

## MODULACJA W16 SMK 2005-05-30

Jest operacja mnożenia. Jest procesem nakładania informacji w postaci sygnału informacyjnego  $m(t)$  na inny przebieg o wyższej częstotliwości, nazywany falą nośną. Przyczyna stosowania – przetwarzanie sygnałów o niskich częstotliwościach na sygnały o dostatecznie wysokich częstotliwościach, aby można je było przesyłać na częstotliwościach radiowych.

Sinusoidalny sygnał nośny:

$$g(t) = A \sin(\omega t + \Phi)$$

$\omega$  – pulsacja,  $\Phi$  – dowolna faza początkowa,  $A$  – amplituda

Rodzaje:

- modulacja amplitudy (AM)

$$g(t) = A * \sin \Theta(t), \quad \Theta(t) = \omega t + \Phi \text{ – faza chwilowa}$$

- modulacja kąta  $\Theta(t)$

= modulacja fazy (PM) – faza chwilowa proporcjonalna do amplitudy sygnału informacyjnego (modulującego)

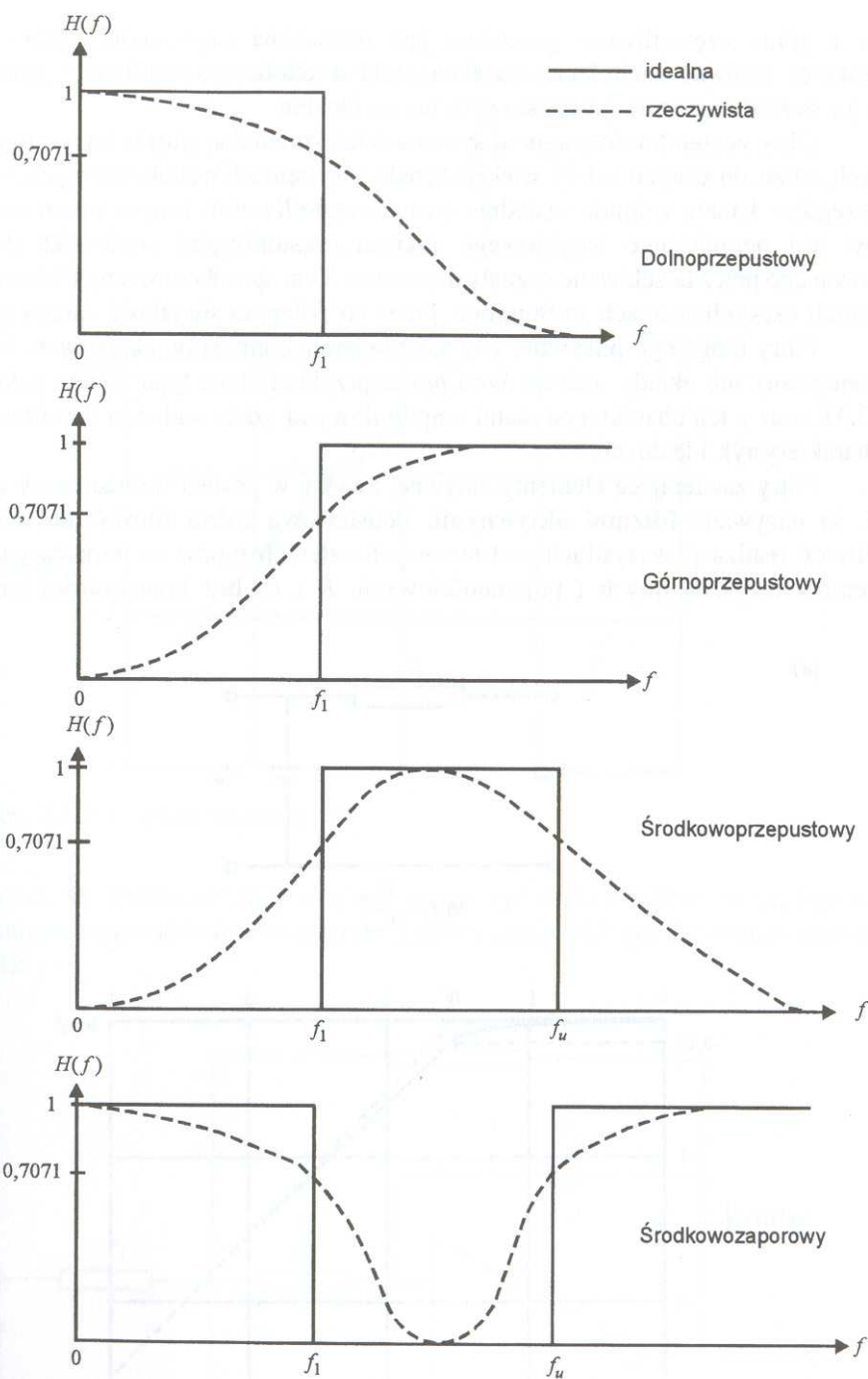
= modulacja częstotliwości (FM) – częstotliwość zmieniana jest proporcjonalnie do amplitudy chwilowej sygnału modulującego

1. Modulacja analogowa, 2. Modulacja cyfrowa

Przed nadejściem ery cyfrowej podstawowym typem łącza transmisyjnego był telefoniczny kabel analogowy. Charakteryzuje się on typowym pasmem częstotliwości 300-3400 Hz, a jego dolnoprzepustowa charakterystyka wyklucza transmisję danych w paśmie podstawowym.

Filtrem analogowym nazywamy układ przepuszczający sygnały o częstotliwościach leżących w ograniczonym zakresie, zwanym pasmem przepustowym i nie przepuszczający sygnałów spoza tego pasma. Rozróżniamy:

- filtry dolnoprzepustowe
- filtry górnoprzepustowe
- filtry pasmowoprzepustowe
- filtry pasmowozaporowe



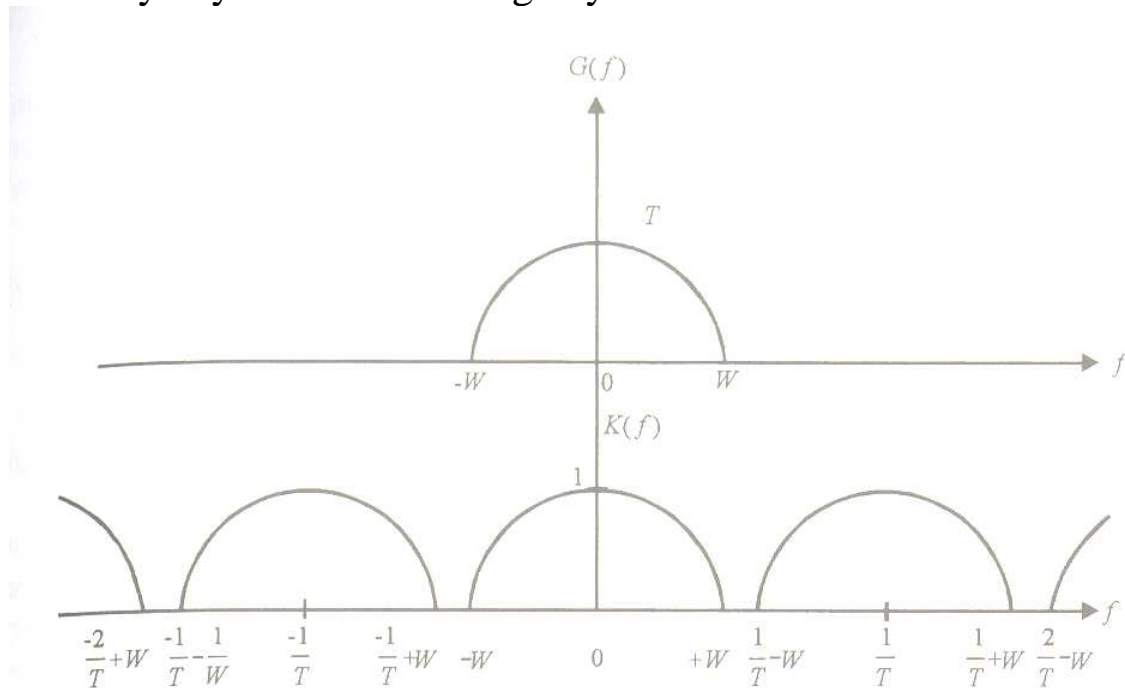
Wyidealizowane charakterystyki filtrów: R. Read, „Telekomunikacja” WKŁ 2000

Cel stosowania filtrów:

- selekcja kanału w systemach wielokanałowych, w których poszczególne kanały zajmują sąsiednie pasma częstotliwości,
- ograniczenie wejściowego zakresu częstotliwości odbiornika do pasma zajmowanego przez oczekiwane sygnały użyteczne

Filtry dzielą się na pasywne (nie mają tranzystorów ani układów scalonych – elementów aktywnych) i aktywne

Cyfrowe przetwarzanie sygnałów (DSP) związane jest z okresowym próbkowaniem sygnałów, zwykle za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego. Ciąg próbek zostaje zamieniony na ciąg liczb, który może być dalej obrabiany komputerowo. Techniki DSP są bardzo atrakcyjne, gdyż opierają się na oprogramowaniu, są często tańsze, a także bardziej niezawodne i precyzyjne od alternatywnych technik analogowych.



Widmo sygnału próbkowanego

Są dwa rodzaje filtrów cyfrowych:

- filtry o skończonej odpowiedzi impulsowej (SOI)
- filtry o nieskończonej odpowiedzi impulsowej

Analiza fourierowska pozwala na określenie związku między reprezentacjami sygnału w dziedzinie czasu i częstotliwości. Szereg Fouriera pozwala wyznaczyć widmo sygnału okresowego w dziedzinie czasu.

$$g(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega t)$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt; \quad a_n = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \cos n\omega t dt; \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \sin n\omega t dt;$$

Do wyznaczania widm sygnałów nieokresowych posługujemy się transformatą Fouriere'a. Odwrotna transformata Fouriere'a pozwala wyznaczyć czasową postać sygnału na podstawie jego widma.

$$G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t)e^{-j2\pi ft} dt; \quad g(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} G(f)e^{j2\pi ft} dt$$

Kanałowi można przypisać transmitancję stanowiącą matematyczną relacje pomiędzy wyjściem  $K(f)$  a wejściem  $G(f)$ . Jeżeli sygnał  $G(f)$  zostaje przyłożony na wejście kanału, to wyjście  $K(f)$  wyraża się zależnością:

$$K(f) = G(f) * H(f)$$

### 1.1. Sygnał modulowany amplitudowo

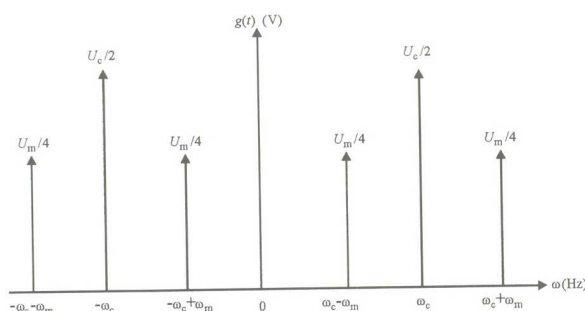
$$g(t) = (1 + U_m/U_c \sin \omega_m t) U_c \sin \omega_c t$$

Gdzie:  $m = U_m/U_c$  – głębokość modulacji,  $U_m \sin \omega_m t$  – sygnał modulujący,  $U_c \sin \omega_c t$  – fala nośna

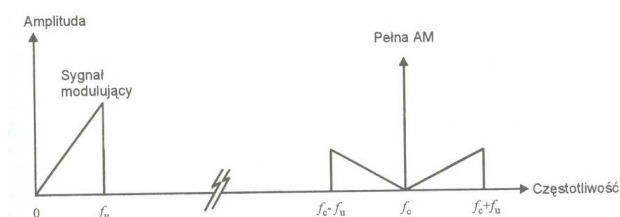
$$g(t) = U_c \sin \omega_c t + U_m/2 \cos(\omega_c - \omega_m)t - U_m/2 \cos(\omega_c + \omega_m)t$$

niezmodulowany	składowa	składowa
przebieg	różnicowa	sumacyjna
nośny	dolna cz. Boczna	górną cz. Boczna

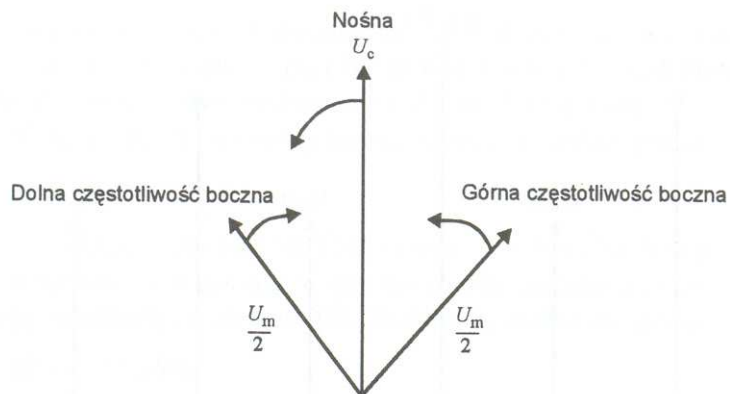
Sygnał ten jest odpowiednikiem splotu sygnałów sinusoidalnych o częstotliwościach  $\omega_c$  i  $\omega_m$ .



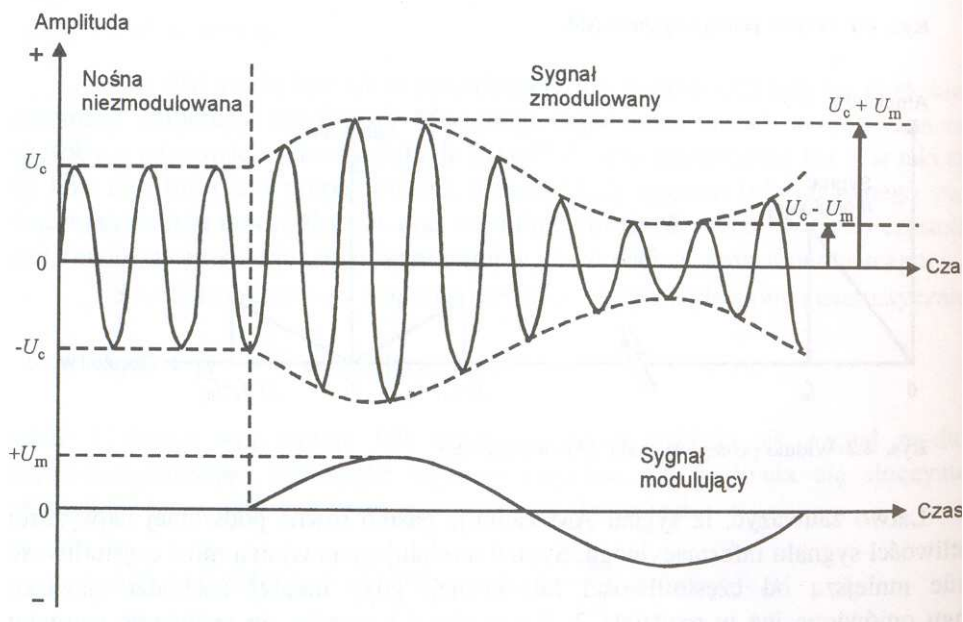
Rys. 4.1 Widmo pełnego sygnału AM



### Widmo pełnego sygnału AM



Rys. 4.3 Wykres wskazowy pełnego sygnału AM

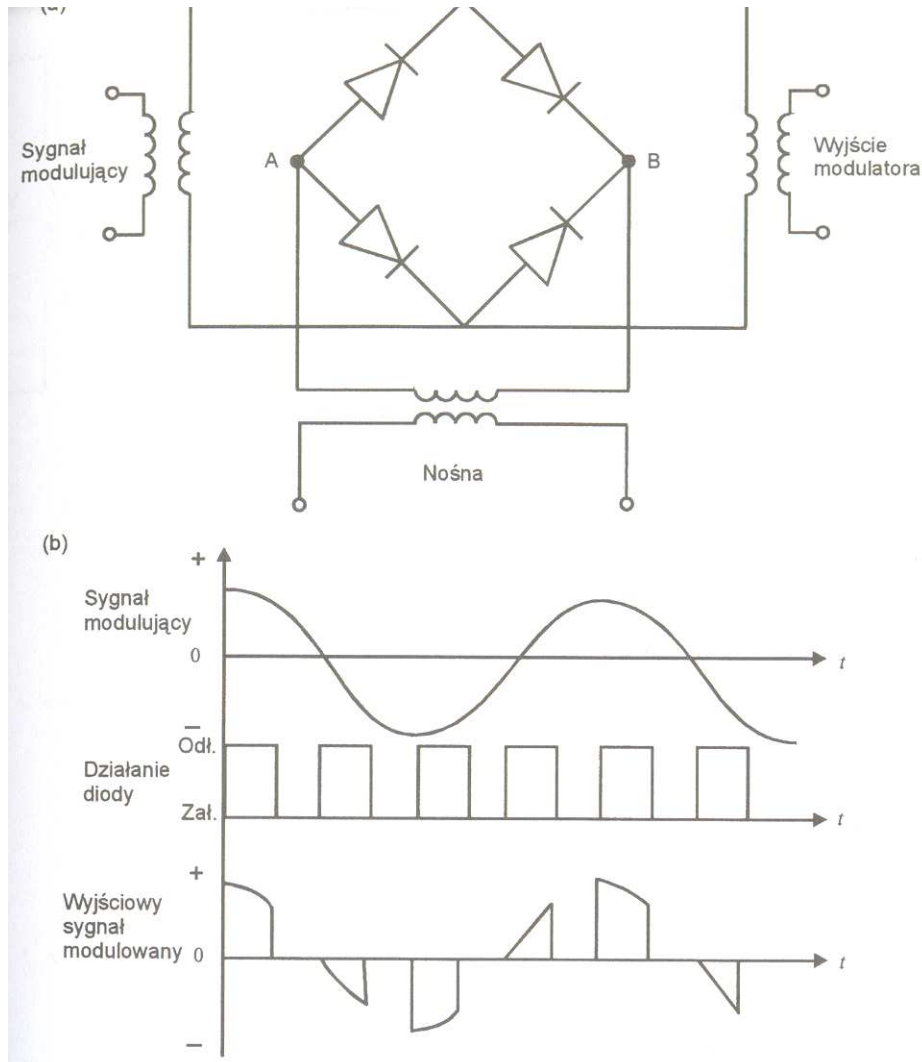


### Pełny sygnał AM w dziedzinie czasu

Sygnał ten zajmuje pasmo równe podwojonej najwyższej częstotliwości sygnału informacyjnego. Sygnał modulujący powinien mieć częstotliwość znacznie mniejszą od częstotliwości fali nośnej, co zapobiega nakładaniu się częstotliwości dodatnich i ujemnych sygnału AM.

Im większa amplituda sygnału modulującego tym większy zakres zmian głębokości modulacji. W praktyce należy dążyć do uzyskania sensownej głębokości modulacji (0.2-0.8).

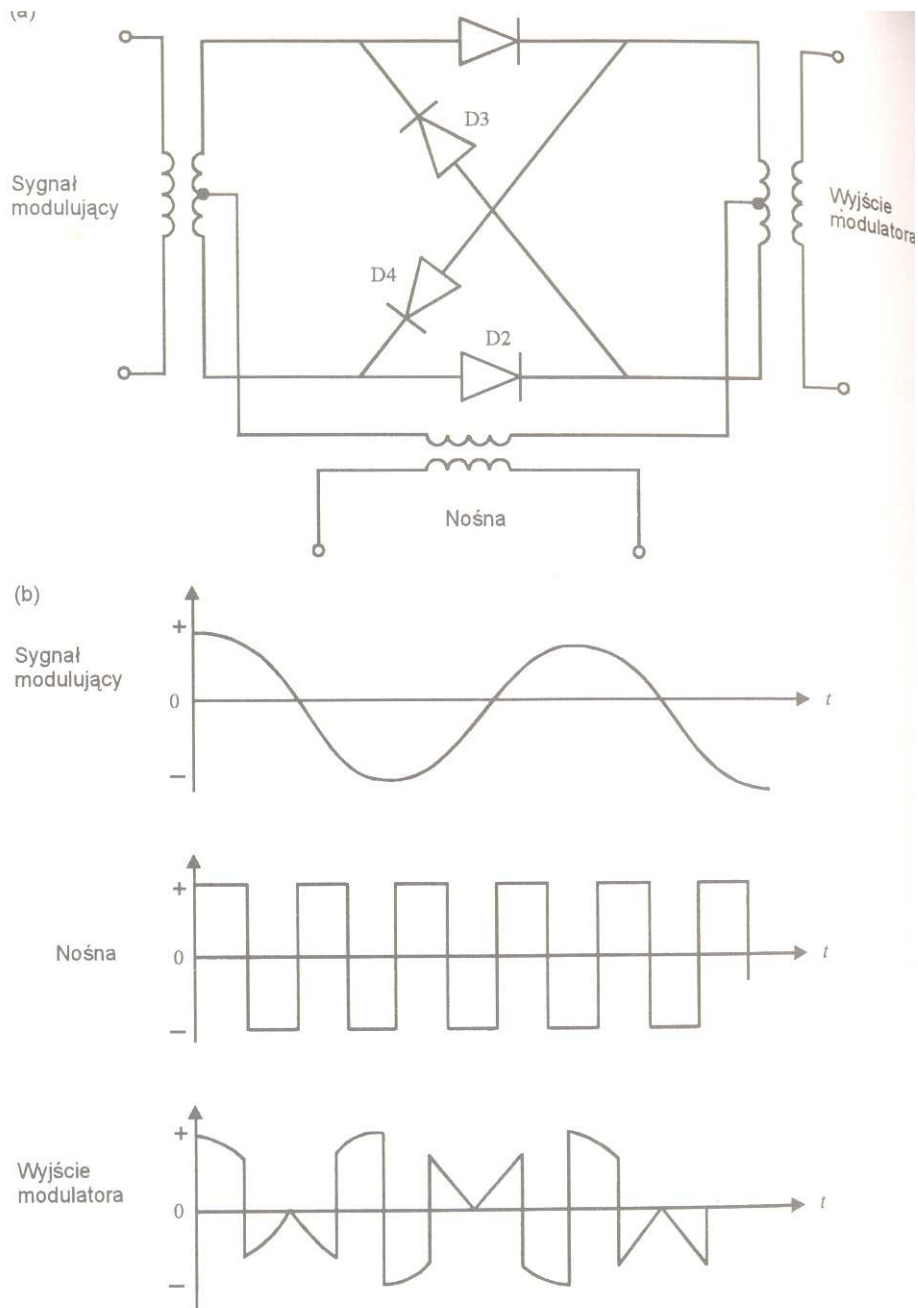
Rozróżniamy modulację nieliniową, liniową i modulację zrównoważoną – dwuwstęgowa ze stłumioną falą nośną – modulator nie wytwarza fali nośnej, a jedynie dolną i górną wstęgę boczną (modulator Cowana).



Modulator Cowana

Innym modulatorem z tej grupy jest modulator pierścieniowy – energia przebiegu impulsowego na wyjściu jest dwa razy wyższa. Sygnał wysyłany przez te modulatory można odebrać za pomocą metody detekcji koherentnej (odbierany sygnał zmodulowany zostaje pomnożony przez sygnał będący wersją oryginalnej fali nośnej).

Stosowana jest również modulacja jednowstęgowa (SSB), która pozwala na dwukrotne zmniejszenie szerokości pasma lub podwojenie pojemności kanału przy zachowaniu pasma.



## Modulator pierścieniowy

### 1.2. Modulacja kąta

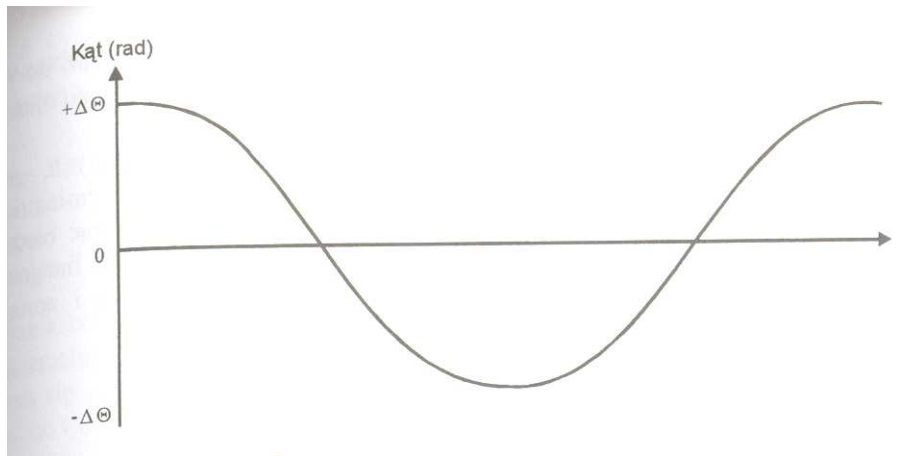
Jest lepsza od AM, gdyż pozwala na znaczącą redukcję wpływu szumów powodujących zmiany amplitudy sygnału zmodulowanego. Sygnał modulowany kątoowo ma postać:

$$g(t) = A \cdot \cos \Theta(t)$$

a). modulacja fazy – sygnał modulujący  $m(t)$

$$m(t) = U_m \cos \omega_m t$$

Przebieg modulowany fazowo:



### Modulacja fazy

Modulacja fazy jest rzadko używana w systemach analogowych, gdyż modulacja częstotliwości pozwala na zastosowanie prostszych dyskryminatorów częstotliwości w odbiornikach

### b). modulacja częstotliwości

W systemie FM sygnał modulujący zmienia częstotliwość sygnału na wyjściu modulatora względem częstotliwości fali nośnej.

$$g(t) = A \sin\left[2\pi f_c t + \frac{kU_m}{f_m} \sin(2\pi f_m t)\right]$$

$\Delta f = k \cdot U_m$  – dewiacja częstotliwości,  $M = \Delta f / f_m$  – wskaźnik modulacji

Metody modulacji dzielimy na:

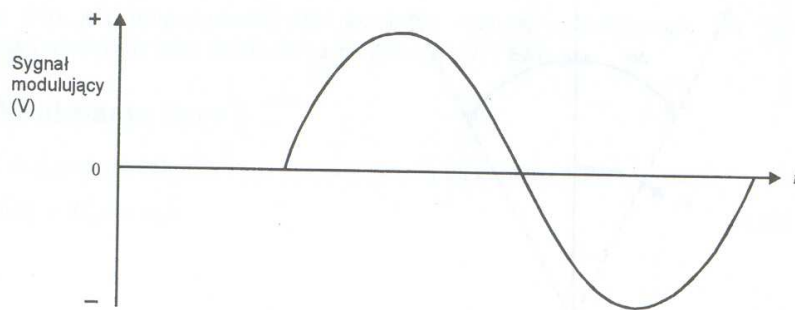
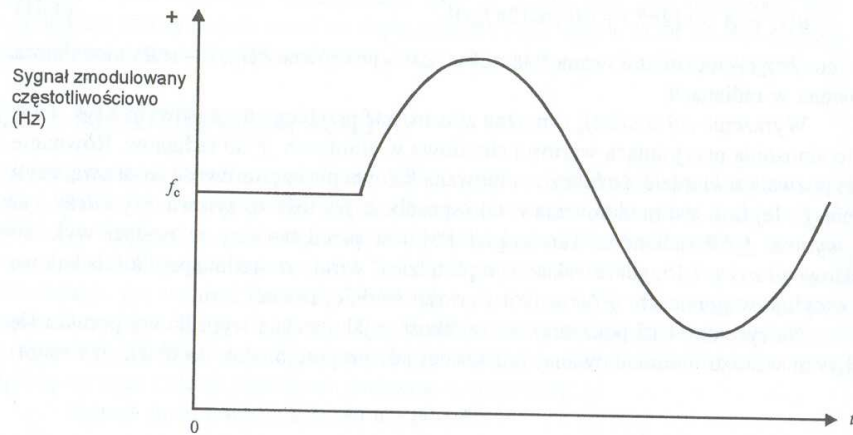
- metoda bezpośrednia – polega na tym, że sygnał informacyjny moduluje bezpośrednio częstotliwość oscylatora,
- metoda pośrednia – metoda Armstronga

### c). zwielokrotnienie z podziałem częstotliwościowym (FDM)

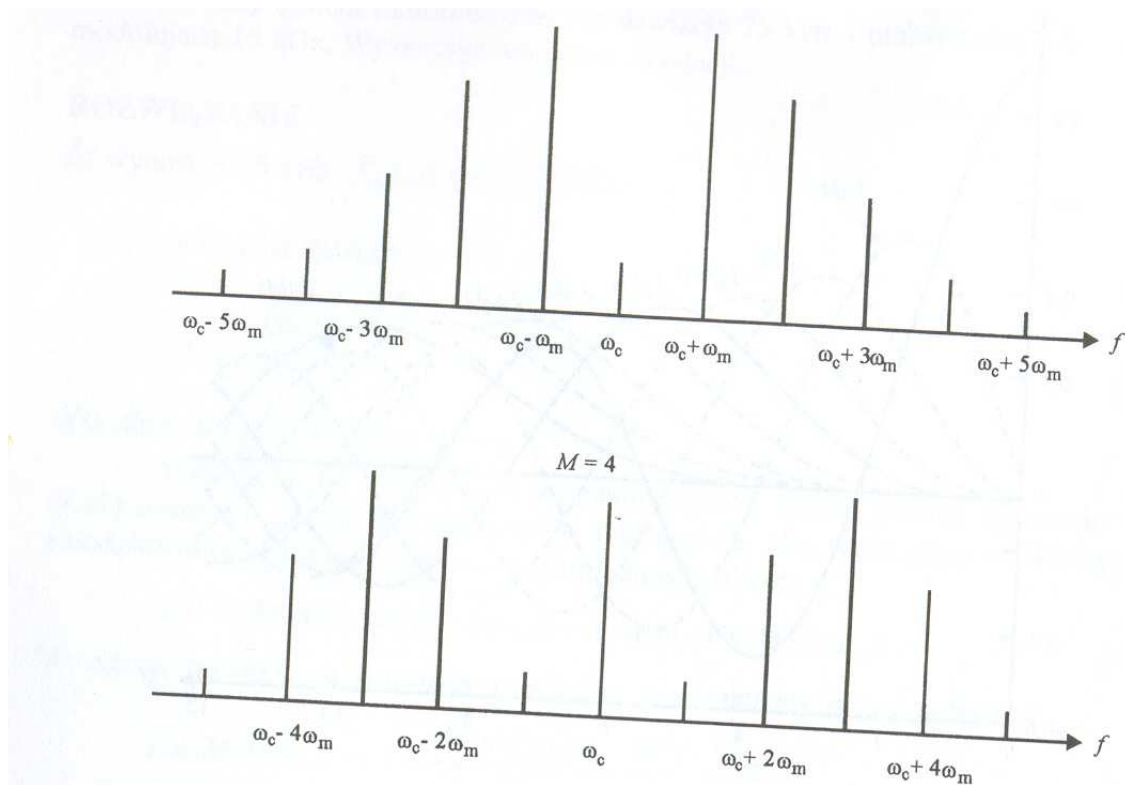
jest procesem łączącym pewną liczbę źródeł sygnału w jeden złożony sygnał. Polega na modulowaniu każdym z sygnałów innej



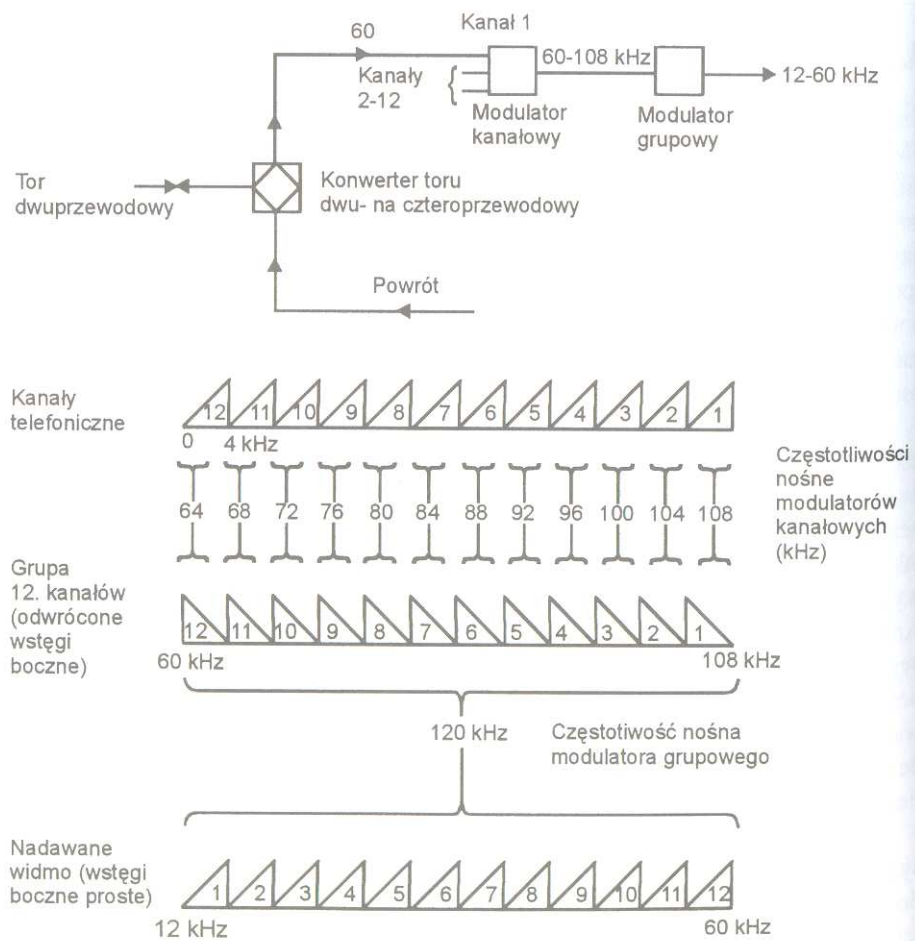
częstotliwości nośnej tak dobranych, aby widma otrzymanych sygnałów nie zachodziły na siebie.



### Modulacja częstotliwości



### Widmo sygnału FM



## Zwielokrotnienie z podziałem częstotliwościowym

Literatura: R. Read, „Telekomunikacja” WKŁ 2000