

POLITECHNIKA POZNAŃSKA			
INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI I ELEKTRONIKI PRZEMYSŁOWEJ			
Zakład Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej			
Laboratorium Podstaw Telekomunikacji			
Ćwiczenie nr 4			
Temat: Modulacje analogowe i cyfrowe			
Rok akademicki:	Wykonawcy:	Data	
Wydział Elektryczny	1.	Wykonania	Oddania
		ćwiczenia	sprawozdania
Studia dzienne	2.		
Nr grupy:	3.	Ocena:	
	4.		
	5.		
	6.		
Uwagi:			

1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie z podstawowymi rodzajami modulacji analogowych i cyfrowych, ich parametrami. Badany także będzie wpływ zmiany poszczególnych parametrów modulacji na sygnał zmodulowany oraz na jego widmo.

2 Wstęp teoretyczny

2.1 Modulacja

Transmisja danych ze źródła (nadajnika) do odbiornika jest zawsze narażone na zakłócenia (szumy) wynikające między innymi z właściwości medium transmisyjnego. Warunkiem poprawnej transmisji danych jest dopasowanie charakterystyki widmowej sygnału przenoszącego informację do charakterystyki widmowej medium transmisyjnego. Oznacza to, że sygnał powinien być zawsze dopasowany do tłumienności medium transmisyjnego. Takie dopasowanie sygnału otrzymuje się przy pomocy modulacji. Modulacja sygnału jest to celowa zmiana jednego lub wielu parametrów (takich jak amplituda, faza, częstotliwość) jednego sygnału, zwanego dalej sygnałem nośnym przez inny sygnał, zwany dalej sygnałem modulującym. Modulacje wykorzystywane w telekomunikacji możemy podzielić przede wszystkim ze względu na rodzaj sygnału przenoszącego informację (użytkowego) na modulacje analogowe oraz modulacje cyfrowe. Wśród modulacji analogowych możemy wyróżnić:

- modulację amplitudy (AM),
- modulację częstotliwości (FM).

Natomiast wśród modulacji cyfrowych najczęściej stosowane są:

- modulacje z kluczowaniem amplitudy ASK (ang. *Amplitude Shift Keying*),

- modulacje z kluczkowaniem częstotliwości FSK (ang. *Frequency Shift Keying*),
- modulacje z kluczkowaniem fazy PSK (ang. *Phase Shift Keying*),
- modulacje kwadraturowo-amplitudowe QAM (ang. *Quadrature Amplitude Modulation*).

Szybkość modulacji R_m – wyrażana w bodach maksymalna liczba zmian stanów charakterystycznych modulacji w czasie 1 sekundy. Dla modulacji cyfrowych wyróżniamy także **prędkość transmisji** R_b – jest to ilość bitów przesyłanych na sekundę [bit/s]. Prędkość transmisji jest iloczynem prędkości modulacji oraz ilości bitów przesłanych wraz jedną zmianą sygnału modulującego. Przykładowo, jeżeli mam sygnał modulowany z prędkością modulacji 250 bod i w ramach każdej zmiany stanu sygnału modulującego przenoszona jest informacja o 4 bitach to prędkość transmisji wynosi 1000 bit na sekundę.

2.1.1 Modulacja AM

W przypadku modulacji amplitudy (AM) zmiana wartości chwilowej amplitudy sygnału nośnego jest proporcjonalna do chwilowej wartości sygnału modulującego. Jako sygnał nośny stosowany jest najczęściej sygnał harmoniczny:

$$f_n(t) = U_n \cos(\omega_n t + \theta). \quad (2.1)$$

Załóżmy, że mamy sygnał modulujący (użytkowy) opisany wzorem ogólnym:

$$u_m(t) = kx(t) \quad (2.2)$$

gdzie: $x(t)$ - przesyłana informacja [V], k - stała modulatora [V/V].
Sygnał zmodulowany ma więc przebieg:

$$s(t) = (U_n + u_m(t)) \cos(\omega_n t + \theta). \quad (2.3)$$

Niech $x(t)$ będzie sygnałem okresowym (ko)sinusoidalny, wtedy sygnał modulujący:

$$u_m(t) = kX_m \cos(\Omega_m t) = U_m \cos(\Omega_m t) \quad (2.4)$$

gdzie: X_m - amplituda sygnału $x(t)$ [V], Ω_m - pulsacja sygnału modulującego [rad/s], U_m - amplituda sygnału modulującego [V].

Parametrem modulacji AM jest współczynnik głębokości modulacji m określony jako stosunek wartości amplitudy sygnału modulującego do amplitudy sygnału nośnego:

$$m = \frac{U_m}{U_n}. \quad (2.5)$$

Zakładając dla uproszczenia zerową fazę początkową sygnału nośnego oraz podstawiając współczynnik głębokości modulacji do wzoru na sygnał zmodulowany otrzymujemy:

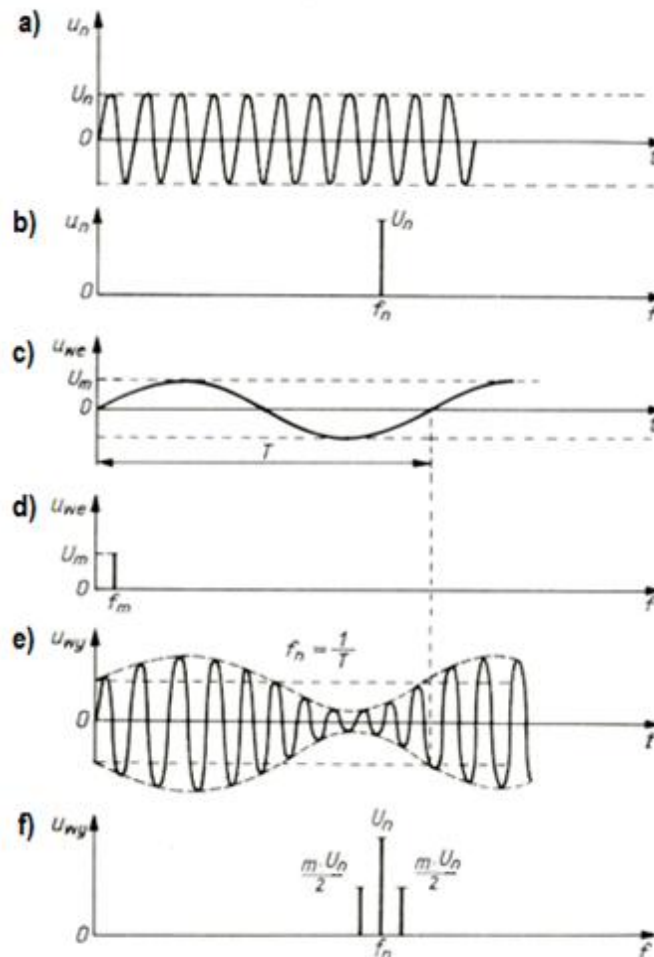
$$s(t) = U_n(1 + mkx(t)) \cos(\omega_n t) = U_n \cos(\omega_n t) + U_m \cos(\Omega_m t) \cos(\omega_n t) \quad (2.7)$$

wtedy sygnał zmodulowany będzie wyglądał następująco:

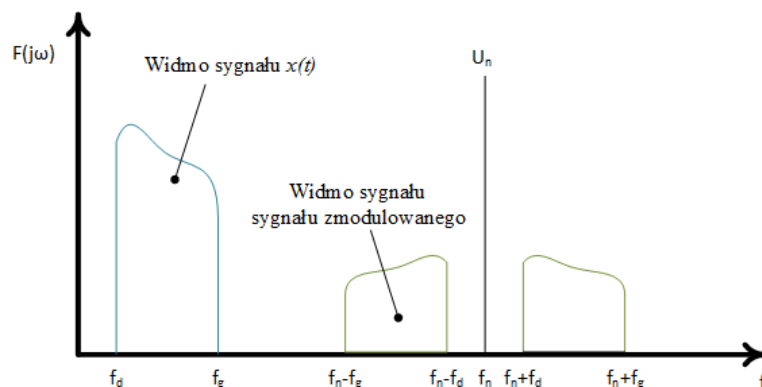
$$s(t) = U_n \cos(\omega_n t) + \frac{1}{2} (U_m \cos((\Omega_m - \omega_n)t) + U_m \cos((\Omega_m + \omega_n)t)) \quad (2.8)$$

Z powyższego wzoru widać, że postać sygnału zmodulowanego amplitudowo składa się z trzech sygnałów okresowych o pulsacjach (częstotliwościach) kolejno: $\omega_n, \Omega_m - \omega_n, \Omega_m + \omega_n$. Dwie ostatnie składowe sygnału nazywane są wstęgami bocznymi kolejno

górną i dolną sygnału. Powyższe wzory można uogólnić dla wszystkich sygnałów modulujących okresowych o kształcie innym niż sinusoidalny. Wtedy na widmo sygnału zmodulowanego składa się prążkowe widmo sygnału nośnego oraz dwie wstęgi (dolna i górna), które są lustrzanymi odbiciami widma sygnału modulującego względem prążka sygnału nośnego. Przykład modulacji AM dla sygnału modulującego sinusoidalnego oraz widmo dla sygnału modulującego o widmie ciągłym przedstawiają kolejno rysunki 2-1 oraz 2-2.



Rysunek 2-1 Modulacja AM sygnałem sinusoidalnym: a) sygnał nośny b) widmo sygnału nośnego c) sygnał modulujący d) widmo sygnału modulującego e) sygnał zmodulowany oraz f) widmo sygnału zmodulowanego



Rysunek 2-2 Przykład widma sygnału o innym kształcie niż sinusoida

Szerokość pasma modulacji jest równa dwukrotności najwyższej częstotliwości znajdującej się w sygnale.

2.1.2 Modulacja FM

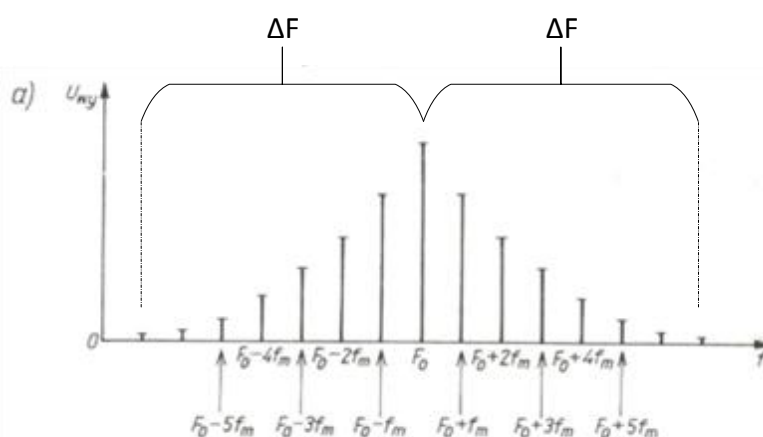
Polega na zmianie częstotliwości sygnału nośnego proporcjonalnej do chwilowej wartości sygnału modulującego (użytkowego). Jeżeli sygnał użyteczny jest sygnałem sinusoidalnym, to wartość chwilowa częstotliwości opisana jest zależnością:

$$f(t) = f_0 + kU_m \sin \omega_m t = f_0 + \Delta F \sin \omega_m t \quad (2.9)$$

gdzie:

$f(t)$ – częstotliwość chwilowa sygnału zmodulowanego [V], f_0 – częstotliwość sygnału nośnego [Hz], ω_m – pulsacja sygnału modulującego [rad/s], k - stała modulatora [Hz/V], ΔF – dewiacja częstotliwości [Hz].

Dewiacja częstotliwości ΔF – jest to maksymalna zmiana częstotliwości sygnału zmodulowanego sygnału nośnego. Jest ona proporcjonalna do amplitudy sygnału użytecznego (modulującego). Widmo częstotliwościowe takiego sygnału jest znacznie bardziej skomplikowane niż w przypadku modulacji AM. Rysunek 2-3 przedstawia przykładowe widmo sygnału zmodulowanego przez sinusoidę.



Rysunek 2-3 Przykładowe widmo modulacji FM

Szerokość pasma zajmowanego przez sygnał zmodulowany FM ogranicza się do dwukrotności dewiacji częstotliwości. Wskaźnik dewiacji modulacji lub inaczej wskaźnik modulacji to:

$$m = \frac{\Delta F}{f_m} \quad (2.10)$$

2.1.3 Modulacja BASK

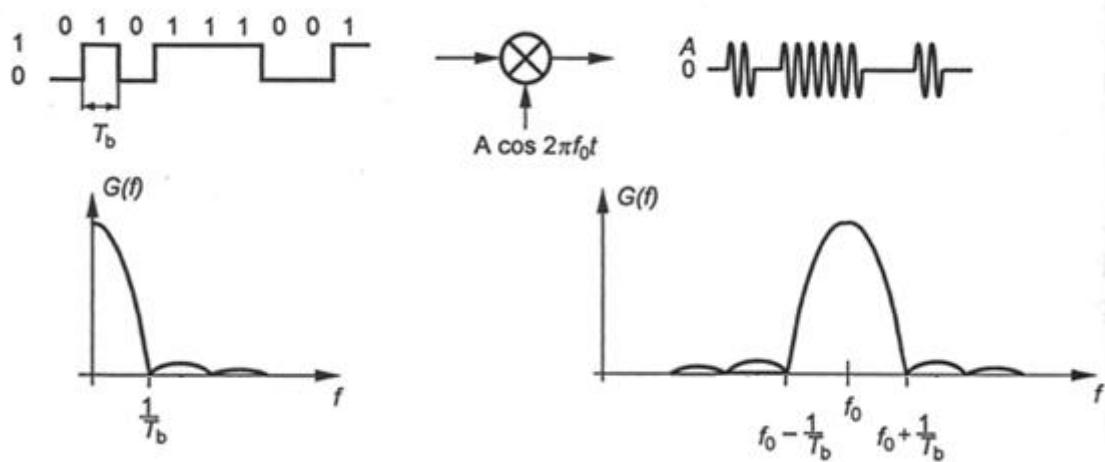
Modulacja cyfrowa BASK (z ang. *Binary Amplitude Shift Keying*) jest binarną modulacją amplitudy sygnału nośnego. Określenie „binarną” oznacza, że amplituda sygnału nośnego może przybierać jedynie dwie wartości A_1 i A_0 (wyższą i niższą) odpowiadające wartościom logicznym „1” i „0”. Impulsowy sygnał zmodulowany ma postać:

$$s(t) = \begin{cases} A_0 g(t) \cos \omega_n t & \text{dla wartości logicznej } 0 \\ A_1 g(t) \cos \omega_n t & \text{dla wartości logicznej } 1 \end{cases} \quad (2.11)$$

gdzie sygnał $g(t)$ jest to sygnał impulsowy o czas trwania odpowiadającemu czasowi trwania bitu T_b :

$$g(t) = \begin{cases} 1 & \text{dla } 0 \leq t \leq T_b \\ 0 & \text{dla } t < 0 \text{ i } t > T_b \end{cases} \quad (2.12)$$

Przykład takiej modulacji dla $A_0=0$ (modulacja OOK – *on-off keyed*) przedstawiono na rysunku 2-4.



Rysunek 2-4 Modulacja BASK: sygnał modulujący, zmodulowany oraz ich widma.

2.1.4 Modulacja BFSK

Modulacja cyfrowa BFSK (z ang. *Binary Frequency Shift Keying*) polega na przyporządkowaniu elementom logicznym „1” i „0” impulsów fali nośnej o częstotliwości odpowiednio f_0 i f_1 . Sygnał zmodulowany można przedstawić w postaci:

$$s(t) = \begin{cases} Ag(t)\cos 2\pi f_0 t & \text{dla wartości logicznej } 0 \\ Ag(t)\cos 2\pi f_1 t & \text{dla wartości logicznej } 1 \end{cases} \quad (2.13)$$

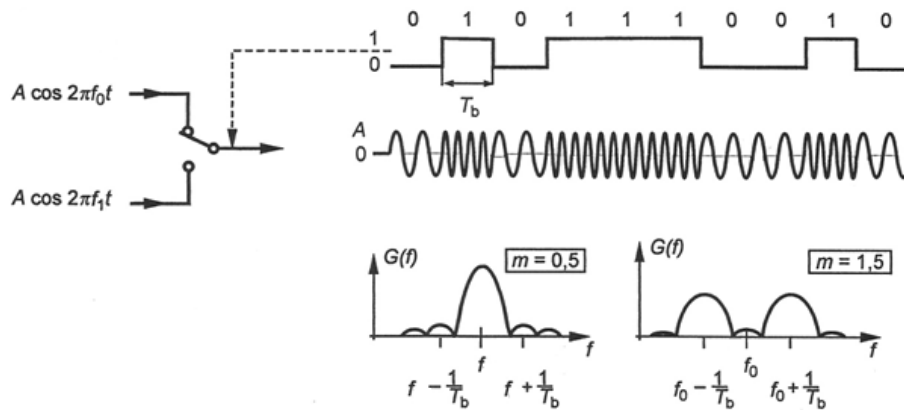
Parametrami modulacji BFSK są częstotliwość środkowa f_{sr} oraz dewiacja częstotliwości Δf , opisane wzorem:

$$f_{sr} = \frac{f_1 + f_0}{2} \quad (2.14) \quad \text{oraz} \quad \Delta f = \frac{f_1 - f_0}{2} \quad (2.15)$$

Wskaźnik modulacji m :

$$m = \frac{f_1 - f_0}{R_m} \quad (2.16)$$

Rysunek 2-5 przedstawia przykład modulacji BFSK oraz widmo modulacji dla dwóch różnych wartości wskaźnika modulacji. Jak można zauważyć kształt widma sygnału zmodulowanego zależy przede wszystkim od wskaźnika modulacji.



Rysunek 2-5 Modulacja BFSK.

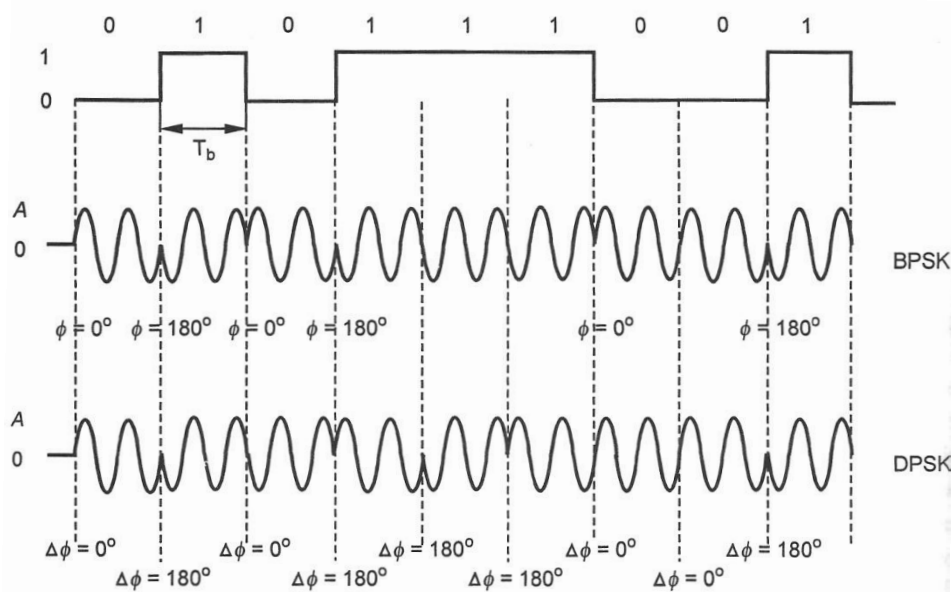
2.1.5 Modulacja BPSK

Modulacja BPSK (z ang. *Binary Phase Shift Keying*) podobnie jak poprzednie modulacje cyfrowe jest modulacją binarną. Jednak w przypadku tej modulacji elementom logicznym „1” i „0” przyporządkowywane są impulsy fali nośnej o stałej amplitudzie i częstotliwości oraz zmiennej fazach ϕ_0 i ϕ_1 . Sygnał taki można przedstawić jako:

$$s(t) = \begin{cases} Ag(t)\cos(2\pi ft + \phi_0) & \text{dla wartości logicznej } 0 \\ Ag(t)\cos(2\pi ft + \phi_1) & \text{dla wartości logicznej } 1 \end{cases} \quad (2.17)$$

Aby zapewnić najlepszą jakość modulacji sygnały dla elementu logicznego **1** i **0** powinny się od siebie jak najbardziej różnić. Warunek ten jest osiągnięty gdy obie fazy różnią się od siebie o π radianów (np. $\phi_0 = 0^\circ$ i $\phi_1 = 180^\circ$).

Poprawny odbiór sygnałów BPSK wymaga znajomości fazy początkowej niezmodulowanej fali nośnej. Niejednoznaczność fazy początkowej może prowadzić do błędnej interpretacji informacji. Problemu tego pozbawiona jest różnicowa modulacja z kluczowaniem fazy DPSK (z ang.: *Differential Phase Shift Keying*), w której informacja binarna jest odwzorowana przez różnicę faz pomiędzy poszczególnymi impulsami sygnału nośnego. Przykład modulacji BPSK i DPSK tego samego sygnału użytkowego przedstawiono na rysunku 2-6.



Rysunek 2-6 Modulacja BPSK oraz poniżej DPSK dla tego samego sygnału modulującego

2.1.6 Modulacja QAM

W przeciwieństwie do modulacji binarnych modulacja QAM jest modulacją mieszaną wielowartościową. Modulacje mieszane to grupa modulacji, w których zmieniana jest jednocześnie wartość więcej niż jednego parametru sygnału modulującego. Natomiast wielowartościowość oznacza modulację, w której jeden impuls sygnału zmodulowanego może zawierać w sobie więcej niż dwie wartości. Modulacja QAM jest modulacją jednocześnie amplitudy i fazy. Należy do grupy modulacji AM-PM. Ogólny wzór na zapis sygnału zmodulowanego można wyrazić za pomocą wzoru:

$$s(t) = A(t)\cos(2\pi f_0 t + \phi(t)) \quad (2.18)$$

Sygnał ten można przedstawić w formie:

$$s(t) = s_I(t)\cos(2\pi f_0 t) + s_Q(t)\sin(2\pi f_0 t) \quad (2.19)$$

gdzie: obwiednia chwilowa $A(t)$ i faza chwilowa $\phi(t)$ są wyrażone wzorami:

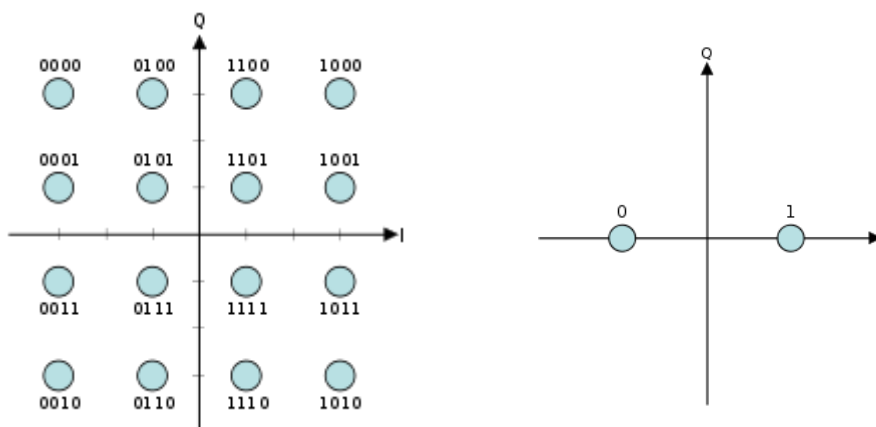
$$A(t) = \sqrt{s_I^2 + s_Q^2} \quad (2.20) \quad \text{oraz} \quad \phi(t) = \arctg \frac{s_Q(t)}{s_I(t)} \quad (2.21)$$

Składowa $s_I(t)$ nazywana jest składową syn fazową, natomiast składowa $s_Q(t)$ nazywana jest składową kwadraturową sygnału $s(t)$. Z równania tego wynika, że sygnał zmodulowany można wytworzyć przy pomocy dwóch modulacji amplitudowych wykorzystujących odpowiednio kosinusoidalną i sinusoidalną falę nośną.

Dane wejściowe w koderze są dzielone na N elementów (bitów), które są następnie przekształcane na jedną z $2^N = M$ możliwych par elementów (i, q) . I tak wyróżniamy modulację 16-QAM dla $N=4$, 32-QAM dla $N=5$, 64-QAM dla $N=6$ itd.

2.1.7 Konstelacja sygnałowa

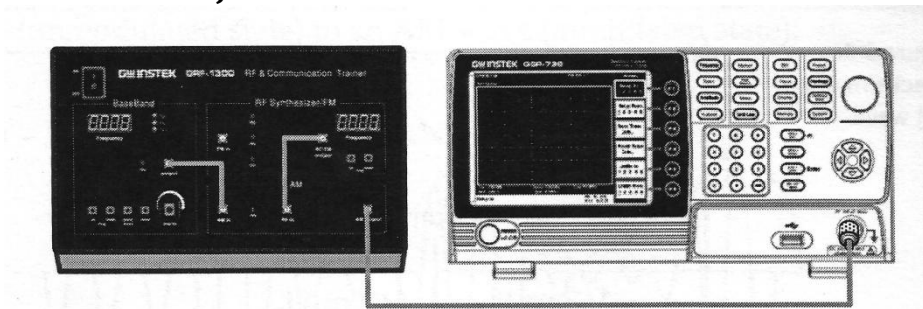
Konstelacja sygnałowa w modulacjach cyfrowych jest graficznym sposobem przedstawienia sygnałów odpowiadających poszczególnym wartościom elementów logicznych (sygnałów wzorcowych) na płaszczyźnie zespolonej. Dla większości modulacji cyfrowych, poza modulacjami częstotliwości, sygnały wzorcowe są sygnałami sinusoidalnymi o częstotliwości równej częstotliwości fali nośnej. Analogicznie do elektrycznych wykresów wskazowych możemy przedstawić amplitudę i fazę sygnału wzorcowego w postaci punktu na płaszczyźnie zespolonej. I tak dla modulacji BPSK wyróżnić możemy dwa sygnały wzorcowe o amplitudzie 1 i fazie odpowiednio 0° i 180° (rysunek 2.7 po prawej). Dla modulacji 16-QAM i 32-QAM wyróżniamy odpowiednio 16 i 32 sygnały wzorcowe. Konstelacja sygnałowa zawiera odpowiednio 16 i 32 punkty, przy czym rozkład tych punktów może być prostokątny lub kołowy (rysunek 2.7 po lewej).



Rysunek 2-7 Konstelacja sygnałów: po lewej dla modulacji 16-QAM po prawej BPSK

3 Przebieg ćwiczenia

3.1 Badanie modulacji AM



Rysunek 3-1 Schemat pomiarowy dla badań widma sygnału z modulacją AM. Generator GRF-1300 oraz analizator GSP-730

3.1.1 Widmo sygnału nośnego

Połączyć układ zgodnie ze schematem z rysunku 3-1. Ustawić częstotliwość sygnału nośnego $f_n = 880$ MHz. Ustawić na analizatorze szerokość okna (menu SPAN) na 10 MHz, częstotliwość środkową okna (FREQ -> Center) na f_n oraz poziom odniesienia (Ref. Level) na -10dB. Znaleźć przy pomocy analizatora widmo sygnału nośnego. W celu ułatwienia pomiarów należy włączyć uśrednianie widma:

- Trace -> More -> AVG,
- Ustawić AVG na ON
- wpisać na klawiaturze (obserwując lewy dolny róg ekranu) 4 kliknąć przycisk Enter.

Ustawić na jednostce GRF-1300 amplitudę sygnału modulującego na 0. Wykorzystując funkcję **Peak Search** na analizatorze, ustawić marker na nośnej i odczytać jej częstotliwość f_n oraz moc P_n . Przeliczyć moc P_n na μ W. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli 3.1.1.1. Następnie należy pomierzyć moc sygnału nośnej na częstotliwościach podanych w prawej części tabeli 3.1.1.1. Należy przyjąć najmniejszą wartość jako moc referencyjną szumu P_{ref} . Następnie należy wyznaczyć moc korekcyjną (P_{cor}), która będzie odejmowana od poszczególnych pomiarów tak by ograniczyć wpływ widma nośnej na pomiar mocy wstęg bocznych

Tabela 3.1.1.1 Pomiary i obliczenia dla widma nośnej oraz mocy korekcyjnej

Pomiar nośnej				Pomiar korekcji mocy			
f_n	P_n	P_n	U_n	L_p	f	P	$P_{cor}=P-P_{ref}$
[MHz]	[dB _m]	[μ W]	[V]		[MHz]	[dB _m]	[dB _m]
				1	$f_n + 1$		
				2	$f_n + 1,5$		
				3	$f_n + 2$		
				4	$f_n + 2,5$		
				5	$f_n + 3$		
				Minimum (P_{ref})			

3.1.2 Widmo sygnału po modulacji

Dla sygnału modulującego sinusoidalnego wykonać następujące pomiary:

- ustawić na generatorze maksymalną wartość sygnału modulującego. Zmieniając częstotliwość sygnału modulującego f_m , w podanym przez prowadzącego zakresie, odczytywać z analizatora widma częstotliwości wstęg dolnej f_{wd} i górnej f_{wg} oraz moc

wstęgi górnej P_{wg} . Wyniki pomiarów zapisać w tabelce 3.1.2.1. Obliczyć: moc wstęgi górnej w nW, wartość napięcia dla wstęgi górnej U_{wg} . Na podstawie wzoru (2.8) oraz rysunku 2-1f wartość napięcia sygnału modulującego U_m . Następnie obliczyć współczynnik głębokości modulacji m (wykorzystując wartość U_n z tabeli 3.1.1.1),

Tabela 3.1.2.1 Pomiary dla stałej amplitudy i zmiennej częstotliwości sygnału modulującego

Lp.	f_m [MHz]	Pomiary				Obliczenia				
		f_{wd} [MHz]	f_{wg} [MHz]	P_{wg} [dB _m]	$P_{wg}'^*$ [dB _m]	P_{wg} [nW]	U_{wg} [mV]	U_m [mV]	ΔF [MHz]	m -
1	1									
2	1,5									
3	2									
4	2,5									
5	3									

* - moc wstęgi skorygowana odpowiednio dla każdej częstotliwości zgodnie ze wzorem:

$$P_{wg}' = P_{wg} - P_{cor}$$

- o ustawić na generatorze stałą wartość częstotliwość sygnału modulującego f_m . Zmieniać amplitudę sygnału modulującego i odczytać jego wartość skuteczną U_{osc} z oscyloskopu. Odczytać z analizatora widma częstotliwości: wstęgi dolnej f_{wd} , wstęgi górnej f_{wg} oraz szerokość pasma sygnału ΔF (w MHz) pomiędzy szczytem wstęgi górnej oraz wstęgi dolnej. Zmierzyć moc widma wstęgi górnej P_{wg} w dB_m. Wyniki pomiarów zapisać w tabelce 3.1.2.2. Obliczyć: moc wstęgi górnej w nW, wartość napięcia dla wstęgi górnej U_{wg} . Na podstawie wzoru (2.8) oraz rysunku 2-1f wartość napięcia sygnału modulującego U_m . Następnie obliczyć współczynnik głębokości modulacji m (wykorzystując wartość U_n z tabeli 3.1.1.1),

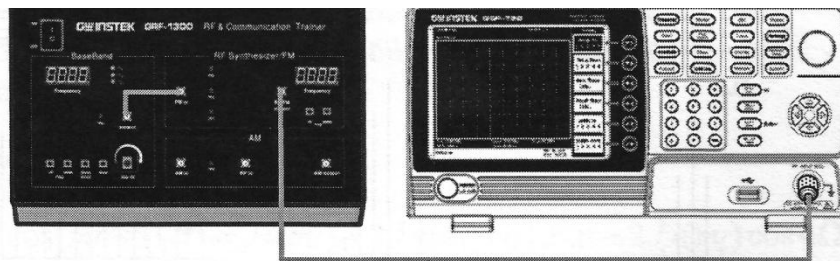
Tabela 3.1.2.2 Pomiary dla stałej częstotliwości modulacji i zmiennej amplitudy

Lp.	Pomiary						Obliczenia					
	U_{osc}	f_m	f_{wd}	f_{wg}	P_{wg}	$P_{wg}'^*$	P_{wg}	U_{wg}	U_m	ΔF	m	
	[V]	[MHz]	[MHz]	[MHz]	[dB _m]	[dB _m]	[nW]	[mV]	[mV]	[MHz]	-	
1		3										
2												
3												
4												
5												

* jak w tabeli 3.1.2.1.

- o Wykreślić funkcję $U_m = f(U_{osc})$. Wykonać regresję liniową i odczytać stałą k modulatora,

3.2 Badanie modulacji FM



Rysunek 3-2 Schemat pomiarowy dla badań widma sygnału zmodulowanego FM. Generator GRF-1300 oraz analizator GSP-730.

Połączyć układ zgodnie ze schematem z rysunku 3-2. Na generatorze GRF-1300 ustawić sygnał nośny na częstotliwości 880 MHz. Ustawić sinusoidalny sygnał modulujący o częstotliwości $f_m = 0,1$ MHz. Ustawić na analizatorze widma szerokość okna analizy 40 MHz (**Span** → **Span**) oraz poziom odniesienia (**Amplitude** → **Ref. Level**) 10 dB_m. Włączyć pomiar szerokości i mocy zajmowanego pasma sygnału (**Meas** → **OCBW%** na ON). W menu **Meas** przejść do ustawień kanału (**Channel Setup**). Ustawić szerokość mierzonego kanału (**Main CH BW**) na 40 MHz oraz przestrzeń pomiędzy kanałami (**Main CH Space**) na 10 MHz. Ustawić na jednostce GRF-1300 amplitudę sygnału modulującego na 0. Wykorzystując funkcję **Peak Search** na analizatorze, ustawić marker na nośnej, odczytać jej częstotliwość f_n i zapisać ją w tabelach 3.2.1 oraz 3.2.2. Następnie:

- o zmieniając amplitudę sygnału modulującego odczytywać: z oscyloskopu wartość skuteczną sygnału modulującego U_m , a z analizatora widma moc sygnału na częstotliwości nośnej P_n , szerokość pasma (OCBW) i całkowitą moc sygnału P_s (Ch Power). Obliczyć: wartość napięcia nośnej U_n , dewiację częstotliwości ΔF oraz współczynnik modulacji m z zależności (2.10). Wyniki zapisać w tabelce 3.2.1

Tabela 3.2.1 Pomiarzy dla stałej częstotliwości i zmiennej amplitudy sygnału modulującego.

Częstotliwość sygnału modulującego $f_m=0,1$ [MHz]											
Lp.	Pomiary					Obliczenia					
	f_n	U_m	OCBW	P_s	P_n	U_n	P_n	P_s	ΔF	m	P_n/P_s
	[MHz]	[mV]	[MHz]	[dBm]	[dBm]	[mV]	[μ W]	[μ W]	[MHz]	-	%
1											
2											
3											
4											
5											

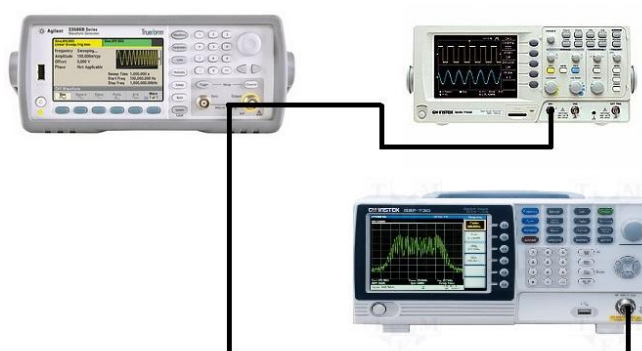
- o wykreślić funkcję $\Delta F = f(U_m)$. Wykonać regresję liniową i odczytać stałą k modulatora,
- o zmieniając częstotliwość sygnału modulującego f_m odczytywać z analizatora widma: moc sygnału na częstotliwości nośnej P_n , szerokość pasma (OCBW) i całkowitą moc sygnału P_s (Ch Power). Obliczyć: wartość napięcia nośnej U_n , dewiację częstotliwości ΔF oraz współczynnik modulacji m z zależności (2.10). Wyniki zapisać w tabelce 3.2.2.

Tabela 3.2.2 Pomiary dla stałej amplitudy i zmiennej częstotliwości sygnału

Lp.	Pomiary dla stałej częstotliwości					Z obliczeń					
	f_n	f_m	OCBW	P_s	P_n	U_n	P_n	P_s	ΔF	m	P_n/P_s
	[MHz]	[MHz]	[MHz]	[dBm]	[dBm]	[mV]	[μ W]	[μ W]	[MHz]	-	%
1		0,5									
2		1,0									
3		1,5									
4		2,0									
5		2,5									

3.3 Badanie modulacji cyfrowych

3.3.1 Modulacja BASK



Rysunek 3-3 Schemat układu pomiarowego dla badań modulacji cyfrowych. Generator Agilent 33511B, oscyloskop GDS-1022 oraz analizator GSP-730

Podłączyć układ zgodnie ze schematem z rysunku 3-3. Na generatorze funkcyjny ustawić częstotliwość sygnału nośnego f_n (przycisk **Parameters**): 10 MHz. Przejść do menu modulacji (przycisk **Modulate**): ustawić modulację AM, prostokątny sygnał modulujący o częstotliwości 100 kHz (AM Freq). Ustawić okno analizator widma na przedział częstotliwości od 9,5 do 10,5 MHz. Zarejestrować widmo sygnału zmodulowanego. Odczytać z analizatora odległość Δf pomiędzy częstotliwością sygnału nośnego f_n a sąsiadującym prążkiem widma f_g . Na tej podstawie określić szybkość modulacji R_m w Bodach oraz prędkość transmisji R_b w bit/s. Wyjaśnić jak zmieniła by się prędkość transmisji gdyby została użyta modulacja ASK z większą liczbą możliwych wartości amplitudy. Na oscyloskopie ustawić podziałkę czasu 2,5 μ s i zarejestrować sygnały.

Tabela 3.3.1 Pomiary szerokości pasma dla modulacji BASK

Lp	Pomiary			Obliczenia		
	f_m	f_n	f_g	Δf	R_m	R_b
	[kHz]	[MHz]	[MHz]	[MHz]	[Bod]	[bit/s]
1	100					

3.3.2 Modulacja BFSK

Dla schematu pomiarowego z pkt 3.3.1 ustawić sygnał nośny na generatorze (przycisk **WaveForm**) sinusoidę o częstotliwości $f_0 = 2$ MHz (będzie to częstotliwość odpowiadająca logicznej 0). W menu modulacji (przycisk **Modulate**) wybrać modulację FSK. Ustawić

częstotliwość („Hop Freq”) odpowiadającą częstotliwości logicznej **1** na 2,3 MHz oraz częstotliwość sygnału modulującego 1 MHz (na generatorze **Modulation** → FSK Rate). Na analizatorze ustawić szerokość okna SPAN na 2 MHz oraz częstotliwość środkową okna na 2 MHz. Ustawić marker na największej wartości wciskając przycisk **Peak Search**. Ustawić odnaleziony szczyt widma na środku okna analizy (Peak Search → Peak to Center). Zapisać w tabeli 3.3.2.1 częstotliwość wskazywaną przez Marker jako częstotliwość środkową widma f_{sr} . Włączyć dwa kolejne markery i ustawić je ręcznie na częstotliwościach f_0 oraz f_1 . Włączyć pomiar szerokości i mocy zajmowanego pasma (Meas → OCBW% ON). Ustawić szerokość głównego kanału na 1 MHz, a odstęp pomiędzy kanałami na 2 MHz. Zmieniając wartość częstotliwości sygnału modulującego f_m , odczytać z analizatora moc sygnału dla częstotliwości f_0 , f_1 , f_{sr} oraz szerokość zajmowanego pasma Δf (OCBW) i moc całkowitą sygnału P_s . Wyniki zapisać w tabeli 3.3.2.1. Zarejestrować widma dla każdego przypadku.

Tabela 3.3.2.1 Wyniki pomiarów dla zmiennej częstotliwości sygnału nośnego

Lp	Pomiary							Obliczenia	
	f_m	f_{sr}	$P(f_0)$	$P(f_1)$	$P(f_{sr})$	Δf	P_s	m	$P(f_1)/P_s$
	[kHz]	[MHz]	[dBm]	[dBm]	[dBm]	[kHz]	[dBm]	[-]	%
1	600								
2	300								
3	200								
4	100								
5	10								

3.3.3 Modulacja BPSK

Dla schematu z pkt 3.3.1 (bez analizatora) ustawić jako sygnał nośny na generatorze (przycisk **WaveForm**) sinusoidę o częstotliwości 20 Hz. W menu modulacji (przycisk **Modulate**) wybrać modulację BPSK. Ustawić sygnał modulujący o częstotliwości 10 Hz. Ustawić oscyloskop tak, aby można była zarejestrować na nim moment przejścia fazy (zmiany wartości logicznej sygnału nośnego, proponowana podziałka czasu 50ms). Zarejestrować obraz z oscyloskopu dla następujących przesunięć fazowych: 45, 90 oraz 180 stopni.

4 Wnioski

Skomentować otrzymane wyniki pomiarów i obliczeń, zarejestrowane przebiegu sygnałów na oscyloskopie oraz obrazy widma z analizatora. Odnieść się do wiadomości zawartych we wstępie teoretycznym do ćwiczenia. Określić zalety i wady każdej z modulacji.

5 Literatura