

TP 2 - Contrôle automatique de gain (CAG)

Le but de ce TP est d'étudier un JFET utilisé en résistance commandée dans un oscillateur sinusoïdal. Dans une première partie, on étudiera l'oscillateur à pont de Wien et le filtre, en faisant le lien avec les notions vues en asservissement, puis la mise en oeuvre du contrôle automatique de gain sera réalisée dans une seconde partie.

I. Etude de l'oscillateur à pont de Wien.

On considère le montage suivant :

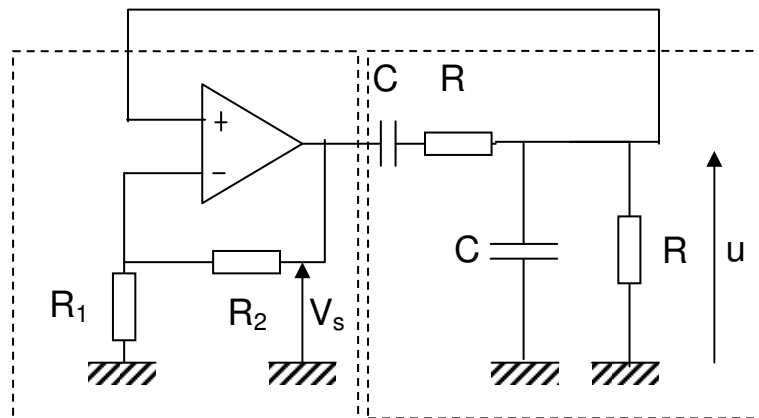


Figure 1 : oscillateur à pont de Wien.

On donne : $R=330\ \Omega$, $C = 10\ \text{nF}$, $R_1 = 100\ \Omega$.

Un tel montage est constitué :

- d'une chaîne directe amplificatrice de fonction de transfert K , composée d'un amplificateur opérationnel et des résistances R_1 et R_2
- d'une chaîne de retour, de fonction de transfert $H(j\omega)$, qui joue le rôle de filtre (passe-bande), cette chaîne étant composée d'un filtre RC du second ordre.

Un montage oscillateur peut être vu comme un asservissement instable (vu comme un montage à contre-réaction) ne comportant pas de consigne ($e = 0$), puisque le montage doit osciller quelle que soit l'entrée. Afin d'utiliser les outils vus en asservissement, nous allons nous ramener au schéma suivant :

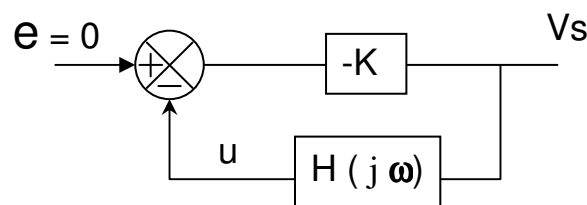


Figure 2 : schéma équivalent d'un oscillateur.

Mis sous cette forme, on peut aisément comprendre pourquoi un tel montage peut être utilisé comme oscillateur. En effet, nous avons vu en asservissement que sous certaines conditions, les montages peuvent être instables, c'est à dire oscillants. Il suffit donc de se placer dans de telles conditions, pouvant être étudiées par exemple à l'aide du critère de Nyquist.

1. Préparation : étude théorique

1.1 Déterminer la fonction de transfert $H(j\omega) = u / V_s$ de la chaîne de retour.

1.2 Déterminer le gain de la chaîne directe $K = V_s / u$

Afin de travailler sur un asservissement à retour unitaire, nous allons raisonner sur la grandeur de sortie u . La fonction de transfert en boucle ouverte est alors : $FTBO(j\omega) = -K \times H(j\omega)$.

1.3 Tracer le lieu de Nyquist de cette fonction de transfert et montrer qu'il s'agit d'un cercle situé dans la partie réelle négative. On pourra éventuellement s'aider d'un tableur en considérant un gain K unitaire. Une méthode asymptotique pourra aussi être menée. Pour affiner les résultats, on pourra utiliser la remarque située en fin de l'énoncé.

1.4 Montrer que le lieu de Nyquist passe par le point $(-K/3 ; 0)$ pour $\omega = \omega_0 = 1/(RC)$

1.5 En appliquant le critère de Nyquist, déduire la condition sur les résistances R_1 et R_2 pour avoir oscillation, et la fréquence des oscillations.

2. Manipulation

2.1 Câbler le filtre RC-RC : tracer le diagramme de Bode en amplitude. Conclure.

2.2 Câbler le montage de la figure 1 en remplaçant dans un premier temps la résistance R_2 par un potentiomètre de 1 k Ω . Vérifier la condition d'oscillation en augmentant progressivement la valeur du potentiomètre. Mesurer la valeur de la résistance du potentiomètre correspondant à l'apparition des oscillations (on déconnectera le potentiomètre du circuit). Conclusion ?

Placez-vous juste à l'apparition des oscillations. Comment est le signal ? (forme, fréquence)

Que se passe-t-il si on augmente la résistance R_2 ?

2.2 Remplacer le potentiomètre par une résistance R_2 de 470 Ω . Vérifier que le montage est bien oscillant. Quelle est la forme du signal et sa fréquence ?

Pour obtenir un signal sinusoïdal, la méthode la plus simple consiste donc à se placer juste à la condition d'oscillation. Cette méthode nécessite tout d'abord d'avoir des valeurs très précises des composants, permettant de s'approcher au maximum de la condition d'instabilité (ou nécessitant l'usage d'un potentiomètre, ce qui est une source de problèmes pour un fonctionnement stable en amplitude et en fréquence à long terme). Cette solution est peu reproductible. D'autre part, le vieillissement des composants impose de prendre une marge vis à vis de ces valeurs, dégradant ainsi la pureté spectrale. Une autre méthode consiste à adapter automatiquement le gain lorsque l'amplitude du signal devient trop grande : c'est le contrôle automatique de gain.

II. Etude du contrôle automatique de gain.

L'oscillateur précédent fournit un signal non sinusoïdal, dont la fréquence n'est pas la fréquence voulue (déterminée théoriquement). Afin d'obtenir un signal sinusoïdal, il faut éviter les non-linéarités en limitant l'amplitude du signal lorsque celle-ci devient trop importante. Il faut donc faire une contre réaction sur le gain K de la chaîne directe en fonction de la tension de sortie.

On propose les modifications suivantes :

- ajout d'une cellule permettant de détecter l'amplitude du signal (détection de crêtes). Cette cellule est composée d'une diode, et d'un filtre R'C'. Le but de cette cellule est de détecter la valeur minimale du signal de sortie V_s .
- la résistance R_1 est remplacée par un transistor JFET (on prendra un 2N4416 ou 2N3819), qui se comporte entre le drain et la source comme une résistance commandée par la tension V_{GS} , qui doit être négative (d'où la détection de la valeur minimale négative de V_s).

On rappelle que pour un JFET canal N : $R_{DS} = \frac{R_{DSon}}{1 - V_{GS}/V_T}$, avec $V_T < 0$.

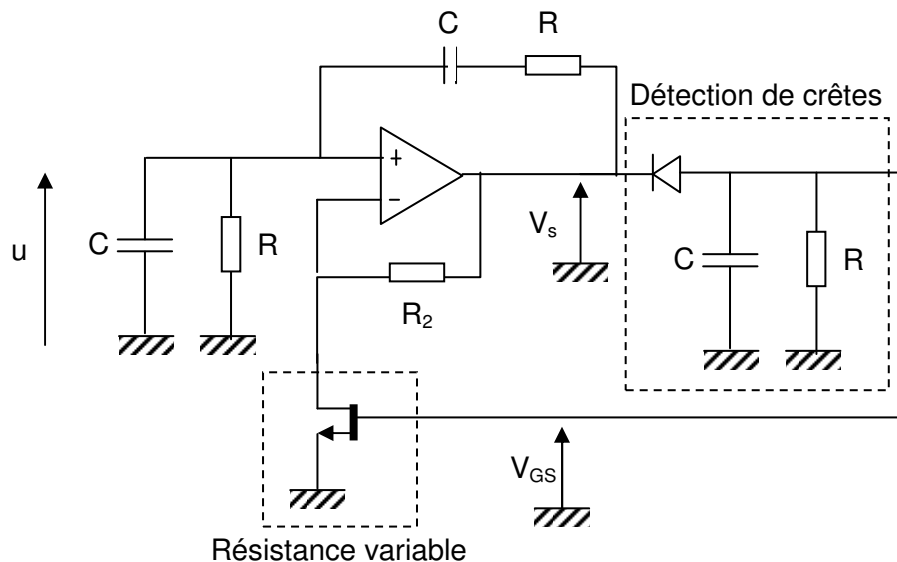


Figure 3 : schéma du contrôle automatique de gain dans un oscillateur à pont de Wien.

Le principe de ce montage est le suivant : la tension V_{GS} correspond à la valeur minimale (la plus négative) de la tension V_s . Cette tension permet ensuite de modifier la valeur de la résistance R_1 (via la résistance du JFET) et donc d'agir sur le gain K de la chaîne directe.

En effet, lorsque l'amplitude des oscillations augmente, la tension V_{GS} recueillie par le détecteur de crêtes diminue, entraînant une diminution du dénominateur de R_{DS} (ne pas oublier que $V_T < 0$). Ainsi, R_{DS} augmente (ie la résistance équivalente R_1 augmente) et le gain K diminue. L'amplitude de la tension V_s diminue. On a donc bien contre-réactionné le montage afin de limiter la tension de sortie.

Ce dispositif permet de rester dans une zone de fonctionnement quasi-linéaire et donc de rester sinusoïdal.

II.1 Etude du détecteur de crêtes.

On prend $R' = 10\text{ k}\Omega$ et $C' = 100\text{ nF}$.

1) Câbler le détecteur de crêtes et tester le montage isolé en injectant une tension sinusoïdale de forte amplitude (au moins 5V) provenant d'un GBF.

Balayer en fréquence : que constatez-vous ?

2) Choisir une fréquence de l'ordre de 50 kHz. Diminuer l'amplitude. La détection de crête se fait-elle correctement ? Expliquer l'origine de ce phénomène.

Que faudrait-il faire pour réaliser une détection correcte ? Proposez un montage (que l'on ne câblera pas).

II.2 Etude de l'oscillateur.

1) Câbler le schéma complet.

2) Que peut-on dire du signal (forme, fréquence) ? Conclusion ?

3) Faire l'analyse spectrale (soit à l'aide de l'oscilloscope soit en utilisant un analyseur de spectre) et comparer au montage sans JFET. D'où peut provenir l'harmonique 2 ?

ANNEXE : Argument d'un nombre complexe

Pour le calcul analytique de la phase, on n'oubliera pas que l'argument de $z = x + iy$ dépend du signe de la partie réelle :

$\text{Arg}(z) = \arctan(y/x)$ si $x > 0$

$\text{Arg}(z) = \arctan(y/x) + \pi$ si $x < 0$