

Oscillateurs sinusoïdaux

Pour les aspects théoriques, on pourra utilement se référer au diaporama « **Les oscillateurs sinusoïdaux** ».

L'oscillateur sinusoïdal est un système bouclé placé volontairement dans un état d'instabilité.

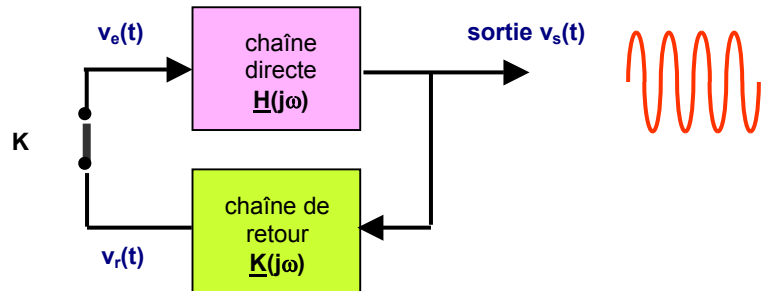
Il est constitué de deux étages reliés en boucle (quand K est fermé et donc $v_e(t) = v_r(t)$) :

- une chaîne directe $\underline{H}(j\omega)$ à AOp ou à transistor, apportant de l'amplification
- un quadripôle de réaction $\underline{K}(j\omega)$ présentant une résonance (L,C, résonateur piézo, quartz ...)

gain de boucle :

$$\underline{T}(j\omega) = \underline{H}(j\omega)\underline{K}(j\omega) = \frac{V_r(j\omega)}{V_e(j\omega)}$$

K ouvert : système en boucle ouverte
K fermé : oscillateur



Pour qu'un système bouclé oscille, il faut qu'il existe une fréquence f_0 ou une pulsation ω_0 pour laquelle le gain de boucle soit égal à 1 : c'est la **condition de Barkhausen** :

$$\underline{T}(j\omega_0) = \underline{H}(j\omega_0)\underline{K}(j\omega_0) = 1$$

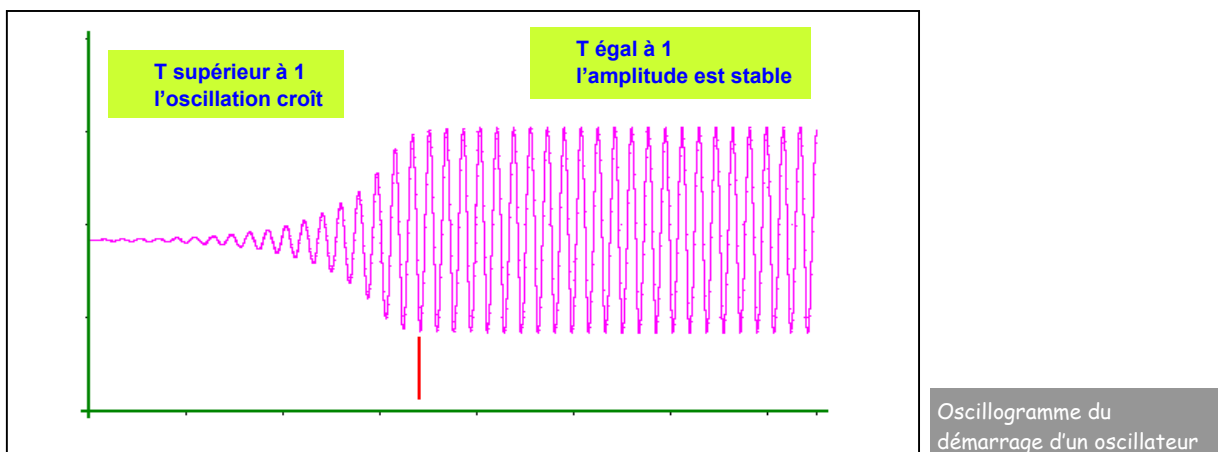
qui se traduit en pratique par deux conditions :

- à la fréquence d'oscillation f_0 , l'amplification de la boucle doit être égale à 1 (ou 0 dB) : **condition de gain**
- à la fréquence d'oscillation f_0 , le déphasage total de la boucle doit être nul : **condition de phase**

L'objectif du TP est de se familiariser avec le fonctionnement de deux oscillateurs différents :

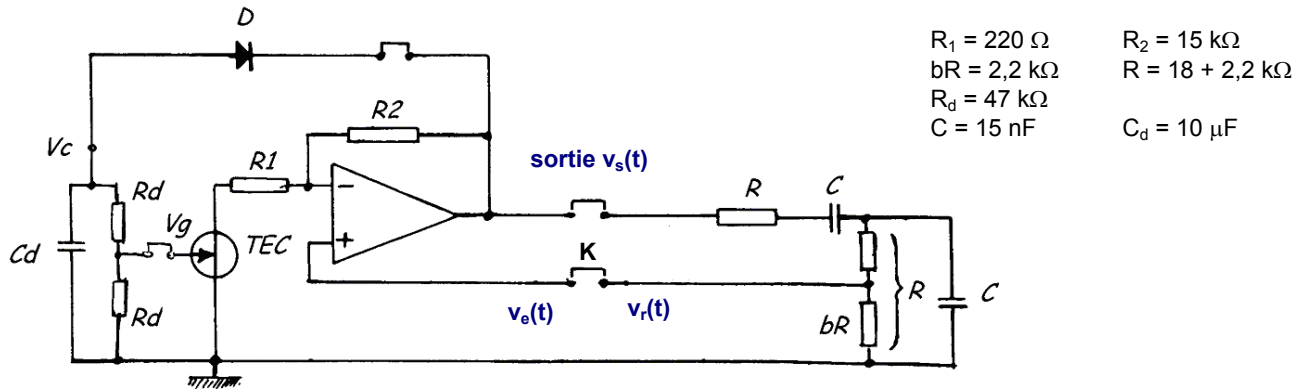
- un oscillateur **à pont de Wien** à AOp qui produit un signal de fréquence basse (500 Hz environ)
- un oscillateur **Pierce** à TEC qui travaille à fréquence plus élevée (2 MHz environ)

et de vérifier que la condition de Barkhausen est bien satisfaite quand les systèmes oscillent.



NB : pour toutes les mesures, on restera à des niveaux suffisamment faibles pour être en régime linéaire, c'est-à-dire pour avoir une tension de sortie à peu près sinusoïdale !

► Oscillateur à pont de Wien



Activité 1 : analyse de la structure

Sur la photo de l'oscillateur, entourer les composants formant la chaîne directe $H(p)$ et la chaîne de retour $K(p)$.

Le TEC fonctionne en résistance variable et présente entre drain et source une résistance R_{DS} dépendant de la tension V_{GS} appliquée sur sa grille. Les composants D , C_d et R_d forment un détecteur crête négative + diviseur de tension.

Ecrire l'expression de l'amplification A du montage à AOP en fonction de R_1 , R_2 et R_{DS} .

L'interrupteur K est ouvert, le système est donc en boucle ouverte. Avec un GBF, injecter un signal $v_e(t)$ sinusoïdal d'amplitude 50 mV RMS et de fréquence 1 kHz, et relever les oscillogrammes permettant, selon vous, d'expliquer le fonctionnement de la chaîne directe. Mesurer l'amplification du montage pour ce niveau injecté.

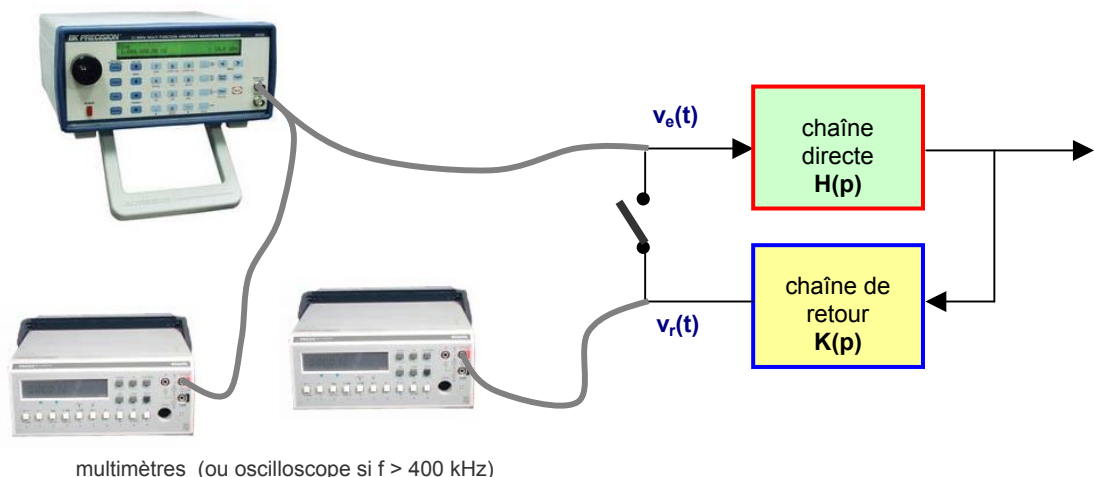
Refaire une mesure de l'amplification pour un niveau de $v_e(t)$ de 150 mV RMS et montrer que l'amplification a changé.

Pour le réseau en pont de Wien (composants R , bR et C), on montre que la tension $v_r(t)$ est en phase avec la tension $v_s(t)$ pour la fréquence $f_1 = 1/2\pi RC$. En déduire une première estimation f_1 de la fréquence d'oscillation, en justifiant le type de montage utilisé pour l'AOp.

Activité 2 : étude du gain de boucle

L'interrupteur K reste ouvert, le système est toujours en boucle ouverte.

Injecter avec un GBF un signal $v_e(t)$ sinusoïdal d'amplitude 50 mV RMS et relever le module de la transmittance $|I(j\omega)|$ du système pour $100 \text{ Hz} < f < 2 \text{ kHz}$. Repérer soigneusement la fréquence f_2 où l'argument est nul et mesurer l'argument à deux autres fréquences, de part et d'autre de ce point.



multimètres (ou oscilloscope si $f > 400 \text{ kHz}$)

Tracer la courbe de gain et le petit bout de courbe de phase correspondante. Existe-t-il un point où la condition d'oscillation (gain et phase) est satisfaite ?

Activité 3 : courbe de linéarité du système

On se place à la fréquence f_2 où la condition de phase est réalisée et on s'intéresse à l'évolution de l'amplification de boucle en fonction du niveau du signal.

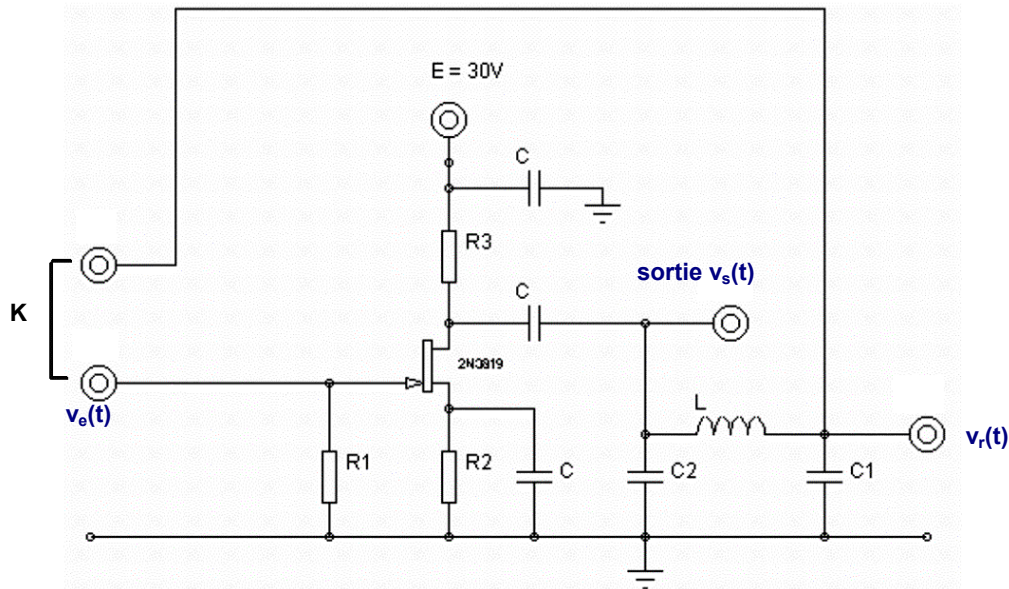
Faire varier le niveau de $v_e(t)$ entre 0 et 200 mV RMS et mesurer l'amplification T du système en boucle ouverte. Tracer la courbe de linéarité $V_{\text{reff}} = f(V_{\text{eff}})$ en y plaçant le point remarquable correspondant à $T = 1$.

Conclure en prévoyant les caractéristiques (fréquence f_2 , amplitude) du signal qui sera produit quand le système sera bouclé en fermant l'interrupteur K.

Activité 4 : conclusion : caractéristiques de l'oscillation

Fermer K et vérifier que le système oscille. Mesurer les amplifications de la chaîne directe et de la chaîne de retour. Mesurer les caractéristiques du signal produit : fréquence f_3 , amplitude, distorsion.

Comparer le résultat aux prévisions déduites des activités précédentes et commenter.

► Oscillateur Pierce

- $R_1 = 100 \text{ k}$
- $R_2 = 3,9 \text{ k}$
- $R_3 = 10 \text{ k}$
- $C = 100 \text{ nF}$ ou plus
- $C_1 = 220 \text{ pF}$
- $C_2 = 100 \text{ pF}$
- $L = 100 \text{ } \mu\text{H}$

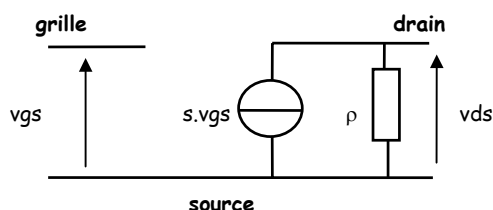
Activité 5 : analyse de la structure

Le TEC est monté en amplificateur, et le quadripôle de réaction est constitué par L , C_1 et C_2 .

Sur la photo de l'oscillateur, entourer les composants formant la chaîne directe $H(p)$ et la chaîne de retour $K(p)$.

Sachant que la fréquence de fonctionnement de l'oscillateur se situe vers les 2 MHz, montrer que les condensateurs C peuvent être assimilés à des court-circuits. Peut-on dire la même chose de C_1 et C_2 ?

Le TEC est représenté par le modèle classique suivant :



- on appelle s la pente du TEC en mAV
- on pose : $R = R_3$ en parallèle avec ρ

Dessiner le schéma équivalent en petits signaux du montage en y faisant apparaître $\underline{V}_e(j\omega)$, $\underline{V}_s(j\omega)$ et $\underline{V}_r(j\omega)$.

A partir du schéma équivalent « petits signaux », on montre que la transmittance de boucle s'écrit :

$$\underline{T}(j\omega) = -s.R \frac{1}{1 - LC_1\omega^2 + j\omega R (C_1 + C_2).(1 - L \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \omega^2)}$$

La condition de phase implique que la transmittance de boucle soit réelle à la fréquence d'oscillation. Peut-on trouver facilement la pulsation ω_4 qui rend la transmittance réelle ? Calculer la fréquence f_4 correspondante. Commenter.

Activité 6 : étude du gain de boucle

L'interrupteur K étant ouvert, injecter avec un GBF un signal $v_e(t)$ sinusoïdal d'amplitude 100 mV RMS et relever le module de la transmittance de boucle $\underline{T}(j\omega)$ du système dans une bande allant de 1 à 3 MHz. Repérer soigneusement la fréquence f_5 où l'argument est nul et mesurer l'argument à deux autres fréquences, de part et d'autre de ce point.

Remarques importantes :

- on s'assurera avant de démarrer les relevés que **le signal de sortie n'est pas déformé** sur toute la plage de fréquence étudiée
- on utilisera une sonde d'oscilloscope à faible capacité ($1/10^{\text{ème}}$) pour le relevé de $v_r(t)$ afin de minimiser la perturbation apporté par la capacité du câble de mesure branché en parallèle avec C_1 .

Tracer la courbe de gain et le petit bout de courbe de phase correspondante. La condition de gain est-elle satisfaite à la fréquence f_5 ?

Activité 7 : courbe de linéarité du système

On se place à la fréquence f_5 où la condition de phase est réalisée et on s'intéresse à l'évolution de l'amplification de boucle en fonction du niveau du signal.

Faire varier le niveau de $v_e(t)$ dans la plage qu'on jugera utile et mesurer l'amplification T du système en boucle ouverte. Tracer la courbe de linéarité $V_{\text{reff}} = f(V_{\text{eff}})$ en y plaçant le point remarquable correspondant à $T = 1$.

Conclure en prévoyant les caractéristiques (fréquence f_5 , amplitude) du signal qui sera produit quand le système sera bouclé en fermant l'interrupteur K.

Activité 8 : conclusion : caractéristiques de l'oscillation

Fermer K et vérifier que le système oscille. Mesurer les amplifications de la chaîne directe et de la chaîne de retour. Déterminer les caractéristiques du signal produit : fréquence f_5 , amplitude, distorsion.

Comparer le résultat aux prévisions déduites des activités précédentes et commenter.

Activité 9 : démarrage des oscillations

Un oscillateur ne peut démarrer que si sa transmittance de boucle est supérieure à 1 à la fréquence où le déphasage est nul. Cette condition est-elle vérifiée pour les deux oscillateurs étudiés ?

A l'aide de la courbe de linéarité, expliquer ce qui se passe durant le démarrage de l'un des deux oscillateurs.

Activité 10 : stabilité des oscillations

Afin d'avoir une idée de la stabilité de l'oscillateur Pierce vis-à-vis des fluctuations de la tension d'alimentation, relever les variations de sa fréquence d'oscillation en fonction de la tension d'alimentation (on se limitera pour E à 40V).

Estimer l'erreur relative sur la fréquence d'oscillation entre 15 et 40 V.

▶ Oscillateurs sinusoïdaux : réponses

Rédacteur :

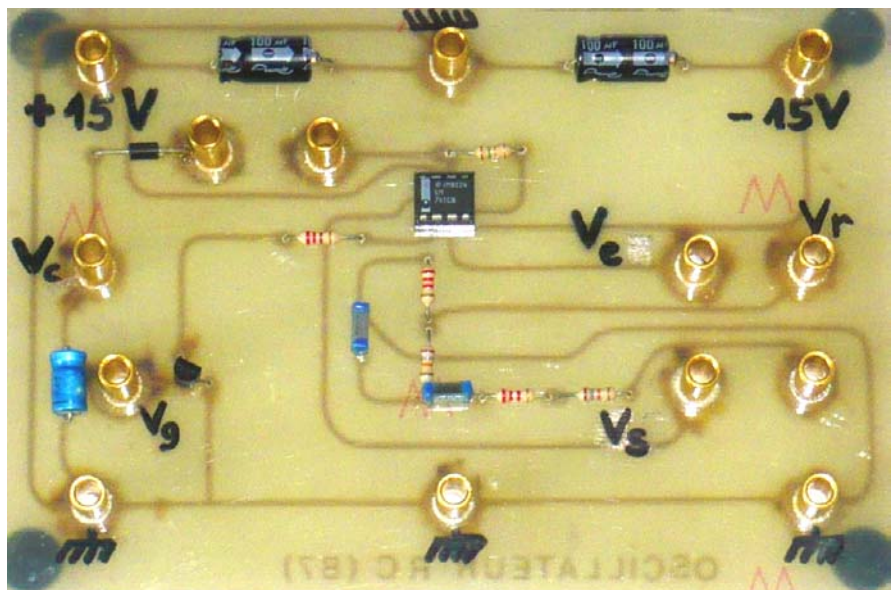
Binôme :

Date :

Oscillateur à pont de Wien

Activité 1 : analyse de la structure

Composants formant la chaîne directe $H(p)$ et la chaîne de retour $K(p)$:



Amplification A du montage à AOP : $A =$

⇒ **Fonctionnement de la chaîne directe** : > voir courbes n°

Explications :

.....

.....

- amplification 1 : $V_e =$ $V_r =$ $T_1 =$
- amplification 2 : $V_e =$ $V_r =$ $T_2 =$

Commentaire :

.....

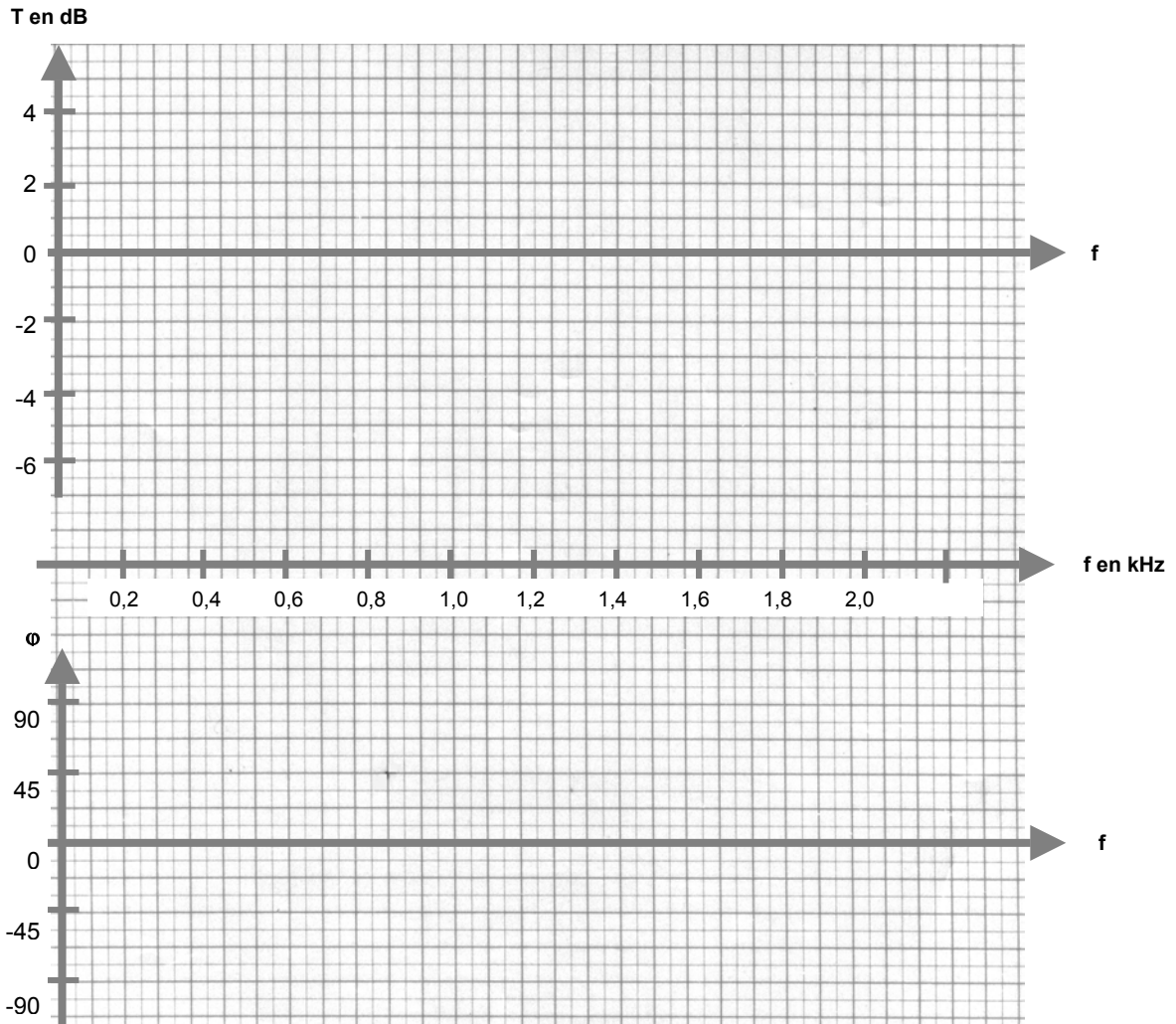
Je pense que le montage va osciller à la fréquence $f_1 =$ car, à cette fréquence

.....

.....

Activité 2 : étude du gain de boucle

f												
V_e												
V_r												
T												
T (dB)												
ϕ												



- la condition de phase est satisfaite à $f_2 = \dots\dots\dots$ et la condition de gain est satisfaite : oui non
- la condition de gain est satisfaite à $f_2 = \dots\dots\dots$ et la condition de phase est satisfaite : oui non
- la condition de gain est satisfaite à $f'_2 = \dots\dots\dots$ et la condition de phase est satisfaite : oui non

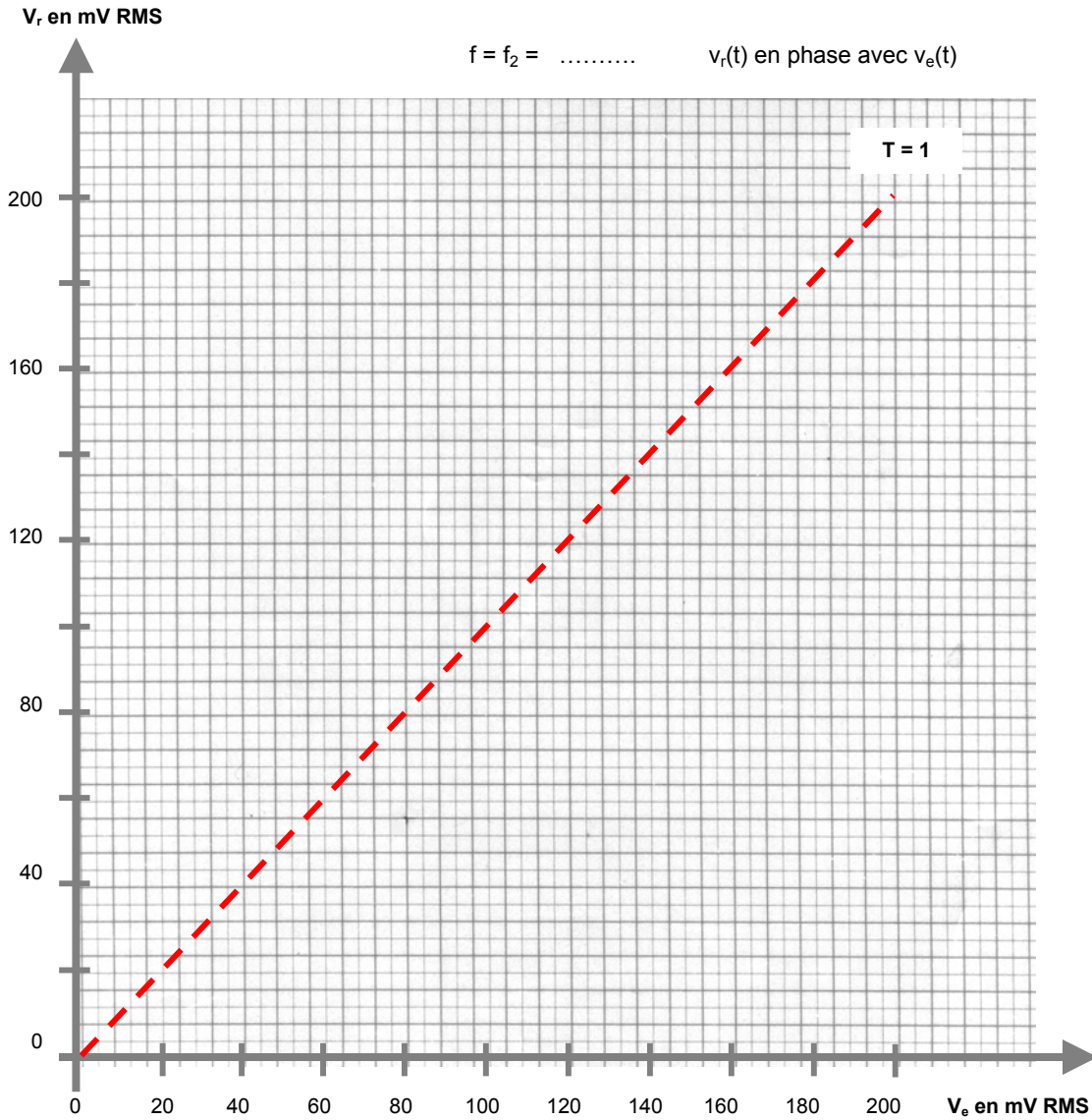
Conclusion :

.....

.....

Activité 3 : courbe de linéarité du système

V_e	0											
V_r	0											
T	-----											



La condition de gain peut être satisfaite : oui, à $V_e = \dots\dots\dots$ non

Conclusion : on prévoit que le système, une fois bouclé (K fermé) va osciller

- à la fréquence $f_0 = \dots\dots\dots$ car la condition de phase est alors satisfaite
- avec une amplitude $V_r = \dots\dots\dots$ car la condition de gain est alors satisfaite

Activité 4 : conclusion : caractéristiques de l'oscillation

Le système produit une sinusoïde de fréquence $f = \dots\dots\dots$ et d'amplitude $V_e = \dots\dots\dots$

⇒ **Spectre du signal produit :** > voir courbe n° distorsion : $d = \dots\dots\dots$

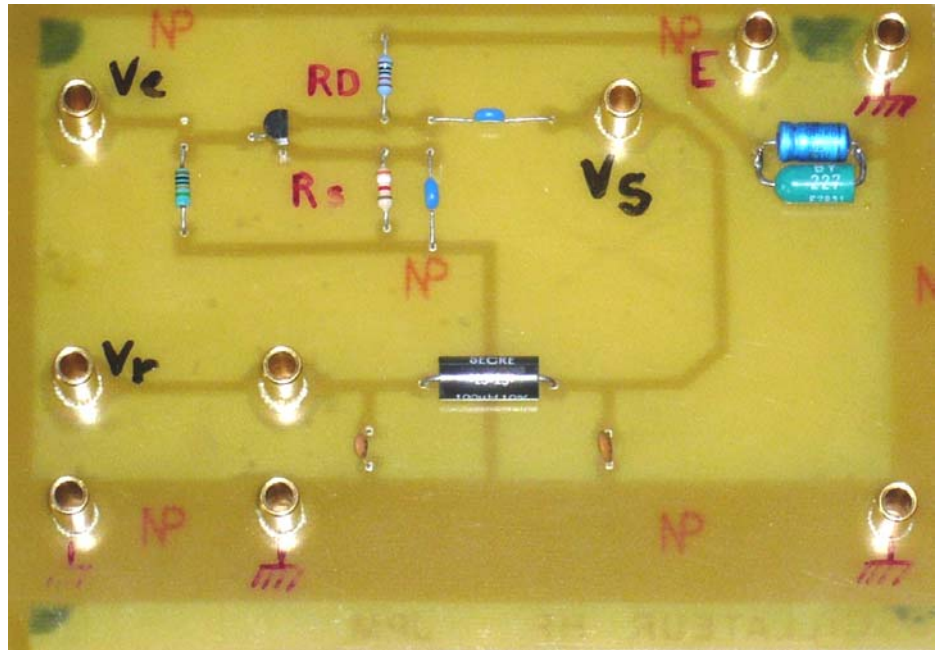
Conclusion :

.....

Oscillateur Pierce

Activité 5 : analyse de la structure

Composants formant la chaîne directe $H(p)$ et la chaîne de retour $K(p)$:



- impédances des condensateurs C : $Z_C =$
- impédance du condensateur C_1 : $Z_{C1} =$
- impédance du condensateur C_2 : $Z_{C2} =$

Conclusion :

.....

Schéma équivalent en petits signaux du montage :

La transmittance devient réelle si :

Application numérique : $\omega_4 =$ soit $f_4 =$

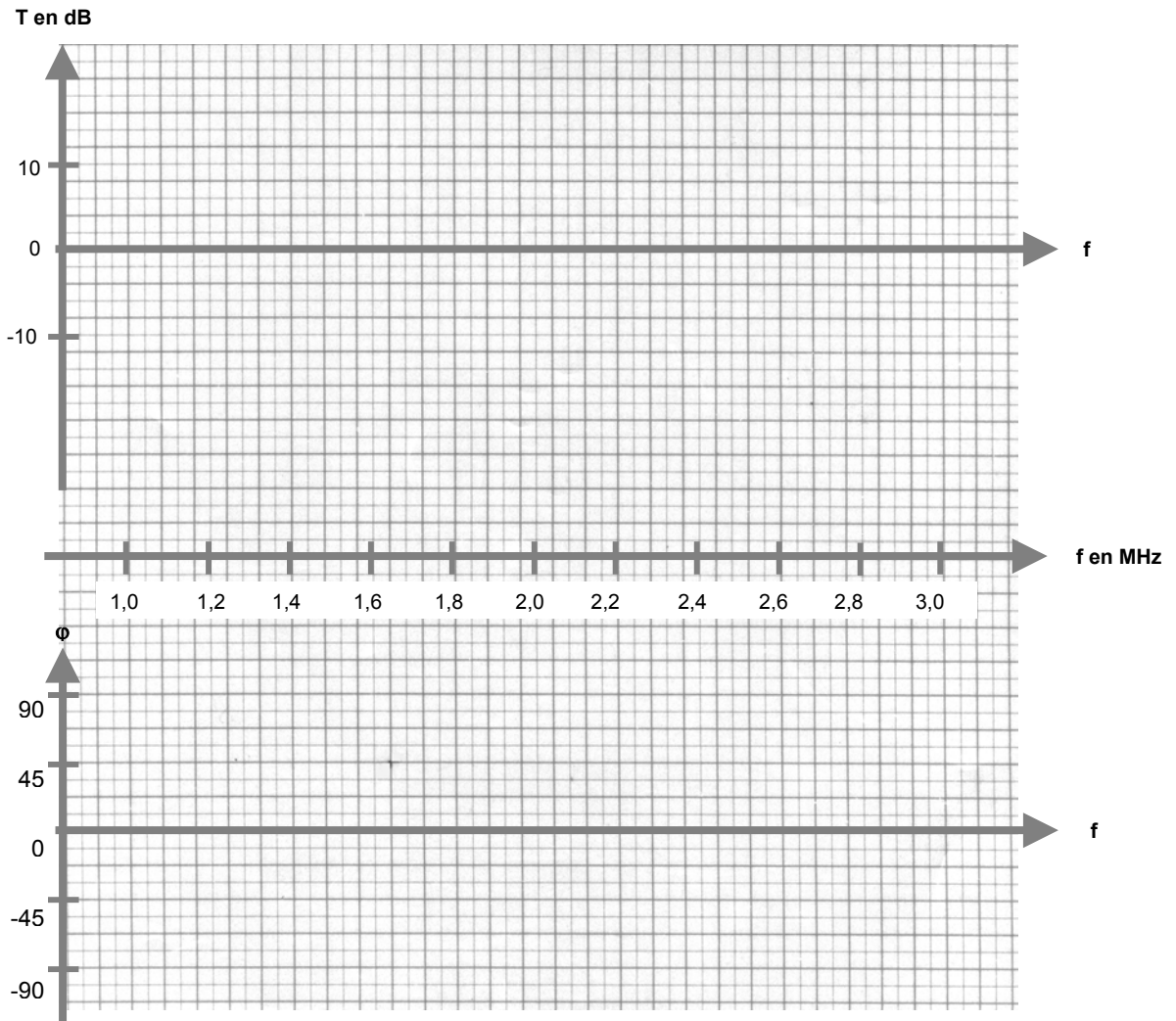
Conclusion :

.....

Activité 6 : étude du gain de boucle

Valeurs relevées avec $V_e = \dots\dots\dots$

f												
V_e												
V_r												
T												
T (dB)												
ϕ												



- la condition de phase est satisfaite à $f_5 = \dots\dots\dots$ et la condition de gain est satisfaite : oui non
- la condition de gain est satisfaite à $f_5 = \dots\dots\dots$ et la condition de phase est satisfaite : oui non

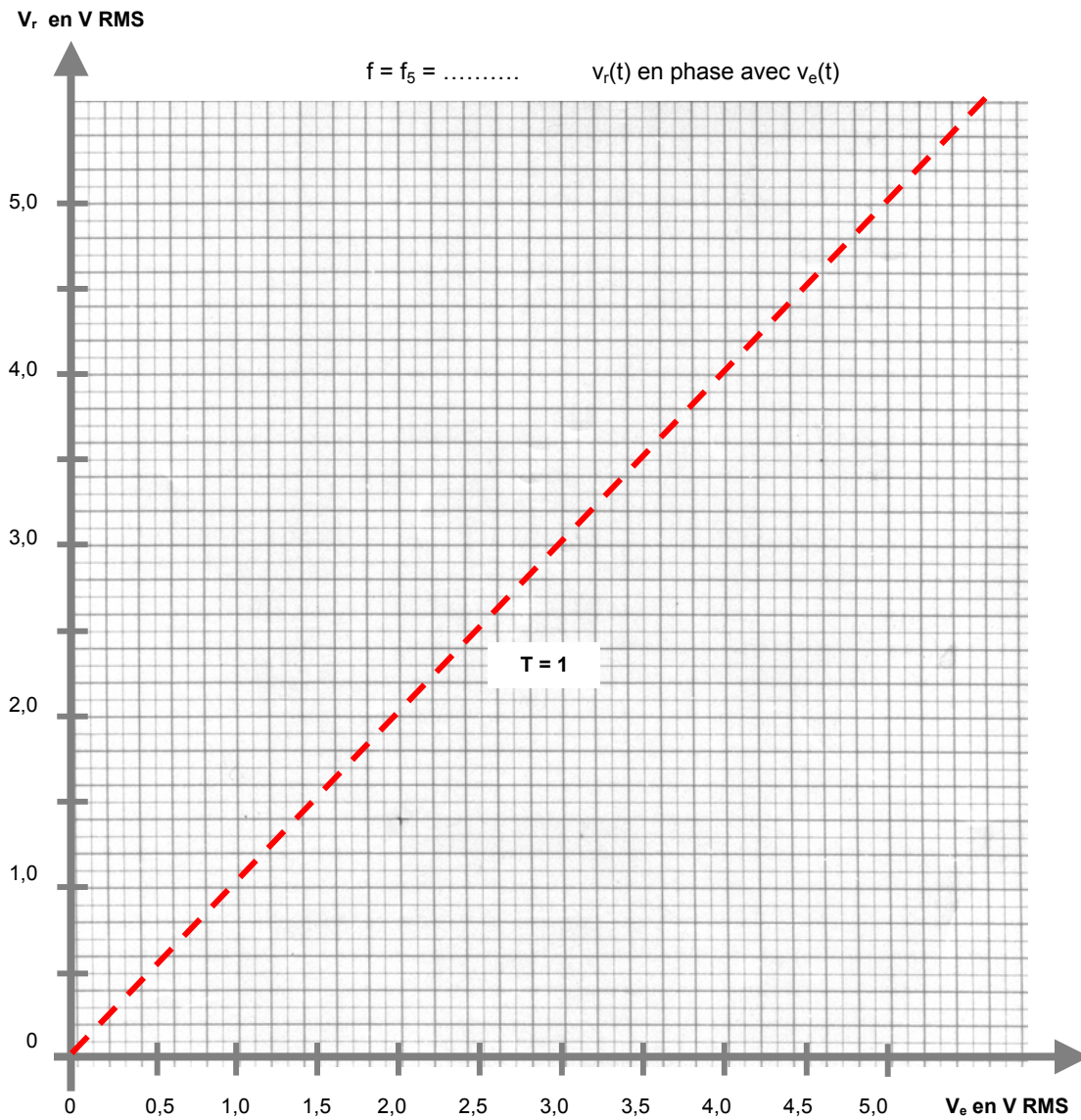
Conclusion :

.....

.....

Activité 7 : courbe de linéarité du système

V_e	0											
V_r	0											
T	-----											



La condition de gain peut être satisfaite : oui, à $V_e = \dots\dots\dots$ non

Conclusion : on prévoit que le système, une fois bouclé (K fermé) va osciller

- à la fréquence $f_5 = \dots\dots\dots$ car la condition de phase est alors satisfaite
- avec une amplitude $V_r = \dots\dots\dots$ car la condition de gain est alors satisfaite

Activité 8 : conclusion : caractéristiques de l'oscillation

Le système produit une sinusoïde de fréquence $f_0 = \dots\dots\dots$ et d'amplitude $V_e = \dots\dots\dots$

⇒ **Spectre du signal produit** : > voir courbe n° $\dots\dots\dots$ distorsion : $d = \dots\dots\dots$

Conclusion : $\dots\dots\dots$
 $\dots\dots\dots$

Activité 9 : démarrage des oscillations

Oscillateur à pont de Wien :

- pour $V_e = \dots\dots\dots$ on a $T = 1$
- pour $V_e = \dots\dots\dots$ on a $T = \dots\dots\dots$ donc $T > 1$, la condition de démarrage est vérifiée

Oscillateur Pierce :

- pour $V_e = \dots\dots\dots$ on a $T = 1$
- pour $V_e = \dots\dots\dots$ on a $T = \dots\dots\dots$ donc $T > 1$, la condition de démarrage est vérifiée

Explication : $\dots\dots\dots$
 $\dots\dots\dots$
 $\dots\dots\dots$

Activité 10 : stabilité des oscillations

E										
f										

Entre $E = 15V$ et $E = 40V$:

- la variation de fréquence est de : $\Delta f = \dots\dots\dots$
- la variation relative de fréquence est de : $\Delta f/f = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \%$

Conclusion : $\dots\dots\dots$
 $\dots\dots\dots$