

Nom :	Prénom :	Groupe :
ECOLE POLYTECHNIQUE UNIVERSITAIRE DE NICE SOPHIA-ANTIPOLIS		
 Université Nice Sophia Antipolis	Cycle Initial Polytech Deuxième Année Année scolaire 2011/2012	Note / 20
École d'ingénieurs 	Epreuve d'électronique analogique 2	

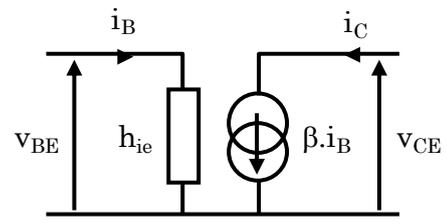
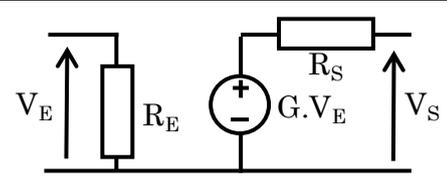
Mercredi 12 Octobre 2011

CORRECTION

Durée : 1h30

- ❑ Cours, documents et téléphone non autorisés.
- ❑ Calculatrice collègue autorisée
- ❑ Vous répondez directement sur cette feuille.
- ❑ Tout échange entre étudiants (gomme, stylo, réponses...) est interdit
- ❑ Vous êtes prié :
 - d'indiquer votre nom et votre prénom.
 - d'éteindre le téléphone portable dans votre sac (- 1 point par sonnerie).

RAPPELS :

Admittance	$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$	$\begin{cases} I_1 = Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2 \\ I_2 = Y_{21} \cdot V_1 + Y_{22} \cdot V_2 \end{cases}$	
Schéma électrique équivalent du transistor bipolaire NPN en régime de petit signal.			
Schéma électrique équivalent de l'inverseur.			
Impédance d'une capacité C : $1/(jC\omega)$ [Ω]	Impédance d'une self L : $jL\omega$ [Ω]		
Gain d'un filtre passe bas : $A_V = \frac{H}{1 + j \frac{\omega}{\omega_C}}$	Gain d'un filtre passe haut : $A_V = \frac{H}{1 - j \frac{\omega_C}{\omega}}$		
Préfixes	micro	μ	10^{-6}
	nano	n	10^{-9}
	pico	p	10^{-12}

EXERCICE I : détecteur de métal à inverseurs (? pts)

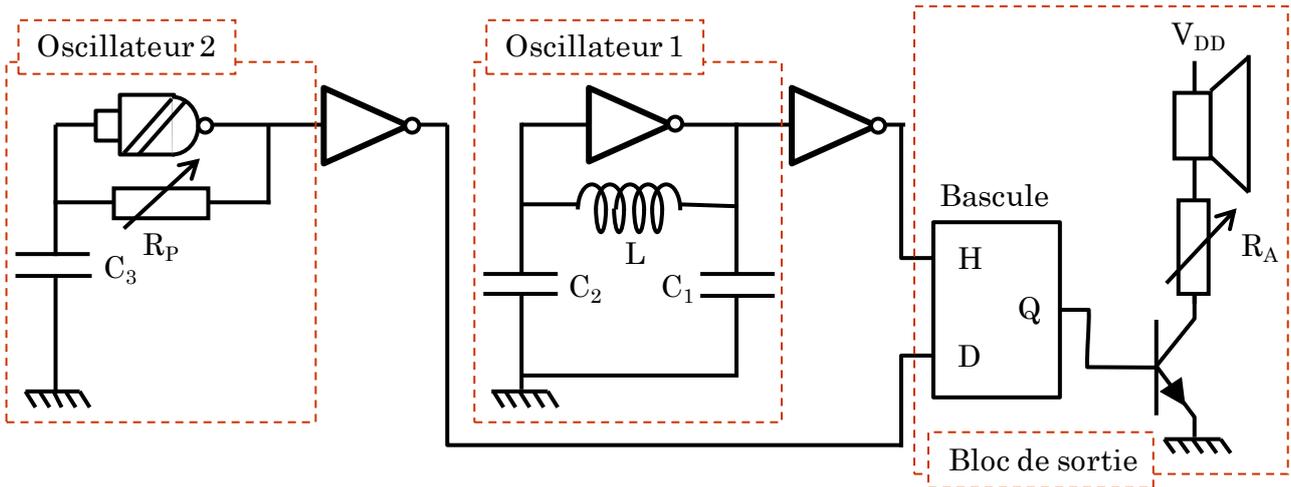


Figure I.1. Les données utiles pour effectuer les calculs sont : $V_{DD} = 9\text{ V}$, $C_1 = C_2 = 1\text{ nF}$, $L = 100\text{ nH}$. Pour l'inverseur : $R_E = 10^{13}\ \Omega$, $G = -5.10^5$, $R_S = 1\ \mu\Omega$. Les caractéristiques de la porte NAND trigger (oscillateur 2) ne seront pas utilisées.

On se propose d'étudier le schéma électrique du détecteur de métal de la figure (I.1) inspiré du Kit KE127 de Tandy Electronique.

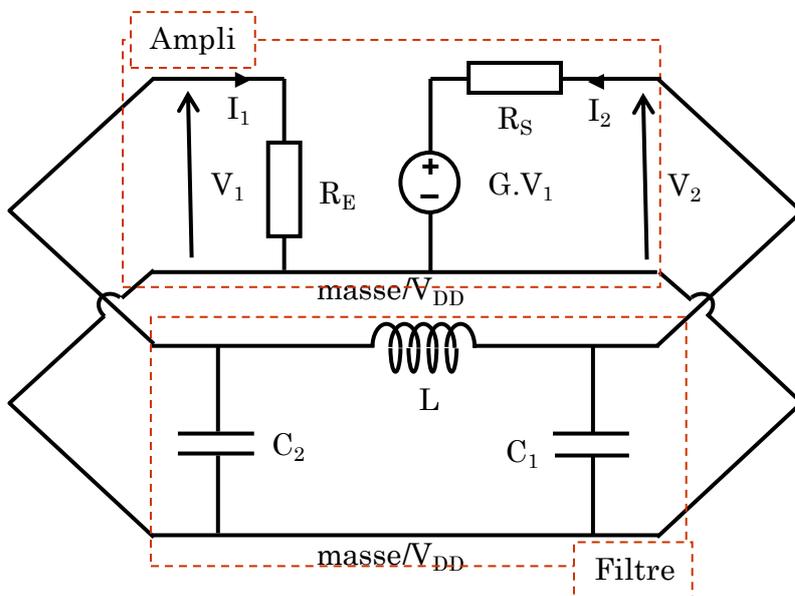
I.1. Analyse de l'oscillateur n°1

Le schéma équivalent de l'inverseur est donné en rappel. Pour ce montage, on le fait fonctionner dans sa partie Amplificateur.

I.1.1. D'après vous, cet oscillateur est de type :

- Hartley Colpitts Clapp Inconnu

I.1.2. Donner le schéma petit signal de l'oscillateur en représentation parallèle-parallèle.



I.1.3. Donner l'expression de la matrice A de l'amplificateur (inverseur).

$$\begin{cases} I_1 = \frac{1}{R_E} V_1 + 0 \cdot V_2 \\ I_2 = -\frac{G}{R_S} \cdot V_1 + \frac{1}{R_S} \cdot V_2 \end{cases} \text{ soit } [A] = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_E} & 0 \\ -\frac{G}{R_S} & \frac{1}{R_S} \end{bmatrix}$$

I.1.4. Donner l'expression de la matrice B du filtre.

$$[B] = \begin{bmatrix} jC_2\omega + \frac{1}{jL\omega} & -\frac{1}{jL\omega} \\ -\frac{1}{jL\omega} & jC_1\omega + \frac{1}{jL\omega} \end{bmatrix}$$

I.1.5. Donner l'expression du quadripôle.

$$[Q] = [A] + [B] = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_E} + jC_2\omega + \frac{1}{jL\omega} & -\frac{1}{jL\omega} \\ -\frac{G}{R_S} - \frac{1}{jL\omega} & \frac{1}{R_S} + jC_1\omega + \frac{1}{jL\omega} \end{bmatrix}$$

I.1.6. Donner l'expression du déterminant de l'oscillateur en distinguant les parties réelle et imaginaire.

$$\Delta Y = \left(\frac{1}{R_E} + jC_2\omega + \frac{1}{jL\omega} \right) \cdot \left(\frac{1}{R_S} + jC_1\omega + \frac{1}{jL\omega} \right) - \frac{1}{jL\omega} \cdot \left(\frac{G}{R_S} + \frac{1}{jL\omega} \right) = 0$$

$$\begin{aligned} \Delta Y = 0 &= \frac{1}{R_E R_S} - C_1 C_2 \omega^2 + \frac{1}{L^2 \omega^2} + \frac{C_2}{L} + \frac{C_1}{L} - \frac{1}{L^2 \omega^2} \\ &+ j \left(\frac{C_1 \omega}{R_E} - \frac{1}{L \omega R_E} + \frac{C_2 \omega}{R_S} - \frac{1}{L \omega R_S} + \frac{G}{L \omega R_S} \right) \end{aligned}$$

I.1.7. Donner l'expression de la fréquence F_0 d'oscillation.

$$\text{Re}(\Delta Y) = \frac{1}{R_E R_S} - C_1 C_2 \omega^2 + \frac{1}{L} (C_1 + C_2) = 0$$

Ce qui donne pour la pulsation :

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L} \frac{(C_1 + C_2)}{C_1 C_2} + \frac{1}{R_E R_S} \frac{1}{C_1 C_2}} \text{ soit } F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L} \frac{(C_1 + C_2)}{C_1 C_2} + \frac{1}{R_E R_S} \frac{1}{C_1 C_2}}$$

I.1.8. Donner la valeur de la fréquence d'oscillation.

$$F_0 = 22,5 \text{ MHz}$$

I.1.9. Donner l'expression de G.

$$G = -L \omega R_S \cdot \left[\frac{C_1 \omega}{R_E} - \frac{1}{L \omega R_E} + \frac{C_2 \omega}{R_S} - \frac{1}{L \omega R_S} \right]$$

I.1.10. Donner la valeur de G et dire si la condition sur le gain est bien respectée dans le montage.

$G = -1$ ce qui est bien inférieur (en valeur absolue) au gain de l'inverseur utilisé.

I.1.11. La valeur que vous avez trouvée pour G implique quoi sur la phase du filtre ?

La phase est de 180°

I.2. Analyse de l'oscillateur n°2

Cette oscillateur est un astable (comme l'oscillateur Abraham BLOCK) réaliser autour d'une porte NAND trigger et il a déjà été étudié en CIP mais avec un AOP. Le principe de fonctionnement est identique et basé sur le temps de charge et de décharge de la capacité C_3 .

I.2.1. Quel est l'intérêt de la présence de la résistance réglable R_P ?

Ajuster la fréquence de l'oscillateur

I.3. Analyse du bloc de sortie.

La bascule mémorise (sortie Q) l'information présente en D à chaque front montant (passage de 0 à V_{DD}) de l'horloge H. Les inverseurs en sortie de chaque oscillateur ne sont là que pour obtenir un signal parfaitement carré.

I.3.1. Sur la figure (I.2) les signaux H et D ont exactement la même fréquence. Représenter l'évolution temporelle de la sortie Q. **(0,25 pt)**

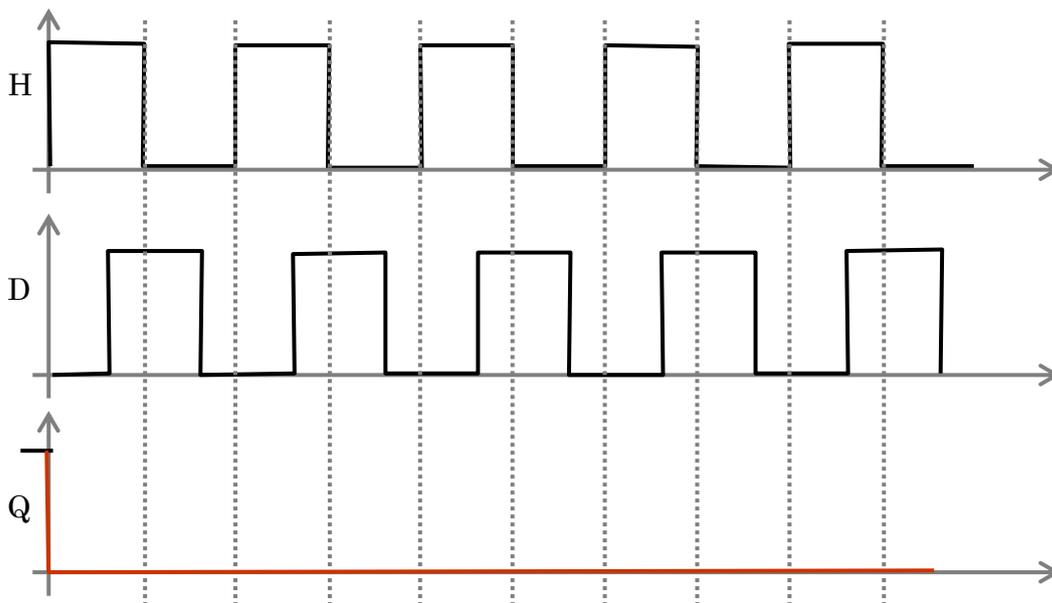


Figure I.2.

I.3.2. Dans ce cas, peut-on entendre un son sortir du haut parleur ?

Le signal Q ne varie pas donc la membrane du haut parleur ne peut pas varier donc il n'y a pas de son.

I.3.3. Sur la figure (I.3) la fréquence du signal H est plus petite que celle de D. Représenter l'évolution temporelle de la sortie Q. Il faudra noter que la diminution de la fréquence de H est exagérée par rapport à la réalité du circuit.

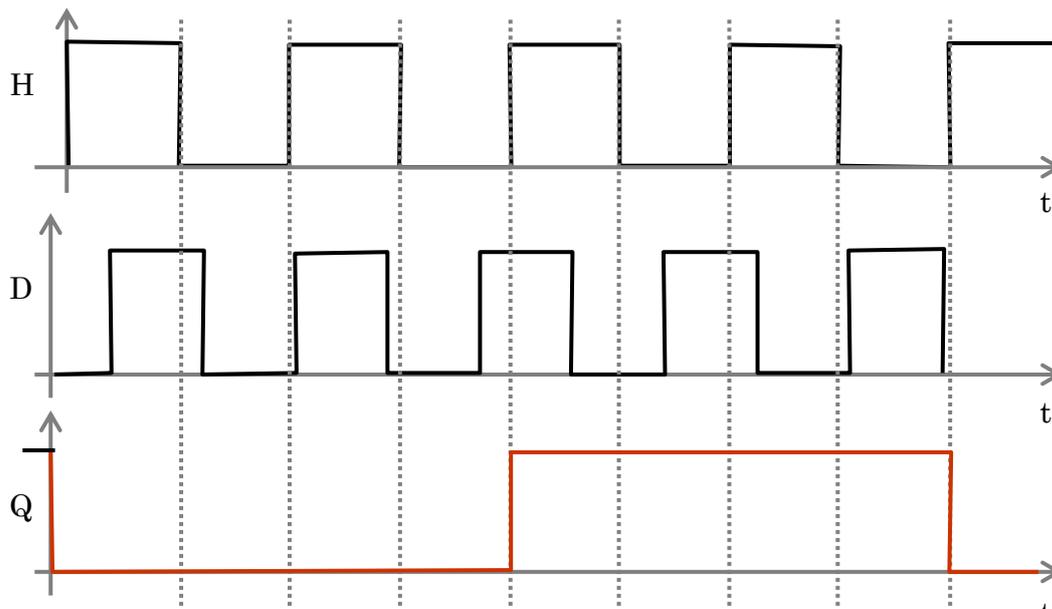


Figure I.3.

I.3.4. Dans ce cas, peut-on entendre un son sortir du haut parleur ?

Q varie et par conséquent la membrane du haut parleur oscille et on entend un son.

I.3.5. Plus l'objet est proche de la bobine plus le son est :

Grave

Aigu

I.4. Expliquer succinctement le fonctionnement de ce détecteur de métal

A l'allumage du détecteur on modifie la valeur de R_p pour ne rien entendre dans le haut parleur. Lorsqu'un objet métallique se trouve dans le champ de la bobine, sa valeur change ce qui modifie la valeur de la fréquence d'oscillation et implique l'apparition d'un signal Q alternatif qui fait osciller la membrane du haut parleur.

EXERCICE II : Emetteur FM (? pts)

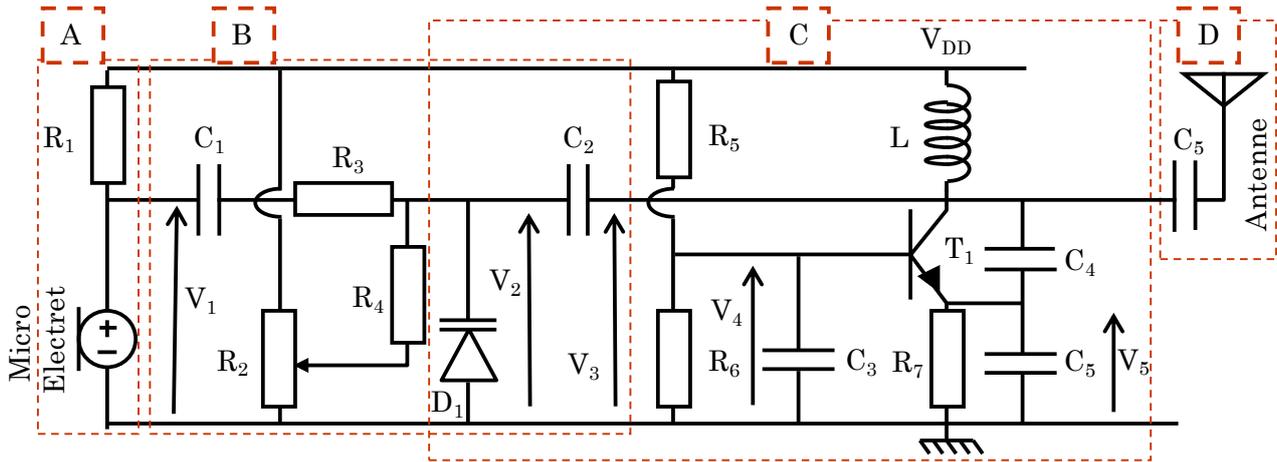


Figure II.1. Emetteur FM à diode varicap. $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 47 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 180 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_6 = 4,7 \text{ k}\Omega$, $R_7 = 68 \Omega$, $C_1 = 100 \text{ nF}$, $C_2 = 100 \text{ pF}$, $C_3 = 1 \text{ nF}$, $C_4 = 4,7 \text{ pF}$, $C_5 = 1 \text{ nF}$, $L = 150 \text{ nH}$, $V_{DD} = 9 \text{ V}$. Pour le transistor on a : $\beta = 100$, $V_{CEsat} = 0,2 \text{ V}$, $h_{ie} = 1 \text{ k}\Omega$, $V_S = 0,6 \text{ V}$ et $C_{BE} = 0$.

II.1. Rôle des éléments du montage.

II.1.1. Donner le rôle du bloc A

Transformer la voix en signal électrique

II.1.2. Donner le rôle du bloc B

Obtenir une capacité dont la valeur est fonction de la voix

II.1.3. Bloc C : identifier les composants qui forment l'amplificateur de l'oscillateur

R_5 , R_6 : polarisation de la base / R_7 : évite l'emballement thermique et évite d'avoir un émetteur commun (en plus de la base commune) / C_3 : permet d'avoir un montage base commune afin d'augmenter le gain / T_1 : qui est le composant qui permet d'amplifier

II.1.4. Bloc C : identifier les 4 composants, en plus de la diode varicap, qui forment le filtre de l'oscillateur

L , C_2 , la diode varicap, C_4 et C_5

II.1.5. Bloc C : identifier le type de contre.

- Collecteur vers Base X Collecteur vers Emetteur Emetteur vers Base

II.2. Etude de bloc B.

II.2.1. En régime statique la diode varicap est équivalente à une résistance $R_V = 200 \text{ M}\Omega$. Déterminer l'expression et la valeur du courant qui circule dans la varicap ainsi que la valeur de la tension V_2 à ses bornes si le curseur est au milieu de R_2 .

Dans ce cas on peut utiliser un générateur de Thévenin équivalent avec $E_{th} = V_{DD} / 2 = 4,5 \text{ V}$ et $R_{th} = R_2/2 = 23,5 \text{ k}\Omega$. On trouve alors le courant qui circule dans la diode :

$$I_D = E_{th} / (R_{th} + R_4 + R_V) = 22,5 \text{ nA} \quad \text{et donc } V_2 = 4,495 \text{ V} \approx E_{th}$$

Ce résultat était prévisible en raison de la valeur immense de la résistance de la diode.

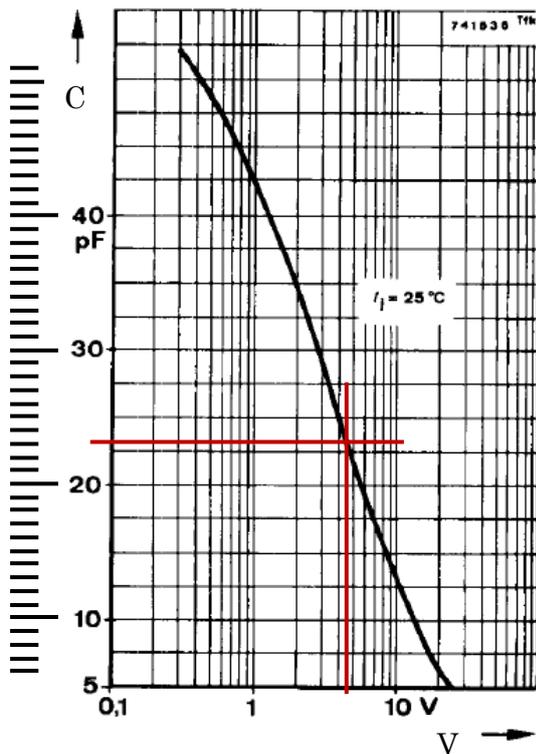


Figure (II.2). Valeur de la capacité de la diode varicap (BB109) en fonction de la tension inverse en échelle semi-logarithmique.

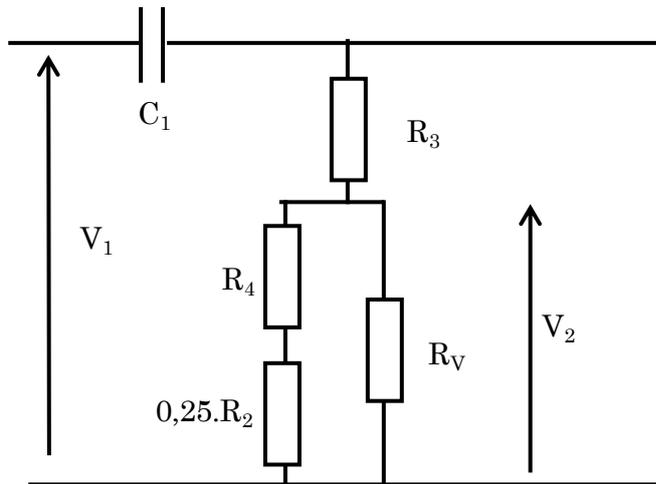
II.2.2. A partir de la caractéristique $C(V)$ de la diode donnée à la figure (II.2), donner la valeur de la capacité en statique C_{V0} . Vous reporterez les éléments de votre mesure sur la figure.

A partir de la figure (II.2) on trouve pour $V_2 = 4,5 \text{ V}$ une capacité d'environ $C_{V0} = 23 \text{ pF}$

II.2.3. Quel est le rôle de la capacité C_1 ?

Ne laisser passer que la voix et bloquer le continue en provenance du bloc A pour ne pas changer la polarisation de la diode

II.2.4. En ne considérant que les éléments R_2 , R_3 , R_4 , R_V et C_1 , déterminer l'expression de V_2/V_1 **en alternatif**. Donner la nature du filtre ainsi que l'expression et la valeur de la fréquence de coupure, F_{C1} . Le curseur est toujours au milieu de R_2 . Vous pourrez vous aider d'un dessin et simplifier vos calculs en remarquant la valeur très élevée de R_V (par rapport à R_4 et R_2).



$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R_V \parallel (R_4 + 0,25.R_2)}{R_3 + R_V \parallel (R_4 + 0,25.R_2)} \frac{1}{1 - j \frac{1}{\omega C_1 (R_3 + R_V \parallel (R_4 + 0,25.R_2))}}$$

$$\frac{V_2}{V_1} \approx \frac{R_4 + 0,25.R_2}{R_3 + (R_4 + 0,25.R_2)} \frac{1}{1 - j \frac{1}{\omega C_1 (R_3 + R_4 + 0,25.R_2)}}$$

Ce qui donne comme fréquence de coupure pour le filtre passe haut :

$$F_{C1} = \frac{1}{2\pi C_1 (R_3 + R_V \parallel (R_4 + 0,25.R_2))} = 5,46 \text{ Hz}$$

II.2.5. Quel est le rôle de la capacité C_2 ?

En statique, L est un court circuit et il ne faut pas que la tension sur le collecteur (V_{DD}) modifie la polarisation de la varicap.

II.3. Etude de bloc C en statique.

II.3.1. Déterminer la valeur du courant de base I_B

$$I_B = \frac{\frac{R_6}{R_5 + R_6} \cdot V_{DD} - V_S}{\frac{R_6 R_5}{R_5 + R_6} + h_{ie} + (1 + \beta) R_7} = 207 \mu A$$

II.3.2. Déterminer la valeur de I_C

$$I_C = 20,7 \text{ mA}$$

II.3.3. Déterminer la valeur V_{CE} et donne le régime de fonctionnement du transistor

$$V_{CE} = 7,59 \text{ V} > V_{CEsat} \text{ donc le Transistor est en régime linéaire}$$

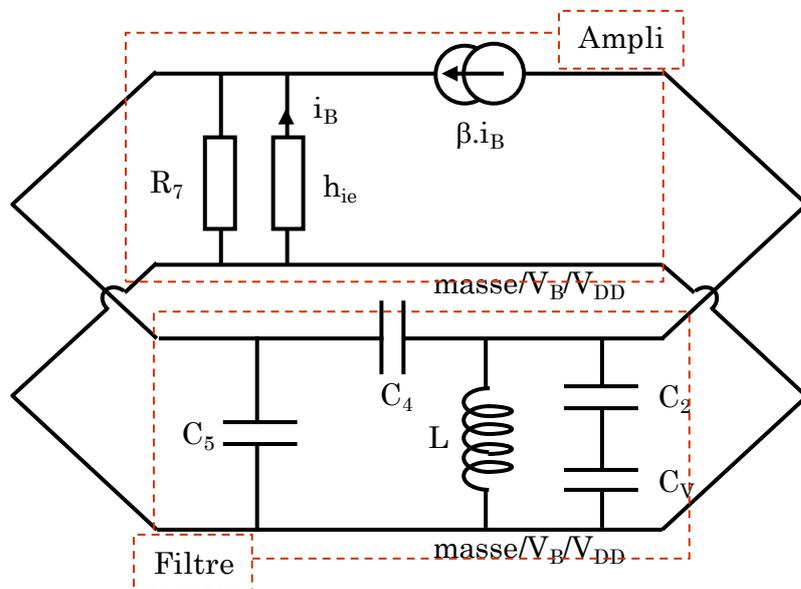
II.4. Etude de bloc C en dynamique.

Le schéma équivalent du transistor est donné en rappel où la résistance $1/h_{oe}$ est négligée. On considère que les éléments à gauche du bloc C n'influence pas le fonctionnement de l'oscillateur.

II.4.1. Quel est le rôle de la capacité C_3 ?

Court-circuiter la base du transistor en alternatif

II.4.2. Donner le schéma petit signal de l'oscillateur en représentation parallèle-parallèle. **On considèrera que la résistance de la diode varicap n'a pas d'influence et peut être supprimée.** Il ne faudra pas oublier C_2 en série avec la capacité de la varicap C_V .



II.4.3. Donner l'expression de la matrice A de l'amplificateur (inverseur).

$$[A] = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_7} + \frac{1+\beta}{h_{ie}} & 0 \\ -\frac{\beta}{h_{ie}} & 0 \end{bmatrix}$$

II.4.4. Donner l'expression de la matrice B du filtre. C_2 et C_V seront équivalentes à une capacité appelée C_{eq}

$$[B] = \begin{bmatrix} j(C_4 + C_5)\omega & -jC_4\omega \\ -jC_4\omega & \frac{1}{jL\omega} + jC_{eq}\omega + jC_4\omega \end{bmatrix}$$

II.4.5. Donner la matrice de l'oscillateur.

$$[Q] = [A] + [B] = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_7} + \frac{1+\beta}{h_{ie}} + j(C_4 + C_5)\omega & -jC_4\omega \\ -\frac{\beta}{h_{ie}} - jC_4\omega & \frac{1}{jL\omega} + jC_{eq}\omega + jC_4\omega \end{bmatrix}$$

II.4.6. Donner l'expression du déterminant de la matrice en séparant les parties réelles et imaginaire.

$$\Delta Y = \frac{C_4 + C_5}{L} - (C_4 + C_5)C_{eq}\omega^2 - (C_4 + C_5)C_4\omega^2 + C_4^2\omega^2 + j \left[\left(\frac{1}{R_7} + \frac{1+\beta}{h_{ie}} \right) \left(-\frac{1}{L\omega} + C_{eq}\omega + C_4\omega \right) - \frac{\beta}{h_{ie}} C_4\omega \right]$$

II.4.7. A partir du déterminant, donner l'expression de la fréquence d'oscillation, F_0 .

$$\text{Re}(\Delta Y) = \frac{C_4 + C_5}{L} - C_4 C_{eq} \omega^2 - C_5 C_{eq} \omega^2 - C_4 C_5 \omega^2$$

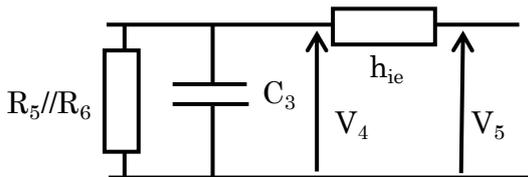
$$\text{Re}(\Delta Y) = \frac{C_4 + C_5}{L} - C_4 C_{eq} \omega^2 - C_5 C_{eq} \omega^2 - C_4 C_5 \omega^2$$

On trouve simplement
$$F_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left(\frac{C_4 C_5}{C_4 + C_5} + C_{eq} \right)}}$$

II.4.8. Donner la valeur de la fréquence d'oscillation quand personne ne parle.

Dans ce cas $C_{eq} = C_2 // C_{V0}$ et $F_0 = 93 \text{ MHz}$

II.4.9. Donner la valeur de la fréquence liée à la capacité C_3 , F_{C3} , et dire à quel type de filtre cela correspond. Pour cela, il faudra déterminer l'expression de V_4/V_5 en fonction de h_{ie} , R_5 , R_6 et C_3 . Vous pourrez vous aider d'un schéma.



$$\frac{V_4}{V_5} = \frac{1}{1 + j\omega C_3 \frac{h_{ie} \cdot R_5 // R_6}{h_{ie} + R_5 // R_6}}$$

Ce qui donne
$$F_{C3} = \frac{1}{2\pi C_3 \frac{h_{ie} \cdot R_5 // R_6}{h_{ie} + R_5 // R_6}} = 209 \text{ kHz}$$

II.4.10. Sur la figure (II.3) reporter la fréquence F_0 ainsi que l'allure des deux filtres liés aux fréquences F_{C1} et F_{C3} .

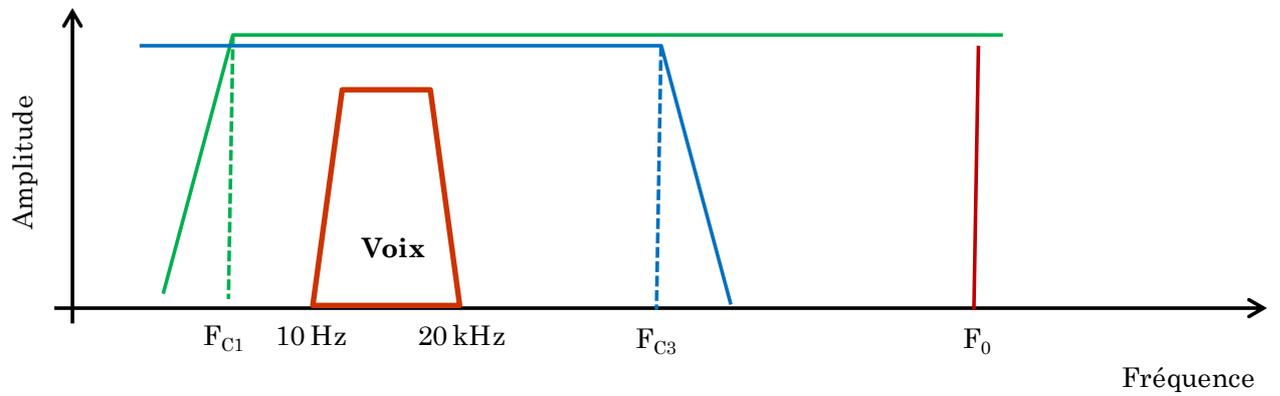


Figure (II.3).