OSCILLATEURS QUASI-SINUSOÏDAUX.

MATERIEL MIS A DISPOSITION :

- ✓ 1 Oscilloscope numérique
- ✓ 1 GBF
- ✓ 1 alimentation +15V/-15V
- ✓ 1 plaquette LAB
- ✓ Petits-fils courts
- ✓ 1 multimètre FLUKE
- ✓ 1 boite de résistance (à décades) précision 1%
- ✓ 1 boite de capacités (à décades)
- ✓ 1 Inductance (18 mH ou 36 mH)
- ✓ Composantes libres divers dont : diode à jonction 1N4007 ; AO TL081, résistances, capacités
- ✓ 2 câbles coaxiaux+ prise en « T »+ BNC
- ✓ 1 pont de mesures pour mesurer les résistances, inductances et capacités avec sa notice. Les notices des oscilloscopes, des GBF, des multimètres.

PREREQUIS :

- ✓ Filtre passe-bas du 2nd ordre : pulsation propre, facteur de qualité, diagramme de Bode, résonance
- ✓ Mesure de valeurs efficaces de tension à l'oscilloscope ou avec une carte d'acquisition ou avec un multimètre
- ✓ Mesure de déphasage à l'oscilloscope ou à l'aide d'une carte d'acquisition
- ✓ Comportement en fréquence des dipôles R, L et C
- ✓ Utilisation de plaquettes lab.
- ✓ Utilisation de l'ALI pour des montages linéaires ou non linéaires
- ✓ Analyse de Fourier, utilisation de la FFT sur un oscilloscope numérique
- ✓ EXAO avec carte d'acquisition et logiciel d'exploitation (ici carte SYSAM et logiciel LATTIS-PRO)

TRAVAIL DE PREPARATION

Pont de Wien :

- ✓ Faire une étude fréquentielle complète du système ouvert. Tracer notamment les diagrammes de Bode des fonctions de transfert $\underline{B}$ et $\underline{T} = A \times \underline{B}$ en remarquant que $\underline{B}$ est un filtre du second ordre décomposable en deux premiers ordres.
- ✓ A partir de l'étude fréquentielle du système fermé, établir les relations suivantes, issues de la condition d'accrochage :

$$\begin{cases} \omega_{osc} = \frac{1}{RC} \\ A = 3 \leftrightarrow R_2 = 2R_1 \end{cases}$$

- ✓ Faire une étude indicielle du système fermé et notamment établir les équations différentielles vérifiées par $V_r(t)$ lors du fonctionnement linéaire de l'oscillateur puis lorsqu'il fonctionne en régime non linéaire.

Autres oscillateurs :

- ✓ Exercice sur l'oscillateur à résistance négative à chercher.
- ✓ (5/2) Choisir un oscillateur, et l'étudier afin de pouvoir le réaliser en TP.

ÉNONCE DU TP (4H)

Pont de Wien

- ✓ Tracer le diagramme de Bode et le diagramme de Nyquist du système en boucle ouverte dans les trois cas : $Q \times A < 1$; $Q \times A = 1$; $Q \times A > 1$
- ✓ Justifier que pour que la condition de bouclage soit vérifiée, il faut que le diagramme de Nyquist de l'oscillateur en boucle ouvert englobe le point (0,1).
- ✓ Réaliser un oscillateur de fréquence 5 kHz et d'amplitude 5V
- ✓ Proposer une méthode pour évaluer le taux de distorsion du signal délivré par l'oscillateur.
- ✓ Mettre en œuvre un protocole permettant de limiter l'amplitude des oscillations et par la même le taux de distorsion de ce signal. Evaluer à nouveau le taux de distorsion.

Autres oscillateurs (5/2) :

- ✓ Obtenir le même signal sinusoïdal de fréquence 5 kHz et d'amplitude 5V, en utilisant les autres oscillateurs proposés dans le document 3.
- ✓ Evaluer le taux de distorsion. Conclure.

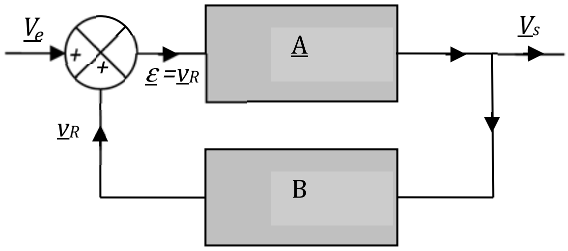
DOCUMENT 1 : OSCILLATEURS A REACTION.

Un oscillateur en électronique est un circuit produisant une tension de sortie périodique (créneaux, dents de scie, sinusoïdale…) avec seulement une tension d'alimentation continue en entrée. Il n'y a donc pas besoin de signal périodique en entrée.

Les oscillateurs quasi-sinusoïdaux reposent sur le principe de la rétroaction positive : La tension de sortie d'un amplificateur ($\underline{A}$) est renvoyée vers l'entrée sans changement de phase.

1ère approche : système bouclé

Soit le système bouclé suivant :

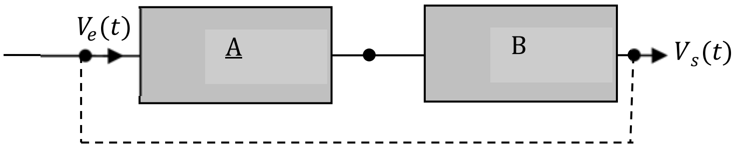


Pour que le système soit le lieu d'oscillations auto-entretenues, il faut que $V_s(t)$ soit non nulle avec $V_e(t) = 0$.

La tension de rétroaction v_r est amplifiée pour produire la tension de sortie, qui produit à son tour la tension de rétroaction, les tensions v_r et v_s étant en phase.

2ème approche : système ouvert

Soit le système « en boucle ouverte » :



Pour que le système soit le lieu d'oscillations auto-entretenues, lorsque l'on boucle la sortie sur l'entrée (par l'intermédiaire d'un fil), il faut que $V_s(t)$ soit non nulle alors que l'entrée n'est plus alimentée.

1. RECHERCHE DE SOLUTIONS SINUSOÏDALES.

1ère approche : système bouclé

Sachant que la fonction de transfert du système est : $\underline{H} = \frac{\underline{V_s}}{\underline{V_e}} = \frac{\underline{A}}{1-\underline{AB}}$ on en déduit que pour que le système soit le siège d'oscillations sinusoïdales, il faut que : $\underline{A} \times \underline{B})_{\omega=\omega_{osc}} = 1$.

2ème approche : système ouvert

Sachant que la fonction de transfert du système en boucle ouverte est : $\underline{T} = \frac{\underline{V_s}}{\underline{V_e}} = \underline{A} \cdot \underline{B}$ et que le bouclage impose $\underline{V_s} = \underline{V_e}$, on en déduit que pour que le système soit le siège d'oscillations sinusoïdales, il faut que : $\underline{T} = 1$ et donc que $\underline{A} \times \underline{B})_{\omega=\omega_{osc}} = 1$.

On obtient dans les deux cas le même résultat :

- Le gain en tension de la boucle doit être égal à 1 : $|\underline{A}.\underline{B}| = 1$ pour $\omega = \omega_{osc}$
- Le déphasage de la boucle de rétroaction doit être nul : $\phi_A + \phi_B = 0$ pour $\omega = \omega_{osc}$

Ce dernier point est à rapprocher des conditions pour observer des interférences constructives en optique : Les signaux doivent être en phase.

Rappelons que la résolution de l'équation complexe : $\underline{AB} = 1$, nous donne deux équations réelles et donc nous permet de déterminer la pulsation des oscillations (ω_{osc}) ainsi qu'une condition reliant différents paramètres de l'oscillateur pour les oscillations démarrent (condition d'accrochage).

À titre d'exemple, pour l'oscillateur à pont de Wien, on a :

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$B = \frac{j\left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)}{1 + \frac{1}{Q}j\left(\frac{\omega}{\omega_o}\right) - \left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)^2}$$

La condition $\underline{AB} = 1$ donne ici : $\omega_{osc} = \omega_o$ et $A = \frac{1}{Q}$

2. Condition d'accrochage.

a. Approche iterative pour obtenir la condition : $|\underline{A}.\underline{B}|\,)_{\omega=\omega_{osc}} > 1$.

On se place dans le cas d'un système bouclé :

- On étudie la tension V_s obtenue en sortie à partir d'une tension d'entrée V_e et on se place dans le cas simple où A et B sont réelles.

  En premier on obtient : $V_s = A \times V_e$

  Puis : $V_s = A \times V_e + A^2B \times V_e = A \times V_e(\,1 + AB)$

  Puis : $V_s = A \times V_e + AB(A \times V_e + A^2B \times V_e) = A \times V_e(1 + AB + (AB)^2)$

  Puis : : $V_s = A \times V_e + AB\big(A \times V_e(1 + AB + (AB)^2)\big) = A \times V_e(1 + AB + (AB)^2 + (AB)^3)$

  $\Rightarrow$ On obtient ainsi une suite géométrique de raison AB.

  $\Rightarrow$ Pour obtenir des signaux non nuls, en l'absence de générateur, il faut que cette suite diverge et donc que $AB > 1$

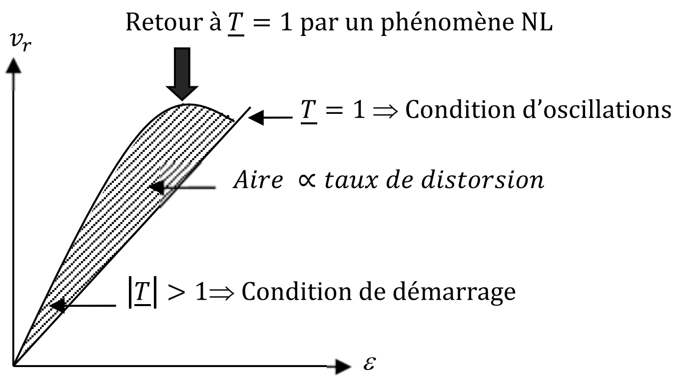
En généralisant ce résultat au cas où $\underline{A}$ et $\underline{B}$ sont complexes, on obtient la condition d'accrochage pour les oscillateurs quasi sinusoïdaux : $|\underline{A}.\underline{B}|\,)_{\omega=\omega_{osc}} > 1$

b. Limitation de l'amplitude des oscillations : Non linearites.

- On sait qu'un gain de 1 est nécessaire pour que les oscillations soient entretenues. Cependant pour que les oscillations débutent, **le gain doit être supérieur à 1 de façon à ce que la tension de sortie puisse atteindre un niveau désiré** (oscillations croissantes). Le gain doit ensuite diminuer (oscillations décroissantes) jusqu'àEnon 1 pour que la sortie puisse être maintenue à ce niveau et que les oscillations soient entretenues.

L'amplitude des oscillations augmente tant que le fonctionnement de l'oscillateur est linéaire : C'est l'apparition de non linéarités qui permet de revenir à $|\underline{A}.\underline{B}| = 1$

- En l'absence de dispositif spécifique de stabilisation de l'amplitude des oscillations, c'est la tension de saturation des composants électroniques (ALI, puces…) qui limite l'amplitude des oscillations. Le défaut principal de ce type de montage, c'est que le signal de sortie est largement déformé par la saturation des ALI (présence de nombreuses harmoniques dans le spectre de Fourier).
- De fait, on cherchera plutôt à limiter l'amplitude des oscillations par un dispositif non linéaire dédié (diodes, CTN, transistor…) de façon à limiter la déformation du signal de sortie et se rapprocher d'un signal sinusoïdal pur.



- Pour l'oscillateur à Pont de Wien, la condition $|\underline{A}.\underline{B}|)_{\omega=\omega_{osc}} > 1$ se traduit par $A > \frac{1}{Q}$

3. Approche indicielle : Etude de la stabilite du systeme.

- Pour commencer, reprenons l'exemple de l'oscillateur à pont de Wien :

La chaine directe est un amplificateur $\left(A = 1 + \frac{R_2}{R_1} = cste \quad \forall\omega\right)$ et le circuit de rétroaction est un filtre passe-bande de pulsation de résonance $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ et de facteur de qualité $Q = \frac{1}{3}$: on parle de circuit résonant ou résonateur.

Une étude indicielle du système montre que, en régime linéaire, l'équation différentielle vérifiée par $V_r(t)$ est de la forme :

$$\frac{d^2V_r}{dt^2} - \left(A - \frac{1}{Q}\right)\omega_0\frac{dV_r}{dt} + \omega_o^2 V_r = 0$$

Ainsi, pour avoir des oscillations sinusoïdales, il faut que $A = \frac{1}{Q}$. Autrement dit, Il faut que l'énergie dissipée à chaque cycle dans l'oscillateur (ou résonateur) soit compensée par l'énergie apportée par l'amplificateur.

Notons que pour le démarrage des oscillations, il faut que $A > \frac{1}{Q}$: on retrouve bien la condition d'accrochage précédente.

- On peut généraliser ce résultat de la manière suivante :

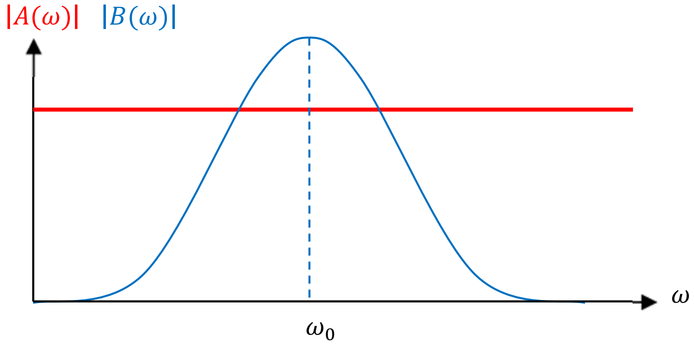
Un oscillateur à rétroaction résonante délivre un signal non nul si l'énergie dissipée dans le résonateur pendant une période est compensée par l'énergie apportée par l'amplificateur pendant cette même période.

4. Approche spectrale, notion de resonateur et d'excitateur.

a. Oscillateur a pont de Wien.

- Dans l'oscillateur à pont de Wien, le système A, apportant pour chaque alternance l'énergie nécessaire à compenser l'énergie dissipée par effet Joule, est appelé l'excitateur. Le système B, filtre passe-bande, est appelé le résonateur.

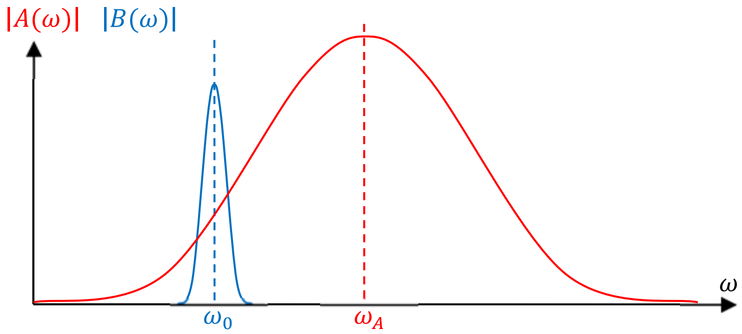
- Les variations de $|A(\omega)|$ et $|B(\omega)|$, dans le cas de l'oscillateur à pont de Wien sont données ci-dessous :



$\Rightarrow$ La fréquence d'accrochage est celle du résonateur (circuit de rétroaction)

b. CAS GENERAL.

- Dans un cas plus général, les spectres d'amplitude du résonateur et de l'oscillateur sont de la forme :



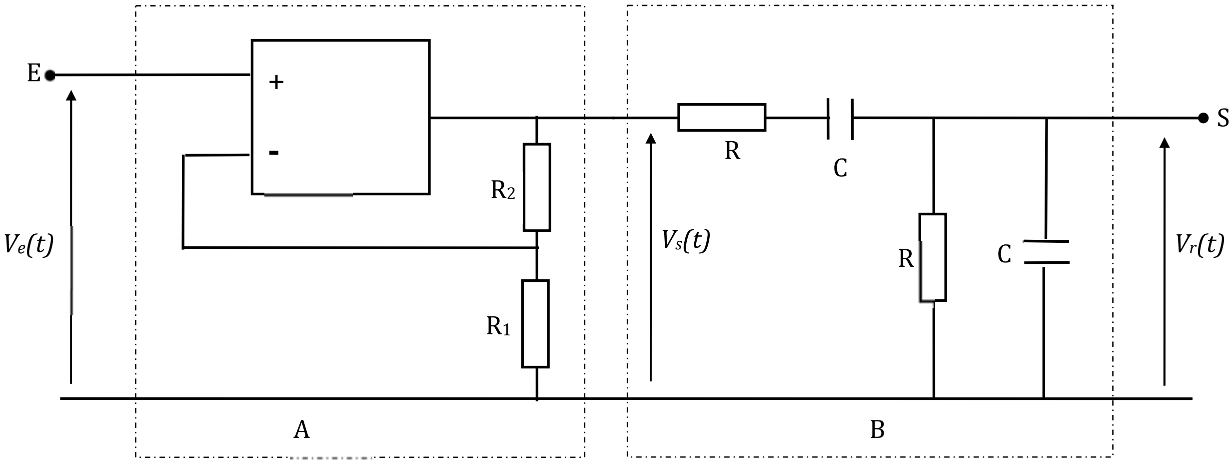
On admet alors les résultats suivants :

- ✓ La condition d'accrochage $\left|\underline{A}.\underline{B}\right|\Big)_{\omega=\omega_{osc}} > 1$ est satisfaite si les deux courbes se recouvrent suffisamment.
- ✓ La pulsation des oscillations est intermédiaire entre les deux pulsations ω_0 et ω_A.
- ✓ Si l'une des deux courbes est très étroite devant l'autre (souvent le cas du résonateur) alors c'est elle qui fixe la pulsation des oscillations.

Document 2 : Oscillateur a Pont de Wien.

1. Presentation du montage.

Le montage suivant, montage de base de l'oscillateur à pont de Wien, est constitué de deux quadripôles en cascade :

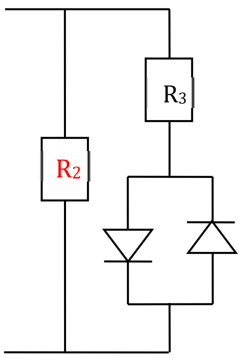


- ✓ Le montage tel qu'il est représenté est appelé montage en boucle ouverte : les systèmes linéaires A et B étant en cascade, la fonction de transfert du système en boucle ouvert est : $\underline{T} = A \times \underline{B}$
- ✓ En l'absence de générateur extérieur, si l'on boucle la sortie, repérée par $V_r(t)$, sur l'entrée, repérée par $V_e(t)$, on peut observer, sous certaines conditions des oscillations : on réalise bien un oscillateur à réaction ou oscillateur quasi sinusoïdal.

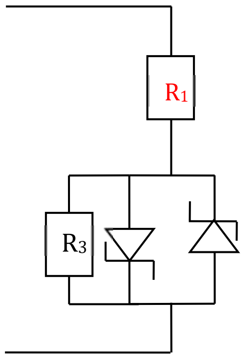
2. Limitation de la saturation.

Afin de limiter l'amplitude des oscillations et donc la saturation, on peut :

- Remplacer R_2 par une thermistance (CTN : résistor dont la résistance diminue quand la température augmente : $R_2 = R_o e^{-\beta P}$ où P est la puissance thermique reçue).
- Remplacer la branche contenant R_2 par la branche suivante :

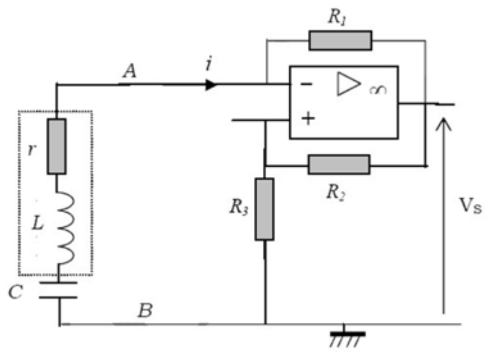


- Remplacer la branche contenant R_1 par la branche suivante :



DOCUMENTS 3 : EXEMPLES D'OSCILLATEURS A REACTION.

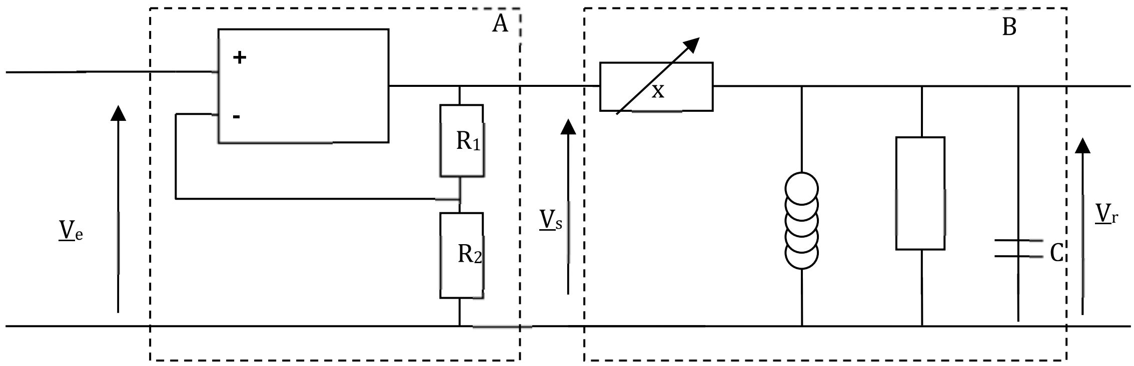
1. OSCILLATEUR A RESISTANCE NEGATIVE.



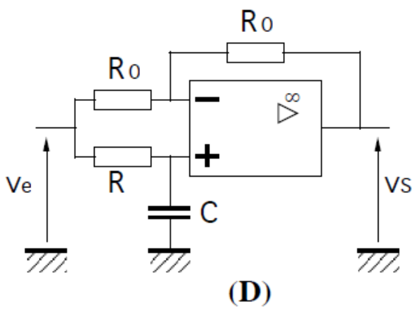
QUELQUES INDICATIONS :

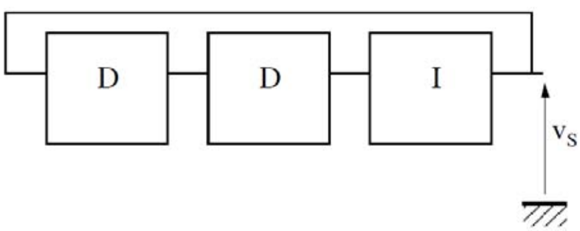
- Montrer que le montage, vu à droite des bornes *A* et *B*, est un dipôle passif de résistance négative ($-R$). Exprimer R en fonction de : R_1, R_2 *et* R_3 .
- Déterminer l'équation différentielle vérifiée par i(t). Etablir la solution i(t).
- A quelle condition, vérifiée par *r*, le circuit se comporte comme un oscillateur ?
- Quelle est la pulsation propre ω_0 des oscillations ?

2. OSCILLATEUR LC.



3. OSCILLATEUR DEPHASEUR.





Dans ce montage, (D) est un déphaseur et (I) est un ampli inverseur de gain G.

Montrer qu'il existe une valeur du gain de (I) qui permet au système de devenir un oscillateur quasi-sinusoïdal dont on déterminera la fréquence. Quelle est alors la valeur du déphasage apporté par chaque déphaseur. Interpréter.

DOCUMENT 4 : TAUX DE DISTORSION HARMONIQUE.

Le taux de distorsion, encore appelé distorsion harmonique totale est défini comme le rapport de la valeur efficace globale des harmoniques (c'est-à-dire leur somme quadratique) à la valeur efficace de la composante fondamentale.

Il peut s'appliquer soit au courant ou à la tension.

Expression :

$$THD = \frac{\sqrt{H_2^2 + H_3^2 + \dots}}{F_1}$$

Où :

- H_i est l'amplitude de l'harmonique de rang i
- F_1 est l'amplitude du fondamental

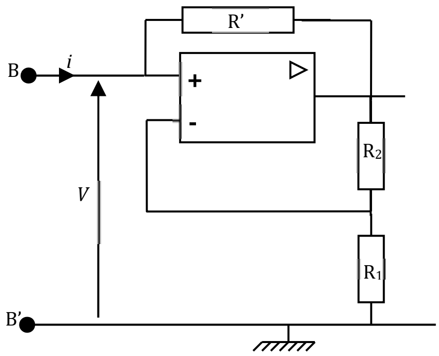
EXERCICES

EXERCICE 1

Oscillateur à résistance négative.

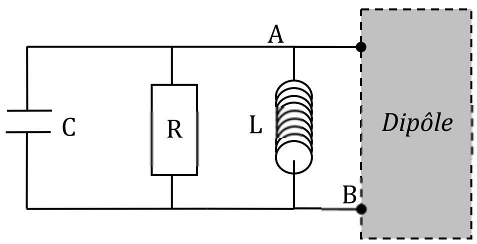
On considère un A.O. idéal dont la tension de saturation de la sortie vaut V_{sat} ($V_{sat} > 0$).

L'A.O. est utilisé dans le circuit dipolaire *BB'*



1. Résistance négative.
   a. Dans le cas où l'A.O. conserve. un régime de fonctionnement linéaire, montrer que le dipôle *BB'* est équivalent à une résistance négative - R_N ($R_N > 0$) que l'on exprimera en fonction de R_1, R_2 et R'.
   b. Le régime de fonctionnement de l'A.O. n'étant plus supposé linéaire a priori, déterminer la caractéristique i = f(v) du dipôle *BB'*, lorsque v varie entre -V_{sat} et +V_{sat}.
   Représenter la courbe i = f(v).
   c. On admet, dans toute la suite de ce problème, qu'on peut remplacer l'équation i = f(v) de la caractéristique trouvée ci-dessus par l'équation approchée : $i = g(v) = a.v(-1 + bv^2)$ où a et b désignent deux constantes positives. Déterminer les constantes a et b afin que les fonctions f(v) et g(v) :
      i. Soient nulles pour les mêmes valeurs de la tension v
      ii. Admettent la même tangente en v = 0
   On exprimera a et b en fonction de R_N et de V_{sat}.

2. Oscillateur à résistance négative.
   Le dipôle ci-dessus est inséré dans le circuit ci-dessous.



L'A.O, est supposé fonctionner en régime linéaire.

a. Etablir l'équation différentielle que vérifie la tension $v(t)$ aux bornes du condensateur C.

b. En déduire la condition pour que le circuit soit le siège d'oscillations sinusoïdales dont on déterminera la pulsation.

c. Le régime de fonctionnement de l'A.O, n'est plus supposé linéaire a priori et on admet que la caractéristique du dipôle BB' est bien représentée par la relation $i = g(v)$.

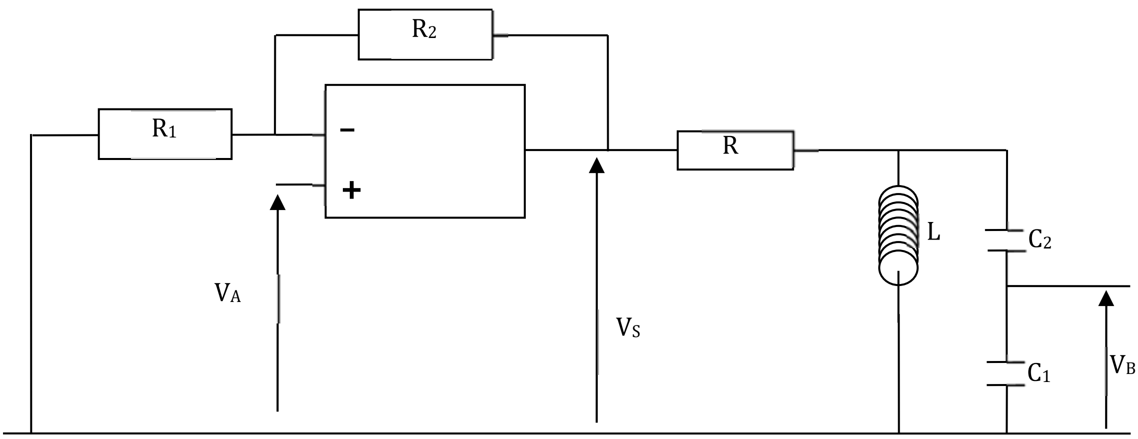
   i. Montrer que l'équation différentielle vérifiée par $v(t)$ est de la forme : $\frac{d^2v}{dt^2} - \frac{1}{\gamma}\left(1 - \frac{v^2}{V_o^2}\right)\frac{dv}{dt} + \omega_o^2 v = 0$. Exprimer γ, V_o et ω_o.

   ii. En partant de $v(0) = 0$, analyser qualitativement le fonctionnement du circuit. Montrer notamment que, en régime permanent, la tension $v(t)$ est (quasi) sinusoïdale de pulsation ω_o.

d. Déterminer l'amplitude V_m de la tension $v(t)$ en écrivant que, la puissance moyenne dissipée par effet Joule dans la résistance R est compensée par la puissance moyenne fournie par le dipôle BB' . On exprimera V_m en fonction de R, R_N et de V_{sat}.

EXERCICE 2

1. Etablir la fonction de transfert du montage ci-dessous :



2. On relie A et B.

   Quelle est, en régime linéaire, l'équation différentielle vérifiée par $v_B(t)$?

   Qu'observe-t-on ? Sous quelles conditions ?