

Detektor Fazowy

Marcin Polkowski
marcin@polkowski.eu

23 stycznia 2008

Streszczenie

Raport z ćwiczenia, którego celem było zapoznanie się z działaniem detektora fazowego umożliwiającego pomiar słabych i zaszumionych sygnałów stałych lub wolnozmiennych.

Spis treści

1	Wstęp	2
1.1	Szum w elektronice	2
1.2	Detektor fazowy	2
2	Część pierwsza	4
2.1	Wzmacniacz wejściowy	4
2.2	Przesuwnik fazowy	5
2.3	Detektor fazowy	5
3	Część druga	6
4	Podsumowanie	7
5	Bibliografia	7
6	Tabele	8

Spis rysunków

1	Działanie prostownika synchronicznego	3
2	Charakterystyka napięciowa wzmacniacza wejściowego detektora fazowego	4
3	Charakterystyka fazowa detektora	5
4	Badanie sygnału z fotodiody	6

Spis tabel

1	Tabela pomiarów charakterystyki napięciowej	8
2	Tabela pomiarów charakterystyki fazowej	8
3	Tabela pomiarów sygnałów z fotodiody	9

1 Wstęp

1.1 Szum w elektronice

Zakłócenia można podzielić na:

- **wewnętrzne** - związane z samym zjawiskiem przepływu prądu, które z natury ma charakter statystyczny
- **zewnętrzne** - powstające poza układem

Typowy tor przenikania zakłóceń składa się ze **źródła zakłóceń, kanału sprzężenia i odbiornika zakłóceń**, którym zwykle jest układ elektroniczny.

Walkę z szumami trzeba prowadzić w przypadku każdego elementu toru przenikania zakłóceń. Szumy są sygnałami losowymi, jednak jesteśmy w stanie oszacować moc szumu przypadająca na przedział częstości. W zależności od tej wielkości szumy dzielimy m. in. na **białe** (moc niezależna od częstości), **różowe** typu $\frac{1}{f}$ (moc odwrotnie proporcjonalna do częstości)... Silne zakłócenia występują dla częstości odpowiadających harmonicznym sieci elektrycznej (a więc wielokrotności 50Hz), dlatego konstruując układ pomiarowy należy unikać tych długości fali.

Istnieje wiele sposobów zmniejszania szumów, głównie polegających na izolacji układu pomiarowego lub odizolowania źródła szumów. Istnieją także metody eliminacji wpływu szumu na wynik pomiaru. Przykładem układu elektronicznego pozwalającego odczytać wynik pomiaru z zaszumionego sygnału jest detektor fazowy.

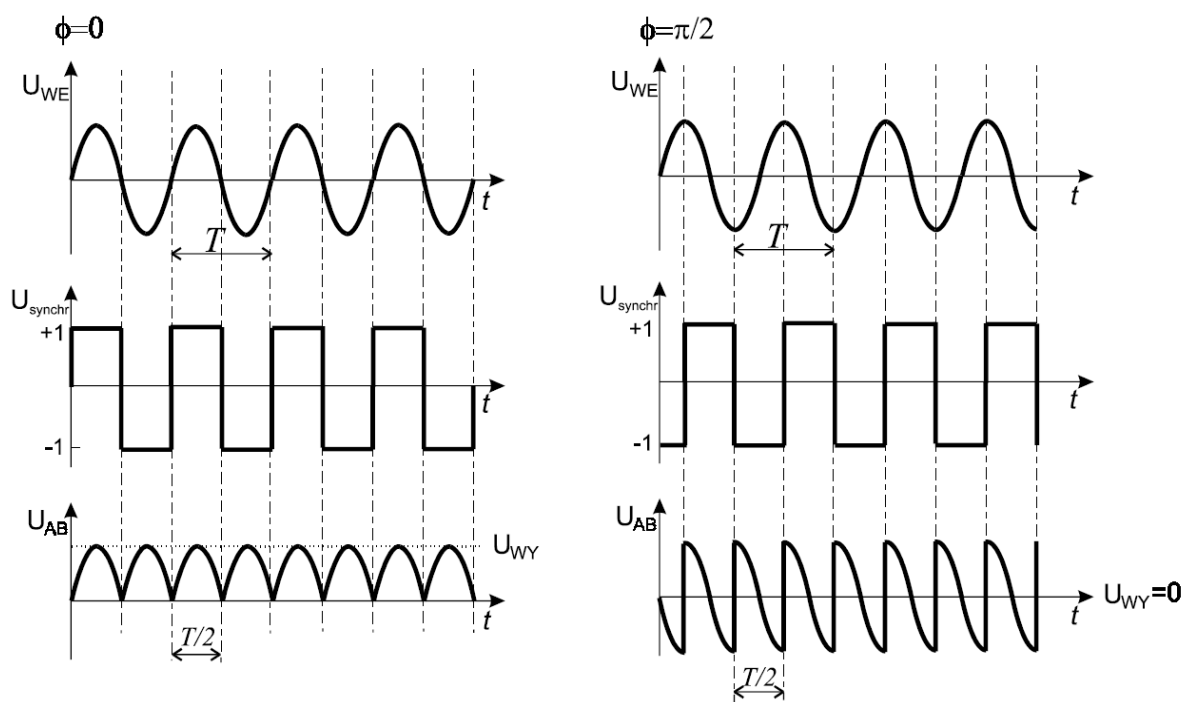
1.2 Detektor fazowy

Działania detektora fazowego polega na zastosowaniu sygnału odniesienia o częstości ściśle równej częstości badanego sygnału. W praktyce uzyskuje się to za pomocą tego samego generatora zarówno dla sygnału wejściowego jak i sygnału odniesienia (w przypadku generator funkcyjnego sygnał odniesienia pochodzi z wyjścia oznaczonego jako *trigger*).

Badając zjawiska fizyczne rzadko mamy do czynienia z sygnałem okresowym - częściej jest to sygnał stały. Aby móc wykorzystać detektor fazowy należy zmodyfikować układ fizyczny tak, by na jego wyjściu pojawiał się sygnał okresowy. Przykładowo dla układów ze źródłem laserowym można wykorzystać obracającą się tarczę z równomiernie rozmieszczonymi otworami (ang. *chopper*).

W wykonanym eksperymencie źródłem światła była dioda świecąca, a więc łatwo było uzyskać okresowość badanego sygnału poprzez zasilenie diody sygnałem z generatora funkcyjnego.

Zasadniczym elementem układu detektora fazowego jest prostownik synchroniczny. Do układu prostownika podajemy dwa napięcia - wejściowe i odniesienia. Z wykresów (rysunek 1) widać, że sygnał na wyjściu silnie zależy od fazy napięcia wejściowego względem napięcia odniesienia. W detektorze fazowym za układem prostownika znajduje się uśredniacz (układ całkujący o dużej stałej czasowej), a więc w przypadku zgodności w fazie (rysunek 1 po lewej) otrzymamy niezerowy sygnał, a w przypadku przeciw fazy (wykresy po prawej) scałkowanie da zero. W ten sposób w układzie eliminujemy sygnały, które nie są skoordynowane z sygnałem odniesienia, który jednocześnie używany jest do modulacji mierzonego parametru (np. kontroluje wspomniany *chopper*).

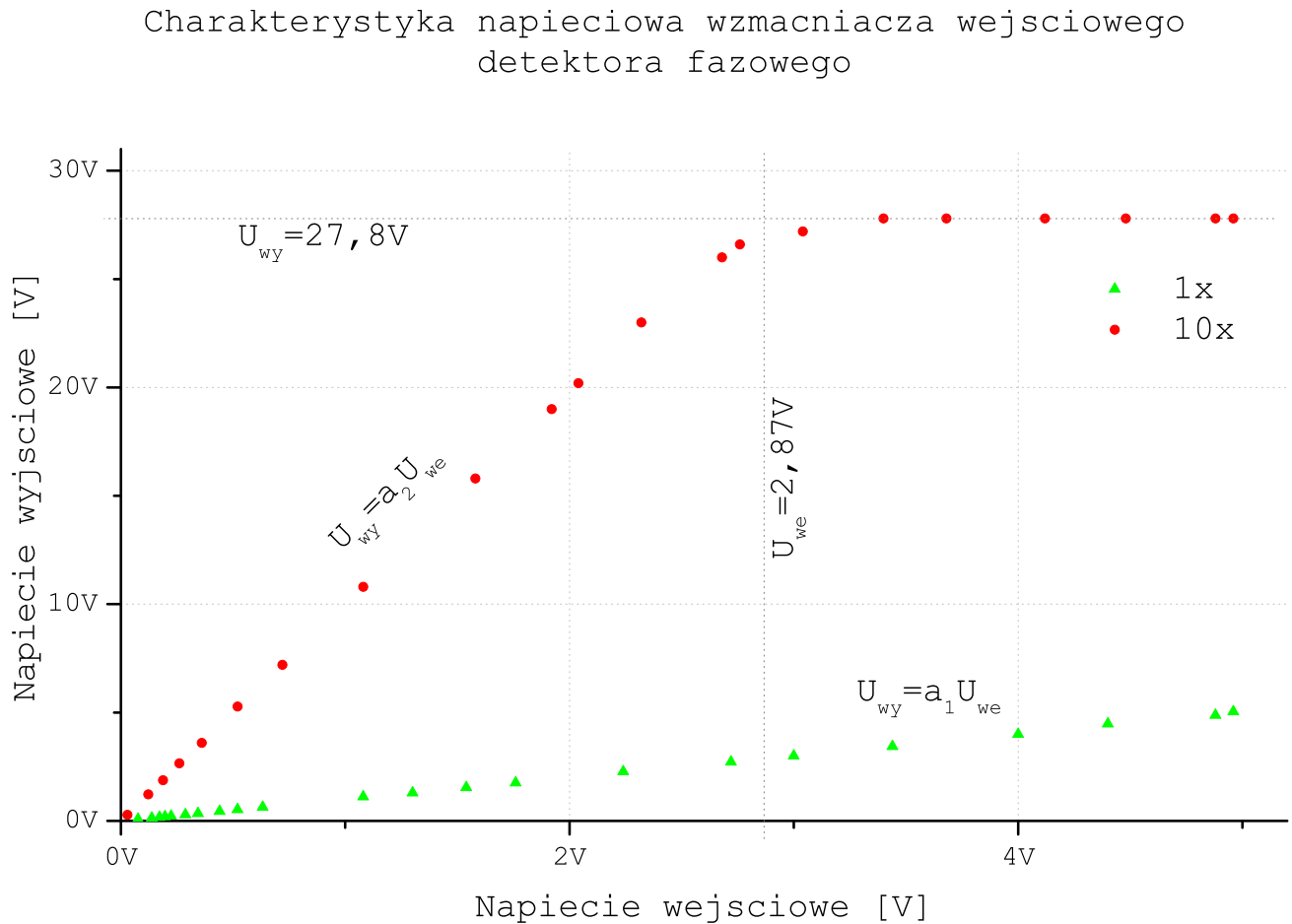


Rysunek 1: Działanie prostownika synchronicznego

2 Część pierwsza

2.1 Wzmacniacz wejściowy

W pierwszej kolejności zbadano zakres liniowości wzmacniacza wejściowego makiety detektora fazowego. Badano odpowiedź układu w konfiguracji wzmocnienie $1x$ oraz $10x$. Zebrane pomiary przedstawiono na wykresie 2. Pomiarów



Rysunek 2: Charakterystyka napięciowa wzmacniacza wejściowego detektora fazowego

dokonano wprowadzając na wejście układu sygnał sinusoidalny o częstotliwości zbliżonej do 1kHz. Mierzono (za pomocą oscyloskopu) amplitudę (*Peak to Peak*) sygnału wejściowego i wyjściowego. W konfiguracji ze wzmocnieniem $1x$ układ pracował liniowo w całym zakresie dostępnych amplitud (ograniczeniem były skromne możliwości dostępnego generatora). Do pomiarów dopasowano prostą

$$U_{wy} = a_1 U_{we} + \beta$$

i wyznaczono współczynnik a_1 wzmocnienia:

$$a_1 = 1,00592 \pm 0,00136$$

Otrzymaną wartość można uznać za zgodną z oczekiwaniem.

Pomiary powtórzone dla wzmocnienia $10x$. Okazało się, że układ pracuje liniowo tylko dla napięć wejściowych mniejszych od 2,87V. Powyżej tej wartości amplituda sygnału wyjściowego wynosi około 27,8V, co widać na wykresie 2. Do pomiarów z zakresu liniowego ($< 2,87V$) dopasowano prostą

$$U_{wy} = a_2 U_{we} + \beta$$

i wyznaczono współczynnik a_2 wzmocnienia:

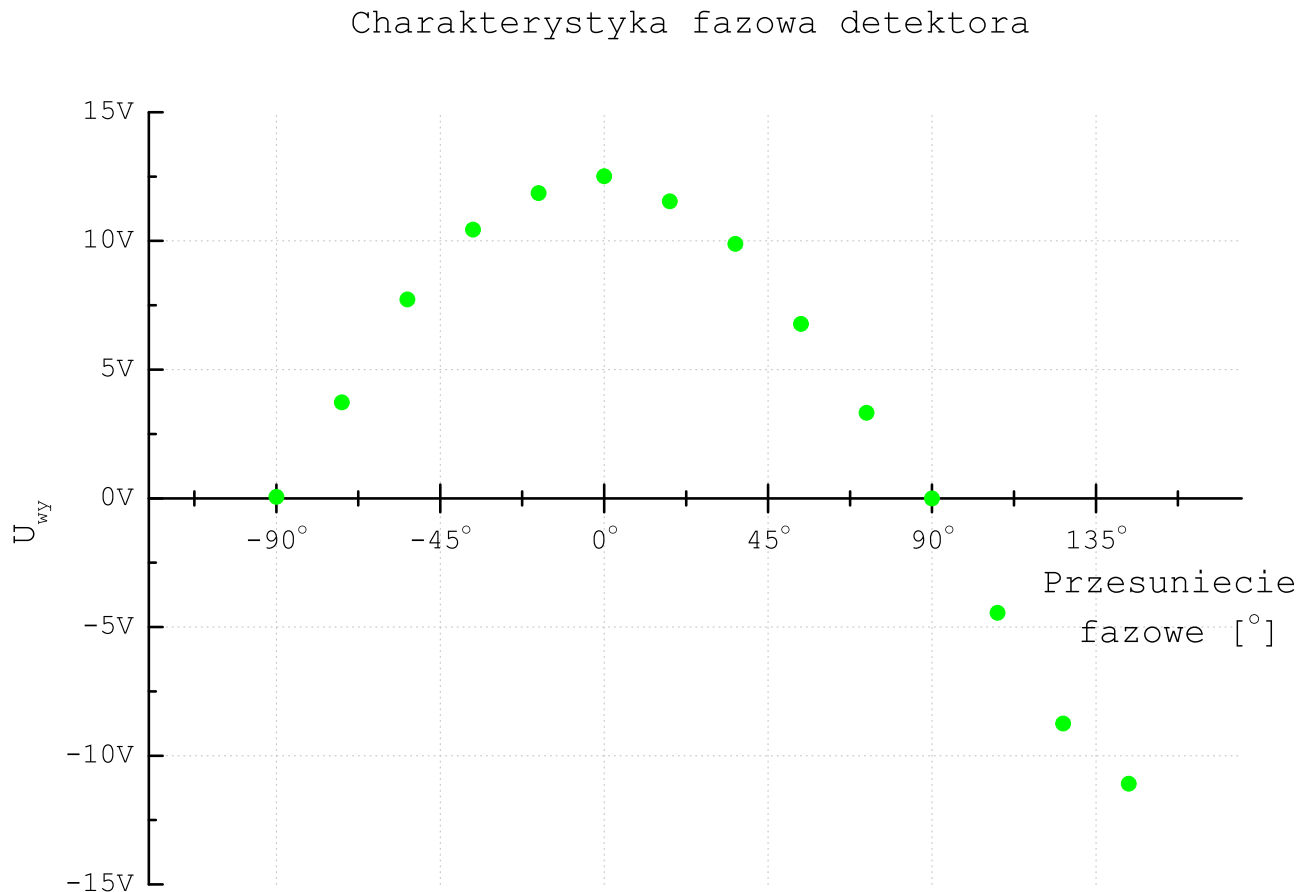
$$a_2 = 9,9486 \pm 0,01489$$

2.2 Przesuwnik fazowy

Kolejnym krokiem było określenie zakresu przesunięcia fazy za pomocą przesuwnika fazowego. Okazało się, że za pomocą potencjometru można przesuwając fazę w lewo lub w prawo o maksymalnie 150° . Jednak dzięki możliwości przesunięcia fazy o 180° na wyjściu układu kształtowania sygnału przełączającego możliwe było dowolne ustawienie przesunięcia fazowego w zakresie od $-\pi$ do π .

Następnie do wejścia makiety podłączono sygnał sinusoidalny oraz sygnał wyzwalający, którego fazę przesunięto w taki sposób aby na wyjściu przełącznika synchronicznego ze wzmacniaczem różnicowym otrzymać sygnał dwupółkowo wyprostowany.

Zbadano również jak przesunięcie fazy wpływa na napięcie wyjściowe detektora. Pomiaru przedstawiono na wykresie 3.



Rysunek 3: Charakterystyka fazowa detektora

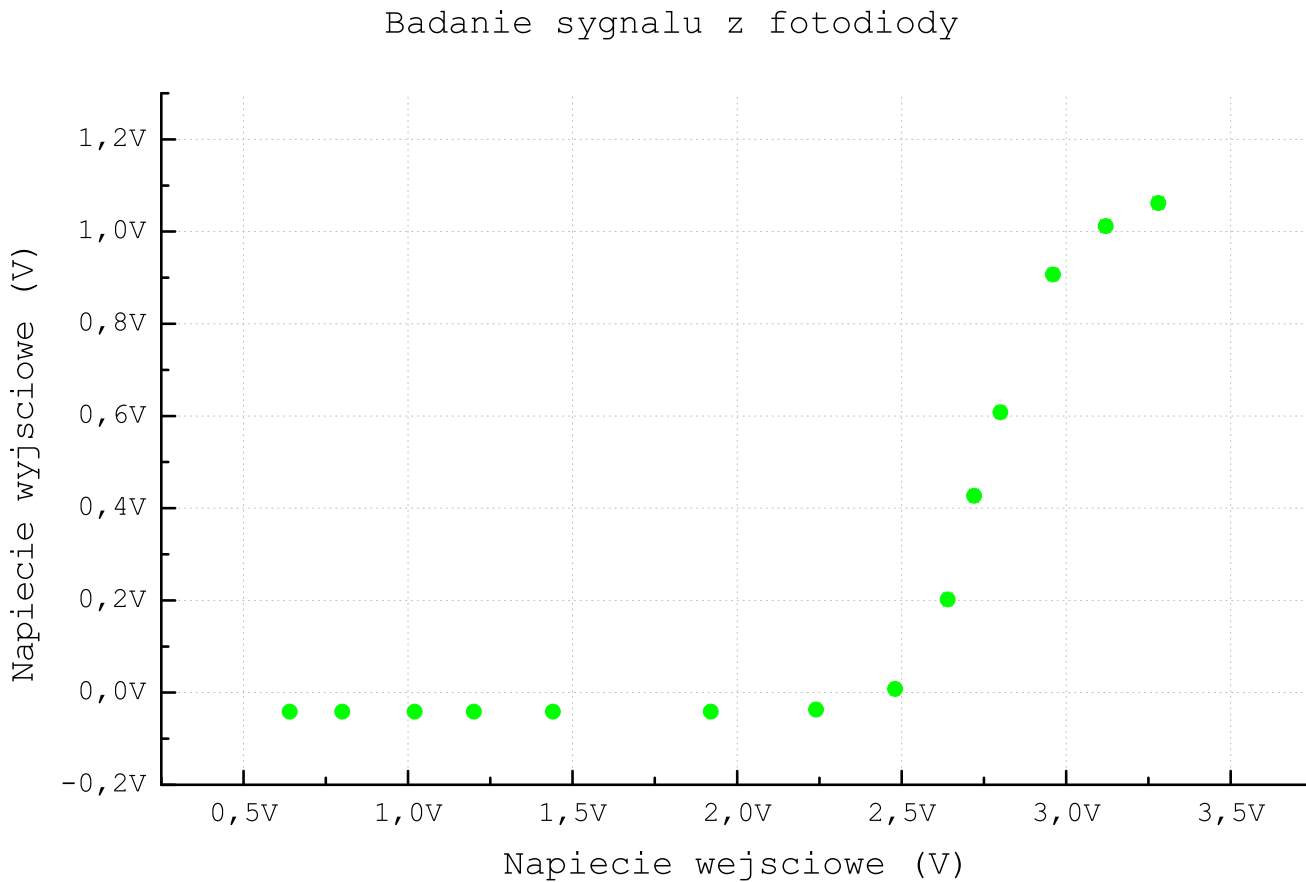
2.3 Detektor fazowy

Do wyjścia podłączono miernik uniwersalny mierzący napięcie stałe (powstałe w układzie uśredniającym), którego wartość okazała się (zgodnie z oczekiwaniem) proporcjonalna do amplitudy sygnału wejściowego.

Do sygnału wejściowego dodano szum i zbadano jego wpływ na dokładność pomiaru amplitudy. Okazało się, że pomiar jest obciążony 10% błędem dla szumu o amplitudzie wynoszącej 60% amplitudy sygnału wejściowego.

3 Część druga

Jako źródło sygnału podłączono do detektora fotodiody i oświetlano ją diodą LED zasilaną sygnałem sinusoidalnym o częstotliwości około 1kHz. Przesunięcie fazowe sygnału wyzwalającego dobrano w taki sposób, aby napięcie wyjściowe detektora było maksymalne. Badano zależności napięcia wyjściowego od napięcia zasilania diody (siły świecenia). Pomiarzy przedstawiono na wykresie 4. Zaobserwowano, że napięcie wyjściowe nie zależy (lub zależy w



Rysunek 4: Badanie sygnału z fotodiody

bardzo małym stopniu) od szumu powodowanego przez oświetlenie zewnętrzne.

Zbadano, że 10% błąd pomiaru jest powodowany przez szum o amplitudzie 240mV

4 Podsumowanie

Ćwiczenie pokazało jak bardzo pomocnym (z praktycznego punktu widzenia) urządzeniem jest detektor fazowy. Pozwala na badanie sygnałów silnie zakłócanych sygnałami o częstotliwości innej od częstotliwości badanego sygnału.

5 Bibliografia

Do sporządzenia niniejszego raportu wykorzystane zostały wiadomości z następujących prac:

- A. Filipkowski, *Układy elektroniczne analogowe i cyfrowe*, Warszawa 1978, 1995
- wykładów Prof. W. Dominika
- John R. Tylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Warszawa 1995
- specyfikacji technicznych użytych układów scalonych

6 Tabele

Tabela 1: Tabela pomiarów charakterystyki napięciowej

1x		10x	
U_{we} [V]	U_{wy} [V]	U_{we} [V]	U_{wy} [V]
0,0760 ± 0,0004	0,0780 ± 0,0004	0,0288 ± 0,0001	0,2840 ± 0,0014
0,1380 ± 0,0007	0,1400 ± 0,0007	0,1220 ± 0,0006	1,2200 ± 0,0061
0,1720 ± 0,0009	0,1720 ± 0,0009	0,1880 ± 0,0009	1,8800 ± 0,0094
0,1960 ± 0,0010	0,2000 ± 0,0010	0,2600 ± 0,0013	2,6600 ± 0,0133
0,2240 ± 0,0011	0,2280 ± 0,0011	0,3600 ± 0,0018	3,6000 ± 0,0180
0,2880 ± 0,0014	0,2880 ± 0,0014	0,5200 ± 0,0026	5,2800 ± 0,0264
0,3440 ± 0,0017	0,3440 ± 0,0017	0,7200 ± 0,0036	7,2000 ± 0,0360
0,4400 ± 0,0022	0,4480 ± 0,0022	1,0800 ± 0,0054	10,8000 ± 0,0540
0,5200 ± 0,0026	0,5280 ± 0,0026	1,5800 ± 0,0079	15,8000 ± 0,0790
0,6320 ± 0,0032	0,6320 ± 0,0032	1,9200 ± 0,0096	19,0000 ± 0,0950
1,0800 ± 0,0054	1,1200 ± 0,0056	2,0400 ± 0,0102	20,2000 ± 0,1010
1,3000 ± 0,0065	1,3000 ± 0,0065	2,3200 ± 0,0116	23,0000 ± 0,1150
1,5400 ± 0,0077	1,5400 ± 0,0077	2,6800 ± 0,0134	26,0000 ± 0,1300
1,7600 ± 0,0088	1,7600 ± 0,0088	2,7600 ± 0,0138	26,6000 ± 0,1330
2,2400 ± 0,0112	2,2800 ± 0,0114	3,0400 ± 0,0152	27,2000 ± 0,1360
2,7200 ± 0,0136	2,7200 ± 0,0136	3,4000 ± 0,0170	27,8000 ± 0,1390
3,0000 ± 0,0150	3,0000 ± 0,0150	3,6800 ± 0,0184	27,8000 ± 0,1390
3,4400 ± 0,0172	3,4400 ± 0,0172	4,1200 ± 0,0206	27,8000 ± 0,1390
4,0000 ± 0,0200	4,0000 ± 0,0200	4,4800 ± 0,0224	27,8000 ± 0,1390
4,4000 ± 0,0220	4,4800 ± 0,0224	4,8800 ± 0,0244	27,8000 ± 0,1390
4,8800 ± 0,0244	4,8800 ± 0,0244	4,9600 ± 0,0248	27,8000 ± 0,1390
4,9600 ± 0,0248	5,0400 ± 0,0252		

Tabela 2: Tabela pomiarów charakterystyki fazowej

φ [°]	U_{wy} [V]
-90,00 ± 5,00	0,0600 ± 0,0003
-72,00 ± 5,00	3,7300 ± 0,0187
-54,00 ± 5,00	7,7300 ± 0,0387
-36,00 ± 5,00	10,4400 ± 0,0522
-18,00 ± 5,00	11,8600 ± 0,0593
0,00 ± 5,00	12,5100 ± 0,0626
18,00 ± 5,00	11,5400 ± 0,0577
36,00 ± 5,00	9,8900 ± 0,0495
54,00 ± 5,00	6,7800 ± 0,0339
72,00 ± 5,00	3,3250 ± 0,0166
90,00 ± 5,00	0,0000 ± 0,0000
108,00 ± 5,00	-4,4500 ± -0,0223
126,00 ± 5,00	-8,7500 ± -0,0438
144,00 ± 5,00	-11,0900 ± -0,0555

Tabela 3: Tabela pomiarów sygnałów z fotodiody

U_{we} [V]	U_{wy} [V]
$0,64 \pm 0,00$	$-0,0412 \pm -0,0002$
$0,80 \pm 0,00$	$-0,0412 \pm -0,0002$
$1,02 \pm 0,01$	$-0,0412 \pm -0,0002$
$1,20 \pm 0,01$	$-0,0412 \pm -0,0002$
$1,44 \pm 0,01$	$-0,0412 \pm -0,0002$
$1,92 \pm 0,01$	$-0,0412 \pm -0,0002$
$2,24 \pm 0,01$	$-0,0368 \pm -0,0002$
$2,48 \pm 0,01$	$0,0079 \pm 0,0000$
$2,64 \pm 0,01$	$0,2022 \pm 0,0010$
$2,72 \pm 0,01$	$0,4270 \pm 0,0021$
$2,80 \pm 0,01$	$0,6080 \pm 0,0030$
$2,96 \pm 0,01$	$0,9070 \pm 0,0045$
$3,12 \pm 0,02$	$1,0120 \pm 0,0051$
$3,28 \pm 0,02$	$1,0620 \pm 0,0053$