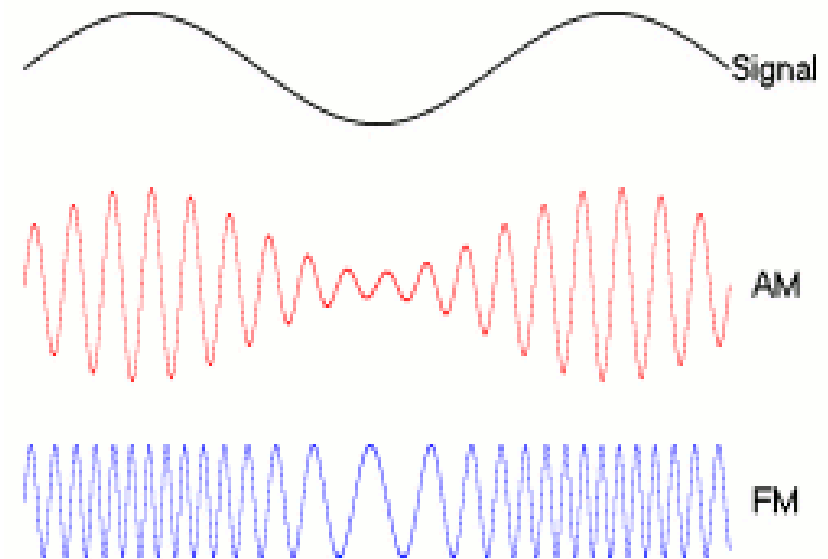


Lekcja 20

Temat: Detektory.

Modulacja amplitudy. (AM z ang. *Amplitude Modulation*) – jeden z trzech podstawowych rodzajów modulacji, polegający na kodowaniu sygnału informacyjnego (szerokopasmowego o małej częstotliwości) w chwilowych zmianach amplitudy sygnału nośnego (inaczej nazywanej falą nośną). Uzyskany w wyniku sygnał zmodulowany jest sygnałem wąskopasmowym, który nadaje się np. do transmisji drogą radiową. Rysunek po prawej stronie pokazuje wygląd sygnału zmodulowanego AM tonem sinusoidalnym.



Przebieg oraz jego modulacja
amplitudy i częstotliwości

Przebieg sinusoidalny użyty do przeniesienia (nośna) sygnału modulowanego o pulsacji Ω opisany jest równaniem:

$$c(t) = C \sin(\Omega t)$$

Równanie opisujące prosty przebieg modulujący o pulsacji ω (sygnał przenoszący informacje):

$$m(t) = M \sin(\omega t + P)$$

Przebieg sygnału po modulacji amplitudy: $y(t) = (C + M \sin(\omega t + P)) \sin(\Omega t)$

Powyższe równanie na $y(t)$ może być przekształcone do postaci:

$$y(t) = C \sin(\Omega t) + M \frac{\cos(P - (\omega - \Omega)t)}{2} - M \frac{\cos(P + (\omega + \Omega)t)}{2}$$

Sygnał ten składa się z fali nośnej i dwóch sinusoidalnych fal o częstościach niewiele różniących się od częstości fali nośnej zwanych wstęgami bocznymi.

Zasadniczo sygnał o pulsacji ω komunikatu w fali nośnej o pulsacji Ω wytwarza fale (wstęgi) boczne o pulsacji $\Omega + \omega$ oraz $\Omega - \omega$.

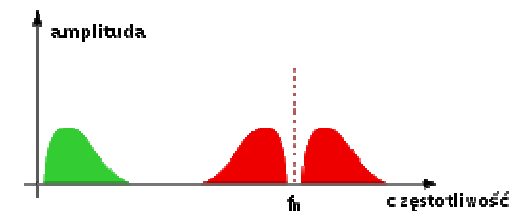
Modulację AM charakteryzuje **współczynnik głębokości modulacji**, który definiuje się następująco:

$$m = \frac{M}{C}$$

gdzie M to amplituda sygnału modulującego (informacji), a C to amplituda sygnału nośnego

Współczynnik głębokości modulacji mieści się w zakresie 0...1, dość często podawany jest również w procentach.

Rysunek obok pokazuje widmo sygnału zmodulowanego amplitudowo (kolor czerwony) i sygnału modulującego (kolor zielony) – sygnał zmodulowany składa się z trzech elementów: fali nośnej i leżących po obu jej stronach, symetrycznie odbitych, dwóch **wstęg bocznych**, które są powtórzeniem kształtu widma sygnału modulującego.



Widmo sygnału zmodulowanego amplitudowo

Jeżeli pasmo sygnału modulującego mieści się w zakresie $f_{min} \dots f_{max}$, a częstotliwość fali nośnej jest równa f_n , to pasmo zajmowane przez zmodulowany sygnał obejmuje przedział częstotliwości od $f_n - f_{max}$ do $f_n + f_{max}$. W tym:

dolna wstęga boczna: $f_n - f_{max}$ do $f_n - f_{min}$

górną wstęgą boczną: $f_n + f_{min}$ do $f_n + f_{max}$

sygnał nośny: f_n

Stosunek mocy wstęg bocznych (P_{2b}) do mocy fali nośnej (P_o):

$$\frac{P_{2b}}{P_o} = \frac{m^2}{2}$$

Z tego wzoru wynika, że moc użyteczna obu wstęg bocznych wynosi co najwyżej 50% mocy wypromieniowanej (osiągnięte maksimum, gdy $m = 1$). Wówczas nośna stanowi 50% mocy wypromieniowanej.

Do przeniesienia informacji wystarczy tylko jedna wstęga boczna, więc druga wstęga i fala nośna mogą zostać z sygnału usunięte (wytlumione), co spowoduje, że całość wypromieniowanej mocy przenosi sygnał, natomiast pasmo zajmowane przez sygnał można zmniejszyć dwukrotnie. Techniki te są używane i posiadają swe nazwy.

Modulacja częstotliwości FM (ang. *Frequency Modulation*) – modulacja częstotliwości, czyli kodowanie informacji w fali nośnej przez zmiany jej chwilowej częstotliwości, w zależności od sygnału wejściowego.

Częstotliwość sygnału nośnego o częstotliwości f_n zmienia się w zakresie od $f_n - \Delta f$ do $f_n + \Delta f$.

Δf jest nazywane *dewiacją częstotliwości*, natomiast stosunek $m_f = \frac{\Delta f}{f_m}$

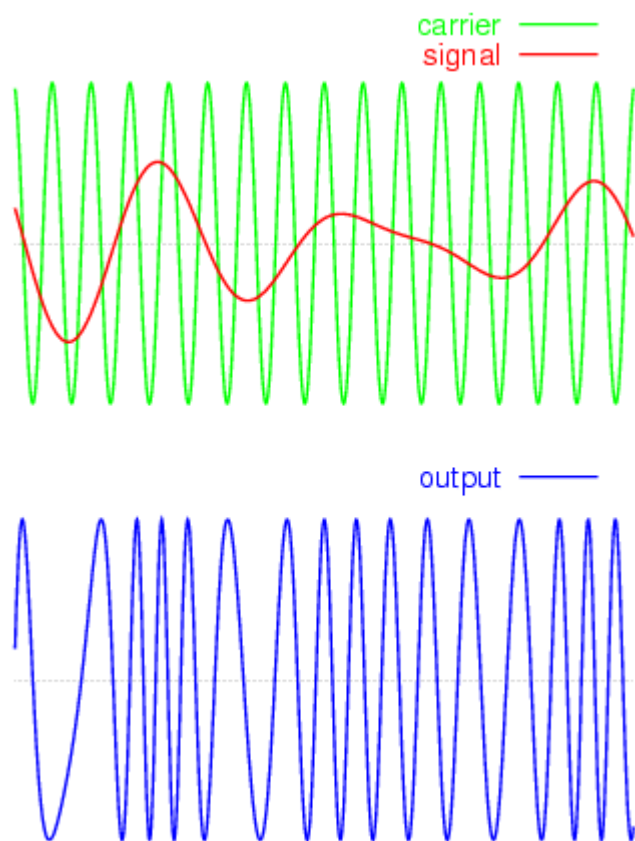
wskaźnikiem dewiacji częstotliwości lub współczynnikiem modulacji częstotliwości.

FM jest systemem transmisji sygnału analogowego stosowanym do przesyłania sygnału radiowego radia publicznego w zakresie fal ultrakrótkich, stąd zakres ten w mowie potocznej często jest zwany FM.

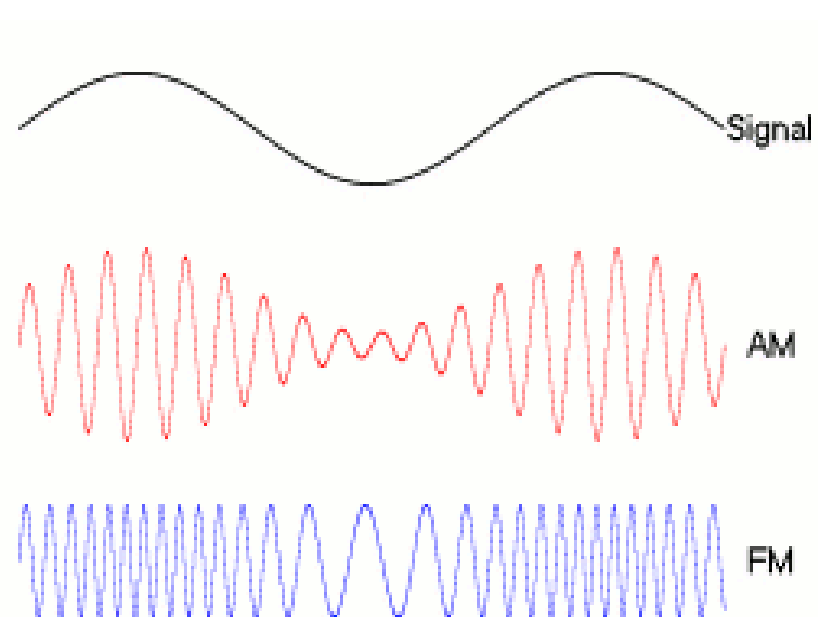
Modulacja częstotliwości stosowana jest też w transmisji sygnału w telewizji satelitarnej, dźwiękowego w wielu systemach telewizji naziemnej oraz informacji o kolorze (chrominancji) w systemie telewizji kolorowej SECAM.

System umożliwia odfiltrowanie po stronie odbiornika znacznie więcej zakłóceń niż w systemie AM. Sygnał po odebraniu i wzmacnieniu może być ograniczony do takiej samej amplitudy, w ten sposób redukuje się większość zakłóceń.

Jako modulator FM najczęściej stosuje się diodę pojemnościową w obwodzie rezonansowym generatora, która zmieniając swoją pojemność w takt zmian napięcia sygnału modulującego zmienia częstotliwość generowanej fali nośnej.

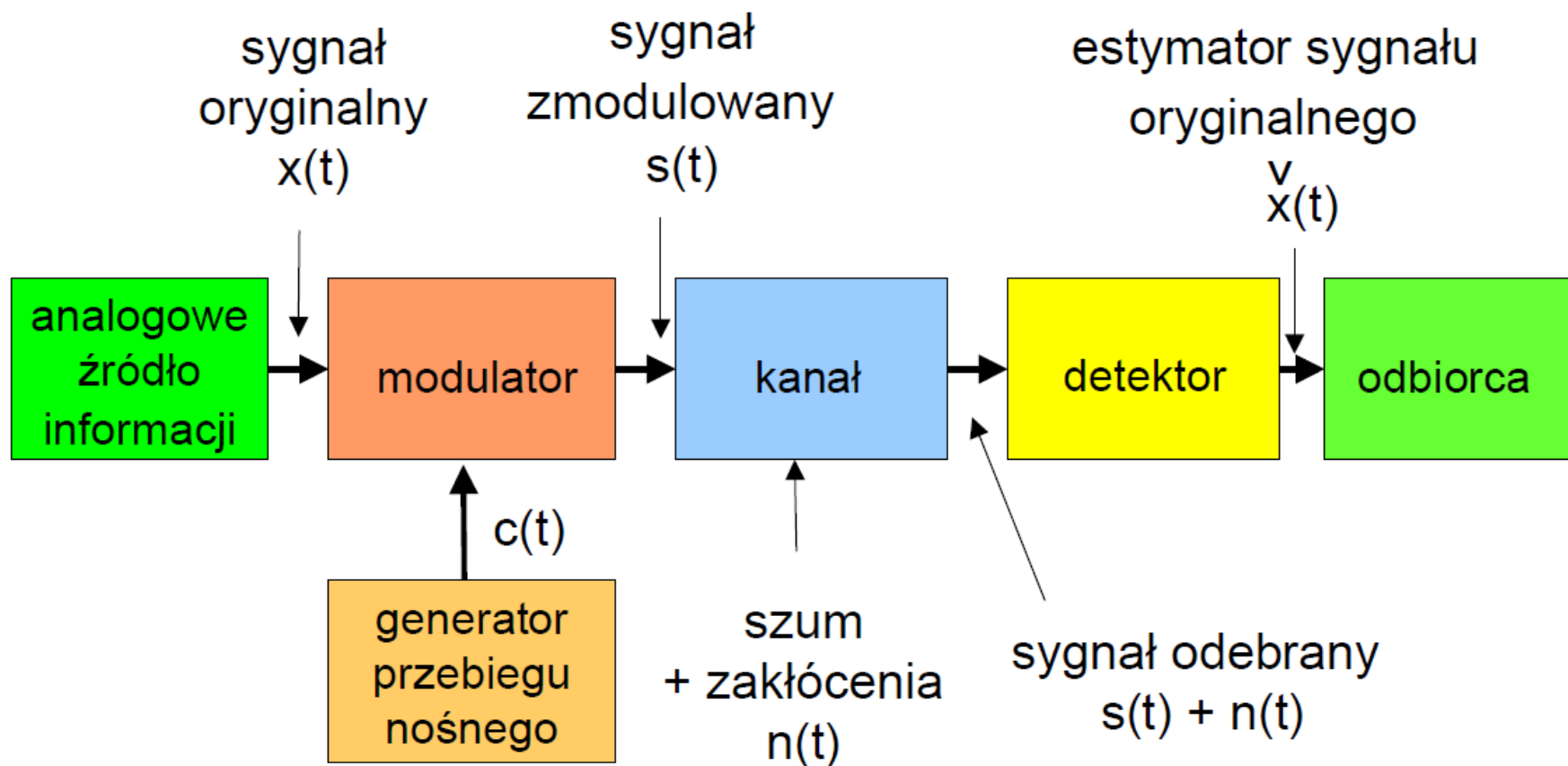


Modulacja częstotliwości



Przebieg oraz jego modulacja
amplitudy i częstotliwości

Analogowy system telekomunikacyjny



Pojęcie operacji modulacji i detekcji

- **Modulacja i demodulacja**

Modulacja jest to operacja, która przyporządkowuje sygnałom modulującym sygnały zmodulowane.

Demodulacja jest procesem odwrotnym względem procesu modulacji

- Sygnał analogowy – sygnał z czasem ciągłym oraz ciągłą skalą wartości
- Sygnał cyfrowy – sygnał z czasem dyskretnym oraz dyskretną skalą wartości

- **Modulacja i demodulacja analogowa**

ciągłe i odwracalne przyporządkowanie sygnału modulującego sygnałowi zmodulowanemu

- **Modulacja i demodulacja cyfrowa**

dyskretne i odwracalne przyporządkowanie sygnału modulującego sygnałowi zmodulowanemu

- **Detekcja**

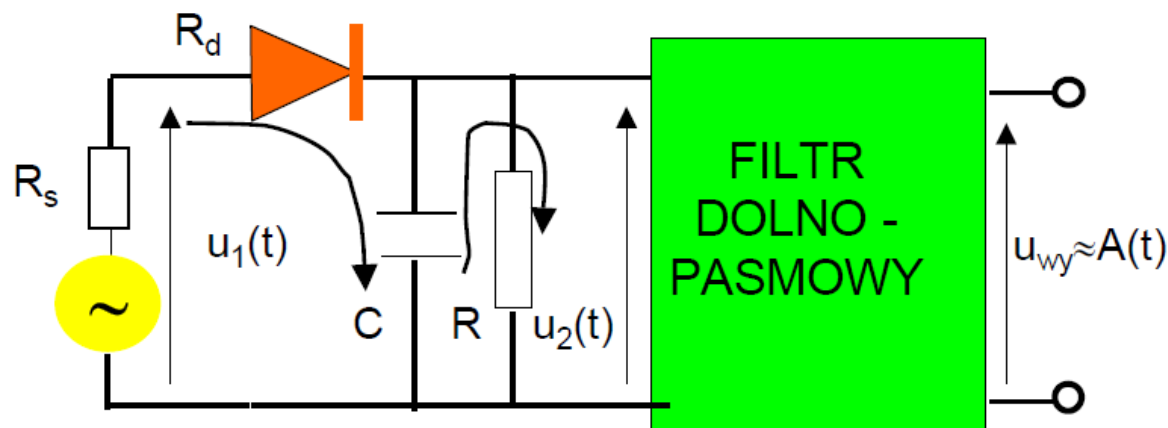
odtworzenie informacji z sygnału odebranego

Podstawowe przyczyny stosowania modulacji przy przekazie sygnałów

- zwiększenie skuteczności przesyłania sygnałów oryginalnych *dopasowanie widmowe sygnału do charakterystyki przenoszenia kanału, większa sprawność, prostsze rozwiązania techniczne urządzeń nadawczych w zakresie w,cz.*
- możliwość zwielokrotnienia sygnałów oryginalnych przesyłanych przez kanały poprzez zwielokrotnienie częstotliwościowe i czasowe
- możliwość rozdzielenia równocześnie przesyłanych sygnałów na tej samej częstotliwości nośnej (modulatory kwadraturowe)
- uodpornienie transmitowanych sygnałów na szumy i zakłócenia
- sygnały zmodulowane są stosowane w pomiarach i automatyce *zwiększenie dokładności pomiarów i sterowania*

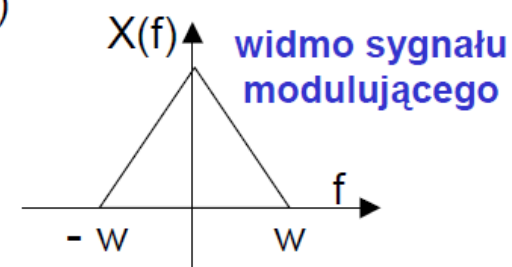
Detektory AM

detektor obwiedni



$$(R_d + R_s)C \ll 1/f_0$$

$$1/f_0 \ll RC \ll 1/w$$



$$s(t) = A_0 [1 + m x(t)] \cos(\omega_0 t) = A(t) \cos(\omega_0 t)$$

przykład:

$$s(t) = (1 + \sin 200\pi t) \cos(12\pi 10^4 t)$$

$$R_s = 75\Omega$$

$$R_d = 27\Omega$$

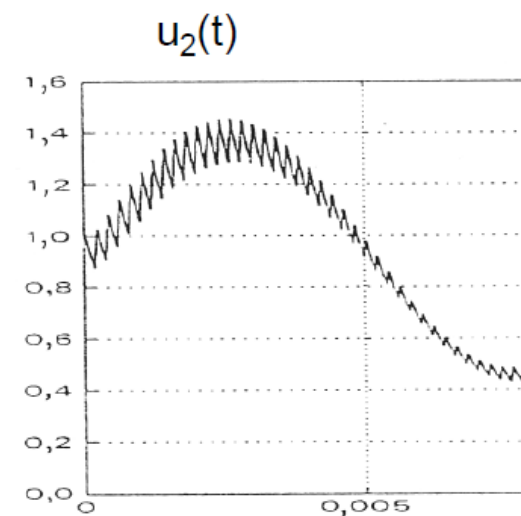
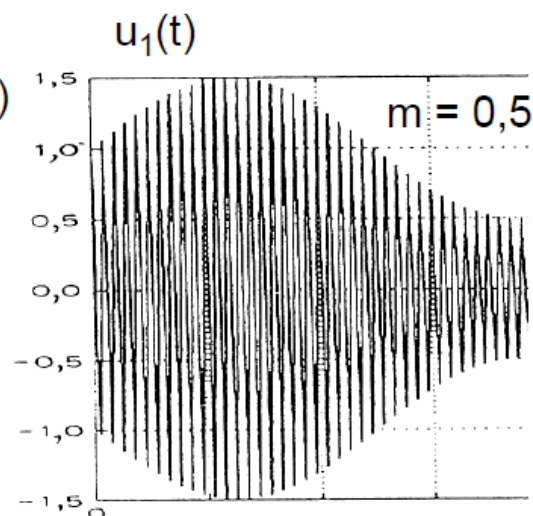
$$R = 10k\Omega$$

$$C = 0,01\mu F$$

$$w = 100\text{Hz}, 1/w = 0,01\text{s}$$

$$f_0 = 60\text{kHz}, 1/f_0 = 1,67 \cdot 10^{-5}\text{s}$$

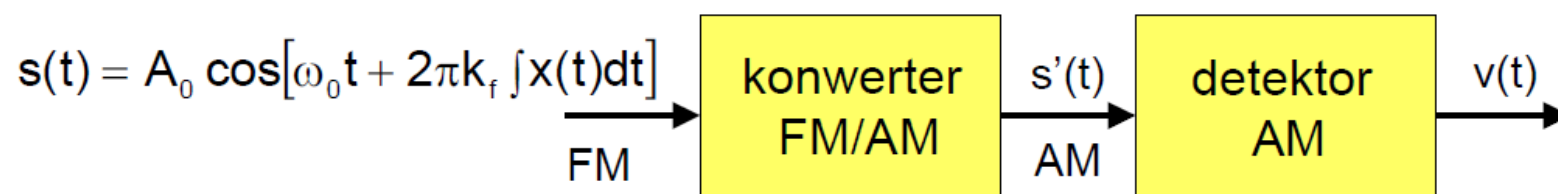
$$RC = 10^{-4}, (R_d + R_s)C = 10^{-6}$$



DETEKTORY SYGNAŁU FM

Detektory z zamianą FM na AM

zasada działania



$$1) \quad |H(f)| = H_0 + k(f - f_0), \quad \text{dla } |f - f_c| < \frac{B}{2}$$

$$f(t) = f_0 + k_f x(t)$$

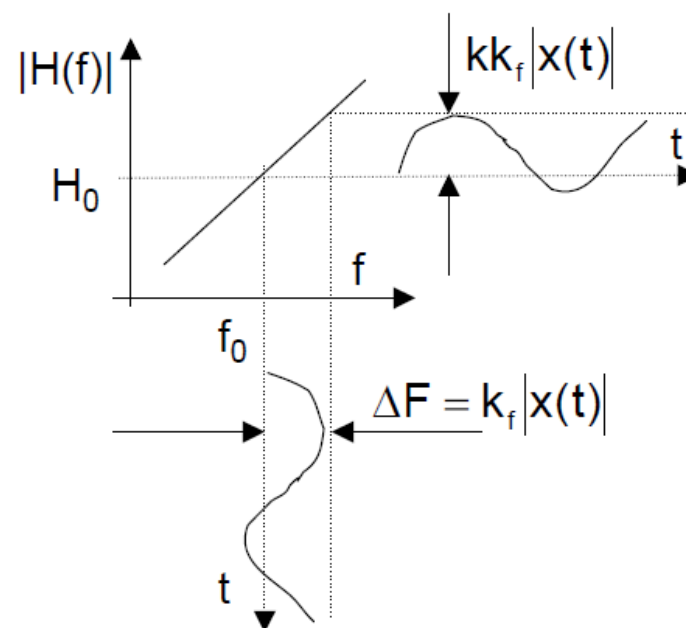
$$s'(t) = A_0 [H_0 + k k_f x(t)] \cos(\omega_0 t + 2\pi k_f \int x(t) dt)$$

$$v(t) = A_0 [H_0 + k k_f x(t)]$$

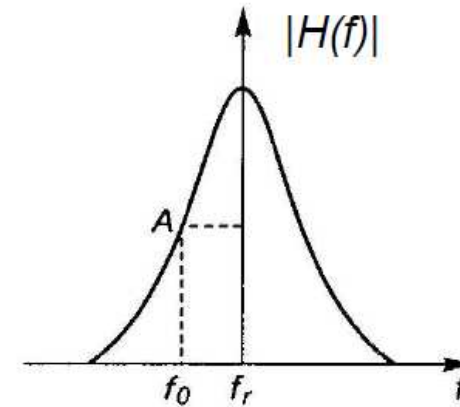
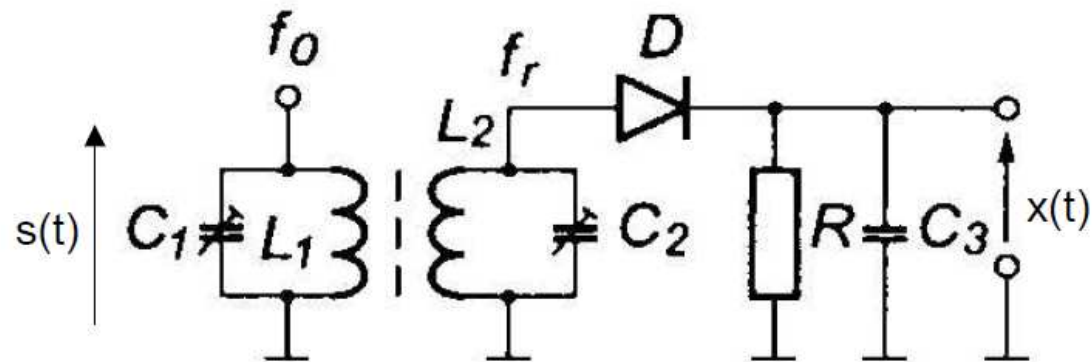
$$2) \quad |H(f)| = 2\pi f$$

$$s'(t) = \frac{ds(t)}{dt} = -A_0 [\omega_0 + 2\pi k_f x(t)] \sin(\omega_0 t + 2\pi k_f \int x(t) dt)$$

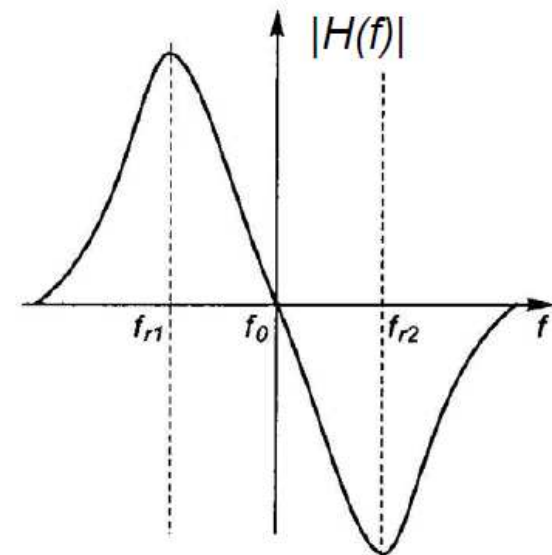
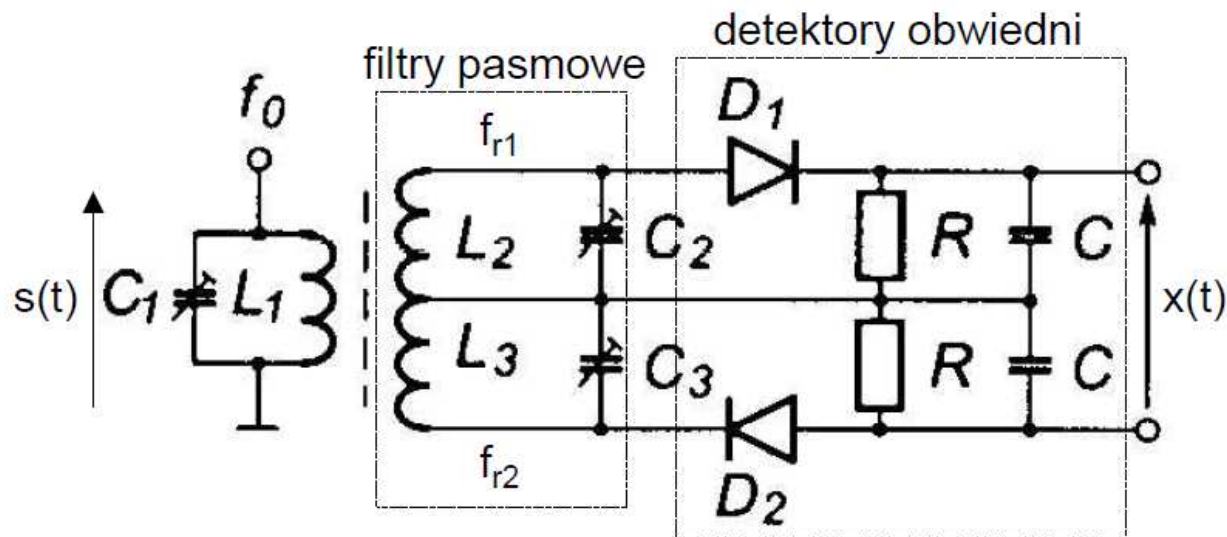
$$v(t) = A_0 [\omega_0 + 2\pi k_f x(t)]$$



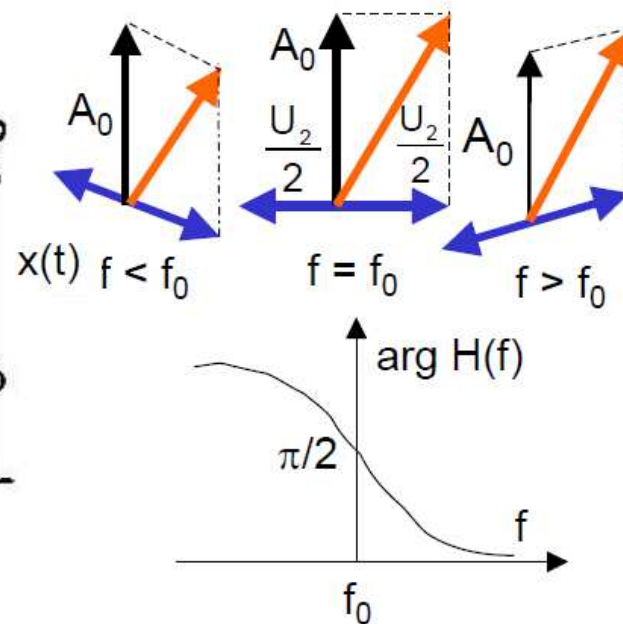
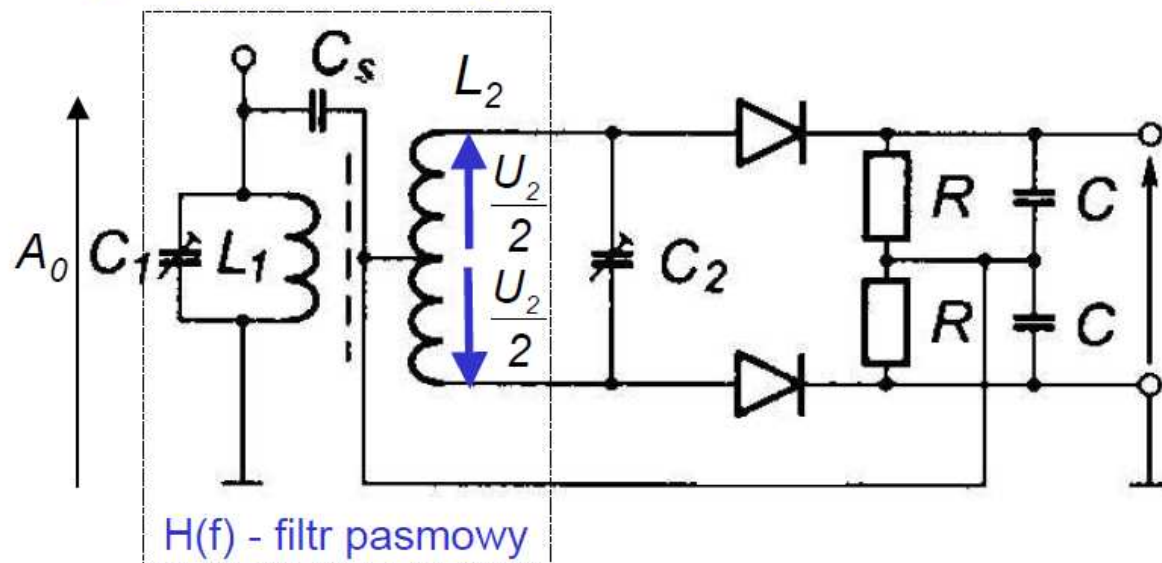
detektor z odstrojonym obwodem



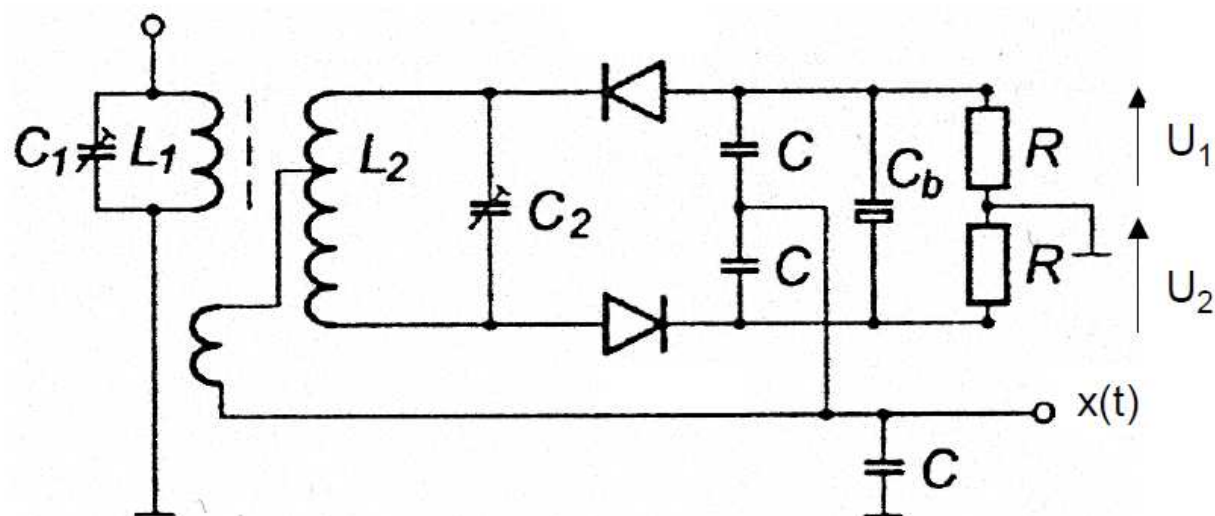
detektor z dwoma odstrojonymi obwodami



dyskryminator fazy



detektor stosunkowy



Wszystkie radiokomunikacyjne urządzenia nadawczo - odbiorcze wykorzystują zjawisko modulacji oraz demodulacji. Modulacja jest procesem nakładania sygnału zawierającego informację (głos, dane cyfrowe) na sygnał nośny. Do łączności na fonii czyli sygnałami modulującymi zawartymi w przedziale częstotliwości akustycznych 300 - 3000 Hz oraz fala nośna. Fala nośna przed wypromieniowaniem w przestrzeń zostaje w nadajniku zmodulowana amplitudowo ze wstęgą nośną (AM) lub z wytłumioną wstęgą nośną (SSB) bądź częstotliwościowo.

Modulacja amplitudy - AM

Przy modulacji amplitudy amplituda fali nośnej zmienia się w takt napięcia modulującego. Jest to jeden z najstarszych rodzajów emisji wykorzystywanych w łączności. Najważniejszym parametrem modulacji amplitudy jest współczynnik głębokości modulacji. Parametr ten jest zazwyczaj podawany w procentach, a jego maksymalna wartość w prostych radiotelefonach nie przekracza 80%. Ma to na celu zapewnienie marginesu bezpieczeństwa, aby najsilniejsze sygnały dochodzące do mikrofonu nie powodowały przemodulowania co byłoby przyczyną niekorzystnych zniekształceń sygnału zmodulowanego.

Drugim ważnym parametrem jest szerokość sygnału zmodulowanego - jest równa podwojonej największej częstotliwości modulującej czyli 6kHz. Taką szerokość przenoszenia pasma muszą mieć wszystkie układy toru odbiorczego AM. Całkowita moc nadajnika AM wypromieniowana przez antenę składa się z mocy fali nośnej oraz mocy dwóch wstęg bocznych. Przy głębokości modulacji $m=100\%$, moc zawarta w obu wstęgach bocznych jest równa połowie mocy fali nośnej. Np. w radiotelefonie AM o mocy 10 W część mocy 5 W jest zużywana na falę nośną, a $2 \times 2,5$ W na wstęgi boczne. W odbiorniku AM następuje proces odwrotny do modulacji, polegający na odtworzeniu przebiegu zmodulowanego sygnału modulującego. Proces ten jest realizowany za pomocą demodulatora.

Modulacja częstotliwości - FM

Przy modulacji częstotliwościowej amplituda fali nośnej jest stała, natomiast jej częstotliwość zmienia się w zależności od amplitudy sygnału modulującego. Wartość o jaką częstotliwość fali nośnej zmienia się od częstotliwości początkowej (częstotliwość przy braku modulacji) nazywa się dewiacją - odchyleniem częstotliwości. Dewiacja to różnica między najniższą i najwyższą częstotliwością fali nośnej w trakcie modulacji. W radiotelefonach FM częstotliwość wysyłana przez nadajnik zmienia się w granicach $\pm 1,5$ - ± 5 kHz. 5 kHz to najwyższa wartość dewiacji, ponieważ przy większej dewiacji mogłyby wystąpić zakłócenia sąsiednich sygnałów.

Drugą wielkością charakterystyczną dla modulacji częstotliwości jest tak zwany wskaźnik modulacji : mf który wyraża się stosunkiem dewiacji częstotliwości do częstotliwości modulującej. Zaletą modulacji częstotliwości jest znacznie mniejsza niż dla AM wrażliwość transmisji na zakłócenia zewnętrzne, zmieniające chwilową amplitudę sygnału zmodulowanego. Ponadto jakość sygnału jest lepsza.

Moc sygnału FM nie zmienia się w procesie modulacji i jest równa mocy niemodulowanego sygnału nośnego. Cała moc jest więc wykorzystywana do przekazywania informacji. Nadajniki FM mają bardzo wysoką sprawność energetyczną. W celu podwyższenia stosunku sygnału do szumu stosuje się zabieg uwypuklania tonów wysokich (preemfaza) przy nadawaniu i odpowiedniego symetrycznego tłumienia tych tonów (deemfaza) w odbiorniku. W wyniku takich procesów wypadkowa charakterystyka częstotliwościowa sygnału nie ulega zmianie, a powoduje zmniejszenie poziomu szumów.

Znane są dwie metody modulacji częstotliwości:

- bezpośrednia
- pośrednia.

W metodzie bezpośredniej, najczęściej stosowanej w radiotelefonach CB, zmianę częstotliwości fali nośnej uzyskuje się przez przyłączenie do obwodu generatora diody pojemnościowej, której pojemność zmienia się w takt zmian napięcia modulującego.

Metoda pośredniej modulacji częstotliwości polega na uzyskiwaniu wymaganej dewiacji częstotliwości pośrednio przez modulację fazy fali nośnej. Uzyskuje się to przez zmianę rezystancji lub reaktancji obwodu w następnym stopniu po generatorze, w takt zmian napięcia modulującego. W celu ograniczenia maksymalnej dewiacji o wartości ustalonej (2,5 kHz), co chroni przed powstawaniem zniekształceń transmisji i zakłóceń dla sąsiednich kanałów, stosuje się ograniczniki modulacji.

Modulacja jednowstęgowa - SSB

Modulacja jednowstęgowa jest szczególnym przypadkiem modulacji amplitudy. Istota SSB polega na usunięciu jednej bocznej wstęgi sygnału z modulacją amplitudy i znacznym wytłumieniu fali nośnej w tym sygnale. Przy głębokości modulacji równej 100% moc promieniowania rozdziela się następująco:

- 50% - fala nośna
- 2x po 25% - wstęgi boczne

Informacja jest przenoszona tylko przez wstęgi boczne, a pozostałe 50% mocy (fala nośna) jest wypromieniowywane bezużytecznie. Przy wytłumieniu fali nośnej uzyskujemy sygnał dwuwstęgowy, tzw. DSB, który pozwala na ograniczenie do połowy mocy nadajnika. Sygnał SSB osiąga się po zlikwidowaniu (wytłumieniu) jednej ze wstęg bocznych. Przy tego typu emisji nie ulega zmianie wierność przekazywanej informacji, a osiąga się w stosunku do klasycznej emisji AM wiele korzyści:

- cała moc nadajnika jest zużyta na wypromieniowanie jednej wstęgi bocznej
- węższe pasmo częstotliwości emitowanej przez nadajnik
- zawężenie o 50% pasma w odbiorniku, co daje na wyjściu poziom szumów mniejszy niż 3 dB
- brak fali nośnej zmniejsza zjawisko interferencji fal przy odbiorze
- ekonomiczne zasilanie (moc promieniowana jest tylko w czasie trwania modulacji)
- mniejsza zawartość sygnałów niepożądanych i harmoniczných wypromieniowanych przez nadajnik

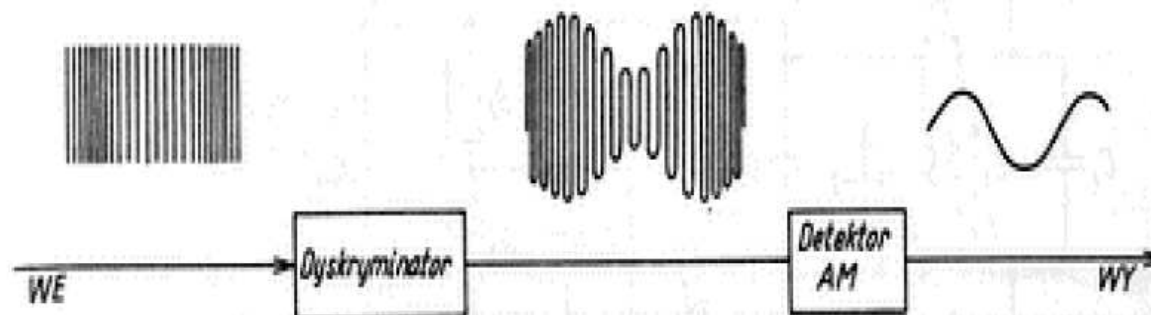
Te korzystne właściwości SSB są okupione znaczną komplikacją układu.

W nadajniku sygnał nie jest formowany bezpośrednio na częstotliwości wyjściowej lecz na częstotliwości pośredniej. Wyjściowy sygnał SSB jest uzyskiwany w drodze przemiany częstotliwości. Sygnał SSB jest formowany metodą filtrową z użyciem filtra kwarcowego lub piezoceramicznego, którego zadaniem jest wycięcie niepożądanego wstęgi bocznej. Istnieje jeszcze jedna metoda formowania sygnału SSB bez użycia drogiego filtra kwarcowego. Jest to metoda fazowa. Wymaga ona zastosowania dwóch modulatorów, do których doprowadza się przesunięte w fazie o 90 stopni sygnały: akustyczny i fali nośnej. Po zsumowaniu sygnałów z modulatorów w układzie wyjściowym, uzyskuje się dodawanie składowych wstęgi niepożądanego.

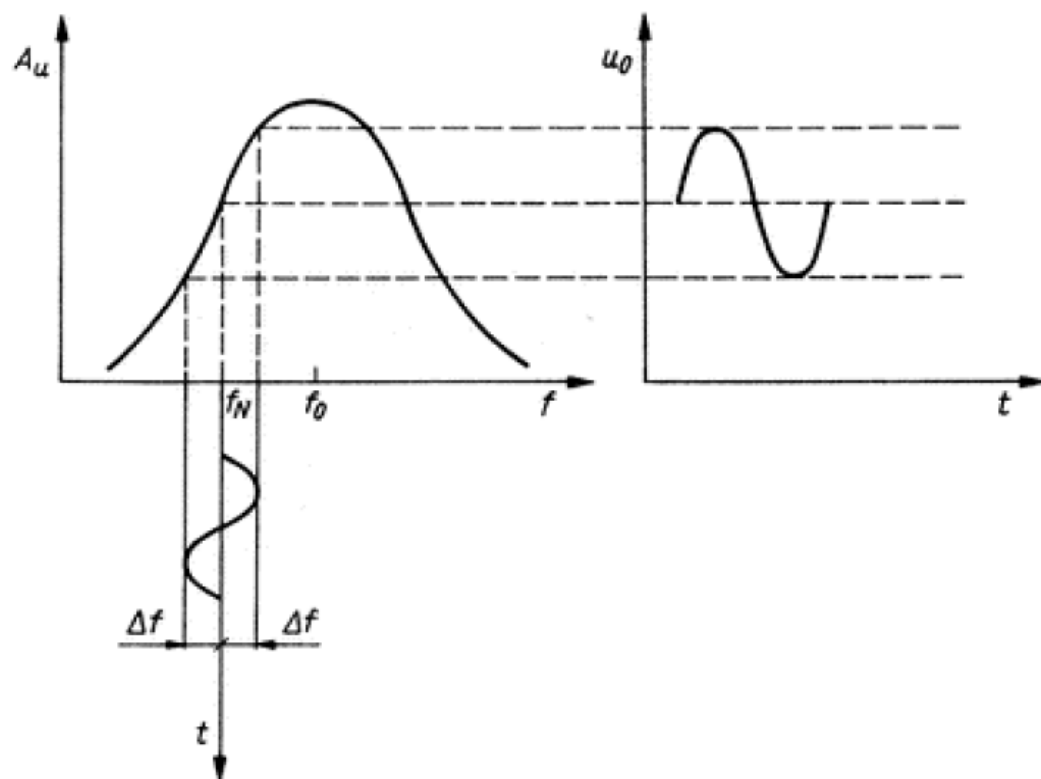
Demodulacja FM (sygnału zmodulowanego częstotliwościowo)

Demodulację przeprowadza się na ogół w dwóch etapach. Pierwszą czynnością jest takie ukształtowanie przebiegu zmodulowanego, aby jego amplituda była proporcjonalna do częstotliwości, czyli zamiana przebiegu zmodulowanego częstotliwościowo na przebieg o modulowanej amplitudzie.

Następnie dokonuje się demodulacji otrzymanego przebiegu w demodulatorze amplitudowym. Podstawowym układem demodulatora jest dyskryminator, w którym uzyskuje się przebieg wyjściowy o częstotliwości przebiegu wejściowego, lecz o amplitudzie proporcjonalnej do częstotliwości.



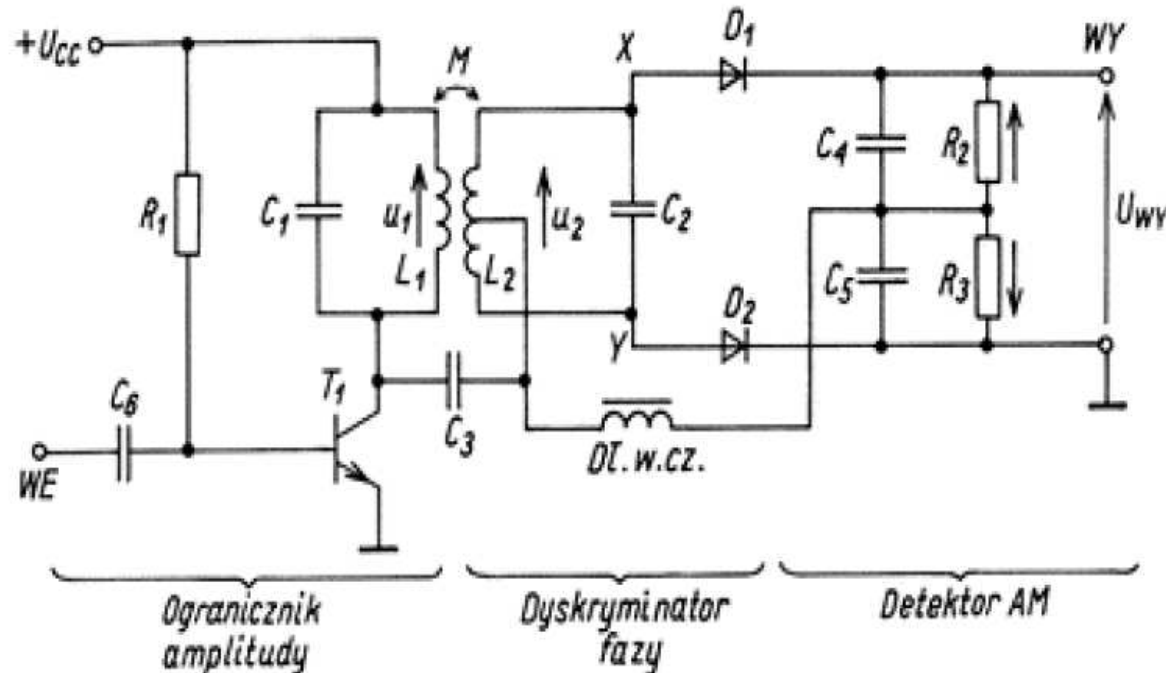
Funkcję najprostszego dyskryminatora może pełnić np. wzmacniacz selektywny LC o częstotliwości rezonansowej f_0 dobranej tak, aby częstotliwość przebiegu nośnego f_N wypadła na zboczu charakterystyki amplitudowej wzmacniacza.



Przy zmianie częstotliwości sygnału wejściowego o dewiację Δf wokół częstotliwości f_N , na wyjściu wzmacniacza otrzymuje się przebieg o zmodulowanej amplitudzie zależnej od Δf . Przykład ten dobrze wyjaśnia zasadę działania dyskryminatora, lecz ze względu na duże zniekształcenie sygnału modulującego (użytecznego) układ taki nie jest stosowany w praktyce.

Demodulator różnicowy

Demodulatorem stosowanym w odbiornikach FM jest układ z dyskryminatorem fazy przedstawiony na schemacie.



Jego zasada działania polega na wytworzeniu dwóch napięć wzajemnie przesuniętych w fazie o wartość kąta zależną od częstotliwości sygnału wejściowego.

Przebieg zmodulowany jest podawany na wejście selektywnego wzmacniacza-ogranicznika (tranzystor T_1), którego zadaniem jest zapewnienie stałej amplitudy tego przebiegu. Wzajemnie sprzężone indukcyjnie obwody rezonansowe L_1C_1 i L_2C_2 , dostrojone do częstotliwości przebiegu nośnego f_N (np. w przypadku odbiornika FM

Wskutek dodatkowego sprzężenia pojemnościowego (kondensator C_3 stanowiący zwarcie dla sygnału o częstotliwości f_N) napięcie pierwotne u_1 i wtórne u_2 jest sumowane dokładnie w środku cewki L_2 . Przy częstotliwości f_N , napięcia u_1 i u_2 są przesunięte w fazie o kąt 90° , napięcia zaś na anodach diod D_1 i D_2 (węzły X i Y) są równe co do wartości bezwzględnej, lecz przesunięte w fazie o 180° . Ponieważ diody D_1 i D_2 przewodzą wówczas na przemian ten sam prąd, to jednakowe spadki napięć na rezystorach R_2 i R_3 są przeciwnie skierowane i napięcie wyjściowe jest równe zeru.

W tym układzie detekcja sygnału modulującego jest możliwa wskutek dodatkowych przesunięć fazowych między napięciami u_1 i u_2 występującymi w takt zmian częstotliwości przebiegu zmodulowanego. Jeżeli częstotliwość tego przebiegu rośnie powyżej f_N , to reaktancja obwodu rezonansowego L_2C_2 przyjmuje charakter indukcyjny i przesunięcie fazowe napięcia u_2 względem u_1 zwiększa się (przekracza 90°). Wówczas napięcie na anodzie diody D_1 (węzeł X) rośnie, a na D_2 (węzeł Y) maleje w tym samym stopniu. Dioda D_1 bardziej przewodzi (obwód prądu zamyka się przez dławik w.cz.) i spadek napięcia na rezystorze R_2 zwiększa się, podczas gdy na R_3 maleje. Na wyjściu układu otrzymuje się więc wolnozmiennne napięcie dodatnie.

Gdy częstotliwość przebiegu zmodulowanego maleje poniżej f_N , proces ten zachodzi odwrotnie. Reaktancja obwodu rezonansowego L_2C_2 ma charakter pojemnościowy, a więc przesunięcie fazowe między napięciem u_2 a u_1 , maleje (poniżej 90°). Wówczas zmniejsza się także spadek napięcia na anodzie diody D_1 a zwiększa na D_2 . Teraz bardziej przewodzi dioda D_2 i wskutek tego rośnie spadek napięcia na rezystorze R_3 , maleje zaś na R_2 . Na wyjściu otrzymuje się więc wolnozmiennne napięcie ujemne.

Wartość chwilowa napięcia wyjściowego jest więc proporcjonalna do częstotliwości sygnału wejściowego. Taką charakterystykę amplitudową demodulatora przedstawiono na wykresie.

