

LABORATORIUM nr 3

DIAGNOSTYKA UKŁADÓW MECHANICZNYCH

**ANALIZA SYGNAŁU W DZIEDZINIE CZĘSTOTLIWOŚCI -
WIDMO OBWIEDNI**

Spis treści

1.	Wprowadzenie	3
2.	Cel laboratorium	3
3.	Teoria	3
4.	Przebieg ćwiczenia	5

1. Wprowadzenie

Analiza częstotliwościowa jest podstawowym narzędziem diagnostyki drgań, ponieważ pozwala powiązać konkretne zjawiska mechaniczne z liniami widmowymi o ściśle określonych częstotliwościach. Linie te odzwierciedlają między innymi prędkość obrotową, rezonanse konstrukcji, pracę elementów tocznych łożysk czy zazębienia kół zębatych. Niestety w sygnale rejestrowanym w warunkach produkcyjnych zawsze obecny jest losowy szum: od zakłóceń elektrycznych, przez hałas otoczenia, po mikrodrżania fundamentu. Szum podnosi tło widma i maskuje charakterystyczne piki, utrudniając interpretację. Uśrednianie widm usuwa z analizy to, co przypadkowe, a wzmacnia to, co powtarzalne, dzięki czemu linie diagnostyczne stają się lepiej czytelne.

2. Cel laboratorium

Celem laboratorium jest opanowanie świadomego doboru liczby uśrednień przy obliczaniu widma sygnału drgań. Student ma zrozumieć, jak kolejne uśrednienia obniżają poziom tła szumowego i jednocześnie jak skracanie fragmentu sygnału poddawanego transformatom Fourierowskim zmniejsza rozdzielczość częstotliwościową. Efektem końcowym ma być umiejętność znalezienia takiego kompromisu, w którym linie odpowiadające pracy maszyny pozostaną wyraźne, a szum zostanie w maksymalnym stopniu stłumiony.

3. Teoria

Podstawą ćwiczenia jest szybka transformata Fouriera, która rozkłada sygnał w czasie na zestaw sinusoid o różnych częstotliwościach i fazach. Rozdzielczość częstotliwościowa widma zależy od długości segmentu sygnału poddawanego transformacji; im dłuższy segment, tym gęstsza siatka częstotliwości i tym precyzyjniejsze pozycjonowanie linii widmowych. Gdy ten sam sygnał dzieli się na krótsze fragmenty, zyskuje się możliwość kilkukrotnego policzenia FFT i uśrednienia ich amplitud. Losowe zakłócenia przyjmują wartości dodatnie i ujemne niezwiązane z fazą maszynowych częstotliwości, więc w sumie dążą do zera, natomiast okresowe składowe sumują się konstruktywnie. W miarę dodawania kolejnych realizacji tło widma, mierzone na przykład wartością RMS w paśmie między liniami, obniża się odwrotnie proporcjonalnie do pierwiastka z liczby segmentów. Jednocześnie skracanie segmentu pogarsza rozdzielczość: sąsiednie linie mogą się zlewać, a bardzo wąskie piki – rozmywać. Dodatkowo każdy segment jest przed transformatą mnożony przez okno (najczęściej Hann lub Hamming), aby ograniczyć „przeciekanie sygnału”. Okno zmniejsza amplitudę piku i nieco poszerza jego główną wstęgę, ale dzięki niemu energia sygnału nie rozlewa się na całe widmo. W praktyce diagnostycznej przyjmuje się, że najlepszy efekt daje umiarkowana liczba uśrednień: zbyt mała nie wygładza wystarczająco szumu, zbyt duża pozbawia widmo szczegółów lub maskuje wąskie pasma charakterystyczne dla uszkodzeń w łożyskach i kołach zębatych.

Tę samą ideę można odnieść do widma obwiedni. Po detekcji obwiedni sygnał impulsowy, charakterystyczny dla defektów tocznych, zmienia się w quasi-sinusoidę o częstotliwości równej częstotliwości przejścia elementu uszkodzonego. Widmo obwiedni zawiera więc niskoczęstotliwościowe linie odpowiadające uszkodzeniom, a uśrednianie pełni tu tę samą funkcję co w klasycznym widmie przyspieszeń.

Widmo obwiedni (ang. *envelope spectrum*) wykorzystuje się przede wszystkim do wczesnej diagnostyki usterek, które generują w sygnale drgań krótkotrwałe, impulsowe zaburzenia. Typowe zastosowania są następujące:

1. Wykrywanie uszkodzeń łożysk tocznych

Impulsy powstające przy uderzeniach elementu tocznego w defekt (wyszczerbienie bieżni, pitting) są modulowane przez ruch obrotowy. Demodulacja sygnału (czyli właśnie analiza obwiedni) przenosi te impulsy w niższy zakres częstotliwości, dzięki czemu w widmie obwiedni pojawiają się linie odpowiadające częstotliwościom charakterystycznym łożyska — BPFO, BPFI, BSF, FTF. Bez obwiedni impulsy są często zagłuszone przez szerokopasmowy szum wysokoczęstotliwościowy.

2. Diagnostyka uszkodzeń kół zębatach

Pęknięty ząb lub przyspawany opiłek wywołuje uderzenie przy każdym przejściu siły przez strefę zazębienia. Detekcja obwiedni pozwala na wyodrębnienie pulsującej składowej i pokazuje w widmie linie przy częstotliwości podziałowej koła oraz jej harmoniczne.

3. Identyfikacja niewielkich luzów i pęknięć (loose parts, fretting)

Luźny element lub mikropęknięcie powoduje stukanie tylko wtedy, gdy amplituda drgań przekroczy pewien próg – powstają wówczas pojedyncze impulsy. Widmo obwiedni wzmacnia te pojedyncze zdarzenia i ułatwia ich odnalezienie.

4. Analiza rezonansów konstrukcyjnych pobudzanych uderzeniami

Jeśli konstrukcja ma własne pasmo rezonansowe, impulsy od usterek wzbudzają to pasmo. Obwiednia wydobywa modulację amplitudy rezonansu i pozwala powiązać ją z częstotliwością przyczyny (np. prędkością obrotową lub częstotliwością charakterystyczną łożyska).

5. Poprawa stosunku sygnału do szumu przy monitoringu on-line

W środowisku przemysłowym szerokopasmowe zakłócenia wysokoczęstotliwościowe podnoszą tło widma tradycyjnego. Detekcja obwiedni „przenosi” informację o impulsach do niższego zakresu, gdzie tło szumu jest mniejsze i łatwiej stosować progi alarmowe.

W omawianej aplikacji parametry **NP** i **WL** są związane z dwoma różnymi trybami działania obwiedni:

1. NP (dla trybu „peak”)

- Odpowiada za to, ile próbek (lub jak duży fragment sygnału) jest branych pod uwagę przy wyszukiwaniu wartości szczytowej (peak).

2. WL (dla trybu „rms”)

- Definiuje długość okna (w próbkach lub w czasie), w którym obliczana jest wartość skuteczna (RMS) sygnału.

W skrócie:

- **NP** określa, jak „szczegółowo” lub „uśrednione” będą piki w trybie „peak”.
- **WL** ustala, jak szeroki jest przedział obliczania wartości skutecznej w trybie „rms”.

4. Przebieg ćwiczenia

Korzystając ze stanowiska laboratoryjnego, wykonaj następujące czynności:

I. Pomiar drgań na stanowisku przy obrotach 15–20 Hz

- **Polecenie:**

1. Ustaw wirnik maszyny na stanowisku laboratoryjnym na prędkość 15–20 Hz (ok. 900–1200 obr/min).
2. Rozpocznij 100-sekundowy pomiar drgań.
3. Około 50. sekundy wywołaj gwałtownie niskoczęstotliwościowe drgania własne stanowiska (np. lekkim uderzeniem w konstrukcję).
4. Użyj pliku „test_czujnika.m” do rejestracji danych (zgodnie z procedurą wskazaną przez prowadzącego).
5. W środowisku MATLAB zapisz zmienną „yt” (z workspace) do pliku Dane_lab4.mat poleceniem `save('Dane_lab4.mat','yt')`.
6. Upewnij się, że dane zostały prawidłowo zachowane i są gotowe do dalszej analizy.

- **Cel:**

- Otrzymaj rzeczywisty zapis sygnału drgań maszyny z widocznym „epizodem” dodatkowych drgań około 50. sekundy, co posłuży do oceny czułości analizowanej obwiedni w późniejszych krokach.

Korzystając z aplikacji DUM_app4.mlapp, wykonaj następujące czynności:

II. Widmo sygnału i widmo obwiedni – ustawienia domyślne

- **Polecenie**

1. Otwórz aplikację DUM_app4.mlapp i wczytaj plik Dane_lab4.mat.
2. Pozostaw wszystkie parametry w konfiguracji domyślnej.
3. Oblicz obwiednię sygnału (domyślny tryb *peak* lub *rms*) i wyświetl jej widmo.
4. Porównaj widmo obwiedni z widmem surowego sygnału, zwracając uwagę na pasmo rezonansowe związane z impulsem w 50 s.

- **Cel**

Zobacz, które pasma częstotliwości dominują w obwiedni przy ustawieniach domyślnych i czy rezonans wzbudzony impulsem jest już wyraźnie widoczny.

III. Optymalizacja parametrów obwiedni – tłumienie szumu

- **Polecenie**

1. Zmień parametry obwiedni: dobierz wielkość NP (dla trybu *peak*) lub WL (dla trybu *rms*) oraz liczbę uśrednień. UWAGA: Niskie wartości WL i NP mogą spowodować zawieszenie się aplikacji.
2. Po każdej modyfikacji przelicz widmo obwiedni i porównaj je z poprzednim wynikiem.

3. Szukaj ustawień, które zachowują wyraźne linie przy 15 – 20 Hz i przy częstotliwości drgań własnych, a jednocześnie tłumią wysokoczęstotliwościowe szumy.

- **Cel**

Oddziel istotne składowe (obroty + rezonans) od zakłóceń, a także zrozum, w jaki sposób parametry NP i WL kontrolują szczegółowość odwzorowania obwiedni w dziedzinie częstotliwości.

Oceny:

Za wykonanie ćwiczenia I i II student otrzymuje ocenę **dostateczną**.

Za wykonanie ćwiczenia I-III student otrzymuje ocenę **bardzo dobrą**.