

FONCTIONS OSCILLATRICES D'UN AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

I.	RAPPEL SUR LES PROPRIETES DE L'AOP EN FONCTIONNEMENT LINEAIRE	2
II.	DEFINITION D'UN OSCILLATEUR	2
III.	MONTAGE ASTABLE.....	3
A.	COMPAREUR A HYSTERESIS	3
1.	<i>Compateur simple.....</i>	3
2.	<i>Compateur à hystérésis</i>	3
B.	MULTIVIBRATEUR ASTABLE.	5
1.	<i>Montage</i>	5
2.	<i>Fonctionnement.....</i>	5
3.	<i>Montage permettant d'obtenir un rapport cyclique différent de 1/2.....</i>	7
IV.	OSCILLATEUR SINUSOÏDAL A CELLULE RC	7
V.	OSCILLATEUR SINUSOÏDAL ; RLC SERIE.....	9
A.	MONTAGE.....	9
B.	FONCTIONNEMENT EN REGIME PERMANENT	9
C.	AUTRE METHODE POUR PRESENTER LE CIRCUIT	9
D.	SIMULATION D'UNE RESISTANCE NEGATIVE A L'AIDE D'UN AOP	10
VI.	OSCILLATEUR SINUSOÏDAL ; (RL)C PARALLELE	10
A.	MONTAGE.....	10
B.	FONCTIONNEMENT EN REGIME PERMANENT	10
VII.	CONCLUSION	11

FONCTIONS OSCILLATRICES D'UN AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

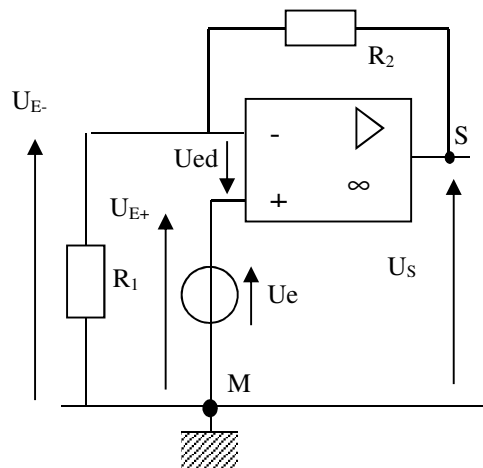
I. RAPPEL SUR LES PROPRIETES DE L'AOP EN FONCTIONNEMENT LINEAIRE

On rappelle que l'AOp est un circuit ayant les propriétés suivantes :

$$U_s = A_d U_{ed}$$

Avec pour l'AOp idéal $A_d = \infty$.

Il faut donc placer l'AOp dans un circuit extérieur de telle façon qu'une branche renvoie une fraction de la tension de sortie vers l'entrée inverseuse : ce type de montage permet de stabiliser la tension de sortie entre $]-U_{sat}, +U_{sat}[$, pour des valeurs de composants judicieusement choisies. Dans le cas contraire la tension de sortie de l'AOp ne peut prendre que deux valeurs, $-U_{sat}$, ou $+U_{sat}$, suivant le signe de U_{ed} : le fonctionnement n'est pas linéaire.



Montage amplificateur non-inverseur

Dans la suite de ce chapitre, nous montrerons que l'on peut mettre à profit les états de saturation de l'AOp pour réaliser des oscillateurs.

II. DEFINITION D'UN OSCILLATEUR

Un oscillateur est un circuit électrique ou électronique qui peut délivrer des signaux périodiques caractérisés par :

- Leur période T (ou fréquence f).
- Leur forme (sinusoïdale, carrée,...).
- Leur amplitude.

On pourra faire la distinction entre deux familles de forme :

1. Les tensions du type créneaux périodiques, dents de scie, impulsions.
2. Les tensions du type sinusoïdal

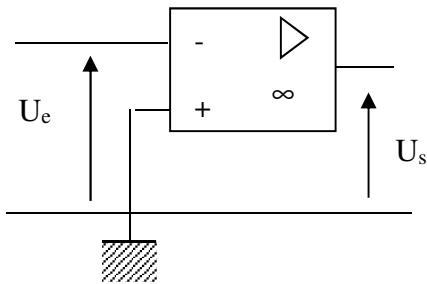
Dans le premier cas, les circuits délivrant de telles tensions sont du type multivibrateur astable. Leur comportement est décrit par des équations différentielles du premier ordre. Dans le second cas ce sont des circuits dont le comportement est décrit par des équations différentielles du second ordre.

On remarquera que les montages oscillateurs ne nécessitent pas l'utilisation d'un générateur ou d'une tension externe pour la tension d'entrée $u_e(t)$.

III. MONTAGE ASTABLE

A. COMPAREUR A HYSTERESIS

1. Comparateur simple



Si $U_{E+} > U_{E-}$ (ici $U_e < 0$) alors $U_s = + U_{sat}$

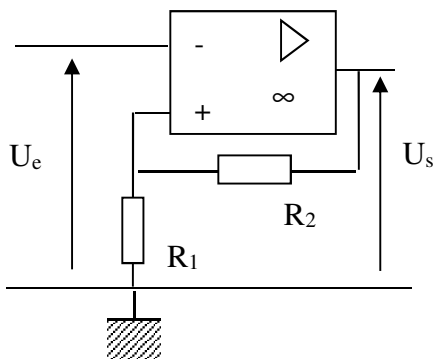
Si $U_{E-} > U_{E+}$ (ici $U_e > 0$) alors $U_s = - U_{sat}$

Problème : Si la tension U_{E-} est proche de la tension U_{E+} et si le signal d'entrée U_e présente des variations (« bruit », instabilités, transitoires,...) alors U_s oscille aléatoirement. L'état de la sortie ne peut être défini de façon univoque.

Solution : le comparateur à hystérésis.

2. Comparateur à hystérésis

a) Montage



$$U_{E-} = U_e$$

$$U_{E+} = \frac{0}{R_1} + \frac{U_s}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_s$$

La réaction étant entre la sortie et l'entrée non-inverseuse E_+ , le montage ne peut pas fonctionner en linéaire. La tension de sortie U_s prend les valeurs $\pm U_{sat}$.

b) Fonctionnement

Si U_e augmente à partir d'une valeur < 0 : $U_{E+} > U_{E-} \Rightarrow U_s = + U_{sat}$. Lorsque U_e continue à croître et atteint puis « passe » au dessus de la valeur $U_e = + \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{sat}$ alors

$U_{E-} > U_{E+}$ et U_s « bascule » et prend la valeur $-U_{sat}$.

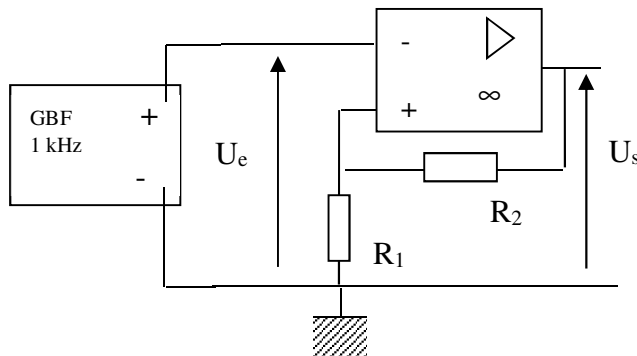
Si U_e diminue à partir d'une valeur $U_e > -\frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{sat}$, $U_{E-} > U_{E+} \Rightarrow U_s = -U_{sat}$.

Lorsque U_e continue à décroître, atteint puis « passe » sous la valeur $U_e = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{sat}$ alors U_s « bascule » et prend la valeur $+U_{sat}$ car $U_{E-} < U_{E+}$.

Valeurs typiques : $R_1 = R_2 = 10\text{ k}\Omega$

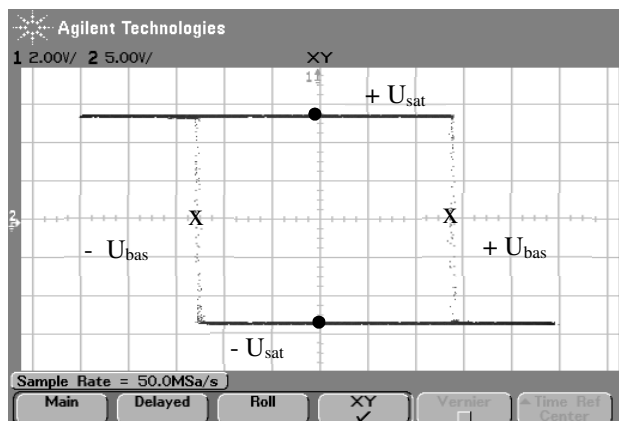
c) Montage, représentation du cycle

On pourra, dans un premier temps, appliquer une tension continue, en utilisant l'offset du GBF afin de montrer la bascule de la sortie que l'on visualisera à l'aide de deux volt-mètres, un pour U_e l'autre pour U_s . On appliquera ensuite, avec le GBF, un signal alternatif sinusoïdal afin de faire varier la tension d'entrée $u_e(t)$. On visualisera les tensions $u_e(t)$ et $u_s(t)$ à l'oscilloscope.



L'usage du mode XY de l'oscilloscope permet, de surcroît, de visualiser directement le cycle d'hystérésis.

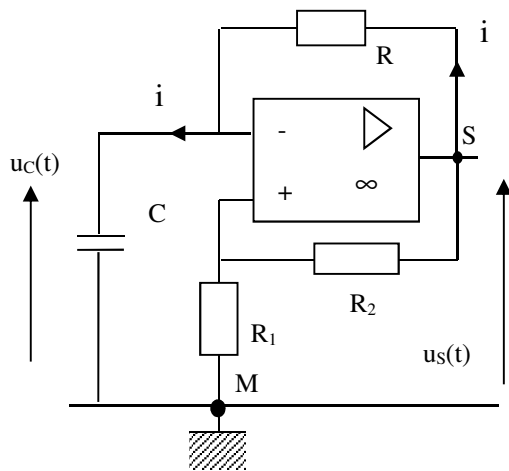
Cependant le défaut appelé « slew rate » empêche le cycle d'être parfaitement carré : la « bascule » de $-U_{sat}$ à $+U_{sat}$ s'effectue sur un intervalle de temps Δt non nul, pendant lequel U_e varie.



$$\pm U_{bas} = \pm \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{sat}$$

B. MULTIVIBRATEUR ASTABLE.

1. Montage



$$\text{Réaction sur } E_+ : \quad k_+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\text{Contre réaction sur } E_- : k_- = \frac{0}{0 + R_2}$$

2. Fonctionnement

a) Charge

On suppose que $u_c(t=0) = U_{c0} = 0$ et que $U_s = +U_{\text{sat}}$ à $t = 0$.

On prend pour convention $i > 0$ de S vers C (choix arbitraire). Dans cette hypothèse :

$$U_{E+} = + \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{\text{sat}}$$

$$U_{E-} = u_c(t)$$

le condensateur se charge à travers la résistance R.

$$u_s(t) = +U_{\text{sat}} \quad \text{et} \quad u_s(t) = u_c(t) + Ri(t) \quad \text{avec} \quad i(t) = C \frac{du_c}{dt} \quad (du_c > 0)$$

En égalisant les deux expressions de $u_s(t)$, on trouve l'équation suivante :

$$u_c(t) + RC \frac{du_c}{dt} = +U_{\text{sat}}$$

Equation différentielle du premier ordre décrivant la charge du condensateur C dont la solution est :

$$u_c(t) = +U_{\text{sat}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad \text{avec} \quad \tau = RC$$

La tension de l'entrée inverseuse de l'AOp, U_{E-} , va donc croître avec $u_c(t)$ de 0, à $t=0$, à $+U_{\text{sat}}$.

La tension sur l'entrée E_+ prend la valeur constante $U_{E+} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{\text{sat}}$.

b) Décharge

- Au temps t_1 , $U_{E-} = U_{E+} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{\text{sat}}$
- A $t = t_1 + \varepsilon$, $U_{E-} > U_{E+} \rightarrow$ la sortie bascule de $+U_{\text{sat}}$ à $-U_{\text{sat}}$: $U_s(t_1 + \varepsilon) = -U_{\text{sat}}$ et

$$\text{l'entrée } E_+ \text{ bascule vers } U_{E+} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{\text{sat}}.$$

La tension aux borne du condensateur est :

$$u_c(t_1 + \varepsilon) = +\frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{\text{sat}}$$

Le condensateur se décharge alors à travers la résistance R ($i < 0$, suivant la convention précédente). On pose $t' = t - t_1$ et on écrit les équations décrivant la décharge :

$$u_s(t') = -U_{\text{sat}} \quad \text{et} \quad u_s(t') = u_c(t') + Ri(t') \quad \text{avec } i(t') = C \frac{du_c}{dt'} \quad (du_c < 0)$$

En égalisant les deux expressions de $u_s(t')$, on trouve l'équation suivante :

$$u_c(t') + RC \frac{du_c}{dt'} = -U_{\text{sat}}$$

Equation différentielle du premier ordre décrivant la décharge du condensateur C .

En tenant compte de la condition initiale suivante à $t'=0$ $u_c(t'=0) = +\frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{\text{sat}}$

La solution de l'équation est :

$$u_c(t') = +U_{\text{sat}} \left(-1 + \frac{2R_1 + R_2}{R_1 + R_2} e^{-\frac{t'}{\tau}} \right)$$

La tension $u_c(t)$ va décroître à partir de $t = t_1$ ($t'=0$) : il y a décharge du condensateur et l'entrée U_{E-} voit sa tension diminuer à partir de $+\frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{\text{sat}}$ et tendre vers $-U_{\text{sat}}$.

Pendant cette période du cycle, U_{E+} reste constante, égale à $-\frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{\text{sat}}$.

- Au temps $t = t_2$, $U_{E-} = U_{E+} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{\text{sat}}$ On définit $t'' = t - t_2$.
- A $t = t_2 + \varepsilon$ ($t'' \geq 0$) $U_{E-} < U_{E+}$ et la sortie « bascule » à $+U_{\text{sat}}$.

$$u_c(t'_2) = +U_{\text{sat}} \left(-1 + \frac{2R_1 + R_2}{R_1 + R_2} e^{-\frac{t'_2}{\tau}} \right) \quad \text{avec } t'_2 = t_2 - t_1$$

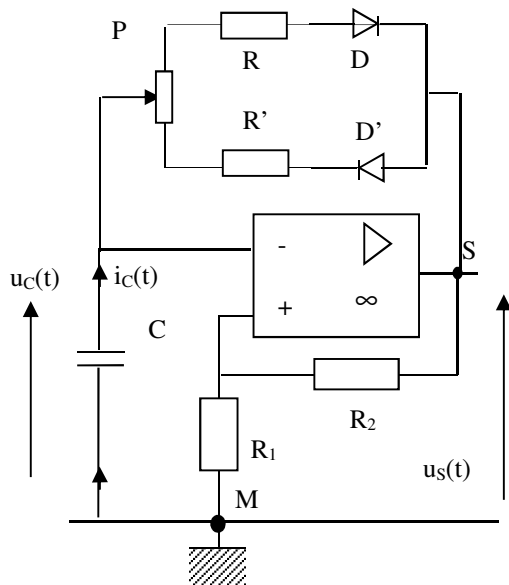
et $u_c(t'_2) = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{\text{sat}}$

Le rédacteur étant fatigué de taper les équations à l'ordinateur, il encourage donc le lecteur à poursuivre seul l'étude de ce circuit :

- On déterminera ensuite l'expression du temps t'_2 et de t_2 en fonction de τ , R_1 , R_2 . On étudiera enfin un second cycle de charge du condensateur afin de déterminer la période T du cycle :

$$T = 2 \tau \ln \left(\frac{2R_1 + R_2}{R_2} \right) \quad \text{avec } \tau = RC$$
- On pourra enfin représenter le graphe de la fonction décrivant $u_s(t)$, ainsi que l'état des entrées $u_{E-}(t)$ et $u_{E+}(t)$.

3. Montage permettant d'obtenir un rapport cyclique différent de $\frac{1}{2}$



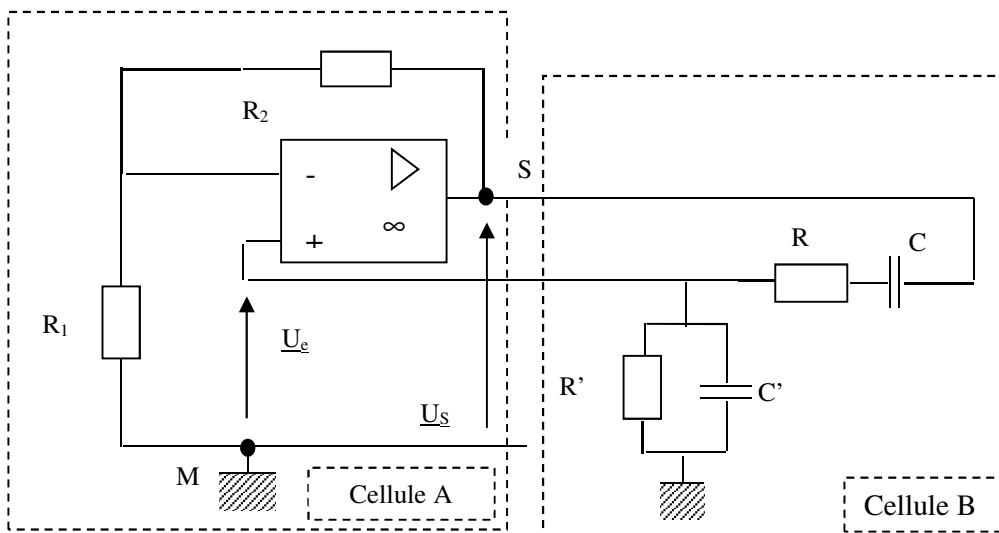
D et D' sont des diodes. P est un potentiomètre dont la résistance totale est égale à $(R+R')$. Ce potentiomètre permet de choisir la valeur du rapport cyclique.

Lors de la décharge du condensateur, i est > 0 , D est passante, $\tau = RC$.

Lors de la charge du condensateur, i est < 0 , D' est passante, $\tau = R'C$.

IV. OSCILLATEUR SINUSOÏDAL A CELLULE RC

Oscillateur à pont de Wien :



La cellule « A » contient la chaîne d'amplification : on note $\underline{A} = \frac{U_s}{U_e}$

La cellule « B » contient la chaîne de retour (filtre) : on note $\underline{B} = \frac{U_e}{U_s}$

Le signal d'entrée étant appliqué à l'entrée E_+ de l'AOp, on en déduit que la cellule A est un amplificateur non-inverseur: $\underline{A} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

La cellule B étant un filtre, on calcule la fonction de transfert de ce filtre. Le signal de sortie de l'AOp correspond au signal d'entrée du filtre et, réciproquement, la sortie du filtre correspond à l'entrée de l'AOp. Donc:

$$\underline{B} = \frac{U_e}{U_s} = \frac{Z_{//}}{Z_s + Z_{//}}$$

On déterminera l'expression de $\underline{B}$ en fonction de $(R_1, R_2, R, R', C \text{ et } \omega)$.

La condition pour que ce circuit fonctionne est : $\underline{A} \underline{B} = 1$

A partir de cette égalité on peut définir l'expression de la pulsation ω_0 , qui correspond à la fréquence propre d'oscillation du circuit, en cherchant la valeur de ω_0 telle que $\underline{A} \underline{B}$ soit réel pur. On détermine la fréquence des oscillations et, pour simplifier le calcul, on prendra $R=R'$ et $C=C'$:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi(RC)}$$

On cherchera ensuite la condition d'entretien des oscillations en cherchant les valeurs de R_1, R_2 telles que $|\underline{A} \underline{B}|_{\omega=\omega_0} \geq 1$. Pour simplifier le calcul, on prendra à nouveau $R=R'$ et $C=C'$. Dans ce cas, on trouve la condition d'entretien des oscillations :

$$R_2 \geq 2 R_1$$

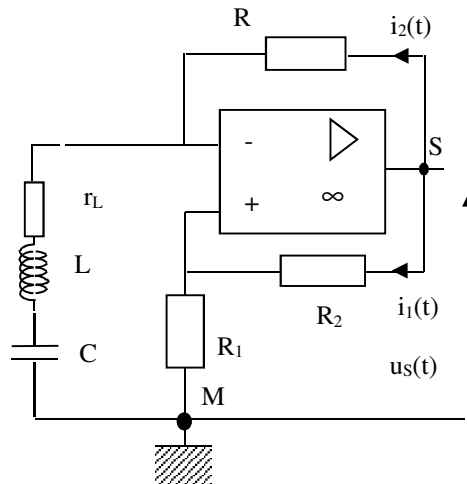
Valeurs expérimentales :

On dispose, dans le coffret « Montelec » de deux impédances (RC) série et parallèle avec $R=10 \text{ k}\Omega$ et $C=10 \text{ nF}$.

On choisira $R_1 \approx 1 \text{ k}\Omega$ et pour R_2 on prendra un potentiomètre $[0, 10] \text{ k}\Omega$. On règle la valeur du potentiomètre pour obtenir « l'accrochage » des oscillations. On peut utiliser l'oscilloscope en mode déclenchement monocoup pour visualiser le régime transitoire correspondant à « l'accrochage ».

V. OSCILLATEUR SINUSOÏDAL ; RLC SERIE

A. MONTAGE



B. FONCTIONNEMENT EN REGIME PERMANENT

On détermine l'expression de U_{E+} et U_{E-} en utilisant le théorème de Millmann et les impédances complexes. Ceci permet d'obtenir une relation entre les dipôles constituant le circuit externe (R , R_1 , R_2 , L , r_L , C). En écrivant l'égalité des parties réelles et imaginaires, on trouve respectivement la condition d'entretien des oscillations et la pulsation propre du circuit ω_0 .

Le lecteur pourra ensuite, pour son plus grand bonheur, écrire l'équation différentielle du second ordre qui décrit les oscillations. Il faut pour cela utiliser les tensions instantanées. Enfin une chaleureuse discussion de la valeur du coefficient du terme de dérivée première permettra de conclure brillamment cette étude.

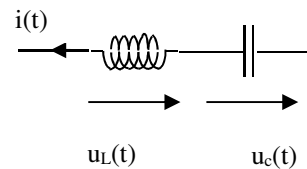
C. AUTRE METHODE POUR PRESENTER LE CIRCUIT

Pour réaliser un oscillateur LC parfait il faut disposer de composants idéaux sans résistance. Dans ce cas un circuit du type LC série ayant ses deux pôles à la masse forme la structure d'un oscillateur parfait.

Le comportement d'un tel circuit est décrit par l'équation différentielle suivante :

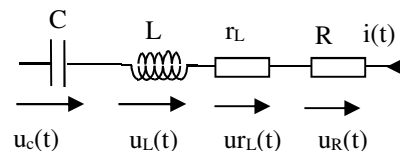
$$LC \frac{d^2 u_c}{dt^2} + u_c = 0$$

La solution étant : $u_c(t) = U_m \cos(\omega t)$



Les composants étant bien réels on trouvera une résistance dans le circuit et l'équation décrivant le circuit devient :

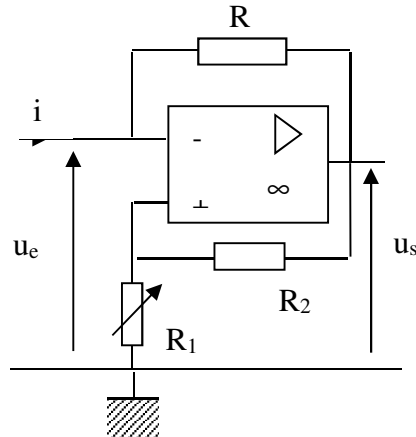
$$LC \frac{d^2 u_c}{dt^2} + (r_L + R)C \frac{du_c}{dt} + u_c = 0$$



Pour obtenir un circuit oscillateur parfait il faudrait donc que le terme $(r_L + R)$ soit nul :

- Soit r_L et R sont nulles, mais ce cas correspond à des composants idéaux
- Soit $R = -r_L$ ce qui veut dire que l'on dispose d'une résistance négative !

D. SIMULATION D'UNE RESISTANCE NEGATIVE A L'AIDE D'UN AOP

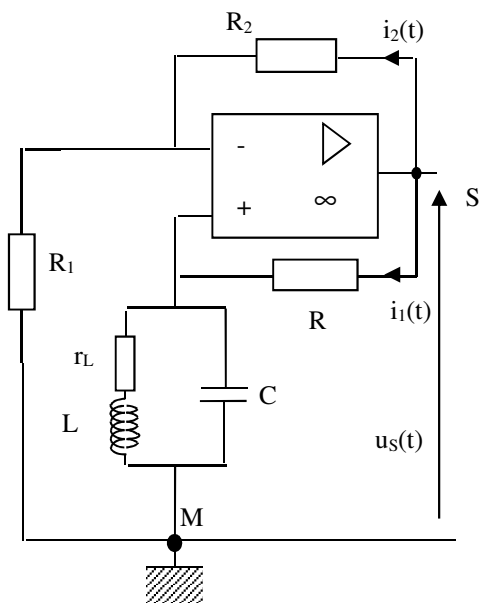


Si l'on trace la caractéristique $u_e = f(i)$ du dipôle équivalent au circuit ci-dessus, on trouve :

$$u_e = -\left(\frac{R_1}{R_2} R\right) i$$

VI. OSCILLATEUR SINUSOÏDAL ; (RL)C PARALLELE

A. MONTAGE



B. FONCTIONNEMENT EN REGIME PERMANENT

Même démarche qu'au § V. B.

VII. CONCLUSION

Références oral :

Montage : 7 « Modulation d'amplitude.... », réalisation d'un oscillateur pour générer la porteuse.

EOD : Programme des sections.

Bibliographie pour le concours :

« Electronique I », 2nd année PSI-PSI*, H-Prépa, Hachette Supérieur, 1997

« Electronique », Thierry Gervais, Vuibert, 2002

« Guide pratique de l'électronique », R. Bourgeron, Hachette Technique, 1998

« Introduction à l'électronique », J.M. Donnini et L. Quaranta, Masson, 1998

« Dictionnaire de physique expérimentale », T3, Electronique, D. Aubert, Pierron, 1992