

III – Oscillateur de Wien

Objectifs :

- Analyser/Raisonnement : les calculs d'incertitude que l'on n'oubliera pas de faire même si c'est non mentionné.
- Réaliser : un oscillateur de Wien par bouclage d'un filtre et d'un amplificateur.
- S'approprier : l'adaptation d'impédances, la loi des nœuds en termes de potentiel, la FFT, la condition de barkhausen.
- Valider/Communiquer : utiliser les incertitudes afin de valider le modèle, la stabilisation d'amplitude par les non-linéarités...

Matériel à disposition :

- 1 Oscilloscope numérique Keysight
- Câbles coaxiaux, et T de connexion...
- 1 interface Sysam avec ordinateur équipé de Latis-Pro
- 1 GBF FI 5505 GA.
- 1 alimentation +15V/0/-15V pour l'ALI
- 1 plaquette Labdec et des fils de connexion adaptées
- 1 multimètre Fluke
- 2 boîtes de résistances à décade
- 1 boîte de capacités à décade
- Composants : 2 diodes sur support, des résistances (2x1kΩ et 4x10kΩ), des capacités (2x22nF, 1x10nF),
- 1 RLC mètre.
- Les notices des différents appareils de mesure.

2. Electronique

Production, acquisition et traitement d'un signal électrique.

Oscillateur quasi-sinusoidal réalisé en bouclant un filtre passe-bande du deuxième ordre avec un amplificateur.

Mettre en œuvre un oscillateur quasi-sinusoidal et analyser les spectres des signaux générés.

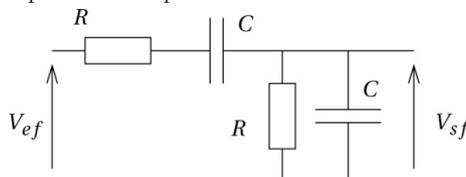
On utilisera le « classique » filtre de Wien comme passe-bande que l'on bouclera sur un amplificateur à base d'ALI.

I – Eléments constitutifs

I-1) Filtre passe-bande de Wien

Document 1 : Rappel sur le filtre de Wien

Un « filtre passe-bande de Wien » est composé d'un dispositif RC série suivi d'un RC parallèle :



La fonction de transfert de ce filtre est : $H(j\omega) = \frac{H_0}{1+jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$ avec : un facteur de qualité $Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{1}{3}$, un gain maximal de $H_0 = \frac{1}{3}$ et une pulsation de résonance $\omega_0 = \frac{1}{RC}$

a) Etude en sortie ouverte

Q1) Prévoir sans calcul la nature de ce filtre.

Q2) Choisir $R = 1 \text{ k}\Omega$, en déduire C pour avoir une fréquence centrale de 7,2 kHz environ.

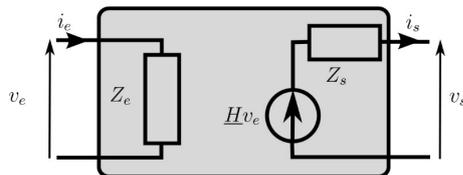
Q3) Proposer un protocole expérimental rapide à mettre en place pour déterminer les grandeurs caractéristiques du filtre passe-bande.

- Réaliser le montage, déterminer les grandeurs H_0, Q et f_0 . Comparer vos valeurs mesurées aux valeurs prévues par le modèle. Conclure. (Ne démonter pas ce montage de la plaquette labdec afin de gagner du temps par la suite)

b) Impédances d'entrée et de sortie

Document 2 : Impédance d'entrée et de sortie

Un quadripôle linéaire est caractérisé, outre sa fonction de transfert, par ses impédances d'entrée et de sortie définies à partir du schéma ci-dessous :

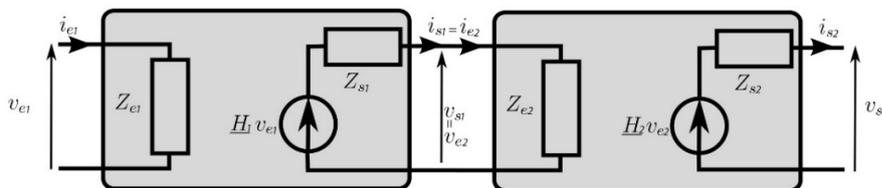


- L'entrée se comporte comme un dipôle passif de sorte que $v_e = Z_e i_e$.
- La sortie se comporte comme une source de tension dite dans le « modèle de Thévenin » (générateur/ impédance en série) donc :

$$v_s = H v_e - Z_s i_s$$

On remarque que la relation $v_s = H v_e$ ne s'applique que lorsque la sortie est en circuit ouvert, c'est-à-dire lorsqu'elle ne débite aucun courant. Les impédances d'entrée et de sortie sont importantes dans les situations des montages en cascade (succession de filtres par exemple).

c) Succession de filtres



On désire réaliser un quadripôle formé de deux filtres successifs :

Q4) Démontrer que :

$$H = \frac{v_{s2}}{v_{e1}} = H_1 H_2 \frac{1}{1 + \frac{Z_{s1}}{Z_{e2}}}$$

Q5) En déduire une condition pour que : $H = H_1 H_2$

d) Adaptation d'impédances

Afin de réaliser la condition précédente, on utilise souvent des filtres idéaux tels que : $Z_{s1} \rightarrow 0$ et $Z_{e2} \rightarrow \infty$. Lorsqu'on n'a pas affaire à des filtres idéaux on réalise alors l'adaptation d'impédances par un bloc supplémentaire que l'on intercale entre les deux filtres. Le plus simple pour réaliser cette adaptation d'impédance est d'utiliser un montage « suiveur ».

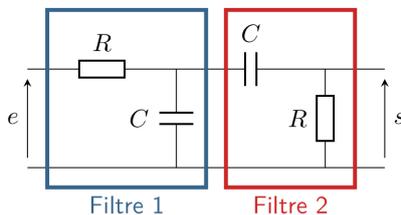
Adaptation d'impédance :

Lorsque l'on connecte un bloc 1 de fonction de transfert en sortie ouverte H_1 à un bloc 2 de fonction de transfert en sortie ouverte H_2 , il n'y a pas de modifications inattendues à condition que l'impédance de sortie du bloc 1 soit petite devant l'impédance d'entrée du bloc 2 :

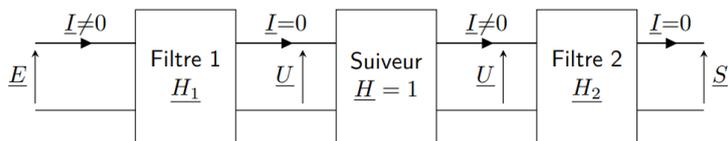
$$Z_{1,sortie} \ll Z_{2,entrée}$$

Quand c'est le cas on dit qu'il y a adaptation d'impédance. C'est seulement à cette condition que la fonction de transfert totale est : $H = H_1 H_2$. Pour réaliser cette adaptation d'impédance, on peut utiliser un montage suiveur.

Q6) Calculer les fonctions de transfert des deux filtres d'ordre 1 suivants : (filtre 1 et 2 séparés). Calculer la fonction de transfert des deux filtres reliés. On vérifiera que : $H \neq H_1 H_2$.



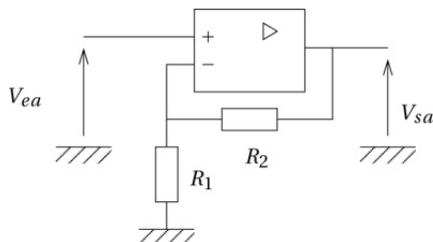
Q7) Faites de même en rajoutant un montage suiveur entre les deux blocs. Conclure.



I-2) Amplificateur « Non Inverseur »

a) Caractéristiques

Réaliser un amplificateur non inverseur à ALI en prenant $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ et une boîte à décades de résistances réglée sur $10\text{ k}\Omega$ pour R_2 . (On réalisera ce montage sur la plaque labdec à proximité relative du filtre de Wien)



Mesurer le gain expérimental \underline{A} du montage puis le comparer au gain théorique : $A_{th} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

a) Impédance d'entrée et de sortie

Q8) Donnez un ordre de grandeur de l'impédance d'entrée du montage tel que $\underline{Z}_e = \frac{V_e}{I_e} = \frac{V_{ea}}{I_+}$. Préciser cette valeur à l'aide de la « data sheet » de l'ALI utilisé.

L'impédance de sortie se calcule lorsqu'on éteint tous les générateurs indépendants de tension et de courant (Doc.2). On a donc : $\underline{Z}_s = \left. \frac{V_s}{I_s} \right|_{v_e=0}$

Q9) Déterminer l'impédance de sortie du montage non inverseur. Vérifier cette valeur expérimentalement. Conclure dans l'utilisation du montage « non inverseur » dans l'adaptation d'impédances.

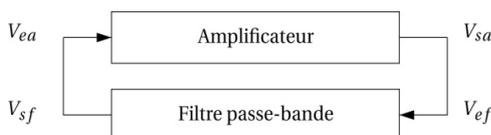
II - Oscillateur à pont de Wien

II-1) Principe d'un oscillateur

a) Critère de Barkhausen

Un oscillateur en électronique est un circuit produisant une tension de sortie périodique de type carré, sinusoïdale... sans utiliser de tension périodique dans le montage. Il est composé :

- D'une chaîne directe constituée ici d'un amplificateur A.
- D'une chaîne de retour constituée ici par notre filtre passe-bande.



L'objectif d'un oscillateur quasi-sinusoïdal est d'engendrer des oscillations spontanées, c'est-à-dire dans excitation d'entrée. Ce système ne possède pas à proprement parler d'entrée. Pour osciller durablement le système doit disposer d'une source d'énergie permettant de compenser les pertes par effet Joule. Ce rôle est assuré par l'alimentation +15 V/-15 V d'un ALI.

Considérons l'amplificateur A caractérisé par sa fonction de transfert $\underline{A}(j\omega)$ et le filtre F caractérisée par $\underline{H}(j\omega)$. D'après le schéma si on veut récupérer : v_{ea} après une boucle, il faut que le système vérifie :

$$\begin{aligned} v_{ea} &= \underline{A}(j\omega) \cdot \underline{H}(j\omega) v_{ea} \\ \Leftrightarrow \underline{A}(j\omega) \cdot \underline{H}(j\omega) &= 1 \end{aligned}$$

Cette relation constitué le critère de Barkhausen.

Énoncé du critère de Barkhausen :

Un amplificateur de gain \underline{A} couplé à une boucle de contre-réaction à fonction de transfert $\underline{H}(j\omega)$ peut se mettre à osciller en continu lorsque :

$$\underline{A}(j\omega) \cdot \underline{H}(j\omega) = 1$$

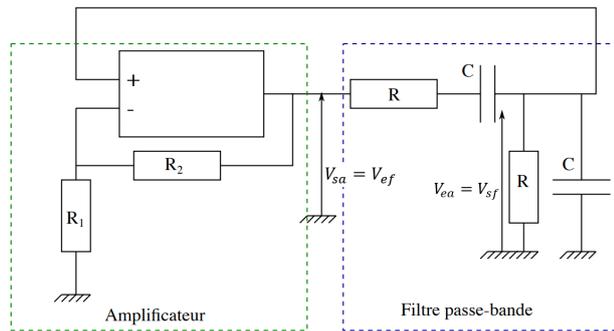
b) Fonctionnement de l'oscillateur de Wien

Q10) Dans le cas de notre oscillateur A est réel en déduire le déphasage nécessaire de $\underline{H}(j\omega)$ afin de réaliser un oscillateur. En déduire la valeur de f pour que l'oscillateur fonctionne.

Q11) Conclure sur la valeur de A puis de R_2 .

c) Etude de la stabilité du montage

Afin de réaliser notre oscillateur on va coupler les deux blocs suivant le montage suivant.



Q12) Démontrer que l'oscillateur de Wien vérifie l'équation différentielle de fonctionnement suivante :

$$\frac{d^2 v_{sf}}{dt^2} + (3 - A_{th})\omega_0 \frac{dv_{sf}}{dt} + \omega_0^2 v_{sf} = 0 \text{ où } \omega_0 = \frac{1}{RC}$$

Q13) Conclure sur le comportement de l'oscillateur en fonction des valeurs de A_{th} : $A_{th} < 3, A_{th} = 3$ et $A_{th} > 3$.

II-2) Etude de l'oscillateur quasi-sinusoidal

a) Condition d'oscillation sur R_2

Réaliser le montage. Pensez à ne pas connecter le GBF, cela oscille tout seul !

- Visualiser les tensions V_{ea} et V_{sa} à l'oscilloscope. Augmenter progressivement R_2 à partir de 10 kΩ jusqu'à l'apparition des oscillations pour la valeur $R_{2,a}$. Puis diminuer R_2 jusqu'à disparition des oscillations : soit $R_{2,b}$ cette valeur. On notera $R_{2,min} = \frac{R_{2,a} + R_{2,b}}{2}$ la valeur seuil d'apparition des oscillations. Donner le résultat obtenu avec son incertitude de type B.
- Comparer votre résultat à la valeur théorique.

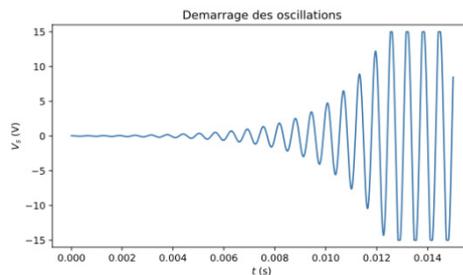
Q14) Pourquoi la condition d'oscillation est telle que A_{th} soit légèrement supérieur à 3. Expliquer de façon qualitative.

b) Incertitude type A

- Effectuer six fois la mesure de $R_{2,min}$ en alternant les membres du binôme. Calculer alors la valeur moyenne et l'incertitude de type A sur la mesure effectuée. Conclure.
- Afin d'étudier l'influence du matériel utilisé, et augmenter normalement la variabilité du résultat, on pourra récupérer six résultats supplémentaires d'un autre groupe, et donner le résultat $R_{2,min}$ avec son incertitude.

c) Observation des oscillations pour $A \gtrsim 3$

- Mesurer la fréquence des oscillations pour A légèrement supérieur à 3. Donner le résultat avec son incertitude.
- Comparer à la fréquence théorique. Donner l'incertitude de celle-ci à l'aide de l'incertitude sur R et sur C.
- Proposer un protocole expérimental afin d'observer la naissance des oscillations en augmentant petit à petit la résistance afin de dépasser le seuil de déclenchement.



d) Seuil d'oscillations

Le critère de Barkhausen donne une valeur seuil sur le gain de l'amplificateur. Suivant les différentes valeurs de A on observe différents types d'oscillation :

$Gain = \text{seuil} (A = 3)$	$Gain \gtrsim \text{seuil} (A \gtrsim 3)$	$Gain > \text{seuil} (A > 3)$
- ALI ne sature jamais.	- ALI sature sur des durées courtes.	- ALI sature sur des durées longues.
- Oscillations purement sinusoïdales.	- Oscillations quasi-sinusoidales.	- Oscillations non-sinusoidales.
- Pulsation $\omega = \omega_0$	- Pulsation $\omega \sim \omega_0$.	- Pulsation $\omega < \omega_0$.
- Inatteignable en pratique.	- Faible enrichissement spectral.	- Fort enrichissement spectral.

- Représenter le signal V_{sa} dans les trois cas mentionnés ci-dessus. Puis représenter la FFT de ce signal pour ces trois cas.

II-3) Enrichissement spectral

Afin de quantifier l'enrichissement spectral, on va introduire le taux de distorsion harmonique.

Document 3 : Le taux de distorsion harmonique (abrégié THD, total harmonic distortion en anglais)

Le THD est un indicateur de la qualité du traitement du signal dans un appareil. Il s'exprime en pourcentage. Le taux de distorsion harmonique est une mesure de la linéarité du traitement du signal effectuée en comparant le signal en sortie d'un appareil à un signal d'entrée parfaitement sinusoïdal. La non-linéarité du système déforme cette sinusoïde. Le signal de sortie reste un phénomène périodique. Un signal phénomène périodique peut s'analyser en une somme de sinusoïdes de fréquences multiples de celle donnant la période, appelée fréquence fondamentale. Chacune de ces sinusoïdes est un harmonique de rang égal au quotient de sa fréquence par la fréquence fondamentale. Le taux de distorsion harmonique est le rapport des valeurs efficaces entre la fréquence fondamentale et les autres. Le taux de distorsion harmonique d'un système varie avec le niveau et avec la fréquence du signal d'essai. Ces paramètres de la mesure doivent être spécifiés dans les procédures et les comptes-rendus.

$$THD = \frac{\sqrt{H_{2,V}^2 + H_{3,V}^2 + \dots + H_{k,V}^2}}{H_{1,V}}$$

Calculer le THD pour $R_{2,min}$ puis pour deux valeurs plus grandes du type $2R_{2,min}$ et $4R_{2,min}$ à l'aide du tableau suivant :

v_{sa}	$H_{1,V}$	$H_{3,V}$	$H_{5,V}$	$H_{7,V}$	THD
$R_{2,min}$		0	0	0	1
$2 R_{2,min}$					
$4 R_{2,min}$					

II-4) Stabilisation de l'amplitude

a) Rôle de la saturation

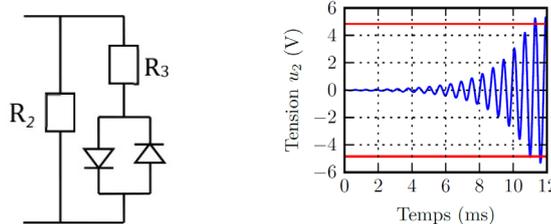
Dans l'étude d'un oscillateur, il faut distinguer deux étapes de fonctionnement bien distinctes.

- 1- La première est un état transitoire : c'est le démarrage des oscillations. Les signaux sont alors suffisamment faibles pour que l'amplificateur se comporte de façon linéaire. L'étude lors de cette phase se mène comme celle d'un système bouclé linéaire classique. On détermine dans quelles conditions l'ensemble étudié va bien pouvoir osciller.
- 2- La seconde est un état permanent : c'est le régime d'oscillation. Lors du démarrage, le signal oscillant va croître. Cependant, au-delà d'une certaine valeur de signal en entrée, l'amplificateur va se comporter de façon non-linéaire (saturation de l'ALI). Ce phénomène va stopper la croissance du signal oscillant et provoquer l'apparition d'harmoniques. Si l'on décompose le signal de sortie en série de Fourier seul le fondamental satisfait la condition d'oscillations et les harmoniques vont être fortement atténués. L'amplitude du fondamental devient ainsi moins prépondérante que celle qu'on aurait eu sans saturation au fur et à mesure que R_2 augmente.

Ce sont les non-linéarités qui fixent l'amplitude d'un oscillateur quasi-sinusoïdal.

b) Stabilisation par deux diodes têtes bèches.

Afin d'essayer de stabiliser l'amplitude de notre signal de sortie on va remplacer R_2 par le dispositif suivant :



Chaque diode (si idéale) conduit pendant une alternance du signal, ainsi :

- Quand le signal de sortie devient important, les diodes conduisent, mettant en parallèle les résistances R_2 et R_3 ce qui a pour effet de diminuer le gain A. La résistance équivalente dans ce cas s'écrit : $R_p = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = R_2 \left(\frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_3}} \right)$
- Pour un signal de sortie faible les diodes sont bloquées, la résistance équivalente reste dans ce cas : R_2 .

- Remplacer R_2 par le dispositif ci-dessus. Fixer une valeur de R_2 , par exemple $30 \text{ k}\Omega$ puis observer le rôle de R_3 en faisant varier celui-ci. On pourra observer la FFT.
- Choisissez R_3 de façon à avoir un signal V_{sa} d'amplitude 5V. Par rapport au graphe proposé cela correspond à placer les limites de linéarité (en rouge) à une valeur proche de 5V.
- Répéter l'opération pour une autre valeur de R_2 .