

Wyższa Szkoła Informatyki
Stosowanej i Zarządzania

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

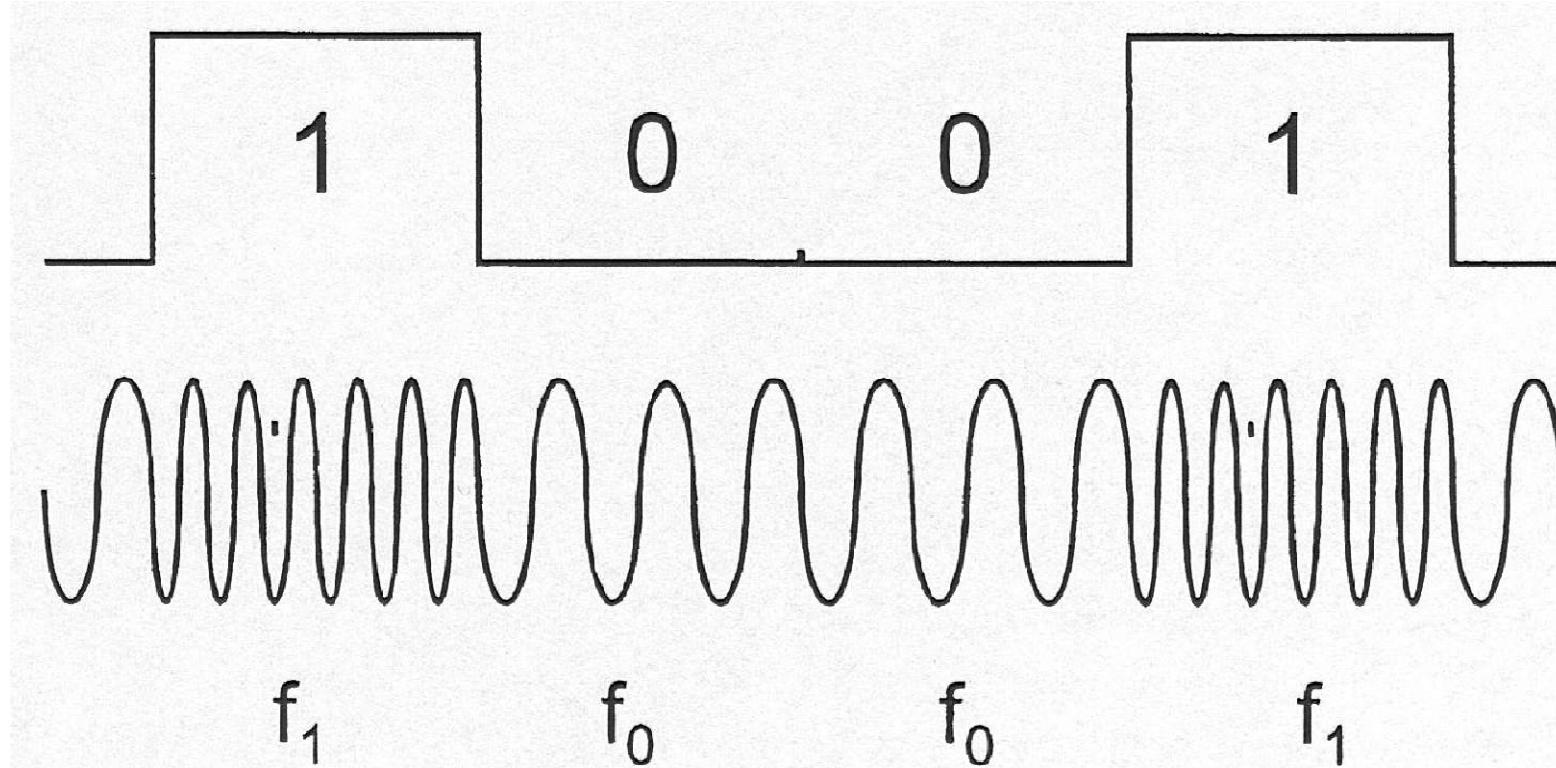
dr inż. Janusz DUDCZYK

ZAGADNIENIA

- Koherentny binarny sygnał FSK;
 - Modulacja MSK, widmo sygnału;
 - Generacja i detekcja sygnałów MSK;
 - Modulacja GMSK, widmo sygnału;
 - Modulacja MFSK, widmo gęstości mocy, własności szumowe modulacji;
 - Wnioski
-

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Koherentny binarny sygnał FSK



Przebieg czasowy sygnału z kluczowym przesuwem częstotliwości FSK.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Koherentny binarny sygnał FSK

Para sygnałów FSK, tj. $s_1(t)$ i $s_2(t)$ reprezentująca symbole binarne „1” i „0” jest zdefiniowana następująco:

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_i t) \quad 0 \leq t \leq T_b$$
$$s_i(t) = 0 \quad \text{dla reszty}$$

$$i = 1, 2$$

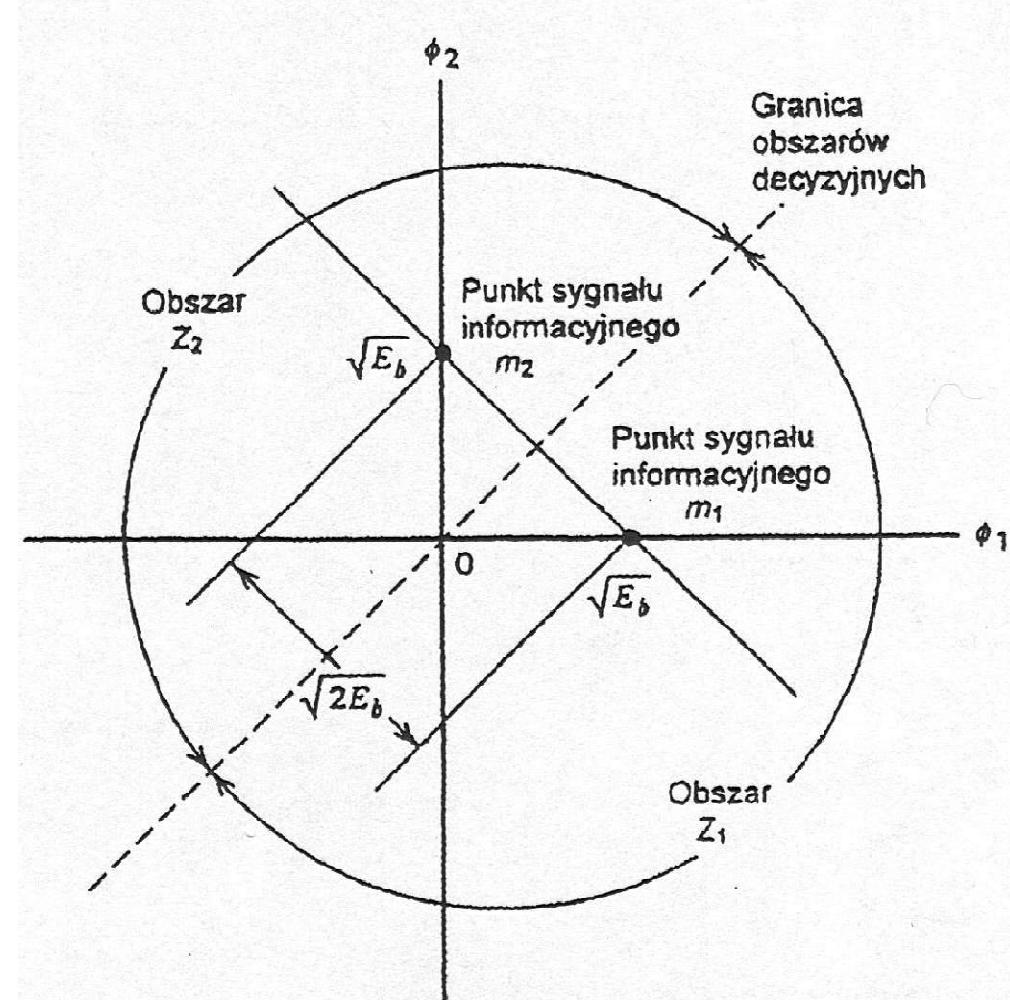
E_b – energia transmitowanego sygnału przypadająca na jeden bit.

T_b – czas trwania jednego bitu.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

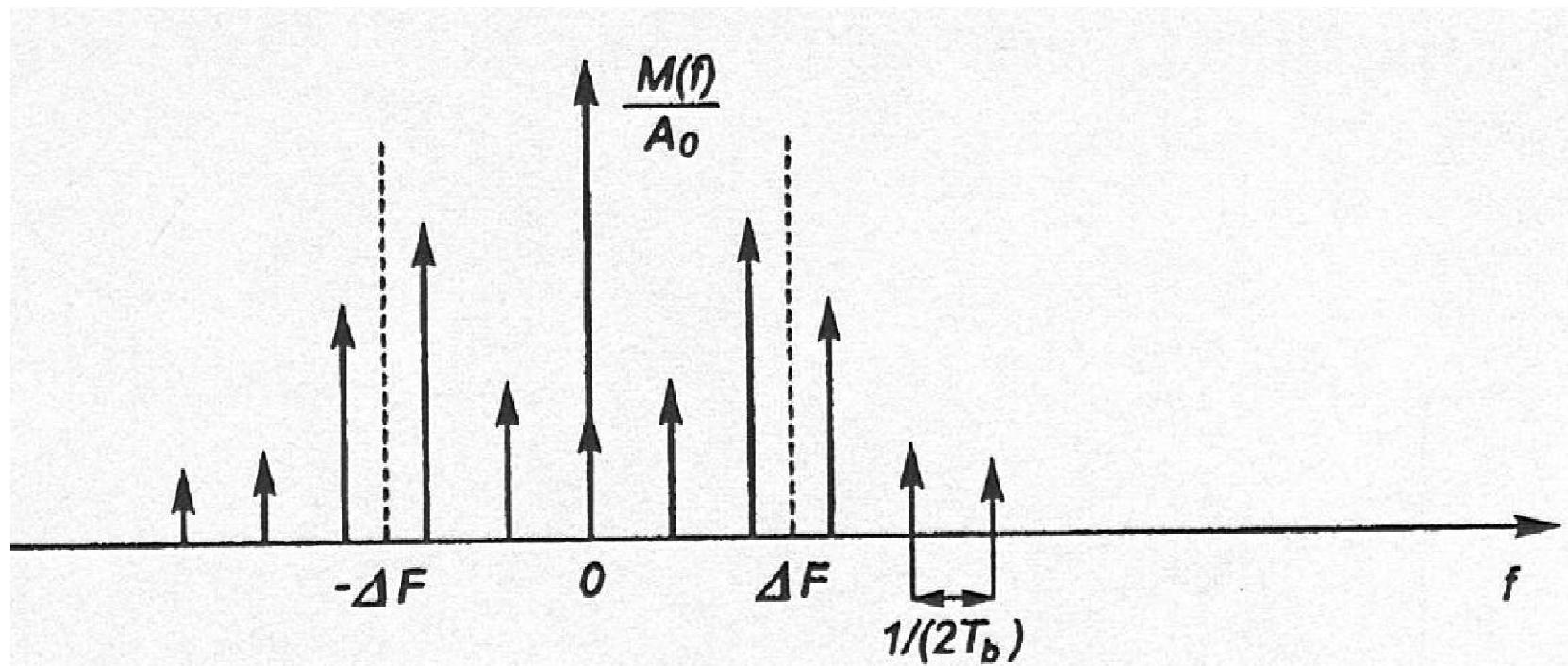
Koherentny binarny sygnał FSK

Zobrazowanie w przestrzeni sygnałowej dla koherentnego binarnego sygnału FSK.



MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Koherentny binarny sygnał FSK



Przebieg widma amplitudy sygnału FSK.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Koherentny binarny sygnał FSK

Nadawana częstotliwość sygnału FSK: $f_i = (n_c + i)/T_b$

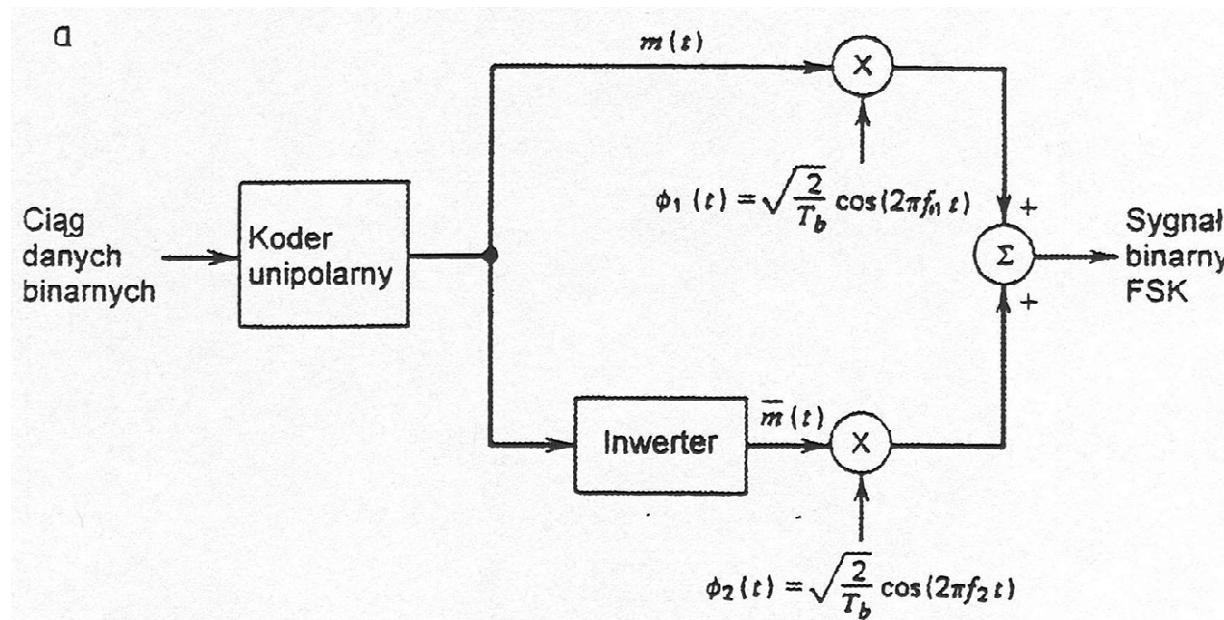
n_c – ustalona liczba całkowita. $i = 1, 2$

Opisany sygnał nazywany jest sygnałem Sunde'a. Jest to sygnał o ciągłej fazie **CPFSK**.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Koherentny binarny sygnał FSK

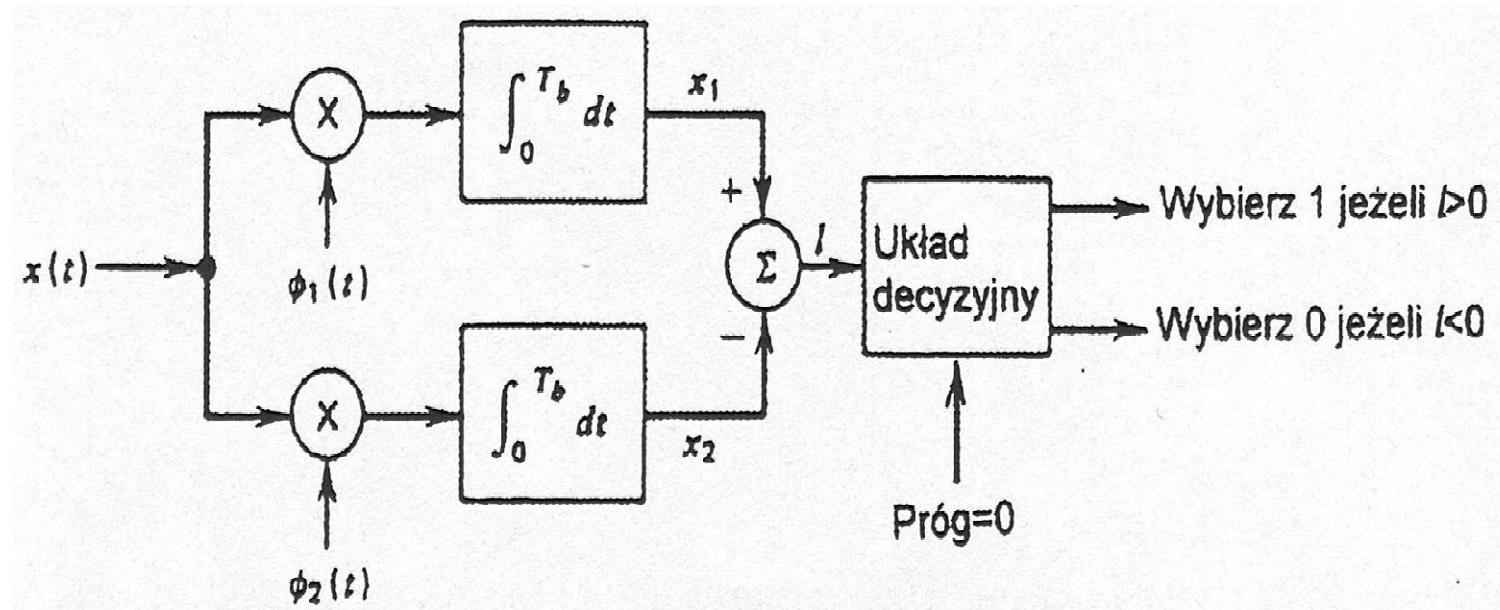
Sygnal zmodulowany 2FSK jest wytwarzany przez generator VCO, kluczowany przebiegiem - binarnym unipolarnym. Znakowi „1” odpowiada częstotliwość f_1 , natomiast znakowi „0” częstotliwość f_2 generatora VCO.



Schemat blokowy nadajnika sygnału FSK.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Koherentny binarny sygnał FSK

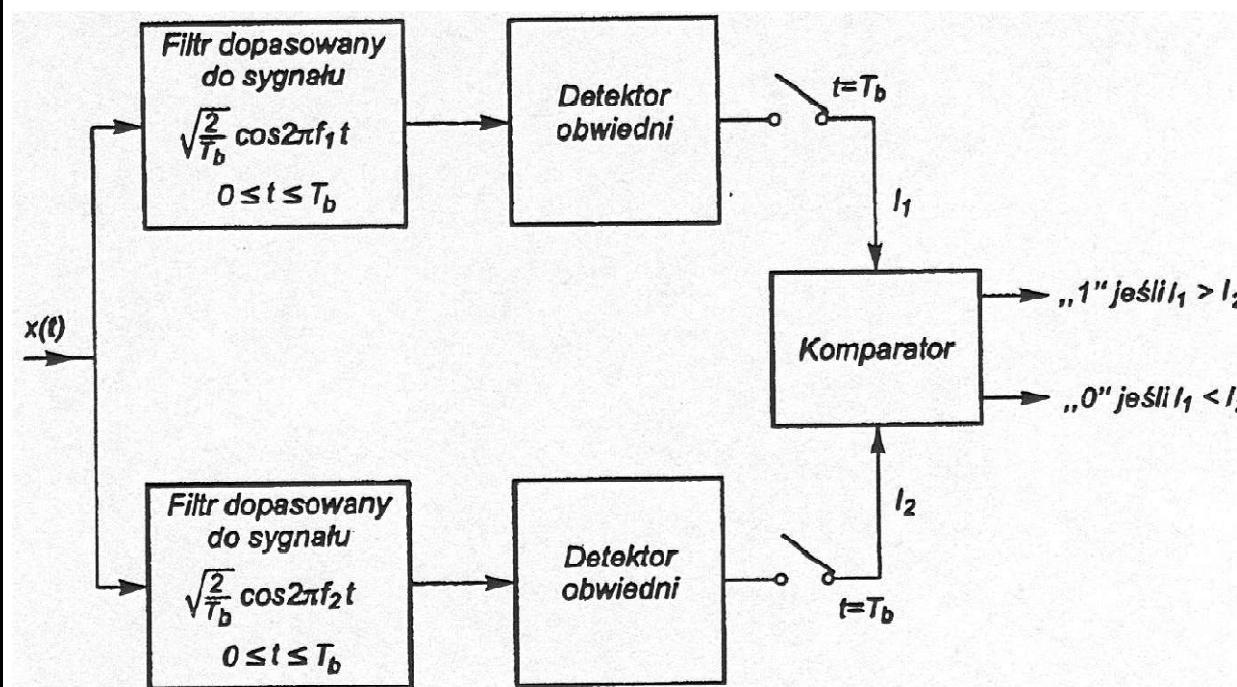


Schemat blokowy koherentnego binarnego odbiornika sygnału FSK.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Koherentny binarny sygnał FSK

Detekcja sygnału 2FSK może być koherentna lub niekoherentna. Poniższy rysunek przedstawia schemat blokowy odbiornika do odbioru niekoherentnego binarnego sygnału FSK.



Schemat blokowy odbiornika niekoherentnego binarnego odbiornika FSK

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Koherentny binarny sygnał FSK

Bitowa stopa błędu w koherentnym systemie FSK wynosi:

$$p_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right)$$

Bitowa stopa błędu w niekoherentnym systemie FSK wynosi:

$$p_e = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_b}{2N_0}\right)$$

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Modulacja MSK

System kluczowania częstotliwości można opisać równaniami:

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos[2\pi f_1 t + \Theta(0)] \quad \text{dla symbolu 1}$$

$$s_2(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos[2\pi f_2 t + \Theta(0)] \quad \text{dla symbolu 0}$$

System kluczowania częstotliwości z przesuwem częstotliwości o ciągłej fazie znany pod nazwą **CPFSK** można opisać wzorem w konwencjonalnej postaci sygnału z modulacją fazy:

$$s(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos[2\pi f_c t + \Theta(t)]$$

$\Theta(t)$ – faza sygnału $s(t)$

Gdy $\Theta(t)$ jest funkcją ciągłą to sygnał $s(t)$ jest ciągły. Faza $\Theta(t)$ sygnału CPFSK zwiększa się lub zmniejsza się liniowo w czasie, podczas trwania każdego z bitów, T_b sekund, zgodnie z zależnością:

$$\Theta(t) = \Theta(0) \pm \frac{\pi h}{T_b} \cdot t \quad 0 \leq t \leq T_b$$

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Modulacja MSK

$$\Theta(t) = \Theta(0) \pm \frac{\pi h}{T_b} \cdot t \quad 0 \leq t \leq T_b$$

Przekształcając zależność, otrzymuje się:

$$f_1 = f_c + \frac{h}{2T_b}$$
$$f_2 = f_c - \frac{h}{2T_b}$$

Rozwiązuje powyższe zależności względem niewiadomych f_c i h , otrzymano:

$$f_c = \frac{1}{2}(f_1 + f_2)$$
$$h = T_b(f_1 - f_2)$$

f_c – nominalna wartość częstotliwości nośnej;

h – współczynnik dewiacji.

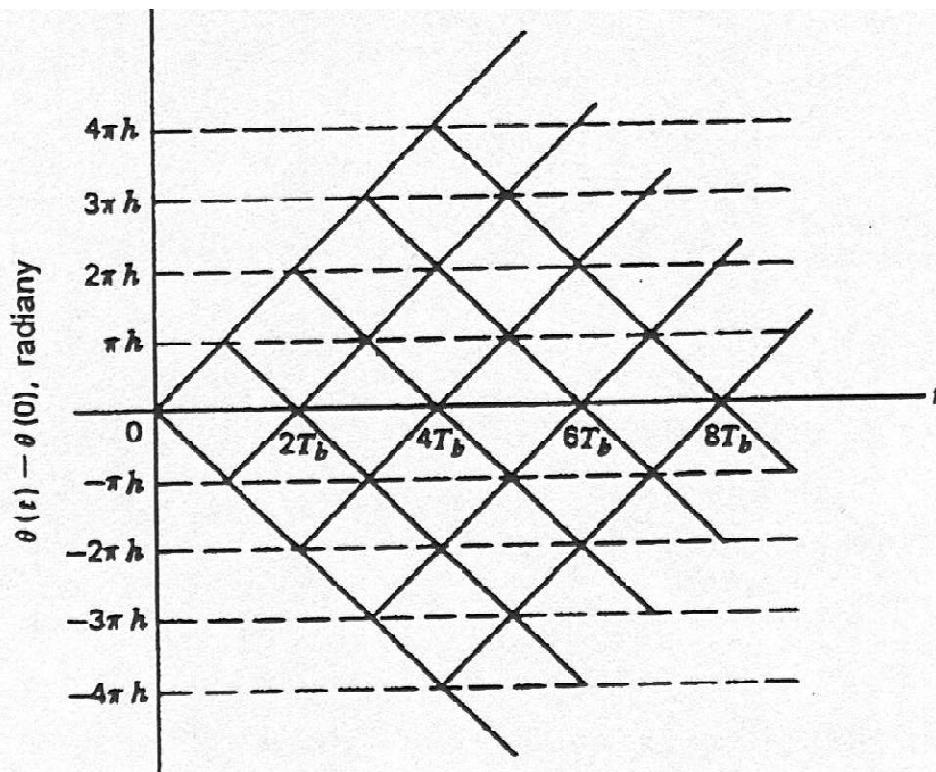
MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Modulacja MSK

$$\Theta(T_b) - \Theta(0) = \begin{cases} \pi h & \text{dla symbolu 1} \\ -\pi h & \text{dla symbolu 0} \end{cases}$$

$$\Theta(t) = \Theta(0) \pm \frac{\pi h}{T_b} \cdot t \quad 0 \leq t \leq T_b$$

Przyjmując założenie: $t = T_b$



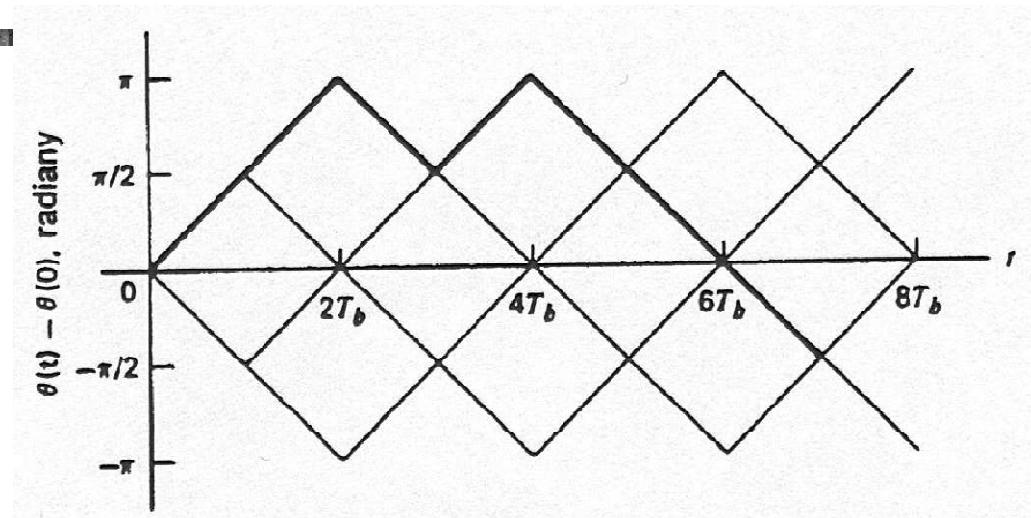
Drzewo fazowe dla sygnału FSK z dewiacją $h = 1$.

Zmiana fazy o „ $+\pi$ ” radianów daje ten sam efekt co zmiana fazy o „ $-\pi$ ” radianów. Dla FSK Sunde'a występuje brak pamięci. Możliwe zamiany kąta fazowego przedstawiono na rysunku.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Modulacja MSK

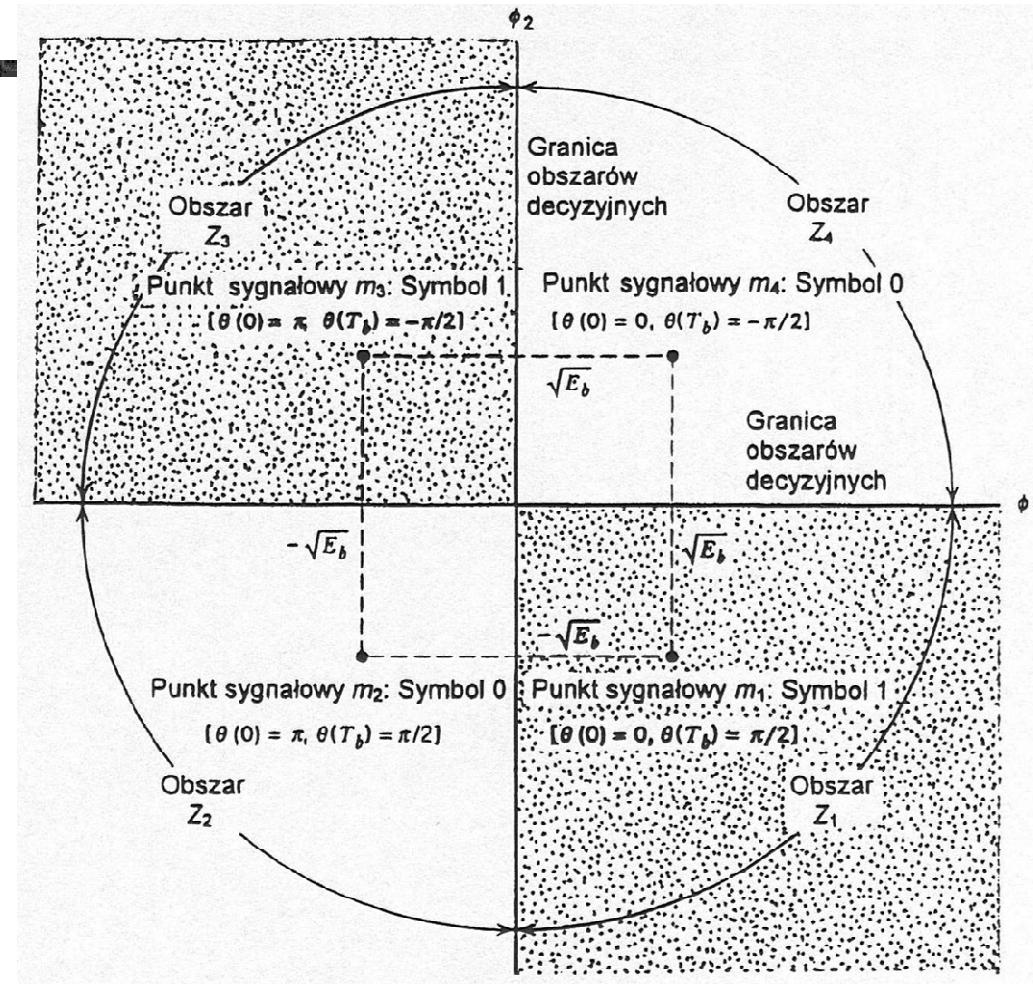
Drzewo fazowe dla sygnału FSK z $h = 0,5$. Pogrubiona linia reprezentuje ciąg bitów 1101000.



Dla $h = 0,5$ różnica między dwoma częstotliwościami f_1 i f_2 jest równa połowie szybkości bitowej. Jest to minimalny odstęp częstotliwości zapewniający koherentną ortogonalność obu sygnałów FSK reprezentujących symbole „1” i „0”, w tym sensie, że nie interferują one w procesie detekcji. Z tego powodu sygnał CPFSK o współczynniku dewiacji $h = 0,5$ nazywa się sygnałem z kluczowaniem z minimalnym przesuwem częstotliwości MSK.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

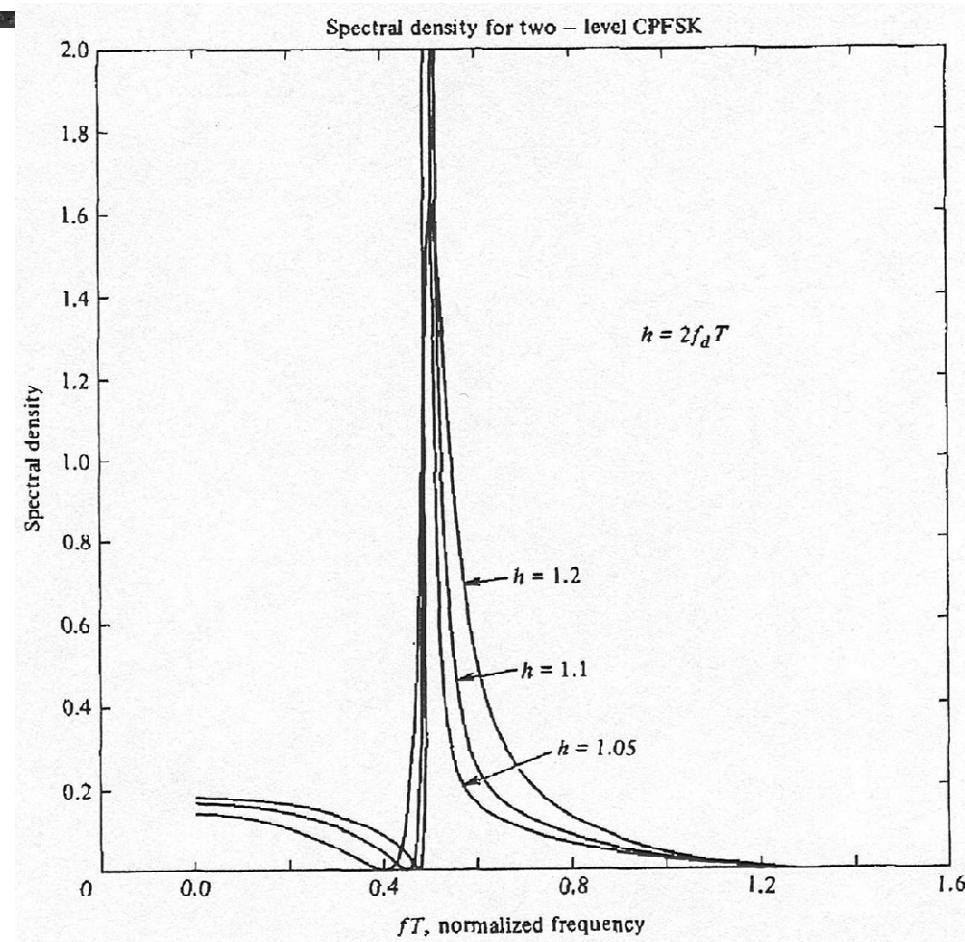
Modulacja MSK



Położenie punktów sygnałowych w przestrzeni sygnałowej dla systemu MSK.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

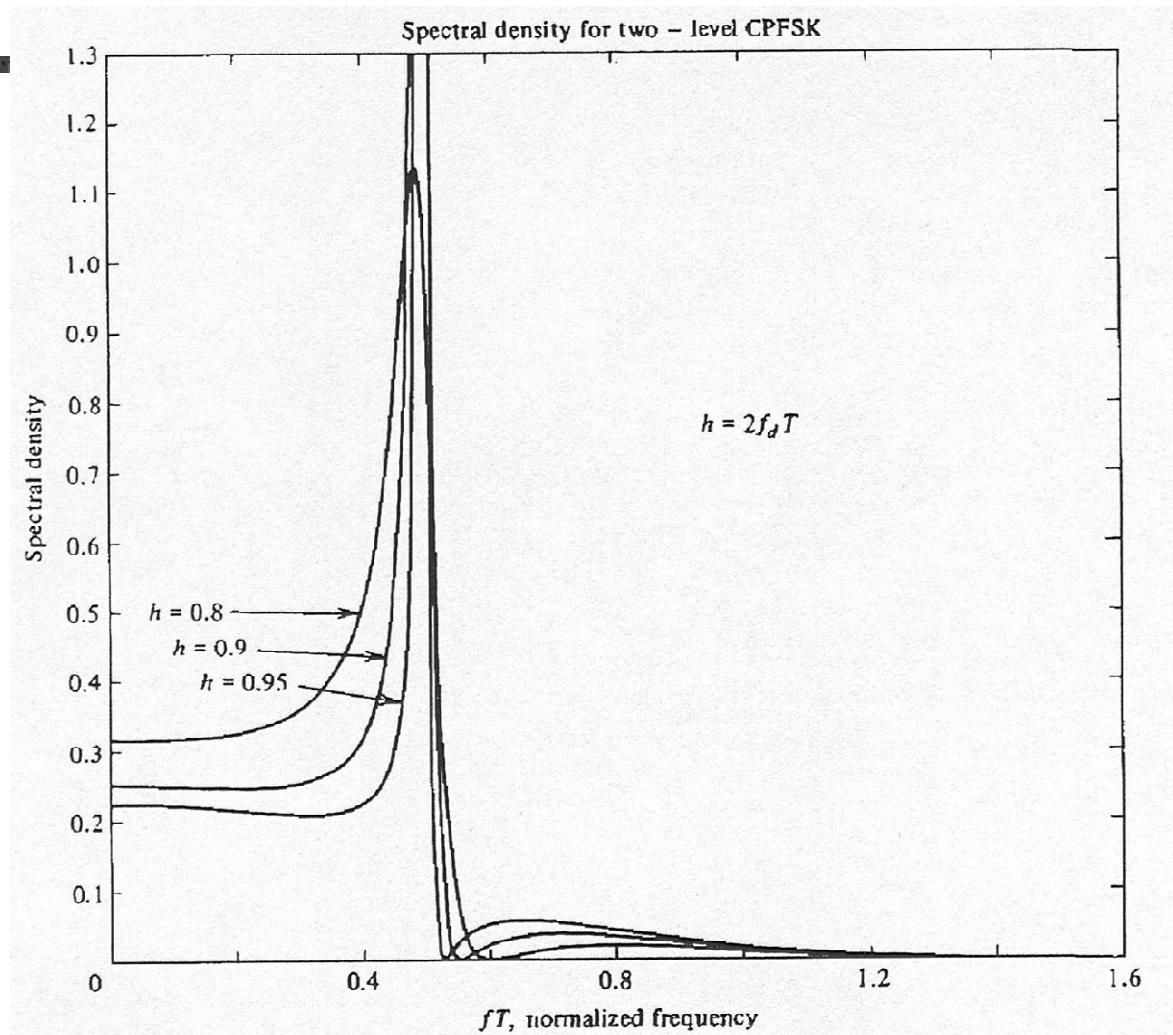
Modulacja MSK



Widmo dwuwartościowej modulacji częstotliwości FSK dla $h > 1$.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

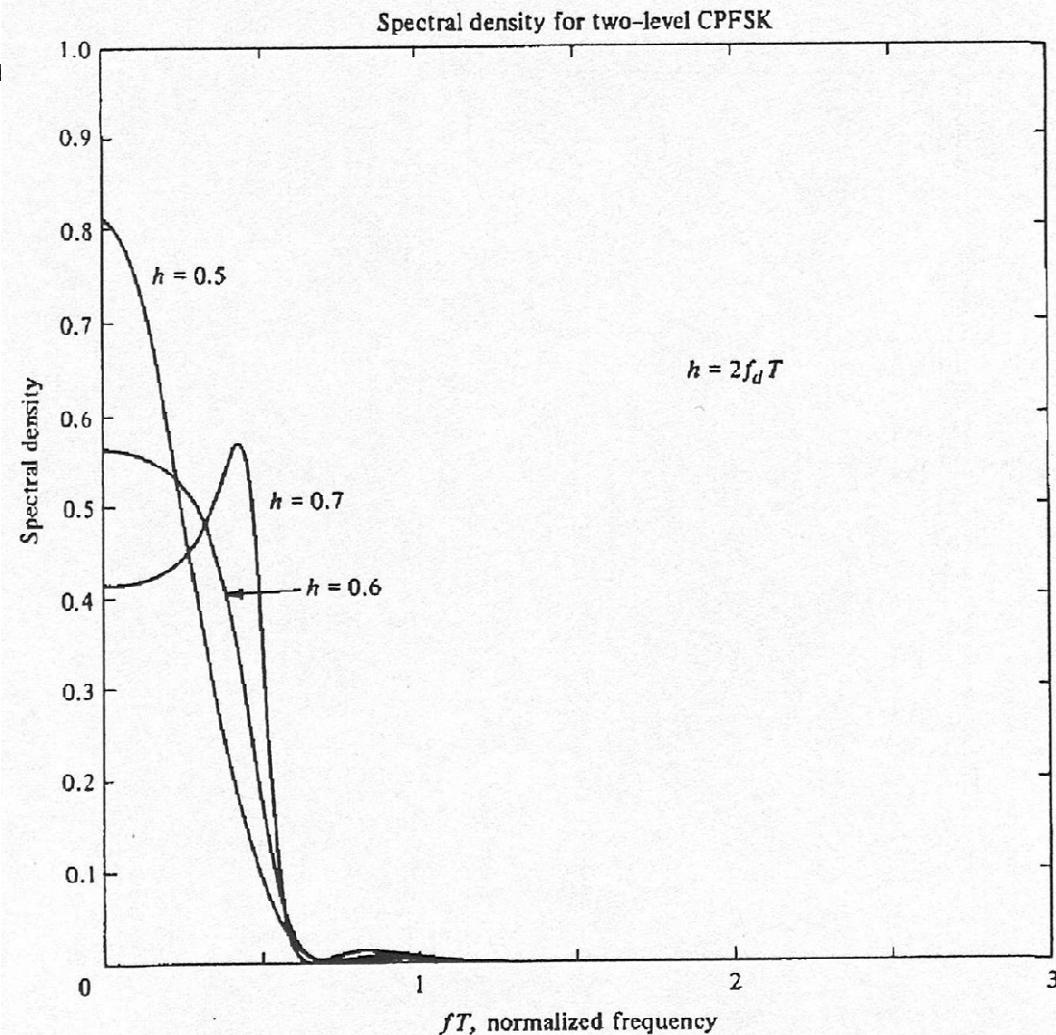
Modulacja MSK



Widmo dwuwartościowej modulacji częstotliwości FSK dla $0,75 < h < 1$.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

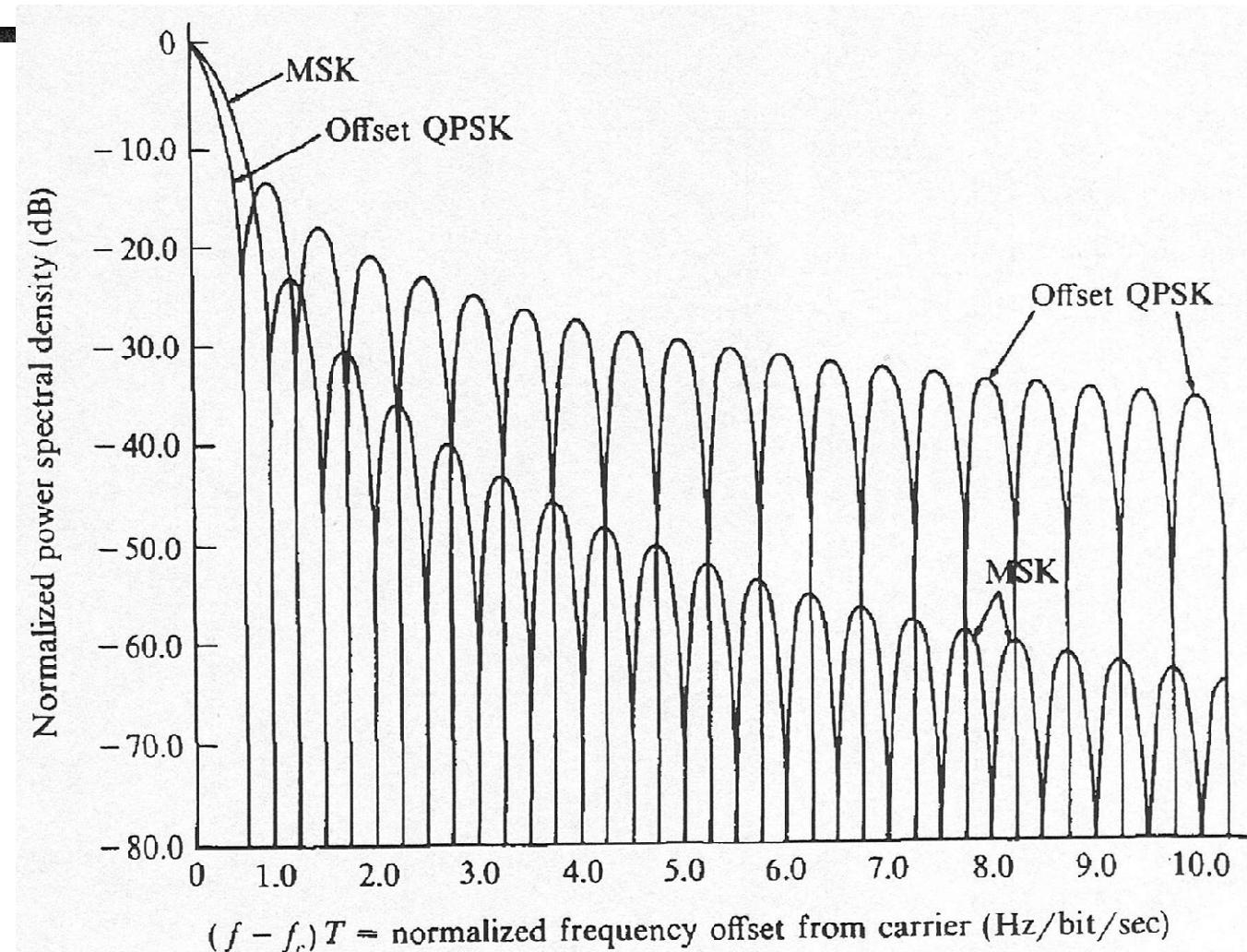
Modulacja MSK



Widmo dwuwartościowej modulacji częstotliwości FSK dla $0,5 \leq h \leq 0,7$.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

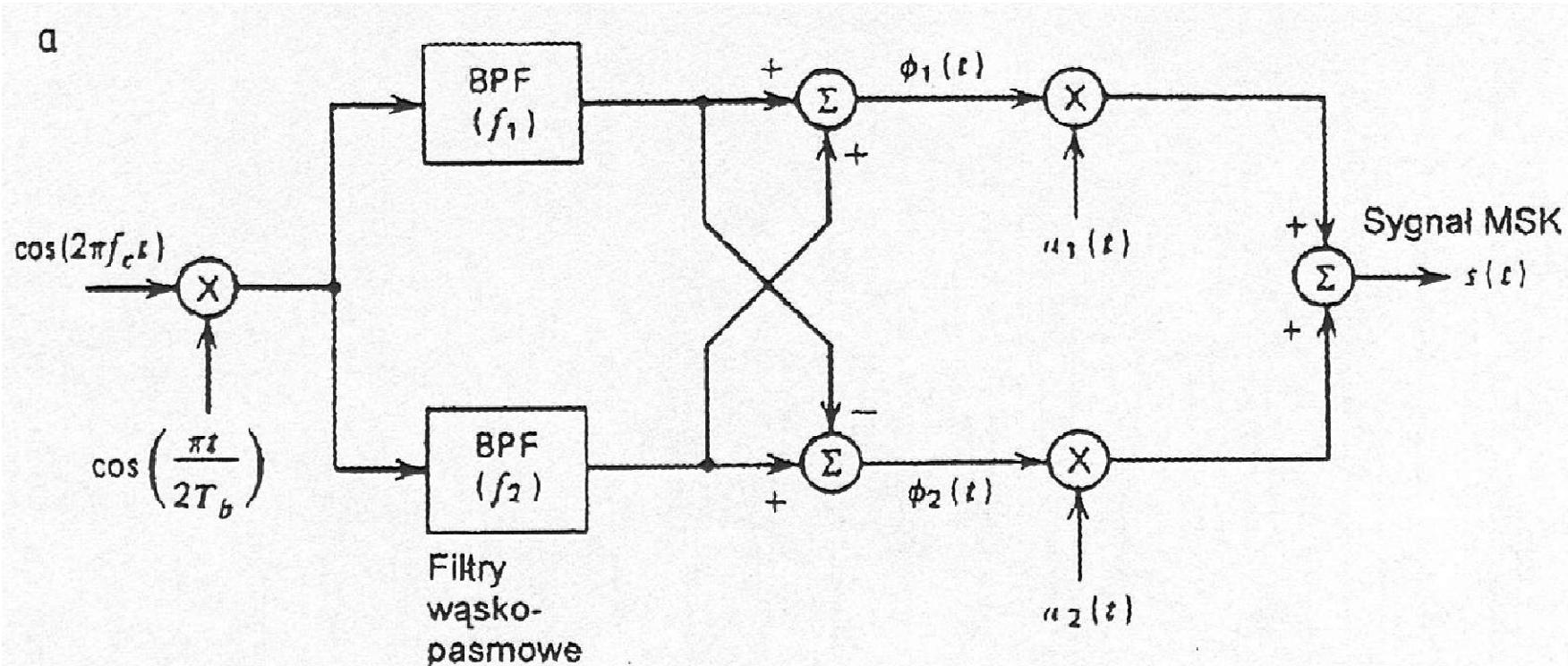
Modulacja MSK



Porównanie widma sygnału MSK i OQPSK.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

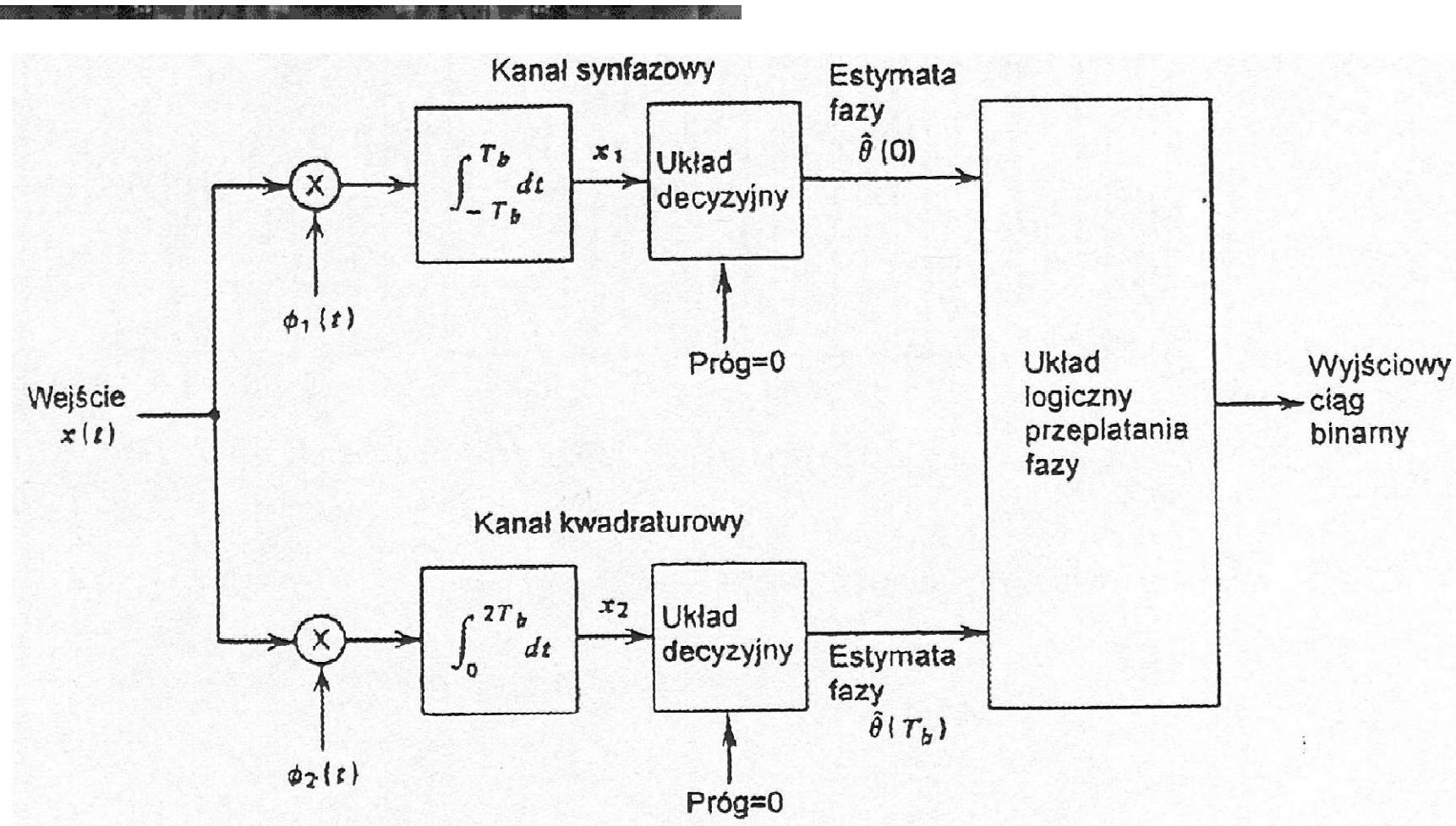
Modulacja MSK



Schemat blokowy nadajnika MSK.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Modulacja MSK

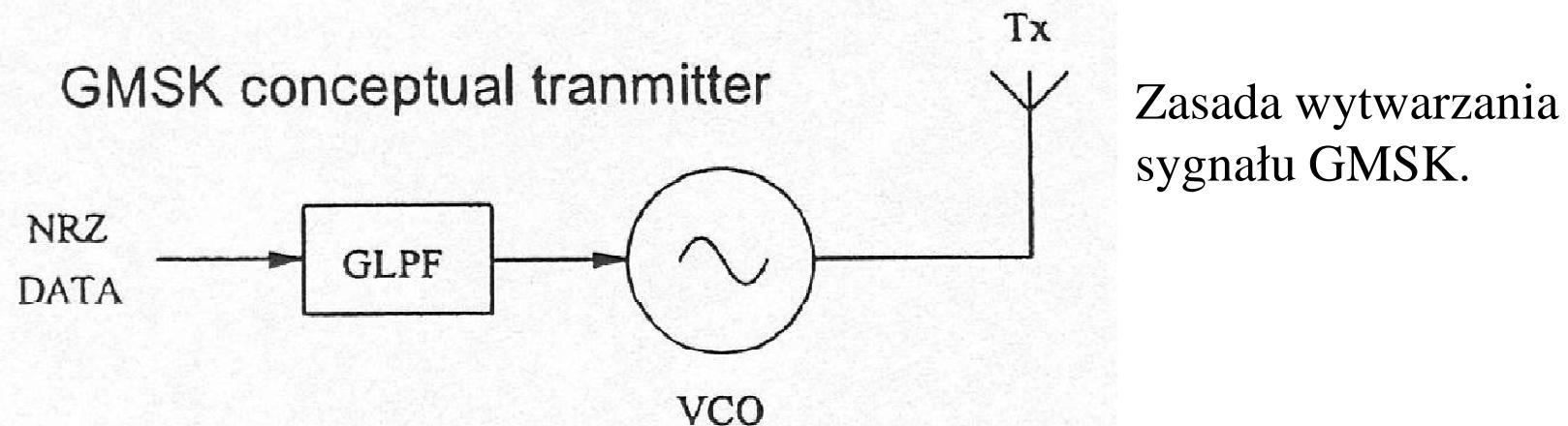


Schemat blokowy odbiornika MSK.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Modulacja GMSK

Modulacja GMSK



$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma T} \exp\left(\frac{-t^2}{2\sigma^2 T^2}\right)$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\ln 2}}{2\pi \cdot BT}$$

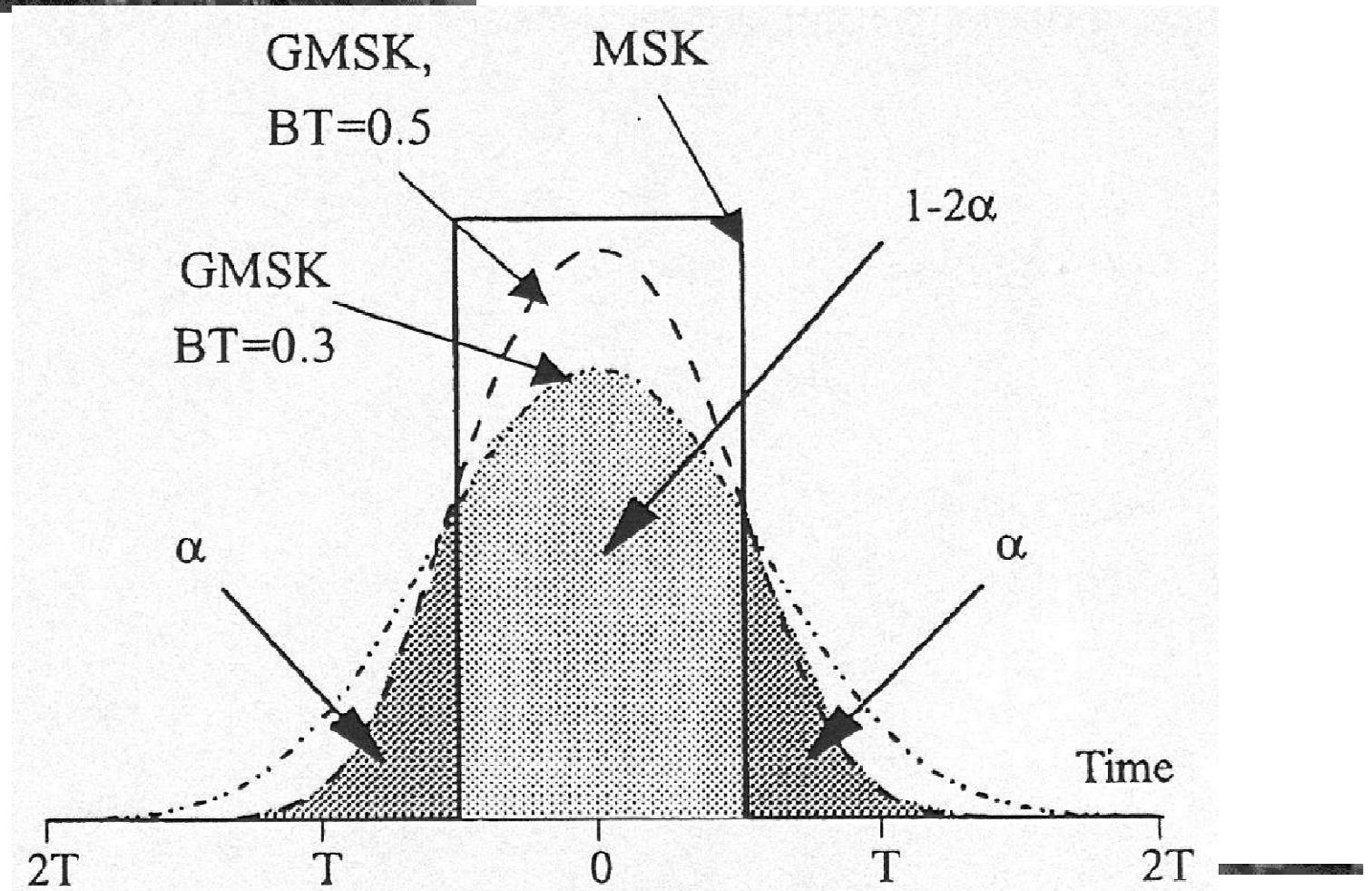
$$BT = 0,3$$

B – 3 decybelowa szerokość pasma filtru o odpowiedzi $h(t)$.

T – czas trwania jednego bitu.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

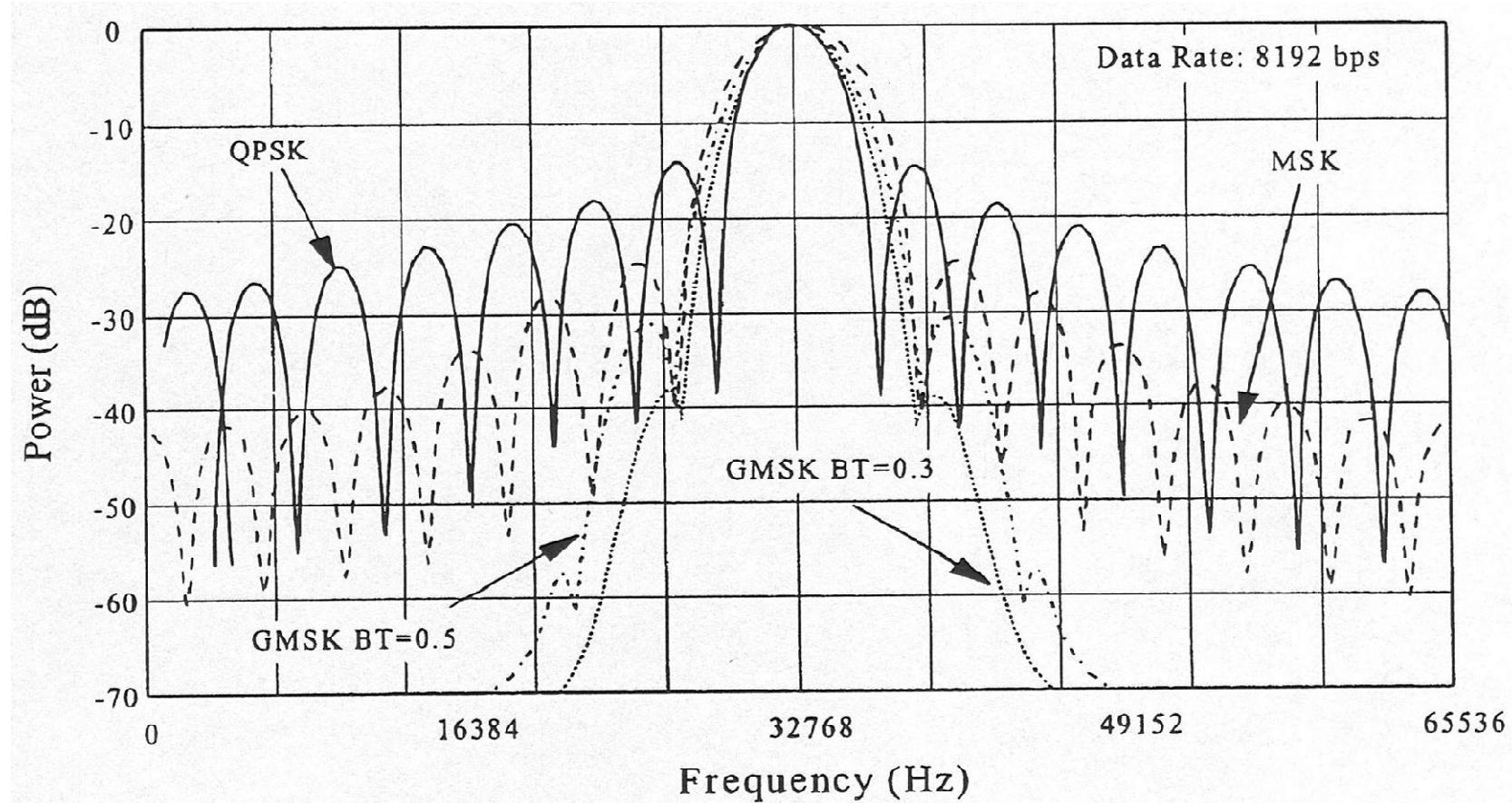
Modulacja GMSK



Odpowiedź filtru Gaussa na wejściowy impuls prostokątny.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Porównanie widm modulacji



Widmo modulacji GMSK, MSK i QPSK.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Modulacja MFSK

Sygnal M-FSK $s_i(t)$ reprezentujacy odpowiednie kombinacje symboli „1” i „0” možna opisać wzorem:

$$\begin{cases} s_i(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} (\cos 2\pi f_i t + \theta) & 0 \leq t \leq T_b \\ s_i(t) = 0 & \text{dla reszty} \end{cases} \quad i = 1, 2, 3, \dots, M$$

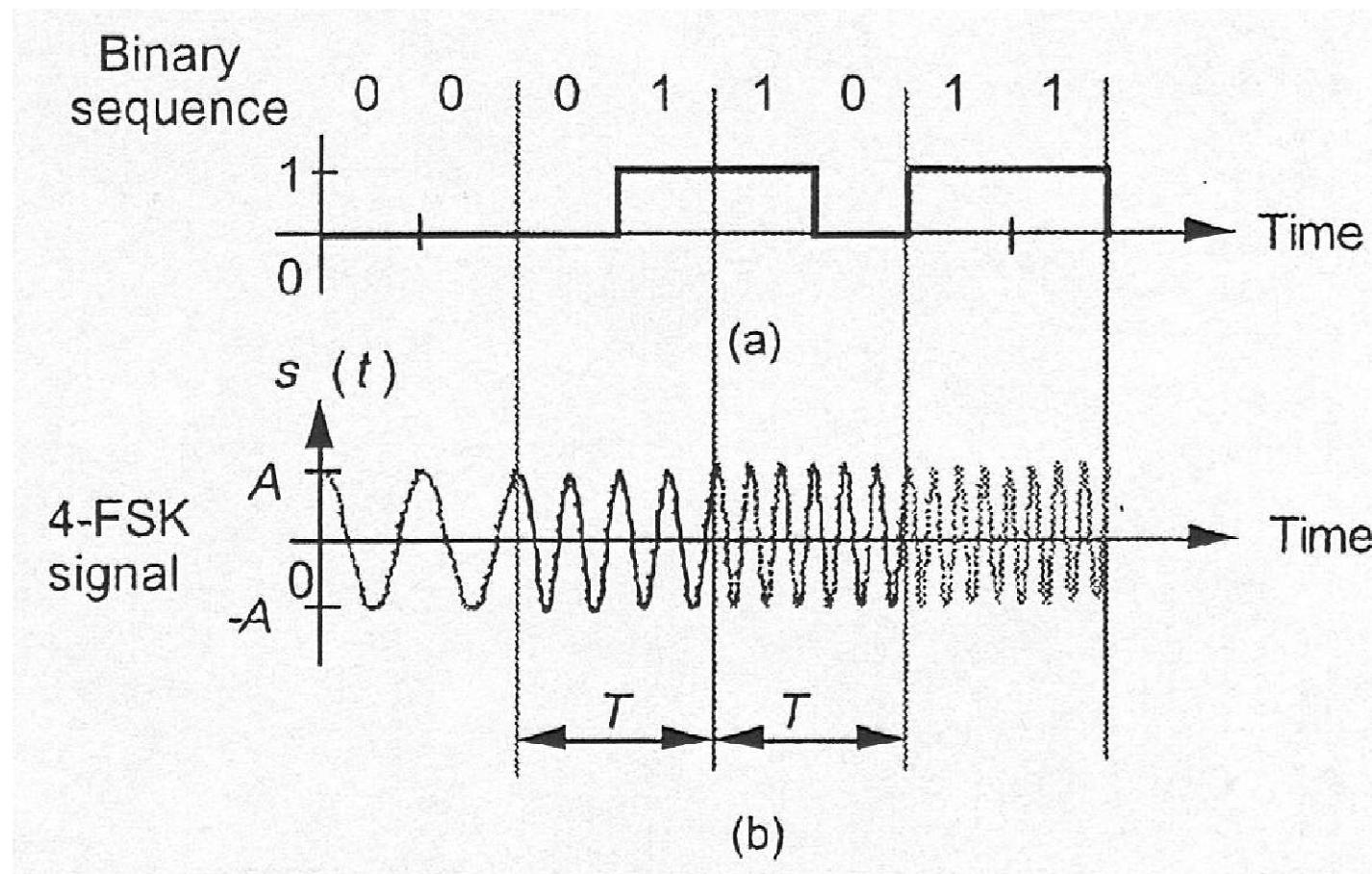
E_b – energia nadawanego sygnału przypadająca na jeden bit.

T_b – czas trwania jednego bitu.

θ – przesunięcie fazy.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

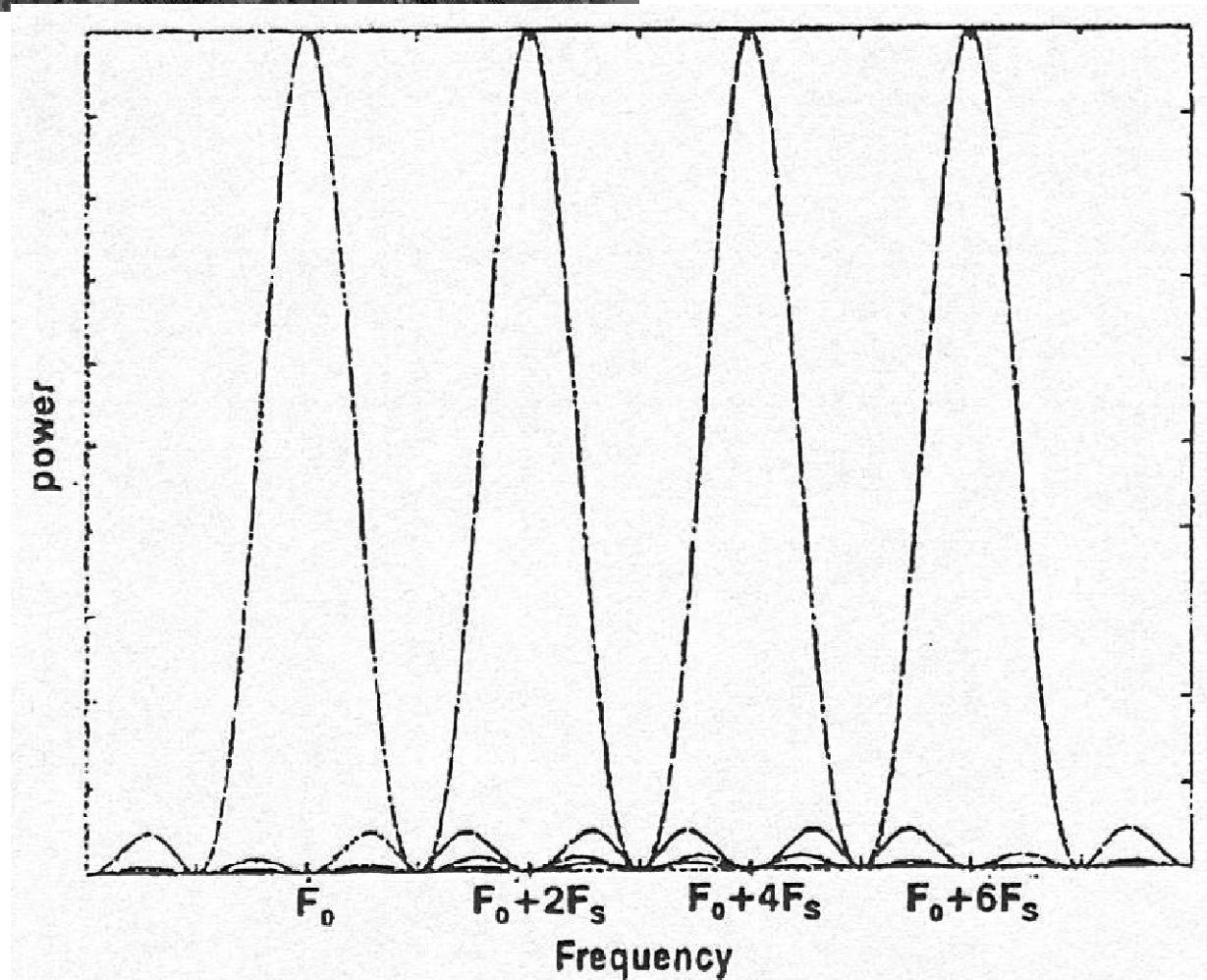
Modulacja MFSK



Przebiegi czasowe modulacji QFSK a) dane; b) sygnał zmodulowany.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

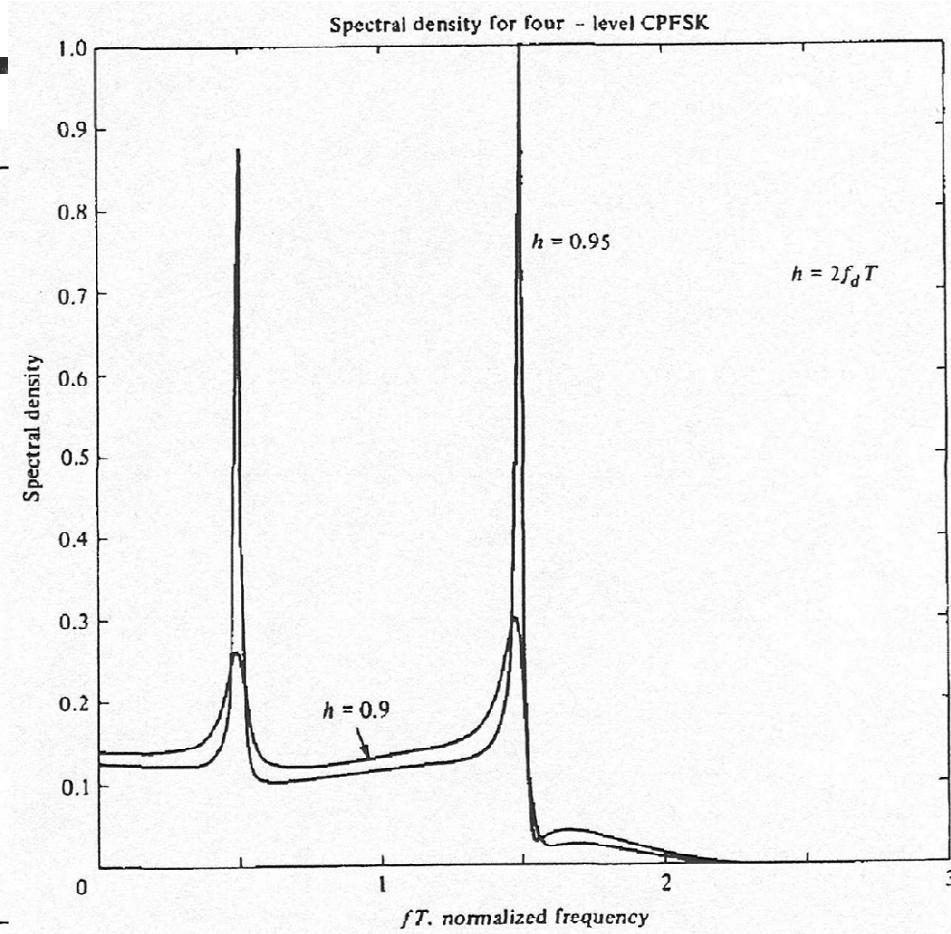
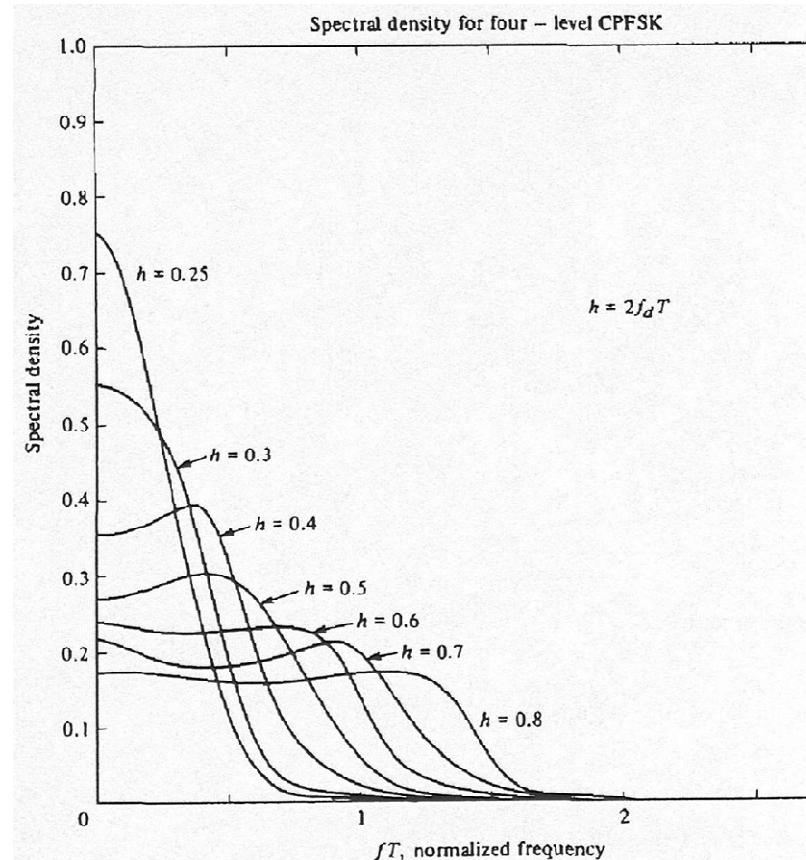
Modulacja MFSK



Rozkład mocy w funkcji częstotliwości modulacji QFSK.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

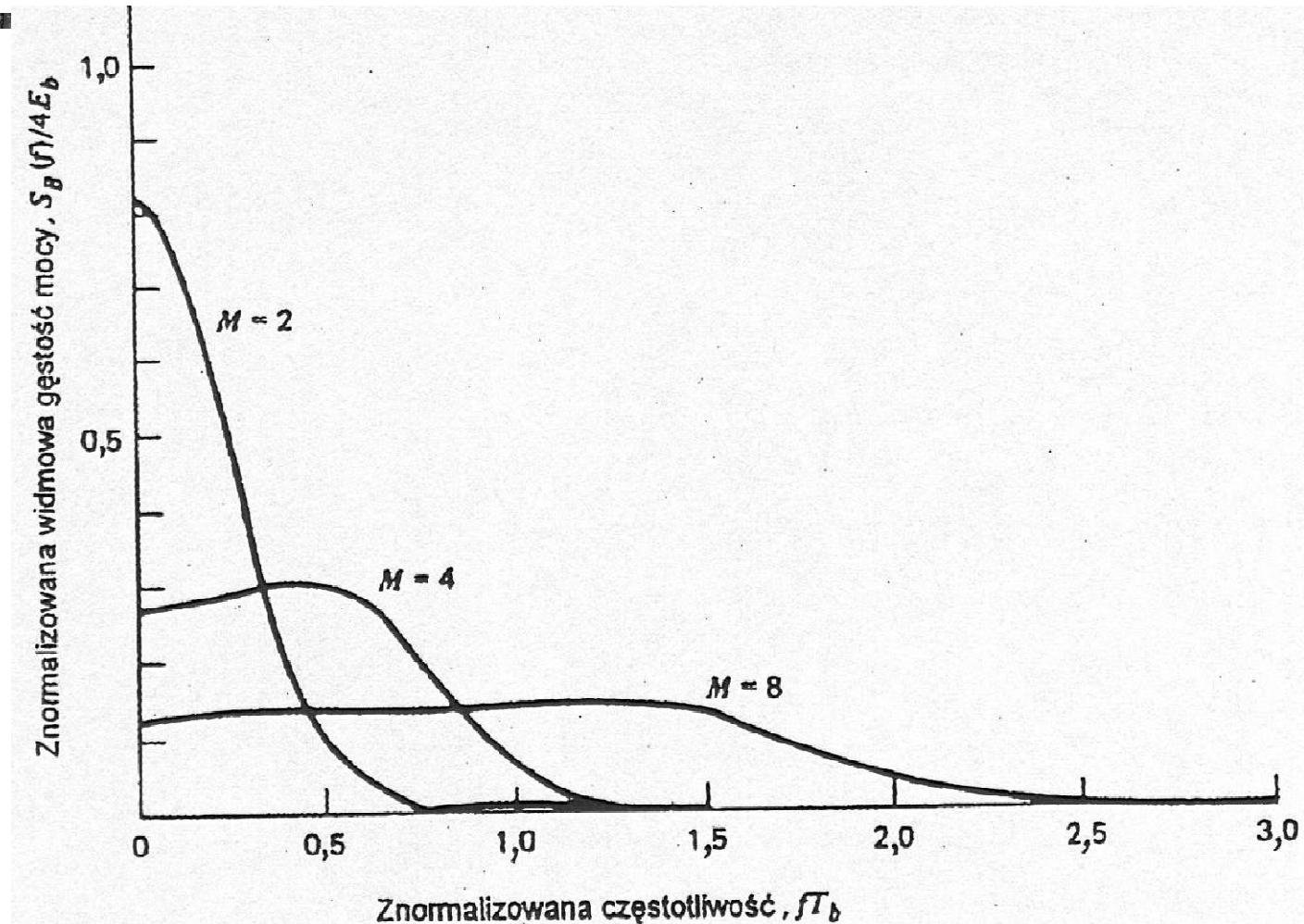
Modulacja MFSK



Gęstość mocy w funkcji unormowanej częstotliwości modulacji QFSK;
h – współczynnik dewiacji.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Modulacja MFSK



Widmowa gęstość mocy dla sygnałów M-FSK, M=2,4,8.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Modulacja MFSK

Dla sygnału MFSK będącym ortogonalnym zbiorem M sygnałów o przesuniętych częstotliwościach o $1/2T$ szerokość pasma kanału określa wzór:

$$B = \frac{M}{2T}$$

Wiedząc, że szybkość bitowa wynosi: $R_b = \frac{1}{T_b}$ więc szerokość pasma kanału wynosi:

$$B = \frac{R_b \cdot M}{2 \log_2 M}$$

Wydajność widmową ρ sygnałów MFSK można wyznaczyć ze wzoru:

$$\rho = \frac{R_b}{B} = \frac{\log_2 M}{M}$$

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Modulacja MFSK

Tablica 4.1 Efektywność wykorzystania szerokości pasma dla sygnałów M-FSK

M	2	4	8	16	32	64
ρ [bit/s/Hz]	1	1	0.75	0.5	0.3125	0.1875

Efektywność wykorzystania szerokości pasma dla sygnałów M-FSK.

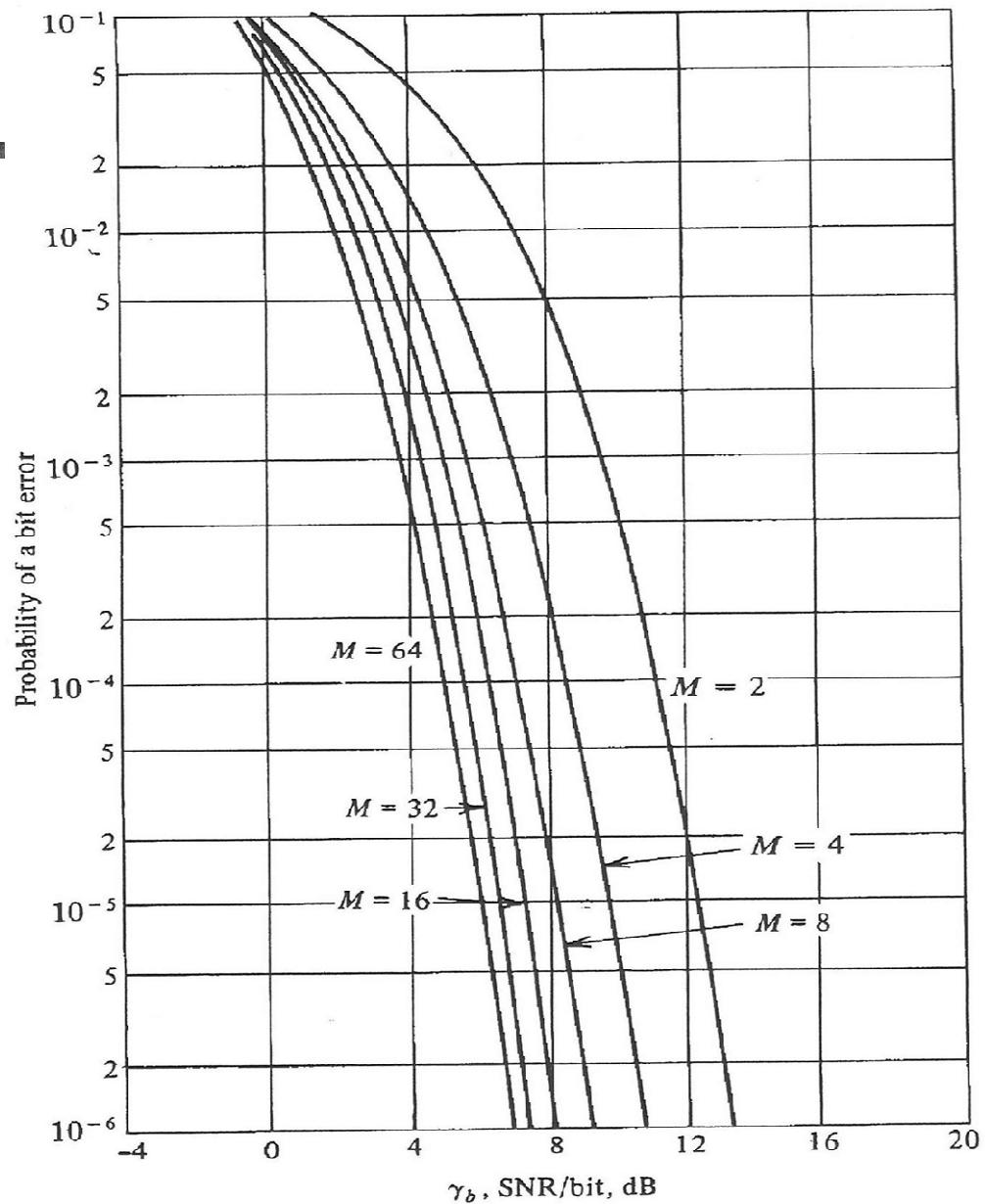
System	Bitowa stopa błędu
a) Koherentny binarny PSK Koherentny QPSK Koherentny MSK	$\frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{E_b/N_0}$
b) Koherentny binarny FSK	$\frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{E_b/2N_0}$
c) DPSK	$\frac{1}{2} \exp(-E_b/N_0)$
d) Niekoherencki binarny FSK	$\frac{1}{2} \exp(-E_b/2N_0)$

Porównanie binarnych i czwórkowych systemów modulacji.

MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Modulacja MFSK

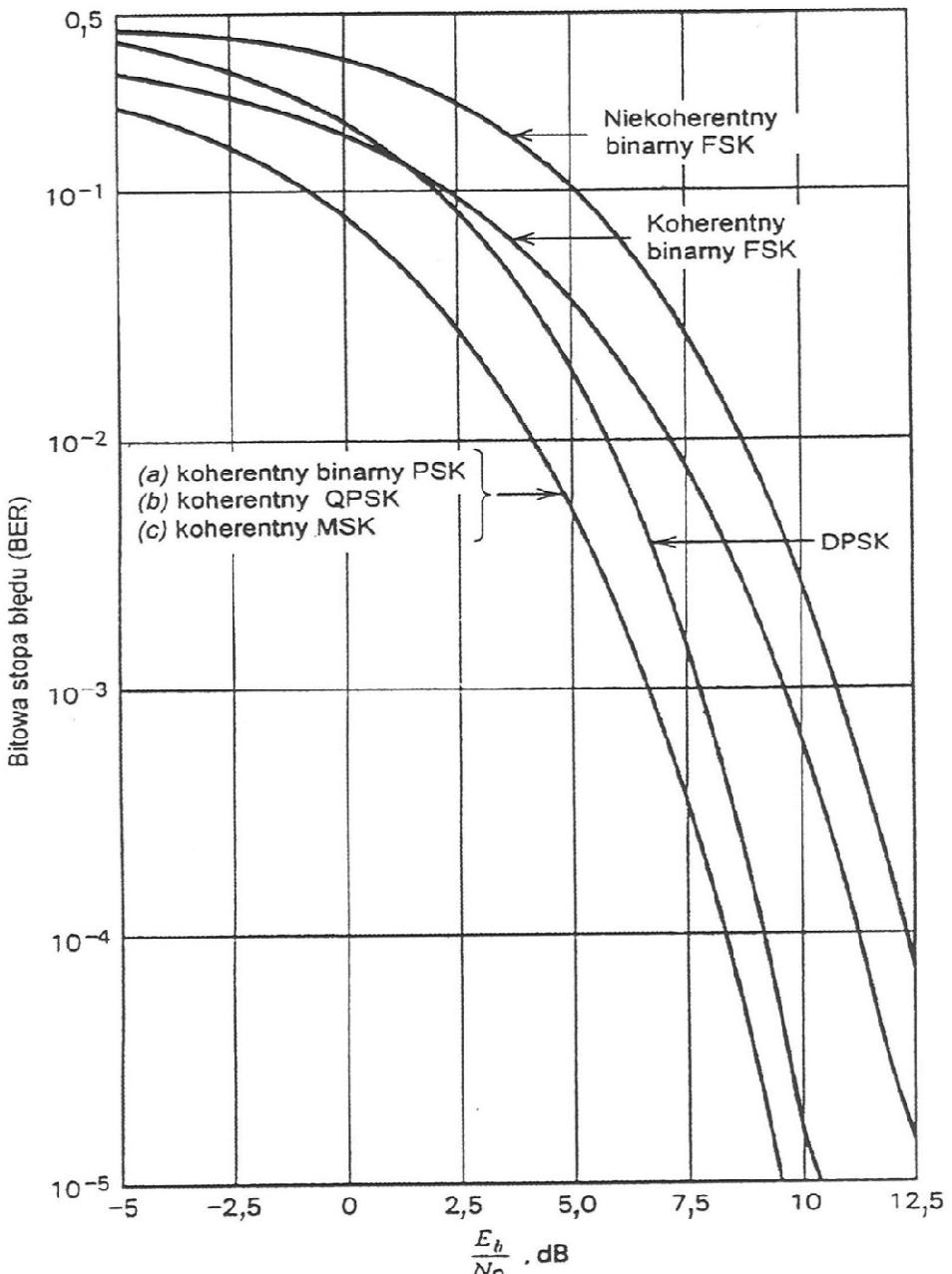
Właściwości szumowe
ortogonalnych sygnałów przy
odbiorze koherentnym modulacji
M-FSK.



MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

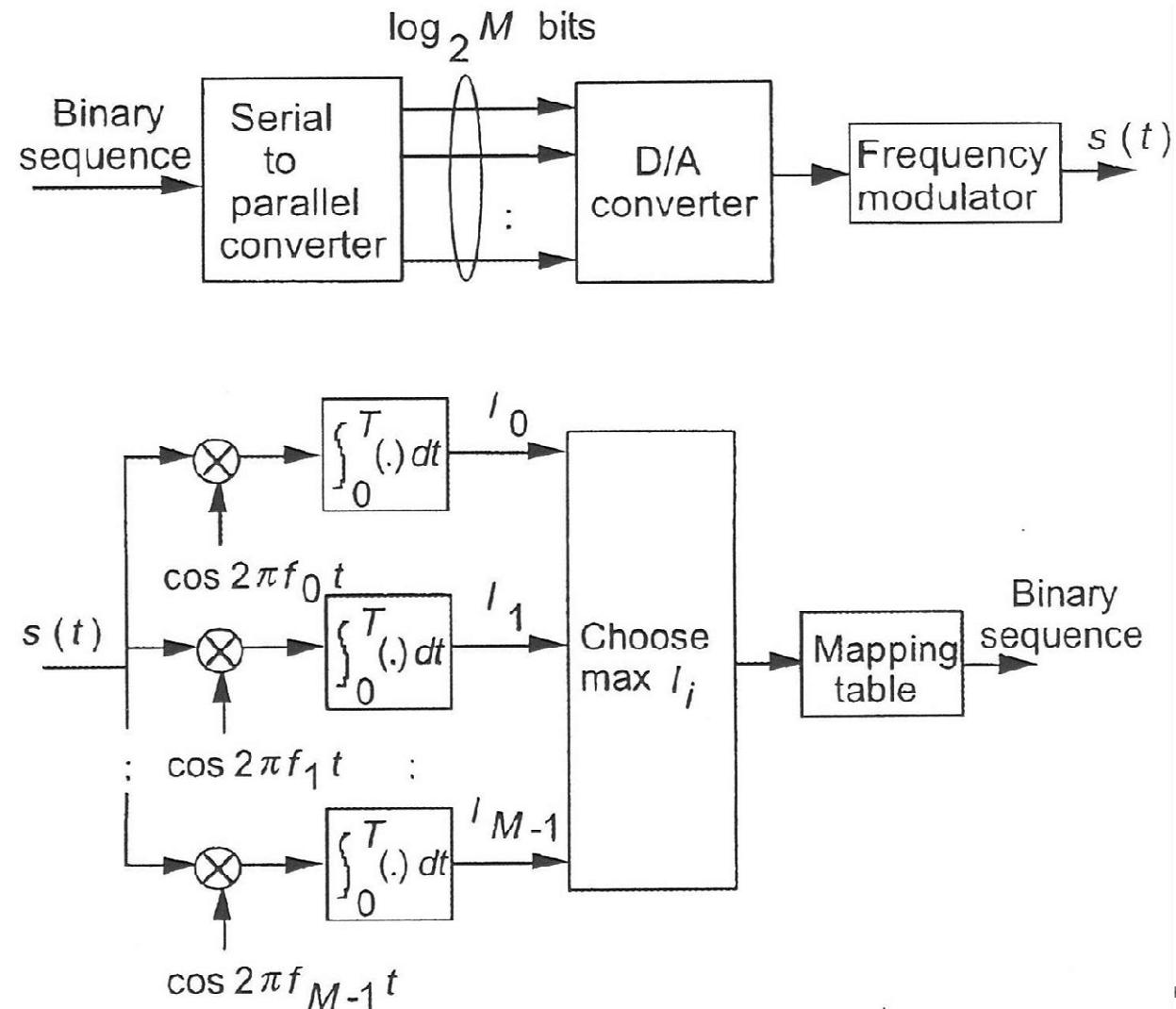
Porównanie własności szumowych

Porównanie własności
szumowych różnych układów
PSK, FSK, QPSK i MSK.



MODULACJE Z KLUCZOWANIEM CZĘSTOTLIWOŚCI

Modulacja MFSK



Schemat blokowy systemu MFSK odpowiednio nadajnika i odbiornika.

WNIOSKI

- Proszę scharakteryzować samodzielnie właściwości i cechy szczególne modulacji z kluczowaniem częstotliwości oraz podać konstruktywne wnioski.
-

**DZIĘKUJĘ
ZA UWAGĘ**