centralelille

北航中法工程师学院 Centrale Pékin

Électronique
TD Génération de signaux

May 12, 2020

1 Générateur RC à pont de Wien

Le circuit présenté sur la figure 1 est utilisé pour générer un signal sinusoïdal.Il associe un amplificateur opérationnel avec une gain $A_0 = V_{s,1}/V_{e,1}$ (voir la figure 2), supposé constant pour le moment, et un circuit réactif de fonction de transfert $\beta(j\omega) = V_{s,2}/V_{e,2}$ (voir la figure 3). Les diodes D1 et D2 sont des diodes en silicium de tension de seuil $V_{D0} = 0.6$ V, de résistance série supposée nulle à l'état passant et infinie à l'état bloqué.

On fixe $R_1 = R = 100\ \Omega$. Les valeurs de C, R_2, et R_3 ne sont pas fixées.

Pour le moment, l'interrupteur K est fermé.

1. Donner l'expression de $\beta(j\omega)$.

$$\beta(j\omega) = \frac{j\omega RC}{1 + 3j\omega RC - (\omega RC)^2}$$

2. Quelle est la condition sur A_0 et $\beta(j\omega)$ pour que le circuit oscille?

$$A_0 \beta j\omega = 1$$

3. À partir de cette condition:
   (a) L'expression de la fréquence d'oscillation f_0
   (b) La condition sur R_1 et R_2 pour que l'oscillation se maintienne à amplitude constante, sans écrêtage.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \ et \ A_0 = 3 \Rightarrow R_2 = 2R_1$$

4. Application numérique: Donner les valeurs de C et R_2 permettant d'obtenir une oscillation d'amplitude constante à 50 kHz, sans écrêtage.

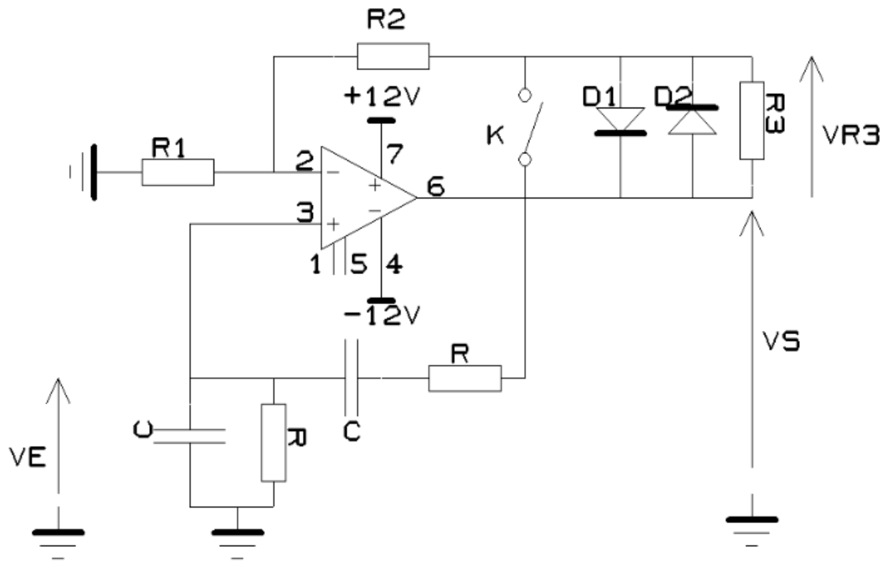

Figure 1: Schéma complet de l'oscillateur.

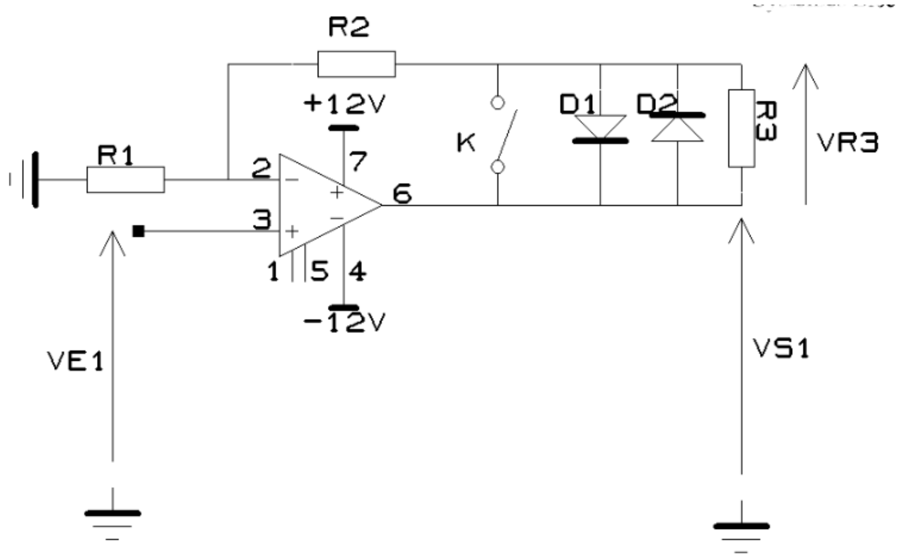

Figure 2: Amplificateur.

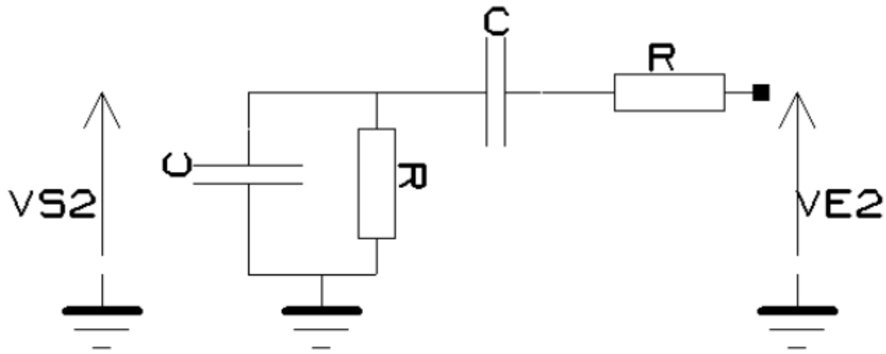

Figure 3: Circuit réactif.

$$C = 32\ nF\ et\ R_2 = 200\ \Omega$$

5. Préciser la valeur de l'amplitude crête du signal de sortie. Comment cette amplitude peut-elle, en pratique, être modifiée ?

$V_{s,max} = 12\ V$. *Elle ne peut être modifiée qu'en changeant la tension d'alimentation de l'amplificateur opérationnel.*

Les calculs précédents reposent sur l'hypothèse que le gain A_0 est indépendant de la fréquence. En réalité, l'amplificateur se comporte comme un système du 1^{er} ordre et son gain G dépend de la fréquence, soit :

$$G(j\omega) = G(j2\pi f) = \frac{A_0}{1 + j\frac{f}{F_c}}$$

où F_c est la fréquence de coupure.

6. On veut que l'oscillateur fonctionne à la fréquence F_c. Quelles sont les valeurs du gain et du déphasage introduits par l'amplificateur à cette fréquence ?

$$G(j2\pi f_c) = \frac{A_0}{1+j} \Rightarrow |G(j2\pi f_c)| = \frac{A_0}{\sqrt{2}}\ et\ \Delta\phi = -\frac{\pi}{4}$$

7. En déduire les conditions sur R, C et la valeur de A_0 pour lesquelles le circuit oscille à amplitude constante, sans écrêtage.

$$G(j\omega_c)\beta(j\omega_c) = 1 \Rightarrow Arg(\beta j\omega_c) = \frac{\pi}{4} \Rightarrow \frac{3\omega_c RC}{1-(\omega_c RC)^2} = 1$$

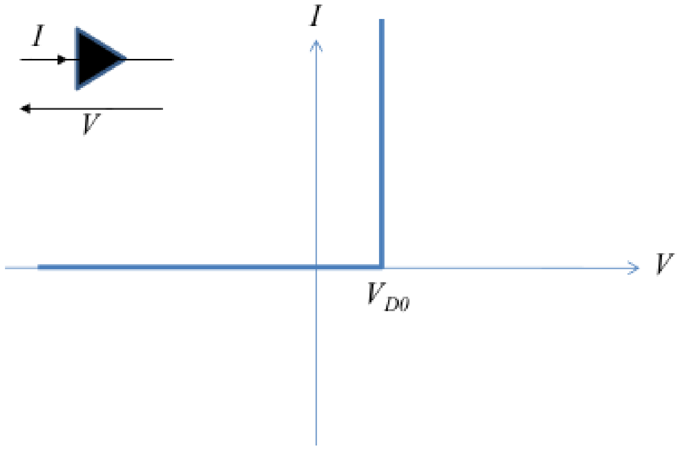

Figure 4: Caractéristique courant-tension d'une diode idéale.

$$D'où\ \omega_c RC \approx 0,3028\ et$$

$$|G(j\omega_c)| = \frac{A_0}{\sqrt{2}} = \frac{1}{|\beta(j\omega_c)|} \Rightarrow A_0 = \frac{\sqrt{2}}{|\beta(j\omega_c)|} \approx 6 \Rightarrow R_2 = 5R_1$$

8. On utilise un amplificateur opérationnel dont le produit gain-bande passante est de 3 MHz. Déterminer les valeurs de F_c et de C.

$$A_0 = 6\ et\ A_0 F_c = 3\ MHz \Rightarrow F_c = 500\ kHz.$$

A présent, on étudie le fonctionnement du circuit lorsque l'interrupteur est ouvert. La fréquence d'oscillation souhaitée est la même que dans la question 4.

9. Tracer la caractéristique courant-tension de l'une des diodes D_1 ou D_2 .

Voir la figure 4

Pour les 2 questions suivantes, on suppose que D_1 et D_2 sont bloquées.

10. Donner l'expression du gain de l'amplificateur.

$$A_0 = 1 + \frac{R_2 + R_3}{R_1}$$

11. Donner l'expression de V_{R_3} en fonction de V_{in}.

$$V_{R_3} = \frac{R_3}{R_3 + R_2}(V^- - V_s) = \frac{R_3}{R_3 + R_2}(V_e - V_s) = \frac{R_3}{R_3 + R_2}V_e(1 - A_0) = -\frac{R_3}{R_1}V_e$$

12. Partant de l'état précédent (D_1 et D_2 bloquées), à quelle condition sur V_e la diode D_2 devient-elle passante ? Quel est alors l'état de D_1 ?

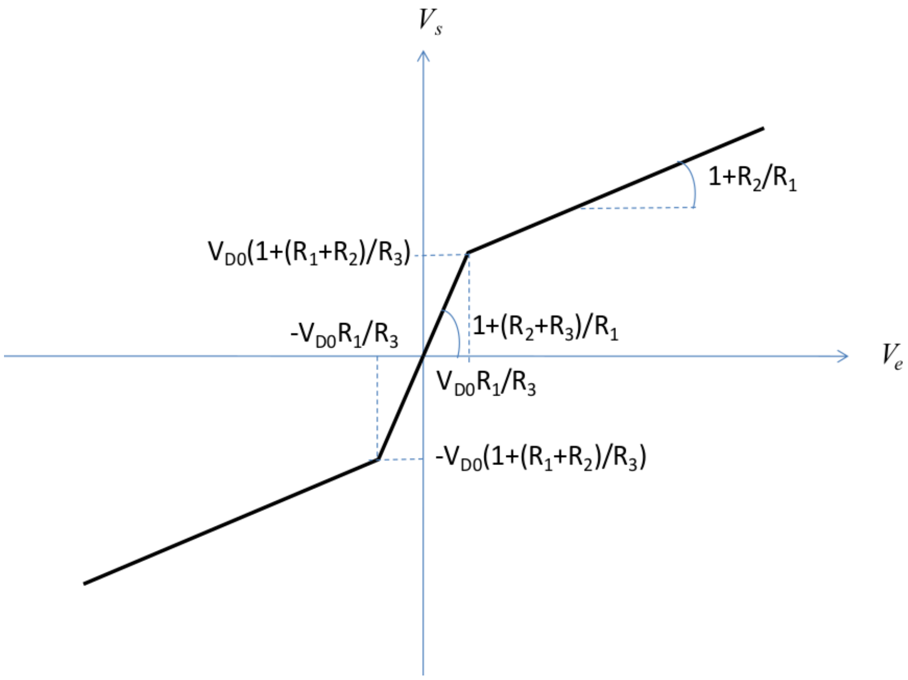

Figure 5: Caractéristique de transfert $V_s = f\,(V_e)$ de l'amplificateur.

> *D_2 devient passante lorsque $V_{R_3} < -V_{D0} \Rightarrow V_e > \frac{R_1}{R_3} V_{D0}$. D_2 passante $\Rightarrow$ D_1 bloquée.*

13. Dessiner alors le schéma équivalent de l'amplificateur. En déduire la relation entre V_s, V_e, et V_{D_O} lorsque D_2 est passante et que D_1 bloquante (V_{D_O} étant la tension seuil de la diode).

> *Par superposition entre V_e et V_{D0}:* $V_s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_e + V_{D0}$

14. Tracer la caractéristique de transfert $V_s = f\,(V_e)$ de l'amplificateur pour -15 V $< V_e <$ 15 V.

> *Voir la figure 5.*

15. Quel est l'avantage d'introduire les diodes D_1 et D_2 ? Justifier votre réponse.

> *Cela permet le contrôle de l'amplitude, en jouant sur R_2.*

16. Quelle condition doit-on satisfaire sur R_3 pour que l'oscillateur démarre ?

$$1 + \frac{R_2 + R_3}{R_1} > 3 \Rightarrow R_3 > 2R_1 - R_2$$

17. Donner l'expression de l'amplitude crête $V_{s,\max}$ du signal de sortie à la fréquence d'oscillation, en fonction de V_{D_0}, R_1, et R_2.

$$\textit{Pour } V_e > V_{D0} R_1 / R_3 :$$

$$V_s = V_{D0} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_e = 3V_e \Rightarrow V_{s,max} = \frac{3}{2 - \frac{R_2}{R_1}} V_{D0}$$