8. Prowadzenie rozmowy
9. Słuchanie muzyki