

## TP - 13

# Oscillateurs électroniques

But du TP : Etude des oscillateurs électroniques. Nous allons commencer par l'étude de la stabilité d'un système électronique et par la suite l'étud expérimentale de quelques oscillateurs

### 13.1 Stabilité d'un système linéaire

#### 13.1.1 Montage

Pour étudier la stabilité d'un systèmes électronique linéaire, considérons le montage de la figure (13.1).

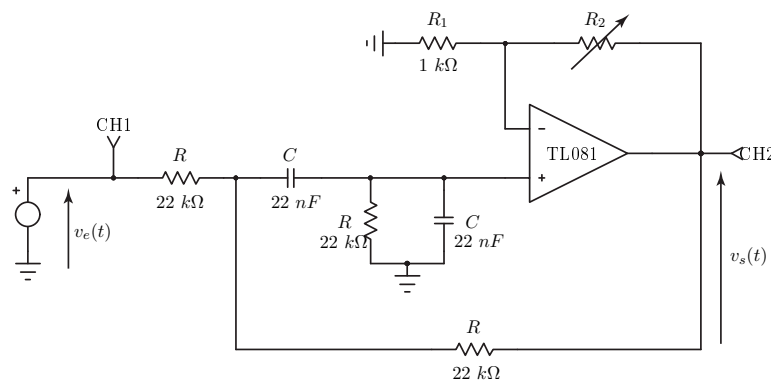


FIGURE 13.1 – Étude de la stabilité d'uns système électronique

#### 13.1.2 Étude théorique

↪ Montrer que la fonction de transfert opérationnelle du montage s'écrit :

$$\underline{H}(p) = \frac{G_0 \omega_0}{\sqrt{2}} \frac{p}{p^2 + (5 - G_0) \frac{\omega_0}{\sqrt{2}} p + \omega_0^2}$$

avec  $G_0 = 1 + R_2/R_1$  et  $\omega_0 = \sqrt{2}/RC$ .

↪ Déterminer l'expression des zéros  $\underline{p}_1$  et  $\underline{p}_2$  à priori complexes du dénominateur de la fonction de transfert.

↪ Montrer que  $\underline{p}_1$  et  $\underline{p}_2$  sont aussi les zéros de l'équation caractéristique associée à l'équation différentielle sans second membre. Quel régime est-t-il solution de cette équation ?

- ↪ Déterminer la valeur numérique de  $f_0 = 1/2\pi\omega_0$ .
- ↪ Pour quelle valeur critique  $R_{2c}$  de  $R_2$  les parties réelles de  $\underline{p}_1$  et  $\underline{p}_2$  peuvent-elles être positives ?
- ↪ Comparer les valeurs théoriques et expérimentales de  $f_0$  et  $R_{2c}$ .
- ↪ Conclure sur le rôle des pôles de la fonction de transfert opérationnelle d'un système physique linéaire permanent.
- ↪ Conclure sur le rôle du régime transitoire dans l'étude de la stabilité d'un système physique linéaire.

### 13.1.3 Étude expérimentale

- ☞ Réaliser soigneusement le montage de la figure (13.1).  $R_2$  est une boîte à décades.
- ☞ Régler le générateur basses fréquences de telle sorte à délivrer un signal d'excitation  $v_e(t)$  carré compris entre 0 et 1 V, de faible fréquence ( $f \approx 10$  Hz) et de rapport cyclique  $\alpha = 1/2$ . Régler l'oscilloscope de façon à ne voir qu'un front montant du signal.
- ☞ Pour une valeur  $R_2 = 3.75$  k $\Omega$ , observer et relever l'allure de la réponse indicielle  $v_s(t)$  à l'oscilloscope.
- ☞ Pour une valeur  $R_2 = 4$  k $\Omega$ , observer et relever l'allure de la réponse indicielle  $v_s(t)$  à l'oscilloscope. Lorsque cette tension est périodique, mesurer sa fréquence  $f_0$ .
- ☞ Pour une valeur  $R_2 = 4.25$  k $\Omega$ , observer et relever l'allure de la réponse indicielle  $v_s(t)$  à l'oscilloscope.
- ↪ Discuter les différents types de fonctionnement possibles du montage en fonction de la valeur de  $R_2$ .
- ↪ Quel est l'intérêt de l'étude indicielle ? Quelles précautions faut-il prendre ?
- ☞ Visualiser et enregistrer le régime transitoire du montage en fonction de  $R_2$  et mesurer quelques caractéristiques (ordre, amortissement...);
- ☞ Visualiser le spectre de Fourier du signal  $v_s(t)$  lorsqu'il est périodique ;

## 13.2 Oscillateurs Quasi-sinusoïdaux

### 13.3 Étude de la stabilité d'un système à pont de Wien

Nous abordons l'étude expérimentale de la stabilité des systèmes linéaires bouclés (avec mélangeur positif) sur le montage à pont de Wien (13.2).

#### 13.3.1 Réponse fréquentielle du montage en boucle ouverte

##### 13.3.1.1 Montage et réglages préliminaires

- ☞ Réaliser le montage de la figure (13.2).  $R_2$  est une boîte à décades.
- ☞ Régler le générateur basses fréquences de telle sorte à délivrer un signal d'excitation  $v_c(t)$  sinusoïdal purement alternatif, d'amplitude 1 V et de rapport cyclique  $\alpha = 1/2$ .
- ☞ Quelle est la nature de la chaîne directe ? De la chaîne de retour ? Les hypothèses de travail sont-elles respectées ?
- ☞ Analyser la nature du montage par un balayage en fréquence.

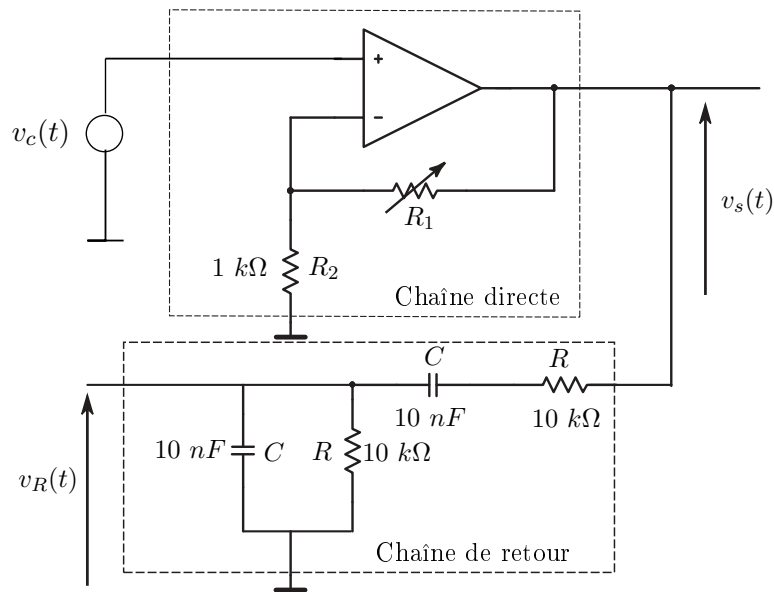


FIGURE 13.2 – Étude de la stabilité d’un oscillateur

### 13.3.1.2 Mesures

- ☞ Remplir un tableau de valeurs successivement pour  $R_2 = 1\text{ k}\Omega$ ,  $2\text{ k}\Omega$  puis  $3\text{ k}\Omega$ .

$f(\text{kHz})$	0,1	0,3	0,5	1	1,5	2	3	5	10	30
$V_R$ (V)										
$\varphi$ (rd)										
$G$ (dB)										
$\text{Re}[\underline{V}_R]$ (V)										
$\text{Im}[\underline{V}_R]$ (V)										

#### 13.3.1.2.1 Exploitations

- ☞ Pour chaque valeur de  $R_2$ , tracer sur une même feuille de papier semi-log les diagrammes de Bode du gain et de la phase pour le montage en boucle ouverte (en tout 3 feuilles).
- ☞ Pour chaque valeur de  $R_2$ , tracer sur une seule et même feuille de papier millimétré le diagramme de Nyquist correspondant.

### 13.3.1.3 Comportement du montage en boucle fermée

#### 13.3.1.3.1 Montage

- ☞ Reprendre le montage précédent et enlever le générateur basse fréquence. Relier la sortie  $Y_R$  de la chaîne de retour à l’entrée + de l’amplificateur opérationnel.

#### 13.3.1.3.2 Observations

- ☞ Observer à l’oscilloscope l’allure du signal  $v_s(t)$  pour les trois valeurs de  $R_2$ . Dans chaque cas, décrire le régime de fonctionnement du montage.

### 13.3.1.3.3 Discussion

- ✗ Analyser les régimes de fonctionnement du montage bouclé à l'aide des diagrammes de Bode et de Nyquist correspondants.
- ✗ En déduire un critère de fonctionnement stable du montage bouclé à partir de la transmittance en boucle ouverte.
- ✗ En déduire un critère de fonctionnement stable du système bouclé à partir des diagrammes de Bode du gain et de la phase de la transmittance en boucle ouverte.
- ✗ En déduire un critère de fonctionnement stable du système bouclé à partir du diagramme de Nyquist de la transmittance en boucle ouverte.
- ✗ Que deviennent ces critères si le mélangeur est négatif ?

## 13.3.2 Oscillateur à pont de Wien

### 13.3.2.1 Étude Expérimentale

**13.3.2.1.1 Montage** Le montage est celui de la figure (13.2). On enlève le générateur de commande et on relie la chaîne de retour à l'amplificateur en connectant  $Y_R$  à l'entrée + de l'AO. On a par ailleurs déjà étudié en bonne partie ce montage dans le paragraphe sur la stabilité des systèmes bouclés. Nous nous contentons donc de compléter les mesures.

#### 13.3.2.1.2 Mesures

- ☞ Déterminer la valeur critique  $R_{2c}$  de  $R_2$  pour laquelle des oscillations quasi-sinusoïdales prennent naissance dans le montage. On conservera désormais à  $R_2$  sa valeur critique.
- ☞ Observer l'allure des signaux en différents points du montage et expliquer d'éventuelles différences.
- ☞ Mesurer l'amplitude  $V_s$  des oscillations et leur fréquence  $f_0$ . Comparer ces mesures avec les résultats théoriques.

**13.3.2.1.3 Portrait de phase** On rappelle que le *portrait de phase* d'un oscillateur est la représentation dans le plan  $(v_s(t), \dot{v}_s(t))$  de la courbe  $\dot{v}_s(t) = f(v_s)$ .

- ☞ Connaissant la valeur de  $f_0$ , proposer un montage simple qui permette de visualiser à l'oscilloscope le portrait de phase de l'oscillateur de Wien .
- ☞ Réaliser ce montage et observer le portrait de phase de  $v_s(t)$ .
- ☞ Discuter les différentes caractéristiques du système à partir du portrait de phase (périodicité, linéarité...) pour différentes valeurs de  $R_2$ .

#### 13.3.2.1.4 Étude théorique du montage

- ↪ Déterminer l'équation différentielle vérifiée par  $v_s(t)$ .
- ↪ En déduire la condition de naissance des oscillations et la fréquence  $f_0$  de ces oscillations.
- ↪ Déduire ces conditions à partir de la transmittance en boucle ouverte.
- ↪ Expliquer quel élément du montage limite le fonctionnement de cet oscillateur aux basses fréquences (BF) :  $f < 100$  kHz.

### 13.3.2.2 Limitation de l'amplitude - CAG

**13.3.2.2.1 Présentation** Nous avons vu qu'une théorie entièrement linéaire rendait impossible la prévision de l'amplitude  $V_s$  des oscillations qui prennent naissance dans le montage lorsque  $R_2 = R_{2c}$ . L'expérimentation montre qu'en pratique les saturations de l'AO limitent l'amplitude  $V_s$  à  $V_{sat}$ . Le signal présente alors une légère distorsion harmonique et son amplitude est fixe.

Nous proposons d'utiliser ici un dispositif *non linéaire* comportant un transistor à effet de champ, qui permet de contrôler l'amplitude  $V_s$  des oscillations de sortie.

#### 13.3.2.2.2 Montage

- ☞ Modifier le montage initial afin d'obtenir celui de la figure (13.3).
- ☞  $R_d$  est une boîte AOIP  $\times 10k$  dont le point milieu est branché sur la grille du TEC.
- ☞ On prendra  $R_2 = 3 k\Omega$ .

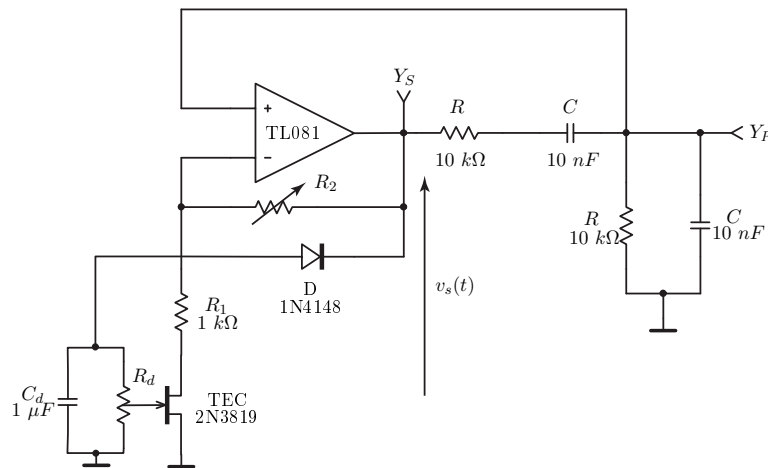


FIGURE 13.3 – Oscillateur de Wien avec contrôle automatique du gain (CAG)

### 13.3.3 Oscillateur à résistance négative

#### 13.3.3.1 Étude expérimentale

- ☞ Le montage à réaliser est celui de la figure (13.4).
- ☞ On a ajouté une résistance supplémentaire  $r_0$  de  $1 k\Omega$  pour faciliter les mesures.
- ☞ La résistance réglable  $R$  est une boîte à décades.
- ☞ On utilise une bobine d'induction ( $L, r$ ) sans noyau. La résistance  $r$  est la résistance d'enroulement de la bobine.

##### 13.3.3.1.1 Analyse qualitative

- ↪ Quelle serait la fréquence d'oscillation du circuit  $r, L, C$  seul ?
- ↪ Quel serait le régime transitoire du circuit  $(r + r_0), L, C$  ?
- ↪ Quel est le rôle du dipôle actif compris entre le point N et la masse ?

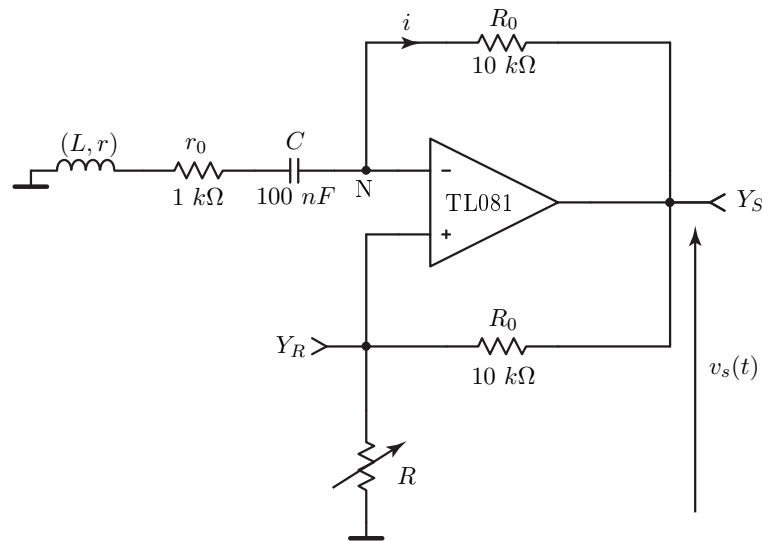


FIGURE 13.4 – Oscillateur à résistance négative

### 13.3.3.1.2 Équation différentielle

- ↳ Établir l'équation différentielle satisfaite par  $v_s(t)$ .
- ↳ En déduire la condition de naissance des oscillations et leur fréquence  $f_0$ .
- ↳ Expliquer quel élément du montage limite le fonctionnement de cet oscillateur aux basses fréquences (BF) :  $f < 100$  kHz.

### 13.3.3.1.3 Système bouclé

- ↳ Montrer que le montage à résistance négative peut se mettre sous la forme d'un système bouclé où l'on identifiera une chaîne directe composée d'un filtre actif stable et une chaîne de retour passive constituée d'un pont diviseur de tension.
- ↳ En déduire les conditions de fréquence et d'oscillation à partir du critère de Barkhausen.

### 13.3.3.1.4 Mesures en boucle ouverte

- ↳ Ouvrir la boucle de retour et connecter un générateur de tension sinusoïdale au filtre actif. On ajustera l'amplitude du signal pour ne pas saturer l'amplificateur opérationnel.
- ↳ Déterminer la fréquence du GBF pour laquelle  $\text{Im}[T] = 0$ .
- ↳ Pour la fréquence précédente, déterminer la position du diagramme de Nyquist pour  $R = 500 \Omega$ ,  $1100 \Omega$  et  $1500 \Omega$ . Conclure sur le fonctionnement du montage.

### 13.3.3.1.5 Mesures en boucle fermée

- ↳ Mesurer la résistance d'enroulement statique  $r_0$  de la bobine.
- ↳ Vérifier expérimentalement les conditions de naissance et de fréquence des oscillations :  $R = \dots\dots\dots$  et  $f_0 = \dots\dots\dots$  pour les valeurs suivantes de  $C$  :  $100$  nF,  $22$  nF,  $10$  nF et  $4,7$  nF.
- ↳ Que vaut l'amplitude des oscillations dans chacun des cas précédents ?
- ↳ Comment varie  $R$  avec la fréquence d'oscillation  $f_0$  ? Comment peut-on expliquer ce phénomène ?
- ↳ Représenter sommairement l'allure de  $r = r(\omega)$ .

- ☞ Pour  $C = 100 \text{ nF}$ , observer le régime de fonctionnement du circuit pour  $R = 500 \Omega$ ,  $1100 \Omega$  et  $1500 \Omega$ .  
Conclure.