

Étude de filtres - wobulation

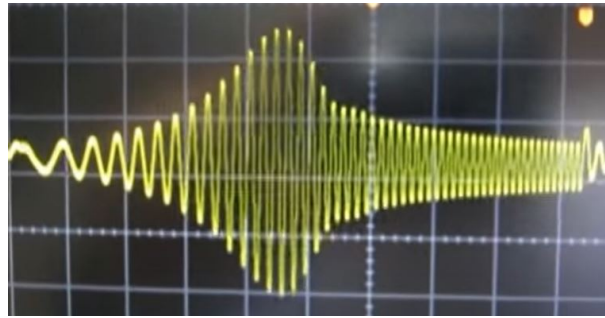


Figure 1 – Signal wobulé à la sortie d'un filtre passe-bande

1 Étude théorique

1.1 Circuit RLC (pour tous)

On considère un circuit RLC¹ série tel que :

$$R \approx 1 \times 10^3 \Omega; C \approx 10 \text{ nF}; L \approx 10 \text{ mH}$$

1. Représenter les montages à réaliser pour obtenir les filtres suivants :
 - ✗ un filtre passe-bas du second ordre,
 - ✗ un filtre passe-haut du second ordre,
 - ✗ un filtre passe-bande du second ordre,
 - ✗ un filtre coupe-bande du second ordre.
2. Établir les expressions littérales des fonctions de transfert des quatre filtres et déterminer les expressions littérales de la pulsation propre ω_0 et du facteur de qualité Q de ce circuit RLC. Exprimer les incertitudes types de ω_0 et Q en fonction des incertitudes types de R , L et C .
3. En utilisant les valeurs approximatives des composants, déterminer les valeurs numériques de ω_0 et Q .
4. En tenant compte des valeurs de ω_0 et Q , tracer l'allure des diagrammes asymptotiques et diagrammes de Bode (Gain en décibels et phase) des quatre filtres.
5. En tenant compte des valeurs de ω_0 et Q déterminer l'expression de la bande passante des quatre filtres (calcul littéral demandé). Faire ensuite les applications numériques. Exprimer les incertitudes types des 4 bandes passantes en fonctions des incertitudes types de R , L et C .
6. Préparer un code Python permettant de tracer les diagrammes de Bode (Gain en décibels et phase) pour les 4 filtres. On testera le code avec les valeurs approximatives des composants.

1.2 Montage X (pour les 5/2)

On considère le montage suivant :

1. La résistance interne de la bobine étant de l'ordre de quelques ohms, elle sera négligée

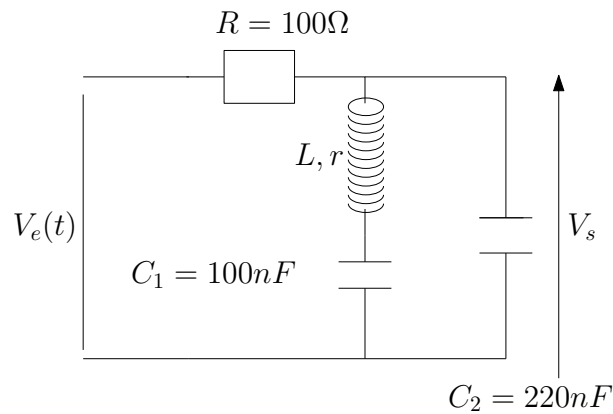


Figure 2 – Montage X, avec : $L \approx 36 \text{ mH}$ et $r \approx 10 \Omega$

7. Établir l'expression littérale de la fonction de transfert. Montrer qu'elle se met sous la forme :

$$\underline{H} = \frac{1 + \frac{1}{Q} \left(\frac{j\omega}{\omega_0} \right) + \left(\frac{j\omega}{\omega_0} \right)^2}{1 + \left(\frac{j\omega}{\omega_1} \right) + \left(\frac{j\omega}{\omega_2} \right)^2 + \left(\frac{j\omega}{\omega_3} \right)^3}$$

8. Donner les valeurs numériques approximatives de Q , ω_0 , ω_1 , ω_2 et ω_3 .
9. Exprimer les incertitudes types de Q , ω_0 , ω_1 , ω_2 et ω_3 en fonction des incertitudes types de r , R , L , C_1 et C_2 .
10. En vous basant sur les valeurs approximatives des composants, mettre en évidence deux pulsations caractéristiques du filtre et les calculer numériquement. Exprimer les incertitudes types de ces pulsations en fonction des incertitudes types de R , L et C . Proposer une allure pour le diagramme de Bode (Gain en décibels et phase).
11. Préparer un code Python permettant de tracer les diagrammes de Bode (Gain en décibels et phase) pour ce filtre. On testera le code avec les valeurs approximatives des composants.

2 Wobulation

2.1 Approche théorique

2.1.1 Principe de la wobulation

En électronique, le terme wobulation signifie : « modulation de fréquence à forte différence ». Ceci veut dire que le GBF, qui délivre en temps normal un signal périodique de fréquence fixée, est alors capable de fournir une rampe de fréquence et donc de délivrer un signal périodique de fréquence variable : il fait varier sa fréquence d'une valeur $f_{\min}$ à une valeur $f_{\max}$ en boucle, à une fréquence f_{mod} très inférieure devant la fréquence moyenne f_0 ² que l'utilisateur peut choisir.

Lorsque l'on étudie un filtre en électricité, on mesure ses caractéristiques (gain ou tension de sortie ; déphasage entre la tension d'entrée et la tension de sortie) en fonction de la fréquence. On effectue des mesures de tension en faisant varier la fréquence, manuellement. Puis on utilise un logiciel qui nous permettra d'obtenir la courbe qui nous intéresse, par exemple $V_s = f(\omega)$: on dit que le tracé obtenu est un tracé point par point.

Grâce à la wobulation du GBF, on peut afficher directement la courbe voulue sur l'oscilloscope de manière automatique.

2. fréquence appelée aussi fréquence centrale égale à $\frac{f_{\min} + f_{\max}}{2}$

2.1.2 Mise en œuvre

La wobulation est ainsi un cas particulier de modulation de fréquence : la fréquence $f(t)$ délivrée par le GBF est modulée par une tension de commande U_{mod} (qui peut être interne au GBF ou externe au GBF).

Cette tension modulante est en général une tension en dents de scie de fréquence f_{mod} très inférieure aux fréquences caractéristiques du signal étudié :

Ainsi, la fréquence $f(t)$ délivrée par le GBF est une fonction affine de U_{mod} :

$$f(t) = a \times U_{mod} + b$$

Dans le cas où le GBF est réglé pour délivrer un signal sinusoïdal, la tension à la sortie du GBF sera donc de la forme :

$$e(t) = E \cos(2\pi f(t)t)$$

En injectant la tension $e(t)$ dans le circuit à étudier, on visualisera en direct les variations de $V_s(t)$ en fonction de la valeur de $f(t)$

Exemple d'observations à l'oscilloscope :

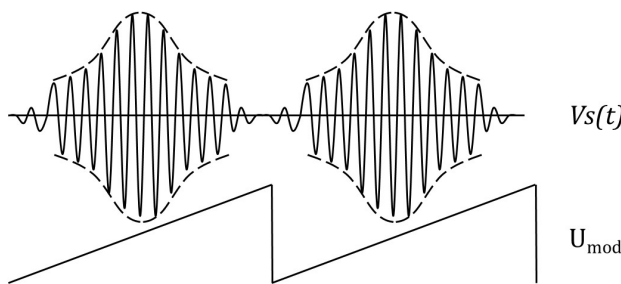


Figure 3

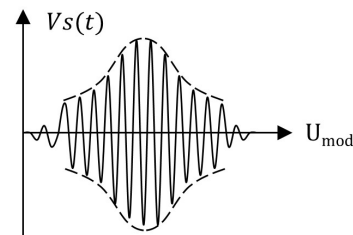


Figure 4

2.1.3 Réglages

Le réglage de la tension modulante se fait donc en choisissant :

- ✗ La fréquence de balayage f_{mod}
- ✗ La fréquence centrale de balayage $f_0 \gg f_{mod}$ (il peut s'agir de la fréquence moyenne ou de la fréquence minimale)
- ✗ L'excursion en fréquence Δf (soit les valeurs de U_{min} et U_{max} donc celles de f_{min} et f_{max})

La principale difficulté rencontrée lors de l'utilisation de la wobulation est que chaque constructeur a son propre « vocabulaire » concernant ces réglages. À vous donc de trouver les boutons de réglages correspondant aux réglages précédents : n'hésitez pas à demander la documentation constructeur du GBF.

2.1.4 Wobulation interne

De nombreux GBF proposent une wobulation interne : il suffit de l'activer et de régler les trois paramètres précédents. Très souvent, l'activation passe par le réglage de f_{mod} (qui par défaut est nulle).

Exemple : GBF Enertec

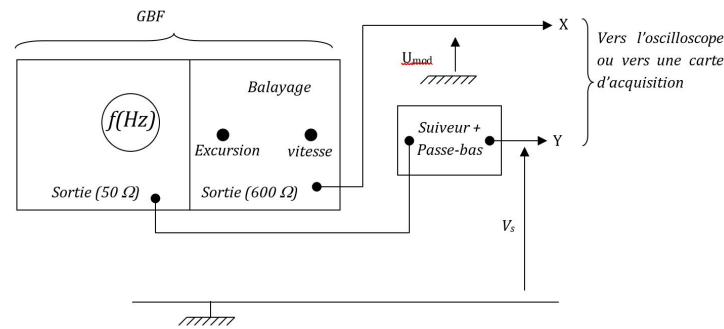


Figure 5 – Exemple d'utilisation de la wobulation interne avec les GBF Enertec

- ✗ Le bouton « vitesse » permet de régler la fréquence f_{mod} du signal en dents de scie.
- ✗ Le bouton de réglage de la fréquence permet de régler la valeur minimale de la fréquence lors du balayage.
- ✗ Le bouton « excursion » permet de régler l'excursion en fréquence.

2.1.5 Wobulation externe

La wobulation externe se met en œuvre avec deux GBF :

- ✗ Un GBF1 délivre un signal en dents de scie asymétrique,
- ✗ Ce signal est injecté dans un GBF2 afin de moduler la fréquence du signal délivré par la sortie 50 Ω.

Les réglages sont les suivants :

- ✗ Réglage de f_0 (fréquence centrale) : bouton de réglage de fréquence classique du GBF2
- ✗ Réglage de Δf : Amplitude et/ou offset du signal en dents de scie délivré par le GBF1
- ✗ Réglage de f_{mod} : bouton de réglage de fréquence classique du GBF1

En pratique, prendre f_{mod} faible devant f_0

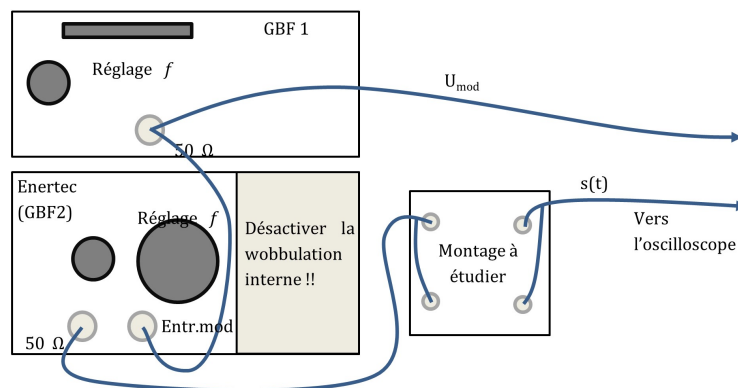


Figure 6 – Exemple d'utilisation de la wobulation externe avec les GBF Enertec et un autre GBF

3 Manipulations

3.1 Mesures des valeurs des composants

3.1.1 Pour tous

- ✗ Mesurer les valeurs de R , r , L et C à l'aide d'un multimètre ou d'un pont de mesure (recommandé pour C et L), faire un calcul d'incertitude. Justifier que l'on peut effectivement négliger r devant R .
- ✗ En déduire les valeurs de ω_0 , Q et des bandes passantes des quatre filtres. Faire un calcul d'incertitudes.
- ✗ En rentrant les valeurs précises des composants, tracer les diagrammes de Bode sous Python.

3.1.2 Pour les 5/2

- ✗ Mesurer les valeurs de R , L , r , C_1 et C_2 à l'aide d'un multimètre ou d'un pont de mesure (recommandé pour C et L), faire un calcul d'incertitude.
- ✗ En déduire les valeurs des pulsations caractéristiques du filtre. Faire un calcul d'incertitude.
- ✗ En rentrant les valeurs précises des composants, tracer les diagrammes de Bode sous Python.

3.2 Wobulation

- ✗ Pour tous : obtenir, à l'aide d'une wobulation interne puis externe l'allure de la réponse fréquentielle des 4 filtres du circuit RLC.
- ✗ Pour les 5/2 : obtenir, à l'aide d'une wobulation interne puis externe, l'allure de la réponse fréquentielle du filtre X.

On veillera dans les deux cas à expliquer le protocole permettant de d'obtenir la réponse fréquentielle de manière automatique en faisant notamment un schéma détaillé du montage à réaliser.

3.3 Tracé de diagramme de Bode

- ✗ Pour tous : Tracer le diagramme de Bode point par point du filtre coupe-bande.
- ✗ Pour les 5/2 : Tracer le diagramme de Bode point par point du filtre X.

On veillera dans les deux cas à expliquer le protocole permettant de d'obtenir le diagramme de bode du filtre étudié en faisant notamment un schéma détaillé du montage à réaliser.

3.4 Exploitation des diagrammes de Bode

- ✗ Pour tous : Déduire du diagramme de Bode obtenu expérimentalement pour le filtre coupe bande, les valeurs expérimentales de ω_0 , Q et $\Delta\omega$. Faire un calcul d'incertitude et calculer les Z-scores. Conclure.
- ✗ Pour les 5/2 : Déduire du diagramme de Bode obtenu pour le filtre X, les valeurs expérimentales des pulsations caractéristiques et faire un calcul d'incertitudes. Calculer les Z-scores. Conclure.