Oscillateur électrique

Travaux pratiques en terminale S

par Michel BASUYAUX
Lycée Faidherbe - 59034 Lille

RÉSUMÉ

Le but de ce T.P. est d'obtenir des oscillations électriques auto-entretenues à partir d'éléments de montage simples mettant en jeu des notions connues des élèves :

– *l'amplificateur opérationnel en montage amplificateur non-inverseur,*

– *la résonance d'intensité dans un circuit RLC série.*

1. PRINCIPE GÉNÉRAL DU FONCTIONNEMENT D'UN OSCILLATEUR ÉLECTRIQUE

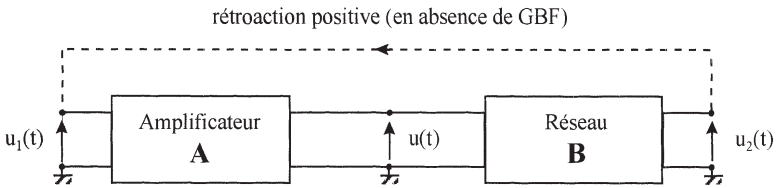

Figure 1

Sur la figure 1 le réseau **B** est un circuit passif dont le comportement dépend de la fréquence N. Il comportera donc des éléments L et/ou C en plus de R. Il sera toujours dissipatif du point de vue énergétique.

Dans un premier temps supposons qu'un GBF (Générateur Basse Fréquence) applique une tension sinusoïdale $u_1(t)$ à l'entrée de l'amplificateur **A**, alors $u_1(t)$, $u(t)$ et $u_2(t)$ seront toutes trois des tensions sinusoïdales de même fréquence N et d'amplitudes respectives U_{1m}, U_m et U_{2m}.

S'il existe une fréquence N_0 et un réglage dit «critique» du système pour lequel à tout instant : $u_2(t) = u_1(t)$ (tensions d'amplitudes égales et en phase), alors on pourra

réaliser des oscillations auto-entretenues de fréquence N_0 par bouclage de l'amplificateur, c'est-à-dire en supprimant le GBF qui délivre $u_1(t)$ et en appliquant la tension $u_2(t)$ à l'entrée de l'amplificateur (rétroaction positive).

Pour ce réglage critique, la présence de l'amplificateur **A** a pour effet de compenser exactement les pertes énergétiques du réseau **B**. Un réglage aussi rigoureux est en réalité impossible à réaliser. Si l'amplification est insuffisante alors les oscillations s'amortiront très vite pour s'éteindre. Au contraire si l'amplification est supérieure à la valeur critique requise alors l'amplitude des oscillations ira en augmentant. En réalité l'amplification se stabilise par saturation de l'amplificateur.

C'est en partie le rôle de ce T.P. que de mettre en évidence ces différents aspects du fonctionnement de l'oscillateur.

2. LES ÉLÉMENTS DU MONTAGE

2.1. Schéma théorique

Les traits discontinus représentent des liaisons amovibles.

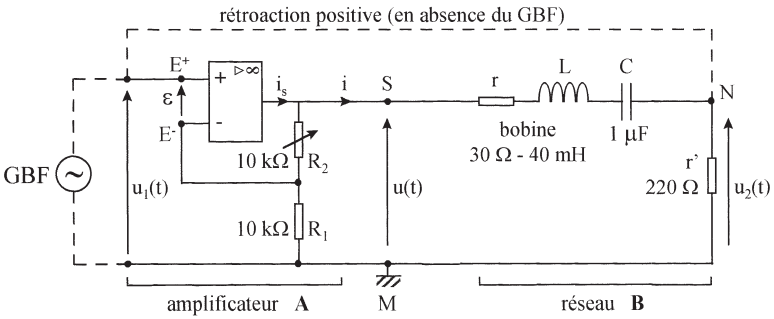

Figure 2

2.2. L'amplificateur **A** est construit autour d'un amplificateur opérationnel en montage amplificateur non-inverseur dont la résistance d'entrée, théoriquement infinie, ne viendra pas perturber le fonctionnement du montage lors du bouclage du réseau **B** sur l'amplificateur **A**.

En régime linéaire $(\varepsilon \approx 0)$, on a : $u(t) = (1 + R_2/R_1)\, u_1(t)$.

u(t) et $u_1(t)$ sont constamment en phase et le gain théorique de l'amplificateur est : $G_t = 1 + R_2/R_1$.

Application Numérique :

avec : $R_1 = 10\ k\Omega$ et $0 \le R_2 \le 10\ k\Omega$

on a : $1 \le G_t \le 2$

Rappelons les limitations en sortie de l'amplificateur opérationnel dont l'importance est capitale dans l'étude suivante :

– en courant : $|i_s| \le I_{sat} \approx 20\ mA$,

– en tension : $|u| \le V_{sat} \approx 13\ V$ avec une alimentation symétrique $-15/0/15\ V$.

2.3. Le réseau **B** est un circuit RLC série de résistance totale : R = r + r'. Il s'agit en fait du circuit rLC (bobine - condensateur) auquel on a ajouté une résistance r' afin de prélever la tension de sortie $u_2(t)$.

En régime sinusoïdal, à la résonance d'intensité, on a :

– $L\,C\,\omega_r^2 = 1$ ω_r est la pulsation de résonance.

– Le circuit RLC se comporte comme une résistance de valeur R = r + r'. Il en résulte que $u_2(t)$ et u(t) sont en phase, avec : $u_2(t) = r'\,i(t)$ et $u(t) = (r + r')\,i(t)$.

– Tout se passe alors comme si on avait le diviseur de tension (figure 3) pour lequel $u_2(t) = r'\,u\,/\,(r + r') = r'\,u\,/\,R$.

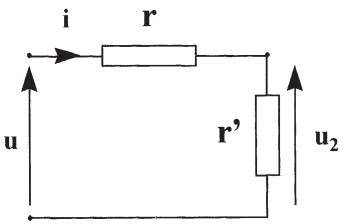

Figure 3

3. PLAN DE L'ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

On se reportera au schéma théorique (figure 2).

Les observations et les mesures de tension seront faites avec un oscilloscope électronique.

3.1. **Étude de l'amplificateur A seul**

– Le réseau **B** n'est pas en service.

– L'amplificateur **A** est alimenté et soumis à la tension sinusoïdale d'un GBF.

– La résistance R_2 est réglée à sa valeur maximale : 10 kΩ.

– En régime linéaire, on peut d'une part comparer la valeur théorique du gain $(1+R_2/R_1)$ avec la valeur U_m/U_{1m} déterminée expérimentalement (circuit ouvert entre S et M) et d'autre part constater que $u_1(t)$ et u(t) sont en phase.

– On mettra en évidence la saturation de tension u entre S et M en circuit ouvert en augmentant l'amplitude du GBF.

– On mettra en évidence la saturation de courant i_s à la sortie S en reliant S et M par la résistance r' = 220 Ω et en augmentant l'amplitude du GBF.

3.2. **Étude du réseau B**

– Mesurer r' et R = r + r' avec un multimètre.

– Réaliser le montage complet représenté par le schéma théorique (figure 2). Le réseau **B** est désormais branché sur la sortie de l'amplificateur **A** entre S et M (le fil de rétroaction positive entre N et E^+ n'est pas encore en place).

– Diminuer la tension du GBF afin d'éviter la saturation en tension ou en courant.

– Faire varier la fréquence du GBF pour mettre en évidence la fréquence de résonance N_r du réseau **B** et constater que pour cette fréquence $u_1(t)$, u(t) et $u_2(t)$ sont trois tensions sinusoïdales en phase.

3.3. **Observation des oscillations auto-entretenues**

– Ajuster la valeur de R_2 pour obtenir $u_2(t) = u_1(t)$.

– Mettre en place la rétroaction positive (fil entre N et E^+) et débrancher le GBF.

– Observer les oscillations auto-entretenues quasi-sinusoïdales de fréquence $N_0 = N_r$.

– Retoucher la valeur de R_2 afin de se placer à la limite d'accrochage des oscillations. Mesurer l'amplitude U_m de u(t).

– Avec un multimètre, mesurer les valeurs actuelles de R_1 et R_2, calculer $R' = R_1/R_2$.

– Vérifier qu'à la limite d'accrochage des oscillations le produit du gain de l'amplificateur $(1+R_2/R_1)$ par l'affaiblissement du réseau r' / R est égal à 1.

– Vérifier qu'il n'y a pas saturation en tension $(U_m < V_{sat})$ mais saturation en courant (calcul de l'amplitude I_{sm} de i_s à partir de U_m, et des valeurs de R et de R' en parallèle entre S et M).

– Augmenter franchement la valeur de R_2 et constater la distorsion des oscillations.

– Revenir à la limite d'accrochage des oscillations pour montrer que N_0 ne dépend pas de R mais uniquement de L et de C.

4. CONCLUSIONS

4.1. L'étude qui précède met en évidence les caractéristiques essentielles du fonctionnement d'un oscillateur :

– Les oscillations, théoriquement sinusoïdales, sont obtenues à la limite d'accrochage de l'oscillateur (régime critique).

– La fréquence d'oscillation est déterminée par les composants du réseau **B** associé. Pour RLC série, c'est la fréquence de résonance $N_r = \omega_r/2\pi$ telle que $L\,C\,\omega_r^2 = 1$. C'est aussi la fréquence propre du circuit LC.

– L'amplitude des oscillations est limitée par l'existence d'une zone de non-linéarité de l'amplificateur (saturation).

– L'entrée dans la zone de fonctionnement non linéaire s'accompagne d'une dissipation d'énergie supplémentaire qui tend à amortir les oscillations.

– Il en résulte une distorsion de l'oscillation qui en toute rigueur n'est donc pas tout à fait sinusoïdale.

4.2. La présentation de l'oscillateur sous forme de l'association d'un amplificateur **A** suivi d'un réseau **B** qui affaiblit le signal, avec bouclage par rétroaction positive permet de s'affranchir du «mystère» véhiculé par la notion de résistance négative dont l'étude n'est plus envisagée par le programme actuel.

Il faut toutefois remarquer que ce dispositif exploite lui aussi un amplificateur opérationnel dans un montage à résistance négative.

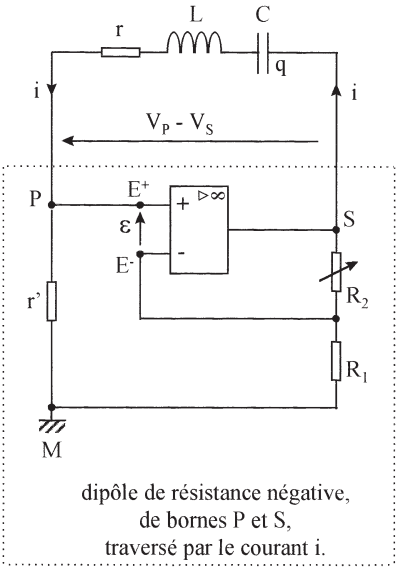

Figure 4

La figure 4 est une représentation d'une part plus condensée du schéma de la figure 2 et d'autre part plus adaptée à cette dernière interprétation.

Pour le dipôle délimité par les pointillés on a, en convention récepteur :

$$V_P - V_S = -R_2\ r'\ i/R_1\ '$$

On en déduit facilement :

$$L\ d^2q/dt^2 + (r - R_2\ r'/R_1)\ dq/dt + q/C = 0 \qquad (1)$$

La valeur algébrique négative, nulle ou positive du coefficient $(r - R_2\ r'/R_1)$ est associée au différents types de solutions de l'équation différentielle (1) : oscillations amorties, oscillations sinusoïdales ou oscillations d'amplitude croissante.

N.B. : il existe un autre montage à résistance négative plus connu que celui-ci et obtenu à partir du montage de la figure 4 en permutant d'une part les entrées E^+ et E^- de l'amplificateur opérationnel et d'autre part les dipôles r' et r L C.