
Physique pour les chimistes - Dipôles électroniques et filtrage

- livres de Terminale S
- H-Prépa, *Électronique 1*, PCSI-PTSI
- Quaranta, *Dictionnaire de physique expérimentale*, tome 3 (Électronique)

On recommande en particulier le H-Prépa, qui contient des explications sur la fabrication des condensateurs, des résistances et des bobines (chapitre 2) et sur la théorie des circuits RLC. Des exemples (avec les valeurs) de circuits électroniques passe-haut, passe-bas et résonants sont donnés avec les valeurs des composants et les courbes de réponse à l'entrée "filtrage" du Quaranta, tome 3.

Dans les leçons d'électronique que vous devez savoir présenter, vous serez amenés à monter et analyser des circuits électroniques passifs simples. Il est important pour cela d'être à l'aise à l'aide des différentes lois qui les régissent, que cela soit pour une étude transitoire comme fréquentielles. Il est donc utile de pouvoir les retrouver rapidement dans la littérature, par exemple dans des livres de CPGE. Celles-ci ne seront pas rappelées dans le présent polycopié, et il est conseillé de suivre donc en parallèle avec ces formules, et de vérifier leur bonne compréhension à chaque étape.

Notez que la simplicité apparente des schémas électroniques est malheureusement trompeuse car lors de tout montage réel, il est important de garder en tête les impédances effectives des générateurs et des appareils de mesure, ainsi que les défauts des composantes réelles par rapport à leur description idéale (en particulier les bobines et les condensateurs, le facteur le plus important étant la résistance des bobines).

Les deux premières parties s'intéressent à l'étude des condensateurs et bobines. Chacun de ces dipôles, associé à une résistance, permet de construire des filtres passifs du premier ordre, RC ou RL. La troisième partie étudie des circuits RLC comportant à la fois des condensateurs et des bobines, formant des filtres passifs du deuxième ordre. La quatrième partie étudie finalement des circuits actifs, comportant des amplificateurs opérationnels.

I) Condensateurs

Il en existe de divers types : composants discrets non polarisés, boîtes à décade, boîtes permettant l'association de plusieurs condensateurs en parallèle (quelle est la capacité résultante de cette association ?), condensateurs électrochimiques polarisés de plus forte capacité (attention à leur sens d'utilisation pour ne pas les claquer !).

1) Mise en évidence qualitative

Alimenter une LED haute luminosité sous une tension d'environ 5 V, en série avec un condensateur de capacité environ 1 mF (préalablement déchargé). Qu'observe-t-on à la fermeture du circuit ?

2) Propriétés énergétiques (qualitatif)

Les condensateurs permettent de stocker de l'énergie : charger un condensateur (de forte capacité, 10 F), le débrancher, montrer qu'il peut allumer une LED (c'est d'ailleurs le principe du flash des appareils photos).

3) Charge et décharge à travers une résistance : comportement en régime transitoire

Le montage de la figure 2 permet d'observer, selon la position de l'interrupteur, la charge ou la décharge du condensateur. Rappeler l'expression théorique de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps. Utiliser l'ordinateur et le logiciel Synchronie pour acquérir cette tension, utiliser les fonctions de modélisation du logiciel pour mesurer la constante de temps de son évolution, la comparer à la valeur que vous attendiez, étudier éventuellement l'influence de R et C.

Remarque : Pour pouvoir observer de manière satisfaisante la décharge il faut utiliser des commutateurs "sans rebond" ou les petits interrupteurs sur plaquette, pour que le temps de passage d'une

voie à l'autre soit le plus court possible. Sinon le condensateur, qui a une faible résistance de fuite, se décharge avant que l'on ne referme le circuit. Il est sinon possible (et généralement plus propre) d'utiliser une GBF réglé pour imposer des créneaux allant de 0V à une consigne donnée. Il faut alors que la période des créneaux soit grande devant le temps de charge ou de décharge du condensateur.

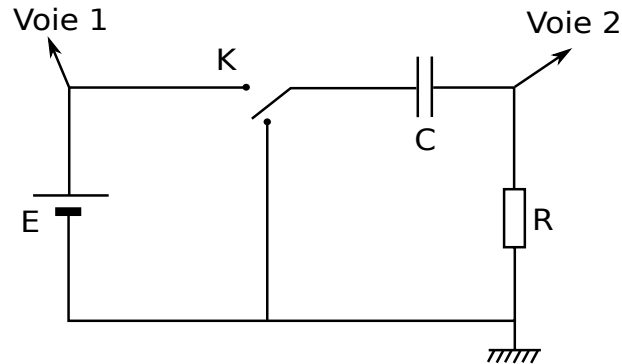


FIG. 1 – Circuit RC

4) Comportement en régime sinusoïdal forcé

Le montage de la figure 3 vous permet de mesurer simultanément à l'oscilloscope les tensions aux bornes du condensateur et de la résistance (et de déduire de cette dernière mesure le courant dans le circuit). Le transformateur d'isolement est nécessaire, car il permet d'imposer librement l'emplacement de la masse dans le circuit secondaire, qui est initialement en "masse flottante". Sans ce dernier, il est clair que la résistance serait court-circuité car les masses du GBF et de l'oscilloscope sont reliées via leurs prises de terre. Attention à cependant garder en tête que ce transformateur d'isolement rajoute des bobines dans le circuit, qui peuvent jouer un rôle à haute fréquence !

Effectuer le montage, vérifier que les phases du courant et de la tension sont décalées de $\frac{\pi}{2}$, estimer la capacité du condensateur. Utiliser une fréquence de l'ordre de $1/RC$ (pourquoi ?).

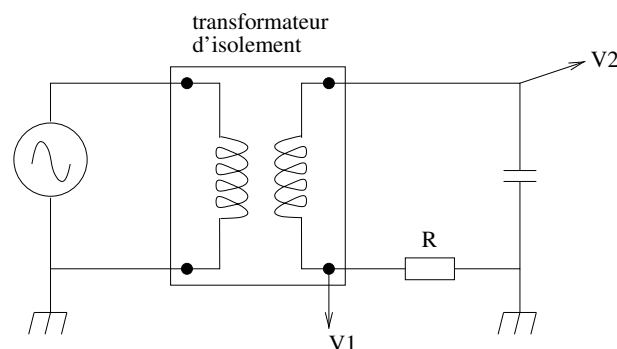


FIG. 2 – S'affranchir de la masse du GBF

5) Application : filtrage passif

Écrire la fonction de transfert des deux filtres de la figure 4. De quels types sont-ils (passe-bas, passe-bande, passe-haut...)? De quel ordre ?

Faire une étude expérimentale détaillée du filtre passe-bas, en branchant un GBF à l'entrée du circuit et en observant à l'oscilloscope les signaux d'entrée et de sortie. Vous pouvez notamment chercher la fréquence caractéristique du filtre, pour laquelle le module de la fonction de transfert est divisé par $\sqrt{2}$ par rapport à sa valeur maximale, et comparer cette fréquence à la valeur attendue. Pour plus de précision vous pouvez utiliser deux voltmètres en mode AC à la place de l'oscilloscope ainsi qu'un phase-mètre pour mesurer le déphasage relatif.

Observer la courbe de Lissajous en mode XY, faire varier la fréquence de part et d'autre de la fréquence caractéristique, comment déduire la phase de la fonction de transfert à partir de cette figure ?

Quelle est l'allure du signal de sortie si l'on applique à l'entrée du filtre passe-bas une tension en créneaux de fréquence bien plus élevée que la fréquence caractéristique du filtre ?

Vous pouvez aussi étudier quantitativement l'évolution de la fonction de transfert (module et phase) en relevant une série de points à différentes fréquences. Noter que la notion de diagramme de Bode est explicitement hors programme en BCPST.

Pour une visualisation rapide de l'allure de la fonction de transfert en fonction de la fréquence, vous pouvez utiliser la fonction wobbulation (balayage) du GBF : cette fonction permet de faire évoluer la fréquence de sortie du générateur au cours du temps, à un instant donné la fréquence est proportionnelle à une tension de rampe interne qui est récupérable sur une des prises BNC du GBF (nommée généralement "sweep out"). En reliant cette dernière à la voie 1 de l'oscilloscope et en mettant la sortie du filtre sur la voie 2, l'enveloppe de la figure observée en mode XY vous donne l'allure de la dépendance en fréquence du module de la transmittance. On peut éventuellement rajouter un détecteur de crête (avec une diode et un circuit RC) à la sortie du filtre pour récupérer l'enveloppe du signal ; consulter les ouvrages pour plus de détails.

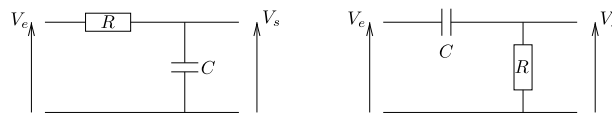


FIG. 3 – Filtres RC passe-haut et passe-bas

II) Bobines

Plusieurs types de bobine sont à votre disposition : composants discrets, boîtes à décade, bobines Leybold pour transformateur démontable, bobine de cuivre enroulée sur support de bois avec noyau de fer. L'étude des propriétés des bobines n'est plus explicitement au programme des classes préparatoire, mais il vous faut tout de même avoir quelques notions. Le principal défaut des bobines par rapport à leur comportement idéal est une résistance effective qui peut être importante due à la longueur de fil parcouru en DC. On peut l'obtenir en appliquant la loi d'Ohm locale au fil parcouru par le courant. Cette résistance augmente à haute fréquence.

1) Mise en évidence qualitative

Alimenter une ampoule mignonnette en série avec une inductance d'environ 2 H (prendre deux bobines à noyau de fer en série). Qu'observe-t-on à la fermeture du circuit ?

2) Propriétés énergétiques – Surtension (qualitatif)

Faire circuler un courant d'environ 1 A (contrôler à l'ampèremètre) dans un circuit formé d'un interrupteur et d'une inductance d'environ 1 H. Observer l'étincelle sur l'interrupteur à l'ouverture du circuit. Vous pouvez aussi observer le même phénomène en remplaçant l'interrupteur par une lime sur laquelle on fait glisser une pointe (utiliser une pince crocodile pour connecter la lime).

Ce phénomène de surtension est utilisé dans les ballasts d'allumage des "tubes néons". Réaliser le circuit de gauche de la figure 5, avec une tension du générateur nettement inférieure à celle d'allumage du néon, observer son illumination à l'ouverture du circuit.

Le circuit de droite de la figure 5 permet aussi de mettre en évidence ce phénomène ; à quoi sert la diode ? Attention à la placer dans le bon sens.

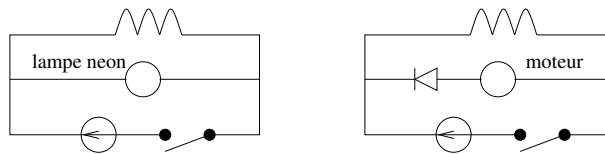


FIG. 4 – Propriétés énergétiques des bobines

Remarque : Les deux parties qui suivent sont facultatives. Commencez par réaliser les expériences sur le circuit RLC avant de vous y attaquer.

3) Établissement du courant dans un circuit RL et mesure d'une inductance

Cette expérience est conceptuellement similaire à celle d'observation de la charge du condensateur dans une résistance (et peut donc être omise si vous manquez de temps) : on réalise un circuit comprenant un interrupteur, une résistance et une bobine, et on mesure à l'ordinateur la tension aux bornes de la résistance (pour en déduire le courant). À la fermeture de l'interrupteur le régime permanent s'établit avec une constante de temps que l'on peut déterminer par un ajustement de la courbe mesurée.

4) Mesure d'une inductance

Le montage de la figure 5 vous permet de montrer que la tension aux bornes d'une inductance est proportionnelle à la dérivée de l'intensité du courant qui la traverse, et de déterminer son inductance L . Réaliser ce montage en prenant par exemple une bobine sur support d'inductance 47 mH et pour R une résistance de 5 k Ω . La source est un GBF en triangles de fréquence 5 kHz, on observe à l'oscilloscope la tension aux bornes de R (proportionnelle au courant) et aux bornes de l'inductance. Le transformateur d'isolement est nécessaire pour ne pas avoir de problème de masse entre le GBF et l'oscilloscope. Vérifier que la valeur de L déterminée à partir du rapport entre la dérivée du courant et la tension aux bornes de l'inductance est en accord avec celle indiquée sur la plaquette. Observer l'évolution des signaux quand on change légèrement l'amplitude et la fréquence du signal du GBF.

Remarque : dans cette expérience le choix des valeurs des composants et de la fréquence est assez crucial. On veut que la tension aux bornes de la bobine soit très proche de Ldi/dt , c'est-à-dire que l'on puisse négliger la tension ri due à la résistance interne de la bobine. Il faut donc travailler à une fréquence telle que $L\omega \gg r$. D'autre part on veut que le courant soit le plus proche possible d'un

signal triangulaire. En considérant le circuit comme un filtre passe-bas on peut montrer que cela est vrai si la condition $(r + R) \gg L\omega$ est respectée.

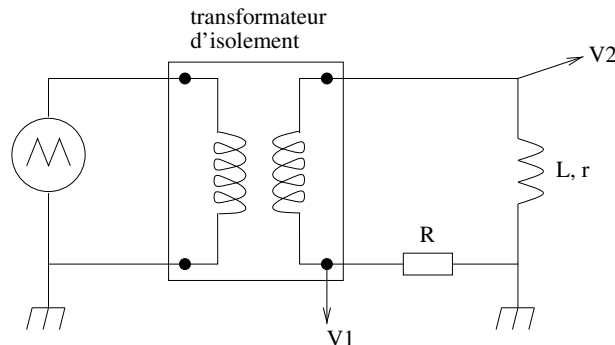


FIG. 5 – S'affranchir de la masse du GBF pour un circuit RL

III) Circuit RLC

Remarque préliminaire : Il existe deux circuits RLC : le montage RLC série (ce TP) et le circuit RLC en parallèle, dans ce TP nous nous concentrons sur le circuit RLC série.

1) Optimisation du facteur de qualité via un montage suiveur (facultatif)

Lors de l'étude des circuits RLC, il peut être difficile d'obtenir un facteur de qualité quelque peu supérieur à l'unité dans les circuits réels. Le facteur de qualité étant d'autant plus haut que la résistance totale du circuit est petite, il est important de minimiser celle-ci. Or, les GBF ont une résistance de sortie de 50Ω , et les bobines d'inductance importante ont généralement une résistance de quelques centaines d'Ohm. Une des façons de diminuer au maximum la résistance totale du circuit est de ne pas rajouter de résistances additionnelles au circuit, ou alors simplement une résistance très basse (de quelques dizaines d'Ohm) pour effectuer les mesures d'intensité, résistance qu'on peut également faire varier pour étudier le circuit pour différentes valeurs de R. Une possibilité complémentaire est l'utilisation d'un montage suiveur, utilisant un amplificateur opérationnel, pour s'affranchir de la résistance du GBF.

Les amplificateurs opérationnels (AO) ne sont plus au programme en CPGE, mais ils restent cependant bien utiles dans nombre de situations (comme dans la construction de filtres actifs plus loin dans ce TP). Le montage le plus simple qu'il permet est le montage suiveur, qui permet de "transmettre" une tension en isolant des parties de circuits, suite au fait que l'impédance d'entrée de l'AO est très élevée (supérieure généralement à la centaine de $M\Omega$) et que son impédance de sortie est très faible et peut être généralement considérée comme nulle. Ce montage permet donc de supprimer les difficultés liées aussi bien aux générateurs (ce qu'on utilisera ici) qu'aux appareils de mesure.

Les AO que vous utiliserez sont montés sur des plaquettes vous donnant accès aux entrées inverseuses et non inverseuses. Les bornes d'alimentation doivent être reliées aux sorties $+15\text{ V}$ et -15 V (ou $\pm 12\text{ V}$) d'une alimentation symétrique. N'oubliez pas de relier le point médian de l'alimentation au point de masse de la plaquette ainsi qu'à celle du circuit. Dans la modélisation idéale de l'amplificateur opérationnel en régime linéaire les deux entrées sont au même potentiel, et aucun courant

ne rentre ou ne sort de ces entrées. Ce mode de fonctionnement n'est possible que pour des circuits contenant une boucle de rétroaction à partir de la sortie sur l'entrée inverseuse. Il faut de plus que l'amplificateur ne sature pas, c'est-à-dire que la tension de sortie ne dépasse pas la tension d'alimentation.

Réaliser le montage suiveur de la figure 1, et vérifier que $V_s = V_e$. L'intérêt réside dans l'adaptation d'impédance que réalise l'amplificateur opérationnel : en le supposant idéal il n'y a aucun courant d'entrée (impédance d'entrée infinie) et la tension de sortie est indépendante du courant débité (impédance de sortie nulle). On pourra alors utiliser par la suite ce montage en amont des circuits RLC pour s'affranchir de la résistance de sortie du GBF.

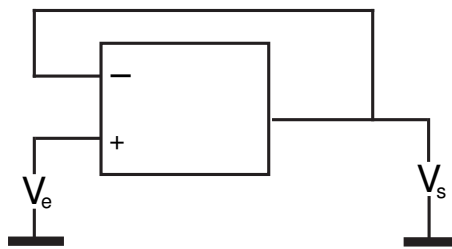


FIG. 6 – Montage suiveur

2) Oscillations propres

Cette expérience met en évidence les paramètres de résonance, que l'on retrouvera dans l'expérience d'oscillations forcées au paragraphe suivant.

Le circuit à deux voies de la figure 6 vous permet de charger le condensateur avec l'alimentation, puis d'observer sa décharge dans le circuit RLC (utiliser un commutateur "sans rebond"). L'avantage de cette disposition est qu'elle permet, sans problème de masse, de mesurer simultanément la tension aux bornes du condensateur et de la résistance. De cette seconde grandeur on peut déduire le courant circulant dans le RLC série.

Observer à l'ordinateur, au cours de la décharge, la tension aux bornes du condensateur et l'intensité dans le circuit. Faire varier la résistance pour observer le régime pseudo-périodique et le régime amorti. Considérer les propriétés énergétiques du système.

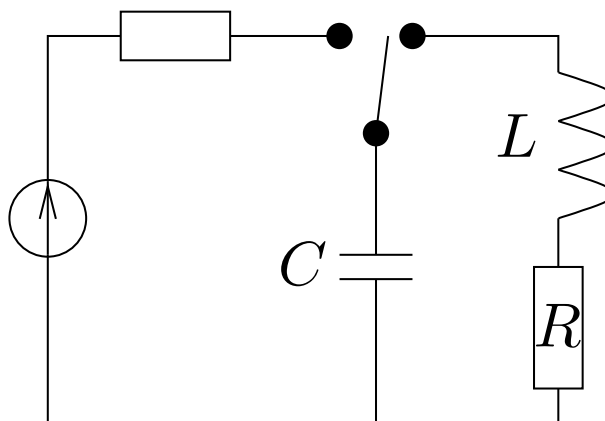


FIG. 7 – Oscillations libres dans un circuit RLC

Déterminer sur la courbe la pseudo-période ainsi que le décrément logarithmique. En déduire le facteur de qualité du circuit.

3) Oscillations forcées

Vous pouvez à présent réaliser le montage de la figure 7 et faire l'étude complète de la fonction de transfert de ce filtre.

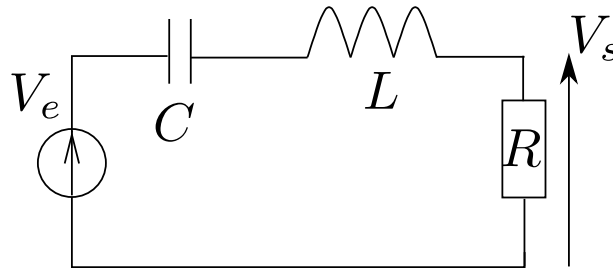


FIG. 8 – Oscillations forcées d'un circuit RLC (Utilisez des composants ajustables : boîtes à décades)

Note sur le choix des composants

- Choisir L et C pour avoir une fréquence propre d'environ 10 kHz.
- Choisir R pour avoir un facteur de qualité assez grand. Il est nécessaire de tenir compte de toutes les sources de résistance du circuit (cf discussion sur l'optimisation du facteur de qualité). Le fait que la résistance de la bobine augmente avec le carré de la fréquence pour des fréquences élevée peut être une source d'incertitude importante.
- La résistance de sortie du GBF contribue aussi au facteur de qualité (D'où l'utilisation d'un montage suiveur pour s'en passer. Il est également possible d'ajouter un ampli du puissance -réglé sur x1- à la sortie du GBF pour annuler cet effet ; celui-ci jouera en effet le même rôle qu'un suiveur).

Les astuces pour faire un montage bien contrôlé

- Toujours utiliser la synchronisation sur le signal d'horloge du GBF pour éviter la désynchronisation du signal aux faibles amplitudes.
- L'inductance précise d'une bobine varie avec la fréquence, il existe un appareil de mesure spécifique pour la déterminer (RLC-mètre), mais il ne prend les mesures qu'à certaines fréquences (ex : 100 Hz, 1 KHz, 10 kHz). Si vous souhaitez réaliser une comparaison quantitative entre théorie et expérience, visez une fréquence de résonance ou de coupure égale à la fréquence de mesure de l'appareil.
- Une solution alternative à l'utilisation d'un suiveur(éventuellement plus simple pour des élèves mais attention aux valeurs des composants) est d'utiliser un pont diviseur de tension $40 \Omega/10 \Omega$ en sortie du GBF. C'est la solution privilégiée dans le Quaranta.
- Utiliser un phasemètre pour repérer la résonance ou la fréquence de coupure d'un circuit, c'est la méthode la plus précise (mais elle ne dispense pas de l'observation en amplitude pour l'aspect pédagogique).
- Utiliser un fréquencemètre pour mesurer la fréquence d'excitation si elle n'est pas donnée par le GBF, ne pas utiliser la fréquence indiquée par l'oscilloscope numérique qui est peu précise.

IV) FACULTATIF (si le temps le permet) Filtrage actif

1) Filtrage et filtres actifs

Le traitement du signal, au sens large, est l'étude des systèmes qui à un signal d'entrée $V_e(t)$ associent un signal de sortie $V_s(t)$ (on parle de quadripôle). Quand le système est linéaire, c'est-à-dire quand la relation entre V_e et V_s peut s'exprimer comme une combinaison linéaire de ces tensions ainsi que de leur dérivées et intégrales (les coefficients de cette combinaison linéaire étant constants), alors le théorème de superposition s'applique. Tout signal d'entrée périodique pouvant se décomposer en une somme de fonctions sinusoïdales (sa série de Fourier), on peut caractériser complètement la chaîne de traitement par sa transmittance $\underline{H}(j\omega)$, rapport des amplitudes complexes des signaux de sortie et d'entrée à la pulsation ω .

Filtrer un signal correspond à modifier l'amplitude et/ou la phase du signal de sortie par rapport au signal d'entrée dans les différentes parties du spectre fréquentiel. Par exemple, un filtre passe-bas idéal de pulsation de coupure ω_c devrait donc avoir une transmittance égale à 1 pour $\omega < \omega_c$ et nulle pour $\omega > \omega_c$. Une telle transition abrupte n'est pas réalisable en pratique : $\underline{H}(j\omega)$ est une fraction rationnelle, *i.e.* le quotient de deux polynômes en puissances de $j\omega$, et n'a donc pas de discontinuité. L'ordre d'un filtre est le maximum des degrés des polynômes au numérateur et dénominateur de \underline{H} .

Les applications principales du filtrage sont dans le domaine des télécommunications, par exemple la démodulation opérée pour la réception d'une radio est une forme de filtrage.

Un filtre passif linéaire ne comporte, par définition, que des composants R, L et C. Au contraire les filtres actifs comportent des composants alimentés extérieurement, essentiellement des amplificateurs opérationnels en CPGE. Ils visent à compenser certains défauts des filtres passifs :

- la fonction de transfert d'un filtre passif dépend de la charge d'utilisation appliquée à la sortie ;
- ils comportent souvent des inductances, encombrantes et sensibles aux perturbations électromagnétiques ;
- ils ne peuvent amplifier le signal traité.

Les filtres actifs ont eux aussi leurs défauts :

- ils nécessitent une alimentation extérieure ;
- ils ont les limites des AO, à savoir une mauvaise réponse à haute fréquence et une puissance de sortie limitée, ce qui engendre des non-linéarités ;
- ils peuvent devenir instables.

Il existe un très grand nombre de structures de filtres actifs, on donne ci-dessous quelques cas de figure qui peuvent être étudiés expérimentalement. On trouvera plus de détails dans le Quaranta d'électronique à l'entrée "Filtres", dans le Duffait "Expériences d'électronique à l'agrégation de Sciences Physiques", dans l'ouvrage "Filtres actifs" de P. Bildstein (disponible à la bibliothèque) et dans les livres de classe préparatoire pour les études théoriques, notamment le H-Prépa.

L'étude expérimentale complète d'un filtre est longue : il s'agit de déterminer la dépendance en fréquence du module et de la phase de la transmittance (noter que la notion de diagramme de Bode est explicitement hors-programme en BCPST), puis d'étudier comment cette courbe varie quand les paramètres du filtre sont modifiés. Par ailleurs on peut s'intéresser au caractère dérivateur/intégrateur à basse/haute fréquence, au lien entre la transmittance et le régime transitoire de réponse à un créneau, à l'allure du signal de sortie selon la forme et la fréquence du signal d'entrée, etc. Vous adapterez donc les manipulations selon le temps disponible, à partir des suggestions données dans la suite.

Certains GBF ont une fonction *wobulation* : leur fréquence de sortie est modifiée linéairement au cours du temps entre une fréquence minimale et maximale que vous pouvez fixer. La tension de la

rampe qui commande cette variation de fréquence est disponible sur une sortie particulière du GBF. En la reliant à la voie 1 de l'oscilloscope et en mettant la sortie du filtre sur la voie 2, l'enveloppe de la figure observée en mode XY vous donne l'allure de la dépendance en fréquence du module de la transmittance. On peut éventuellement rajouter un détecteur de crête (avec une diode et un circuit RC) à la sortie du filtre pour récupérer l'enveloppe du signal ; consulter les ouvrages pour plus de détails.

2) Passe-bas du premier ordre

Montrer que le circuit de la figure ci-dessous est un passe-bas du premier ordre, de gain à basse fréquence $-R/R'$ et de pulsation de coupure $1/RC$. Ce montage se trouve notamment dans le Quaranta, à l'entrée filtres actifs. Les valeurs choisies sont y sont $R' = 10 \text{ k}\Omega$, $R = 100 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ nF}$, ce qui donne une fréquence de coupure d'environ 160 Hz (un peu basse si vous voulez utiliser la wobulation, changez alors les valeurs des composants).

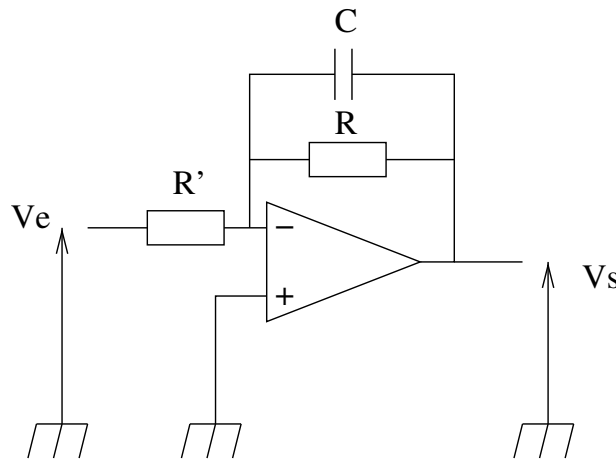


FIG. 9 – Filtre passe-bas actif

Une première étude est similaire à celle du filtre passif équivalent :

- Chercher la fréquence caractéristique du filtre, pour laquelle le module de la fonction de transfert est divisé par $\sqrt{2}$ par rapport à sa valeur maximale, et comparer cette fréquence à la valeur attendue. Pour plus de précision vous pouvez utiliser deux voltmètres en mode AC à la place de l'oscilloscope ainsi qu'un phase-mètre pour mesurer le déphasage relatif.
- Observer la courbe de Lissajous en mode XY, faire varier la fréquence de part et d'autre de la fréquence caractéristique, comment déduire la phase de la fonction de transfert à partir de cette figure ?
- Quelle est l'allure du signal de sortie si l'on applique à l'entrée du filtre une tension en créneaux de fréquence nettement plus élevée que sa fréquence caractéristique ?

3) Passe-bande de Sallen et Key

La fonction de transfert du filtre de la figure ci-dessous peut se mettre sous la forme :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}, \quad \omega_0 = \frac{\sqrt{2}}{RC}, \quad H_0 = \frac{k}{5-k}, \quad Q = \frac{\sqrt{2}}{5-k}.$$

C'est un filtre passe-bande d'ordre deux, de pulsation centrale ω_0 et dont la largeur de la bande passante est $\Delta\omega = \omega_0/Q$.

Le traitement théorique de ce filtre se trouve notamment dans le H-Prépa et dans le Grécias, des valeurs de composants possibles se trouvent aussi dans le Quaranta. On prendra pour R et C de préférence des composants discrets sur support, avec $R = 10\text{ k}\Omega$, $C = 10\text{ nF}$, $R' = 1\text{ k}\Omega$ et une boîte à décade (ou AOIP $\times 1000\ \Omega$) pour la résistance variable.

Commencer par prendre une valeur de k proche de 4. Chercher la fréquence centrale et la largeur de la bande passante du filtre, comparez-les aux valeurs attendues de ω_0 et Q .

Faire varier k et montrer que le filtre devient plus sélectif, c'est-à-dire que sa bande passante se retrécit, quand k s'approche de 5.

Pour $k > 5$ le filtre devient instable. Débrancher le GBF et relier l'entrée du filtre à la masse. Observez les oscillations spontanées quand k dépasse cette valeur limite.

Reprendre une valeur de k inférieure et proche de 5 de manière à avoir un filtre stable et assez sélectif. Observer le signal de sortie quand le signal d'entrée est un créneau de pulsation ω_0 , puis $\omega_0/3$ et $\omega_0/5$. Interpréter.

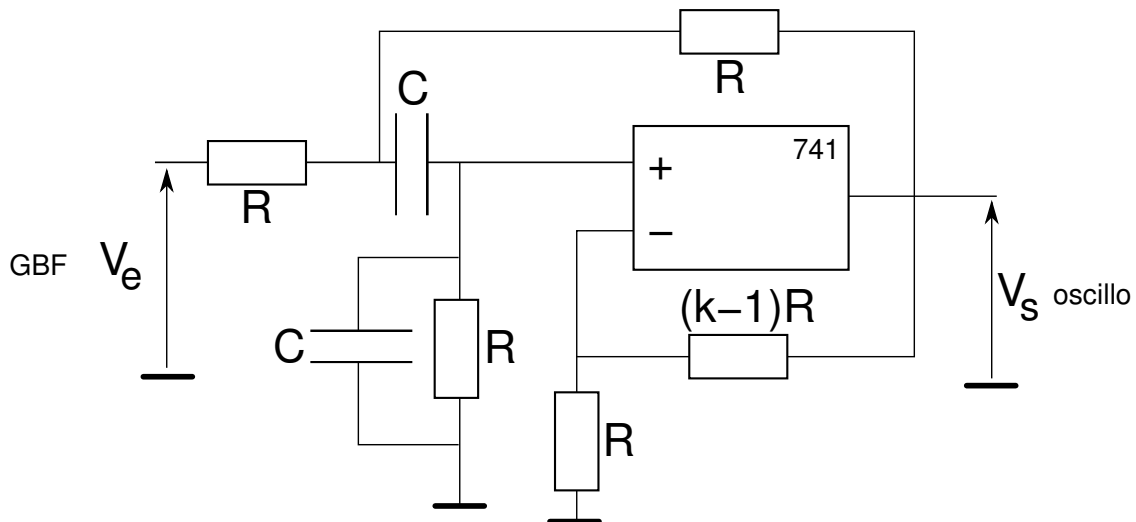


FIG. 10 – Filtre actif de Sallen-Key

Quels sont les intérêts pratiques de ce filtre ?