

Étude expérimentale des oscillations libres et entretenues

par Jean-Michel NIEDERBERGER
professeur stagiaire agrégé
Lycée G. Colomb - 70200 Lure

Le nouveau programme de terminale S demande de traiter les oscillations libres et entretenues du dipôle R-L-C. Dans ce cadre voici deux T.P., qui ont été effectués par les élèves.

Ces T.P. ont été distribués tels quels aux élèves, mais préalablement, ils ont vu en cours l'étude du dipôle L-C ainsi qu'une introduction sur la trajectoire de phase.

Dans le premier T.P., les élèves ont pour but l'étude expérimentale du dipôle R-L-C : les différents régimes, la pseudo-période et la trajectoire de phase.

Le deuxième T.P. permettra aux élèves d'étudier les oscillations entretenues pour le dipôle R-L-C en utilisant le montage amplificateur à résistance négative.

Vous trouverez en annexe les différentes courbes observées par les élèves ainsi que des documents d'accompagnement pour les deux T.P.

1. OSCILLATIONS LIBRES DU DIPÔLE R-L-C

1.1. Étude des différents régimes d'oscillations libres

1.1.1. Montage

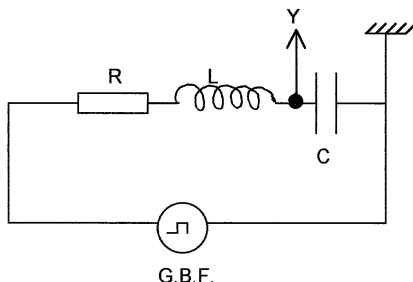


Figure 1 : $L = 0.2 \text{ H}$,
 $C = 0.01 \text{ } \mu\text{F}$,
 $R = 330 \text{ } \Omega$,
 $U_{cc} = 2 \text{ V}$, $f = 200 \text{ Hz}$.

Attention : La masse de l'oscilloscope et celle du G.B.F. sont au même point.

Visualiser la tension aux bornes du condensateur.

Voie 1 de l'oscilloscope : tension aux bornes du G.B.F.

Voie 2 de l'oscilloscope : tension aux bornes du condensateur.

1.1.2. Expériences

On visualise la tension aux bornes du condensateur pour différentes valeurs de R :

$$R = 330 \text{ } \Omega ; \quad R = 4.7 \text{ k}\Omega ; \quad R = 14.7 \text{ k}\Omega.$$

Représenter les différentes tensions observées.

1.2. Détermination de la pseudo-période

1.2.1. Montage

Montage identique à la partie précédente.

1.2.2. Mesures

$$R = 330 \, \Omega.$$

Compléter le tableau suivant, où T_0 est la pseudo-période des oscillations amorties et où ω_0 est la pulsation des oscillations amorties :

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$

L (H)	0.2	0.2	0.2	0.15	0.1
C (nF)	4.7	10	100	10	10
T_0 (s)					
ω_0^2					
$1/LC$					

Tracer $\omega_0^2 = f(1/LC)$.

1.3. Visualisation du plan de phase pour l'oscillateur R-L-C

1.3.1. Montage

On cherche à visualiser la dérivée de la charge $q(t)$ du condensateur. Pour cela on utilise un circuit «dérivateur», on obtient ainsi $\dot{q}(t)$.

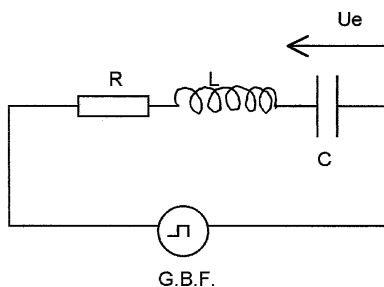


Figure 2 : $R = 330 \, \Omega$,
 $L = 0.2 \, \text{H}$,
 $C = 10 \, \text{nF}$.

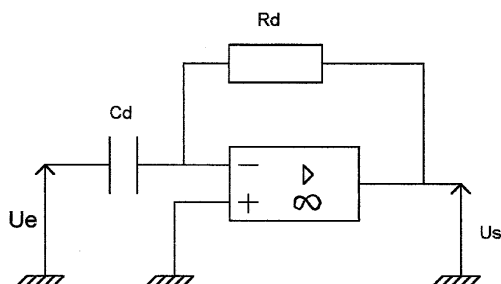


Figure 3 : $R_d = 1000 \, \Omega$,
 $C_d = 0.22 \, \mu\text{F}$.

1.3.2. Trajectoire de phase

Sur la voie 1 de l'oscilloscope on branche U_e et sur la voie 2 on branche U_s . L'oscilloscope est en mode X-Y.
 Qu'observe-t-on ?

Conclusion

Les élèves ont pu au cours de ce T.P. observer à l'aide de l'oscilloscope les différents régimes du dipôle R-L-C en régime d'oscillations libres (oscillations peu amorties, régime sous-critique, régime apériodique cf. annexe 5).

Ils ont également déterminé la relation reliant la pseudo-période aux valeurs des composants L et C. En traçant $\omega_0^2 = f(1/LC)$, les élèves trouvent plus facilement la relation.

La visualisation de la trajectoire de phase (cf. annexes 1, 2 et 5) a permis d'étudier la variation de l'énergie du dipôle R-L-C.

2. OSCILLATIONS ENTRETENUES DU DIPÔLE R-L-C

2.1. Amplificateur à résistance négative

2.1.1. Intérêt

Ce montage permet de simuler une résistance négative telle que :

$$U_{AB} = -R \cdot i$$

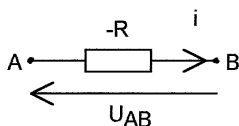


Figure 4

2.1.2. Montage

Réaliser le montage suivant : $R_1 = 1000 \, \Omega$, R_0 : potentiomètre.

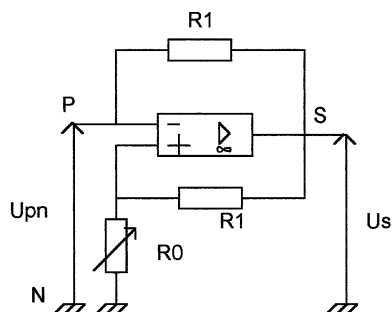


Figure 5

$$U_{PN} = -R_0 \cdot i$$

2.2. L'oscillateur à résistance négative

2.2.1. Montage

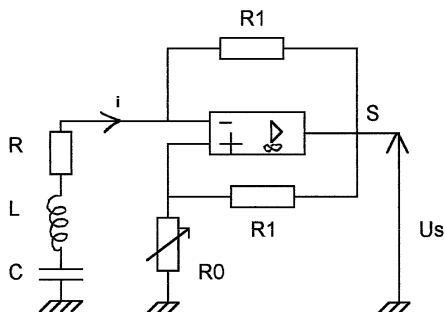


Figure 6 : $R = 330 \, \Omega$,
 $C = 0.1 \, \mu\text{F}$,
 $L = 0.2 \, \text{H}$.

Visualiser U_S : voie 1 de l'oscilloscope.

2.2.2. Recherche des oscillations

Pour quelle valeur de R_0 obtient-on des oscillations ? Soit R'_0 cette valeur.

Quelle est la forme des oscillations ?

Pour $R_0 < R'_0$ qu'observe-t-on ?

Pour $R_0 > R'_0$ qu'observe-t-on ?

Pour $R = 1000 \, \Omega$.

Pour $R = 100 \, \Omega$ quelles sont les nouvelles valeurs de R_0 ? Conclusion.

2.2.3. Période des oscillations

Compléter le tableau suivant :

L (H)	0.2	0.2	0.15	0.1
C (μF)	0.1	0.01	0.01	0.01
T (s)				
$2\pi\sqrt{LC}$				

Conclusion.

2.2.4. Visualisation du plan de phase

On branche aux bornes du condensateur le circuit dérivateur pour obtenir la dérivée de la variable $q(t)$. On met l'oscillographe en fonction X-Y pour observer le plan de phase.

Qu'observe-t-on ? Quelles conclusions pouvons-nous en tirer ?

Conclusion

Les élèves ont réalisé le montage amplificateur à résistance négative (cf. annexe 3) et ont pu ainsi entretenir les oscillations du dipôle R-L-C. Ils ont observé une zone d'accrochage pour entretenir les oscillations et ils ont constaté que la valeur absolue de la résistance négative est à peu près égale à celle de la valeur de la résistance du dipôle R-L-C.

A partir de la trajectoire de phase de l'oscillateur à résistance négative on peut expliquer les phénomènes qui permettent l'entretien des oscillations (cf. annexe 5).

BIBLIOGRAPHIE

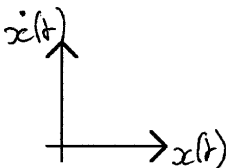
Article de H. GIÉ et J.-P. SARMANT - B.U.P. n° 744 de mai 1992.

Annexe 1

TRAJECTOIRE DE PHASE

a - Plan de phase

On appelle trajectoire de phase une représentation géométrique cartésienne dans laquelle on reporte les positions au cours du temps t d'un point représentatif M d'abscisse $x(t)$ et d'ordonnée $\dot{x}(t) = \frac{dx(t)}{dt}$.



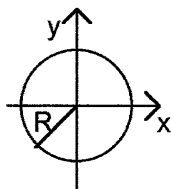
Remarque : En physique, lorsqu'on voulait déterminer la position d'un point, celui-ci est repéré par les variables $x(t)$ et $y(t)$ (par exemple : trajectoire d'une fusée). Au lieu de repérer la position d'un point par $x(t)$ et $y(t)$, on étudie la trajectoire de phase en repérant $x(t)$ et $\dot{x}(t)$ c'est-à-dire $v(t)$ (exemple : ressort qui oscille autour de sa position d'équilibre).

En électricité, on ne va pas étudier la variable $x(t)$ mais la charge du condensateur $q(t)$. Le plan de phase sera caractérisé par $q(t)$ et sa dérivée $\dot{q}(t)$.

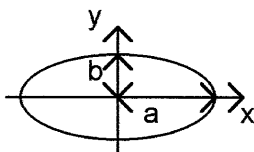
b - Équation d'une ellipse

Rappel : équation d'un cercle :

$$x^2 + y^2 = R^2 \Leftrightarrow \frac{x^2}{R^2} + \frac{y^2}{R^2} = 1$$



Équation d'une ellipse : $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$.



Dans le plan de phase d'axe $q(t)$ et $\dot{q}(t)$ l'équation s'écrit :

$$\frac{q(t)^2}{a^2} + \frac{\dot{q}(t)^2}{b^2} = 1$$

c - Énergie de l'oscillateur R-L-C

$$E = E_L + E_C = 1/2 \cdot L \cdot i(t)^2 + 1/2 \cdot q(t)^2/C \quad \text{or} \quad i(t) = dq(t)/dt = \dot{q}(t)$$

donc
$$E = 1/2 \cdot L \cdot \dot{q}(t)^2 + 1/2 \cdot q(t)^2/C$$

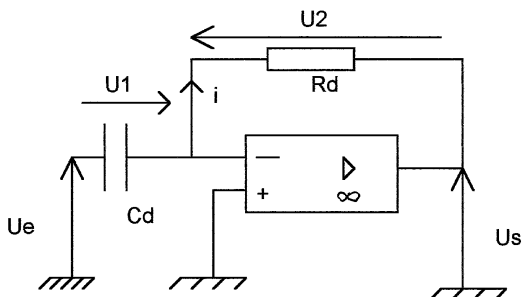
$$\Leftrightarrow q(t)^2/(2 \cdot E \cdot C) + \dot{q}(t)^2/(2 \cdot E/L) = 1$$

Intérêts

- Permet d'observer directement et expérimentalement l'évolution de l'énergie de l'oscillateur sans passer par des calculs.
- Permet de vérifier le caractère périodique du système.
- Permet de voir le caractère sinusoïdal des oscillations.

Annexe 2

LE CIRCUIT DÉRIVATEUR



A.O. en fonctionnement linéaire : $e_+ = e_-$.

L'impédance d'entrée étant infinie : $i_+ = i_- = 0$.

Dans ce cas e_+ est reliée à la masse donc $e_+ = e_- = 0$.

Or
$$U_e = q_d / C_d \quad \text{et} \quad U_s = -R_d \cdot i$$

donc
$$U_s = -R_d \cdot C_d \cdot dU_e / dt$$

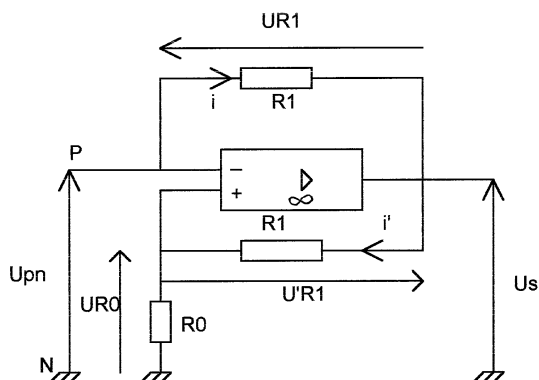
or dans le dipôle R-L-C :
$$U_e = \frac{q}{C}$$

donc :
$$U_s = -\frac{R_d \cdot C_d}{C} \cdot dq/dt$$

A la sortie du circuit dérivateur on obtient la dérivée de la variable $q(t)$.

Annexe 3

DÉMONSTRATION POUR LE MONTAGE AMPLIFICATEUR À RÉSISTANCE NÉGATIVE



Fonctionnement linéaire de l'A.O. : $e_+ = e_-$.

L'impédance d'entrée étant infinie : $i_+ = i_- = 0$.

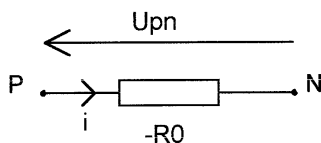
On a $U_{pn} = e_+ = e_-$ or $e_+ = R_0 \cdot i'$ donc $U_{pn} = R_0 \cdot i'$

On peut également écrire :

$$U_{R_1} + U'_{R_1} = 0$$

d'où $i + i' = 0$

d'où finalement $U_{pn} = -R_0 \cdot i$



ÉQUATION DIFFÉRENTIELLE ET ENTRETIEN DES OSCILLATIONS

On a
$$U_{pn} = -R_0 \cdot i = -q/C - R \cdot i - L \cdot di/dt$$

donc
$$L \cdot d^2q/dt^2 + (R - R_0) \cdot dq/dt + q/C = 0$$

Si $R = R_0$ alors l'expression comportant le terme en dq/dt s'annule, donc les oscillations ne sont plus amorties.

Annexe 4

LISTE DU MATÉRIEL

Premier T.P. (par groupe)

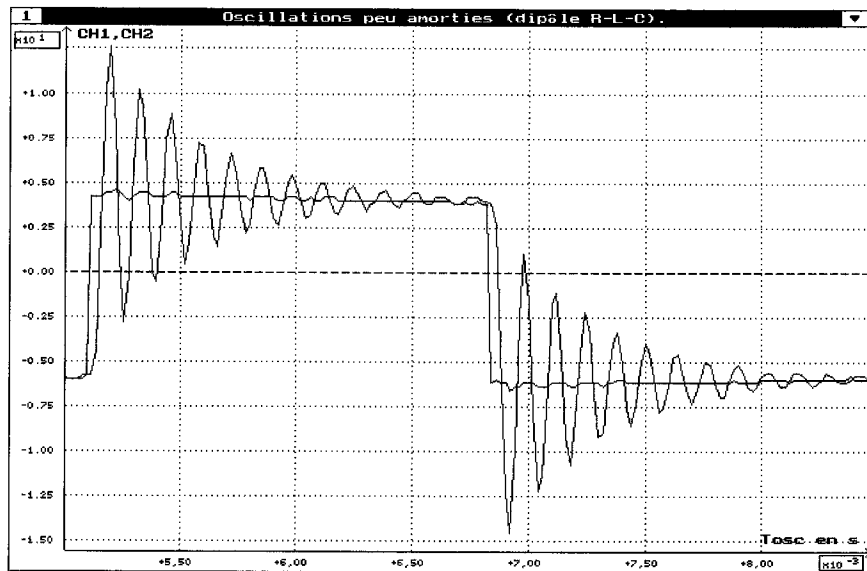
- G.B.F.
- Oscilloscope.
- Bobine à inductance réglable.
- Résistances : $R = 330\ \Omega$,
 $R = 4.7\ k\Omega$,
 $R = 10\ k\Omega$,
 $R = 1\ k\Omega$.
- Condensateurs : $C = 4.7\ nF$,
 $C = 10\ nF$,
 $C = 100\ nF$,
 $C = 0.22\ \mu F$.

Deuxième T.P.

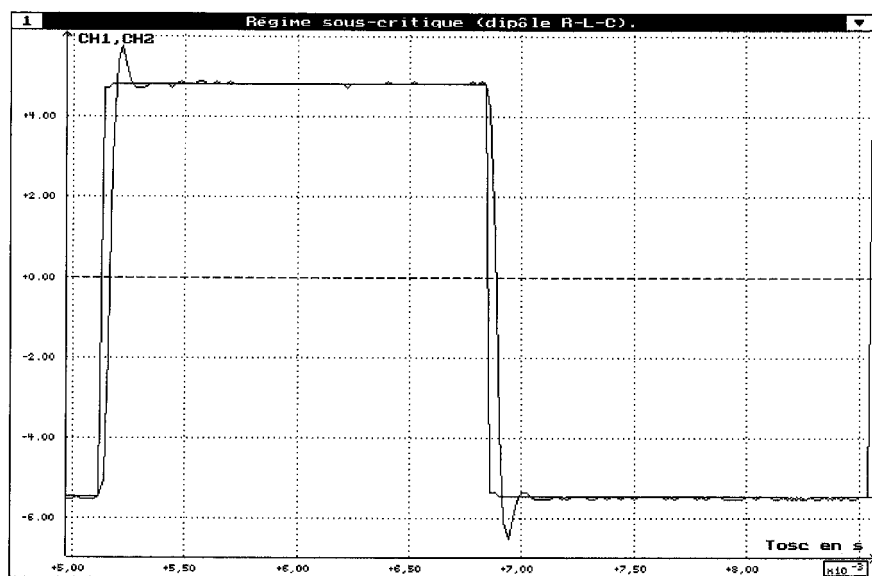
- Oscilloscope.
- Deux amplificateurs opérationnels.
- Résistances : $R = 1000\ \Omega$ (quatre fois),
 $R = 100\ \Omega$,
 $R = 330\ \Omega$.
- Potentiomètre.
- Bobine à inductance réglable (0.1 à 0.2 Henry).
- Condensateurs : $C = 0.1\ \mu F$,
 $C = 0.01\ \mu F$,
 $C = 0.22\ \mu F$.
- Ohmmètre.

Annexe 5

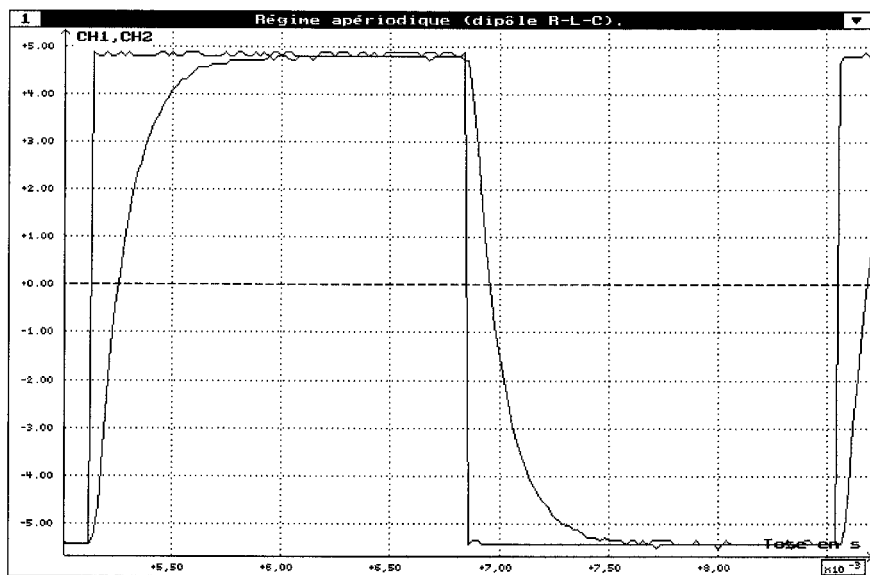
COURBES OBSERVÉES PAR LES ÉLÈVES



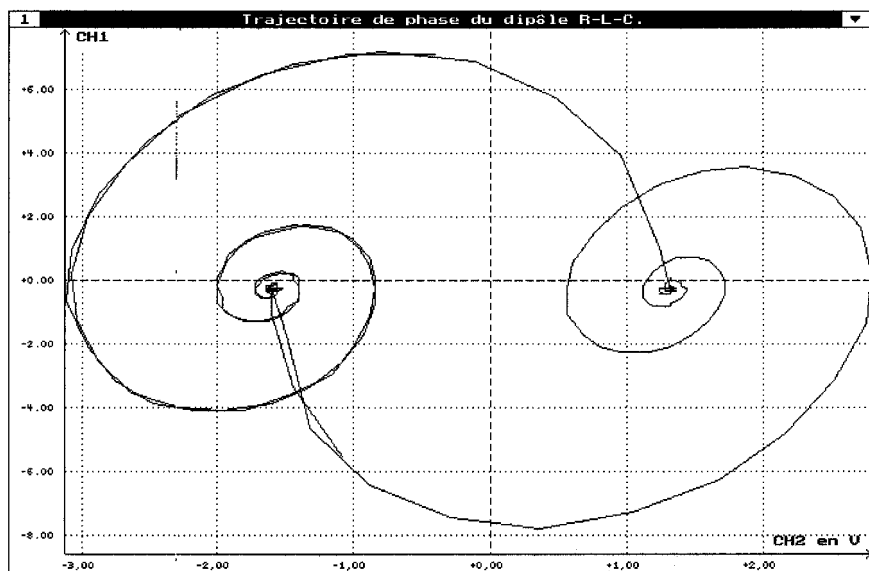
Oscillations peu amorties.



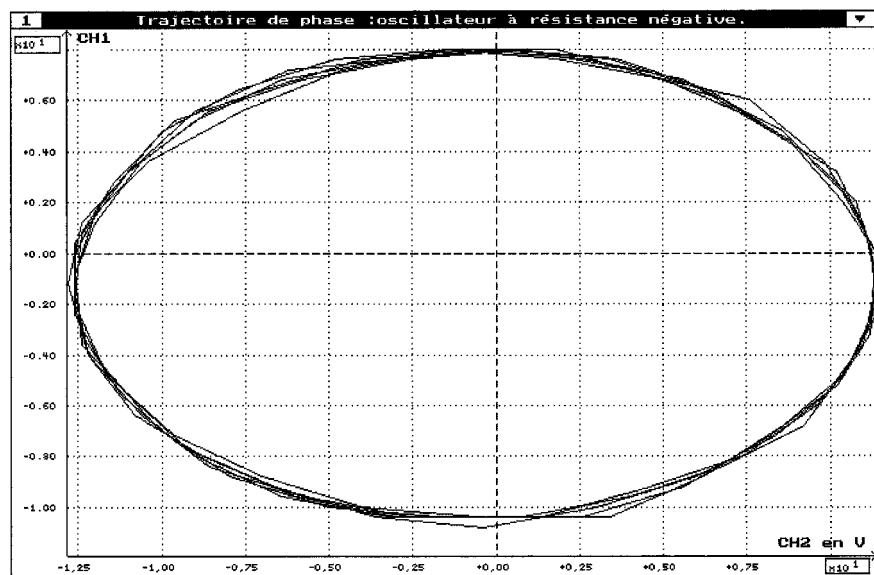
Régime sous-critique.



Régime apériodique.



Trajectoire de phase du dipôle R-L-C.



Trajectoire de phase de l'oscillateur à résistance négative.