

$$E_{Fn} = E_i + KT \cdot \ln(N_D/n_i):$$

$$E_{Fp} = E_i - KT \cdot \ln(N_A/n_i):$$

Un système thermodynamique est en équilibre thermodynamique quand il est à la fois en équilibre thermique, mécanique et chimique.

On peut définir l'équilibre thermodynamique comme **l'état** que tout système **isolé** atteint après un temps suffisamment long.

Dans notre cas le système est la jonction PN et ce système est en **équilibre thermodynamique** s'il est en état d'isolement du milieu extérieur, c'est-à-dire la jonction PN n'est pas polarisée.

Exercice 1

On considère une jonction P/N réalisée au silicium avec une partie P dopée à $N_A = 5.10^{16} \text{ cm}^{-3}$ et une partie N dopée à $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, fonctionnant à la température ambiante $T = 300 \text{ °K}$,

Données :

$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$: Valeur absolue de la charge de l'électron ;

$K = 1,38 \times 10^{-23} \text{ (J.K}^{-1})$: Constante de Boltzmann

$E_g = 1,12 \text{ (eV)}$: Gap du Si

$\epsilon = 10^{-12} \text{ F/cm} = 10^{-12} \text{ (C/V) /cm}$ permittivité diélectrique du Si

$(ni)^2 = N_c \cdot N_v \cdot \exp(-E_g/KT)$ et $V_d = (KT/q) \cdot \ln[N_A \cdot N_D / (ni)^2]$

$N_c = 2,7 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$: densité effective d'états des électrons dans la bande de conduction.

$N_v = 1,1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$: densité effective d'états des trous dans la bande de valence.

$E_F = E_i \approx (E_C + E_V)/2$: Niveau de Fermi d'un semi-conducteur intrinsèque.

$E_{Fn} = E_i + KT \cdot \ln(N_D/n_i)$: Niveau de Fermi d'un semi-conducteur extrinsèque dopé N

$E_{Fp} = E_i - KT \cdot \ln(N_A/n_i)$: Niveau de Fermi d'un semi-conducteur extrinsèque dopé P

$W = \sqrt{(2 \cdot \epsilon / q) \cdot (1/N_A + 1/N_D) \cdot V_d}$: Longueur de la zone de charge d'espace

$$x_n = (1/q) \times \sqrt{\epsilon \cdot KT / N_D} \times \sqrt{[2 / (1 + N_D / N_A)] \cdot \ln[N_A \cdot N_D / (ni)^2]}$$

$$x_p = (1/q) \times \sqrt{\epsilon \cdot KT / N_A} \times \sqrt{[2 / (1 + N_A / N_D)] \cdot \ln[N_A \cdot N_D / (ni)^2]}$$

Questions :

- 1- Evaluer l'énergie de fluctuation thermique (KT) en eV, à $T = 300 \text{ °K}$,
- 2- Calculer n_i et V_d à température ambiante
- 3- Calculer E_{Fn} et E_{Fp} en fonction de E_i à température ambiante.
- 4- Déterminer x_n et x_p en fonction de V_d
- 5- Déterminer x_n et x_p en fonction de W
- 6- Calculer W , x_n et x_p : longueur et bornes de la ZCE

Corrigé

1- Evaluer l'énergie de fluctuation thermique (KT) en eV, à $T = 300 \text{ °K}$,

$$KT = 1,38 \times 10^{-23} \text{ (J.K}^{-1}) \times 300 \text{ (K)} = 4,14 \cdot 10^{-21} \text{ (J)} = 4,14 \cdot 10^{-21} / 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ (eV)} = 0,026 \text{ (eV)}$$

$$\text{Avec } 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule} \Rightarrow 1 \text{ Joule} = (10^{19} / 1,6) \text{ eV}$$

2- Calculer n_i et V_d à température ambiante

a) n_i

$$\begin{aligned}
 (ni)^2 &= N_c \cdot N_v \cdot \exp(-E_g/KT) = (2,7 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}) \cdot (1,1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}) \exp(-1,12/0,026) \\
 &= 2,97 \times 10^{38} \times \text{cm}^{-6} \times \exp(-43) = 2,97 \times 10^{38} \text{ cm}^{-6} \times (2,12 \cdot 10^{-19}) \\
 &= (2,97 \times 2,12) \times 10^{19} \cdot \text{cm}^{-6} = 6,3 \times 10^{19} \cdot \text{cm}^{-6} = 63 \times 10^{18} \cdot \text{cm}^{-6} \Rightarrow ni = 7,9 \times 10^9 \cdot \text{cm}^{-3}.
 \end{aligned}$$

b) Vd

$$\begin{aligned}
 Vd &= (KT/q) \cdot \ln[N_A \cdot N_D / (ni)^2] = (1,38 \cdot 10^{-23} \times 300 \text{ (J)}) / (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ (C)}) \times \ln(5 \cdot 10^{16} \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-6} / 63 \times 10^{18} \cdot \text{cm}^{-6}) \\
 &= 4,14 \cdot 10^{-21} / 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ (J/C)} \cdot \ln(5 \cdot 10^{16} \cdot 10^{15} / 63 \times 10^{18}) \\
 &= 0,0259 \text{ (V)} \cdot \ln((5/63) \times 10^{13}) = 0,0259 \text{ (V)} \cdot \ln(8 \times 10^{11}) = 0,0259 \text{ (V)} \cdot [\ln(8) + \ln(10^{11})] \\
 &= 0,0259 \text{ (V)} \cdot [2,01 + 25,33] = 0,7 \text{ V}
 \end{aligned}$$

3- Calculer E_{Fn} et E_{Fp} en fonction de E_i à température ambiante.

a) E_{Fn} : $E_{Fn} = E_i + KT \cdot \ln(N_D / ni) = E_i + (0,026) \cdot \ln(10^{15} / 7,9 \cdot 10^9) = E_i + 0,3 \text{ (eV)}$
 $E_{Fn} - E_i = 0,3 \text{ (eV)}$

b) E_{Fp} : $E_{Fp} = E_i - KT \cdot \ln(N_A / ni) = E_i - (0,026) \cdot \ln(5 \cdot 10^{16} / 7,9 \cdot 10^9) = E_i - 0,4 \text{ (eV)}$
 $E_{Fp} - E_i = -0,4 \text{ (eV)}$

4- Déterminer x_n et x_p en fonction de Vd

avec $Vd = (KT/q) \cdot \ln[N_A \cdot N_D / (ni)^2]$

et $(x_n)^2 = (1/q)^2 \cdot [\epsilon \cdot KT / ND] \cdot [2 / (1 + ND / NA)] \cdot \ln[N_A \cdot ND / (ni)^2]$

• $(x_n)^2 / Vd = (2 \cdot \epsilon / q) \cdot (N_A / (N_D)) \cdot (1 / (N_A + N_D))$

$$x_n = \sqrt{[(2 \cdot \epsilon / q) \cdot (N_A / (N_D)) \cdot (1 / (N_A + N_D)) \cdot Vd]}$$

• $(x_p)^2 / Vd = (2 \cdot \epsilon / q) \cdot (N_D / (N_A)) \cdot (1 / (N_A + N_D))$

$$x_p = \sqrt{[(2 \cdot \epsilon / q) \cdot (N_D / (N_A)) \cdot (1 / (N_A + N_D)) \cdot Vd]}$$

5- Déterminer x_n et x_p en fonction de W

$$x_n / W \Rightarrow x_n = [N_A / (N_D + N_A)] \cdot W$$

$$x_p / W \Rightarrow x_p = [N_D / (N_D + N_A)] \cdot W$$

6- Calculer W, x_n et x_p : longueur et bornes de la ZCE

a) W : $W = [(2 \cdot \epsilon / q) \cdot (1 / N_A + 1 / N_D) \cdot Vd]^{1/2} \Rightarrow W = [(2 \cdot \epsilon / q) \cdot Vd \cdot (N_A + N_D) / (N_A \cdot N_D)]^{1/2}$

Avec $Q = C \cdot V \Rightarrow \text{Coulomb} = \text{Farad} \cdot \text{Volt}$

$$W^2 = (2 \cdot \epsilon / q) \cdot (1 / N_A + 1 / N_D) \cdot Vd = (2 \cdot \epsilon / q) \cdot [(N_A + N_D) / (N_A \cdot N_D)] \cdot Vd = (2 \cdot 10^{-12}) \text{ C} / (\text{V} \cdot \text{cm}) / (1,6 \cdot 10^{-19}) \text{ (C)} \times [(5 \cdot 10^{16} + 10^{15}) / (5 \cdot 10^{16} \times 10^{15})] (\text{cm}^3) \times (0,7) \text{ (V)} = 0,8925 \times 10^{-8} \text{ cm}^2.$$

$$W^2 = 0,8925 \times 10^{-8} \text{ cm}^2 \Rightarrow W = 0,945 \cdot 10^{-4} \text{ cm} = 0,945 \cdot 10^{-6} \text{ m} \Rightarrow W = 0,945 \text{ } \mu\text{m}$$

b) x_n : $x_n = [N_A / (N_D + N_A)] \cdot W = (5 \cdot 10^{16} / (5 \cdot 10^{16} + 10^{15})) \cdot W = 0,98 W = 0,9261 \text{ } \mu\text{m}$

c) x_p : $x_p = [N_D / (N_D + N_A)] \cdot W = (10^{15} / (5 \cdot 10^{16} + 10^{15})) \cdot W = 0,02 W = 0,0189 \text{ } \mu\text{m}$

Exercice 2

Soit le circuit suivant. On veut imposer un courant

$I = 10 \text{ mA}$ à partir d'une source $E = 4 \text{ V}$. En utilisant le modèle exponentiel de la diode, $I_D = I_S \cdot [\exp(V_D / V_{th}) - 1]$

avec $I_S = 10^{-10} \text{ mA}$ et $V_{th} = KT/q = 26 \text{ mV}$.

Calculez

a) la chute de tension aux bornes de la diode V_D

b) la résistance R nécessaire pour imposer le courant $I = 10 \text{ mA}$

c) la résistance dynamique de la diode au point de fonctionnement

a) V_D ? $I_D = I = I_S \cdot [\exp(V_D / V_{th}) - 1] \Rightarrow V_D / V_{th} = \ln(I_D / I_S + 1) \Rightarrow V_D = V_{th} \cdot \ln(I_D / I_S + 1)$

AN: $V_D = 26 \cdot 10^{-3} \text{ (V)} \cdot \ln(10^{-2} / 10^{-13} + 1) = 0,66 \text{ Volt}$.

b) R ? $E = R \cdot I + V_D \Rightarrow R \cdot I = (E - V_D) \Rightarrow R = (E - V_D) / I$ AN: $R = (4 - 0,66) / 10^{-2} = 334 \text{ } \Omega$

c) Résistance dynamique r ?

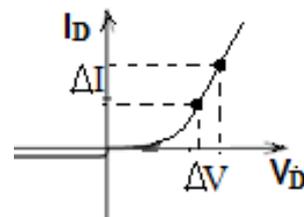
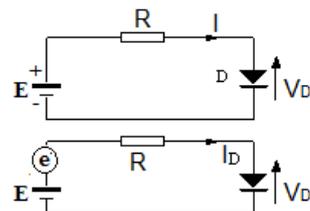
$$r = dV / dI = dV_D / dI_D = \Delta V / \Delta I$$

avec $V_D = V_{th} \cdot \ln(I_D / I_S + 1) \Rightarrow$

$$dV_D / dI_D = V_{th} \cdot (1 / I_S) / (I_D / I_S + 1)$$

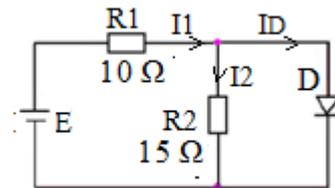
$$\Rightarrow r = V_{th} / (I_D + I_S) \text{ AN : } r = 2,3 \text{ } \Omega.$$

$$E \rightarrow E + e = 4 + 0,1 \sin(\omega t) \quad 4,1 \text{ et } 3,9$$



Exercice 3

Considérons le circuit suivant, $R_1 = 10 \Omega$ et $R_2 = 15 \Omega$. La tension seuil de la diode est $0,6 \text{ V}$ et $I_D = I_S \cdot (e^{V_D/V_T} - 1)$ courant de la diode avec $I_S = 10^{-8} \text{ mA}$ et $V_T = KT/q = 26 \text{ mV}$ à $300 \text{ }^\circ\text{K}$



- 1- Calculer le courant I_D pour $V_D = 0,6 \text{ V}$
- 2- Quelle est la condition sur E pour que la diode soit passante ?
- 3- On prend $E = 2 \text{ V}$, Calculer V_D et le courant I_D qui circule dans la diode,
- 4- Calculer les tensions V_{R1} et V_{R2} aux bornes de R_1 et R_2 .

Corrigé

1- Le courant I_D pour $V_D = 0,6 \text{ V}$

$$I_D = I_S \cdot (e^{V_D/V_T} - 1) = 10^{-11} \cdot \exp(0,6/0,026) = 10^{-11} \cdot (e^{23}) = 10^{-11} \times 0,0974 \cdot 10^{11} \Rightarrow I_D = 97,4 \text{ mA}$$

2- Condition sur E On peut utiliser deux méthodes :

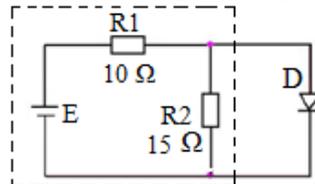
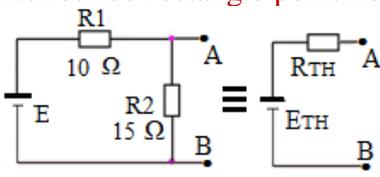
a) **méthode directe** ; du circuit on peut écrire $E = R_1 \cdot I_1 + V_D$ Avec $I_1 = I_2 + I_D = V_D/R_2 + I_D$, parce que $V_{R2} = V_D$. Et on calcule E pour $V_D = 0.6 \text{ V}$ tension de seuil, Pour $V_D = 0.6 \text{ V} \Rightarrow I_1 = 0.6/15 + 0.0974 = 0.1374 \text{ A}$ et $E = R_1 \cdot I_1 + V_D = 10 \times 0.1374 + 0.6 = 1.974 \text{ V}$, c'est la valeur de E pour V_D égale à la tension de seuil de la diode.

Du circuit on remarque que lorsque E augmente V_D augmente aussi. $E = R_1 \cdot I_1 + V_D$

Donc pour que la diode soit passante, il faut que $V_D > 0.6 \text{ V} \Rightarrow E > 1.974 \text{ V}$.

b) Par application du théorème de Thévenin

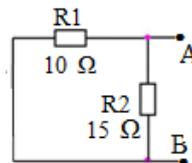
Pour écrire V_D en fonction de E , on applique le **théorème de Thévenin** du dipôle qui se trouve à l'intérieur du rectangle pointillé et ici la diode représente la charge du dipôle.



Calcul de R_{TH} :

R_{TH} est la résistance équivalente vue entre les points A et B (ici on court-circuite E).

$$R_{TH} = R_1 // R_2 \Rightarrow R_{TH} = 6 \Omega$$

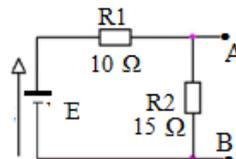


Calcul de E_{TH}

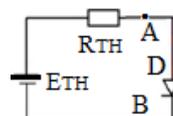
E_{TH} est la tension entre A et B à vide.

(ici on débranche la diode)

$$E_{TH} = V_A - V_B = E \cdot [R_2 / (R_1 + R_2)]. \Rightarrow E_{TH} = 0.6 E$$



En branchant la diode entre A et B, on obtient le circuit suivant avec $E_{TH} = V_D + R_{TH} \cdot I \Rightarrow V_D = E_{TH} - R_{TH} \cdot I$



Condition sur E pour que la diode soit passante ?

Pour $I = 97,4 \text{ mA} = 0.0974 \text{ A}$ on obtient V_D en fonction de E :

$$V_D = E_{TH} - R_{TH} \cdot I \Rightarrow V_D = (0.6E) - (6) \times (0.0974) \Rightarrow V_D = 0.6E - 0,5844$$

On remarque que pour $V_D = 0.6E - 0,5844 = 0.6 \Rightarrow E = 1.974 \text{ V}$

Pour que la diode soit passante, il faut que $V_D > 0.6V \Rightarrow 0.6E - 0.5844 > 0.6$
 $\Rightarrow E > 1,844/0.6 = 1,974 \Rightarrow E > 1.974 V$

3- Calcul de V_D et le courant de la diode pour $E = 2 V$ Avec $R_{th} = 6 \Omega$

$$V_D = 0.6E - 0.5844 = 0,6116 V$$

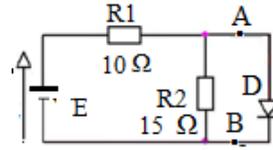
Le courant dans la diode est donc $I = (E_{TH} - V_D) / R_{TH}$. Avec $R_{th} = 6 \Omega$, $V_D = 0,6116 V$ et $E_{th} = 0.6 \times 2 = 1,2 V \Rightarrow I = (1.2 - 0.6116) / 6 = 98 \text{ mA}$. Donc **$I = 98 \text{ mA}$** .

4- Calcul des tensionne V_{R1} et V_{R2} pour $E = 2 V$

La tension aux bornes de $R1$ est $E - V_D$

$$E - V_D = 2 - 0.6116 = 1,3884V$$

La tension aux bornes de $R2 = V_D = 0,6116 V$



Université de Batna-2

Faculté de Technologie

Département d'Electronique

Module: **Physique des S-C pour composants biomédicaux** Code: (PSCCB)

TD (PSCCB/M1/IB)

(2020-2021_S1)

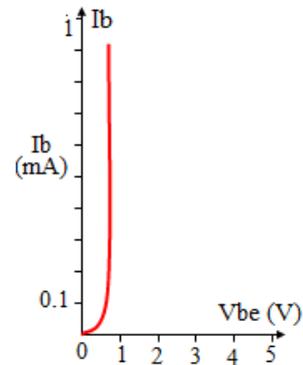
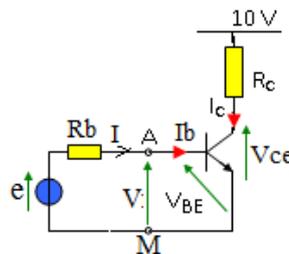
1ère Année Master: Instrumentation Biomédicale

-----o-----

Exercice 4

On souhaite déterminer le point de fonctionnement de la jonction B/E du transistor NPN placé dans le montage ci-contre. Avec la caractéristique $I(V)$ de la jonction B/E (donnée).

a) Exprimer la relation de I en fonction de V , pour le dipôle constitué de la source «e» et de la résistance « R_b » (à gauche des points A et M). avec $e = 4V$ et $R_b = 4 K\Omega$.



b) La caractéristique $I_b(V_{be})$ (courbe donnée) représente la relation entre la tension et le courant dans le dipôle base-émetteur (à droite des points A et M).

Déterminer le point de fonctionnement du montage.

c) Lorsque le courant I_b est supérieur à quelques μA , on peut modéliser la jonction base-émetteur par une source de tension $V_{be} \approx 0.7 V$. Calculer la valeur numérique de I_b obtenue avec ce modèle.

Corrigé :

a) Exprimer la relation de I en fonction de V , pour le dipôle constitué de la source «e» et de la résistance « R_b » (à gauche des points A et M). avec $e = 4V$ et $R_b = 4 K\Omega$.

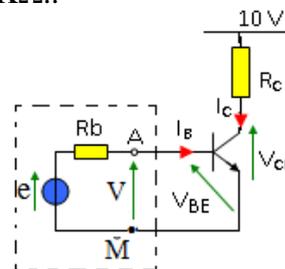
$I(V)$

$$e = R_b \cdot I + V \Rightarrow I = (1/R_b) \cdot [e - V] \Rightarrow I = (1/4000) \cdot [4 - V] \Rightarrow$$

$$I = (25 \cdot 10^{-5}) \cdot [4 - V] = -25 \cdot 10^{-5} (\Omega^{-1}) \times V + 10^{-3} =$$

une droite. $y = ax + b$

$$I = 0 \Rightarrow V = 4V \text{ et } V = 0 \Rightarrow I = 1 \text{ mA.}$$

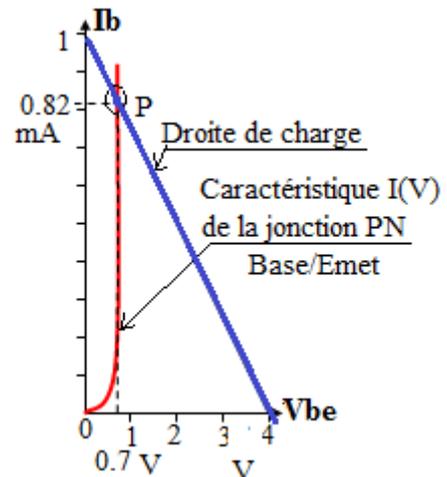


b) La caractéristique $I_b(V_{be})$ (*courbe donnée*) représente la relation entre la tension et le courant dans le dipôle base-émetteur (à droite des points A et M). Déterminer le point de fonctionnement du montage

Point de fonctionnement du montage

Le point de fonctionnement du montage se situe à l'intersection de la droite de charge $I(V)$ et de la courbe caractéristique $I_b(V_{be})$ de la jonction PN base-émetteur. A remarquer que $I = I_b$ et $V = V_{be}$.

On en déduit graphiquement : $V_{be} \approx 0.7 \text{ V}$ et $I_b \approx 0.82 \text{ mA}$.

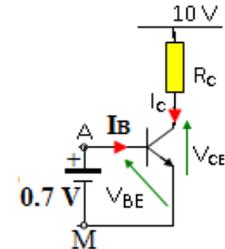


c) Lorsque le courant I_b est supérieur à quelques μA , on peut modéliser la jonction base-émetteur par une source de tension $V_{be} \approx 0.7 \text{ V}$. Calculer la valeur numérique de I_b obtenue avec ce modèle.

Valeur numérique de I_b

$$V_{be} = 4 - 4000 \cdot I_b = 0.7 \Rightarrow$$

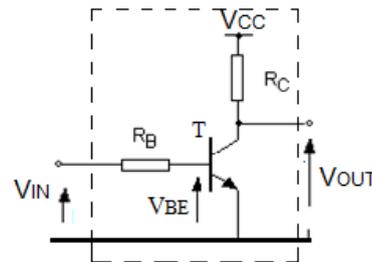
$$I_b = (4 - V_{be})/R_b = (4 - 0.7)/4000 = 3.3/4000 = 0.825 \text{ mA}$$



Exercice 5

Soit le circuit suivant, avec $V_{cc} = 5 \text{ V}$, $R_B = 86 \text{ K}\Omega$, $R_C = 1 \text{ K}\Omega$, $\beta = 100$ et la tension de seuil de la jonction B/E est de 0.6 V .

- 1- Calculer V_{out} pour $V_{in} = 0 \text{ V}$ (T bloqué)
- 2- Calculer V_{in} pour $V_{out} = 0 \text{ V}$ (T saturé) avec la tension de fonctionnement de $I_B(V_{BE})$, $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$.



1- $V_{in} = 0 \text{ V}$ avec $V_{seuil} = 0.6 \text{ V} \Rightarrow V_{in} < V_{seuil}$ ce qui

donne T bloqué, $I_B = 0$, $I_C = \beta I_B = 0$ et $V_{ce} = V_{out} = V_{cc} - R_C I_C = V_{cc} = 5 \text{ Volts}$

2) $V_{out} = 0 \text{ V}$ $V_{cc} = R_C I_C + V_{ce}$, T saturé $\Rightarrow V_{ce} = 0$ et $I_{cSat} = V_{cc}/R_C = 5/10^3 = 5 \text{ mA}$

$V_{in} = R_B I_B + V_{BE}$. Le transistor est saturé $V_{in} = R_B (I_{cSat}/\beta) + V_{BE}$

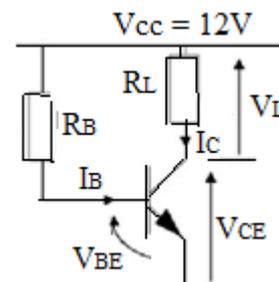
$V_{in} = 86 \cdot 10^3 \times (5 \cdot 10^{-3}/100) + 0.7 = (86 \times 5/100) + 0.7 = 4.3 + 0.7 = 5 \text{ V}$

Conclusion le circuit (dans ces conditions) est un inverseur à transistor bipolaire.

Exercice 6

On considère le montage suivant avec un transistor npn de gain en courant statique $\beta = 100$, $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ et $R_L = 60 \Omega$. La tension de seuil de la jonction B/E est de 0.6 V .

- 1) On désire avoir un courant de 100 mA dans la charge R_L , quelle est valeur de la résistance R_B ?
- 2) Si on fait varier R_B , alors I_B varie et donc I_C varie aussi. Quelle est la valeur maximale qu'on peut obtenir pour I_C (transistor saturé)?
- 3) Quelle est la valeur minimale de R_B pour saturer le transistor



Corrigé :

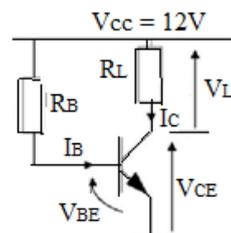
- 1) On désire avoir un courant de 100 mA dans la charge R_L quelle est valeur de la résistance R_B ?

Maille d'entrée : $V_{CC} = R_B \cdot I_B + V_{BE}$,

Et on a $I_B = I_C / \beta = 100 \text{ mA} / 100 = 0.1 / 100 = 1 \text{ mA}$

Donc $R_B = (V_{CC} - V_{BE}) / I_B = (12 - 0.7) / (1 \text{ mA}) = 11,3 \text{ K}\Omega$.

Finalement on doit prendre $R_B = 11,3 \text{ K}\Omega$ pour obtenir un courant de 100mA dans la résistance R_L . ($I_C = 100 \text{ mA}$).



2) Si on fait varier R_B , alors I_B varie et donc I_C varie aussi.

Quelle est la valeur maximale qu'on peut obtenir pour I_C

Maille de sortie : $V_{CC} = R_L \cdot I_C + V_{CE}$, I_C est maximal lorsque le Transistor est saturé;

$V_{CC} = R_L \cdot I_C + V_{CE} \Rightarrow I_C = (V_{CC} - V_{CE}) / R_L$ avec R_L et V_{CC} des constantes donc pour augmenter I_C il faut diminuer V_{CE} . Pour $V_{CE} = 0 \text{ V}$, $I_C = I_{Cmax} = I_{Csat} = V_{CC} / R_L = 12 / 60 = 0,2 \text{ A} = 200 \text{ mA}$.

Le transistor est saturé lorsque I_C atteint la valeur 200 mA. (valeur maximale de I_C).

3) Quelle est la valeur minimale de R_B pour saturer le transistor

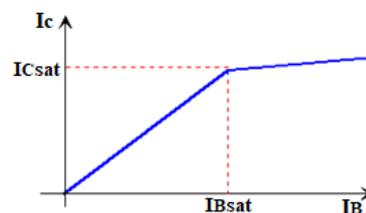
Maille d'entrée : $V_{CC} = R_B \cdot I_B + V_{BE}$, $\Rightarrow R_{Bsat} \times I_{Bsat} = (V_{CC} - V_{BE}) \Rightarrow R_{Bsat} = (V_{CC} - V_{BE}) / I_{Bsat}$

Pour avoir $I_B = I_{Bsat}$ on écrit $I_{Bsat} = I_{Csat} / \beta = 200 \text{ mA} / 100 = 2 \text{ mA}$

Il faut donc $R_{Bsat} = (V_{CC} - V_{BE}) / I_{Bsat} = (12 - 0.7) / 2 \cdot 10^{-3} = 5,65 \text{ K}\Omega$

Pour saturer le transistor il faut que I_B soit $\geq 2 \text{ mA}$ et donc $R_B \leq 5,65 \text{ K}\Omega$

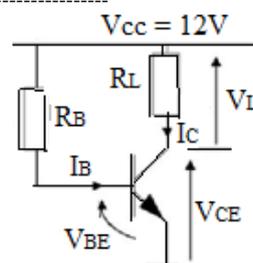
- Si on diminue R_B , I_B augmente et aussi I_C mais lorsque R_B devient $\leq 5,65 \text{ K}\Omega$, I_B devient supérieure à 2 mA mais I_C ne peut plus suivre cette augmentation et se sature à 200mA.



Exercice 7 On considère le montage suivant avec un transistor

NPN de gain en courant statique $\beta = 80$, $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$

On désire avoir un point de fonctionnement tel que $V_{CE} = 6 \text{ V}$ et $I_C = 3,6 \text{ mA}$. Quelles valeurs faut-il donner à R_B et R_L ?



Réponse : $V_{CC} = V_{BE} + R_B \cdot I_B \Rightarrow R_B = (V_{CC} - V_{BE}) / I_B$

$= \beta \cdot (V_{CC} - V_{BE}) / I_C = 80 \cdot (12 - 0.7) / 3.6 \Rightarrow R_B = 251 \text{ K}\Omega$.

$V_{CC} = V_{CE} + R_L \cdot I_C \Rightarrow R_L = (V_{CC} - V_{CE}) / I_C = (12 - 6) / 3.6 \Rightarrow R_L = 1.67 \text{ K}\Omega$.

Exercice 8

On considère le circuit suivant avec un transistor Tr , NPN de gain statique en courant $\beta = 200$.

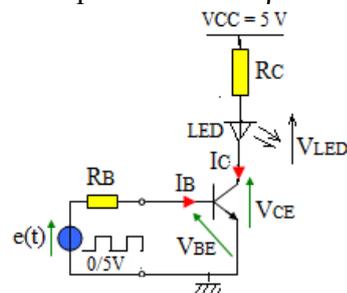
- Dans le cas de saturation du transistor :

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V et } V_{CE} = 0 \text{ V.}$$

- Dans le cas de blocage du transistor : $I_B = I_C = 0 \text{ A}$

- La Diode LED (rouge) de tension de seuil $V_{LED} = 1.8 \text{ V}$ et sa tension de conduction est de 2 V.

- La tension de commande $e(t)$ est une tension carrée 0 V / 5 V de période T.



A) $e = 0 \text{ V}$ (Tr bloqué) :

1- Déterminer le courant I_B .

2- Déterminer la tension V_{CE} .

3- Quel est l'état de la diode LED ? (Est-elle allumée ou éteinte ?)

A) $e = 5 \text{ V}$ (Tr saturé) :

1- Déterminer R_C pour que le courant dans la LED, $I_C = 10 \text{ mA}$ lorsque le transistor Tr est saturé.

2- Déterminer la Résistance R_B dans le cas de saturation du transistor Tr .

3- Quel est l'état de la diode LED ? (Est-elle allumée ou éteinte ?).

Solution:

A) $e = 0$ V Lorsque la tension de commande $e = 0$ V, le courant $I_B = 0$ A $\Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B = 0$ A.

Donc :

1- Le courant $I_B = 0$ A. et $I_C = 0$ A

2- La tension V_{CE} : $I_C = 0$ A $\Rightarrow V_{CC} = R_C \cdot I_C + V_{LED} + V_{CE} = 0 + 0 + V_{CE} \Rightarrow \underline{V_{CE} = V_{CC} = 5$ V

3- L'état de la diode LED : $I_C = 0$ A $\Rightarrow V_{LED} = 0$ V \Rightarrow **La diode LED est éteinte.**

B) $e = 5$ V

1- R_C pour $I_C = 10$ mA et le transistor Tr saturé :

Tr saturé $\Rightarrow V_{CE} = 0$ V, $I_C = 10$ mA et $V_{LED} = 2$ V. avec : $V_{CC} = R_C \cdot I_C + V_{LED} + V_{CE}$ donc

$R_C = (V_{CC} - V_{LED} - V_{CE}) / I_C = (5 - 2 - 0) / (0.01) = 3 / 0.01 = 300 \Omega \Rightarrow \underline{R_C = 300 \Omega}$

2- R_B , Tr saturé:

Tr saturé et $I_C = 10$ mA $\Rightarrow I_B = I_C / \beta = (0.01 \text{ A}) / 200 = 5 \times 10^{-5} = 50 \mu\text{A}$

$e = R_B \cdot I_B + V_{BE} \Rightarrow R_B = (e - V_{BE}) / I_B = (5 - 0.7) / (5 \times 10^{-5}) = (4.3/5) \times 10^5 \Rightarrow \underline{R_B = 86 \text{ K}\Omega}$

3- L'état de la diode LED

La diode LED est allumée Parce que son courant $I_C = 10$ mA

Et sa tension $V_{LED} = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 5 - 300 \times 0.01 = 5 - 3 = 2$ V.

-----0-----

Exercice 9 Commande d'une LED avec un transistor bipolaire en commutation:

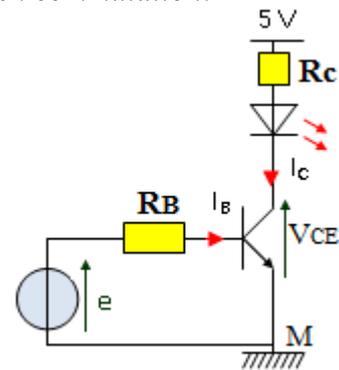
Les caractéristiques du transistor bipolaire utilisé sont les suivantes : $(V_{BE})_{SAT} = 0.7$ V, $(V_{CE})_{SAT} \approx 0$; $70 < \beta < 300$

On suppose $I_C \approx 0$ lorsque le transistor est bloqué.

La LED présente une tension V_F de l'ordre de 1,8 V. La tension de commande «e» est une tension carrée 0V/5V.

1- En déduire la valeur que doit présenter R_C pour que le courant dans la LED soit de l'ordre de 10 mA lorsque le transistor est saturé.

2- Déterminer la valeur limite de R_B qui permet de saturer le transistor de manière certaine, avec un coefficient de



sursaturation supérieur ou égal à 2. (Le coefficient «2» assure une marge de sécurité garantissant la saturation). Cette valeur de R_B est-elle un maximum ou un minimum.

Corrigé

Lorsque le transistor est saturé : $e = 5$ V,

$(V_{BE})_{SAT} = 0.7$ V et $(V_{CE})_{SAT} \approx 0$ et $V_F = 1.8$ V, donc

$V_{CC} = R_C \cdot I_C + V_F + V_{CE} \Rightarrow R_C \cdot I_C = V_{CC} - V_F - V_{CE}$

$V_{RC} = R_C \cdot I_C = 5 - 1.8 - 0 = 3.2$ V avec $I_C = 10$ mA; On en déduit que $R_C = 3.2 / 0.01 = 320 \Omega \Rightarrow \underline{R_C = 320 \Omega}$

Pour que le transistor soit saturé, il faut $I_B > I_C / \beta$ Pour que la relation soit toujours vérifiée, quelque soit $70 < \beta < 300$, il faut considérer le cas le plus défavorable:

Il faut prendre $I_B > I_C / \beta_{min}$. Avec $I_{CSat} = 10$ mA

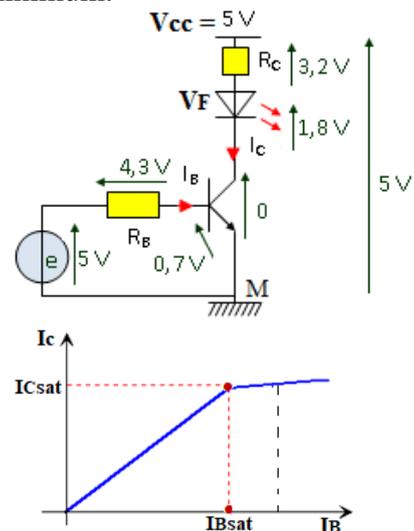
On propose de prendre un coefficient de sursaturation de 2 :

$I_B > 2(I_{CSat} / \beta_{min}) \Rightarrow I_B > 2 \cdot (0.01 / 70) \Rightarrow I_B > 286 \mu\text{A}$.

et $V_{RB} = R_B \cdot I_B = (e - V_{BE}) = 4.3$ V $\Rightarrow \underline{R_B = 4.3 / I_B}$;

de la condition $I_B > 286 \mu\text{A}$

On peut écrire $R_B < (4.3 / 286) \cdot 10^6 \Rightarrow R_B < 15 \text{ K}\Omega$.



-----0-----

Exercice 10 On considère le circuit suivant :

Tr est un transistor bipolaire, $D1$ et $D2$ deux diodes ordinaires de tension de seuil (0.6 V); $LD1$ et $LD2$ deux LEDs (Verte et Rouge) de tension de seuil (1.8 V) et leurs tensions de conduction est de 2 V. La tension de commande e est une tension carrée 0 V / 5 V.

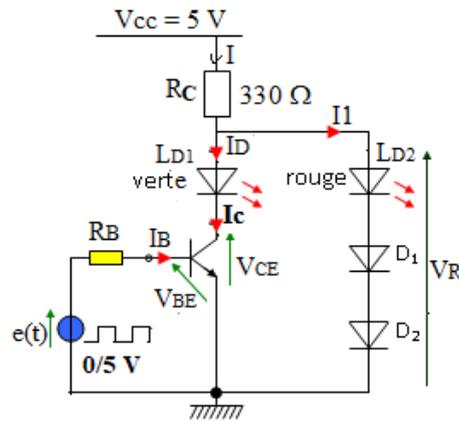
- Etude des états de conduction des deux LEDs (Verte et Rouge) dans les deux cas suivants :

1) $e = 0$ V (Tr bloqué) :

Quelle est la condition sur *le courant I* pour que la LED rouge soit allumée et la LED verte soit éteinte.

2) $e = 5$ V (Tr saturé) :

Quel est l'état de condition des LEDs rouge et verte.



Corrigé :

1) $e = 0$ V (Tr bloqué) : $I_B = 0 \Rightarrow I_C = I_D = 0$ A et $I = I_1$.

La tension de seuil de l'ensemble (LED rouge + D1 + D2) est de $(1.8$ V + 0.6 V + 0.6 V) = 3 V. L'ensemble ne peut pas conduire si sa tension $V_R \leq 3$ V. (dans ce cas $I = I_1 = 0$ et par suite la LED rouge est éteinte)

Et si $V_R > 3$ V, $I = I_1 \neq 0$ avec $V_{CC} = R_C \cdot I + V_R \Rightarrow V_R = V_{CC} - R_C \cdot I$

Donc pour que la diode rouge s'allume il faut que $V_R > 3$ V $\Rightarrow V_{CC} - R_C \cdot I > 3$ V

$R_C \cdot I < 5 - 3 \Rightarrow R_C \cdot I < 2$ V $\Rightarrow I < 2/330 \Rightarrow$ **$I < 6$ mA.** Ceci est la condition de conduction de la LED rouge (allumée). La LED verte est éteinte parce que $I_D = I_C = 0$ A. Donc pour $e = 0$ V : la LED rouge allumée et la LED verte est éteinte si **$I < 6$ mA.**

2) $e = 5$ V (Tr saturé) :

Tr saturé et $V_{LD1} = 2$ V (supposée allumée) et $V_R = V_{LD1} + V_{CE} = V_{LD1} + 0$.

$V_R = V_{LD1} = 2$ V < 3 V. \Rightarrow la LED rouge est éteinte ($I_1 = 0$ A).

Diode verte allumée $\Rightarrow V_{CC} = R_C \cdot I + V_{LD1} + V_{CE} \Rightarrow R_C \cdot I = V_{CC} - V_{LD1} - V_{CE}$

$R_C \cdot I = 5$ V - 2 V - 0 V = 3 V $\Rightarrow I = (3$ V) / $(330$ $\Omega) = 9$ mA cette valeur est > 6 mA

Donc la LED rouge est éteinte ($I_1 = 0$ A) et la LED verte est allumée.

Exercice 11

1. On monte un transistor JFET dans un circuit à polarisation automatique avec une tension d'alimentation $V_{CC} = 30$ V.

On désire que le point de polarisation corresponde à

$V_{GS} = -4$ V et $V_{DS} = 15$ V.

I_{DS} (mA) = $30(1 + V_{GS}/10)^2$

Calculer les valeurs qu'il convient de donner aux résistances R_S et R_D .

-----0-----

2. Expliquer pourquoi les régions de grilles sont très fortement dopées.

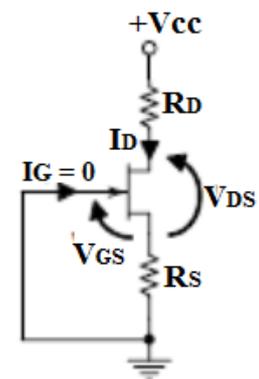
3. A partir de quelle différence de potentiel entre le canal et la grille obtient-on le pincement du canal ?

4. Comment doit-on choisir V_{DS} pour que le transistor soit utilisé en résistance variable (Région ohmique)

5. Comment doit-on choisir V_{DS} pour que le transistor soit utilisé en saturation

6. Un JFET est caractérisé dans la région de saturation par l'expression suivante du courant de drain de saturation : **I_{DS} (mA) = $30(1 + V_{GS}/10)^2$** avec V_{GS} (en volts) < 0 .

Donner les valeurs numériques de I_{DSS} et V_P pour ce transistor.



Corrigé

1. On monte un transistor JFET dans un circuit à polarisation automatique avec une tension d'alimentation $V_{CC} = 30$ V. On désire que le point de polarisation corresponde à

$V_{GS} = -4 \text{ V}$ et $V_{DS} = 15 \text{ V}$. $I_{DS} \text{ (mA)} = 30(1 + V_{GS}/10)^2$
Calculer les valeurs qu'il convient de donner aux résistances R_S et R_D .

$$V_{CC} = (R_D + R_S) \cdot I_D + V_{DS} \Rightarrow 30 = (R_D + R_S)I_D + 15 \Rightarrow$$

$$(R_D + R_S)I_D = 15 \quad (1)$$

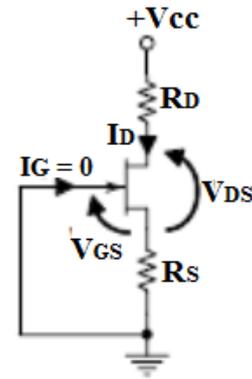
$$V_{GS} = -R_S \cdot I_D = -4 \text{ V} \Rightarrow R_S \cdot I_D = 4 \quad (2)$$

$$\text{De l'équation } I_D \text{ (mA)} = 30(1 + V_{GS}/10)^2 = 30(1 - 4/10)^2$$

$$\Rightarrow I_D = 10.8 \text{ mA}$$

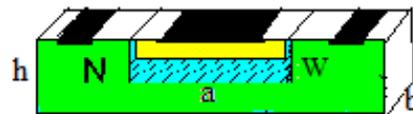
$$\text{De l'équation (2)} \quad R_S = 4/I_D \Rightarrow R_S = 370 \Omega$$

$$\text{De l'équation (1)} \Rightarrow R_D = 15/I_D - R_S = 1.39 \text{ K} - 370 \Omega = \mathbf{1,02 \text{ k}\Omega}$$



2. Expliquer pourquoi les régions de grilles dans un JFET sont très fortement dopées.

Pour que la zone de désertion s'étende dans le canal.



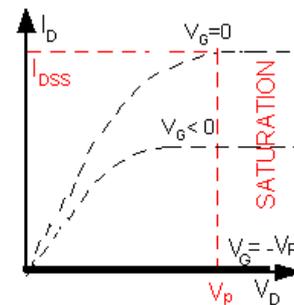
3. A partir de quelle différence de potentiel entre le canal et la grille obtient-on le pincement du canal ? $V_{GS} = -V_P < 0$

4. Comment doit-on choisir V_{DS} pour que le transistor soit utilisé en résistance variable

V_{DS} doit être faible de manière à travailler dans la région linéaire des caractéristiques $I_{DS}(V_{DS})$. $V_{DS} < V_P$ avec $V_P > 0$.

5. Comment doit-on choisir V_{DS} pour que le transistor soit utilisé en saturation

V_{DS} doit être plus grande que V_P de manière à travailler dans la région de saturation des caractéristiques $I_{DS}(V_{DS})$. $V_{DS} > V_P$, $V_P > 0$ ($V_{GS} < 0$ avec $|V_{GS}| < V_P$).



6. Un JFET est caractérisé dans la région de saturation par l'expression suivante du courant de drain de saturation : $I_{DS} \text{ (mA)} = 30(1 + V_{GS}/10)^2$ avec V_{GS} (en volts) < 0 .

Donner les valeurs numériques de I_{DSS} et V_P pour ce transistor.

$$I_D = I_{DSS} \cdot (1 - (V_{GS}/V_P))^2 \Rightarrow I_{DSS} = 30 \text{ mA}, V_P = -10 \text{ V} \text{ et } V_{GS} < 0.$$

Exercice -12

Soit le circuit suivant dans lequel

$$R_S = 300 \Omega$$

$$R_D = 2 \text{ K}\Omega$$

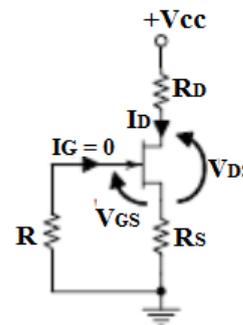
$$V_{CC} = 20 \text{ V}$$

Le transistor à effet de champ JFET possède les caractéristiques

$$I_{DSS} = 5 \text{ mA} \text{ et } V_P = -2.5 \text{ V}$$

$$V_P < V_{GS} < 0 \text{ (T saturé)}$$

Déterminez le point de fonctionnement (V_{DS} , I_{DS}) du transistor



Corrigé

1. Déterminez le point de fonctionnement (V_{DS} , I_{DS}) du transistor

Du circuit on peut écrire : $I_{DS} = I_D = I_S$, avec $I_G = 0$

$$I_D = I_{DSS} \cdot (1 - (V_{GS}/V_P))^2 \quad (1)$$

$$V_{CC} = (R_D + R_S) \cdot I_D + V_{DS} \quad (2)$$

$$V_{GS} = -R_S \cdot I_D \quad (3) \quad \text{3 équations à 3 inconnues } (I_D, V_{DS}, V_{GS})$$

Exercice 14

Soit le circuit suivant :

Caractéristiques du TR n-MOSFET : $V_{TH} = 1\text{ V}$, $\beta = 0.2\text{ mA/V}^2$

A) Pour $R = 10\text{ k}\Omega$, calculer la tension V_{out} pour les deux valeurs de la tension d'entrée

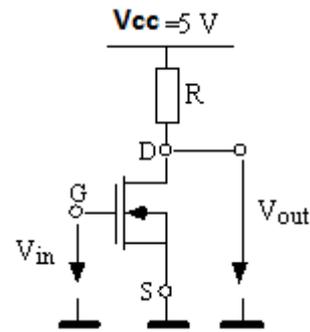
1) $V_{in} = 0\text{ V}$

2) $V_{in} = 5\text{ V}$, $I_{DS} = 2\text{ mA}$ et le transistor est en régime linéaire.

B) Pour $V_{in} = 5\text{ V}$, $I_{DS} = 2\text{ mA}$

Déterminer la valeur minimum de R pour que $V_{out} \leq 1\text{ V}$

On donne



$I_{DS} = \beta \cdot (V_{GS} - V_T - V_{DS}/2) V_{DS}$ en régime linéaire $I_{DS} = (\beta/2) \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2$ en régime saturé

1) V_{out} ?

A) 1) $V_{in} = 0\text{ V}$ avec $V_{TH} = 1\text{ V} \Rightarrow V_{in} = V_{GS} < V_{TH}$ ce qui donne T bloqué $\Rightarrow I_D = 0$
 $\Rightarrow v_{out} = V_{cc} = 5\text{ V}$.

2) $V_{in} = 5\text{ V}$, $I_{DS} = 2\text{ mA}$ et le Transistor est en régime linéaire V_{out} ?

régime linéaire $\Rightarrow I_{DS} = \beta \cdot [V_{GS} - V_{TH} - (1/2) \cdot V_{DS}] \cdot V_{DS}$. Si on pose $V_{DS} = X \Rightarrow$

$I_{DS} = \beta \cdot (V_{GS} - V_T) \cdot X - (\beta/2) \cdot X^2 \Rightarrow 10X^2 - 81X + 5 = 0 \Rightarrow X_1 = 8$ et $X_2 = 0.0625$

$\Rightarrow V_{DS} = 8\text{ V}$ et $V_{DS} = 0.0625\text{ V}$.

a) $V_{DS} = 8\text{ V}$: valeur rejetée parce que $V_{DS} = 8\text{ V} > V_{cc} = 5\text{ V}$

b) $V_{DS} = 0.0625\text{ V}$: valeur acceptée parce que $(V_{GS} - V_T) = 5 - 1 = 4\text{ V} \Rightarrow 0.0625\text{ V} < 4\text{ V}$
 $\Rightarrow V_{DS} < (V_{GS} - V_T)$ régime linéaire Donc $V_{DS} = V_{out} = 0.0625\text{ V}$

B) Valeur de R ? Pour $V_{in} = 5\text{ V}$, $I_{DS} = 2\text{ mA}$ et $V_{out} \leq 1\text{ V}$

$V_{DS} = V_{out} = V_{cc} - R \cdot I_{DS} \Rightarrow V_{DS} \leq 1\text{ V} \Rightarrow V_{cc} - R \cdot I_{DS} \leq 1\text{ V}, \Rightarrow R \geq (V_{cc} - 1)/I_{DS}$

$R \geq (5 - 1)/(2 \cdot 10^{-3}) \Rightarrow R \geq 2\text{ K}\Omega$.

Exercice 15

On considère le montage suivant :

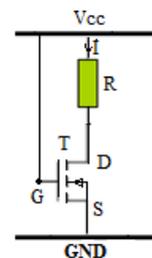
T est un transistor, E-MOSFET à canal N.

$V_{cc} = 5\text{ V}$, $V_{TH} = 2.5\text{ V}$, $\beta = 250\text{ }\mu\text{A/V}^2$ et $R = 2\text{ K}\Omega$

Quel est le mode de fonctionnement du transistor T ?

$I_{DS} = \beta \cdot (V_{GS} - V_T - V_{DS}/2) V_{DS}$ en régime linéaire

$I_{DS} = (\beta/2) \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2$ en régime saturé

**Solution****1- Mode de fonctionnement du transistor T**

$V_{GS} > V_{TH} \Rightarrow$ le transistor conduit. (Régime linéaire ou saturé)

A) On suppose que T est en état de saturation

$I_{DS} = (\beta/2) \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 = (1/2) \cdot (0.25 \cdot 10^{-3}) \cdot (5 - 2.5)^2 = 0.78125\text{ mA}$

$V_{CC} = R \cdot I_{DS} + V_{DS} \Rightarrow V_{DS} = V_{CC} - R \cdot I_{DS} \Rightarrow V_{DS} = 5 - 2 \cdot 10^3 \cdot 0.78125 \cdot 10^{-3} = 3.4375\text{ V}$.

$V_{GS} - V_{TH} = 5 - 2.5 = 2.5\text{ V} \Rightarrow V_{DS} > (V_{GS} - V_{TH}) \Rightarrow T$ est saturé \Rightarrow

$V_{DS} = 3.4375$ valeur acceptée. Et le transistor est saturé.

B) On suppose que T est en état de fonctionnement linéaire

$I_{DS} = \beta \cdot (V_{GS} - V_T - V_{DS}/2) V_{DS} \Rightarrow V_{CC} = R \cdot I_{DS} + V_{DS} \Rightarrow$

$V_{CC} = R \cdot \beta \cdot (V_{GS} - V_{TH} - (1/2) V_{DS}) V_{DS} + V_{DS} \Rightarrow a \cdot X^2 + b \cdot X + c = 0$, Avec

$X = V_{DS}$, $a = R \cdot \beta/2 = 0.25\text{ (V}^{-1}\text{)}$, $b = -[(1 + R \cdot \beta \cdot (V_{GS} - V_{TH}))] = -2.25$ et $c = V_{CC} = 5\text{ (V)}$

$0.25 \cdot X^2 - 2.25 \cdot X + 5 = 0 \Rightarrow X^2 - 9 \cdot X + 20 = 0 \Rightarrow (X - 5)(X - 4) = 0$

$\Rightarrow X = 5$ ou $X = 4 \Rightarrow V_{DS} = 5\text{ V}$ ou $V_{DS} = 4\text{ V}$.

a) $V_{DS} = 5\text{ V} \Rightarrow V_{CC} = R \cdot I_{DS} + V_{DS} \Rightarrow I_{DS} = 0$, TR bloqué \Rightarrow valeur *rejetée*.

b) $V_{DS} = 4\text{ V}$ avec $V_{GS} = 5\text{ V}$ et $V_{TH} = 2.5\text{ V} \Rightarrow V_{DS} > (V_{GS} - V_{TH})$

(Condition de saturation et non de linéarisation) $\Rightarrow V_{DS} = 4\text{ V}$ valeur *rejetée aussi*.

De A et B, le transistor T est en état de saturation.

EXERCICE 16

On considère le montage suivant :

T1 et T2 deux transistors identiques, E-MOSFET à canal N

$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $V_{TH} = 0.6 \text{ V}$, $\beta_1 = \beta_2 = \beta = 600 \mu\text{A/V}^2$

$R_1 = R_2 = 5 \text{ K}\Omega$ avec $V_{GS1} > V_{TH} > 0$

$I_{DS} = \beta \cdot (V_{GS} - V_T - V_{DS}/2) V_{DS}$ en régime linéaire

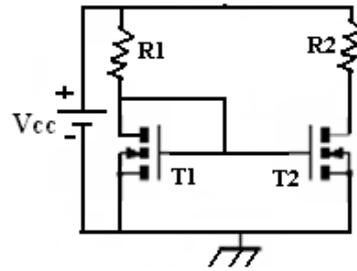
$I_{DS} = (\beta/2) \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2$ en régime saturé

1- Quel est le mode de fonctionnement du transistor T1

2- Calculer V_{DS1} du transistor T1

3- On suppose que $V_{DS1} = V_{DS2}$, calculer I_{DS2}

4- Quel est le mode de fonctionnement du transistor T2.



Solution de l'Exercice 2

1- Mode de fonctionnement du transistor T1

Des données $V_{GS1} > V_{TH} > 0$, donc T1 conduit.

De la figure $V_{GS1} = V_{DS1}$ ce qui donne ($V_{DS1} > V_{GS1} - V_{TH}$), le transistor T1 est donc en régime de saturation. $I_{DS} = (\beta/2) \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2$

2- Valeur de V_{DS1}

De la figure $V_{CC} = R_1 \cdot I_{DS1} + V_{DS1} = R_1 \cdot [(\beta/2)(V_{GS1} - V_{TH})^2] + V_{DS1}$, (avec $V_{GS1} = V_{DS1}$)

$\Rightarrow a \cdot X^2 + b \cdot X + c = 0$ avec $X = V_{DS1} = V_{GS1}$ $a = R_1 \cdot \beta/2 = 1.5 \text{ (V}^{-1}\text{)}$

$b = (1 - R_1 \cdot \beta \cdot V_{TH}) = -0.8$ $c = R_1 \cdot (\beta/2) \cdot (V_{TH})^2 - V_{CC} = -4.46 \text{ (V)}$

$\Rightarrow X^2 - 0.53X - 2.97 = 0$ $\Rightarrow X_1 = +2.01 \text{ V}$ et $X_2 = -1.4785 \text{ V}$

Pour $X_1 = V_{DS1} = +2.01 \text{ V}$ vérifie l'équation $V_{DS1} = V_{GS1} > V_{GS1} - V_{TH} \Rightarrow$ valeur *acceptée*.

Pour $X_2 = V_{DS1} = -1.4785 \text{ V}$ (tension négative). Du circuit $V_{CC} = V_{R1} + V_{DS} \Rightarrow$

$V_{R1} = V_{CC} - V_{DS} > V_{CC} \Rightarrow$ Valeur *rejetée*.

Donc $V_{DS1} = V_{GS1} = +2.01 \text{ V}$.

3- Valeur de I_{DS2} pour $V_{DS2} = V_{DS1}$

Du circuit $V_{CC} = R_2 \cdot I_{DS2} + V_{DS2} \Rightarrow I_{DS2} = (1/R_2) \cdot (V_{CC} - V_{DS2}) = 0.598 \text{ mA}$

Donc $I_{DS2} = 0.598 \text{ mA}$

4- Mode de fonctionnement de T2

$V_{DS2} = V_{DS1} = 2.01 \text{ V} \Rightarrow V_{GS2} = V_{GS1} = V_{DS1} = V_{DS2} = 2.01 \text{ V} \Rightarrow V_{DS2} > (V_{GS2} - V_{th})$

\Rightarrow donc le transistor T2 est en régime de saturation.

Exercice 17 On considère le montage suivant:

T1 et T2 deux transistors identiques, E-MOSFET à canal N

$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $V_{th} = 0.5 \text{ V}$, $\beta_1 = \beta_2 = \beta = 50 \mu\text{A/V}^2$, $V_{in1} = 2 \text{ V}$,

$V_{in2} = 4 \text{ V}$ et $V_R = 3 \text{ V}$ (chute de tension aux borne de R).

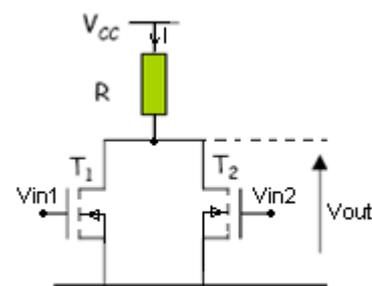
$I_{DS} = \beta \cdot (V_{GS} - V_T - V_{DS}/2) V_{DS}$ en régime linéaire.

$I_{DS} = (\beta/2) \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2$ en régime saturé.

1- Quel est le mode de fonctionnement de chaque transistor?..

2- Calculer le courant (I) passant dans R

3- Calculer la résistance R.



Solution

1) Mode de fonctionnement de chaque transistor

a) T1

$V_{GS1} = V_{in1} = 2 \text{ V}$; $V_{th} = 0.5 \text{ V}$ et $V_{DS1} = V_{CC} - V_R = 5 - 3 = 2 \text{ V}$

$V_{GS1} - V_{th} = 1.5 \text{ V}$ et $V_{DS1} = 2 \text{ V} \Rightarrow V_{DS1} > (V_{GS1} - V_{th}) \Rightarrow$ **T1 saturé**

$I_{DS1} = (\beta/2) \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2$.

b) T2

$V_{GS2} = V_{in2} = 4 \text{ V}$; $V_{th} = 0.5 \text{ V}$ et $V_{DS2} = V_{CC} - V_R = 5 - 3 = 2 \text{ V}$

$V_{GS2} - V_{th} = 3.5 \text{ V}$ et $V_{DS2} = 2 \text{ V} \Rightarrow V_{DS2} < (V_{GS2} - V_{th}) \Rightarrow$ **T2 en régime linéaire**

$I_{DS2} = \beta \cdot [V_{GS2} - V_{TH} - (1/2) \cdot V_{DS2}] \cdot V_{DS2}$

2) Calcul du courant (I) passant dans R

$$I = I_{DS1} + I_{DS2} = (\beta/2) \cdot (V_{GS1} - V_{TH})^2 + \beta \cdot [V_{GS2} - V_{TH} - (1/2) \cdot V_{DS2}] \cdot V_{DS2}$$

$$I = 25 \cdot 10^{-6} \cdot (1,5)^2 + 50 \cdot 10^{-6} \cdot (2,5) \cdot 2 = 0,3 \text{ mA} \Rightarrow I = 0,3 \text{ mA}$$

3) Calcul de la résistance R

$$V_R = V_{CC} - V_{DS2} = R \cdot I \Rightarrow R = (V_{CC} - V_{DS2}) / I \Rightarrow R = [3 / (3 \cdot 10^{-4})] = 10^4 \Rightarrow R = 10 \text{ K}\Omega .$$

Exercice 18

Soit le montage suivant en technologie CMOS

T1 transistor E-MOSFET type P

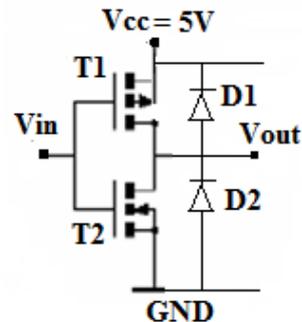
T2 transistor E-MOSFET type N

D1 et D2 deux diodes identiques.

1- Décrire le fonctionnement du circuit inverseur.

Calculer V_{out} pour $V_{in} = 0 \text{ V}$ et $V_{in} = 5 \text{ V}$

2- Quelle est la fonction principale des diodes de sortie D1 et D2



-----0-----

Solution

Les 2 transistors (canal P et canal N) sont à enrichissement, c'est à dire qu'ils sont bloqués pour une faible tension Gate-Source.

La source du transistor canal P est à +Vcc et la source du transistor canal N est au 0 Volt.

1 - Le fonctionnement du circuit inverseur**A) $V_{in} = 5V$**

T1: $V_{GS1} = 5-5 = 0 \text{ V}$ le transistor T1 à canal P a une tension $V_{GS} = 0 \text{ V}$ et il est bloqué.

T2: $V_{GS2} = 5-0 = 5 \text{ V}$ le transistor T2 canal N a une tension $V_{GS} = 5 \text{ V}$ et il est donc conducteur (saturé).

La sortie S est alors tirée vers le 0 Volt par le transistor canal N, donc $V_{out} = 0 \text{ V}$.

Donc $V_{in} = 5V \Rightarrow V_{out} = 0 \text{ V}$.

B) $V_{in} = 0V$

T1: $V_{GS1} = 0-5 = -5 \text{ V}$, le transistor à canal P a une tension $V_{GS} = -V_{cc} = -5 \text{ V}$ et il est conducteur saturé (entre son drain et sa source).

T2: $V_{GS2} = 0-0 = 0 \text{ V}$, le transistor à canal N a une tension $V_{GS} = 0 \text{ V}$, il est donc bloqué.

La sortie S est alors tirée vers le +Vcc par le transistor canal P

Donc $V_{in} = 0V \Rightarrow V_{out} = 5 \text{ V}$.

De A et B, Le circuit est un inverseur.

2- La fonction principale des diodes de sortie D1 et D2 ?

La fonction des diodes de sortie est de protéger les transistors contre les surtensions.

En effet : Si la tension U_{out} augmente au-dessus de $V_{cc} + 0,7V$, la diode du haut se met à conduire. De même si U_{out} diminue au-dessous de $-0,7V$, la diode du bas entre en conduction limitant ainsi la surtension.

Exercice 19 On considère le montage suivant: (**Détecteur de lumière**)

T1 est un phototransistor (bipolaire)

T2 est un E-MOSFET.

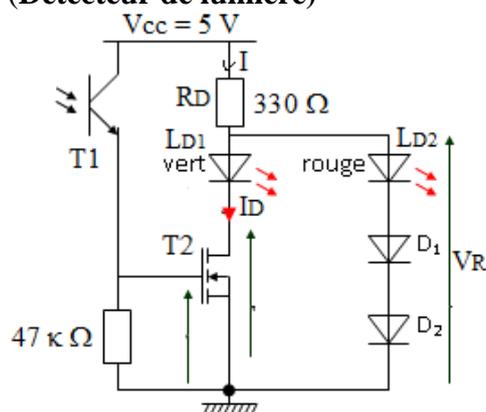
$$V_{th} = 0,5 \text{ V}, \quad \beta = 50 \mu\text{A/V}^2$$

D1 et D2 deux diodes ordinaires de tension de seuil (0,6 V); LD1 et LD2 deux LEDs (Verte et Rouge) de tension de seuil (1,8 V). et leurs tension de conduction est de 2 V.

Etudier les deux cas:

a) T1 bloqué (non éclairé), quelle est la condition sur le courant I pour que la LED rouge soit allumée.

b) T1 conduit (éclairé), saturé.



Quel est l'état de condition de la LED rouge.

Corrigé :

Détecteur de lumière

La tension de seuil de l'ensemble (LED rouge + D1 + D2) est de 3 V

L'ensemble ne peut pas conduire si $V_R \leq 3 \text{ V}$

a) T1 bloqué (non éclairé) :

$V_{GS} = 0 < V_{th} \Rightarrow T2$ est bloqué. $\Rightarrow I_D = 0 \Rightarrow V_{CC} = R_D \cdot I + V_R \Rightarrow$

Donc pour que la diode rouge s'allume il faut que $V_R > 3 \text{ V} \Rightarrow V_{CC} - R_D \cdot I > 3 \text{ V}$

$R_D \cdot I < 5 - 3 \Rightarrow R_D \cdot I < 2 \text{ V} \Rightarrow I < 2/330 \Rightarrow I < 6 \text{ mA}$.

Ceci est la condition de conduction de la LED rouge (allumée).

b) T1 saturé (éclairé),

T1 saturé $V_{DS} = 0$ et $V_{LD1} = 2 \text{ V} \Rightarrow V_R = V_{LD1} + V_{DS} = V_{LD1} = 2 \text{ V} < 3 \text{ V}$.

\Rightarrow la LED rouge est bloquée (éteinte).
