

ALI en saturation

Oscillateurs électroniques

Année	Chapitre	Ce qu'il faut réviser	Support	Prioritaire	😊	
PT	10	ALI	Comparateur à hystérésis : tensions de basculement, diagramme entrée-sortie, sens de parcours du cycle (M)	Ex C9	**	
PT	11	Oscillateurs	Osc quasi sinusoïdal : conditions d'auto-osc sinusoïdale (approche par éq diff ou critère de Barkhausen) (M)	TD ex 1	*	
PT	11	Oscillateurs	Osc quasi sinusoïdal : démarrage des oscillations (M)	TD ex 1		
PT	11	Oscillateurs	Multivibrateur astable : séquences de fct, chronogramme des tensions (M)	TD ex 6 puis 2	**	
PT	11	Oscillateurs	Multivibrateur astable : déterminer la période des oscillations (M)	TD ex 6 puis 2	*	

Plan de la fiche

I	Ressources en ligne	1
II	Rappels de cours	1
II.1	Régime linéaire vs. régime de saturation	1
II.2	Oscillateur quasi-sinusoïdal : point de vue fréquentiel ou temporel	2
II.3	Méthode : Déterminer la période d'un multivibrateur astable	4
III	Questions de cours	4

I - Ressources en ligne

Scanner ou cliquer sur les QR-code pour accéder aux ressources.

- L'essentiel du cours sous forme de cartes mémo : cartes réalisées par Christophe Cayssiols.



Cartes utilisables pour ce bloc de révisions : thème électrocinétique
 > ALI et rétroaction : comparateur à hystérésis ;
 > Oscillateurs.

II - Rappels de cours

II.1 - Régime linéaire vs. régime de saturation

	Régime linéaire	Régime de saturation
Montage	Une unique rétroaction négative	Aucune rétroaction ; Une unique rétroaction positive
Ce que l'on sait	$\varepsilon = 0$	$v_s = \pm V_{sat}$
Ce que l'on cherche	Expression de v_s	Expression de ε
Outils d'étude	Représentation complexe ou temporelle	Représentation temporelle uniquement ; Disjonction de cas entre saturation haute et basse

Remarques diverses :

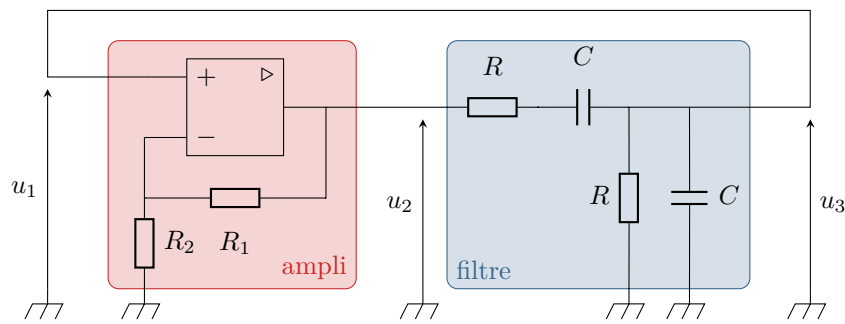
- ▷ dans le cas de montages à deux rétroactions, l'une positive et l'autre négative, on ne peut pas connaître a priori le régime de fonctionnement de l'ALI;
- ▷ même avec une unique rétroaction négative, l'ALI peut fonctionner en régime de saturation si les signaux sont d'amplitude trop élevée : on a toujours $-V_{\text{sat}} \leq v_s \leq +V_{\text{sat}}$... c'est d'ailleurs ce phénomène qui limite l'amplitude des oscillations d'un oscillateur quasi-sinusoïdal;
- ▷ lorsque c'est possible, il est généralement plus simple d'utiliser les représentations complexes que les représentations temporelles.

Rappel sur la disjonction de cas pour étudier un ALI en régime de saturation :

L'idée est de supposer un état de saturation de l'ALI, puis de déterminer à quelle condition sur la tension d'entrée du montage il va basculer dans l'autre état. La phrase type est donc « si l'ALI est en saturation haute, il y reste tant que $\varepsilon > 0$ » ... et le raisonnement qui suit consiste à transformer cette inégalité sur ε en une inégalité sur e . Comme une hypothèse a été faite sur l'état de saturation, alors il faut systématiquement remplacer s par $+V_{\text{sat}}$ dans le calcul (et inversement pour une saturation basse ...).

II.2 - Oscillateur quasi-sinusoïdal : points de vue temporel et fréquentiel

Un oscillateur quasi-sinusoïdal est constitué de deux blocs, un filtre et un amplificateur, bouclés l'un sur l'autre, comme par exemple sur l'oscillateur de Wien représenté figure 1. Pour que les oscillations puissent être sinusoïdales, l'ALI fonctionne en régime linéaire, sauf lors de courtes phases où il fonctionne en saturation.

**Figure 1 – Oscillateur de Wien.**

La démarche classique d'étude d'un tel oscillateur consiste à étudier séparément chaque bloc puis dans un second temps ce qu'il advient lorsque le bouclage est imposé en identifiant des conditions pour que les oscillations puissent être sinusoïdales. Deux approches sont possibles : une approche temporelle (équation différentielle) et une approche fréquentielle (fonction de transfert).

• Approche temporelle

Le plus simple pour obtenir la relation entrée-sortie du filtre en représentation temporelle consiste à l'établir en représentation fréquentielle, puis à revenir à la représentation réelle en utilisant la correspondance entre $j\omega$ et la dérivation. En supposant l'ALI en fonctionnement linéaire, les relations entrée-sortie des deux blocs s'écrivent

$$u_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) u_1 \stackrel{\text{déf.}}{=} Au_1$$

$$\frac{d^2 u_3}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{du_3}{dt} + \omega_0^2 u_3 = \frac{\omega_0 H_0}{Q} \frac{du_2}{dt} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} H_0 = 1/3 \\ \omega_0 = 1/RC \\ Q = 1/3 \end{cases}$$

Lorsque le système est bouclé, on a alors $u_2 = Au_1 = Au_3$, ce qui permet de combiner ces deux relations en une unique équation différentielle vérifiée par toutes les tensions,

$$\frac{d^2 u_3}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} (1 - H_0 A) \frac{du_3}{dt} + \omega_0^2 u_3 = 0.$$

Cette relation est valable tant que l'ALI fonctionne en régime linéaire ... mais ne suppose rien sur l'existence ou non des oscillations.

À partir de l'équation différentielle, on peut déterminer des conditions pour que les oscillations soient sinusoïdales. Il faut pour cela que l'équation soit celle d'un oscillateur harmonique, donc

$$1 - H_0 A = 0 \quad \text{soit} \quad A = \frac{1}{H_0} = 3.$$

Physiquement cette relation traduit le fait que l'amplification doit compenser exactement l'atténuation induite par le filtre. Dans ce cas, la pulsation des oscillations est la pulsation propre de l'oscillateur harmonique,

$$\boxed{\omega = \omega_0.}$$

Physiquement, cette relation indique que la pulsation des oscillations est fixée par la pulsation propre (= pulsation centrale) du passe-bande.

L'équation différentielle renseigne également sur le démarrage des oscillations, qui n'est possible que si le système est instable (sinon le régime transitoire s'amortit vers la solution particulière, qui est nulle), d'où

$$1 - H_0 A < 0 \quad \text{soit} \quad A > \frac{1}{H_0}.$$

Enfin, l'approche temporelle permet également de prévoir la stabilité des oscillations : lorsque u_1 devient trop élevée, l'ALI passe en saturation, et les oscillations ne sont stables que s'il a la possibilité de revenir en régime linéaire.

• Approche fréquentielle

Les fonctions de transfert des deux blocs s'écrivent, lorsque l'ALI est en régime linéaire,

$$\begin{aligned} \frac{H_{\text{ampli}}}{U_1} &= \frac{U_2}{U_1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \stackrel{\text{déf.}}{=} A \\ \frac{H_{\text{filtre}}}{U_2} &= \frac{U_3}{U_2} = \frac{1}{3 + jRC\omega + \frac{1}{jRC\omega}} \stackrel{\text{déf.}}{=} \frac{H_0}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} H_0 = 1/3 \\ \omega_0 = 1/RC \\ Q = 1/3 \end{cases} \end{aligned}$$

Lorsque le système est bouclé et *en supposant* les oscillations purement sinusoïdales de pulsation ω , on a alors

$$\underline{U_3} = \underline{U_1} \quad \text{donc} \quad \underline{H_{\text{filtre}}} \times \underline{H_{\text{ampli}}} = \frac{U_3}{U_2} \times \frac{U_2}{U_1} = 1.$$

Cette relation n'est autre que le **critère de Barkhausen**. On en déduit que les oscillations ne sont purement sinusoïdales que si

$$\boxed{\frac{H_0 A}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} = 1.}$$

Utiliser le critère de Barkhausen revient à faire un raisonnement de type analyse-synthèse : on suppose les oscillations sinusoïdales pour en déduire des conditions nécessaires pour qu'elles le soient. Autrement dit, la relation de Barkhausen n'est valable QUE SI les oscillations sont sinusoïdales. Au contraire, l'approche temporelle ne nécessite aucune hypothèse (hormis, bien sûr, le fonctionnement linéaire de l'ALI) : l'équation différentielle est toujours valable.

Du critère de Barkhausen (complexe), on obtient deux conditions (réelles). D'abord, comme le produit des fonctions de transfert est réel alors la partie imaginaire est forcément nulle, donc

$$\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} = 0 \quad \text{soit} \quad \boxed{\omega = \omega_0.}$$

Le dénominateur étant forcément égal à 1, le deuxième critère s'écrit

$$H_0 A = 1 \quad \text{soit} \quad \boxed{A = \frac{1}{H_0} = 3.}$$

On retrouve exactement les mêmes critères que ceux obtenus dans l'approche temporelle ... nous voilà rassurés !

En revanche, l'approche fréquentielle ne peut pas renseigner sur le démarrage des oscillations ni sur leur amplitude. En effet, pendant la phase de démarrage l'amplitude des oscillations augmente, donc par définition elles ne sont pas sinusoïdales et les phases non-linéaires, qui limitent l'amplitude des oscillations, ne peuvent pas être étudiées en représentation fréquentielle. Ainsi, l'approche temporelle apporte plus d'informations que l'approche fréquentielle.

II.3 - Période d'un multivibrateur astable

Un multivibrateur astable est constitué de deux blocs, un comparateur à hystérésis et un intégrateur. Les oscillations se font par succession de phases où l'ALI est alternativement en saturation haute et basse. Il est très classique d'avoir à déterminer la période des oscillations, ce qui se fait selon la méthode suivante. Elle fait souvent l'objet de plusieurs questions, mais il est préférable d'avoir les idées claires pour comprendre leur enchaînement.

- **Étude du comparateur à hystérésis** pour déterminer les deux tensions de basculement.
- **Première phase**
 - ▷ Définir l'instant $t = 0$ tel que l'ALI vient de basculer en saturation haute, ce qui donne la condition initiale : tension d'entrée du comparateur à hystérésis = tension de basculement ;
 - ▷ Établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par la tension d'entrée du comparateur à hystérésis, sans oublier de remplacer v_s par V_{sat} ;
 - ▷ En déduire l'instant t_1 auquel la tension de basculement est atteinte, cet instant correspond à la durée de la première phase.
- **Deuxième phase**
 - ▷ Introduire une nouvelle variable de temps t' telle $t' = t - t_1$, ce qui revient à redéfinir l'origine des temps de telle sorte que $t' = 0$ corresponde à la fin de la première phase, c'est-à-dire à l'instant où l'ALI bascule en saturation basse ;
 - ▷ Établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par la tension d'entrée du comparateur à hystérésis, sans oublier de remplacer v_s par $-V_{\text{sat}}$ et d'exprimer la condition initiale à l'instant $t' = 0$;
 - ▷ En déduire l'instant t'_2 auquel la tension de basculement est atteinte, cet instant correspond à la durée de la première phase.
- **Conclure** : lorsque la phase 2 est terminée, le montage repart sur une phase 1. La période des oscillations vaut donc

$$T = t_1 + t'_2.$$

III - Questions de cours

1 - Établir et représenter le cycle du comparateur à hystérésis. Même s'il serait mieux que les étudiants le connaissent, le montage pourra être rappelé par l'interrogateur si besoin. J'ai traité en cours le cas du non-inverseur (entrée du montage sur R_1 , entrée \ominus de l'ALI à la masse).

2 - Rappeler la nature des deux blocs constitutifs d'un oscillateur quasi-sinusoidal et retrouver le critère de Barkhausen.

L'exemple du cours est l'oscillateur de Wien, mais il n'a pas à être connu « par cœur » des étudiants. Les étudiants doivent savoir qu'un oscillateur quasi-sinusoidal contient un filtre passe-bande et un amplificateur, et retrouver le critère sous la forme générale $H_{\text{filtre}} \times H_{\text{ampli}} = 1$.

3 - Rappeler la nature des deux blocs constitutifs d'un oscillateur à relaxation (multivibrateur astable). Expliquer **sans calcul** mais en s'appuyant sur un chronogramme les deux phases de fonctionnement.

Là encore, les exemples de cours n'ont pas à être connus « par cœur », mais les étudiants doivent savoir qu'un multivibrateur astable comporte un comparateur à hystérésis et un intégrateur, l'un des deux étant inverseur et l'autre non-inverseur. Le chronogramme doit être reconstruit à partir de considérations qualitatives : lorsque l'ALI est en saturation haute, la tension de sortie de l'intégrateur est décroissante jusqu'à atteindre la tension de basculement, et inversement lorsque l'ALI est en saturation basse.