



**WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA**  
**INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI**

**LABORATORIUM UKŁADÓW PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW OPTYCZNYCH**

GRUPA: .....	PROTOKÓŁ DO ĆWICZENIA nr .....	
Skład podgrupy nr .....	Temat ćwiczenia: <b>Badanie układów detekcji fazoczułej – wzmacniacz cyfrowy SR844</b>	
	Data wykonania ćwiczenia .....	Prowadzący ćwiczenie .....
	Ocena .....	Podpis prowadzącego ćw. .....
1. ....		
2. ....		
3. ....		
4. ....		
5. ....		
6. ....		
7. ....		
8. ....		

**Tab. 1. Dane urządzeń pomiarowych**

Lp.	Nazwa urządzenia	Marka	Typ
1	<i>Komputer z oprogramowaniem LabVIEW</i>	.....	.....
2	<i>Generator HAMEG</i>	.....	.....
3	<i>Głowica NDN</i>	.....	.....
4	<i>Wzmacniacz Lock-In SR 844</i>	.....	.....
5	<i>Zasilacz DC</i>	.....	.....
6	<i>Wzmacniacz Lock-In LIA</i>		
7			

## 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 układów detekcji fazoczułej oraz wzmacniaczy typu Lock-In.

## 2 Opis układu pomiarowego

Stanowisko laboratoryjne składa się z trzech zasadniczych bloków:

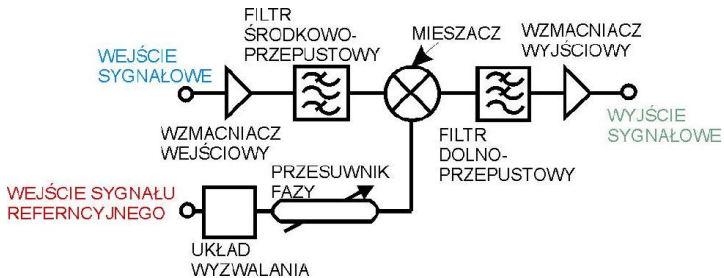
- komputera z oprogramowaniem symulacyjnym,
- wzmacniacza typu Lock - In wraz z zestawem generatorów.

### 2.1. Moduł symulacyjny

Opracowany model symulacyjny opisujący działanie układu wzmacniacza wykonuje wszystkie procedury, które dotyczą detekcji fazoczułej. Należą do nich:

- wstępna filtracja badanego sygnału,
- mieszanie sygnału użytecznego z sygnałem odniesienia,
- przeprowadzenie odfiltrowania składowych wysokoczęstotliwościowych,
- wyświetlenie wartości sygnału wyjściowego ze wzmacniacza.

Schemat funkcjonalny oprogramowania do symulacji układu detekcji fazoczułej opracowano opierając się na konstrukcji wzmacniacza fazoczułego –rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy wzmacniacza typu Lock-In

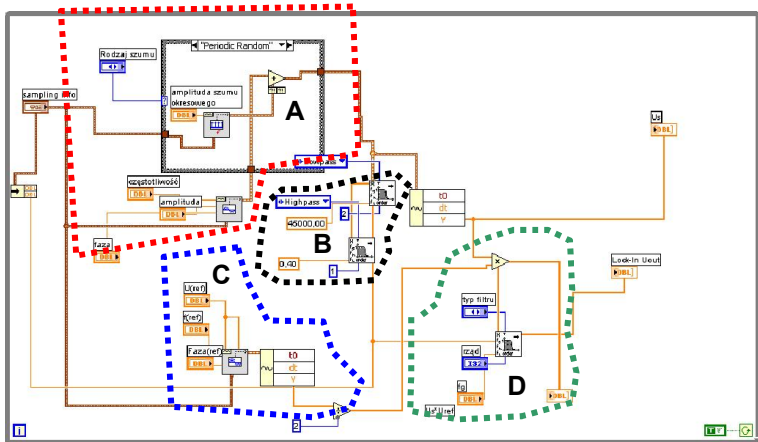
Na rysunku 2 przedstawiono algorytm oprogramowania wraz z zaznaczonymi blokami.

W schemacie tym wyróżnia się cztery zasadnicze bloki:

- generator (A), wytwarzający sygnał badany,
- układ wejściowy (B), ograniczający pasmo badanego sygnału,

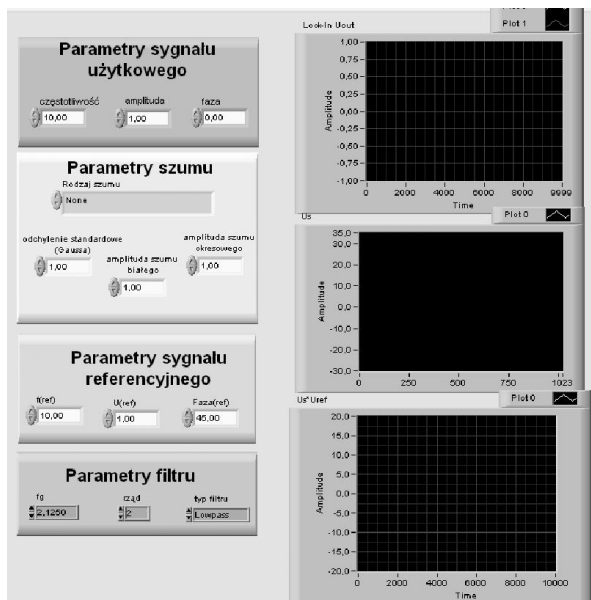
- system referencyjny (C), ustalający parametry sygnału referencyjnego,
- mieszający i filtrowania (D).

Istotnym elementem modułu symulatora jest generator analizowanego przebiegu. W bloku tym użytkownik ma możliwość określenia parametrów sygnału użytecznego tzn. jego kształtu, amplitudy, częstotliwości, składowej stałej itd. W dodatkowej opcji istnieje również możliwość dodania do tego sygnału napięcia szumu. Napięcie to może mieć charakter szumu białego, szumu Gaussa lub szumu periodycznego. Każdy z tych szumów charakteryzuje się pewnymi właściwościami, które użytkownik może zmieniać.



Rys. 2. Schemat funkcjonalny algorytmu symulatora dla wzmacniacza typu Lock-In

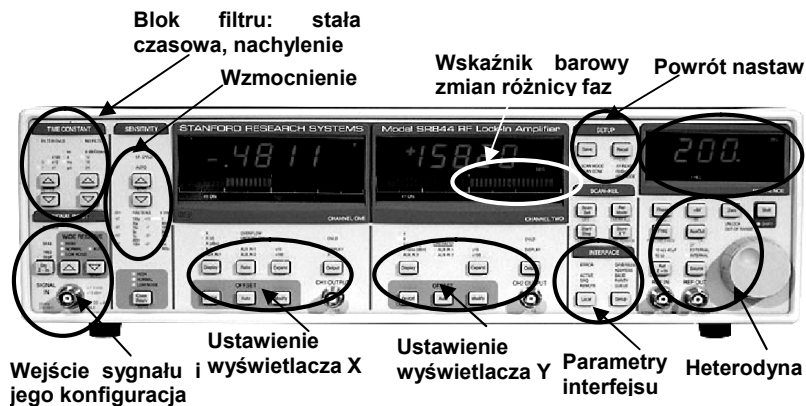
Sygnał z generatora podano na układ filtracji wejściowej wzmacniacza fazoczułego. Zasadniczym elementem tego układu jest filtr górnoprzepustowy, dla którego można definiować np. wartość częstotliwości odcięcia, jego typ oraz rząd. Sygnał po odfiltrowaniu jest podany na element mnożący. Na tym etapie sygnał użyteczny jest mieszany z sygnałem referencyjnym. Sygnał referencyjny pochodzi z generatora sinusoidalnego, w którym można nastawiać amplitudę, częstotliwość oraz fazę. Dzięki temu uzyskuje się możliwość wzmacniania i synchronizowania sygnału użytecznego. Sygnał zmodulowany podany jest na układ filtra dolnoprzepustowego. W układzie tym istnieje możliwość określenia tych samych właściwości jak w przypadku wcześniej opisanego filtra górnoprzepustowego. Przy użyciu specjalnie przygotowanego panelu, użytkownik ma możliwość zmiany parametrów opisanych powyżej bloków.



Rys. 3. Widok panelu sterowania symulatora detekcji fazoczułej

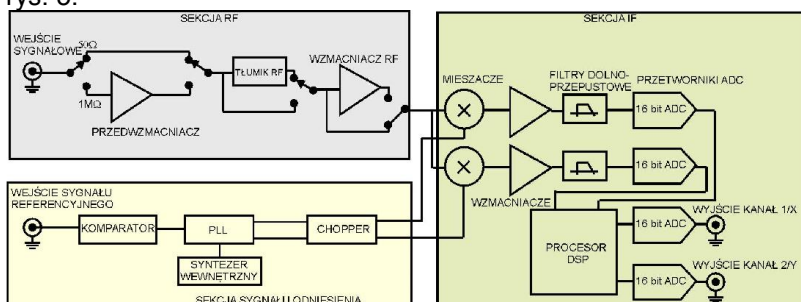
## 2.2. Wzmacniacz fazoczuły SR844

Drugie stanowisko pomiarowe składa się ze wzmacniacza Lock-In model SR 844 firmy Stanford Research oraz dwóch generatorów. Zadaniem generatorów jest wytwarzanie sygnałów o określonych kształtach i parametrach. Wzmacniacz SR 844 posiada pasmo sygnałowe od 25 kHz do 200 MHz (rys.4).



Rys. 4. Widok panelu czołowego przyrządu SR844

Zastosowanie procesora sygnałowego DSP zapewnia uzyskanie dużej dynamiki, dokładności ustawień przesunięcia kąta fazowego dla sygnału referencyjnego oraz parametrów filtracji sygnału. Wzmacniacz posiada jedno wejście o programowalnej impedancji. Czułość przyrządu można zmieniać w zakresie od  $1 V_{rms}$  (+13 dBm) do  $100 nV_{rms}$  (-127 dBm). Jako sygnał referencyjny, może być zastosowany sygnał z generatora wewnętrznego (INTERNAL) lub zewnętrznego (EXTERNAL). W przypadku sygnału wewnętrznego, jego częstotliwość ustala się z 3 cyfrową dokładnością. Stałą czasową charakterystyki filtru można zmieniać w zakresie od 100  $\mu s$  do 30 ks a jej nachylenie 6, 12, 18 24 dB/oct. Płyta czołowa posiada dwa wyświetlacze, na których można konfigurować aktualnie wyświetlane zmienne. Schemat blokowy przyrządu przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Schemat blokowy przyrządu SR844

Przyrząd zasadniczo składa się z trzech części:

- bloku sygnału wejściowego,
- bloku obróbki sygnałów,
- bloku sygnału referencyjnego (odniesienia).

Blok sygnału wejściowego:

- umożliwia dopasowanie przyrządu do impedancji badanego źródła (50  $\Omega$  lub 1 M $\Omega$ ),
- określa pasmo badanych częstotliwości (filtr 200 MHz),
- tłumi sygnały, których amplituda może spowodować przesterowanie przyrządu (OVERLOAD),
- tłumi sygnały stałe (DC) oraz sygnały z sieci, które mogą interferować z mierzonymi sygnałami (filtr 20 kHz),
- umożliwia wzmocnienie sygnałów.

Blok sygnału odniesienia:

- wykrywa maksymalne i minimalne wartości sygnału referencyjnego i ustawia poziom wyzwalania na wartość średnią,

- utrzymuje warunek, aby krawędzie sygnałów z dzielnika częstotliwości i wyjścia komparatora progowego były zgodne (pętla fazowa i dzielnik częstotliwości),
- dokonuje przesunięcia jednego sygnału referencyjnego ( $Y_{ref}$ ) o  $90^0$  względem drugiego ( $X_{ref}$ ),
- pracuje jako źródło sygnału referencyjnego, wyłącznie w trybie INTERNAL (syntezier).

Blok obróbki sygnałów (IF):

- dokonuje operacji wymnożenia sygnałów referencyjnych (w fazie i przesuniętego o  $90^0$ ) z sygnałem wejściowym,
- przeprowadza tłumienie składowych wysokoczęstotliwościowych (filtr 180 kHz),
- umożliwia regulację czułości przyrządu (blok wzmacnienia IF),
- eliminuje możliwość powstania zjawiska aliasingu w trakcie cyfrowego przetwarzania sygnałów (filtr antyaliasingowy).

Przyrząd SR 844 mierzy wejściowy sygnał szumu blisko częstotliwości referencyjnej, którego pasmo wiąże się ściśle z ekwiwalentnym pasmem szumów ( $f_{noise}$ ) określonym przez stałą czasową filtru oraz nachylenie jego charakterystyki. Zależność ta jest wyrażona w tab.2.

Tab. 2. Pasmo szumowe wzmacniacza SR844

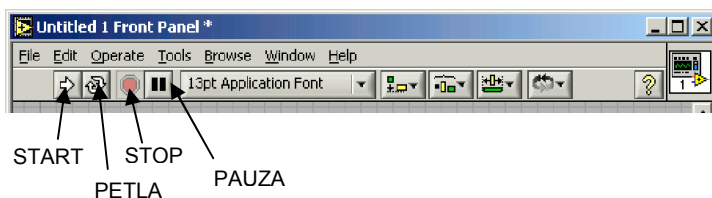
Nachylenie ch-ki filtru	6dB/oct	12dB/oct	18dB/oct	24dB/oct
$f_{noise}$	1/4T	1/8T	3/32T	5/64T

Szum traktowany jest zwykle jako standardowe odchylenie sygnału mierzonego. Ze względu na pracę w czasie rzeczywistym, przyrząd używa prostego algorytmu estymacji tych szumów

### 3 Przebieg ćwiczenia

#### 3.1. Symulacje

Symulator został opracowany w środowisku LabVIEW. Do jego uruchomienia służy górny pasek narzędzi programu (rys.6)



Rys. 6. Pasek uruchomieniowy programu

Zmianę parametrów dokonuje się poprzez umieszczenie wskaźnika myszki w danym polu wpisaniu wymaganej wartości. UWAGA: przed każdą zmianą parametrów symulacji należy zatrzymać program (przycisk STOP) i następnie go uruchomić.

- I. **Dokonać oceny wpływu zmian częstotliwości granicznej filtra dolnoprzepustowego na właściwości układu fazoczułego**
- II. Uruchomić komputer.
- III. Na Panelu komputera otworzyć plik pod nazwą Lock In.vi
- IV. Przyjąć następujące parametry w oknie Sygnału użytecznego.
  - sygnał użyteczny:  $f=10\text{ Hz}$ ,  $U=1\text{V}$ ,  $\Phi=0^\circ$ .
- V. Przyjąć następujące parametry w oknie Sygnału referencyjnego.
  - $f=10\text{ Hz}$ ,  $U=1\text{V}$ ,  $\Phi=45^\circ$ .
- VI. Przyjąć następujące parametry w oknie Parametry szumu.
  - Rodzaju szumu: NONE
- VII. Przyjąć następujące parametry w oknie Parametry filtru.
  - częstotliwość odcięcia  $f_g$ : 1,3 Hz,
  - typ filtru: lowpass
  - rząd: 2
- VIII. Dla dwóch wartości częstotliwości granicznej filtru  $f_{gr}$  naszkicować oscylogramy Lock-In  $U_{out}$ .
- IX. Po każdej zmianie częstotliwości zatrzymać i uruchomić ponownie program.
- X. Zatrzymać działanie programu.

Tab. 3. Wpływ częstotliwości granicznej filtru dolnoprzepustowego

Oscylogram dla $f_{gr}=1,3\text{ Hz}$	Oscylogram dla $f_{gr}=2,5\text{ Hz}$

- I. **Dokonać oceny wpływ odstrojenia sygnału referencyjnego i badanego na właściwości układu fazoczułego**
- II. Przyjąć następujące parametry w oknie Sygnału użytecznego.

- :  $f=10$  Hz,  $U=1V$ ,  $\Phi=0^\circ$ ,
- III. Przyjąć następujące parametry w oknie Parametry szumu.
    - rodzaju szumu: NONE
  - IV. Przyjąć następujące parametry w oknie Sygnału referencyjnego.
    - $f=11$  Hz,  $U=1V$ ,  $\Phi=45^\circ$ .
  - V. Przyjąć następujące parametry w oknie Parametry filtru.
    - Częstotliwość odcięcia  $f_g$ : 1,3 Hz,
    - Typ filtru: lowpass
    - Rząd: 2
  - VI. Dla dwóch wybranych wartości częstotliwości sygnału referencyjnego naszkicować oscylogramy Lock-In  $U_{out}$ . Po każdej zmianie częstotliwości zatrzymać i uruchomić ponownie program.
  - VII. Zatrzymać działanie programu.

Tab. 4. Wpływ odstrojenia sygnału referencyjnego

Oscylogram dla $f_{gr}=11$ Hz	Oscylogram dla $f_{gr}=20$ Hz

- I. **Dokonać oceny wpływ zmian fazy sygnału referencyjnego na właściwości układu fazoczułego**
- II. Przyjąć następujące parametry w oknie Sygnału użytecznego.
  - :  $f=10$  Hz,  $U=1V$ ,  $\Phi=0^\circ$ ,
- III. Przyjąć następujące parametry w oknie Parametry szumu.
  - rodzaju szumu: NONE
- IV. Przyjąć następujące parametry w oknie Sygnału referencyjnego.
  - $f=10$  Hz,  $U=1V$ ,  $\Phi=45^\circ$ .
- V. Przyjąć następujące parametry w oknie Parametry filtru.
  - Częstotliwość odcięcia  $f_g$ : 1,3 Hz,
  - Typ filtru: lowpass



- Rząd: 2
- VI. Dla wybranych przesunięć fazy sygnału referencyjnego zmierzyć wartość amplitudy sygnału Lock-In  $U_{out}$ . Po każdej zmianie fazy zatrzymać i uruchomić ponownie program.
- VII. W tabeli 5 zanotować wartości napięcia na wyjściu wzmacniacza dla poszczególnych wartości przesunięcia fazy.
- VIII. Zatrzymać działanie programu.

**Tab. 5. Wpływ zmiany fazy sygnału referencyjnego**

faza	0	45	90	135	180	225	270	315
$U_{out}$								

- I. **Dokonać oceny efektywności detekcji fazoczułej na minimalizację wpływu szumu**
- II. Przyjąć następujące parametry w oknie Sygnału użytecznego.
  - :  $f=10$  Hz,  $U=1V$ ,  $\Phi=0^\circ$ ,
- III. Przyjąć następujące parametry w oknie Parametry szumu.
  - rodzaju szumu: NONE
- IV. Przyjąć następujące parametry w oknie Sygnału referencyjnego.
  - $f=11$  Hz,  $U=1V$ ,  $\Phi=0^\circ$ .
- V. Przyjąć następujące parametry w oknie Parametry filtru.
  - Częstotliwość odcięcia  $f_g: 1,3$  Hz,
  - Typ filtru: lowpass
  - Rząd: 2
- VI. Dla różnych rodzajów i parametrów szumu przedstawić w formie szkicu w tabeli 6 kształt sygnału wejściowego  $U_s$  i wyjściowego wzmacniacza.
- VII. Zatrzymać działanie programu

**Tab. 6. Wpływ szumu na działanie układu detekcji fazoczułej**

Szum biały(WHITE) : <b>Amplituda 5 V</b>	
Sygnał użyteczny $U_s$	Sygnał wyjściowy $U_{out}$
Szum okresowy(PERIODIC RANDOM) : <b>Amplituda 1 V</b>	
Sygnał użyteczny	Sygnał wyjściowy $U_{out}$
Szum Gaussa (GAUS) : <b>Amplituda 2 V</b>	
Sygnał użyteczny	Sygnał wyjściowy $U_{out}$

### 3.2. Badania z użyciem wzmacniacza SR 844

- I. Dokonać pomiaru wartości skutecznej sygnału i szumów wyjściowego generatora
- II. Włączyć generator HAMEG HM81150
- III. Zapoznać się z budową przyrządu i jego obsługą. Szczególne uwagi zwrócić na procedurę zmiany parametrów generatora oraz załączanie i wyłączanie sygnału z wyjścia – przycisk OUTPUT, OFFSET.
- IV. Wyjście synchronizacji TRIG OUT generatora znajdujące się na tylnej płycie podłączyć do wejścia bloku REFERENCE wzmacniacza SR 844 oznaczonego REF IN.
- V. Do wejścia wzmacniacza SIGNAL IN oraz do kanału 1 ozn. CH1 oscyloskopu podłączyć wyjście generatora HAMEG HM81150 ozn. OUTPUT 50 $\Omega$
- VI. Włączyć wzmacniacz SR844 (włącznik na tylnym panelu).
- VII. Ustawienia na wzmacniaczu SR 844:
  - stała filtru: TIME CONSTANT: 300  $\mu$ s, 12dB/oct
  - impedancja wejściowa: SIGNAL INPUT: 50 $\Omega$
  - zakres dynamiki: WIDE RESERVE: Normal
  - czułość: SENSITIVITY: 1 V
  - źródło sygnału odniesienia: SOURCE: EXTERNAL
  - konfiguracja wyświetlaczy: CHANNEL ONE: R (V), CHANNEL TWO:  $Y_{noise}$
- VIII. Ustawienia na generatorze HAMEG HM8150:
  - kształt sygnału: sinusoidalny,
  - amplituda:  $U_{p-p}=0,5$  V, częstotliwość:  $f=50$  kHz,
  - przed każdą zmianą wartości amplitudy lub częstotliwości należy wyłączyć wyjście sygnałowe generatora (przycisk OUTPUT jego podświetlenie świadczy o załączeniu sygnału)
- IX. Dokonać pomiaru parametrów dla różnych kształtów przebiegów – przy każdej zmianie należy wyłączyć wyjście sygnałowe generatora i sprawdzić amplitudę sygnału). Jako parametr szumu przyjąć zaobserwowaną maksymalną wartość parametru  $Y_{noise}$ . Zwiększenie dokładności odczytu można uzyskać poprzez zastosowanie przycisku EXPAND. W trakcie pomiarów należy unikać sytuacji przekroczenia zakresu pomiarowego – sygnalizacja czerwoną diodą OVERLOAD.
- X. Wyniki pomiarów zapisać do tabeli 7.
- XI. Po przeprowadzeniu pomiarów wyłączyć sygnał na wyjściu generatora HAMEG HM81150.

**Tab. 7. Pomiar wartości skutecznej i szumów sygnału wyjściowego z generatora**

	prostokątny	sinusoidalny	trójkątny
R (V)			
Y			

- I. **Dokonać oceny wpływ stałej czasowej wzmacniacza SR 844 na właściwości detekcyjne układu.**
- II. Ustawienia przyrządów jak poprzednio. Jako kształt sygnału generatora HAMEG HM81150 przyjąć przebieg sinusoidalny.
  - przed każdą zmianą wartości amplitudy lub częstotliwości należy wyłączyć wyjście sygnałowe generatora
- III. Dla dwóch stałych czasowych wzmacniacza (TIME CONSTANT) 10 ms oraz 3 s dokonać zmiany amplitudy sygnału z generatora HAMEG. Zaobserwować czas odpowiedzi wzmacniacza (zmianę wartości sygnału wyjściowego) na spadek amplitudy sygnału wejściowego. Przy odczycie wartości R ze wzmacniacza przyjąć stały odstęp czasu od chwili zmiany amplitudy do momentu odczytu np. 5 s. Wyniki zapisać w tabeli 8. Dla wartości 0,5 V przyjąć pomiar w chwili włączenia sygnału z generatora HAMEG HM81150.

**Tab. 8. Wpływ stałej czasowej wzmacniacza**

$U_{pp}$	0,5	0,4	0,3
R (V) / 10 ms			
R (V) / 3 s			

- I. **Dokonać oceny właściwości zastosowania wzmacniacza SR844 w analizie widmowej sygnałów**
- II. Ustawienia na generatorze HAMEG HM8150 :
  - kształt sygnału: prostokąt,
  - amplituda:  $U_{p-p}=0,5$  V, częstotliwość:  $f=60$  kHz,
  - przed każdą zmianą wartości amplitudy lub częstotliwości należy wyłączyć wyjście sygnałowe generatora
- III. Ustawienia na wzmacniaczu SR 844:
  - stała filtru: TIME CONSTANT: 300  $\mu$ s, 12dB/oct
  - impedancja wejściowa: SIGNAL INPUT: 50 $\Omega$
  - zakres dynamiki: WIDE RESERVE: Normal
  - czułość: SENSITIVITY: 1 V
  - źródło heterodyny: SOURCE : INTERNAL

- na opcji wyświetlaczu wybrać stosując przycisk DISPLAY: CHANNEL ONE:R(V), CHANNEL TWO: ⊕
- IV. Ustawienia na oscyloskopie RIGOL 1052:
- pokrętko VERTICAL = 500 mV
  - pokrętko TIME = 20 μs
  - włączyć operację wyznaczania transformaty FFT dla kanału 1: MATH→FFT i ustalić parametry: WINDOW→HANNING, DISPLAY→SPLIT, SCALE→V<sub>RMS</sub>
- V. Dostroić częstotliwość generatora wewnętrznego wzmacniacza do momentu, gdy zmiany fazy na słupku są powolne – warunek synchronizacji sygnału badanego i referencyjnego. Aby zwiększyć dokładność wyświetlanej wartości częstotliwości należy jednocześnie nacisnąć przyciski SHIFT i PRECISION FREQ. Częstotliwość heterodyny zostanie wówczas wyświetlona w dwóch oknach: CHANNEL TWO oraz bloku REFERENCE.
- VI. Zapisać wartość parametru R w tabeli 9
- VII. Następnie zmieniając wartość częstotliwości wewnętrznego generatora przyrządu SR 844, dostrajać się do kolejnych harmonicznym sygnału prostokątnego (nieparzysta wielokrotność) i zapisywać wartości R.

Tab. 9. Pomiar widma sygnału prostokątnego

n-ta harm.	1	3	5
f [kHz]			
R [V]			

#### 4 Wnioski

Pytanie 1. Jaki jest wpływ zastosowania filtracji na poziom i kształt sygnału wyjściowego (czas odpowiedzi) układu detekcji fazoczułej?

.....

.....

.....

.....

.....

Pytanie 2. Jaki jest wpływ odstrojenia sygnału referencyjnego na amplitudę i kształt sygnału wyjściowego układu detekcji fazoczułej?

.....

.....

.....  
.....  
.....  
**Pytanie 3.** Jaki jest wpływ zmiany fazy sygnału referencyjnego na amplitudę sygnału wyjściowego układu detekcji fazoczułej, jaki powinien mieć kształt otrzymana charakterystyka?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**Pytanie 4.** Na podstawie przeprowadzonych symulacji ocenić skuteczność detekcji fazoczułej dla poszczególnych sygnałów?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**Pytanie 5.** Porównać otrzymane wyniki pomiarów wartości sygnałów o różnym kształcie przy użyciu wzmacniacza SR844, odnieść je do kształtu ich widm i uzasadnić ich poprawność?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**Pytanie 6.** Jak wpływa wybór stałej czasowej wzmacniacza SR844 na jego właściwości pomiarowe?

.....  
.....  
.....  
.....

.....  
**Pytanie 7.** Czy przyrząd SR 844 może zostać zastosowany do badania charakterystyk widmowych sygnałów np. sygnału prostokątnego?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**Pytanie 8.** Jaki jest wpływ doboru parametru filtra (stałej czasowej i kształtu) wzmacniacza SR844 na pasmo pomiarowe i uzyskane wyniki?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....