



LABORATORIUM UKŁADÓW PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW OPTYCZNYCH

GRUPA:	PROTOKÓŁ DO ĆWICZENIA nr	
	Temat ćwiczenia: Wykorzystanie wybranych metod cyfrowego przetwarzania sygnałów w detekcji sygnałów optycznych	
Skład podgrupy nr	Data wykonania ćwiczenia	Prowadzący ćwiczenie
1.		
2.		
3.		
4.	Ocena	Podpis prowadzącego
5.		

Dane urządzeń pomiarowych

Lp.	Nazwa urządzenia	Marka	Typ
1	Oscyloskop RIGOL .....	.....	.....
2	Generator Tektronix AFG3252	.....	.....
3	Głowica z diodą LED	.....	.....
4	Głowica z fotodiodą krzemową	.....	.....
5	Zasilacz DC	.....	.....

1 Cel ćwiczenia

Zapoznanie studentów z zaawansowanymi technikami przetwarzania sygnałów umożliwiającymi zwiększenie stosunku mocy sygnału do mocy szumów w układach detekcji sygnałów optycznych. W trakcie ćwiczenia przedstawione zostaną podstawowe właściwości stosowania filtrów sygnałowych, operacji uśredniania i cyfrowego przetwarzania sygnałów.

2 Opis układu pomiarowego

Stanowisko laboratoryjne składa się z dwóch zasadniczych bloków: układu cyfrowego przetwarzania sygnałów oraz układu detekcji. W układzie przetwarzania sygnałów zastosowano dwa przyrządy: oscyloskop cyfrowy RIGOL model 3552 oraz generator Tektronix serii 3200. W drugim bloku użyto układ detekcji bezpośredniej promieniowania emitowanego przez diodę LED, w którym sygnał wyjściowy z detektora jest przetwarzany i zobrazowany przez oscyloskop.

W trakcie pomiarów, nie tylko uwidocznił się wpływ szumów, ale również zakłóceń np. oświetlenia laboratorium.

2.1 Oscyloskop cyfrowy RIGOL

Oscyloskop cyfrowy oprócz rejestracji i wizualizacji sygnałów ma również możliwość przeprowadzenia podstawowych procedur przetwarzania sygnałów: wykonanie operacji wyznaczanie widma sygnału (FFT) oraz zastosowania filtrów cyfrowych (dolno-, górno-, środkowo-przepustowych oraz środkowo-zaporowych).



Rys. 1. Widok oscyloskopu

Zestawienie konfiguracji poszczególnych filtrów przedstawiono w tab.2.

Tab. 1. Konfiguracja filtrów oscyloskopu cyfrowego

Menu	Ustawienie	Komentarz
Filter Digital Filter OFF	On (włączony) Off (wyłączony)	Włączyć filtr cyfrowy. Wylączyć filtr cyfrowy.
Filter Type	f f f f	Ustawić jako dolnoprzepustowy LPF. Ustawić jako górnoprzepustowy HPF. Ustawić jako pasmowy BBF. Ustawić jako tłumiący w paśmie BRF.
Upper Limit 24.50Hz	<częstotliwość>	Ustawić górną wartość graniczną kręć pokrętlel (*).
Lower Limit 24.50Hz	<częstotliwość>	Ustawić dolną wartość graniczną kręć pokrętlel (*).
		Powrót do menu wyższego poziomu.

W przypadku zastosowania transformaty FFT jest ona szczególnie przydatna dla pomiarów zawartości harmonicznyc i odkształceń w układach elektronicznych, identyfikacji typu zakłóceń oraz analizy drgań i wibracji. Należy jednak pamiętać, że gdy sygnał poddany analizie FFT będzie posiadał składową stałą lub tzw. offset, to w wyniku otrzyma się składowe o błędnych amplitudach (należy zmienić konfigurację kanału oscyloskopu na sprzężenie AC). Oprócz tego dla sygnałów o dużym zakresie dynamiki najlepiej jest używać skali dBVrms. Dostępne konfiguracje dla transformaty FFT zestawiono w tab.3.

Tab. 2. Konfiguracja operacji transformaty FFT

Menu	Ustawienia	Komentarz
FFT Operate FFT	A+B A-B AxB	Dodać przebieg ze źródła A do przebiegu ze źródła B. Odjąć przebieg ze źródła A od przebiegu źródła B. Pomnożyć przebieg źródła A przez przebieg źródła B.
Source CH1	FFT CH1 CH2	Szybka transformata Fourierska FFT. Zdefiniować kanał CH1 lub CH2 jako źródło FFT.
Window Rectangle	Rectangle (prostokątne) Hanning Hamming Blackman	Wybrać okno analizy FFT.
Display Split	Split	Wyświetlić przebieg FFT na połowie ekranu.
Scale Vrms	Full screen Vrms dBVrms	Wyświetlić przebieg FFT na całym ekranie. Ustawić jako jednostkę osi czułości V skuteczne. Ustawić jako jednostkę osi czułości dBV skuteczne.

Oscyloskop ten umożliwi również wybór jednego z czterech okien analizy FFT. Każde okno stanowi kompromis między wymaganą rozdzielczością częstotliwości, a dokładnością pomiaru amplitudy. Przy wyborze właściwego okna bierze się pod uwagę właściwości sygnału oraz mierzony jego parametr. W tym celu, można korzystać z wytycznych zwartych w tab.4.

Tab. 3. Konfiguracja okien czasowych dla FFT

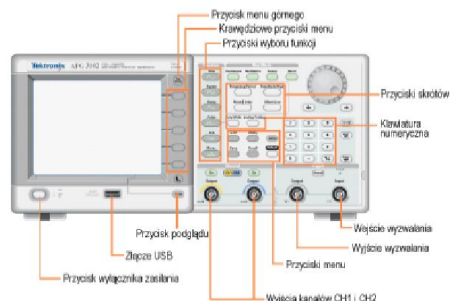
Okno	Parametr	Najlepsze do pomiaru:
Prostokątne (Rectangle)	Najlepsza rozdzielczość częstotliwości, najgorsza rozdzielczość amplitudy. Funkcja ta jest zasadniczo taka sama jak typu "Brak okna".	- krótkotrwałych sygnałów związanych ze stanami przejściowymi, zakłóceń, sygnału burst, gdy poziomy sygnału przed i po wystąpieniu zdarzenia jest prawie taki sam. - sygnałów sinusoidalnych o jednakowej amplitudzie i ustalonej częstotliwości. - zakłóceń o szerokim paśmie przy względnie wolno zmieniającym się widmie.
Hanning Hamming	Lepsza rozdzielczość częstotliwości, gorsza dokładność amplitudy niż w przypadku okna prostokątnego. Okno Hamming ma nieco lepszą rozdzielczość częstotliwości niż okno Hanning.	- sygnałów sinusoidalnych, okresowych, zakłóceń o wąskim paśmie. - sygnałów związanych ze stanami przejściowymi lub sygnałów typu burst, gdy poziomy sygnał przed i po wystąpieniu zdarzenia znacznie się różni.
Blackman	Najlepsza amplituda, najgorsza rozdzielczość częstotliwości.	- przebiegów o jednej częstotliwości, przy wyszukiwaniu harmonicznyc wyższego rzędu.

2.2 Generator AFG3252

Generator AFG3252 pełnić może trzy zasadnicze funkcje:

- generatora sygnałowego do 240 MHz,
- generatora impulsowego do 120 MHz,
- 14-bitowego generatora dowolnych przebiegów.

Może on wytwarzać 12 standardowych przebiegów. Oprócz tego są dostępne dowolne przebiegi zdefiniowane przez użytkownika, które można tworzyć, modyfikować i zapamiętywać.



Rys. 2. Widok panelu czołowego generatora

Przykładowe oscylogramy generowanych sygnałów zestawiono w tab.5.

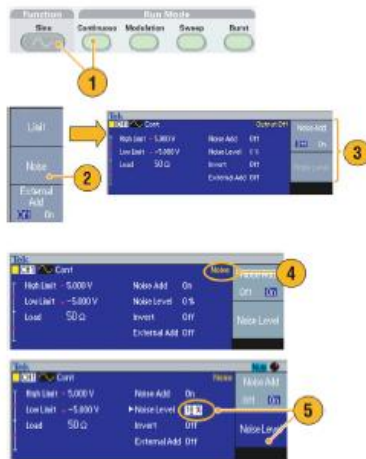
Tab. 4. Oscylogramy wybranych przebiegów

$\sin(x)/x$ oraz szum	
DC oraz krzywa Gaussa	
Ekspotencjalny	

W przypadku ćwiczenia laboratoryjnego, generator ten będzie zastosowany jako źródło sygnału użytecznego oraz ewentualnych szumów. Dodanie szumów może odbywać się dwoma metodami. W pierwszej z nich, generator standardowo może dodać szum do przebiegu w opcjach jego parametrów wyjściowych. Na rysunku 4 przedstawiono procedurę związaną z operacją dodania szumów do generowanego przebiegu. Istotnym ograniczeniem tej metody jest dopuszczalny względny poziom szumów (50%).

Aby do przebiegu dodać wytwarzany wewnętrznie sygnał szumu należy użyć menu Output.

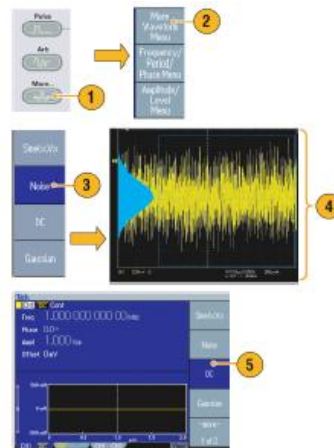
1. Naciśnięcie przycisku płyty czołowej Sine > Continuous aby wyświetlić ekran przebiegu sinusoidalnego, jak w przykładzie obok.
2. Postępować zgodnie z opisem ze strony 46 aby wyświetlić menu Output. Aby dodać szum do przebiegu sinusoidalnego należy naciśnięcie przycisku bocznego Noise.
3. Wyświetlił się menu Noise Add. Naciśnięcie przycisku Noise Add i wybranie opcji On.
4. Naciśnięcie przycisku płyty czołowej CH1 Output, uaktywniając wyjście. Status wyjścia (Output Status) – patrz str. 20 – zmienił się z Output Off na Noise.
5. Aby dostroić poziom szumu, należy naciśnięcie przycisku bocznego Noise Level. Do wprowadzania wartości można użyć pokrętki głównego lub klawiatury numerycznej.



Rys. 3. Opis procedury dodawania wewnętrznego szumu do sygnału użytecznego

W drugiej metodzie, stosuje się możliwość dodawania dwóch sygnałów. W tym celu należy jedno z wyjść generatora zadeklarować jako źródło szumów – opis procedury przedstawiono na rys. 5.

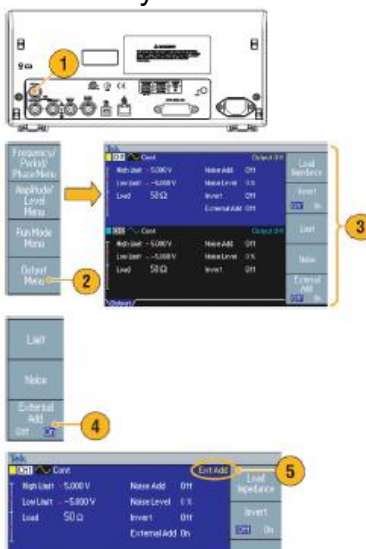
1. Naciśnięcie przycisku płyty czołowej More....
2. Naciśnięcie przycisku bocznego More Waveform Menu.
3. Wybrać Noise.
4. Można ustawić parametry generowanego szumu (Noise). Obok pokazano przykładowy szum o obwodni gaussowskiej wyświetlony na ekranie oscyloskopu.
5. Naciśnięcie DC aby wyświetlić parametry generacji sygnału stałego.



Rys. 4. Opis procedury generacji szumu

Następnie drugie z wyjść zadeklarować jako źródło sygnału użytecznego – (sinus, prostokąt, impuls itp.). Dokonać procedury dodawania dwóch sygnałów (sygnałów dwóch kanałów) przy wykorzystaniu wejścia ozn. ADD INPUT znajdującego się na tylnym panelu generatora. Opis całej procedury przedstawiono na rys. 6.

1. Podłączyć zewnętrzne źródło sygnału do złącza płyty tylnej ADD INPUT.
2. Naciśnięcie przycisku płyty czołowej Top Menu () a następnie naciśnięcie przycisku bocznego Output Menu.
3. Wyświetlił się Output Menu.
4. Naciśnięcie External Add, wybierając w ten sposób On.
5. Naciśnięcie przycisku płyty czołowej CH1 Output, uaktywniając wyjście. Status wyjścia (Output Status) – patrz str. 20 – zmienił się z Output Off na Ext Add.



Rys. 5. Opis procedury dodawania zewnętrznego szumu do sygnału użytecznego

3 Przebieg ćwiczenia

3.1 Pomiar napięcia szumów metodą oscyloskopową

- I. Podłączyć wyjście generatora ozn. OUTPUT CH1 z wejściem oscyloskopu ozn. CH1.
- II. Dla generatora przyjąć punkt pracy:
 - przebieg MORE...→MORE WAVEFORM MENU→NOISE,
 - parametry FREQ 1MHz, PHASE 0°, AMPL 1 V_{pp}, OFFSET 0mV.
- III. Dla oscyloskopu przyjąć punkt pracy:
 - pokrętko SENSITIVITY = 200 mV
 - pokrętko TIME = 1 ms
 - przycisk DISPLAY→PERSIST→INFINITIVE
- IV. Włączyć sygnał wyjściowy z generatora (przycisk ON na wyjściu CH1).
- V. Odczekać ok. 15 s po czym wstrzymać pracę oscyloskopu (przycisk RUN/STOP).
- VI. Wyłączyć sygnał z generatora (przycisk ON na wyjściu CH1).
- VII. Dokonać pomiaru wartości międzyszczytowej napięcia U_{PP} zarejestrowanego przez oscyloskop.
- VIII. Następnie zmienić amplitudę napięcia szumów na wartość 100 mV.
- IX. Przeprowadzić ponownie procedurę pomiarową (dopasować czułość oscyloskopu, włączyć sygnał z generatora, włączyć oscyloskop na 15 s.).
- X. Wyniki pomiarów wpisać do tab. 6.

Tab. 5. Pomiar napięcia szumów

Wartość napięcia szumów	1 V _{PP}	100 mV _{PP}
Wartość U _{PP}		

3.2 Zastosowanie filtracji sygnału

W trakcie pomiarów zostanie zastosowany filtr cyfrowy, którego wybór dokonuje się w MENU kanału oscyloskopu (nacisną przycisk CH1).

- I. Z opcji DIGITAL FILTER na ekranie oscyloskopu przechodzi się kolejno do procedur wyboru rodzaju filtru i jego parametrów.
- II. Dla zadanych parametrów przeprowadzić procedury związane z pomiarami szumów opisane w pkt.3.1.
- III. Po pomiarach wyłączyć sygnał z generatora i zatrzymać pracę oscyloskopu.
- IV. Wyniki zapisać do tab. 7.

Tab. 6. Wpływ pasma sygnałowego

Szum 100mV _{pp}						
Rodzaj filtru	Dolno przepustowy		Górno przepustowy		Środkowo przepustowy	Środkowo zaporowy
Parametry f _{gr}	7 kHz	20 kHz	7 kHz	20 kHz	7 kHz, 20 kHz	7 kHz 20 kHz
Napięcie U _{PP}						

Pytanie 1. Na podstawie wyników pomiarów określić wpływ szerokości pasma sygnałowego na wartość napięcia szumów.

.....

.....

.....

.....

- V. Dla generatora zastosować tryb pracy z dodawaniem sygnału zewnętrznego.
- VI. W kanale 1 ustalić parametry przebiegu:
- przebieg SINUS,
 - amplituda 100 mV_{pp} .
 - częstotliwość 1367 Hz .
- VII. W kanale 2 ustalić parametry szumu:
- $\text{FREQ } 1\text{MHz}$, $\text{PHASE } 0^0$, $\text{AMPL } 1 \text{ V}_{pp}$, $\text{OFFSET } 0 \text{ mV}$.
- VIII. Podłączyć przewodem sygnał z kanału 2 do wejścia ozn. ADD INPUT znajdującego się na tylnej płycie generatora.
- IX. W opcji kanału 1 (przycisk CH1) wybrać MENU→EXTERNAL ADD→ON.
- X. Dla oscyloskopu przyjąć punkt pracy:
- pokrętko SENSITIVITY = 20 mV
 - pokrętko TIME = 1 ms
 - wyłączyć opcję pamięci ekranu (przycisk DISPLAY→PERSIST→OFF)
 - zastosować filtrację cyfrową DIGITAL FILTER,
 - włączyć operację pomiaru wartości międzyszczytowej V_{pp} (przycisk MEASURE→SOURCE CH1→VOLTAGE)
- XI. Dokonać rejestracji sygnału i pomiaru jego amplitudy dla zadanych właściwości filtru.
- XII. Wyniki pomiarów i oscylogramy umieścić w tab. 8.
- XIII. Po pomiarach wyłączyć przyrządy i rozłączyć przewody.

Tab. 7. Filtracja sygnału użytecznego

Szum $1V_{pp}$, sygnał SINUS $100mV_{pp}$				
Rodzaj filtru	Dolno przepustowy		Środkowo przepustowy	
Parametry f_{gr}	$1,25 \text{ kHz}$	8 kHz	$1,25 \text{ kHz}$ $1,5 \text{ kHz}$	$0,5 \text{ Hz}$, $2,0 \text{ kHz}$
Wartość U_{PP}				
Dolno Przepustowy $1,25 \text{ kHz}$		Dolno Przepustowy 8 kHz		

Środkowoprzepustowy 1,25 kHz; 1,5 kHz	Środkowoprzepustowy 0,5 Hz; 2,0 kHz
--	--

Pytanie 2. Jak wpływa dobór układów filtracyjnych i ich parametrów na kształt odbieranego sygnału oraz stosunek mocy sygnału do mocy szumu?

.....

.....

.....

.....

2.3. Zastosowanie metody uśredniania

- I. Podłączyć wyjście generatora ozn. OUTPUT CH1 do wejścia oscyloskopu ozn. CH1.
- II. Dla generatora przyjąć punkt pracy:
 - przebieg MORE...→MORE WAVEFORM MENU→NOISE,
 - parametry FREZ 1 MHz, PHASE 0°, AMPL 1 Vpp, OFFSET 0m V.
- III. Dla oscyloskopu przyjąć punkt pracy:
 - pokrętko SENSITIVITY = 50 mV
 - pokrętko TIME = 1 ms
 - przycisk ACQUIRE→AQUISITION→AVERAGING→16
 - przycisk DISPLAY→PERSIST→INFINITIVE
- IV. Włączyć sygnał wyjściowy z generatora (przycisk ON na wyjściu CH1).
- V. Odczekać ok. 15 s po czym wstrzymać pracę oscyloskopu (przycisk RUN/STOP).
- VI. Wyłączyć sygnał z generatora (przycisk ON na wyjściu CH1).
- VII. Dokonać pomiaru wartości międzyszczytowej napięcia zarejestrowanego przez oscyloskop.
- VIII. Następnie zmienić liczbę uśrednianych próbek na 128.
- IX. Przeprowadzić ponownie procedurę pomiarową (dopasować czułość oscyloskopu, włączyć sygnał z generatora, włączyć oscyloskop na 15 s.).
- X. Wyniki pomiarów wpisać do tab.9.

Tab. 8. Wpływ uśredniania na poziom szumów

Liczba uśrednień	16	128	Zależność
Wartość międzyszczytowa napięcia			

Pytanie 3. Jaki jest związek między liczbą uśrednień a wartością międzyszczytową szumów?

.....

.....

- I. Dla generatora zastosować tryb pracy z dodawaniem sygnału zewnętrznego.
- II. W kanale 1 ustalić parametry przebiegu:
 - przebieg SINUS,
 - amplituda 100 mV_{pp}.
 - częstotliwość 1367 Hz.
- III. W kanale 2 ustalić parametry szumu:
 - FREZ 1MHz, PHASE 0°, AMPL 1 V_{pp}, OFFSET 0 mV.
- IV. Podłączyć przewodem sygnał z kanału 2 do wejścia ozn. ADD INPUT znajdujące się na tylnej płycie generatora.
- V. Zastosować opcję synchronizacji poprzez połączenie wyjścia generatora ozn. OUT do wejścia oscyloskopu ozn. EXT.TRIG.
- VI. W opcji kanału 1 (przycisk CH1) wybrać MENU→EXTERNAL ADD→ON.
- VII. Dla oscyloskopu przyjąć następujący punkt pracy:
 - pokrętko SENSITIVITY = 50mV
 - pokrętko TIME = 500ns
 - wyłączyć opcję pamięci ekranu (przycisk DISPLAY→PERSIST→OFF)
 - wyłączyć filtrację cyfrową DIGITAL FILTER,
 - synchronizacja sygnałem zewnętrznym: TRIGGER MENU
- VIII. Dokonać rejestracji sygnału i pomiaru jego wartości międzyszczytowej U_{pp} dla zadanej liczby uśrednień.
- IX. Wyniki pomiarów i oscylogramy umieścić w tab. 10.
- X. Po pomiarach wyłączyć przyrządy i rozłączyć przewody.

Tab. 9. Pomiar sygnału przy zastosowaniu operacji uśredniania

Szum 1V _{pp} , sygnał SINUS 100mV _{pp}		
Liczba uśrednień	16, U _{pp} =	128, U _{pp} =
Oscylogramy		

Pytanie 4. Jak wpływa zastosowanie procedury uśredniania na kształt odbieranego sygnału oraz stosunek mocy sygnału do mocy szumu?

.....

2.3. Zastosowanie przekształcenie FFT

Oscyloskop umożliwia wykonanie transformaty FFT, jednak w trakcie pomiarów należy pamiętać o:

- konfiguracji wejścia analizowanego sygnału w sprzężeniu AC,
- doboru odpowiedniej częstotliwości próbkowania w celu minimalizacji efektów związanych z nakładaniem się widma.

I. Dla generatora w kanale 1 ustalić parametry przebiegu sygnałowego:

- przebieg SINUS,
- amplituda 100 mV_{pp}.
- częstotliwość 1367 Hz.

II. Dla oscyloskopu przyjąć punkt pracy:

- pokrętko SENSITIVITY = 200 mV
- pokrętko TIME = 2 ms
- sprawdzić wyłączenie opcji pamięci ekranu (przycisk DISPLAY→PERSIST→OFF)
- sprawdzić wyłączenie filtracji cyfrowej DIGITAL FILTER,
- włączyć operację wyznaczania transformaty FFT dla kanału 1: MATH→FFT i ustalić parametry: WINDOW→HANNING, DISPLAY→SPLIT, SCALE→VRMS

III. Podłączyć wyjście generatora CH1 z wejściem oscyloskopu CH1.

IV. Wykonać pomiar amplitudy i częstotliwości pierwszej harmonicznej dla poszczególnych częstotliwości próbkowania. Częstotliwość próbkowania zmienia się poprzez zmianę podstawy czasu przebiegu w kanale 1. UWAGA: aby dokonać zmiany częstotliwości próbkowania należy być w oknie aktywnym przebiegu (nacisnąć przycisk CH1). Wartość częstotliwości próbkowania jest wyświetlana na środku ekranu oscyloskopu.

V. Pomiary powtórzyć dla szumu i sygnału prostokątnego o tej samej częstotliwości i amplitudzie.

VI. Wyniki i kształt zarejestrowanych widm zamieścić w tab.11

Tab. 10. Zastosowanie FFT

Sygnał SINUS 100mV _{pp}				
Częstotliwość próbkowania	100kHz/2ms		1,356kHz/500ms	
Amplituda i częstotliwość pierwszej harmonicznej	U=	f=	U=	f=
Widmo dla okna Hanninga				
Sygnał PROSTOKĄT 100mV _{pp}				
Częstotliwość próbkowania	500kHz/500ms		25kHz/10ms	
Amplituda i częstotliwość harmonicznych	I) II)	I) II)	I) II)	I) II)

Widmo dla okna Hanninga		
SINUS 100mV, SZUM 1V _{pp}		
Częstotliwość próbkowania	250kHz/2ms	
Amplituda i częstotliwość pierwszej harmonicznej	U=	f=
Widmo		

Pytanie 5. Jak wpływa zmiana częstotliwości próbkowania na kształt widma odbieranego sygnału?

.....

.....

.....

.....

- I. Dla generatora zastosować tryb pracy z dodawaniem sygnału zewnętrznego.
- II. W kanale 1 ustalić parametry przebiegu sygnałowego:
 - przebieg SINUS,
 - amplituda 100 mV_{pp}.
 - częstotliwość 1367 Hz.
- III. W kanale 2 ustalić parametry szumu:
 - FREQ 1 MHz, PHASE 0°, AMPL 1 V_{pp}, OFFSET 0 mV.
- IV. Podłączyć przewodem sygnał z kanału 2 do wejścia ozn. ADD INPUT znajdujące się na tylnej płycie generatora.
- V. Zastosować opcję synchronizacji poprzez połączenie wyjścia generatora ozn. OUT do wejścia oscyloskopu ozn. EXT. TRIG.
- VI. W opcji kanału 1 (przycisk CH1) wybrać MENU→EXTERNAL ADD→ON.
- VII. Dla oscyloskopu przyjąć następujący punkt pracy:
 - pokrętko SENSITIVITY = 100 mV
 - pokrętko TIME = 1ms
 - sprawdzić wyłączenie opcji pamięci ekranu: przycisk DISPLAY→PERSIST→OFF
 - sprawdzić wyłączenie filtracji cyfrowej DIGITAL FILTER,
 - włączyć operację wyznaczania transformaty FFT dla kanału 1: MATH→FFT i parametry: WINDOW→HANNING, DISPLAY→SPLIT, SCALE→VRMS
- VIII. Podłączyć wyjście generatora OUTPUT CH1 z wejściem oscyloskopu CH1.

- IX. Włączyć sygnał z generatora.
 X. Wykonać pomiar amplitudy i częstotliwości pierwszej harmonicznej. Wartość częstotliwości próbkowania jest wyświetlana na środku ekranu oscyloskopu.
 XI. Wyniki i kształt zarejestrowanych widm zamieścić w tab.12. Identyczne pomiary wykonać z uśrednianiem FFT (przycisk ACQUIRE→ACQUISITION→AVERAGING→128)

Tab. 11. Uśrednianie FFT

SZUM 1V _{pp} , SINUS=100mV _{pp}		
Częstotliwość próbkowania	Pierwsza harmoniczna	
f _p =250kHz	Bez uśredniania	Z uśrednianiem (128)
		U= f=
Widmo		

Pytanie 6. Jaka jest efektywność zastosowania transformaty FFT i uśrednionej transformaty FFT dla odbioru sygnałów o niskim poziomie?

.....

- XII. Powtórzyć pomiary w przypadku zastosowania filtracji cyfrowej.
 XIII. Parametry generatora bez zmian.
 XIV. Dla oscyloskopu przyjąć punkt pracy:
 – pokrętko SENSITIVITY = 200 mV
 – pokrętko TIME = 5 ms
 – sprawdzić wyłączenie opcji pamięci ekranu (przycisk DISPLAY→PERSIST→OFF)
 – włączyć filtrację cyfrową DIGITAL FILTER,
 – włączyć operację wyznaczania transformaty FFT dla kanału 1: MATH→FFT i parametry: WINDOW→HANNING, DISPLAY→SPLIT, SCALE→VRMS
 XV. Podłączyć wyjście generatora OUTPUT CH1 z wejściem oscyloskopu CH1.
 XVI. Włączyć sygnał z generatora.
 XVII. Wyniki i kształt zarejestrowanych widm zamieścić w tab.13.

Tab. 12. Filtracja cyfrowa i przekształcenie FFT

Szum 1V _{pp} , sygnał SINUS 100mV _{pp}				
Rodzaj filtru	Dolnoprzepustowy		Środkowoprzepustowy	
Parametry f _{gr}	1,3kHz	1,4kHz	1,3kHz 1,4kHz	1kHz, 1,8kHz

Oscylogramy	Dolnoprzepustowy 1,3kHz	Dolnoprzepustowy 1,4kHz
	Środkowoprzepustowy	Środkowoprzepustowy

Pytanie 7. Jaki jest ma zastosowanie dodatkowej filtracji na widmo sygnału w przypadku transformaty FFT?

.....

.....

.....

3. Detekcja sygnałów optycznych z zaawansowanym przetwarzaniem sygnałów

Układ pomiarowy składa się ze źródła promieniowania oraz odbiornika. Źródło promieniowania tworzy dioda LED sterowana sygnałami elektrycznymi z generatora Tektronix serii 3200. W układzie odbiornika umieszczona została fotodiody krzemowa. Jako układ przetwarzania sygnałów realizujący zaawansowane metody przetwarzania sygnałów zastosowano oscyloskop RIGOL.

3.1. Zastosowanie filtracji cyfrowej

- I. Dla generatora w kanale 1 ustalić parametry przebiegu:
 - przebieg SINUS,
 - amplituda 2V_{pp},
 - offset 1V,
 - częstotliwość 1367 Hz.
- II. Dla oscyloskopu przyjąć następujący punkt pracy:
 - pokrętko SENSITIVITY = 50 mV
 - pokrętko TIME = 2 ms
 - sprawdzić wyłączenie opcji pamięci ekranu: przycisk DISPLAY→PERSIST→OFF
 - wyłączyć opcję filtracji cyfrowej DIGITAL FILTER.
- III. Połączyć wyjście generatora CH1 do diody LED. Włączyć sygnał z generatora. Wykonać pomiar amplitudy i częstotliwości sygnału z wyjścia głowicy detekcyjnej.
- IV. Wyniki i kształt zarejestrowanych sygnałów zamieścić w tab.14. Identyczne pomiary wykonać z opcją filtracji cyfrowej.

Tab. 13. Detekcja z zastosowaniem filtrów cyfrowych

Rodzaj filtru	Bez filtru	Środkowo przepustowy
Parametry		1,0kHz; 1,5kHz

	Dolnoprzepustowy	
	1,3kHz	1,7kHz

Pytanie 8. Jaki jest wpływ zastosowania filtracji na kształt sygnału z głowicy?

.....

.....

.....

.....

3.2. Zastosowanie uśredniania sygnału

- I. Włączyć ponownie oświetlenie w laboratorium. Dla generatora w kanale 1 ustalić parametry przebiegu:
 - przebieg PROSTOKĄT,
 - amplituda 2 V_{pp},
 - offset 1 V,
 - częstotliwość 111 Hz.
- II. Dla oscyloskopu przyjąć następujący punkt pracy:
 - pokrętko SENSITIVITY = 50 mV
 - pokrętko TIME = 20 ms
 - włączyć operację wyznaczania transformaty FFT dla kanału 1: MATH→FFT i parametry: WINDOW→HANNING, DISPLAY→SPLIT, SCALE→VRMS
- III. W tabeli 15 umieścić kształt zarejestrowanych widm. Odczytać amplitudy i częstotliwości poszczególnych harmoniczných.
- IV. Pomiary wykonać dla różnych konfiguracji filtrów cyfrowych

Tab. 14. Zastosowanie FFT w układach detekcji sygnałów optycznych

	bez filtru	Filtr dolnoprzepustowy f=0,5kHz
Amplituda i częstotliwość harmoniczných	I) II) III)	I) II) III)

4 PODSTAWOWE WIADOMOŚCI TEORETYCZNE

4.1 Wprowadzenie

Zaawansowane metody detekcji sygnałów optycznych są stosowane przeważnie do wykrywania sygnałów optycznych o bardzo niskim poziomie. Są one zatem używane w sytuacjach, gdzie występować może znaczny wpływ zakłóceń i szumów. W ogólnej postaci, układy detekcyjne mogą składać się z czterech zasadniczych elementów:

- elementów mechanicznych i optycznych,
- detektora,
- przedwzmacniacza,
- układu przetwarzania sygnałów.

W praktyce wykorzystuje się dwie grupy metod detekcji. Pierwsza z nich wykorzystuje techniki analogowe, które w odpowiedni sposób kształtują sygnały docierające do układu przetwarzania sygnałów. Można zatem przyjąć, że korzystają one zasadniczo z trzech pierwszych bloków układu detekcyjnego. Do najważniejszych metod analogowych można zaliczyć:

- zastosowanie elektronicznych filtrów analogowych CR-RC (odpowiednie filtry aktywne),
- detekcję fazoczułą (odbiór heterodynowy, homodynowy),
- detekcję z synchronicznym całkowaniem.

Informacja o poziomie sygnału optycznego zawarta jest bezpośrednio w amplitudzie sygnału wyjściowego.

Drugą grupę zaawansowanych metod detekcji stanowią układy detekcyjne wykorzystujące cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Realizować mogą one następujące operacje matematyczne:

- przekształcenie DFT i FFT,
- uśrednianie,
- filtrację cyfrową.

Wymagają one jednak wykonania operacji próbkowania i kwantyzacji sygnałów.

4.2 Zastosowanie operacji DFT/FFT

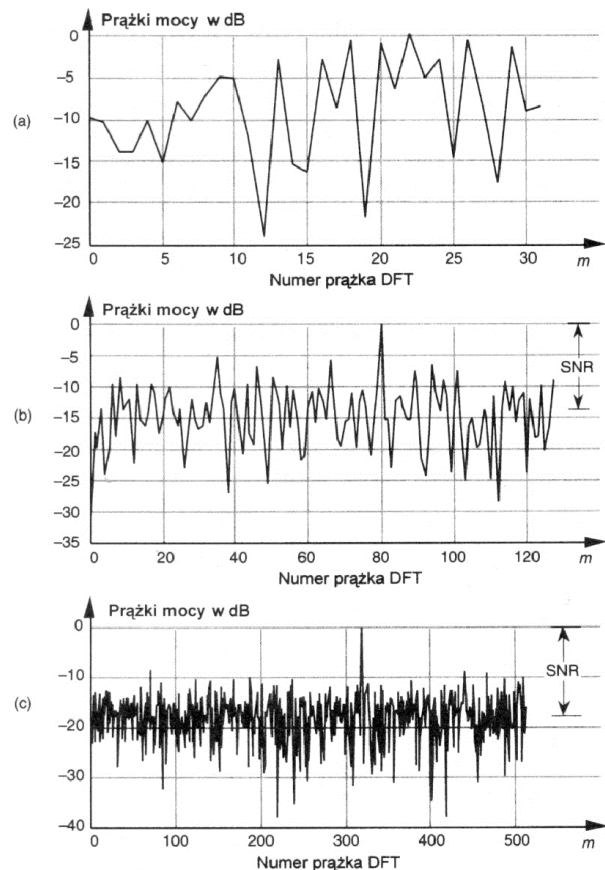
Dyskretne przekształcenie Fouriera służy w głównej mierze do wyznaczenia zawartości harmonicznej, lub częstotliwościowej, sygnału dyskretnego. Równanie DFT ma postać:

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi mn/N} \quad (1)$$

gdzie $x(n)$ jest dyskretnym ciągiem próbkowanych wartości w dziedzinie czasu ciągłej zmiennej $x(t)$.

Zastosowanie DFT daje możliwość poprawy stosunku sygnału do szumu poprzez wykonanie pojedynczej lub wielokrotnej operacji DFT. Uzyskanie tego efektu związane jest przede wszystkim z korelacją dla każdej N-punktowej DFT. Dodatkowe wprowadzenie uśredniania wartości wyjściowych DFT powoduje jeszcze bardziej znaczący zysk przetwarzania.

W rozważaniach tych można przyjąć, że pojedynczy prążek w widmie DFT prezentuje filtr o bardzo wąskim paśmie. Prążek ten charakteryzuje odpowiedź amplitudową funkcji $\sin(x)/x$ a kształt widma jest związany faktycznie z widmowym obszarem blisko głównego listka prążka. Wartość maksymalna transformaty DFT rośnie wraz ze zwiększaniem liczby punktów natomiast listki boczne stają się coraz bardziej wąskie. Prążek wyjściowy otrzymany w DFT może być zatem traktowany jako filtr o regulowanym wzmocnieniu oraz szerokości pasma – rys.7. Szum w sygnale może zostać zminimalizowany poprzez zastosowanie operacji DFT o określonej liczbie punktów.



Rys. 6. Wizualizacja poprawy stosunku mocy sygnału do mocy szumu dla pojedynczej DFT: N=64 (a), N=256 (b), N=1024 (c)

do

Istotnym zagadnieniem jest uzyskanie odpowiedniego zysku, czyli wzrostu SNR. Trudno jest jednak przewidzieć dokładnie na jakim poziomie się go otrzyma, gdyż nie wiadomo jaki jest dokładny rozkład widmowy szumu. Drugim problemem jest odpowiednie położenie częstotliwości sygnału użytecznego w środku ww. prążka. Każda rozbieżność spowoduje w tym przypadku przeciek, który podniesienie efektywny szum tła. Zastosowanie odpowiednich okien daje możliwość minimalizacji efektu przecieku jednak nie uzyska się idealnego dopasowania. Ogólnie można jednak przyjąć, że SNR po przeprowadzeniu procedury DFT wzrasta wraz ze wzrostem ilości punktów N. Wartość odchylenia standardowego prążka wyjściowego szumu jest proporcjonalna do \sqrt{N} , a amplituda sygnału użytecznego do N. W praktyce można zatem przyjąć, że dwukrotne zwiększenie rozmiaru DFT spowoduje wzrost SNR o 3dB. Jednak należy pamiętać, że wzrost liczby punktów powoduje jednocześnie znaczny wzrost operacji matematycznych (mnożeń). Aby ominąć ten problem można zastosować tzw. uśrednianie wielokrotnych DFT. Obecnie jednak mało urządzeń stosuje standardowo DFT. Opracowano już tzw. algorytm implementujący DFT. Nazywany jest on szybkim przekształceniem Fouriera – FFT. Jedynym warunkiem konieczny do zastosowania FFT jest wymagana liczba punktów, która musi być całkowitą potęgą liczby 2.

4.3 Zastosowanie uśredniania sygnałów

Uśrednianie polega na sumowaniu ciągu próbek sygnału w dziedzinie czasu a następnie dzielenia otrzymanej wartości przez liczbę próbek. Oprócz wartości średniej można również wyznaczyć odchylenie standardowe. Parametr ten wskazuje jednoznacznie poziom fluktuacji sygnału wokół wartości średniej. W praktyce istnieją dwie metody uśredniania: koherentne i niekoherentne.

4.3.1 Uśrednianie koherentne.

Uśrednianie koherentne nazywane jest również liniowym, przeddetekcyjnym, wektorowym. Główną ideą tej metody jest synchronizacja czasowa próbkowania sygnału. Warunkiem koniecznym jest tutaj zachowanie stałej wartości fazy sygnału w każdym zbiorze pobranych próbek. Uśrednianie to minimalizuje wariancję szumu przy zachowaniu

wartości chwilowych sygnału, które są zachowane w każdym zbiorze. Przyjmując, że odchylenie standardowe serii pomiarów sygnału użytecznego wynosi σ_{we} to wartość odchylenia $\sigma_{\dot{s}r}$ ciągu uśrednień N-punktowych wyrazić można wzorem:

$$\sigma_{\dot{s}r} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

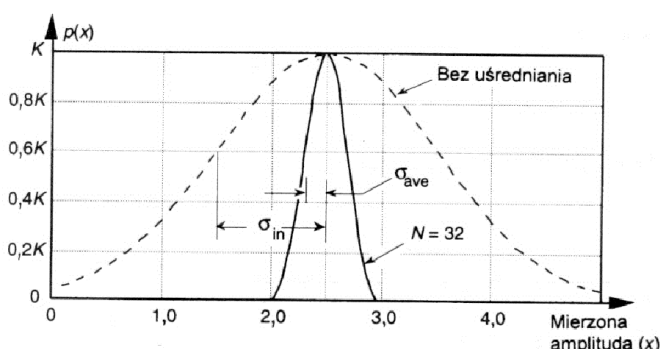
W przypadku redukcji poziomu szumów można przyjąć, że otrzyma się w drodze uśrednień zysk wartości stosunku SNR wynoszący:

$$\text{zyskSNR}_{\text{coh}} = \frac{\text{SNR}_{\dot{s}r}}{\text{SNR}_{we}} = \sqrt{N}, \quad (3)$$

w skali decybelowej:

$$\text{zyskSNR}_{\text{coh}} (\text{dB}) = \frac{\text{SNR}_{\dot{s}r}}{\text{SNR}_{we}} = 10 \log_{10} N. \quad (4)$$

Otrzymany efekt można zobrazować na rozkładzie gęstości prawdopodobieństwa – rys.8



Rys. 7. Krzywe gęstości prawdopodobieństwa mierzonych amplitud impulsu bez uśredniania (N=1) i z N=32 uśrednieniami

4.3.2 Uśrednianie niekoherentne.

Uśrednianie niekoherentne jest nazywane również jako postdetekcja, uśrednianie video lub rms. Metoda nie zakłada synchronizacji przedziałów czasu pomiaru sygnału z fazą mierzonego sygnału. W dziedzinie czasu, uśrednianie takie powodowałoby rozmycie przebiegów zatem nie jest zbyt użyteczne. Przejście jednak do dziedziny częstotliwości powoduje zwiększenie dokładności względnych mocy sygnału. Jest ono zatem stosowane np. w analizatorach widma, analizatorach sygnałów itd. Przyrządy te, w części analogowej, są wyposażone w wąskopasmowy filtr przestrajalny, do wyjścia którego dołączony jest detektor mocy. Dane z tego detektora przedstawiają jedynie wartość mocy sygnału a nie jego fazę. Bezpośrednio nie uzyskuje się przy tym poprawy stosunku sygnału do szumu, ale zwiększa się poprawność pomiarów sygnałów w obecności szumów. Poprzez uśrednianie zmniejsza się wartość wariancji szumu w widmie mocy, ale nie poprawia stosunku mocy sygnału do mocy szumu. Inaczej mówiąc, poziom średniej mocy szumu pozostaje niezmienny. Wartość zysku SNR otrzymana w tej metodzie wyraża się wzorem:

$$\text{zyskSNR}_{\text{ncoh}} (\text{dB}) = \frac{\text{SNR}_{\dot{s}r}}{\text{SNR}_{we}} = 10 \log_{10} (\sqrt{N}) \quad (5)$$

4.3.3 Uśrednianie wielokrotne FFT

Zgodnie z wcześniejszym opisem DFT/FFT, zysk przetwarzania uzależniony jest od ilości próbek. Jednak duża ich ilość wymaga przetwarzania dużej ilości liczb. Ze względu na szybkość i mniejszą złożoność operacji dodawania aniżeli mnożenia, można przeprowadzić procedurę uśredniania wartości wyjściowych wielokrotnych FFT. Przypadkowe fluktuacje szumu w prążkach FFT ulegają zmniejszeniu, natomiast sam moduł (wartość średnia) pozostaje stały. Również dla tej metody istnieją dwa rodzaje zysków: koherentny i niekoherentny.

W przypadku uśredniania niekoherentnego otrzymuje się jedynie zmniejszenie zakresu fluktuacji mocy szumu. Natomiast wartość mocy prążka sygnałowego nie ulega zmianie. Zwiększenie ilości uśrednień nie wpływa na wartość tego prążka powoduje natomiast zbliżenie się prążków mocy szumu do prawdziwej średniej mocy szumów.

Dla koherentnego zysku wymagane jest przeprowadzenie oddzielnych operacji dla uśredniania części rzeczywistych i urojonych. Informacja zawarta w części urojonej wskazuje fazę danego prążka. Dzięki temu istnieje możliwość, że dla nieskorelowanego szumu poszczególne prążki ich mocy mogą się niwelować. Zatem, w odróżnieniu od niekoherentnego uśredniania, nastąpić może znaczny spadek wartości średniej szumu. Jednak istotnym ograniczeniem tej metody jest zachowanie stałej wartości fazy. W praktyce rzadko spotyka się sygnały, które charakteryzują się stałą fazą na początku każdego przedziału próbkowania w dziedzinie czasu.

4.3.4 Uśrednianie wykładnicze

Uśrednianie wykładnicze stosuje się w sprzeczności do pomiaru mocy. W metodzie tej następuje redukcja szumu poprzez pomnożenie próbki wejściowej przez stałą i dodanie do wyniku uzupełnienia tej stałej do jedynki, przemnożonego przez poprzednią wartość wyjściową systemu uśredniającego. Algorytm ten można opisać wzorem:

$$y(n) = \alpha x(n) + (1 - \alpha)y(n-1) \quad (6)$$

gdzie $y(n)$ jest aktualną próbką wyjściową, $y(n-1)$ – wartość poprzedniej próbki wyjściowej, α – współczynnik wagowy. Istotną zaletą tego systemu jest możliwość zmiany poziomu redukcji szumu poprzez zmianę współczynnika wagowego. Dla współczynnika równego 1, poszczególne próbki nie są tłumione – brak uśredniania. Wraz ze zmniejszeniem wartości α poprzednie próbki sygnału coraz bardziej oddziałują na aktualne wartości. Im mniejszą wartość przypisuje się współczynnikowi wagowemu, tym większa jest osiągana redukcja szumu. Jednak wpływa to również na szybkość odpowiedzi systemu uśredniającego na zmiany sygnału wejściowego. Wartość parametru SNR można zapisać w funkcji tego współczynnika:

$$\text{SNR}_{\text{exp}} = 10 \log_{10} \left(\frac{\alpha}{2 - \alpha} \right) \quad (7)$$

4.4 Zastosowanie filtrów cyfrowych

Filtracja jest procesem przetwarzania w dziedzinie czasu mającym na celu wywołanie zmiany w widmie sygnału wejściowego. Zmiany te mogą dotyczyć m.in. redukcji, odfiltrowaniu pewnych składowych sygnału. W przypadku filtru analogowego filtracja dotyczy sygnału ciągłego. Dla filtrów cyfrowych operacje filtracji dotyczą wartości dyskretnych. Filtr cyfrowy może być realizowany programowo lub też sprzętowo (programowalny procesor, dedykowany układ scalony). W praktyce spotyka się dwa rodzaje filtrów cyfrowych: filtry o skończonej odpowiedzi impulsowej (SOI) i filtry o nieskończonej odpowiedzi impulsowej NOI. Poprzez odpowiedni dobór filtrów, kształtu ich charakterystyk można w prosty sposób ograniczyć pasmo mierzonych sygnałów. W odróżnieniu od filtrów analogowych, można szybko, dokładnie i w prosty sposób dopasować charakterystykę filtru do widma sygnału użytecznego. Oprócz tego, układy cyfrowe SOI zapewniają również uzyskanie dobrej selektywności charakterystyki widmowej przy zachowaniu stabilnych warunków pracy.

5 Literatura:

1. Z. Bielecki, A. Rogalski „Detekcja sygnałów optycznych”, WNT 2001.
2. R. G. Lyons, „Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów”, WKŁ 1999.