

Les oscillateurs

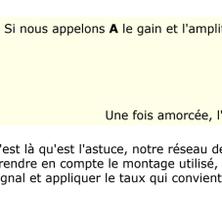
Partout où que vous puissiez regarder dans le domaine de l'électronique, vous trouverez des oscillateurs. Il y en a dans votre montre, votre téléviseur, vos radios, votre voiture, votre ordinateur. Ils font tous appel au même principe et bien que conçus pour des applications très différentes, répondent aux mêmes critères.

Typologie :

Il existe une grande variété d'oscillateurs, on pourra les regrouper comme le montre le tableau ci-contre. Il s'agit d'une classification arbitraire, nous utiliserons essentiellement pour nos activités de radioamateur des oscillateurs sinusoidaux. Les oscillateurs non sinusoidaux peuvent naturellement être fixes ou variables.

Sinusoidaux	fixes	quartz
	variables	
non sinusoidaux		LC VCO
	à relaxation	
		multivibrateurs trapézoïdaux rampes

Pourquoi l'oscillateur oscille t'il ?



Un oscillateur est composé d'un amplificateur duquel on prélève une partie du signal de sortie que l'on réinjecte vers l'entrée.
Vous allez objecter que l'on a déjà fait cela mais dans le but de stabiliser l'amplificateur, d'augmenter sa bande passante et surtout pas de le transformer en amplificateur n'est-il pas ?
Certes mais nous n'allons pas réinjecter n'importe comment, nous allons réinjecter en **phase**.

Si nous appelons **A** le gain et l'amplificateur et **R** le gain du système en réaction est, nous considérerons que la condition pour le système entre en oscillation est :

$$A \cdot R > 1$$

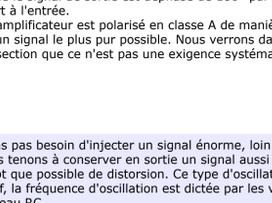
Une fois amorcée, l'oscillation se maintient pour $AR = 1$, si $AR < 1$ l'oscillation cesse.

C'est là qu'est l'astuce, notre réseau de réinjection devra prendre en compte le montage utilisé, déphaser ou pas le signal et appliquer le taux qui convient à l'entrée

Intuitivement, vous devinez que l'oscillateur va se révéler être un montage capricieux, certains oscilleront immédiatement, d'autres pas et ceci malgré vos efforts.

Comment réinjecter la sortie vers l'entrée ?

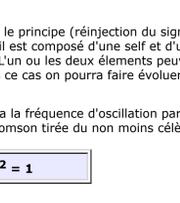
Il existe plusieurs méthodes, celles-ci sont d'ailleurs classiques et descriptives du montage. Avant d'étudier les classiques Colpitts, Pierce, Hartley (du nom des inventeurs), voyons quels sont les procédés de couplages les plus fréquemment utilisés.



En fonction du type de montage utilisé, (souvenez-vous, il y a trois montages fondamentaux) nous appliquerons ou pas un déphasage au signal prélevé

Emetteur commun	déphase de 180°
Collecteur commun	pas de déphasage
Base commune	pas de déphasage

Le réseau RC:



Voici le schéma, plusieurs commentaires d'abord :
- l'amplificateur est un amplificateur émetteur commun, c'ad que le signal de sortie est déphasé de 180° par rapport à l'entrée.
- Cet amplificateur est polarisé en classe A de manière à offrir un signal le plus pur possible. Nous verrons dans cette section que ce n'est pas une exigence systématique.

Comment s'amorce l'oscillation ?

C'est en général le problème de tout oscillateur, le démarrage. Celui-ci doit être franc et net, astuce au passage, quand vous construisez un oscillateur, vérifier son accrochage en coupant et remettant l'alimentation courant continu, plusieurs fois de manière rapide.
Revenons à l'amorçage de l'oscillation. A la mise sous tension, le courant circule dans les composants de l'amplificateur, du bruit (électrique) est généré, il est amplifié, le bruit a pour caractéristique d'être large bande. La composante qui a la bonne phase est ramenée vers l'entrée et le processus s'enclenche.

Le réseau LC :

Identique dans le principe (réinjection du signal de sortie vers l'entrée), il est composé d'une self et d'un condensateur. L'un ou les deux éléments peuvent être variables, dans ce cas on pourra faire évoluer la fréquence d'oscillation

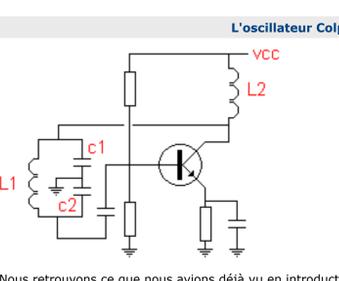
La fréquence d'oscillation sera déterminée majoritairement par la valeur de L et de C et accessoirement par les capacités parasites du montage (elle existent toujours).

On approximera la fréquence d'oscillation par la classique formule de Thomson tirée du non moins célèbre :

$$LC\omega^2 = 1$$

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

Voyons l'allure d'un oscillateur à réseau LC :



Voilà la bête.
Voyons ce qui s'y produit. Imaginons que l'oscillateur oscille. Nous retrouvons nos oscillations sur le collecteur, vous remarquerez qu'on a placé une self L2 en série. Cette inductance qui présente une réactance élevée empêche l'énergie HF de se propager dans l'alimentation ce qui serait dommageable. Le collecteur charge un circuit accordé composé de L2 en // C1 C2. Une partie de la tension alternative se développe aux bornes de C2 et est envoyée à la base du transistor. Le système est bouclé, l'oscillation se produit.

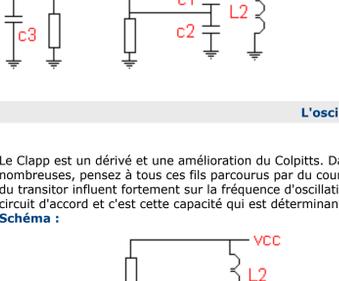
Si nous rendons un des éléments du circuit oscillant variable, self ou capacité, notre oscillateur pourra osciller sur plusieurs fréquences. Vous voyez il n'y a rien de sorcier.

Les différents types d'oscillateurs :

Nous allons voir dans cette section les quelques grands types d'oscillateurs et leurs particularités.

En fait il n'y a pas de grandes différences, les principes généraux sont les mêmes pour tous.

L'oscillateur Colpitts émetteur commun



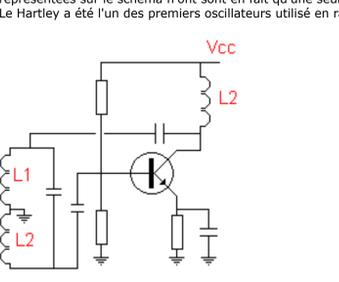
C'est celui que nous venons de voir. Si nous réduisons le schéma à son équivalent en alternatif ceci nous donne ce schéma

qui est plus facile à comprendre.

Nous retrouvons ce que nous avons déjà vu en introduction à l'oscillateur. Le collecteur charge un circuit accordé parallèle, une fraction de la tension que l'on récupère aux bornes de c2 est injectée dans la base ce qui maintient l'oscillation. Pour l'approximation de la fréquence d'oscillation, il faut prendre en compte comme capacité la résultante de C1//C2, car il faut également tenir compte et des capacités parasites du montage et des capacités propres du transistor. Le Colpitts a été l'un des premiers montage utilisé par les radioamateurs et a donné naissance à quelques variations toujours sur le même thème.

L'oscillateur Colpitts base commune

Vous retrouverez souvent le montage Colpitts en montage oscillateur base commune, son principal avantage est d'annuler l'effet de la capacité collecteur base du transistor. La tension de réinjection est envoyée sur l'émetteur ce qui provoque bien des variations de polarisation de la jonction base-émetteur et conséquemment une variation de courant Ic.



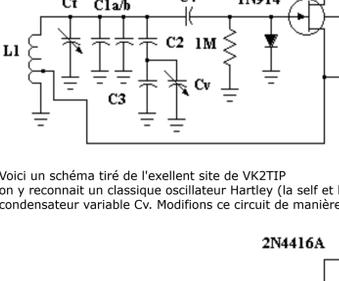
Le montage base commune (la base est à la masse du point de vue alternatif par le biais du condensateur C3) permet à l'oscillateur de fonctionner sur des fréquences plus élevées que son homologue émetteur commun. Dans ce montage la tension de réaction est reprise aux bornes du condensateur C2.

On reconnaît un oscillateur Colpitts à son pont diviseur capacitif.

L'oscillateur Clapp

Le Clapp est un dérivé et une amélioration du Colpitts. Dans le Colpitts les capacités parasites du montage (et elles sont nombreuses, pensez à tous ces fils parcourus par du courant et séparés par une diélectrique) et les capacités intrinsèques du transistor influent fortement sur la fréquence d'oscillation. Dans le Clapp, il a été rajouté une capacité en série dans le circuit d'accord et c'est cette capacité qui est déterminante avec la self pour déterminer la fréquence d'oscillation.

Schéma :

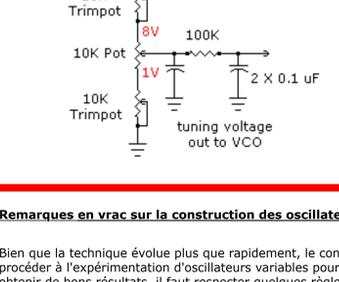


Par rapport au Colpitts, on note la présence d'une capacité C3 en série avec la bobine L1. Pour déterminer ou approximer la fréquence d'oscillation, on appliquera la classique formule de Thomson en utilisant la valeur de C3 pour C dans la formule.
Le Clapp est plus stable que le Colpitts

On reconnaît un oscillateur Clapp car il s'agit d'un Colpitts avec un condensateur en série dans le circuit d'accord.

L'oscillateur Hartley

Dans cet oscillateur, nous trouvons deux inductances en série en lieu et place du pont diviseur capacitif. Les deux selfs représentées sur le schéma n'ont sont en fait qu'une seule sur laquelle on réalise une prise.
Le Hartley a été l'un des premiers oscillateurs utilisé en radio.



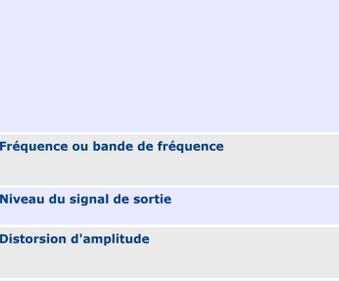
Vous êtes habitué maintenant au principe qui vous est devenu familier. Le collecteur charge un circuit accordé résonnant sur une fréquence f dictée par la valeur de L1+L2 et C. La tension qui se développe aux bornes de L2 est envoyée à la base du transistor ce qui maintient l'oscillation. Comme déjà dit les éléments L1 et L2 ne sont qu'une seule self sur laquelle on vient faire une prise intermédiaire. Il est ainsi possible de régler le taux de réinjection et s'éloignant plus ou moins de la masse.

On reconnaît l'oscillateur Hartley grâce aux deux inductances (ou à la prise intermédiaire) du circuit résonnant.

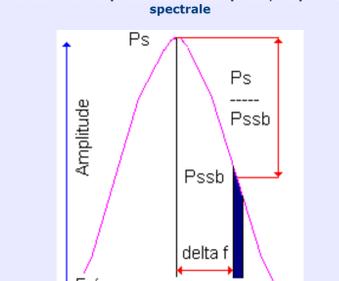
Les VCO : Voltage Controlled Oscillators ou oscillateurs commandés en tension :

Bien qu'il ne s'agisse pas d'un genre particulier, il m'a semblé bon de parler d'eux dans ce chapitre.
Nous avons vu que l'on pouvait faire varier la fréquence d'un oscillateur en ayant un des éléments du circuit résonnant qui soit variable, que ce soit la self par le biais d'un noyau plongeur soit par la capacité qui peut être un condensateur variable.

Ceci sera réalisé en remplaçant le condensateur variable (le CV) par un dispositif à diodes Varicap. Ces diodes ont la propriété de changer de capacité en fonction de la tension continue que l'on leur applique.
L'intérêt d'un tel montage est de remplacer le CV mécanique, rare et cher par un dispositif électronique peu coûteux, de plus le VCO est indispensable dès lors que l'on veut réaliser un système fonctionnant en boucle comme un PLL. (voir plus loin)



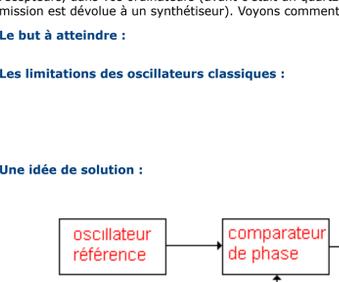
Voici un schéma tiré de l'excellent site de VK2TTP on y reconnaît un classique oscillateur Hartley (la self et les prises). La fréquence d'oscillation est commandée par un condensateur variable Cv. Modifions ce circuit de manière à lui adapter des diodes varicap



Par rapport au Colpitts, on note la présence d'une capacité C3 en série avec la bobine L1. Pour déterminer ou approximer la fréquence d'oscillation, on appliquera la classique formule de Thomson en utilisant la valeur de C3 pour C dans la formule.
Le Clapp est plus stable que le Colpitts

On reconnaît un oscillateur Clapp car il s'agit d'un Colpitts avec un condensateur en série dans le circuit d'accord.

et voilà, le CV a été remplacé par deux diodes varicap. Il suffit d'injecter la tension de commande comme suit :



Vous trouvez à gauche le schéma de la commande en tension continue de ce montage. Les résistances variables qui entourent le potentiomètre servent à fixer les butées hautes et basses de tension qui fixeront les valeurs limites hautes et basses d'oscillation du VCO. Notez que le montage est sérieusement découplé par des condensateurs de manière à obtenir une tension de commande aussi propre que possible.

Remarques en vrac sur la construction des oscillateurs :

Bien que la technique évolue plus que rapidement, le constructeur amateur et radioamateur a souvent l'occasion de procéder à l'expérimentation d'oscillateurs variables pour la réalisation de VFO (Variable Frequency Oscillator). Pour obtenir de bons résultats, il faut respecter quelques règles simples :

- La mécanique devra être de roc. Toute vibration transmise au montage sera traduite par une variation de fréquence. On emploiera donc des matériaux épais pour la boîte et le support de CI. Le VFO sera contenu dans une enceinte close
- La self ne comportera pas de noyau, cet élément fort commode au demeurant, apporte lui aussi beaucoup de dérive.
- On réalisera la self avec du gros fil, celle-ci sera enroulée dans une colle pour éviter toute déformation.
- Les condensateurs seront de première qualité, mica ou styroflex. Nous parlons ici des condensateurs étant dans le circuit d'oscillation bien sur.
- L'alimentation sera transmise au montage par le biais de condensateurs by-pass. Cette alimentation sera stabilisée et à faible bruit ce qui exclut les régulations par zener.

Caractérisation des oscillateurs :

Les oscillateurs variables comme les fixes d'ailleurs ont des caractéristiques, voici brièvement ce qu'il faut avoir vu au moins une fois.

Type d'oscillateur	<ul style="list-style-type: none"> • Hartley • Colpitts • Clapp • Vackar • Seiler • Autre
Fréquence ou bande de fréquence	Si l'oscillateur est variable, cette variation pourra s'exprimer en % de la fréquence centrale. Ex un oscillateur conçu pour être un VFO couvrant de 5 à 5,5 MHz soit 10%.
Niveau du signal de sortie	C'est une puissance qui pourra être exprimée en mW ou dBm sur 50 W
Distorsion d'amplitude	Quand l'amplitude du signal de sortie n'est pas constante sur un cycle, ce phénomène s'appelle distorsion d'amplitude.
Distorsion de phase ou bruit de phase, ou pureté spectrale	Peut-être le plus grave défaut qu'un oscillateur puisse présenter. Il apparaît une variation de la phase du signal sur un cycle ce qui génère du bruit. A votre gauche vous pouvez observer l'allure du spectre d'un oscillateur. L'amplitude s'exprime par rapport à la fréquence et non par rapport au temps comme sur un oscilloscope. On quantifie le bruit de phase en mesurant dans une bande passante de 1 Hz la puissance de l'oscillateur à un écart de x kHz par rapport à la fréquence centrale. La puissance à la fréquence centrale vaut Ps et à x kHz Pssb. Le rapport détermine le bruit de phase et s'exprime en dBc/Hz soit en dB par rapport à la porteur par hertz à un écart de x kHz
Stabilité	C'est la capacité qu'à un oscillateur à osciller sur une même fréquence. Ceci s'exprime en ppm (part par million) en fonction du temps.

Les PLL (Phase lock Loop) ou oscillateurs à verrouillage de phase :

Ce chapitre eut être incomplet si nous n'avions évoqué les PLL. Ils remplacent tranquillement dans un moins bien les classiques oscillateurs que nous venons de voir ci-dessus. Vous en trouvez naturellement dans vos émetteurs-récepteurs, dans vos ordinateurs (avant c'était un quartz qui oscillait mais vu les fréquences atteintes maintenant, cette mission est dévolue à un synthétiseur). Voyons comment cela fonctionne.

Le but à atteindre : Fournir une tension sinusoïdale, sur une plage de fréquence f1 à Ln stable en amplitude et en phase.

Les limitations des oscillateurs classiques : Les oscillateurs LC classiques ont une limitation de taille, la stabilité en fonction de la fréquence de travail. La SSB et la CW demandent une excellente stabilité des oscillateurs sous peine de transformer la voix écoutée en canard très rapidement. Au delà d'une vingtaine de MHz la tâche devient difficile.

Une idée de solution : Comparer et réajuster la fréquence d'oscillation d'un oscillateur libre par rapport à une référence ultra stable.

Voici ci-dessus le synoptique d'un système à verrouillage de phase autrement appelé synthétiseur. Le principe n'est pas récent mais il a fallu attendre le développement de composants idoines pour passer à l'étape industrielle.

Comment cela marche t'il ?

Nous trouvons dans le 1er bloc à gauche l'oscillateur de référence. C'est un vulgaire oscillateur à quartz (étude au prochain chapitre). Sa particularité est d'être très stable car la fréquence d'oscillation est contrôlée par un cristal de quartz. La stabilité est de 2 à 5 ppm dans la gamme des températures usuelles. La fréquence d'oscillation, en fonction du montage, est basse, entre 5 et 10 MHz

Deuxième bloc fonctionnel le comparateur de phase. Cet ensemble comporte deux entrées et une sortie. Sur les entrées, on applique les signaux à comparer, la sortie nous fournit une indication sous forme de crêteaux et pics de tension de l'écart entre les deux fréquences d'entrée.

Troisième bloc fonctionnel, le filtre de boucle Comme son nom l'indique, il a l'air d'un filtre composé de résistances et de capacités qui se la tâche de convertir les impulsions issues du comparateur de phase en une tension continue

Quatrième bloc, le VCO où oscillateur commandé en tension C'est un oscillateur commandé en tension, la fréquence de sortie évolue en fonction de la tension appliquée au(x) varicap(s). Il couvre l'intégralité de la gamme à écouter ou sur laquelle transmettre, sa stabilité intrinsèque doit être bonne.

Et pour finir le bloc des diviseurs programmables Une entrée, une sortie. A l'entrée on applique un signal qui ressortira divisé en sortie en fonction du nombre diviseur que l'on demandera. On aura donc en sortie $F_s = F_e / n$
 $F_s = f$ fréquence de sortie, Fe celle d'entrée et n, rang du diviseur.

• Supposons le montage fonctionnant et accroché et reportons nous à la sortie. Nous avons une fréquence F de 100 MHz par exemple bien stable qui y est présente. Ce signal de fréquence F est envoyé au diviseur programmable. L'oscillateur de référence oscille à la fréquence de 1 MHz.

Supposons que nous ayons affiché sur notre diviseur programmable la valeur 100. En entrée nous avons une fréquence de 100 MHz et en sortie $100 / 100 = 1$ MHz.
Le comparateur de phase voit deux signaux à comparer, l'un de 1 MHz de l'oscillateur, l'autre en provenance du diviseur également de 1 MHz. La sortie du comparateur fournit les mêmes types de crêteaux sans évolution puisque les signaux sont identiques et en phase. le filtre de boucle filtre et envoie une tension stable de commande aux varicaps. Le système est verrouillé.

• Imaginons maintenant que le VCO sous l'influence d'un choc ou de la température se mette à changer de fréquence et passe à 101 MHz. Ce signal est envoyé au diviseur qui restitue en sortie une fréquence de $101 / 100 = 1,01$ MHz. Le comparateur de phase détecte cette différence et produit des crêteaux de tension qui intégrés par le filtre de boucle vont produire une nouvelle tension de commande qui va ramener le VCO à 100 MHz. Pensez que l'occurrence est très rapide, il y a beaucoup de cycles par seconde.

• Maintenant nous voulons volontairement changer de fréquence et passer sur 90 MHz. Nous allons agir sur les diviseurs programmables et afficher 90. L'écart apparaîtra sur la sortie du comparateur etc etc jusqu'au verrouillage à 90 MHz.
L'exemple est volontairement simpliste, il ne sert qu'à appréhender le fonctionnement des synthétiseurs.

Les synthétiseurs ont un gros défaut : ils sont terriblement bruyants et n'égalent pas en pureté spectrale les oscillateurs classiques ou à quartz. Un oscillateur bruyant, utilisé comme oscillateur local d'un récepteur, vous fournira une réception dégradée en présence de puissants signaux adjacents.

Nous allons nous arrêter ici pour l'étude des oscillateurs "libres", nous étudierons au prochain chapitre les oscillateurs à quartz.