

TP5b - Signal modulé en fréquence

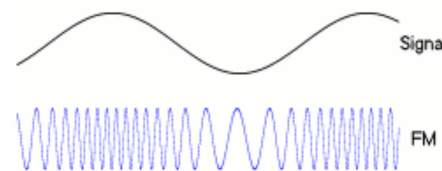
Objectifs : ★ Élaborer un signal électrique modulé en fréquence.

★ Mettre en œuvre un dispositif expérimental visant à caractériser un phénomène de résonance.

★ Simuler un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs (simulation Monte-Carlo) pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle d'un ajustement linéaire.

1 Description d'un signal modulé en fréquence

Un signal modulé en fréquence est un signal quasi-périodique dont la fréquence varie dans le temps de manière contrôlée. L'image ci-contre présente un exemple de tel signal, qu'on notera $s_{\text{FM}}(t)$, dont la fréquence instantanée dépend de la valeur de la tension d'un autre signal (noté $u(t)$, en général de fréquence plus basse (sinusoïdal par exemple sur le schéma)).



Le signal modulé $s_{\text{FM}}(t)$ peut être décrit par :

- ★ la période T_u de variation de la fréquence, qui est la période de $u(t)$,
- ★ la fréquence f_0 qu'aurait $s_{\text{FM}}(t)$ pour $u(t)$ nulle,
- ★ la fréquence instantanée maximale f_{max} ,
- ★ la fréquence instantanée minimale f_{min} ,
- ★ la fréquence f_0 qu'aurait $s_{\text{FM}}(t)$ pour $u(t)$ nulle,
- ★ l'excursion en fréquence $\Delta f = f_{\text{max}} - f_{\text{min}}$.

→ en général, les grandeurs f_0 et Δf dépendent des valeurs de f_{max} et f_{min} choisies lors du réglage.

1. Reproduire le schéma ci-dessus du signal $s_{\text{FM}}(t)$ et préciser sur celui-ci les instants où la fréquence instantanée vaut respectivement f_0 , f_{max} et f_{min} .

2 Réalisation d'un signal par modulation externe

Le contrôle de la fréquence du signal modulé s'effectue par l'intermédiaire d'une tension $u(t)$ périodique, de période T_u . Le signal $u(t)$ peut être directement généré par le GBF (modulation interne) ou par un signal externe envoyé au GBF (modulation externe), qu'on va utiliser dans ce TP. Les GBF présentent en général une fonction permettant de moduler la fréquence du signal de sortie $s_{\text{FM}}(t)$ proportionnellement à une tension extérieure. On parle d'« oscillateur commandé en tension » (souvent abrégé en VCO ou VCF).

Un GBF Metrix GX320 sera utilisé comme modulateur de fréquence. Le signal utile sera fourni si possible par un autre GBF (ou sinon celui interne à l'oscilloscope).

● réaliser le signal modulant $u(t)$: Générer un signal sinusoïdal de fréquence $f_u = 1$ kHz et d'amplitude u_0 de plusieurs volts **mais ne dépassant pas 10 V**. Visualiser ce signal à l'oscilloscope et vérifier ses paramètres.

● réaliser le signal à moduler : Sur l'autre GBF GX320, générer un signal $s(t)$ de fréquence $f = 10$ kHz et d'amplitude $s_0 = 1$ V. Visualiser ce signal à l'oscilloscope et vérifier ses paramètres.

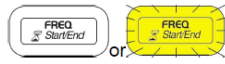
● réaliser le signal modulé $s_{\text{FM}}(t)$: Sur le GBF délivrant $s(t)$,

★ Relier le signal modulant $u(t)$ à l'entrée VCG IN du GX320 qui produit $s(t)$.

★ Avec le bouton DOWN, sélectionner MODUL.

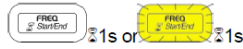
★ Sélectionner une source de modulation externe : bouton SOURCE, valeur EXT. Choisir une modulation de fréquence : bouton MODE, valeur FM.

★ Régler les fréquences f_{start} et f_{end} du signal modulé (bouton FREQ Start/End, cf notice ci-dessous) respectivement sur 1 kHz et 19 kHz.

Setting**START / END FM
frequencies**

Displays $\text{Freq}_{\text{START}}$ and assigns adjustment to the wheel.

The key lights: .



Displays Freq_{END} and assigns the adjustment to the wheel.

The key lights: .



Pressed successively selects the digit to which the increment will be applied.



Adjusts the selected value.



Switches from setting $\text{Freq}_{\text{START}}$ to setting Freq_{END} .

- visualiser la modulation :

★ Visualiser simultanément sur l'oscilloscope le signal utile $u(t)$ et le signal modulé $s_{\text{FM}}(t)$. Observer qu'on a bien un signal modulé en fréquence.

- étude qualitative de la modulation :

★ Étudier de façon qualitative l'influence de la valeur de $u(t)$ (ne pas dépasser ± 10 V mais ne pas hésiter à l'atteindre) sur le signal modulé.

★ Observer l'influence de l'allure du signal modulant (sinusoïdal, créneau, etc).

2. En précisant votre valeur de u_0 , mesurer les fréquences extrêmes du signal modulé f_{min} et f_{max} . Vous pouvez déjà éventuellement deviner le lien avec f_{start} et f_{end} choisies lors du réglage.

3 Mesure de l'amplitude de modulation

On souhaite quantifier comment la valeur du signal modulant $u(t)$ influence la fréquence $f_s(t)$ du signal modulé $s_{\text{FM}}(t)$. On s'attend à une proportionnalité entre la variation de fréquence et la valeur de $u(t)$:

$$f_s(t) = f_0 + \alpha \cdot u(t)$$

3. On rappelle que $u(t)$ ne doit jamais dépasser ± 10 V. Proposer et réaliser un protocole de mesure du coefficient α . Pour cela, le protocole devra mettre en jeu plusieurs mesures et un tracé de courbe. De plus, mesurer une fréquence instantanée sur un signal modulé par une sinusoïde n'est pas très précis, comment s'affranchir de ce problème ? Le résultat sur α sera donné avec son incertitude déterminée par une estimation Monte-Carlo d'un ajustement linéaire¹.

4. En déduire le lien entre le réglage de f_{start} et f_{end} et les valeurs de f_{min} , f_0 et f_{max} .

4 Utilisation pour étude d'une résonance en intensité

Un signal périodiquement modulé en tension permet de visualiser directement à l'oscilloscope un pic de résonance. L'idée est de balayer la fréquence de $s_{\text{FM}}(t)$ autour de la fréquence de résonance, d'envoyer à l'oscilloscope le signal de modulation $u(t)$ (proportionnel à la variation de fréquence) ainsi que le signal dont on souhaite repérer la résonance.

On rappelle que pour un circuit RLC série, la pulsation de résonance en intensité est $\omega_{\text{res}, i} = \omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ et $Q = \frac{1}{R_{\text{tot}}} \sqrt{\frac{L}{C}} = \omega_0 / \Delta\omega$ avec R_{tot} la résistance totale du circuit et $\Delta\omega$ la bande passante. On donne aussi le temps caractéristique du régime transitoire en régime pseudo-périodique $\tau = 2Q/\omega_0$.

Le circuit comporte le GBF modulé, une boîte à décade d'inductance réglée sur $L = 50$ mH, une boîte de capacité réglée sur $C = 5,1$ nF, une boîte de résistance initialement réglée sur $R = 100 \Omega$, et une autre boîte sur $R' = 50 \Omega$ aux bornes de laquelle on mesurera la tension.

1. Un script python d'exemple (*script_ajustementlineaire_complet*) est fourni sur le *Cahier de Prépa*, partie TP : https://cahier-de-prepa.fr/pc*-roosevelt/docs?rep=8

5. Proposer un schéma du circuit de manière à pouvoir mesurer à l'oscilloscope la tension aux bornes de R' .
6. On utilisera une fréquence de modulation très basse f_u initialement à 8 Hz. Proposer un choix judicieux de valeurs de u_0 , f_{start} et f_{end} à utiliser.
7. Visualiser le pic de résonance en mode XY. Pour cela, on pourra éventuellement modifier un peu f_u pour éliminer certains artefacts, et activer l'opération **persistance** de l'oscilloscope pour une trace persistante. Mesurer l'influence de R_{tot} sur l'amplitude à résonance².
8. Pour effectuer la mesure précédente, la période T_u du signal de modulation ne doit pas être trop petite. Pourquoi ?
9. Pourquoi ce sujet a-t-il proposé une valeur plutôt haute de L et plutôt basse de C ?

5 Utilisation pour étude d'une résonance en tension de condensateur

Si Q est inférieur à une valeur seuil Q_s , la tension du condensateur ne présente pas de résonance. Sinon, la fréquence de résonance vaut $\omega_{\text{res,uc}} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}$.

10. Proposer et réaliser un protocole pour mesurer Q_s par visualisation de la résonance en mode XY comme précédemment.

2. Pour de trop faibles valeurs de R_{tot} , il est possible que le GBF ne puisse pas fournir suffisamment de puissance pour trouver le résultat attendu.