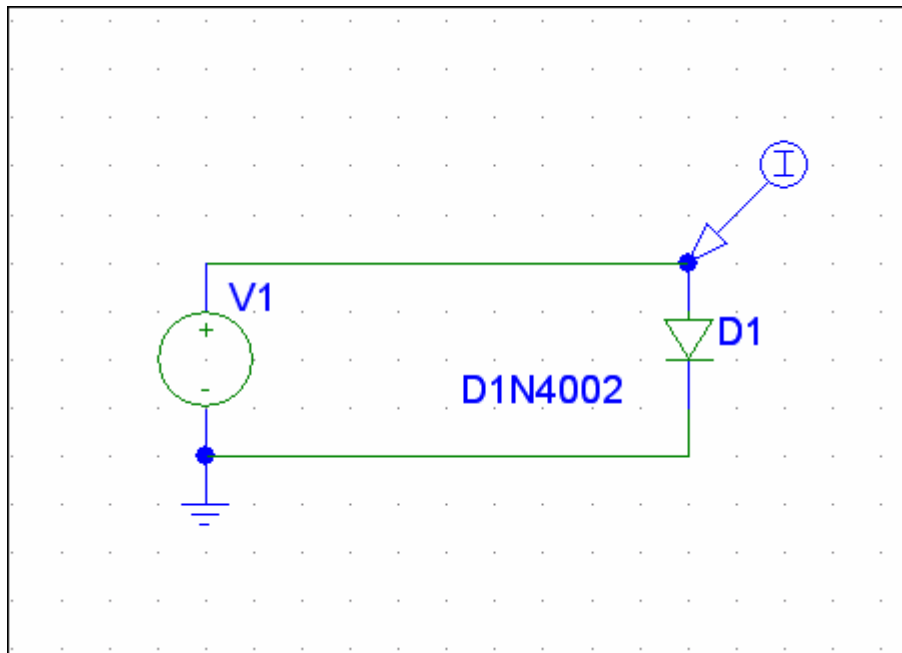


Badanie diody półprzewodnikowej

Symulacja komputerowa PSPICE 9.1

www.pspice.com

1. Wyznaczanie charakterystyki statycznej diody spolaryzowanej w kierunku przewodzenia



Rysunek nr 1. Układ do wyznaczania charakterystyki statycznej diody 1N4002 spolaryzowanej w kierunku przewodzenia.

- Zbuduj układ wg schematu na rysunku nr 1.
- Wyznacz wartość prądu dla napięcia $U_F = 0.9 \text{ V}$, następujących diod:
 - D1N4002
 - D1N4148
 - D1N914
- Podaj co należy zrobić, aby ograniczyć prąd płynący przez diodę D1 na rysunku nr 1.
- * **Podaj maksymalny prąd przewodzenia dla diod:**
 - D1N4002
 - D1N4148
 - D1N914

1.1 Wyznaczanie napięcia progowego $U_{(TO)}$

Dla napięć mniejszych od napięcia progowego $U_{(TO)}$ prąd przewodzenia diody posiada pomijalnie małą wartość. Praktycznie możemy uważać, że dioda przewodzi dopiero po spolaryzowaniu jej w kierunku przewodzenia napięciem większym od $U_{(TO)}$.

Kolejność postępowania:

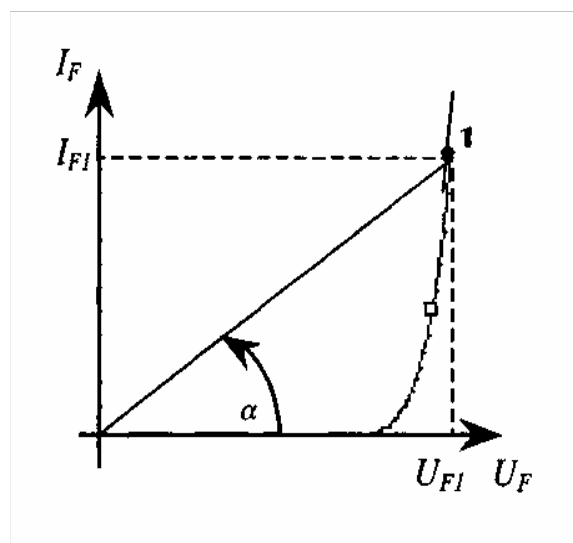
1. Rysujemy charakterystykę statyczną (schemat na rysunku nr 1) .
2. Wybieramy odpowiedni zakres charakterystyki. W tym celu wydajemy polecenia:
Plot → **Axis Setting** → **X Axis** → **Data Range** → **User Defined**, wpisujemy: 0.5V to 0.9V i klikamy **OK**;
Następnie klikamy kolejno: **Plot** → **Axis Setting** → **Y Axis** → **Data Range** → **User Defined**, wpisujemy: 0 to 100mA i klikamy **OK**.
3. Dla wybranej wartości prądu przewodzenia I_F , np. 50 mA, rysujemy linię prostą na poziomie $I_F = 50$ mA. W celu narysowania linii prostej na poziomie 50 mA klikamy kolejno: **Trace** → **Add Trace**, następnie w okienku dialogowym wpisujemy 50mA i klikamy **OK**. Pojawia się pozioma linia prosta.
4. W punkcie przecięcia prostej poziomej z charakterystyką rysujemy styczną do charakterystyki (polecenia: **Plot** → **Label** → **Line**, a następnie klikamy na początku i na końcu linii). W momencie pokrycia się rysowanej linii z fragmentem charakterystyki ten fragment charakterystyki staje się niewidoczny, czyli styczna tak właśnie powinna być narysowana.
5. Zaznaczamy punkt przecięcia stycznej z osią napięcia i odczytujemy wartość napięcia progowego. W tym celu klikamy przełącznik **Toggle cursor**. Pojawia się okienko kursorów **Probe Cursor**. Klikamy lewym klawiszem i przesuwamy kursor do punktu przecięcia stycznej z osią napięcia (lub możliwie blisko tego punktu) i w okienku kursorów odczytujemy wartość napięcia progowego. Przy założeniu, że prąd przewodzenia diody w punkcie pracy wynosi 50 mA, to wartość napięcia progowego $U_{(TO)}$ wynosi 728 mV, czyli około 0.7 V

Zadanie

- Przy założeniu, że prąd przewodzenia diody w punkcie pracy wynosi 50 mA, odczytać wartość napięcia progowego $U_{(TO)}$.
- Przy założeniu, że napięcie $U_F = 500$ mV wyznaczyć I_F .

1.2 Rezystancja diody

W diodach, podobnie jak w innych elementach półprzewodnikowych, rozróżniamy dwa rodzaje rezystancji: rezystancję statyczną oznaczamy dużą literą R i rezystancję dynamiczną oznaczmy małą literą r . Interpretacją graficzną rezystancji statycznej jest kąt nachylenia siecznej (linii łączącej początek układu współrzędnych z wybranym punktem na charakterystyce), co ilustruje rysunek :



Rysunek nr 2. Wyznaczanie rezystancji statycznej

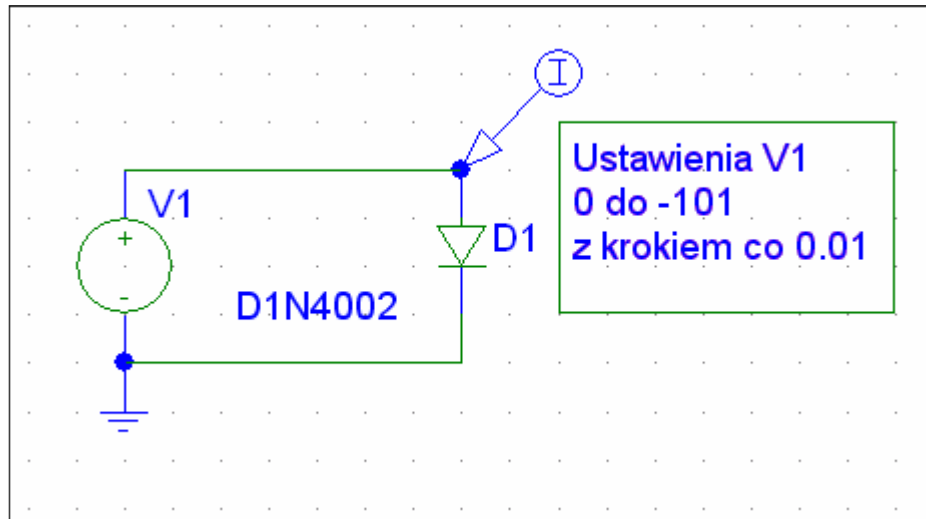
1.2.1. Wyznaczanie rezystancji statycznej diody spolaryzowanej w kierunku przewodzenia

Rezystancja statyczna elementu nieliniowego w dowolnym punkcie jest równa stosunkowi napięcia do natężenia prądu w tym punkcie.

Zadanie

- Wyznaczyć wartość rezystancji statycznej dla napięć:
 - $U_F = 900 \text{ mV}$
 - $U_F = 0.5 \text{ V}$
 - $U_F = U_{(TO)}$

2. Polaryzacja diody w kierunku wstecznym (zaporowym, zatkania)



Rysunek nr 3. Układ do wyznaczania charakterystyki diody spolaryzowanej w kierunku wstecznym.

Na charakterystyce dla napięć większych od około 100 V następuje gwałtowny wzrost prądu. Ponieważ diody konwencjonalne nie są przystosowane do pracy w obszarze przebicia, to katalogowe dopuszczalne napięcie wsteczne wynosi:

$$U_{RRM} < 0.8U_{(BR)} \quad (1)$$

gdzie $U_{(BR)}$ – napięcie przebicia

W celu wyznaczenia napięcia przebicia rysujemy fragment charakterystyki w pobliżu napięcia równego $-100V$ i rysujemy styczną do wykresu w obszarze przebicia. Punkt przecięcia z osią napięcia wyznacza wartość napięcia przebicia. Sposób postępowania jest identyczny jak w przypadku wyznaczania napięcia progowego.

Zadanie

- Wyznaczyć wartość $U_{(BR)}$ i $U_{(RRM)}$.
- Na podstawie fragmentu charakterystyki diody spolaryzowanej w kierunku wstecznym wyznaczyć rezystancję statyczną dla napięcia:
 - $U_R = 99V$
 - $U_R = U_{(BR)}$

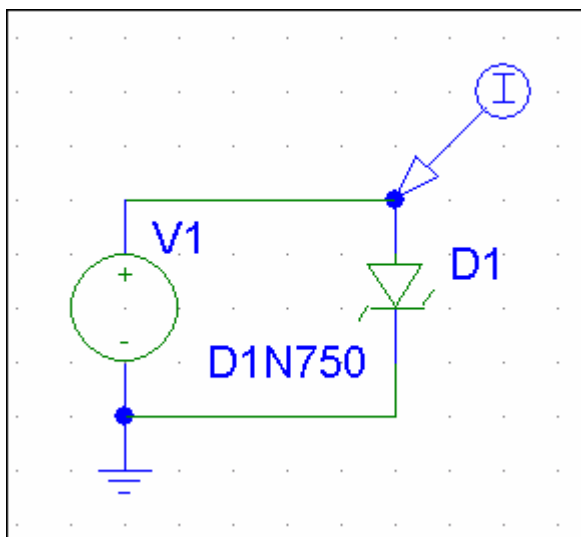
!!! Ćwiczenia od 1 – 2 przeprowadzić obliczenia dla diod:

- D1N4002
- D1N4148
- D1N914

3. Dioda Zenera

Przy rysowaniu charakterystyki statycznej diody Zenera obowiązuje następująca kolejność postępowania:

- Rysujemy schemat wg rysunku nr 4.
- Deklarujemy wartość napięcia źródła V1, np. DC=5V
- Zapisujemy schemat.
- Klikamy przycisk **Setup Analysis**. Otwiera się okno dialogowa, w którym klikamy **DC Sweep...** Pojawia się okno **DC Sweep**, w którym zaznaczamy **Voltage Source** i **Linear**, wpisujemy w polu **Name: V1** i deklarujemy V1 od 0 do -6V z krokiem co 0.01, a następnie klikamy **OK**. Uruchamiamy analizę.



Rysunek nr 4. Układ do wyznaczania charakterystyki diody Zenera D1N750 spolaryzowanej w kierunku wstecznym.

Charakterystyka statyczna diody Zenera spolaryzowanej w kierunku przewodzenia ma identyczny kształt jak charakterystyka diody konwencjonalnej. Diody Zenera przystosowane są do pracy w obszarze przebicia i dlatego ważnym parametrem diody Zenera jest napięcie Zenera, oznaczone w katalogach przez U_Z . Przybliżoną wartość napięcia Zenera wyznaczamy identycznie jak napięcie przebicia diod konwencjonalnych.

Zadanie

- Na podstawie otrzymanej charakterystyki podaj napięcie Zenera diody D1N750
- * **Porównaj wartość U_Z otrzymaną z wartością U_Z katalogową diody Zenera D1N750.**

- * **Sprawdź, jaki prąd płynąłby przez diodę spolaryzowaną w kierunku. przewodzenia napięciem +5V, oblicz moc traconą na diodzie i zaproponuj sposób ograniczenia prądu płynącego w tym obwodzie.**

3.2. Parametry diody Zenera

3.2.1. Rezystancja dynamiczna diody Zenera

Ważnym parametrem diody Zenera jest rezystancja dynamiczna w obszarze przebicia r_z . Podawana jest ona dla konkretnej wartości prądu I_z i dla określonej temperatury. W układach pomiarowych dioda Zenera zasilana jest z dwóch źródeł napięcia: stałego, wytwarzającego prąd stały I_z oraz zmiennego o niskiej częstotliwości, np. **1 kHz**. W układzie symulacyjnym możemy do tego celu wykorzystać źródło napięcia sinusoidalnego **VSIN**.

W układzie symulacyjnym zasilanym napięciem stałym rezystancję dynamiczną możemy wyznaczyć ze stosunku przyrostu napięcia w obszarze przebicia do odpowiadającego mu przyrostu prądu:

$$r_z = \frac{\Delta U_R}{\Delta I_R} \quad (2)$$

Kolejność postępowania:

1. Klikamy przycisk **Setup Analysis**. Otwiera się okno dialogowe, w którym klikamy **DC Sweep....** Pojawia się okno **DC Sweep**, w którym zaznaczamy **Voltage Source**, wpisujemy w polu **Name:** V1, zaznaczamy: **Linear** i deklarujemy **V1** od **-4.4** do **-5V** z krokiem co **0.01**, a następnie klikamy **OK**.
2. Uruchamiamy analizę, klikając przycisk **Simulate**
3. Klikamy przełącznik **Toggle cursor**. Pojawia się okienko kursorów **Probe Cursor** Lewym klawiszem myszy umieszczamy pierwszy kursor w punkcie 1, zaś prawym klawiszem myszy umieszczamy drugi kursor w punkcie 2.
4. W okienku kursorów odczytujemy przyrosty napięcia i prądu pomiędzy punktami 1 i 2.
5. Na podstawie wzoru obliczamy rezystancję dynamiczną.

Zadanie

- Na podstawie wzoru **(2)** obliczyć rezystancję dynamiczną.

3.1.1a Charakterystyka zależności rezystancji dynamicznej od napięcia

W celu narysowania wyłącznie zależności rezystancji dynamicznej od napięcia:

1. Usuwamy ze schematu rysunek nr 3 marker prądu lub usuwamy

dotychczasowy wykres w programie **Probe**. W tym celu zaznaczamy ten wykres i wykorzystujemy klawisz **Delete**. W przypadku kilku wykresów wybieramy wykres do usunięcia jako bieżący i w menu Plot zaznaczamy **Delete** i **Plot**.

2. Deklarujemy zakres zmian napięcia V1 od -4.9 V do -4.7 V i uruchamiamy symulację. Zwróć uwagę na obowiązującą kolejność deklarowania zakresu i napięć ujemnych.
3. W programie **Probe** wykonujemy następujące polecenia: **Trade** → **Add...**, a następnie w okienku dialogowym **Trace Expression** wpisujemy: $D(V1(D1))/D(I(D1))$ i klikamy **OK**.

W celu odczytania wartości rezystancji dynamicznej dla określonej wartości i pięcia wykonujemy następujące czynności:

1. Uaktywniamy okienko **Probe Cursor**, klikając przełącznik **Toggle cursor**
2. Klikamy na wykresie wybraną wartość napięcia, np. -4.8 V.
3. W okienku **Probe Cursor** odczytujemy wartość rezystancji dynamicznej.

Analogicznie postępowanie pozwoli nam na odczytanie wartości rezystancji i dynamicznej dla dowolnej innej wartości napięcia.

6. Obliczanie temperaturowego współczynnika napięcia

Kolejnym ważnym parametrem diod Zenera jest temperaturowy współczynnik napięcia, który może mieć wartości ujemne (w diodach niskonapięciowych na napięcia Zenera do kilku woltów), dodatnie (dla diod Zenera na napięcia wyższe od 6 V) oraz bliskie zeru dla diod Zenera na napięcia z przedziału od 5 do 6 V.

Temperaturowy współczynnik napięcia określa stosunek względnej zmiany napięcia Zenera w funkcji temperatury do wartości napięcia Zenera przy stałym prądzie.

Temperaturowy współczynnik napięcia oznaczamy α_{Uz} i obliczamy go na podstawie następującego wzoru:

$$\alpha_{Uz} = \frac{1}{U_z} * \frac{\Delta U_z}{\Delta T}$$

dla $I_z = \text{const}$

We wzorze ΔT oznacza przyrost temperatury.

Kolejność postępowania:

1. Rysujemy schemat z rysunku nr 4
2. Deklarujemy ustawienia analizy **DC Sweep**: V1 od -6 do 0 z krokiem co 0.01.
3. Klikamy przycisk **Nested Sweep....** Pojawia się okienko **DC Nested Sweep**.
Zaznaczamy w nim:
 - w polu **Swept Var. Type: Temperature**
 - w polu **Swept Type: Linear** i wpisujemy : **Start Value: -25; End Value:75; Increment:50;**

4. Zaznaczymy: **Enable Nested Sweep** i klikamy **OK**.
5. Uruchamiamy symulację.

6.1 Wyznaczanie temperaturowego współczynnika napięcia diody Zenera

Kolejność postępowania:

1. Na otrzymanej charakterystyce w programie **Probe** zmieniamy skalę napięć przy użyciu poleceń **Plot** → **Axis Setting** → **X ...** i wpisujemy: **-4.9 to -4.6** i klikamy **OK**.
2. Rysujemy stałą wartość prądu $I = -200\text{mA}$ po wywołaniu poleceń: **Trace** → **Add...** i wpisaniu w okienku dialogowym; **-200mA**
3. Klikamy przełącznik **Toggle Cursor**, a następnie lewym klawiszem myszy klikamy punkt przecięcia lewej skrajnej charakterystyki z prostą $I = 200\text{mA}$, zaś prawym klawiszem klikamy przecięcie tej prostej z prawą skrajną charakterystyką.
4. Z okienka **Probe Cursor** odczytujemy wyniki: przy praktycznie stałym prądzie zmiana napięcia powinna wynosić zaledwie **23 mV**.

Zadanie

- Wyznaczyć temperaturowy współczynnik napięcia diody Zenera 1N750