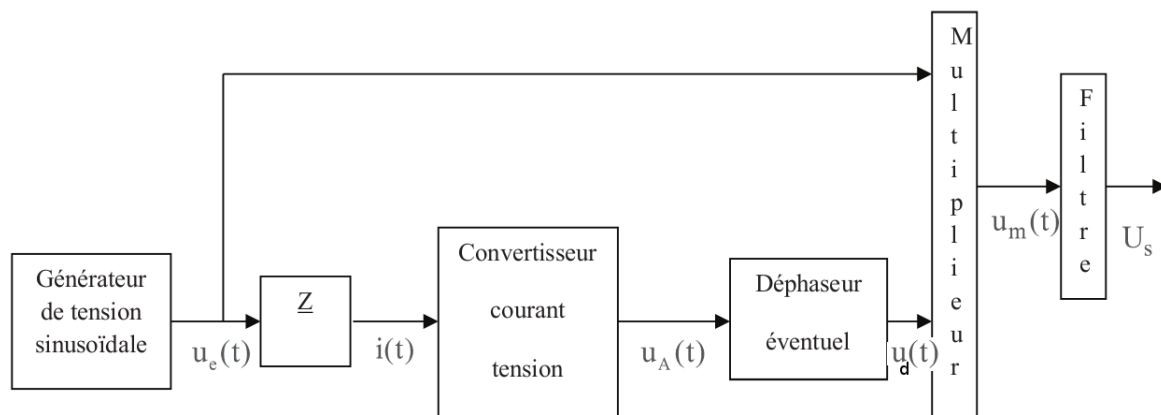


# ÉLECTROCINÉTIQUE (RSF et FILTRAGE)

## I. Mesure d'une impédance complexe par détection synchrone

Certaines méthodes de contrôle non destructif utilisent l'induction de courants induit dans les matériaux conducteurs, appelés *courants de Foucault*. Dans le cas de la sonde dite « à fonction double », une bobine génère un champ magnétique qui induit les courants de Foucault dans le matériau à contrôler. En retour, la proximité des courants de Foucault induit une modification de l'impédance de cette bobine. Alors, la mesure de son impédance permet d'analyser les courants de Foucault, et donc de détecter des défauts dans le matériau conducteur. Pour ce type de sonde, il est préférable d'analyser séparément la partie réelle et la partie imaginaire de cette impédance plutôt que de travailler sur son module. Ce traitement se fait généralement à l'aide d'une détection synchrone (cf figure ci-dessous).



### Principe de la mesure

La bobine d'impédance complexe  $\underline{Z}$  est alimentée par la tension sinusoïdale  $u_e(t) = U_e \cos(\omega t)$ . Elle est alors traversée par un courant sinusoïdal  $i(t)$ .

La détermination de la partie réelle de  $\underline{Z}$ , notée  $\text{Re}(\underline{Z}) = |\underline{Z}| \cos(\varphi)$  s'obtient en mesurant la valeur moyenne du signal résultant de la multiplication de la tension  $u_e(t)$  et d'une tension proportionnelle à  $i(t)$  obtenue à l'aide d'un convertisseur courant-tension.

La détermination de la partie imaginaire de  $\underline{Z}$ , notée  $\text{Im}(\underline{Z}) = |\underline{Z}| \sin(\varphi)$ , s'obtient de façon similaire, en déphasant au préalable la tension de sortie du convertisseur de  $\pm \frac{\pi}{2}$  à l'aide d'un circuit déphaseur.

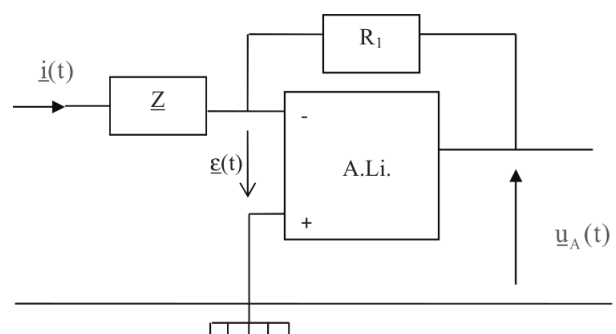
### I.1. Étude du convertisseur courant-tension

Le convertisseur courant-tension (cf figure ci-contre) se compose d'une résistance  $R_1$  et d'un amplificateur linéaire intégré (A.L.I.).

L'ALI est d'impédance d'entrée supposée infinie et modélisé par la fonction de transfert complexe

$$\underline{K}(j\omega) = \frac{u_A(t)}{\varepsilon(t)} = \frac{K_0}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}}, \quad \text{où } \varepsilon(t) = V_+(t) - V_-(t),$$

avec  $V_+$  le potentiel à l'entrée non inverseuse (+) de l'ALI et  $V_-$  le potentiel à l'entrée inverseuse (-). **On rappelle, ici et pour toute la suite, que les courants  $i_+$  et  $i_-$  entrant respectivement dans ces bornes peuvent être considérés nuls.**

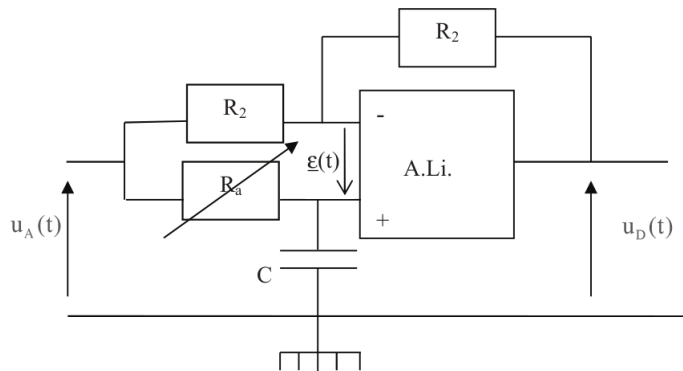


1. a) Exprimer une relation entre  $u_A$ ,  $i$ ,  $R_1$  et  $\varepsilon$ .  
 b) À l'aide de la fonction de transfert de l'ALI, en déduire que la transmittance complexe  $\underline{T} = \frac{u_A(t)}{i(t)}$  peut se mettre sous la forme  $\underline{T} = \frac{G_0}{1+j\frac{\omega}{\omega_c}}$ . On précisera les expressions de  $G_0$  et de  $\omega_c$  en fonction de  $R_1$ ,  $K_0$ , et  $\omega_0$ .  
 Comment se simplifie cette transmittance dans le cas où  $K_0 = 10^6$ ,  $\omega_0 = 200 \text{ rad.s}^{-1}$  et où la fréquence d'alimentation de la bobine n'excède pas 200 kHz?
2. a) Que deviendrait la transmittance complexe  $\underline{T}$  **non simplifiée**, si on inversait les entrées (+) et (-) de l'ALI?  
 b) En déduire l'équation différentielle liant les fonctions réelles  $u_A(t)$  et  $i(t)$  dans cette situation. Le système serait-il stable? Pourquoi?
3. On revient au montage de la figure ci-dessus. Le générateur fournit un signal de tension d'entrée  $u_e(t) = U_e \cos(\omega t)$ , et on note l'impédance à mesurer sous forme polaire  $\underline{Z} = |\underline{Z}| e^{j\varphi}$ . En considérant toujours que  $K_0 \gg 1$ , établir l'expression de la tension  $u_A(t)$  en fonction de  $\underline{Z}$  et des caractéristiques de la tension d'entrée.

## I.2. Etude du circuit déphaseur

Le circuit déphaseur (figure ci-contre) se compose de deux résistances  $R_2$ , d'une résistance variable  $R_a$ , d'un condensateur de capacité  $C$  et d'un ALI. supposé idéal qui **fonctionne en régime linéaire**, c'est-à-dire que l'on peut supposer que

$$\varepsilon = 0 \quad \Leftrightarrow \quad V_+ = V_- .$$



4. On se place en régime sinusoïdal forcé de pulsation  $\omega$ . En utilisant la loi des nœuds en termes de potentiel sur les deux entrées (+) et (-), montrer que ce filtre a pour fonction de transfert

$$\underline{H}_d = \frac{u_D(t)}{u_A(t)} = \frac{1 - jR_a C \omega}{1 + jR_a C \omega} .$$

5. a) Pourquoi parle-t-on ici de filtre déphaseur?  
 b) On donne  $f = 2 \text{ kHz}$ ,  $C = 2,2 \text{ nF}$ . À quelle valeur faut-il ajuster  $R_a$  pour que  $u_D$  et  $u_A$  soient en quadrature de phase?  
*On considérera que cette condition est respectée dans la suite de l'énoncé.*  
 c) Pour une entrée de la forme  $u_A(t) = -R_1 I_0 \cos(\omega t - \varphi)$ , comment s'exprime la tension de sortie  $u_D(t)$  en fonction du temps?

## I.3. Mesure de $\underline{Z}$ par détection synchrone

6. Le multiplieur produit un signal  $u_m(t) = K u_e(t) u_D(t)$  en présence du déphaseur, ou  $u_m(t) = K u_e(t) u_A(t)$  en l'absence du déphaseur, avec  $K = 0,10 \text{ V}^{-1}$ .  
 Décomposer ce signal en série de Fourier, dans le cas de l'absence du déphaseur, puis représenter son spectre en amplitude.
7. Pour mesurer  $\underline{Z} = X_r + jX_i$ , on cherche sa partie réelle  $X_r = |\underline{Z}| \cos \varphi$  et sa partie imaginaire  $X_i = |\underline{Z}| \sin \varphi$ . Pour cela on utilise un filtre passe-bas tel que la tension de sortie  $U_s$  est constante.
  - a) Proposer un montage simple à l'aide des composants  $R$ ,  $L$  et/ou  $C$  qui réalise cette fonction. On justifiera sa nature par l'analyse des comportements asymptotiques. Proposer des valeurs numériques argumentées pour les composants choisis.
  - b) Donner l'expression de  $U_s$  en fonction des données du problème. Expliquer de façon précise comment on peut en déduire  $X_r$  et  $X_i$ .