

ÉLECTRONIQUE

DM n°3

Benjamin QU – SY1924124

Oscillateur à déphaseur RC

1 Étude théorique

Question 1

L'oscillateur à déphaseur RC est constitué d'un amplificateur inverseur et d'un circuit de réaction comportant 3 cellules RC. Notons la fonction de transfert de l'amplificateur inverseur : A , et la fonction de transfert du circuit de réaction : $\beta(j\omega)$.

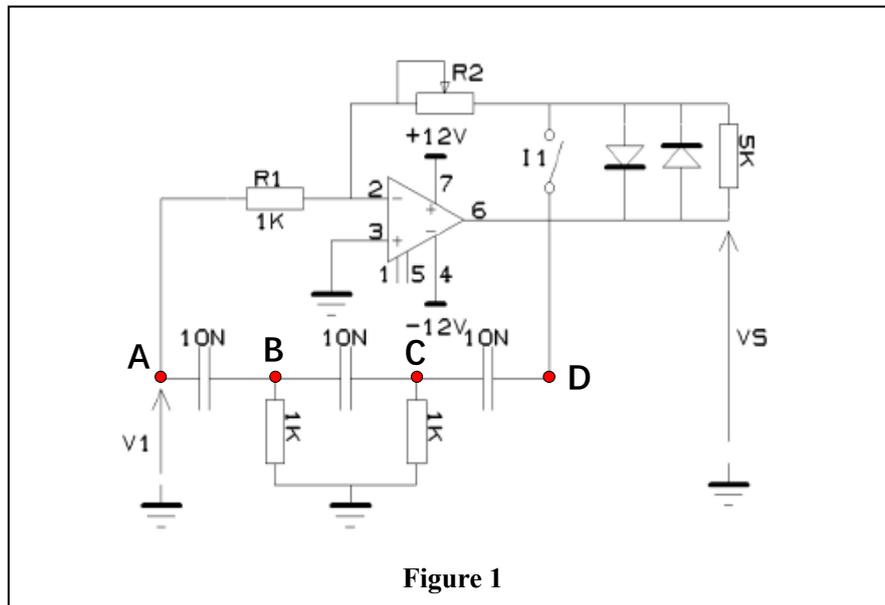


Figure 1

D'après le schéma dans la **Figure 1**, on a ainsi $A = -\frac{R_2}{R_1}$, il reste maintenant de déterminer $\beta(j\omega)$,

qui est V_A/V_D . Pour cela on fait l'analyse des trois cellules RC :

Appliquons la loi des nœuds sur le point B :

$$\begin{aligned}\frac{V_B}{R} &= (V_A - V_B)j\omega C + (V_C - V_B)j\omega C \\ \Rightarrow V_B(1 + 2j\omega CR) &= j\omega CR(V_A + V_C)\end{aligned}$$

La loi des nœuds sur le point C :

$$\begin{aligned}\frac{V_C}{R} &= (V_B - V_C)j\omega C + (V_D - V_C)j\omega C \\ \Rightarrow V_C(1 + 2j\omega CR) &= j\omega CR(V_B + V_D) \\ \Rightarrow V_C &= \frac{j\omega CR(V_B + V_D)}{1 + 2j\omega CR}\end{aligned}$$

Remplaçons V_C :

$$\begin{aligned}
 V_B(1 + 2j\omega CR) &= j\omega CR \left(V_A + \frac{j\omega CR(V_B + V_D)}{1 + 2j\omega CR} \right) \\
 \Rightarrow V_B &= \frac{j\omega CR}{1 + 2j\omega CR} V_A + \frac{(j\omega CR)^2(V_B + V_D)}{(1 + 2j\omega CR)^2} \\
 \Rightarrow V_B \left(1 - \frac{(j\omega CR)^2}{(1 + 2j\omega CR)^2} \right) &= \frac{j\omega CR(1 + 2j\omega CR)V_A + (j\omega CR)^2 V_D}{(1 + 2j\omega CR)^2} \\
 \Rightarrow V_B &= \frac{j\omega CR(1 + 2j\omega CR)V_A + (j\omega CR)^2 V_D}{1 + 3(j\omega CR)^2 + 4j\omega CR}
 \end{aligned}$$

Et on a pour la cellule entre point A et B (le théorème de Millman) :

$$V_B = V_A \frac{1 + j\omega CR}{j\omega CR}$$

D'où :

$$\begin{aligned}
 V_A \frac{1 + j\omega CR}{j\omega CR} &= \frac{j\omega CR(1 + 2j\omega CR)V_A + (j\omega CR)^2 V_D}{1 + 3(j\omega CR)^2 + 4j\omega CR} \\
 \Rightarrow V_A \left(\frac{1 + j\omega CR}{j\omega CR} - \frac{j\omega CR(1 + 2j\omega CR)}{1 + 3(j\omega CR)^2 + 4j\omega CR} \right) &= V_D \frac{(j\omega CR)^2}{1 + 3(j\omega CR)^2 + 4j\omega CR}
 \end{aligned}$$

Enfin on a :

$$\Rightarrow \frac{V_A}{V_D} = \beta(j\omega) = \frac{(j\omega CR)^3}{1 + 5j\omega CR + 6(j\omega CR)^2 + (j\omega CR)^3}$$

Donc :

$$\beta(j\omega) = \frac{1}{1 - \frac{5}{(\omega CR)^2} - j \left(\frac{6}{\omega CR} - \frac{1}{(\omega CR)^3} \right)}$$

On a donc retrouvé les relations données dans le cours.

2 Étude numérique

Question 2

On construit d'abord un déphaseur RC seul dans LTspice. Le modèle est présenté dans la **Figure 2.1** :

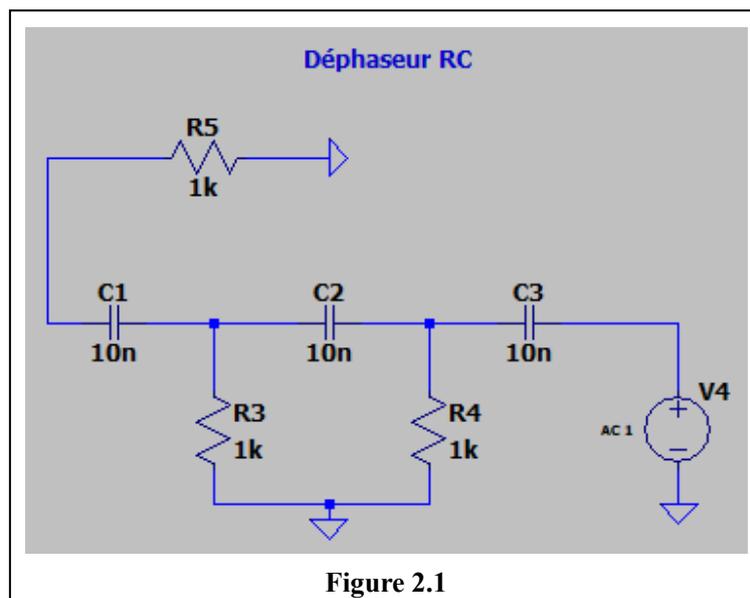


Figure 2.1

La réponse simulée est présentée dans la **Figure 2.2** :

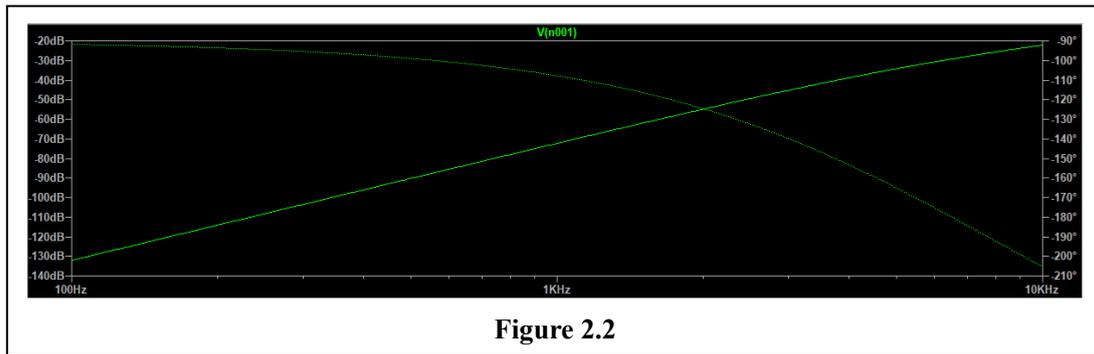


Figure 2.2

Question 3

La fréquence d'oscillation F_0 est obtenue quand $\varphi(\beta(j\omega)) = \pm\pi$. Dans la **Figure 3**, on voit que $F_0 \approx 6.5$ kHz. Le gain correspondant est -29.23 dB, ce qui implique $|\beta(j\omega_0)| \approx 0.035 \approx \frac{1}{29}$.

Donc $|A| = \frac{1}{|\beta(j\omega_0)|} = 29$.

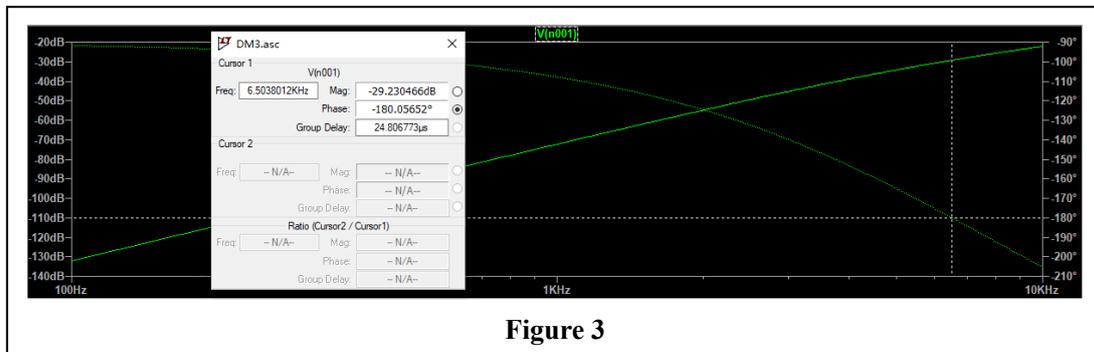


Figure 3

Question 4

La stabilité est définie par : $S(\omega_0) = \left| \frac{d\varphi(\beta(j\omega))}{d(\omega/\omega_0)} \right|_{\omega=\omega_0}$. Dans la **Figure 4**, on peut évaluer les valeurs

de $\varphi(f)$ quand $f \rightarrow F_0$: $S = \left| \frac{d\varphi(f)}{d(f/F_0)} \right|_{f=F_0} = \frac{(180.47-179.57)\pi}{(6.55-6.45) \times 180} \times F_0 \approx 1.02$. Cette valeur est proche de la valeur théorique donnée dans le cours (1.01).

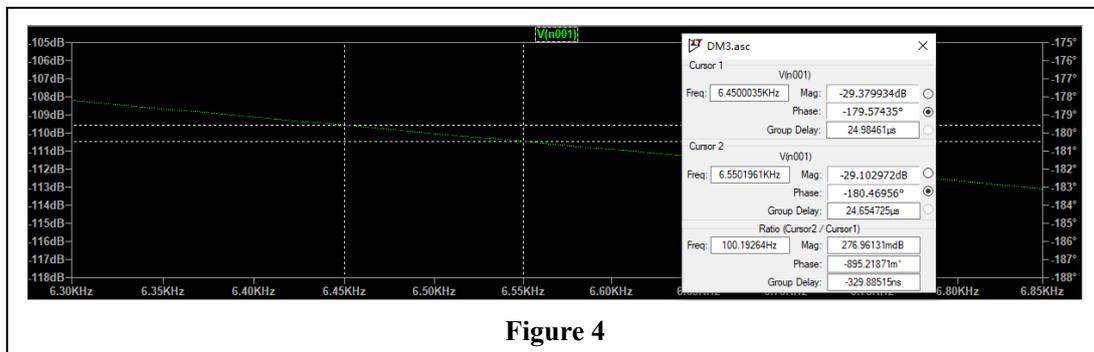
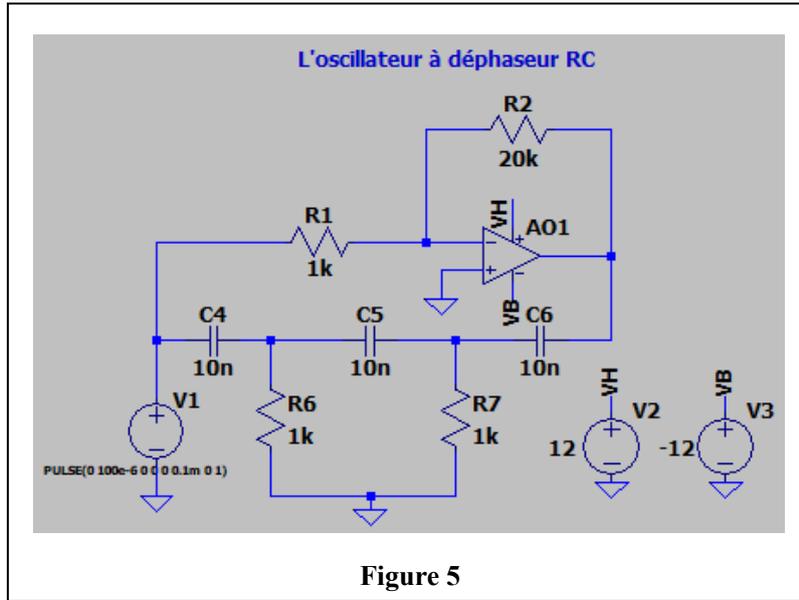


Figure 4

Question 5

Le schéma de l'oscillateur complet est présenté dans la **Figure 5**.

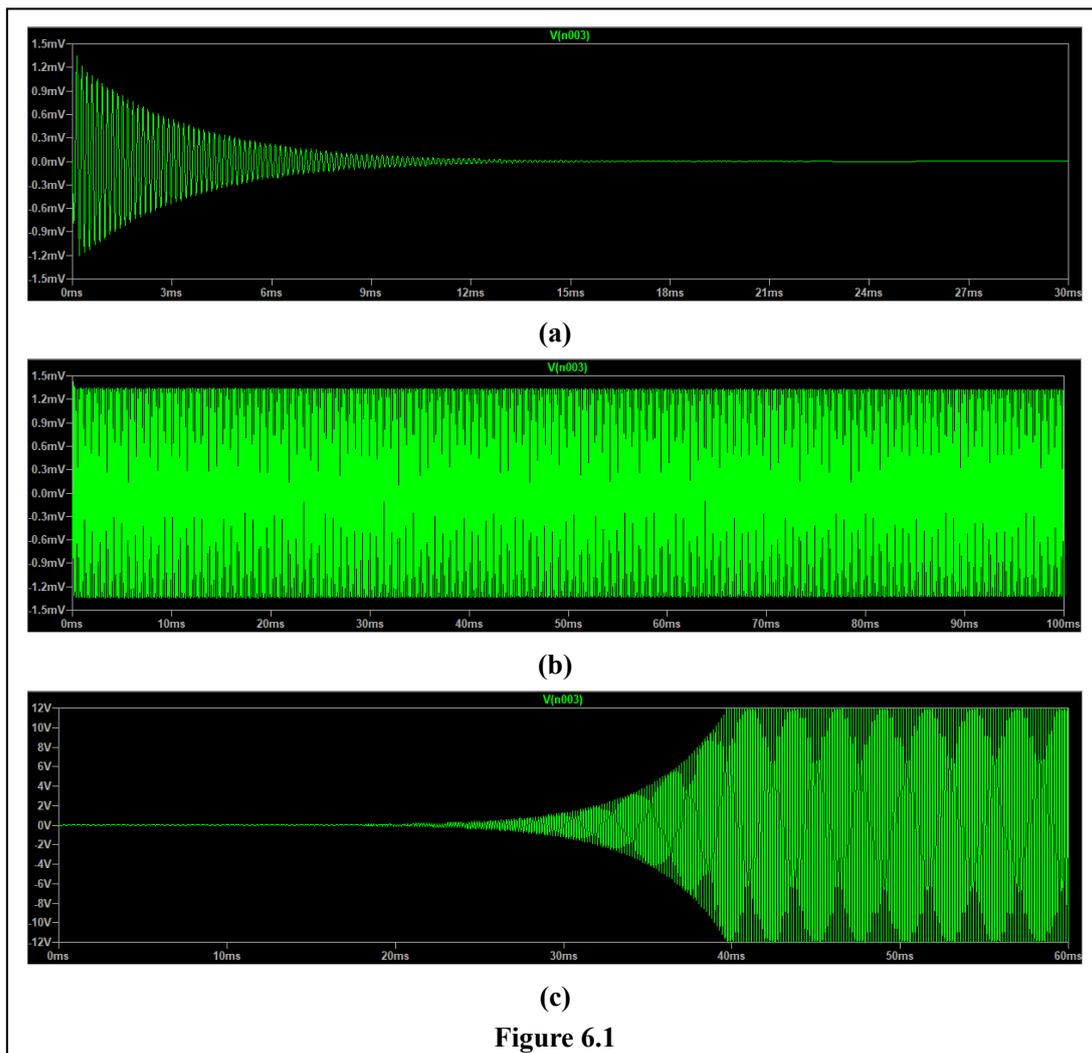


Question 6

Quand $R_2 = 28 \text{ k}\Omega$, on a $|A\beta(j\omega_0)| < 1$, le signal est présenté dans la **Figure 6.1 (a)**.

Quand $R_2 = 29.1 \text{ k}\Omega$, on a $|A\beta(j\omega_0)| = 1$, le signal est présenté dans la **Figure 6.1 (b)**.

Quand $R_2 = 30 \text{ k}\Omega$, on a $|A\beta(j\omega_0)| > 1$, le signal est présenté dans la **Figure 6.1 (c)**.



On peut vérifier la fréquence d'oscillation à l'aide de la Figure 6.2 :

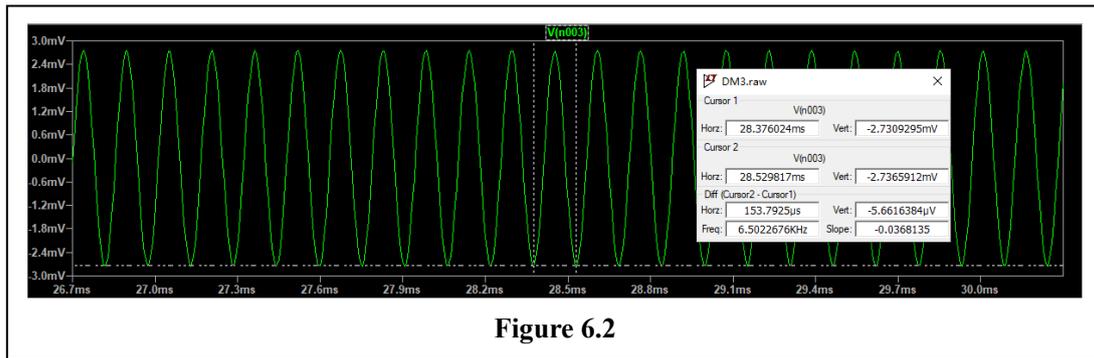


Figure 6.2

Les deux curseurs encadrent une période de 153.8 µs, et donne une fréquence de 6.5 kHz, qui est correspondante à la valeur obtenue précédemment.

Question 7

Le schéma est donné par la Figure 7.

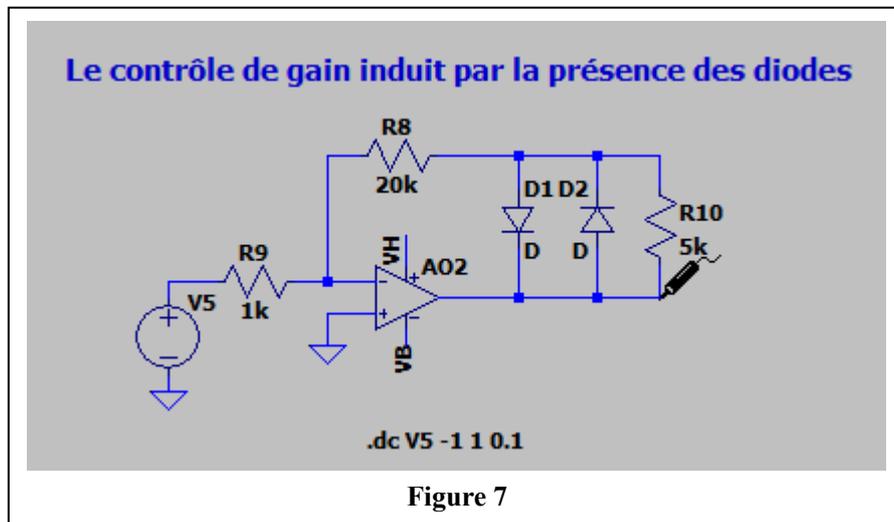


Figure 7

Question 8

Le signal de sortie est montré dans la Figure 8. On peut effectivement observer une non-linéarité du gain introduite par les diodes dans cette figure.

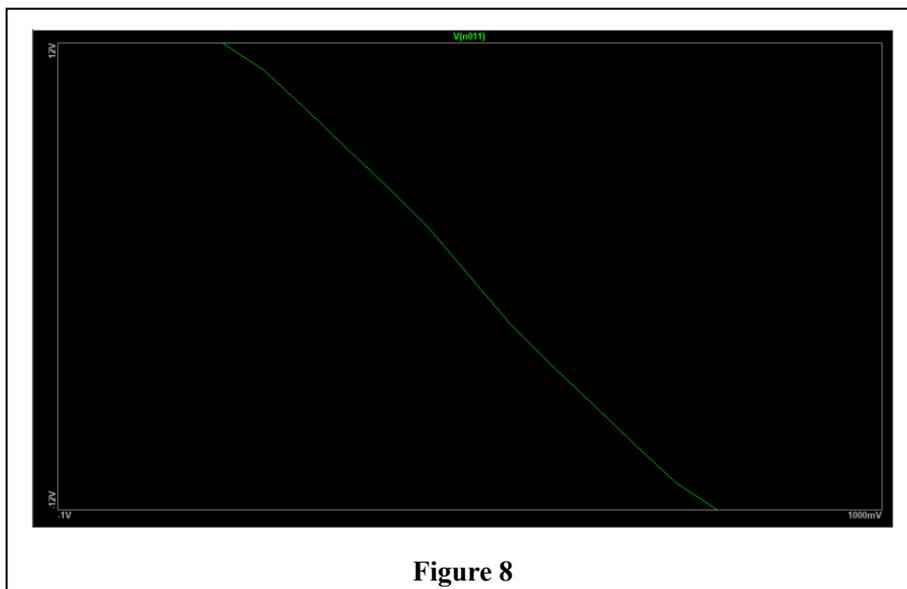


Figure 8