

**Filtrage - Intégration - Redressement - Lissage**

*Prenez en note tout élément pouvant figurer dans un compte-rendu de TP : mesures, calculs d'incertitude, observations (schémas) et interprétations, méthodes expérimentales...*

**Objectifs :**

- Observer la réponse en fréquence d'un circuit linéaire, en Régime Sinusoïdal Forcé (RSF).
- Mesurer un *gain*, un *déphasage* entre deux signaux synchrones, déterminer une *bande passante* de filtre, tracer un *diagramme de Bode*.
- Exploiter le caractère *intégrateur* d'un filtre passe-bas pour obtenir un signal de forme particulière (ex : triangulaire).
- Obtenir la *caractéristique* courant-tension d'un dipôle non linéaire, la *diode*.
- Observer l'*enrichissement spectral* dû à un dipôle non linéaire par analyse de Fourier.
- Fabriquer un signal quasi-continu par *redressement* puis *lissage* d'un signal sinusoïdal.

**I. Etude d'un circuit RC série en RSF**

*Après avoir étudié le régime transitoire du circuit RC série dans le TP précédent, nous allons maintenant nous intéresser à son régime permanent en RSF, et étudier la réponse en fréquence du circuit.*

- Q1.** Avec le matériel dont vous disposez, quelle est la manière la plus précise de mesurer l'amplitude d'un signal ?
- Q2.** On souhaite observer simultanément, à l'oscilloscope, la tension délivrée par le GBF et la tension aux bornes du condensateur dans un circuit RC série alimenté par une tension sinusoïdale. Faire un schéma du dispositif et placer dessus les voies d'observation à l'oscilloscope ainsi que la masse du circuit.
- Q3.** Comment choisir la valeur de la résistance  $R$  pour que les influences de la résistance de sortie du GBF et de la résistance d'entrée de l'oscilloscope soient négligeables ?
- Q4.** Choisir une valeur pour  $R$  et pour  $C$  de sorte que la fréquence propre du circuit soit de l'ordre de quelques kHz. Estimer la durée au bout de laquelle le régime transitoire sera négligeable devant le RSF.

**• MANIP 1 : Etude rapide du filtre**

- Réaliser le montage.
- Effectuer un balayage en fréquence en observant les caractéristiques générales du signal de sortie en comparaison de celles du signal d'entrée (amplitude, déphasage)<sup>a</sup>. La nature du filtre est-elle celle attendue ?
- Déterminer la fréquence de coupure  $f_c$  du filtre. Préciser sa bande passante  $\Delta f$ .

<sup>a</sup>. On pourra passer en mode XY pour détecter/vérifier certaines valeurs particulières de déphasage.

La tracé du diagramme de Bode requiert une série de mesures sur un plage de fréquences suffisamment large pour obtenir les asymptotes (typiquement 3 décades), et avec des valeurs réparties judicieusement notamment pour décrire précisément les zones de coupure (variation rapides de la courbe). La représentation se faisant sur un axe logarithmique, on peut en principe travailler à partir d'une série correspondant approximativement aux valeurs suivantes ( $f_0$  représente une fréquence caractéristique mesurée au préalable, par exemple  $f_0 = f_c$  pour le passe-bas, ou la résonance pour un passe-bande) :

$f/f_0$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	2	3	5	7	10	20	50
---------	----------------	----------------	----------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---	---	---	---	---	----	----	----

Selon les besoins, on pourra rajouter des points aux endroits nécessaires (à voir en fonction de la sélectivité du filtre et de son ordre).

**Q5.** Comment le déphasage  $\varphi$  entre deux signaux sinusoïdaux synchrones est-il relié au décalage temporel  $\Delta t = t_s - t_e$  entre les signaux ?

**Q6.** À quel endroit du signal la mesure du décalage temporel est-elle la plus précise ? Pourquoi ? Que doit-on alors vérifier concernant le réglage de l'oscilloscope ? Que faire si une composante continue s'ajoute au signal du fait du montage ?

• **MANIP 2 : Diagramme de Bode du filtre**

- Relever pour la série de fréquences choisie, l'amplitude <sup>a</sup> des signaux d'entrée  $U_e$  et de sortie  $U_s$ , ainsi que le décalage temporel  $\Delta t = t_s - t_e$  entre les signaux. On pourra saisir les valeurs dans un tableur.  
REMARQUE : Sur l'oscilloscope, on pourra avantageusement utiliser les mesures automatiques d'amplitude (sans curseur), et les mesures de durée avec curseurs. Il est aussi possible de déléguer les mesures d'amplitude de sortie à un multimètre numérique.
- Effectuer les traitements numériques nécessaires (calculatrice ou tableur) pour obtenir le gain en décibels  $G_{dB}$  et le déphasage  $\varphi$ .
- Tracer le diagramme de Bode en gain à la main sur du papier semilog. Repérer graphiquement la fréquence de coupure, et tracer les asymptotes. Leur pente est-elle correcte ?
- Tracer le diagramme de Bode en phase à l'aide du tableur, sur une grille semilog. Les asymptotes sont-elles correctes ?

---

a. On pourra aussi travailler sur l'amplitude crête-à-crête  $U_{ecc}$  et  $U_{scc}$ .

## II. Comportement intégrateur du filtre passe-bas RC série

*Un filtre permet de modifier la forme d'un signal. Le caractère pseudo-intégrateur du filtre passe-bas d'ordre 1 permet par exemple de transformer un signal crêteau en un signal triangulaire. Les rampes de tension ainsi produites sont utilisées par exemple dans les conversions analogique-numérique des multimètres numériques.*

**Q7.** Quel critère doit vérifier la fréquence fondamentale  $f_1$  du signal d'entrée pour que celui-ci soit intégré par le filtre ?

Pour information, on rappelle que la décomposition en série de Fourier d'un signal rectangulaire symétrique<sup>1</sup> d'amplitude  $E_0$  et de valeur moyenne nulle s'écrit<sup>2</sup> :

$$e(t) = \frac{4E_0}{\pi} \sum_{p=0}^{\infty} \frac{1}{2p+1} \sin[(2p+1)2\pi ft] .$$

De même, la décomposition d'un signal triangulaire symétrique d'amplitude  $E_0$  et de valeur moyenne nulle s'écrit<sup>3</sup> :

$$e(t) = \frac{8E_0}{\pi^2} \sum_{p=0}^{\infty} \frac{1}{(2p+1)^2} \cos[(2p+1)2\pi ft] .$$

• **MANIP 3 : Filtrage ou intégration d'un signal monochromatique**

- Appliquer un signal d'entrée sinusoïdal (d'amplitude suffisante...).
- Adapter la fréquence pour qu'il soit intégré par le filtre en contrôlant son déphasage en mode XY.

---

1. c'est-à-dire de rapport cyclique  $\frac{1}{2}$   
 2. pour la forme impaire, vérifiant  $e(-t) = -e(t)$ .  
 3. pour la forme paire, vérifiant  $e(-t) = e(t)$ .

• **MANIP 4 : Filtrage ou intégration d'un signal polychromatique**

- Pour un signal d'entrée rectangulaire de fréquence variable :
  - Vérifier la condition de fréquence pour laquelle on obtient un comportement intégrateur.
  - Vérifier alors que le signal de sortie est bien une primitive de l'entrée en mesurant la pente des rampes.
- De même, pour un signal d'entrée triangulaire de fréquence variable, observer et interpréter d'un point-de-vue spectral (Fourier) la forme du signal de sortie.

### III. Fabrication d'un signal continu : redressement et lissage

*Les appareils électriques du quotidien fonctionnent souvent en courant continu, et nécessitent soit des adaptateurs-secteur (ordinateurs portables, téléphones, modems...), ou des alimentations continues stabilisées (ordinateurs...). Le redressement est la première étape qui permet de passer du courant alternatif au courant continu. On passe d'un courant alternatif dont la valeur moyenne est nulle à un courant périodique dont la valeur moyenne est la plus élevée possible. Le redressement monoalternance est la méthode la plus simple. Puis il est nécessaire d'opérer un lissage du signal pour qu'il soit aussi constant que possible.*

*Le redressement est basé sur l'utilisation d'un dipôle polarisé (caractéristique courant-tension dissymétrique). C'est le cas de la diode, qui n'est conductrice que lorsque la tension qui lui est appliquée est d'un signe déterminé (cf annexe).*

• **MANIP 5 : Caractéristique statique de la diode**

- Réaliser un montage permettant de tracer la caractéristique courant-tension de la diode. On utilisera un GBF, une diode, une résistance de protection  $R_p = 1\text{ k}\Omega$ , un ampèremètre et un voltmètre numérique.  
REMARQUE : On prendra garde aux problèmes de masse (les multimètres HAMEG associés aux GBF sont reliés à la Terre contrairement aux multimètres FLUKE qui sont en masse flottante).
- Relever une série de points et tracer la caractéristique statique sur papier millimétré.  
Est-elle conforme à l'idéalisation proposée en annexe ? Sinon quelle résistance dynamique doit-on lui attribuer ? Que vaut la tension de seuil  $V_d$  pour votre diode ?

• **MANIP 6 : Redressement monoalternance d'un signal sinusoïdal**

- Modifier le montage précédent de façon à pouvoir observer simultanément à l'oscilloscope la tension d'entrée (celle du GBF) et la tension aux bornes de la résistance (image du courant).
- Prendre un signal d'entrée sinusoïdal de quelques volts et de fréquence modérée ( $f \sim 10 - 100\text{ Hz}$ ). Comparer la sortie à l'entrée et commenter. Qu'obtient-on en mode XY (cf annexe) ?
- Augmenter la fréquence. Comment se comporte la diode ?

• **MANIP 7 : Lissage d'un signal redressé par filtrage passe-bas**

- Modifier le montage précédent pour que le courant traversant la diode entre dans le filtre RC série étudié en première partie.
- Ajuster les valeurs de  $R$  et  $C$  pour obtenir un signal constant en sortie. Mesurer cette valeur. A quoi correspond-elle ?

Pour lisser le signal redressé de façon plus efficace, on peut préférer un dispositif de *détection de crête* (cf annexe).

• **MANIP 8 : Lissage d'un signal redressé par détection de crête**

- Modifier le montage précédent pour réaliser une détection de crête en sortie de la diode.
- Ajuster les valeurs de  $R$  et  $C$  pour obtenir un signal constant en sortie.  
Quel critère doit vérifier la constante  $\tau = RC$  pour que la tension de sortie soit bien lisse ?  
Quel est l'avantage de cette méthode par rapport à la précédente ?

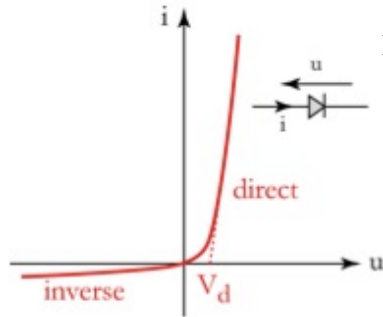
## ANNEXE - Diode et redressement

### III.1. Présentation de la diode



#### Fonctionnement :

La diode est un composant non-linéaire polarisé ne laissant passer le courant que dans un sens (celui de la flèche sur le schéma). La barre sur le schéma électrique de la diode est indiquée par un trait sur le composant.



Limites d'utilisation :

- courant direct maximal  $I_{max}$  ( $i < I_{max}$ ) de l'ordre de qq 10 mA à 10 A selon les modèles de diode, à ne pas dépasser sous peine de **destruction de la diode** par effet Joule.
- tension inverse maximale  $V_{max}$  ( $u > -V_{max}$ ) de l'ordre de 80 V à 500 V selon le modèle de la diode, à ne pas dépasser sous peine de destruction de la diode (claquage).



Pour ne pas dépasser l'intensité maximale pouvant parcourir la diode, il est impératif de la protéger en utilisant une **résistance de protection  $R_p$  placée en série**, limitant ainsi le courant passant dans la diode.

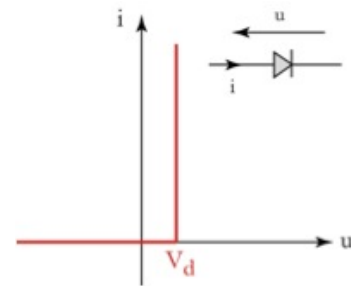
#### Modélisation :

$V_d$  : tension seuil

( $V_d \approx 0,6V$  pour une diode au Si).

$u = V_d$  si  $i > 0$  (diode passante)

$i = 0$  si  $u < V_d$  (diode bloquée)



### III.2. Redressement monoalternance

- Lorsque la diode est passante,  $u = V_d$

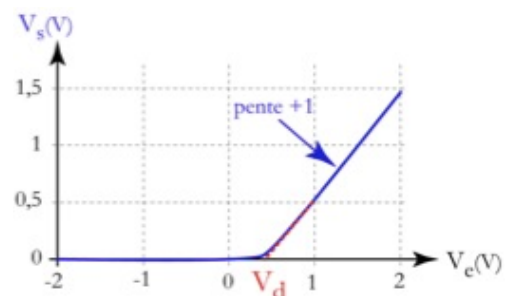
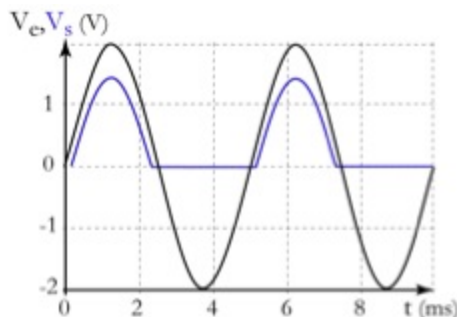
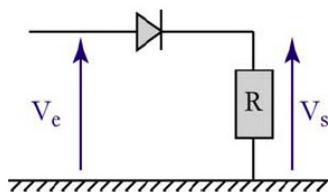
$$\Rightarrow V_s(t) = V_e(t) - u(t) = V_e(t) - V_d$$

$$\Rightarrow V_e(t) > V_d$$

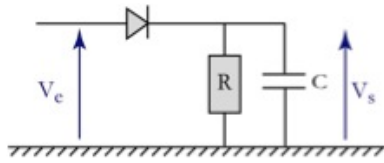
Pour  $V_e \sim 2V$ ,  $V_d$  est non-négligeable.

- Lorsque la diode est bloquée  $i = 0$  et  $u < V_d$  :

$$\Rightarrow V_s(t) = Ri(t) = 0 \quad \text{et} \quad V_e(t) < V_d$$

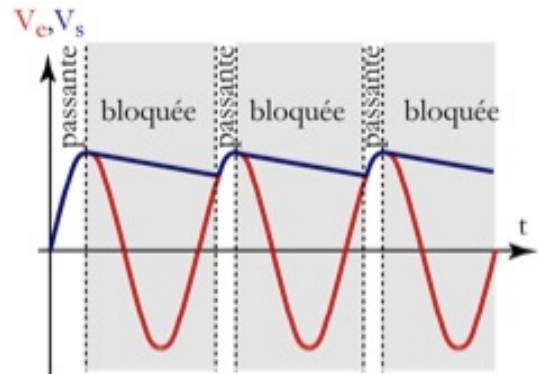


### III.3. Détection de crête



- Lorsque la diode est passante  $V_s(t) = V_e(t) - V_d$ . Le condensateur se **charge** avec une constante de temps  $\tau = RC$ .
- Lorsque la diode est bloquée  $i = 0$ . Le condensateur se **décharge** avec une constante de temps  $\tau = RC$ .

Permet de détecter toutes les crêtes si  $\tau$  est adapté au signal.



#### APPLICATIONS :

- **Démodulation** d'un signal modulé :  $\tau$  ne doit alors pas être choisi trop grand pour ne pas manquer de crête. En pratique, on prend  $\tau$  de l'ordre de la période de  $V_e$  si l'on souhaite détecter chaque crête.
- **Lissage** : au contraire on prendra  $\tau$  grand devant la période.

TP Filtrage - Intégration - Redressement - Lissage  
**Liste de matériel - 12 postes**

Matériel pour chaque poste :

- un GBF, un oscilloscope ;
- boîtes à décades de résistances et capacités ;
- fils coaxiaux BNC-banane (si possible...) ;
- un ordinateur avec Generis + carte d'acquisition (ancienne ou nouvelle).
- 2 multimètres numériques (un HAMEG avec GBF, un FLUKE à main).
- Papier millimétré, semilog, impression via les ordinateurs.
- une diode.