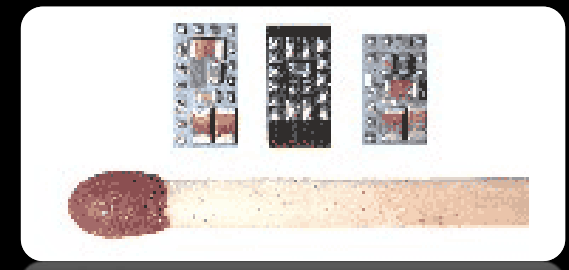


Zastosowania Procesorów Sygnałowych

dr inż. Piotr Ody

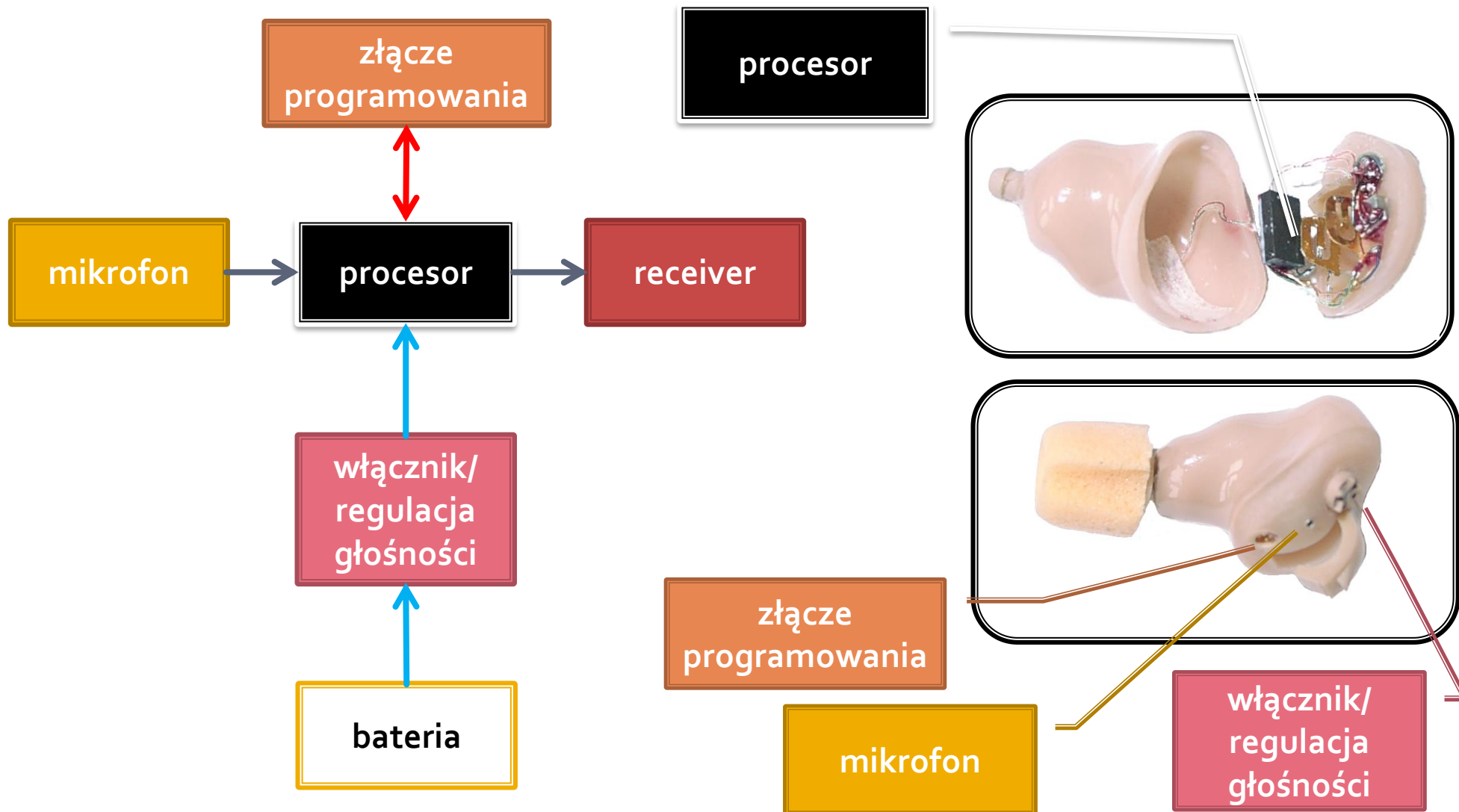
**Procesory sygnałowe w aparatach
słuchowych (ale nie tylko)**

Specyfika



- typowe zastosowanie: aparaty słuchowe
 - dość typowa budowa
- niewielkie wymiary
 - urządzenie musi zmieścić się w kanale usznym
- mały pobór mocy
 - urządzenie pracuje przez wiele godzin
- możliwość łatwego programowania parametrów urządzenia
- szybkość przetwarzania
 - wymagane minimalne opóźnienie

Aparat słuchowy - konstrukcja



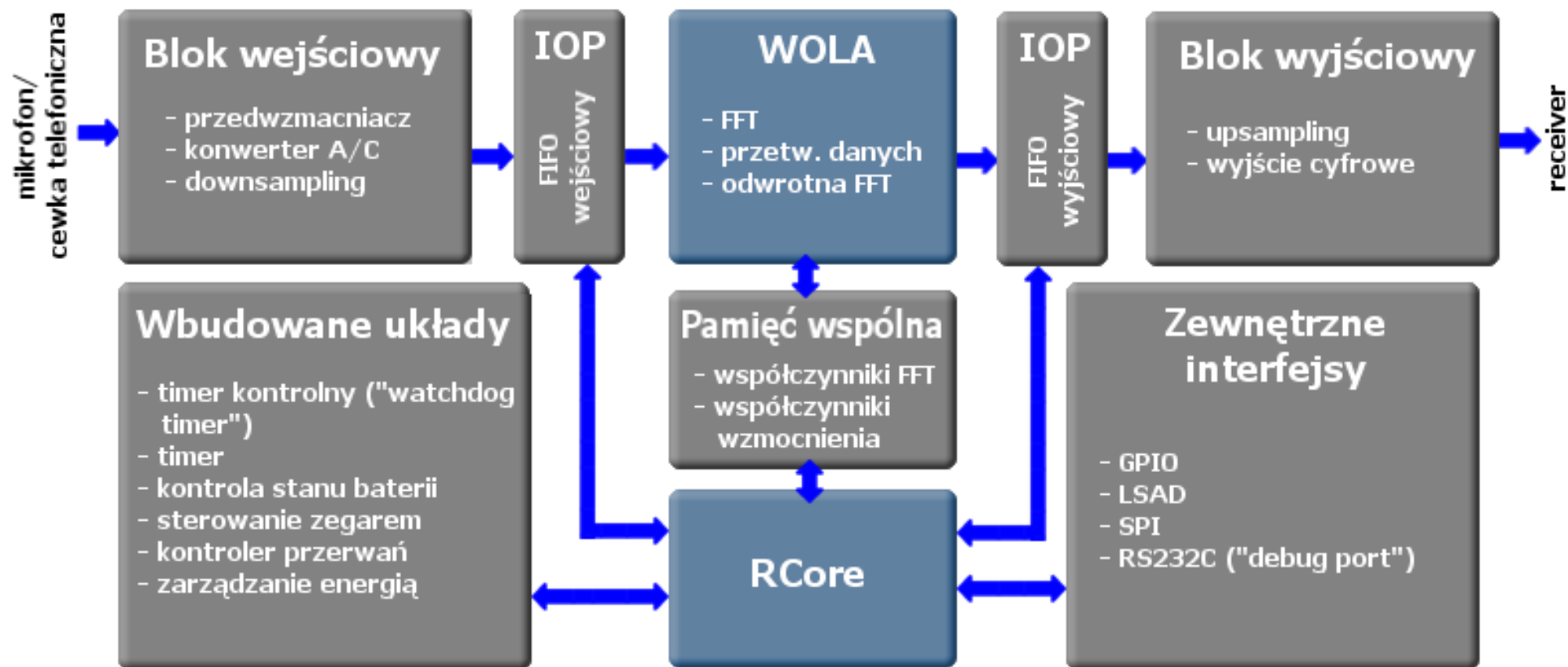
Procesor Toccata Plus

- Wymiary 5.97 x 3.48 x 1.52 mm (z wbudowanym EEPROM-em)
- Pobór prądu rzędu nawet 400μA
- Częstotliwość pracy zegara: 1.28MHz, 1.92, 2.56MHz (teoretycznie od 640kHz do 3.84MHz)
- Częstotliwości próbkowania do 40kHz (teoretycznie nawet do 60kHz)
- Napięcie zasilania: 1.2V
- Wbudowany koprocesor WOLA (*Weighted Overlap-Add*) odpowiadający za realizację transformacji Fouriera
- Dodatkowy 10-bitowy przetwornik LSAD (*Low-Speed Analog-Digital*) o typowej częstotliwości próbkowania 1.6kHz
- **Programowanie wyłącznie w assemblerze**

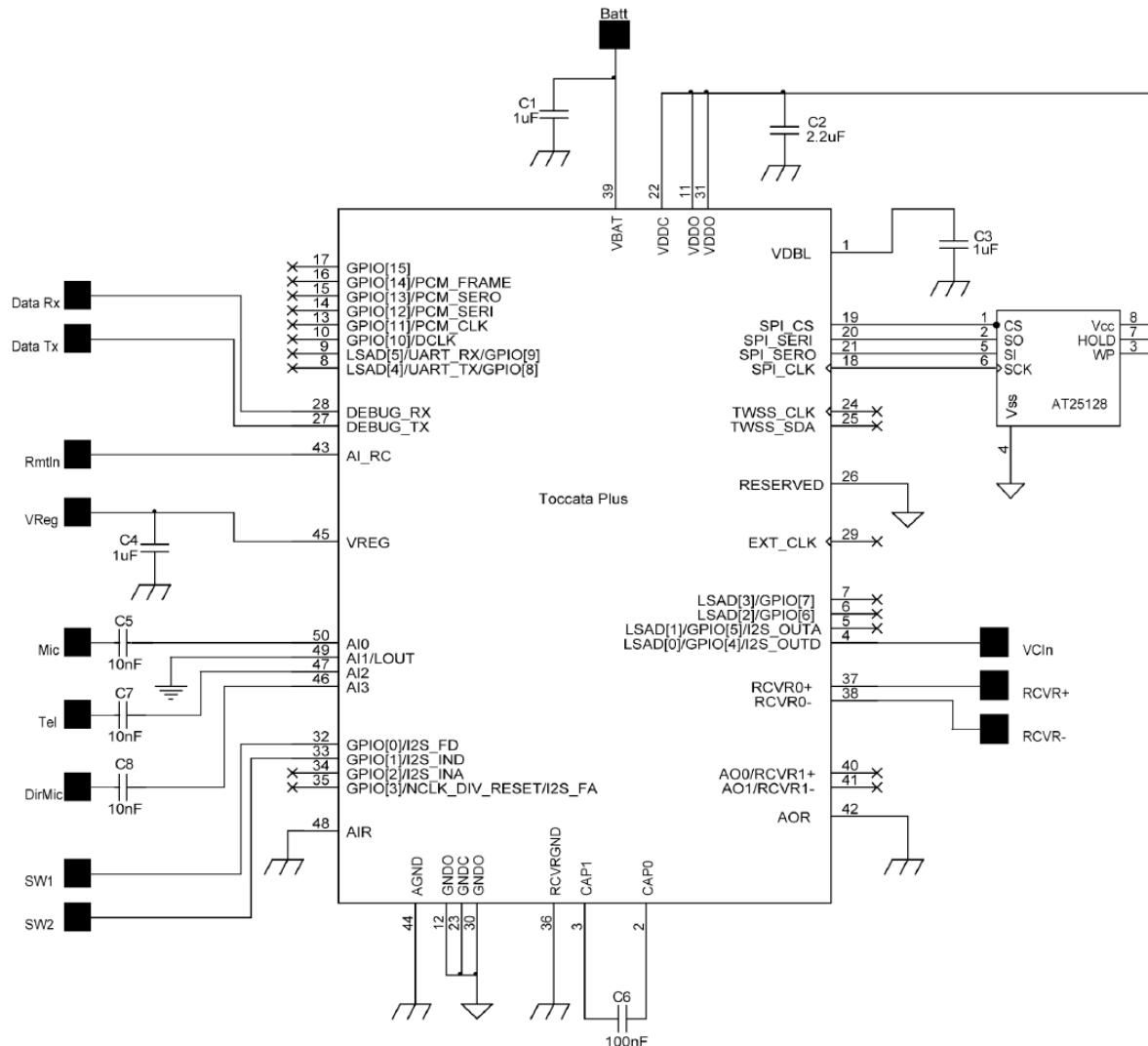
Częstotliwości próbkowania

ADC_CTRL_SAMPLE_FREQ	MCLK=640 kHz SYS_CLK= n*MCLK	MCLK=1.28 MHz SYS_CLK= n*MCLK	MCLK=1.92 MHz SYS_CLK= n*MCLK	MCLK=2.56 MHz SYS_CLK= n*MCLK	MCLK=3.84 MHz SYS_CLK= n*MCLK
0x0	10000	20000	30000	40000	60000
0x1	8888.889	17777.78	26666.67	35555.56	53333.33
0x2	8000	16000	24000	32000	48000
0x3	7272.727	14545.45	21818.18	29090.91	43636.36
0x4	6666.667	13333.33	20000	26666.67	40000
0x5	6153.846	12307.69	18461.54	24615.38	36923.08
0x6	5714.286	11428.57	17142.86	22857.14	34285.71
0x7	5333.333	10666.67	16000	21333.33	32000

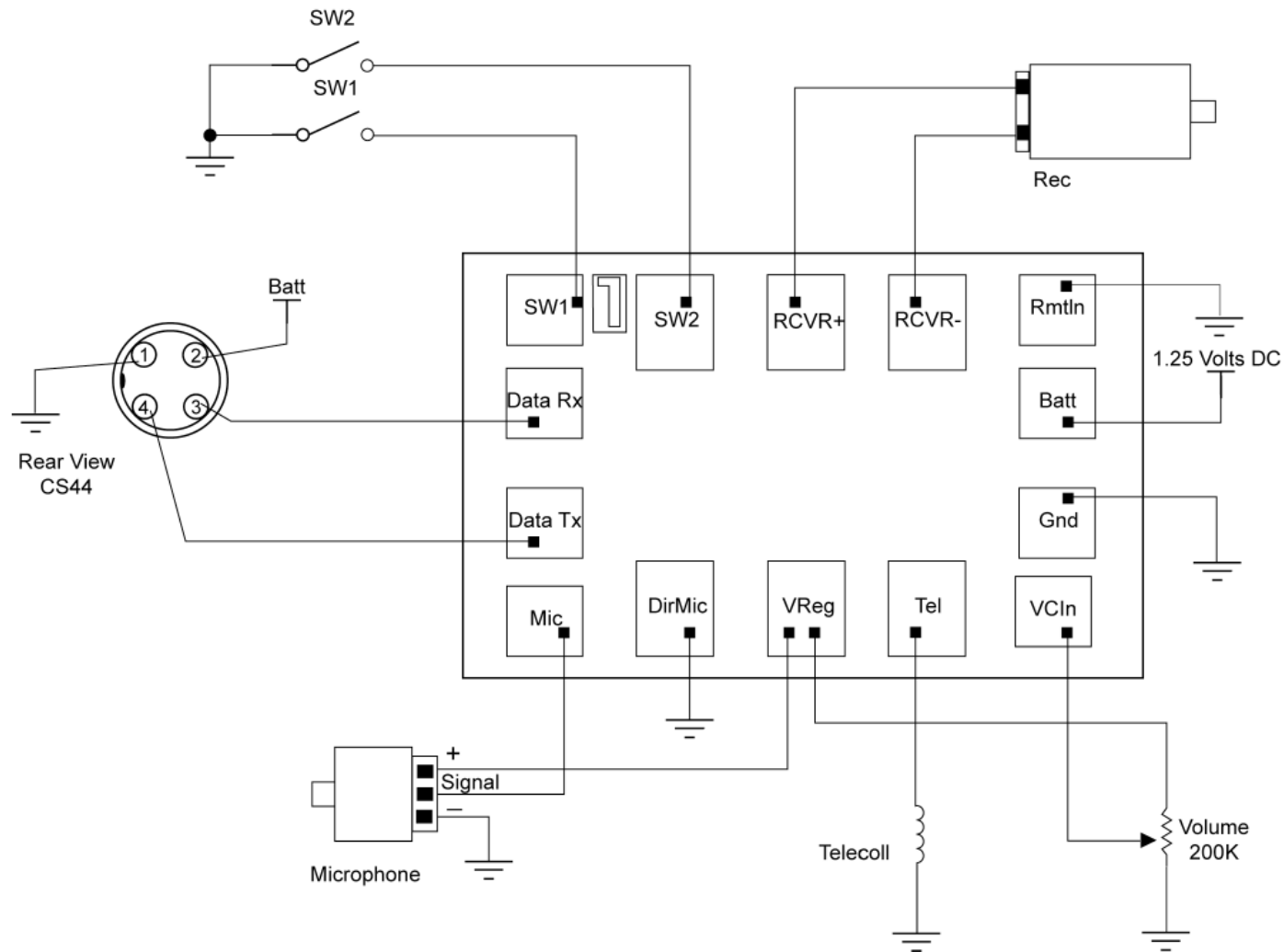
Budowa



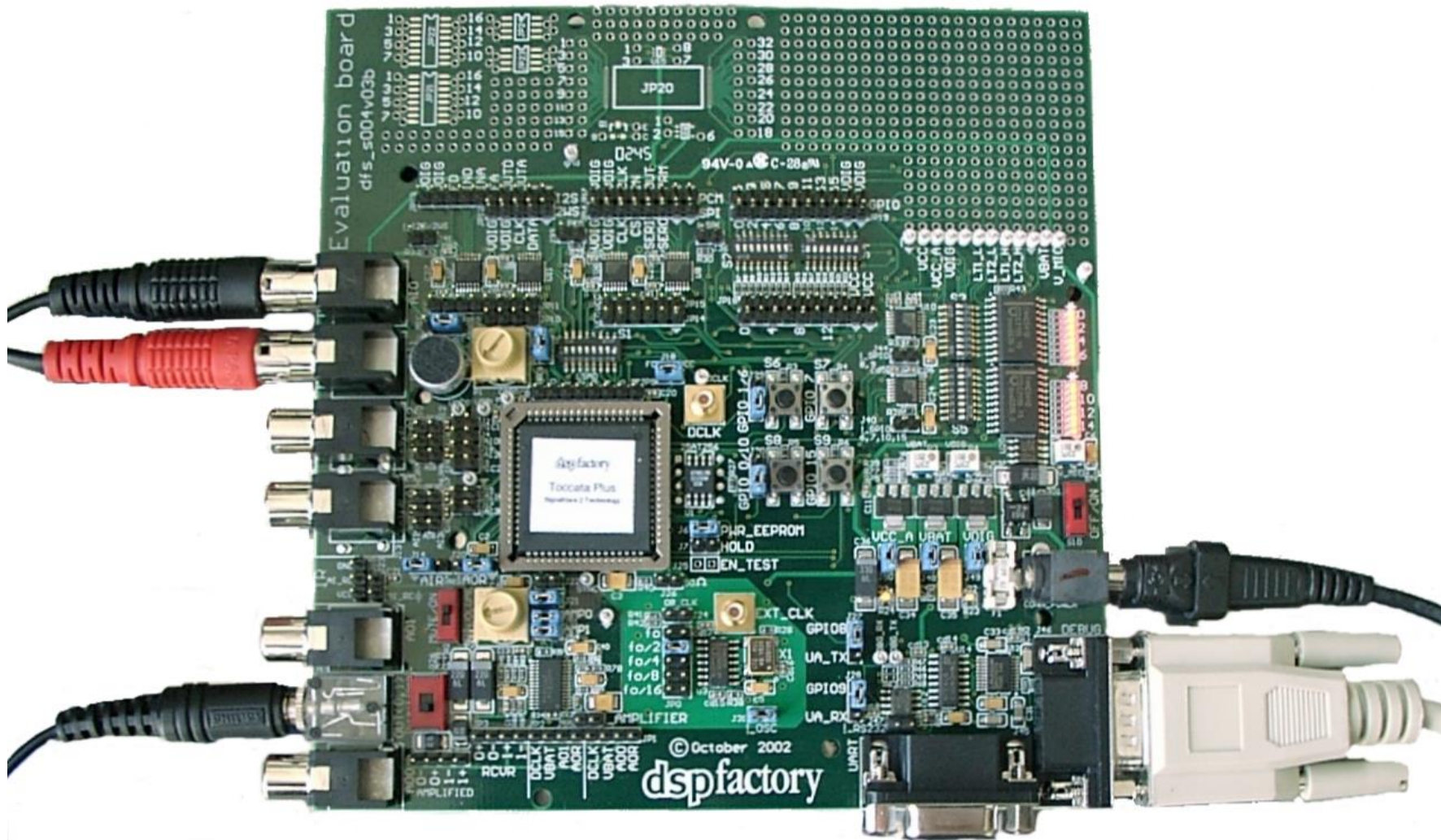
Schemat wewnętrzny procesora



Schemat typowego aparatu



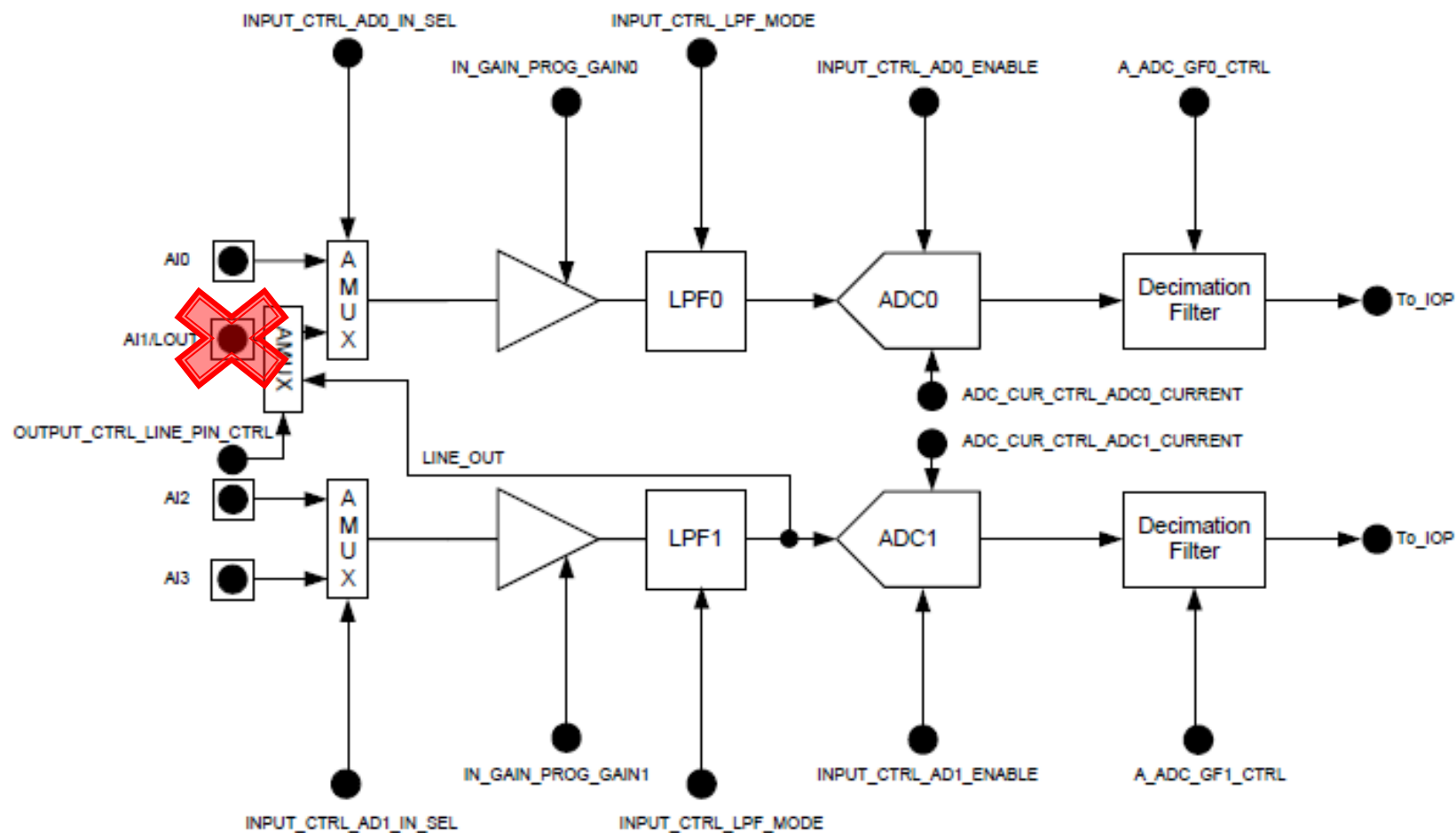
Zestaw uruchomieniowy



Bloki wejściowe

- Dwa 16-bitowe przetworniki A/C z ośmiokrotnym nadpróbkowaniem
- Konfigurowalne przedwzmacniacze i filtry antyzakładowe (antyaliasingowe)
- Cyfrowe filtry dolnoprzepustowe (decymacyjne) dziewiątego rzędu
 - usuwanie składowej stałej

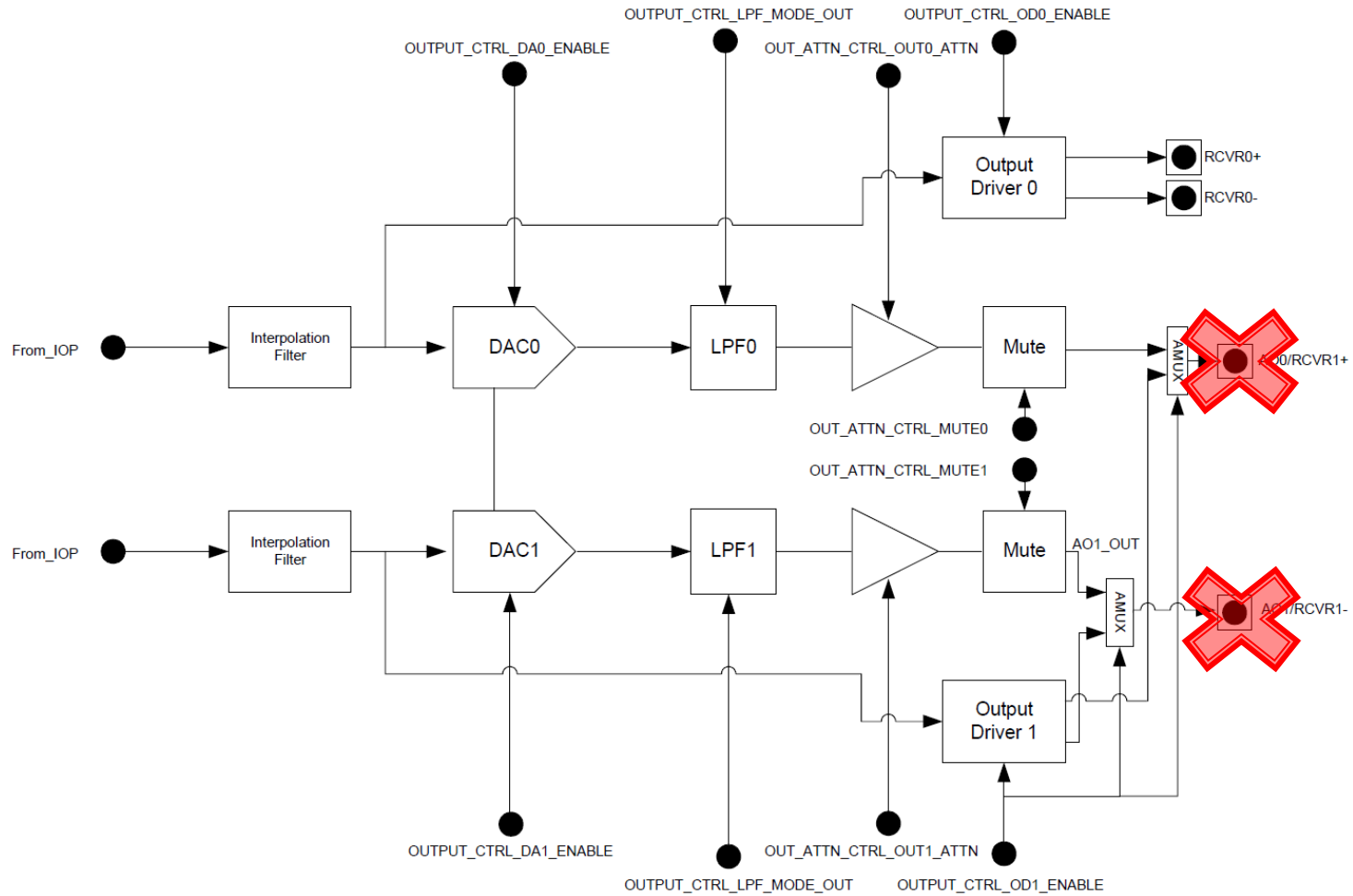
Bloki wejściowe



Bloki wyjściowe

- Dwa 16-bitowe przetworniki C/A
- Konfigurowalne filtry przeciwzakładowe
- Bezpośrednie wyjście cyfrowe (ang. *Direct Digital Output*)
 - eliminuje konieczność stosowania dodatkowych wzmacniaczy sygnału przy korzystaniu z pasywnych głośników (receiverów)
 - realizuje funkcję wzmacniacza klasy D
- Dwa wyjścia analogowe

Bloki wyjściowe



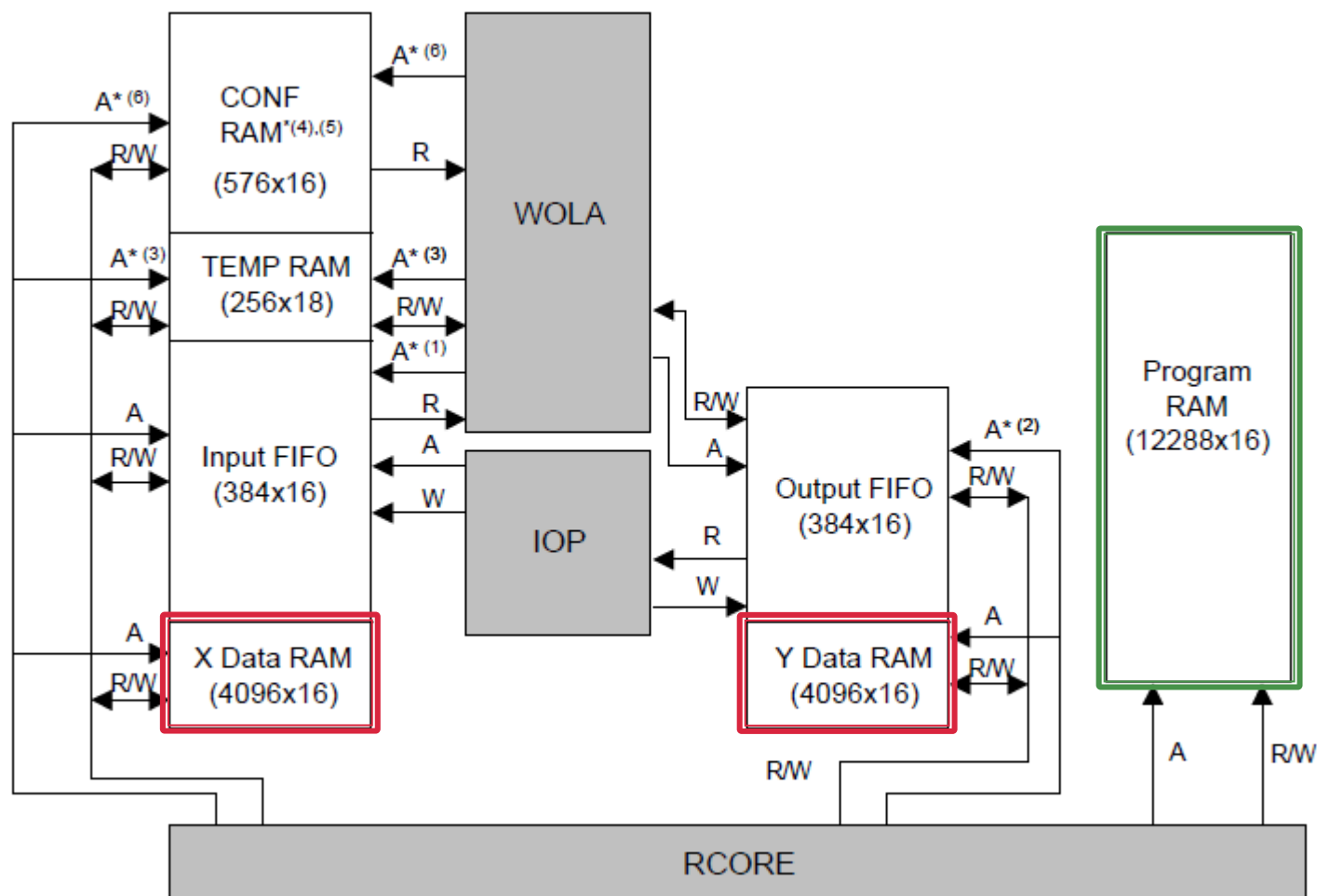
Podprocesor RCore

- 16-bitowym procesor stałoprzecinkowy
- wbudowane procedury przyspieszające amplitudową obróbkę sygnałów
- sprawuje nadzór nad funkcjonowaniem całego systemu
- 40-bitowy akumulator podzielony na trzy podrejstry
- osiem rejestrów adresowych (Ro-R7) 16-bitowych
- dwa rejestry kontrolne (LCo i LC1)
- cztery rejestry związane bezpośrednio z wbudowanymi w procesor instrukcjami mnożenia

Podprocesor WOLA

- Układ zmiennoprzecinkowy mający za zadanie transformować sygnał z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości i odwrotnie
 - posiada regulowane parametry filtrów (np. liczba pasm, długość FFT, liczba kanałów)
 - opóźnienie grupowe wprowadzane przez procesor jest bardzo małe (poniżej 4ms przy 16 pasmach)
- Przeznaczony do szybkiej obróbki amplitudy i fazy widma sygnałów
- Wydajność tego procesora określana jest jako 5MIPS/MHz

Architektura pamięci



Przetwarzanie sygnałów

- dane z bufora wejściowego są transformowane do dziedziny częstotliwości i zapisywane w postaci zespolonej, proces określa się mianem analizy (ang. *analysis*), zajmuje się tym procesor WOLA;
- obliczenie parametrów przetwarzania sygnału w poszczególnych pasmach (tzw. *gain calculation*), wykonywane przez Rcore;
- uwzględnienie obliczonych parametrów (tzw. *gain application*), wykonywane przez WOLA;
- transformacja odwrotna sygnału, określana mianem syntezy (tzw. *synthesis*), czym znowu zajmuje się procesor WOLA.
- ponadto przed transformacją oraz po transformacji odwrotnej możliwe jest dodatkowe przetwarzanie sygnałów w dziedzinie czasu

Przykładowe zastosowania

- Aparat słuchowy w oprawce okularów
- Subminiaturowy Korektor Mowy
- Cyfrowa Krtań Elektroniczna

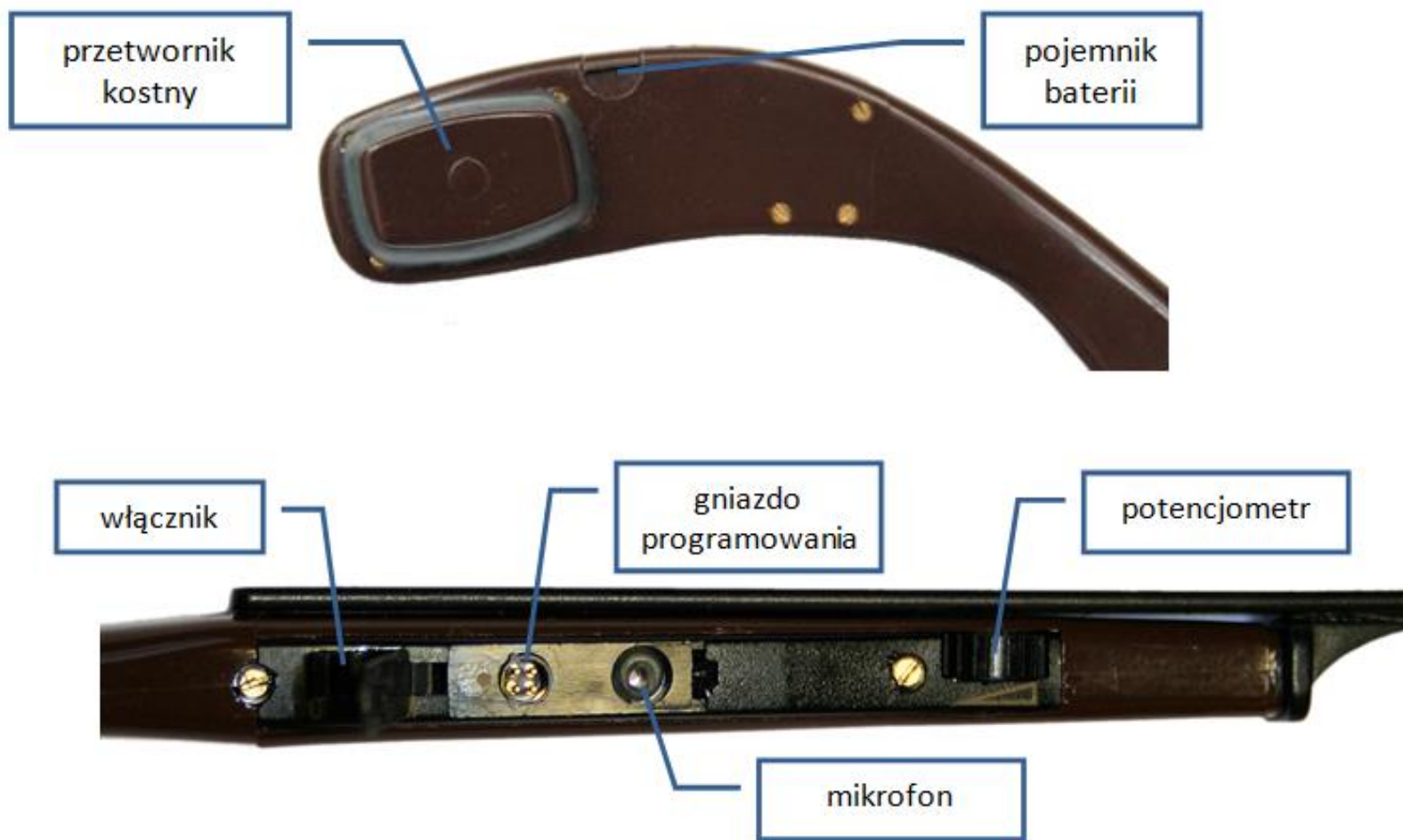
Aparat słuchowy w oprawce okularów

Obudowa

- Kompletny aparat słuchowy montowany w oprawce okularów Contact Star EVO1 firmy BHM

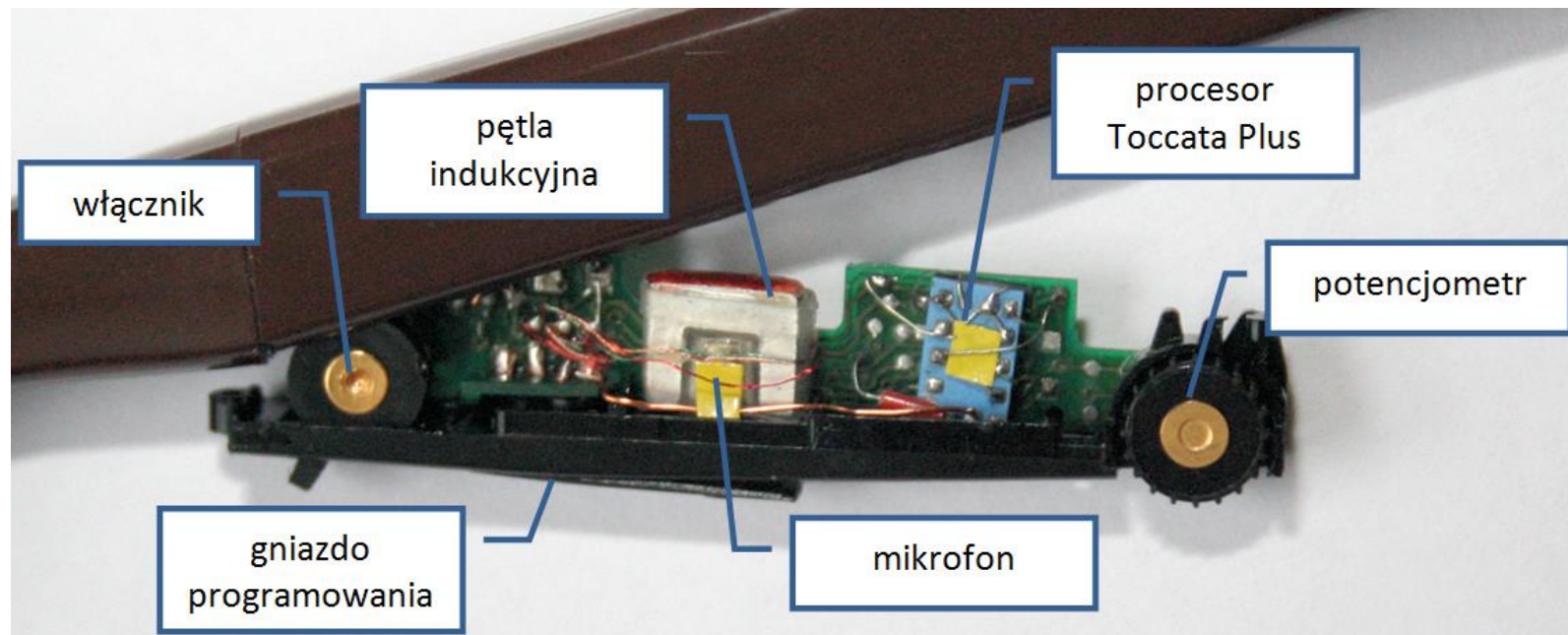


Konstrukcja



Problemy

- producent okularów założył użycie we wbudowanym w zausznik aparacie procesora DSP GA3216 firmy Gennum Corporation
- konieczne było przystosowanie elektroniki wbudowanego aparatu słuchowego do procesora Toccata Plus



Subminiaturowy Korektor Mowy

Jąkanie

- Jąkanie jest jedną z częściej spotykanych wad mowy
 - ok. 0,5-1% populacji każdego kraju to osoby jękające się
- Główną przyczyną jękania są defekty kontrolnych pętli sprzężenia zwrotnego



Audytywne sprzężenie zwrotne

- Modyfikacje wprowadzane w pętli audytywnego sprzężenia zwrotnego mogą poprawiać płynność mowy
 - maskowanie sygnału mowy szumem (MAF – *Masked Auditory Feedback*)
 - opóźnianie sygnału mowy (DAF – *Delayed Auditory Feedback*)
 - transpozycja widmowa sygnału mowy (FAF – *Frequency Altered Feedback*)

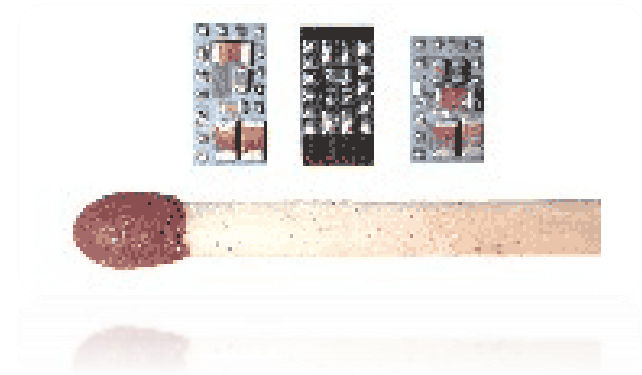
Cyfrowy Korektor Mowy

- wynalazek prof. A. Czyżewskiego i dr M.R. Mieszkowskiego
- opracowany na początku lat 90. XX wieku
- wykorzystuje algorytmy DAF i FAF



Korektor subminiaturowy - założenia

- nie jest konieczne korzystanie z dwóch aparatów (dwóch „słuchawek”)
 - ucho dominujące
- użycie typowych algorytmów DAF, FAF, DAF+FAF
 - a także nowych, bardziej złożonych
- dodatkowe algorytmy
 - procesor dynamiki
 - korektor barwy
 - klucz głosowy
 - sygnalizacja stanu baterii

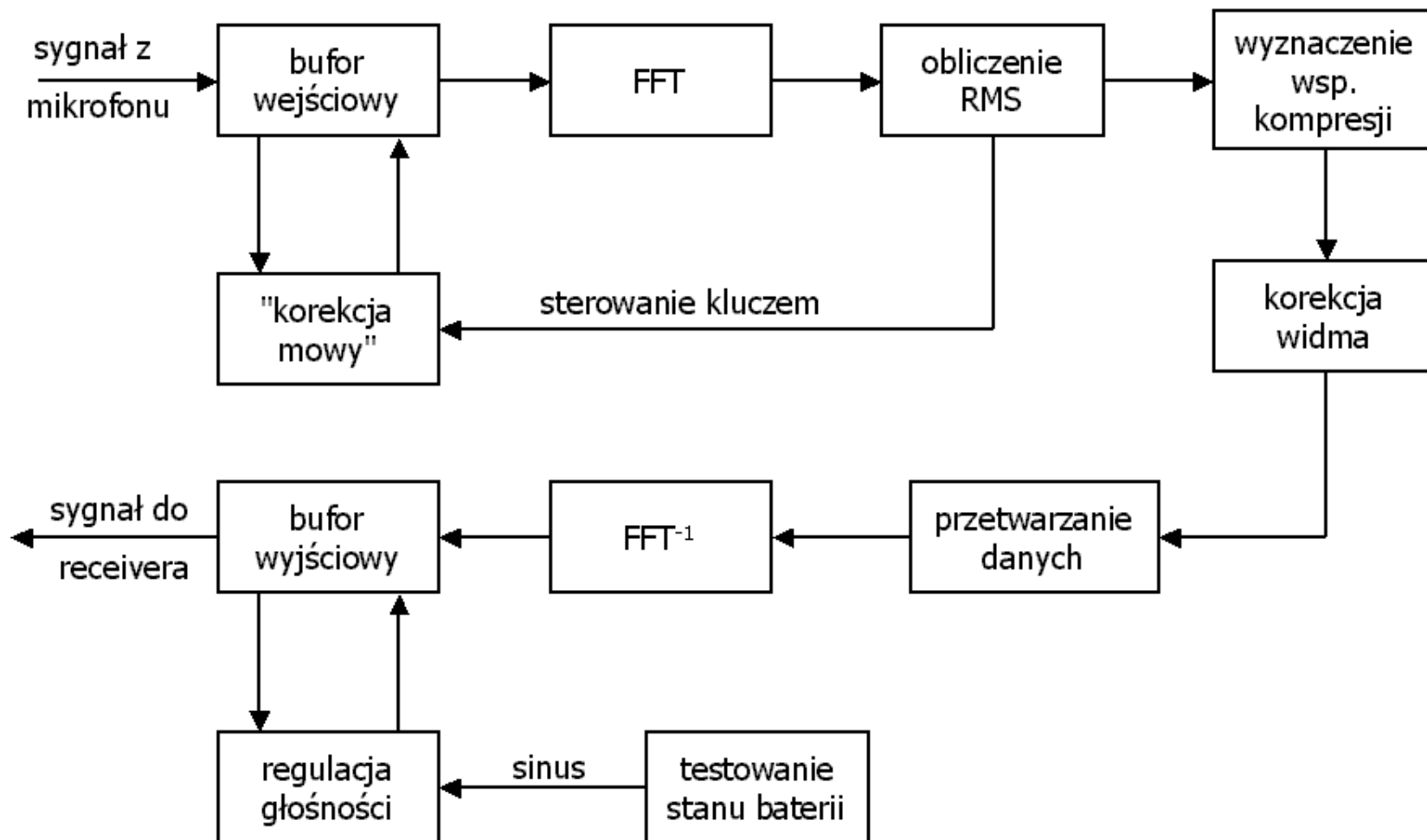


Subminiaturowy Korektor Mowy

- częstotliwość zegara: 1,92MHz;
 - przy częstotliwości 1,28MHz aplikacje realizujące FAF działały nieprawidłowo, konieczne było wykonanie zbyt wielu obliczeń w stosunku do możliwości procesora taktowanego zegarem o tej częstotliwości
- częstotliwość próbkowania: 16kHz;
- parametry procesora WOLA
 - praca odbywa się na blokach danych o długości 8 próbek,
 - długość okna analizy wynosi 128 próbek,
 - długość FFT: 32,
 - współczynnik nadpróbkowania i współczynnik decymacji równe 4.



Przetwarzanie dźwięku



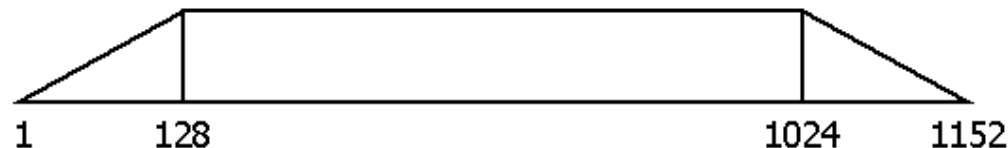
Algorytmy

■ DAF

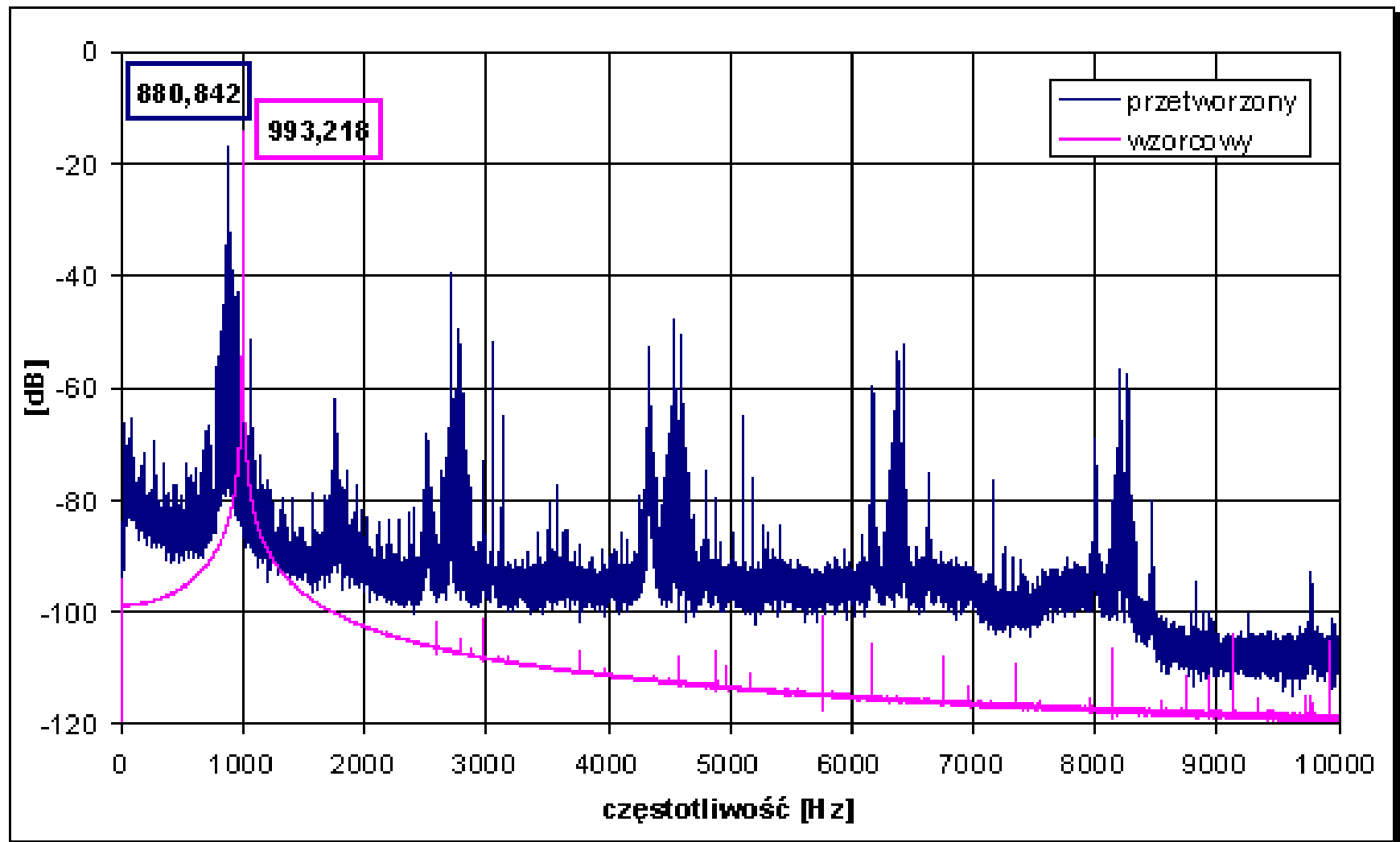
- Bufory zlokalizowane w pamięciach X oraz Y
- Maksymalne opóźnienie: 3200 próbek
 - przy częst. próbk. 16kHz -> 400ms

■ FAF

- W pamięci X umieszczony jest bufor przejściowy o nominalnej długości 1024 próbek
- Po buforze przejściowym poruszają się niezależnie dwa wskaźniki (zapisu i odczytu)



Algorytm FAF

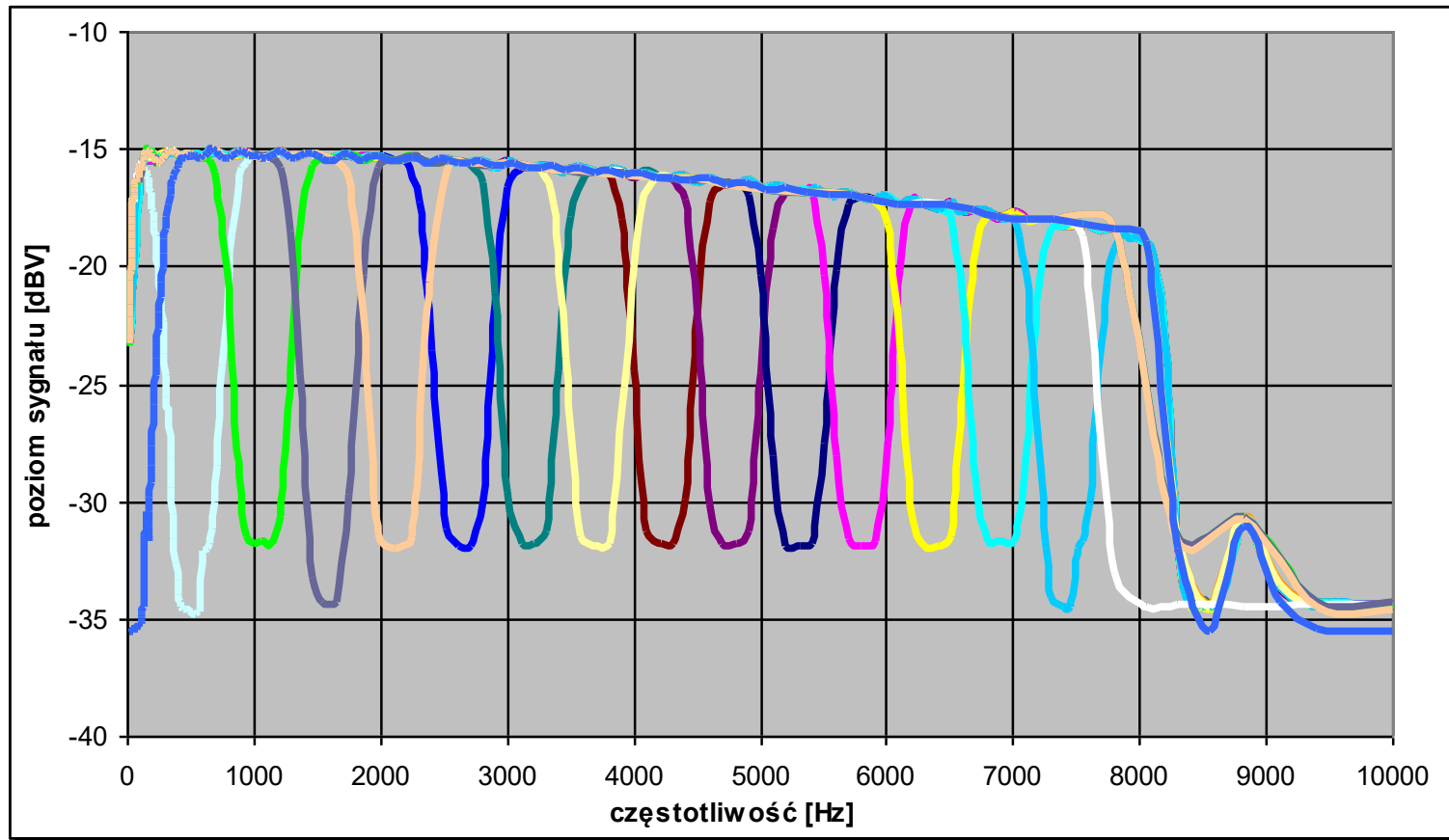


Dodatkowe algorytmy

- Procesor dynamiki
- Klucz głosowy
- Regulacja głośności
- Testowanie stanu baterii
- Korekcja barwy

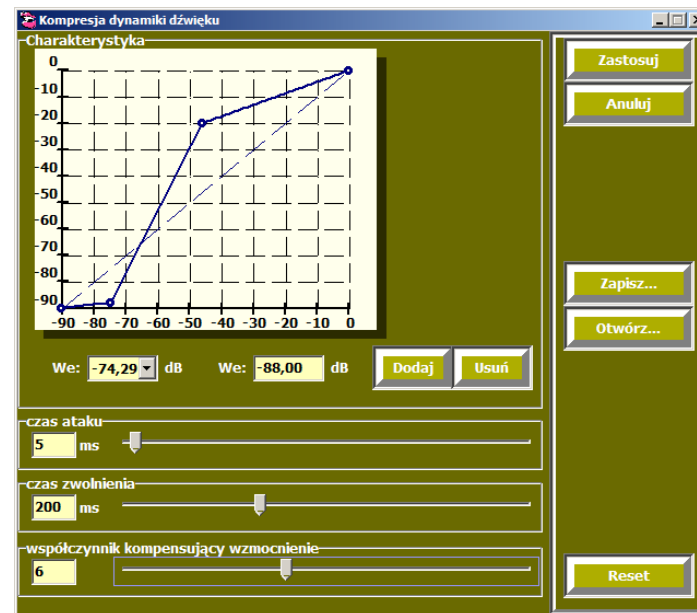
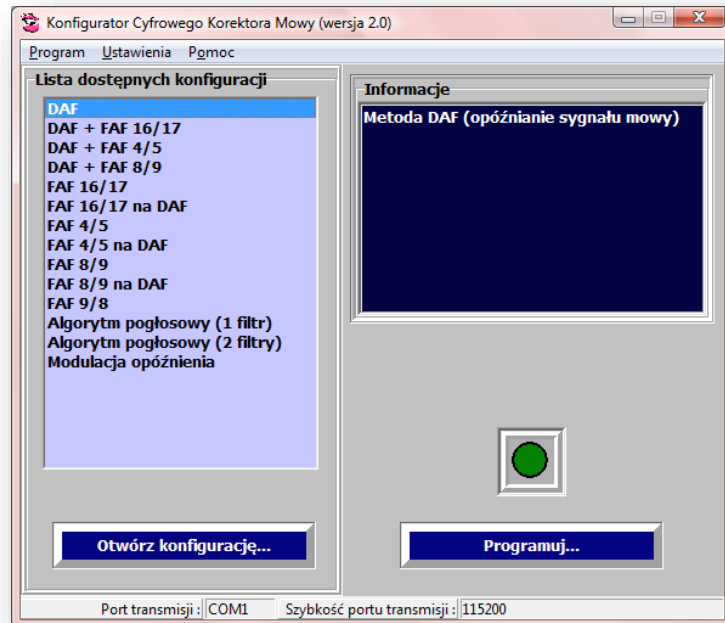
Dodatkowe algorytmy

- Korekcja barwy



Programowanie urządzenia

- zmiana parametrów z poziomu komputera PC
 - przystawka podłączana do portu szeregowego komputera
 - dodatkowe oprogramowanie
 - umożliwia zmiany wszelkich parametrów korektora
 - wstępne ustawienia dobrane na podstawie eksperymentów



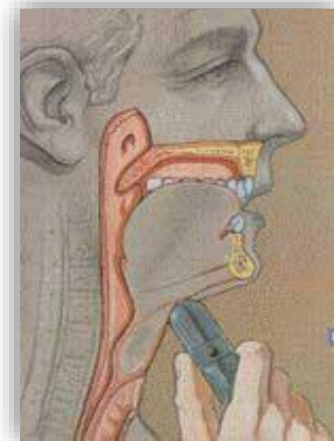
Pobór prądu

PROGRAM	TYPOWY POBÓR PRĄDU [μ A]	MAKSYMALNY POBÓR PRĄDU [μ A]
zmodyfikowany algorytm DAF –bez korekcji mowy, z wyłączonym kompresorem, korekcją barwy i kluczem głosowym, częst. zegara 1,28MHz	200	800
zmodyfikowany algorytm DAF –bez korekcji mowy, z wyłączonym kompresorem, korekcją barwy i kluczem głosowym, częst. zegara 1,92MHz	230	
zmodyfikowany algorytm DAF –bez korekcji mowy, ale z wyłączonym kompresorem i korekcją barwy, częst. zegara 1,92MHz	310	
typowy algorytm DAF	330	
typowy algorytm FAF (niezależnie od wielkości przesunięcia mowy)	320	
algorytm modulacji opóźnienia	330	
algorytm pogłosu (wersja z dwoma filtrami grzebieniowymi)	330	

Cyfrowa Karta Elektroniczna

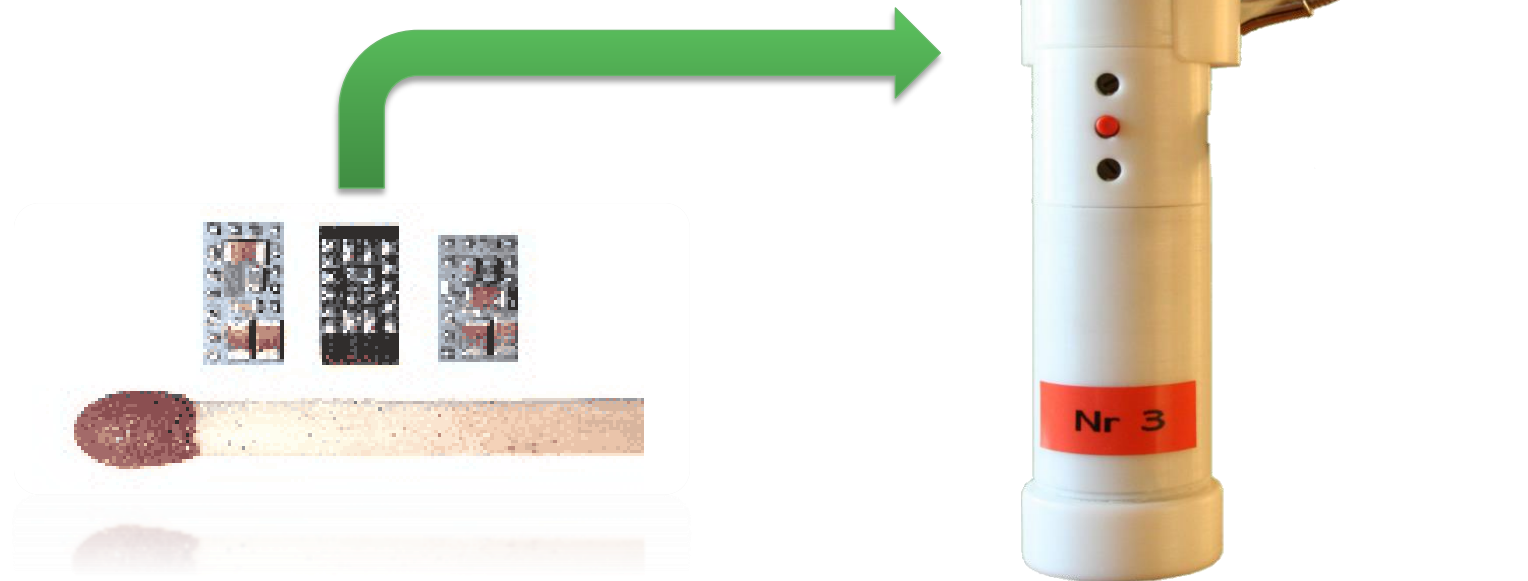
Sztuczna krtąń

- zawiera wyłącznie elementy elektromechaniczne – generator impulsów oraz cewkę z nurnikiem uderzającym w membranę
- generowane drgania są wprowadzane do jamy ustnej i gardła poprzez przyłożenie urządzenia do skóry szyi
- na mowę nałożony jest szum (warkot) urządzenia, co negatywnie wpływa na jej zrozumiałość. Mowa brzmi przy tym bardzo sztucznie i monotonna. W efekcie zrozumiałość mowy szacuje się na ok. 60%.



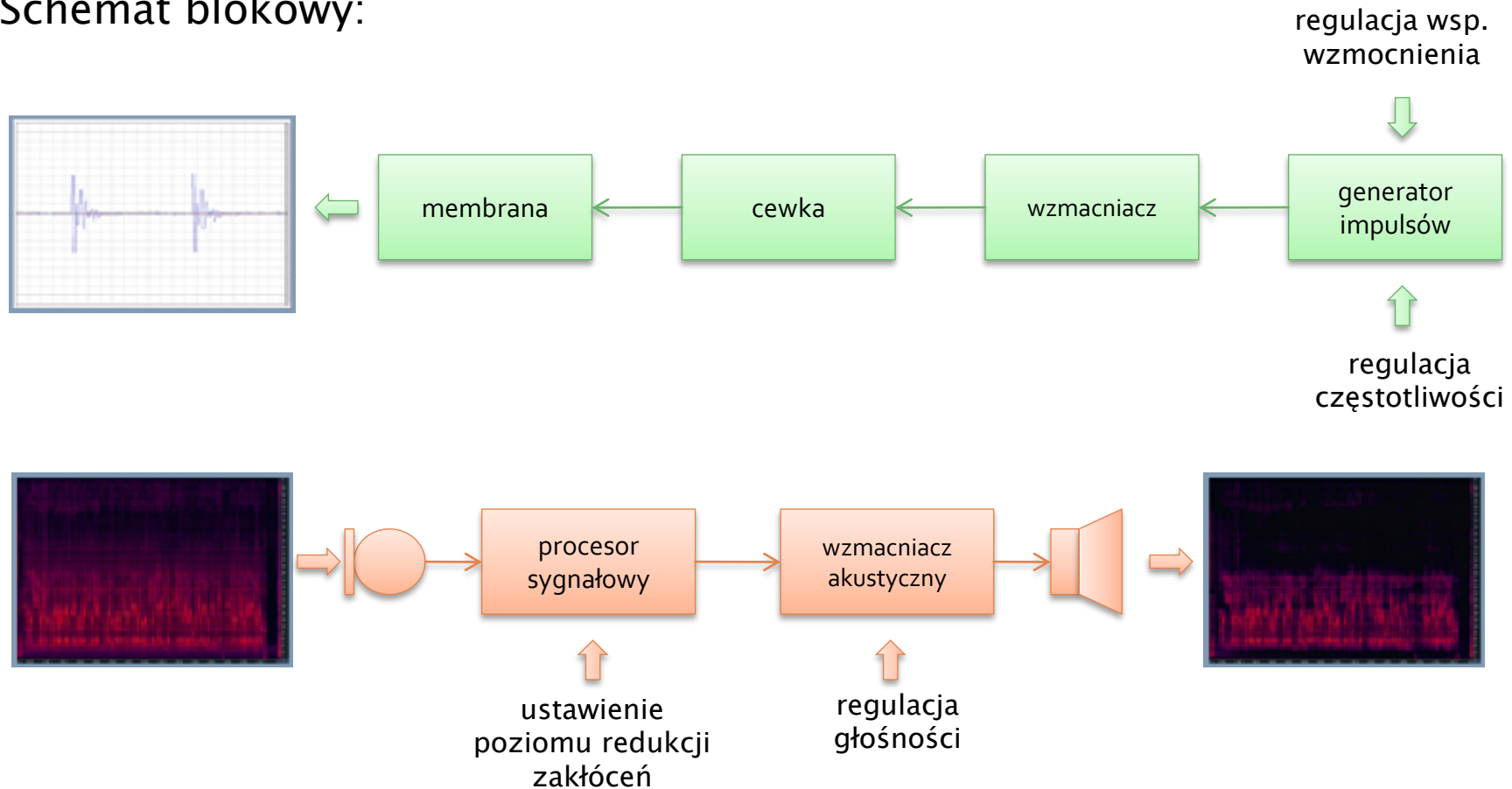
Cyfrowa Krtań Elektroniczna

- dzięki zastosowaniu cyfrowego przetwarzania sygnałów możliwe jest zredukowanie poziomu zakłóceń i poprawa jakości generowanej mowy



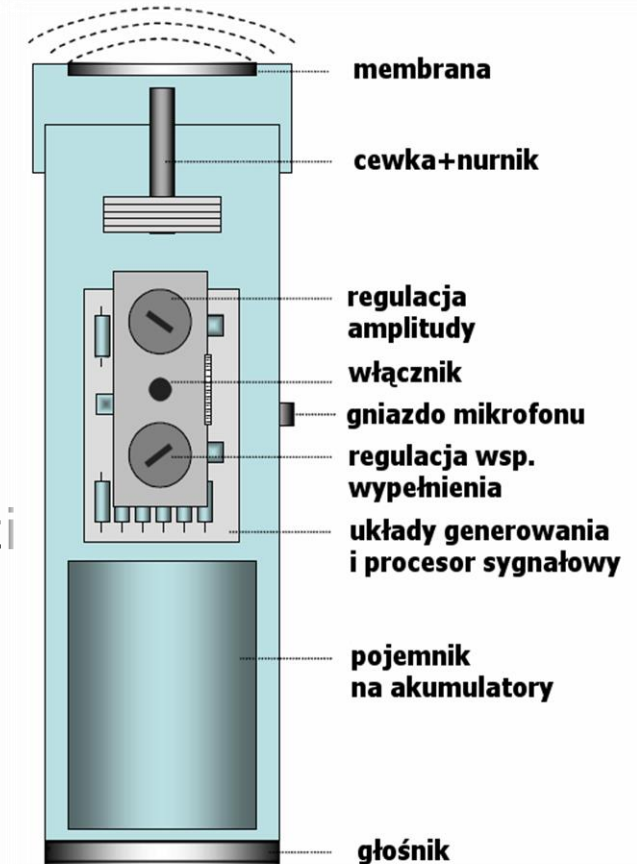
Cyfrowa Krtań Elektroniczna

Schemat blokowy:



Cyfrowa Krtań Elektroniczna

- Zastosowane algorytmy:
 - **redukcja warkotu wibratora**
 - odejmowanie widmowe
 - filtracja grzebieniowa
 - **eliminacja sprzężeń zwrotnych**
 - modulacja opóźnienia - wprowadza wolnozmienną modulację częstotliwości
 - transpozycja widmowa – przesuwamowę na skali częstotliwości

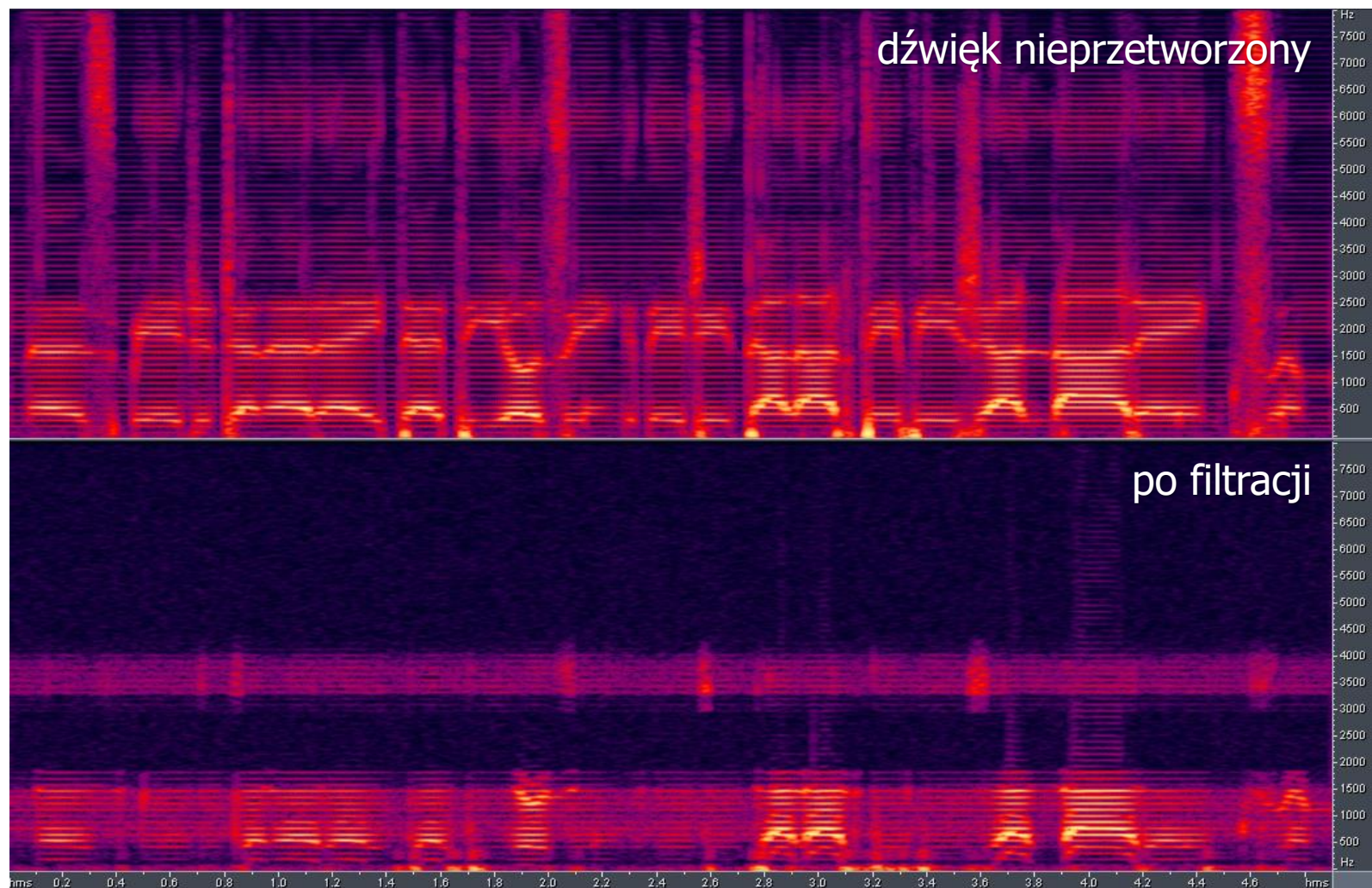


Odejimowanie widmowe

■ problemy

- zarówno mowa, jak i zakłócenia mają to samo źródło i są ze sobą ściśle skorelowane dla dźwięcznych głosek
- widmo zakłóceń musi być estymowane z sygnału rejestrowanego, gdy pacjent ma zamknięte usta
- pacjenci muszą mieć zamknięte usta przez pierwszą sekundę po włączeniu sztucznej krtani

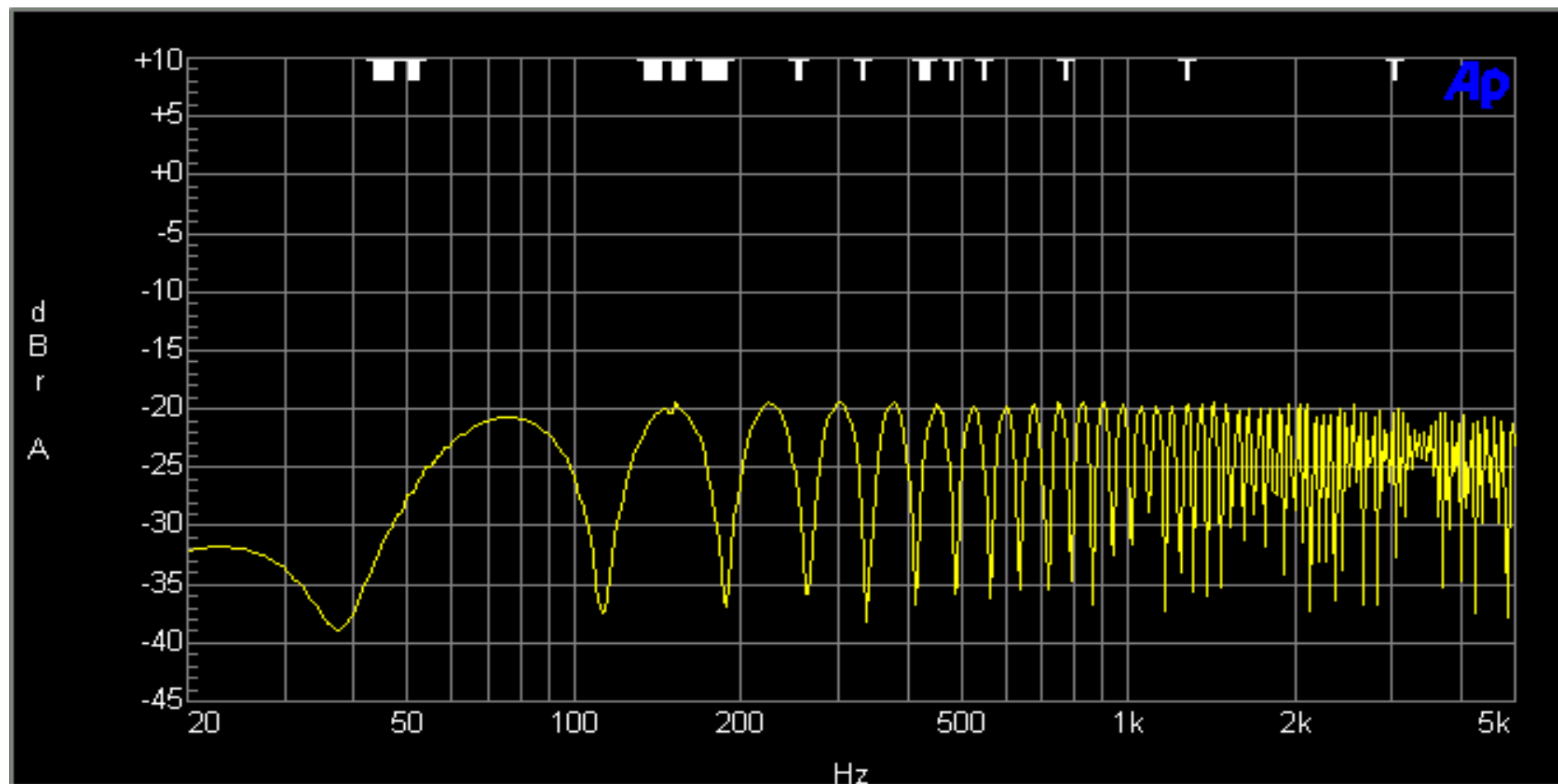
Odejmovanie widmowe



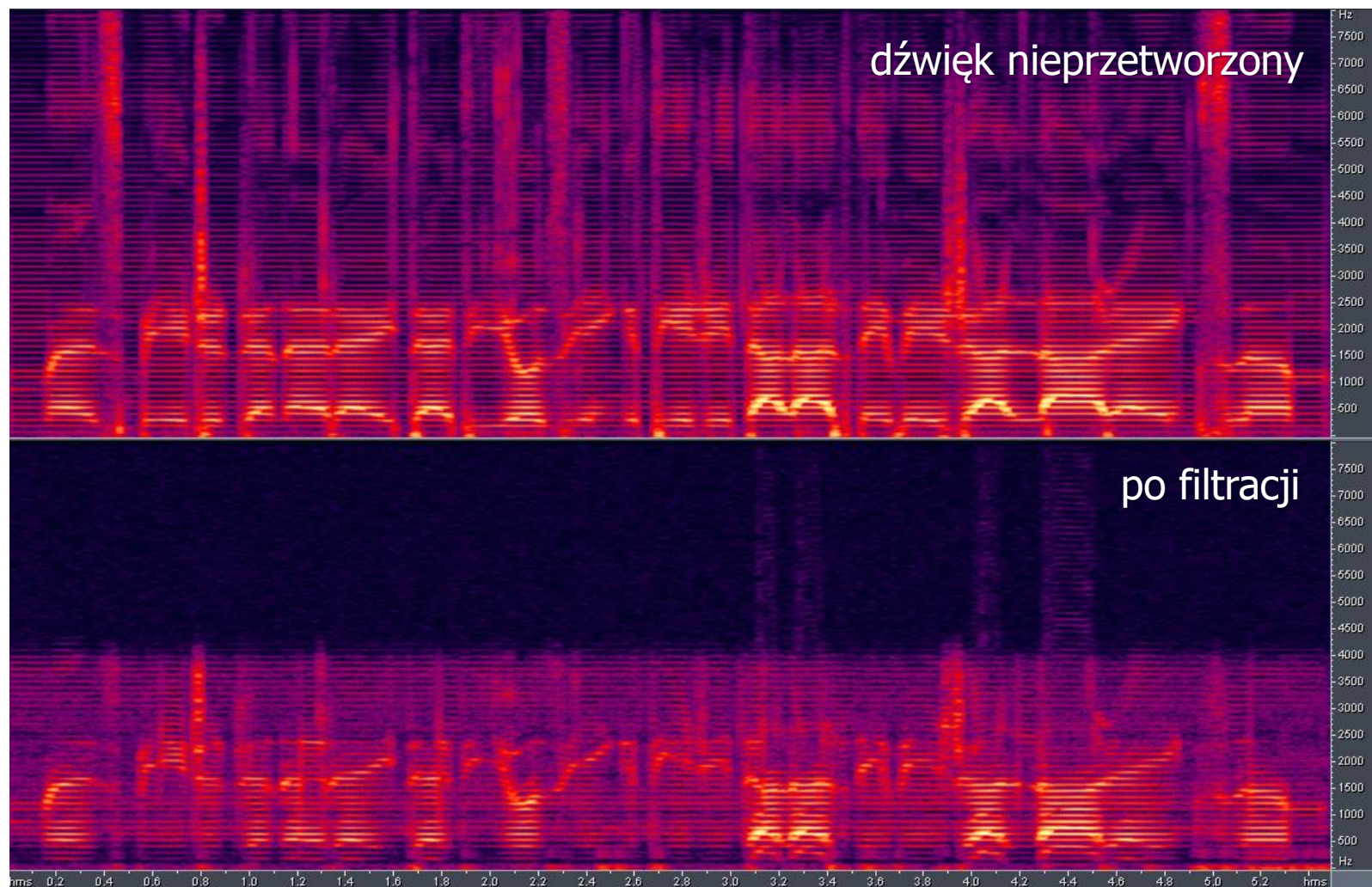
Filtracja grzebieniowa

- prostszy algorytm
- charakterystyka widmowa filtru umożliwia precyzyjne wstrojenie się w maksima sygnału zakłócającego
- główna zaleta: nie jest konieczne estymowanie widma zakłóceń, więc pacjent może mówić natychmiast po włączeniu urządzenia

Filtracja grzebieniowa



Filtracja grzebieniowa



Eliminacja sprzężenia zwrotnego

- problem ze sprzężeniami zwrotnymi
 - niewielka odległość między mikrofonem i głośnikiem (ok. 15-20cm)
- testowane rozwiązania
 - filtr typu notch
 - modulacja opóźnienia
 - transpozycja widmowa

Inne rozwiązania

Inne procesory

■ <https://www.onsemi.com/>

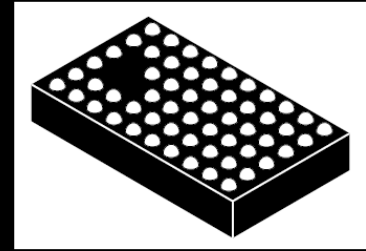
Product Group 	Status	CAD Models	Compliance 	DSP Core (bits) 	Coprocessor Type 	MIPS 	Dynamic Range (dB) 	RAM (kB) 	I _{standby} Typ (μA) 	Audio Inputs 	Audio Outputs 	Package Type	MSL Type	MSL Temp (°C)	Reference Price
 BELASIGNA 300 24 bit Audio Processor fo...  Datasheet	Active, Not Rec		Pb A H P	24	HEAR	-	110	-	60	4	2	WLCSP-35	1	260	Price N/A

Product Group 	Status	CAD Models	Compliance 	WDR Channels 	Graphic EQ Bands 	Program Modes 	Advanced Algorithms 	Acoustic Indicators 	Other Features 	Wireless Standards 	Package Type	MSL Type	MSL Temp (°C)	Reference Price
 EZAIR 7111 Audio Processor, DSP for...  Datasheet	Active		Pb A H P	8	33	8	Automatic Adaptive Directionality	Tone Sequences	Digital Volume Control, Datalogging	~, null	SIP-19	3	260	Price N/A
 EZAIR 7160 SL Audio Processor, Wireless...  Datasheet	Active		Pb A H P	16	33	8	Adaptive Feedback Cancellation, Adaptive Noise Reduction	Voice Alerts	Digital Volume Control	2.4 GHz Proprietary	SIP-57	3	240	Price N/A
 EZAIR 8300 High-End Audio DSP for...  Datasheet	Active		Pb A H P	~NA~	~NA~	~NA~	~NA~	~NA~	~NA~	Bluetooth® Low Energy	VFBGA78 5×5, WLCSP87 2.643×3.053×0.354	3, 1	260	Price N/A
 EZAIR 8310 Ezair® 8310 is an...  Datasheet	Active		Pb A H P	~NA~	~NA~	~NA~	~NA~	~NA~	~NA~	~NA~	SIP49 3.00×5.25	3	260	Price N/A

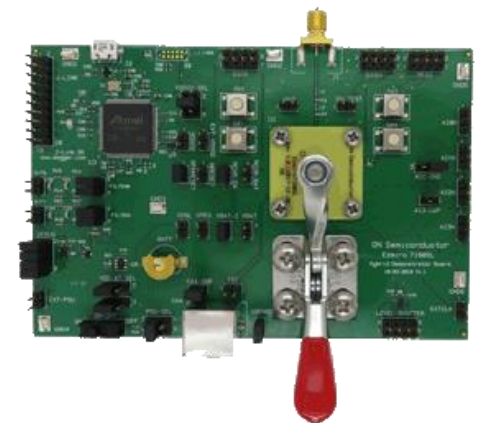
Zaawansowane możliwości

- Nowe interfejsy komunikacji - np. BT
- Bardziej wydajne procesory
- Specjalizowane podprocesory
- Wsparcie dla przetwarzania z wykorzystaniem AI

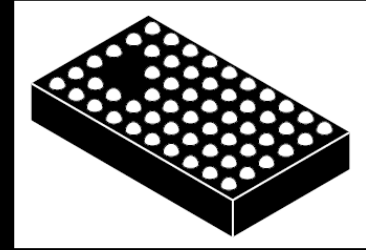
Ezairo 7160 SL Hybrid



- 375MIPS
- zegar: 1,28 - 15,36MHz
- pobór prądu: $<0,7\text{mA}@10,24\text{MHz}$
- cztery podprocesory
 - CFX Digital Signal Processor (DSP) (24-bitowy, stałoprzecinkowy)
 - HEAR Configurable Accelerator
 - Arm Cortex-M3
 - Filter Engine

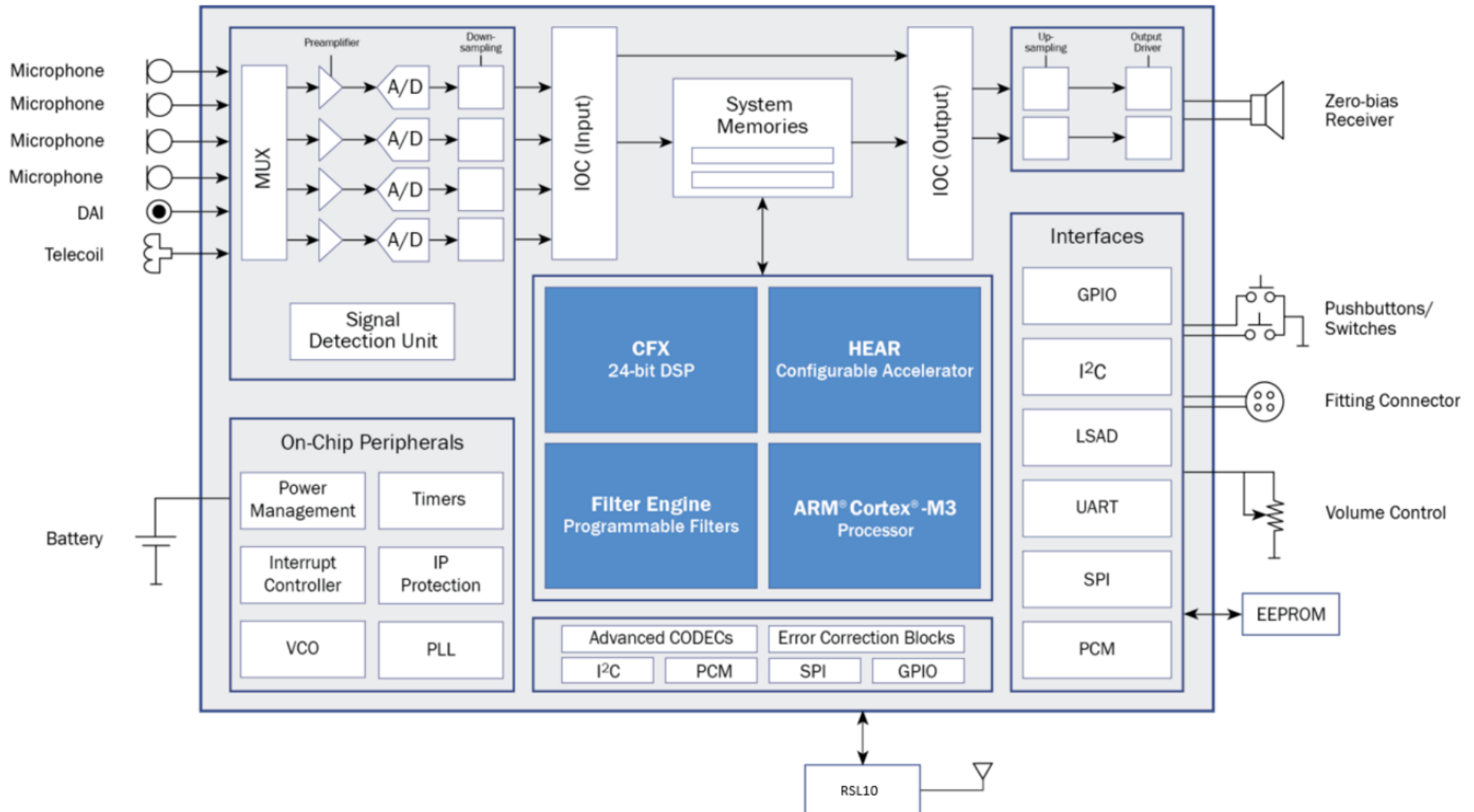
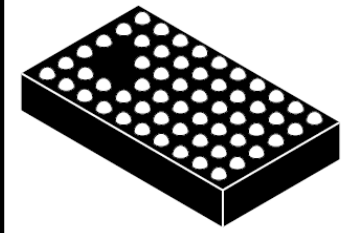


Ezairo 7160 SL Hybrid

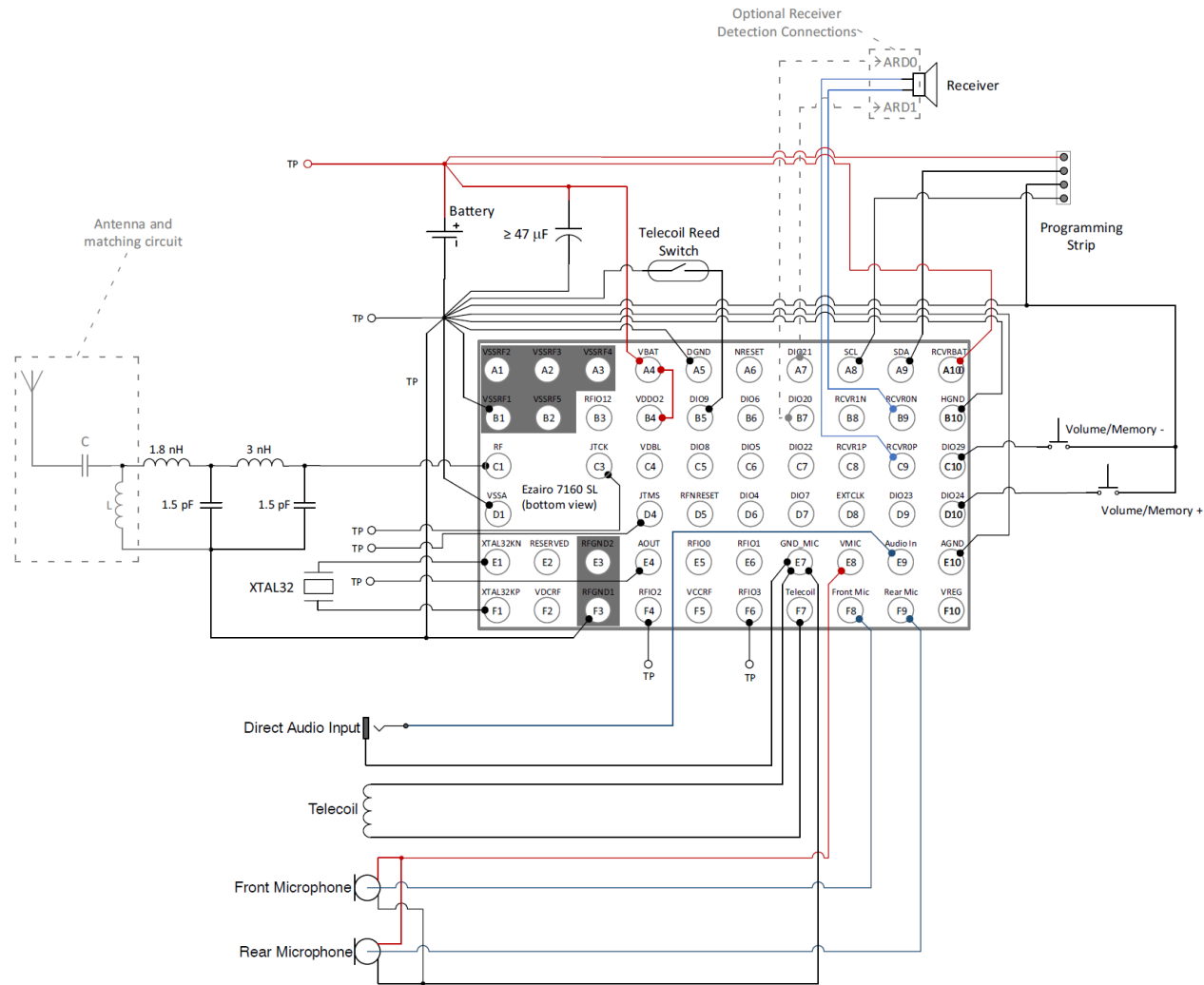
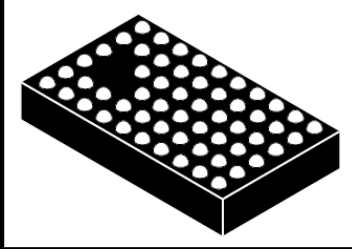


- HEAR
 - kompresja dynamiki
 - kształtowanie ch-ki kierunkowej
 - redukcja szumów
 - usuwanie echa
- Filter Design
 - implementacja filtrów IIR i FIR o maks. 320 wsp.

Ezairo 7160 SL Hybrid

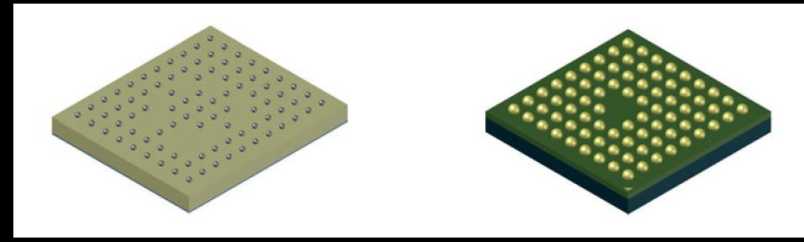


Ezairo 7160 SL Hybrid



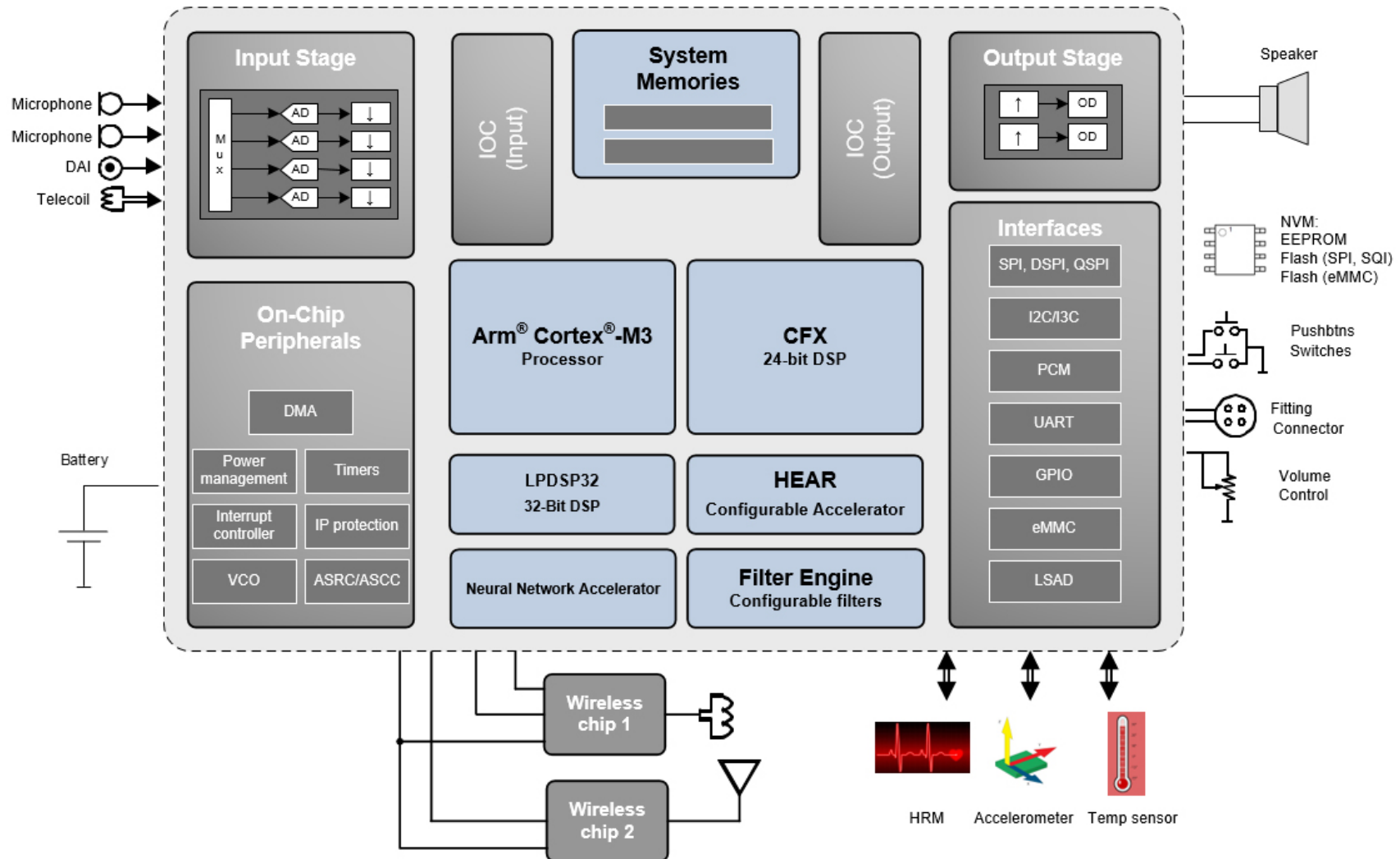
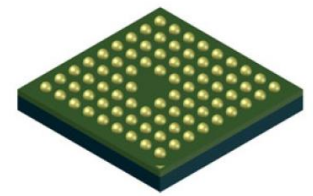
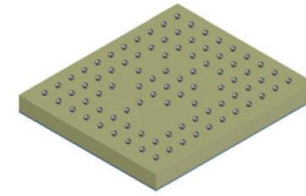
Ezairo 7160 SL Pre Suite Connection Diagram

Ezairo 8300



- zegar: 2,56 - 61,44MHz („clock throttling”)
- pobór prądu: <0,7mA@15,24MHz
- sześć podprocesorów
 - CFX DSP (24-bitowy, stałoprzecinkowy)
 - Arm Cortex-M3
 - HEAR Configurable Accelerator
 - Filter Engine
 - LPDSP 32 DSP (32-bitowy, stałoprzecinkowy)
 - Neural Network Accelerator

Ezairo 8300



Dziękuję za uwagę

KONIEC