

TP1 : PRÉSENTATION DE L'OSCILLOSCOPE

A. Introduction

On se propose dans ce T.P. de rappeler les bases du fonctionnement des oscilloscopes disponibles dans la collection du laboratoire de physique. On présente aussi les mesures élémentaires que l'on peut réaliser avec un oscilloscope.

B. Présentation de l'oscilloscope

B.1. Introduction

L'oscilloscope est un instrument de visualisation de phénomènes électriques variant dans le temps. C'est véritablement « l'œil » de l'électronicien. Il importe par conséquent de comprendre son fonctionnement et de maîtriser les principaux réglages et les principales méthodes de mesure accessibles avec un oscilloscope.

Vous disposez dans la salle de travaux pratiques, d'une documentation technique comprenant une photocopie de la notice de chaque appareil que vous pouvez utiliser durant les séances, n'hésitez pas à la consulter. Par construction, l'oscilloscope est un appareil de mesure sensible à des *différences de potentiel* (tension).

Nous utiliserons l'oscilloscopes OX8050.

B.2. Prescriptions de sécurité

La mise en œuvre en toute sécurité d'un appareil de mesure électrique comme l'oscilloscope nécessite le respect de quelques consignes que nous rappelons :

- ▷ l'oscilloscope doit être muni d'une prise de terre. On veillera donc à le brancher sur une prise secteur équipée elle aussi d'une terre réglementaire ;
- ▷ pour tout mesurage d'une tension issue du réseau électrique (secteur 220 V), il est **indispensable** d'utiliser un **transformateur d'isolement** ! On ne visualisera jamais de manière directe la tension du secteur à l'oscilloscope, sous peine d'électrocution !
- ▷ l'oscilloscope ne peut pas supporter une tension supérieure à la tension maximale d'entrée, sous peine de destruction. Tout signal supérieur à 400 V ne pourra être visualisé qu'en utilisant une sonde atténuatrice ;
- ▷ on veillera à ne pas laisser le « spot » immobile sur l'écran (mode XY), sous risque de détériorer la couche fluorescente ;
- ▷ les oscilloscopes dont nous disposons ne possèdent pas d'entrées différentielles (à l'inverse des tables traçantes). Ceci peut entraîner des problèmes de masses intempestives qui court-circuitent (sans danger ici) certains composants d'un montage.

C. Réglages et principales fonctions de l'oscilloscope

Les fonctions de l'oscilloscope se rangent en trois grandes catégories qui vous seront expliquées pendant les manipulations. Ces fonctions ont les abréviations présentées dans les paragraphes suivants.

C.1. Commandes relatives aux signaux d'entrée et aux modes d'affichage

- Signaux d'entrée : 'POSITION' ; 'VOLT/DIV' ; 'VAR' ; 'AC - DC - GND'.
- Mode d'affichage : 'CH1' ; 'CH2' ; 'ALT' ; 'CHOP' ; 'ADD' ; 'XY' ; '-CH2'.

C.2. Commandes relatives à la base de temps, au balayage et au déclenchement

- Base de temps : 'T/DIV' ; 'VAR' ; 'HOLDOFF' ; '10'.
- SOURCE (synchronisation) : 'CH1' ; 'CH2' ; 'ALT' ; 'LINE' ; 'EXT' ; 'AUTO' ; 'LEVEL' ; 'EXT'.
- COUPLING (couplage de la source de déclenchement) : 'DC' ; 'AC' ; 'LF' ; 'HF' ; 'TVH' ; 'TVV'.

D. Visualisations et mesures élémentaires à l'aide d'un oscilloscope

Pour illustrer la description et la mise en œuvre des commandes de l'oscilloscope, nous proposons de réaliser les mesures qui suivent.

D.1. Visualisation d'une tension à l'oscilloscope (OX8050)

D.1.1. Visualisation d'une tension sinusoïdale alternative

Dans cette manipulation, on observera directement la tension fournie par un générateur basse fréquence (GBF).

- ☞ Sans signal d'entrée et en position **GND**, placez et ajustez les traces horizontales (voies X (ou CH1) et Y (ou CH2)) à moitié de l'écran, à l'aide du bouton '**↑POSITION↑**'. Cadrez les traces à l'aide du bouton '**←POSITION→**'.
 - ☞ Ajustez la luminosité et la finesse des traces à l'aide des boutons '**INTENSITY**' et '**FOCUS**'.
 - ☞ *Attention* : dans le mode de déclenchement '**NORM**' (bouton poussoir '**AUTO/NORM**'), aucune trace n'apparaît à l'écran si il n'y a pas de signal d'entrée. Si ce mode de déclenchement (appelé aussi synchronisation ou « trigger ») est sélectionné, vous n'observerez rien à l'écran. Il faut alors placer le bouton poussoir en position '**AUTO**'. Faites cette manipulation.
 - ☞ Veillez à ce que la sensibilité verticale de chaque voie soit correctement étalonnée en plaçant les commandes '**VAR**' en butée (à gauche par exemple : petit " clic "). Faites la même opération pour la sensibilité de la base de temps (sensibilité horizontale).
 - ☞ Avec un signal d'entrée sinusoïdal pur, de fréquence 1 kHz, d'amplitude 1 V. Ajustez le commutateur de 'coefficient de balayage' pour étaler convenablement la trace à l'écran.
 - ☞ Examinez l'effet des différentes positions de la commande '**COUPLING**' sur le déclenchement des signaux.
- ✗ De manière simple et pour la majorité des utilisations, le mode de couplage le plus " efficace " est le mode '**TVV**' ou '**TVH**'.

D.1.2. Composante continue

- ☞ Placez tout d'abord la touche '**AC-DC-GND**' de l'oscilloscope sur la position '**DC**'.
- ☞ À l'aide du bouton de réglage d'offset du GBF, ajoutez une composante continue de 1 V au signal précédent.
- ☞ Examinez l'effet de la touche '**AC-DC-GND**' de l'oscilloscope sur la visualisation du signal.

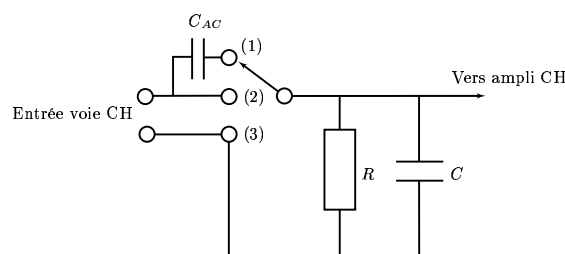


Figure 1.1. Modélisation d'une voie d'oscilloscope.

On peut modéliser les étages d'entrée par des amplificateurs, munis de filtres RC . Une schématisation simple est proposée sur la figure 1.1.

- 'GND' : Position (3), le signal d'entrée est connecté à la masse.
'DC' : Position (2), entrée directe sur le filtre RC , l'amplificateur reçoit la composante continue et la composante variable du signal.
'AC' : Position (1), le signal entre sur le condensateur C_{AC} qui élimine la composante continue. On ne visualise que la composante variable du signal.

- ⇒ Typiquement, les valeurs des composants R et C sont indiquées sur l'oscilloscope. Trouvez dans le cas des oscilloscopes du laboratoire, les valeurs de R et C .
▷ La valeur de C_{AC} est de l'ordre de $0,1 \mu F$.

La voie CH2, est en général équipée d'un circuit inverseur (-CH2). L'ensemble des deux voies peut ensuite être connecté à un circuit additionneur interne (non représenté sur la figure précédente) qui permet de réaliser $CH1 \pm CH2$. Le signal est ensuite envoyé vers un amplificateur.

- ⇒ Proposez un montage électronique simple qui permet de réaliser une addition de deux signaux.

D.1.3. Visualisation de deux tensions

La visualisation simultanée de deux courbes à l'oscilloscope peut entraîner des problèmes de synchronisation. On doit alors utiliser les commandes du mode source et les commandes 'ALT' ou 'CHOP' du mode d'affichage.

Les commandes du mode 'SOURCE' sont fondamentales. Elles permettent de sélectionner le signal qui servira à la synchronisation du balayage. On veillera toujours à choisir le signal le mieux défini pour la synchronisation. Ainsi de manière simple :

- 'CH1' : permet de synchroniser le balayage sur le signal en voie CH1. (Même si celle-ci n'est pas affichée)
- 'CH2' : permet de synchroniser le balayage sur le signal en voie CH2. (Même si celle-ci n'est pas affichée)
- 'ALT' (SOURCE) : la synchronisation est définie selon le mode d'affichage choisi. (Si on affiche CH1, la synchronisation se fait sur CH1, si on décide d'afficher CH2, la synchronisation passera automatiquement à CH2...)
- 'LINE' : permet de synchroniser le balayage sur la fréquence du secteur.
- 'EXT' : permet de synchroniser le balayage sur un signal externe.

Décrivons maintenant les commandes du mode d'affichage. En mode 'ALT' (AFFICHAGE) l'oscilloscope affiche les voies CH1 et CH2 l'une après l'autre (alternance), ce qui ne pose aucun problème de visualisation aux grandes fréquences. En mode 'CHOP', l'oscilloscope affiche les deux voies au cours d'un même passage, en passant très rapidement d'un point d'une trace à un point de l'autre trace, en découpant celles-ci. La vitesse de découpage est de 200 kHz sur l'OX8050.

Les autres fonctions du mode d'affichage sont suffisamment explicites pour ne pas les détailler ici :

- 'CH1' : Affichage de la voie CH1 seule.
- 'CH2' : Affichage de la voie CH2 seule.
- 'ADD' : Affichage de $CH1 + CH2$. On peut aussi afficher la différence $CH1 - CH2$ en activant en plus la touche -CH2.
- 'XY' : Affichage des voies CH1 et CH2 en coordonnées orthogonales : CH1 en X et CH2 en Y. Le cadrage se fait par les boutons 'POSITION'.

- ⇒ Réalisez le circuit RC de la partie D.III.
⇒ Visualisez le signal aux bornes du condensateur sur CH2 et le signal aux bornes du générateur sur CH1. Essayez les fonctions des modes SOURCE et AFFICHAGE.

D.1.4. Visualisation d'un courant - Tracé de caractéristique

Comme nous avons déjà eu l'occasion de l'indiquer, un oscilloscope ne permet la visualisation directe que des tensions $u(t)$ instantanées. Pour visualiser l'intensité instantanée $i(t)$ d'un courant électrique, la seule solution consiste à prélever la tension au bornes d'un conducteur ohmique de résistance R puisque l'on a toujours, quel que soit le régime de fonctionnement :

$$U_R(t) = R i(t)$$

La tension $U_R(t)$ est donc l'image de l'intensité $i(t)$.

Le tracé "automatique" de caractéristique est une application importante de la visualisation de l'intensité d'un courant électrique à l'oscilloscope. On se propose de tracer la caractéristique courant-tension d'une diode de redressement ou (et) d'une diode Zener à l'oscilloscope. Pour cela :

- ⇒ Réalisez le montage représenté figure 1.2. Quel est le rôle de la résistance R ?
- ⇒ Expliquez pourquoi on ne peut pas visualiser la caractéristique instantanée de la diode si on ne prend pas des précautions sur les masses de l'oscilloscope et du générateur basses fréquences (GBF).
- ⇒ Proposez au moins une solution au problème précédent et visualisez la caractéristique instantanée d'une diode de redressement. (On prendra garde au signe de la tension visualisée sur la voie Y et on utilisera le mode **XY**.)
- ⇒ Mesurez la tension de seuil U_s d'une diode de redressement 1N5404. Mesurez éventuellement la tension Zener U_Z d'une diode Zener.

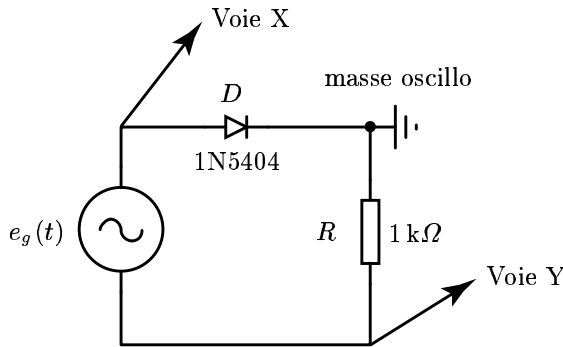


Figure 1.2. Tracé de caractéristique à l'aide d'un oscilloscope.

Remarques : Testeur de composant

Certains oscilloscopes disposent d'un dispositif permettant de visualiser la caractéristique statique d'un composant. On met en œuvre ce dispositif en plaçant les bornes du composant (sans aucune alimentation externe, sous risque de détruire l'oscilloscope) dans les entrées 'COMPONENT TESTER' et en activant la touche 'TEST'. L'oscilloscope affiche alors la courbe $I = f(V)$, avec V en X et I en Y. Toutes les autres fonctions sont alors inaccessibles, de plus on ne peut faire aucune mesure quantitative sur la caractéristique. Cette fonction est utile pour tester l'état et la polarité d'un composant.

D.2. Mesures temporelles

L'oscilloscope est particulièrement adapté à la mesure de durées de phénomènes périodiques¹.

D.2.1. Visualisation d'un régime transitoire – Réponse indicielle

a) Système du premier ordre.

On considère le circuit électrique représenté figure 1.3.

- ⇒ Établissez l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur.

¹ Il faut signaler par ailleurs que, pour pouvoir visualiser et mesurer à l'oscilloscope des phénomènes transitoires, on les rend souvent périodiques. On utilise en général dans ce cas un signal carré.

- ☞ Réalisez le montage de la figure 1.3 avec $R = 1 \text{ k}\Omega$ et $C = 0,1 \mu\text{F}$.
- ☞ Le signal d'excitation est un signal carré $e(t)$, de rapport cyclique $\alpha = T_H/T = 1/2$, compris entre 0 et 1 V.
- ☞ Ajustez la fréquence du signal de façon à pouvoir observer le régime transitoire et le régime permanent. Déduisez de l'observation une valeur de la constante de temps $\tau = RC$ du circuit. Comparez avec la valeur théorique.

On définit le *temps de montée* t_m d'un signal par : $t_m = t_{90\%} - t_{10\%}$. C'est à dire la durée qui sépare le passage du signal à 10% de sa variation totale, et le passage à 90% de sa variation totale.

- ☞ Montrez que le temps de montée t_m d'un système linéaire invariant du premier ordre s'écrit $t_m \approx 2,2\tau$.
- ☞ Mesurez le temps de montée du signal précédent à l'aide de la grille d'écran de l'oscilloscope, équipée des réticules 10% et 90%. En déduire la valeur de τ .
- ✗ Comparez ces deux méthodes de mesure de τ .

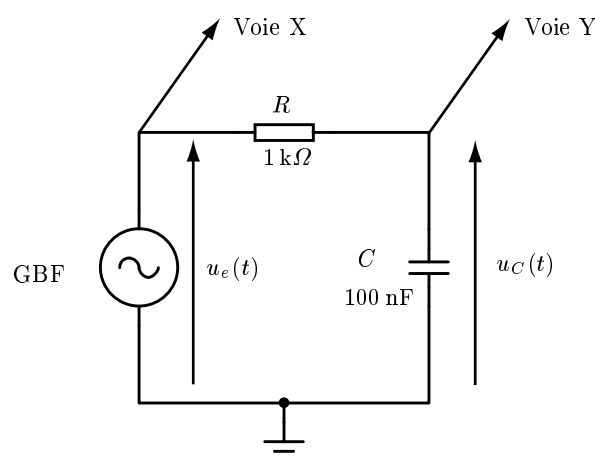


Figure 1.3. Mesures temporelles des caractéristiques des systèmes linéaires invariants.

D.3. Mesure de déphasages à l'oscilloscope

- ☞ Réalisez le montage de la figure 1.3 avec $R = 10^3 \Omega$ et $C = 0,1 \mu\text{F}$.

D.3.1. Méthode temporelle

La méthode temporelle permet de déterminer le déphasage entre deux signaux sinusoïdaux *synchrones*², par mesure de la distance d à l'écran entre deux passages consécutifs à zéro de chaque signal. La valeur absolue du déphasage $\Delta\varphi$ est alors donnée par :

$$|\Delta\varphi| = 2\pi \frac{d}{D} \text{ (en rd)}$$

si D correspond à la longueur à l'écran de la période de l'un quelconque des deux signaux synchrones.

Le signe du déphasage entre deux signaux dépend de l'avance ou du retard que présente l'un des deux signaux par rapport à l'autre. D'après la figure 1.4, le signal x_1 est en *avance* sur le signal x_2 si $\Delta\varphi > 0$ et inversement x_1 est en *retard* sur x_2 si $\Delta\varphi < 0$.

Cette mesure nécessite quelques précautions :

- On vérifiera le parfait centrage vertical de chaque voie.
- On placera chacune des deux voies en position 'DC', pour ne pas faire intervenir un déphasage supplémentaire dû au condensateur C_{AC} .

² Deux signaux sinusoïdaux sont dits synchrones si ils ont la même fréquence f .

- ☞ Déterminez le déphasage entre la tension $u_e(t)$ et la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur. Quel signal est-il en avance sur l'autre ?
- ☞ Pour mesurer le déphasage entre le courant et la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur, on propose la modification suivante. On intercale une résistance r de faible valeur (10 à 100 Ω) entre le condensateur et la masse. Réalisez cette modification et mesurez ce déphasage. Quel signal est en avance ?
- ☞ En comparant de manière expérimentale et théorique les tensions aux bornes du conducteur ohmique r et du condensateur, justifiez l'emploi de cette méthode.

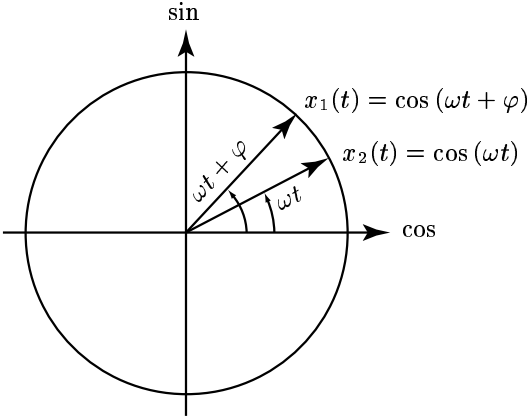


Figure 1.4. Signe du déphasage.

D.3.2. Méthode « XY » ou méthode de Lissajous

La méthode « XY » (figure 5(a)) permet de mesurer le déphasage entre deux signaux synchrones, par visualisation de la courbe de lissajous $Y = Y(X)$ (une droite, une ellipse ou un cercle). Le déphasage est alors donné par la formule :

$$|\sin \Delta\varphi| = \frac{MN}{AB} \tag{1.1}$$

Malheureusement, contrairement à la méthode temporelle, cette méthode ne permet pas de déterminer le signe du déphasage connu d'après le sens de parcours de l'ellipse. À haute fréquence il est impossible d'observer le sens de parcours de l'ellipse.

Signalons les intervalles de valeurs prises par $\Delta\varphi$ selon la position du grand axe de l'ellipse :

- $\Delta\varphi \in [-\pi/2, \pi/2]$: le grand axe de l'ellipse se situe dans les quadrants $(x > 0, y > 0)$ et $(x < 0, y < 0)$;
- $\Delta\varphi \in [\pi/2, 3\pi/2]$: le grand axe de l'ellipse se situe dans les quadrants $(x > 0, y < 0)$ et $(x < 0, y > 0)$.

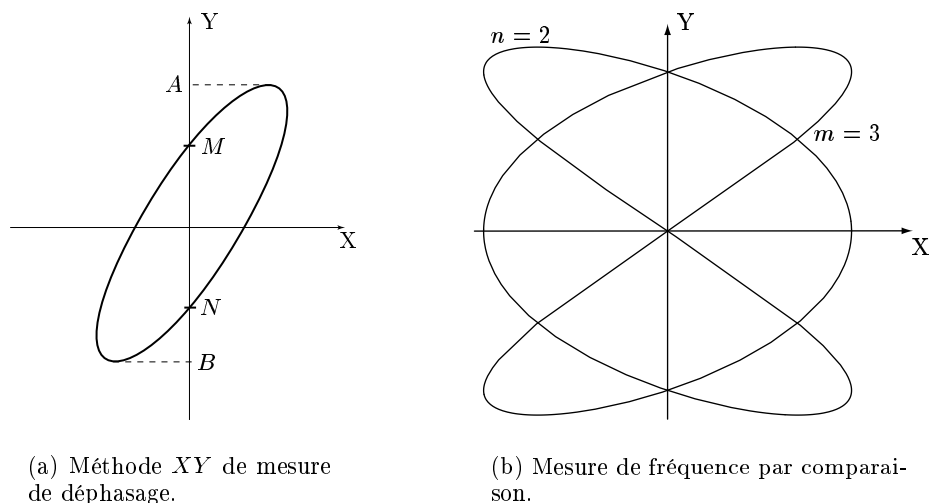
L'indétermination de signe doit finalement être levée par la méthode temporelle.

- ☞ Établir la formule (1.1).
- ☞ Centrez le spot sur l'origine du quadrillage écran. On peut facilement mesurer le segment AB en mettant la voie X sur la position GND.
- ☞ Reprenez la même mesure qu'à la question précédente, en utilisant la méthode « XY ».
- ☞ Application : vous disposez d'une bobine d'induction dont vous ignorez la valeur de l'inductance L . Proposez une méthode simple de détermination de cette valeur, en utilisant la méthode XY. Réalisez le montage et faites la mesure.

D.4. Mesure de la fréquence d'un signal électrique

D.4.1. Mesure à directe l'oscilloscope

Si on ne dispose ni de fréquencemètre ni de GBF à fréquencemètre incorporé, on peut mesurer la fréquence d'un signal à l'aide de l'oscilloscope, en mesurant sa période à l'aide de la base de temps.



(a) Méthode XY de mesure de déphasage.

(b) Mesure de fréquence par comparaison.

Figure 1.5. Différentes méthodes de mesure d'un déphasage $\Delta\varphi$.

- ☞ Avant toute mesure de période, on prendra garde d'étalonner la base de temps en verrouillant le bouton 'VAR' de la base de temps, en le plaçant en butée (à gauche par exemple sur l'OX8050).
- ☞ À l'aide du GBF, excitez l'entrée CH1 de l'oscilloscope avec un signal sinusoïdal d'amplitude 1 V et de fréquence 1 kHz (sur le fréquencemètre interne du GBF). Mesurez la période correspondante à l'aide de l'oscilloscope. Faites un calcul d'incertitude et comparez la précision des deux méthodes. Concluez.

D.4.2. Mesure par comparaison à l'oscilloscope

Cette méthode, appelée aussi méthode de Lissajous, permet de comparer une fréquence inconnue f_X à une fréquence de référence f_Y . On a représenté figure 5(b) la figure de Lissajous stable obtenue lorsque :

$$\frac{f_Y}{f_X} = \frac{m}{n} = \frac{3}{2}$$

En effet lorsque $m f_X = n f_Y$, il y a n points de tangence horizontaux et m points de tangence verticaux.

Cette méthode de mesure n'est facilement exploitable que lorsque le rapport m/n est simple. On l'utilise plus particulièrement pour mesurer des fréquences basses lorsque les fréquencemètres à comptage ne sont plus aptes à fonctionner.

La précision de la mesure est d'autant meilleure que la figure obtenue est *stable*.

- ☞ En utilisant par exemple un deuxième GBF, mesurez par comparaison la fréquence d'un signal sinusoïdal de très basse fréquence (10 à 20 Hz).