

1. 室温 300K の環境で, Ge ダイオードに 0.5V の順方向バイアスを加えたときの流れる電流を求めよ. 但し, 逆方向飽和電流を 2.5×10^{-7} A とする. また, 室温で電流を 10 mA 流すためには順方向バイアス電圧をいくらにすればよいか.

【参考】 必要に応じて下の定数や式を使用せよ.
 電子の電荷 = 1.60×10^{-19} [C], 電子の静止質量 = 9.11×10^{-31} [kg], 真空中の誘電率 = 8.85×10^{-12} [F/m], プランク定数 = 6.60×10^{-34} [m² kg / s], ボルツマン定数 = 1.38×10^{-23} [J/K],

$$V_d = \frac{k_B T}{q} \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right), \quad I = I_s \left\{ \exp \left(\frac{q V_F}{k_B T} \right) - 1 \right\}, \quad f(E) = \frac{1}{1 + \exp \left(\frac{E - E_F}{k_B T} \right)}$$

$$I = I_s \left\{ \exp \left(\frac{q V_F}{k_B T} \right) - 1 \right\} \text{ より,}$$

$$\frac{q V_F}{k_B T} = \ln \left(\frac{I}{I_s} + 1 \right)$$

$$I = 2.5 \times 10^{-7} \left\{ \exp \left(\frac{1.6 \times 10^{-19} \times 0.5}{1.38 \times 10^{-23} \times 300} \right) - 1 \right\}$$

$$V_F = \frac{k_B T}{q} \ln \left(\frac{I}{I_s} + 1 \right)$$

$$\approx 61.7 \text{ [A]}$$

となる. 各値を代入すると,

$$V_F = \frac{1.38 \times 10^{-23} \times 300}{1.6 \times 10^{-19}} \ln \left(\frac{10 \times 10^{-3}}{2.5 \times 10^{-7}} + 1 \right)$$

$$\approx 0.27 \text{ [V]}$$

従って, 電流は 61.7 A となる. 7点

次に, I の式から V_F を求めると,

$$\exp \left(\frac{q V_F}{k_B T} \right) - 1 = \frac{I}{I_s}$$

従って, 順方向バイアス電圧は 0.27 V となる. 4点

2. アクセプタ濃度 10^{22} [m⁻³], ドナー濃度 10^{23} [m⁻³] の Si-n+p ダイオードの拡散電位を求めよ. 但し, 真性半導体のキャリア濃度は 1.6×10^{16} m⁻³ で, 温度は 10 °C とする. 10点

$$V_d = \frac{k_B T}{q} \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right) \text{ に各値を代入すると,}$$

$$V_d = \frac{1.38 \times 10^{-23} \times (10 + 273)}{1.6 \times 10^{-19}} \cdot \ln \left(\frac{10^{22} \times 10^{23}}{(1.6 \times 10^{16})^2} \right) \approx 0.70 \text{ [V]}$$

従って, 拡散電位 V_d は 0.70 V となる.

3. 図1の回路の各ダイオード $D_1 \sim D_4$ に流れる電流 $I_{D1} \sim I_{D4}$ を求めよ. 但し, ダイオードの順方向電圧は $V_F = 0.7$ V とする.

全てのダイオードはオンして, 直流電源 V_F とみなして計算する. 図1(a)において

$$I_{D1} = \frac{7 - V_F \times 2}{1k} = \frac{7 - 0.7 \times 2}{1k} = 5.6 \text{ (mA)} \quad \text{3点}$$

$$I_{D2} = I_{D1} - \frac{V_F}{0.5k} = 5.6 - \frac{0.7}{0.5k} = 4.2 \text{ (mA)} \quad \text{3点}$$

次に, 図1(b)においては, 下のように求まる.

$$I = \frac{10 - 0.7 \times 2}{2k} = 4.3 \text{ (mA)}$$

$$I_{D3} = I - \frac{0.7}{0.7k} = 3.3 \text{ (mA)} \quad \text{3点}$$

$$I_{D4} = I - \frac{0.7}{0.5k} = 2.9 \text{ (mA)} \quad \text{3点}$$

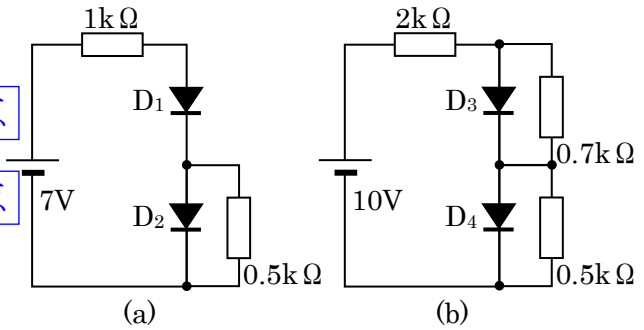


図1 ダイオードの回路

4. 図2の回路に振幅2Vの三角波 $e(t)$ を入力した. ダイオード D がオンオフする条件とその等価回路および図3に電圧 $v_D(t)$, $v_R(t)$ の波形を描け. 但し, ダイオードの順方向電圧は $V_F = 0.7$ V とする.

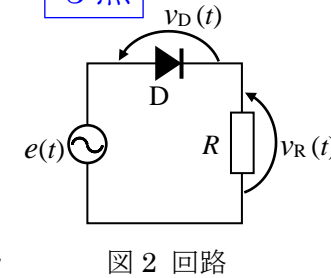
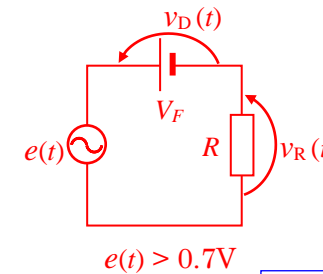


図2 回路

$e(t) > 0.7$ で, D はオンし

$$v_D(t) = 0.7 \text{ V}$$

$$v_R(t) = e(t) - 0.7 \text{ V} \quad \text{2点}$$

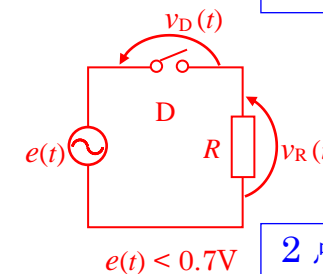


$$e(t) > 0.7 \text{ V} \quad \text{2点}$$

$e(t) < 0.7$ で, D はオフし

$$v_D(t) = e(t)$$

$$v_R(t) = 0 \quad \text{2点}$$



$$e(t) < 0.7 \text{ V} \quad \text{2点}$$

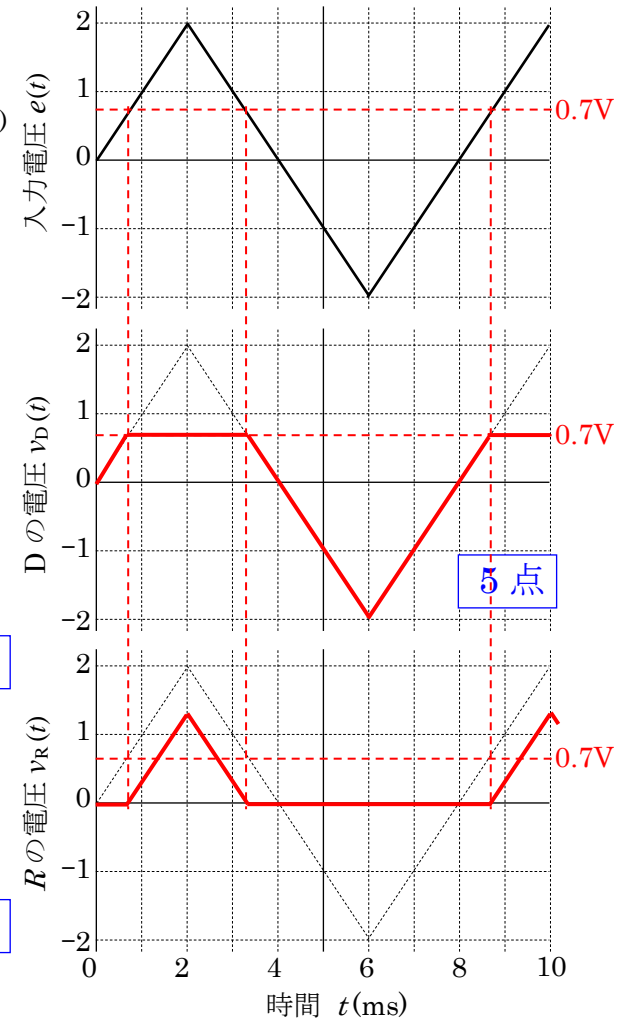


図3 入力電圧 $e(t)$ と各部の波形

令和5年度 電子回路学 I 後期中間試験 (11/24/23)

5. 以下の文章は pnp 形バイポーラトランジスタの動作原理を説明したものである. この文章の空欄(a)から(i)に当てはまる語句を選択肢の中から選び, 回答欄に記せ.

pnp 形バイポーラトランジスタは, (a)半導体であるエミッタ領域とコレクタ領域で(b)半導体であるベース領域を挟んだ構造をしている, ベース・エミッタ間は(c)にバイアスされているので(a)のエミッタ領域から(b)のベース領域に(d)の注入が起こる. ベースに注入された(d)はベース領域中を(e)していく. ベース領域では(d)と(f)の(g)が起こるが, ベース領域は(h)作られているので大部分の(d)は(g)する前にベース・コレクタ接合に到達する. ベース・コレクタ間は(i)にバイアスされているので, ベース・コレクタ接合に到達した(d)は空乏層の電界で加速されてコレクタ領域に達する. ベースに注入された(d)がエミッタ電流 I_E になり, ベース・コレクタ接合に到達し(d)がコレクタ電流 I_C となる. また, ベース領域中の(g)による(f)の不足分はベース電極から補充されてベース電流 I_B となる. 電荷保存則より, I_E, I_C, I_B の間には(A)という関係が成立する.

選択肢:

薄く, 厚く, 順方向, 逆方向, 電子, 正孔, n 形, p 形, 真性, 励起, 拡散, ドリフト, 再結合

回答欄:						10点			
(a)	p 形	(b)	n 形	(c)	順方向	(d)	正孔	(e)	拡散
(f)	電子	(g)	再結合	(h)	薄く	(i)	逆方向	(A)	$I_E = I_B + I_C$

6. 図4の回路について, 以下の問いに答えよ.

- 直流電源 V_{BB} と V_{CC} の記号を記入せよ.
- 各端子に実際に流れる電流の向きを矢印で記入せよ.
- 電子を●で, 正孔を○で, その動きを矢印で表し, 図中に描け.
- ベース接地の電流増幅率 α を電流の関係で表せ.

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad \text{3点}$$

(5) (4)の式と5. の(A)の式から I_C/I_B を α で表せ.

上式と $I_E = I_B + I_C$ より,

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{I_C}{I_B + I_C}$$

$$\alpha(I_B + I_C) = I_C$$

$$\alpha I_B + \alpha I_C = I_C$$

$$\alpha I_B = (1 - \alpha) I_C$$

$$\frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad \text{4点}$$

となる (上記はエミッタ接地の電流増幅率 β である).

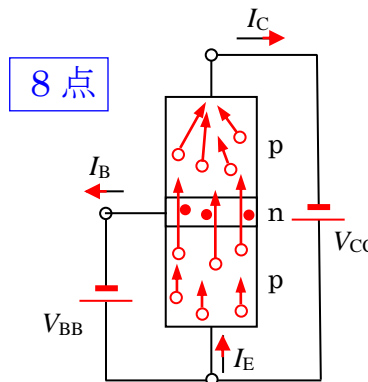
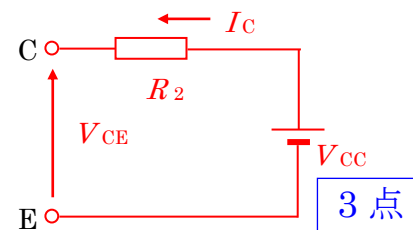


図4 トランジスタの原理

8点

7. 図5について, 以下の問いに答えよ.

- 直流電源 V_{BB} と V_{CC} の記号を記入せよ.
- トランジスタの C-E 端子から右を見た回路を描け.



3点

- 負荷線の式を導出せよ. 即ち, (2)で描いた図で I_C を V_{CE}, R_2, V_{CC} で表す. また, (4)の素子値を代入した式も書け.

図より,

$$V_{CC} = V_{CE} + R_2 I_C$$

$$R_2 I_C = V_{CC} - V_{CE}$$

$$I_C = -\frac{1}{R_2} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_2} \quad \text{2点}$$

となる. これに素子値を代入すると

$$I_C = -\frac{1}{1k} V_{CE} + \frac{8}{1k} \text{ (A)}$$

$$I_C = -V_{CE} + 8 \text{ (mA)} \quad \text{2点}$$

となる.

- 図6の出力特性 ($V_{CE}-I_C$ 特性) のグラフに負荷線と動作点 Q を描け. 但し, $R_2 = 1k\Omega, V_{CC} = 8V$ で, 入力信号がない場合 ($V_S = 0$), $I_B = 200\mu A$ であった.

- 信号がない場合のコレクタ電圧 V_{CE} とコレクタ電流 I_C を求めよ. 単位も付ける.

$$V_{CE} = \underline{4V}$$

$$I_C = \underline{4mA} \quad \text{4点}$$

- 入力信号 V_S の振幅を $0.1V$ にしたら, I_B は $\pm 100\mu A$ 変化した. このときの V_{CE} と I_C の変化を求めよ (± 00 で答える).

$$V_{CE} \text{ の変化} = \underline{\pm 2V}$$

$$I_C \text{ の変化} = \underline{\pm 2mA} \quad \text{4点}$$

- (6)より, 電圧増幅度 A_v と電流増幅度 A_i はそれぞれ何倍になるか.

$$A_v = \frac{-2}{0.1} = -20 \text{ (倍)}$$

$$A_i = \frac{2 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-6}} = 20 \text{ (倍)} \quad \text{4点}$$

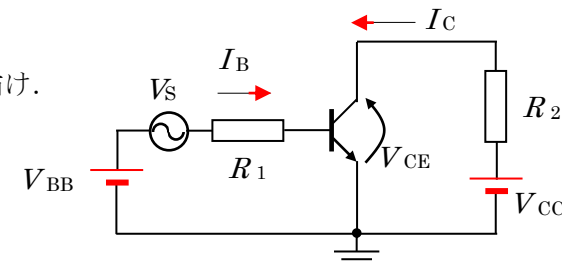


図5 エミッタ接地増幅器

3点

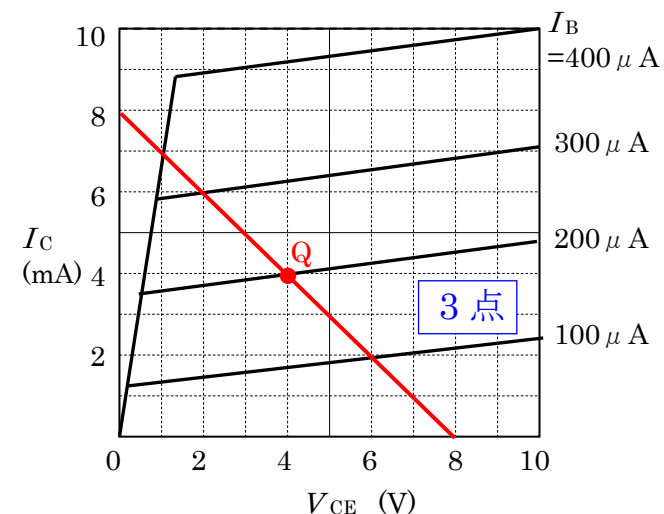


図6 $V_{CE}-I_C$ 特性

3点

5年度 CI-3 電子回路学Ⅰ 後期中間試験は以下のような問題である。

(試験範囲 pp.73-105, ppt ファイルの配布資料, レポート, およびノート) 出題者: 大田

1. ダイオードやトランジスタに関する下の語句の説明や文章の穴埋め等ができること. ★★

pn 接合, ダイオード, アノード, カソード, 整流作用, n 形, p 形, 順方向バイアス, 逆方向バイアス, 空乏層, 電子, 正孔, ドナー, アクセプタ, 多数キャリア, 少数キャリア, 励起, 密度勾配, 拡散, ドリフト, 再結合, 注入, 拡散電位, フェルミ順位 E_f , ベース接地の電流増幅率 $\alpha (=I_C/I_E)$, エミッタ接地の電流増幅率 $\beta (=I_C/I_B)$

2. ダイオードに関する式から, 拡散電位, 流れる電流, および加える電圧 (ダイオードの電流 I の式から V_F を導出) を計算できること. ★★

但し, 試験では下の定数と式は与える (なお, q や m の記号は記さないので式の記号の意味を理解しておく).

電子の電荷 $q = 1.60 \times 10^{-19}$ [C],

電子の質量 $m = 9.11 \times 10^{-31}$ [kg]

真空中の誘電率 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ [F/m],

プランク定数 $h = 6.60 \times 10^{-34}$ [$m^2 \text{ kg} / \text{s}$],

ボルツマン定数 $k = 1.38 \times 10^{-23}$ [J/K]

※ 試験では式のみを与え, 説明や単位は非表示です.

$$\text{ダイオードの拡散電位 } V_d = \frac{k_B T}{q} \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right)$$

$$\text{ダイオードの電流 } I = I_s \left\{ \exp \left(\frac{q V_F}{k_B T} \right) - 1 \right\}$$

3. ダイオードまたはツェナーダイオードの回路図を与えるので, ダイオードがオン (オフ) する条件を判断して, そのときの等価回路を描いて電圧・電流を計算して波形が描けること. ★★

4. エミッタ接地トランジスタの回路図を与えるので, 下の問いに答える. ★★

(但し, 2 電源方式と固定バイアス方式のみで, 電流帰還バイアスや電圧帰還バイアスは出さない)

(1) 各部の電圧や電流を求める.

(2) 負荷線を求める回路を描いて, 記号の式と素子値を代入した負荷線の式を導出する.

(3) トランジスタの入力特性や出力特性を与えるので, 負荷線を描いて動作点 Q を作図し, ベース電流 I_B , コレクタ電流 I_C , 出力電圧 V_{CE} を求める. また, 動作点の移動 Q', Q'' から電圧電流の変化分と増幅度を求める.

★★各自, 配布資料の穴埋め, 演習問題, レポートをもう一度, 何も見ずに解いてみること. ★★

以上を何も見ずに全て解けるようになれば, 90 点以上は取れる問題を出す.

普段できないことは, 試験でもできません! 必ず, 各自解いてみることに!