TP E9 : OSCILLATEUR QUASI-SINUSOÏDAL A RESISTANCE NEGATIVE

<u>Capacités exigibles</u> : Réaliser un oscillateur quasi-sinusoïdal et mettre en évidence la distorsion harmonique des signaux par une analyse spectrale.

I) Principe d'un oscillateur quasi-sinusoïdal à résistance négative :

L'oscillateur quasi-sinusoïdal à « résistance négative » est sans doute l'oscillateur dont le principe est le plus simple. On sait qu'un circuit RLC (série par exemple) peut être le siège d'oscillations amorties dont l'amplitude décroît exponentiellement au cours du temps à cause des pertes par effet Joule dans la résistance. Pour compenser ces pertes, il suffit de disposer en série avec le circuit RLC un dipôle D qui, dans un certain domaine de tension et de courant, est assimilable à une « résistance négative ». On note « - $R_{nég}$ » cette résistance négative.

Imaginons qu'à t = 0, un microcourant (provenant du « bruit ») éphémère mais sinusoïdal, à la pulsation $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$, apparaisse dans le circuit.Trois cas apparaissent :

- R > $R_{nég}$: la résistance totale du circuit est positive : l'intensité dans le circuit s'amortit.
- R = $R_{nég}$: la résistance totale du circuit est nulle : le signal est entretenu et l'intensité dans le circuit est une fonction sinusoïdale du temps de pulsation $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$.
- R < $R_{nég}$: la résistance totale du circuit est négative : l'amplitude des oscillations croît au cours du temps, jusqu'à ce que la non-linéarité des différents dipôles (en particulier celle de la résistance négative) limite leur amplitude.

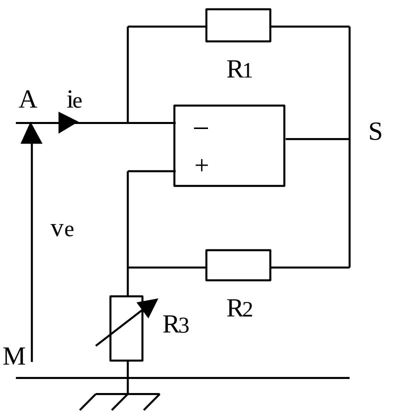
En conclusion, nous pouvons envisager des oscillations sinusoïdales auto-entretenues dans les conditions suivantes :

- la fréquence des oscillations est la fréquence propre du circuit RLC : $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.
- la résistance négative $R_{nég}$ est égale à la résistance R du circuit RLC.

Expérimentalement, on choisira $R_{nég}$ très légèrement supérieur à R, de telle sorte que l'amplitude des oscillations soit stabilisée par la saturation de l'amplificateur opérationnel (rôle des non linéarités).

II) Réalisation d'une « résistance négative » :

Considérons le montage ci-dessous. On supposera l'ALI idéal. Vu de l'entrée, c'est-à-dire vu des points A et M, ce montage se comporte comme un dipôle.



1) Calcul théorique :

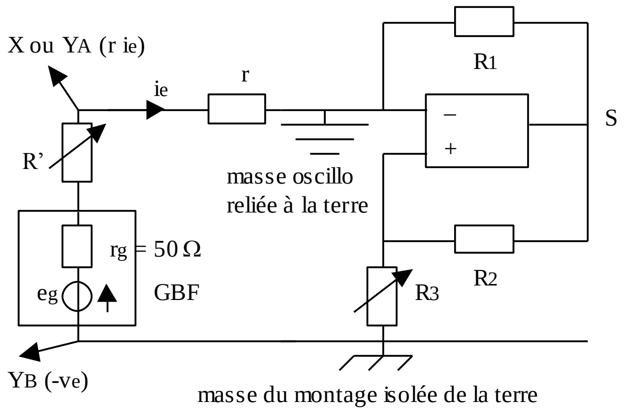
Montrer qu'en régime linéaire, ce montage se comporte comme une résistance négative. Donner l'expression de la résistance négative $R_{nég}$. Déterminer la caractéristique statique $v_e = f(i_e)$ de ce dipôle en régime linéaire.

2) Montages permettant la visualisation de la caractéristique statique :

On prendra $R_1 = R_2 = 1{,}0$ kΩ, et pour R_3 une résistance variable. Initialement, on prendra $R_3 = 200$ Ω.

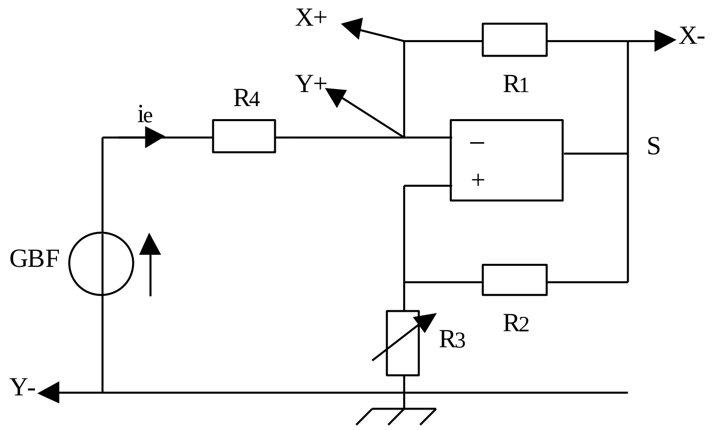
On cherche à visualiser directement à l'oscilloscope la caractéristique statique $v_e = f(i_e)$.
Faire attention aux problèmes de masse dans le système lors de la mesure. Comprendre que l'on ne peut pas observer la caractéristique statique avec un GBF non isolé de la terre et un oscilloscope à entrées non différentielles.
Ne sachant pas de quel matériel vous disposerez aux concours, je vous propose deux montages. Il faut comprendre les deux, et les réaliser.

<u>Montage 1</u> : GBF à masse flottante (isolé de la terre) + oscilloscope à entrées non différentielles relié à la terre.
Pour isoler le GBF de la terre, utiliser une multiprise dont la prise de terre a été enlevée.
On prendra R' = 450 Ω et r = 500 Ω.



En changeant le signe de la voie 2, et en se mettant en mode XY, on a la caractéristique attendue.

<u>Montage 2</u> : GBF relié à la terre + oscilloscope à entrées différentielles relié à la terre.
On prendra $R_4 = 1{,}3$ kΩ.



En se mettant en mode XY, on a la caractéristique attendue.

- Effectuer les deux montages, l'un après l'autre.

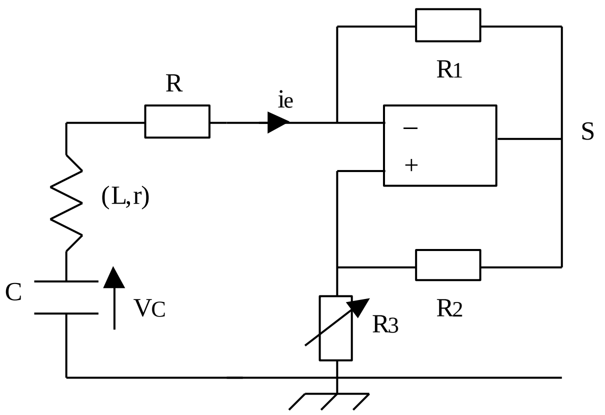
- Pour le premier montage, vérifier simplement que votre montage est correct : en doublant R_3, que se passe-t-il ? *Pour gagner du temps, on ne poussera pas davantage l'étude ce montage.*

- Pour le deuxième montage, doubler R_3. Que se passe-t-il ? Vérifier quantitativement que la pente est celle attendue (pour cette mesure, on prendra $R_3 = 200\ \Omega$). Evaluer les incertitudes sur les mesures. *S'il venait à manquer d'oscilloscopes à entrées différentielles, alors faire cette étude quantitative sur le premier montage (et alors le préciser dans le compte-rendu !).*

- Augmenter l'amplitude du signal d'entrée, et constater l'influence de la saturation de l'amplificateur opérationnel sur la caractéristique statique.

III) Réalisation d'un oscillateur quasi-sinusoïdal à résistance négative :

On dispose en série avec un circuit RLC le montage à résistance négative, pour compenser les pertes par effet Joule.



1) Etude théorique :

a) Déterminer l'équation différentielle vérifiée par le courant i_e (ne pas oublier de considérer la résistance interne r de la bobine).

b) Pour quelle valeur de $R_{nég}$ a-t-on des oscillations sinusoïdales ? Quelle est alors la fréquence des oscillations ? A quoi correspond cette fréquence ?

c) Pour quelles valeurs de $R_{nég}$ le système est-il instable ?

d) Quelle inégalité doit vérifier $R_{nég}$ afin d'assurer le démarrage des oscillations ?

e) Qu'est-ce qui limite physiquement l'amplitude des oscillations ? Comprendre le rôle des non linéarités dans la stabilisation de l'amplitude des oscillations.

f) Pourquoi cet oscillateur est-il qualifié de « quasi-sinusoïdal » ?

g) D'où provient l'énergie servant à compenser les pertes par effet Joule ?

h) Déterminer directement, en utilisant la notation complexe, la fréquence des oscillations, ainsi que la condition sur $R_{nég}$.

2) Etude expérimentale :

Réaliser le montage ci-dessus. On prendra pour R_3 une résistance variable, C = 1,0 µF, $R_1 = R_2 = R = 1{,}0$ kΩ. La valeur de l'inductance de la bobine est annoncée à L = 40 mH. Mesurer avec un ohmmètre la valeur de la résistance interne r de la bobine.

a) Brancher l'oscilloscope afin d'observer la tension V_C aux bornes du condensateur en voie 1 (ou X) et l'intensité i_e en voie 2 (ou Y). On opérera avec un oscilloscope à entrées différentielles, et également avec un oscilloscope à entrées non différentielles, en précisant comment on effectue les branchements. Qu'observe-t-on en faisant varier $R_{nég}$?

b) Pour quelle valeur de $R_{nég}$ (notée $R_{nég\ min}$) observe-t-on un signal ayant une allure sinusoïdale ? En déduire la valeur de la résistance interne r de la bobine. Comparer à la valeur donnée par l'ohmmètre. Evaluer les incertitudes sur les mesures.

c) Pour $R_{nég} = R_{nég\ min}$, mesurer la fréquence des oscillations. En déduire la valeur de l'inductance de la bobine. Comparer à la valeur donnée par le constructeur. Evaluer les incertitudes sur les mesures.
Remarque : une valeur de capacité peut être connue avec précision, ce qui est mis à profit pour déterminer une inductance (dont la valeur est beaucoup moins précise).

d) Pour différentes valeurs de $R_{nég}$, faire une analyse spectrale des signaux obtenus grâce à la fonction FFT de l'oscilloscope numérique. Mettre en évidence la distorsion harmonique des signaux. Constater que le signal est d'autant plus pur que la durée de saturation est petite devant la période.

e) L'utilisation des portraits de phase (tracé de la dérivée $\frac{dx}{dt}$ en fonction de x) apporte des renseignements précieux sur les grandeurs physiques, en particulier dans le cas d'une évolution chaotique ou dans le cas d'une évolution quasi-sinusoïdale.

- Pourquoi en mode XY obtient-on le portrait de phase $\left(V_C\,,\frac{dV_C}{dt}\right)$?
- Observer les portraits de phase pour $R_{nég} = R_{nég\ min}$, et pour une valeur de $R_{nég} > R_{nég\ min}$. Conclure.