

MODULACJE

AM i FM

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie zasad modulacji amplitudy (AM) i częstotliwości (FM) poprzez obserwację przebiegów sygnałów zmodulowanych amplitudowo i częstotliwościowo oraz pomiar podstawowych parametrów tych sygnałów.

2. Zagadnienia wprowadzające

Z uwagi na zakłócenia występujące w kanale transmisyjnym, poprawne przesyłanie sygnału użytecznego w jego naturalnym pasmie częstotliwości za pomocą fal radiowych jest prawie zawsze niemożliwe. Istnieją jednak takie zakresy fal elektromagnetycznych, których propagacja z technicznego punktu widzenia nie sprawia żadnych kłopotów. Dlatego też do przesyłania informacji zawartej w sygnale użytecznym należy wykorzystać falę elektromagnetyczną z tego właśnie zakresu, która będzie pełniła rolę fali nośnej. Realizuje się to za pomocą procesu zwanego modulacją.

Modulacja polega na uzależnieniu jednego z parametrów sygnału nośnego (modulowanego) od chwilowej wartości sygnału użytecznego (modulującego). Jako sygnał nośny w modulacjach analogowych stosowany jest sygnał sinusoidalny. Proces odwrotny do procesu modulacji to **demodulacja**. W trakcie demodulacji ze zmodulowanego sygnału nośnego wydziela się sygnał użyteczny, czyli sygnał zawierający transmitowaną informację. Ze względu na rodzaj zmienianego przez sygnał użyteczny parametru sygnału nośnego, wyróżnia się: modulację amplitudy (AM), częstotliwości (FM), fazy (PM) itp.

Modulacja amplitudy polega na uzależnieniu amplitudy sygnału nośnego (modulowanego) od chwilowej wartości sygnału użytecznego (modulującego). Poniżej pokazano przykładowe przebiegi poszczególnych sygnałów i ich widma dla modulacji AM pojedynczym sygnałem sinusoidalnym (rys.1) oraz widmo sygnałów dla modulacji AM bardziej złożonym sygnałem użytecznym (rys. 2).

Dla przykładu z rys.1 w zapisie matematycznym przedstawiamy:

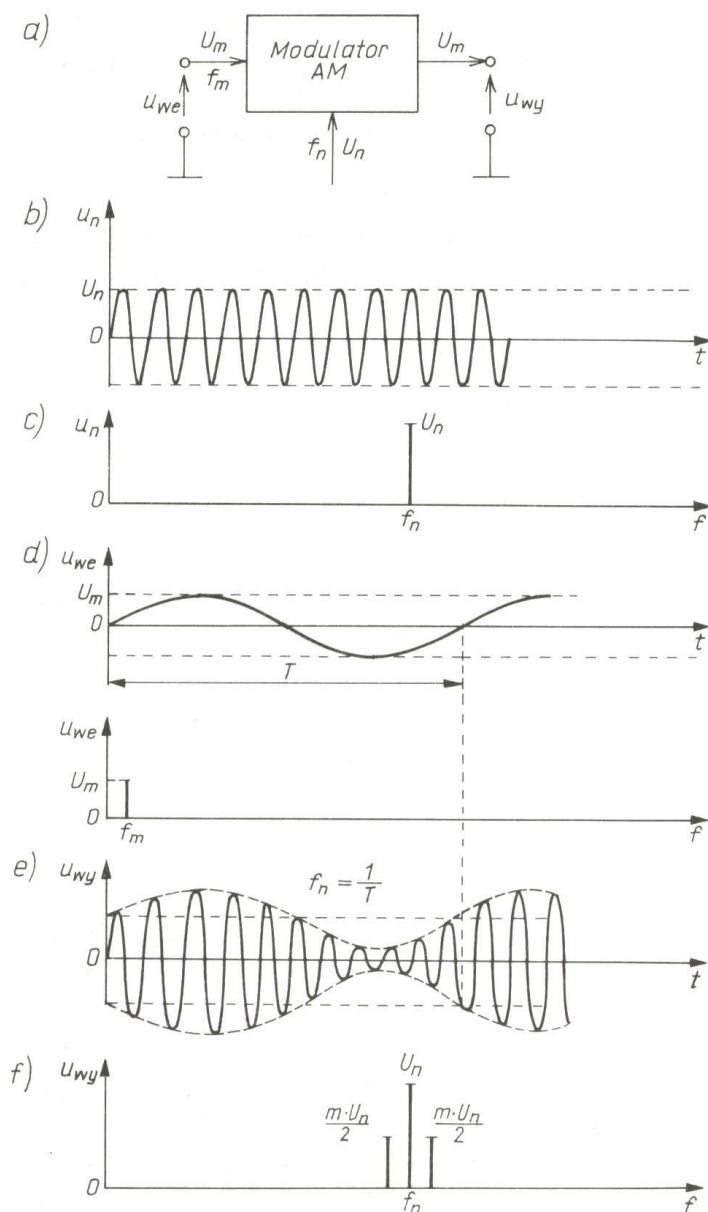
- sygnał użyteczny jako $u_{we}(t) = U_m \sin \omega_m t$,
gdzie:
 $u_{we}(t)$ – wartość napięcia sygnału użytecznego w chwili t ,
 U_m – amplituda sygnału użytecznego,
 ω_m – pulsacja sygnału użytecznego;
- sygnał nośny jako $u_n(t) = U_n \sin \omega_n t$,
gdzie:
 $u_n(t)$ – wartość napięcia sygnału nośnego w chwili t ,
 U_n – amplituda sygnału nośnego,
 ω_n – pulsacja sygnału nośnego;
- sygnał wyjściowy jako $u_{wy}(t) = U_n (1 + m \sin \omega_m t) \sin \omega_n t$,
gdzie:
 $u_{wy}(t)$ – wartość napięcia sygnału wyjściowego w chwili t ,
 $m = \frac{U_m}{U_n}$ - współczynnik głębokości modulacji.

Współczynnik głębokości modulacji określa w jakim stopniu została zmieniona na skutek modulacji amplituda sygnału nośnego w stosunku do swojej wartości przed modulacją AM. Wartość tego współczynnika często podawana jest w procentach. W praktyce maksymalna stosowana wartość m nie przekracza wartości 0,8 czyli 80%. Wartość tego współczynnika można również obliczyć na podstawie obserwacji sygnału zmodulowanego amplitudowo (czyli sygnału wyjściowego modulatora AM) i skorzystaniu z poniższego wzoru:

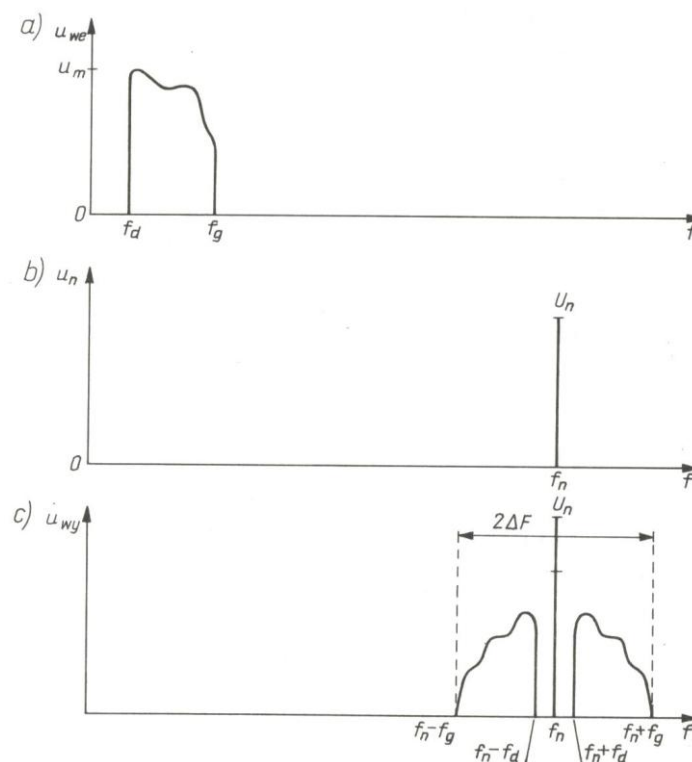
$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}},$$

gdzie:

U_{\max} i U_{\min} - największa i najmniejsza wartość międzyszczytowa sygnału zmodulowanego amplitudowo, widocznego na rys.1e.



Rys.1 Modulacja AM: a) symbol modulatora; b) sygnał nośny; c) widmo sygnału nośnego; d) sygnał użyteczny i jego widmo; e) sygnał wyjściowy modulatora; f) widmo sygnału wyjściowego



Rys.2 Modulacja AM: a) widmo złożonego sygnału użytecznego; b) widmo sygnału nośnego; c) widmo sygnału wyjściowego

Modulacja częstotliwości polega na uzależnieniu częstotliwości sygnału nośnego (modulowanego) od chwilowej wartości sygnału użytecznego (modulującego). Sygnał zmodulowany częstotliwościowo ma stałą amplitudę. Jeżeli sygnał użyteczny jest sygnałem sinusoidalnym, to wartość chwilowa częstotliwości opisana jest zależnością:

$$f(t) = F_o + \Delta F \sin \omega_m t,$$

gdzie:

F_o – częstotliwość sygnału nośnego przed modulacją,

ΔF – dewiacja częstotliwości,

ω_m – pulsacja sygnału użytecznego.

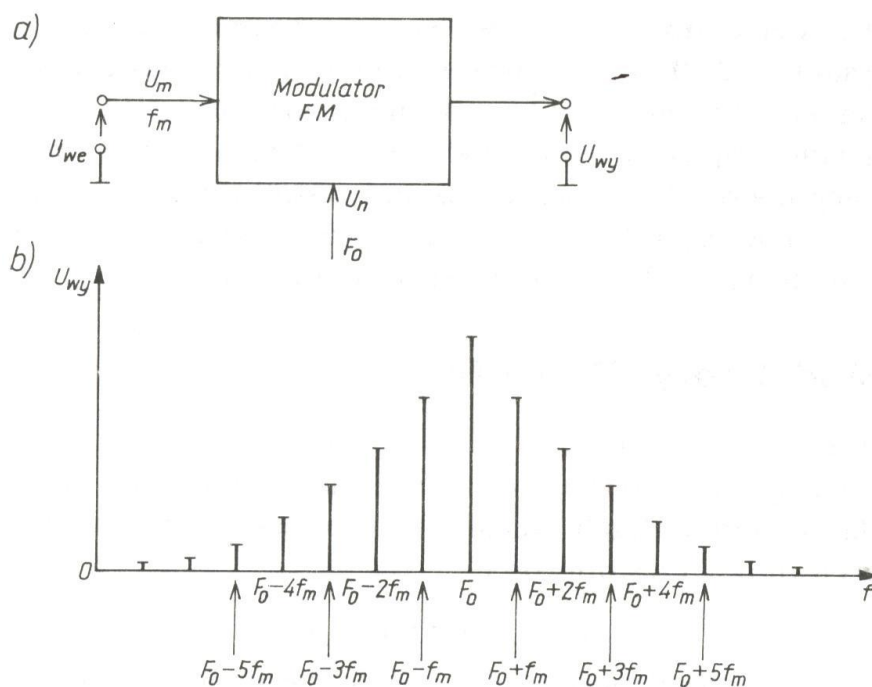
Dewiacja częstotliwości jest to maksymalna zmiana częstotliwości modulowanego sygnału nośnego. Jest ona proporcjonalna do amplitudy sygnału użytecznego (modulującego). Widmo sygnału zmodulowanego częstotliwościowo jest bardziej skomplikowane od widma sygnału zmodulowanego amplitudowo i zajmuje szersze pasmo. Przykładowe widmo sygnału zmodulowanego FM pojedynczym sygnałem sinusoidalnym [takim samym jak na rys.1 d)] pokazano na rys.3. W praktyce szerokość pasma zajmowanego przez sygnał zmodulowany częstotliwościowo ogranicza się do wartości:

$$2\Delta F = 2f_g + 2\Delta F_o,$$

gdzie:

f_g – górna częstotliwość graniczna sygnału użytecznego,

ΔF_o – dewiacja sygnału nośnego.

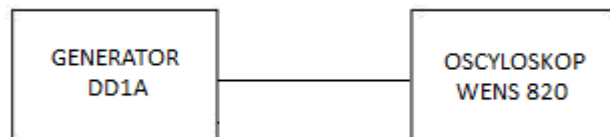


Rys.3 Modulacja FM: a) symbol modulatora; b) widmo sygnału sinusoidalnego zmodulowanego pojedynczym sygnałem sinusoidalnym

3. Przebieg ćwiczenia

3.1. Modulacja amplitudy (AM):

- a) zmontować układ pomiarowy według schematu widocznego na rys.4 (wyjście SIN generatora DD1A dołączyć do jednego z kanałów oscyloskopu WENS 820),



Rys.4 Schemat układu pomiarowego do badania modulacji AM

- b) w generatorze włączyć modulację AM i ustawić wartość współczynnika głębokości modulacji na 50%,
- c) uzyskać na ekranie oscyloskopu stabilny obraz przebiegu zmodulowanego amplitudowo,
- d) w generatorze zmieniać kolejno wartość współczynnika głębokości modulacji w zakresie od 0% do 100% i zaobserwować wpływ współczynnika głębokości modulacji na kształt modulowanego przebiegu,
- e) zamieścić w sprawozdaniu szkice przebiegu zmodulowanego amplitudowo dla trzech różnych wartości współczynnika głębokości modulacji,
- f) dla trzech powyższych przebiegów obliczyć wartości współczynnika głębokości modulacji i porównać je z wartościami ustawionymi na generatorze - wyniki zamieścić w tabeli 1,

- g) dla trzech powyższych przebiegów zmierzyć częstotliwość prostokątnego sygnału modulującego f_m (wykorzystać w oscyloskopie funkcję pomiaru z użyciem kursorów) i porównać ją z wartością podaną w dokumentacji technicznej generatora DD1A - wyniki zamieścić w tabeli 1,

Tabela 1: Wyniki pomiarów dla modulacji AM

Nr przebiegu	1	2	3
$m_{\text{gen.}} [\%]$			
$m_{\text{obl.}} [\%]$			
$f_m [\text{Hz}]$			

gdzie:

m_{gen} - wartość współczynnika głębokości modulacji ustawiona na generatorze,

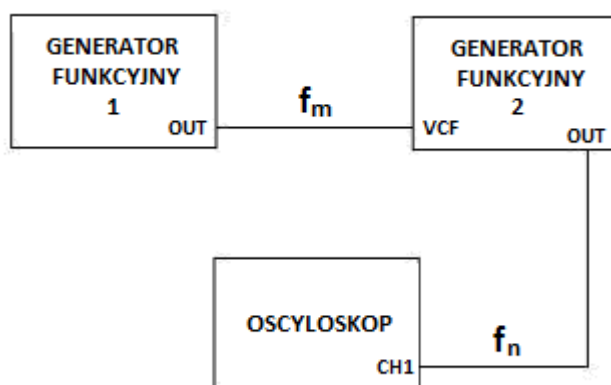
$m_{\text{obl.}}$ - obliczona wartość współczynnika głębokości modulacji,

f_m - częstotliwość sygnału modulującego.

- h) w generatorze zmienić częstotliwość sygnału nośnego f_n i zaobserwować wpływ tej zmiany na kształt modulowanego przebiegu.

3.2. Modulacja częstotliwości (FM):

- a) w układzie pomiarowym z pkt. 3.1 zmienić rodzaj modulacji w generatorze z AM na FM i zaobserwować na oscyloskopie przebieg sygnału zmodulowanego częstotliwościowo,
- b) zmontować układ pomiarowy według schematu widocznego na rys. 4 (wyjście sygnału sinusoidalnego generatora 1 dołączyć do wejścia VCF generatora 2, a wyjście sygnału sinusoidalnego generatora 2 dołączyć do jednego z kanałów oscyloskopu WENS 820 lub oscyloskopu analogowego w przypadku gdy wystąpią trudności z uzyskaniem dogodnych warunków obserwacji sygnału FM),



Rys.5 Schemat układu pomiarowego do badania modulacji FM

- c) zaobserwować na oscyloskopie przebieg sygnału zmodulowanego częstotliwościowo dla różnych sygnałów modulujących tzn. sinusoidalnego, prostokątnego i piłokształtnego generowanych przez generator 1 (szkice przykładowych przebiegów zamieścić w sprawozdaniu),

- d) dla odpowiednio małej częstotliwości prostokątnego sygnału modulującego i dla kilku różnych wartości jego amplitudy, wyznaczyć dewiację częstotliwości modulowanego sygnału nośnego - wyniki zamieścić w tabeli 2,

Tabela 2: Wyniki pomiarów dla modulacji FM

U_m [V]										UWAGI
f_{\max} [kHz]										$F_0 = \dots\dots\dots$
f_{\min} [kHz]										
ΔF [kHz]										

gdzie:

U_m – amplituda sygnału modulującego,

f_{\max} , f_{\min} – maksymalna i minimalna częstotliwość chwilowa modulowanego sygnału nośnego,

F_0 - częstotliwość spoczynkowa sygnału nośnego (bez modulacji FM),

ΔF – dewiacja częstotliwości sygnału nośnego ($\Delta F = f_{\max} - F_0$).

- e) zastąpić dotychczas używany oscyloskop WENS 820 lub oscyloskop analogowy oscyloskopem RIGOL DS 5062MM z funkcją Szybkiej Transformaty Fouriera (FFT) i zaobserwować widmo sygnału zmodulowanego częstotliwościowo sygnałem sinusoidalnym (szkic widma zamieścić w sprawozdaniu), a następnie zmierzyć różnicę częstotliwości między kolejnymi prążkami widma i porównać ją z częstotliwością sygnału modulującego f_m .