

CYFROWA MODULACJA FAZOWA PSK, QPSK, DQPSK

W urządzeniach cyfrowych (modemach, nadajnikach, odbiornikach) stosuje się powszechnie modulację fazową nazywaną modulacją PSK, QPSK i DQPSK. Artykuł zawiera podstawowe informacje dotyczące tej techniki, rzadko spotykanej w systemach analogowych.

D

o przesyłania na duże odległości sygnałów cyfrowych przewodami, kablami lub nadajnikami o zawężonym paśmie przenoszonych częstotliwości, tj. o małej przepustowości (przepływności) bitowej, wykorzystuje się, podobnie jak w technice analogowej, sinusoidalny sygnał nośny zmodulowany sygnałem cyfrowym (rys. 1). Sygnał nośny może być zmodulowany sygnałem cyfrowym w amplitudzie (modulacja AM), w częstotliwości (modulacja FSK) lub w fazie (modulacja PSK). Najczęściej stosuje się modulację PSK (*Phase Shift Keying* – kluczowanie prze-

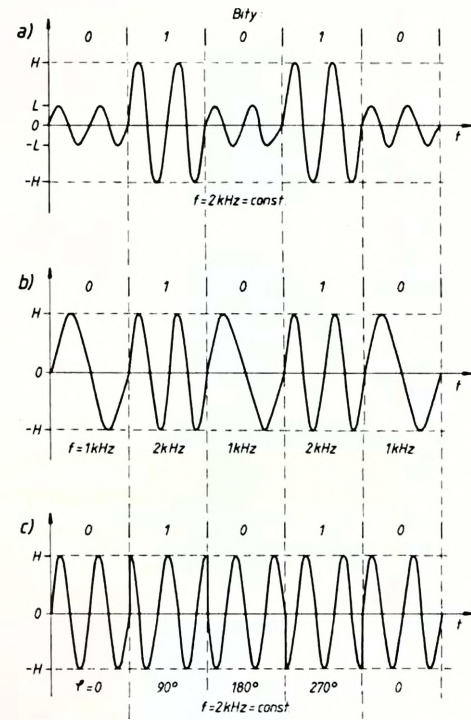
suwu fazy) i jej mutacja QPSK (*Quadrature PSK*) i DQPSK (*Differential QPSK*).

Modulacja PSK

Modulacja PSK polega na skokowej zmianie fazy sinusoidalnego sygnału nośnej o częstotliwości najlepiej przenoszonej przez układ. Zmiana fazy jest spowodowana bitami sygnału cyfrowego. Bity zerowe nie powodują zmiany, a bity jedynkowe zmieniają ją o określony kąt. Dwa bity na jeden okres powodują zmianę fazy co 180° (modulacja dwufazowa), cztery bity – co 90° (modulacja czterofazowa), sześć – co 60° , osiem – co 45° , a dziesięć – co 36° (rys. 2).

Stosunek szybkości bitowej sygnału cyfrowego (w bit/s) do częstotliwości nośnej (w Hz) określa gęstość przesyłanej informacji, wyrażanej w bit/s/Hz (bit/s.Hz lub bit/okres). Gęstość informacji wynosi odpowiednio 2, 4, 6, 8 a nawet 10 bit/s/Hz przy kątach zmiany fazy nośnej odpowiednio co 180° , 90° , 60° , 45° i 36° .

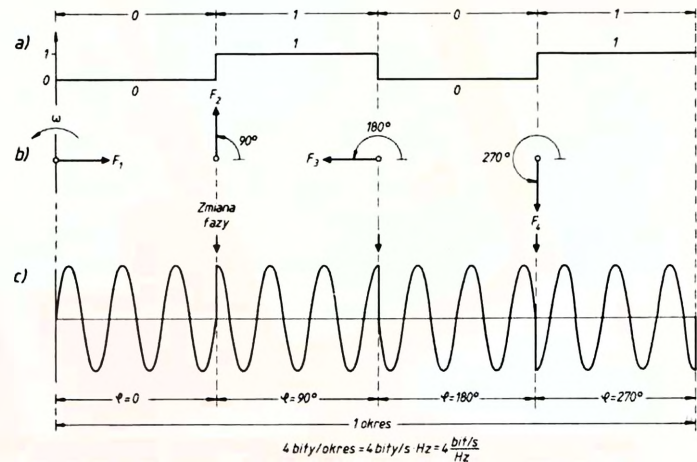
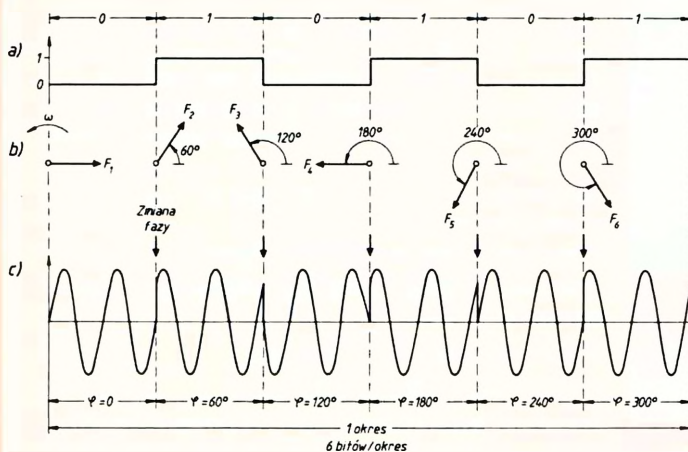
Zwiększenie gęstości informacyjnej daje możliwość przesyłania sygnałów cyfrowych w Internecie przez odpowiednie zmniejszenie częstotliwości nośnej, np. przy gęstości 10 bit/s/Hz i szybkości bitowej sygnału cyfrowego 28 800 bit/s – do nośnej o częstotliwości: $(28\,800 \text{ bit/s} : 10 \text{ bit/s/Hz}) = 2880 \text{ Hz}$. Planuje się również wykorzystanie modulacji PSK w sieci radiofonii cyfrowej na zakresie UKF. Ponieważ sygnał zmodulowany fazowo zajmuje znacznie węższe pasmo częstotliwości niż sygnał zmodulowany amplitudowo lub częstotliwościowo, będzie można zwiększyć liczbę nadajników i programów stereofonicznych w tym zakresie częstotliwości.



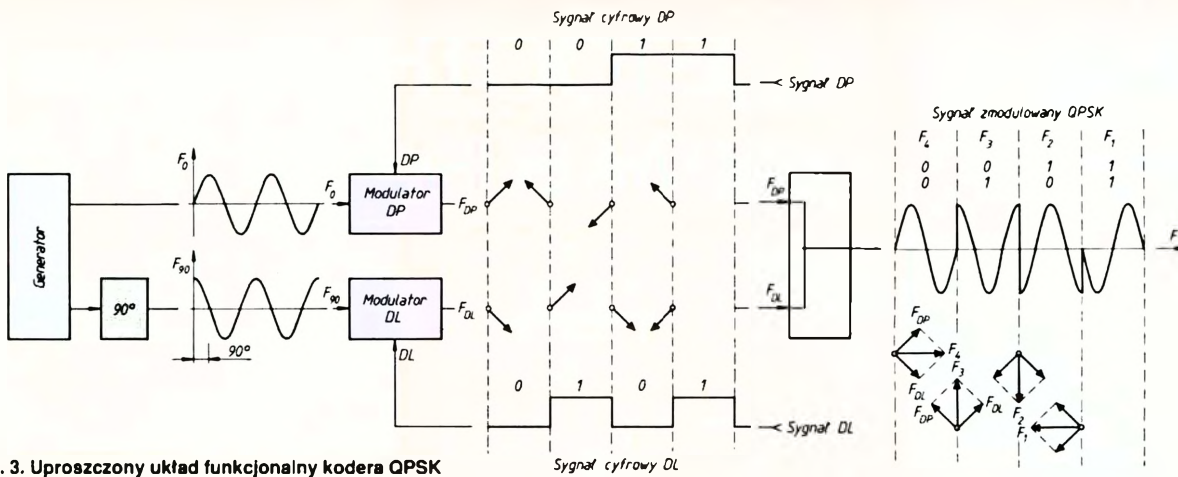
Rys. 1. Modułacja nośnej sygnałem cyfrowym
a – w amplitudzie, b – w częstotliwości, c – w fazie

Modulacja kwadraturowa

Modulacja kwadraturowa QPSK i DQPSK umożliwia równoczesne przesyłanie dwóch sygnałów cyfrowych, złożonych z dwóch ciągów (duobitów):



Rys. 2. Modułacja PSK czterofazowa i sześciofazowa a – przebieg sygnału cyfrowego, b – wykres wskazowy nośnej, c – przebieg nośnej zmodulowanej fazowo



Rys. 3. Uproszczony układ funkcjonalny kodera QPSK

00; 01; 10; 11 jednym kanałem (linią przesyłową) za pośrednictwem nośnej.

Zasada działania tej modulacji, stosowanej przy przesyłaniu sygnału stereofonii dwukanałowej lub dwóch niezależnych dźwięków (bifonia) w systemie NICAM, jest następująca. Generator częstotliwości nośnej wytwarza wysokostabilny sygnał sinusoidalny F_0 , który doprowadza się bezpośrednio do modulatora DP (rys. 3) oraz przesunięty w fazie o 90° – sygnał F_{90} do modulatora DL. Jednocześnie do modulatorów doprowadza się odpowiednie sygnały modulujące DP i DL. Sygnał DP odpowiada cyfrowemu sygnałowi stereofonicznemu prawemu, a sygnał DL lewemu.

Przy braku sygnałów modulujących lub przy zerowych bitach sygnału modulującego sygnały wyjściowe F_{DP} i F_{DL} modulatorów DP i DL mają jednakową amplitudę stałą, ale są przesunięte w fazie o 90° . Są ortogonalnymi składowymi F_0 i F_{90} nośnej F , która jest ich sumą wektorową (rys. 3).

Gdy są sygnały modulujące DP i DL, następuje modulacja fazowa sygnałów nośnych F_0 i F_{90} i na wyjściach modulatorów występują sygnały zmodulowane F_{DP} i F_{DL} . Sygnały DP i DL mają amplitudę stałą (sygnały cyfrowe) i mogą przyjmować jednocześnie tylko wartości: 0,0; 0,1; 1,0; 1,1. Sygnały F_0 i F_{90} zostają zmodulowane przez sko-

nową zmianę ich przesunięcia fazowego o kąt $\varphi = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ i 270° . Na wyjściach modulatorów występują sygnały F_{DP} i F_{DL} , różniące się fazą w zależności od par bitów obu sygnałów modulujących.

Złożenie składowych sygnałów F_{DP} i F_{DL} daje sygnał wypadkowy F o stałej amplitudzie

$$F = \sqrt{F_{DP}^2 + F_{DL}^2}$$

i o fazie odpowiednio do par bitów. Przy sygnałach fonicznych cyfrowych nie musi być zachowana określona faza odniesienia do nośnej, jak w systemie telewizji kolorowej NTSC i PAL.

W systemie DQPSK nie ma potrzeby przesyłania impulsów synchronizacji fazy, gdyż fazą odniesienia jest faza uprzednio nadanego sygnału. Przy sygnałach odpowiadających bitom zerowym 00 jest zachowana zgodność faz ($\varphi = 0$), jedynkowych 11 – przeciwfaza ($\varphi = 180^\circ$). Przy duobitach 01 i 10 występuje skokowa zmiana fazy ($\varphi = 90^\circ$ i 270°).

Sygnał wypadkowy F_1, F_2, F_3, \dots nie jest czysto sinusoidalny, co powoduje pojawienie się wstęp bocznych widma i poszerzenie zajmowanego pasma częstotliwości, jednak nie tak duże jak w modulacji częstotliwościowej.

Demodulacja sygnału QPSK

Sygnał zmodulowany kwadraturowo przesuwem fazy F doprowadza się do dekodera QPSK, aby otrzymać z powrotem dwa sygnały cyfrowe DP i DL (rys. 4).

Po przejściu przez filtr pasmowy i detektory DP i DL sygnał F rozdziela się na sygnały składowe F_{DP} i F_{DL} . Detektor synchroniczny DP jest zasilany zregenerowanym sygnałem nośnej bezpośrednio, bez przesunięcia fazowego, a detektor DL przesuniętym w fazie o 90° . Następnie sygnały F_{DP} i F_{DL} są demodulowane. Demodulatory fazy działają tak jak detektory częstotliwości. Wywołane w nich zmiany prądu stałego, odpowiadające sygnałom cyfrowym, przepuszczone przez filtry dolnoprzepustowe, stanowią odpowiednio sygnał cyfrowy DP i sygnał cyfrowy DL. Sygnały te dają na wyjściach przetworników cyfrowo-analogowych analogowe sygnały stereofoniczne – prawy P i lewy L.

Bolesław Urbański

Rys. 4. Uproszczony układ funkcjonalny dekodera QPSK

