

Oscillateurs sinusoïdaux

2007

Jean-Paul Guillois

<http://pagesperso-orange.fr/jp-tech/>

A PRELIMINAIRES

I - SOMMAIRE

A PRELIMINAIRES.....2

I - SOMMAIRE 2

II - INDEX 2

III - MISES EN GARDE 2

B OSCILLATEUR A PONT DE WIEN3

PREREQUIS 3

IV - INTRODUCTION..... 3

V - OSCILLATEUR A PONT DE WIEN..... 3

V.1 - Principe 3

V.2 - Étude de la chaîne directe 4

V.2.1 - Étude théorique de l'amplificateur 4

V.2.2 - Conséquences sur la boucle de réaction 4

V.3 - Réalisation de la boucle de réaction 4

V.3.1 - Étude théorique du pont de Wien. 4

V.3.2 - Fonction de transfert du pont de Wien..... 5

V.4 - Système complet en boucle ouverte 6

V.5 - Système complet en boucle fermée 6

V.5.1 - Réalisation du circuit 6

V.5.2 - Performances de l'oscillateur 7

V.5.2.1 - Principe 7

V.5.2.2 - Mesure..... 7

C OSCILLATEUR COLPITTS 8

SCHEMA..... 8

VI - RESULTATS THEORIQUES 8

VII - ÉTUDE PRATIQUE 8

II - INDEX

boucle de réaction..... 3	distorsion harmonique..... 7
chaîne directe..... 3	oscillateur..... 3
condition d'oscillation..... 3	oscillateur à pont de Wien..... 4
distorsion 7	taux global de distorsion harmonique 7

III - MISES EN GARDE

Les erreurs sont humaines et font partie de l'apprentissage. Elles sont donc tolérées à condition :

- qu'elles ne soient pas la conséquence d'une attitude délibérément inconvenante,
- qu'elles n'induisent pas des dommages corporels,
- qu'elles n'entraînent pas des coûts prohibitifs au laboratoire,
- qu'elles soient aussi accompagnées de succès.

Aussi est-il demandé de porter une attention particulière aux consignes suivantes :

- avant toute mise sous tension du circuit sous tests s'assurer :
 - que les tensions délivrées par les générateurs (continus et/ou alternatifs) sont compatibles avec les circuits alimentés,
 - qu'une résistance ajustable mise à zéro ne conduit pas à un court-circuit.
- avant toute manipulation sur le montage : éteindre les alimentations (continues et alternatives) sans toutefois en modifier les réglages,
- une odeur de bakélite chaude doit immédiatement attirer votre attention et conduire à :
 - l'extinction des alimentations,
 - une demande d'intervention du chef de travaux.

Nous vous souhaitons une agréable manipulation.

B OSCILLATEUR A PONT DE WIEN

PREREQUIS

On suppose connues :

- l'utilisation et les propriétés de l'amplificateur opérationnel (AOP) simple (μA 741 par exemple),
- les lois de l'électrocinétique des composants passifs tels que la self-inductance, la capacité et la résistance,
- les lois de Kirchoff,
- les lois des systèmes du second ordre.

Les cours :

- [Signaux et systèmes linéaires continus -Théorie-](#)
- [Signaux et systèmes linéaires continus -Exemples-](#)

proposent au lecteur, entre autres, l'ensemble des théories mises en œuvre dans la suite. Voir le site :

<http://pagesperso-orange.fr/jp-tech/>

IV - INTRODUCTION

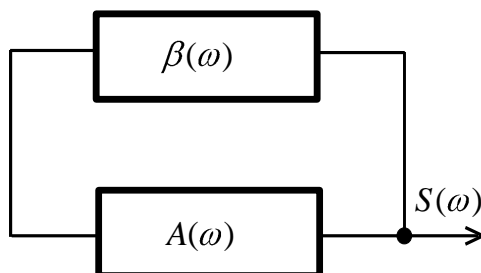
Un **oscillateur** est un système instable à une fréquence donnée. En cela il contrarie l'attention apportée à la stabilité dans l'étude des systèmes. En d'autres termes cette instabilité fait qu'il délivre spontanément une tension sinusoïdale sans aucune sollicitation extérieure. On dit qu'il oscille. Notons que le réseau de distribution en énergie électrique à 50 Hz n'a pas pour origine un oscillateur mais un système (machine tournante) obéissant à une entrée sinusoïdale (rotation d'inducteurs). En revanche un onduleur est un oscillateur.

Applications : générateurs de tension sinusoïdale en instrumentation, radiocommunication (modulation, démodulation,...) etc...

Différentes techniques peuvent être mises en œuvre pour la réalisation d'un oscillateur sinusoïdal. Elles ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients :

- certaines conviennent mieux aux basses fréquences (BF), d'autres sont adaptées aux hautes fréquences (HF),
- on peut rechercher une grande stabilité en fréquence : Robustesse d'une technique vis-à-vis de la température des composants, de leur vieillissement, de leurs tolérances, de leurs non linéarités, de leur évolution en environnement hostiles (air salin, températures extrêmes,...) etc...
- on peut rechercher un taux de distorsion le plus petit possible,
- on peut être contraint à un coût de réalisation donné,
- ...

Dans ce TP la technique mise en œuvre est celle de l'amplificateur bouclé c'est-à-dire tel que la sortie est réinjectée à l'entrée via une **boucle de réaction** dont le rôle est d'attribuer à une fréquence unique les conditions d'amplitude et de phase qui vont faire que, pour elle, le système est instable. Le schéma fonctionnel est le suivant :



On appelle :

- $S(\omega)$: la transformée de Fourier du signal de sortie $s(t)$,
- $A(\omega)$: la transformée de Fourier de la **chaîne directe**, ici constituée d'un amplificateur
- $\beta(\omega)$: la transformée de Fourier de la boucle de réaction.

La **condition d'oscillation** pour ω_0 est :

$$\beta(\omega_0) \cdot A(\omega_0) = 1 \quad (1)$$

On en trouvera la démonstration dans [Signaux et systèmes linéaires continus -Exemples-](#) évoqué plus haut.

Les objectifs de ce travail :

- réalisation de la chaîne directe,
- étude de la boucle de réaction,
- adaptation de la chaîne directe et de la boucle de réaction afin d'obtenir l'instabilité,
- mesures des performances de l'oscillateur,
- comparaison avec l'oscillateur Colpitts.

G

V - OSCILLATEUR A PONT DE WIEN

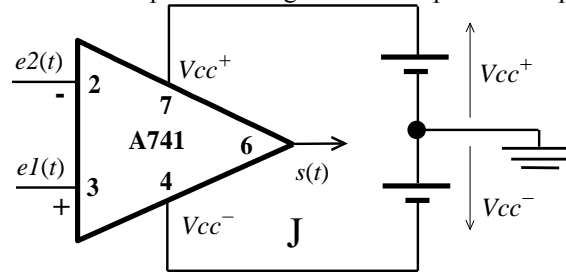
V.1 - Principe

La chaîne directe est constituée d'un amplificateur réalisé à l'aide d'un AOP pour sa simplicité.

Remarque : il n'est pas rare que les schémas ne fassent pas mention du câblage associé aux alimentations des AOP. On considère que les utilisateurs le connaissent... Nous ferons de même dans la suite avec toutefois un rappel dans la figure suivante.

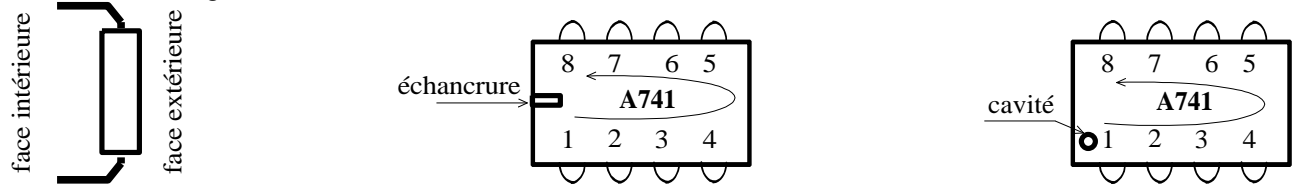
Les connexions de chaque AOP sont définies et numérotées par le constructeur. Ces caractéristiques sont consignées

dans les dossiers techniques livrés avec le composant. La figure suivante prend exemple sur le célèbre μ A741.



Il se trouve qu'aucun constructeur n'inscrit les numéros des connexions, souvent appelées **pattes** par les habitués, sur ses circuits. Il est facile de les retrouver. En effet chacun d'eux permet d'orienter le composant à l'aide d'une marque distinctive visible sur sa face extérieure (opposée à la direction des connecteurs ou encore celle où sont inscrites les références du composant). Dans le cas des boîtiers plastiques c'est très souvent une échancrure. Ce peut être aussi une marque de peinture ou encore une petite cavité. Pour retrouver les numéros des pattes :

- placer vers soi la face extérieure,
- positionner la marque distinctive vers la gauche,
- numérotter les pattes en les comptant de 1 à épuisement en partant du bas à gauche et en tournant dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.

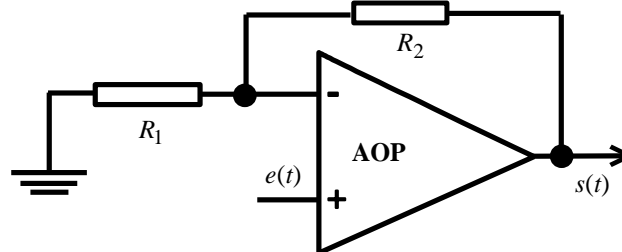


Lorsque l'environnement est hostile (air salin, forte humidité, poussières,...) on peut utiliser un même circuit dans un boîtier métallique jouissant alors d'une meilleure résistance aux agressions extérieures. Ils sont aussi plus chers. La marque distinctive est alors un ergot généralement installé à la base du composant (côté d'où sortent les connecteurs). A l'opposé, la face supérieure du composant porte les références du composant. Si un tel circuit est installé sur votre maquette demandez au responsable qu'il vous renseigne sur les numéros des pattes.

V.2 - Étude de la chaîne directe

V.2.1 - Étude théorique de l'amplificateur

Le schéma est indiqué sur la figure suivante.



On suppose l'AOP idéal c'est-à-dire en particulier :

- gain infini,
- impédances d'entrées infinies et réelles,
- impédance de sortie nulle,
- bande passante infinie,
- un délai et un temps de montée nuls.

Démontrer que $A(\omega) = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$. En déduire le gain arithmétique $|A(\omega)|$.

Que peut-on dire de $A(\omega)$?

V.2.2 - Conséquences sur la boucle de réaction

Dans la condition d'oscillation $\beta(\omega_0) \cdot A(\omega_0) = 1$ (voir (1)), on remplace $A(\omega)$ par l'expression trouvée précédemment.

En déduire la valeur de $\beta(\omega_0)$ en fonction de R_1 et R_2 .

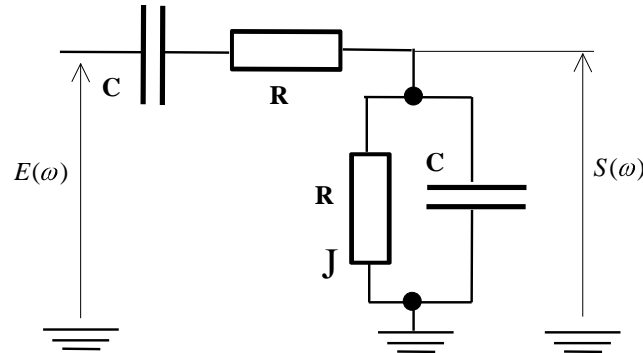
A retenir :

$$\begin{cases} \beta(\omega_0) \text{ doit être réel positif} \Rightarrow \text{Arg}[\beta(\omega_0)] = 0 \\ \beta(\omega_0) = \frac{1}{A(\omega_0)} \end{cases}$$

V.3 - Réalisation de la boucle de réaction

V.3.1 - Étude théorique du pont de Wien.

L'oscillateur à pont de Wien se distingue par une boucle de réaction dont la constitution porte son nom (voir la figure ci-dessous).



Dans la mesure où nous attendons du système qu'il délivre un signal sinusoïdal nous nous limiterons dans cette étude à une analyse fréquentielle du pont de Wien.

On appelle respectivement $E(\omega)$ et $S(\omega)$ les transformées de Fourier des signaux d'entrée et de sortie du pont de Wien.

Démontrer que
$$\beta(\omega) = \frac{S(\omega)}{E(\omega)} = \frac{jRC\omega}{-R^2C^2\omega^2 + 3jRC\omega + 1}$$
.

Pour quelle valeur de ω , $\beta(\omega)$ est-il réel ?

Nous appelons ω_0 la valeur précédente. C'est la fréquence d'oscillation puisqu'elle vérifie la condition d'oscillation. Elle est unique et ne dépend que des composants choisis.

Que vaut $\beta(\omega_0)$?

Que vaut $A(\omega)$?

Nous souhaitons arbitrairement :

$$\omega_0 = 1000 \text{ rad/s} \quad (f \approx 159 \text{ Hz})$$

Pour obtenir cette valeur et pour différentes raisons pratiques (disponibilité et performances des composants) nous choisissons :

$$C = 1 \mu\text{F}$$

En déduire R .

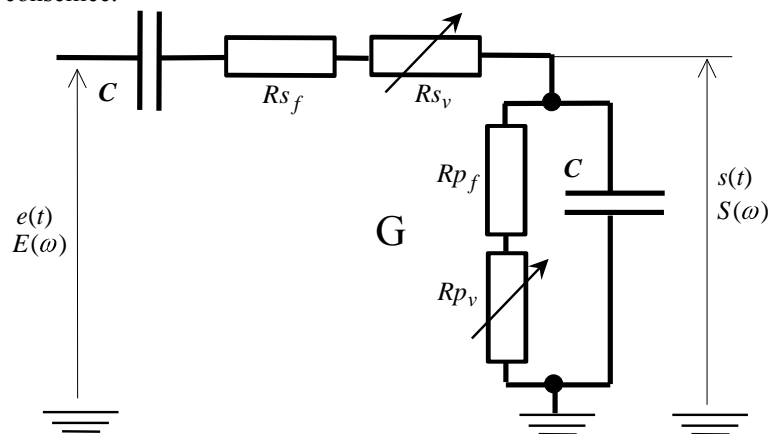
V.3.2 - Fonction de transfert du pont de Wien.

La détermination de la fonction de transfert du pont de Wien n'est pas indispensable pour la réalisation de l'oscillateur. Elle est néanmoins utile à la bonne compréhension du système¹.

1. Câbler le pont de Wien avec les valeurs prédéterminées selon la mise en œuvre de la figure ci-dessous où $R_{s_f} + R_{s_v} = R$ et $R_{p_f} + R_{p_v} = R$. L'intérêt de scinder les résistances R en deux parties, l'une fixe et l'autre ajustable (à l'aide d'un potentiomètre), est de compenser les écarts de valeur des composants dus à leurs tolérances. Choisir R_{s_v} et R_{p_v} en fonction des composants installés sur la maquette.
2. Connecter un générateur BF à l'entrée du système de façon que $e(t)$ soit une tension sinusoïdale d'amplitude 5 V et de pulsation $\omega = \omega_0 = 1000 \text{ rad/s}$ ($f \approx 159 \text{ Hz}$).
3. Ajuster R_{s_v} et R_{p_v} de façon que le déphasage entre $s(t)$ et $e(t)$ soit nul.
4. Tracer la fonction de transfert du système (gain arithmétique et phase en fonction de la fréquence) dans un repère semi-logarithmique pour $10 \text{ Hz} \leq f \leq 5 \text{ kHz}$. Gain et phase seront tracés dans un même repère.

On trouvera dans [Signaux et systèmes linéaires continus -Théorie-](#) les techniques permettant de construire une échelle logarithmique ou d'en choisir une toute faite mais adaptée aux besoins : nombre de modules, valeurs minimales et maximales,...

La phase peut être mesurée à l'aide de l'oscilloscope ou du phasemètre. Dans ce dernier cas une attention particulière devra être portée aux faibles valeurs des tensions aux bornes de l'appareil, sa sensibilité maximale pouvant être dépassée. Pour cette raison il sera éventuellement nécessaire d'augmenter $e(t)$ et une validation des mesures à l'aide de l'oscilloscope est conseillée.



¹ Elle est exigée dans le cadre du compte-rendu de cette étude.

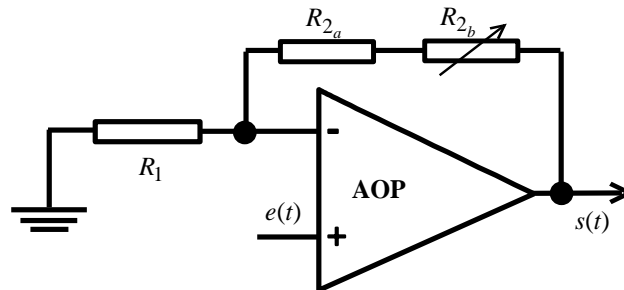
V.4 - Système complet en boucle ouverte

Connaissant $\beta(\omega_0)$ et sachant que $A(\omega) = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$ (voir § : [V.2.1 - Étude théorique de l'amplificateur](#)) en déduire la contrainte liant R_1 et R_2 .

Pour différentes raisons pratiques (disponibilité et performances des composants) nous choisissons : $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$

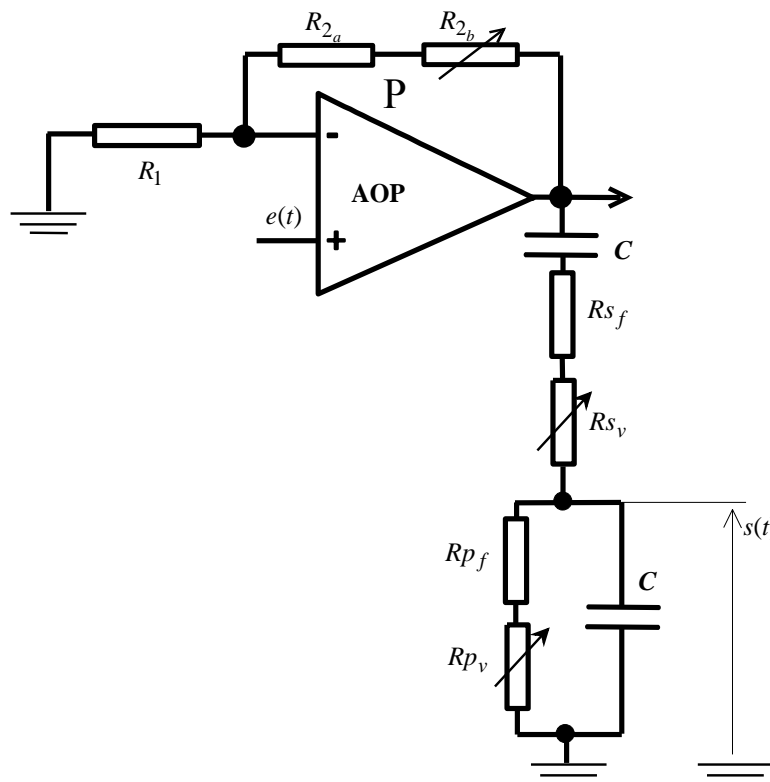
Que vaut R_2 ?

Réaliser l'amplificateur selon le schéma ci-dessous dans lequel $R_{2a} + R_{2b} = R_2$ pour les mêmes raisons que celles évoquées à l'occasion du pont de Wien.



Connecter l'amplificateur au pont de Wien ainsi que le montre la figure suivante. Noter que la sortie de l'amplificateur est naturellement connectée à l'entrée de la boucle de réaction.

De façon à satisfaire parfaitement la condition d'oscillation (1) ajuster R_{2b} de sorte que, pour un signal sinusoïdal $e(t)$ de pulsation $\omega_0 = 1000 \text{ rad/s}$ ($f = \sim 159 \text{ Hz}$), les amplitudes de $e(t)$ et de $s(t)$ soient identiques. Vérifier que le déphasage est nul.

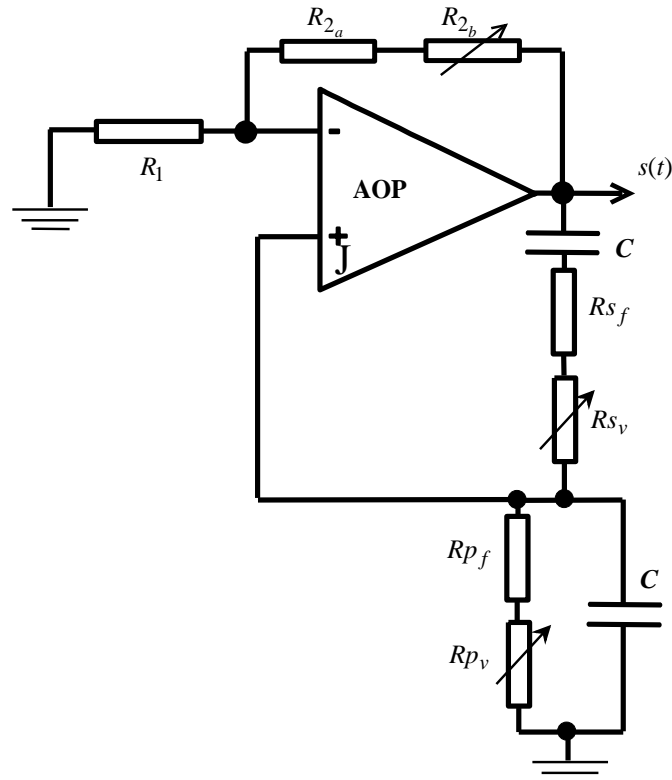


V.5 - Système complet en boucle fermée

V.5.1 - Réalisation du circuit

Déconnecter tout générateur basse fréquence du circuit.

Connecter la sortie de la boucle de réaction à l'entrée de l'amplificateur. On aboutit au schéma suivant, dans lequel $e(t)$ n'existe plus :



Observer $s(t)$. S'assurer et confirmer que $s(t)$ est de forme sinusoïdale.

Si l'oscillation ne démarre pas augmenter légèrement le gain de l'amplificateur grâce à R_{2_b} .

Mesurer l'amplitude et la fréquence de $s(t)$. Cette dernière est-elle conforme aux attentes ?

V.5.2 - Performances de l'oscillateur

V.5.2.1 - Principe

Les performances d'un oscillateur se mesurent suivant plusieurs critères. Nous nous limiterons à la **distorsion**. Ce critère qualifie la forme d'onde du signal généré. Dans notre cas nous souhaiterions que $s(t)$ soit une sinusoïde parfaite. Son analyse fréquentielle via un analyseur de spectre montrerait alors une raie unique de pulsation ω_0 . Toute déformation conduit à l'apparition de plusieurs raies, ou composantes fréquentielles, indésirables dans le spectre. C'est le cas hélas de tout système non idéal. Parmi les composantes fréquentielles préjudiciables comptent pour une part importante les harmoniques de la fréquence convenable. On parle de **distorsion harmonique**. Le **taux global de distorsion harmonique** est défini par d tel que :

en appelant $\begin{cases} A_{effn} : \text{la valeur efficace de l'harmonique de rang } n \\ x_{eff} : \text{la valeur efficace du signal complet} \end{cases}$:

$$d = \sqrt{\frac{A_{eff2}^2 + A_{eff3}^2 + \dots}{A_{eff1}^2 + A_{eff2}^2 + A_{eff3}^2 + \dots}} = \sqrt{1 - \frac{A_{eff1}^2}{x_{eff}^2}}$$

Il est évident que $A_{eff1}^2 \leq x_{eff}^2$. D'où :

$$0 \leq d \leq 1$$

D'où des résultats souvent exprimés en pourcentages.

V.5.2.2 - Mesure

L'appareil mis à votre disposition permet de mesurer d directement. Procéder comme suit :

- connecter le signal de sortie de l'oscillateur sur l'entrée de l'appareil de mesure,
- engager le bouton "100% CAL."
- à l'aide des boutons "attenuator" et du potentiomètre "level" faire en sorte que 100 apparaisse sur l'afficheur. De cette façon l'appareil mesure x_{eff}^2 et normalise à 100. Ceci étant effectué ne modifier les boutons précédents que si le signal d'entrée a changé.
- dégager le bouton "100% CAL."
- choisir la gamme de fréquence de la fondamentale ω_0 de $x(t)$ (signal sous tests) grâce aux boutons appelés "FREQUENCY RANGE"
- à l'aide du gros potentiomètre placé sous les deux diodes électroluminescentes faire en sorte que ces deux dernières soient éteintes. On règle ainsi le filtrage de la fondamentale. Autrement dit l'appareil mesure cette fois $A_{eff2}^2 + A_{eff3}^2 + \dots$

→ la lecture de l'afficheur est alors pertinente et calcule directement les racines carrées et le rapport.

→ les boutons "DISTORTION" permettent de sélectionner la précision.

Quelle est la valeur du taux global de distorsion harmonique ?

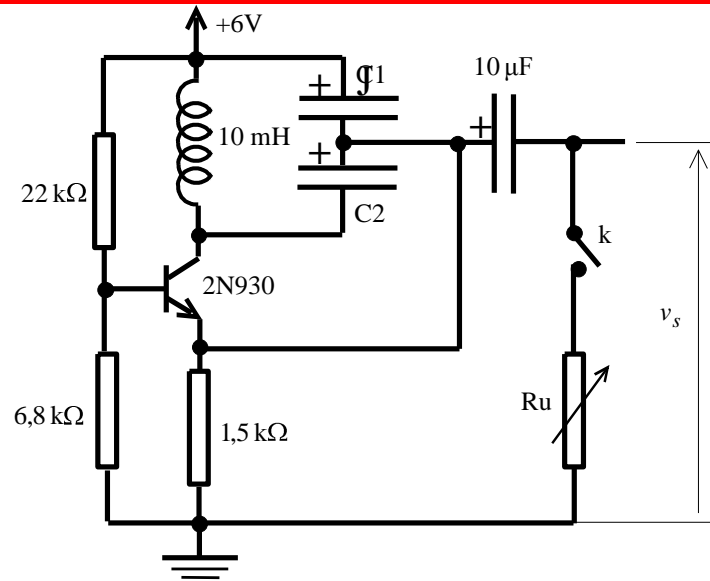
En modifiant le gain A de l'amplificateur via R_{2_b} :

Tracer la courbe $d = f(A)$.

C OSCILLATEUR COLPITTS

Il est du type à circuit accordé.

SCHEMA



Réaliser le schéma.

VI - RESULTATS THEORIQUES

Après simplification et en appelant $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$, la fréquence de l'oscillation est :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

f est la fréquence de résonance du circuit LC en parallèle (circuit bouchon). Le schéma montre que la réaction du circuit est réalisé par un prélèvement d'une partie de la tension aux bornes du circuit LC . A la fréquence de résonance :

$$\beta = \frac{C_2}{C_1 + C_2}$$

En connaissant la valeur de C les valeurs de C_1 et C_2 sont déterminées par :

$$\begin{cases} C_1 = \frac{C}{\beta} \\ C_2 = \frac{C}{1-\beta} \end{cases}$$

VII - ÉTUDE PRATIQUE

Fixer la valeur de C à 32 nF. Avec k ouvert et pour $0,1 \leq \beta \leq 0,7$ avec un pas de 0,1 régler les condensateurs C_1 et C_2 .

Observer le signal de sortie à l'aide d'un oscilloscope.

Tracer les courbes : $v_s = f(\beta)$, $f = g(\beta)$ et $d = f(\beta)$ (distorsion) en prenant soin de calibrer le distorsiomètre pour chaque nouvelle valeur de β .

En effet v_s varie avec β d'où une renormalisation systématique.

La charge R_u influence la fréquence et l'amplitude de v_s .

Pour $\beta = 0,3$ et $500\Omega \leq R_u \leq 10\text{k}\Omega$ tracer les courbes $f = g(R_u)$ et $|v_s| = f(R_u)$

Commentaires et conclusion.

G