

Elektronika Cyfrowa

Sprawozdanie z Laboratorium 3

Tomasz Dziób

Grupa 15

10.04.2024

Spis treści

1 Wstęp teoretyczny	2
1.1 Sprzężenie zwrotne	2
1.2 Wzmacniacz operacyjny	2
1.2.1 Wzmacniacz odwracający fazę	3
1.2.2 Wzmacniacz sumujący	3
1.3 Przerzutnik	4
1.3.1 Rodzaje przerzutników	4
1.3.1.1 bistabilne	4
1.3.1.2 monostabilne	5
1.3.1.3 astabilne	5
2 Ćwiczenia	5
2.1 Ćwiczenie 3.1	5
2.2 Ćwiczenie 3.2	6
2.2.1 Wzmacniacz o wzmacnieniu 10	6
2.2.2 Pomiary dla 1V oraz 1kHz	6
2.2.3 Charakterystyka amplitudowa	7
2.2.4 Charakterystyka fazowa	8
2.3 Ćwiczenie 3.3	8
2.3.1 Zjawisko dudnień	9
2.4 Ćwiczenie 3.4	9
2.4.1 Sygnał sinusoidalny	10
2.4.2 Sygnał trójkątny	11
3 Omówienie wyników	11
3.1 Ćwiczenie 3.1	11
3.2 Ćwiczenie 3.2	11
3.3 Ćwiczenie 3.3	11
3.4 Ćwiczenie 3.4	11
4 Podsumowanie	12
5 Notatki i materiały z zajęć	12

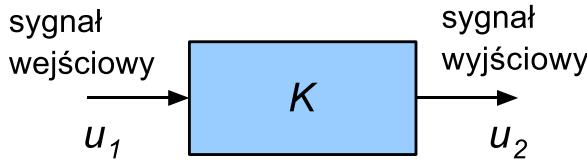
1 Wstęp teoretyczny

Poniższe sprawozdanie dotyczy trzech zajęć których głównym celem było zapoznanie się z działaniem wzmacniaczy operacyjnych oraz przerzutników.

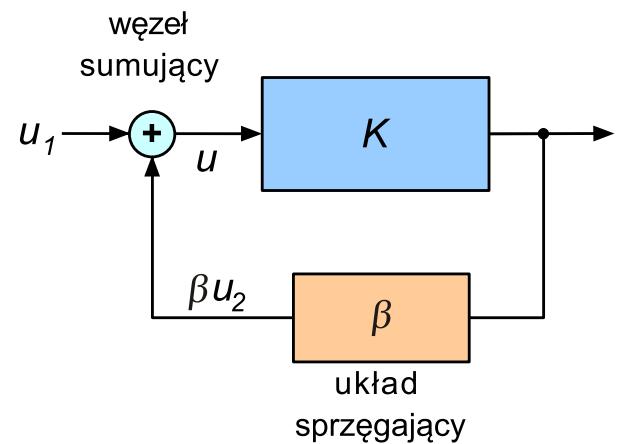
1.1 Sprzężenie zwrotne

Sprzężenie zwrotne — reakcja, będąca bezpośrednim oddziaływaniem sygnałów stanu końcowego na sygnały wejściowe. Część sygnału wyjściowego zwana sygnałem zwrotnym, zostaje skierowana do wejścia układu i zsumowana z sygnałem wejściowym.

Głównym elementem elektronicznym, w którym stosuje się sprzężenie zwrotne jest wzmacniacz sygnału.



Rysunek 1: Schemat wzmacniacza bez sprzężenia zwrotnego,
źródło: [Strona wykładów](#)



Rysunek 2: Schemat wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym,
źródło: [Strona wykładów](#)

Wzór na wzmacnianie układu bez sprzężenia zwrotnego:

$$u_2(t) = Ku_1(t) \quad (1)$$

Natomiast podczas użycia sprzężenia zwrotnego prezentuje się on następująco:

$$u_2(t) = \frac{Ku_1}{1 - \beta K} \quad (2)$$

Sprzężenie zwrotne możemy podzielić dwa rodzaje:

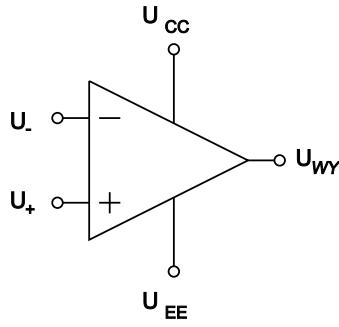
- Ujemne sprzężenie zwrotne — Sytuacja gdy fazy sygnału wejściowego i sygnału sprzężenia zwrotnego są przeciwnie. Charakteryzuje się dużą stabilnością pracy układu. Zazwyczaj używane w wzmacniaczach.
- Dodatnie sprzężenie zwrotne — Sytuacja gdy fazy sygnału wejściowego i sygnału sprzężenia zwrotnego są zgodne. W układach takich dzięki silnemu sprzężeniu następuje generacja drgań co wykorzystywane jest do budowy generatorów(przerzutnikach).

1.2 Wzmacniacz operacyjny

Wzmacniacz o bardzo dużym wzmacnieniu napięciowym, który posiada dwa wejścia i jedno wyjście. Wyróżniamy dwa wejścia:

(-) **Wejście odwracające** — Przesuwa ono sygnał wyjściowy w fazie o 180° względem sygnału przyłożonego do tego wejścia

(+) **Wejście nieodwracające** — Sygnał wyjściowy jest zgodny w fazie z sygnałem podanym na to wejście



Rysunek 3: Powszechnie stosowany symbol graficzny do oznaczania wzmacniacza operacyjnego,
 Źródło: [Wikipedia](#)

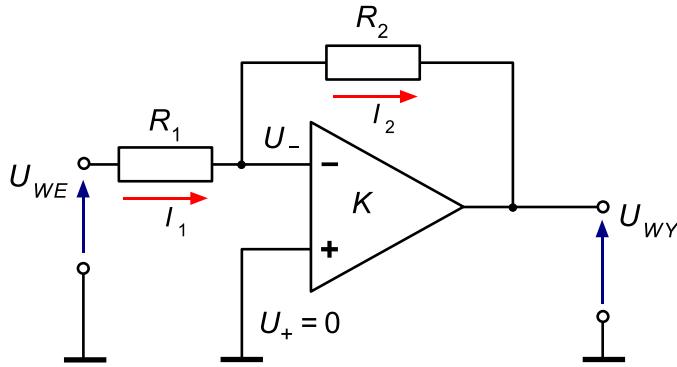
Wejścia U_{CC} oraz U_{EE} to wejścia napięcia zasilania wzmacniacza.

Wzór na napięcie wyjściowe:

$$U_{WY} = K(U_+ - U_-) \quad (3)$$

1.2.1 Wzmacniacz odwracający fazę

Wzmacniacz odwracający fazę to specyficzny typ wzmacniacza operacyjnego, który na wyjściu daje napięcie o odwrotnym znaku (czyli o przeciwej fazie) w stosunku do napięcia wejściowego.



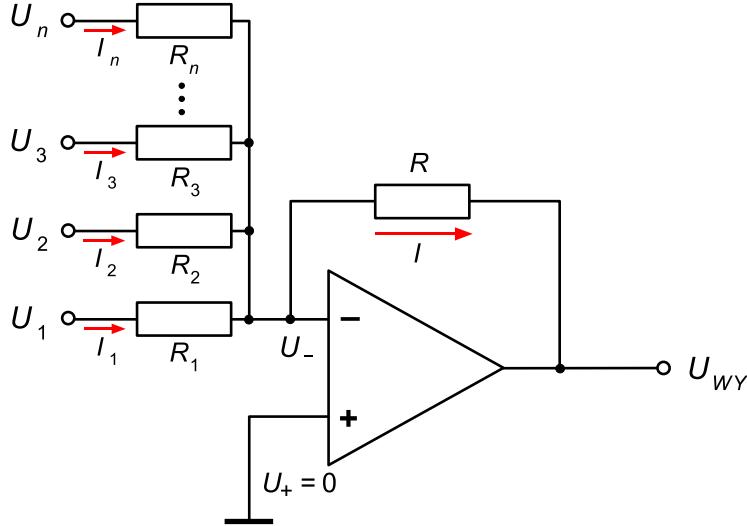
Rysunek 4: Schemat prezentujący budowę wzmacniacza odwracającego fazę,
 Źródło: [Strona wykładów](#)

Wzmacniacz ten składa się ze wzmacniacza operacyjnego oraz dwóch oporników: opornika wejściowego i opornika sprzężenia zwrotnego. Napięcie wyjściowe zależy bezpośrednio od różnicy rezystacji R_1 oraz R_2 :

$$U_{WY} = -\frac{R_2}{R_1} U_{WE} \quad (4)$$

1.2.2 Wzmacniacz sumujący

Kolejną alternacją wzmacniacza odwracającego fazę jest wzmacniacz sumujący. Wykonuje on operację sumowania (dodawania) kolejnych sygnałów wejściowych.



Rysunek 5: Schemat prezentujący budowę sumatora napięć,
 Źródło: [Strona wykładów](#)

W ogólnej sytuacji napięcie wyjściowe można obliczyć:

$$U_{WY} = -R \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \cdots + \frac{U_n}{R_n} \right) \quad (5)$$

Jednak gdy, $R_1 = R_2 = \cdots = R_n = R$, wtedy całość upraszcza się do:

$$U_{WY} = -R(U_1 + U_2 + \cdots + U_n) \quad (6)$$

1.3 Przerzutnik

Są to układy elektroniczne wytwarzające wygnały prostokątne w których wysokość napięcia oznacza stan w którym znajduje się przerzutnik. Występowanie wysokiego i niskiego sygnału odpowiada przerzutnikowi dwustanowemu.

1.3.1 Rodzaje przerzutników

Rozróżniamy trzy typy przerzutników:

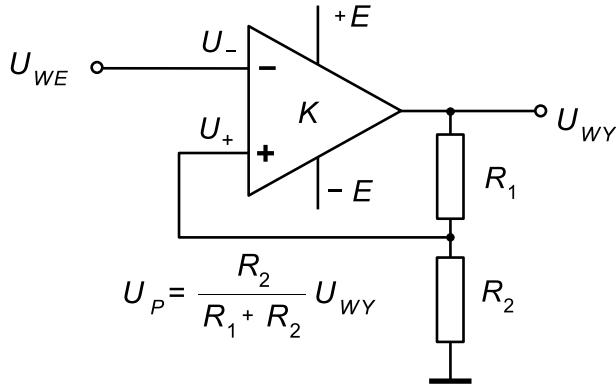
1.3.1.1 bistabilne

Posiadają dwa stany stabilne. Zmianę między stanami można wywołać tylko określonym sygnałem. Jest on też nazywany *Przerzutnikiem Schmidta*.

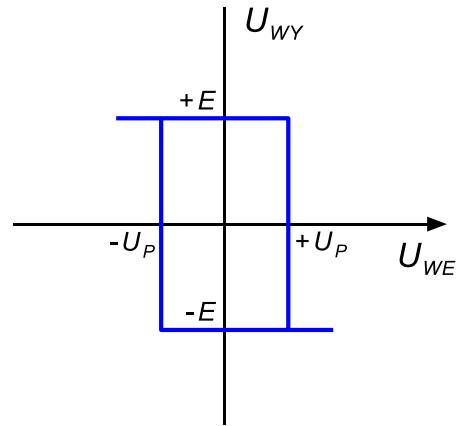
Napięcie wyjściowe przyjmuje wartości:

- maksymalną równą $+E$
- minimalną równą $-E$

Okręślone ona jest przez napięcie zasilania wzmacniacza,
Jeżeli $U_- < U_+$ to $W_{WY} = +E$
Jeżeli $U_- > U_+$ to $W_{WY} = -E$



Rysunek 6: Schemat prezentujący budowę przerzutnika
bistabilnego,
Źródło: [Strona wykładów](#)



Rysunek 7: Pętla histerezy dla układu bistabilnego,
Źródło: [Strona wykładów](#)

Pętla histerezy — Jest to zjawisko zależności aktualnego stanu układu od stanów w poprzednich chwilach.

Przerzutniki Schmidta wykorzystują histerezę w celu ochrony przed szumem, który w przeciwnym wypadku mógłby powodować ciągłe przełączanie między dwoma przeciwnymi stanami w sytuacji, gdy sygnał wejściowy oscyluje wokół poziomu progowego.

1.3.1.2 monostabilne

Posiadają tylko jeden stan stabilny. Przejście w stan niestabilny można uzyskać tylko ustalonym sygnałem. Przejście w drugą stronę natomiast, następuje samoczynnie bez udziału zewnętrznych sygnałów.

1.3.1.3 astabilne

Nie posiada stanów stabilnych. Układ sam wykonuje przerzuty między stanami bez udziału sygnału. Układ taki możemy nazywać generatorem przebiegów prostokątnych.

2 Ćwiczenia

2.1 Ćwiczenie 3.1

Pierwsze zadanie polegało na sprawdzeniu elementów elektronicznych przez użyciem ich w zadaniach. Pomiarem który miał zostać wykonany było sprawdzenie wartości występujących na pinach zasilania wzmacniacza.

Pin oznaczony "+12V" miał wartość: **11,88V**,

a pin "-12V": **-11,87V**

Zgadza się to z oznaczeniami, co oznacza, że płytka funkcjonuje poprawnie.



Rysunek 8: Płytki zawierające wzmacniacz,
Źródło: Opracowanie własne

2.2 Ćwiczenie 3.2

2.2.1 Wzmacniacz o wzmacnieniu 10

Pierwszym układem który trzeba było zmontować był wzmacniacz odwracający fazę. Miał on posiadać wzmacnienie równe 10, co wiązało się z potrzebą znalezienia odpowiednich oporników, wynika to bezpośrednio ze wzoru(4).

Korzystając z oznaczeń występujących na schemacie(4) użyłem oporników o wartościach, $R_1 = 10k\Omega$ a jako $R_2 = 100k\Omega$.

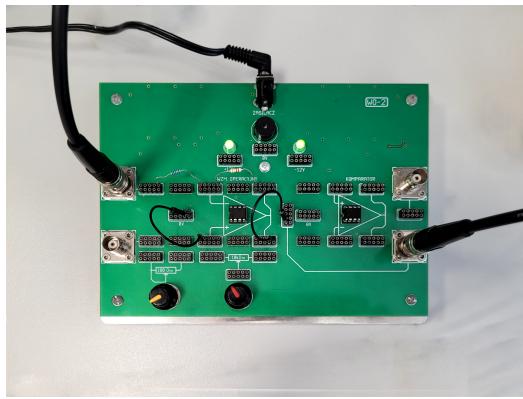
Realne odczyty z oporników jakie uzyskałem prezentują się następująco:

$$R_1 \approx 9,97k\Omega$$

$$R_1 \approx 99,6k\Omega$$

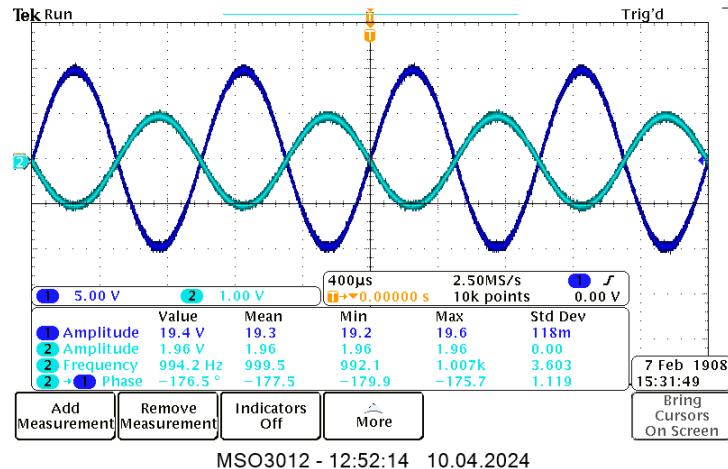
Wzmocnienie K wynosi wtedy odpowiednio:

$$K = \frac{99,6}{9,97} \approx 9,98996 \quad (7)$$



Rysunek 9: Poprawnie zmontowany wzmacniacz odwracający fazę o wzmacnieniu 10,
 Źródło: Opracowanie własne

2.2.2 Pomiar dla 1V oraz 1kHz



Rysunek 10: Odczyt z oscyloskopu dla 1kHz i 1V,
 Źródło: Opracowanie własne

Dla częstotliwości 1kHz oraz amplitudy 1V użykałem, $U_{WE} = 1,96V$, $U_{WY} = 19,4V$ a różnica faz wynosiła: $176,5^\circ$.

2.2.3 Charakterystyka amplitudowa

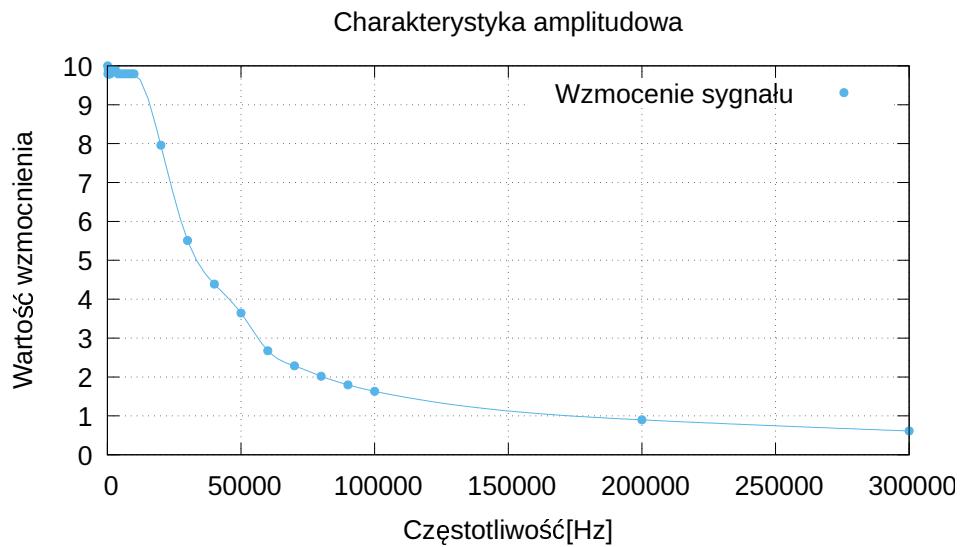
Kolejnym krokiem było zbadanie charakterystyk układu, amplitudowej oraz fazowej.

Hz	Amplituda wyjściowa[V]	Amplituda wejściowa[V]	Wartość wzmacnienia
100	19.6	1.96	10
200	19.2	1.96	9.795918367
300	19.4	1.96	9.897959184
400	19.3	1.96	9.846938776
500	19.2	1.96	9.795918367
600	19.4	1.96	9.897959184
700	19.4	1.96	9.897959184
800	19.2	1.96	9.795918367
900	19.2	1.96	9.795918367
1 000	19.2	1.96	9.795918367
2 000	19.4	1.96	9.897959184
3 000	19.4	1.96	9.897959184
4 000	19.2	1.96	9.795918367
5 000	19.2	1.96	9.795918367
6 000	19.2	1.96	9.795918367
7 000	19.2	1.96	9.795918367
8 000	19.2	1.96	9.795918367
9 000	19.2	1.96	9.795918367
10 000	19.2	1.96	9.795918367
20 000	15.6	1.96	7.959183673
30 000	10.8	1.96	5.510204082
40 000	8.6	1.96	4.387755102
50 000	7	1.92	3.645833333
60 000	5.24	1.96	2.673469388
70 000	4.48	1.96	2.285714286
80 000	3.96	1.96	2.020408163
90 000	3.52	1.96	1.795918367
100 000	3.2	1.96	1.632653061
200 000	1.76	1.96	0.897959184
300 000	1.2	1.96	0.612244898

Tablica 1: Dane zebrane z oscyloskopu,

Źródło: Opracowanie własne

Wartość wzmacnienia jest to po prostu iloraz napięcia wyjściowego z napięciem wejściowym.



Rysunek 11: Charakterystyka amplitudowa generatora odwracającego fazę o wzmacnieniu 10,
Źródło: Opracowanie własne

Jak widzimy wraz ze wzrostem częstotliwości z czasem wzmacnienie układu opada. Jest to spodziewane zjawisko co oznacza, że układ zachowuje się poprawnie.

2.2.4 Charakterystyka fazowa

Hz	Faza[stopnie]
100	179.4
200	177.9
300	179.6
400	178.8
500	178
600	176.8
700	177.1
800	179.6
900	179
1000	177.9
2000	178.5
3000	175.9
4000	176.6
5000	175.6
6000	173
7000	173.5
8000	172.8
9000	167.5
10000	167.5
20000	136.2
30000	118.7
40000	114.5
50000	109.4
60000	98.2
70000	103.5
80000	91.03
90000	100.1
100000	93.51
200000	88.56
300000	-106.3

Tablica 2: Dane odczytane z oscyloskopu,
Źródło: Opracowanie własne

Jak jesteśmy w stanie zaobserwować, podobna charakterystyka tyczy się fazy układu. Dla niższych częstotliwości utrzymuje się ona w okolicach oczekiwanych 180° jednak wraz ze wzrostem częstotliwości obserwujemy zmniejszanie się przesunięcia.

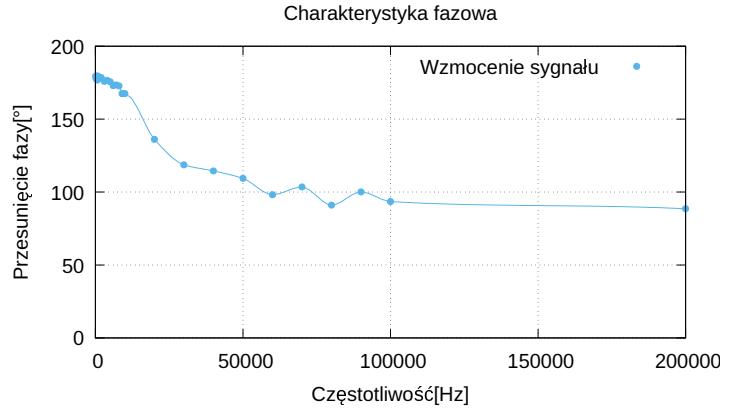
2.3 Ćwiczenie 3.3

Następnym układem do zmontowania był sumator o dwóch wejściach. Jego budowa składała się z 3 oporników. Trzymając się oznaczeń ze schematu(5), zanotowałem poniższe wartości dla wybranych oporników:

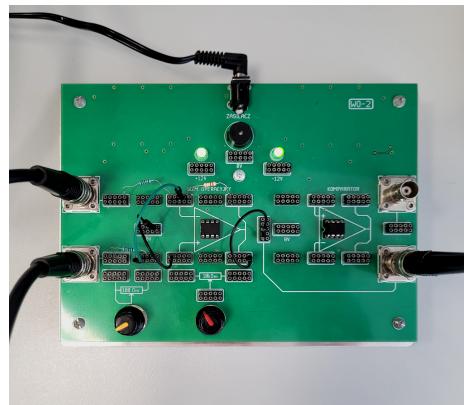
$$R = 99,6k\Omega$$

$$R_1 = 9,97k\Omega$$

$$R_2 = 9,97k\Omega$$



Rysunek 12: Charakterystyka fazowa generatora odwracającego fazę o wzmacnieniu 10,
Źródło: Opracowanie własne



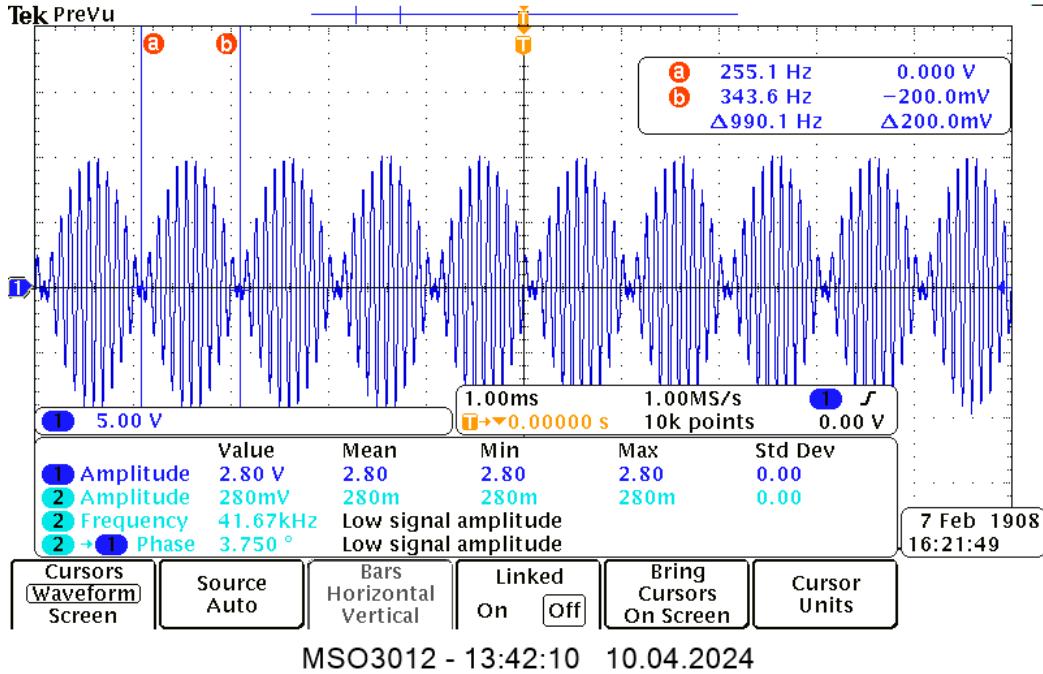
Rysunek 13: Poprawnie zmontowany sumator o dwóch wejściach,
Źródło: Opracowanie własne

2.3.1 Zjawisko dudnień

Zaobserwowanie powyższego zjawisko można osiągnąć sumując dwa sygnały o podobnych amplitudach oraz nieznacznie różnych częstotliwościach. Oto przy jakich ustawieniach udało się to zjawisko zaobserwować:

Kanał z generatora	Odpowiadający opornik	Częstotliwość	Amplituda
ch1	R_1	11kHz	0.5V
ch2	R_2	10kHz	0.5V

Tablica 3: Ustawienia dla których wystąpiło zjawisko dudnień,
 Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 14: Zjawisko dudnień uzyskane przy zastosowaniu nieznacznie różnych częstotliwości,
 Źródło: Opracowanie własne

Pomiary uzyskane podczas zajęć prezentują się następująco:

Obwiednia: **990, 1Hz**

Sygnal zsumowany: $\sim 10\text{V}$

Wynik uzyskany dla obwiedni jest poprawny dla danych wejściowych:

$$11\text{kHz} - 10\text{kHz} = 1\text{kHz} \quad (8)$$

Natomiast obserwując maksymalną amplitudę dudnień jesteśmy w stanie zauważyć, że wynosi ona $\sim 10\text{V}$. Zestawiając to ze wzorem(5):

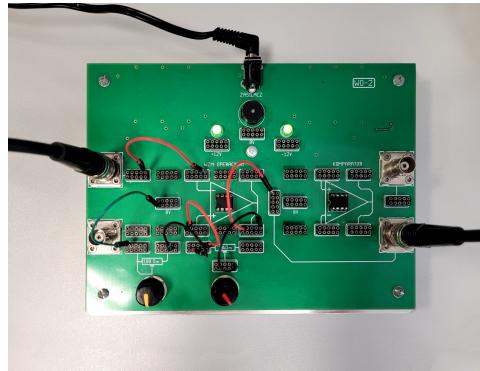
$$U_{WY} = -99.6k\Omega \left(\frac{0,5\text{V}}{9.97k\Omega} + \frac{0,5\text{V}}{9.97k\Omega} \right) = -9,98996\ldots\text{V} \approx -10\text{V} \quad (9)$$

Zgadza się to jak najbardziej z wartościami które osiąga uzyskane w eksperymencie zjawisko dudnienia.

2.4 Ćwiczenie 3.4

Kolejna modyfikacja układu dotyczyła jego przebudowy w przerzutnik Schmidta. Do jego budowy zostały zastosowane wbudowane w płytke oporniki o zmiennej oporności. ich maksymalne oporności wynosiły 100Ω oraz

10Ω . Dokładną wartość obu można dostosować obracając specjalne pokrętła.



Rysunek 15: Poprawnie zmontowany przerzutnik Schmidta korzystający z oporników ze zmienną opornością,
Źródło: Opracowanie własne

Dynamiczna możliwość zmiany oporu została wykorzystana do poprawnego pozycjonowania sygnałów na podziałce na oscylскопie w celu łatwiejszych pomiarów. Korzystając z oznaczeń na schemacie(6) ustawione wartości oporników prezentują się następująco:

$$R_1 = 0,971k\Omega$$

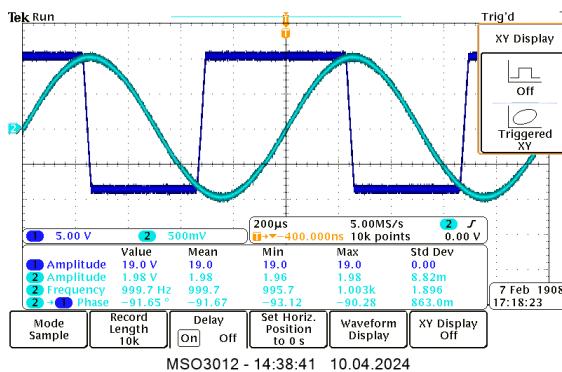
$$R_2 = 97,1k\Omega$$

Kolejnym krokiem było uzyskanie efektu histerezy wykreślając sygnał wejściowy na osiach X oraz Y. Powyższe kroki należało wykonać dla fal sinusoidalnych oraz trójkątnych.

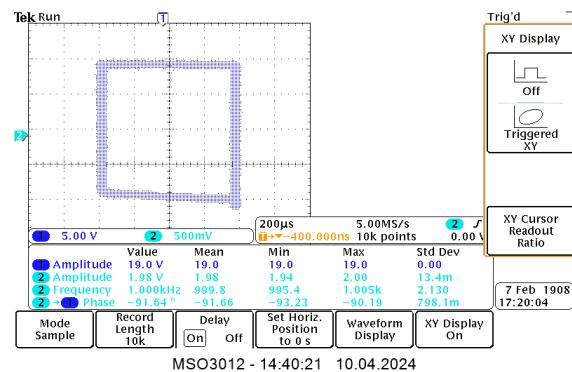
Korzystając z ozanczeń(7) oraz wzoru na schemacie(6) możemy podjąć się obliczeń:

$$U_P = \frac{97,1\Omega}{0,971k\Omega + 9,71\Omega} \cdot 11,88V = 1,08V \quad (10)$$

2.4.1 Sygnał sinusoidalny

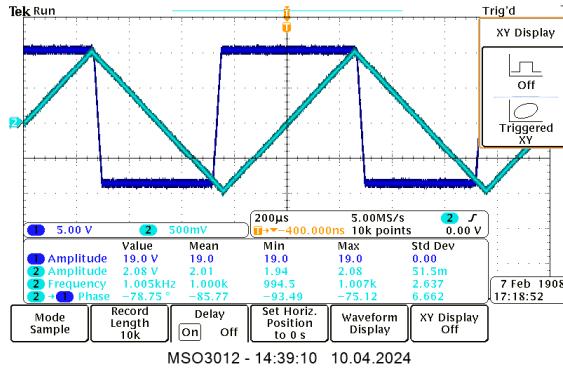


Rysunek 16: Zestawienie sygnału wejściowego z wyjściowym dla fali sinusoidalnej,
Źródło: Opracowanie własne

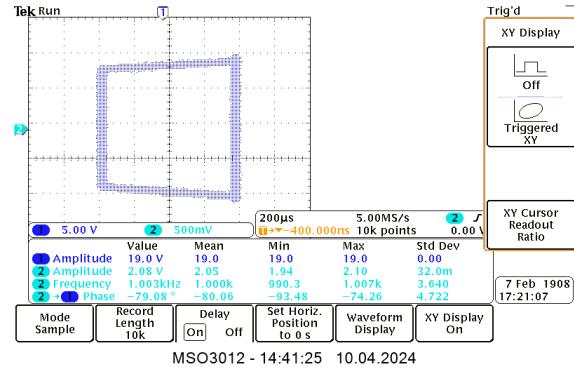


Rysunek 17: Uzyskane zjawisko histerezy w widoku XY oscylскопu dla fali sinusoidalnej,
Źródło: Opracowanie własne

2.4.2 Sygnał trójkątny



Rysunek 18: Zestawienie sygnału wejściowego z wyjściowym dla fali trójkątnej,
 Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 19: Uzyskane zjawisko histerezy w widoku XY oscyloskopu dla fali trójkątnej,
 Źródło: Opracowanie własne

3 Omówienie wyników

3.1 Ćwiczenie 3.1

Wszystkie pomiary zgadzały się z oczekiwany.

3.2 Ćwiczenie 3.2

Wartości oporników oraz obliczone wzmacnienie co do wartości zgadzały z uzyskanym efektem co sugeruje poprawność działania układu. Jednak szczegółowo dosyć martwiącym jest odczyt uzyskanej amplitudy (wejściowej jak i wyjściowej). Posiadają one bowiem wartość podwojoną do wprowadzonej (1V). Domyślam się, że jest to mój błąd spowodowany brakiem włączenia specyficznego ustawienia którego nazewnictwa nie jestem w stanie przytoczyć (sprawiało ono, że przekazywana była faktyczna wartość a nie podwojona). Występowało ono kilka razy na poprzednich zajęciach jednakże tym razem musiałem to przeoczyć podczas wykonywania eksperymentów. Nie zmienia to jednak faktu poprawności wykonanego układu oraz pozostałych odczytów jak przesunięcie fazowe które oscylowało w okolicy 180° . Wyniki uzyskane przy zbieraniu charakterystyk układu dotyczyły wartości wzmacnienia oraz przesunięcia fazowego w zależności od częstotliwości więc na te dane nie wpłynęło to w żaden negatywny sposób.

3.3 Ćwiczenie 3.3

Zadanie to przeszło pomyślnie od początku do końca. Udało się zaobserwować pożądany efekt dudnień oraz wszystkie wykonane obliczenia pokrywają się z danymi z oscyloskopu.

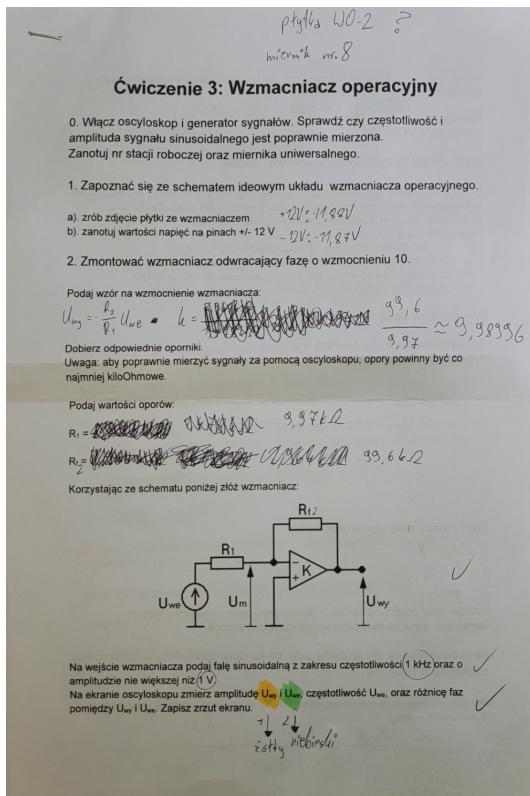
3.4 Ćwiczenie 3.4

Jak można zauważać po przebiegu sygnałów dla obu typów fal, przerzutnik działa poprawnie – zmienia swój stan gdy osiągniemy odpowiednią amplitudę. Jednak spoglądając na wyniki obliczeń oraz pomiary histerezy znowu jesteśmy w stanie zauważać pewną różnicę wyników. Jest to zapewne spowodowane tym samym powodem o którym wspomniałem wcześniej. Proste podzielenie przez 2 daje nam już zbliżone wartości do wykonanych obliczeń oraz pomiarów U_P oraz E .

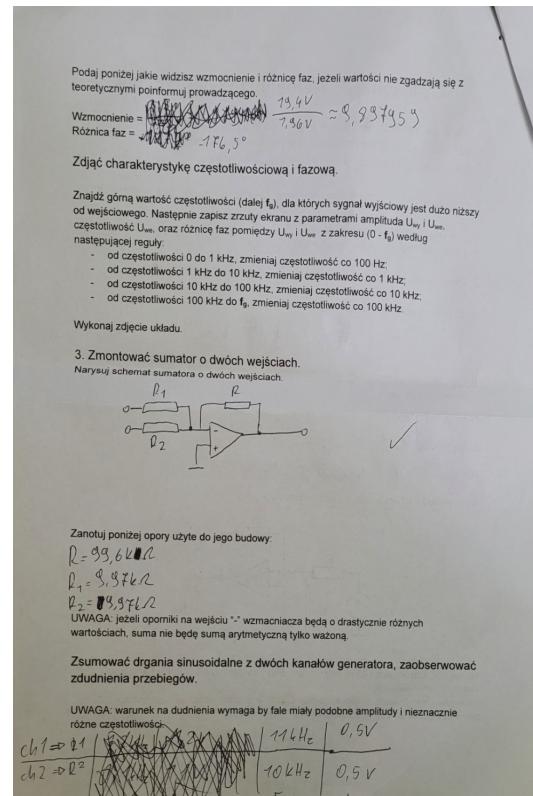
4 Podsumowanie

Podczas powyżej opisanych zajęć laboratoryjnych zgłębione zostało działanie wzmacniaczy operacyjnych oraz przerzutników, które stanowią fundamentalne elementy w dziedzinie elektroniki. W praktyce zbudowane były różne typy układów wzmacniających, takie jak *wzmacniacz odwracający fazę*, który charakteryzuje się przesunięciem fazowym na wyjściu o 180 stopni w stosunku do sygnału wejściowego, czy *sumator dwóch sygnałów*. Ponadto w kontekście przerzutników przeprowadzona została analiza *przerzutnika Schmidta*. Zbudowany układ umożliwił zrozumienie istoty histerezy oraz zjawiska przełączania stanu na podstawie poziomu napięcia wejściowego. To doświadczenie pozwoliło lepiej zrozumieć praktyczne zastosowania przerzutników w układach, gdzie zachowanie takie ma kluczowe znaczenie dla stabilnego działania systemu.

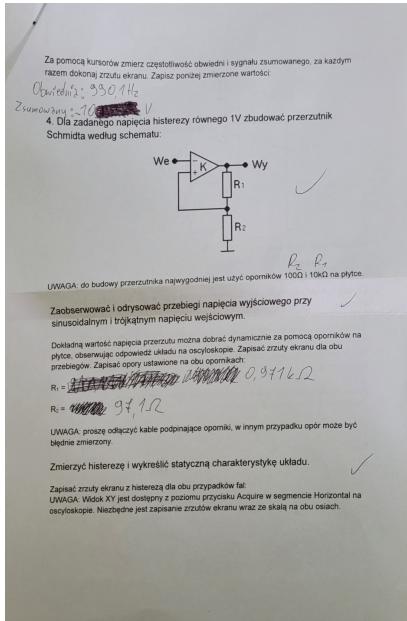
5 Notatki i materiały z zajęć



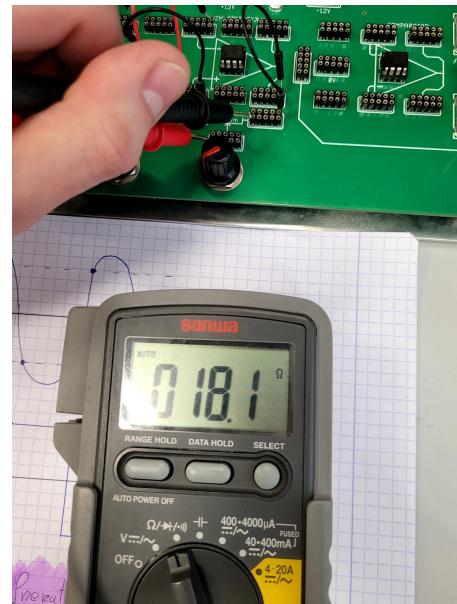
Rysunek 20: Wypełniona karta pracy,
 Źródło: Opracowanie własne



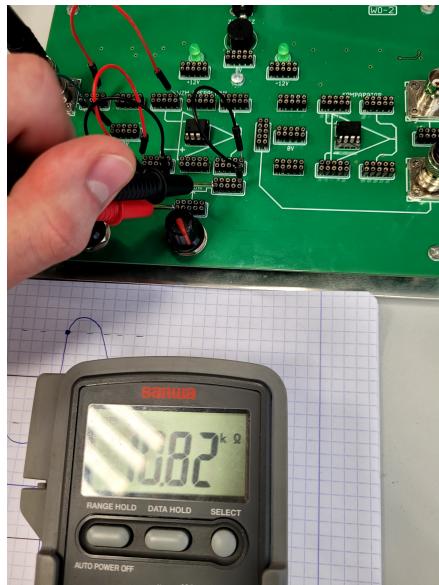
Rysunek 21: Wypełniona karta pracy,
 Źródło: Opracowanie własne



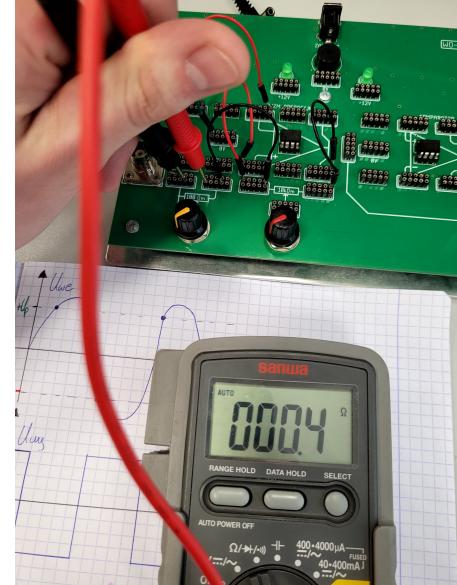
Rysunek 22: Wypełniona karta pracy,
 Źródło: Opracowanie własne



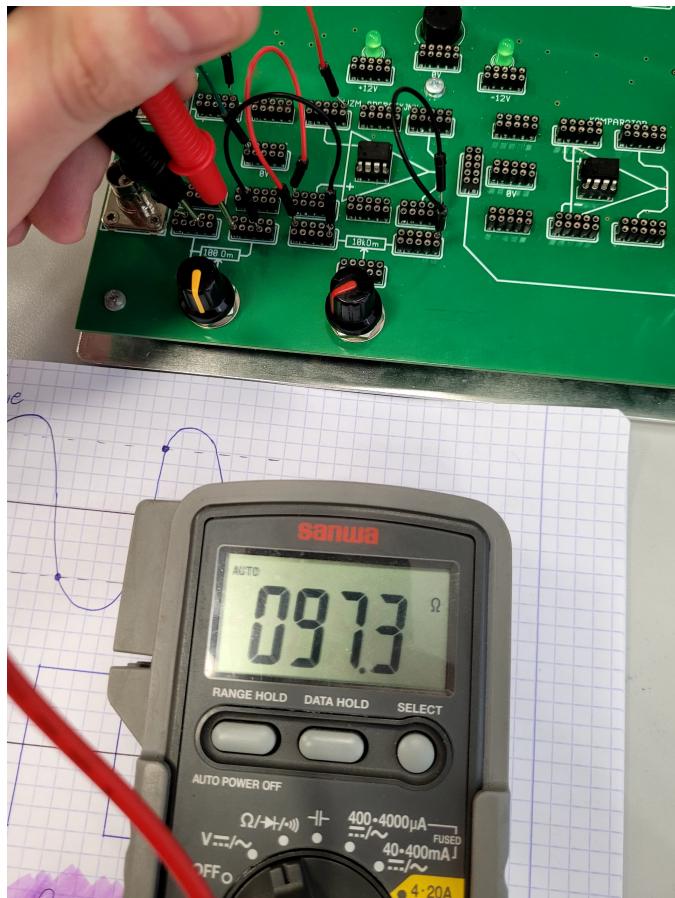
Rysunek 23: Minimalny opór opornika R_1 z płytki,
 Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 24: Maksymalny opór opornika R_1 z płytki,
 Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 25: Minimalny opór opornika R_2 z płytki,
 Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 26: Maksymalny opór opornika R_1 z płytki,
 Źródło: Opracowanie własne