

TP 2 – Oscillateurs

Mesures et capacités expérimentales visées du programme de PSI

Nature et méthodes	Capacités exigibles
2. Électricité et électronique	
Filtrage analogique d'un signal périodique.	Mettre en évidence l'action d'un filtre linéaire sur un signal périodique dans les domaines fréquentiel et temporel.
Montages utilisant un amplificateur linéaire intégré (ALI).	Identifier les limitations suivantes : saturation en tension, saturation en courant, vitesse de balayage, bande passante. Mettre en œuvre divers montages utilisant un ALI.

Notions et capacités abordées

1.3. Oscillateurs	
Oscillateur quasi-sinusoïdal réalisé en bouclant un filtre passe-bande du deuxième ordre avec un amplificateur.	Exprimer les conditions théoriques (gain et fréquence) d'auto-oscillation sinusoïdale d'un système linéaire bouclé. Analyser sur l'équation différentielle l'inégalité que doit vérifier le gain de l'amplificateur afin d'assurer le démarrage des oscillations. Interpréter le rôle des non-linéarités dans la stabilisation de l'amplitude des oscillations. Mettre en œuvre un oscillateur quasi-sinusoïdal et analyser les spectres des signaux générés. <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, simuler l'évolution temporelle d'un signal généré par un oscillateur.
Oscillateur de relaxation associant un intégrateur et un comparateur à hystérésis. Générateur de signaux non sinusoïdaux.	Décrire les différentes séquences de fonctionnement. Exprimer les conditions de basculement. Déterminer l'expression de la période d'oscillation. Mettre en œuvre un oscillateur de relaxation et analyser les spectres des signaux générés.

I. Génération d'un signal en dents de scie pour MLI analogique utilisation d'un oscillateur de relaxation

Mise en situation : principe et utilisation d'une modulation MLI

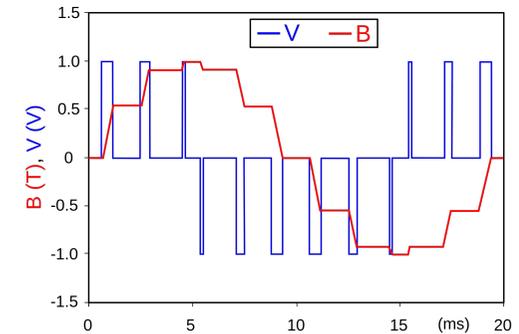
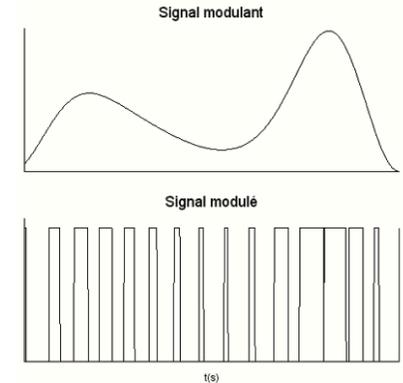
La **modulation de largeurs d'impulsion MLI**, ou **PWM pulse wide modulation** en anglais, consiste à générer des impulsions électroniques à intervalles réguliers, mais dont la largeur temporelle va dépendre d'un signal « modulant ».

Pour la **MLI analogique** présentée ici, c'est la valeur de la tension de ce signal qui va déterminer la largeur de l'impulsion (fig ci-contre).

La **MLI numérique** par exemple est couramment utilisée pour synthétiser des signaux pseudo analogiques à l'aide de circuits numériques (CNA), par extraction de la valeur moyenne.

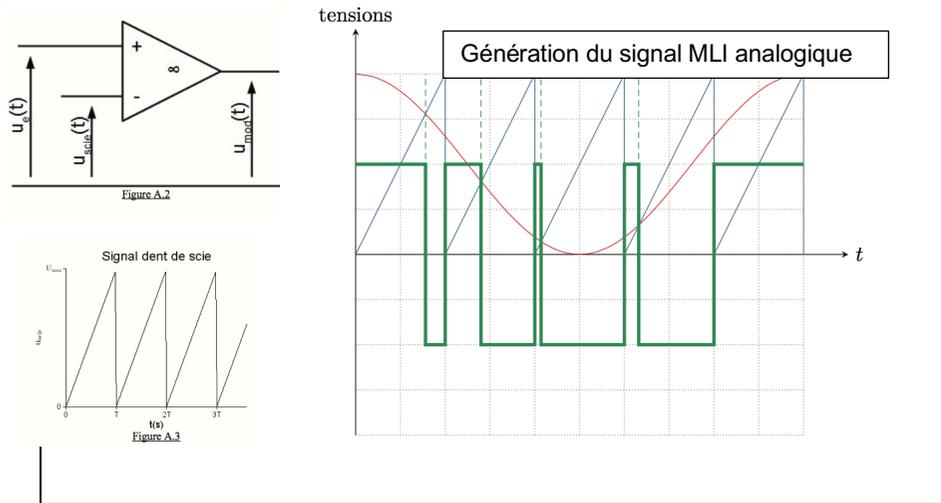
La MLI est vastement utilisée pour **la conversion numérique-> analogique CNA, les alimentations à découpage, les onduleurs, la commande en vitesse des moteurs électriques (variateurs de vitesse), les redresseurs ...**

Ci-contre nous présentons un exemple de signaux issus de **PWM pour un moteur électrique**, moteur modélisé par un inducteur idéal et piloté par une source de tension modulée MLI. Cet inducteur réalise alors l'intégrale de la forme d'onde de la tension : la forme d'onde du courant dans l'inducteur sera l'intégrale du signal MLI. Le courant pseudo-sinusoïdal imposera des variations pseudo-sinusoïdales de vitesse pour la commande du moteur.

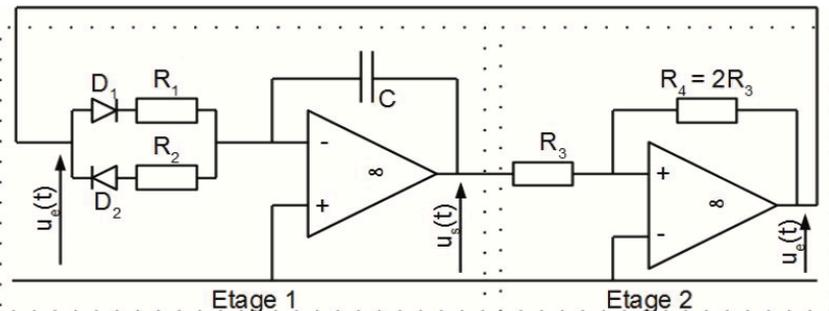


MLI analogique

En analogique, **pour réaliser cette modulation**, il suffit d'utiliser un **comparateur simple et une porteuse constituée par un signal en dents de scie** (ou triangulaire). Il existe de nombreux circuits intégrés dédiés à cet effet. Les figures suivantes illustrent cette réalisation, avec un **signal modulant sinusoïdal**.



Pour la **génération du signal en dents de scie**, nous mettons en pratique le circuit électrique suivant :



Avec $R_1 = 4,7 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 47 \text{ k}\Omega$, $C = 50 \text{ nF}$,
 $R_3 = 5 \text{ k}\Omega$ et $R_4 = 2 R_3 = 10 \text{ k}\Omega$

On admettra que :

- quand le signal d'entrée U_e est positif -> la diode D_1 est passante et équivalente à un fil, D_2 est bloquante et équivalente à un interrupteur ouvert
- quand le signal d'entrée U_e est négatif -> la diode D_2 est passante et équivalente à un fil, D_1 est bloquante et équivalente à un interrupteur ouvert

L'ensemble des 2 diodes avec résistances R_1 et R_2 est déjà monté sur plaquelette, veuillez à l'utiliser sans défaire ce montage...

S'approprier

1. Pour chaque étage, préciser le régime de fonctionnement attendu pour les ALI et les fonctions réalisées. Représenter alors les allures attendues pour U_s et U_e au cours du temps.

1) Etude de l'étage 2 seul

Pour **signal d'entrée** de cet étage, ici U_s attention, utiliser un **GBF** délivrant une **tension sinusoïdale d'amplitude suffisante**, de fréquence 500 Hz, et réaliser l'**acquisition** avec l'**oscilloscope**.

Réaliser

2. Visualiser $U_s(t)$ et $U_e(t)$, et la courbe entrée/sortie de ce montage $U_e = f(U_s)$.

Que présente cette courbe de caractéristique ?

Représenter les courbes sur votre compte-rendu et réaliser les mesures nécessaires : amplitudes, tensions de basculement, de saturation ... sur les courbes de $U_s(t)$ et $U_e(t)$, comme de $U_e = f(U_s)$.

Pour obtenir la courbe $U_e = f(U_s)$, on utilisera le mode X-Y de l'oscilloscope en sélectionnant dans le menu horizontal la touche **HORIZ**, puis **X-Y** dans l'onglet.

Analyser/Valider

3. Déterminer les tensions théoriques de seuil de basculement, qu'on notera $+V_{seuil}$ et les comparer aux valeurs expérimentales. L'amplitude de la tension d'entrée choisie est-elle suffisante ? Justifier.

2) Etude du montage global : génération d'une tension en dents de scie

Réaliser l'**acquisition** des tensions toujours avec l'**oscilloscope**.

Réaliser

4. Visualiser les tensions d'entrée $U_e(t)$ et de sortie $U_s(t)$, et les représenter sur votre compte-rendu. Mesurer les tensions et pentes caractéristiques, fréquences des signaux.

Analyser

5. Etablir la relation temporelle entrée/sortie entre $U_s(t)$ et $U_e(t)$ imposée par l'étage 1 :

- si la diode D_1 est passante (D_2 bloquée)
- si la diode D_2 est passante (D_1 bloquée)

6. Pour $U_e(t) = +V_{sat}$, ou $-V_{sat}$, préciser l'état des diodes et déterminer les variations de $U_s(t)$.

APPEL PROF 	Appeler le professeur pour présenter le principe de fonctionnement du montage
-----------------------	--

Valider

7. Vérifier l'accord entre les constantes de temps R_1C et R_2C attendues et leurs valeurs expérimentales mesurées.

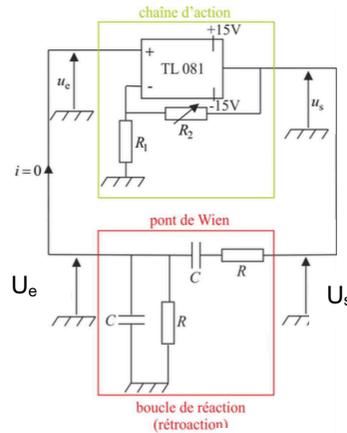
II. Oscillateur quasi-sinusoïdal à pont de Wien

Acquisition numérique avec Sysam.

L'oscillateur quasi-sinusoïdal étudié ici est constitué par un pont de Wien pour sa chaîne retour et un amplificateur pour sa chaîne directe, selon le montage ci-contre.

Avec $R = 15 \text{ k}\Omega$, $C = 22 \text{ nF}$, $R_1 = 15 \text{ k}\Omega$ et R_2 ajustable.

Le pont de Wien est déjà monté sur plaquette, veillez à l'utiliser sans défaire ce montage...



1) Etude du pont de Wien seul

Le filtre de Wien sera excité par une tension d'entrée sinusoïdale U_s , d'amplitude 5V et générée par un GBF.

Ce filtre est décrit par la fonction de transfert : $\underline{H} = \frac{U_e}{U_s} = \frac{1/3}{1 + j\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)}$

avec $\omega_0 = 1/RC$ et $f_0 = 1/2\pi RC$

S'appropriier

1. Quelle est la fonction réalisée par ce filtre ? Quelle est sa pulsation de résonance ?

Réaliser

2. Comment mesurer très rapidement cette fréquence de résonance en représentation X-Y ? Réaliser la mesure.
3. Etablir les courbes du module de \underline{H} en fonction de la fréquence, puis le diagramme de Bode en gain. Imprimer.

Valider

4. Modéliser le module de \underline{H} selon la forme canonique $\frac{H_0}{1 + jQ\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)}$ pour obtenir le facteur de qualité Q de ce filtre, sa pulsation de résonance, et H_0 . Commenter ces valeurs. Tracer la courbe modèle du gain et la superposer aux valeurs expérimentales du gain. Imprimer.

APPEL PROF



Appeler le professeur pour présenter le comportement du filtre et vos résultats

2) Auto-oscillation du système linéaire bouclé

L'équation différentielle du système bouclé qui pilote l'évolution de $U_e(t)$ est la suivante :

$$\frac{d^2 U_e}{dt^2} + \omega_0(3 - A) \frac{dU_e}{dt} + \omega_0^2 U_e = 0$$

A le facteur d'amplificateur de la chaîne directe : $A = 1 + R_2/R_1$

Pour la suite, on posera $\sigma = -(3 - A)$ le coefficient d'amplification > 0

S'appropriier/Restituer

5. Monter rapidement qu'une condition nécessaire pour l'existence d'oscillations est $R_2/R_1 \geq 2$.

→ Régime établi après saturation des oscillations

Réaliser/Valider

6. Augmenter la résistance R_2 pour obtenir 3 régimes établis quasi-sinusoïdaux : un à forte distorsion sinusoïdale, un à moyenne distorsion, et un à très faible distorsion sinusoïdale, au voisinage le plus proche de la condition d'oscillation. Donner les valeurs de R_2 et du paramètre d'amplification σ correspondants, pour chaque enregistrement, et en réaliser la FFT (transformée de Fourier rapide à l'aide de l'outil de Latis Pro).

Mesurer la fréquence fondamentale de ces oscillations, et imprimer vos courbes. Commenter.

NotaBene : pour ces enregistrements de tensions périodiques, en régime établi, sélectionner une acquisition périodique, sur 5 périodes par exemple, en synchronisant.

→ Croissance initiale des oscillations

Pour visualiser le **démarrage des oscillations**, on place un **interrupteur pour court-circuiter la tension de sortie U_s en la reliant à la masse**. On partira donc d'une condition initiale $U_s = 0$: **interrupteur fermé** placé entre U_s et la masse, et $U_e \approx 0$. On **ouvrira ensuite** l'interrupteur pour permettre la naissance des oscillations, et on utilisera un déclenchement avec seuil de 50 mV pour U_e sur un front montant, pour lancer automatiquement l'acquisition numérique.

Réaliser

7. Régler la résistance R_2 pour enregistrer la croissance des oscillations. Ce réglage de R_2 doit permettre de visualiser une **croissance avec une bonne dizaine d'oscillations**, et un signal final qui demeurera quasi-sinusoïdal.

Donner les valeurs de R_2 et σ utilisées.

Réaliser ensuite un second enregistrement de $U_e(t)$ en régime permanent pour la même valeur de R_2 (cliquer sur ajouter courbe dans l'onglet acquisition par exemple). En réaliser la FFT et mesurer la fréquence f des oscillations. Imprimer.

8. Montrer que la forme théorique de $U_e(t)$ attendue lors de l'amplification des

oscillations est : $U_e(t) = U_0 e^{\frac{\omega_0 \sigma}{2} t} \cos(2\pi f t)$

avec f la pseudo-fréquence $f = \frac{\omega_0}{2\pi} \sqrt{1 - \frac{\sigma^2}{4}}$

Modéliser alors uniquement la partie croissance de $U_e(t)$ en imposant $U(t=0) = U_0 = 50$ mV (vous pouvez vérifier cette tension initiale éventuellement sur votre premier enregistrement).

Conseils pour la modélisation

- choisir une valeur de ω_0 selon sa valeur attendue (déterminée par l'étude du filtre), choisir la fréquence f selon votre mesure précédente, et rendez ces paramètres inactifs pour leurs ajustements par l'algorithme d'optimisation de Latis Pro : décochez toutes les cases dans l'onglet modélisation, le logiciel calculera la fonction modélisée avec vos paramètres, et vous pourrez comparer le modèle à l'enregistrement

- ajuster le paramètre σ « à la main » (case décochée)

- finalement vous pourrez profiter de l'algorithme d'optimisation de Latis Pro pour ajuster finement σ en le rendant actif, puis f (sélectionner un paramètre à la fois en cochant sa case consécutivement)

Comparer les paramètres du modèle : σ , pseudo-fréquence f , aux valeurs attendues. Imprimer les courbes.

Analysser

9. Enregistrer la croissance des oscillations, lorsque l'oscillateur est réglé au plus proche de la condition d'auto-oscillation. Mesurer la tension maximale atteinte par U_e . Imprimer.

Quel est le phénomène qui limite la croissance de l'amplitude des oscillations ?

3) Simulation numérique de l'oscillateur quasi-sinusoïdal

→ Croissance des oscillations

Le but est ici de simuler numériquement la croissance des oscillations, régie par l'équation différentielle précédente 2).

S'appropriier/Restituer

10. Montrer par un développement limité à l'ordre 2, ou en utilisant l'expression des dérivées (première et seconde), que le schéma d'Euler explicite à l'ordre 2 impose la relation générale de récurrence :

$$U_e(t + dt) = 2 U_e(t) - U_e(t - dt) + \frac{d^2 U_e}{dt^2} dt^2$$

11. Appliquer ce schéma d'Euler à la croissance des oscillations.

Réaliser

12. On prendra pour conditions initiales sur la tension $U_e(t)$: $U_e(t=0) = 50$ mV, et $dU_e/dt(t=0) = 0$.

Réaliser le programme permettant de tracer la croissance des oscillations, sous Python. Imprimer votre courbe pour un coefficient d'amplification σ de 0,05.

On rappelle les instructions utiles :

Import des biblio

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

Créer un tableau t de n valeurs régulièrement espacées entre a et b (inclus), avec un pas entre deux points $(b-a)/(n-1)$. Remarque : dans la pratique, on choisira souvent $n+1$ points pour avoir un pas $(b-a)/n$ plus simplement.

```
t = linspace(a,b,n)
```

Créer un tableau u nul de n points sous numpy

```
u = np.empty(n)
```

Lier les valeurs de deux tableaux x,y pour une représentation graphique et afficher la courbe

```
plt.plot(x,y)
plt.show()
```

Pour le choix des différents paramètres d'entrée de la simulation, s'inspirer des valeurs numériques de l'oscillateur précédent.

→ Saturation des oscillations

La croissance des oscillations est stabilisée par la présence d'effets non-linéaires, qui limitent l'amplitude de la tension d'entrée. Pendant ces phases de stabilisation, la nouvelle équation différentielle du système bouclé qui pilote l'évolution de $U_e(t)$

est la suivante : $\frac{d^2 U_e}{dt^2} + \omega_0 \frac{dU_e}{dt} + \omega_0^2 U_e = 0$

L'évolution de $U_e(t)$ y est maintenant amortie.

S'appropriier/Restituer

13. Exprimer la condition qui traduit ces phases de stabilisation ?

Réaliser

14. Modifier votre simulation pour prendre en compte cette saturation des oscillations. Imprimer deux courbes pour $\sigma = 0,5$ et $\sigma = 0,0001$.

Matériel par binome
1 ALI sur support + alim
2 AOIP R variable
1 AOIP C variable
1 GBF
1 Sysam
1 interrupteur
1 oscillo
1 montage