Induction

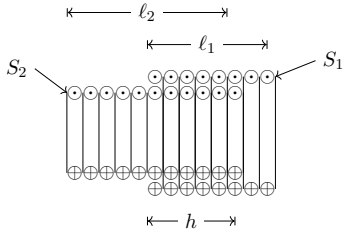
(Inductance propre - Inductance mutuelle)

Pour réviser le cours

EXERCICE 1 Flux croisés de deux solénoïdes (⋆)

On considère deux solénoïdes infinis S_1 et S_2, de même axe (Oz) , de longueurs respectives ℓ_1 et $\ell_2 \geq \ell_1$, possédant respectivement N_1 et N_2 spires, de surfaces respectives S_1 et $S_2 \leq S_1$, parcourues par des courants respectifs i_1 et i_2 orientés dans le sens direct par rapport à l'axe Oz.

Le solénoïde $\mathcal{S}_2$ pénètre à l'intérieur du solénoïde $\mathcal{S}_1$ sur une longueur h. On note L_1 et L_2 les inductances propres respectives des deux solénoïdes.



1. Calculer les flux croisés $\phi_{1\to2}$ et $\phi_{2\to1}$ du champ créé par un solénoïde à travers l'autre.
2. En déduire le coefficient d'inductance mutuelle M entre les deux solénoïdes. Discuter de l'influence de la longueur h sur la valeur de M et interpréter ce résultat.
3. Montrer que l'on a nécessairement :

$$|M| \leq \sqrt{L_1 L_2}$$

Existe-il une configuration pour laquelle $|M| = \sqrt{L_1 L_2}$?

EXERCICE 2 Auto-inductance négligeable ? (⋆)

On fait très souvent l'approximation de négliger l'auto-induction dans les circuits ne comportant aucun bobinage. On s'intéresse dans cet exercice à la validité de cette approximation pour un circuit a priori quelconque, d'auto-inductance L. Le schéma ne préjuge pas de la présence ou non de bobinage. Le circuit, de surface totale S et de résistance R, est plongé dans un champ magnétique extérieur $\overrightarrow{B}_{ext} = B_0 \cos(\omega t)\overrightarrow{n}$.

1. Commençons par ne prendre en compte que la f.é.m. induite par le champ $\overrightarrow{B}_{ext}$. Calculer son flux au travers du circuit, et en déduire le schéma électrique équivalent. Que vaut l'intensité i ?
2. Considérons en plus le phénomène d'autoinduction. Exprimer le flux magnétique au travers du circuit et représenter le schéma électrique équivalent. Établir l'équation différentielle vérifiée par l'intensité i.
3. Passons maintenant en notation complexe. Exprimer le rapport $|\underline{H}| = \frac{\underline{E}_L}{\underline{E}_{ext}}$ des amplitudes de la f.é.m. auto-induite et de la f.é.m. induite par le champ extérieur. En déduire à quelle condition sur la pulsation la f.é.m. auto-induite est négligeable.
4. Pour fixer les idées, calculer numériquement la pulsation et la fréquence caractéristiques avec des valeurs de R et L utilisées habituellement en TP d'électronique. Quel résultat connu retrouve-t-on ?
5. En proposant des ordres de grandeur raisonnables, refaire le même calcul pour un circuit de même résistance mais à une seule « spire » composée d'un fil de cuivre de TP. L'inductance d'un circuit circulaire de diamètre D est donnée par $L = \mu_0 \frac{D}{2} \ln\left(\frac{8D}{d} - 2\right)$ où d est le diamètre du fil de cuivre. Est-il légitime de négliger l'inductance du circuit ?

L'essentiel

EXERCICE 3 Pince ampèremétrique (⋆)

On considère une bobine torique à section carrée dont les rayons intérieur et extérieur sont notés respectivement R et $R + a$ et dont la hauteur est a.

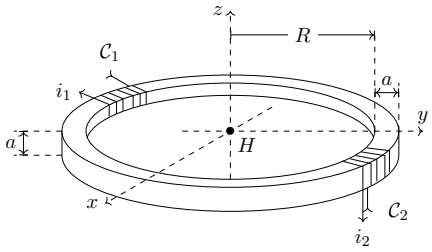


Fig 1. Pince ampèremétrique

Deux circuits notés C_1 et C_2 sont enroulés tout autour du tore avec respectivement N_1 et N_2 tours et sont parcourus respectivement par des intensités I_1 et I_2. Les deux circuits sont donc entrelacés autour du tore, comme représenté en *Figure 1*.

1. Établir la direction du champ magnétique. Sa norme est :

$$B(r) = \frac{\mu_0}{2\pi r}(N_1 i_1 + N_2 i_2)$$

2. Calculer le flux magnétique Φ lié au circuit C_1 et produit par une spire de C_1 dans le tore.
3. En déduire le flux $\Phi_{1\to1}$ produit par les N_1 spires du circuit C_1.
4. Déterminer le coefficient d'auto-induction L_1.
5. Déterminer le flux magnétique lié au circuit C_1 reçu par une spire du circuit C_2, puis par l'ensemble du circuit C_2 (noté $\Phi_{1\to2}$).
6. En déduire le coefficient d'inductance mutuelle M_{12} entre les deux circuits.

On rajoute désormais un fil (supposé infini) sur l'axe du tore, parcouru d'une intensité i_3 et issu d'un circuit C_3 d'inductance propre négligeable.

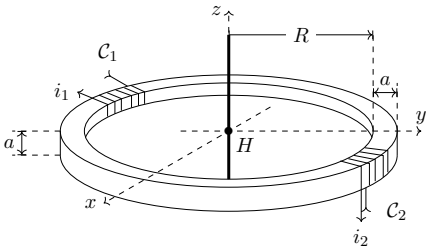


Fig 2. Pince et fil électrique

7. Calculer les inductances mutuelles M_{13} et M_{23}.
8. En déduire une matrice d'induction du circuit :

$$[M] = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix}$$

EXERCICE 4 Filtrage (⋆)

On considère le montage de la *Figure 3* alimenté en régime alternatif à la pulsation ω.

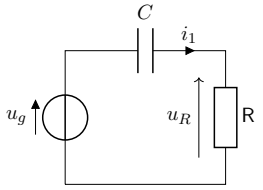


Fig 3. Montage 1.

La tension délivrée par le générateur est $u_g(t) = U_g \cos(\omega t)$.

On définit la fonction de transfert

$$\underline{H_1} = \frac{\underline{u_R}}{\underline{u_g}}.$$

1. Montrer que la fonction de transfert du filtre précédent s'écrit :

$$\underline{H_1} = \frac{jx}{1 + jx}$$

où l'on a défini $x = RC\omega$. Quelle est la dimension de x ?

2. Déterminer le comportement asymptotique du gain en décibel $G_{dB,1}$ du filtre à basse et haute fréquence et représenter l'allure du diagramme de Bode en gain asymptotique, en précisant la pente des droites obliques Quelle est la nature du filtre ?

On modifie le montage en y insérant un transformateur constitué de deux bobines idéales (résistances nulles), d'impédances propres L_1 et L_2 et couplées par l'inductance mutuelle M, de sorte à obtenir le montage de la *Figure 4*.

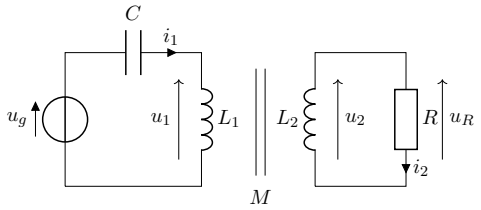


Fig 4. Montage 2.

3. Exprimer les tensions u_1 et u_2 en fonction de L_1, L_2, M, $\frac{di_1}{dt}$ et $\frac{di_2}{dt}$.
4. En déduire les expressions des grandeurs complexes $\underline{u_1}$ et $\underline{u_2}$ en fonction de L_1, L_2, M, ω, $\underline{i_1}$ et $\underline{i_2}$. Déterminer deux équations liant $\underline{u_g}$, $\underline{i_1}$, $\underline{i_2}$, L_1, L_2, M, ω, R et C.
5. Mettre $\underline{u_g}$ sous la forme $\underline{u_g} = \underline{Z_2}\,\underline{i_2}$ et montrer en particulier que $\underline{Z_2} = Mj\omega - \left(\frac{1}{jC\omega} + j\omega L_1\right) \times \frac{R + L_2 j\omega}{Mj\omega}$.

Dans toute la suite, on suppose l'inductance propre des bobines identiques, on la note $L = L_1 = L_2$, et on suppose que l'on a

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

6. Déterminer l'expression de $\frac{R}{L}$ en fonction de ω_0.

Document sous licence Creative Commons « Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 3.0 non transposé (CC BY-NC 3.0) ».
Pour plus d'informations : creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/

7. Exprimer le rapport $\frac{\underline{Z_2}}{R}$ en fonction de la pulsation réduite $x = \frac{\omega}{\omega_0}$ et du coefficient de couplage des bobines $k = \frac{M}{L}$. Montrer en particulier que l'on obtient : $\frac{\underline{Z_2}}{R} = \frac{\alpha x^3 + \beta x^2 + \gamma x + \delta}{k x^2}$, où α, β, γ et δ sont des paramètres réels ou complexes que l'on exprimera en fonction de k.

On se place désormais dans le cas idéal de bobines en interaction totale ($|M| = \sqrt{L_1 L_2}$) et on prend $k = -1$.

8. Montrer que le rapport calculé précédemment se simplifie en $\frac{\underline{Z_2}}{R} = \frac{x^2 - jx - 1}{x^2}$.

9. En déduire l'expression de la fonction de transfert du filtre $\underline{H_2} = \frac{\underline{u_R}}{\underline{u_g}}$ en fonction de x. Quelle est la nature du filtre ?

10. Déterminer le comportement asymptotique du gain en décibel $G_{\text{dB},2}$ du filtre à basse et haute fréquence et représenter l'allure du diagramme de Bode en gain asymptotique, en précisant la pente des droites obliques. Déterminer le comportement asymptotique du déphasage φ_2 du filtre à basse et haute fréquence et représenter l'allure du diagramme de Bode en phase asymptotique.

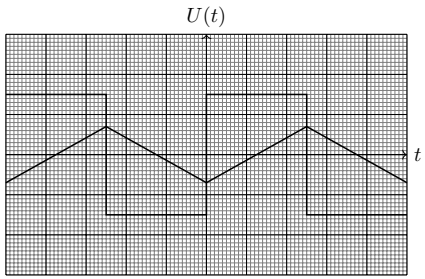
11. Le filtrage est-il plus important ou moins important que dans le premier montage (*Figure 3*) ?

EXERCICE 5 Mesure d'inductance mutuelle (⋆⋆)

On considère deux bobines identiques, formées de N spires circulaires de rayon a, d'inductance L, que l'on place de façon que les deux bobinages soient coaxiaux, avec le même sens d'enroulement, la distance entre leurs centres étant repérée le long de l'axe commun Oz par la longueur d. On se propose de mesurer le couplage entre les deux bobines en envoyant dans l'une d'elles, dite la première, une tension triangulaire et en comparant à l'oscilloscope cette tension avec la tension induite dans l'autre, celle-ci étant en circuit ouvert. On a branché en série entre le générateur de fonction et la première bobine une résistance $R' \simeq 100\ \Omega$. On néglige la résistance R des bobines.

1. Faire le schéma du montage.

Les tracés observées à l'oscilloscope ont l'allure suivante :



Balayage $0,2$ ms/div, calibre : 1 V/div.

En faisant varier la distance d entre les bobines, on observe pour l'amplitude crête-à-crête A du signal induit, mesurée en divisions de l'écran, les valeurs suivantes :

d (en cm)	4	6	8	10	12	16	20
A (en mV)	43	26	17,0	10,6	8,0	4,2	2,4

2. **a.** Écrire les équations électriques du circuit.
   b. Établir l'expression de l'inductance mutuelle M entre les deux bobines en fonction de la période T du signal d'entrée, de son amplitude crête à crête Δe, de l'amplitude crête à crête A du signal induit et de la résistance R'.
   c. Calculer alors (en mH) l'inductance mutuelle M entre les deux bobines pour chaque valeur de d.

3. Le champ magnétique créé par la première bobine, parcourue par un courant i_1, en un point de son axe situé à la distance z de son centre, est de la forme :

$$\overrightarrow{B} = B_0(z)\,\overrightarrow{u_z} = \varphi(z) i_1\,\overrightarrow{u_z} = \frac{\mu_0 N}{2a}\sin^3(\alpha) i_1\,\overrightarrow{u_z}$$

avec α l'angle sous lequel est vu la spire depuis le point d'abscisse z sur l'axe.

a. Déterminer $\varphi(z)$ en fonction de z, a et μ_0.
On montre que, en un point proche de l'axe, le champ magnétique est, à l'ordre 2 en r :

$$\overrightarrow{B}(r,z) = -\frac{r}{2}\frac{\partial B_0}{\partial z}(z,r)\,\overrightarrow{u_r} + \left(B_0(z) - \frac{r^2}{4}\frac{\partial^2 B_0}{\partial z^2}(r,z)\right)\overrightarrow{u_z}$$

b. Exprimer le flux du champ magnétique créé par la première bobine à travers la deuxième. En déduire l'expression du cœfficient d'inductance mutuelle entre les deux bobines, en fonction de R, N, $\varphi(d)$ et $\varphi''(d)$.
c. On prend des bobines de 7 cm de rayon, comportant 100 spires. Le modèle théorique ci-dessus donne $M \simeq 43\ \mu$H pour $d \simeq 20$ cm et $M \simeq 0,16$ mH pour $d \simeq 5$ cm. Ces résultats sont-ils en accord avec les résultats expérimentaux ? Pourquoi ?

Document sous licence Creative Commons « Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 3.0 non transposé (CC BY-NC 3.0) ».
Pour plus d'informations : creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/

Pour aller plus loin

EXERCICE 6 Circuits RL couplés (⋆⋆)

On considère le montage de la *Figure 5*.

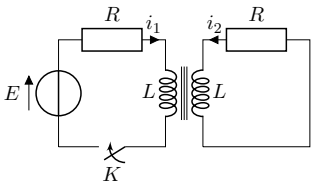


Fig 5. Circuits RL couplés

On pose $M = kL$ avec $0 \leq k \leq 1$. Pour $t < 0$ on a $i_1 = i_2 = 0$. À $t = 0$, on ferme l'interrupteur K. Déterminer et tracer $i_1(t)$ et $i_2(t)$ dans les cas :

1. $0 \leq k < 1$
2. $k = 1$

EXERCICE 7 Couplage fort/faible (⋆⋆⋆)

On considère les circuits RLC couplés représentés en *Figure 6*. Les inductances L et capacités C sont égales mais les résistances R_1 et R_2 sont a priori différentes. On suppose $M \geq 0$.

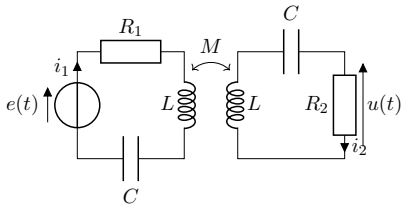


Fig 6. Circuit RLC couplés

PARTIE A : Équations couplées :

1. Montrer que $i_1(t)$, $i_2(t)$ et $e(t)$ vérifient le système suivant :

$$\begin{pmatrix} L & M \\ M & L \end{pmatrix}\ddot{I} + \begin{pmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{pmatrix}\dot{I} + \frac{1}{C}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} I = \dot{E}$$

où $I = \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \end{pmatrix}$ et $E = \begin{pmatrix} e \\ 0 \end{pmatrix}$.

2. Les trois matrices représentent respectivement le terme inductif, résistif et capacitif : à quelle condition sur ces matrices est-il possible de découpler l'équation ? Est-ce toujours possible ?

PARTIE B : Analyse fréquencielle :

On travaille désormais avec des signaux harmoniques dont les transformées de Fourier sont notées $\underline{e}(j\omega)$, $\underline{i_1}(j\omega)$ et $\underline{i_2}(j\omega)$ avec $j^2 = -1$.

3. Montrer que les amplitudes complexes des courants vérifient la relation suivante :

$$\begin{pmatrix} x^2 - jx\gamma_1 - 1 & kx^2 \\ kx^2 & x^2 - jx\gamma_2 - 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \underline{i_1} \\ \underline{i_2} \end{pmatrix} = -\frac{jx}{L}\begin{pmatrix} \underline{e} \\ 0 \end{pmatrix}$$

où γ_1, γ_2 et k sont trois coefficients que l'on exprimera en fonction de R_1, R_2, L et M. On note $x = \frac{\omega}{\omega_0}$ la pulsation réduite du signal, avec $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

4. On considère un signal de pulsation réduite $x \simeq 1$, soit $x = 1 + \epsilon$ avec $\frac{|\epsilon|}{x} \ll 1$. Simplifier le système précédent et l'exprimer uniquement en fonction de L, ϵ, k, γ_1 et γ_2.

PARTIE C : Fonction de transfert :

5. Montrer que l'on peut écrire la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{u}(j\omega)}{\underline{e}(j\omega)}$ de manière à ce que le gain de la fonction de transfert puisse s'écrire sous la forme suivante :

6. $$G(\epsilon, k) = |\underline{H}(\epsilon, k)| = \frac{k\gamma_2}{\sqrt{f(\epsilon, k)}}$$

où l'expression de la fonction f est à expliciter.

7. Étudier le gain $G(\epsilon, k) = |\underline{H}(\epsilon, k)|$ et montrer qu'il existe un coefficient de couplage k_1 pour lequel le gain $G(0, k_1)$ est maximal.
   a. Montrer que pour $k \leq k_2$ une seule résonance est possible en $\epsilon = 0$. Exprimer k_2 en fonction de γ_1 et γ_2.
   b. Montrer que pour $k \geq k_2$ deux pics de résonance sont observables. Préciser les pulsations réduites $\pm\varepsilon$ de ces deux résonances.

PARTIE D : Analyse et tracé de graphes :

8. Le diagramme de Bode en gain est tracé en *Figure 7* pour trois valeurs de k : $k \leq k_2$, $k = k_2$ et $k > k_2$. Attribuer chacune de ces trois courbes à une valeur du coefficient de couplage k. Préciser la différence de comportent du circuit pour un couplage faible et un couplage fort.

Document sous licence Creative Commons « Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 3.0 non transposé (CC BY-NC 3.0) ».
Pour plus d'informations : creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/

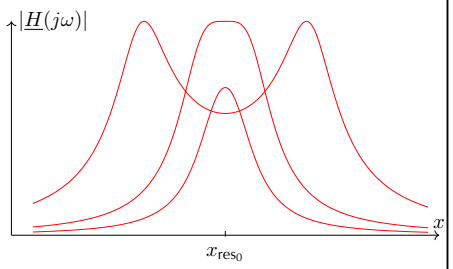


Fig 7. Diagramme de Bode pour différentes valeurs de k

9. Tracer le graphe des pulsations réduites de résonance x_{res} en fonction de la valeur de k. Préciser pourquoi ce système est un bifurcateur.

EXERCICE 8 Conducteur cylindrique (⋆⋆⋆)

On considère un barreau conducteur cylindrique d'axe Oz, de rayon a, de longueur $h \gg a$, de conductivité γ, placé dans un champ magnétique $\overrightarrow{B_0} = B_0 \cos(\omega t)\ \overrightarrow{u_z}$.

1. Calculer le champ électrique induit $\overrightarrow{E_0}$.
2. Calculer la densité volumique de courants $\overrightarrow{J_0}$ qui apparaît dans le conducteur (courants de Foucault). Quelle est la puissance moyenne dissipée par effet Joule par ces courants dans le conducteur ?
3. Les courants volumiques $\overrightarrow{J_0}$ créent un champ magnétique $\overrightarrow{B_1}$ variable, et donc source d'un champ électrique induit $\overrightarrow{E_1}$. Calculer $\overrightarrow{B_1}$ et $\overrightarrow{E_1}$ à l'intérieur du conducteur. À quelle condition a-t-on $\left\|\overrightarrow{B_1}\right\| \ll \left\|\overrightarrow{B_0}\right\|$ et $\left\|\overrightarrow{E_1}\right\| \ll \left\|\overrightarrow{E_0}\right\|$? Commenter.
4. On remplace le barreau par de nombreux barreaux de rayons $a' \ll a$ d'axes parallèles à Oz, isolés électriquement, et disposés de façon à couvrir la surface maximale à l'intérieur d'une section droite d'aire πa^2 du barreau précédent. Quelle est la puissance moyenne dissipée par effet Joule dans une portion de ce système de longueur h ? La comparer à celle dissipée dans le barreau de rayon a. Commenter.

EXERCICE 1 Flux croisés de deux solénoïdes (⋆)

1. Le champ magnétique $\overrightarrow{B_1}$ créé par le solénoïde $\mathcal{S}_1$ a pour expression $\overrightarrow{B_1} = \mu_0 \frac{N_1}{\ell_1} i_1\ \overrightarrow{u_z}$ dans le solénoïde $\mathcal{S}_1$.

   De même, le champ magnétique $\overrightarrow{B_2}$ créé par le solénoïde $\mathcal{S}_2$ a pour expression $\overrightarrow{B_2} = \mu_0 \frac{N_2}{\ell_2} i_2\ \overrightarrow{u_z}$ dans le solénoïde $\mathcal{S}_2$.

   Le flux $\phi_{1\to 2}$ du champ magnétique $\overrightarrow{B_1}$ intercepté par une partie du solénoïde $\mathcal{S}_2$ (sur une longueur h) est :

$$\boxed{\phi_{1\to 2} = \mu_0 \frac{N_1}{\ell_1} i_1 \times N_2 \times \frac{h}{\ell_2} \times S_2}$$

   De même, le flux $\phi_{2\to 1}$ du champ magnétique $\overrightarrow{B_2}$ intercepté par une partie du solénoïde $\mathcal{S}_1$ (sur une longueur h) est :

$$\boxed{\phi_{2\to 1} = \mu_0 \frac{N_2}{\ell_2} i_2 \times N_1 \times \frac{h}{\ell_1} \times S_2}$$

2. On peut écrire que $\phi_{1\to 2} = M i_1$ et $\phi_{2\to 1} = M i_2$, on identifie donc :

$$\boxed{M = \mu_0 h \frac{N_1 N_2}{\ell_1 \ell_2} \times S_2}$$

   Plus h augmente, plus le coefficient d'inductance mutuelle est élevé, le couplage entre les deux solénoïdes augmente.
3. Géométriquement $h \leq \ell_1$. De plus, les coefficients d'autoinduction L_1 et L_2 sont définis par :

$$\boxed{L_1 = \frac{\phi_{1\to 1}}{i_1} = \mu_0 \frac{N_1^2}{\ell_1} S_1} \quad \text{et} \quad \boxed{L_2 = \frac{\phi_{2\to 2}}{i_2} = \mu_0 \frac{N_2^2}{\ell_2} S_2}$$

Document sous licence Creative Commons « Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 3.0 non transposé (CC BY-NC 3.0) ».
Pour plus d'informations : creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/

On a ainsi :

$$\frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} = \frac{h}{\sqrt{\ell_1 \ell_2}} \sqrt{\frac{S_2}{S_1}}$$

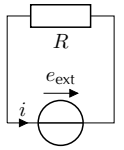
Comme $h \leq \ell_1 \leq \ell_2$ et $S_2 \leq S_1$, on a :

$$\boxed{\frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \leq 1}$$

La configuration pour laquelle $M = \sqrt{L_1 L_2}$ correspond aux deux solénoïdes de même taille parfaitement emboités : $\ell_1 = \ell_2 = h$ et $S_1 = S_2$.

EXERCICE 2 Auto-inductance négligeable ? (⋆)

1. Le circuit électrique équivalent est le suivant :



   La loi de Faraday précise que $e_{\text{ext}} = -\frac{\mathrm{d}\Phi_B}{\mathrm{d}t} = B_0 S \omega \sin(\omega t)$ et la loi d'Ohm permet d'exprimer i :

$$\boxed{i = \frac{e_{\text{ext}}}{R} = \frac{B_0 S \omega}{R} \sin(\omega t)}$$

2. Le circuit avec auto-induction est représenté en *Figure 8* :

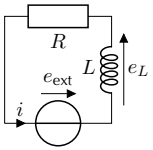


Fig 8. Circuit équivalent

   La loi d'Ohm et la loi de comportement (auto-induction) de la bobine permettent d'écrire :

$$\boxed{e = e_{\text{ext}} + e_{\text{L}} = Ri + L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = B_0 S \omega \sin(\omega t)}$$

3. Les rapports d'amplitude des fem est :

$$\boxed{|\underline{H}| = \frac{\underline{E}_L}{\underline{E}_{\text{ext}}} = \frac{jL\omega \underline{i}}{R\underline{i}} = \frac{L\omega}{R}}$$

   Le fem d'autoinduction est donc négligeable si $\boxed{\omega \ll \frac{R}{L}}$.

Document sous licence Creative Commons « Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 3.0 non transposé (CC BY-NC 3.0) ».
Pour plus d'informations : creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/

4. Les valeurs de résistances utilisées en TP sont de l'ordre de $R \sim 10^2\ \Omega$ à $10^3\ \Omega$ et $L \sim 10$ mH à 100 mH, soit $\frac{R}{L} \sim 10^3$ rad $\cdot$ s^{-1} à 10^5 rad $\cdot$ s^{-1}.

   Pour les fréquences de l'ordre de 100 à 1000 Hz, il n'y a généralement pas lieu de tenir compte de l'auto-induction d'un circuit. Dès que le circuit a une inductance élevée (circuit RL) où que les signaux utilisés sont à haute fréquence (10^5 Hz), il faut tenir compte de l'autoinductance.

5. Pour une spire de diamètre $D \simeq 10$ cm d'un fil de cuivre de diamètre $d \simeq 1$ cm, on a :

$$L \ = \ \mu_0 \frac{D}{2} \ln\left(\frac{8D}{d} - 2\right) \simeq 0,14\ \mu\text{H}$$

   - La résistance électrique du circuit sera :

$$R = \frac{1}{\sigma}\frac{4D}{d^2} \simeq 0,67\ \mu\Omega \quad \text{avec} \quad \sigma \sim 60 \times 10^6\ \text{S} \cdot \text{m}^{-1}$$

     soit :

$$\omega \ll \frac{R}{L} \simeq 4,87\ \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

     Il faut tenir compte de l'autoinductance du circuit dans ce cas.
   - Si on impose une résistance habituelle de $R \sim 10^2$ à $10^3\ \Omega$, on a :

$$\omega \ll \frac{R}{L} \simeq 10^9\ \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

     Il n'y a **pas lieu de tenir compte de l'autoinductance du circuit dans ces conditions**.

Document sous licence Creative Commons « Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 3.0 non transposé (CC BY-NC 3.0) ».
Pour plus d'informations : creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/