

Uniwersytet Warszawski  
Wydział Fizyki

Marysia Nazarczuk

Nr albumu: 417755

# DIODY PÓŁPRZEWODNIKOWE

## Streszczenie

W ramach zajęć laboratoryjnych zbadano różne rodzaje diod. Wyznaczono ich napięcia przewodzenia oraz charakterystykę prądowo-napięciową, a dla diody Zenera wyznaczono wartość napięcia przebicia  $V_Z = (1.76 \pm 0.30) \text{ V}$ . Zbudowano układ prostownika jednopółkowego i dwupółkowego, które to posłużyły do zamiany prądu zmiennego na prąd stały. Dla diody Zenera wyznaczono również opór wewnętrzny  $R_w = (51.9 \pm 1.4) \Omega$ .

Warszawa, Listopad 2024



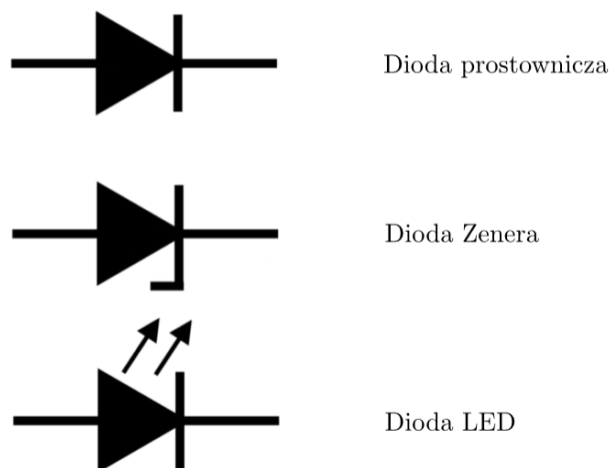
# Spis treści

<b>1. Wstęp teoretyczny</b>	5
1.1 Diody Zenera	5
1.2 Diody LED	5
1.3 Diody Germanowe	5
1.4 Diody Prostownicze	6
<b>2. Identyfikacja diod</b>	7
2.1 Cel doświadczenia	7
2.2 Przygotowanie do pomiaru	7
2.3 Przebieg pomiarów	7
2.4 Wyniki pomiarów	8
2.5 Omówienie wyników	8
2.6 Wnioski	8
<b>3. Charakterystyka prądowo-napięciowa</b>	9
3.1 Wstęp teoretyczny	9
3.2 Układ doświadczalny	9
3.3 Przeprowadzenie doświadczenia	9
3.4 Analiza pomiarów	10
3.5 Wnioski	11
<b>4. Prostownik jednopółkowy</b>	13
4.1 Wstęp teoretyczny	13
4.2 Budowa układu i analiza wykresów	13
4.2.1 Układ podstawowy	13
4.2.2 Układ z kondensatorem	14
4.2.3 Układ z kondensatorem i rezystorem	15
4.3 Wnioski	15
<b>5. Prostownik dwupółkowy</b>	17
5.1 Wstęp teoretyczny	17
5.2 Schemat układu i analiza wykresów	17
5.2.1 Układ podstawowy	17
5.2.2 Układ z kondensatorem i rezystorem	18
5.3 Wnioski	19
<b>6. Model diody Zenera</b>	21
6.1 Wstęp teoretyczny	21
6.2 Układ doświadczalny	21
6.3 Przeprowadzenie doświadczenia	21
6.4 Analiza pomiarów	21
6.5 Wnioski	22
<b>7. Podsumowanie</b>	25

<b>Bibliografia</b> . . . . .	<b>27</b>
-------------------------------	-----------

# 1. Wstęp teoretyczny

Dioda jest jednym z podstawowych elementów półprzewodnikowych, który umożliwia przepływ prądu tylko w jednym kierunku, zwanym kierunkiem przewodzenia. Właściwość tę uzyskuje się dzięki połączeniu dwóch typów półprzewodników: typu  $n$  oraz typu  $p$ . W zależności od materiałów i konstrukcji, istnieje wiele specjalistycznych rodzajów diod, różniących się właściwościami oraz zastosowaniami. W niniejszym raporcie omówiono diody użyte w ćwiczeniu: Zenera, LED, germanowe oraz prostownicze.



Rysunek 1.1: Przykłady symboli schematowych różnych typów diod.

## 1.1. Diody Zenera

**Diody Zenera** działają podobnie jak standardowe diody w kierunku przewodzenia, ale wyróżniają się specyficznym zachowaniem w kierunku zaporowym. Każda dioda Zenera posiada charakterystyczną wartość napięcia wstecznego, po którego przekroczeniu prąd wsteczny gwałtownie rośnie. Zjawisko to, zwane przebicciem Zenera, jest nieszkodliwe dla diody i pozwala na stabilizację napięcia stałego. Dzięki tej właściwości diody Zenera są stosowane jako stabilizatory napięcia lub źródła napięcia odniesienia. Jednakże, przy napięciu znacząco przekraczającym wartość napięcia Zenera, może wystąpić zjawisko przebicia lawinowego, które może prowadzić do uszkodzenia diody.

## 1.2. Diody LED

**Diody LED** (Light Emitting Diode) emitują światło na skutek zjawiska elektroluminescencji, które polega na generowaniu światła pod wpływem pola elektrycznego. W diodach LED elektrony rekombinują promieniście, przechodząc z wyższych poziomów energetycznych na niższe, co powoduje emisję światła. Wydajność rekombinacji promienistej uzależniona jest od materiału półprzewodnika, np. arsenku galu, który często wykorzystuje się do produkcji diod LED. Barwa emitowanego światła zależy od rodzaju użytego półprzewodnika; przykładowo, azotek galu jest stosowany w diodach na podczerwień. Białe światło uzyskuje się poprzez zastosowanie diody emitującej światło ultrafioletowe, pokrytej trójwarstwowym luminoforem, który przekształca światło UV na barwy podstawowe.

## 1.3. Diody Germanowe

**Diody germanowe** są produkowane z kryształu germanu i charakteryzują się bardziej zbliżoną do idealnej charakterystyką przewodzenia w kierunku przewodzenia. Mają niską odporność na wysokie

temperatury, co ogranicza ich zastosowania. Diody germanowe wykorzystuje się głównie w układach detekcyjnych, gdzie ich charakterystyka i niska bariera potencjału umożliwiają wykrywanie sygnałów o niewielkiej amplitudzie.

## 1.4. Diody Prostownicze

**Diody prostownicze** działają na zasadzie prostowania prądu, czyli przepuszczają prąd tylko w kierunku przewodzenia, blokując go w kierunku zaporowym. W przeciwieństwie do diod Zenera, napięcie przebicia dla diod prostowniczych nie jest dokładnie zdefiniowane, dlatego w przypadku osiągnięcia wysokiego napięcia wstecznego dochodzi zwykle do przebicia lawinowego, co może doprowadzić do ich uszkodzenia. Diody prostownicze stosowane są powszechnie w układach przekształcających prąd przemienny na prąd stały.

## 2. Identyfikacja diod

### 2.1. Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest identyfikacja różnych rodzajów diod przy użyciu miernika uniwersalnego, oraz pomiar ich napięcia przewodzenia. Napięcie przewodzenia diody to minimalna wartość napięcia, którą należy przyłożyć do diody, aby rozpoczął się przepływ prądu o ustalonym natężeniu. Diody zostaną zidentyfikowane poprzez pomiar napięcia przewodzenia, a następnie zostaną porównane z typowymi wartościami przewodzenia dla różnych rodzajów diod.

### 2.2. Przygotowanie do pomiaru

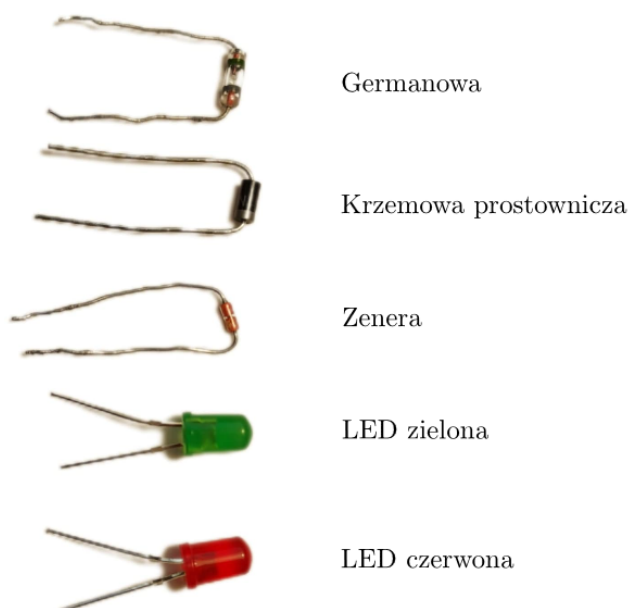
Do pomiaru użyto miernika uniwersalnego Brymen 805. Diody były podłączone do gniazd COM i  $\Omega V$ , a tryb pomiaru napięcia przewodzenia wybrano poprzez ustawienie pokrętki na pozycję mierzenia oporności i naciśnięcie przycisku SELECT dwukrotnie (pojawienie się symbolu diody na wyświetlaczu). Napięcie przewodzenia mierzone w układzie pozwala na:

- rozróżnienie typu diody: germanowa, krzemowa, dioda Zenera lub dioda LED,
- sprawdzenie poprawności działania diody.

Jeżeli miernik wskazuje „0L” w kierunku zaporowym, oznacza to, że dioda jest sprawna. Wartości przewodzenia poniżej 0.9V wskazują na diody standardowe (germanowe, krzemowe), natomiast wyższe wartości sugerują obecność diody LED lub uszkodzenie.

### 2.3. Przebieg pomiarów

Rysunek 2.1 przedstawia zdjęcie diod użytych w doświadczeniu. W celu identyfikacji przeprowadzono test napięcia przewodzenia każdej diody, zapisując wartości w tabeli 2.1. Diody germanowe i krzemowe charakteryzują się niższym napięciem przewodzenia, natomiast diody LED mają wyższe wartości, co pozwala na ich rozróżnienie.



Rysunek 2.1: Zdjęcie poszczególnych diod. Nóżki na górze to złącze dodatnie, a na dole to ujemne.

## 2.4. Wyniki pomiarów

W tabeli 2.1 zestawiono wyniki pomiarów napięcia przewodzenia dla różnych rodzajów diod:

Rodzaj diody	Napięcie przewodzenia [V]
Germanowa	0.305
Krzemowa prostownicza	0.571
Zenera	0.724
LED zielona	1.809
LED czerwona	1.624

Tabela 2.1: Napięcia przewodzenia różnych rodzajów diod

## 2.5. Omówienie wyników

Wyniki pomiarów są zgodne z teoretycznymi wartościami [4] napięć przewodzenia dla różnych rodzajów diod:

- **Diody germanowe:** Napięcie przewodzenia wynosi około 0.2–0.3 V, co odpowiada wartości 0.305 V zmierzonej dla diody germanowej.
- **Diody krzemowe:** Napięcie przewodzenia mieści się w zakresie 0.5–0.7 V, co potwierdza wynik 0.571 V dla krzemowej diody prostowniczej.
- **Dioda Zenera:** Napięcie przewodzenia wynosi 0.7 V, co zgadza się z wynikiem 0.724 V.
- **Diody LED:** Wyższe napięcia przewodzenia są charakterystyczne dla diod LED. Wynik 1.809 V dla zielonej i 1.624 V dla czerwonej diody LED jest zgodny z przewidywaniami.

## 2.6. Wnioski

Przeprowadzone pomiary pozwoliły na poprawną identyfikację diod w zestawie oraz weryfikację ich sprawności. Diody germanowe i krzemowe miały napięcia przewodzenia zgodne z teoretycznymi wartościami, natomiast diody LED wykazały wyższe napięcia przewodzenia, charakterystyczne dla tego typu diod. Wyniki te potwierdzają sprawność wszystkich testowanych elementów oraz ich zgodność z przewidywanymi parametrami.



# 3. Charakterystyka prądowo-napięciowa

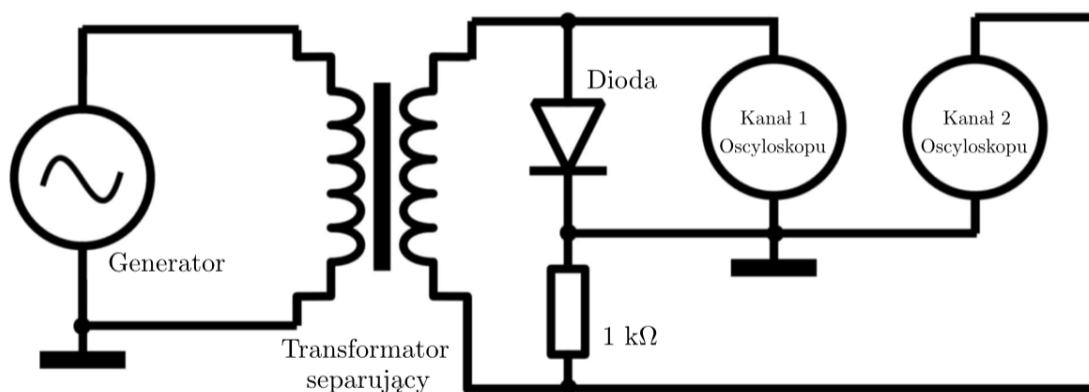
## 3.1. Wstęp teoretyczny

Charakterystyka prądowo-napięciowa diody przedstawia zależność między prądem przepływającym przez diodę a napięciem przyłożonym do jej zacisków. Diody są półprzewodnikowymi elementami elektronicznymi, które przewodzą prąd tylko w jednym kierunku (kierunku przewodzenia), blokując go w przeciwnym (kierunku zaporowym). Zjawisko to jest możliwe dzięki zastosowaniu złącza p-n, stworzonego z dwóch półprzewodników o różnych właściwościach: typu p oraz typu n.

## 3.2. Układ doświadczalny

Do rejestracji charakterystyki prądowo-napięciowej diody użyto oscyloskopu w trybie XY oraz układu składającego się z diody i rezystora połączonych szeregowo, zasilanych napięciem przemiennym. Kanał X oscyloskopu podłączono do napięcia na diodzie, a kanał Y do napięcia na rezystorze, co pozwala na wyświetlenie na oscyloskopie charakterystyki diody. Wartość na kanale Y odpowiada prądowi przepływającemu przez diodę, przeskalowanemu przez wartość rezystancji.

Ze względu na wspólną masę oscyloskopu i generatora napięcia, bezpośredni pomiar napięcia na diodzie nie jest możliwy. Problem ten można rozwiązać, stosując transformator separujący między generatorem a układem pomiarowym. Schemat układu przedstawiono na rysunku 3.1.



Rysunek 3.1: Schemat obwodu elektrycznego.

## 3.3. Przeprowadzenie doświadczenia

W konfiguracji przedstawionej na rysunku 3.1, kanał 1 oscyloskopu mierzony jest bezpośrednio na diodzie, podczas gdy kanał 2 rejestruje napięcie na rezystorze, z odwróconą polaryzacją ze względu na wspólną masę układu. Podczas badania dla różnych diod (germanowej, krzemowej, Zenera oraz LED) oscyloskop wyświetlił ich charakterystyki prądowo-napięciowe. Zdjęcia z oscyloskopu dla poszczególnych diod zamieszczono na rysunku 3.7.



Germanowa



Krzemowa



Zenera



LED zielona



LED czerwona

Rysunek 3.7: Charakterystykę prądowo-napięciową dla różnych rodzajów diod

### 3.4. Analiza pomiarów

Na rysunku 3.7 przedstawiono charakterystyki prądowo-napięciowe badanych diod. Charakterystyka diody germanowej wykazuje inny kształt, ponieważ dioda ta została zamontowana odwrotnie, co skutkuje odbiciem względem osi OX i OY. Każdy rodzaj diody charakteryzuje się innymi parametrami przewodzenia oraz różnymi wartościami napięcia zaporowego. Dla diody Zenera charakterystyczne jest wystąpienie napięcia Zenera, powyżej którego zaczyna ona przewodzić w kierunku zaporowym bez uszkodzenia.

Z poszczególnych charakterystyk prądowo-napięciowych dokonano odczytu napięć przewodzenia. Użyte wyniki umieszczono w tabeli 3.1. Dodatkowo dla diody Zenera wyznaczono wartość napięcia przebicia

$$V_Z = (1.76 \pm 0.30) \text{ V} \quad (3.1)$$

Rodzaj diody	Napięcie przewodzenia [V]
Germanowa	0.17
Krzemowa prostownicza	0.54
Zenera	0.73
LED zielona	1.75
LED czerwona	1.65

Tabela 3.1: Napięcia przewodzenia różnych rodzajów diod

### 3.5. Wnioski

Wyniki pomiarów są zgodne z teoretycznymi wartościami napięć przewodzenia oraz zbliżone są do wartości zmierzonych za pomocą miernika uniwersalnego.



## 4. Prostownik jednopółówkowy

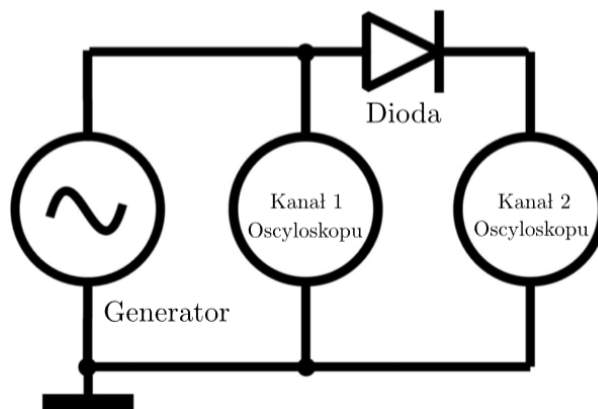
### 4.1. Wstęp teoretyczny

Prostowniki służą do zamiany prądu zmiennego na prąd stały i są szeroko stosowane do zasilania większości urządzeń elektronicznych podłączonych do sieci energetycznej. Prostownik jednopółówkowy jest jednym z najprostszych układów elektronicznych służących do prostowania prądu zmiennego. Składa się z jednej diody, która umożliwia przepływ prądu tylko w jednym kierunku, blokując go w przeciwnym. W przypadku sinusoidalnego napięcia wejściowego, dioda przewodzi prąd tylko w połowie cyklu, w czasie, gdy napięcie jest dodatnie. W wyniku tego na wyjściu prostownika uzyskuje się pulsujące napięcie jednopółówkowe. Aby uzyskać bardziej stabilne napięcie, układ ten może być modyfikowany o dodatkowe elementy, takie jak kondensator lub rezystor.

### 4.2. Budowa układu i analiza wykresów

#### 4.2.1. Układ podstawowy

W pierwszym etapie skonstruowano prostownik jednopółówkowy z jedną diodą, którego schemat znajduje się na rysunku 4.1. Dla sinusoidalnego napięcia wejściowego o amplitudzie 5 V i częstotliwości 300 Hz przeprowadzono pomiar przebiegu napięcia wyjściowego, który został zaprezentowany na rysunku 4.2.



Rysunek 4.1: Schemat obwodu elektrycznego prostownika jednopółówkowego.

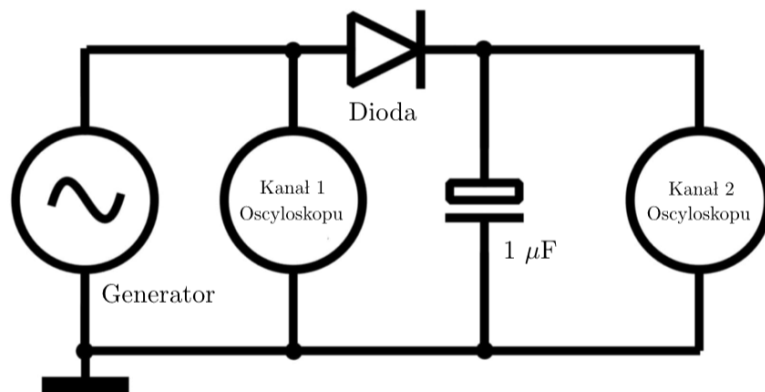
W tym układzie dioda przewodzi prąd tylko w dodatniej połowie cyklu napięcia wejściowego, co powoduje, że napięcie wyjściowe jest pulsujące, z zerową wartością podczas ujemnej połowy cyklu. Pomimo tego, że na wykresie napięcia wyjściowego występują pewne różnice wysokości między szczytami napięcia wejściowego a wyjściowego, są one stosunkowo niewielkie, co pozwala na oszacowanie napięcia przewodzenia diody.



Rysunek 4.2: Widok z oscyloskopu: przebieg napięcia wyjściowego prostownika jednopołówkowego.

#### 4.2.2. Układ z kondensatorem

Aby poprawić jakość napięcia wyjściowego, do układu prostownika jednopołówkowego dodano kondensator o pojemności  $1 \mu\text{F}$ , który został dołączony równolegle do wyjścia układu, jak pokazano na rysunku 4.3. Kondensator pomaga w wygładzaniu pulsującego napięcia wyjściowego poprzez przechwytywanie ładunku w czasie, gdy napięcie wejściowe jest ujemne, oraz stopniowe rozładowywanie się w trakcie tego okresu.



Rysunek 4.3: Schemat obwodu prostownika jednopołówkowego z kondensatorem.

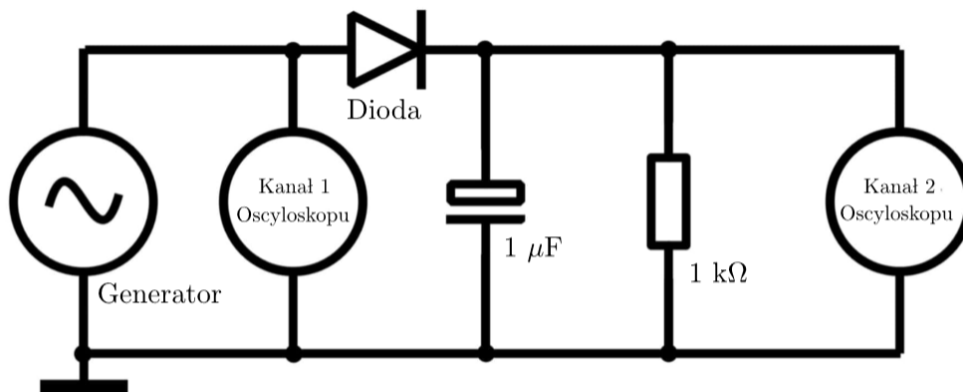
Na wykresie 4.4 przebiegu napięcia wyjściowego widać, że dodanie kondensatora znacznie wygładza napięcie wyjściowe, co pozwala na uzyskanie stabilniejszego napięcia.



Rysunek 4.4: Widok z oscyloskopu: przebieg napięcia wyjściowego prostownika jednopołówkowego z kondensatorem.

### 4.2.3. Układ z kondensatorem i rezystorem

Kolejnym krokiem było dodanie do układu prostownika jednopołówkowego rezystora o oporności  $1\text{ k}\Omega$  równolegle do wyjścia układu, jak przedstawiono na rysunku 4.5.



Rysunek 4.5: Schemat obwodu prostownika jednopołówkowego z kondensatorem i rezystorem.

Rezystor przyspiesza proces rozładowywania się kondensatora, co powoduje cykliczne zmiany napięcia wyjściowego, które można zaobserwować na wykresie 4.8. Dodatkowo, poprzez manipulowanie częstotliwością napięcia wejściowego, można obserwować wpływ tej zmiany na charakterystykę napięcia wyjściowego. Wraz ze wzrostem częstotliwości, napięcie wyjściowe zaczyna dążyć do stałego poziomu, który jest równy napięciu wejściowemu pomniejszonemu o napięcie przewodzenia diody.



Małe częstotliwości



Duże częstotliwości

Rysunek 4.8: Widok z oscyloskopu: przebieg napięcia wyjściowego prostownika jednopołówkowego z kondensatorem i rezystorem.

## 4.3. Wnioski

Z przeprowadzonych badań układów prostowników jednopołówkowych można wyciągnąć kilka istotnych wniosków.

Po pierwsze, prostownik jednopołówkowy bez dodatku kondensatora generuje na wyjściu napięcie pulsujące, które jest jedynie połową przebiegu sinusoidalnego napięcia wejściowego. Dioda w tym układzie skutecznie blokuje przepływ prądu w kierunku ujemnym, co prowadzi do pojawienia się prądu tylko w jednej połowie cyklu napięcia wejściowego.

Po dodaniu kondensatora do układu, napięcie wyjściowe staje się bardziej stabilne, ponieważ kondensator ładuje się w czasie dodatniego napięcia wejściowego i stopniowo rozładowuje podczas okresu, kiedy napięcie wejściowe jest ujemne. Dzięki temu przebieg napięcia wyjściowego jest znacznie gładniejszy, co polepsza jakość zasilania w układach wymagających bardziej stabilnego napięcia.

Kiedy do układu dodano dodatkowy rezystor, zauważono przyspieszenie procesu rozładowywania kondensatora, co powodowało cykliczne zmiany napięcia wyjściowego. Dodatkowo, zmiana częstotliwości napięcia wejściowego wpłynęła na zachowanie napięcia wyjściowego, które przy wyższych częstotliwościach zaczęło dążyć do stałego poziomu, który był równy napięciu wejściowemu pomniejszonemu o napięcie przewodzenia diody.

Wnioskując, modyfikacje układu prostownika jednopółwkowego, takie jak dodanie kondensatora czy rezystora, pozwalają na poprawę jakości napięcia wyjściowego. Dzięki tym modyfikacjom układ prostownika może być bardziej użyteczny w zastosowaniach, w których wymagana jest stabilizacja napięcia.



## 5. Prostownik dwupołówkowy

### 5.1. Wstęp teoretyczny

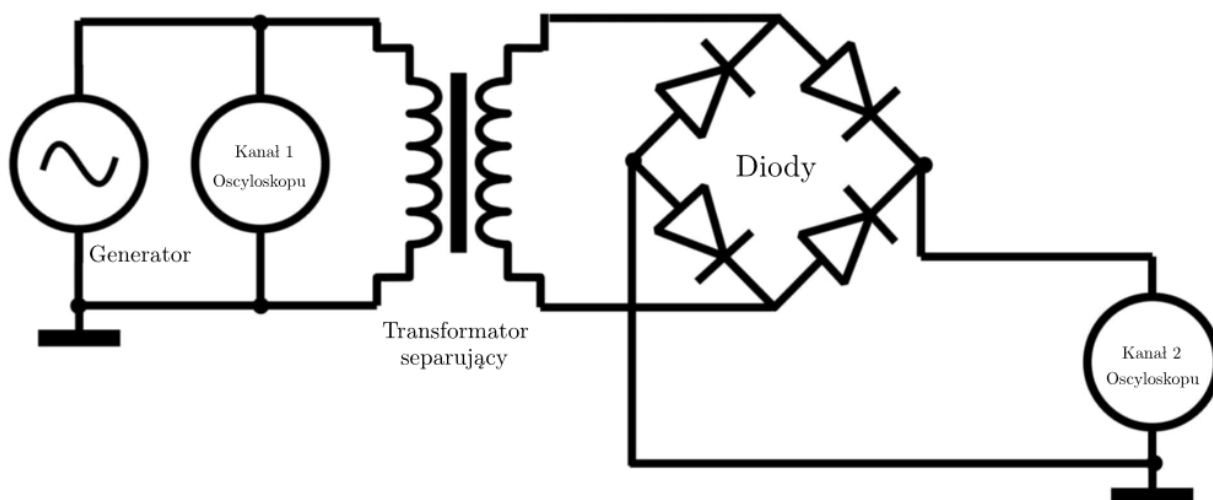
Prostownik dwupołówkowy to układ elektroniczny służący do konwersji prądu zmiennego (AC) na prąd stały (DC), który wykorzystuje cztery diody prostownicze. Jest to bardziej zaawansowana wersja prostownika jednapołówkowego, w którym sygnał wyjściowy jest prostowany w obu półokresach napięcia wejściowego. Dzięki temu, prostownik dwupołówkowy zapewnia wyższe napięcie wyjściowe oraz mniejsze pulsacje, co jest szczególnie korzystne w aplikacjach wymagających stabilnego napięcia.

W układzie prostownika dwupołówkowego, zarówno dodatnia, jak i ujemna półówka napięcia wejściowego są wykorzystywane do ładowania kondensatora, co pozwala na uzyskanie bardziej jednolitego napięcia na wyjściu. W zależności od konfiguracji diod, każda z nich prowadzi prąd tylko w jednym kierunku, prostując napięcie w obu półokresach okresu wejściowego. Dzięki takiej konfiguracji, czas, w którym napięcie na wyjściu układu jest zerowe, jest minimalizowany, a układ zapewnia pełny przebieg napięcia stałego.

### 5.2. Schemat układu i analiza wykresów

#### 5.2.1. Układ podstawowy

Schemat układu prostownika dwupołówkowego przedstawiono na rysunku 5.1. W układzie tym, po wyprostowaniu pełnej sinusoidy, na wyjściu pojawia się napięcie stałe przez cały okres zmian napięcia wejściowego.



Rysunek 5.1: Schemat obwodu elektrycznego.

Na wejście układu przyłożono napięcie sinusoidalne o częstotliwości 300 Hz i amplitudzie 5 V. Bez zastosowania dodatkowych elementów, jak kondensator czy rezystor, układ generuje na wyjściu przebieg, który jest zgodny z oczekiwaniami dla prostownika dwupołówkowego.

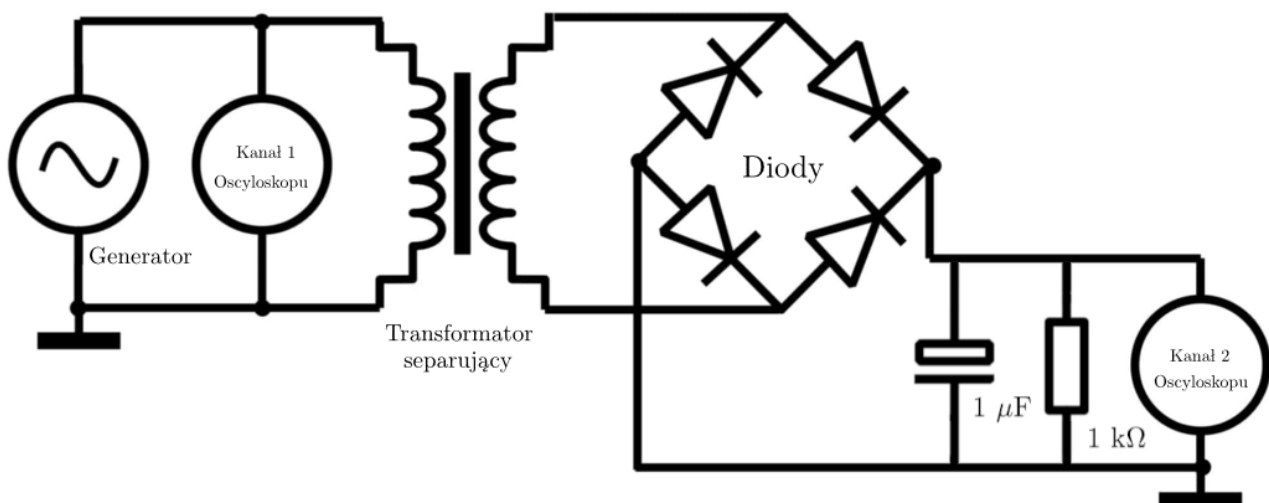
Przebieg napięcia bez kondensatora i rezystora przedstawiono na rysunku 5.2.



Rysunek 5.2: Zdjęcie ekranu oscyloskopu dla układu bez rezystora i kondensatora.

### 5.2.2. Układ z kondensatorem i rezystorem

Aby poprawić jakość napięcia wyjściowego, układ prostownika dwupołówkowego zmodyfikowano, dodając kondensator  $1\ \mu\text{F}$  oraz rezystor  $1\ \text{k}\Omega$ . Podobnie jak w przypadku prostownika jednopołówkowego, kondensator umożliwia wygładzanie napięcia wyjściowego, a rezystor wpływa na czas rozładowywania kondensatora. Schemat układu znajduje się na rysunku 5.3.



Rysunek 5.3: Schemat obwodu elektrycznego.

Po wprowadzeniu tych modyfikacji, przebieg napięcia wyjściowego, przedstawiony na rysunku 5.4, pokazuje zmniejszenie pulsacji napięcia oraz podwojenie częstotliwości względem napięcia wejściowego. Zjawisko to jest wynikiem faktu, że napięcie na wyjściu układu prostownika dwupołówkowego ma częstotliwość równą podwójnej częstotliwości napięcia wejściowego.



Rysunek 5.4: Zdjęcie ekranu oscyloskopu dla układu z kondensatorem i rezystorem.

### 5.3. Wnioski

Prostownik dwupołkowy jest bardziej efektywnym rozwiązaniem w porównaniu do prostownika jednopołkowego, oferującym wyższej jakości napięcie wyjściowe, większą stabilność i mniejsze pulsacje. Dodatkowe elementy, takie jak kondensator i rezystor, poprawiają jakość pracy układu, czyniąc go bardziej efektywnym.



## 6. Model diody Zenera

### 6.1. Wstęp teoretyczny

Rzeczywistą diodę Zenera możemy modelować jako idealną diodę Zenera połączoną szeregowo z rezystorem wewnętrznym  $R_w$ . Diody Zenera charakteryzują się tym, że po przekroczeniu pewnego napięcia (nazywanym napięciem Zenera) zaczynają przewodzić prąd w kierunku zaporowym. Ponadto diody Zenera mają małą oporność dynamiczną. Napięcie na diodzie Zenera można wyznaczyć z następującego wzoru:

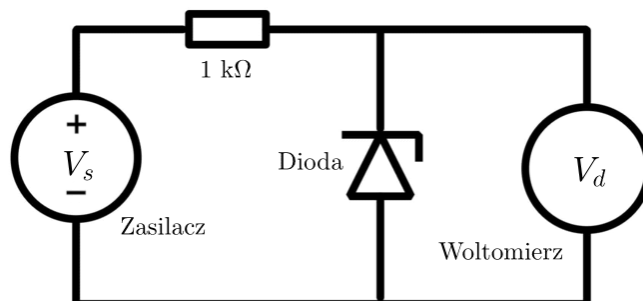
$$V_d = V_Z + IR_w \quad (6.1)$$

gdzie:

- $V_d$  to napięcie na diodzie,
- $V_Z$  to napięcie Zenera,
- $I$  to prąd płynący przez układ,
- $R_w$  to opór wewnętrzny diody Zenera.

### 6.2. Układ doświadczalny

Zbudowano układ składający się z szeregowo połączonych diody Zenera i rezystora o wartości  $1\text{ k}\Omega$ , do układu podłączono zasilacz. Schemat obwodu elektrycznego znajduje się na rysunku 6.1.



Rysunek 6.1: Schemat obwodu elektrycznego.

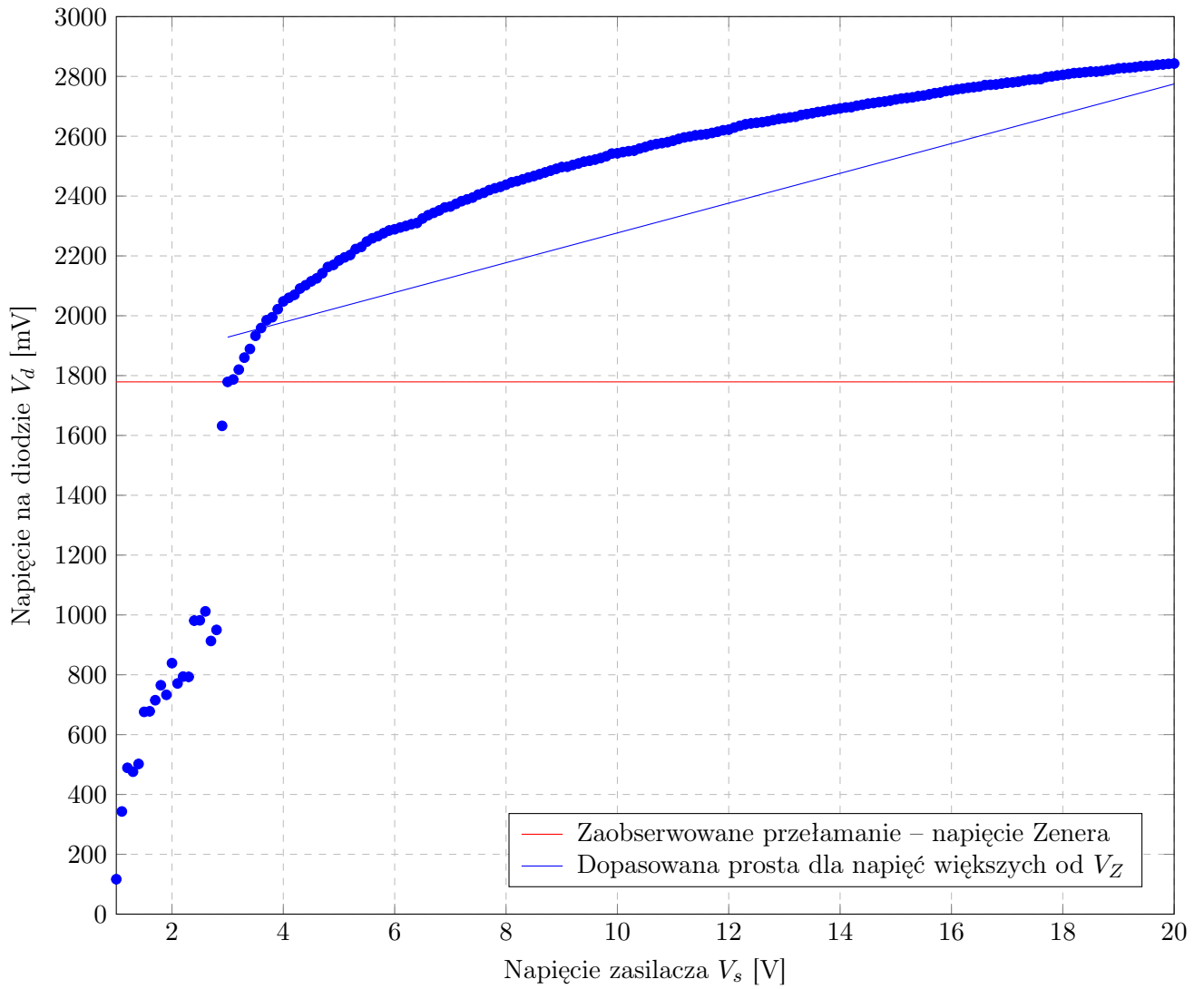
### 6.3. Przeprowadzenie doświadczenia

Pomiary napięcia na diodzie zostały wykonane dla zakresu napięć na zasilaczu od 0 do 20 V. Nagrano film w trakcie którego za pomocą pokrętła zmieniano napięcia na zasilaczu.

### 6.4. Analiza pomiarów

Początkowo z filmu czytywano dane co 1 V, jednak mała liczba zebranych pomiarów utrudniała analizę. Ostatecznie z filmu czytano dane co 0.1 V i stworzono z nich zależność napięcia na diodzie od napięcia na zasilaczu. Wykres zależności znajduje się na rysunku 6.2.

Zebrane dane wskazują na nieliniową zależność między napięciem na zasilaczu a napięciem na diodzie. Wartości napięcia na diodzie zaczynają rosnąć znacząco, gdy napięcie na zasilaczu przekroczy wartość napięcia Zenera.



Rysunek 6.2: Zależność napięcia na diodzie Zenera od napięcia na zasilaczu.

Zaobserwowano przełamanie około wartości 3 V na zasilaczu, co odpowiadało napięciu Zenera

$$V_Z = (1.78 \pm 0.05) \text{ V} \quad (6.2)$$

Zależność między napięciem na zasilaczu  $V_s$  a napięciem na diodzie  $V_d$  (dla napięć większych od napięcia Zenera) można opisać funkcją:

$$V_d = V_Z + \left( \frac{V_s - V_Z}{R_s + R_w} \right) R_w \quad (6.3)$$

gdzie  $R_s$  to rezystancja źródła zasilania. Z dopasowania prostej do danych otrzymujemy

$$R_w = (51.9 \pm 1.4) \Omega \quad (6.4)$$

## 6.5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów oraz dopasowania funkcji do wyników, możemy stwierdzić, że Napięcie Zenera wynosi

$$V_Z = (1.78 \pm 0.05) \text{ V} \quad (6.5)$$

zaś opór wewnętrzny diody Zenera  $R_w$  jest równy

$$R_w = (51.9 \pm 1.4) \Omega \quad (6.6)$$

Otrzymany wynik napięcia Zenera jest (w granicach niepewności) taki sam jak wyznaczony podczas badania charakterystyki prądowo-napięciowej. W obszarze napięć większych od napięcia Zenera, napięcie na diodzie rośnie liniowo z napięciem na zasilaczu, przy czym wzrost ten jest modulowany przez opór wewnętrzny diody.





## 7. Podsumowanie

1. W pierwszej części doświadczenia, wyznaczono wartości napięcia przewodzenia dla różnych rodzajów diod 2.1, zaś w drugiej części doświadczenia zbadano charakterystykę prądowo-napięciową 3.1. Pozwoliło to na wyznaczenie napięcia przewodzenia jako średniej arytmetycznej otrzymanych wyników.

Rodzaj diody	Napięcie przewodzenia [V]
Germanowa	0.24
Krzemowa prostownicza	0.56
Zenera	0.73
LED zielona	1.78
LED czerwona	1.64

Tabela 7.1: Napięcia przewodzenia różnych rodzajów diod

Porównano otrzymane wyniki z wartościami teoretycznymi, co pozwoliło na ich poprawną identyfikację.

2. W trzeciej części doświadczenia, zbudowano prostownik jednopółkowy. Zaś w czwartej części, zbudowano prostownik dwupółkowy. Ustalono, że dodanie do układu połączonych równolegle kondensatora i opornika, znacząco poprawia jakość napięcia wyjściowego.
3. W piątej części doświadczenia, przyjrano się modelowi diody Zenera. Wyznaczono zależność napięcia na diodzie od napięcia na zasilaczu. Na podstawie obserwacji danych wyznaczono wartość napięcia przebicia 6.5, co po uwzględnieniu wyznaczonego wcześniej w drugiej części 3.1, dało średnią

$$V_Z = (1.78 \pm 0.17) \text{ V} \quad (7.1)$$

Dopasowano zależność liniową dla napięć na diodzie większych od napięcia Zenera. Dopasowanie to pozwoliło wyznaczyć wartość oporu wewnętrznego diody

$$R_w = (51/0 \pm 1.4) \Omega \quad (7.2)$$



# Bibliografia

- [1] Piotr Fita. Notatki do wykładu 2. z Pracowni elektronicznej R. FUW
- [2] Piotr Fita. Instrukcja do zadania "Diody półprzewodnikowe". 2023-2024 FUW
- [3] P. Horowitz, W. Hill, "Sztuka elektroniki"
- [4] Donald A. Neamen, "Semiconductor Physics and Devices"