Montage n°22
Etude expérimentale des oscillations forcées en électricité, à fréquence variable

Generateur : $U = E - ri$
à la resonnance $i \uparrow \Rightarrow U \downarrow$
avec AO suiveur
$\Downarrow$
A.O
$\Downarrow$
Generateur ideal.

Introduction :

En ce qui concerne le montage RLC série, il faut noter qu'on utilise un A.O en suiveur pour annuler la résistance interne du GBF.
Egalement, il faut choisir l'inductance et la capacité puis calculer numériquement la fréquence de resonnance (pour savoir le domaine de fréquence interessant) ainsi que la résistance critique ($R_c = 2\sqrt{L/C}$) afin de choisir des valeurs de résistances donnant des bonnes courbes de resonnance correspondant à des valeurs de Q préalablement choisies.
On choisit $\approx R_c$ en $k\Omega$

Conclusion :

l'étude du régime forcé du circuit RLC peut être faite par analogie au régime forcé en mécanique d'un oscillateur amorti par frottement fluide et entretenu.

Oscillations forcées en électricité.

I Rappels théoriques

1) Régime forcé du RLC série.

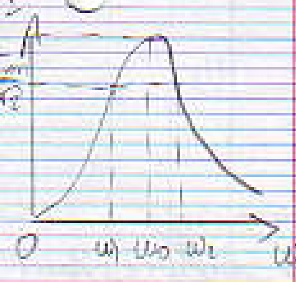
• **Résonnance en courant.**

L'impédance complexe du circuit est : $\underline{Z} = R + j\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)$

Son module est donné par $|Z| = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$

Son argument par $\tan\varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}$

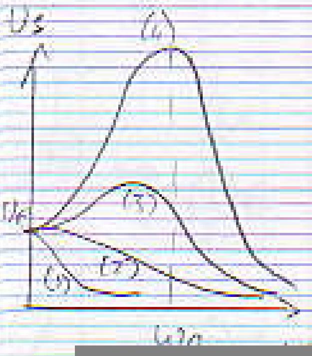
Si le circuit est alimenté par une fem sinusoïdale d'amplitude cte E alors l'intensité qui circule dans le circuit est donnée par : $I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}$



Au minimum de Z correspond un maximum de $I = E/R$
On dit qu'il y a résonnance d'intensité. Cette résonnance se produit pour une pulsation ω_0 bien précise telle que $LC\omega_0^2 = 1$ ce qui correspond à $Z = R$; de plus pour cette pulsation, le déphasage est nul ($\tan\varphi = 1$)
On peut facilement vérifier à l'oscilloscope.
On appelle $\Delta\omega$ la largeur de bande du circuit, elle représente les pulsations pour lesquelles l'intensité dans le circuit est supérieure à $1/\sqrt{2}$ fois l'intensité de résonnance. Un calcul simple conduit à $\Delta\omega = R/L$. L'écart relatif entre les 2 pulsations est $\Delta\omega/\omega_0 = R/L\omega_0 = 1/Q$
où Q est le facteur de qualité qui traduit l'acuité de la résonnance.
Q grand $\Leftrightarrow$ résonnance aiguë $\Leftrightarrow$ $\Delta\omega$ faible.

* Résonnance en tension :

Soit U_E la tension d'entrée fournie par le générateur et U_S la tension de sortie aux bornes du condensateur.



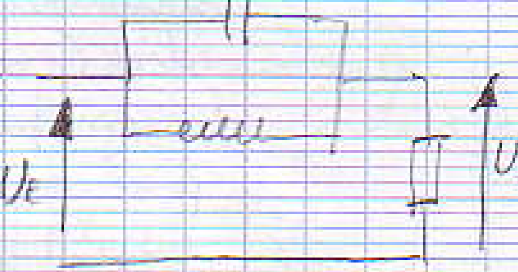
Calculons la fonction de transfert $T = U_S/U_E$

$$\frac{U_S}{U_E} = \frac{1}{jC\omega(R+j(L\omega-1/C\omega))} = \frac{1}{jRC\omega+1-LC\omega^2}$$

Ce transfert a pour module :

(même condition que RLC série mais ici résonnance en tension)
Nous sommes en présence d'un filtre passe bande. Les limites de la bande passante sont données pour les valeurs de ω qui satisfont à la relation $\dfrac{[R(1-L C\omega^2)]^2}{(L\omega)^2} = 1$. De cette équation, on tire l'expression de la bande passante $\Delta\omega = \dfrac{1}{RC}$. Ce résultat montre que plus la résistance est grande, plus la résonnance en tension est aiguë (c'est l'inverse du RLC série). Le facteur de qualité $Q = \omega_0/\Delta\omega = \omega_0 RC = R/L\omega_0$ est l'inverse du facteur de qualité du RLC série.

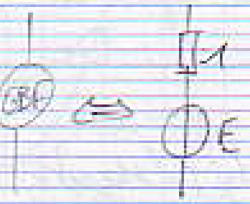
* Antirésonnance en courant



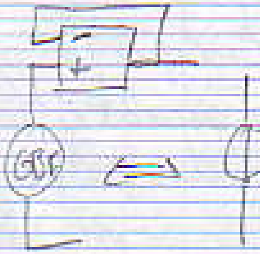
Un rapide calcul en complexe montre que le module de la fonction de transfert peut se mettre sous la forme $\dfrac{U_S}{U_E} = \dfrac{1}{\sqrt{1+\dfrac{(L\omega)^2}{R^2(1-LC\omega^2)^2}}}$

la tension aux bornes de la résistance, donc le courant passe par un minimum (anti-résonnance) lorsque $LC\omega^2 = 1$
Nous sommes en présence d'un filtre coupe bande dit bouchon.
Les limites de la bande coupée sont données pour les valeurs de ω qui satisfont à la relation $\dfrac{(L\omega)^2}{R^2(1-LC\omega^2)^2} = 1$
On remarque que la condition est identique à celle du paragraphe précédent. On a donc $\Delta\omega = 1/RC$
et $Q = \omega_0/\Delta\omega = \omega_0 RC = R/L\omega_0$.

II le problème de l'adaptation d'impédance pour le RLC série



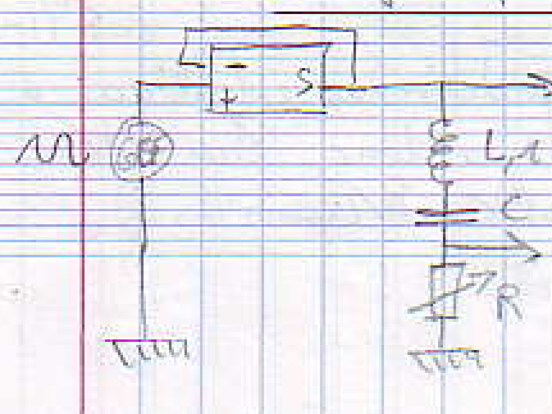
A la résonance, le GBF débite dans une impédance égale à la résistance du circuit ($Z(\omega_0) = R$). Pour que la résonance soit aiguë, il faut que cette résistance soit faible. On demande donc un fort courant au GBF. Or le GBF possède une résistance interne r de 50 Ω et d'après le modèle de Thévenin $U = E - ri$; la tension aux bornes du générateur chute lorsque l'intensité augmente. Ce phénomène est surtout marqué à l'approche de la résonance. Pour éliminer cet inconvénient, il faut transformer le générateur réel ($r \neq 0$) en générateur idéal ($r = 0$). On utilise alors un A.O en suiveur de tension qui présente une résistance de sortie nulle pour une résistance d'entrée ∞.



Mais l'emploi d'un AO en suiveur présente d'autres inconvénients notamment la limitation en courant. Pour éliminer cela, il faut diminuer suffisamment la tension d'alimentation fournie par le GBF.
On peut être aussi limité par la bande passante de l'AO

III Circuit RLC série

1) Régime permanent



On réalise ce montage et pour 2 valeurs de R on trace $I = g(f)$ et $\varphi = g(f)$. On en déduit la bande passante et le facteur de qualité.

On compare avec les résultats théoriques.
A la résonance, on mesure U_r et U_c. On calcul le rapport U_c/U_r et on compare avec le facteur de qualité encore appellé coefficient de surtension.
Pour $R = 50\,\Omega$, on trace $U_c = g(f)$. Attention au problème de masse ; il faut inverser les positions de R et de C. Comparer avec $I = g(f)$. Vérifier que la résonance de tension est atteinte pour la fréquence

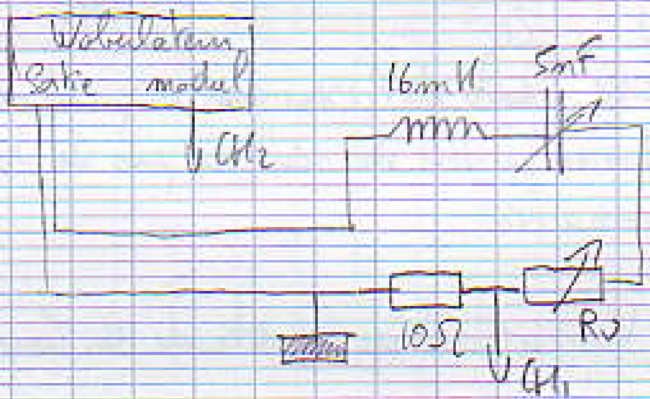
$$f = f_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}$$

NB : le GBF doit délivrer un signal de faible amplitude afin que l'AO ne sature pas en courant à la résonance

2) Visualisation directe de la courbe de résonance

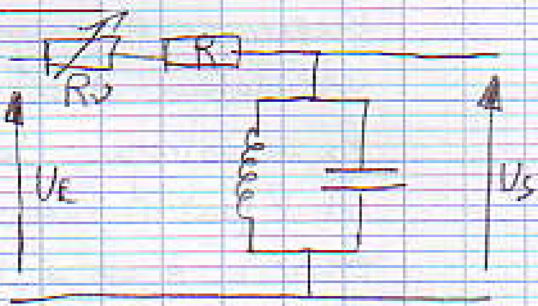
Il faut pour cela moduler la fréquence du générateur avec un signal en dent de scie (de basse fréquence) afin qu'elle varie continuement entre 2 fréquences centrées sur la fréquence de résonance du circuit. Soit on dispose d'un Wobulateur et cette modulation se fait directement de façon interne ; Soit on dispose pas de ce type d'appareil et il faut utiliser un GBF modulable en fréquence associé à un autre GBF qui délivre le dent de scie. Sur CH1 on visualise la tension aux bornes d'une résistance fixe assez faible (proportionnelle au courant) et sur CH2 la tension de modulation (proportionnelle à la fréquence)
Mode opératoire : Annuler la résistance variable afin d'obtenir une résonance aigue. le wobulateur n'étant pas en marche, repérer la résonance aux bornes de R (CH1) et

se placer à une fréquence inférieure. Mettre la vitesse de balayage au maximum, se placer en XY, régler l'excursion et la fréquence pour visualiser une belle courbe. La partie supérieure de l'enveloppe représente la courbe de résonance. On peut ainsi observer l'évolution de la courbe de résonance en fonction des variations des paramètres du circuit (modifier notamment la valeur de la résistance variable Rv) et le décalage de la courbe en fonction de l'évolution de C ou de L.



IV Circuit LC parallèle :

1) Résonance en tension :



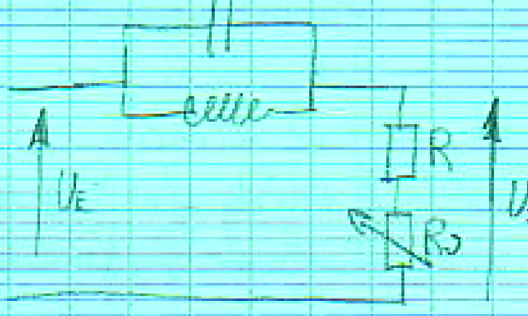
Ue est le signal de sortie d'un GBF. On prend C = 0,1µF R = 3kΩ ; L = 16mH. La fréquence de résonance est voisine de 4000 Hz

On trace Us = f(ω), on détermine la fréquence de résonance et on la compare à la valeur théorique. On justifie l'appellation de filtre passe-bande. On ... les valeurs limites de Us lorsque ω tend vers 0 ... vers ∞. On appelle bande passante la bande ...

de fréquence pour laquelle $U \geq U_0/\sqrt{2}$ avec $U_0 = U(\omega_0)$
On détermine à l'aide du graphe la largeur de cette bande et on compare avec la valeur théorique.
Ce montage est utilisé pour la réception des ondes électromagnétiques (postes récepteurs)

2) Antirésonnance en intensité

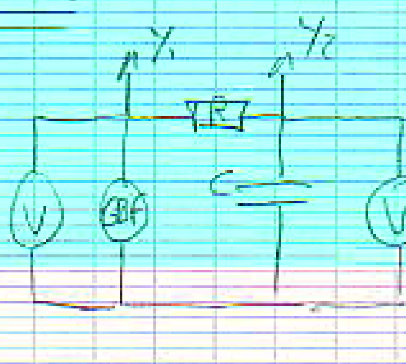
U_E est le signal de sortie d'un GBF. $C = 0,1\ \mu F$
$R = 3\ k\Omega$ $L = 16\ mH$
fréq antirésonnance = 4000 Hz



On trace $U_s = f(\omega)$. On détermine la fréquence d'anti-résonnance et on la compare à la valeur théorique. On justifie l'appellation de coupe-bande. On vérifie les valeurs limites de U_s quand ω tend vers 0 et l'∞. On appelle bande coupée la bande de fréquence pour laquelle $U_s \geq U_0 \times \sqrt{2}$ avec $U_0 = U(\omega_0)$. On détermine à l'aide du graphe la largeur de cette bande et on compare avec la valeur théorique

3) Filtre passe-bas - circuit RC

On décrit maintenant la réponse d'un circuit en régime sinusoïdale en fonction de la fréquence par sa fonction de transfert.



Circuit = dipôle RC
$R = 470\ \Omega$ $C = 0,1\ \mu F$

On fait varier la fréquence du signal délivré par le GBF en ajustant la tension d'entrée pour maintenir celle-ci constante. On compare U_S et U_E à l'oscillographe et on mesure U_S pour chacune des fréquences choisies.

On détermine expérimentalement la fréquence de coupure de ce filtre passe bas et on la compare à la fréquence théorique $f_C = 1/2\pi RC$.

A l'aide de la wobulation on trace $U_S = f(\omega)$ à l'oscilloscope.

A l'aide de Regressi, on trace le diagramme de Bode de la fonction de transfert de ce circuit RC.