

Ćwiczenie 1

Parametry statyczne diod półprzewodnikowych

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie statycznych charakterystyk podstawowych typów diod półprzewodnikowych oraz zapoznanie się z metodami identyfikacji parametrów odpowiadających im modeli statycznych. Modele te stanowią podstawę schematów zastępczych stosowanych przy projektowaniu układów elektronicznych zawierających diody oraz pozwalają na w miarę precyzyjne określenie strat mocy w przyrządzie w stanie przewodzenia i blokowania.

Wiadomości podstawowe

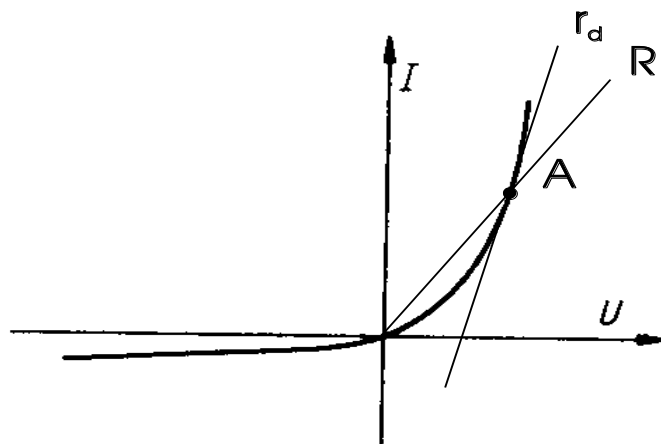
W celu bliższego zapoznania się ze złączem „pn” najczęściej opisuje się je za pomocą zjawiska dyfuzji. Ponieważ między warstwami „p” i „n” występuje duża różnica koncentracji zarówno dziur (braku elektronów w paśmie podstawowym) jak i elektronów w paśmie przewodnictwa między tymi warstwami zachodzi dyfuzja tak, aby wyrównać koncentrację. Dyfuzja elektronów zachodzi zarówno w paśmie przewodnictwa jak i w paśmie podstawowym. W tym ostatnim przypadku mówimy o dyfuzji dziur z materiału „p” do „n” chociaż dyfuzja elektronów w paśmie podstawowym jest w odwrotnym kierunku. Każdemu elektronowi i każdej dziurze odpowiada jon domieszki akceptorowej i donorowej. Stąd po dyfuzji ładunki po obu stronach złącza złożone są zarówno z nośników jak i z jonów. Powstające między tymi ładunkami pole elektryczne hamuje dyfuzję oraz usuwa nośniki ze strefy pola. W wyniku tego w strefie pola pozostają praktycznie tylko jony domieszek zaś w wyniku rekombinacji nośniki mniejszościowe praktycznie zanikają.

Po spolaryzowaniu diody w kierunku przewodzenia („+” od strony warstwy „p”) przyłożone napięcie powoduje obniżenie bariery potencjału na złączu, umożliwiając dyfuzję nośników większościowych. Po spolaryzowaniu diody w kierunku wstecznym („-” od strony warstwy „p”) pole elektryczne wywołane napięciem zewnętrznym jest zgodne ze zwrotem pola bariery i w wyniku bariery potencjału na złączu zwiększa się. Płynący wtedy prąd nośników mniejszościowych stanowi w głównej mierze o wartości prądu wstecznego.

Charakterystyka prądowo-napięciowa idealnej diody „pn” jest określona zależnością wykładniczą (1) której odpowiada krzywa przedstawiona na rys.1.

$$I = I_{s0} \left(\exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right) \quad (1)$$

gdzie: I_{s0} - wsteczny prąd nasycenia,
 $U_T = kT/q$ - potencjał termiczny



Rys.1. Charakterystyka prądowo-napięciowa diody idealnej

Na rys.1, w obszarze odpowiadającym polaryzacji diody w kierunku przewodzenia zaznaczono punkt pracy A. Dla każdego punktu pracy można wprowadzić dwa parametry opisujące zachowanie się diody w obwodzie elektrycznym. Są to: rezystancja statyczna i rezystancja dynamiczna. Rezystancja statyczna jest określona przez nachylenie prostej łączącej punkt pracy z początkiem układu współrzędnych i jest zdefiniowana wzorem (2):

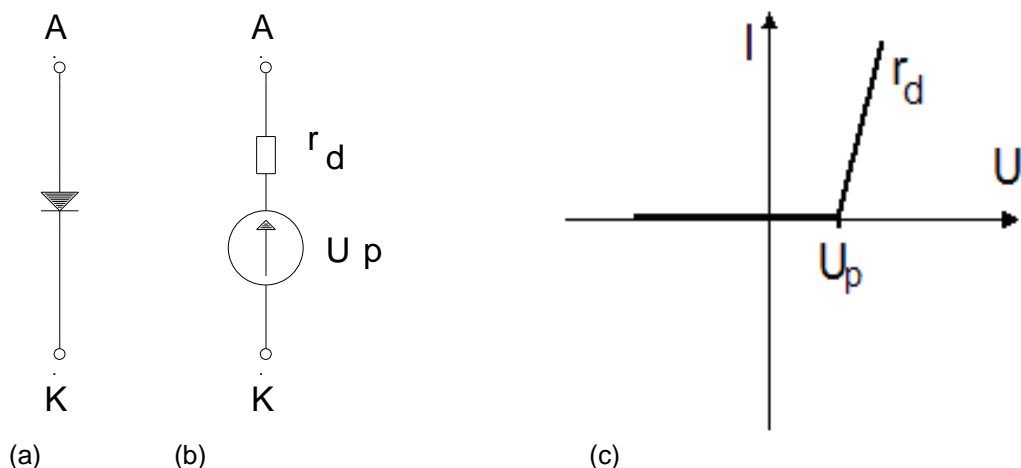
$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_{s0} \left(\exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right)} \quad (2)$$

Rezystancja dynamiczna jest określona przez cotangens kąta nachylenia stycznej do charakterystyki w punkcie pracy i jest zdefiniowana wzorem (3):

$$r_d = \frac{dU}{dI} = \frac{U_T}{I_{s0} \exp\left(\frac{U}{U_T}\right)} \quad (3)$$

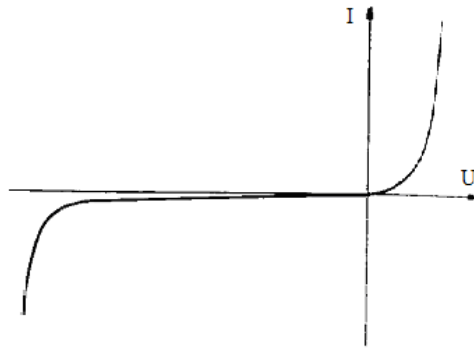
Na rys.1 zaznaczono dla punktu pracy A obie linie określające rezystancję statyczną R i rezystancję dynamiczną r_d .

Pojęcie rezystancji dynamicznej r_d wykorzystano w najprostszym statycznym modelu liniowym diody dla stanu przewodzenia. Istota tego modelu jest przedstawiona na rys.2. Dioda idealna z rys.2a która jest elementem nieliniowym, została zastąpiona przez pokazane na rys.2b szeregowe połączenie źródła napięciowego U_p i rezystancji r_d . Parametry modelu, U_p i r_d są określone przez styczną w punkcie pracy, a charakterystyka diody jest aproksymowana przez linię łamaną przedstawioną na rys.2c.



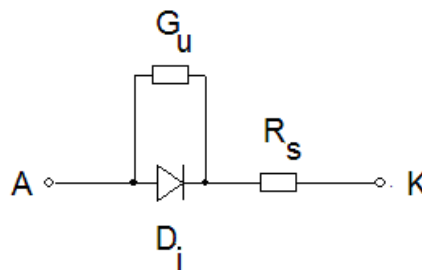
Rys.2. Dioda idealna (a), jej schemat zastępczy (b) oraz odpowiadająca mu charakterystyka odcinkowo-liniowa (c)

W diodzie rzeczywistej występuje szereg zjawisk, które nie były uwzględnione przy wyznaczaniu równania diody idealnej. Należą do nich m.in. rezystancja obszarów odległych od złącza, prądy upływu związane ze zjawiskami powierzchniowymi, rekombinacja i generacja w obszarze ładunku przestrzennego złącza oraz zjawiska polowej i lawinowej generacji nośników przy polaryzacji wstecznej. Powoduje to, że charakterystyka prądowo-napięciowa diody rzeczywistej ma nieco inny kształt (rys.3).

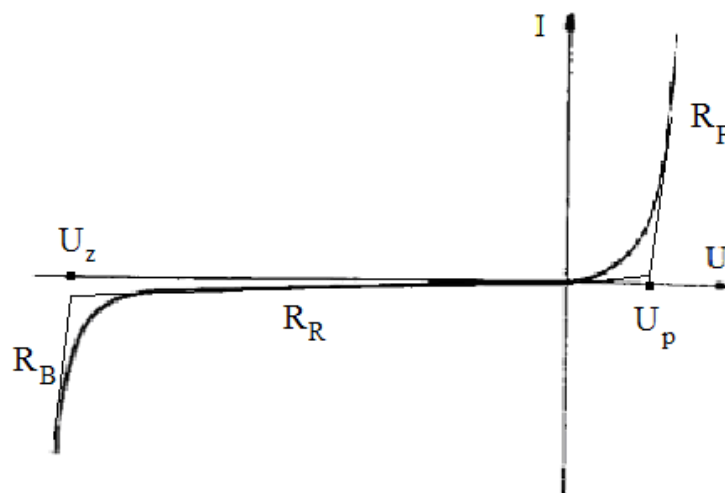


Rys.3. Przykładowa charakterystyka diody rzeczywistej

Aby móc wykorzystać przedstawione w pkt. 2 sposoby opisu diody idealnej do analizy obwodów zawierających diody rzeczywiste można wykorzystać schemat zastępczy diody pokazany na rys.4. Zawiera on diodę idealną D_i , rezystancję szeregową R_s oraz konduktancję upływu G_u natomiast nie uwzględnia zjawisk lawinowego i polowego przebicia złącza.



Rys.4. Schemat zastępczy diody rzeczywistej



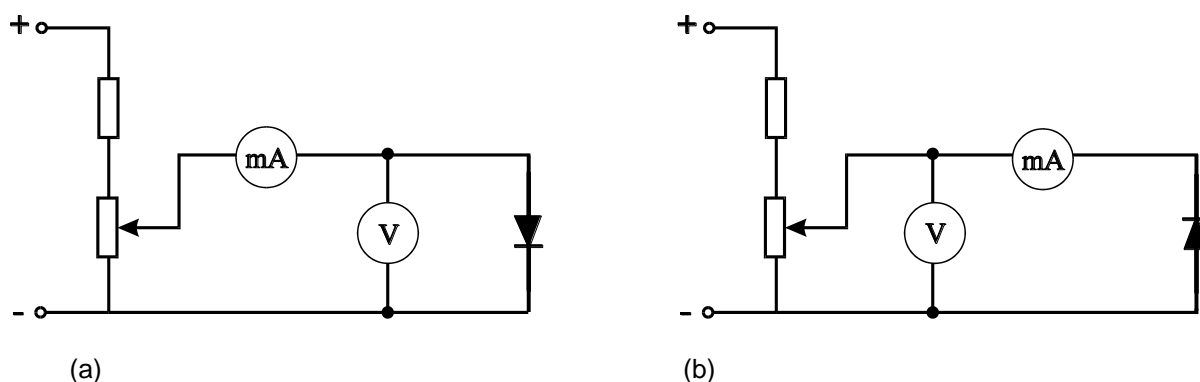
Rys.5. Aproxymacja odcinkowo-liniowa charakterystyki statycznej diody rzeczywistej

W niektórych zastosowaniach wygodnie jest zastosować model statyczny diody rzeczywistej utworzony poprzez aproksymację charakterystyki diody rzeczywistej trzema odcinkami linii prostej, jak to pokazano na rys.5. Napięcia U_p oraz U_z oznaczają odpowiednio napięcie progowe (próg przewodzenia) i napięcie przebicia. Nachylenia poszczególnych odcinków odpowiadają średnim

rezystancjom przyrostowym R_F , R_R i R_B , odpowiednio w obszarze przewodzenia, zaporowym i obszarze przebicia. Rezystancja R_R w sposób istotny zależy od materiału, z którego jest wykonana dioda. W diodach krzemowych jest ona większa przeciętnie o dwa rzędy niż w diodach germanowych i może osiągać wartości rzędu 1000 M Ω . Rezystancje R_F i R_B przyjmują podobne wartości niezależnie od materiału diody i wynoszą od 1 do 100 Ω .

Wykonanie ćwiczenia

Uprozczone schematy układów pomiarowe pokazane są na rys.6.



Rys.6. Schematy układów pomiarowych do wyznaczania charakterystyk prądowo-napięciowych diody p-n dla polaryzacji w kierunku: (a) przewodzenia (dużych prądów) i (b) wstecznym (małych prądów)

Wyboru układu pomiarowego dokonujemy przełącznikiem na płycie czołowej. Rodzaj włożonej do gniazda wtykowego diody wskazują świecąca dioda elektroluminescencyjna.

Należy pomierzyć charakterystyki prądowo-napięciowe dla kierunku przewodzenia i kierunku wstecznego wszystkich podanych przez prowadzącego diod. Napięcie zasilające regulujemy potencjometrem zasilacza. Pomiary należy wykonać w największym możliwym zakresie prądu i napięcia. Ograniczeniem jest maksimum napięcia zasilacza lub zakres miernika (po przekroczeniu tego zakresu miernik przestaje wyświetlać wartość mierzoną). Należy zwrócić szczególną uwagę na jednostki wielkości mierzonej (wskazywane są przez diodę LED przy każdym mierniku).

Uwaga ! Przed przystąpieniem do pomiarów sprawdzić „zachowanie się” badanego elementu w układzie pomiarowym. Tzn. dokonać wszystkich możliwych regulacji i zaobserwować, w jakim zakresie zmieniają się poszczególne wielkości, jak się zmieniają (gwałtownie, wolno). W oparciu o te obserwacje ustalić zakres pomiarów, krok pomiarowy (niekoniecznie stały w całym zakresie pomiarowym). Dopiero wtedy przystąpić do właściwych pomiarów.

Opracowanie wyników

- Wykreślić wszystkie pomierzone charakterystyki diod. Należy wybrać odpowiednią skalę prądów i napięć (zwykle różną dla kierunku przewodzenia i zaporowego). Tam, gdzie jest to możliwe (ze względu na zakres mierzonej wielkości) i celowe dla porównania, należy je umieścić na wspólnym wykresie.
- Dla badanych diod dokonać liniowej aproksymacji charakterystyk statycznych i na tej podstawie określić parametry uproszczonych liniowych schematów zastępczych (U_p , U_z , R_F , R_R , R_B z rys. 5).

Literatura

- Z. Lisik - Podstawy fizyki półprzewodników, skrypt PŁ, 1994,
 A. Świt, J. Pułtorak – Przyrządy półprzewodnikowe,
 W. Marciniak – Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone.