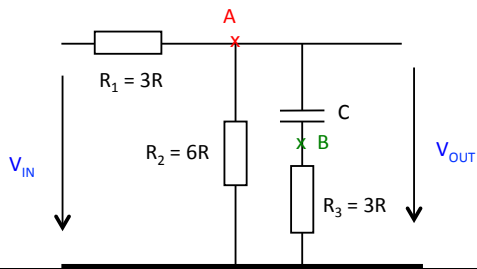


Éléments pour les exercices 1 et 2

Ce montage sera utilisé dans les exercices 1 et 2.
Toutes les résistances s'expriment en fonction de $R = 1\text{k}\Omega$. $C = 10\text{ nF}$



Exercice 1 – Bode :

- On s'intéresse à V_{OUT}/V_{IN} , avec V_{IN} sinusoïdale

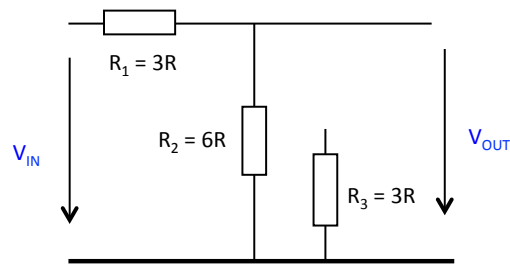
Exercice 2 – Saut indiciel :

- On s'intéresse aux tensions aux points A et B,
- V_{IN} est un signal carré avec $f = 1\text{kHz}$ et ses deux paliers possibles sont 0V et $V_{CC} = 5\text{V}$

Exercice 1 : Bode

1.1 Calculer V_{OUT}/V_{IN} quand $\omega \rightarrow 0$

Le comportement du condensateur est celui d'un circuit ouvert (équivalent à une impédance infinie car $Z_C = \frac{1}{j\omega C}$). Le circuit se réduit alors à une combinaison de résistances :

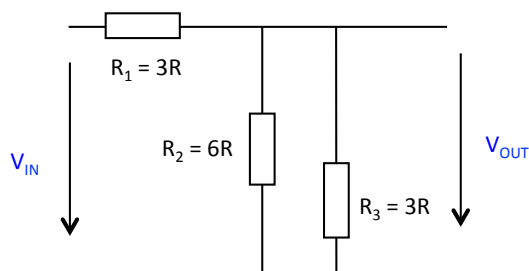


La résistance R_3 ne joue aucun rôle car aucun courant ne la traverse. V_{OUT}/V_{IN} peut alors s'exprimer sous la forme :

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6R}{6R + 3R} = \frac{2}{3}$$

1.2 Calculer V_{OUT}/V_{IN} quand $\omega \rightarrow \infty$

Le comportement du condensateur est celui d'un court-circuit (équivalent à une impédance nulle). Le circuit se réduit alors à une nouvelle combinaison de résistances :



La résistance R_3 est cette fois en parallèle avec R_2 . V_{OUT}/V_{IN} peut alors s'exprimer sous la forme :

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_2 // R_3}{R_1 + R_2 // R_3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2} = \frac{18}{45} = \frac{2}{5}$$

1.3 Donner les expressions des impédances Z_1 (vue entre V_{IN} et V_{OUT}) et Z_2 (vue par V_{OUT})

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = \left(\frac{1}{j\omega C} + R_3 \right) // R_2 = \frac{1 + j\omega R_3 C}{j\omega C} // R_2 = \frac{\frac{1 + j\omega R_3 C}{j\omega C} \cdot R_2}{\frac{1 + j\omega R_3 C}{j\omega C} + R_2} = R_2 \cdot \frac{1 + j\omega R_3 C}{1 + j\omega(R_2 + R_3)C}$$

1.4 Donner l'expression de la fonction de transfert $H(j\omega)$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = H(j\omega) = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{R_2 \cdot \frac{1 + j\omega R_3 C}{1 + j\omega(R_2 + R_3)C}}{R_2 \cdot \frac{1 + j\omega R_3 C}{1 + j\omega(R_2 + R_3)C} + R_1} = \frac{R_2 \cdot [1 + j\omega R_3 C]}{R_2 \cdot [1 + j\omega R_3 C] + R_1 \cdot [1 + j\omega(R_2 + R_3)C]}$$

$$H(j\omega) = \frac{R_2 \cdot [1 + j\omega R_3 C]}{(R_2 + R_1) \left[1 + j\omega \frac{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}{R_2 + R_1} C \right]} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \cdot \frac{[1 + j\omega R_3 C]}{\left[1 + j\omega \frac{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}{R_2 + R_1} C \right]}$$

Cette expression est de la forme :

$$H(j\omega) = K \cdot \frac{\left[1 + j\frac{\omega}{\omega_1} \right]}{\left[1 + j\frac{\omega}{\omega_2} \right]} \text{ avec } K = \frac{R_2}{R_2 + R_1} = \frac{2}{3},$$

$$\omega_1 = \frac{1}{R_3 C} = \frac{10^5}{3} \text{ rad/s et } \omega_2 = \frac{R_2 + R_1}{(R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2) C} = \frac{10^5}{5} \text{ rad/s}$$

1.5 Donner l'expression du module $|H(j\omega)|$

$$|H(j\omega)| = |K| \cdot \frac{\left| 1 + j\frac{\omega}{\omega_1} \right|}{\left| 1 + j\frac{\omega}{\omega_2} \right|} = K \cdot \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_1} \right)^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_2} \right)^2}} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \cdot \frac{\sqrt{1 + (\omega R_3 C)^2}}{\sqrt{1 + \left(\omega \frac{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}{R_2 + R_1} C \right)^2}}$$

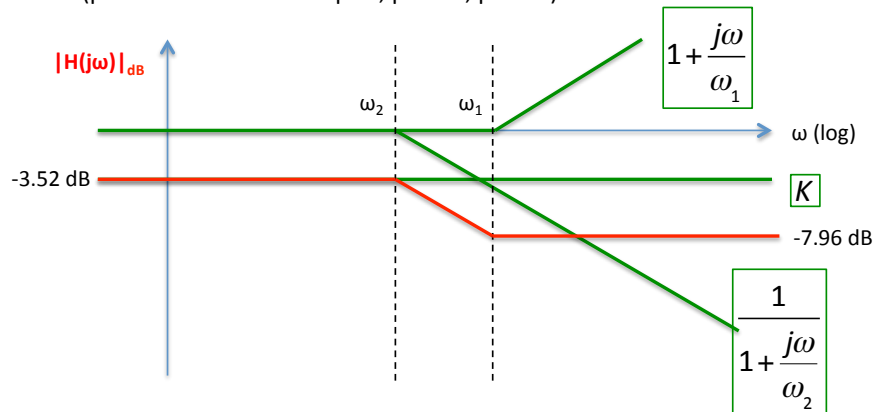
1.6 Analyse des limites du module lorsque $\omega \rightarrow 0$

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} |H(j\omega)| = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \cdot \frac{\sqrt{1 + (0 R_3 C)^2}}{\sqrt{1 + \left(0 \frac{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}{R_2 + R_1} C \right)^2}} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \text{ CQFD}$$

1.7 Analyse des limites du module lorsque $\omega \rightarrow \infty$

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} |H(j\omega)| = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \cdot \frac{\omega R_3 C}{\omega \frac{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}{R_2 + R_1} C} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2} \text{ CQFD}$$

1.8 Diagramme de Bode en module uniquement. L'allure est suffisante mais reporter les valeurs significatives (pulsations caractéristiques, pentes, paliers)

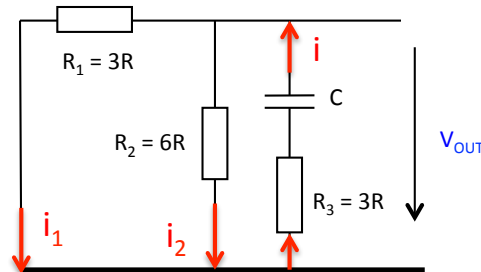


- palier haut lorsque $\omega \rightarrow 0$: $20 \log(2/3) = -3.52 \text{ dB}$
- palier bas lorsque $\omega \rightarrow \infty$: $20 \log(2/5) = -7.96 \text{ dB}$

Exercice 2 : Saut indiciel

 2.1 Calculer la valeur de τ

Le schéma équivalent du circuit permettant de déterminer τ est représenté ci-dessous. La source V_{IN} ne jouant aucun rôle est remplacée par un court circuit.



Le courant i qui décharge le condensateur se sépare en deux courants i_1 et i_2 qui circulent respectivement à travers R_1 et R_2 . Ces deux courants convergent en un même nœud pour reformer le courant i qui circule à travers R_3 .

On peut donc affirmer que C se décharge via la résistance équivalente $R_{EQ} = R_1 // R_2 + R_3$

$$R_{EQ} = 5R = 5k\Omega$$

$$\text{Et } \tau = R_{EQ} \cdot C = 5 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9} = 50 \mu s$$

 2.2 Les conditions sont-elles remplies pour que le condensateur se charge ou se décharge durant $T/2$:

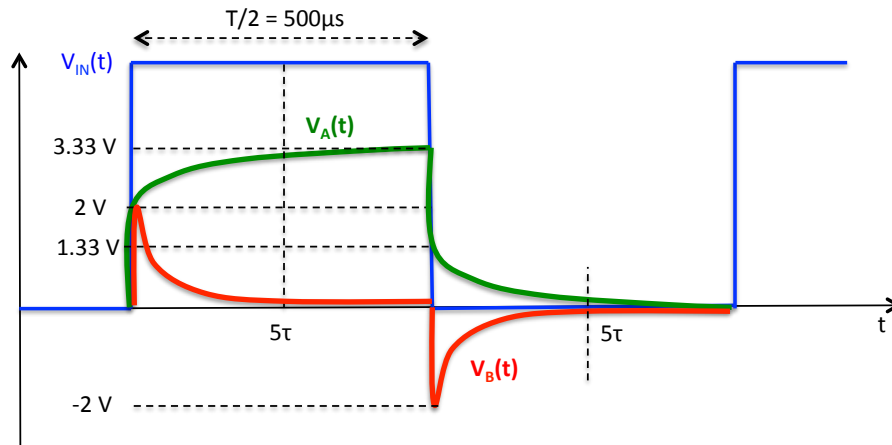
Pour que le condensateur soit considéré déchargé, on admet que la tension résiduelle ne doit pas dépasser 1% de la valeur de tension initiale. Cette situation est obtenue lorsque le temps à disposition pour la décharge est au moins égal à 5τ .

Dans l'exercice, $5\tau = 5 \cdot 50 \mu s = 250 \mu s$ or le temps à disposition $T/2 = 500 \mu s$. La condition est donc suffisante.

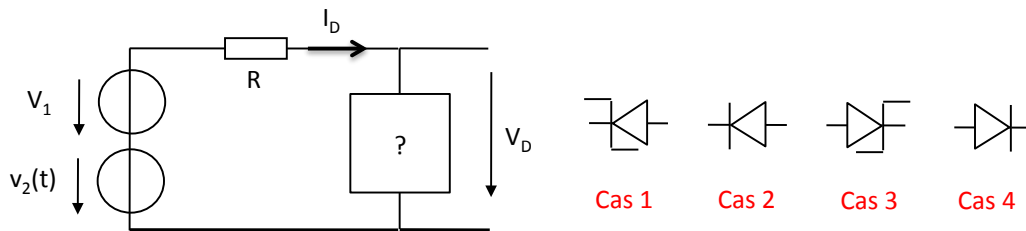
 2.3 Reporter les valeurs de V_A et V_B aux temps t_1 , t_2 , t_3 , et t_4 formant les quatre angles du signal carré lors d'un cycle

En t_1	Effet du saut pour V_A : $V_{A_{Saut}} = V_{CC} \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + R_1} = 2V$ situation avant le saut pour V_A : $V_{A_{avantSaut}} = 0V$ $V_A(t_1) = V_{A_{Saut}} + V_{A_{avantSaut}} = 2V$	Effet du saut pour V_B : $V_{B_{Saut}} = V_{CC} \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + R_1} = 2V$ situation avant le saut pour V_B : $V_{B_{avantSaut}} = 0V$ $V_B(t_1) = V_{B_{Saut}} + V_{B_{avantSaut}} = 2V$
En t_2	R_3 est en l'air et n'est pas reliée à A $V_A(t_2) = V_{CC} \frac{R_2}{R_2 + R_1} = \frac{2}{3} V_{CC} = 3.33V$	R_3 est en l'air donc pas de courant et pas de différence de potentiel à ses bornes $V_B(t_2) = 0V$
En t_3	Effet du saut pour V_A : $V_{A_{Saut}} = -V_{CC} \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + R_1} = -2V$ situation avant le saut pour V_A : $V_{A_{avantSaut}} = V_A(t_2) = 3.33V$ $V_A(t_3) = V_{A_{Saut}} + V_{A_{avantSaut}} = 1.33V$	Effet du saut pour V_B : $V_{B_{Saut}} = -V_{CC} \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + R_1} = -2V$ situation avant le saut pour V_B : $V_{B_{avantSaut}} = 0V$ $V_B(t_3) = V_{B_{Saut}} + V_{B_{avantSaut}} = -2V$
En t_4	R_3 est en l'air et n'est pas reliée à A $V_A(t_4) = 0 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_1} = 0V$	R_3 est en l'air donc pas de courant et pas de différence de potentiel à ses bornes $V_B(t_4) = 0V$

2.4 Dessiner sur un même graphe et le plus précisément possible les courbes $V_{IN}(t)$, $V_A(t)$ et $V_B(t)$



Exercice 3 (diodes): $U_j = 0.7V$ et $V_Z = 5V$ lorsqu'il s'agit d'une Zener (n et U_T inutiles ici). $R = 1k\Omega$



3.1 On fixe $V_1 = 3V$ et $v_2(t) = 0$. Pour les quatre cas, calculer les valeurs de V_D et de I_D
 Dans les quatre cas, V_1 est positive et le courant (s'il existe) ne peut circuler que de V_1 à la masse.

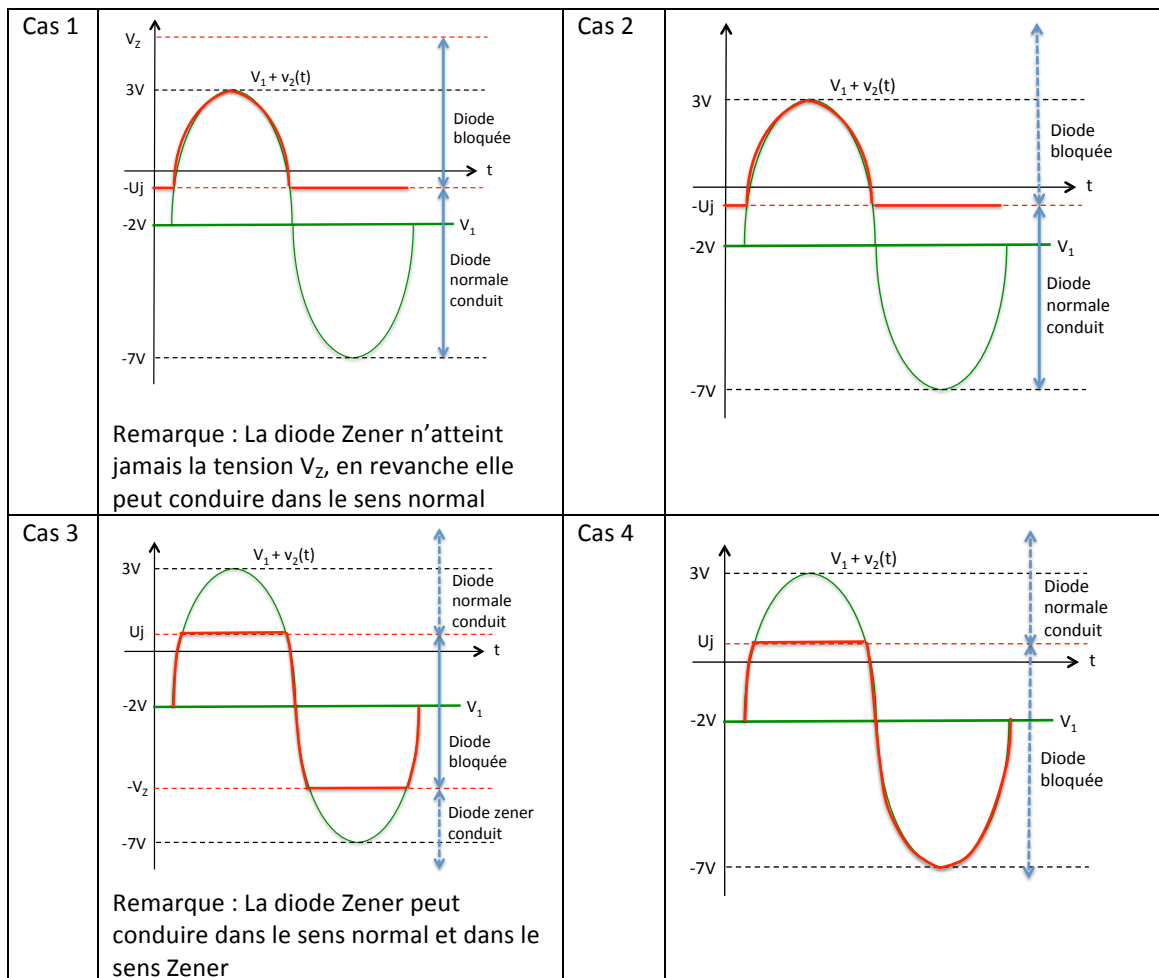
- Cas 1 : Le courant I_D , s'il existe, doit parcourir la diode Zener dans le sens Zener. Cependant, pour que la diode puisse conduire il faut que la tension $V_1 \geq V_Z$. Ce n'est pas le cas donc la diode est bloquée et aucun courant ne circule dans la boucle.
 Conséquence : $I_D = 0$ et $V_D = V_1 = 3V$
- Cas 2 : Le courant I_D , s'il existe, doit parcourir la diode normale dans le sens inverse, ce qui est impossible. Dans ce cas, la diode est bloquée et aucun courant ne circule dans la boucle. Conséquence : $I_D = 0$ et $V_D = V_1 = 3V$
- Cas 3 : Le courant I_D , s'il existe, doit parcourir la diode Zener dans le sens normal. pour que la diode puisse conduire il faut que la tension $V_1 \geq U_j$ ce qui est le cas.
 Conséquence : $V_D = U_j$ et $I_D = \frac{V_1 - V_D}{R} = 2.3mA$
- Cas 4 : Le courant I_D , s'il existe, doit parcourir la diode normale dans le sens normal. pour que la diode puisse conduire il faut que la tension $V_1 \geq U_j$ ce qui est le cas.
 Conséquence : $V_D = U_j$ et $I_D = \frac{V_1 - V_D}{R} = 2.3mA$

3.2 On fixe $V_1 = -5V$ et $v_2(t) = 0$. Pour les quatre cas, calculer les valeurs de V_D et de I_D
 Dans les quatre cas, V_1 est négative et le courant (s'il existe) ne peut circuler que de la masse à V_1 .

- Cas 1 : Le courant I_D , s'il existe, doit parcourir la diode Zener dans le sens normal. Pour que la diode puisse conduire il faut que la tension $0 - V_1 \geq U_j$. Ce qui est le cas.
 Conséquence : $V_D = -U_j$ et $I_D = \frac{V_1 - V_D}{R} = -4.3mA$

- Cas 2 : Le courant I_D , s'il existe, doit parcourir la diode normale dans le sens normal. Pour que la diode puisse conduire il faut que la tension $0 - V_1 \geq U_j$. Ce qui est le cas.
Conséquence : $V_D = -U_j$ et $I_D = \frac{V_1 - V_D}{R} = -4.3 \text{ mA}$
- Cas 3 : Le courant I_D , s'il existe, doit parcourir la diode Zener dans le sens Zener. Pour que la diode puisse conduire il faut que la tension $0 - V_1 \geq V_Z$ ce qui représente juste le cas limite.
Conséquence : $V_D = -V_Z$ et $I_D = \frac{V_1 - V_D}{R} = 0$
- Cas 4 : Le courant I_D , s'il existe, doit parcourir la diode normale dans le sens inverse, ce qui est impossible. Dans ce cas, la diode est bloquée et aucun courant ne circule dans la boucle. Conséquence : $I_D = 0$ et $V_D = V_1 = -5 \text{ V}$

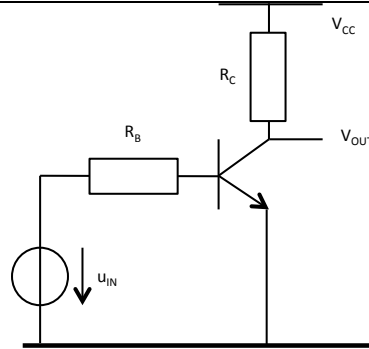
3.3 On fixe $V_1 = -2\text{V}$ et $v_2(t) = +5\sin(\omega t)$. Pour les quatre cas, dessiner l'allure de V_D



Exercice 4 (transistor):

On donne :

- $V_{CC} = 15 \text{ V}$, $R_B = 100 \text{ k}\Omega$, $R_C = 5 \text{ k}\Omega$,
- $U_j = 0.7 \text{ V}$, $\beta = 200$, $V_C = V_{OUT}$



4.1 A partir de quelle valeur de U_{IN} , le transistor commence à conduire (préciser dans quel mode)

Le transistor conduit dès que la diode Base-Emetteur (D_{BE}) atteint la tension U_j .

Pour cela il faut $U_{IN} > U_j$ et le mode de fonctionnement est dit **actif direct** ou normal.

4.2 Calculer I_B , I_C , V_B , V_C (dans l'ordre que vous estimez correct) lorsque $U_{IN} = 1 \text{ V}$

- Le paramètre le plus simple à obtenir est $V_E = 0 \text{ V}$ car l'émetteur est connecté à la masse.
- Puisque $U_{IN} > U_j$, on sait que la diode D_{BE} conduit et présente à ses bornes une tension $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ ou encore $V_{BE} = V_B - V_E$ soit $V_B = 0.7 \text{ V}$
- La tension V_B permet de calculer I_B : $I_B = \frac{U_{IN} - V_B}{R_B} = \frac{1 - 0.7}{10^5} = 3 \mu\text{A}$
- Avec I_B on calcule $I_C = \beta \cdot I_B = 600 \mu\text{A}$
- Avec I_C on a $V_C = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 12 \text{ V}$

4.3 Donner l'expression de $V_{OUT} = f(U_{IN})$ quand le transistor fonctionne en mode linéaire.

$$V_{OUT} = V_C = V_{CC} - R_C \cdot I_C = V_{CC} - R_C \cdot \beta \cdot I_B = V_{CC} - R_C \cdot \beta \cdot \frac{U_{IN} - V_B}{R_B} = -\frac{R_C \cdot \beta}{R_B} U_{IN} + V_{CC} + \frac{R_C \cdot \beta}{R_B} U_j$$

4.4 Calculer la valeur maximale du courant I_C et précisez le mode de fonctionnement du circuit.

Le courant I_C est maximal lorsque toute la tension V_{CC} est appliquée sur la résistance R_C . Dans ce cas la différence de potentiel entre V_C et V_E est nulle. Le transistor est alors **saturé**.

La valeur de ce courant est $I_{C_{MAX}} = \frac{V_{CC}}{R_C} = 3 \text{ mA}$

4.5 Calculer la valeur de U_{IN} permettant d'atteindre le mode de saturation du transistor

Plusieurs méthodes de calcul sont applicables.

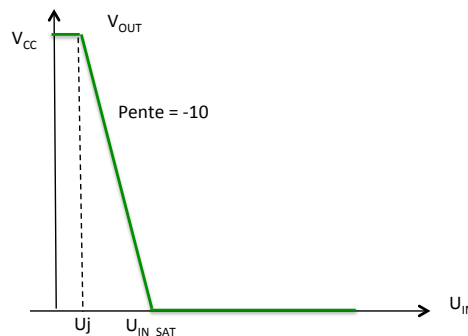
- Il est tout de suite possible de trouver U_{IN} en posant l'équation :

$$V_{OUT} = 0 = V_{CC} - R_C \cdot \beta \cdot \frac{U_{IN_SAT} - U_j}{R_B}$$

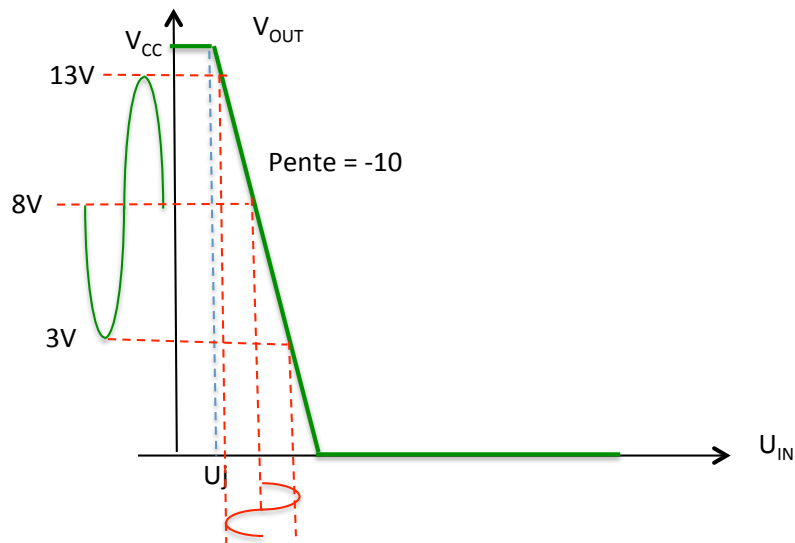
$$\text{ou encore } V_{CC} = R_C \cdot \beta \cdot \frac{U_{IN_SAT} - U_j}{R_B} \rightarrow U_{IN_SAT} = V_{CC} \frac{R_B}{\beta R_C} + U_j = 2.2 \text{ V}$$

- Géométriquement il est facile de déterminer U_{IN_SAT} . En effet la pente vaut $-\frac{R_C \cdot \beta}{R_B} = -10$
Avec cette pente, il faut un accroissement de ΔU_{IN} de $V_{CC}/10 = 1.5 \text{ V}$ pour parcourir les 15V et ceci depuis le démarrage dès que $U_{IN} = U_j = 0.7 \text{ V}$, soit $U_{IN_SAT} = \Delta U_{IN} + U_j = 1.5 + 0.7 = 2.2 \text{ V}$

4.6 Dessiner la courbe $V_{OUT} = f(U_{IN})$



4.7 Représenter graphiquement le cas où $U_{IN} = 1.4V + 0.5 \sin \omega t$



4.8 Commenter le résultat

La relation entre V_{OUT} et V_{IN} existe pour tous les points de V_{IN} . On a alors

$$V_{OUT} = V_{CC} - R_C \cdot \beta \cdot \frac{U_{IN} - U_J}{R_B}$$

L'interprétation peut se limiter aux trois points suivants :

- $U_{IN} = 1.4 - 0.5 = 0.9 \text{ V}$ (lorsque sin atteint le creux)
Dans ce cas $V_{OUT} = 15 - 10 \cdot (0.9 - 0.7) = 13V$
- $U_{IN} = 1.4 \text{ V}$ (lorsque sin = 0)
Dans ce cas $V_{OUT} = 15 - 10 \cdot (1.4 - 0.7) = 8V$
- $U_{IN} = 1.4 + 0.5 = 1.9V$ (lorsque sin atteint la crête)
Dans ce cas $V_{OUT} = 15 - 10 \cdot (1.9 - 0.7) = 3V$

Commentaires

- On remarque que U_{IN} est une tension continue à laquelle se superpose une variation sinusoïdale d'amplitude 0.5V
- V_{OUT} se présente aussi comme une tension continue (8V) à laquelle se superpose une tension sinusoïdale d'amplitude 5V.
- Ce circuit amplifie donc la variation sinusoïdale d'un facteur 10 (pente de la courbe).
- D'autre part on remarque un déphasage de 180° (π) entre les deux sinusoïdes. Le creux de U_{IN} correspond à la crête de V_{OUT} et réciproquement.