

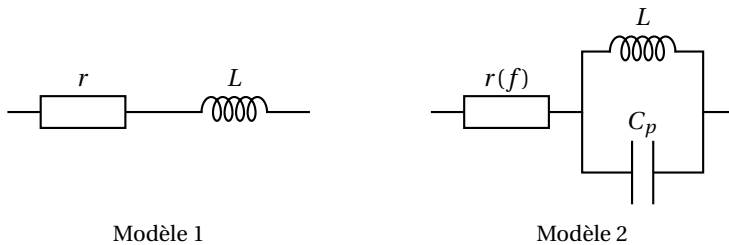
TP n° 11 : Modélisation d'une bobine réelle

Objectifs : Déterminer expérimentalement la fréquence de résonance d'un filtre passe-bande. Mesurer les variations de la résistance interne d'une bobine réelle avec la fréquence. Évaluer la capacité parasite d'une bobine réelle.

Matériel :

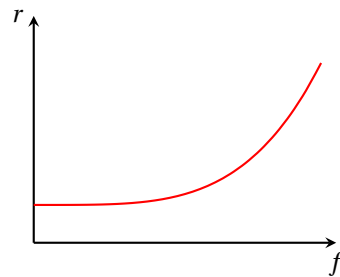
- Oscilloscope numérique,
 - GBF,
 - résistance $R = 10\ \Omega$
- bobine 600 spires,
 - boîte à décade de capacités.

Nous avons vu en cours la modélisation d'une bobine réelle comme l'association en série d'une résistance interne et d'une bobine idéale (voir ci-dessous, modèle 1). Ce modèle n'est valable qu'aux très basses fréquences (typiquement inférieure au kHz). Pour des fréquences plus élevées différents phénomènes physiques modifient le comportement électrique d'une bobine réelle. Pour en tenir compte une modélisation couramment utilisée est représentée ci-dessous (modèle 2).



Effet de peau

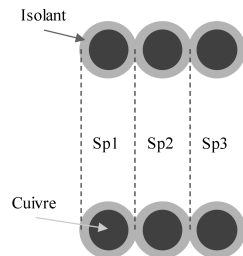
La résistance électrique d'un conducteur augmente avec la fréquence. Ce phénomène, appelé **effet de peau**, sera décrit en deuxième année. Il devient sensible au-delà d'une certaine fréquence qui dépend principalement du diamètre du fil de la bobine. Pour la bobine étudiée dans ce TP cette fréquence est de l'ordre du kHz. Nous modélisons ici la résistance interne d'une bobine réelle comme une fonction de la fréquence $r(f)$.



Capacité parasite

Une bobine est constituée d'un enroulement de fil conducteur, sous la forme de **spires jointives** (voir figure ci-contre). Ces spires sont séparées par un isolant pour éviter des court-circuits entre les spires et forcer le courant à circuler dans l'axe du fil.

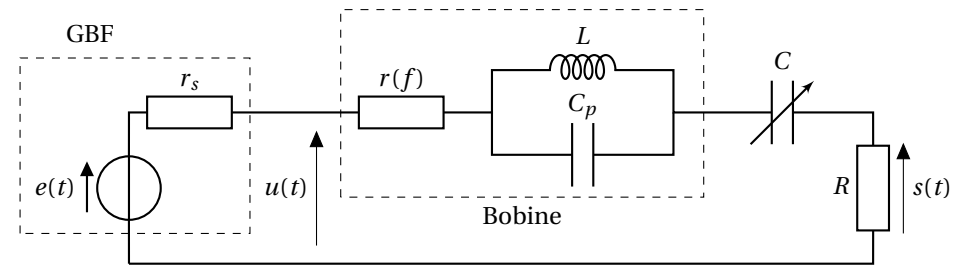
L'isolant séparant deux spires consécutives peut être assimilé à un condensateur, l'ensemble des spires formant alors une association de condensateurs en série. Dans le modèle 2 on note C_p la **capacité parasite** associée à l'ensemble des spires de la bobine.



1 Travail préparatoire

On s'intéresse à un dispositif expérimental permettant d'accéder à l'inductance L , la capacité parasite C_p (supposée indépendante de la fréquence), et permettant de mesurer les variations de la résistance interne avec la fréquence. Le schéma du montage est représenté sur la figure ci-dessous. La source est un GBF de résistance de sortie $r_s = 50\ \Omega$ et de force électromotrice $e(t) = E \cos(\omega t)$. On note $u(t)$ la tension aux bornes du GBF. La résistance vaut $R = 10\ \Omega$ et la capacité C est variable. On note :

- Z l'impédance totale du circuit ;
- \underline{U} et \underline{S} les amplitudes complexes respectives des tensions $u(t)$ et $s(t)$;
- $G = \frac{|\underline{S}|}{|\underline{U}|}$ le gain du montage.



- 1) Exprimer $|\underline{S}|$ en fonction de E , R et du module de l'impédance totale $Z = |Z|$.
- 2) Montrer que la tension $s(t)$ entre en résonance lorsque le module de l'impédance $\omega \rightarrow Z(\omega)$ est minimal. Montrer alors que la résonance se produit à la fréquence :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C + C_p)}}$$

- 3) Montrer que $u(t)$ et $s(t)$ sont en phase à la résonance.
- 4) Proposer un protocole pour mesurer la fréquence de résonance f_r et le gain à la résonance $G(f_r)$. Montrer que l'on peut ainsi accéder à la valeur de la résistance interne à cette fréquence par la relation :

$$r(f_r) = R \left(\frac{1}{G(f_r)} - 1 \right)$$

- 5) D'après vous quel est l'intérêt d'utiliser une capacité C variable ?

2 Réalisation expérimentale

- ▶ Câblez le montage présenté dans la partie précédente en prenant $C = 10\mu\text{F}$.
 - ▶ Après avoir affiché les tensions $u(t)$ (voie 1) et $s(t)$ (voie 2) sur l'écran de l'oscilloscope faites varier la fréquence jusqu'à vous trouver à la résonance.
 - ▶ Mesurez la fréquence de résonance. Utilisez le mode "Measure" pour mesurer la valeur efficace des tensions $u(t)$ et $s(t)$.
 - ▶ Répétez ces opérations pour toutes les valeurs de capacité dans le tableau ci-contre et remplissez les lignes f_{res} , U_{eff} et S_{eff} .
- 6) (Valider) On fait l'hypothèse que $C_p \ll 10\mu\text{F}$. Déterminer la valeur de L à partir de la première colonne du tableau.
- 7) (Valider) Utiliser la dernière colonne du tableau pour estimer la capacité parasite C_p . Recommencer avec les deux colonnes précédentes et vérifier que les valeurs sont cohérentes entre elles. L'hypothèse de la question précédente est-elle valable ?
- 8) (Réaliser) Ouvrir le fichier Python "modélisation d'une bobine réelle.py" puis :
 - ligne 15 : écrire la formule qui permet de calculer le gain du montage à partir de U_{eff} et S_{eff} ;
 - ligne 18 : rentrer la valeur d'inductance trouvée à la question 6 ;
 - ligne 19 : rentrer la valeur de capacité parasite trouvée à la question 7 ;
 - ligne 22 : écrire la formule qui permet de calculer la résistance r à partir de $G(f_r)$ et R .
- 9) (Valider) Exécuter le script puis remplir la ligne r du tableau avec les valeurs affichées dans la console. Imprimer le graphe $r(f)$ et le coller dans votre compte-rendu.
- 10) (Analyser + Réaliser) Proposer une méthode pour mesurer rapidement la résistance interne r_0 de la bobine en régime stationnaire. Indiquer la valeur obtenue.
- 11) (Valider) Déterminer la fréquence f_c à partir de laquelle $r(f) \geq 2r_0$.
- 12) (Valider) Dans le domaine de fréquence où $r \gg r_0$ la théorie prévoit que $r \propto f^\alpha$ avec α une valeur entière. Déterminer α en utilisant les deux dernières colonnes du tableau. Justifier soigneusement la démarche.
- 13) (Analyser) On observe à la résonance une chute de l'amplitude de $u(t)$, d'autant plus importante que la capacité C est élevée. Justifier que cela s'explique par le fait que le générateur possède une résistance de sortie $R_s = 50\Omega$.

r (en Ω)	S_{eff} (en V)	U_{eff} (en V)	f_{res} (en KHz)	C
				$10\mu\text{F}$
				$3\mu\text{F}$
				$1\mu\text{F}$
				300nF
				100nF
				30nF
				10nF
				3nF
				1nF