



INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA NR 6

LAB 6

**TEMAT:
MODULACJA I DEMODULACJA FAZY**



I. CEL ĆWICZENIA:

Celem ćwiczenia jest wprowadzenie do zagadnienia modulacji i demodulacji fazy, poznanie podstaw matematycznych oraz metod wytwarzania sygnału zmodulowanego fazowo, poznanie podstawowych sposobów demodulacji sygnału zmodulowanego fazowo, poznanie podstawowych różnic w stosunku do modulacji częstotliwościowej oraz poznanie metod obliczania i określania podstawowych parametrów określających właściwości sygnału zmodulowanego.

II. WSTĘP TEORETYCZNY:

Założmy, że niezmodulowany sygnał nośny ma postać:

$$f_c(t) = A \cos(\omega_c t + \theta), \quad \text{gdzie:}$$

A – amplituda sygnału nośnego,

ω_c – pulsacja (tzw. częstość kołowa), czyli jednostka wyrażająca zmianę kąta w czasie i jednocześnie w sposób jednoznaczny określająca częstotliwość sygnału:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

t – chwilowy czas przebiegu (co)sinusoidalnego,

θ – kąt przesunięcia fazowego przebiegu.

Jeżeli θ zmienia się zgodnie z sygnałem informacyjnym, który pragniemy przekazać, mówimy wtedy o modulacji fazowej fali nośnej. Zakładamy, że θ podlega zmianom według zależności:

$$\theta = \theta(t) = k_p f_m(t), \quad \text{gdzie}$$

k_p – stały współczynnik

$f_m(t)$ – sygnał użyteczny, który chcemy przekazać (sygnał modulujący)

Zatem pełna postać przebiegu zmodulowanego jest następująca:

$$f_{PM}(t) = A \cos(\omega_c t + k_p f_m(t))$$

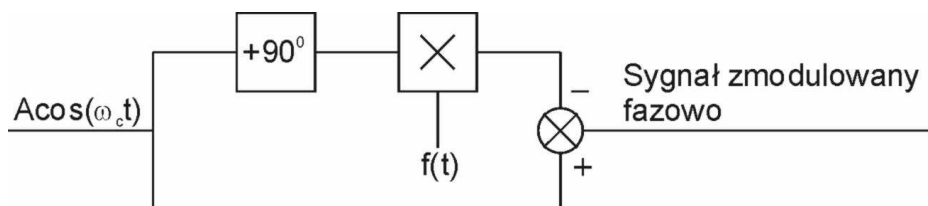
a odpowiadająca mu częstotliwość chwilowa:

$$\omega_i(t) = \omega_c + k_p \frac{df_m(t)}{dt}$$

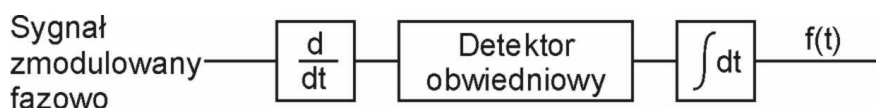
Nie ma zasadniczej różnicy między sygnałem w tej postaci a sygnałem zmodulowanym częstotliwościowo. Gdyby sygnał informacyjny użyty do modulacji częstotliwościowej fali nośnej miał postać df_m/dt , otrzymany przebieg zmodulowany wyglądałby dokładnie tak samo jak sygnał nośny zmodulowany fazowo funkcją $f_m(t)$. Jeżeli odbieramy falę nośną zmodulowaną częstotliwościowo lub fazowo, to bez znajomości funkcji $f_m(t)$ nie ma możliwości odróżnienia jaki rodzaj modulacji zastosowano, ponieważ przebiegi czasowe w obu przypadkach modulacji zasadniczo się nie różnią. Oczywiście znajomość funkcji $f_m(t)$ nie ma sensu. Gdyby ją znano szkoda byłoby czasu na jej przesyłanie.

Metody modulowania i odbierania sygnałów nośnych przy modulacji fazowej są identyczne jak przy modulacji częstotliwościowej z tym, że w układzie dodaje się odpowiednio integrator lub układ różniczkujący.

Modulator i demodulator w systemie modulacji fazowej przedstawione są na rysunku 1 i 2. Można je porównać ze schematami blokowymi odpowiednich kłádów modulacji i demodulacji częstotliwościowej.



Rysunek 1. Modulator w systemie modulacji fazowej.



Rysunek 2. Demodulator w systemie modulacji fazowej.

Przy modulacji fazowej możemy określić wielkość analogiczną do maksymalnej dewiacji częstotliwości w systemie modulacji częstotliwościowej. *Maksymalną dewiację fazy $\Delta\theta$* , określa się jako maksymalną wartość, o jaką odchyła się faza od fazy przebiegu niezmodulowanego. Jest to zatem maksymalna wartość iloczynu $k_p f_m(t)$.

Szerokość pasma sygnału zmodulowanego fazowo (BW-„Band Width”) można znaleźć tak jak szerokość pasma sygnału zmodulowanego częstotliwościowo. Mając postać przebiegu zmodulowanego, znajdujemy wartości ω_m i $\Delta\omega$ i wstawiamy je do wzoru (należy zauważyć, że jest to przybliżona szerokość pasma):

$$BW \approx 2(\Delta\omega + \omega_m), \text{ gdzie:}$$

$\Delta\omega$ - maksymalna dewiacja częstotliwości. Składnik ten reprezentuje maksymalne odchylenie częstotliwości chwilowej $\omega(t)$ od stałej częstotliwości nośnej ω_c . Z definicji wielkość tą, dla przebiegu zmodulowanego fazowo, możemy obliczyć na podstawie następującego wzoru:

$$\Delta\omega = \max[\omega_i(t) - \omega_c] = \max[\omega_c + k_p \frac{df}{dt} - \omega_c] = \max[k_p \frac{df}{dt}]$$

ω_m – największa składowa częstotliwościowa funkcji modulującej (a w przypadku pojedynczej sinusoidy jedyna).

Ponieważ modulacja fazowa jest bardzo podobna do modulacji częstotliwościowej powstaje pytanie, czy w ogóle warto się nią zajmować? Wydawałoby się, że nie ma powodu, aby stosować jedną postać modulacji zamiast drugiej.

Porównując schematy blokowe modulatorów i demodulatorów w przypadku modulacji częstotliwościowej i fazowej (laboratorium 5 i 6) można dostrzec jedną praktyczną różnicę. System modulacji częstotliwościowej wymaga zastosowania integratora w modulatorze, a system modulacji fazowej w demodulatorze. Jeżeli należy zastosować wiele odbiorników i tylko jeden nadajnik, a integratory są kosztowne, to modulacja częstotliwościowa okaże się tańsza w realizacji niż modulacja fazowa. Należy również zwrócić uwagę na to, że scałkowanie sygnału informacyjnego przed wysłaniem go drogą radiową może zmniejszyć jego odporność na zakłócenia.

1. Demodulator częstotliwościowy/fazowy oparty o zasadę zliczania impulsów

Na poprzednich laboratoriach omówione były następujące demodulatory częstotliwości:

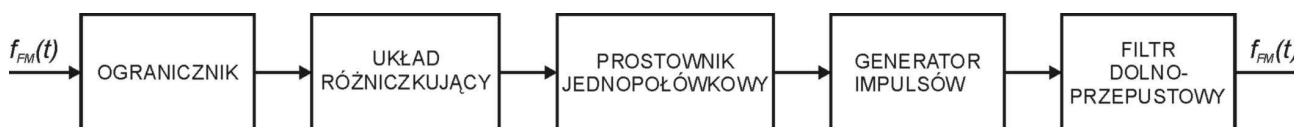
- Dyskryminator częstotliwości (układ różniczkujący i detektor obwiedniowy),
- Zrównoważony dyskryminator częstotliwości (filtry w układzie liniowym i detektor obwiedniowy),
- Układ demodulatora zbudowany z zastosowaniem zamkniętej pętli fazowej.

Jako demodulatory częstotliwości stosowane są również układy zbudowane w oparciu o:

- Idealny detektor fazowy,
- Układ demodulatora częstotliwości ze sprzężeniem zwrotnym, oraz
- Układ demodulatora częstotliwości opartego o zasadę zliczania impulsów

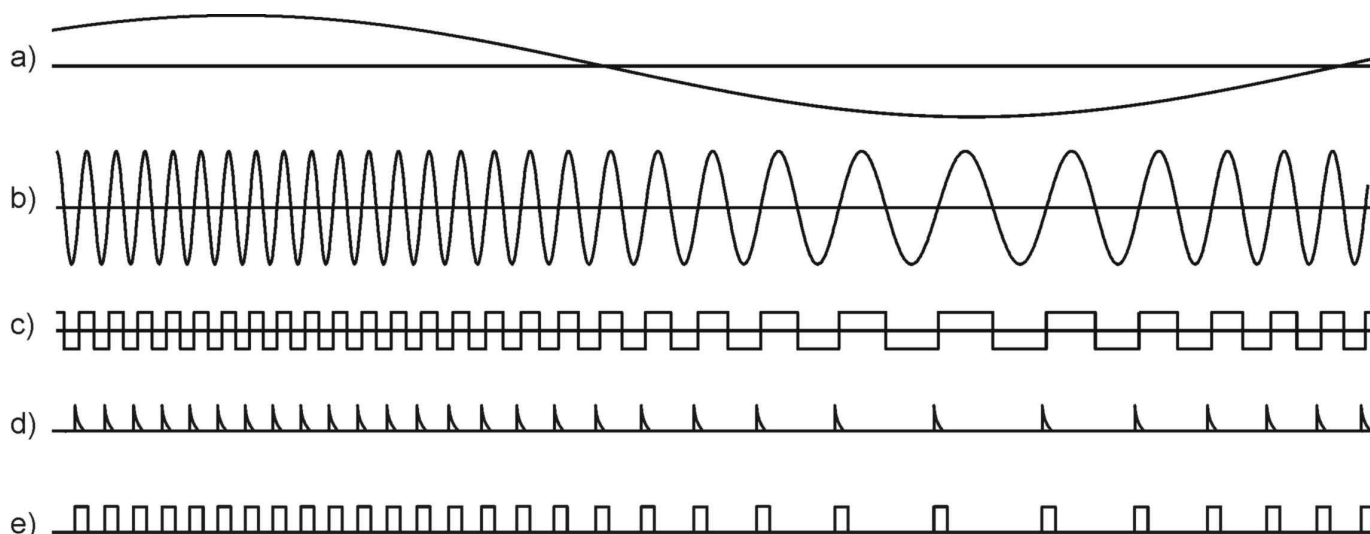
Jak już wiadomo, te układy mogą również służyć do skutecznego demodulowania sygnału zmodulowanego fazowo. Poniżej zostanie opisany ostatni z wyżej wymienionych układów służący do demodulowania sygnału zmodulowanego fazowo lub częstotliwościowo i zbudowany w oparciu o zasadę zliczania impulsów.

Układ demodulatora zbudowanego na zasadzie zliczania impulsów składa się z kilku podstawowych bloków funkcjonalnych (rysunek 3).



Rysunek 3. Demodulator oparty o zasadę zliczania impulsów.

Przebiegi na poszczególnych etapach demodulacji przedstawione są na rysunku 4. Pierwszy to sygnał modulujący (a), następnie sygnał po modulacji kąta (b), po konwersji na sygnał prostokątny – w najprostszym przypadku jest to po prostu ograniczenie amplitudy, które z dobrym przybliżeniem tworzy sygnał prostokątny (c), następnie sygnał prostokątny przepuszczany jest przez prostownik jednołówkowy, który odcina dolną część przebiegu, a potem różniczkowany (d). Sygnał po różniczkowaniu służy do wytworzenia ciągu wąskich impulsów, które następnie są zliczane w układzie analogowym (lub proces ten może być przeprowadzony na drodze cyfrowej).



Rysunek 4. Przebiegi na poszczególnych etapach demodulacji.

Wartość impulsów w jednostce czasu jest proporcjonalna do wielkości sygnału modulującego, zatem wprost może stanowić sygnał $f_m(t)$ uzyskany po procesie demodulacji.

III. ZADANIA DO WYKONANIA:

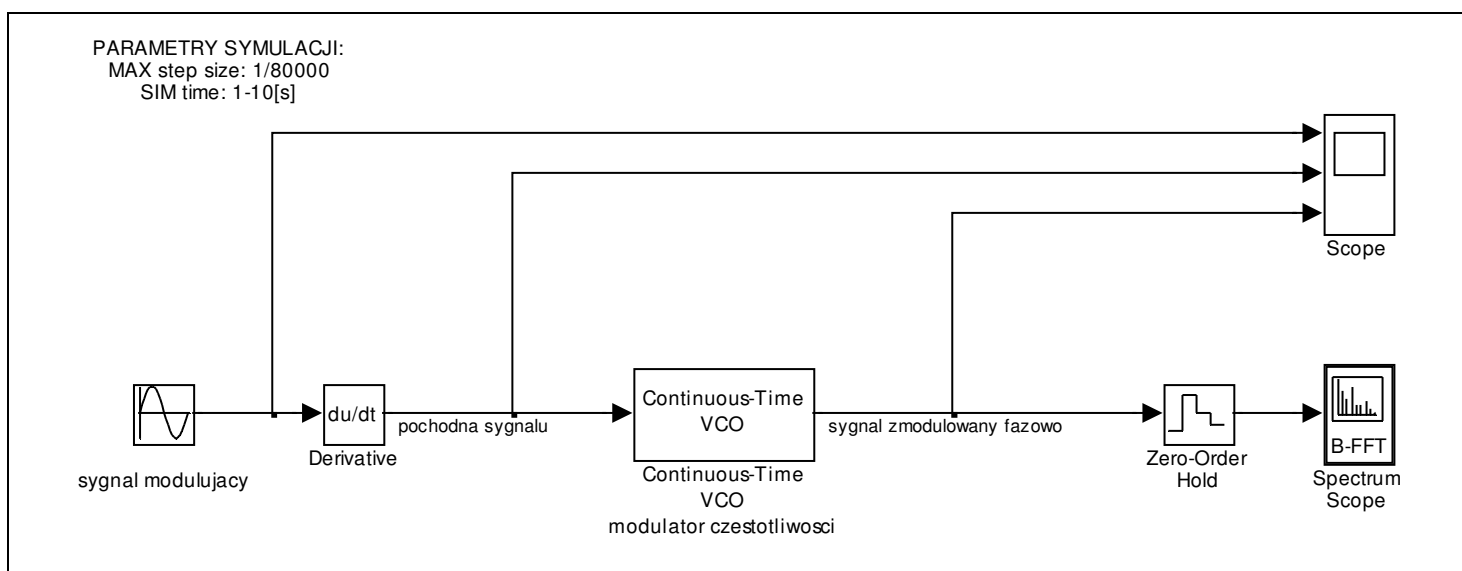
1. ANALIZA MATEMATYCZNA SYGNAŁÓW ZMODULOWANYCH FAZOWO

Dla podanych poniżej przebiegów odebranych obliczyć i wypisać w tabeli wartości wielkości podanych poniżej w podpunktach:

1.	$f(t) = 2 \cos(30t + \sin 2t)$
2.	$f(t) = \cos(t + \sin 7t + 30)$
3.	$f(t) = 10 \sin(10^6 t + 200 \sin 500t)$

- Dla każdej z wyżej wymienionych funkcji wykreślić jej przebieg czasowy w SIMULINKU konstruując prosty układ realizujący obliczoną funkcję matematyczną i przedstawiający jej przebieg w funkcji czasu na oscyloskopie.
- Skonstruowany układ wraz z wynikowym przebiegiem czasowym umieścić w sprawozdaniu. Długość czasu trwania przebiegu widzianego na oscyloskopie dobrać w zależności od wykreślanej funkcji w taki sposób, aby był on czytelny.
- Dla każdego z w/w przebiegów znaleźć:
 - Przybliżoną szerokość pasma,
 - Maksymalną dewiację fazy $\Delta\theta$,
 - Postać sygnału $f_m(t)$ gdy sygnał $f(t)$ jest falą zmodulowaną częstotliwościowo,
 - Postać sygnału $f_m(t)$ gdy sygnał $f(t)$ jest falą zmodulowaną fazowo.

Uruchomić oprogramowanie MATLAB, a następnie uruchomić pakiet SIMULINK. Skonstruować układ do generowania sygnału zmodulowanego częstotliwościowo jak pokazano na rysunku 5 poniżej:

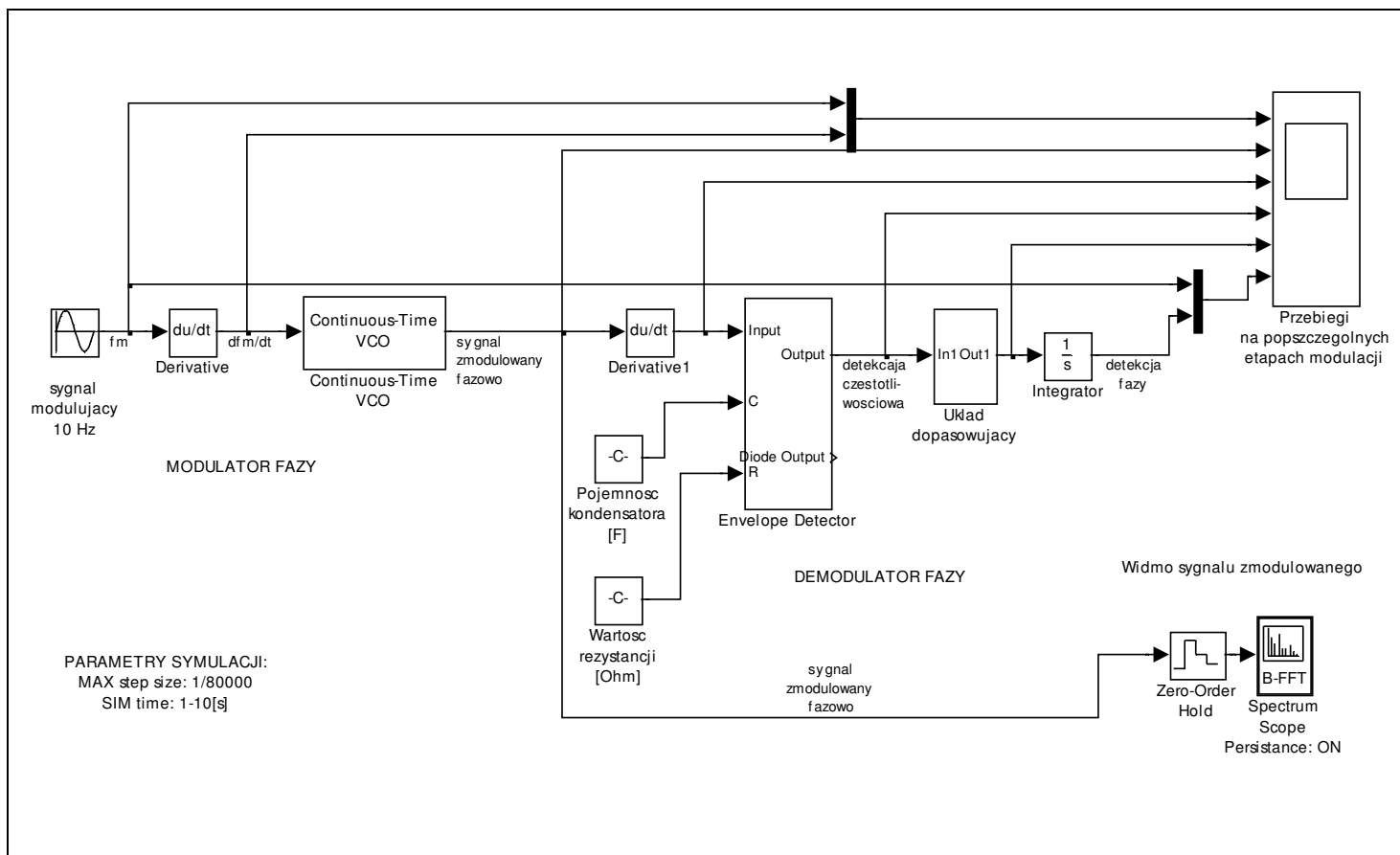


Rysunek 5. Układ generowania sygnału zmodulowanego częstotliwościowo.

- Korzystając z układu skonstruowanego jak na rysunku 4 sprawdzić szerokość pasma zajmowane przez sygnały wymienione w tabeli powyżej i porównać wartości obliczone z wartościami zmierzonymi.
- Wykreślić i przeanalizować przebiegi czasowe na poszczególnych etapach modulacji fazowej.

2. DETEKCCJA FAZY Z UŻYCIEM DEMODULATORA RÓŻNICZKUJĄCEGO I DETEKTORA OBWIEDNI

Skonstruować układ do testowania przesyłu informacji przy użyciu systemów modulacji częstotliwościowej jak pokazano na rysunku 6.

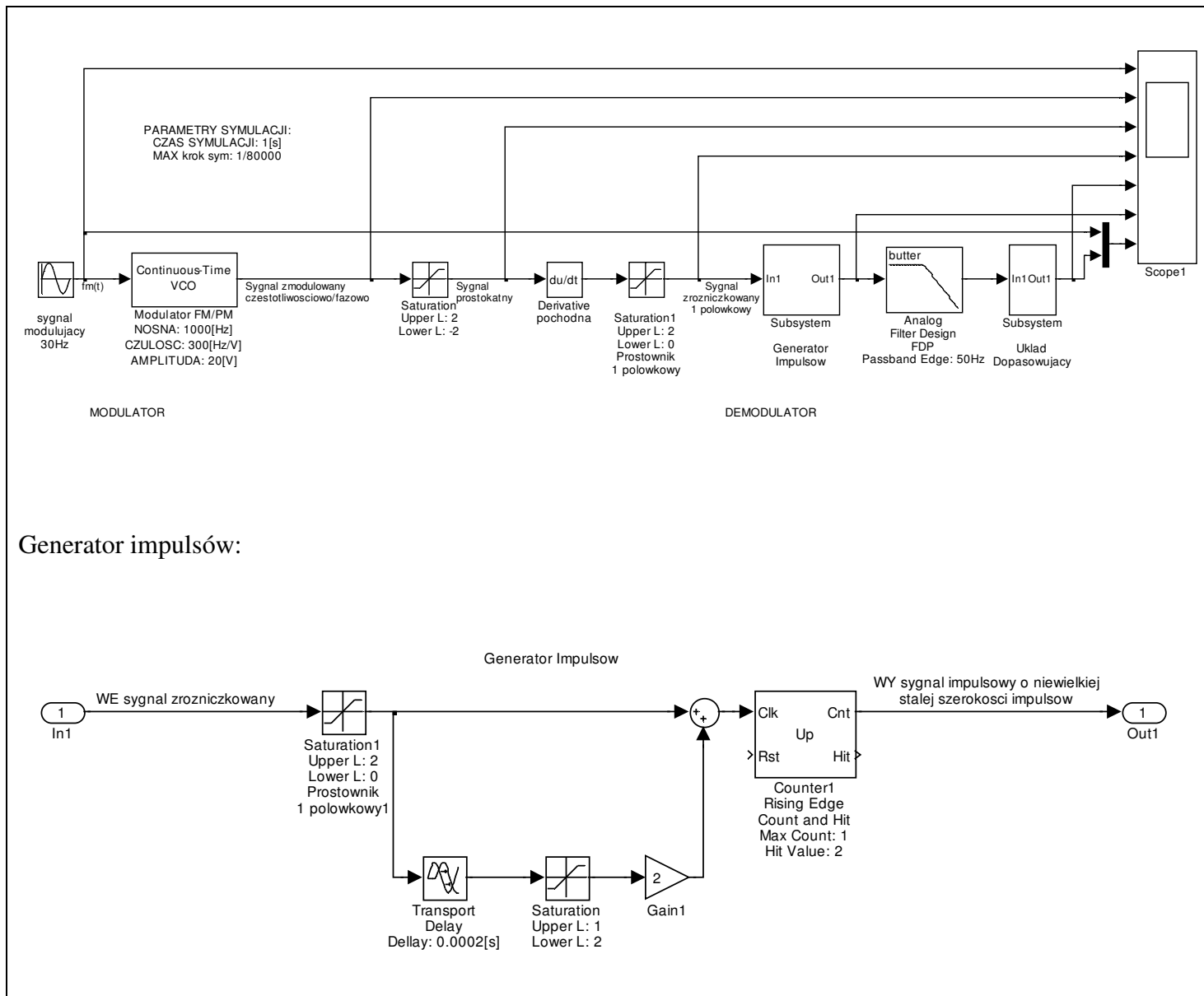


Rysunek 6. Układ do demodulacji częstotliwościowej z użyciem układu różniczkującego i detektora

- Dobrać odpowiednie parametry układu i uruchomić symulację
- Dostroić detektor obwiedniowy tak, aby dobrze znajdował obwiednię sygnału zróżniczkowanego
- Wykreślić przebiegi czasowe na poszczególnych etapach modulacji i demodulacji.
- Wykreślić przebiegi widma częstotliwościowego sygnału w trakcie modulacji częstotliwościowej.
- Dla nastawionych parametrów układu obliczyć zajmowane pasmo częstotliwości i porównać je z wynikiem otrzymanym na analizatorze widma.
- Opisać we wnioskach, czym różni się przedstawiony powyżej układ do modulacji/demodulacji fazy w porównaniu do układu do modulacji i demodulacji częstotliwości z ćwiczenia poprzedniego.

3. DETEKCCJA Z UŻYCIEM UKŁADU ZLICZANIA IMPULSÓW

Skonstruować układ do detekcji sygnału zmodulowanego fazowo oparty o zasadę zliczania impulsów tak jak pokazano na rysunku 7.

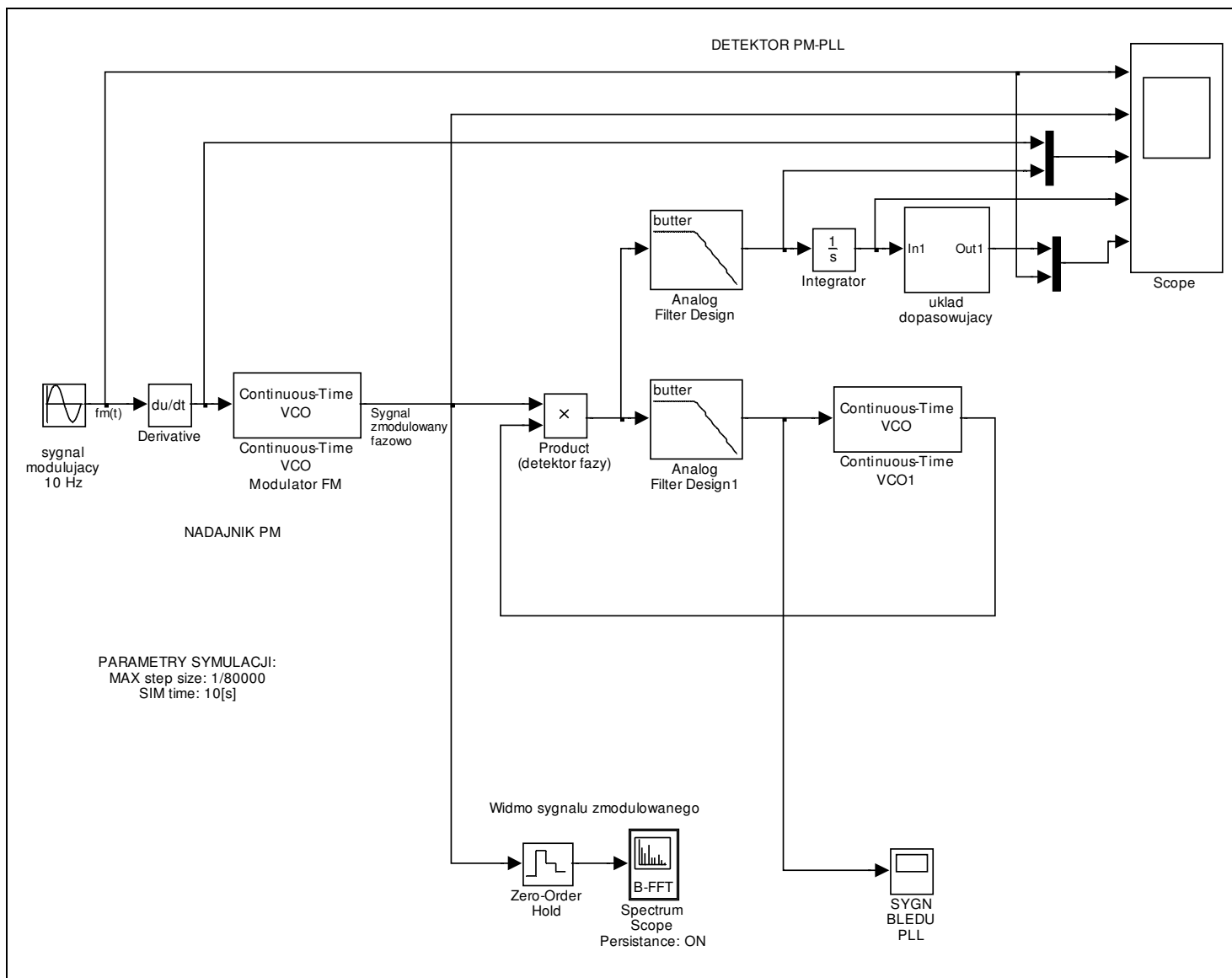


Rysunek 7. Układ do detekcji fazowej zbudowany w oparciu o zasadę zliczania impulsów

- Dobrać nastawienia układu w taki sposób, aby poprawnie przeprowadzić proces demodulacji sygnału
- Wykreślić przebiegi czasowe układu na poszczególnych etapach demodulacji.
- Przeprowadzić proces demodulacji dla dowolnego innego sygnału np. dla sygnału dwutonowego odpowiednio korygując nastawy poszczególnych bloków składowych modelu.
- Zastanowić się nad możliwymi innymi konstrukcjami (modelami) układu generatora impulsów.
- Odpowiedzieć na pytanie, jaką funkcję w powyższym układzie pełni prostownik jednopółkowy i czy układ będzie poprawnie działał jeśli go nie będzie lub jeśli się go zastąpi prostownikiem dwupółkowym?
- Własne uwagi i/lub modernizacje układu do symulacji detektora z użyciem filtrów.

4. DETEKCCJA FAZOWA Z UŻYCIEM ZAMKNIĘTEJ PĘTLI FAZOWEJ PLL

Skonstruować układ do detekcji sygnału zmodulowanego fazowo z zastosowaniem zamkniętej pętli fazowej PLL tak jak pokazano to na rysunku 8:



Rysunek 8. Układ do detekcji obwiedniowej z użyciem pętli PLL

- Dla dowolnego wybranego jednotonowego sygnału modulującego dobrać parametry układu tak, aby poprawnie przeprowadzić proces demodulacji.
- Wykreślić przebiegi na poszczególnych etapach procesu modulacji i demodulacji.
- Korzystając z układu dopasowującego (wzmocnienie i wyśrodkowanie przebiegu względem osi x) wykreślić i porównać przebieg czasowy sygnału informacyjnego przed i po demodulacji.
- Dla działającego układu wykreślić widmo częstotliwościowe zajmowane przez sygnał zmodulowany.
- Taki sam proces przeprowadzić dla dowolnego sygnału dwutonowego.

5. WNIOSKI

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

- Podstawowe różnice w sposobie kształtowania sygnału zmodulowanego częstotliwościowo i fazowo.
- Podstawowe różnice w sposobie demodulowania sygnału zmodulowanego częstotliwościowo i fazowo.
- Czy w układzie z rysunku 4 (punkt III.1 instrukcji) do określenia szerokości pasma zajmowanego przez sygnał potrzebny jest układ różniczkujący?
- Zalety i wady badanych układów.
- Własne uwagi i spostrzeżenia na temat przeprowadzanych symulacji i zagadnień poruszanych na ćwiczeniu.

Dodatkowo (na ocenę celującą po spełnieniu wszystkich podstawowych warunków)

- Opisać podstawową zasadę działania *idealnego detektora fazowego* w układzie demodulatora fazowego (schemat blokowy + podstawowe wyprowadzenia matematyczne).
- Zamodelować w SIMULINKU działający układ do demodulacji fazowej z użyciem idealnego detektora fazowego i zbudować działający tor modulacji i demodulacji fazowej.
- Znaleźć i ogólnie opisać dowolne rzeczywiste układy scalone dedykowane do budowy modulatora i demodulatora fazy dostępne na polskim rynku oraz podać ich cenę.
- Zamieścić spis materiałów źródłowych (literatura, czasopisma, artykuły, adresy stron www)

lub

Dodatkowo (na ocenę celującą po spełnieniu wszystkich podstawowych warunków)

- Opisać podstawową zasadę działania układu *demodulatora fazowego ze sprzężeniem zwrotnym* (schemat blokowy + podstawowe wyprowadzenia matematyczne).
- Zamodelować w SIMULINKU działający układ do demodulacji fazowej z użyciem demodulatora częstotliwościowego (fazowego) ze sprzężeniem zwrotnym i zbudować działający tor modulacji i demodulacji fazowej.
- Znaleźć i ogólnie opisać dowolne rzeczywiste układy scalone dedykowane do budowy modulatora i demodulatora fazy dostępne na polskim rynku oraz podać ich cenę.
- Zamieścić spis materiałów źródłowych (literatura, czasopisma, artykuły, adresy stron www)

lub

Dodatkowo (na ocenę celującą po spełnieniu wszystkich podstawowych warunków)

- Zbudować dowolny rzeczywisty układ NADAJNIK-ODBIORNIK realizujący dowolny typ modulacji analogowej (AM, FM lub PM) w oparciu o układy scalone dostępne na polskim rynku elektronicznym.
- Wykazać skuteczność jego działania przesyłając dowolny sygnał użyteczny (np. mowę).
- Przedstawić schemat ideowy układu i wzór płytki drukowanej o ile taka zostanie zrobiona.
- Przedstawić dokumentację wykorzystanych elementów scalonych.
- Układ nie może być układem gotowym dostępnym na rynku jako np.: kit elektroniczny.
- Zamieścić spis materiałów źródłowych (literatura, czasopisma, artykuły, 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 tydzień od ostatecznego terminu oddania podstawowej części sprawozdania. Jeżeli osoby zdecydują się zrobić układ elektroniczny, może on być przedstawiony do końca semestru (do ostatnich zajęć).

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 szóstego 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 przysyłać na pocztę lub wskazany przez prowadzącego serwer FTP w formacie PDF zatytułowane w następujący sposób:

NrĆw_Specjalność_NazwiskoImię1_NazwiskoImię2.pdf

na przykład:

6_AM_KowalskiJ_NowakS.pdf
6_MK_WawelskiS_IksińskiZ.pdf
6_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:

6_AM_KowalskiJ_NowakS-dodateknaCEL.pdf
6_MK_WawelskiS_IksińskiZ-dodateknaCEL.pdf
6_RM_ZielonyR_StudentP-dodateknaCEL.pdf

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