KATEDRA ROBOTYKI I MECHATRONIKI
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA NR 3

LAB 3

TEMAT:
DEMODULACJA AMPLITUDY

I. CEL ĆWICZENIA:

Celem ćwiczenia jest wprowadzenie do zagadnienia demodulacji amplitudy, poznanie podstawowych sposobów demodulacji sygnału zmodulowanego amplitudowo oraz zapoznanie się z podstawowymi układami wykorzystywanymi w procesie demodulacji amplitudowej.

II. WSTĘP TEORETYCZNY:

W poprzednim ćwiczeniu przedstawiony został proces modulacji amplitudowej sygnału użytecznego, który umożliwia skuteczne przesłanie informacji na większe odległości oraz umożliwia przesłanie więcej niż jednego sygnału informacyjnego w tym samym czasie. Aby jednak można było mówić o skutecznym przesyłaniu informacji należy potwierdzić możliwość odtworzenia sygnału informacyjnego (modulującego) z sygnału zmodulowanego.

Jak zostało wykazane w ćwiczeniu poprzednim, w procesie modulacji, sygnał zmodulowany amplitudowo $f_{AM}(t)$ uzyskany został z sygnału informacyjnego $f_m(t)$ poprzez przesunięcie wszystkich składowych częstotliwości tego sygnału o wartość ω_C, (czyli o częstotliwość nośną). Zatem sygnał informacyjny $f_m(t)$ możemy odzyskać z powrotem z sygnału zmodulowanego $f_{AM}(t)$ poprzez ponowne przesunięcie, ale tym razem w drugim kierunku.

Matematycznie możemy ten proces opisać w następujący sposób:

$$[f_{AM}(t)]\cos(\omega_C t) = [f_m(t)\cos(\omega_C t)]\cos\omega_C t = f_m(t)\cos^2\omega_C t = \frac{1}{2}f_m(t) + f_m(t)\cos 2\omega_C t \quad \text{, gdzie:}$$

$f_{AM}(t)$ - sygnał zmodulowany amplitudowo,

$f_m(t)$ - sygnał informacyjny (użyteczny).

Jak widać z powyższych przekształceń przesunięcia dokonujemy poprzez ponowne wymnożenie sygnału zmodulowanego przez sygnał nośny. Zgodnie z twierdzeniem o przesunięciu w dziedzinie częstotliwości, jeśli pomnożymy dowolny sygnał $H(t)$ przez sinusoidę to spowoduje to przesunięcie transformaty Fouriera zarówno w kierunku większych jak i mniejszych częstotliwości. Tak, więc pomnożenie sygnału zmodulowanego $f_{AM}(t)$ przez sygnał nośny $\cos(\omega_C t)$ spowoduje przesunięcie sygnału z powrotem do zakresu małej częstotliwości. Jednocześnie taka operacja spowoduje przesunięcie transformaty $f_m(t)$ w prawo na osi częstotliwości od położenia skupionego wokół częstotliwości $2\omega_C$, ale ta część widma może być łatwo odcięta przez zastosowanie filtru dolnoprzepustowego.

Sygnał $\frac{1}{2}f_m(t)$ występujący na wyjściu filtru dolnoprzepustowego (po odcięciu składowej $f_m(t)\cos 2\omega_C t$) przedstawia niezniekształconą część sygnału informacyjnego $f_m(t)$. Proces odtwarzania sygnału użytecznego z sygnału zmodulowanego nazywany jest demodulacją lub inaczej detekcją.

1. Demodulacja synchroniczna

W demodulatorze synchronicznym otrzymany przebieg zmodulowany $f_{AM}(t)$ jest mnożony przez sinusoidę o tej samej częstotliwości i fazie, co sinusoida nośna. Rozważmy przypadek mnożenia sygnału zmodulowanego $f_{AM}(t)$ przez sygnał cosinusoidalny, którego pulsacja różni się o $\Delta\omega$, a faza o $\Delta\theta$ od pożądanych wartości pulsacji i fazy. Po przekształceniach trygonometrycznych otrzymamy następujące zależności:

$$f_{AM}(t)\cos[(\omega_C + \Delta\omega)t + \Delta\theta] = f_m(t)\cos(\omega_C t)\cos[(\omega_C + \Delta\omega)t + \Delta\theta] =$$
$$= f_m(t)\{\frac{1}{2}\cos(\Delta\omega t + \Delta\theta) + \frac{1}{2}\cos[(2\omega_C + \Delta\omega)t + \Delta\theta]\} \quad \text{, gdzie}$$

$f_{AM}(t)$ - sygnał zmodulowany amplitudowo,

$f_m(t)$ - sygnał informacyjny (użyteczny).

Wyżej przedstawiony przebieg jest przebiegiem sygnału dochodzącego do wejścia filtru dolnoprzepustowego (zgodnie z opisaną wcześniej zasadą demodulacji sygnału). Sygnał na wyjściu tego filtru będzie określony następującym wzorem:

$$\text{Sygnal na wyjsciu filtru (FDP)} = \frac{1}{2} f_m(t)\cos(\Delta\omega t + \Delta\theta)$$

Jest to słuszne, ponieważ transformata Fouriera drugiego składnika w poprzednim wyrażeniu będzie skupiona wokół częstotliwości $2\omega_C$ i zostanie stłumiona przez filtr dolnoprzepustowy.

Jeśli zarówno $\Delta\omega$ jak i $\Delta\theta$ są równe zeru, to sygnał wyjściowy z filtru dolnoprzepustowego staje się równy $f_m(t)$ i z demodulatora otrzymujemy sygnał pożądany.

W rzeczywistym układzie odchyłki te jednak nie zawsze mogą być równe zeru, zatem można prześledzić, jaki wpływ będą miały te odchyłki na sygnał użyteczny po demodulacji.

Jeżeli $\Delta\omega = 0$, wtedy sygnał wyjściowy staje się równy:

$$\frac{1}{2} f_m(t)\cos(\Delta\omega t)$$

$\Delta\omega$ ma zwykle małą wartość a więc amplituda $f_m(t)$ będzie się wolno zmieniać. W przypadku, gdy sygnał użyteczny $f_m(t)$ jest sygnałem akustycznym to zjawisko staje się bardzo dokuczliwe, ponieważ siła głosu zmienia się okresowo od zera do wartości maksymalnej i z powrotem do zera. Taka wrażliwość demodulatora synchronicznego powoduje, że ma on ściśle ograniczone zastosowania.

Jeżeli natomiast założymy, że częstotliwość jest bardzo dokładnie dostrojona, czyli: $\Delta\omega = 0$, ale sygnał odniesienia jest przesunięty w fazie, to wtedy sygnał wyjściowy przyjmuje postać:

$$\frac{1}{2} f_m(t)\cos(\Delta\theta)$$

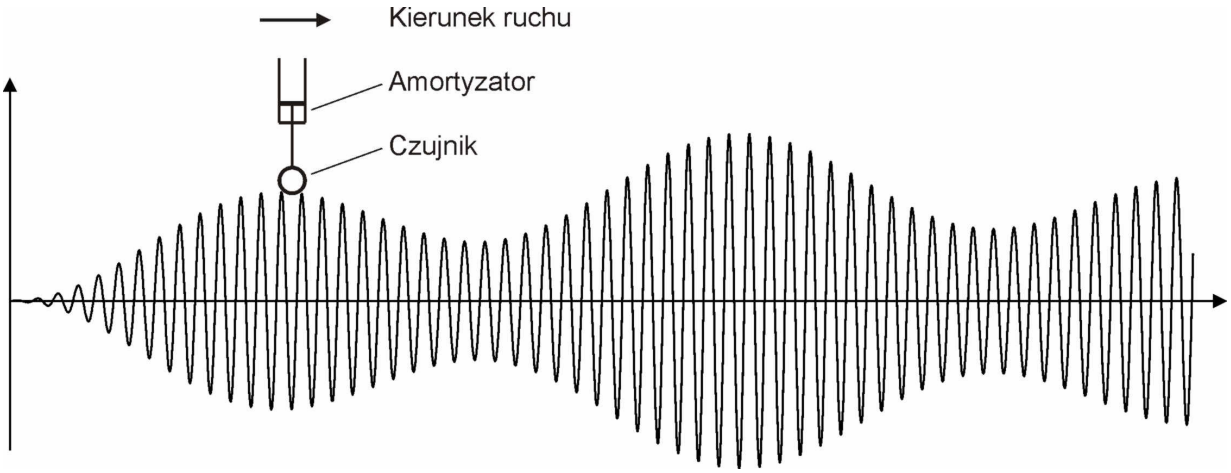
Widzimy, że wpływ $\Delta\theta$ nie jest już tak dokuczliwy jak wpływ $\Delta\omega$, ponieważ wartość $\cos(\Delta\theta)$ jest stała. W przypadku sygnałów akustycznych czynnik ten możemy skompensować poprzez zmianę siły głosu, czyli wzmocnienia odbiornika. Jednakże wpływ odchylenia fazy może być równie szkodliwy co wpływ odchylenia częstotliwości. Jeżeli odchylenie fazowe będzie miało na przykład wartość $\Delta\theta = 90°$ to sygnał staje się zbyt mały i uzyskanie wystarczającego wzmocnienia okazuje się niemożliwe. Poważniejsze problemy pojawiają się, gdy sygnał jest tak słaby, ze znika w szumie.

Sposobem na ominięcie tych problemów jest pozyskanie sygnału nośnego wprost z przebiegu zmodulowanego, czyli bezpośrednio z odebranego sygnału.

2. Detekcja obwiedniowa sygnału

Powstaje pytanie czy istnieje prostsza metoda od demodulacji synchronicznej na detekcję sygnału zmodulowanego amplitudowo. Analizując sposób powstawania sygnału zmodulowanego amplitudowo możemy zauważyć, że amplituda sygnału zmodulowanego zmienia się w takt sygnału modulującego. Ponieważ częstotliwość sygnału nośnego jest wielokrotnie wyższa, niż maksymalna częstotliwość składowa sygnału informacyjnego $f_m(t)$ należy przypuszczać, że kształt amplitudy sygnału zmodulowanego zmienia się znacznie wolniej, niż sinusoidalny przebieg nośny. Dlatego można narysować sygnał zmodulowany jako obwiednię z zakreskowanym obszarem wewnętrznym (tzn. ze przebieg nośny maleje na tyle szybko w porównaniu z przebiegiem modulującym, że poszczególne cykle sygnału nośnego są na dokładnym rysunku nierozróżnialne).

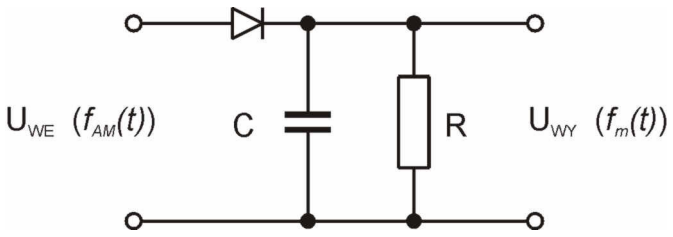
Poniżej na rysunku 1 przedstawiona została ideowa zasada działania detektora obwiedniowego.



Rysunek 1. Ideowy układ do detekcji obwiedniowej

Jeśli sygnał zmodulowany amplitudowo przedstawimy jako kształt zrobiony ze sztywnego kawałka drutu to można wyobrazić sobie czujnik przesuwający się po górnej krawędzi takiej krzywej. Jeśli czujnik podłączony jest z amortyzatorem lub lepkościowym urządzeniem tłumiącym będzie on w przybliżeniu postępował zgodnie z górną granicą konturu krzywej. Jest to możliwe, ponieważ amortyzator uniemożliwi reagowanie czujnika na szybkie oscylacje przebiegu nośnego. Kontur krzywej będzie bardziej wygładzony, jeśli częstotliwość nośna będzie większa. Ta górna granica krzywej zwana jest obwiednią.

Dokładny elektryczny odpowiednik układu przedstawionego powyżej (rys. 1) przedstawiony został na rysunku 2 poniżej:



Rysunek 2. Detektor obwiedniowy

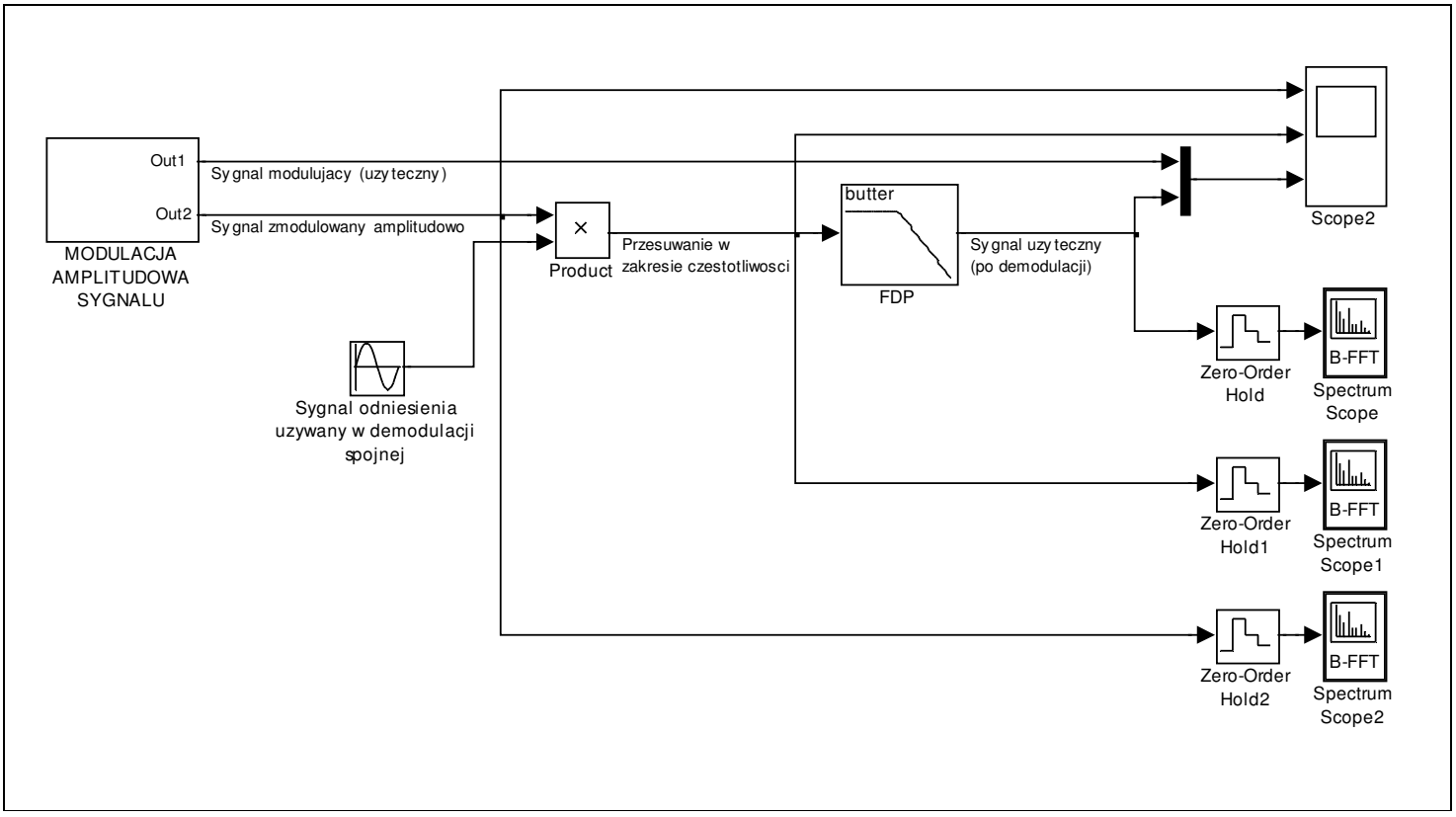
Rezystor jest analogiem tłumiącej lepkiej cieczy (lub amortyzatorem). Dioda stanowi analog ogranicznika ruchu czujnika tylko w jednym kierunku, natomiast kondensator reprezentuje masę czujnika. Pierwsze dwa elementy układu tzn. dioda oraz kondensator stanowią detektor wartości szczytowej. Kondensator ładowany jest do najwyższego napięcia dostarczonego o na wejście takiego układu. Zatem na wyjściu kondensatora zawsze będzie panować napięcie dokładnie takie, jak najwyższa wartość napięcia dostarczona na wejście układu. Gdyby nie było rezystora to napięcie to nigdy by nie spadło, ponieważ nie byłoby drogi, przez którą mógłby się rozładować kondensator. Rezystor z kolei stanowi drogę do rozładowywania się kondensatora, więc umożliwia spadek napięcia wyjściowego (napięcia na kondensatorze) wraz ze zmniejszaniem się napięcia sygnału wejściowego. W przypadku podania na wejście sygnału o wartości mniejszej niż wartość poprzednia, (czyli mniejszej niż wartość napięcia ustalonego na kondensatorze) napięcie wyjściowe będzie malało wykładniczo w kierunku zera. Przy dużej częstotliwości nośnej sygnał wyjściowy U_{WY} będzie bardziej zbliżony do obwiedni.

Ponieważ najkrótszy czas, w którym obwiednia może przejść od maksymalnej wartości do minimalnej wynosi: π/ω_C stała czasowa obwodu RC powinna być tego samego rzędu, czyli zwykle około $\pi/5\omega_C$. W praktyce lepiej wybrać stałą trochę mniejszą niż większą, ponieważ zbyt duża stała czasowa powoduje całkowite zgubienie pewnych pików sygnału $f_{AM}(t)$. Jeżeli jednak stała czasowa jest zbyt mała to sygnał odchyla się od rzeczywistej obwiedni sygnału. Odchylenia te jednak można prosto usunąć stosując filtr dolnoprzepustowy.

III. ZADANIA DO WYKONANIA:

1. SPÓJNA DETEKCJA (SPÓJNA DEMODULACJA)

Uruchomić oprogramowanie MATLAB, a następnie uruchomić pakiet SIMULINK. Skonstruować układ do testowania demodulacji sygnału zmodulowanego amplitudowo jak pokazano na rysunku 3.

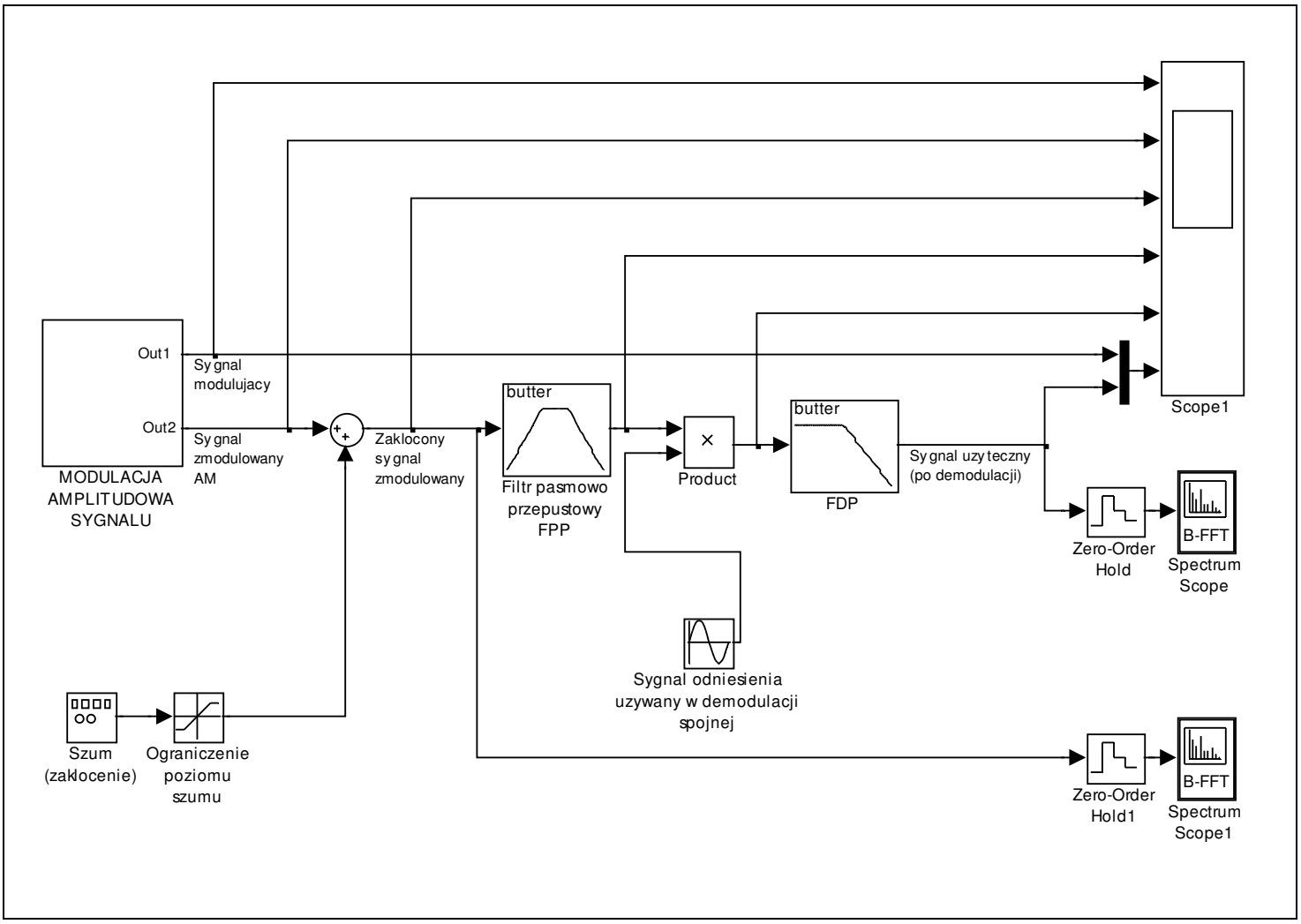


Rysunek 3. Układ do spójnej demodulacji.

- Dla modulatora AM (DSB-LC) przeprowadzić proces demodulacji spójnej sygnału jednotonowego dobierając tak parametry modulatora, aby uzyskać prawidłowy sygnał użyteczny po procesie demodulacji.
- Sprawdzić, jaki wpływ ma zmiana częstotliwości nośnego sygnału odniesienia używanego w procesie demodulacji na kształt sygnału zdemodulowanego (zmieniać częstotliwość w zakresie +/- 10%).
- Sprawdzić, jaki wpływ ma zmiana fazy nośnego sygnału odniesienia używanego w procesie demodulacji na kształt sygnału zdemodulowanego (zmieniać fazę sygnału z zakresu od 0^0 do 180^0).
- Czy zastosowanie nośnego sygnału odniesienia o innym kształcie (prostokąt, trójkąt) w procesie demodulacji również umożliwia poprawną detekcję sygnału użytecznego? Dlaczego?
- Dobierając odpowiednie parametry układu demodulatora, przeprowadzić spójną demodulację dla sygnałów zmodulowanych amplitudowo: DSB-SC, SSB-LSB oraz SSB-USB. Jak zmienia się widmo sygnałów i przebieg czasowy na poszczególnych etapach procesu (sygnał informacyjny, modulacja, demodulacja)?
- Zaobserwować jak zmienia się kształt sygnału użytecznego po demodulacji synchronicznej SSB-USB przy zmianie częstotliwości nośnego sygnału odniesienia używanego w procesie demodulacji (w zakresie około +/- 10%).
- Zaobserwować jak zmienia się kształt sygnału użytecznego po demodulacji synchronicznej SSB-USB przy zmianie fazy nośnego sygnału odniesienia używanego w procesie demodulacji (w zakresie od 0^0 do 180^0).

2. DETEKCJA Z UWZGLĘDNIENIEM SZUMÓW

Skonstruować układ do testowania przesyłu informacji przy użyciu systemów modulacji AM (DSB-LC) z uwzględnieniem szumów jak pokazano na rysunku 4.



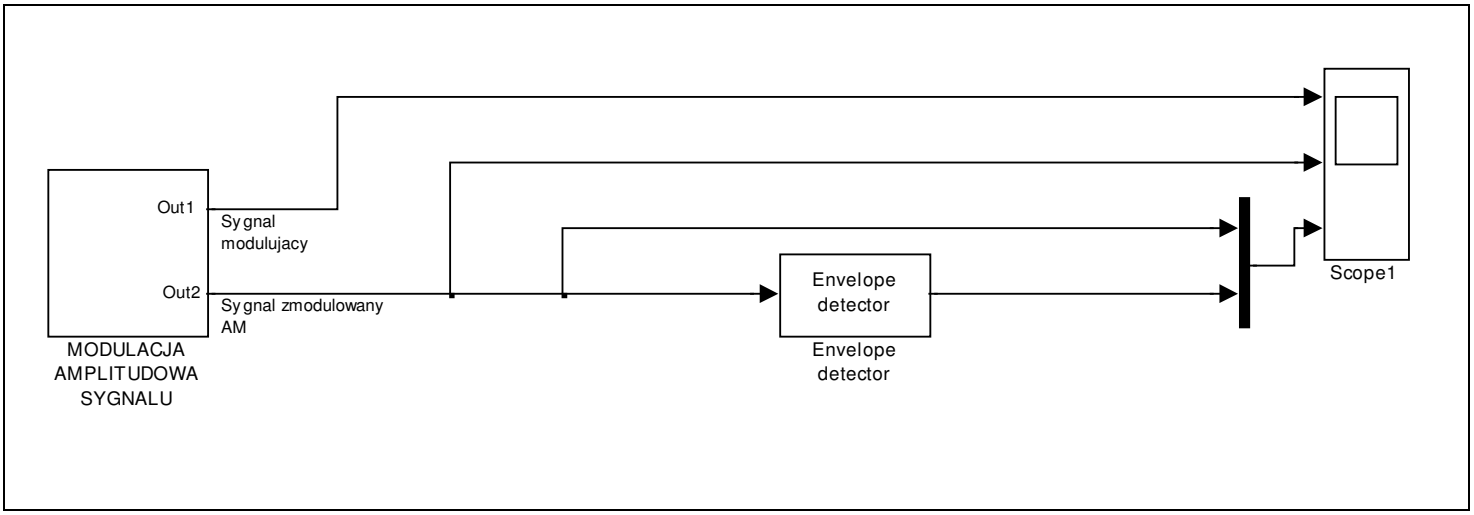
Rysunek 4. Układ do spójnej demodulacji AM (DSB-LC) z uwzględnieniem szumów

- Dobrać odpowiedni poziom szumu zakłócającego (tak, aby wpływ szumu był widoczny, ale żeby poziom szumu nie był za duży).
- Dobrać parametry układu tak, aby poprawnie wyfiltrować niepotrzebne pasmo sygnału zakłóconego oraz aby poprawnie przeprowadzić proces demodulacji.
- Wykreślić przebiegi czasowe na poszczególnych etapach demodulacji.
- Wykreślić przebiegi widma częstotliwościowego sygnału w trakcie modulacji i po demodulacji.

Sygnał modulujący:	Sygnał sinusoidalny o częstotliwości 2.5kHz
Sygnał nośny:	Sygnał sinusoidalny o częstotliwości 10kHz
Współczynnik głębokości modulacjimodulacji:	10%

3. NIESPÓJNA DETEKCJA (OBWIEDNIOWA)

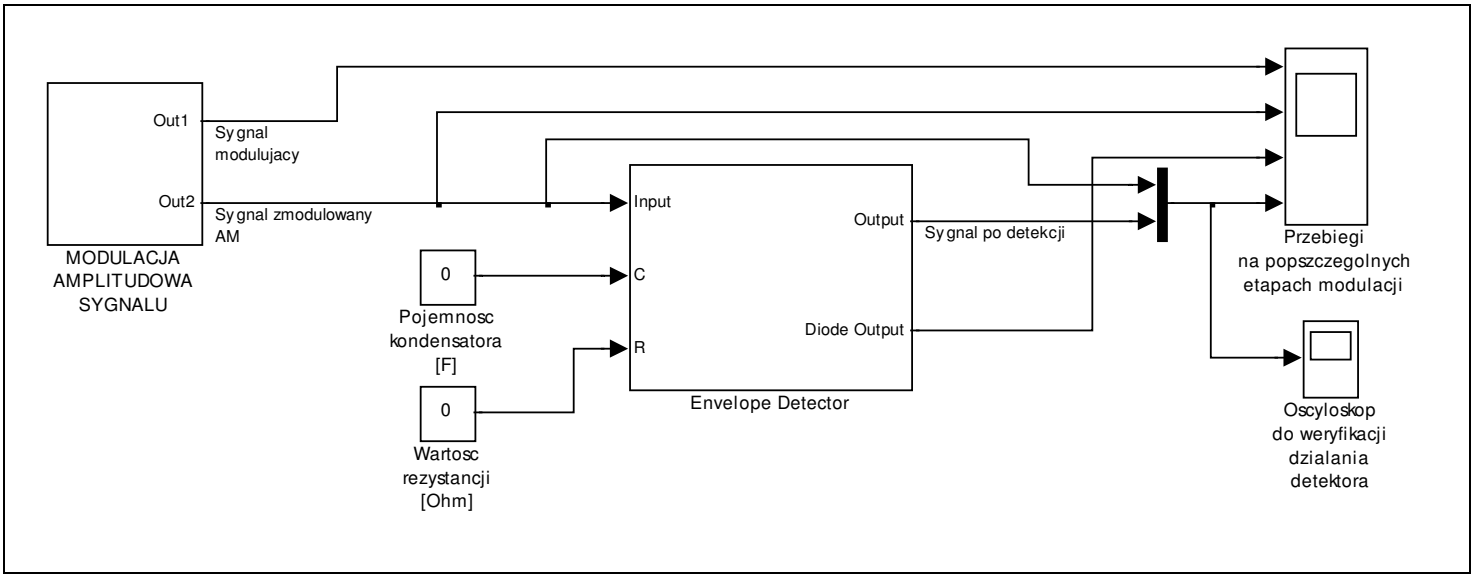
Skonstruować układ do detekcji obwiedniowej jak pokazano na rysunku 5.



Rysunek 5. Układ do detekcji obwiedniowej

- Przeprowadzić proces detekcji obwiedniowej dla sygnału zmodulowanego amplitudowo AM-LC.
- Wykreślić przebiegi czasowe układu na poszczególnych etapach demodulacji.
- Sprawdzić, jaki wpływ na prawidłowy proces demodulacji ma współczynnik głębokości modulacji m.

Skonstruować układ do detekcji obwiedniowej z zasymulowanym rzeczywistym obwodem RC jak pokazano na rysunku poniżej:



Rysunek 6. Układ do detekcji obwiedniowej z zasymulowanym rzeczywistym układem RC

- Dobrać parametry układu oraz wartości: R[Ω] i C[F] tak, żeby prawidłowo przeprowadzić proces detekcji obwiedniowej.
- Dla wybranych parametrów sygnału modulującego i nośnego, obliczyć stałą czasową układu demodulatora (RC[s]) i porównać z najkrótszym czasem, w którym obwiednia może przejść do maksymalnej wartości do minimalnej (π / ω_C [s]).

4. WNIOSKI

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

- Podstawowe różnice w budowie poszczególnych rodzajów demodulatorów
- Różnice w sposobie uzyskiwania sygnału w procesie demodulacji spójnej i obwiedniowej
- Wady i zalety poszczególnych sposobów demodulacji
- Czy zmiana fazy nośnego sygnału odniesienia w procesie demodulacji ma taki sam wpływ na kształt przebiegu po demodulacji dla każdego z badanych typów modulacji?
- Własne uwagi i spostrzeżenia na temat przeprowadzanych symulacji

Dodatkowo (na ocenę celującą po spełnieniu wszystkich podstawowych warunków)

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

lub

- Znaleźć i szczegółowo opisać zasadę działania odbiornika superheterodynowego
- Opisać w skrócie jego zastosowanie wady i zalety
- Zbudować działający model odbiornika superheterodynowego w SIMULINKU
- 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 1 tygodzień 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 lub na poszczególnych etapach przeprowadzania procesu obliczeniowego. Wszystkie układy umieszczone w sprawozdaniu nie powinny być zamaskowane. W sprawozdaniu z ćwiczenia trzeciego należy umieścić wnioski końcowe dające odpowiedź na pytania zawarte w punkcie III.4 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 wysłania 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!