RÉGIME SINUSOÏDAL ; FONCTIONS DE TRANSFERT - TP

1. But du TP : avertissement préalable

• On veut étudier certains aspects du comportement d'un circuit RLC-série en fonction de la **fréquence** du régime sinusoïdal.

Ceci peut se faire en étudiant (en fonction du signal imposé par le générateur) la réponse en tension :
- ◊ aux bornes d'une résistance R_0 (qui n'est la résistance totale du circuit) ;
- ◊ **ou** aux bornes de la bobine d'inductance L (mais dont la résistance r n'est pas nulle) ;
- ◊ **ou** aux bornes du condensateur de capacité C .

On veut de plus effectuer cette étude pour différentes valeurs de R (résistance totale) **ou** de C (le matériel disponible ne permet pas simplement de comparer plusieurs valeurs de L).

Cela fait donc au total six possibilités, donc la principale difficulté du TP est de bien s'organiser (à plusieurs groupes) pour pouvoir comparer et de ne pas se disperser.

2. Préparation du montage

• On peut raisonnablement utiliser (remesurer avec un multimètre toutes les valeurs qui ne sont pas indiquées avec précision) : $R_0 \approx 5$ à $100\,\Omega$; $L \approx 5$ à $200\,\text{mH}$; $r \approx 10$ à $60\,\Omega$; $C \approx 0{,}1$ à $10\,\mu\text{F}$ (mais ces valeurs ne sont pas imposées).

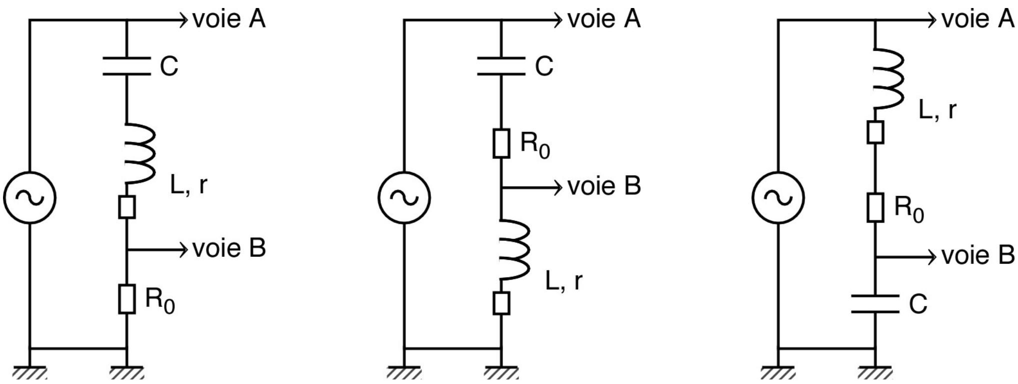
☞ remarque : pour plusieurs groupes travaillant en collaboration, veiller à bien utiliser des valeurs **très proches** (écart inférieur à l'incertitude de mesure) pour toutes les quantités qui ne varient pas.

• Si on choisit de comparer plusieurs valeurs de la capacité du condensateur, en étudiant la tension aux bornes du condensateur, c'est simple…

Si on choisit de comparer plusieurs valeurs de la résistance totale du circuit $(R = R_0 + r)$, ce n'est pas trop compliqué… mais si on choisit de mesurer la tension aux bornes de R_0 ou de (L, r) il faut déjà réfléchir au fait que la résistance qu'on fait varier est séparée en deux parties, dont l'une seulement est incluse dans le dipôle étudié.

☞ remarque : les modèles théoriques simples étudiés en cours ne s'appliquent qu'aux bobines sans noyau ; ils restent approximativement corrects pour les bobines avec noyau, mais seulement si on se limite à des signaux de faible amplitude (et dans ce cas les parasites radio sont souvent gênants).

• Réaliser un montage de l'**UN** des trois circuits suivants :



☞ rappel : vérifier (entre autres) que tous les calibres de l'oscilloscope sont bien en position “calibrée” (sinon les valeurs lues ne correspondent pas à l'étalonnage inscrit sur le calibre !) et que les interrupteurs des deux voies sont bien en position “DC” (sinon les signaux peuvent être déformés).

• Utiliser l'oscilloscope en tant que phasemètre (et pour contrôler la forme des signaux) ; ajouter deux voltmètres en parallèle pour obtenir plus facilement des mesures précises des tensions (on raisonne aussi bien avec les valeurs efficaces).

• Régler l'amplitude du signal sinusoïdal sur ≈ 1 à $3\ \mathrm{V}$ (les signaux trop grands sont déformés par les défauts des bobines avec noyaux ; les signaux trop faibles sont perturbés par les parasites).

3. Mesures et courbes

• Pour une tension U donnée (U_m ou U_{eff}) fournie par le générateur (dont le signal est choisi comme référence des phases), on veut étudier l'évolution de la tension complexe $\underline{U_{R_0}}$ **ou** $\underline{U_{Lr}}$ **ou** $\underline{U_C}$ (sans oublier le déphasage ϕ correspondant) en fonction de la fréquence du signal.

• On ne peut pas régler la tension U une fois pour toutes, car U dépend du courant débité (à cause de la résistance interne du générateur), qui dépend de la fréquence (parce que l'impédance du circuit en dépend) ; or on veut étudier le circuit RLC et non le générateur.

Sachant que la tension $\underline{U_d}$ aux bornes du dipôle étudié ($\underline{U_{R_0}}$ ou $\underline{U_{Lr}}$ ou $\underline{U_C}$) est proportionnelle à U , le plus simple est d'étudier la “fonction de transfert” : $\underline{H} = \frac{\underline{U_d}}{U}$ (“gain complexe en tension”), indépendante de la résistance du générateur. Ceci correspond à : $\underline{H} = H\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\phi}$ avec $H = \frac{U_d}{U}$.

• En pratique, les courbes $H = H(\omega)$ et $\phi = \phi(\omega)$ mettent en évidence un phénomène de type “résonance”. On souhaite donc effectuer une série de mesures pour des fréquences N régulièrement réparties sur l'intervalle présentant la résonance (par exemple : de $\approx 50\ \mathrm{Hz}$ jusqu'à au moins $\approx 2000\ \mathrm{Hz}$).

Toutefois, lorsqu'on effectue une série de mesures (quel que soit le dispositif) il est en général “utile” de ne pas procéder “au hasard”. En particulier, c'est ici une très mauvaise idée de commencer sans réfléchir aux basses fréquences puis d'augmenter progressivement la fréquence par intervalles choisis au hasard.

Pour procéder méthodiquement :
- ◊ connaissant L et C , commencer par calculer la <u>fréquence propre du circuit</u> pour connaître l'ordre de grandeur des fréquences intéressantes (pour garantir un bon cadrage) ;
- ◊ effectuer alors une ou deux mesures au voisinage de **chaque extrémité** de l'intervalle de fréquences choisi (pour vérifier le <u>bon fonctionnement</u> du montage dans <u>tout l'intervalle</u>) ;
- ◊ mesurer ensuite pour <u>quelques</u> fréquences intermédiaires régulièrement réparties dans l'intervalle (pour vérifier rapidement l'allure générale et repérer les zones à préciser) ;
- ◊ améliorer enfin en rajoutant d'autres mesures pour des fréquences intermédiaires, surtout au voisinage des zones où les variations du comportement sont rapides.

◊ remarque : pour bien choisir les valeurs des fréquences intermédiaires de façon régulière, il faut commencer à **tracer le graphique** <u>dès qu'on a effectué les mesures aux fréquences extrêmes</u>, puis ajouter des points là où on voit qu'il en manque sur le graphique ; de plus, l'étude sur une gamme étendue de fréquences est plus efficace si on trace le graphique avec les fréquences en **échelle logarithmique**.

• Pour chaque fréquence (**mesurée avec un fréquencemètre**), mesurer les deux tensions U et U_d , ainsi que le déphasage ϕ (avance de phase algébrique de $u_d(t)$ par rapport à $u(t)$).

Tracer ainsi les courbes représentant la fonction de transfert réelle $H = \frac{U_d}{U}$ et le déphasage ϕ en fonction de la fréquence.

• Mettre en évidence le phénomène de “résonance” : H est maximum et ϕ varie brutalement au voisinage d'une fréquence de résonance N_r .

Refaire quelques mesures pour des fréquences intermédiaires au voisinage de la résonance pour préciser cette partie des courbes.

◊ remarque : lorsqu'on étudie la tension aux bornes de R_0 , la résonance est caractérisée (entre autres) par $\phi = 0$, ce qui peut se repérer précisément par la méthode “courbes de Lissajous” (en mode “XY”) ; si on étudie la tension aux bornes de C , la résonance est caractérisée par $\phi = -\frac{\pi}{2}$ (moins facile à observer) ; si on étudie la tension aux bornes de (L, r) l'observation en mode XY n'apporte aucune facilité à cause de r .

• Si on étudie la tension aux bornes de R_0 , la résonance correspond “théoriquement” (avec la modélisation la plus simple) à une pulsation : $\omega_r = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L\,C}}$.

Si on étudie la tension aux bornes de C , on obtient $\omega_r < \omega_0$; si on étudie la tension aux bornes de (L, r), on obtient $\omega_r > \omega_0$; interpréter (avec un modèle simple) et commenter.

• Comparer $H(\omega_r)$ et $H(\omega_0)$ aux valeurs prédites par un modèle théorique simple. Peut-on en déduire des informations sur les résistances.

◊ remarque : en réalité, la résistance de la bobine augmente avec la fréquence (surtout si la bobine contient un noyau) ; ceci est dû aux interactions électromagnétiques dans les spires de la bobine (qui font qu'à haute fréquence le courant ne circule qu'en surface des fils : effet de peau), ainsi qu'aux courants induits dans le noyau ; on peut en déduire qualitativement pourquoi les modèles simples sont imparfaits, mais il est recommandé de <u>ne pas passer trop de temps à étudier un modèle théorique trop compliqué</u>.

• Calculer la “bande passante” : $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ où ω_1 et ω_2 sont les pulsations pour lesquelles $H = \frac{H(\omega_r)}{\sqrt{2}}$; comparer $\Delta\omega$ au quotient $\frac{R}{L}$. Calculer le “facteur de qualité” de la résonance : $Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega}$.

◊ remarque : la “bande passante” correspond aussi aux valeurs de ω pour lesquelles $\phi = \phi(\omega_r) \pm \frac{\pi}{4}$ (sauf si on étudie la tension aux bornes de (L, r) pour laquelle le modèle est moins simple à cause de r).

4. Influences de R et C

• Comparer plusieurs courbes (obtenues par différents groupes) avec les mêmes L , r et C mais des valeurs différentes de R (**ou** les mêmes L , r et R mais des valeurs différentes de C … ; la comparaison doit n'impliquer qu'**un seul** paramètre à la fois !).

5. Approfondissement éventuel : “wobulation”

• Pour les groupes les plus rapides, à qui il reste du temps en fin de séance (c'est rare...), on peut envisager d’utiliser la “wobulation” (“balayage” en fréquence) pour visualiser l’allure (qualitative) de la courbe de résonance directement sur l’écran de l’oscilloscope.

6. Rangement

• Ne pas oublier...

RÉGIME SINUSOÏDAL ; FONCTIONS DE TRANSFERT - TP

Matériel

Au bureau

capacimètres
inductancemètres

Pour chaque groupe (10 groupes)

1 oscilloscope
3 adaptateurs BNC
1 raccord “en T” BNC
1 générateur BF
1 fréquencemètre (sauf si inclus dans le GBF)
1 phasemètre
12 fils (des longs et des courts)
2 câbles coaxiaux (BNC d’un seul côté)
2 câbles coaxiaux (BNC des deux côtés)
1 contrôleur électronique
1 boite de condensateurs $0{,}1$ à $1\ \mu\mathrm{F}$
1 boite de condensateurs 1 à $10\ \mu\mathrm{F}$
1 boite de résistors $\times\ 1$ à $\times\ 1000\ \Omega$
1 bobine d’inductance ≈ 20 à $50\ \mathrm{mH}$
1 bobine avec noyau réglable