

DIODY PÓLPRZEWODNIKOWE – Instrukcja do ćwiczenia

CEL ĆWICZENIA:

Zapoznanie się z właściwościami, parametrami i charakterystykami prądowo-napięciowymi podstawowych rodzajów diod półprzewodnikowych oraz analiza niektórych zastosowań tych elementów w zakresie prądu stałego i zmiennego.

A) ZADANIA DO SAMODZIELNEGO OPRACOWANIA PRZED ZAJĘCIAMI:

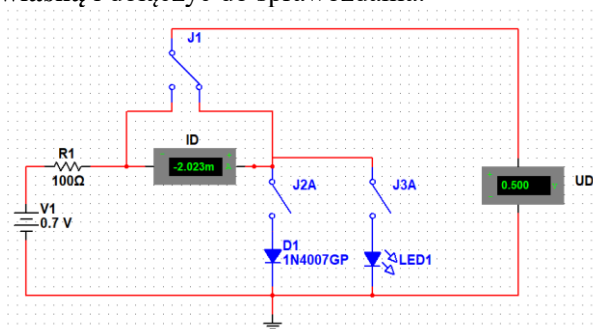
- zapoznać się z treścią instrukcji i teoretycznymi podstawami działania diod półprzewodnikowych (wprowadzenie + literatura na końcu instrukcji);
- zapoznać się z podstawowymi funkcjami i możliwościami symulatora Multisim (materiał źródłowy na końcu instrukcji);
- zrealizować moduł przygotowawczy do zajęć na platformie e-learningowej
- wydrukować protokół pomiarowy: **Lab_el_diody_EF_24_prot.pdf**

B) PRZYGOTOWANIA DO POMIARÓW I SYMULACJI:

1. Dokonać podziału zespołu na osoby obsługujące oprogramowanie i symulacje (Z1) oraz osoby odpowiedzialne za pomiary praktyczne (Z2).
2. Pobrać i uruchomić formularze i pliki symulacyjne przewidziane w ramach realizowanego ćwiczenia laboratoryjnego (Z1).
3. Zapisać w protokole rodzaje i symbole diod przekazanych przez prowadzącego (Z2).
4. Używając przeglądarki internetowej wyszukać i sprawdzić parametry techniczne otrzymanych elementów (Z1).
5. Sprawdzić przy pomocy multimetru sprawność przekazanych elementów oraz zmierzyć wartości ich napięć dyfuzyjnych (Z2).
6. Skorygować projekty symulacyjne dostosowując parametry modelu diod do parametrów elementów otrzymanych od prowadzącego (Z1).

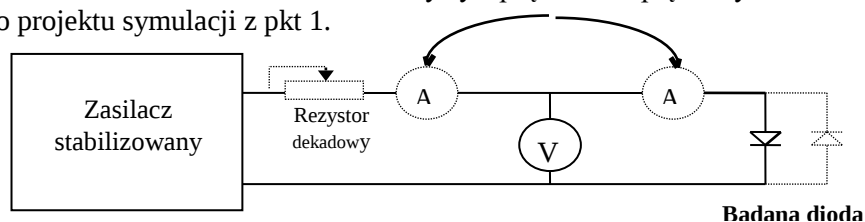
C) SYMULACJE I POMIARY CHARAKTERYSTYK PRĄDOWO-NAPIĘCIOWYCH DIOD

1. Uruchomić projekt: **diody_charakterystyka_I_U.ms10**. W obszarze roboczym projektu znajduje się układ zawierający 2 diody. Należy uzgodnić z prowadzącym rodzaje i modele symulowanych diod. Ewentualnej zmiany poszczególnych elementów można dokonać naciskając lewy przycisk myszy po uprzednim kliknięciu na dany element. Podręczne menu, które pojawia się w takim przypadku udostępnia opcję **Replace components**, która umożliwia zmianę modelu wskazanego elementu. Po dokonaniu zmian w projekcie symulacji **nadać mu nazwę własną** i dołączyć do sprawozdania.



Rys.1 Schemat do symulacji charakterystyk prądowo-napięciowych diod

2. Posługując się schematem widocznym na Rys.2 oraz podstawką pomiarową będącą na wyposażeniu laboratorium zbudować układ do badania charakterystyk prądowo napięciowych diod oraz dopasować jego parametry do projektu symulacji z pkt 1.

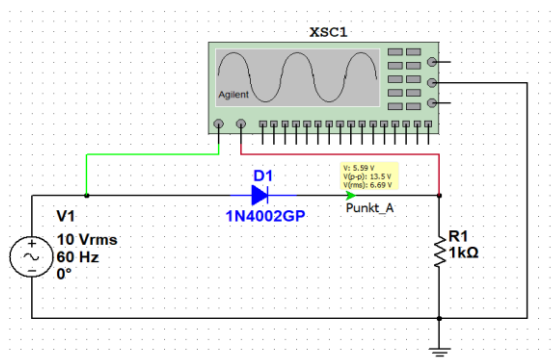


Rys.2 Proponowany układ pomiarowy do badania diod w kierunku przewodzenia lub zaporowym.

- UWAGI:1.** PRZED PRZYSTĄPIENIEM DO POMIARÓW ZAPOZNAĆ SIĘ Z PARAMETRAMI KATALOGOWYMI BADANYCH DIOD.
2. BEZWZGLĘDNI PRZESTRZEGAĆ BEZPIECZNYCH WARUNKÓW POMIARÓW UWZGLĘDNIĄC PARAMETRY DOPUSZCZALNE ELEMENTÓW.
 3. PAMIĘTAĆ O WŁAŚCIWYM DOBORZE UKŁADÓW: POPRAWNIEMIERZONEGO NAPIĘCIA LUB POPRAWNIEMIERZONEGO PRĄDU ZARÓWNO W UKŁADZIE PRAKTYCZNYM JAK TEŻ PROJEKCIE *diody_charakterystyka_I_U.ms10*.
 6. DOSTOSOWYWAĆ PROJEKT *diody_charakterystyka_I_U.ms10* DO RZECZYWISTEGO UKŁADU POMIAROWEGO (te same wartości rezystancji w obwodzie oraz odpowiedni model diody)
 4. KAŻDA Z MIERZONYCH CHARAKTERYSTYK POWINNA ZAWIERAĆ CO NAJMNIEJ 10 PUNKTÓW POMIAROWYCH.
 5. POMIARY WYKONAĆ W ZAKRESIE PRĄDÓW 10nA do $0.8I_{\max}$.
3. Metodą punkt po punkcie zmierzyć charakterystyki $I_F = f(U_F)$ oraz $I_R = f(U_R)$ dla diod zaproponowanych przez prowadzącego. Jednocześnie w projekcie *diody_charakterystyka_I_U.ms10* stosując tą samą metodę odczytywać wskazania przyrządów wirtualnych (amperomierza i woltomierza) dla tych samych punktów, w których dokonywane są pomiary praktyczne. Można to zrealizować poprzez ustawianie takich samych nastawów źródła zasilającego w projekcie *diody_charakterystyka_I_U.ms10* oraz na zasilaczu polaryzującym rzeczywisty układ pomiarowy (przy zachowaniu tych samych wartości rezystancji R obwodów).
 4. Wyniki symulacji pomiarów zapisywać do udostępnionych w ramach ćwiczenia formularzy: *protokół_pomiarowy* (wyniki pomiarów) oraz *diody_szablon_24.ods* (wyniki symulacji i pomiarów), co pozwoli na bezpośrednią obserwację wykresów charakterystyk mierzonej i symulowanej. Jednocześnie te same wyniki należy zapisywać do protokołu pomiarowego, który podpisany przez prowadzącego będzie dołączony do sprawozdania jako potwierdzenie dokonanych pomiarów.

D) SYMULACJE PROSTOWNIKA JEDNOPOŁÓWKOWEGO

1. Uruchomić projekt: *diody_prostownik.ms10* (Rys.3). W obszarze roboczym projektu znajduje się układ prostownika. Należy uzgodnić z prowadzącym rodzaj i model symulowanej diody. Ewentualnej zmiany poszczególnych elementów można dokonać naciskając lewy przycisk myszy po uprzednim kliknięciu na dany element. Podręczne menu, które pojawia się w takim przypadku udostępnia opcję *Replace components*, która umożliwia zmianę modelu wskazanego elementu.



Rys.3 Schemat do symulacji prostownika jednopółkowego

2. Po zatwierdzeniu właściwego modelu badanej diody poprzez ścieżkę: *Simulate->Run* (F5) uruchomić symulację. Wyniki symulacji można obserwować w polu *Mesurement Probe*, gdzie podawane są aktualne wartości V(rms) oraz I (rms) obwodu w **Punkcie A** oraz na ekranie wirtualnego oscyloskopu do którego dostęp uzyskujemy poprzez dwukrotne kliknięcie na elemencie.
3. **Nadać nazwę własną** stworzonemu projektowi symulacyjnemu i dołączyć do sprawozdania Zaobserwować działanie prostownika i udokumentować badanie w szablonie *diody_szablon_24.ods*, poprzez odpowiednie kopie ekranów z widocznym obwodem symulacji oraz obrazem oscyloskopowym ilustrującym efekt prostowania sygnału.

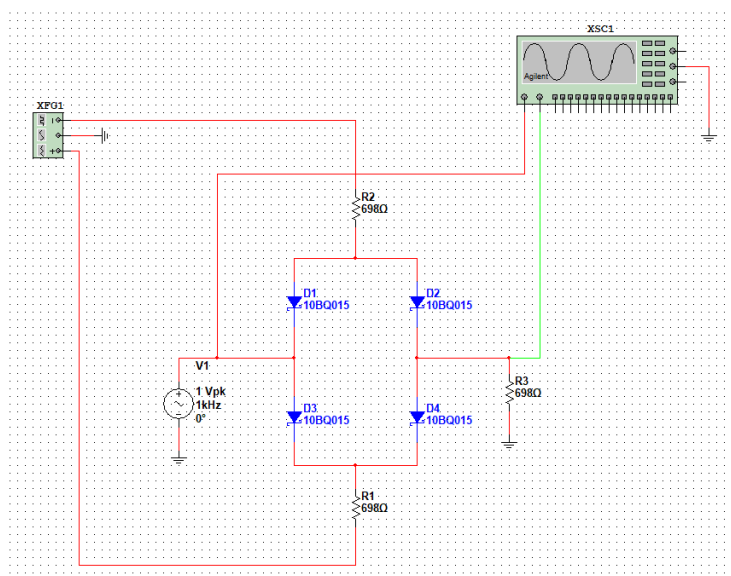
E) POMIARY I OBSERWACJE PROSTOWNIKA JEDNOPOŁÓWKOWEGO

1. Zmonować układ prostownika jednopółkowego na wzór układu zasymulowanego wcześniej w ramach punktu D) używając do tego celu podstawki przeznaczonej do pomiaru diod.

2. Za pomocą oscyloskopu dokonać obserwacji przebiegów napięć na diodzie prostowniczej i obciążeniu w prostowniku jednopółkowym (półfalowym). Dokonać pomiaru wartości napięcia zasilającego i na obciążeniu.
3. Udokumentować pomiary uzupełniając **protokół pomiarowy** poprzez kopie ekranów oscyloskopu używając do tego celu opcji zapisu obrazu dostępnej w oscyloskopie lub innych dostępnych metod (np. aparat foto w Smartfonie)

F) SYMULACJE KLUCZA DIODOWEGO

1. Uruchomić projekt: **Klucz_diodowy.ms10** (Rys.4). W obszarze roboczym projektu znajduje się układ klucza diodowego. Należy uzgodnić z prowadzącym rodzaj i model symulowanych diod oraz częstotliwości i rodzaje sygnałów sterujących diodami oraz sygnału wejściowego. **Nadać nazwę własną** stworzonemu projektowi i dołączyć do sprawozdania



Rys.4. Schemat do symulacji klucza diodowego

2. Po zatwierdzeniu właściwego schematu poprzez ścieżkę: **Simulate->Run** (F5) uruchomić symulację. Wyniki symulacji można na ekranie wirtualnego oscyloskopu do którego dostęp uzyskujemy poprzez dwukrotne kliknięcie na elemencie.
3. Zaobserwować działanie układu i udokumentować badanie w szablonie **diody_szablon_24.ods**, poprzez odpowiednie kopie ekranów z widocznym obwodem symulacji oraz obrazem oscyloskopowym ilustrującym efekt bramkowania sygnału.

G) POMIARY I OBSERWACJE KLUCZA DIODOWEGO

1. Zmonować układ klucza diodowego na wzór układu zasymulowanego wcześniej w ramach punktu F) używając do tego celu odpowiedniej podstawki i dostępnego sprzętu laboratoryjnego.
2. Uruchomić układ ustawiając parametry sygnałów:wejściowego i sterujących diodami. Za pomocą oscyloskopu dokonać obserwacji przebiegów napięć na wejściu i wyjściu układu. Dokonać pomiaru wartości napięć zasilających diody.
3. Udokumentować pomiary zapisując uzyskane wartości parametrów w **protokole pomiarowym** oraz poprzez kopie ekranów oscyloskopu używając do tego celu opcji zapisu obrazu dostępnej w oscyloskopie lub innych dostępnych metod (np. aparat foto w Smartfonie)

H) ZAKOŃCZENIE POMIARÓW

1. Rozmontować układy pomiarowe i uporządkować stanowisko laboratoryjne, pamiętając o wyłączeniu sprzętu pomiarowego
2. Potwierdzić wykonanie ćwiczenia poprzez podpis prowadzącego na **protokole pomiarowym**, który należy dołączyć do pliku sprawozdania
3. Przesłać sprawozdanie w jako **plik pdf**. na platformę e-learningową w ramach zadania: **laboratorium - sprawozdanie z badania diod** przygotowany zgodnie z wytycznymi rozdziału niniejszej instrukcji –

OPRACOWANIE WYNIKÓW oraz formatką zaproponowaną w ogłoszeniu pt. „Forma sprawozdań z ćwiczeń laboratoryjnych” zamieszczonym w dziale *informacje od prowadzącego* w terminie wyznaczonym w sytemie.

I) OPRACOWANIE I ANALIZA WYNIKÓW

1. Narysować zmierzone oraz symulowane charakterystyki diod w kierunku przewodzenia na jednym wykresie. Punkty pomiarowe powinny być widoczne na charakterystykach. (3.0)
2. Wyznaczyć napięcie progowe U_D dla badanych diod. (3.0)
3. Do sprawozdania dołączyć własne wnioski i spostrzeżenia. (3.0) oraz zrealizowane pliki projektowe komentując różnice pomiędzy symulacjami i pomiarami.
4. Uzasadnić słuszność stosowanych układów pomiarowych (poprawnie mierzonego prądu i napięcia). (3.5)
5. Przedstawić i skomentować zasymulowane oraz zaobserwowane w rzeczywistym obwodzie oscyloskopowe przebiegi napięć w prostowniku półfalowym. (3.5)
6. Dla trzech wartości prądu I_F dla każdej z diod, wyznaczyć rezystancję statyczną i różniczkową $r_r \approx \Delta U_F / \Delta I_F$ gdzie ΔU_F i ΔI_F to odpowiednio małe przyrosty napięcia i prądu. Na podstawie przybliżonego wzoru teoretycznego obliczyć $r_r \approx \eta U_T / I_F$ dla tych samych prądów co poprzednio. Wartość η dobrać w zależności od zakresu prądu. Porównać uzyskane wyniki. (4.0)
7. Dla wszystkich badanych diod wyznaczyć (dla zmierzonych) lub określić na podstawie modelu (dla symulowanych): rezystancję szeregową R_S , prąd nasycenia I_0 , oraz współczynnik złącza η . Wyznaczenie tych trzech wielkości możliwe jest na podstawie wykresu $I(U)$ w skali logarymiczno (I) liniowej (U). W przypadku idealnego złącza ($R_S = 0$) taki wykres byłby zbliżony do prostej. Rezystancja szeregową diody powoduje odchylenie wykresu od linii prostej. Dla dużych napięć tj. dla $\exp(U/U_T) \gg 1$ wpływ rezystancji R_S jest najbardziej widoczny. Dla tego zakresu można przyjąć:

$$I = I_0 \exp\left(\frac{U - IR_S}{\eta U_T}\right)$$

Wartość I_0 można wyznaczyć przez znalezienie punktu przecięcia ekstrapolowanego wykresu z osią prądu, zaś η będzie nachyleniem ekstrapolowanej charakterystyki. Odległość (w kierunku poziomym dla dużych prądów) wykresu rzeczywistej charakterystyki od aproksymowanej linią prostą charakterystyki dla zakresu średnich prądów, (charakterystyki dla $R_S = 0$) jest napięciem U_S na rezystancji szeregowej. Wykreślając napięcie U_S w funkcji prądu diody I_F dla zakresu dużych prądów i aproksymując punkty pomiarowe funkcją liniową, można wyznaczyć R_S jako nachylenie aproksymującej funkcji. Przy dokładnych pomiarach zauważyć można, iż współczynnik η zależy od prądu diody tj. dla złącza krzemowego dla małych prądów (prąd rekombinacji) $\eta = 2$, dla średnich prądów (prąd dyfuzji) $\eta = 1$, dla dużych prądów (duży poziom wstrzykiwania) $\eta = 2$. Należy wyznaczyć współczynnik złącza i odpowiednie prądy „zerowe” dla każdego z zakresów prądu I_F . (4.5)

8. Przedstawić i skomentować zasymulowane oraz zaobserwowane w rzeczywistym układzie oscyloskopowe przebiegi napięć w kluczu diodowym. (5.0)

LITERATURA:

1. W. Marciniak, „Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone”
2. W. Marciniak, „Modele elementów półprzewodników”
3. A. Kusy „Podstawy elektroniki”
4. „Elementy półprzewodnikowe i układy scalone” (katalog UNITRA – CEMI)
5. Getting Started With NI Multisim - <http://poland.ni.com/>
6. J. Kościółek „Zastosowanie pakietu Multisim w laboratorium elektronicznym cz.II - symulacje układów analogowych”