



AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE

JEDNOSTKA ORGANIZACYJNA:
ZAKŁAD KOMUNIKACYJNYCH TECHNOLOGII MORSKICH

INSTRUKCJA

ELEKTROTECHNIKA I ELEKTRONIKA
Laboratorium
Ćwiczenie nr 3: Elementy półprzewodnikowe

Opracował:	dr inż. Marcin Mąka, dr inż. Piotr Majzner
Zatwierdził:	dr inż. Piotr Majzner
Obowiązuje od: 24. IX 2012	

Spis treści

3.1. Cel i zakres ćwiczenia

3.2. Opis stanowiska laboratoryjnego

3.3. Przebieg ćwiczenia

3.4. Warunki zaliczenia

3.5. Część teoretyczna

3.6. Literatura

3.7. Efekty kształcenia

3. ELEMENTY PÓLPRZEWODNIKOWE

3.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest opanowanie wiedzy z zakresu budowy, parametrów, charakterystyk i zastosowania podstawowych elementów półprzewodnikowych w tym układów diody prostowniczej, diody Zenera, diody elektroluminescencyjnej fotodiody, tranzystora, tyrystora.

Zagadnienia

1. Model pasmowy ciała stałego.
2. Przewodniki, półprzewodniki, izolatory.
3. Model złącza p-n.
4. Budowa, parametry, charakterystyki i zastosowanie diody prostowniczej.
5. Budowa, parametry, charakterystyki i zastosowanie diody Zenera.
6. Budowa, parametry, charakterystyki i zastosowanie diody elektroluminescencyjnej.
7. Budowa, parametry, charakterystyki i zastosowanie fotodiody.
8. Budowa, parametry, charakterystyki i zastosowanie tranzystora.
9. Budowa parametry, charakterystyki i zastosowanie tyrystora.

Pytania kontrolne

1. Omów budowę złącza p-n.
2. Jakie zjawiska zachodzą w złączu p-n po jego podłączeniu do źródła prądu ?
3. Narysuj i wyjaśnij kształt charakterystyki prądowo - napięciowej diody prostowniczej.
4. Narysuj i wyjaśnij kształt charakterystyki prądowo - napięciowej diody Zenera.
5. Podaj i omów przykłady zastosowania diod: prostowniczej, Zenera, pojemnościowej i fotodiody.
6. Wymień rodzaje diod i ich parametry
7. Narysuj charakterystykę i omów zastosowanie diody pojemnościowej.
8. Narysuj i wyjaśnij kształt charakterystyki $I_c = f(U_{ce})$ tranzystora w układzie OE.
9. Wymień podstawowe parametry tranzystora.
10. W jakim celu praktycznie wykorzystuje się tranzystor ?
11. Co to jest i do czego stosuje się diodę luminiscencyjną.

3.2. Opis układu pomiarowego

Zestaw przyrządów:

- dwa zasilacze,
- 3 mierniki cyfrowe,
- płytka do badania elementów półprzewodnikowych.

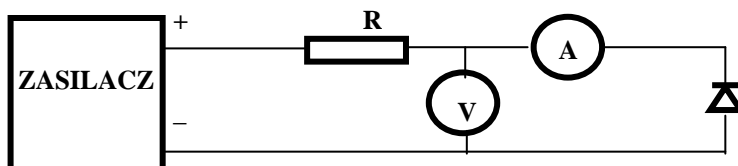
Układy pomiarowe są proste. Należy pamiętać, aby za każdym razem napięcie z zasilacza ustawić na 0V po wykonaniu pomiarów a podłączać zasilacz dopiero po zmontowaniu obwodu pomiarowego.

3.3. Wykonanie ćwiczenia

UWAGA ! Przed podłączeniem układu ustawić ograniczenie prądowe zasilacza na 100 mA

3.3.1. Badanie diody

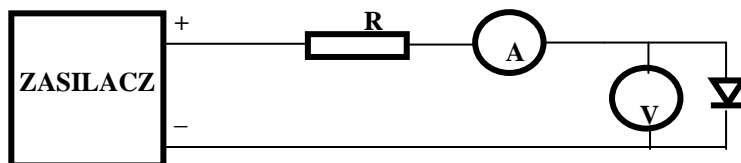
Połączyć układ do zdejmowania charakterystyki diody w kierunku zaporowym (rys. 3.3.1.).



Rys. 3.3.1. Układ do zdejmowania charakterystyki diody w kierunku zaporowym

Dla diody prostowniczej pomierzyć wartość prądu płynącego przez diodę w kierunku zaporowym wg napięć podanych w tabelce. Anoda ma czerwone wyprowadzenie. Włączyć opornik R_1 .

Połączyć układ do zdejmowania charakterystyki diody w kierunku przewodzenia (rys. 3.3.2.).



Rys. 3.3.2. Układ do zdejmowania charakterystyki diody w kierunku przewodzenia

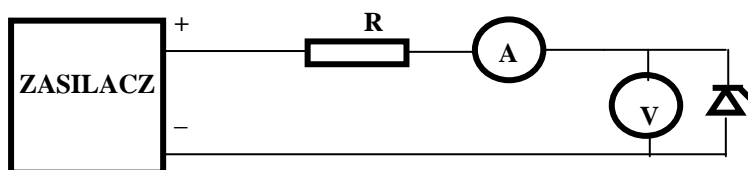
Dla diody prostowniczej pomierzyć wartość napięcia w kierunku przewodzenia dla prądów podanych w tabelce (zakres amperomierza 10 μ A, 100 μ A, 1 mA, 10 mA, 100 mA).

Dla prądów do 1 mA korzystać z opornika R_1 , dla pozostałych – z opornika R_2 .

3.3.2. Badanie diody Zenera

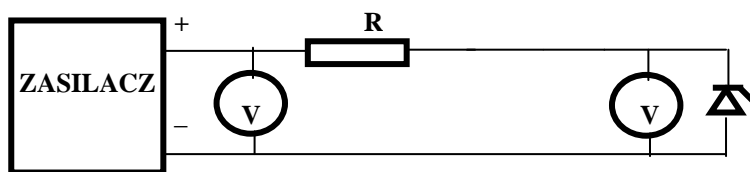
UWAGA! Przed podłączeniem układu ustawić ograniczenie prądowe zasilacza na 40 mA.

Połączyć układ do badania charakterystyki diody Zenera (rys. 3.5.3.). Zdjąć charakterystykę diody Zenera w kierunku zaporowym według napięć i prądów podanych w tabeli.



Rys. 3.3.3. Układ do zdejmowania charakterystyki diody Zenera

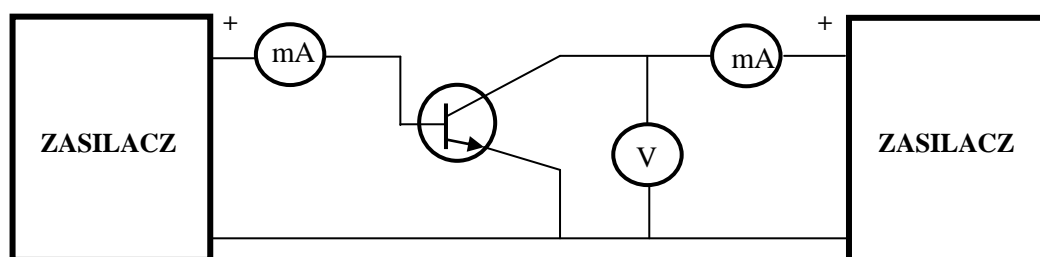
Zdjąć charakterystykę przejściową prostego stabilizatora z dioda Zenera (rys. 3.3.4.) według napięć podanych w tabeli. Do pomiaru napięć zastosować jeden woltmierz cyfrowy, przełączany z wejścia na wyjście układu.



Rys. 3.3.4. Układ do zdejmowania charakterystyki przejściowej stabilizatora z dioda Zenera

3.3.3. Badanie tranzystora

Połączyć układ do zdejmowania charakterystyki $I_c = f(U_{ce})$ tranzystora (rys.3.3.5.). Dla wartości napięć podanych w tabelce pomierzyć wartość prądu kolektora I_c przy ustawionym w stabilizacji prądowej prądzie bazy, kolejno: $I_B = 1 \text{ mA}$, 2 mA , 3 mA (lub podane przez prowadzącego).



Rys. 3.3.5. Układ do zdejmowania charakterystyki tranzystora

3.4. Warunki zaliczenia ćwiczenia

Warunkiem zaliczenia ćwiczenia jest:

- napisanie z wynikiem pozytywnym krótkiego sprawdzianu na początku zajęć;
- wykonanie ćwiczenia;
- sporządzenie sprawozdania według instrukcji zawartej poniżej;
- obrona sprawozdania na następnych zajęciach;
- potwierdzenie opanowania zakresu ćwiczenia na ostatnich zajęciach zaliczeniowych;

Sprawozdanie powinno zawierać:

- kartę pomiarową,
- wykreśloną charakterystykę $I_D = f(U_D)$ (I i III ćwiartka układu współrzędnych; przyjąć skalę dla kierunku przewodzenia: $100 \text{ mA} - 5 \text{ cm}$, $2 \text{ V} - 4 \text{ cm}$, a dla kierunku zaporowego $2 \mu\text{A} - 1 \text{ cm}$, $30 \text{ V} - 5 \text{ cm}$),
- schematy pomiarowe,

- wyjaśnienie, dlaczego schematy pomiarowe do zdejmowania charakterystyki diody różnią się położeniem amperomierza i woltomierza,
- policzone rezystancje diody w kierunku zaporowym i kierunku przewodzenia dla ostatnich punktów pomiarowych
- wykreśloną charakterystykę $I_D = f(U_D)$ w kierunku zaporowym diody Zenera (III ćwiartka układu współrzędnych; przyjąć skalę: 10 mA – 5 cm, 15 V – 5 cm),
- określenie z wykresu napięcia Zenera oraz rezystancji dynamicznej według wzoru:

$$R_d = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

gdzie ΔU i ΔI są wartościami występującymi po napięciu Zenera,

- wykreśloną charakterystykę prostego stabilizatora z dioda Zenera $U_{wy} = f(U_{we})$ (I ćwiartka układu współrzędnych; skala: 15 V – 5 cm),
- wykreślone charakterystyki tranzystora $I_C = f(U_{CE})$, (I ćwiartka układu współrzędnych; skala: 500 mA – 5 cm, 2V – 8 cm),
- obliczony średni(dla różnych wartości prądu bazy) współczynnik wzmocnienia prądowego wg. wzoru:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad \text{dla } U_{CE} = 1.5 \text{ V}$$

- własne wnioski i spostrzeżenia.

3.5.1. Złącze p-n

Najczęściej stosowanymi półprzewodnikami są krzem i german. Są to pierwiastki z czwartej grupy układu okresowego, posiadają więc na ostatniej orbicie po cztery elektrony. Elektrony te tworzą tzw. wiązania kowalentne w ten sposób, że każdy atom pierwiastka jest związany z czterema atomami sąsiednimi wiązaniem składającym się z dwóch elektronów; jeden elektron z danego atomu, drugi z atomu sąsiedniego. Wiązania kowalentne utrzymują atomy pierwiastka w stałych odległościach, tworząc regularną sieć krystaliczną. Taka regularna sieć istnieje w temperaturze zbliżonej do zera stopni w skali Kelvina. Dostarczenie energii z zewnątrz, poprzez podniesienie temperatury kryształu, lub w innej postaci np. przez napromieniowanie, powoduje wyrwanie elektronów z wiązań. Powstają w ten sposób swobodne elektrony obdarzone ładunkiem ujemnym oraz dziury będące miejscami po wyrwanych elektronach, obdarzone ładunkiem dodatnim. Zarówno elektrony, jak też i dziury mogą swobodnie poruszać się w strukturze kryształu. Ruch elektronów jest oczywisty, natomiast dziury poruszają się w ten sposób, że elektron z sąsiedniego wiązania uzupełniając rozerwane wiązanie tworzy dziurę w sąsiednim wiązaniu, dzięki czemu dziura przenosi się z wiązania do wiązania. Elektrony i dziury są więc nośnikami ładunku elektrycznego. Procesowi powstawania elektronów i dziur towarzyszy proces odwrotny zwany rekombinacją, polegający na tym, że w przypadku gdy poruszający się elektron znajdzie się w pobliżu dziury, następuje odtworzenie wiązania i równoczesny zanik dziury i swobodnego elektronu. Procesy powstawania par dziura – elektron i rekombinacji są w równowadze. Ilość swobodnych nośników ładunku w kryształce jest zależna jedynie od wartości dostarczanej energii zewnętrznej, a więc np. od temperatury, im wyższa temperatura tym więcej nośników ładunku, a więc i większa przewodność półprzewodnika.

Opisany wyżej mechanizm powstawania nośników ładunku dotyczy półprzewodnika zwanego samoistnym, czyli bez domieszek. Do budowy elementów półprzewodnikowych takich jak diody, tranzystory czy układy scalone stosuje się półprzewodniki domieszkowane. Domieszkowanie polega na wprowadzeniu do czystego krzemu lub germanu niewielkiej ilości atomów innego pierwiastka. Jeżeli będą to atomy pierwiastka z piątej grupy układu okresowego, jak np. fosfor lub arsen, będzie to domieszkowanie **donorowe**, jeśli domieszkami będą atomy pierwiastka z trzeciej grupy układu okresowego, jak np. gal lub ind, będzie to domieszkowanie **akceptorowe**.

Atomy **donora** posiadają na ostatniej orbicie po pięć elektronów, z których tylko cztery wchodzi w wiązania kowalentne z atomami rodzimego krzemu lub germanu. Piąty elektron, nie pasujący do sieci krystalicznej jest bardzo luźno związany i wystarczy niewielka dawka energii by go uwolnić. Powstaje w ten sposób swobodny elektron bez równoczesnego powstania dziury. Zjonizowany atom domieszki staje się umiejscowionym ładunkiem dodatnim. Tak domieszkowany krzem lub german nazywamy półprzewodnikiem typu **n** ponieważ elektrony stanowią w nim nośniki większościowe. Powstające w półprzewodniku typu **n** wskutek termicznej generacji dziury stanowią nośniki mniejszościowe.

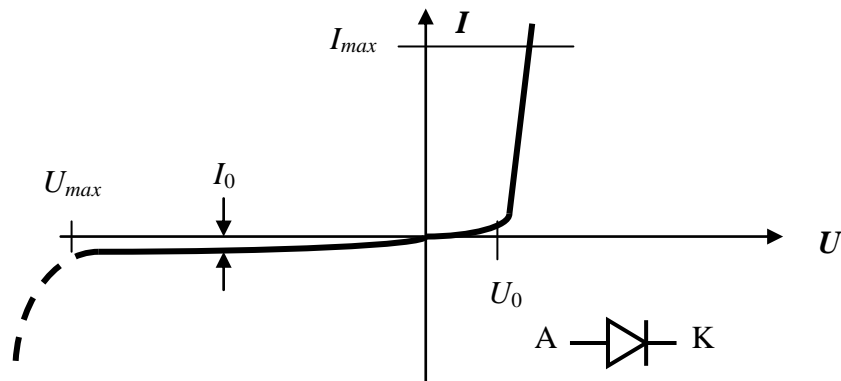
Atomy **akceptora** posiadają na ostatniej orbicie po trzy elektrony, dla wytworzenia więc pełnego wiązania z sąsiednimi atomami rodzimego krzemu lub germanu, przechwytyjąc z najbliższego wiązania brakujący elektron, wytwarzając w tym miejscu dziurę. Atom domieszki staje się umiejscowionym ładunkiem ujemnym. Tak domieszkowany krzem lub german nazywamy półprzewodnikiem typu **p** ponieważ dziury stanowią w nim nośniki większościowe. Powstające w półprzewodniku typu **p** wskutek termicznej generacji elektrony stanowią nośniki mniejszościowe.

Połączenie ze sobą półprzewodnika typu **n** i typu **p** powoduje powstanie złącza **p-n**. Wskutek dyfuzji elektrony z obszaru **n** przechodzą przez złącze do obszaru **p**, gdzie ulegają rekombinacji z dziurami. W rezultacie po obu stronach złącza znikają ruchome nośniki prądu. W przyłączonym obszarze **n** pozostaje więc niezrównoważona warstwa ładunku dodatniego (umiejscowione jony dodatnie), a w obszarze **p** pozostaje niezrównoważona warstwa ładunku ujemnego (umiejscowione jony ujemne). Warstwy te tworzą barierę potencjału, która w momencie osiągnięcia wartości $U_0 = 0.2$ V dla germanu, a $U_0 = 0.65$ V dla krzemu, uniemożliwia dalszy przepływ nośników większościowych z obszaru **n** do obszaru **p** i odwrotnie. Bariera potencjału nie stanowi natomiast przeszkody dla przepływu nośników mniejszościowych, generowanych termicznie w pobliżu złącza.

Doprowadzenie do złącza napięcia zewnętrznego o polaryzacji plus do obszaru **p**, a minus do obszaru **n**, większego od wartości U_0 , powoduje likwidację bariery potencjału i umożliwia przepływ prądu przez złącze. Jest to tzw. polaryzacja w kierunku przewodzenia. Doprowadzenie napięcia zewnętrznego o odwrotnej polaryzacji zwiększa barierę potencjału i uniemożliwia przepływ prądu przez złącze. Jest to tzw. polaryzacja w kierunku zaporowym.

3.5.2 Dioda prostownicza

Dioda prostownicza zbudowana jest z połączonych ze sobą obszarów półprzewodnika typu **p** i typu **n** o koncentracji domieszek rzędu jeden atom domieszki na 10^5 atomów krzemu lub germanu. Elektroda wyprowadzona z obszaru **p** nazywa się anodą, a elektroda wyprowadzona z obszaru **n** katodą. Charakterystykę i symbol diody prostowniczej przedstawiono na rys. 3.5.1



Rys. 3.5.1 Charakterystyka i symbol diody prostowniczej

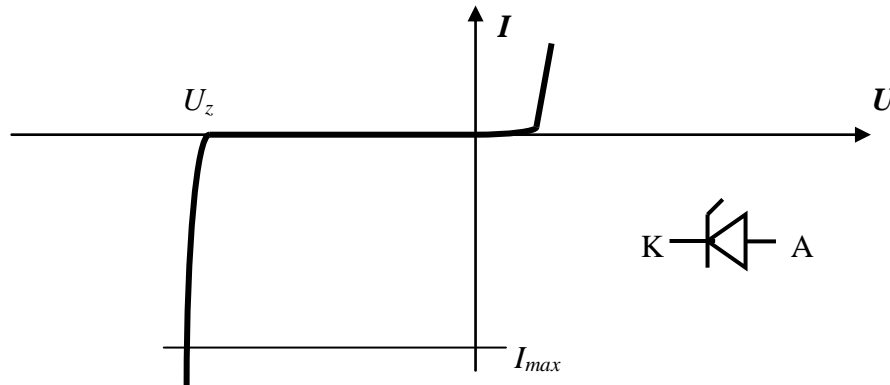
Głównym zadaniem diody prostowniczej jest prostowanie, czyli zamiana prądu zmiennego na prąd jednokierunkowy. Dioda przewodzi gdy dodatni biegun napięcia (plus) podłączony jest do anody a ujemny (minus) do katody. Przy odwrotnej polaryzacji prąd przez diodę nie płynie. Podstawowe parametry diody prostowniczej to:

- maksymalny prąd w kierunku przewodzenia I_{max} - (jego przekroczenie powoduje zniszczenie diody wskutek przegrzania),
- maksymalne napięcie w kierunku zaporowym U_{max} - (jego przekroczenie powoduje zniszczenie diody wskutek przebicia złącza),
- prąd zwrotny diody I_0 - (prąd płynący w kierunku zaporowym, im mniejszy, tym lepsza dioda; jego wartość wzrasta z temperaturą oraz nieznacznie wzrasta przy zwiększaniu napięcia w kierunku zaporowym),
- napięcie bariery potencjału U_0 - (napięcie to wynosi około 0.2 V dla diod germanowych i około 0.65 V dla diod krzemowych; dopiero po jego przekroczeniu dioda zaczyna przewodzić prąd).

3.5.3 Dioda Zenera

Dioda Zenera zbudowana jest, podobnie jak prostownicza, z połączonych ze sobą obszarów półprzewodnika typu **p** i typu **n** z tym, że koncentracja domieszek jest większa (rzędu jeden atom domieszki na 10^4 atomów krzemu). Diody Zenera wykonuje się praktycznie tylko jako krzemowe. Przy wytwarzaniu diody Zenera stosuje się specjalną technologię, zapewniającą bardzo równomierny rozkład domieszek w kryształ. Dzięki temu przebicie złącza, występujące po przekroczeniu napięcia

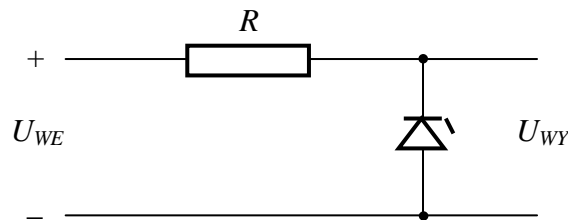
Zenera, jest zjawiskiem odwracalnym tzn. po obniżeniu napięcia poniżej poziomu napięcia Zenera, właściwości zaporowe złącza odtwarzają się. Dioda Zenera służy głównie do stabilizacji napięcia, wykorzystuje się ją do pracy na kierunku zaporowym (plus do katody, minus do anody). Charakterystykę i symbol diody Zenera przedstawiono na rys. 3.5.2



Rys.3.5.2 Charakterystyka i symbol diody Zenera

Diody Zenera mogą być wykonywane na różne napięcia, zależy to od ilości wprowadzonych domieszek. Najczęściej spotyka się diody na napięcia od 3 V do 30 V.

Na rys. 3.5.3 przedstawiono zasadę działania prostego stabilizatora na diodzie Zenera.



Rys. 3.5.3 Prosty stabilizator na diodzie Zenera

Jeżeli napięcie wejściowe będzie większe od napięcia diody Zenera, przez diodę zacznie przepływać prąd w kierunku zaporowym. Im większe napięcie wejściowe tym większy prąd będzie płynął w obwodzie. Napięcie wyjściowe zgodnie z prawem Kirchhoffa będzie różnicą między napięciem wejściowym a spadkiem napięcia na oporniku R :

$$U_{wy} = U_{WE} - I R$$

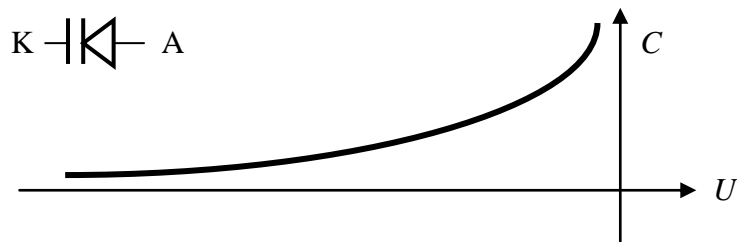
i zgodnie z charakterystyką diody Zenera, będzie praktycznie wielkością stałą.

Podstawowe parametry diody Zenera to:

- napięcie Zenera U_z – (napięcie, przy którym następuje nie niszczące przebicie złącza, jego wartość dla większości diod zmienia się nieznacznie przy zmianie temperatury. Napięcie Zenera dla diod wykonanych na około 6.5 V, praktycznie nie zależy od temperatury),
- maksymalny prąd I_{max} – (największy prąd płynący przez diodę po przekroczeniu napięcia Zenera, nie powodujący jej zniszczenia wskutek wydzielanego ciepła).

3.5.4 Dioda pojemnościowa

Każda dioda posiada pewną pojemność złączową. Wynika ona z tego, że na złączu istnieją, podobnie jak w kondensatorze, dwie warstwy ładunku elektrycznego odseparowane od siebie. W diodach pojemnościowych złącze jest tak ukształtowane, aby uzyskać stosunkowo dużą pojemność i aby pojemność ta silnie zależała od wartości doprowadzonego w kierunku zaporowym napięcia. Można więc diodę pojemnościową traktować jak kondensator o zmiennej pojemności, którą można regulować za pomocą zmiany doprowadzonego napięcia. Charakterystykę zmian pojemności w funkcji napięcia sterującego oraz symbol diody przedstawiono na rys. 3.5.4.

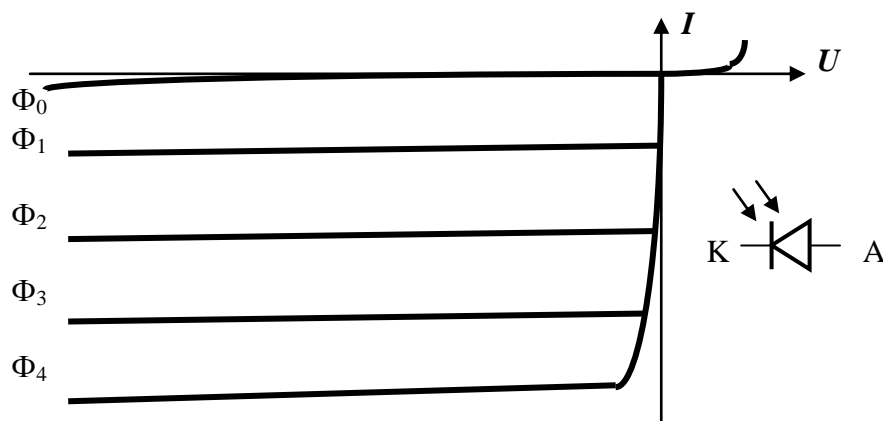


Rys. 3.5.4 Charakterystyka i symbol diody pojemnościowej

Dioda pojemnościowa stosowana jest w układach automatyki, np. do automatycznego dostrajania odbiorników radiowych czy telewizyjnych do wybranej stacji.

3.5.5 Fotodioda

Fotodioda zbudowana jest podobnie jak dioda prostownicza, z tym że posiada w obudowie otwór z wstawioną soczewką, by kierować padające na nią światło na złącze **p-n**. Promienie świetlne powodują wybijanie z wiązań kowalencyjnych elektronów, powodując generację par dziura – elektron. Powstają w ten sposób nośniki mniejszościowe, które przepływają przez złącze przy jego polaryzacji w kierunku zaporowym. Ilość powstających nośników, a więc i wielkość prądu zależy od natężenia padającego światła ϕ . Charakterystykę i symbol diody przedstawiono na rys. 3.5.5.



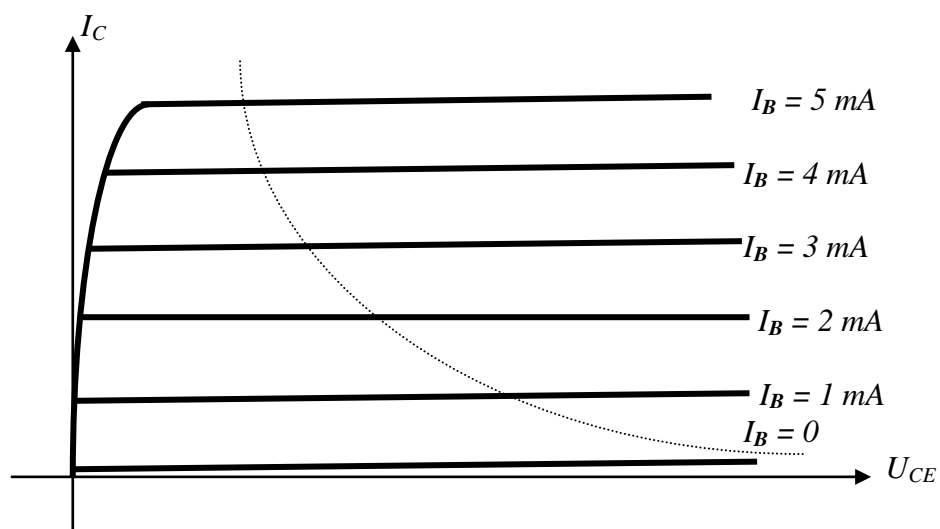
Rys. 3.5.5 Charakterystyka i symbol fotodiody

Fotodioda stosowana jest powszechnie w układach automatyki (automatyczne otwieranie drzwi, zabezpieczenie obiektów przed kradzieżą itp.). Dioda włączona jest w kierunku zaporowym. Dopóki do diody dociera światło, prąd przez nią płynie. Przesłonięcie wiązki światła padającego na diodę

powoduje zanik prądu w obwodzie, co jest wykrywane za pomocą odpowiedniego czujnika i powoduje zadziałanie układu wykonawczego.

3.5.6 Tranzystor warstwowy

Tranzystor warstwowy jest zbudowany z trzech, ułożonych na przemian warstw półprzewodnika domieszkowanego. W zależności od kolejności warstw, mamy tranzystory **n-p-n** i **p-n-p**. Z warstw półprzewodnika, na zewnątrz obudowy, wyprowadzone są trzy elektrody. Elektroda wyprowadzona z warstwy wewnętrznej nazywa się **bazą**, elektroda z jednej z warstw zewnętrznych, wymiarowo większej, nazywa się **kolektorem** a elektroda z drugiej warstwy zewnętrznej nazywa się **emiterem**. Na rys. 3.5.6 przedstawiono podstawową charakterystykę tranzystora. Jest to zależność prądu kolektora od napięcia kolektor – emiter. Parametrem charakterystyki jest prąd bazy.



Rys. 3.5.6 Charakterystyka kolektorowa tranzystora

Z charakterystyki wynika, że jeżeli napięcie kolektor – emiter będzie większe od pewnej wartości U_{CE0} to prąd kolektora I_C praktycznie nie zależy od tego napięcia, zależny jest natomiast od wartości prądu bazy I_B . Zależność ta jest w przybliżeniu proporcjonalna i wyraża się zależnością:

$$I_C = \beta I_B$$

gdzie: β jest współczynnikiem wzmocnienia prądowego tranzystora i dla współczesnych tranzystorów zawiera się w granicach 50 – 1000.

Linia kropkowana na rys. 3.5.6 przedstawia moc admysyjną tranzystora.

$$P_a = I_C \cdot U_{CE}$$

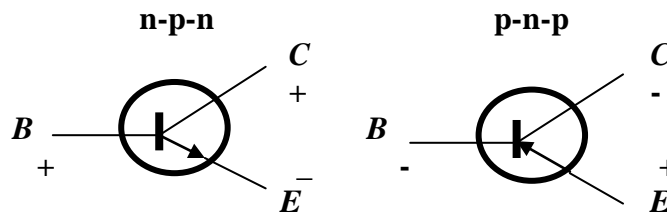
Jest to maksymalna moc jaka może być wydzielona w tranzystorze bez obawy jego zniszczenia pod wpływem wydzielanego ciepła.

Tranzystory stosuje się głównie do wzmacniania sygnałów elektrycznych - każda zmiana prądu w obwodzie bazy, wywołuje proporcjonalną, ale znacznie większą zmianę prądu w obwodzie kolektora.

Podstawowe parametry tranzystora to:

- I_{Cmax} – maksymalny prąd kolektora,
- U_{Cmax} – maksymalne napięcie kolektor – emiter,
- P_a – moc admysyjna tranzystora,
- I_{CE0} – prąd zerowy tranzystora; jest to prąd płynący w obwodzie kolektor – emiter, przy braku wysterowania w obwodzie bazy ($I_B = 0$),
- β – współczynnik wzmocnienia prądowego.

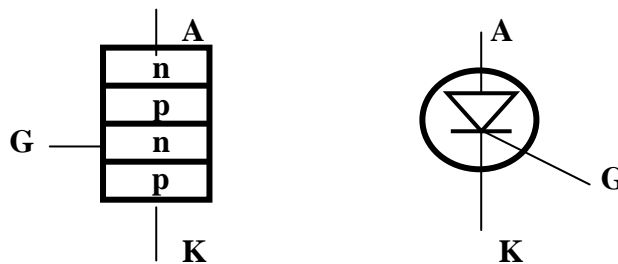
Na rys. 3.5.7 przedstawiono symbole tranzystorów **n-p-n** i **p-n-p**, oraz biegunowości doprowadzanego napięcia polaryzacji.



Rys. 3.5.7 Symbole tranzystorów warstwowych

3.5.7 Tyrystor

Tyrystor jest elementem półprzewodnikowym składającym się z czterech warstw półprzewodnika. Jego budowę oraz symbol przedstawiono na rys. 3.5.8.



Rys. 3.5.8 Budowa i symbol tyrystora

Jeżeli do tyrystora doprowadzimy napięcie o polaryzacji: plus do katody, minus do anody, prąd przez tyrystor nigdy nie popłynie (jak w przypadku diody spolaryzowanej w kierunku zaporowym). Przy polaryzacji odwrotnej tzn. plus do anody, minus do katody, prąd przez tyrystor może popłynąć ale warunkiem jego przepływu jest uprzednie włączenie tyrystora. Aby tego dokonać należy podać na **bramkę G** krótkotrwały impuls napięcia dodatniego w stosunku do katody; spowoduje to, że prąd zacznie przez tyrystor płynąć. Aby wyłączyć tyrystor, należy obniżyć do zera napięcie między katodą a anodą. Jeśli potem napięcie to znowu wzrośnie, to aby włączyć tyrystor ponownie trzeba doprowadzić do bramki krótkotrwały impuls napięcia dodatniego. Proces włączania tyrystora przypomina zapalenie światła na klatkach schodowych.

Tyrystory stosuje się głównie do regulacji mocy w obwodach prądu zmiennego. W odróżnieniu od regulacji za pomocą oporników czy autotransformatorów, regulacja mocy dokonywana tyrystorem, praktycznie nie przynosi strat na elementach regulacyjnych. Poza tym tyrystory są zdecydowanie mniejsze od oporników czy autotransformatorów.

3.5.8 Dioda luminiscencyjna

Dioda luminiscencyjna wykonana jest z innego rodzaju półprzewodnika, a mianowicie z arsenku galu. Cechą charakterystyczną arsenku galu jest to, że oddawana w procesie rekombinacji energia wydzielana jest w postaci światła a nie ciepła, jak miało to miejsce dla krzemu lub germanu. Jeżeli więc dioda z arsenku galu zostanie podłączona w kierunku przewodzenia, popłynie przez nią prąd, czemu będzie towarzyszyć silna rekombinacja i dioda będzie emitowała promieniowanie świetlne.

Diody wykonane z arsenku galu emitują promieniowanie w zakresie podczerwieni, a więc niewidzialne. Chcąc uzyskać promieniowanie widzialne diody wykonuje się z mieszaniny arsenku galu i fosforu galu. Kolor emitowanego światła zależy od proporcji składników mieszaniny.

Diody luminiscencyjne wykorzystuje się jako różnego rodzaju wskaźniki napięcia. Gdy na diodę podane jest napięcie w kierunku przewodzenia, dioda świeci, gdy napięcia brak dioda nie świeci. Tego rodzaju wskaźnik tym różni się od zwykłej żaróweczki, że pobiera bardzo niewiele energii. Jest to szczególnie korzystne przy urządzeniach zasilanych z baterii lub akumulatorów.

3.6 Literatura

1. Rusek M., Pasierbiński J., *Elementy i układy elektroniczne w pytaniach i odpowiedziach*, WNT 1997.
2. Koziej E., Sochoń B., *Elektrotechnika i elektronika*, Warszawa 1986.
3. Przeździecki F., *Elektrotechnika i elektronika*, Warszawa, PWN 1985.
4. *Elektrotechnika i elektronika dla nieelektryków*, Praca zbiorowa, WNT 2006.
5. Jaczewski J., Opolski A., Stolz J., *Podstawy elektroniki i energoelektroniki*, WNT 1981.
6. Pilawski M., *Podstawy elektrotechniki*, WSiP 1982.
7. Rusek A., *Podstawy elektroniki*, WSiP 1989.
8. Stacewicz T., Kotlicki A., *Elektronika w laboratorium naukowym*, PWN 1994.

3.7 Efekty kształcenia

Metody i kryteria oceny				
EK1	Ma podstawową wiedzę w zakresie pojęć, praw z zakresu elektrotechniki i elektroniki.			
Metody oceny	egzamin pisemny, egzamin ustny, sprawdziany i prace kontrolne w semestrze.			
Kryteria/ Ocena	2	3	3,5 - 4	4,5 - 5
<u>Kryterium 1</u> Wiedza w zakresie pojęć elektrotechniki i elektroniki.	Brak lub niewystarczająca podstawowa wiedza w zakresie pojęć i definicji związanych z tematem.	Opanowana podstawowa wiedza w zakresie pojęć i definicji związanych z tematem.	Zna i potrafi scharakteryzować /omówić podstawowe pojęcia i definicje Zna i potrafi scharakteryzować /omówić podstawowe i rozszerzone pojęcia, definicje.	Zna i potrafi przeanalizować pojęcia i definicje oraz wskazać możliwości ich wykorzystania w technice morskiej Biegłe zna i potrafi przeanalizować oraz wskazać możliwości wykorzystania w technice morskiej.
<u>Kryterium 2</u> Wiedzę w zakresie praw elektrotechniki i elektroniki.	Brak lub niewystarczająca podstawowa wiedza w zakresie praw związanych z tematem.	Opanowana podstawowa wiedza w zakresie praw związanych z tematem.	Zna i potrafi scharakteryzować /omówić podstawowe prawa Zna i potrafi scharakteryzować /omówić podstawowe i rozszerzone prawa.	Zna i potrafi przeanalizować prawa oraz wskazać możliwości ich wykorzystania w technice morskiej Biegłe zna i potrafi przeanalizować oraz wskazać możliwości wykorzystania w technice morskiej.
EK2	Posiada umiejętność wykorzystania podstawowych praw elektrotechniki i elektroniki do analizy rachunkowej podstawowych elementów i obwodów elektronicznych.			
Metody oceny	zaliczenie ćwiczeń, laboratoriów/ symulatorów, sprawozdanie/ raport.			
Kryteria/ Ocena	2	3	3,5 - 4	4,5 - 5

<p><u>Kryterium 1</u></p> <p>Umiejętność wykorzystania podstawowych praw elektrotechniki i elektroniki do analizy rachunkowej podstawowych elementów i obwodów elektronicznych.</p>	<p>Brak lub niewystarczająca podstawowa wiedza w zakresie wykorzystania pojęć, definicji i praw związanych z tematem.</p>	<p>Opanowana podstawowa wiedza w zakresie wykorzystania pojęć, definicji i praw związanych z tematem.</p>	<p>Zna i potrafi wykorzystać podstawowe pojęcia, definicje i prawa do analizy podstawowych obwodów</p> <p>Zna i potrafi wykorzystać podstawowe i pochodne pojęcia, definicje i prawa do analizy podstawowych obwodów w technice morskiej.</p>	<p>Zna i potrafi wykorzystać podstawowe i pochodne pojęcia, definicje i prawa oraz wzajemne zależności między nimi w technice morskiej</p> <p>Biegłe zna i potrafi przeanalizować oraz wskazać możliwości wykorzystania w technice morskiej.</p>
<p>EK3</p>	<p>Ma podstawową wiedzę teoretyczną w zakresie struktury, przetwarzania, transmisji i pomiarów sygnałów elektrycznych.</p>			
<p>Metody oceny</p>	<p>egzamin pisemny, egzamin ustny, sprawdziany i prace kontrolne w semestrze.</p>			
<p>Kryteria/ Ocena</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>3,5 - 4</p>	<p>4,5 - 5</p>

<p><u>Kryterium 1</u></p> <p>Podstawowa wiedza teoretyczna w zakresie struktury, przetwarzania, transmisji i pomiarów sygnałów elektrycznych.</p>	<p>Brak lub niewystarczająca podstawowa wiedza w zakresie struktury, przetwarzania, transmisji i pomiarów sygnałów.</p>	<p>Opanowana podstawowa wiedza w zakresie struktury, przetwarzania, transmisji i pomiarów sygnałów.</p>	<p>Zna i potrafi scharakteryzować /omówić podstawowe pojęcia z zakresu struktury, przetwarzania, transmisji i pomiarów sygnałów</p> <p>Zna i potrafi scharakteryzować /omówić podstawowe i rozszerzone pojęcia z zakresu struktury, przetwarzania, transmisji i pomiarów sygnałów występujących w technice morskiej.</p>	<p>Zna i potrafi przeanalizować pojęcia z zakresu struktury, przetwarzania, transmisji i pomiarów sygnałów występujących w technice morskiej</p> <p>Biegle zna i potrafi przeanalizować pojęcia z zakresu struktury, przetwarzania, transmisji i pomiarów sygnałów występujących w technice morskiej.</p>
<p>EK4</p>	<p>Posiada umiejętności pomiarów, analizy i przetwarzania sygnałów elektrycznych.</p>			
<p>Metody oceny</p>	<p>zaliczenie ćwiczeń, laboratoriów/ symulatorów, sprawozdanie/ raport.</p>			
<p>Kryteria/ Ocena</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>3,5 - 4</p>	<p>4,5 - 5</p>

<p><u>Kryterium 1</u></p> <p>Umiejętności pomiarów, analizy i przetwarzania sygnałów elektrycznych.</p>	<p>Brak lub niewystarczające podstawowe umiejętności w zakresie pomiarów, analizy i przetwarzania sygnałów.</p>	<p>Opanowane podstawowe umiejętności w zakresie pomiarów i analizy sygnałów.</p>	<p>Opanowane podstawowe umiejętności w zakresie pomiarów, analizy i przetwarzania sygnałów</p> <p>Opanowane w stopniu dobrym podstawowe umiejętności w zakresie pomiarów, analizy i przetwarzania sygnałów występujących w technice morskiej.</p>	<p>Opanowane w stopniu bardzo dobrym podstawowe umiejętności w zakresie pomiarów, analizy i przetwarzania podstawowych sygnałów występujących w technice morskiej</p> <p>Biegłe zna i potrafi przeanalizować pojęcia z zakresu pomiarów, analizy i przetwarzania złożonych sygnałów występujących w technice morskiej.</p>
<p>EK5</p>	<p>Ma podstawową wiedzę w zakresie zasad działania, budowy, eksploatacji podstawowych obwodów i urządzeń elektronicznych.</p>			
<p>Metody oceny</p>	<p>egzamin pisemny, egzamin ustny, sprawdziany i prace kontrolne w semestrze.</p>			
<p>Kryteria/ Ocena</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>3,5 - 4</p>	<p>4,5 - 5</p>

<p><u>Kryterium 1</u></p> <p>Wiedza w zakresie zasad działania, budowy, eksploatacji podstawowych obwodów i urządzeń elektronicznych.</p>	<p>Brak lub niewystarczająca podstawowa wiedza w zakresie zasad działania, budowy, eksploatacji podstawowych obwodów i urządzeń.</p>	<p>Opanowana podstawowa wiedza w zakresie zasad działania, budowy, eksploatacji podstawowych obwodów i urządzeń.</p>	<p>Zna i potrafi scharakteryzować /omówić podstawowe i rozszerzone pojęcia z zakresu zasad działania, budowy, eksploatacji podstawowych obwodów i urządzeń.</p>	<p>Zna i potrafi przeanalizować pojęcia z zakresu zasad działania, budowy, eksploatacji podstawowych obwodów i urządzeń Biegłe zna i potrafi przeanalizować pojęcia z zakresu zasad działania, budowy, eksploatacji podstawowych obwodów i urządzeń występujących w technice morskiej.</p>
<p>EK6</p>	<p>Posiada umiejętność analizy działania, pomiaru parametrów oraz wyznaczania charakterystyk podstawowych obwodów i urządzeń elektronicznych.</p>			
<p>Metody oceny</p>	<p>zaliczenie ćwiczeń, laboratoriów/ symulatorów, sprawozdanie/ raport.</p>			
<p>Kryteria/ Ocena</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>3,5 - 4</p>	<p>4,5 - 5</p>

<p><u>Kryterium 1</u></p> <p>Umiejętność analizy działania, pomiaru parametrów oraz wyznaczania charakterystyk podstawowych obwodów i urządzeń elektronicznych.</p>	<p>Brak lub niewystarczające podstawowe umiejętności w zakresie analizy działania, pomiaru parametrów oraz wyznaczania charakterystyk .</p>	<p>Opanowane podstawowe umiejętności w zakresie analizy działania i pomiaru parametrów podstawowych obwodów i urządzeń.</p>	<p>Opanowane podstawowe umiejętności w zakresie analizy działania, pomiaru parametrów oraz wyznaczania charakterystyk podstawowych obwodów i urządzeń</p> <p>Opanowane w stopniu dobrym podstawowe umiejętności w zakresie analizy działania, pomiaru parametrów oraz wyznaczania charakterystyk podstawowych obwodów i urządzeń.</p>	<p>Opanowane w stopniu bardzo dobrym analizy działania, pomiaru parametrów oraz wyznaczania charakterystyk podstawowych obwodów i urządzeń</p> <p>Biegłe opanowane umiejętności w zakresie analizy działania, pomiaru parametrów oraz wyznaczania charakterystyk podstawowych obwodów i urządzeń występujących w technice morskiej.</p>
--	---	---	---	---