

Seminarul 2

S2.1. Noțiuni de fizica semiconductoarelor

<https://byjus.com/jee/semiconductors/>

Noțiuni teoretice

- semiconductor intrinsec (pur)

$$n = p = n_i$$

n – concentrația de electroni

p – concentrația de goluri

n_i – concentrația intrinsecă.

$$n_i = A \cdot T^{3/2} \cdot \exp\left(-\frac{E_G}{2 \cdot k \cdot T}\right)$$

Rezistivitatea

$$\rho = \frac{1}{q(n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p)}$$

ρ – rezistivitatea

q – sarcina electronului, $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$

μ_n – mobilitatea electronilor

μ_p – mobilitatea golurilor

Aplicații

Ap. 1. La o probă omogenă realizată dintr-un material semiconductor pur s-a măsurat rezistența în două condiții de temperatură:

a) $\theta_1 = 25^\circ\text{C}$, $R_1 = 433 \, \Omega$;

b) $\theta_1 = 100^\circ\text{C}$, $R_2 = 28 \, \Omega$.

Se cunoaște constanta lui Boltzmann, $k = 8,62 \cdot 10^{-5} \text{eV/K}$.

Să se indice din ce material este realizată proba.

Rezolvare

Rezistența probei este proporțională cu rezistivitatea acesteia.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$$R \sim \rho$$

$$\rho = \rho(\theta)$$

Semiconductor pur, deci:

$$n = p = n_i$$

Rezistivitatea este:

$$\rho = \frac{1}{q(n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p)} = \frac{1}{q \cdot n_i(\mu_n + \mu_p)}$$

Deci

Seminarul 2

$$\rho \sim \frac{1}{n_i}$$

$$n_i = A \cdot T^{3/2} \cdot \exp\left(-\frac{E_G}{2 \cdot k \cdot T}\right)$$

Dacă se neglijează dependența de $T^{3/2}$, rezultă:

$$R_1 = \text{cst.} \cdot \exp\left(\frac{E_G}{2 \cdot k \cdot T_1}\right)$$

$$R_2 = \text{cst.} \cdot \exp\left(\frac{E_G}{2 \cdot k \cdot T_2}\right)$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \exp\left[\frac{E_G}{2k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right]$$

$$T_1 \approx 273 + \theta_1 = 273 + 25 = 298\text{K}$$

$$T_2 \approx 273 + \theta_2 = 273 + 100 = 373\text{K}$$

Se obține valoarea pentru lățimea benzii interzise,

$$E_G = 2k \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2} = 2 \cdot 8,62 \cdot 10^{-5} \frac{298 \cdot 373}{373 - 298} \ln \frac{433}{28} \cong 0,6997\text{eV}$$

$E_{G,\text{Si}} = 1,12\text{ eV}$ (electroni volți),

$E_{G,\text{Ge}} = 0,67\text{ eV}$,

$E_{G,\text{GaAs}} = 1,43\text{ eV}$

Rezultă că materialul semiconductor este **germaniu**.

Ap. 2. Să se calculeze rezistivitatea unui monocristal de germaniu pur și a unui monocristal de siliciu pur la temperatura, $T = 300\text{K}$.

Se cunosc:

Ge ($n_i = 2,4 \cdot 10^{13}\text{ cm}^{-3}$, $\mu_n = 3900\text{ cm}^2/\text{Vs}$, $\mu_p = 1900\text{ cm}^2/\text{Vs}$)

Si ($n_i = 1,45 \cdot 10^{10}\text{ cm}^{-3}$, $\mu_n = 1350\text{ cm}^2/\text{Vs}$, $\mu_p = 480\text{ cm}^2/\text{Vs}$).

Rezolvare

$$\rho_{Ge} = \frac{1}{q \cdot n_{i,Ge}(\mu_{n,Ge} + \mu_{p,Ge})} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,4 \cdot 10^{13}(3900 + 1900)} \cong 44,9\ \Omega \cdot \text{cm}$$

$$\rho_{Si} = \frac{1}{q \cdot n_{i,Si}(\mu_{n,Si} + \mu_{p,Si})} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,45 \cdot 10^{10}(1350 + 480)} \cong 235\text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$$

S2.2. Joncțiunea pn

Noțiuni teoretice

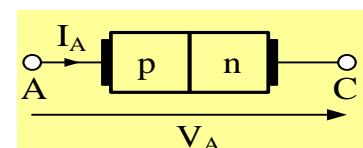


Fig. S2.1. Notății pentru joncțiunea pn în regim static.

Caracteristica statică a joncțiunii pn

$$I_A = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot V_A}{\gamma \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right]$$

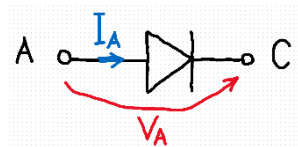


Fig. S2.2. Simbol și notații pentru diodă

Aplicații

Ap. 1. Pentru circuitul din fig. S2.3 se cunoaște că pentru cele două LED-uri tensiunea în polarizare directă este: $V_{F1} = V_{F2} = V_F = 2V$, iar curentul în polarizare inversă este: $I_{R1} = I_{R2} = I_R = 0$.

Se cere curentul prin cele două LED-uri și starea acestora (aprins sau stins) în următoarele situații:

- comutatorul K în poziția A;
- comutatorul K în poziția B;
- comutatorul K în poziția C.

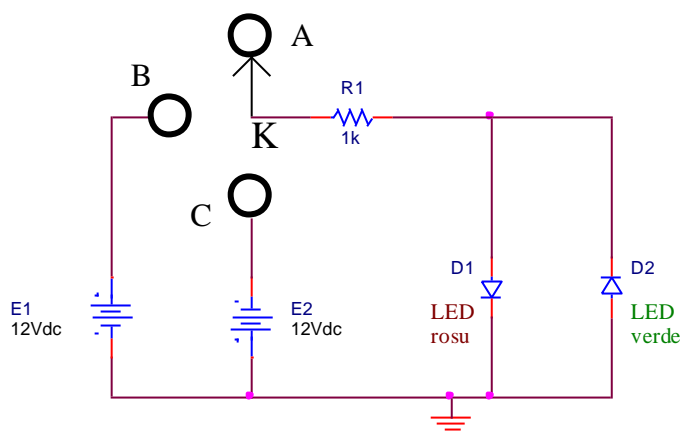


Fig. S2.3. Schema circuitului pentru ap. 1

Rezolvare

- Pentru $k \rightarrow A$, LED-urile nu sunt alimentate,
 $I_{D1} = I_{D2} = 0$
 LED-ul roșu este stins
 LED-ul verde este stins.
- Pentru $k \rightarrow B$, D_1 este polarizată direct și D_2 este polarizată invers, rezultă:
 $V_{D1} = V_F = 2V$
 $I_{D2} = -I_R = 0$
 $E_1 = R_1 \cdot I_{D1} + V_{D1}$
 Se obține:

$$I_{D1} = \frac{E_1 - V_{D1}}{R_1} = \frac{12 - 2}{1} = \frac{10V}{1k\Omega} = 10mA$$

Ca urmare:

LED-ul roșu este aprins

LED-ul verde este stins.

- Pentru $k \rightarrow C$, situația este complementară față de cea de la punctul b, astfel că:

$$V_{D2} = V_F = 2V$$

$$I_{D1} = -I_R = 0$$

$$I_{D2} = 10mA$$

LED-ul roșu este stins

LED-ul verde este aprins.

Stare comutator K	A	B	C
Stare LED roșu			
Stare LED verde			

Seminarul 2

Ap. 2. Diodele D1 și D2 din fig. S2.4 sunt identice, cu $V_F = 0,7V$ și $I_R = 0$. Să se determine potențialul V_1 .

Ap. 3. Diodele D1 și D2 din fig. S2.5 sunt identice, $V_F = 0,7V$ și $I_R = 0$. Să se determine potențialul V_2 .

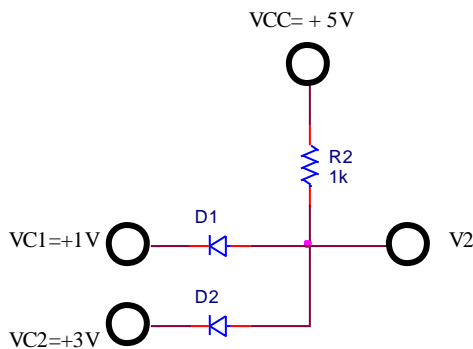


Fig. S2.4. Schema circuitului pentru ap. 3

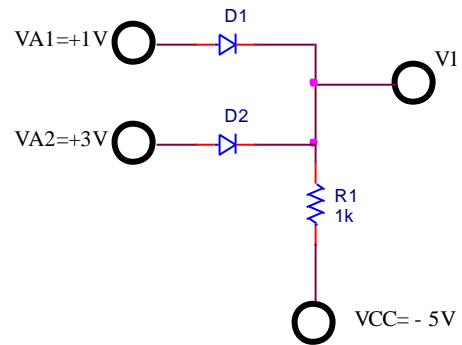


Fig. S2.3. Schema circuitului pentru ap. 2

S2.4. Tranzistorul bipolar în regim static

Noțiuni teoretice

Simbol și notațiile pentru TB tip npn sunt ilustrate în fig. S2.5.

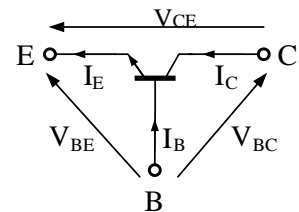


Fig. S2.5. Tranzistorul npn

În fig. S2.6 este prezentat modelul de c.c. al TB de tip npn. Se observă că pentru curentul de colector se poate scrie **ecuația de dispozitiv**:

$$i_C \cong \beta_F \cdot i_B$$

Uzual, tensiunea pe joncțiunea emitorului se dă (ecuație de dispozitiv):

$$V_{BE} = 0,6V$$

Ecuații de legătură

$$V_{CE} = -V_{BC} + V_{BE}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

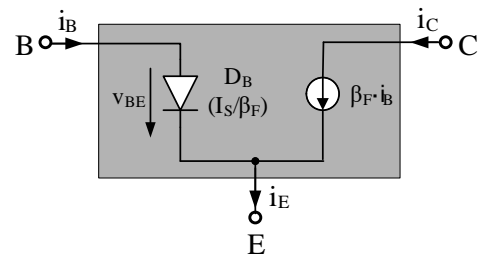


Fig. S2.6. Modelul de c.c. al tranzistorului npn

Aplicații

Ap. 1. Pentru circuitul din fig. S2.6 se cunoaște că $V_E = -1V$ și $V_{BE} = 0,6V$ pentru Q.

Se cere:

- $V_B = ?$
- $I_B = ?$
- $I_E = ?$
- $I_C = ?$
- $V_C = ?$
- $B_F = ?$

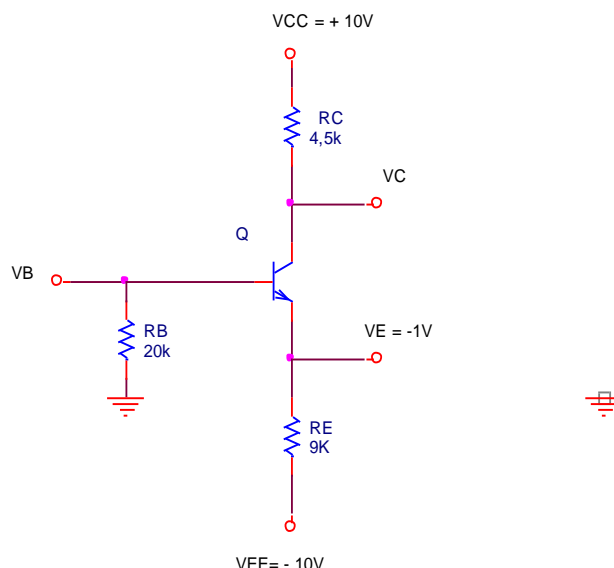


Fig. S2.6. Schema circuitului pentru ap. 1

DEEA, S2

Ap. X

Q ($V_{BE} = 0,7V$; $\beta_F = 200$)

Se cere PSF-ul pt. Q1

PSF - punct static de funcționare.

Q ($V_{BE} = ?$, $V_{CE} = ?$, $I_C = ?$)

Se desenează schema de c.c. ($C_1 \rightarrow \text{gol}$, $C_2 \rightarrow \text{gol}$)

Ec. de circuit

$$\text{TKT}(\partial_1): 0 = -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} \quad (1)$$

$$\text{TKT}(\partial_2): 0 = -V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} \quad (2)$$

Ec. de dispozitiv

$$I_C = \beta_F \cdot I_B \quad (3)$$

$$(2) \Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{10,7 - 0,7}{1} =$$

$$= \frac{10V}{1M\Omega} = 10\mu A = 0,01mA$$

$$(3) \rightarrow I_C = \beta_F \cdot I_B = 200 \cdot 0,01mA = 2mA$$

$$(1) \rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = 10,7 - 4 \cdot 2 = 2,7V$$

PSF

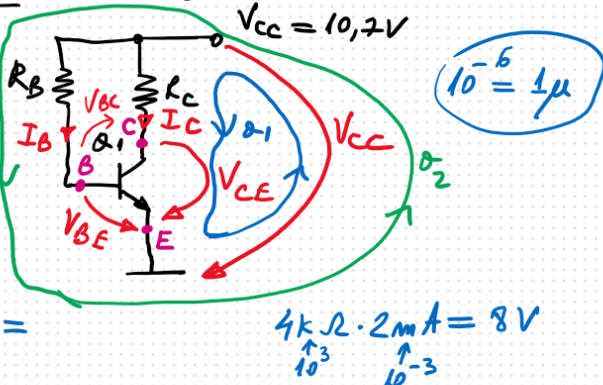
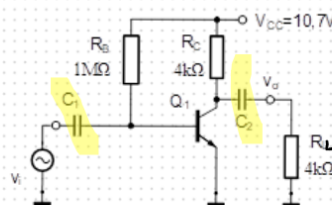
Q1 ($V_{BE} = 0,7V$; $V_{CE} = 2,7V$; $I_C = 2mA$) \Rightarrow Q1 în RAN

RAN \Rightarrow ① jonct. BE pol. direct

② jonct. BC pol. invers

$$V_{BC} = V_{BE} + V_{CE} = V_{BE} - V_{CE} = 0,7 - 2,7 = -2V$$

Jonct. BC este pol. invers dacă $V_{CE} > V_{BE}$, net $\approx V_{BE} = 0,7V$



DEEA S2

Ap. 7

$$D_1 \equiv D_2 \quad (V_D = 1,4V)$$

$$Q(V_{BE} = 0,6V; \beta_F = 200)$$

Se cere PSF-ul pt. Q.

$$TKT(D_1): -V_{CC} + V_{D2} + R_C I_C + V_{CE} + V_{D1} = 0$$

$$TKT(D_2): -V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} + V_{D1} = 0 \quad (2)$$

$$I_C = \beta_F \cdot I_B \quad (3)$$

$$(2) \quad I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - V_{D1}}{R_B} = \frac{22 - 0,6 - 1,4}{1} = 20 \frac{V}{M\Omega} = 20 \mu A$$

$$(3) \quad I_C = \beta_F \cdot I_B = 200 \cdot 20 \mu A = 4000 \mu A = 4 mA$$

$$(1) \quad V_{CE} = V_{CC} - V_{D2} - R_C I_C - V_{D1} = 22 - 1,4 - 4 \cdot 4 - 1,4 = 22 - 18,8 = 3,2V$$

Q ($V_{BE} = 0,6V; V_{CE} = 3,2V; I_C = 4mA$)
Q în RAN

