

Jeden ze sposobów na poprawę jakości odbioru w radiokomunikacji

Informacje ogólne

Cyfrowa obróbka sygnałów jest szeroko stosowana w radiokomunikacji profesjonalnej i amatorskiej – w radiostacjach krótkofalowych i urządzeniach dodatkowych do nich. Najczęściej są to filtry cyfrowe. Włącza się je do wyjścia słuchawkowego lub głośnikowego odbiornika, a do gniazda wyjściowego filtru – dodatkowy głośnik, słuchawki lub dowolne inne urządzenie, np. kontroler TNC.

W urządzeniach pracujących z cyfrową obróbką sygnałów sygnał wejściowy jest przetwarzany przez przetwornik a/c na postać cyfrową. Otrzymane w ten sposób próbki są zapisywane w pamięci roboczej, poddawane odpowiednim przeliczeniom, a następnie ponownie przetwarzane na postać analogową przez przetwornik c/a. Omówienie algorytmów obliczeń umożliwiających realizację różnego rodzaju układów: filtrów, generatorów, wzmacniaczy, demodulatorów amplitudy, fazy i częstotliwości, modulatorów, koderów i dekodeków sygnałów itp. wykracza poza ramy tego artykułu. Do obliczeń mogą służyć w zasadzie dowolne procesory, jednak ze względu na wymaganą tu szybkość prze-

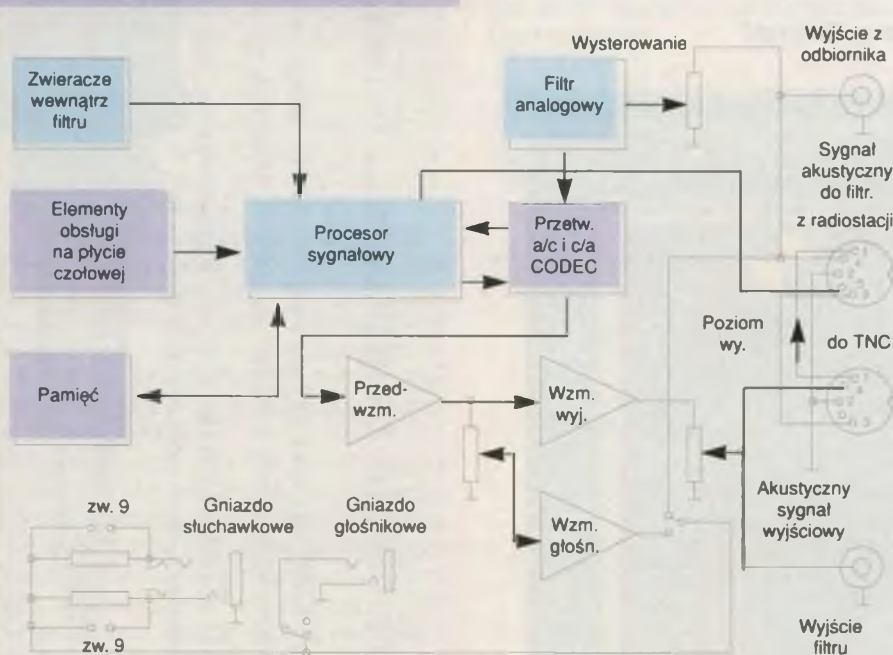
Filtry cyfrowe w radiokomunikacji amatorskiej (1)



Rys. 2.
Filtr cyfrowy
DSP_NIR



Rys. 3.
Filtr cyfrowy
MFJ-784B



Rys. 1. Schemat blokowy filtru cyfrowego MFJ-874B

tworzania są używane, dostosowane do tych zadań, procesory sygnałowe. Osiągnięte obecnie szybkości pracy procesorów umożliwiają obróbkę sygnałów akustycznych i ponadakustycznych, ale niektóre szybsze procesory także obrabiają sygnały w zakresach mniejszych częstotliwości pośrednich (np. 455 kHz). Schemat blokowy objaśniający zasadę pracy filtru cyfrowego przedstawiono na rys. 1.

Najważniejsze zalety układów cyfrowych to niezależność parametrów od temperatury i czasu (wpływu starzenia się elementów), brak konieczności strojenia oraz wysoki stopień powtarzalności parametrów – raz napisany i sprawdzony program daje się łatwo powielić i pracuje tak samo we wszystkich egzemplarzach urządzenia, w całym zakresie gwarantowanych przez producenta temperatur pracy i innych warunków zewnętrznych.

Filtry i generatory cyfrowe nie wymagają więc temperaturowej kompensacji elementów ani korekcji dostrojenia po upływie dłuższego czasu pracy. Technika cyfrowa umożliwia ponadto osiągnięcie paramet-

trów lepszych, niż ma to miejsce w układach analogowych; np. filtry cyfrowe nie wykazują tendencji do "dzwonienia" mimo większej stromości zboczy charakterystyki przenoszenia.

Nie oznacza to, że cyfrowa obróbka sygnałów jest cudownym lekarstwem na wszystkie niedogodności układów analogowych albo, że pozwala osiągnąć wyniki sprzeczne z ogólnie znanymi w elektronice prawami. Umożliwia jednak dalsze zbliżenie się do ustalonych przez nie granic teoretycznych. Nie należy też zapominać, że rozwiązania cyfrowe zawierają w dalszym ciągu elementy analogowe: przetworniki a/c i c/a, wejściowe i wyjściowe filtry dolnoprzepustowe oraz wzmacniacze, zapewniające wymagane przez przetworniki poziomy napięć. Również te układy wpływają na używane parametry.

Dalsze ograniczenia to szybkość przetwarzania procesorów i nieuniknione przybliżenia w algorytmach oraz błędy w programach. Mimo tego, technika cyfrowa jest i będzie stosowana w coraz szerszym zakresie.

Rozwiązania techniczne

Rozpowszechnione obecnie filtry cyfrowe są włączane na wyjściu odbiornika, dlatego też nie należy oczekiwać, że będą one mogły radykalnie poprawić odbiór na odbiornikach o małej odporności na modulację skrośną lub inne szkodliwe efekty, występujące na ich wejściu lub w torze p.cz. Filtry cyfrowe mogą też same być źródłem zakłóceń odbioru, dlatego należy zadbać o właściwe ekranowanie i uziemienie urządzeń. Częstotliwości zegarowe

procesorów cyfrowych leżą w zakresie kilkudziesięciu MHz (przeważnie między 20 i 40 MHz), a w układach występują ciągi impulsów o amplitudach TTL i dość stromych zboczach, co powoduje, że są one bogate w harmoniczne.

Najczęściej spotykane na rynku filtry cyfrowe przeznaczone do zastosowań krótkofalowych mogą być wykorzystywane do pracy różnymi rodzajami emisji: telegrafią, fonią, faksymile, SSTV oraz transmisji danych – RTTY, *packet radio*, AMTOR, PAC-TOR itp. Przedstawione w artykule przykładowe charakterystyki i zakresy częstotliwości odnoszą się do filtrów DSP-NIR i MFJ-784B (rys. 2 i 3). Podobne parametry mają także inne, spotykane na rynku modele filtrów. ■

Krzysztof Dąbrowski

Filtry cyfrowe w radiokomunikacji amatorskiej (2)

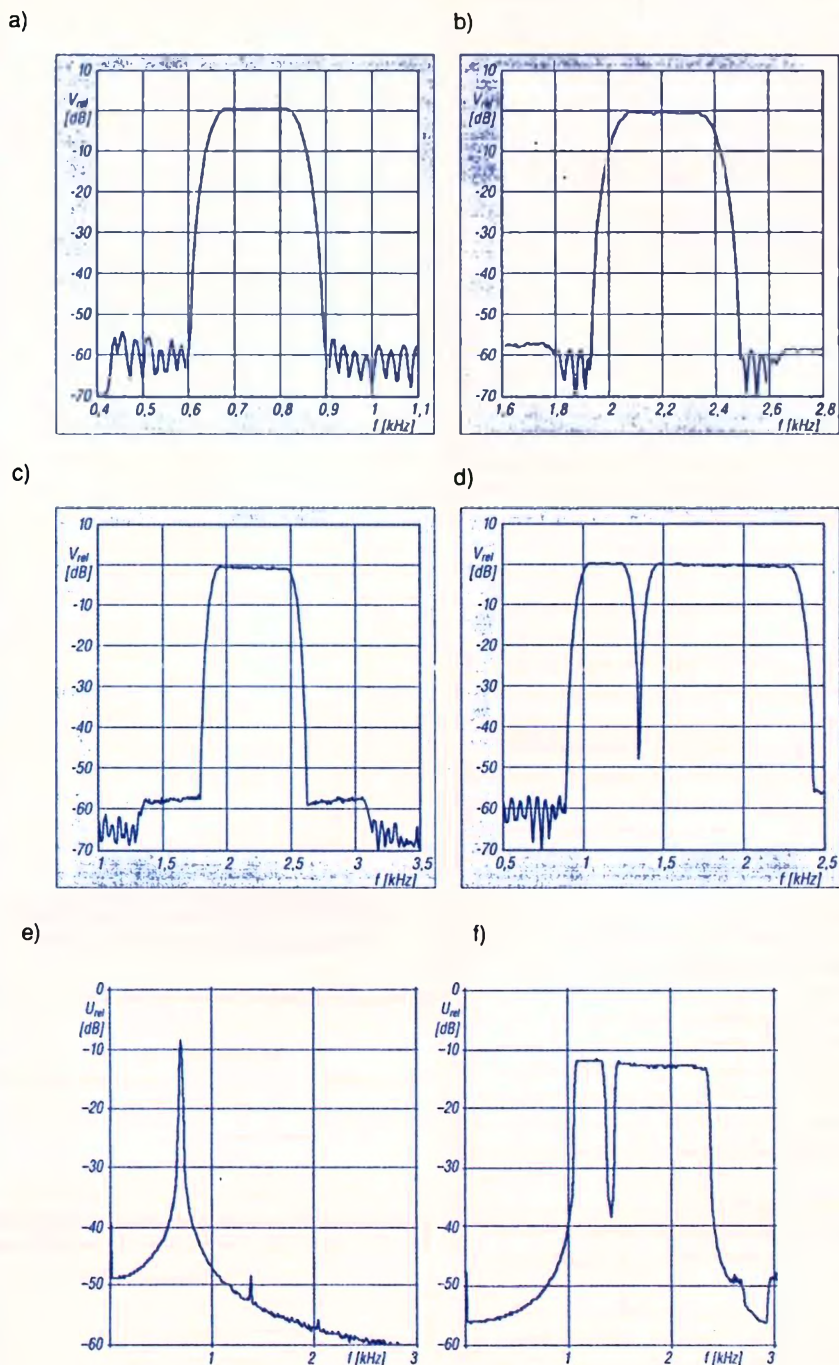
O

ba prezentowane tu urządzenia są wyposażone w filtry do emisji cyfrowych. Charakterystyki filtrów są przedstawione na rysunku 4. Wykres 4a przedstawia charakterystykę przeniesienia wąskopasmowego filtra telegraficznego modelu NIR. Szerokość pasma na poziomie -6 dB wynosi ok. 200 Hz, a na poziomie -60 dB – ok. 300 Hz, co daje współczynnik prostokątności równy 1:1,5. Przy zachowaniu stałej szerokości pasma można wybrać częstotliwość środkową 400, 600 lub 750 Hz, można także zawęzić pasmo do 100 Hz. Do wyboru służą zwory wewnątrz urządzenia. W podobny sposób ustawia się inne, rzadziej zmieniane wartości parametrów również w innych modelach. W modelu MFJ-784B częstotliwość środkowa filtra telegraficznego może leżeć w zakresie 300+1000 Hz, szerokość pasma przeniesienia jest regulowana w zakresie 30+700 Hz, a tłumienie w odległości 60 Hz od granicy pasma wynosi 47 dB. Kombinacje niemożliwe do zrealizowania (np. szerokość pasma 700 Hz przy częstotliwości środkowej 300 Hz) są ignorowane.

Charakterystyki filtrów dla emisji RTTY, *packet radio* (w zakresie KF) i SSTV dla filtra NIR są przedstawione na rys. 4b, c i d. Dostosowany do standardu tonów niskich (europejskiego) filtr RTTY ma częstotliwość środkową 2210 Hz przy szerokości pasma 270 Hz i współczynniku prostokątności 1:1,43. Filtr dla *packet radio* różni się od niego jedynie szerokością pasma wynoszącą 540 Hz i współczynnikiem prostokątności równym 1:1,24. Alternatywną częstotliwością środkową (wybieraną za pomocą zwieraczy) jest 1700 Hz. Charakterystyka przeniesienia filtra SSTV na dwa podzakresy: jeden o częstotliwości środkowej 1200 Hz służy do odfiltrowania sygnału synchronizacji, drugi przenosi sygnał wizyjny w pasmie 1500+2300 Hz. Sygnały zakłócające leżące między oboma podzakresami są tłumione nawet o 50 dB. Filtru SSTV można używać także do odbioru emisji faksymile.

W modelu MFJ-784B użytkownik ma jeszcze więcej charakterystyk do wyboru. Filtry do emisji AMTOR, PACTOR, RTTY i *pacet radio* (w zakresie KF) są ustawione fabrycznie na częstotliwość środkową 2210 Hz i różnią się między sobą szerokością pasma przeniesienia, zależną od szybkości transmisji (RTTY – 250 Hz, AMTOR – 340 Hz, PACTOR – 440 Hz, *packet radio* – 540 Hz). Wewnętrzne zwory służą do zmiany częstotliwości środkowej i szerokości pasma. Model ten jest też wyposażony w filtr do odbioru SSTV i faksymile, a także w 10 pamięci, umożliwiających szybkie wywołanie charakterystyk ustawionych przez użytkownika. Filtr SSTV przenosi podzakresy 1050+1350 Hz i 1450+2350 Hz, a tłumienie składowych niepożądanых wynosi 45 dB w odległości 60 Hz od granicy pasma. Na rys. 4e i f przedstawiono charakterystyki filtrów telegraficznego i SSTV dla filtra MFJ-784B.

Wąskopasmowy filtr SSB w modelu NIR ma zakres przeniesienia 150+1800 Hz (współ-



Rys. 4. Charakterystyki filtrów cyfrowych

a – charakterystyka przeniesienia filtra NIR dla telegrafii, b – charakterystyka filtra NIR dla emisji RTTY, c – charakterystyka filtra NIR dla emisji packet radio (KF), d – charakterystyka filtra NIR dla emisji SSTV, e – charakterystyka filtra MFJ-784B dla telegrafii, f – charakterystyka filtra MFJ-784B dla SSTV

czynnik prostokątności 1:1,1), natomiast filtr szerokopasmowy – zakres przenoszenia 150÷2700 Hz (współczynnik prostokątności – 1:1,06). Częstotliwość środkową filtra SSB w modelu MFJ można zmieniać między 600 a 1700 Hz, a szerokość pasma może wynosić 1000÷2500 Hz. Tłumienie w odległości 75 Hz od granicy pasma dochodzi do 57 dB.

Oba modele wyposażone są także w filtry dolno- i górnoprzepustowe o regulowanej częstotliwości granicznej. W modelu MFJ-784B dolna częstotliwość graniczna może leżeć w zakresie 200÷2200 Hz, a górna w zakresie 1400÷3400 Hz. Tłumienie sygnałów niepożądanych w odległości 75 Hz wynosi 57 dB. Kombinacja filtrów dolno- i górnoprzepustowego może być więc w miarę potrzeby filtrem pasmowym lub pasmowo-zaporowym.

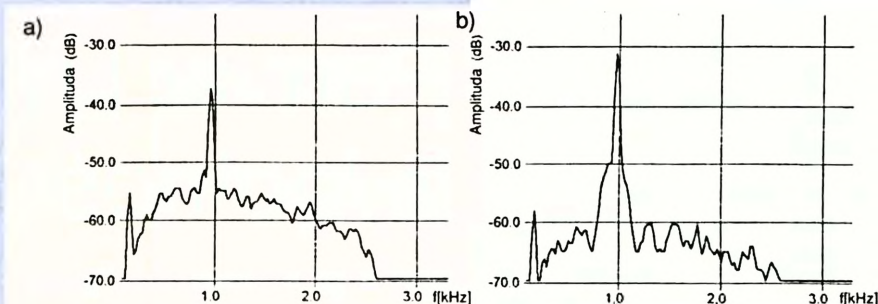
Częstotliwość środkową filtra pasmowego w modelu MFJ784B można regulować między 300 a 3400 Hz, a szerokość pasma przenoszenia – między 30 a 2100 Hz, przy tłumieniu wynoszącym 47 dB w odległości 60 Hz od granicy pasma przenoszenia. Także i tu kombinacje absurdalne są ignorowane.

Model ten jest wyposażony w podwójny filtr pasmowy o parametrach identycznych z przedstawionym filtrem pojedynczym. Filtr podwójny może być wykorzystywany m.in. do odbioru emisji cyfrowych.

Przedstawione dotychczas filtry stanowią ulepszoną wersję filtrów analogowych. Istotną nowością w stosunku do układów analogowych jest automatyczny filtr zaporowy (oznaczony na płycie czołowej nazwą *Notch* lub *Auto Notch*). Dzięki inteligencji oprogramowania może on automatycznie wykryć i wytłumić do czterech sygnałów zakłócających w pasmie przenoszenia szerokopasmowego filtra fonicznego. Filtr wykrywa w tym pasmie składowe o stałej lub wolno zmieniającej się amplitudzie i częstotliwości, wykazujące duże podobieństwo do poprzednich części przebiegu. Jako różniące się od szybko zmieniających się składowych mowy, składowe te są traktowane jako zakłócenia (np. interferencyjne).

Już sama zasada rozpoznawania zakłóceń wskazuje, że filtru zaporowego nie można stosować przy pracy emisjami cyfrowymi lub telegrafią. Czas wykrycia i wytłumienia zakłócenia wynosi tu ok. 10 ms (w niektórych modelach nawet mniej), a poziom tłumienia dochodzi do 50 dB. Filtr zaporowy może w pewnym zakresie śledzić sygnały zakłócające i nadążać za powolnymi zmianami częstotliwości wynikającymi z niestabilności odbiornika lub źródła zakłóceń, nawet jeśli częstotliwości zmieniają się w różnych kierunkach. Charakterystyka zaporowa filtrów jest bardzo wąska (kilkadziesiąt Hz), dzięki czemu sygnał użyteczny ulega tylko minimalnemu zafalszowaniu. Niektóre modele filtrów umożliwiają wytłumienie więcej niż czterech składowych zakłócających, co jednak odbywa się kosztem ograniczenia maksymalnego tłumienia.

Filtr firmy MFJ jest też wyposażony w ręcznie przestrajany, podwójny filtr zaporowy o tłumieniu 40 dB. Ponieważ odróżnienie sygnału użytecznego od zakłócającego jest dokonywane przez operatora, można filtr ręczny stosować również przy odbiorze emisji cyfrowych i telegrafii. Do osiągnięcia większego tłumienia



Rys. 5. Redukcja szumów przez filtr cyfrowy
a – zasumowany sygnał odbierany, b – sygnał po przejściu przez filtr cyfrowy

można oba filtry ustawić na tę samą częstotliwość.

Oba urządzenia są wyposażone w automatyczną regulację wzmacnienia, zapobiegającą przesterowaniu przetwornika analogowo-cyfrowego.

Funkcją występującą wyłącznie w filtrach cyfrowych jest dynamiczne tłumienie szumów. Regulacja stopnia tłumienia jest w obu filtrach wyprowadzona na płytę czołową i oznaczana jako *Peak* lub *Noise Reduction*. Tłumienie szumów można włączać równoległe z automatycznym filtrem zaporowym. Podobnie jak w przypadku zakłóceń, rozpoznawanie polega na porównaniu podobieństwa przebiegu bieżącego z przebiegiem w poprzednim odcinku czasowym (autokorelacji). Przebieg szumowy jest przebiegiem przypadkowym (nieskorelowanym), w przeciwieństwie do sygnału mowy zawierającego składowe okresowe. Wynik zastosowania filtru do poprawy stosunku sygnału do szumu przy odbiorze telegrafii jest podany na rys. 5. Jeszcze większy stopień autokorelacji wykazują sygnały modulacji cyfrowych (np. RTTY). Rozpoznane w ten sposób szumy mogą być tłumione o 10 do 20 dB przy niewielkich zmianach sygnału użytecznego. Efekt tłumienia szumów na sygnale RTTY jest zilustrowany na rys. 6.

Rozwiązaniem przeznaczonym specjalnie dla emisji cyfrowych jest filtr MFJ-781, wyposażony w charakterystyki przenoszenia dostosowane do odbioru emisji *packet radio* (w zakresach KF i UKF), AMTOR, PACTOR, GTOR, Clover, RTTY, SSTV, faksymile i telegrafii, z różnymi (w miarę potrzeby) szybkościami transmisji i przesunięciami częstotliwości. Filtr ten, w USA tańszy o ok. potowę od uniwersalnego MFJ-784B, jest włączany między wyjście głośnikowe lub słuchawkowe odbiornika i wejście dowolnego sterownika lub modemu. Część elek-

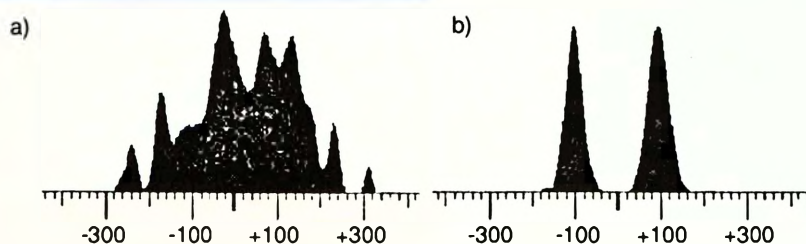
troniczna filtru MFJ-781 jest też montowana w uniwersalnych sterownikach TNC typu MFJ-1278B/DSP (uzupełnienie dla starszych modeli TNC ma oznaczenie MFJ-780).

Filtry cyfrowe są produkowane również przez inne firmy. Jedną z nich jest firma JPS. Dostarcza ona całą rodzinę filtrów począwszy od najprostszych NF-60 i NTR-1, wyposażonych jedynie w automatyczny filtr zaporowy i dynamiczną redukcję szumów, aż do najbardziej rozbudowanego NIR-12, o możliwościach zbliżonych do obu opisanych modeli. Rodzina filtrów JPS zawiera też filtr SSTV-1 przeznaczony do odbioru emisji SSTV i faksymile. Podstawowe parametry filtrów JPS pokrywają się z przedstawionymi parametrami filtrów MFJ.

Do modeli wyższej klasy należy także DSP-59+ firmy Timewave. W porównaniu z MFJ-784B rzuca się tu w oczy brak filtru SSTV, przełączanych filtrów do emisji cyfrowych i pamięci nastawień własnych. Pokręta regulacji częstotliwości środkowej i szerokości pasma umożliwiają oczywiście uzyskanie charakterystyk niezbędnych do pracy dowolnym rodzajem emisji. Wymaga to jednak każdorazowo przeprowadzenia odpowiedniej regulacji. Niedostatki te usunięto w modelu DSP-599zx.

Oprócz sześciu gotowych charakterystyk dla emisji cyfrowych zawiera on też sześć pamięci dla konfiguracji własnych. Model DSP-599zx jest także wyposażony w koder i dekoder sygnałów CTCSS oraz model RTTY. Mimo przedstawionych na początku ograniczeń wynikających z konstrukcji lub zasady działania, filtry cyfrowe mogą stanowić cenne uzupełnienie wyposażenia radiostacji i w coraz szerszym stopniu są w nich (i sprzęcie dodatkowym, np. sterownikach TNC) instalowane.

Krzysztof Dąbrowski



Rys. 6. Redukcja zakłóceń sygnału RTTY
a – widmo zakłóconego sygnału RTTY, b – widmo sygnału na wyjściu filtru cyfrowego