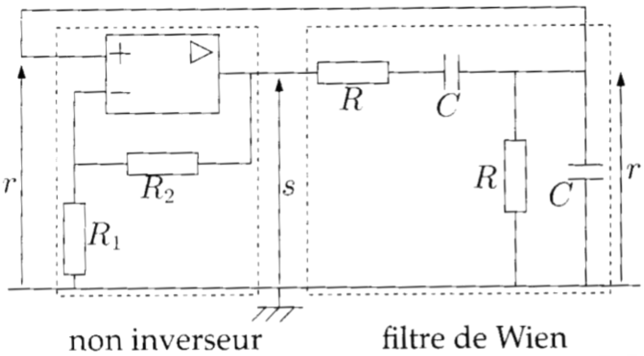
Chap. 5 – Oscillateurs électriques (quasi-sinus et relaxation)

Intro : Le principe d'un oscillateur spontané est de se mettre à osciller sans excitation extérieure. Il s'agit de tirer parti de l'instabilité d'un système linéaire bouclé pour faire naître les oscillations, puis de tirer parti de la non-linéarité d'un bloc pour éviter leur divergence.

1. Exemple de l'oscillateur quasi-sinusoïdal à pont de Wien



Ci-dessus est représenté le montage « oscillateur quasi-sinusoïdal à pont de Wien ». Ce montage ne comporte pas d'entrée, mais l'expérience montre que la sortie $s(t)$ n'est pas nulle. Et pour cause : l'objectif de ce montage est justement de générer des *oscillations spontanées*, i.e. sans excitation. C'est le montage qui se met à osciller tout seul, marque évidente de son instabilité propre. On donnera par la suite une justification de ce phénomène. On commence ici par simplement mettre en équation l'évolution des grandeurs physiques du circuit.

Etude en complexe :
- A l'aide du 1er bloc, déterminer la relation (en cpx) entre les signaux s et e_r
- Faire de même, mais à l'aide du 2e bloc
- En déduire qu'un régime harmonique du montage n'est possible qu'à deux conditions :
  - l'une portant sur la fréquence d'oscillation
  - l'autre portant sur le rapport R_2/R_1

Etude en notation réelle :
- A partir des deux premiers points du calcul précédent, déduire l'équation différentielle vérifiée par $s(t)$
- Retrouver les deux conditions permettant à $s(t)$ d'osciller sinusoïdalement

Considérations pratiques :
- Pourquoi ces conditions mathématiques ne sont-elles pas réalisables en pratique ?
- Comment pourrait-on adapter la condition sur R_2/R_1 pour qu'un signal $s(t)$ non nul apparaisse
- Quel serait alors l'expression math et l'allure graphique de $s(t)$ en régime transitoire ?
- L'allure du régime permanent ne peut être prédite avec les calculs précédents. Cependant, un régime permanent « linéaire à tout instant » est-il possible ?

Manip de cours :
Le montage a été réalisé, et l'on peut vérifier que :
- lorsque R_2/R_1 est trop petit, $s(t) = 0$
- lorsque R_2/R_1 est assez grand, $s(t) \neq 0$ en régime permanent
- les oscillations obtenues en régime permanent ne sont pas parfaitement sinusoïdales
- les oscillations de $e_r(t)$ semblent « plus sinusoïdales » que celles de $s(t)$

2. Etude générale des oscillateurs quasi-sinusoïdaux

Il s'agit ici de généraliser l'étude précédente en montrant comment l'association d'une chaîne directe amplificatrice et d'une chaîne de retour passe-bande permet de réaliser des oscillateurs quasi-sinusoïdaux. On établit ensuite de manière générale ***les conditions d'oscillations*** et ***la condition de démarrage des oscillations***.

2.1. Structure générale de l'oscillateur

L'instabilité d'un système bouclé n'est pas toujours un inconvénient. Elle permet aussi de réaliser des oscillateurs ***quasi-sinusoïdaux***. La sortie est alors *d'allure sinusoïdale*, mais contient des harmoniques d'ordre supérieur, reflétant les écarts au sinus parfait.

Le schéma général d'un ***oscillateur quasi-sinusoïdal*** (ou ***oscillateur à boucle de réaction***) est celui d'un système bouclé à entrée nulle :
- avec pour chaîne directe un ***amplificateur***, généralement de gain constant (notée $\underline{H}(j\omega) = C^{te}$)
- avec pour chaîne de retour un ***passe-bande du 2nd ordre*** (notée $\underline{G}(j\omega)$)

Remarque : Il existe deux façons de représenter ce schéma bloc :
- avec comparateur +/- et une entrée nulle (notation $\underline{H}$ et $\underline{G}$ par la suite)
- sans comparateur +/- et sans entrée ($\underline{H'}$ et $\underline{G'}$), équivalent à un comparateur +/+ avec entrée nulle

2.2. Méthode pour déterminer : 1- les conditions d'oscillations, 2- la condition de démarrage

Lors de l'étude de l'oscillateur ainsi réalisé, on distingue deux étapes :
- démarrage des oscillations : on est alors en régime ***transitoire linéaire***, et le système est ***instable*** ;
- régime établi : des ***non-linéarités*** des composants se manifestent et ***limitent l'amplitude des oscillations***

L'étude consiste à rechercher :
- ***les conditions d'oscillation*** (conditions sur le ***gain*** de la chaîne directe, et sur la ***pulsation*** d'oscillation)
- ***la condition pour démarrer*** effectivement les oscillations (***instabilité*** du montage)

Les conditions d'oscillation peuvent être déterminées :
- en notation *complexe* grâce aux *fonctions de transfert* de la chaîne directe et de la chaîne de retour
- en notation *réelle* grâce à *l'équation différentielle*.

La condition de démarrage ne se détermine qu'avec l'équation différentielle.

Méthode générale d'étude d'un oscillateur quasi-sinusoïdal

Début de l'étude **:**

- Identifier la chaîne directe et la chaîne de retour, la sortie $s(t)$ et le retour $e_r(t)$
- Déterminer les FT des deux blocs définis par (deux possibilités selon l'allure du schéma bloc) :
  - $\underline{H} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\underline{S}}{-\underline{E_r}}$ et $\underline{G} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\underline{E_r}}{\underline{S}}$
  - ou $\underline{H'} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\underline{S}}{\underline{E_r}}$ et $\underline{G'} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\underline{E_r}}{\underline{S}}$

On notera que pour passer d'une représentation à l'autre : $\underline{H'} = -\underline{H}$

1[e] suite possible : Conditions d'oscillation grâce aux complexes

Une fois la chaîne directe et la chaîne de retour identifiées, on peut rester en complexe pour déterminer :

- la condition d'oscillation portant sur le gain de la chaîne directe
- la condition d'oscillation portant sur la fréquence (ou pulsation) d'oscillation

Deux équations possibles selon l'allure du schéma bloc :

- $1 + \underline{HG} = 0$
- $1 - \underline{H'G'} = 0$

2[e] suite possible : Conditions d'oscillations grâce à l'EDiff :

Une fois la chaîne directe et la chaîne de retour identifiées, on peut aussi repasser en réel :

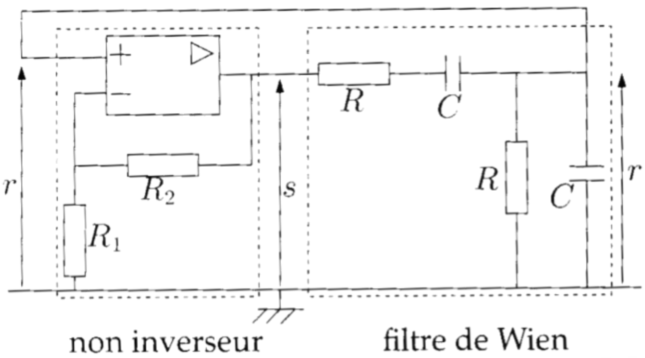
- En déduire l'EDiff vérifiée par la sortie $s(t)$, par élimination de $e_r(t)$ des équations
- Déterminer la condition d'oscillation : EDiff doit être celle de l'oscill harmonique (pas de terme ds/dt)
- Déterminer la fréquence d'oscillation : fréquence propre de l'oscillateur harmonique identifié

Fin de l'étude : Condition de démarrage

Il faut avoir déterminé l'équation différentielle vérifiée par $s(t)$

- Démarrage des oscillations : montage doit être instable (signe devant ds/dt doit être différent des autres)

2.3. Retour sur l'exemple de l'oscillateur à Pont de Wien



On revient sur l'exemple préliminaire, et l'on cherche cette fois à utiliser les résultats généraux établis avec la notion de schéma bloc.

- ❖ Identifier le schéma bloc correspondant au montage
- ❖ Donner les expressions des FT de la chaîne directe et de la chaîne de retour
- ❖ Appliquer l'équation générale (en cpx) permettant de déterminer les conditions d'oscillation
  Le reste est idem à l'étude déjà menée précédemment…

Remarque : Dans le schéma du montage, l'entrée du schéma bloc (celui avec notation $\underline{H}$ et $\underline{G}$) est définie par le potentiel de la borne inférieure de R_1. Elle est ici évidemment mise à zéro en étant connectée à la masse.

- ❖ Quel est le phénomène physique qui déclenche le démarrage des oscillations ?
- ✪ Pourquoi $e_r(t)$ est-il « plus sinusoïdal » que $s(t)$?
- ✪ Montrer que le régime transitoire est non-oscillant si le gain de la chaîne directe est trop élevé

Retour à la manip de cours :
On peut vérifier l'effet d'un gain de la chaîne direct trop élevé :

- les oscillations se déforment et deviennent moins harmoniques : « l'anharmonicité augmente »
- à partir d'un certain seuil, le régime transitoire n'est plus pseudo-périodique, mais apériodique

<u>Quelques idées physiques à retenir</u>

*C'est la **non-linéarité de la chaîne directe** qui fixe l'amplitude des oscillations en régime permanent.*
On veillera à choisir un gain de chaîne directe le moins grand possible pour un signal le plus sinusoïdal possible.
*Les oscillations **démarrent à partir de fluctuations électriques** dues aux parasites (ou « bruit » électrique).*

Remarques : On utilise les oscillateurs électriques quasi-sinusoïdaux dans les horloges à quartz. Ce cristal piézoélectrique joue alors le rôle de filtre passe-bande (à la place du filtre de Wien). Son facteur de qualité est bien meilleur (50000 au lieu de 1/3…). L'avantage est que la bande-passante est beaucoup plus étroite. Ainsi, même si les propriétés de l'amplificateur en chaîne directe fluctuent au cours du fonctionnement de l'horloge, la fréquence d'oscillation ne fluctue presque pas (fréquence d'oscillation fixée par la FT de la chaîne de retour, i.e. le quartz). C'est cette stabilité en fréquence qui est recherchée dans les horloges à quartz.

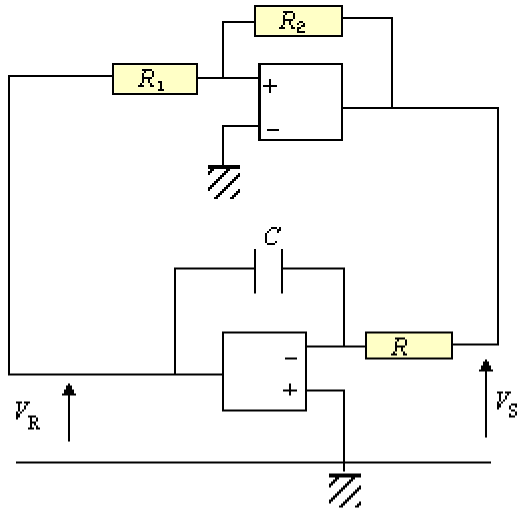
3. Réalisation de signaux rectangulaires : oscillateurs de relaxation

3.1. Structure d'un oscillateur de relaxation

La génération de signaux périodiques carrés et triangulaires se fait par le bouclage d'un intégrateur sur un comparateur à hystérésis. Ces « oscillateurs de relaxation » sont utilisés pour les beepers sonores, les LED clignotantes sur les appareils électriques courants, ou pour les clignotants de voiture.

Il existe des équivalents mécaniques (expérience du vase de Tantale). Ces oscillateurs mécaniques et électriques ont en commun le « relâchement » périodique d'un stock d'énergie, d'où leur nom d'oscillateurs de relaxation.

3.2. Génération de signaux rectangulaires et triangulaires



On parle parfois aussi d'oscillateur astable ou de multivibrateur astable.

La sortie du comparateur délivre un créneau (attention, c'est le comparateur non-inverseur, pas exactement celui étudié au chapitre précédent, mais le principe est le même). L'intégrateur le transforme en signal triangulaire, qui est réinjecté à l'entrée du comparateur. Lorsque ce triangle franchit les seuils du comparateur, il fait basculer la sortie : la fréquence du créneau est donc fonction de la constante d'intégration, qui fixe la pente du triangle.

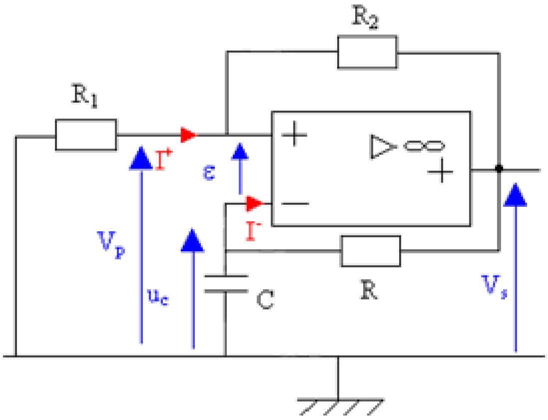
On remarque qu'il y a nécessairement deux phases de fonctionnement :

- lorsque $V_s = +V_{sat}$
- lorsque $V_s = -V_{sat}$

L'étude de l'oscillateur se fait donc en deux étapes. On part d'un état de V_s (phase 1), et on en déduit l'évolution de $V_R(t)$, i.e. la pente du triangle. On détermine alors la durée de cette 1ère phase grâce au critère de basculement de V_s. On entame ensuite l'étude de la 2e phase, de la même façon. On en déduit enfin la période du créneau (et donc du triangle).

❖ Réaliser cette étude, les objectifs étant :
- de tracer les évolutions temporelles de $V_s(t)$ et $V_R(t)$
- d'en déduire la fréquence du créneau : $\frac{R_2}{4R_1RC}$

Remarque : On peut n'avoir recours qu'à un intégrateur approché, en utilisant un RC série, donnant une suite d'exponentielles croissante et décroissante (au lieu du triangle). La fréquence d'oscillation est plus compliquée à calculer, mais le principe reste le même. Le montage est expérimentalement moins complexe et moins encombrant.



Le bloc 3 s'intéresse à une étude non exhaustive des oscillateurs en électronique. Les exemples sont choisis à l'initiative du professeur et les fonctions de transfert des filtres utilisés sont fournies. En TP, on complète l'étude par une analyse spectrale des signaux.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Oscillateurs	
Oscillateur quasi-sinusoïdal réalisé en bouclant un filtre passe-bande du deuxième ordre avec un amplificateur.	Exprimer les conditions théoriques (gain et fréquence) d'auto-oscillation sinusoïdale d'un système linéaire bouclé. Analyser sur l'équation différentielle l'inégalité que doit vérifier le gain de l'amplificateur afin d'assurer le démarrage des oscillations. Interpréter le rôle des non linéarités dans la stabilisation de l'amplitude des oscillations. **Réaliser un oscillateur quasi-sinusoïdal et mettre en évidence la distorsion harmonique des signaux par une analyse spectrale.**
	Approche documentaire : en relation avec le cours sur les ondes, décrire le fonctionnement d'un oscillateur optique (laser) en termes de système bouclé auto-oscillant. Relier les fréquences des modes possibles à la taille de la cavité.
Oscillateur de relaxation associant un intégrateur et un comparateur à hystérésis. Générateur de signaux non sinusoïdaux.	Décrire les différentes séquences de fonctionnement. Exprimer les conditions de basculement. Déterminer la période d'oscillation. **Réaliser un oscillateur de relaxation et effectuer l'analyse spectrale des signaux générés.**

Animations + manip :

- *Observation des signaux générés par l'oscillateur de Wien*
  - *Analyse spectrale : non-linéarité + le retour est plus sinusoïdal que la sortie*
  - *Compatibilité mesures avec valeurs attendues (fréquence, grain critique démarrage oscillations)*
- *Observation des signaux générés par l'oscillateur de relaxation*
  - *analyse spectrale deux signaux*
  - *Compatibilité mesures avec fréquence attendue*
- *Expérience du vase de Tantale, et discussion des analogies avec l'oscillateur électrique*