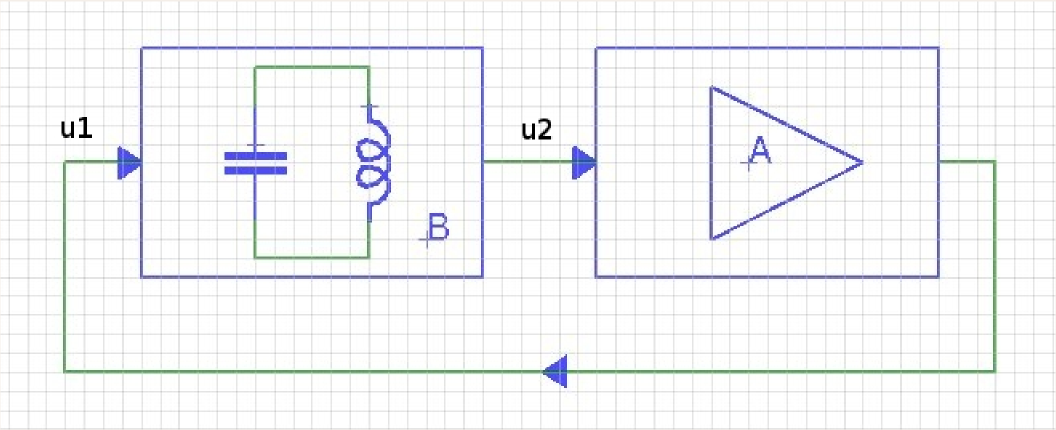
Oscillateur à pont de Wien

1 Conception d'un oscillateur sinusoïdal

Nous avons vu que suite à une sollicitation un signal sinusoïdal peut apparaitre dans un circuit RLC (parfois appelé circuit oscillant pour cette raison) mais ce signal est éphémère, son amplitude décroissant l'énergie se dissipant bien vite dans la résistance R inévitable. L'idée vient alors d'amplifier ce signal et de le réinjecter dans le circuit afin d'entretenir les oscillations. Cette idée est la bonne, le circuit obtenu fonctionne tout à fait, à condition de respecter le « *critère de Barkhausen* ».

Soit donc le schéma suivant, constitué par la mise en série d'un filtre de fonction de transfert complexe B et d'un amplificateur de fonction de transfert A:



Nous pouvons écrire:

$u_2 = B u_1$

$u_1 = A u_2$

donc:

$u_1 = A \times B u_1$

$u_1 - A \times B u_1 = 0$

$u_1(1 - A \times B) = 0$

Cette équation admet deux solutions:

- soit $(1 - A \times B) \neq 0$ dans ce cas $u_1 = 0$ donc pas de signal
- soit $(1 - A \times B) = 0$ dans ce cas u_1 peut ne pas être nul

C'est évidemment le deuxième cas qui nous intéresse pour constituer un oscillateur.

Il faut calculer l'amplificateur et le filtre sélectif de telle sorte que $A \times B = 1$ ne soit réalisé que pour une seule fréquence, celle que nous voulons produire.

A et B sont des fonctions de transfert complexes, $A \times B = 1$ impose l'égalité des modules **et** des arguments.

Rappel : Le module de 1 c'est...1 et l'argument de 1 c'est 0

$1 = [1, 0]$

Donc le module du produit $A.B$ doit être égal à 1, et l'argument nul.

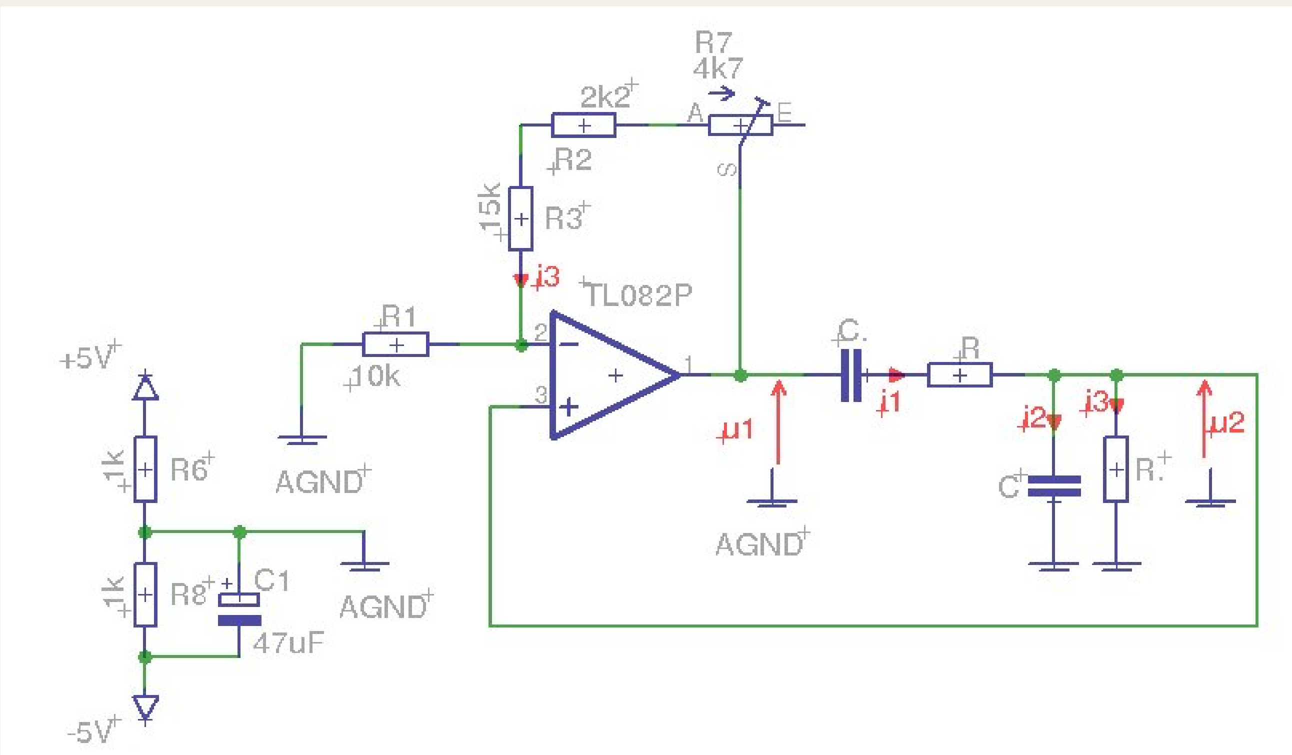
Si le module du produit $A.B$ est inférieur à 1, l'amplitude de l'oscillation ne pourra se maintenir, elle diminuera jusqu'à disparaitre.

Au contraire si le module du produit $A.B$ est supérieur à 1 pour l'amplitude augmentera jusqu'à saturation de l'étage amplificateur.

La condition sur l'argument déterminera la fréquence de l'oscillateur.

2 Réalisation pratique d'un oscillateur à pont de Wien

2.1 Le schéma



L'amplificateur est un TL082 dont les entrées sont à très haute impédance (J-FET).

R7 est une résistance ajustable permettant de règler le gain.

posons $R_a = R_2 + R_3 + R_7$

2.2 calcul de l'amplification en tension :

$$
\begin{aligned}
u_1 &= u_2 + R_a.i_3 \\
i_3 &= \frac{u_2}{R_1} \\
u_1 &= u_2 + \frac{R_a}{R_1} u_2 \\
&= u_2\,(1 + \frac{R_a}{R_1}) \\
\\
A &= \frac{u_1}{u_2} \\
\\
&= 1 + \frac{R_a}{R_1}
\end{aligned}
$$

L'étage n'est pas inverseur, l'amplification en tension fait apparaitre un rapport de résistances, pas d'éléments réactifs, elle est dont réelle et positive.

2.3 Calcul du filtre RC en pont de Wien

nous avons déjaà étudié ce filtre et trouvé:

$$T = \frac{1}{3 + j(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})}$$

La partie imaginaire s'annule pour $\omega = \omega_0$ et le module de T vaut alors

$T(\omega_0) = \frac{1}{3}$

La condition d'oscillation est alors :

$A \times T(\omega_0) = 1$

et donc :

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{T(\omega_0)} \\ &= 1/\frac{1}{3} \\ &= 3 \end{aligned}$$

soit :

$1+\frac{R_a}{R_1}=3$

$\frac{R_a}{R_1}=3-1=2$

c'est à dire $R_a=2\,R_1$

Ce qui est obtenu très facilement en réglant la résistance ajustable R_7

3 Réalisation

J'ai réalisé CE montage avant de publier cette page, et j'ai mesuré les valeurs de u1, u2 et la fréquence obtenue, puis comparé le tout aux valeurs théoriques :

Voici les résultats:

$R\,(\mathrm{du\,filtre})=10k\Omega$

$C\,(\mathrm{du\,filtre})=10\mathrm{nF}$

	$u1$	$u2$	$u1\,/\,u2$	$\mathrm{Fo}=\omega o\,/\,2\pi$
théorique			3	$1591\,\mathrm{Hz}$
mesurée	$178\mathrm{mV}$	$58\mathrm{mV}$	3.06	$1607\,\mathrm{Hz}$
rapport			1.02	1.01

Compte tenu de la précision des composants (5%), on peut presque parler de résultat trop beau pour la fréquence !

Arrivé à ce stade, que de chemin parcouru depuis la page expliquant la notion des nombres complexes et celle permettant de calculer cette fonction de transfert grâce à laquelle nous réalisons cet oscillateur dont le fonctionnement nous devient compréhensible. **Mais comment arriver au même résultat sans recourir aux mathématiques ?**

En d'autre termes, l'électronique (tout comme la physique) et les maths font très bon ménage. Tout comme la nature en général, comme le faisait très justement remarquer Richard Feynman (citant Galilée : « La nature est un livre écrit en langage mathématique »). Nous en aurons de multiples exemples en étudiant les transformées de Fourier et de Laplace, puis le calcul vectoriel qui nous conduira aux équations de Maxwell décrivant les ondes électromagnétiques, puis... la Théorie de la Relativité (qui nous permettra d'expliquer la nature du champ magnétique).

Mais ce qui s'écrit en langage mathématique ce sont les modèles que nous utilisons pour décrire les phénomènes physiques, la Nature. Et ces modèles ne sont que des approximations (donc forcément réductrices) de la réalité, qui fonctionnent extraordinairement bien à une échelle donnée (et pour ce qui nous concerne, avec des composants idéaux. Par exemple la résistance est sensée ne pas avoir de composante inductive, les condensateurs pas de pertes diélectriques, les fils ne pas rayonner ni « faire antenne », l'AOP avoir de facteur de bruit $=1$ c'est à dire $0\,\mathrm{dB}$, etc...) Mais ce qui est fantastique avec les mathématiques, c'est que lorsqu'on est confronté aux limites d'un modèle on trouve toujours le moyen de l'améliorer, avec des solutions mathématiques ! Et il est un domaine où cela va **encore plus loin** : celui de la Mécanique Quantique : Les mathématiques continuent à fonctionner lorsque le modèle devient problématique, échappant à l'interprétation. Je pense à la « dualité onde-particule » à la « non localité » et à la « superpositions d'états ». Est-ce que ce sont les mathématiques qui se mettent à divaguer ? Eh bien non, puisqu'elles sont validées par l'expérience (voir à ce sujet les travaux d'Alain Aspect). Mais notre esprit est parfois mis à mal si nous voulons nous représenter un modèle correspondant.

Toutefois pour ce qui me concerne, l'étude, et la pratique de la radio et de l'électronique m'ont grandement facilité l'abord de la mécanique quantique.