

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

## 1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie z podstawowymi rodzajami modulacji analogowych oraz 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),
- modulację fazy (PM).

### 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:

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

Założmy, 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],  $\Omega_m$  - 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:

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

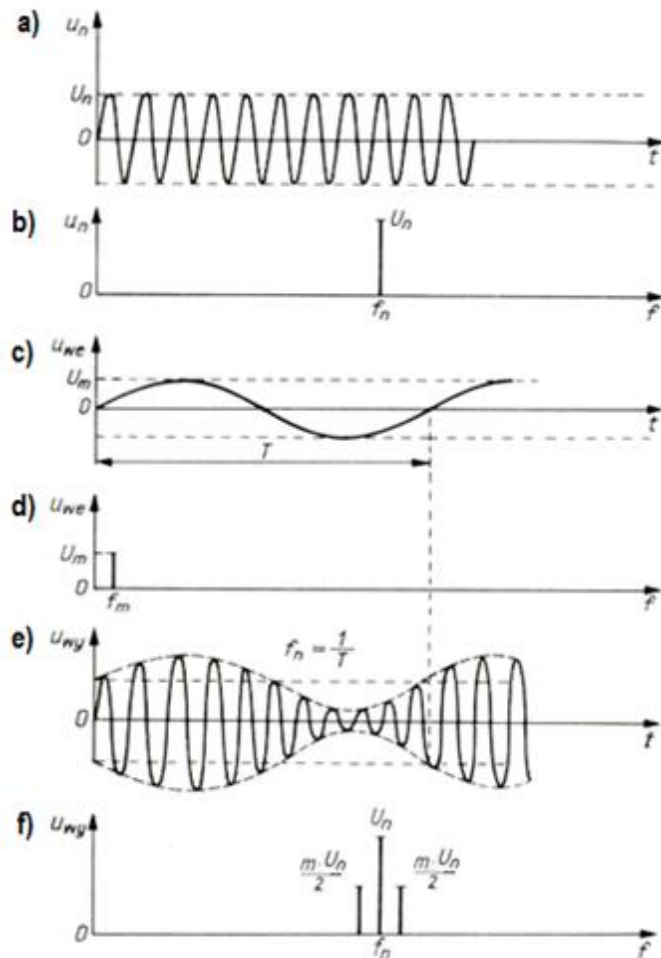
Zakładając dla uproszczenia zerową fazę początkową sygnału nośnego oraz podstawiając współczynnik głębokości modulacji do wzoru na sygnał zmodulowany otrzymujemy:

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

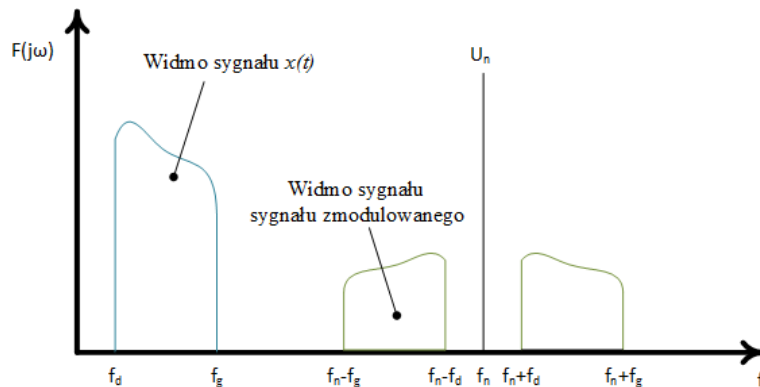
wtedy sygnał zmodulowany będzie wyglądał następująco:

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

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

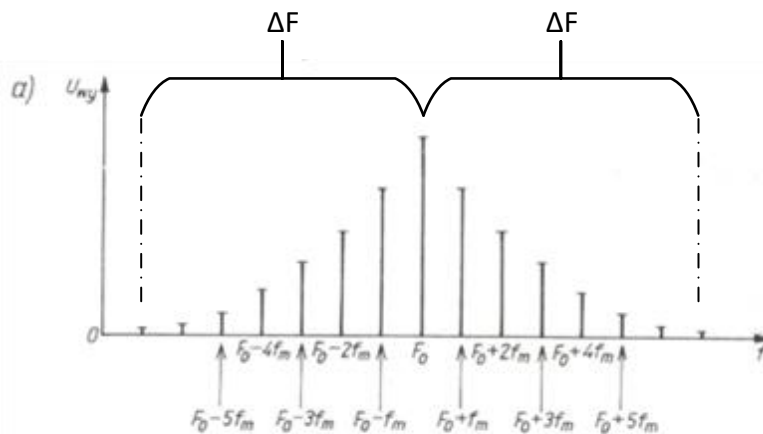
Polega na zmianie częstotliwości sygnału nośnego proporcjonalnej do chwilowej wartości sygnału modulującego (użytkowego). Jeżeli sygnał użyteczny jest sygnałem sinusoidalnym, to wartość chwilowa częstotliwości opisana jest zależnością:

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

gdzie:

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

**Dewiacja częstotliwości  $\Delta F$**  – jest to maksymalna zmiana częstotliwości sygnału modułowanego 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.



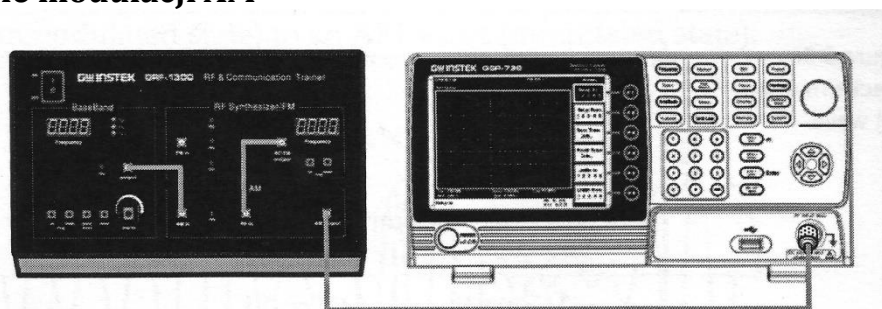
Rysunek 2-3 Przykładowe widmo modulacji FM

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

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

### 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  $\mu W$ . 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 wstęp 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 <sub>m</sub> ]	[ $\mu W$ ]	[V]		[MHz]	[dB <sub>m</sub> ]	[dB <sub>m</sub> ]
				1	$f_n + 1$		
				2	$f_n + 1,5$		
				3	$f_n + 2$		
				4	$f_n + 2,5$		
				5	$f_n + 3$		
				<b>Minimum (<math>P_{ref}</math>)</b>			

### 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 wstęp 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*

$L_p$	$f_m$	Pomiary				Obliczenia				
		$f_{wd}$	$f_{wg}$	$P_{wg}$	$P_{wg}^*$	$P_{wg}$	$U_{wg}$	$U_m$	$\Delta F$	$m$
	[MHz]	[MHz]	[MHz]	[dB <sub>m</sub> ]	[dB <sub>m</sub> ]	[nW]	[mV]	[mV]	[MHz]	-
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 częstotliwości 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  $\Delta F$  (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),

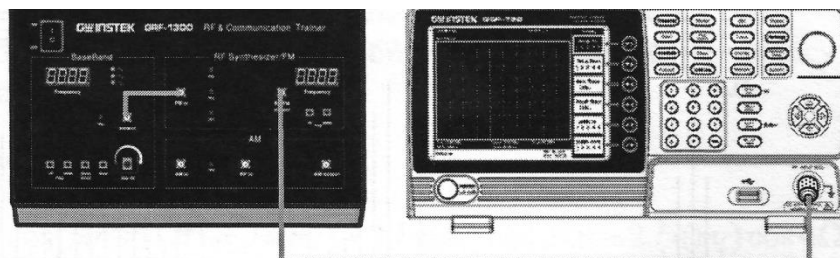
Tabela 3.1.2.2 Pomiary dla stałej częstotliwości modulacji i zmiennej amplitudy

Lp.	Pomiary						Obliczenia					
	$U_{osc}$	$f_m$	$f_{wd}$	$f_{wg}$	$P_{wg}$	$P_{wg}^*$	$P_{wg}$	$U_{wg}$	$U_m$	$\Delta F$	$m$	
	[V]	[MHz]	[MHz]	[MHz]	[dB <sub>m</sub> ]	[dB <sub>m</sub> ]	[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:

- 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  $\Delta F$  oraz współczynnik modulacji  $m$  z zależności (2.10). Wyniki zapisać w tabelce 3.2.1

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

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

- wykreślić funkcję  $\Delta F = f(U_m)$ . Wykonać regresję liniową i odczytać stałą  $k$  modulatora,
- 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  $\Delta F$  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	$P_s$	$P_n$	$U_n$	$P_n$	$P_s$	$\Delta F$	$m$	$P_n/P_s$
	[MHz]	[MHz]	[MHz]	[dBm]	[dBm]	[mV]	[ $\mu$ W]	[ $\mu$ W]	[MHz]	-	%
1		0,5									
2		1,0									
3		1,5									
4		2,0									
5		2,5									

## 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