

# Pracownia Fizyczna i Elektroniczna

## Ćwiczenie 3: Dioda półprzewodnikowa

### 1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z różnymi rodzajami diod półprzewodnikowych, takimi jak dioda prostownicza krzemowa, dioda detekcyjna germanowa, dioda świecąca, dioda Zenera oraz wyznaczenie charakterystyk prądowo-napięciowych, wyznaczanie napięcia przewodzenia (w przypadku diody Zenera także napięcia przebicia wstecznego), a także poznanie metody wykreślania charakterystyk bezpośrednio na oscyloskopie w układzie wyświetlania XY.

### 2 Wymagania

Znajomość podstaw fizyki półprzewodników, w tym złącza p-n. Umiejętność posługiwania się generatorem i oscyloskopem.

### 3 Aparatura

Miernik uniwersalny, generator funkcyjny, oscyloskop, akcesoria pomocnicze (lutownica elektroniczna, kable łączeniowe, chwytaki pomiarowe, trójniki rozgałęziające).

### 4 Wykonanie ćwiczenia na pracowni

#### 4.1 Identyfikacja diod

Pierwsza część ćwiczenia ma na celu przegląd otrzymanych diod - identyfikacja diody krzemowej i germanowej, a także LED i diody Zenera (o ile prąd dostępny w mierniku jest wystarczający) za pomocą uniwersalnego miernika.

Diodę podłączamy do gniazda COM i  $\Omega V$  miernika, jak przy pomiarze oporności, najlepiej za pomocą zwykłych kabli z końcówkami bananowymi i założonymi chwytakami pomiarowymi z jednej strony.

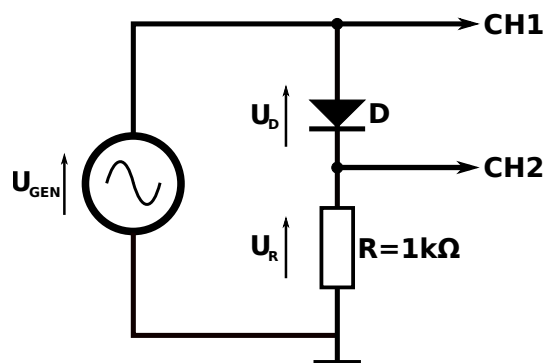
W przypadku mierników RIGOL w menu głównym należy wybrać opcję testu diody. W przypadku mierników Brymen, główne pokrętko miernika należy ustawić na zakresie pomiaru i dwukrotnie nacisnąć przycisk SELECT, powodując włączenie testu diod (w prawym górnym rogu pojawi się symbol diody).

*Napięcie przewodzenia standardowych diod germanowych i krzemowych zawiera się w przedziale 0.2 V-0.9 V. Wyższe wartości wskazują na niesprawność diody lub inny typ diody (np. dioda świecąca). Wskazanie zero oznacza zwarcie wewnętrzne diody. Wskazanie „0L” oznacza brak przewodzenia lub inny typ diody o wyższym napięciu przewodzenia (np. dioda świecąca  $U_p = 1.8 V$ ). Test diody w kierunku zaporowym jest pozytywny, jeżeli wyświetlacz pokaże „0L”. Każde inne wskazanie jest nieprawidłowe i oznacza, że dioda jest niesprawna.*

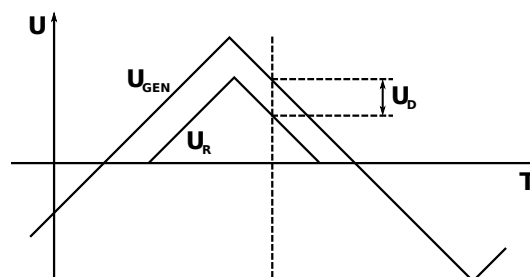
## 4.2 Wyznaczenie charakterystyki prądowo-napięciowej diody

**UWAGA:** Jeżeli oscyloskop posiada opcję pomiarów kursorami w trybie XY ten punkt można pominąć i przejść do punktu 4.3.

1. Korzystając z diody krzemowej i rezystora o oporze  $R=1\text{ k}\Omega$ , zbuduj układ pomiarowy według schematu z rysunku 1.



Rys. 1: Układ do pomiarów charakterystyki w trybie YT



Rys. 2: Przykład realizacji pomiarów w trybie YT

2. Podłącz wyjścia układu do odpowiednich kanałów CH1, CH2 oscyloskopu.
3. Ustaw w kanałach oscyloskopu sprzężenie stało-prądowe
4. Na wejście układu wyprowadź sygnał piłokształtny o wartościach szczytowych  $V_{pp} = (-2.5, +2.5)$  V i częstotliwości około 100 Hz.
5. Posługując się odczytem z oscyloskopu (kursory), odczytaj dane niezbędne do wyznaczenia charakterystyki diody  $I_D = f(U_D)$ . Skorzystaj zależności:  $I_D = \frac{U_R}{R}$  oraz  $U_D = U_{GEN} - U_R$ . Sposób, w jaki należy wykonać pomiar, naszkicowano na rys. 2
6. Opracowując wyniki, dopasuj do zarejestrowanej charakterystyki diody zmodyfikowane równanie Shockley'a:

$$I_D(U_D) = I_g \left( \exp \left( \frac{eU_D}{MkT} \right) - 1 \right) ,$$

gdzie:  $e$  - ładunek elementarny,  $k$  - stała Boltzmanna. Na podstawie najlepszego dopasowania wyznacz wartości parametrów  $I_g$  oraz  $M$ . Oszacuj także wartość napięcia przewodzenia i porównaj ją z wartością zmierzoną miernikiem uniwersalnym.

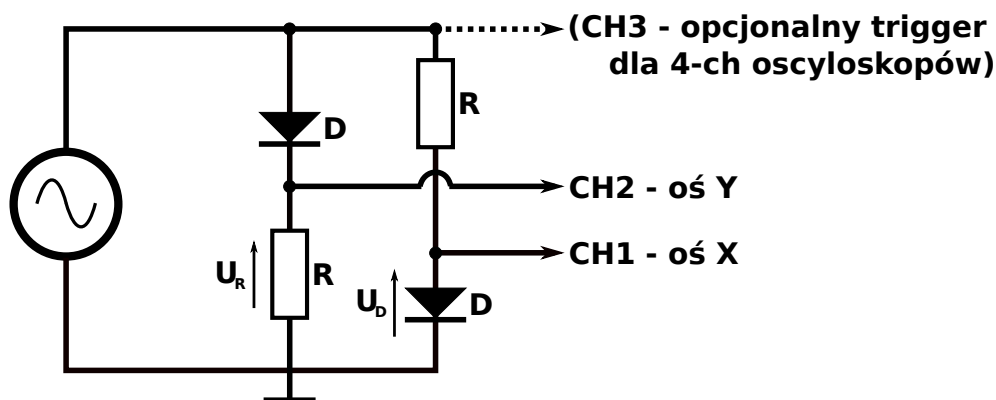
*Wskazówka:* Można skorzystać z pracy kanałów oscyloskopu w trybie precyzyjnej czułości pionowej „fine”. Dokonać pomiarów kursorami w trybie „fine” starając się rozciągnąć przebiegi na całą wysokość ekranu (MENU CH1, CH2 – Volt/Div – coarse fine). Warunkiem poprawnego pomiaru jest ustawienie jednakowej czułości w obu kanałach i nałożenie poziomego zer obu kanałów (strzałki z lewej strony ekranu) na siebie.

## 4.3 Automatyczny pomiar charakterystyki prądowo-napięciowych diody za pomocą oscyloskopu w formacie wyświetlania XY.

### 4.3.1 Dioda krzemowa

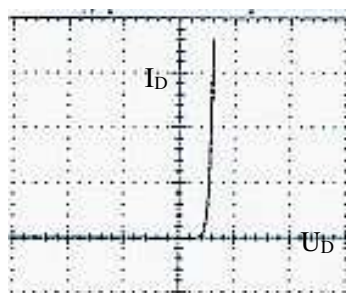
Uwaga: Jeżeli wykonałeś punkt 4.2, pomiary z diodą krzemową możesz pominąć i przejść do punktu 4.3.2

1. Korzystając z 2 diod krzemowych i dwóch rezystorów o oporze  $R=1\text{ k}\Omega$ , zbuduj układ pomiarowy według schematu z rysunku 3.



Rys. 3: Układ do pomiarów charakterystyki w trybie XY

2. Podłącz wyjścia układu do odpowiednich kanałów CH1, CH2 oscyloskopu.
3. Ustaw w kanałach oscyloskopu sprzężenie stało-prądowe
4. Na wejście układu wyprowadź sygnał sinusoidalny o wartościach szczytowych  $V_{pp} = (-2.5, +2.5)$  V i częstotliwości około 100 Hz.
5. Ustaw oscyloskop w tryb wyświetlania XY (Display format XY) i zaobserwuj charakterystykę prądowo-napięciową diody, podobną do tej z rys. 4



Rys. 4: Przykład pomiaru charakterystyki w trybie XY

6. Posługując się odczytem z oscyloskopu (kursory), odczytaj dane niezbędne do wyznaczenia charakterystyki diody  $I_D = f(U_D)$ . Skorzystaj zależności:  $I_D = \frac{U_R}{R}$  oraz  $U_D = U_{GEN} - U_R$ .

7. Opracowując wyniki, dopasuj do zarejestrowanej charakterystyki diody zmodyfikowane równanie Schockley'a:

$$I_D(U_D) = I_g \left( \exp \left( \frac{eU_D}{MkT} \right) - 1 \right) ,$$

gdzie:  $e$  - ładunek elementarny,  $k$  - stała Boltzmann. Na podstawie najlepszego dopasowania wyznacz wartości parametrów  $I_g$  oraz  $M$ . Oszacuj także wartość napięcia przewodzenia i porównaj ją z wartością zmierzona miernikiem uniwersalnym.

### 4.3.2 Dioda LED

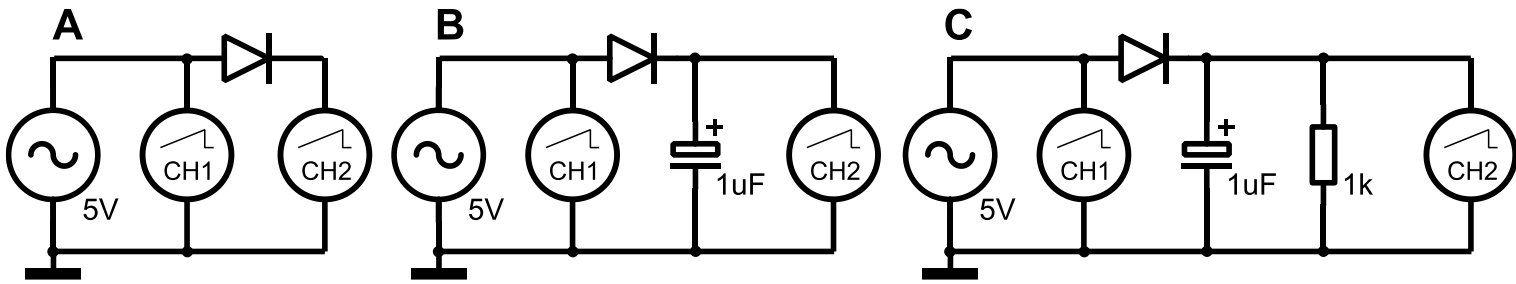
1. Korzystając z 2 diod LED i dwóch rezystorów o oporze  $R=1 \text{ k}\Omega$ , zbuduj układ pomiarowy według schematu z rysunku 3.
2. Podłącz wyjścia układu do odpowiednich kanałów CH1, CH2 oscyloskopu.
3. Ustaw w kanałach oscyloskopu sprzężenie stało-prądowe
4. Na wejście układu wyprowadź sygnał sinusoidalny o wartościach szczytowych  $V_{pp} = (-4, +4) \text{ V}$  i częstotliwości około 1 Hz.
5. Ustaw oscyloskop w tryb wyświetlania XY (Display format XY).
6. Zaobserwuj charakterystykę prądowo-napięciową diody, podobną do tej z rys. 4. Zanotuj wnioski i oszacuj napięcie przewodzenia diody na podstawie wyświetlonej charakterystyki.
7. Wykorzystać możliwość dodania poziomego stałego (generator, pokrętło  $\pm$ ) do sygnału wejściowego i zaobserwować jego wpływ na kształt charakterystyki. Spróbuj spowodować całkowite wygaszenie diody, następnie stałe świecenie diody.
8. Jeśli oscyloskop posiada więcej niż 2 kanały, podłącz dodatkowo sygnał z generatora (GEN) na trzeci kanał CH3 (lub w miejsce kanału CH1 przy braku kanału CH3) i przełączyć się na format YT (Display format YT). Zaobserwuj i przedyskutuj przebiegi wszystkich kanałów.

### 4.3.3 Dioda Zenera

1. Korzystając z 2 diod Zenera i dwóch rezystorów o oporze  $R=1 \text{ k}\Omega$ , zbuduj układ pomiarowy według schematu z rysunku 3. Zwróć szczególną uwagę na kierunek podłączenia diody Zenera.
2. Podłącz wyjścia układu do odpowiednich kanałów CH1, CH2 oscyloskopu.
3. Ustaw w kanałach oscyloskopu sprzężenie stało-prądowe
4. Na wejście układu wyprowadź sygnał sinusoidalny o wartościach szczytowych  $V_{pp} = (-2.5, +2.5) \text{ V}$  i częstotliwości około 100 Hz.
5. Ustaw oscyloskop w tryb wyświetlania XY (Display format XY) i zaobserwuj charakterystykę prądowo-napięciową diody Zenera. Czym charakterystyka diody Zenera różni się od charakterystyki diody krzemowej lub diody LED?
6. Na podstawie wyświetlonej charakterystyki oszacuj napięcie przewodzenia diody oraz napięcie napięcie przebicia (Zenera).

#### 4.4 Badanie działania prostownika jednopółkowego

1. Zmontuj układ z diodą ze schematu A z rysunku 5.



Rys. 5: Układy prostownika jednopółkowego

2. Podłącz wyjścia układu do odpowiednich kanałów CH1, CH2 oscyloskopu. Jeśli oscyloskop ma możliwość wyboru impedancji wejściowej, wybierz  $1\text{ M}\Omega$ .
3. Na wejście układu podaj z generatora sygnał sinusoidalny o częstotliwości  $300\text{ Hz}$  i amplitudzie  $5\text{ V}$ .
4. Naszkicuj przebieg sygnału wyjściowego, wyjaśnij obserwowany kształt.
5. Dolutuj równolegle do wyjścia kondensator  $1\text{ }\mu\text{F}$  (schemat B). Zaobserwuj, jak zmienił się przebieg wyjściowy i wyjaśnij zmianę.
6. Dolutuj rezystor  $1\text{ k}\Omega$  równolegle do kondensatora (schemat C). Zaobserwuj, jak zmienił się przebieg wyjściowy i wyjaśnij zmianę.
7. Zwiększaj stopniowo częstotliwość przebiegu wejściowego do ok.  $10\text{ kHz}$ . Zaobserwuj jak zmienia się przebieg wyjściowy i wyjaśnij dlaczego.

Powodzenia!