



INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA NR 2

LAB 2

**TEMAT:
MODULACJA AMPLITUDY**



I. CEL ĆWICZENIA:

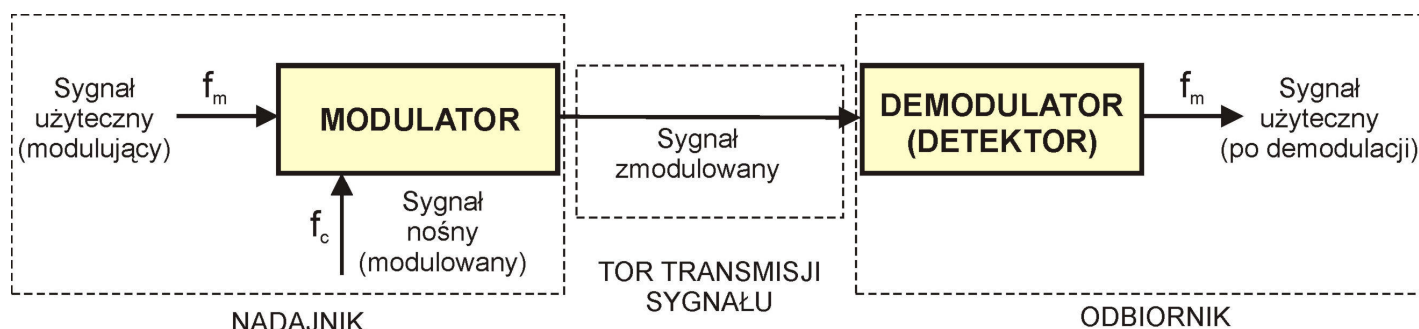
Celem ćwiczenia jest wprowadzenie do zagadnienia modulacji amplitudy, poznanie podstawowych rodzajów modulacji amplitudowej oraz zapoznanie się z podstawowymi układami służącymi do generowania sygnałów zmodulowanych.

II. WSTĘP TEORETYCZNY:

Modulacja polega na modyfikowaniu określonych parametrów jednego sygnału przy pomocy innego sygnału. Sygnał modyfikujący nazywany jest sygnałem modulującym (lub użytecznym) natomiast sygnał modyfikowany (modulowany) nazywany jest sygnałem nośnym. Najczęściej jako sygnał nośny stosuje się sygnał sinusoidalny. Rozważmy na początku pojedynczą sinusoidę interpretowaną jako sygnał nośny, czyli sygnał służący do przenoszenia informacji pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem:

$$f_c(t) = A_c \cos(\omega_c t + \theta)$$

Sygnał modulujący (informacyjny) służy do zmiany jednego z parametrów sygnału nośnego. Jak wynika z powyższego wzoru zmieniać można amplitudę A_c , częstotliwość ω_c lub fazę θ . W zależności od tego który parametr użyto do przeprowadzenia modulacji mówimy odpowiednio o modulacji amplitudy, częstotliwości lub fazy. Podstawowy tor transmisji sygnału zmodulowanego przedstawiony jest na rysunku poniżej:



Rysunek 1. Ogólny schemat układu do modulacji

Modulację stosujemy z następujących powodów:

- Aby umożliwić przesyłanie sygnałów użytecznych o niskich częstotliwościach na duże odległości,
- Aby zmniejszyć wrażliwość przesyłanego sygnału na zakłócenia
- Aby umożliwić skuteczne przesłanie i późniejsze wyodrębnienie większej ilości sygnałów użytecznych znajdujących się w tych samych pasmach

W praktyce, jeśli przesyłamy np.: sygnał mowy o częstotliwości do 15 kHz, używamy sygnału fali nośnej o wartościach liczonych w MHz (np.: system CB Radio pracujący w paśmie obywatelskim wykorzystuje sygnał nośny o częstotliwości 26-29MHz).



W przypadku modulacji amplitudy sygnał modulujący, (czyli użyteczny niosący informację) zmienia amplitudę sygnału nośnego (czyli modulowanego). W zależności od sposobu generowania sygnału zmodulowanego analogową modulacją amplitudową możemy podzielić na następujące rodzaje:

MODULACJA:	OPIS:
DSB LC (AM)	(ang. <i>Double-Sideband Large Carrier</i>) - modulacja dwuwstęgowa z widoczną nośną
DSB SC	(ang. <i>Double-Sideband Suppressed Carrier</i>) - modulacja dwuwstęgowa z wytłumioną nośną
SSB	(ang. <i>Single-Sideband Modulation</i>) - modulacja jednowstęgowa (może to być wstęga górna: SSB-USB lub dolna: SSB-LSB)
VSB (VSB-AM)	(ang. <i>Vestigial-Sideband Modulation</i>) - modulacja amplitudy z częściowo tłumioną wstęgą boczną (inaczej zwana modulacją ze wstęgą szczątkową)

Tabela 1. Rodzaje modulacji amplitudowej

Matematyczna podstawa uzyskania sygnału zmodulowanego amplitudowo określona jest za pomocą następujących wzorów:

Dla oznaczonych następująco sygnałów składowych przyjmijmy, że:

$$f_C(t) = A_C \cos(\omega_C t + \theta) - \text{Sinusoidalny przebieg sygnału nośnego (modulowanego),}$$

$$f_M(t) = x(t) - \text{Ogólna postać sygnału modulującego}$$

Zatem sygnał zmodulowany amplitudowo przyjmie postać:

$$y_{AM}(t) = (A_C + x(t)) \cos(\omega_C t + \theta) - \text{Sygnał zmodulowany amplitudowo}$$

Często powyższe równanie zapisuje się też pod następującą postacią:

$$y_{AM}(t) = A_C(1 + mx(t)) \cos(\omega_C t + \theta), \text{ nazywana równaniem modulacji, gdzie:}$$

m - jest to współczynnik głębokości modulacji.

Zakładając dla uproszczenia, że faza początkowa sygnału nośnego θ jest równa zero i wymnażając powyższe równanie otrzymamy:

$$y_{AM}(t) = A_C \cos(\omega_C t) + x(t) \cos(\omega_C t)$$

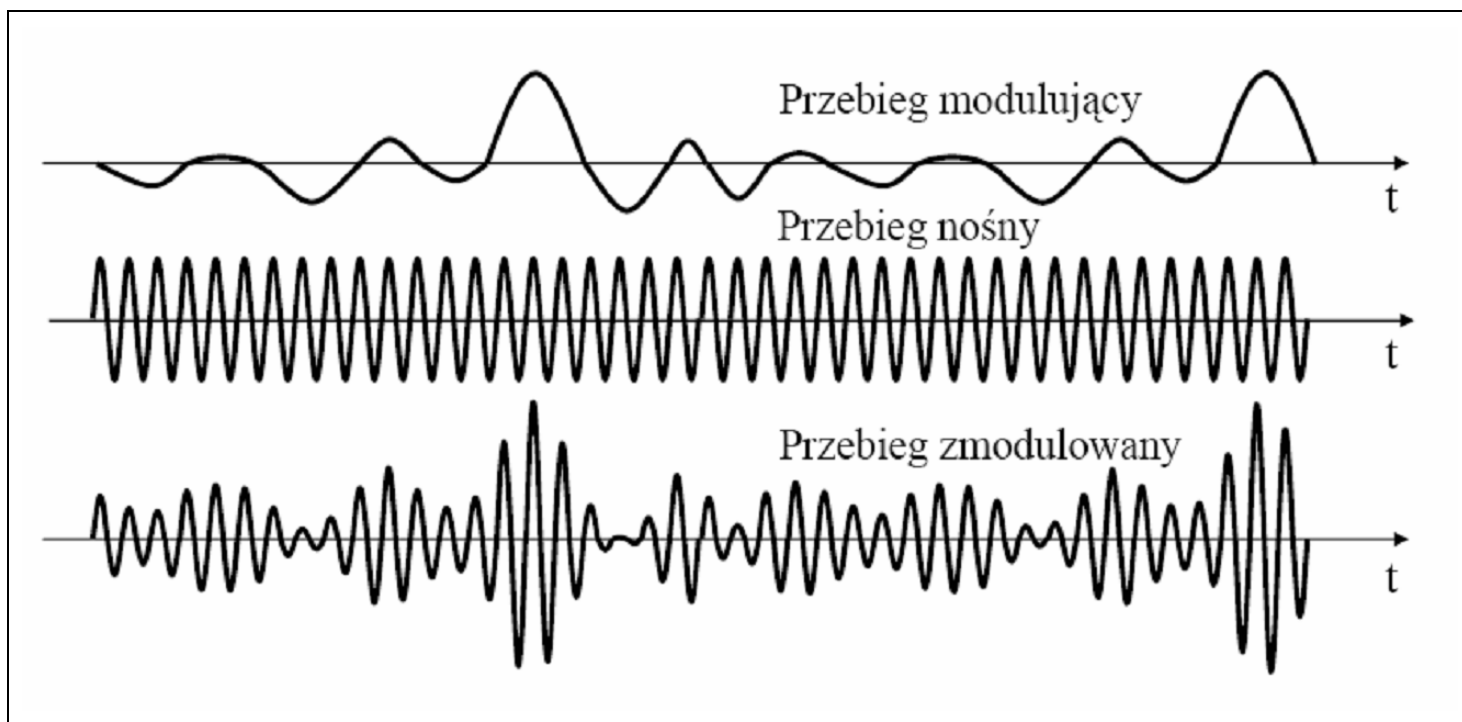
Jeśli założymy, że sygnałem modulującym będzie sygnał okresowy o jednoprzędkowym widmie: $f_M(t) = x(t) = A_M \cos(\omega_M t)$ to powyższe równanie będziemy mogli przekształcić do postaci, która pokazuje całe widmo sygnału zmodulowanego, czyli nośną i dwa prążki sąsiednie:

$$y_{AM}(t) = A_C \cos(\omega_C t) + A_M \cos(\omega_M t) \cos(\omega_C t), \text{ co po przekształceniach daje:}$$

$$y_{AM}(t) = A_C \cos(\omega_C t) + \frac{1}{2} A_M \cos(\omega_M + \omega_C) + \frac{1}{2} A_M \cos(\omega_M - \omega_C)$$

Z powyższego równania widać, że na postać sygnału zmodulowanego amplitudowo składa się sygnał nośny oraz dwie wstęgi boczne o częstotliwościach równych sumie i różnicy częstotliwości sygnału nośnego i modulującego. Amplituda każdego prążka jest równa połowie amplitudy sygnału modulującego.

Poniżej na rysunku 2 przedstawiony jest przykładowy przebieg sygnału zmodulowanego amplitudowo:



Rysunek 2. Przebieg sygnału zmodulowanego amplitudowo

Dla sygnału zmodulowanego amplitudowo możemy określić następujące parametry:

1. Współczynnik głębokości modulacji m

Definiowany jest jako stosunek amplitudy sygnału modulującego do sygnału nośnego:

$$m = \frac{A_M}{A_C} 100\% \text{ (podawany w zakresie 0-100\%)}$$

W przypadku, gdy współczynnik ten przekroczy wartość 1 (więcej niż 100%) mówimy o zjawisku przemodulowania, które jest niekorzystne, ponieważ powoduje zniekształcenia sygnału użytecznego.

2. Sprawność energetyczna transmisji informacji

Sprawność energetyczna transmisji informacji definiowana jest jako stosunek mocy składowych sygnału zmodulowanego przenoszącego informacje do mocy całego tego sygnału i można zapisać ją wzorem:

$$\eta_{TS} = \frac{P_{INF}}{P_{TOT}}, \text{ gdzie}$$

P_{INF} – to moc składowych sygnału niosących informację,

P_{TOT} – to moc całego sygnału,

Można wyprowadzić, że w przypadku jednoczesnościowego (jednotonowego) sygnału modulującego (o jednym prążku na charakterystyce częstotliwościowej) sprawność energetyczna transmisji przy modulacji AM wynosi:

$$\eta_{TS} = \frac{m^2}{2 + m^2}, \text{ gdzie}$$

m – współczynnik głębokości modulacji



3. Szerokość pasma BW

Szerokość pasma sygnału zmodulowanego amplitudowo BW_{AM} jest równa podwojonej częstotliwości maksymalnej f_{Mmax} sygnału modulującego $f_M(t)$ i wyraża się wzorem:

$$BW_{AM} = 2f_{Mmax}$$

Zatem chcąc ograniczać pasmo przesyłanego sygnału zmodulowanego amplitudowo należy ograniczać tylko zakres przesyłanych górnych częstotliwości, gdyż ograniczanie częstotliwości sygnału modulującego od dołu (zawyżanie f_{Mmin}) nie przynosiżądanego skutku.

Szerokość pasma sygnału zmodulowanego amplitudowo techniką SSB jest określana wzorem:

$$BW_{SSB} = f_{Mmax} - f_{Mmin}$$

Zatem chcąc zawęzić pasmo sygnału SSB celowe jest ograniczanie częstotliwości sygnału modulującego zarówno od góry jak i od dołu

4. Moc średnia, moc szczytowa i moc nominalna nadajnika AM

Wielkości te mają znaczenie przy konstruowaniu nadajników i decydują o konkretnych jego parametrach:

Wyjściowa moc szczytowa (PEP) – decyduje o dopuszczalnych parametrach wyjściowego stopnia mocy nadajnika definiowana jest jako maksymalna moc uśredniona w szczycie modulacji i określana jest zależnością:

$$P_{PEP} = P_C (1 + m)^2, \text{ gdzie}$$

P_C – moc sygnału nośnego (modulowanego)

m – współczynnik modulacji

Wyjściowa moc średnia (AVG) – decyduje o wymaganej mocy zasilacza nadajnika AM definiowana jest jako średnia moc wyjściowa sygnału i określana jest zależnością:

$$P_{AVG} = P_C \left(1 + \frac{m^2}{2}\right), \text{ gdzie}$$

P_C – moc sygnału nośnego (modulowanego)

m – współczynnik modulacji

Nominalna moc wyjściowa nadajnika AM (NOM) – służy do określenia nominalnej mocy nadajnika AM i w układach rzeczywistych przyjmowane jest, że moc ta jest równa mocy fali nośnej (P_C). Można tak przyjąć, ponieważ w układach rzeczywistych przy przesyłaniu informacji zmiennych losowo (np. słowa lub muzyka) średnia głębokość modulacji jest znacznie mniejsza od jedności i wynosi zwykle ($m_{sr}=0.2 - 0.3$).

$$P_{NOM} = P_C, \text{ gdzie}$$

P_C – moc sygnału nośnego (modulowanego)

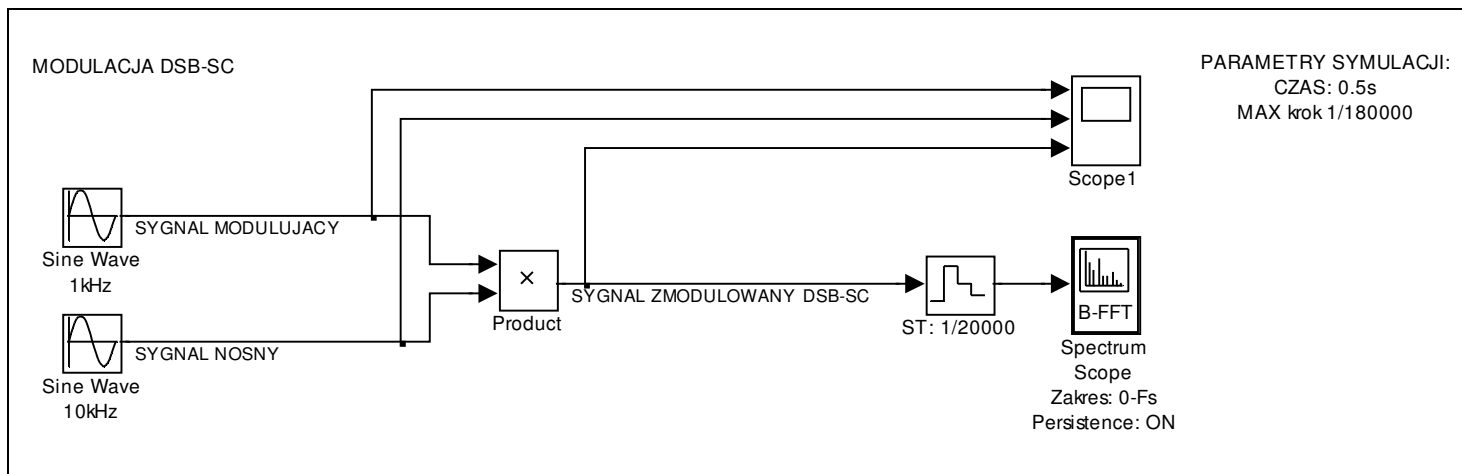
Dla układów SSB nominalna moc wyjściowa podawana jest jako maksymalna moc w szczycie modulacji (PEP) i można ją zapisać wzorem:

$$P_{NOM(SSB)} = P_{PEP}$$

III. ZADANIA DO WYKONANIA:

1. MODULACJA DSB-SC

Uruchomić oprogramowanie MATLAB, a następnie uruchomić pakiet SIMULINK. Skonstruować układ do testowania modulacji dwuwstęgowej z ukrytą wstęgą nośną jak pokazano na rysunku 3.



Rysunek 3. Układ do modulacji DSB-S.C.

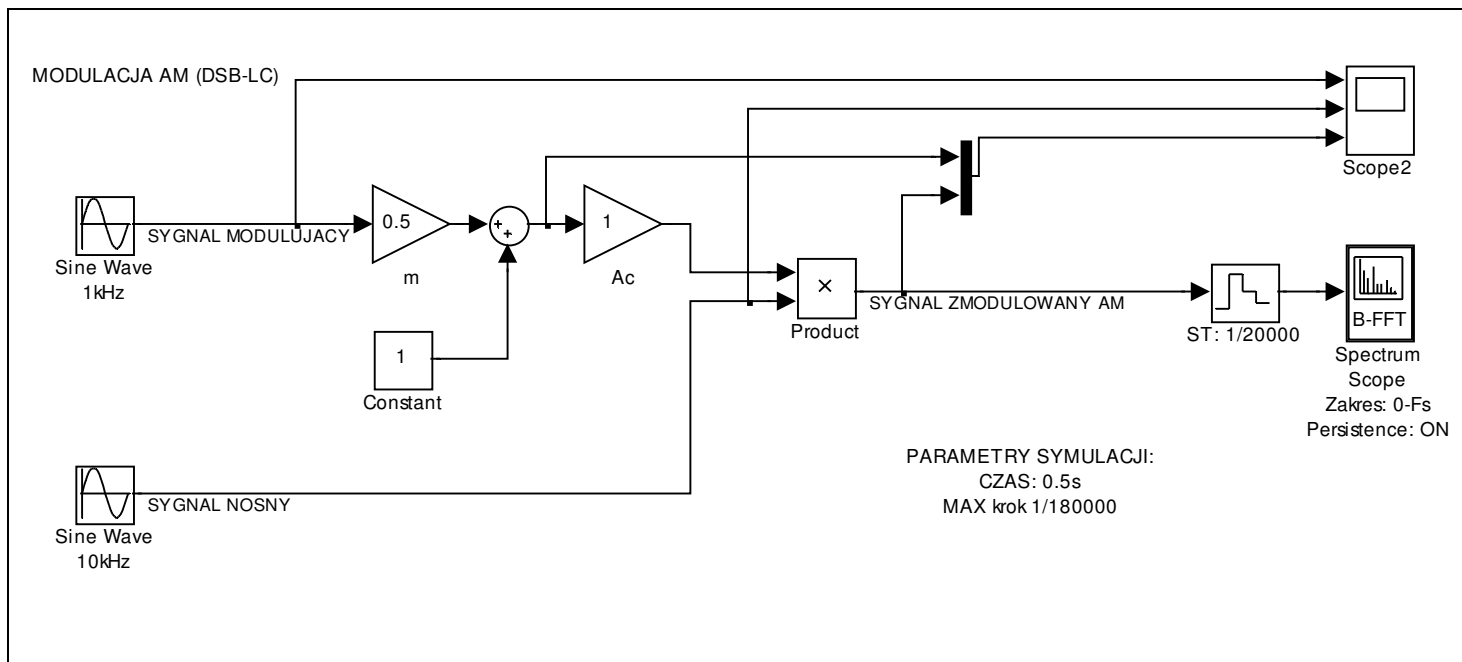
- Wykreślić przebiegi czasowe i widmo częstotliwościowe sygnału po modulacji
- Zaobserwować jak zmienia się widmo częstotliwościowe sygnału wraz ze zmianą częstotliwości nośnej
- Zaobserwować jak zmienia się widmo częstotliwościowe sygnału wraz ze zmianą częstotliwości sygnału modulującego
- Zaobserwować jak zmienia się widmo i przebieg czasowy sygnału zmodulowanego wraz ze zmianą sygnału nośnego na kwadrat fali sinusoidalnej
- Zaobserwować jak zmienia się widmo i przebieg czasowy sygnału zmodulowanego wraz ze zmianą sygnału modulującego na kwadrat fali sinusoidalnej
- Zmierzyć sprawność energetyczną transmisji informacji
- Dla zadanych poniżej parametrów sygnału modulującego oraz sygnału nośnego zmierzyć szerokość pasma BW sygnału zmodulowanego i porównać go z wartością obliczoną

Sygnał modulujący:	Sygnał sinusoidalny o częstotliwości 10kHz
Sygnał nośny:	Sygnał losowy (lub dowolny inny) o całkowitej zajmowanej szerokości pasma 2kHz z zakresu 1kHz do 3kHz

2. MODULACJA AM (DSB-LC)

Skonstruować układ do testowania modulacji amplitudowej AM z widoczną nośną zgodnie z ogólnym równaniem układu modulacji jak pokazano na rysunku 3. Równanie to ma postać:

$$y_{AM}(t) = Ac(1 + mx(t))\cos(\omega_c t + \theta)$$



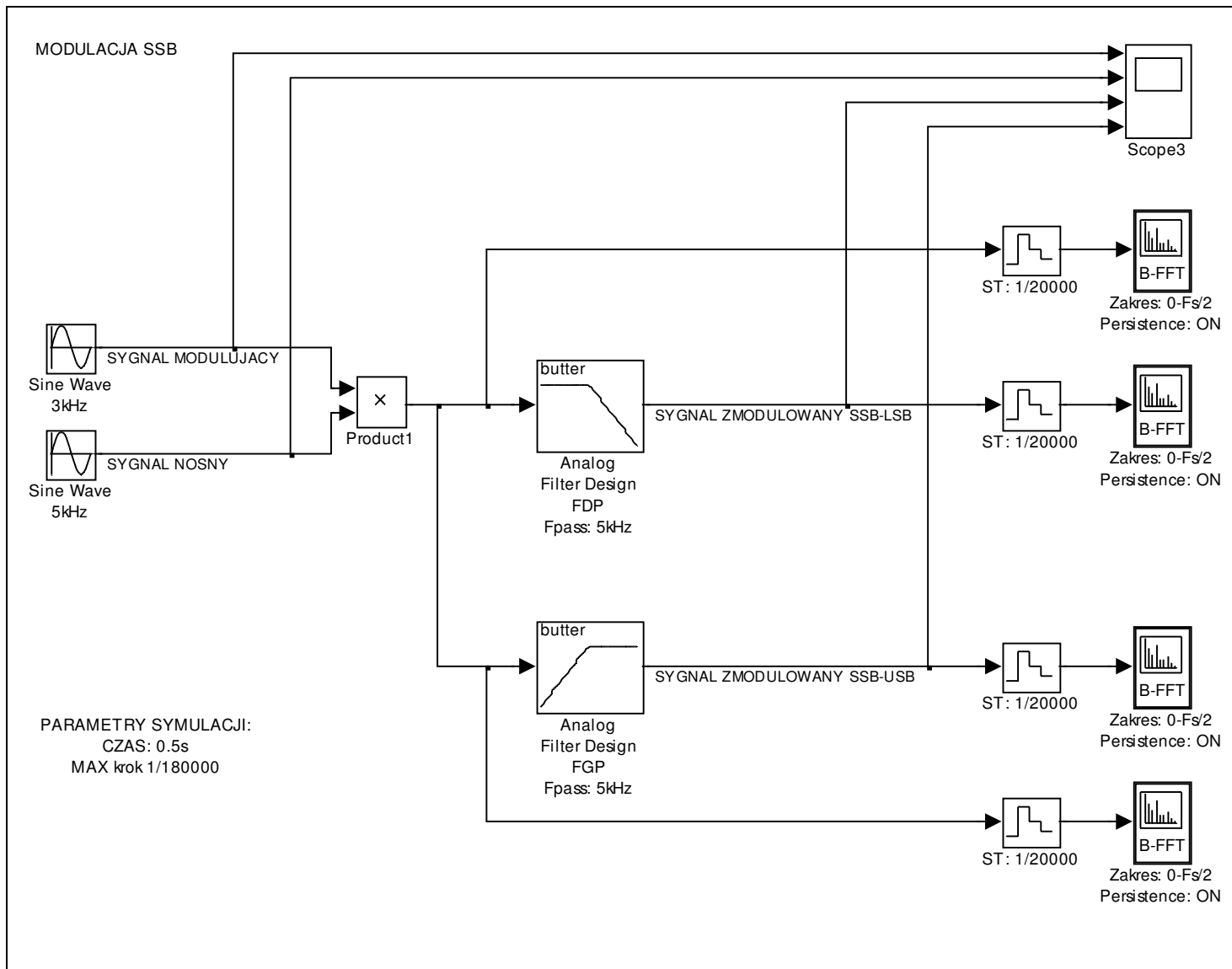
Rysunek 4. Układ do modulacji AM (DSB-LC)

- Wykreślić przebiegi czasowe i widmo częstotliwościowe sygnału po modulacji
- Zaobserwować jak zmienia się widmo częstotliwościowe i przebieg czasowy sygnału wraz ze zmianą częstotliwości nośnej i zmianą częstotliwości jednotonowego sygnału modulującego
- Zaobserwować jak zmienia się widmo częstotliwościowe i przebieg czasowy sygnału wraz ze zmianą sygnału modulującego na dowolny sygnał dwutonowy
- Ustalić, dla jakich parametrów układu modulatora AM (DSB-LC) układ ten spełnia funkcję modulatora DSB-SC
- Dla zadanych poniżej parametrów sygnału modulującego, sygnału nośnego oraz współczynnika głębokości modulacji obliczyć: Sprawność energetyczną transmisji informacji, szerokość pasma, moc szczytową, moc średnią oraz moc wyjściową i porównać te wielkości z wielkościami zmierzonymi

Sygnał modulujący:	Sygnał sinusoidalny o częstotliwości 10kHz
Sygnał nośny:	Sygnał losowy (lub dowolny inny) o całkowitej zajmowanej szerokości pasma 3kHz z zakresu 2kHz do 4kHz
Współczynnik głębokości modulacji:	10%

3. MODULACJA SSB

Skonstruować układ do testowania modulacji amplitudowej jednowstęgowej SSB przy użyciu filtra (FDP/FGP) jak pokazano na rysunku 5.



Rysunek 5. Układ do modulacji SSB

- Dobrać parametry użytego filtra w taki sposób, żeby uzyskać modulację górnówstęgową: SSB-USB oraz modulację dolnówstęgową SSB-LSB
- Wykreślić przebiegi czasowe i widmo częstotliwościowe sygnału po modulacji SSB-USB i SSB-LSB
- Zaobserwować jak zmienia się widmo częstotliwościowe i przebieg czasowy sygnału wraz ze zmianą częstotliwości nośnej i jednotonowego sygnału modulującego dla obu rodzajów modulacji
- Zaobserwować jak zmienia się widmo częstotliwościowe i przebieg czasowy sygnału wraz ze zmianą sygnału modulującego na dwutonowy dla obu rodzajów modulacji
- Dla przedstawionych powyżej parametrów sygnału modulującego i sygnału nośnego obliczyć: Sprawność energetyczną transmisji informacji, szerokość pasma i porównać te wielkości z wielkościami zmierzonymi a ponadto zmierzyć moc szczytową, moc średnią oraz moc wyjściową w przedstawionych układach

Skonstruować układ do testowania modulacji amplitudowej jednowstęgowej SSB zbudowany w oparciu o układ przesuwника fazowego jak pokazano na rysunku 6. Matematyczne podstawy uzyskania sygnału zmodulowanego jednowstęgowo SSB za pomocą układu przesuwника fazy są następujące:

Jeżeli sygnał informacyjny $f(t)$ jest pojedynczą sinusoidą $\cos \omega_m t$, łatwo można uzyskać przebieg jednowstęgowy. Dwuwstęgowa fala jest określona wzorem:

$$f_m(t) = f(t) \cos \omega_c t = \cos \omega_m t \cos \omega_c t,$$

który po zastosowaniu przekształceń trygonometrycznych przybiera postać:

$$f_m(t) = \frac{1}{2} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t],$$

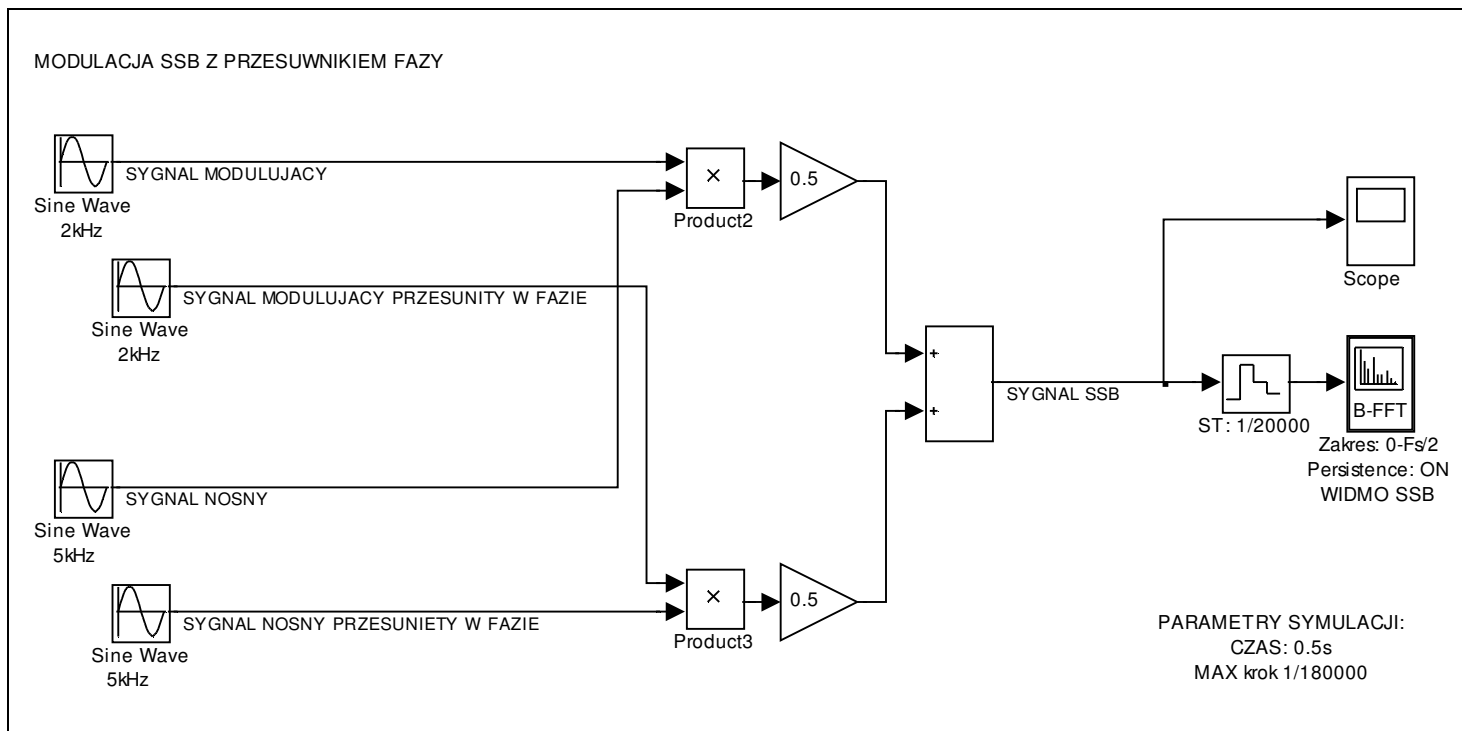
pojedyncza dolna wstęga sygnału jest określona przez równanie:

$$f_{lsb}(t) = \frac{1}{2} \cos(\omega_c - \omega_m)t,$$

co stosując przekształcenia trygonometryczne możemy zapisać jako

$$f_{lsb}(t) = \frac{1}{2} \cos \omega_c t \cos \omega_m t + \frac{1}{2} \sin \omega_c t \sin \omega_m t.$$

Ponieważ sygnał sinusoidalny możemy traktować jako przesunięty w fazie o -90° sygnał cosinusoidalny, zatem sygnał jednowstęgowy może być wytworzony w układzie jak pokazano na rysunku poniżej:



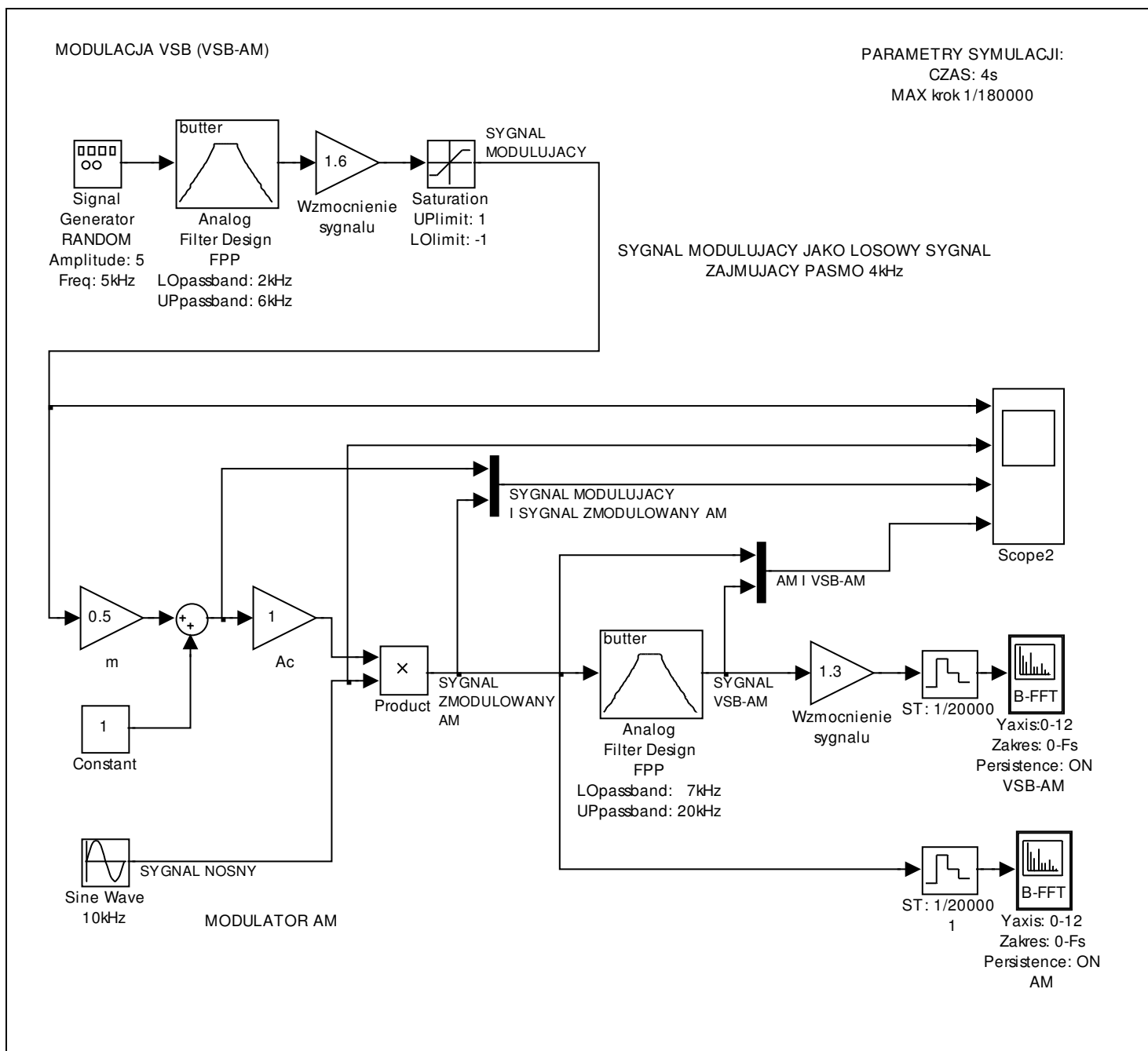
Rysunek 6. Układ do modulacji SSB z przesuwnikiem fazowym

- Dobrać parametry układu tak, żeby uzyskać modulację górnwstęgową: SSB-USB oraz modulację dolnowstęgową SSB-LSB (odpowiednie przesunięcia fazowe i sumę lub różnicę w sumatorze)
- Wykreślić przebiegi czasowe i widmo częstotliwościowe sygnału po modulacji SSB-USB i SSB-LSB z użyciem przesuwника fazowego
- Opisać różnice w budowie tego nadajnika w porównaniu do poprzedniego oraz zastanowić się, jakie zalety może mieć tego typu układ w porównaniu do poprzedniego

4. MODULACJA VSB

Modulacja VSB-AM jest używana przede wszystkim w telewizji naziemnej. Modulator wykorzystujący modulację VSB może pracować bez odstępu kanałowego (kanały 50, 51, 52, 53 itd...), dzięki czemu możliwe jest zmieszczenie większej liczby kanałów w danym paśmie nadawczym. Układy do modulacji VSB budowane są w oparciu o klasyczne modulatory AM lub DSB-SC z zastosowaniem dodatkowego filtra kształtującego sygnał w taki sposób, że filtrowane jest wąskie dolne pasmo sygnału zmodulowanego amplitudowo. Dzięki temu faktyczne pasmo zajmowane przez sygnał jest węższe.

Skonstruować układ do testowania modulacji amplitudowej z częściowo tłumioną wstęgą boczną VSB-AM jak pokazano na rysunku 7.



Rysunek 7. Układ do modulacji VSB

- Wykreślić przebiegi czasowe i widmo sygnału zmodulowanego
- Określić pasmo częstotliwości zajmowane przez sygnał zmodulowany, napisać jak się to pasmo ma do pasma sygnału zmodulowanego AM
- Opisać wady, zalety, zastosowanie tego typu modulacji i napisać, jakie ma ona znaczenie praktyczne



5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań wyciągnąć wnioski ustosunkowujące się do następujących tematów:

- Podstawowe różnice w budowie poszczególnych modulatorów
- Różnice w sposobie kształtowania sygnału zmodulowanego w poszczególnych modulatorach
- Różnice w parametrach pracy poszczególnych modulatorów (sprawność, szerokość pasma, moc)
- Wady i zalety poszczególnych sposobów modulacji (na podstawie zaobserwowanych właściwości)
- Własne uwagi i spostrzeżenia na temat przeprowadzanych symulacji

Dodatkowo (na ocenę celującą po spełnieniu wszystkich podstawowych warunków)

- Znaleźć i szczegółowo opisać rzeczywiste układy modulatorów do wszystkich rozpatrywanych w ćwiczeniu sposobów modulacji (schemat blokowy lub ideowy, schemat elektryczny, gotowe układy scalone realizujące poszczególne funkcje lub sposoby modulacji itp.)
- Opisać w skrócie ich wady i zalety
- Zamieścić spis materiałów źródłowych (literatura, czasopisma, adresy stron www)

Uwaga: W przypadku osób piszących sprawozdanie rozszerzone (na ocenę celującą) zakres materiału dodatkowego może być dołączony do sprawozdania w terminie późniejszym, ale nie dłuższym niż 2 tygodnie od ostatecznego terminu oddania podstawowej części sprawozdania

IV. SPRAWOZDANIE:

W sprawozdaniu należy zamieścić wszystkie zrealizowane w punkcie III zadania. Każde zadanie powinno być zatytułowane i ponumerowane, powinno zawierać rysunek z wykonanym w SIMULINKU schematem blokowym układu (z odpowiednimi oznaczeniami i komentarzami tekstowymi), wypisane jego parametry (w osobnej tabeli lub bezpośrednio na układzie w SIMULINKU) oraz przebiegi otrzymane z poszczególnych układów. W sprawozdaniu z ćwiczenia drugiego należy umieścić wnioski końcowe dające odpowiedź na pytania zawarte w punkcie III.5 instrukcji i podsumowujące przeprowadzone badania.

Ogólne uwagi dotyczące sprawozdania:

- Strona tytułowa, powinna zawierać: Imiona i nazwiska osób, numer grupy, nazwę przedmiotu, tytuł ćwiczenia, numer ćwiczenia i datę wykonania ćwiczenia,
- Układ strony powinien być następujący: marginesy 0,5 cm z każdej strony, czcionka 10,
- Wykresy możliwie małe, ale czytelne, opisane i umieszczone bezpośrednio pod lub obok układu tak, żeby było wiadomo który przebieg należy do którego układu,
- Sprawozdanie nie powinno być długie, ale powinno zawierać wszystkie niezbędne informacje.

Uwaga: Sprawozdanie należy przesyłać na pocztę lub wskazany przez prowadzącego serwer FTP w formacie PDF zatytułowane w następujący sposób:

NrĆw_Specjalność_NazwiskoImię1_NazwiskoImię2.pdf

na przykład:

2_AM_KowalskiJ_NowakS.pdf
2_MK_WawelskiS_IksińskiZ.pdf
2_RM_ZielonyR_StudentP.pdf

Sprawozdania oddane w innej formie lub z nieprawidłowym opisem nie będą przyjmowane!

Uwaga: Jeśli materiał na ocenę celującą nie jest dołączony do sprawozdania w momencie jego wystania tylko jest dostarczany w terminie późniejszym należy go zatytułować w następujący sposób:

NrĆw_Specjalność_NazwiskoImię1_NazwiskoImię2-dodateknaCEL.pdf

na przykład:

0_AM_KowalskiJ_NowakS-dodateknaCEL.pdf
0_MK_WawelskiS_IksińskiZ-dodateknaCEL.pdf
0_RM_ZielonyR_StudentP-dodateknaCEL.pdf

Dodatki do sprawozdania oddane w innej formie niż pdf lub z nieprawidłowym opisem nie będą przyjmowane!