



Laboratorium podstaw teleinformatyki

Ćwiczenie 3



Projekt Absolwent na miarę czasu współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego;
Nr umowy UDA-POKL.04.01.01-00-421/10-01





Modulacje analogowe nośnej harmonicznej

Spis treści:

I. Cel ćwiczenia	3
II. Instrukcja wykonania ćwiczenia	4
III. Informacje dotyczące sprawozdania	20
IV. Podstawy teoretyczne	21



I. Cel ćwiczenia

Celem tego ćwiczenia jest analiza modulacji analogowych. Polegać ma ona na obserwacji przebiegów czasowych i widm sygnałów w poszczególnych charakterystycznych punktach modelu łącza telekomunikacyjnego. Zauważyć należy podstawowe zależności pomiędzy zadanymi parametrami symulacji a wynikami w postaci wyliczanej bitowej stopy błędów i zniekształceniami widma sygnału. Obserwacja powinna też dotyczyć wpływu pasma łącza telekomunikacyjnego (jego jakości) na szerokość widma sygnału i związane z tym błędy w transmisji.

Uruchomienie modeli powinno wiązać się z wcześniejszym zapoznaniem z podstawami teoretycznymi zawartymi w niniejszej instrukcji a także przypomnieniem wiadomości z Wykładów.



Projekt Absolwent na miarę czasu współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego;
Nr umowy UDA-POKL.04.01.01-00-421/10-01





II. Instrukcja wykonania ćwiczenia

Program:

Część 1. Modułacja AM

1. Obserwacja przebiegów czasowych i widma, zmian przebiegów i widma w wyniku zmian parametrów sygnału modulującego i parametrów modulacji
2. Ocena szerokości pasma zajmowanego przez sygnał zmodulowany
3. Ocena odporności na szumy. Wyznaczenie ch-ki szumowej.

Część 2. Modułacja FM

4. Obserwacja przebiegów czasowych i widma, zmian przebiegów i widma w wyniku zmian parametrów sygnału modulującego i parametrów modulacji
5. Ocena szerokości pasma zajmowanego przez sygnał zmodulowany
6. Ocena odporności na szumy. Wyznaczenie ch-ki szumowej.

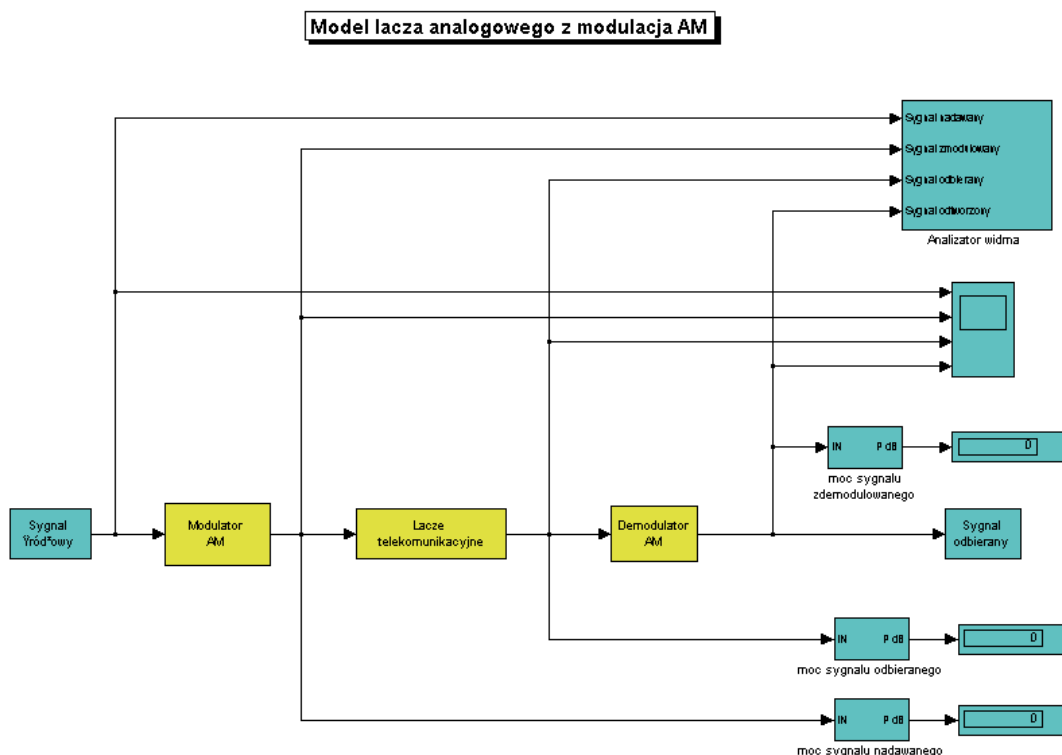
Wymagania

- 1) Znajomość przebiegów i widm w modulacji AM i FM
- 2) Znajomość budowy i działania modulatora iloczynowego AM i demodulatorów: synchronicznego i detektora obwiedni.
- 3) Znajomość budowy i działania modulatora FM i dyskryminatora częstotliwości.
- 4) Znajomość charakterystyk szumowych AM i FM

Przebieg ćwiczenia (patrz niżej)

1. Obserwacja przebiegów czasowych i widma, zmian przebiegów i widma w wyniku zmian parametrów sygnału modulującego i parametrów modulacji.

Schemat układu pomiarowego.



Załaduj plik Am_1.mdl

Wykonaj:

- Czas symulacji ustaw 1s. Włącz źródło sygnału; Wybierz typ sygnału: sinus 100Hz.
- Włącz modulator.
- W demodulatorze wyłącz wejściowy filtr pasmowy. Wybierz detektor synchroniczny.
- Ustawiając w modulatorze głębokości modulacji:
 - $m = 0.2$
 - $m = 0.7$
 - $m = 1.0$
 - $m = 1.5$



wykonaj symulację i zaobserwuj przebiegi czasowe z oscyloskopu i widma ze spektroskopów w poszczególnych punktach układu. Na podstawie wyników uzyskanych dla $m = 0.5$ umieść w sprawozdaniu:

- przebiegi czasowe w zakresie współrzędnej czasu: 0.3...0.5s z oscyloskopu (Rys. 1.a)
- widma w zakresie współrzędnej częstotliwości: -1000Hz...+1000Hz ze spektroskopów sygnałów: wejściowego (Rys. 1.b), zmodulowanego (Rys. 1.c), odbieranego (Rys. 1.d) i zdemodulowanego (Rys. 1.e)

Rys. 1.a. Sygnał wejściowy, zmodulowany, odbierany, zdemodulowany, dla $m = 0.5$

Rys. 1.b. Widmo sygnału wejściowego dla $m = 0.5$

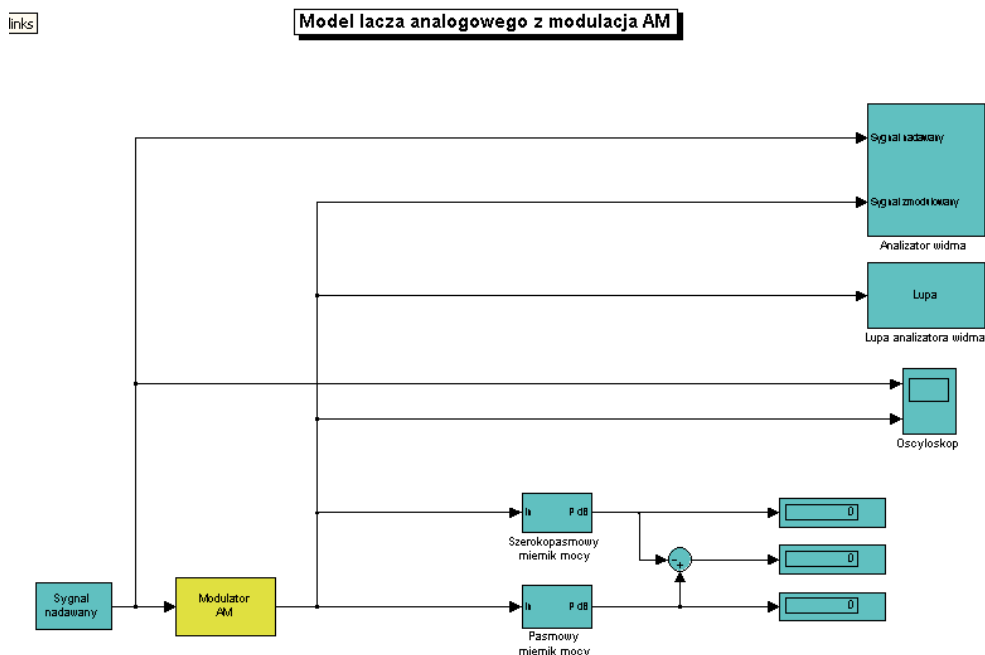
Rys. 1.c. Widmo sygnału zmodulowanego dla $m = 0.5$

Rys. 1.d. Widmo sygnału odbieranego dla $m = 0.5$

Rys. 1.e. Widmo sygnału zdemodulowanego dla $m = 0.5$

2. Ocena szerokości pasma zajmowanego przez sygnał zmodulowany

Schemat układu pomiarowego.



Załaduj plik Am_2.mdl

Procedura wyznaczenia szerokości pasma B_M zajmowanego przez widmo mocy sygnału zmodulowanego:

- Ustaw czas symulacji 1 s*
- Włącz źródło sygnału wejściowego; Częstotliwość/pasmo sygnału modulującego B_s ustaw wg. polecenia.*
- Włącz modulator.*
- W szerokopasmowym mierniku mocy włącz odfiltrowanie nośnej AM*
- W selektywnym mierniku mocy: włącz odfiltrowanie nośnej AM i ustaw szerokość pasma 5 krotnie większą od B_s pasma sygnału modulującego.*
- W drodze symulacji zmierz wartość $P_F - P_0$ różnicy mocy sygnału zmodulowanego zawartej w paśmie miernika selektywnego (P_F) i mocy sygnału wskazywanej przez*



miernik szerokopasmowy i na wejściu detektora progowego (P_0). Obydwa mierniki wskazują moc w dB.

- g. Jeżeli zmierzona wartość P_F jest mniejsza od P_0 o mniej niż $0,22 \pm 0,04$ dB (5% mocy sygnału), zmniejsz pasmo miernika selektywnego i wróć do punktu "f".
- h. Jeżeli zmierzona wartość P_F jest mniejsza od P_0 o $0,22 \pm 0,04$ dB przyjmij, że ustawiona szerokość pasma miernika selektywnego odpowiada B_M szerokości pasma widma mocy sygnału zmodulowanego.

Wykonaj:

- a. Wykonaj pomiar szerokości pasma B_M sygnału zmodulowanego dla następujących ustawień:

Lp	sygnał	B_s [Hz]
1	Sinus	100
2	Sinus	200
3	Sinus	300
4	Szum	300

Głębokość modulacji $m=0.7$.

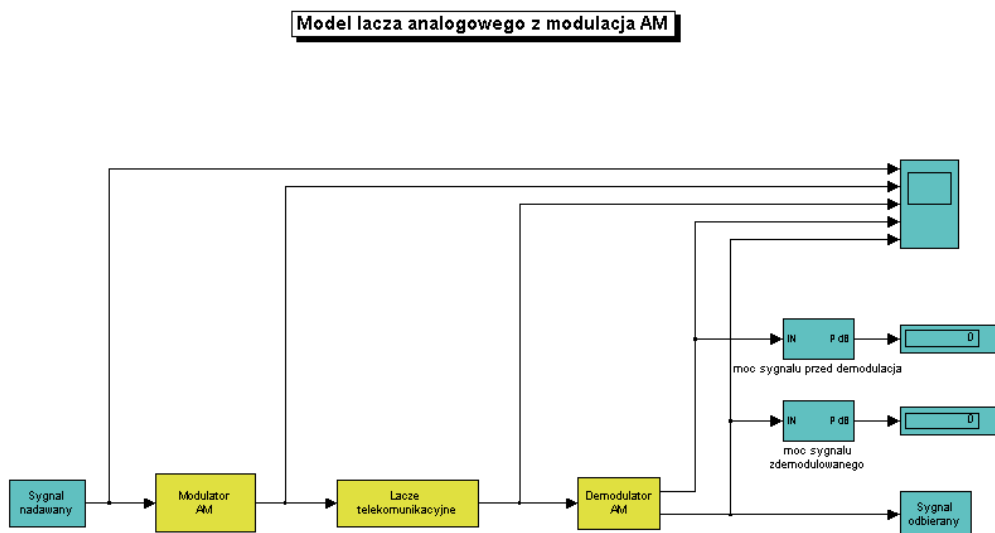
- b. Wyniki umieść w tabeli Tab. 2a..

Tabela 2.a. Szerokość pasma (95% mocy) sygnału zmodulowanego

Lp	B_s [Hz]	B_M [Hz]
1		
2		
3		
4		

3. Ocena odporności na szumy modulacji AM.

Schemat układu pomiarowego.



Załaduj plik Am_3.mdl

Procedura wyznaczenia charakterystyki $SNR_{wy}=f(SNR_{we})$:

- Włącz źródło sygnału; Częstotliwość sygnału B_s źródła ustaw wg. polecenia.*
- Czas symulacji ustawiaj 1 s.*
- Włącz modulator. Głębokość modulacji ustawiaj według polecenia.*
- Wyłącz dodawanie białego szumu w kanale.*
- W demodulatorze typ demodulatora wybierz według polecenia. Ustawiaj szerokość pasma B_F równą dwukrotnej wartości pasma sygnału modulującego B_s .*
- W drodze symulacji zmierz i zanotuj wartość P_{F0} (ustala się na końcu symulacji) mocy sygnału za filtrem pasmowym (dB) i P_{R0} mocy sygnału zdemodulowanego (dB)*
- Wyłącz modulator.*

- h. Włącz dodawanie szumu białego; Moc szumu w kanale 0 dB.
- i. W drodze symulacji zmierz i zanotuj wartość Ps_{F0} (ustala się na końcu symulacji) mocy szumu za filtrem pasmowym (dB) i Ps_{R0} (ustala się na końcu symulacji) mocy szumu za demodulatorem (dB).
- j. Włącz modulator.
- k. Ustaw wartość Ps_K mocy szumu w kanale równą wartości $Ps_K = +5\text{dB}$,
- l. W drodze symulacji zmierz a następnie zanotuj wartość Ps_F (ustala się na końcu symulacji) mocy szumu za filtrem pasmowym (dB) i Ps_R (ustala się na końcu symulacji) mocy szumu za demodulatorem (dB).
- m. Znając ustawioną wartość mocy szumu Ps oblicz wartość SNR_{we} na wejściu demodulatora i SNR_{wy} na wyjściu demodulatora wg. wzoru
- $$SNR_{we} = P_{F0} - Ps_{F0} - Ps, \quad SNR_{wy} = P_{R0} - Ps_{R0} - Ps,$$
- n. Jeżeli wartość SNR_{we} nie jest większa niż 20 dB, zmniejsz wartość Ps mocy szumu w kanale o 2,5 dB, oblicz SNR i przejdź do punktu „k”
- o. Sporządź wykres $SNR_{wy} = f(SNR_{we})$

Zadanie 3.1. Wyznaczenie charakterystyki szumowej modulacji AM

Wykonanie:

- a. Wykonaj pomiary $SNR_{wy} = f(SNR_{we})$ dla następujących ustawień

Lp	sygnał	B_s [Hz]	m	demodulator
1	Sinus	300	0.7	synchroniczny
2	Sinus	200	0.7	synchroniczny
3	Sinus	100	0.7	synchroniczny
4	Sinus	100	0.1	synchroniczny
5	Sinus	100	0.7	asynchroniczny
6	Sinus	100	0.1	asynchroniczny

- b. Wyniki umieść w tabelach (Tab.3.a, 3.b, 3.c, 3.d, 3.e, 3.f).
- c. Na wspólnym wykresie przedstaw $SNR_{wy} = f(SNR_{we})$ dla wyników pomiarów poz. 1,2,3. (Rys. 3.a).
- d. Na wspólnym wykresie przedstaw $SNR_{wy} = f(Ps_K)$ dla wyników pomiarów poz. 1,2,3. (Rys. 3.b).
- e. Na wspólnym wykresie przedstaw $SNR_{wy} = f(Ps_K)$ dla wyników pomiarów poz. 3,4 (Rys. 3.c).



- f. Na wspólnym wykresie przedstaw $SNR_{wy}=f(Psz_K)$ dla wyników pomiarów poz. 5,6 (Rys. 3.d).

Tab. 3.a. Charakterystyka szumowa; $B_s=300$ Hz, $m=0.7$, demodulacja synchroniczna.

P_{F0}	Ps_{F0}	P_{R0}	Ps_{R0}	5	2.5	0	-2.5	-5	..	Ps_{z_K}
										$SN_{R_{we}}$
										$SN_{R_{wy}}$

Tab. 3.b. Charakterystyka szumowa; $B_s=200$ Hz, $m=0.7$, demodulacja synchroniczna.

P_{F0}	Ps_{F0}	P_{R0}	Ps_{R0}	5	2.5	0	-2.5	-5	..	Ps_{z_K}
										$SN_{R_{we}}$
										$SN_{R_{wy}}$

Tab. 3.c. Charakterystyka szumowa; $B_s=100$ Hz, $m=0.7$, demodulacja synchroniczna.

P_{F0}	Ps_{F0}	P_{R0}	Ps_{R0}	5	2.5	0	-2.5	-5	..	Ps_{z_K}
										$SN_{R_{we}}$
										$SN_{R_{wy}}$

Tab. 3.d. Charakterystyka szumowa; $B_s=100$ Hz, $m=0.1$, demodulacja synchroniczna.

P_{F0}	Ps_{F0}	P_{R0}	Ps_{R0}	5	2.5	0	-2.5	-5	..	Ps_{z_K}
										$SN_{R_{we}}$
										$SN_{R_{wy}}$





Tab. 3.e. Charakterystyka szumowa; $B_s=100$ Hz, $m=0.7$, demodulacja asynchroniczna.

P_{F0}	$P_{SZ_{F0}}$	P_{R0}	$P_{SZ_{R0}}$	5	2.5	0	-2.5	-5	..	P_{SZ_K}
										SN
										R_{we}
										SN
										R_{wy}

Tab. 3.f. Charakterystyka szumowa; $B_s=100$ Hz, $m=0.1$, demodulacja asynchroniczna.

P_{F0}	$P_{SZ_{F0}}$	P_{R0}	$P_{SZ_{R0}}$	5	2.5	0	-2.5	-5	..	P_{SZ_K}
										SN
										R_{we}
										SN
										R_{wy}

Rys. 3.a Charakterystyka szumowa AM,
 $m=0.7$, demodulacja synchroniczna

Rys. 3.b. SNR AM w funkcji mocy szumu
kanału, $m=0.7$, demodulacja synchroniczna

Rys. 3.c. SNR AM w funkcji mocy szumu
kanału, $B_s=100$ Hz, demodulacja
synchroniczna

przez Un
DA-POKL

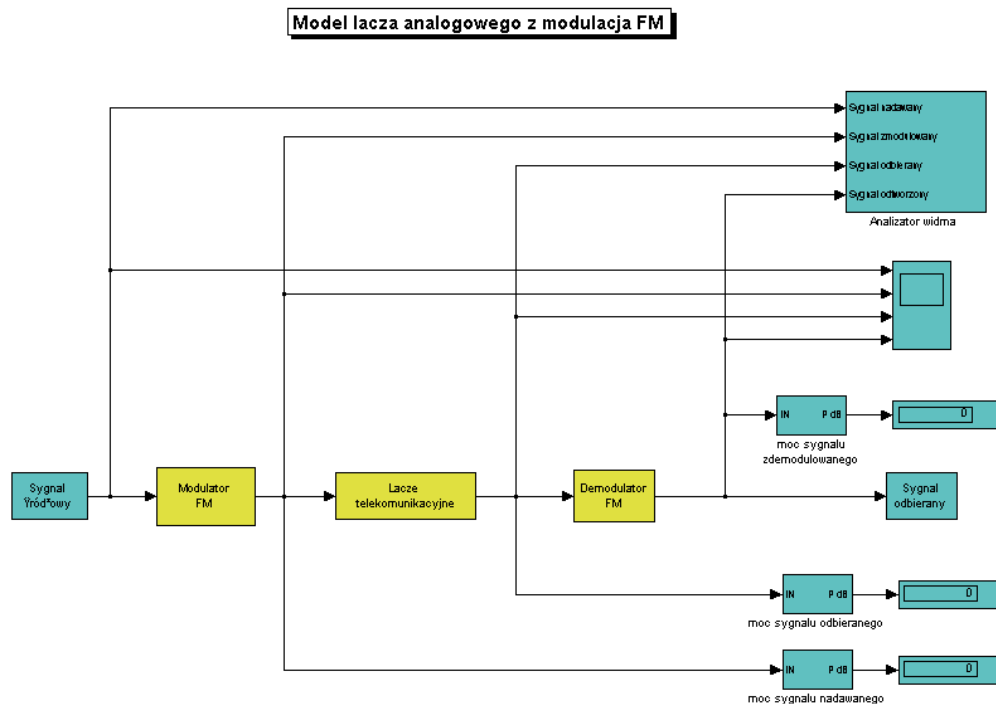
Rys. 3.d. Charakterystyka szumowa AM,
 $B_s=100$ Hz, , demodulacja asynchroniczna



Część 2. Modulacja FM

4. Obserwacja przebiegów czasowych i widma, zmian przebiegów i widma w wyniku zmian parametrów sygnału modulującego i parametrów modulacji.

Schemat układu pomiarowego.



Załaduj plik Fm_4.mdl

Wykonaj:

- Czas symulacji ustaw 1s. Włącz źródło sygnału; Wybierz typ sygnału: sinus 100Hz.
- Włącz modulator.
- W demodulatorze wyłącz wejściowy filtr pasmowy. Ustawiaj pasmo sygnału odbieranego równe pasmu ustawionemu w źródle. Ustawiaj wartość dewiacji jak w modulatorze.
- Ustawiając w modulatorze wartość dewiacji:

Lp	sygnał	B_s [Hz]	F_d [Hz]
1	Sinus	100	100
2	Sinus	100	300
3	Sinus	300	100
4	Szum	100	100
5	Sinus	100	300



wykonaj symulację i zaobserwuj przebiegi czasowe z oscyloskopu i widma ze spektroskopów w poszczególnych punktach układu.

- e. Na podstawie wyników uzyskanych dla poz. 2 umieść w sprawozdaniu przebiegi czasowe w zakresie współrzędnej czasu: 0.3...0.35s z oscyloskopu (Rys. 5.a)
- f. Na podstawie wyników uzyskanych dla poz. 1,2,3 przenieś do sprawozdania widma sygnału zmodulowanego (Rys. 5.b, 5.b, 5.b)
- g. Na podstawie wyników uzyskanych dla poz. 4,5 przenieś do sprawozdania widma sygnału zmodulowanego (Rys. 5.e, 5.f)

Rys. 5.a. Przebiegi FM, $F_d = 300\text{Hz}$,
 $B_s = 100\text{Hz}$

Rys. 5.b. Widmo sygnału FM, sinus
 $B_s = 100\text{Hz}$, $F_d = 100\text{Hz}$,

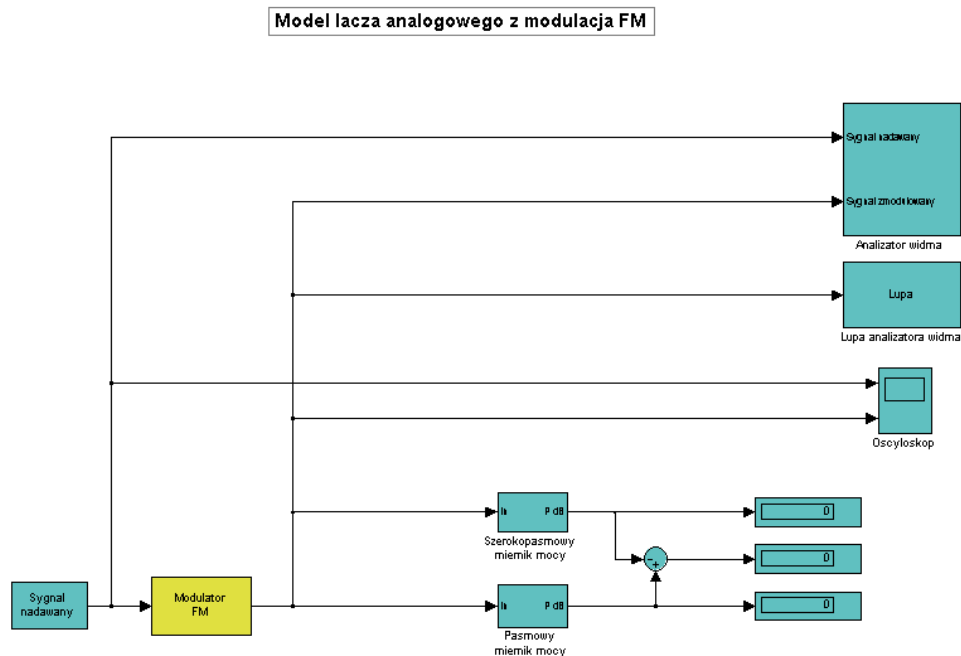
Rys. 5.c. Widmo sygnału FM, sinus
 $B_s = 100\text{Hz}$, $F_d = 300\text{Hz}$

Rys. 5.d. Widmo sygnału FM, szum
0..100Hz, $F_d = 100\text{Hz}$

Rys. 5.e. Widmo sygnału FM, szum
0..100Hz, $F_d = 300\text{Hz}$

5. Ocena szerokości pasma zajmowanego przez sygnał zmodulowany

Schemat układu pomiarowego.



Załaduj plik Fm_5.mdl

Procedura wyznaczenia szerokości pasma B_M zajmowanego przez widmo mocy sygnału zmodulowanego:

- Ustaw czas symulacji 1 s*
- Włącz źródło sygnału wejściowego; Wyłącz opcję sygnału losowego. Częstotliwość/pasmo sygnału modulującego B_s ustaw wg. polecenia.*
- Włącz modulator. Dewiację F_d ustawiaj według polecenia.*
- W selektywnym mierniku mocy ustaw szerokość pasma równą podwojonej wartości dewiacji F_d .*
- W drodze symulacji zmierz wartość $P_F - P_0$ różnicy mocy sygnału zmodulowanego zawartej w paśmie miernika selektywnego (P_F) i mocy sygnału wskazywanej przez miernik szerokopasmowy i na wejściu detektora progowego (P_0). Obydwa mierniki wskazują moc w dB.*



- f. Jeżeli zmierzona wartość P_F nie jest mniejsza od P_0 o $0,22 \pm 0,04$ dB (5% mocy sygnału), zwiększ pasmo miernika selektywnego i wróć do punktu "e".
- g. Jeżeli zmierzona wartość P_F jest mniejsza od P_0 o $0,22 \pm 0,04$ dB przyjmij, że ustawiona szerokość pasma miernika selektywnego odpowiada B_M szerokości pasma widma mocy sygnału zmodulowanego.

Wykonaj:

- a. Wykonaj pomiar szerokości pasma B_M sygnału zmodulowanego dla następujących ustawień:

Lp	sygnał	B_s [Hz]	F_d [Hz]
1	Sinus	100	100
2	Sinus	200	100
3	Sinus	300	100
4	Sinus	100	300

- c. Wyniki umieść w tabeli Tab. 5a..
- d. Oblicz szerokość pasma wg. reguły Carsona $B_M^C = 2 \cdot (F_d + B_s)$

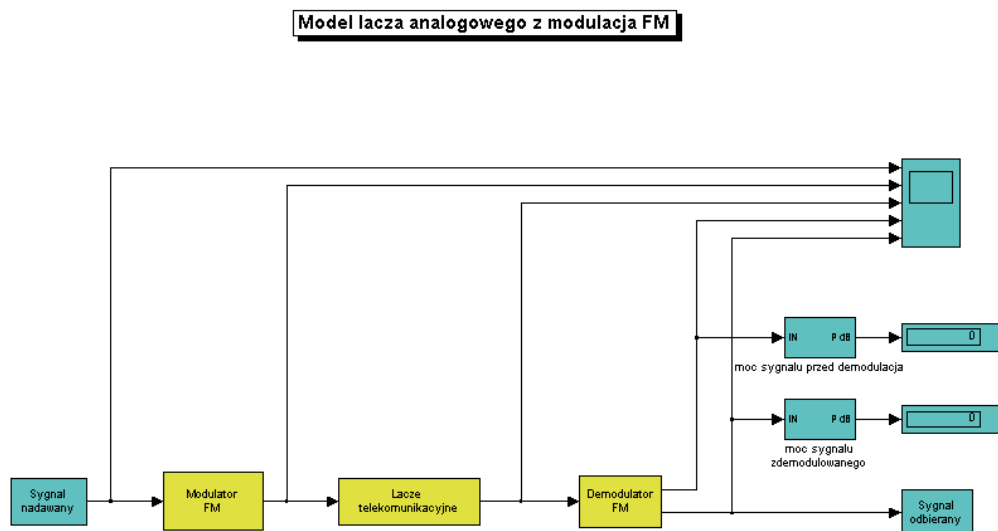
Tabela 5.a. Szerokość pasma (95% mocy) sygnału zmodulowanego

Lp	B_s [Hz]	F_d [Hz]	B_M [Hz]	B_M^C [Hz]
1	100	100		
2	200	100		
3	300	100		
4	100	300		



6. Ocena odporności na szумы modulacióni FM.

Schemat układu pomiarowego.



Załaduj plik Fm_6.mdl

Procedura wyznaczenia charakterystyki $SNR_{wy}=f(SNR_{we})$:

- Włącz źródło sygnału; Częstotliwość sygnału B_s źródła ustaw wg. polecenia.*
- Czas symulacji ustawiaj 1 s.*
- Włącz modulator. Dewiację ustawiaj według polecenia.*
- Wyłącz dodawanie białego szumu w kanale.*
- W demodulatorze wartość dewiacji ustawiaj jak w modulatorze. Ustawiaj szerokość pasma filtru pasmowego w.c.z. B_F zgodnie z wartością obliczoną z reguły Carsona. Szerokość pasma filtru m.c.z. ustawiaj równą wartości pasma sygnału modulującego B_s .*
- W drodze symulacji zmierz i zanotuj wartość P_{F0} (ustala się na końcu symulacji) mocy sygnału za filtrem pasmowym (dB) i P_{R0} mocy sygnału zdemodulowanego (dB)*
- Wyłącz modulator.*
- Włącz dodawanie szumu białego; Moc szumu w kanale 0 dB.*
- W drodze symulacji zmierz i zanotuj wartość P_{szF0} (ustala się na końcu symulacji) mocy szumu za filtrem pasmowym (dB) i P_{szR0} (ustala się na końcu symulacji) mocy szumu za demodulatorem (dB).*

- j. Włącz modulator.
- k. Ustaw wartość Psz_K mocy szumu w kanale równą wartości $Psz_K = +5dB$,
- l. W drodze symulacji zmierz a następnie zanotuj wartość Psz_F (ustala się na końcu symulacji) mocy szumu za filtrem pasmowym (dB) i Psz_R (ustala się na końcu symulacji) mocy szumu za demodulatorem (dB).
- m. Znając ustaloną wartość mocy szumu Psz oblicz wartość SNR_{we} na wejściu demodulatora i SNR_{wy} na wyjściu demodulatora wg. wzoru
- $$SNR_{we} = P_{F0} - Psz_{F0} - Psz, \quad SNR_{wy} = P_{R0} - Psz_{R0} - Psz,$$
- n. Jeżeli wartość SNR_{we} nie jest większa niż 20 dB, zmniejsz wartość Psz mocy szumu w kanale o 2,5 dB, oblicz SNR i przejdź do punktu „l”
- o. Sporządź wykres $SNR_{wy} = f(SNR_{we})$

Zadanie 6.1. Wyznaczenie charakterystyki szumowej modulacji FM

Wykonanie:

- a. Wykonaj pomiary $SNR_{wy} = f(SNR_{we})$ dla następujących ustawień

Lp	sygnał	B_s [Hz]	F_d [Hz]
1	Sinus	100	100
2	Sinus	100	300
3	Sinus	100	500

- b. Wyniki umieść w tabelach (Tab.6.a, 6.b, 6.c).
- c. Na wspólnym wykresie przedstaw $SNR_{wy} = f(SNR_{we})$ dla wyników pomiarów poz. 1,2,3. (Rys. 3.a).
- d. Na wspólnym wykresie przedstaw $SNR_{wy} = f(Psz_K)$ dla wyników pomiarów poz. 1,2,3. (Rys. 3.b).

Tab. 6.a. Charakterystyka szumowa; $B_s = 100$ Hz, $F_d = 100$ Hz

P_{F0}	Psz_{F0}	P_{R0}	Psz_{R0}	5	2.5	0	-2.5	-5	..	Psz_K
										SNR_{we}
										SNR_{wy}

Tab. 6.b. Charakterystyka szumowa; $B_s = 100$ Hz, $F_d = 300$ Hz



P_{F0}	Ps_{ZF0}	P_{R0}	Ps_{ZR0}	5	2.5	0	-2.5	-5	..	Ps_{ZK}
										SN
										R_{we}
										SN
										R_{wy}

Tab. 6.c. Charakterystyka szumowa; $B_s=100$ Hz, $F_d=500$ Hz

P_{F0}	Ps_{ZF0}	P_{R0}	Ps_{ZR0}	5	2.5	0	-2.5	-5	..	Ps_{ZK}
										SN
										R_{we}
										SN
										R_{wy}

Rys. 6.a Charakterystyka szumowa FM,
 $B_s=100$ Hz

Rys. 6.b. SNR FM w funkcji mocy szumu
kanału, $B_s=100$ Hz





III. Informacje dotyczące sprawozdania.

Sprawozdanie powinno zawierać:

- imiona i nazwiska wykonujących ćwiczenie
- temat i datę wykonania ćwiczenia
- opis sposobu realizacji wyznaczonych w instrukcji celów
- rysunki prezentujące analizowane sygnały (widma i przebiegi czasowe)
- wykresy $BER=f(SNR)$ wraz z opisem (?)
- spostrzeżenia i wnioski

Termin oddania sprawozdania upływa wraz z następnym terminem odbywania laboratorium.



Projekt Absolwent na miarę czasu współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego;
Nr umowy UDA-POKL.04.01.01-00-421/10-01





IV. Podstawy teoretyczne

Celem systemu telekomunikacyjnego jest dostarczenie wiadomości ze źródła informacji do odbiorcy w rozpoznawalnej formie, przy czym źródło i odbiorca są fizycznie odseparowane od siebie. W tym celu w nadajniku dokonuje się przekształcenia sygnału informacyjnego do postaci dogodnej dla transmisji poprzez kanał. Przekształcenia tego dokonuje się za pomocą procesu znanego pod nazwą modulacji, polegającego na zmienianiu jednego z parametrów fali nośnej zgodnie ze zmianami sygnału informacyjnego. Odbiorca dokonuje odtworzenia oryginalnego sygnału informacyjnego na podstawie „pogorszonej” wersji sygnału wysyłanego, po jego przejściu przez kanał. Odtworzenie to dokonywane jest w procesie zwanym demodulacją, będącym odwróceniem procesu modulacji zachodzącego w nadajniku. Ze względu na nieuniknioną obecność szumów i zniekształceń w sygnale odbieranym, stwierdzić można, że odbiornik nie jest w stanie odtworzyć dokładnie oryginalnego sygnału niosącego wiadomość. Wynikające stąd „pogorszenie” odbieranego sygnału zależy od rodzaju użytej w nim modulacji. W szczególności można stwierdzić, że pewne rodzaje modulacji są mniej wrażliwe na szumy i zniekształcenia, niż inne.



Modulacja amplitudy AM

Sinusoidalna fala nośna zdefiniowana jest jako: $c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$

gdzie A_c - amplituda fali nośnej, f_c - częstotliwość fali nośnej

i jeżeli przyjąć, że $m(t)$ oznacza przebieg sygnału modulującego to można zapisać wzór na falę zmodulowaną amplitudowo:

$$s(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

gdzie k_a – czułość amplitudowa modulatora.

Obwiednia takiego sygnału spełnia następujące warunki:

- amplituda sygnału $k_a m(t)$ jest zawsze mniejsza od jedności

$|k_a m(t)| < 1, t \in (-\infty, \infty)$. Jeżeli warunek ten nie zostanie spełniony wtedy fala nośna zostaje przemodulowana co powoduje odwracanie fali nośnej i powoduje zniekształcenie obwiedni;

- częstotliwość fali nośnej f_c jest wiele większa od największej częstotliwości W sygnału modulującego $m(t)$:

$$f_c \gg W$$

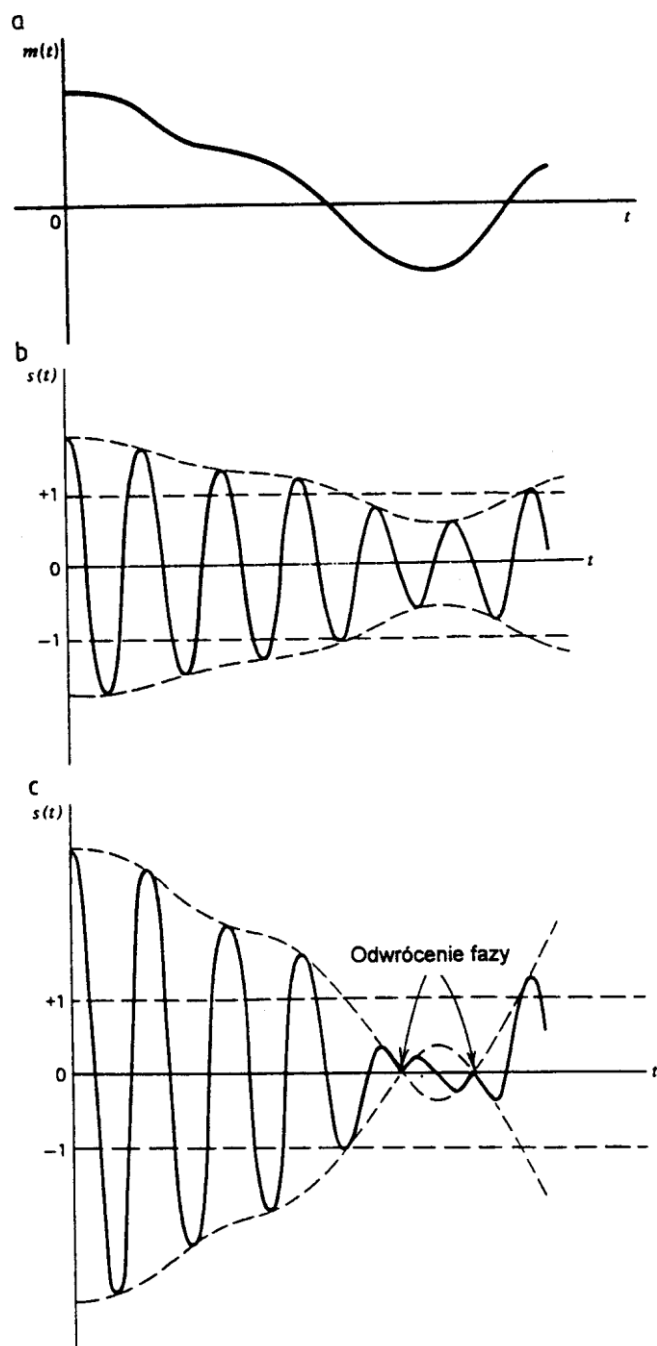
Wielkość W określa się też szerokością pasma sygnału informacyjnego.

Widmo jest transformatą Fouriera fali AM:

$$S(f) = \frac{A_c}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] + \frac{k_a A_c}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)]$$

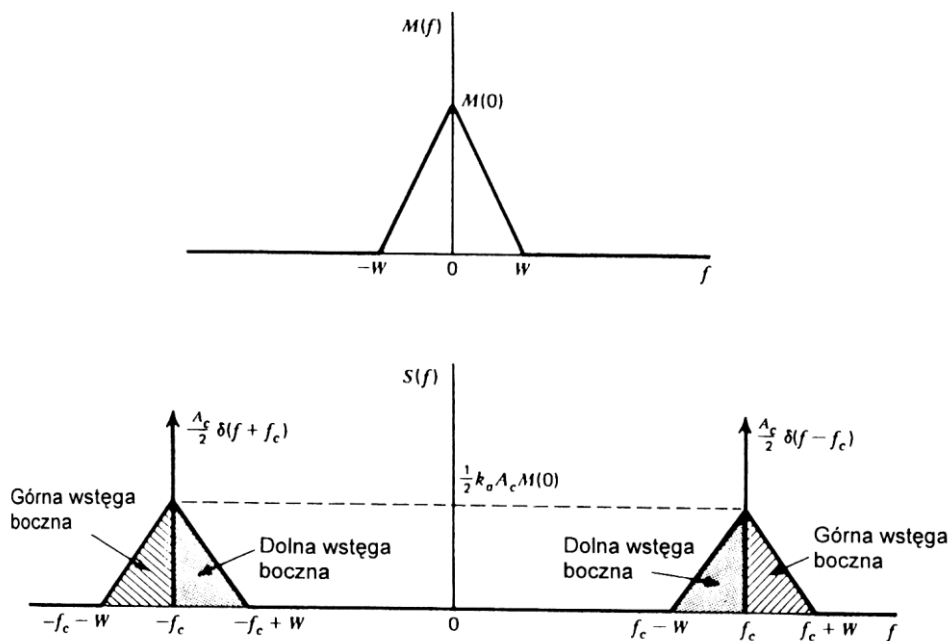
Widmo to składa się z dwóch funkcji wziętych z wagą $A_c/2$ oraz dwu identycznych widm sygnału modulującego przesuniętych w częstotliwości o $\pm f_c$

przeskalowanych amplitudowo o wartość $k_a A_c/2$ co obrazuje poniższy rysunek (2).



Rysunek 1 Ilustracja procesu działania modulacji amplitudy AM

- a - sygnał $m(t)$ z pasma podstawowego
- b - fala AM przy $|k_a m(t)| < 1$ dla każdego t
- c - fala AM przy $|k_a m(t)| > 1$ dla pewnego t



Rysunek 2 Widmo z pasma podstawowego i widmo fali AM

Modulacja częstotliwości FM

Przy założeniu, że $\Theta_i(t)$ oznacza kąt zmodulowanej fali nośnej, będący z założenia funkcją sygnału informacyjnego można zapisać wzór na falę zmodulowaną kątowno:

$$s(t) = A_c \cos[\Theta_i(t)]$$

gdzie A_c - amplituda fali nośnej.



W czasie pełnego okresu argument $\Theta_i(t)$ zmienia się o 2π radianów. Gdy $\Theta_i(t)$ zmienia się monotonicznie wraz z czasem, średnia częstotliwość dla przedziału od t do $t+\Delta t$ wynosi [3]:

$$f_{\Delta t}(t) = \frac{\Theta_i(t + \Delta t) - \Theta_i(t)}{2\pi\Delta t}$$

Istnieje wiele sposobów, na które kąt $\Theta_i(t)$ może być zmieniany w takt sygnału modulującego ale wyróżnia się dwa podstawowe:

- modulację częstotliwości
- modulację fazy (nie analizowaną dalej)

Modulacja częstotliwości jest postacią modulacji kąta, przy której częstotliwość chwilowa $f_i(t)$ zmienia się liniowo wraz z sygnałem informacyjnym $m(t)$ zgodnie z zależnością:

$$f_i(t) = f_c + k_f m(t)$$

Składnik f_c reprezentuje częstotliwość niezmodulowanej fali nośnej; stała k_f jest czułością częstotliwościową modulatora.

Jeżeli $m(t)$ jest sygnałem cosinusoidalnym to sygnał zmodulowany częstotliwościowo jest w dziedzinie czasu opisany równaniem:

$$s(t) = A_c \sin\left[2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t U_m \cos(2\pi f_m t) dt\right] = A_c \sin\left[2\pi f_c t + \frac{k U_m}{f_m} \sin(2\pi f_m t)\right]$$

Czynnik $k U_m$ reprezentuje maksymalną zmianę częstotliwości wywoływaną przez sygnał modulujący (gdy $\sin(2\pi f_m t)$ równa się +1 lub -1) i jest nazywany

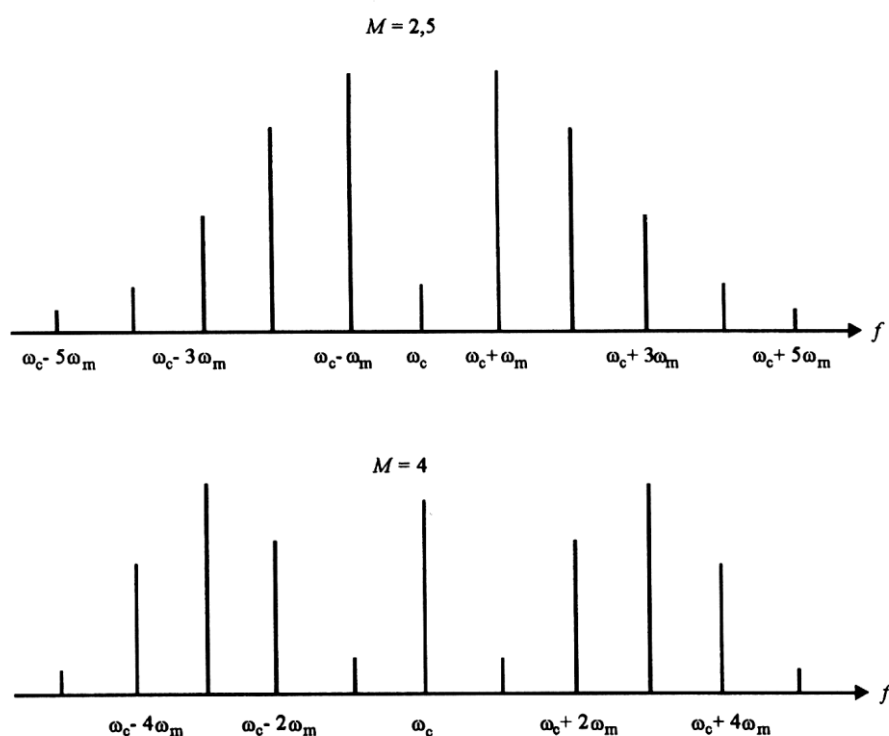
dewiacją częstotliwości Δf . Wyrażenie $\frac{kU_m}{f_m}$ nosi nazwę wskaźnika modulacji

M.

Matematycznie:

$$M = \frac{kU_m}{f_m} = \frac{\Delta f}{f_m}$$

Widmo sygnału zmodulowanego FM przedstawia Rysunek 3. Widmo to jest nieskończenie szerokie ale stosuje się przybliżenie polegające na określeniu szerokości widma, w granicach której moc zawarta w prążkach sygnału stanowi 98% mocy całego sygnału.



Rysunek 3 Widmo sygnału zmodulowanego FM