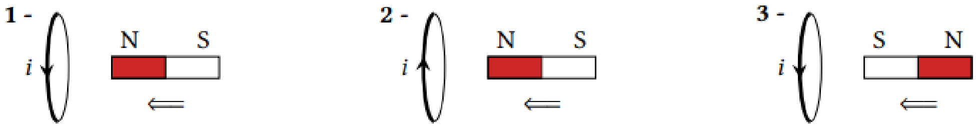
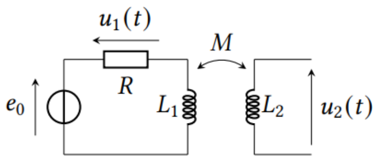
☐ Exercice 29.1. Signe du courant induit ★ (loi de Lenz)

Dans chacun des circuits ci-dessous, la spire circulaire et/ou l'aimant droit sont déplacés dans le sens indiqué par la double flèche. Indiquer le signe du courant i apparaissant dans la spire pendant le déplacement.



☐ Exercice 29.2. Mesure d'une inductance mutuelle ★★ (couplage inductif, RSF)



Le montage ci-contre permet de mesurer le coefficient d'inductance mutuelle entre deux bobines. Les deux bobines se font face comme sur la figure. La première bobine est montée en série avec une résistance $R = 100\ \Omega$ et un générateur de tension e_0 harmonique de fréquence $f = 2{,}0$ kHz. Les tensions u_1 et u_2 sont mesurées grâce à un oscilloscope supposé idéal, c'est-à-dire de résistance d'entrée infinie.

1 - Exprimer la tension u_2 en fonction de M et u_1.

2 - Calculer M sachant que les tensions lues à l'oscilloscope ont des amplitudes $U_1 = 3{,}00$ V et $U_2 = 0{,}50$ V.

3 - On fait tourner la bobine sur elle-même dans le plan de la paillasse. Indiquer sans calcul comment est modifiée la valeur de M lorsque l'angle de rotation vaut 180° ? 90° ? Même question si l'on aligne les axes des deux bobines.

☐ Exercice 29.3. Réponse à un échelon de circuits couplés ★★ (couplage inductif, transitoire)

Considérons le montage de la figure 2 dans lequel les deux bobines L_1 et L_2 sont couplées par induction mutuelle. Les deux bobines ont même résistance interne $r_1 = r_2 = 15\ \Omega$.

1 - Donner les relations entre les tensions u_1 et u_2 et les courants i_1 et i_2.

Le circuit secondaire est en circuit ouvert. On ajoute en série au circuit primaire un générateur de tension de résistance interne $r_g = 50\ \Omega$, qui impose une tension créneau de valeur minimale nulle, et une résistance additionnelle $R_0 = 100\ \Omega$. La figure 3 représente la tension u aux bornes de R_0 mesurée à l'oscilloscope.

2 - Interpréter le terme « en circuit ouvert » et en déduire l'équation différentielle sur i_1.

3 - En expliquant la méthode, déterminer L_1.

4 - On donne $M = 0{,}1$ H. Représenter $u_2(t)$.

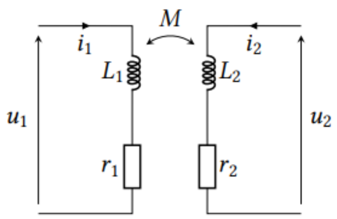


Figure 2 – Bobines couplées.

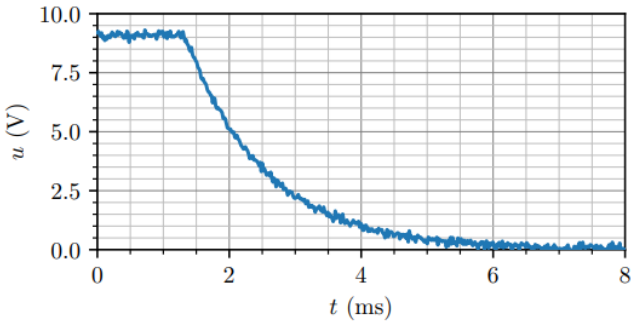
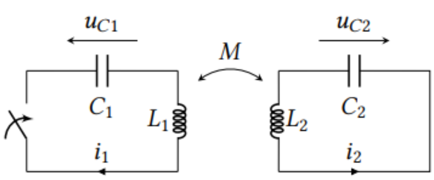


Figure 3 – Tensions aux bornes de la résistance R_0.

☐ Exercice 29.4. Circuits LC couplés par mutuelle ★★ (couplage inductif, oscillateur)



Dans le circuit ci-contre, seul le condensateur C_1 est chargé sous la tension U_0 à la date $t = 0$ où l'on ferme l'interrupteur. On suppose $C_1 = C_2 = C$ et $L_1 = L_2 = L$, et on pose

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{(L+M)C}} \qquad \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{(L-M)C}}$$

1 - Établir deux équations différentielles couplées sur les tensions u_{C1} et u_{C2} aux bornes des condensateurs.

2 - En déduire deux équations sur les fonctions somme $\Sigma(t) = u_{C1} + u_{C2}$ et différence $\Delta(t) = u_{C1} - u_{C2}$.

3 - Exprimer la tension u_{C1} sous forme d'un produit de cosinus.

4 - On suppose le couplage inductif faible ($M \ll L$). Déterminer le coefficient $\beta \ll 1$ tel que $\omega_{1,2} \simeq \omega_0(1 \pm \beta)$.

5 - Réécrire l'expression de u_{C1} en fonction de β et ω_0, et tracer son allure.

□ Exercice 29.5. Plaque de cuisson à induction ★★★ (couplage inductif, RSF, puissance)

Le chauffage du fond métallique des récipients de cuisson peut être réalisé directement au moyen de courants de Foucault induits par un champ magnétique variable. Logé dans une table en céramique, un bobinage, nommé inducteur, alimenté en courant sinusoïdal génère ce champ. Le transfert d'énergie électrique s'effectue par induction mutuelle entre ce bobinage et la plaque circulaire assimilable à une spire unique fermée sur elle même, située au fond de la casserole.
L'inducteur, de rayon 5 cm , possède 20 spires de cuivre de résistance $R_1 = 1,8 \times 10^{-2}\Omega$ et d'auto-inductance L_1. L'inducteur est alimenté par une tension $v_1(t)$. La plaque de résistance $R_2 = 8,3$ mΩ et d'auto-inductance $L_2 = 0,24\mu$H, nommée induit, est assimilable à une spire refermée sur elle même.
Le coefficient de mutuelle inductance est estimé à $M = 2,0\mu$H.

1 L'inducteur, alimenté en l'absence d'induit, sous une tension efficace de $V_{1\text{eff}} = 24$ V, à la fréquence de $f = 25$kHz, est traversé par un courant de valeur efficace égale à $I_{1\text{eff}} = 5,1$ A.
Faire le circuit électrique de l'inducteur. Établir la relation, en complexe entre $\underline{v_1}, \underline{i_1}, R_1, L_1$ et ω.
En passant astucieusement au module, exprimer littéralement son auto-inductance L_1 en fonction de $V_{1,\text{ eff}}$, $I_{1,\text{ eff}}$ et f. Puis en donner la valeur numérique.

2 Vérifier numériquement (en faisant les applications numériques) que $L_1\omega \gg R_1$ et $L_2\omega \gg R_2$. On se placera dans ce cas dans la suite.

3 Faire un schéma électrique qui retranscrit la situation, sur lequel apparait le circuit de l'inducteur (générateur, résistance, inductance L_1) et le circuit de l'induit (résistance R_2, inductance L_2), les deux circuits étant couplés par la mutuelle M.
Faire ensuite un schéma électrique équivalent.

4 Établir les équations (différentielles) électriques relatives aux deux circuits.

5 En déduire l'expression de $\frac{\underline{i_2}}{\underline{i_1}}$, puis celle du rapport des amplitudes $\left|\frac{I_{2m}}{I_{1m}}\right|$, que l'on simplifiera compte tenu de l'approximation $R_2 \ll L_2\omega$.
Faire l'application numérique.

6 Pour des raisons de sécurité, on se fixe comme objectif de limiter les pertes par effet Joule dans l'inducteur à 50 W (en moyenne). Quelle est alors la valeur efficace du courant maximal admissible dans l'inducteur ? En déduire la valeur efficace maximale de la tension d'alimentation, l'intensité efficace du courant dans la plaque et la puissance (moyenne) de chauffe développée dans celle-ci.