

## TP : Les appareils du laboratoire d'électronique

Ce sujet a pour but la présentation des matériels de laboratoire les plus courants : oscilloscopes numériques Hewlett-Packard HP 54603 et leur module de calcul, générateurs basse fréquence, contrôleurs numériques.

### A. Exercice préliminaire

La liaison entre le circuit où on effectue les mesures et l'oscilloscope peut être de deux natures. On parle de *couplage AC ou DC*. L'oscilloscope est modélisé en entrée selon les deux circuits de la figure 1 selon qu'on utilise le couplage AC ou bien le couplage DC.

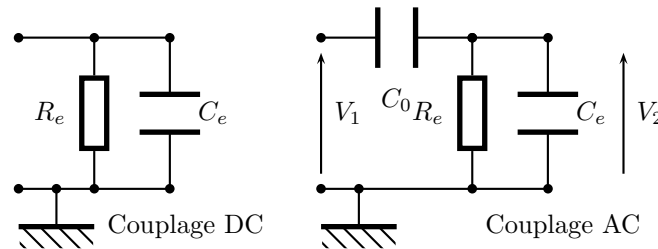


FIG. 1 – Couplage AC ou DC

Les valeurs habituelles des caractéristiques d'entrée sont les suivantes :  $R_e = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $C_e = 13 \text{ pF}$  et  $C_0 = 60 \text{ nF}$ .

1. Dans le cas du couplage DC, calculer l'impédance équivalente. A partir de quelle fréquence (on fera l'application numérique) le terme dû au condensateur est-il du même ordre de grandeur que la résistance  $R_e$  ? Indiquer pour quelles fréquences l'entrée de l'oscilloscope est assimilable à une résistance pure.

2. Dans le cas du couplage AC, la tension  $V_1$  est la tension « prélevée » dans le circuit, alors que la tension  $V_2$  est la tension affichée sur l'écran de l'oscilloscope. Déterminer la fonction de transfert  $\underline{H} = V_2/V_1$  de ce circuit. Donner l'allure asymptotique de son diagramme de Bode en amplitude. Exprimer le déphasage entre  $V_1$  et  $V_2$ . Trouver la valeur de la fréquence pour qu'il soit de  $45^\circ$  en valeur absolue.

3. La voie de l'oscilloscope est reliée à une partie d'un circuit où la tension est de la forme  $V_1(t) = U_0 + U_{1m} \cos 2\pi ft$  avec par exemple une fréquence  $f = 100 \text{ Hz}$ . Cette tension présente une composante continue  $U_0$  et une tension sinusoïdale. En DC, la tension visualisée sur l'oscilloscope possède la même forme que  $V_1(t)$ . Par contre, montrer en justifiant à l'aide du diagramme de Bode que lorsque le couplage réalisé est de type AC la tension visualisée ne comporte plus de composante continue. On peut aisément généraliser ce résultat à toutes les basses fréquences dont  $f = 100 \text{ Hz}$  fait partie.

4. En couplage DC, donner l'expression de la valeur moyenne et de la valeur efficace de la tension visualisée sur l'oscilloscope. Même question avec le couplage AC. Comparer les deux situations.

De la même façon, lorsqu'on utilise un contrôleur numérique, il faudra prendre garde au couplage réalisé (les symboles DC et AC apparaissent sur les appareils) afin de bien comprendre les tensions ou intensités que l'on mesure.

### B. Affichages et mesures élémentaires

5. Alimenter l'oscilloscope au moyen d'un générateur de fonctions, à la fréquence de 1 kHz environ ; le signal envoyé sur la voie 1 est délivré par la sortie  $50 \Omega$  du générateur basse fréquence (GBF) et le signal TTL sur la voie 2. Observer les signaux ; on pourra observer l'effet de la touche *Autoscale*.

6. Observer l'effet du mode de déclenchement (groupe *Trigger*). On effectuera le déclenchement sur une des deux voies (touche *Source*), en mode automatique ou à niveau défini (touche *Mode*, sélectionner *auto* puis *autolevel* et régler le niveau de déclenchement). Voir aussi le déclenchement sur signal montant ou descendant (touche *Slope/Coupling*).

7. En mode DC, quel est l'effet de la commande *offset* (ou décalage) du générateur basse fréquence ? Passer en mode AC. Conclure. Pour la suite, on n'oubliera pas de supprimer ce décalage !

8. Effectuer des mesures de tension sur le signal sinusoïdal (groupe *measure*, touche *voltage*) ; quelle est la signification des commandes  $V_{pp}$ ,  $V_{avg}$ ,  $V_{rms}$  ? Comparer aux mesures effectuées avec le contrôleur numérique. Quelles sont les mesures effectuées par ce dernier en mode DC et en mode AC ? Quelle est la relation entre  $V_{pp}$ ,  $V_{rms}$  pour la voie 1 ?

Les abréviations utilisées pour les tensions sont : *pp* pour peak to peak (pic à pic), *avg* pour average (moyenne) et *rms* pour root of the mean square (racine du carré moyen, ou encore valeur efficace).

9. Afficher sur l'écran de l'oscilloscope uniquement la voie 2, c'est-à-dire le signal TTL. Comparer la tension visualisée en mode DC avec celle visualisée en mode AC. Mesurer la tension efficace de ce signal dans chaque cas. Justifier les résultats obtenus en faisant le calcul théorique.

10. L'oscilloscope possède des vitesses de balayage élevée. Nous allons nous servir de cette propriété pour faire un zoom sur un signal créneau délivré par le GBF à une fréquence de 1 kHz. En augmentant progressivement la vitesse de balayage, visualiser de façon de plus en plus précise la montée du signal créneau. Conclure. En cherchant dans les capacités de mesure de l'oscilloscope, déterminer le temps de montée (*risetime*) du signal créneau.

### C. Circuit RLC série

11. Réaliser le montage de la figure 2.

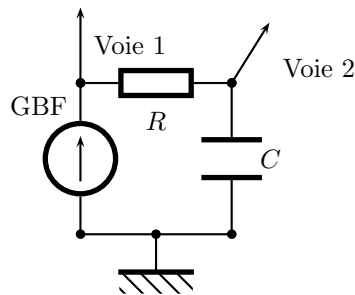


FIG. 2 – Circuit RC

Revenir en signal sinusoïdal à 1 kHz. On utilise une résistance de  $R = 100 \Omega$  et un condensateur de capacité  $C = 1 \mu\text{F}$ . On remarquera sur le schéma la présence de la masse. Relier par un fil la masse de l'oscilloscope et la masse du GBF. Supprimer ce fil et observer. Savez-vous pourquoi dans le cas particulier de l'utilisation du GBF et de l'oscilloscope mis à votre disposition, il n'est pas nécessaire de relier les deux masses ? Attention, cette situation ne doit pas être généralisée à tous les appareils.

12. On souhaite mesurer le déphasage existant entre les signaux visualisés sur les voies 1 et 2. Dans un premier temps, on cherchera à utiliser la fonction prévue à cet effet sur l'oscilloscope. Dans un second temps, on effectuera cette mesure par un simple comptage de carreaux sur l'écran (expliquer...). Enfin, on réalisera un affichage XY (voir la touche *Main/Delayed*). A l'aide de la notice de l'oscilloscope rappelant les propriétés des ellipses, on retrouvera la valeur du déphasage obtenue avant.

13. On souhaite insérer une bobine dans le montage pour observer la résonance d'intensité dans un circuit RLC. Il faut donc pour cela visualiser sur l'oscilloscope la tension délivrée par le générateur mais aussi celle aux bornes de la résistance (pour voir l'intensité). En faisant très attention à la position de la masse, faire un schéma du montage et demander sa vérification avant de le réaliser. Réaliser ce montage avec la bobine mise à votre disposition. Son coefficient d'autoinductance est de l'ordre de  $L \simeq 40 \text{ mH}$ , noter cette valeur précisément. Donner l'expression théorique de l'intensité complexe en fonction de la tension complexe délivrée par le générateur. Pour quelle pulsation  $\omega_0$  la résonance d'intensité se produit-elle ? Expliquer alors pourquoi le déphasage entre la tension du GBF et l'intensité est nul à la résonance. Rechercher en utilisant le mode XY le moment de la résonance et revenant ensuite en balayage mesurer la fréquence de résonance. Comparer à la valeur calculée.

### D. Caractéristiques des appareils

14. Débrancher le circuit précédent et relier le GBF à l'oscilloscope uniquement. Brancher aussi le contrôleur numérique sur la sortie du GBF. Effectuer avec l'oscilloscope la mesure de la fréquence d'un signal sinusoïdal de 1 kHz environ. Comparer au résultat donné par le contrôleur numérique. Augmenter nettement mais progressivement la fréquence du signal. A partir de quelle fréquence  $f_1$  la valeur indiquée par le contrôleur n'est-elle plus fiable ? Proposer un ordre de grandeur pour la fréquence de coupure du contrôleur numérique utilisé en fréquence-mètre.

15. Revenir à 1 kHz. Suivre la même démarche qu'à la question précédente pour la mesure de la tension efficace. Montrer que le contrôleur numérique peut être considéré comme un filtre passe-bas dont on évaluera la fréquence de coupure. On expliquera la méthode retenue pour l'évaluation de la fréquence de coupure.

16. On considère maintenant le montage de la figure 3. Cette façon de placer l'oscilloscope est très inhabituelle, comme vous pouvez le constater, puisqu'il est branché en série !... On utilisera par exemple la voie 1. Faire le schéma de ce montage en remplaçant l'oscilloscope par son modèle équivalent lorsqu'il est utilisé en mode DC. Que pensez-vous de l'impédance d'entrée de l'oscilloscope en DC lorsque la fréquence est de 100 Hz ? Dans ces conditions, donner l'expression de la tension mesurée sur l'oscilloscope  $U$  en fonction de  $E$  (fem du GBF),  $R$ ,  $R_e$ . Que vaut  $U$  dans le cas particulier où  $R = 0$  ?

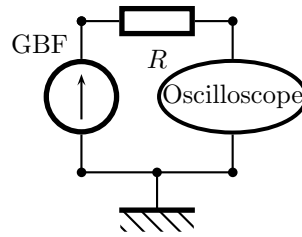


FIG. 3 – Oscilloscope en série !

17. A 100 Hz, alimenter l'oscilloscope (voie 1) par le générateur basse fréquence et une résistance variable (boîtes de précision  $\times 100 \Omega$ ,  $\times 1 \text{ M}\Omega$  en série), cette dernière correspond à la résistance  $R$  représentée sur le schéma. On réglera d'abord ces boîtes sur la position zéro ( $R = 0$ ), et on affichera la mesure de tension sur l'oscilloscope, la valeur obtenue dans ce cas sert de référence pour les expériences suivantes. Constaté, sur les boîtes de résistance, la valeur limite du courant autorisée. Pourquoi, même en réglant ces deux boîtes sur zéro, ne risque-t-on pas d'endommager ces boîtes ? **Attention, dans d'autres montages, il pourrait en aller autrement !** Augmenter alors progressivement la valeur de  $R$  jusqu'à la valeur  $R_1$  pour laquelle la tension mesurée par l'oscilloscope possède une amplitude réduite de moitié (par rapport à la référence qui correspondait à  $R = 0$ ). Quelle est la signification de la mesure ainsi effectuée ? En déduire la valeur de  $R_e$ .

18. Toujours en mode DC, on ne néglige plus la contribution du condensateur de capacité  $C_e$ . Donner l'expression en complexe de la tension mesurée par l'oscilloscope  $U$  en fonction de  $E$ . Cette fonction de transfert complexe fait intervenir  $R$ ,  $R_e$ ,  $C_e$  et  $\omega$  la pulsation de la tension du GBF. A partir de la situation obtenue avant, augmenter la fréquence du signal jusqu'à observer une nouvelle division par deux du signal (qui n'est donc plus que le quart du signal d'origine). Expliquer pourquoi la tension observée sur l'oscilloscope diminue à haute fréquence. Déduire de cette expérience la valeur de  $C_e$  de l'étage d'entrée de l'oscilloscope utilisé en DC. Comparer ces deux dernières mesures à ce qui est affiché sur la face avant de l'appareil ( $1 \text{ M}\Omega$ ,  $13 \text{ pF}$ ).

19. Débrancher le circuit utilisé précédemment. Relier maintenant directement le GBF utilisé à une fréquence de 100 Hz sur les deux voies de l'oscilloscope, en utilisant le couplage AC sur une voie et le couplage DC sur l'autre voie. On se retrouve ainsi dans une situation où la voie en DC visualise  $V_2$  et la voie en AC visualise  $V_1$  comme sur la figure 4. Compte tenu de la fréquence utilisée, on pourra négliger la contribution du condensateur de capacité  $C_e$ .

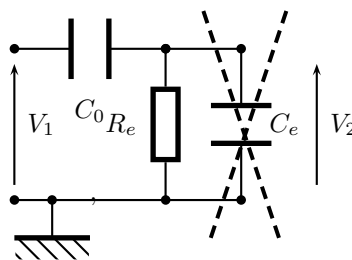


FIG. 4 – Déphasage entre les tensions AC et DC

Diminuer la fréquence du GBF jusqu'à ce qu'elle soit inférieure à 10 Hz. Observer le fait que les deux voies se déphasent progressivement. Expliquer rapidement. Rechercher un déphasage (valeur absolue) de  $45^\circ$ , en déduire la valeur de  $C_0$ . On raisonnera sur la phase de la fonction de transfert du circuit de la figure 4.

20. On étudie maintenant le circuit de la figure 5.

L'oscilloscope est maintenant branché de façon classique, en parallèle sur le dipôle de résistance  $R$ . Dans ce montage, le GBF est modélisé par un générateur Thévenin (source de tension idéale avec en série sa résistance interne  $r = 50 \Omega$ ). Pour quelle valeur de  $R$ , la tension aux bornes de  $R$  est-elle (quasiment) égale à celle délivrée par le générateur ? Pour quelle valeur de  $R$ , la tension aux bornes de  $R$  est-elle égale à la moitié de celle délivrée par le générateur ? A 100 Hz, réaliser le montage comme ci-contre, la résistance variable étant ici constituée de toute la série des boîtes de précision ; on prendra garde à ne pas annuler la résistance totale de ces boîtes. Noter la valeur affichée pour une résistance  $R$  très élevée ( $R \simeq 1 \text{ M}\Omega$ ). Diminuer alors progressivement  $R$  (**sans passer par zéro !**) jusqu'à atteindre une tension moitié. Quelle grandeur physique a-t-on ainsi mesurée ? On s'expliquera avec soin.

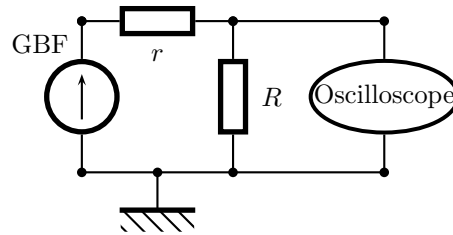


FIG. 5 – Oscilloscope en parallèle et GBF en modèle Thevenin

### E. Modules de calculs

**21.** Relier directement le GBF à l'oscilloscope. A 1 kHz, revenir à l'affichage du signal sinusoïdal sur la voie 1 et du signal TTL sur la voie 2. Au moyen de la touche  $\pm$ , on accède au menu des fonctions. Afficher à l'écran les somme, différence et produit des deux signaux (premier groupe de fonctions). Pour rendre l'affichage plus lisible, après avoir vérifié la présence des deux signaux, on aura intérêt à supprimer l'affichage de la voie 2.

**22.** Dans le second groupe de fonctions, observer l'effet des fonctions de dérivation et d'intégration sur un signal sinusoïdal, carré et triangulaire. Commenter brièvement. Dans cette partie, le signal TTL n'est plus relié à l'oscilloscope.

**23.** Toujours dans ce second groupe de fonctions, observer la transformée de Fourier numérique (FFT) d'un signal créneau de 1 kHz. Comment expliquer l'effet sur la qualité de calcul de la FFT du balayage choisi (base de temps) ? Observer aussi l'effet de la fréquence d'échantillonnage (*FreqSpan*) et de l'échelle verticale (en décibels).

**24.** Sur la même transformée de Fourier que ci-dessus, allumer un curseur (*Cursors*) et mesurer la fréquence des différents pics. Expliquer précisément le résultat de ces mesures.

Réaliser à nouveau le montage RC de la figure 2, avec une résistance  $R = 1 \text{ k}\Omega$  et un condensateur de capacité  $C = 100 \text{ nF}$ . Alimenter ce montage au moyen d'un signal créneau de 1 kHz. Visualiser les deux signaux. Il est recommandé de ne plus afficher ces signaux par la suite, puisque seul leur spectre de Fourier nous intéresse. Faire effectuer le calcul de la transformée de Fourier de la voie 1, puis sauvegarder ce résultat (*Trace*). Réaliser la même opération sur la transformée de Fourier de la voie 2. Superposer et comparer enfin ces deux spectres de Fourier à l'écran (en supprimant tout autre affichage). Commenter quant au rôle du circuit. Permuter  $R$  et  $C$ ; observer de même. Conclure.

### F. Enregistrement d'événements transitoires

**25.** Réaliser le montage de la figure 6, avec un générateur continu de fem  $E = 6 \text{ V}$ ,  $R = 10 \Omega$ ,  $C = 1 \mu\text{F}$ , une bobine caractérisée par  $L$  et  $r'$  et un interrupteur  $K$ . On disposera aussi d'un bouton poussoir pour décharger le condensateur. Rechercher les caractéristiques de la bobine.

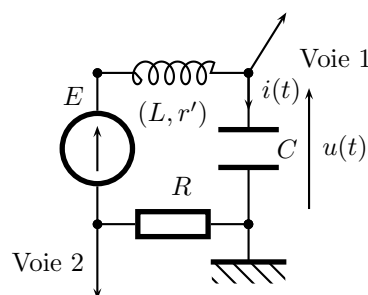


FIG. 6 – Régimes transitoires

On cherche à mesurer simultanément  $u(t)$  et  $-Ri(t)$  au cours des phénomènes transitoires qui accompagnent la fermeture de l'interrupteur. Le mode de déclenchement sera donc réglé sur *Single*. Lors de l'appui sur *Run*, l'oscilloscope attend de détecter un signal pour commencer l'enregistrement des transitoires. Pour éviter un déclenchement parasite, imposer le déclenchement sur la voie 1, signal montant (*Slope/Coupling*) dépassant 500 mV (*Level*). Faire un premier enregistrement. Attention : pour un bon enregistrement, il faut que la fermeture de  $K$  soit la plus rapide possible. Recommencer, après avoir déchargé le condensateur, en modifiant les réglages jusqu'à obtenir deux signaux satisfaisants.

**26.** Passer alors en mode XY et appuyer sur *Autostore* et refaire une acquisition. Comment s'appelle la courbe obtenue à l'écran ? Comparer à la prévision théorique.

**27.** Recommencer avec  $R = 5 \Omega$ . Comment la courbe évolue-t-elle? Commenter.

**28.** Supprimer le mode XY et l'affichage de la voie 2, puis enregistrer la seule voie 1. Avant de faire l'enregistrement, programmer (touche  $\pm$ ) la FFT de cette voie, avec un échantillonnage de  $50 \times 10^3$  échantillons par seconde. Réaliser alors l'enregistrement et commenter la forme de la courbe (transformée de Fourier), ainsi que la valeur de la fréquence du maximum de celle-ci. Comparer aux prévisions théoriques.

**29.** Enfin, s'il vous reste du temps, vous pourrez demander à utiliser un générateur d'impulsions. Observer et commenter le spectre de Fourier des impulsions qu'il délivre.