

Pracownia Fizyczna i Elektroniczna

2020/2021

Ćwiczenie 2: 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 ΩV miernika jak przy pomiarze oporności, najlepiej za pomocą zwykłych kabli z końcówkami bananowymi i założonymi chwytakami pomiarowymi z jednej strony.

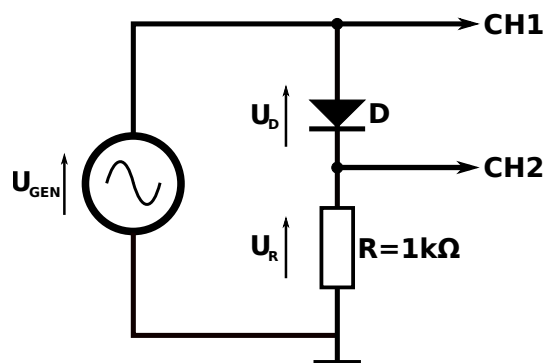
W przypadku mierników RIGOL w menu głównym należy wybrać opcję testu diody. W przypadku mierników Brymen główne pokrętko miernika należy ustawić na zakresie pomiaru i dwukrotnie nacisnąć przycisk SELECT, powodując włączenie testu diod (w prawym górnym rogu pojawi się symbol diody).

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.

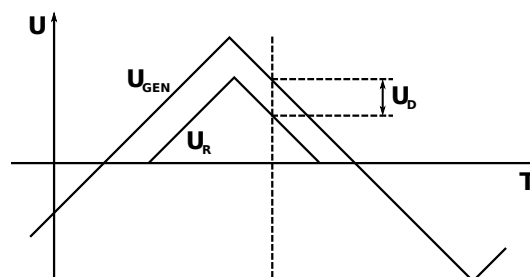
4.2 Wyznaczenie charakterystyki prądowo-napięciowej diody

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 trójkątny 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.

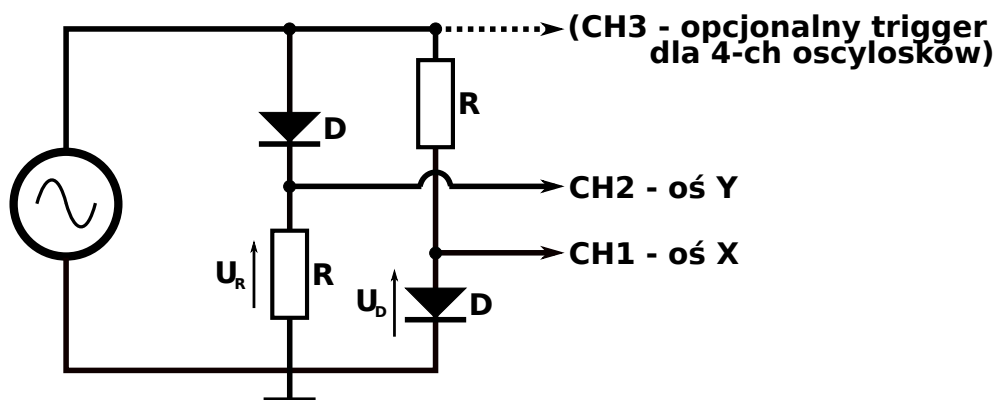
Wskazówka: Można skorzystać z pracy kanałów oscyloskopu w trybie precyzyjnej czułości pionowej „fine”. Dokonać pomiarów kursorami w trybie „fine” starając się rozciągnąć przebiegi na całą wysokość ekranu (MENU CH1, CH2 – Volt/Div – coarse fine). Warunkiem poprawnego pomiaru jest ustawienie jednakowej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

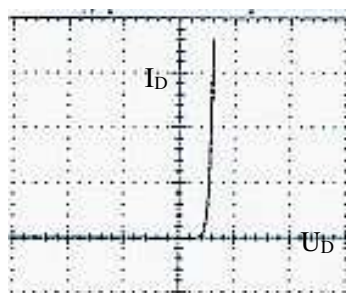
Uwaga: Jeżeli wykonałeś punkt 4.2, pomiary z diodą krzemową możesz pominąć i przejść do punktu 4.3.2

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 Boltzmannna. Na podstawie najlepszego dopasowania wyznacz wartości parametrów I_g oraz M . Oszacuj także wartość napięcia przewodzenia i porównaj ją z wartością zmierzoną miernikiem uniwersalnym.

4.3.2 Dioda LED

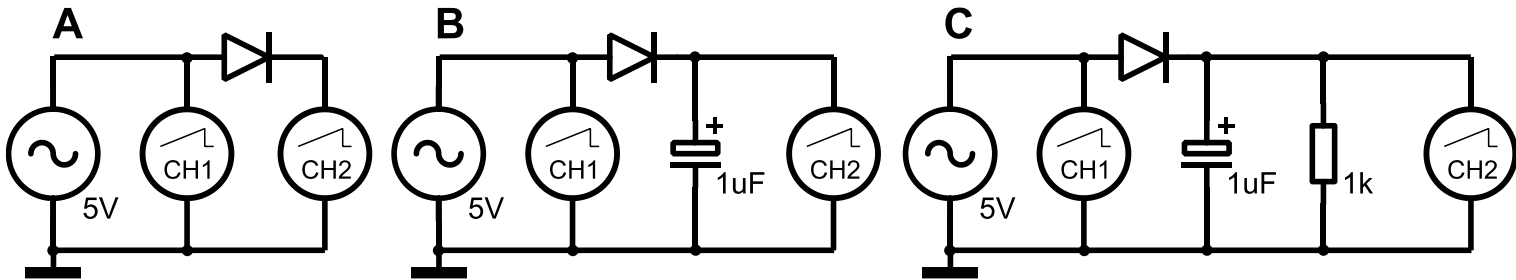
1. Korzystając z 2 diod LED i dwóch rezystorów o oporze $R=1 \text{ k}\Omega$, zbuduj układ pomiarowy według schematu z rysunku 3.
2. Podłącz wyjścia układu do odpowiednich kanałów CH1, CH2 oscyloskopu.
3. Ustaw w kanałach oscyloskopu sprzężenie stało-prądowe
4. Na wejście układu wyprowadź sygnał sinusoidalny 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 przebicia (Zenera).

4.4 Badanie działania prostownika jednopołówkowego - zadanie dodatkowe

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



Rys. 5: Przykład pomiaru charakterystyki w trybie XY

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 Hz i amplitudzie 5 V .
4. Naskicuj 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 kHz . Zaobserwuj, jak zmienia się przebieg wyjściowy i wyjaśnij dlaczego.

Powodzenia!

Opracowała:
Magdalena Kuich