

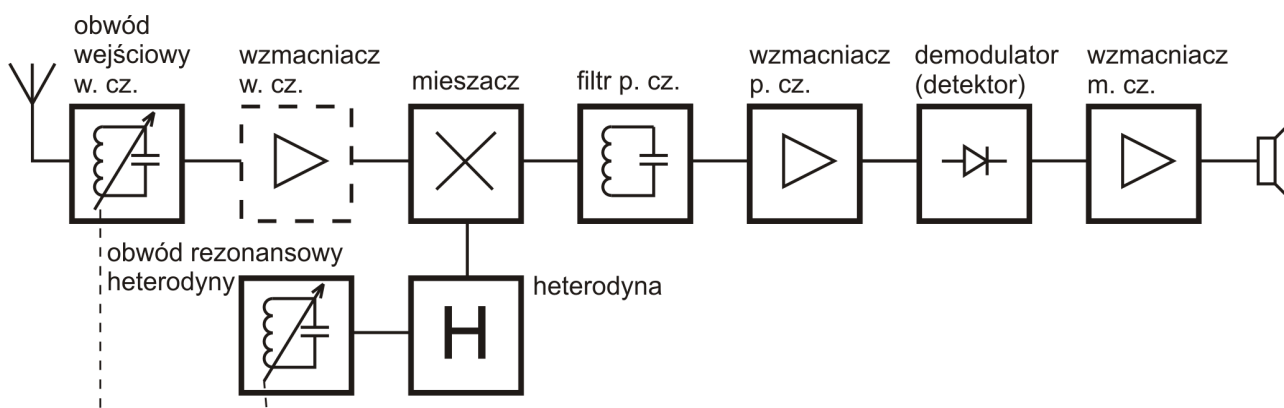
Odbiorniki superheterodynowe

Odbiornik superheterodynowy (z przemianą częstotliwości) został wynaleziony w 1918r przez E. H. Armstronga. Jego cechą charakterystyczną jest zastosowanie przemiany częstotliwości odbieranego sygnału z częstotliwości wejściowej (wysokiej) na częstotliwość pośrednią różną od wejściowej. Na częstotliwości pośredniej sygnał jest filtrowany i wzmacniany a następnie poddawany demodulacji. Przemiana częstotliwości odbywa się za pomocą mieszacza, do którego doprowadzony jest sygnał z generatora lokalnego (heterodyny). Jeśli do wejścia mieszacza doprowadzony jest sygnał wejściowy o częstotliwości f_{we} a sygnał heterodyny ma częstotliwość f_h to w wyniku mieszania otrzymuje się sygnały na częstotliwościach:

$$f_{wy1} = f_{we} + f_h \quad (\text{sumacyjny})$$

$$f_{wy2} = |f_{we} - f_h| \quad (\text{różnicowy})$$

jeden z tych sygnałów (zwykle różnicowy) jest użytecznym sygnałem na częstotliwości pośredniej.



Rysunek 1: Schemat blokowy odbiornika superheterodynowego

Zazwyczaj częstotliwość heterodyny dobiera się tak, aby częstotliwość pośrednia była stała. Dzięki temu tor częstotliwości pośredniej nie wymaga przestrajania i można zastosować w nim filtry pasmowoprzepustowe przenoszące tylko tą częstotliwość. W filtrach nieprzestrajanych można uzyskać znacznie lepsze parametry i dzięki temu selektywność odbiorników superheterodynowych jest znacznie lepszą niż odbiorników bezpośredniego wzmocnienia. Ponadto istnieje pewna swoboda wyboru częstotliwości pośredniej, może ona być tak dobrana, aby łatwo było zrealizować filtr o żądanej szerokości pasma. W wielu przypadkach jest to częstotliwość znacznie mniejsza od odbieranej częstotliwości wejściowej.

W odbiornikach superheterodynowych łatwiej jest też uzyskać dużą czułość bez obawy o wzbudzenie. Niezbędne do uzyskania wysokiej czułości duże wzmocnienie całkowite jest tu rozłożone na trzy częstotliwości, wejściową, pośrednią i niską. Na każdej z tych częstotliwości wzmocnienie nie jest na tyle duże aby pasożytnicze sprzężenia popsły stabilność.

Ponieważ praktycznie cała selektywność odbiornika i znaczna część wzmocnienia zależą od parametrów toru pośredniej częstotliwości to parametry całego odbiornika znacznie mniej zależą od częstotliwości niż w odbiornikach bezpośredniego wzmocnienia.

Obecnie większość analogowych odbiorników radiowych to odbiorniki superheterodynowe.

Wybór częstotliwości heterodyny

Odbiór sygnału na częstotliwości f_{we} przez odbiornik o częstotliwości pośredniej f_{pcz} wymaga zastosowania heterodyny o częstotliwości:

$$f_{h1} = f_{we} + f_{pcz}$$

lub

$$f_{h2} = f_{we} - f_{pcz}$$

W wielu przypadkach można wybrać dowolną z tych możliwości, jednak w drugim przypadku (częstotliwość heterodyny mniejsza od częstotliwości odbieranej) może zdarzyć się sytuacja, w

której częstotliwość heterodyny bądź jej harmoniczna będą równe częstotliwości wejściowej lub częstotliwości pośredniej. Powstaną wtedy zakłócenia słyszalne w postaci gwizdu. W związku z tym bezpieczniejszy jest wybór częstotliwości heterodyny powyżej częstotliwości sygnału odbieranego (i powyżej częstotliwości pośredniej). Dodatkowo w tym przypadku względny zakres przestrajania heterodyny jest mniejszy niż względny zakres przestrajania odbiornika:

$$\frac{f_{hmax}}{f_{hmin}} < \frac{f_{we max}}{f_{we min}}$$

i zaprojektowanie generatora heterodyny może być łatwiejsze. Jeśli z jednak decydujemy się na użycie częstotliwości heterodyny mniejszej niż częstotliwość sygnału (np. łatwiej jest wytworzyć niższą częstotliwość) to należy sprawdzić, czy jej sygnał nie spowoduje zakłóceń w odbiorze.

Częstotliwości lustrzane

Dla ustalonej częstotliwości heterodyny określoną częstotliwość pośrednią uzyskuje się nie tylko dla wyliczonej wcześniej częstotliwości wejściowej ale także dla drugiej częstotliwości nazywanej częstotliwością lustrzaną. Jest ona położona symetrycznie do użytecznej częstotliwości wejściowej względem częstotliwości heterodyny. Jeśli:

$$f_{we} = f_h - f_{pcz}$$

to:

$$f_l = f_h + f_{pcz}$$

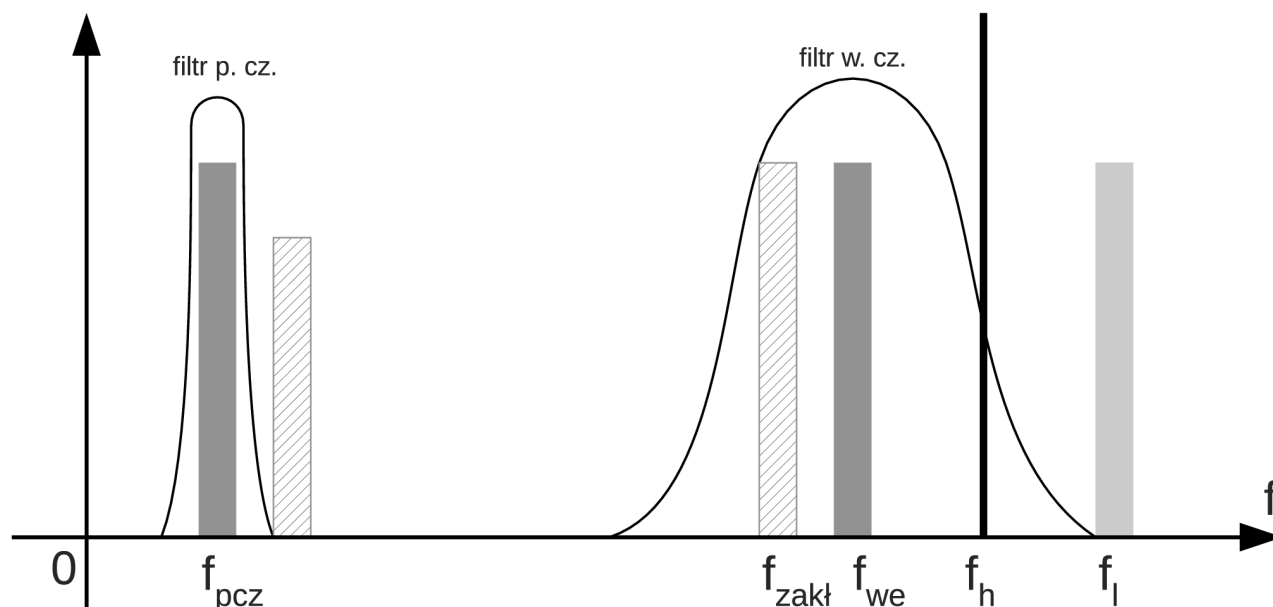
i odwrotnie – jeśli:

$$f_{we} = f_h + f_{pcz}$$

to:

$$f_l = f_h - f_{pcz}$$

Częstotliwość lustrzana jest zawsze oddalona od częstotliwości odbieranej o dwie częstotliwości pośrednie w tym samym kierunku co częstotliwość heterodyny. Równoczesny odbiór na dwóch częstotliwościach nie jest zjawiskiem pożądanym. Sygnał z częstotliwości lustrzanej może zakłócić odbiór sygnału właściwego i powinien zostać wytłumiony jeszcze przed przemianą. W torze częstotliwości pośredniej odróżnienie sygnałów właściwego i lustrzanego nie jest już możliwe.

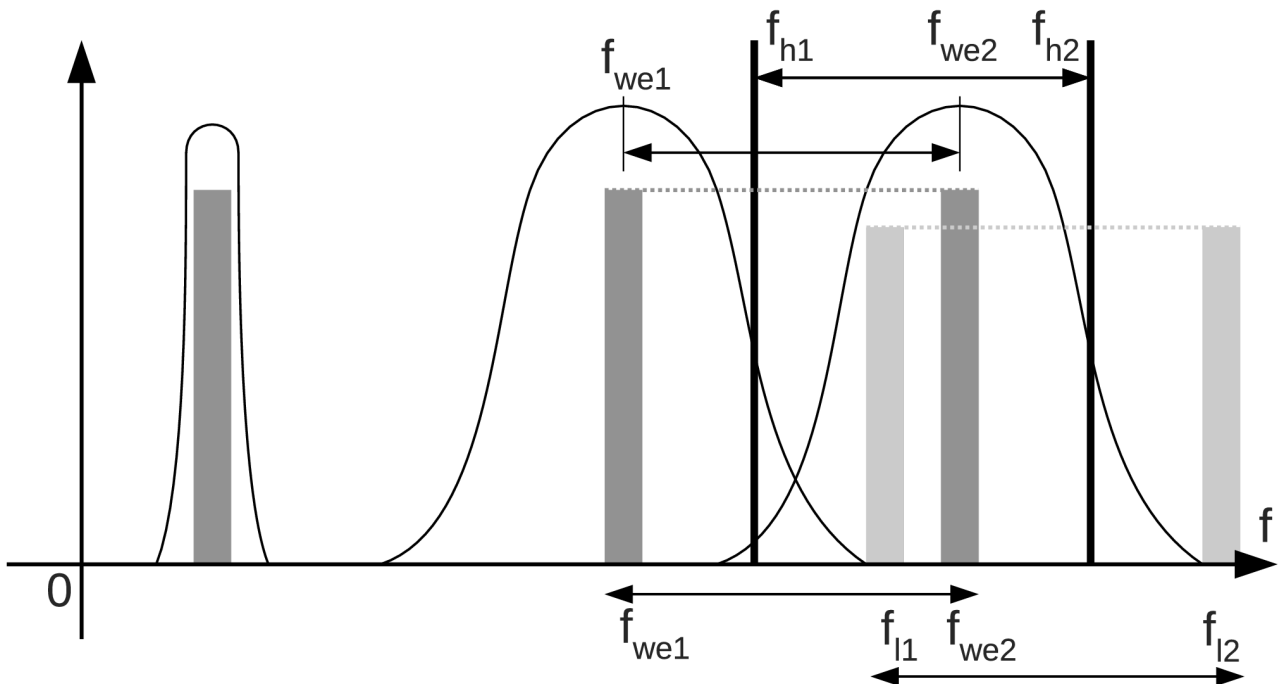


Rysunek 2: Tłumienie sygnałów niepożądanych w odbiorniku superheterodynowym

Wytłumienie sygnału lustrzanego realizuje się za pomocą filtra pasmowoprzepustowego w torze wysokiej częstotliwości. Nie musi on być tak selektywny jak filtr w odbiorniku bezpośredniego wzmocnienia. Sygnały z sąsiednich kanałów ($f_{zakł}$) przejdą przez taki filtr z niewielkim tłumieniem i zostaną wytłumione po przemianie w filtrze pośredniej częstotliwości.

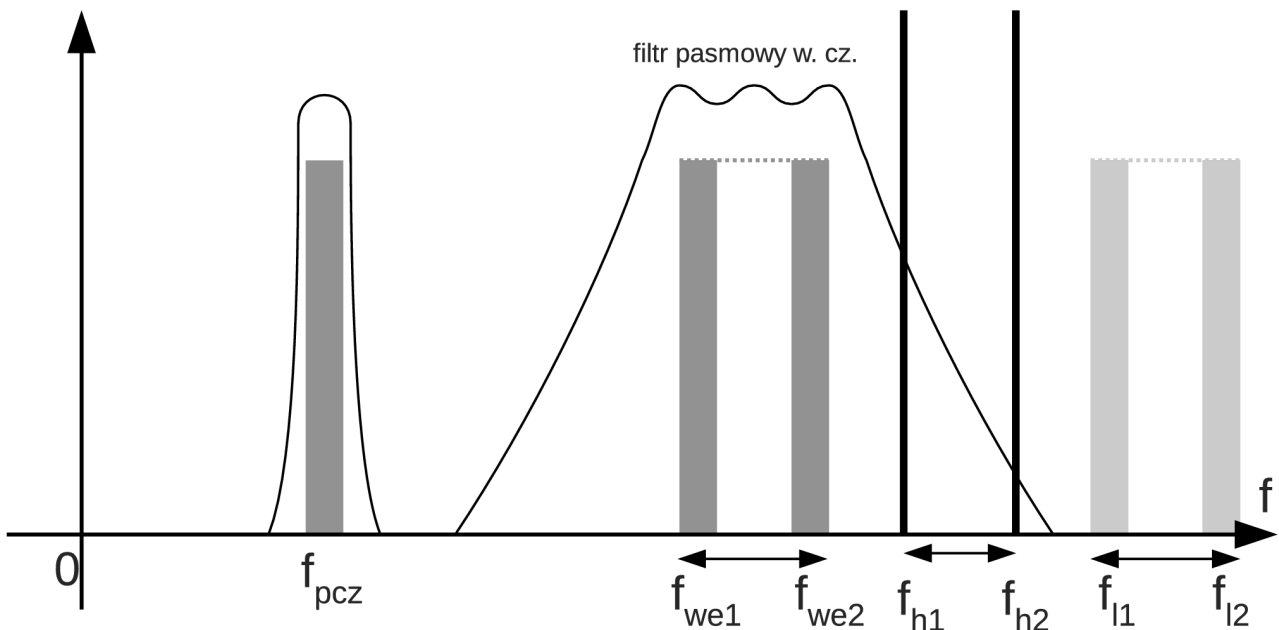
Jeśli częstotliwość pośrednia jest dostatecznie duża to taki filtr, zapewniający żądane tłumienie częstotliwości lustrzanej, będzie możliwy do realizacji przy stosunkowo niedużych kosztach.

W wielu przypadkach filtr wysokiej częstotliwości musi być przestrajany. Dzieje się tak wtedy gdy pasma częstotliwości wejściowych i częstotliwości lustrzanych częściowo się pokrywają (rys. 3) lub odstęp pomiędzy nimi jest niewielki.



Rysunek 3: Tłumienie częstotliwości lustrzanych w odbiorniku z przestrajnymi filtrami wejściowymi

Jeśli zakres przestrajania jest znacznie mniejszy od częstotliwości pośredniej możliwe jest zastosowanie filtra wysokiej częstotliwości zestrojonego na stałe. Musi on mieć na tyle szerokie pasmo przenoszenia, aby objęło cały zakres częstotliwości wejściowych i zbocza dostatecznie strome aby wytłumić wszystkie częstotliwości z pasma częstotliwości lustrzanych.



Rysunek 4: Tłumienie częstotliwości lustrzanych w odbiorniku z nieprzestrajnymi filtrami wejściowymi

Podsumowując, przy doborze częstotliwości pośredniej należy dążyć do spełnienia następujących

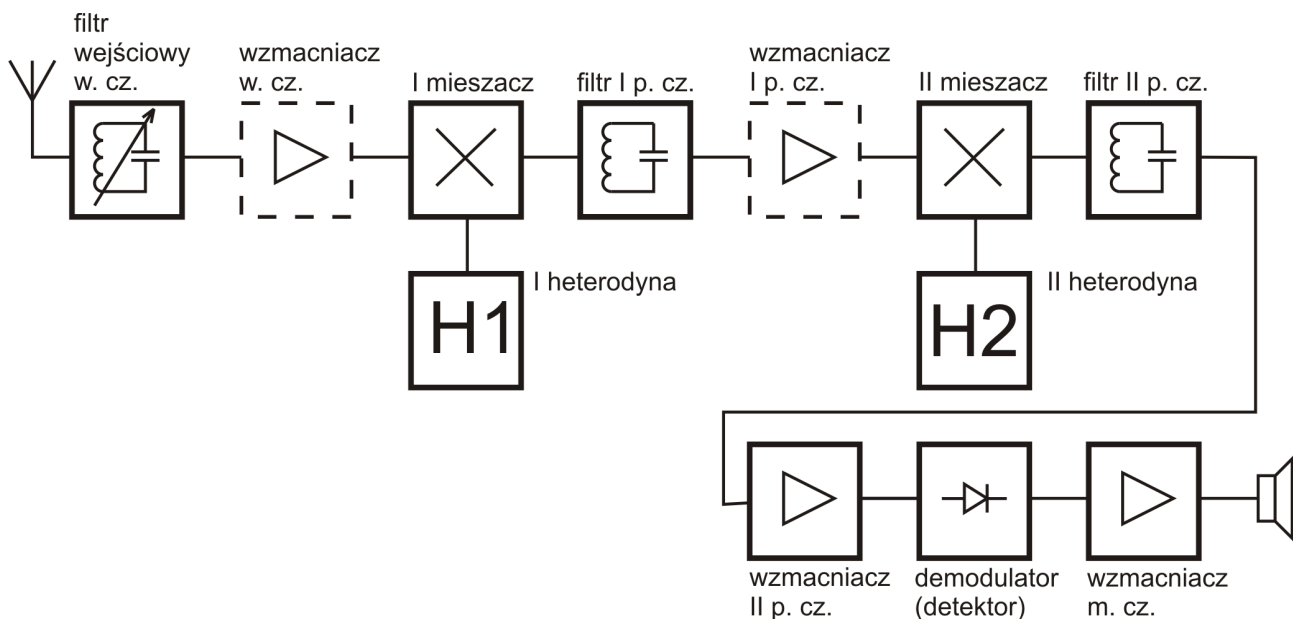
warunków:

- częstotliwość pośrednia musi znajdować się poza zakresem częstotliwości odbieranych;
- częstotliwość pośrednia powinna być taka, aby sygnał było łatwo filtrować, wzmacniać i demodulować, czyli nie powinna być zbyt wysoka;
- częstotliwość pośrednia powinna być dostatecznie wysoka, aby dało się uzyskać wymagane tłumienie częstotliwości lustrzanych.

Ponadto przy wyborze częstotliwości pośredniej decydująca może być dostępność odpowiednich filtrów. Są one często produkowane na pewne standardowe częstotliwości i szerokości pasma przenoszenia. Przykładowo w większości odbiorników radiofonicznych UKF FM stosuje się częstotliwość pośrednią 10,7MHz.

Odbiorniki z wielokrotną przemianą częstotliwości

Przy wysokich wymaganiach spełnienie wszystkich powyższych warunków może okazać się niemożliwe. Przykładowo w typowym radiotelefonie FM demodulacja częstotliwości powinna odbywać się na częstotliwości pośredniej mniejszej od 1MHz podczas gdy zapewnienie właściwego tłumienia sygnałów o częstotliwości lustrzanej wymaga częstotliwości pośredniej większej niż 10MHz. Rozwiązaniem jest zastosowanie dwóch przemian częstotliwości. Można wtedy użyć wysokiej pierwszej częstotliwości pośredniej, zapewniającej dobre tłumienie sygnałów lustrzanych, a następnie przenieść sygnał na drugą, niższą, częstotliwość pośrednią, na której następuje ostateczna filtracja i demodulacja sygnału.



Rysunek 5: Odbiornik z podwójną przemianą częstotliwości

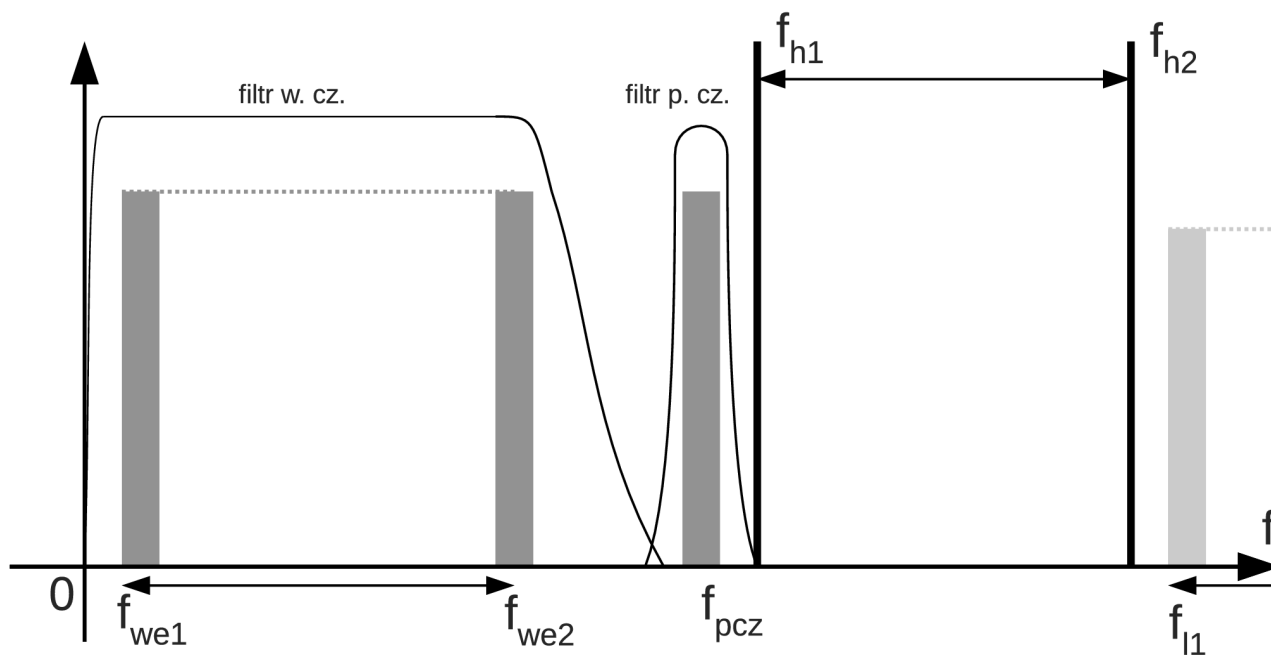
W odbiorniku z podwójną przemianą odbierana częstotliwość zależy od częstotliwości obydwu heterodyn. W większości przypadków przestrajana jest tylko pierwsza heterodyna a druga ma stałą częstotliwość ale bywają też układy odbiorników, w których przestrajane są obie heterodyny (pierwsza zapewnia wtedy strojenie zgrubne a druga dokładne) albo nawet tylko druga (w tunerach telewizji satelitarnej). W tych przypadkach pierwsza częstotliwość pośrednia nie jest stała ale zmienia się w pewnym zakresie.

Przy projektowaniu odbiornika z wielokrotną przemianą należy pamiętać o tym, że przy każdej przemianie występują częstotliwości lustrzane, które muszą być wytłumione najpóźniej w filtrze poprzedzającym dany stopień przemiany.

Konstruowane są też odbiorniki z potrójną a nawet poczwórną przemianą częstotliwości. Wzrasta jednak złożoność odbiornika i rośnie ilość sygnałów niepożądanych mogących zakłócić odbiór.

Odbiornik z wysoką częstotliwością pośrednią

Pewne szczególne właściwości ma odbiornik, w którym częstotliwość pośrednia jest większa od największej częstotliwości wejściowej. W takim odbiorniku, jeśli częstotliwość heterodyny jest sumą częstotliwości wejściowej i częstotliwości pośredniej, można jako filtr wejściowy zastosować filtr dolnoprzepustowy (rys. 6). Filtr taki będzie tłumić wszystkie sygnały, które nie powinny przedostać się z anteny do dalszych stopni odbiornika (na częstotliwości pośredniej i częstotliwościach lustrzanych) bądź wydostać się z odbiornika na zewnątrz (sygnał heterodyny).

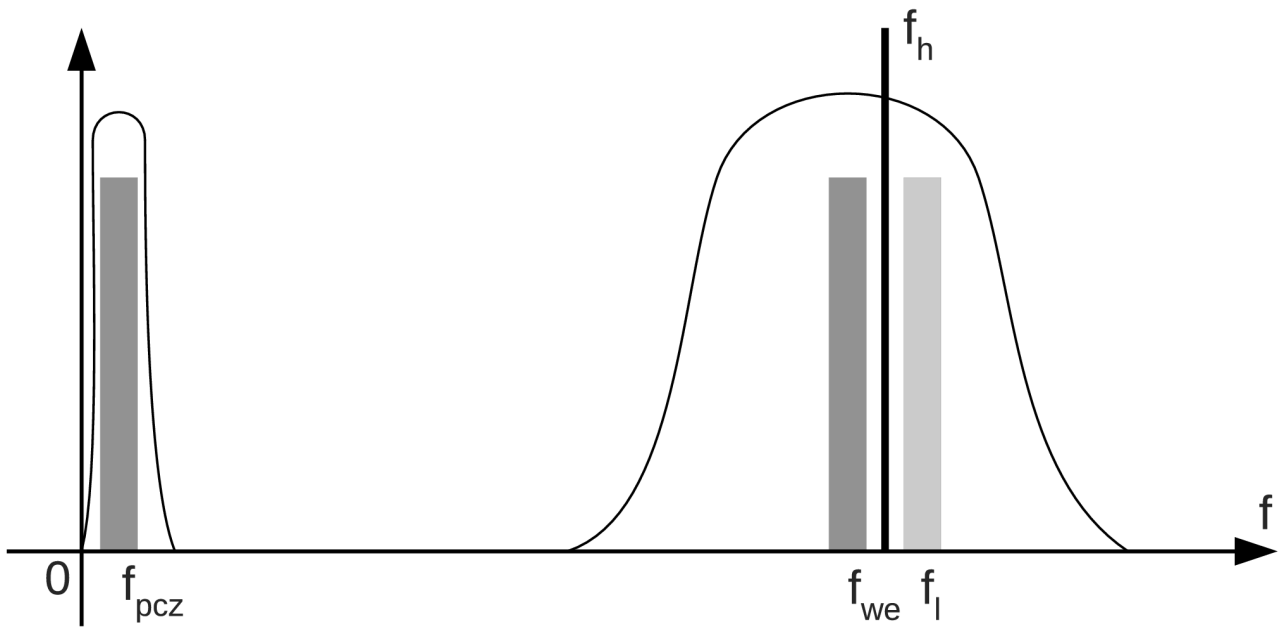


Rysunek 6: Przemiana częstotliwości w odbiorniku z wysoką częstotliwością pośrednią

Taki układ konstrukcyjny jest często stosowany w odbiornikach radiokomunikacyjnych na zakres fal krótkich. Pracują one w zwykle w zakresie 0,1 do 30MHz, obejmującym także fale długie i średnie. Pierwsza częstotliwość pośrednia w takich odbiornikach wynosi 45MHz lub więcej.

Odbiornik z niską częstotliwością pośrednią

W pewnych rozwiązaniach odbiorników superheterodynowych świadomie rezygnuje się z tłumienia sygnałów o częstotliwości lustrzanej. Wtedy można zastosować bardzo niską częstotliwość pośrednią i obniżyć koszty filtru filtru pośredniej częstotliwości.



Przykładem takiego rozwiązania może być odbiornik UKF FM wykorzystujący układ scalony TDA7000 opracowany przez firmę Philips. Zastosowana została w nim częstotliwość pośrednia równa 70kHz a sygnał lustrzany występuje na częstotliwości większej tylko o 140kHz. Najbliższy sygnał sąsiedniego kanału, który mógłby zakłócić odbiór może znaleźć się w odległości przynajmniej 300kHz od sygnału odbieranego i nie jest w stanie zakłócić odbioru. Dzięki niskiej częstotliwości pośredniej można było zastosować w torze p. cz. filtr aktywny, który wymaga dołączenia do układu scalonego jedynie kilku kondensatorów.

Innym rozwiązaniem jest zastosowanie w odbiorniku z niską częstotliwością pośrednią przemiany jednowstęgowej, komplikuje to jednak konstrukcję mieszacza.