**Laboratorium 2**. Generacja sygnałów cyfrowych -  kształtowanie impulsów, QAM, OFDM

**Sekcja nr ….:**

1. ***Bartłomiej Głodek***
2. ***Szymon Stec***

**Wstęp**

Przed przystąpieniem do ćwiczenia zapoznaj się z funkcjami wbudowanymi Matlab (i pakietów rozszerzających) wymienionymi w treści instrukcji.

Celem ćwiczenia jest zaprezentowanie:

* własności czasowo-częstotliwościowych filtrów kształtujących Nyquista;
* zasad przekształcania bitów w symbole zgodnie z układem konstelacji;
* zasady transmisji wielotonowej na ortogonalnych podnośnych;

Podczas ćwiczenia należy przygotować skrypty realizujące poszczególne zadania i uzupełnić niniejszy dokument wskazanymi rezultatami symulacji.

**Dane do symulacji (Zad.1 i Zad.2)**:

*Rs, fp, M, A, B, P, N\_fft, - udostępnione przed ćwiczeniem*

**Zad. 1 Filtr Nyquista (kształtujący)**

Filtr Nyquista jest układem liniowym, którego charakterystyka amplitudowa (tzn. moduł charakterystyki częstotliwościowej ) dla częstotliwości równej połowie wartości prędkości symbolowej Rs przyjmuje 50% maksymalnej wartości i ma wokół tej częstotliwości nieparzystą symetrię. Charakterystyka fazowa filtru jest liniowa.

W teorii filtry te charakteryzują się nieskończoną odpowiedzią impulsową. Ich praktyczna realizacja za pomocą filtrów FIR wymaga odpowiedniego skrócenia odpowiedzi impulsowej. W ramach niniejszego ćwiczenia docelowa liczba współczynników filtru będzie wynikiem obcięcia oryginalnej odpowiedzi impulsowej do pożądanej liczby współczynników.

1. Wyznacz i wykreśl charakterystykę czasową i częstotliwościową (tylko moduł w skali liniowej i decybelowej) filtru Nyquista, którego odpowiedź impulsowa wyrażona jest równaniem:

gdzie: *Rs* - prędkość symbolowa, *fp* - częstotliwość próbkowania, *M* - długość filtru wyrażona ilością odstępów symbolowych (okresów sygnalizacji) *Ts=1/Rs*. Pamiętaj o skalowaniu osi odciętych odpowiednio w rzeczywistych jednostkach czasu i częstotliwości. Najmniejsza jednostka czasu to *1/fp*.

Wyświetlanie w dziedzinie częstotliwości w zakresie częstotliwości <0, *fp/2*>. Do wyznaczenia charakterystyki częstotliwościowej wykorzystaj funkcję **fft.** Podczas wyznaczania wartości charakterystyki amplitudowej w dB użyj wzoru *20\*log10*(||)

Jaka jest liczba współczynników filtru - ……..

Jaka jest szerokość wstęgi głównej filtru dla zadanego *Rs* = ….

|  |  |
| --- | --- |
| Symulacje | Teoria |
|  |  |

*(odpowiedź impulsowa filtru)*

*(charakterystyka amplitudowa filtru w skali liniowej)*

*(charakterystyka amplitudowa filtru w skali decybelowej)*

1. Porównaj otrzymaną charakterystykę częstotliwościową z przypadkiem zastosowania filtru realizującego kodowanie NRZ przy tej samej prędkości symbolowej Rs. Na podstawie wykresu określ o ile dB wzrosło tłumienie dla filtru Nyquista względem minimalnego tłumienia pierwszej wstęgi bocznej przy zastosowaniu układu kształtującego kodu NRZ;

Tłumienie w dB - …..

*(charakterystyka amplitudowa filtrów: z podpunktu a) i dla kodu NRZ. Obie w skali decybelowej na wspólnym rysunku)*

1. Stosując funkcję **rcosdesign**(*alpha,span,sps,shape*) wykreśl charakterystyki czasowe i częstotliwościowe filtrów kształtujących przy założeniu że *sps=fp/Rs, span=M, alpha ={0.2, 0.5, 1},* a parametr *shape=‘normal’.* Wykresy osobno dla dziedziny czasu i częstotliwości wykreśl na wspólnych rysunkach. Wyświetlanie w dziedzinie częstotliwości w zakresie <0, *fp/2*>

Jaka jest szerokość wstęgi głównej filtru dla *Rs* = 30:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Symulacje | Teoria |
| *alpha=0.2* |  | 18 |
| *alpha=0.5* |  | 22.5 |
| *alpha=1* |  | 30 |

*(odpowiedź impulsowa filtru)*

*(charakterystyka amplitudowa filtru w skali liniowej)*

*(charakterystyka amplitudowa filtru w skali decybelowej)*

1. Stosując funkcję **rcosdesign**(*alpha,span,sps,shape*) oblicz i wykreśl na wspólnym rysunku odpowiedź impulsową filtrów kształtujących przy założeniu że *sps=fp/Rs, span=M, alpha =A,* a parametr *shape* przyjmuje dwie wartości {filtr pierwszy – *‘normal’*, filtr drugi – *‘sqrt’*}. Zwróć uwagę na wartości odpowiedzi impulsowej dla chwil czasowych oddalonych o całkowitą wielokrotność *Ts* od wartości maksymalnej.

*(odpowiedzi impulsowe filtrów)*

**Zad. 2 Konstelacje sygnałowe – PAM, PSK, QAM**

W celu zwiększenia wydajności modulatora dostarczane informacje binarne przekształca się w symbole odpowiadające sekwencjom binarnym o zadanej długości. Symbol jest odpowiednio dobraną liczbą rzeczywistą lub zespoloną. W przypadku symboli zespolonych, część rzeczywista oznaczana zwyczajowo I nazywana jest składową synfazową, a część urojona Q – składową kwadraturową. Zbiór symboli reprezentujących wszystkie możliwe sekwencje binarne nazywany jest konstelacją, a układ dokonujący przekształcenia koderem konstelacji. Do najważniejszych parametrów konstelacji zaliczamy jej moc, minimalną odległość między symbolami oraz sposób przyporządkowania sekwencji binarnych do symboli.

1. Korzystając z funkcji **pammod,** **pskmod**, **qammod** oraz **scatterpolt** wykreśl konstelacje symbolowe modulacji 16-PAM, 16-PSK i 16-QAM przy założeniu, że średnia moc symboli w konstelacji wynosi *P*. Sprawdź moc wygenerowanej konstelacji. Wszystkie symbole są jednakowo prawdopodobne. Jaka jest minimalna odległość pomiędzy punktami konstelacji dla przyjętej wartości mocy.

*(konstelacja 16-PAM)*

*(konstelacja 16-PSK)*

*(konstelacja 16-QAM)*

|  |  |
| --- | --- |
|  | min. Odległości |
| 16 – PAM |  |
| 16 – PSK |  |
| 16 – QAM |  |

1. Wygeneruj wektor losowych danych binarnych korzystając z funkcji **randi** o długości *B* bitów. Wykorzystując koder konstelacji 16-QAM z podpunktu a) zamień wektor binarny na wektor symboli QAM. Na podstawie próby czasowej sprawdź ponownie moc sygnału dyskretnego zawierającego symbole. Czy występują różnice w wartości mocy w stosunku do punktu a)?

Moc sygnału …..

1. Wektor symboli z podpunktu b) podaj na wejście filtrów kształtujących o parametrach z Zad 1d). Wykreśl diagram oczkowy (funkcja **eyediagram**) w dziedzinie czasu oraz widmową gęstość mocy sygnału na wyjściu filtru kształtującego (w zakresie częstotliwości od 0 do *Rs*). Pamiętaj o wykonaniu interpolacji uzupełniając próbkami o zerowej wartości wektor symboli na wejściu filtru.

*(diagram oczkowy)*

*(widmowa gęstość mocy)*

**Zad. 3 Sygnał wielotonowy - OFDM**

Koncepcja sygnału wielotonowego polega na przesyłaniu informacji symbolowej wieloma drogami częstotliwościowymi. Jedno z rozwiązań sprowadza się do zastosowania wielu filtrów kształtujących, z których każdy jest odpowiedzialny za transmisję w innym zakresie częstotliwości. Odpowiedzi impulsowe filtrów kształtujących opisane są następującymi wzorami:

* filtr synfazowy:

gdzie  jest numerem filtru, który odpowiada za transmisję na  częstotliwości;

* filtr kwadraturowy

gdzie  jest numerem filtru, który odpowiada za transmisję na częstotliwości;

1. Wyznacz odpowiedzi impulsowe powyższych filtrów i wykreśl na jednym rysunku ich charakterystyki amplitudowe w skali liniowej dla *N=fp/Rs*. Ile wynosi odstęp pomiędzy maksimami na wspólnym wykresie charakterystyk:

…….

Zwróć uwagę na wartości ch-ki amplitudowej filtrów dla wartości .

*(charakterystyki amplitudowe banku filtrów kształtujących w skali liniowej)*

1. Symbole z Zad 2b) rozdziel przed interpolacją na *N* torów transmisyjnych wg zasady:
   * TOR 0 -> symbol(0), symbol(N), symbol(2N), ….
   * TOR 1 -> symbol(1), symbol(N+1), symbol(2N+1)….
   * …..
   * TOR N-1 -> symbol(N-1), symbol(2N-1),symbol(3N-1)…..

Powyższą operację można wykonać zamieniając wektor symboli w macierz *S\_mtx* za pomocą funkcji **reshape.** Dane uporządkuj w taki sposób, że każdy wiersz macierzy to oddzielny tor transmisji, a każda kolumny to dany moment czasu.

Sygnały każdego z torów po wykonaniu interpolacji (dodanie próbek o zerowej wartości) podaj na wejście dedykowanego filtru o współczynnikach . Zsumuj ze sobą wyjścia wszystkich filtrów kształtujących.

Wyświetl sygnał wynikowy w dziedzinie czasu – osobno część rzeczywistą i urojoną – w czasie od 0 do 10/*Rs*.

*(sygnał w dziedzinie czasu)*

1. Przekształcone symbole z podpunktu b) podaj na odwrotną dyskretną transformację Fouriera (IDFT) o rozmiarze N. Zastosuj w tym celu funkcję **ifft**. Wektorem danych wprowadzanych na układ IDFT są wszystkie symbole z danego momentu czasu (wektor kolumnowy utworzonej macierzy symboli *S\_mtx*). Każdy z wektorów kolumnowych macierzy *S\_mtx* nazywany jest **symbolem OFDM**.

Rezultaty wszystkich transformacji uporządkuj po kolei w jeden wektor.

Wyświetl sygnał wynikowy w dziedzinie czasu – osobno część rzeczywistą i urojoną – w czasie od 0 do *10/Rs*. Wykresy dodaj do rysunku z podpunktu b). Otrzymany wynik po przeskalowaniu porównaj z wynikiem z podpunktu b). Jaki jest współczynnik skalowania *F* aby zminimalizować błąd ? Odejmowane sygnały to sygnały wynikowe dla podpunktu b) i c)

*(sygnał w dziedzinie czasu)*

Wartość *F* =

Wartość błędu *e=….*

1. Uzupełnij wyniki transformacji IDFT dla każdego z symbolu z osobna o prefiks cykliczny długości *L=ceil(N/4)* próbek. Prefiksem cyklicznym symbolu OFDM nazywamy *L* próbek z końca symbolu OFDM w dziedzinie czasu przekopiowanych na początek danego symbolu. Celem stosowania prefiksu jest przekształcenie splotu liniowego zachodzącego podczas transmisji w kanale na splot kołowy (cykliczny), który gwarantuje nam niezależność transmisji na poszczególnych tonach częstotliwościowych.

Wyświetl PSD sygnału wynikowego w skali liniowej.

*(charakterystyka PSD w skali liniowej)*