

# six nuances d'oscillateurs et la capa de Miller

Burkhard Kainka (Allemagne)

## Oscillateurs RC

Tout le monde connaît les siflements perçants produits par une sono mal réglée. Ce *larsen* résulte dans un circuit amplificateur du couplage acoustique entre haut-parleur et microphone. Le micro capte le signal amplifié par le HP et cette boucle de rétroaction donne un hurlement dont la fréquence varie selon les résonances locales. Pour mettre fin à cet accrochage, il faut soit éloigner les uns des autres micro et HP, soit réduire le gain.

En théorie, tout circuit ou système ayant une rétroaction suffisante peut osciller. Cette rétroaction peut être purement électronique, comme la réinjection d'une sortie dans une entrée. Dans ce cas, la condition nécessaire est la bonne relation de phase, présente dans un ampli à deux étages.

Le circuit de la **figure 1** ressemble à celui d'un multivibrateur, mais avec une rétroaction réglable. Un multivibrateur donne toujours des signaux carrés, mais le circuit illustré ici peut également produire des sinusoïdes ou d'autres formes d'ondes. La rétroaction est ajustable avec la commande de volume jusqu'au point où naît une faible oscillation, de forme généralement sinusoïdale.

Il est possible également de produire une oscillation avec un seul transistor, même si celui-ci présente un déphasage de 180°. Le déphasage compensateur de 180° requis peut être obtenu en connectant plusieurs réseaux RC en série. L'oscillateur de déphasage (**fig. 2**) produit une sinusoïde à environ 800 kHz, idéale pour le code Morse ou comme signal de test pour vérifier un ampli audio. Un transistor à effet de champ (FET) BS170 permet aussi d'obtenir un oscillateur à déphasage (**fig. 3**). Du fait des valeurs de résistance très élevées, il oscille à environ 10 Hz et ne consomme que 30 µA.

## Oscillateurs en anneau

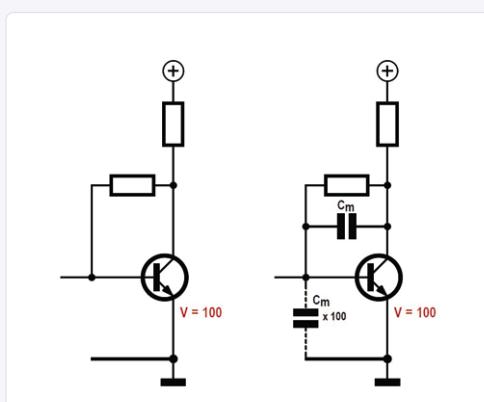
Jusqu'ici, nos oscillateurs ont tous été construits avec des amplificateurs à un ou deux étages. Que se passerait-il avec trois étages à émetteur commun ? On s'attend à une réaction négative, puisque le déphasage global est de 180°. Pourtant ce circuit oscille (**fig. 4**). Sa fréquence d'oscillation augmente avec la tension d'alimentation et peut atteindre 1 MHz.

Pourquoi ? Nous sommes en présence d'amplificateurs à 3 étages avec contre-réaction négative et gain de tension très élevé. Cependant, chacun des étages, en plus de son gain, introduit aussi un petit retard. À une fréquence spécifique, la somme de ces trois retards entraîne un

## L'effet Miller, vous connaissez ?

Le gain de tension d'un étage d'amplification à émetteur commun est généralement d'environ 100. Ceci est vrai jusqu'à des fréquences assez élevées, mais parfois moins élevées que ce que vous escomptiez. La fréquence de gain unitaire du BC547 est d'environ 300 MHz (à cette fréquence le gain réel tombe à 1), mais la fréquence limite supérieure de ce circuit amplificateur est beaucoup plus basse, surtout si le circuit est conçu avec des valeurs de résistance assez élevées. C'est la faute aux capacités de jonction internes du transistor.

Même si elle n'est que d'environ 5 pF avec un BC547, l'influence de cette capacité base-collecteur  $C_{bc}$  est particulièrement forte. Ceci est dû à l'effet Miller. La capacité de Miller  $C_m$  (c'est-à-dire  $C_{bc}$ ) entre entrée et sortie de l'amplificateur inverseur est chargée et déchargée de deux côtés. Par exemple, si la tension de base augmente de 1 mV, la tension du collecteur diminue simultanément de 100 mV. Cela signifie qu'il faut fournir une charge 100 fois plus forte. Comme s'il y avait à l'entrée un



condensateur avec une valeur égale à la capacité de Miller multipliée par le gain de tension, qui dans ce cas serait d'environ 500 pF. La combinaison de cette capacité et de la résistance interne de la source de signal connectée forme un filtre passe-bas qui réduit considérablement la limite supérieure de la bande passante de l'amplificateur.

Pour un amplificateur, cela signifie que si sa largeur de bande passante est importante, vous devez maintenir les résistances du circuit aussi faibles que possible. En outre, dans certains cas, il peut être intéressant de travailler avec un gain de tension plus faible, par exemple en réduisant l'impédance de sortie. Une autre bonne option consiste à utiliser des transistors RF spéciaux avec une capacité de jonction beaucoup plus faible. La capacité de Miller nous permet donc de construire des oscillateurs sans condensateur pour en déterminer la fréquence, puisque c'est le transistor lui-même qui fournit l'indispensable capacité.

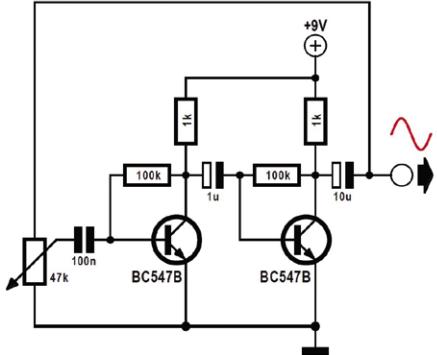


Figure 1. Oscillation causée par une rétroaction positive.

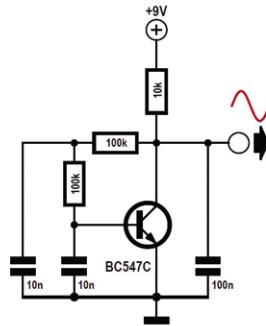


Figure 2. Oscillateur à déphasage.

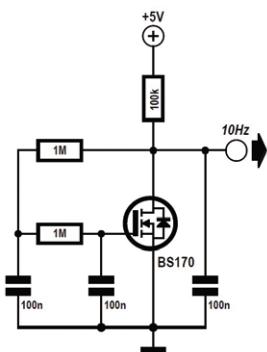


Figure 3. Oscillateur à déphasage avec FET.

déphasage supplémentaire de  $180^\circ$ , de sorte qu'à cette fréquence, la rétroaction négative devient positive : le circuit oscille. Si un tel circuit, plutôt que de servir comme oscillateur, doit amplifier des signaux très faibles, il faut impérativement éviter toute forme de rétroaction positive. Ce qui est délicat avec un gain aussi élevé, qui risque donc de causer des oscillations parasites.

Il est plus facile de construire un oscillateur à trois étages qu'un amplificateur à trois étages. Plus l'intensité moyenne du courant de collecteur est faible, plus l'impédance du circuit est forte – et les capacités internes des transistors ont un effet croissant quand l'impédance augmente. C'est pourquoi le retard est plus grand avec une tension d'alimentation plus faible, ce qui se traduit par une fréquence d'oscillation plus basse.

Un tel circuit doit son nom au fait d'être un anneau d'étages amplificateurs individuels. Le même effet est obtenu avec cinq, sept ou

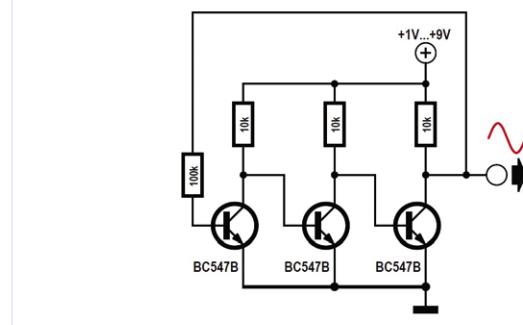


Figure 4. Oscillateur sans condensateurs... apparents.

neuf étages, à condition que la rétroaction en courant continu soit négative. Avec un nombre pair d'étages, le résultat sera toujours une bascule statique.

Un oscillateur en anneau à trois étages fonctionne avec des valeurs de résistance très élevées et donc une très faible consommation. Avec trois résistances de collecteur  $1\text{ M}\Omega$ , l'oscillateur fonctionne sous seulement  $0,5\text{ V}$  de tension d'alimentation et consomme moins d' $1\text{ }\mu\text{A}$ . Une photodiode BPW34 éclairée par le soleil serait une mini-cellule solaire capable de fournir suffisamment d'énergie pour faire fonctionner l'oscillateur (fig. 5). Sa fréquence est d'environ  $5\text{ kHz}$ . Plus la lumière est forte, plus la fréquence augmente, ce qui permet d'utiliser ce circuit comme capteur de lumière.

J'espère que vous vous demandez comment ce circuit sans condensateur peut osciller à seulement  $5\text{ kHz}$ . N'est-ce pas étrange si l'on considère que la capacité interne d'un transistor n'est que de quelques

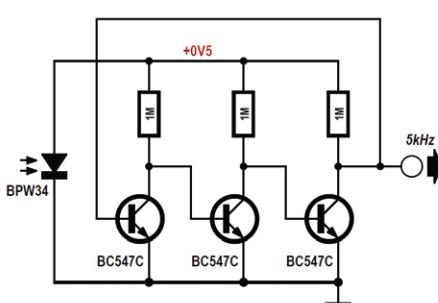


Figure 5. Oscillateur en anneau alimenté par une... (micro) cellule solaire.

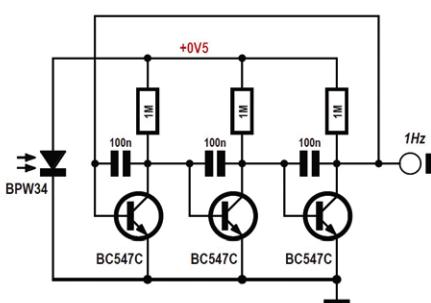


Figure 6. Oscillateur en anneau à basse fréquence avec consommation d'énergie réduite.

---

picofarads ? La réponse à cette énigme, c'est l'effet Miller (voir **encadré**), qui fait que la capacité vue à l'entrée est le produit de la capacité collecteur-base et du gain de tension. Une fois que vous savez cela, vous pouvez facilement connecter des condensateurs supplémentaires entre les fils du collecteur et de la base pour obtenir de (très)

basses fréquences (**fig. 6**).

Avec trois condensateurs de 100 nF, la fréquence de sortie est d'environ 1 Hz. 

200205-02