2 - Oscillateurs quasi sinusoïdaux

Pour réviser le cours

EXERCICE 1 Oscillateur (⋆⋆)

Le bloc triangulaire du montage de la *Figure 1* est un amplificateur de tension de gain constant G. Il est supposé d'impédance d'entrée infinie, et d'impédance de sortie nulle.

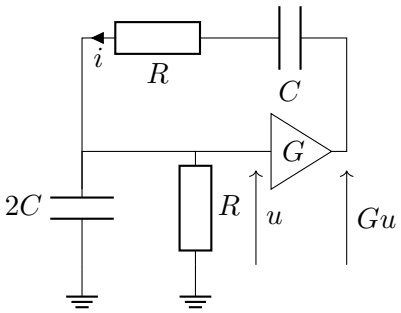


Fig 1. Montage oscillant.

1. Quelles sont les conséquences des hypothèses sur l'impédance d'entrée et de sortie de G ? On s'intéressera en particulier au courant d'entrée.
2. Établir l'équation différentielle vérifiée par i.
3. Pour quelle valeur de G le courant i oscille-t-il ? À quelle pulsation ?

.

EXERCICE 2 Stabilité d'un circuit (⋆⋆)

On associe un amplificateur de tension de gain $G \simeq 2$ à un circuit RLC conformément au schéma de la *Figure 2*.

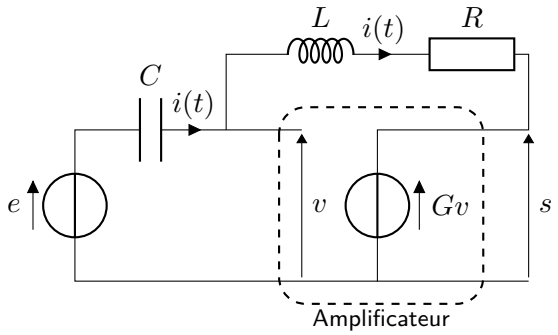


Fig 2. Circuit bouclé avec amplificateur.

1. Établir l'équation différentielle reliant s et e.
2. Étudier la stabilité par le régime libre.
3. Donner la forme mathématique de $s(t)$.
4. Que se passe-t-il si une légère perturbation écarte la sortie de son régime établi ?

EXERCICE 3 Oscillateur à résistance négative (⋆⋆)

Le montage d'oscillateur à résistance négative est représenté en *Figure 13*.

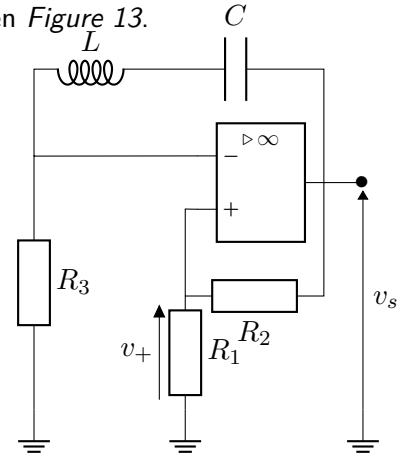


Fig 3. Oscillateur à résistance négative

1. Déterminer le régime de fonctionnement de l'ALI.
2. Établir l'équation différentielle vérifiée par $v_s(t)$. À quelle condition cette équation différentielle est instable ?
3. Représenter l'allure du départ des oscillations en fonction de la valeur de R_2/R_1.
4. Déterminer la fréquence des oscillations de l'oscillateur.

L'essentiel

.

EXERCICE 4 Oscillateur de Wien (⋆⋆)

PARTIE A : Filtre de Wien :

1. Le filtre de WIEN a la structure de la *Figure 4*, avec $R \simeq 4,7$ kΩ et $C \simeq 22$ nF.

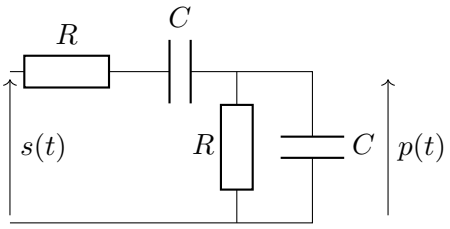


Fig 4. Filtre de WIEN.

Sans calcul, en analysant le circuit, déterminer son comportement en HF et BF. En déduire la nature du filtre.

2. Calculer sa fonction de transfert complexe en régime sinusoïdal, définie par $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{p}}{\underline{s}}$. On appelle H_0 la valeur maximale de son module et ω_0 sa pulsation de résonance, en posant $x = \frac{\omega}{\omega_0}$. Déterminer le facteur de qualité Q.

3. Calculer numériquement ω_0, puis la fréquence de résonance f_0, H_0 et Q.
4. Pour les deux domaines asymptotiques $\omega \ll \omega_0$ et $\omega \gg \omega_0$, ainsi qu'à la résonance $\omega = \omega_0$. Donner l'expression de G_{dB} et de Φ.
5. Tracer le diagramme de BODE asymptotique du filtre. En déduire l'allure de la courbe réelle.
6. Déduire de la fonction de transfert complexe l'équation différentielle régissant l'évolution de la tension $p(t)$.
7. Sans faire de calculs, expliquer qualitativement l'allure du signal de sortie si l'on envoie sur ce filtre un signal carré de valeur moyenne $2,5$ V, d'amplitude 4 V et de fréquence 400 kHz.

PARTIE B : Oscillateur à pont de Wien :

On considère le montage de la *Figure 5*, où la résistance R' est une résistance variable. L'ALI est supposé idéal. On suppose qu'il fonctionne en régime linéaire.

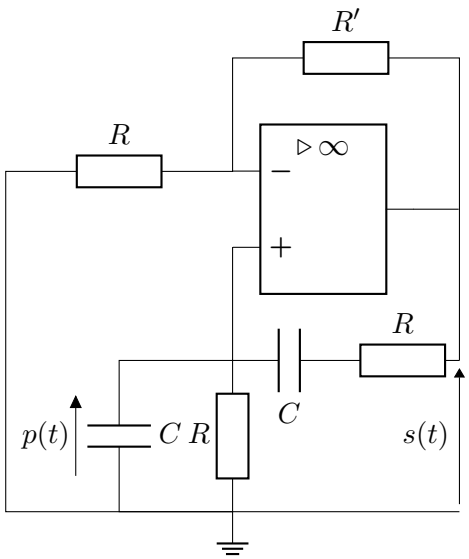


Fig 5. Oscillateur à pont de WIEN.

8. Établir l'équation différentielle régissant l'évolution de la tension $s(t)$ de sortie de l'A.L.I. en régime transitoire en utilisant le théorème de MILLMAN.

   On pose $\alpha = \frac{R}{R+R'}$. À quelle condition le montage devient-il un oscillateur ?

EXERCICE 5 Oscillateur à 3 ALI (⋆⋆⋆)

On considère le montage de la *Figure 6* :

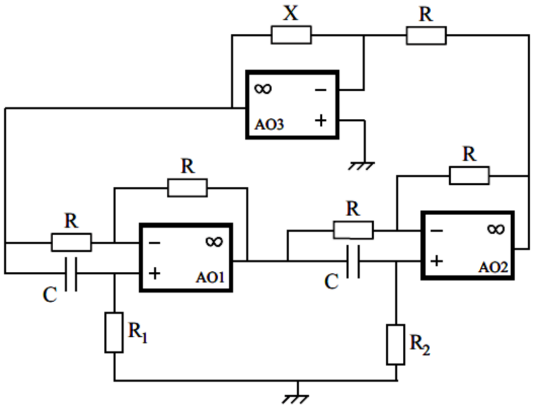


Fig 6. Montage à 3 ALI.

1. Pour quelle valeur X_0 de X a-t-on des oscillations quasi sinusoïdales ?
2. Quelle est la pulsation des oscillations ?
3. Qu'est-ce qui limite l'amplitude des oscillations ?

.

EXERCICE 6 Le laser (⋆⋆)

Le laser est un oscillateur quasi sinusoïdal composé :

- d'un milieu amplificateur qui amplifie une onde électromagnétique par émission stimulée ;
- d'une boucle de réaction réinjectant une partie du signal de sortie à l'entrée de l'amplificateur.

Le milieu amplificateur est un système matériel (atomes, molécules gazeuses, colorant organique, ion dans une matrice solide, jonction de semi-conducteurs) dont les électrons interagissent avec le champ électromagnétique pour l'amplifier ou l'amortir.

La boucle de réaction est une cavité électromagnétique avec des fréquences de résonance optique. Il existe des cavités linéaires et en anneaux. Le miroir de couplage $\mathcal{M}_c$, légèrement transparent, extrait une partie du faisceau en sortie du laser.

L'insertion du milieu amplificateur dans cette cavité forme un laser linéaire ou en anneau.

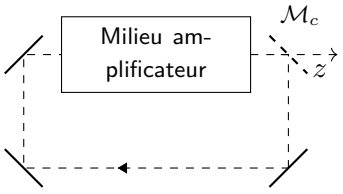


Fig 7. Laser en anneau.

1. Modéliser le laser en anneau par un schéma bloc. Préciser la nature du signal d'entrée et de sortie.

La cavité optique composée du miroir de couplage agit comme un filtre passe-bande de fonction de transfert $\underline{H}(j\omega)$ telle que :

Document sous licence Creative Commons « Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 3.0 non transposé (CC BY-NC 3.0) ».
Pour plus d'informations : creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/

$$|\underline{H}(j\varphi)|^2 = \frac{1}{1+\frac{4R}{(1-R)^2}\sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}$$

avec R le facteur de réflexion en puissance des miroirs composant la cavité et φ le déphasage introduit par un tour de l'onde dans la cavité optique.

2. Établir un lien entre le déphasage φ de l'onde ayant fait un tour dans la cavité de chemin optique total ℓ (sur un tour), en fonction de la célérité c des ondes électromagnétiques dans le vide et de leur pulsation ω.
3. Tracer l'allure de $|\underline{H}(j\omega)|^2$ pour $R \simeq 0,5$ et $R \simeq 0,9$. Déterminer les pulsations de résonance $\omega_p = p\omega_0$ ($p \in \mathbb{Z}$) possibles pour les ondes dans la cavité. Détailler l'expression de ω_0.

Pour un coefficient R vérifiant $\frac{R}{1-R} \gg 1$, on cherche à approximer la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega)$, proche d'une résonance à la pulsation ω_p, par celle d'un filtre passe-bande du deuxième ordre :

$$\underline{F}(j\omega) = \frac{F_0}{1+jQ\left(\frac{\omega}{\omega_p}-\frac{\omega_p}{\omega}\right)}$$

4. En posant $\omega = \omega_p(1+\varepsilon)$ (avec $\varepsilon \ll 1$), identifier l'expression du facteur de qualité Q de la cavité résonnante et du facteur F_0.

On modélise le milieu amplificateur par une fonction de transfert $\underline{G}(j\omega) = \frac{G}{1+j\epsilon}$, le coefficient ϵ ($\epsilon \ll 1$) étant lié à un léger déphasage de l'onde dans le milieu amplificateur.

5. Établir le critère de départ des oscillations pour $\epsilon = 0$. Détailler ce critère en une condition sur la phase et une condition sur le gain. Quelle est la pulsation de l'oscillateur ?

La stabilité S du laser est définie par l'inverse du rapport de la dérive relative de fréquence par rapport à ϵ.

6. Détailler l'expression de S en fonction du facteur de qualité Q de la cavité optique. Faut-il choisir des miroirs avec un coefficient de réflexion élevé ou faible pour garantir une grande stabilité en fréquence du laser ?

Pour aller plus loin

.

EXERCICE 7 Oscillateur à inductances (⋆⋆⋆)

On considère les deux bobines idéales d'inductance propre L, insérées dans le montage de la *Figure 8*. Le couplage est caractérisé par la mutuelle inductance $M = \alpha L$. On admet que l'A.L.I. fonctionne en régime linéaire.

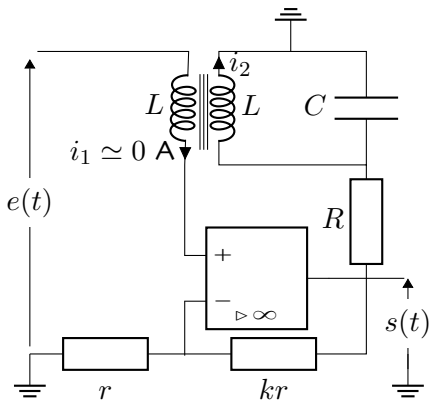


Fig 8. Oscillateurs à inductance mutuelle.

1. Déterminer l'expression de la fonction de transfert de ce filtre.
2. On place un fil connecté de la masse à l'entrée. Sous quelle condition sur α le système peut-il être le siège d'oscillations ? Déterminer alors la fréquence des oscillations.
3. On réalise le montage et l'on observe aucune oscillation. En inversant l'une des bobines, les oscillations apparaissent. Interpréter.

EXERCICE 8 Oscillateur (⋆⋆⋆)

1. Établir la fonction de transfert du filtre représenté en *Figure 9*.

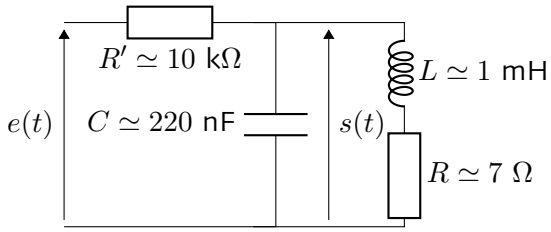


Fig 9. Filtre.

On intègre ce circuit dans un montage oscillant avec un A.L.I. représenté en *Figure 10*.

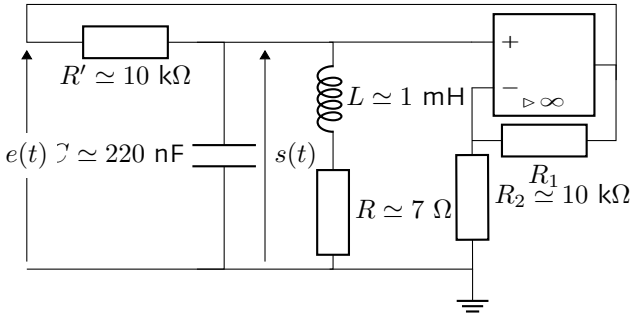


Fig 10. Circuit oscillant.

2. Donner l'équation différentielle que vérifie $s(t)$ et établir la condition de départ des oscillations.
3. Quelle est la pulsation des oscillations ?

Document sous licence Creative Commons « Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 3.0 non transposé (CC BY-NC 3.0) ».
Pour plus d'informations : creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/

Oscillateur non linéaire

.

EXERCICE 9 Multivibrateur astable (⋆⋆)

PARTIE A : Comparateur à hystérésis :

On considère le montage de la *Figure 11* où l'A.L.I. fonctionne en régime non linéaire, c'est-à-dire en commutation, donc $v_s = \pm V_{\text{sat}} = \pm 15$ V. La commutation est instantanée et a lieu pour $\varepsilon = V^+ - V^- = 0$.

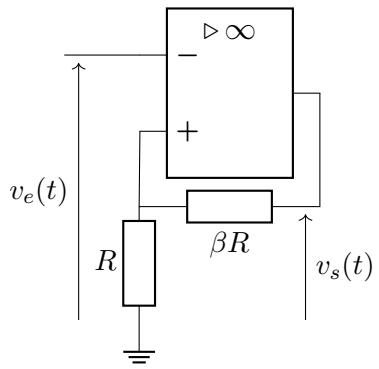


Fig 11. Comparateur à hystérésis.

1. Déterminer la valeur de V^+ puis la condition sur v_e pour que $v_s(t) = V_{\text{sat}}$ ou $v_s(t) = -V_{\text{sat}}$.
2. Tracer la fonction de transfert, soit $v_s = f(v_e)$, pour v_e variant de -15 V à $+15$ V et retour à -15 V dans le cas $\beta = 1$. On précisera le sens de parcours. Comment qualifie-t-on classiquement un tel montage ?

PARTIE B : Multivibrateur astable :

On considère le montage de la *Figure 12* dont l'instabilité produit des oscillations de sorte que $v_s = \pm V_{\text{sat}}$ le basculement se produisant de façon instantanée pour $\varepsilon = V^+ - V^- = 0$. On pose $k = \frac{1}{1+\beta} < 1$.

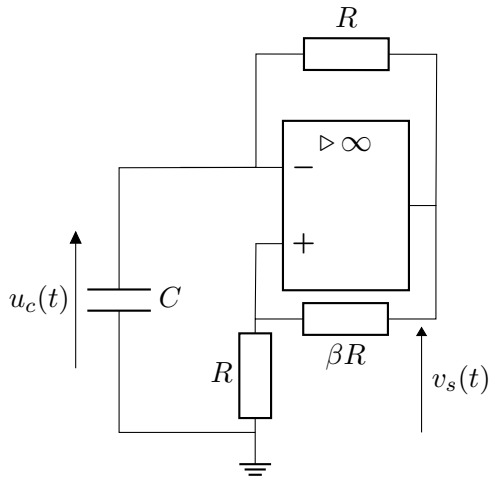


Fig 12. Multivibrateur astable.

3. Établir l'équation différentielle régissant l'évolution de la tension $u_c(t)$ en fonction de v_s et de $\tau = RC$.
4. Initialement le condensateur est déchargé et $v_s = +V_{\text{sat}}$. Déterminer $u_c(t)$. Le signal u_c peut-il atteindre la valeur $+V_{\text{sat}}$? Donner la valeur de basculement pour la tension $u_c(t)$.
5. Tracer sur un même graphique les courbes $u_c(t)$ et $v_s(t)$. Calculer la période commune T de ces deux signaux.

EXERCICE 10 Oscillateur à solénoïde (⋆⋆)

Le montage d'oscillateur à résistance négative est représenté en *Figure 13*.

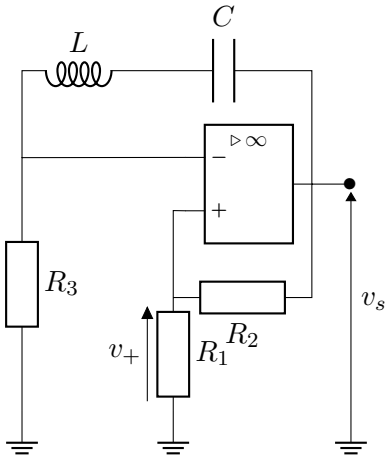


Fig 13. Oscillateur à résistance négative

La bobine utilisée est une bobine de section carrée, d'inductance propre notée L et de résistance électrique R_b. Le champ magnétique créé en son sein est :

$$B = 0,72\mu_0 ni(t) \qquad (1)$$

avec $\mu_0 = 4\pi$: $times10^{-7}$ H · m^{-1}, n la densité de spires par unité de longueur et $i(t)$ l'intensité du courant électrique traversant la bobine. On s'intéresse à la tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur.

1. À quelle condition le système est-il dans un régime sinusoïdal ? Préciser le comportement du système suivant les valeurs relatives de R et $R_b + R_1$.

Si la bobine contient un noyau de fer métallique, le champ magnétique créé a la même expression que l'*équation 1* en substituant $\mu = \mu_0\mu_r$ à μ_0. μ_r est appelée perméabilité relative du bloc de fer.

2. Lorsqu'on retire le bloc de fer de la bobine, les oscillations disparaissent. Interpréter ce phénomène.

On étudie plus précisément la bobine carrée de longueur H et de côtés b.

3. Déterminer l'énergie magnétique stockée dans la bobine en fonction de H, b, n, i et μ. Donner la longueur du fil à enrouler pour constituer la bobine.

Document sous licence Creative Commons « Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 3.0 non transposé (CC BY-NC 3.0) ».
Pour plus d'informations : creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/