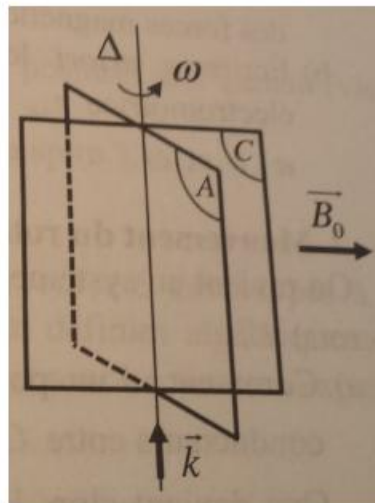


Devoir maison

CADRES TOURNANTS

Deux cadres tournants A et C liés rigidement entre eux isolés électriquement, verticaux et orthogonaux chacun de résistance R , de surface S et de moment d'inertie J par rapport à l'axe Δ porté par le vecteur unitaire \vec{k} .



A l'instant initial $t = 0$, où ils ont une vitesse angulaire ω_0 , ils sont plongés dans un champ magnétique constant, uniforme et horizontal de norme B_0 . On appelle θ l'angle orienté entre \vec{B}_0 et la normale au cadre orienté A, à l'instant t et ω la vitesse de rotation de l'ensemble.

1. Calculer à l'instant t l'intensité du courant induit i circulant dans le cadre A en fonction de θ , ω , S , B_0 et R .
2. Calculer le moment $\vec{\Gamma}_A$ des actions de Laplace s'exerçant sur A. Retrouver cette expression à l'aide d'une relation énergétique. Le signe de ce couple était-il prévisible ? Déterminer ensuite le moment $\vec{\Gamma}_{AC}$ exercé sur l'ensemble A et C.
3. En déduire l'équation du mouvement en introduisant un temps caractéristique τ et exprimer $\omega(t)$. Commenter.
4. Faire un bilan de puissance en distinguant les intensités i_A et i_C dans les deux cadres.

Ce problème traite de systèmes d'identification par radio fréquence (RFID). Il est constitué de deux parties totalement indépendantes : **l'étude d'un système de type navigo** pour la 1^{ère} partie. Aucune connaissance particulière sur les antennes n'est demandée.

En 1948, Harry Stockman décrit dans un article un moyen de communiquer grâce à la réflexion des ondes, annonçant ainsi les futurs systèmes autonomes communiquant par ondes électromagnétiques. Leur but est, par exemple, d'identifier des objets à distance, d'où le nom d'identification radio-fréquence (RFID : Radio Frequency Identification). Quelques années plus tard, les premiers systèmes d'identification utilisant les ondes réfléchies étaient développés. Les progrès réalisés dans le domaine de l'électronique ont permis son développement et son intégration dans de nombreux domaines. Aujourd'hui, la RFID (du fait de son prix et de la taille des étiquettes) prend une place de plus en plus importante dans la vie courante, et d'un simple fonctionnement en mode tout-ou-rien, au stockage et au traitement d'informations, les applications couvrent des domaines allant de la télédétection (identification d'animaux, antivol, localisation...) aux transactions de la vie courante: par exemple dans les systèmes de contrôle d'accès aux transports en commun, type passe Navigo de la RATP pour le métro parisien. Les puces RFID tentent aujourd'hui de supplanter les codes à barres en jouant de leurs avantages, à savoir qu'il est possible d'écrire, d'effacer et de réécrire les données stockées dans une puce un grand nombre de fois, que leur portée peut être supérieure aux lecteurs optiques utilisés pour les codes à barres, et que la communication peut se faire à travers certains obstacles contrairement aux systèmes à lecture optique.

Un système RFID passif est composé de deux entités qui communiquent entre elles (Fig.1) :

- Un TAG passif (dénommé TAG par la suite) ou étiquette intelligente (aussi appelé transpondeur), associé à l'élément à identifier. Il est capable de répondre à une demande venant d'un lecteur. Le TAG n'a pas d'alimentation de type batterie ou pile mais est autoalimenté par l'onde électromagnétique reçue.
- Une station de base ou lecteur RFID qui a pour mission d'identifier le TAG. Le lecteur envoie une onde électromagnétique en direction de l'élément à identifier, cette onde alimente le TAG qui peut alors communiquer avec le lecteur grâce à sa puce électronique interne. En retour, le lecteur reçoit l'information renvoyée par le TAG.

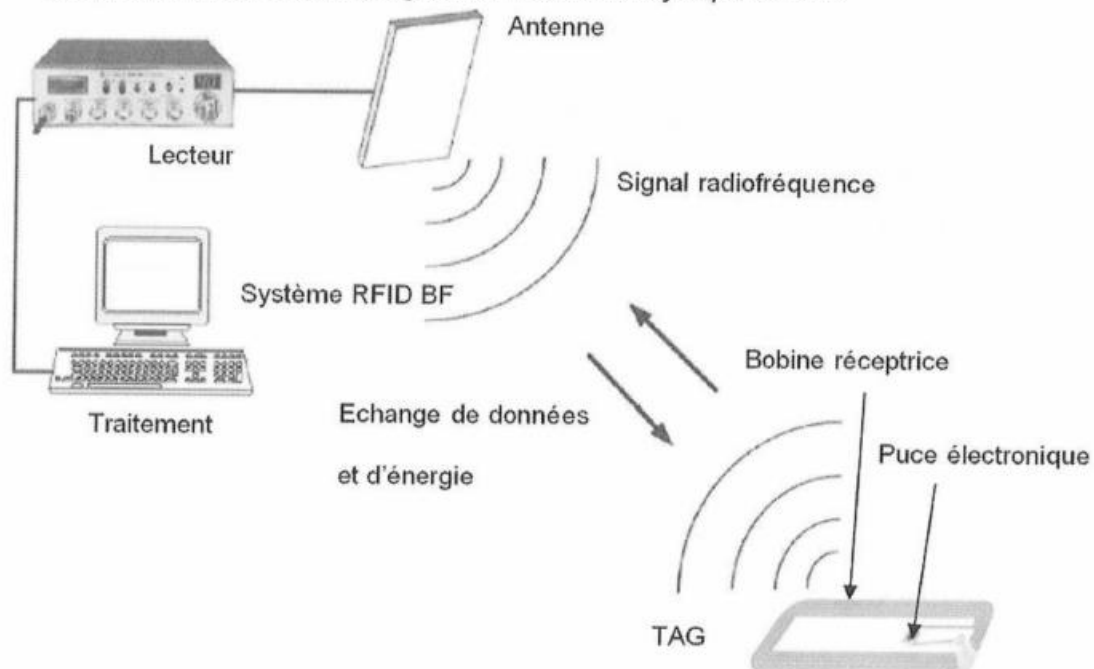


Figure 1

La figure 1 présente le fonctionnement général d'un système RFID. Le lecteur relié à une antenne émettrice agit en maître par rapport au TAG : si le TAG est dans la zone de lecture du lecteur, ce dernier l'active en lui envoyant une onde électromagnétique et entame la communication. Le TAG est quant à lui, constitué d'une antenne et d'une puce électronique qui module l'onde réémise vers le lecteur. En démodulant le signal reçu, le lecteur relié à une application interne récupère l'information pour la traiter, il est chargé de l'interface et de la gestion de l'identification des TAGs qui se présentent à lui.

Il existe plusieurs familles de systèmes RFID dont le principal critère de différenciation est la fréquence de fonctionnement. Les systèmes RFID utilisent des bandes de fréquence à 125 kHz (bande BF), 13,56 MHz (bande HF), 860-960 MHz (bande UHF) et 2,45 GHz. On précise que la puissance rayonnée par l'antenne d'émission est une fonction croissante de la fréquence est variée

en $\frac{1}{\lambda^4}$.

Bande	Fréquence	Portée	Pouvoir de Pénétration dans un conducteur
BF	125 kHz	+	++++
HF	13.56 MHz	++	+++
UHF	860-960 MHz	+++	++
UHF	2,45 GHz	++	+

+: faible, ++: Assez bon, +++: Bon, ++++: Excellent

En fonction des différentes fréquences, les principes physiques mis en œuvre ne sont pas les mêmes et le problème aborde certains aspects de la communication.

PREMIERE PARTIE

Système RFID à 13.56 MHz en couplage magnétique

I.A Les fréquences utilisées en RFID

- I.A1.** Pour quelle expérience majeure le physicien Hertz (1857-1894) est-il resté célèbre ?
- I.A2.** Que signifient bande HF et bande UHF ? Pourquoi dit-on que la fréquence 2,45GHz appartient aux microondes ?
- I.A3.** Pourquoi les ondes UHF portent plus loin que les ondes HF et les ondes BF ?
- I.A4.** Pourquoi le pouvoir de pénétration des ondes dans un conducteur augmente quand la fréquence baisse ?
- I.A5.** Pourquoi tous les systèmes RFID HF utilisent-ils la même fréquence de 13,56 MHz ?

I.B Modélisation d'un système RFID à 13.56 MHz : la carte à puce sans contact.

On considère une bobine b_1 circulaire d'axe (Oz) située dans le plan (Oxy), de rayon a , comprenant N_1 spires identiques et supposées confondues (toutes de même diamètre) réalisées en fil conducteur de diamètre négligeable et parcourue par le courant i_1 sinusoïdal de fréquence f : $i_1 = I_1 \sqrt{2} \sin(\omega t)$. Les dimensions caractéristiques (a , OM_1 ,...) sont de l'ordre de 10 cm. On rappelle que : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$.

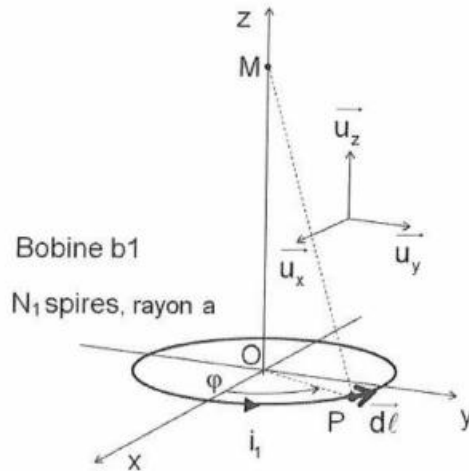


Figure 2

I.B1. Rappeler les conditions d'application de l'approximation des régimes quasi stationnaires (ARQS). Cette approximation s'applique-t-elle ici ?

Soit M un point de l'axe (Oz) tel que $\vec{OM} = z \cdot \vec{u}_z$ et $z \geq 0$.

I.B2. Quelle est la direction du champ magnétique $\vec{B}_1(M, t)$ en M ? On note $B_{1\text{eff}}(a, z)$ la valeur efficace de la norme de $\vec{B}_1(M, t)$. Pour $I_1 = 20 \text{ mA}$, on a représenté sur la figure 3 les courbes de niveau de $B_{1\text{eff}}(a, z)$ pour $0 \leq a \leq 0.2 \text{ m}$ et pour $0 \leq z \leq 0.2 \text{ m}$. A partir de ces courbes de niveau et sans calcul supplémentaire représenter $B_{1\text{eff}}$ en fonction de a pour $z = z_0$. Préciser les valeurs remarquables.

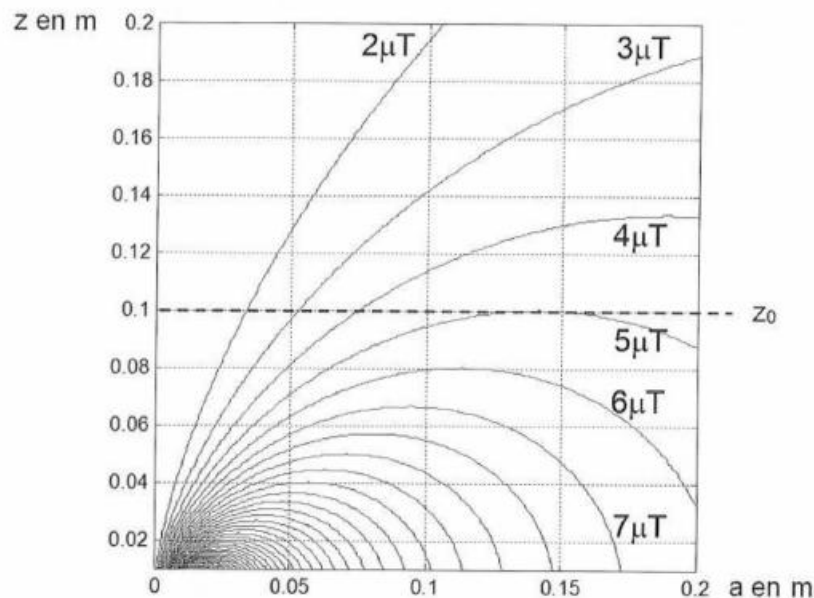


Figure 3

Application numérique : pour $N_1 = 100$ spires, $I_1 = 20 \text{ mA}$, $z_0 = 10 \text{ cm}$ déterminer la valeur maximale de $B_{1\text{eff}}$.

I.B3. Donner une expression du flux propre Φ_1 de la bobine b_1 faisant intervenir une intégrale simple. On ne cherchera pas à calculer Φ_1 .

I.B4. Rappeler la définition de l'inductance propre L_1 de b_1 .

On considère maintenant une bobine b_2 circulaire d'axe (Oz) située dans un plan parallèle au plan (Oxy) à $z = d$, de rayon b et de surface $S_2 = \pi \cdot b^2$, comprenant N_2 spires identiques et confondues (toutes de même diamètre) réalisées en fil conducteur de diamètre négligeable. Les deux bobines b_1 et b_2 sont couplées magnétiquement et forment un transformateur à air. On note L_2 l'inductance propre de b_2 et M l'inductance mutuelle entre b_1 et b_2 ($M = k\sqrt{L_1 L_2} > 0$, où k est le coefficient de couplage entre les deux bobines). La bobine b_2 est connectée à un circuit électrique comportant une résistance R_L en série : c'est le modèle du transpondeur (TAG). La bobine b_1 est alimentée par une tension u_1 et constitue l'antenne associée au lecteur RFID, R_1 et R_2 modélisent les résistances des bobines b_1 et b_2 et R_L modélise la résistance d'entrée de la puce électronique du TAG. En modulant R_L , le TAG communique avec le lecteur. (Le TAG est donc modélisé par L_2 , R_2 et R_L qui est variable).

Pour les applications numériques prendre : $d = 10$ cm, $N_1 = 100$ spires, $N_2 = 4$ spires, $S_2 = 30$ cm², $L_1 = 40$ μ H, $L_2 = 6.3$ μ H, $R_2 = 10$ Ω , $R_L = 30$ k Ω ; $k = 0,63\%$ (soit $M = 0,1$ μ H) ; $f_0 = 13,56$ MHz, $I_1 = 20$ mA.

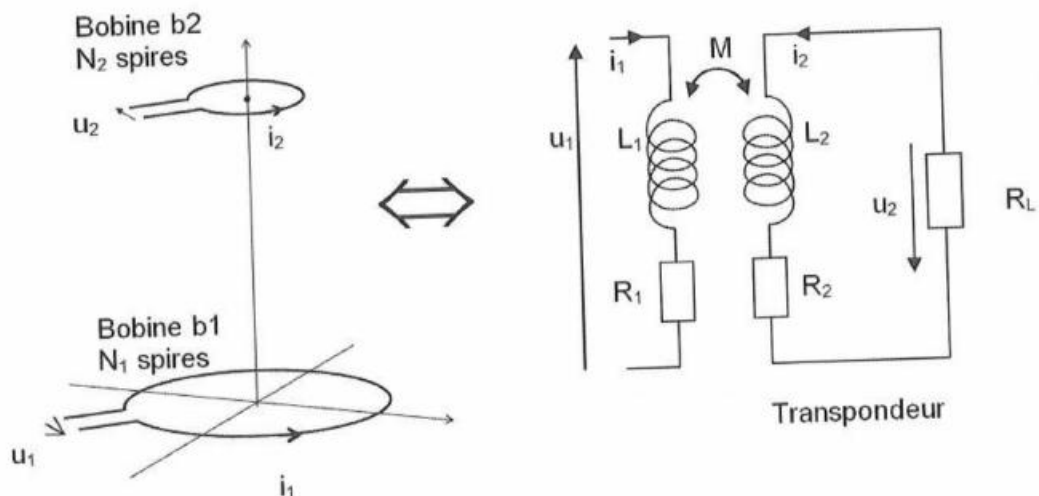


Figure 4

I.B5. Donner une approximation de M en considérant que $b \ll a$ et que $b \ll d$. En exploitant le résultat de la question I.B2, et pour des nombres de spires N_1 et N_2 et une distance d entre les deux bobines fixés, il existe une valeur optimale du rayon a de la bobine b_1 maximisant la mutuelle M . Application numérique : déterminer la valeur optimale de a .

I.B6. Exprimer les tensions u_1 et u_2 en fonction de $R_1, R_2, L_1, L_2, M, i_1, i_2, \frac{di_1}{dt}$ et $\frac{di_2}{dt}$.

Aux grandeurs temporelles, u_1, u_2, i_1 et i_2 on associe les grandeurs complexes $\underline{U}_1, \underline{U}_2, \underline{I}_1$ et \underline{I}_2 . La seule entrée du montage est la tension u_1 (ou \underline{U}_1) ; u_2, i_1 et i_2 sont donc des inconnues (ou $\underline{U}_2, \underline{I}_1$ et \underline{I}_2).

I.B7. Ecrire trois équations liant les tensions complexes \underline{U}_1 et \underline{U}_2 et les courants \underline{I}_1 et \underline{I}_2 .

I.B8. Mettre \underline{U}_1 et \underline{U}_2 sous la forme : $\underline{U}_1 = \underline{Z}_{11} \cdot \underline{I}_1$ et $\underline{U}_2 = \underline{Z}_{21} \cdot \underline{I}_1$. Montrer en particulier que

$\underline{Z}_{21} = \frac{-jMR_L\omega}{R_L + R_2 + jL_2\omega}$ et que $\underline{Z}_{11} = a + jb + \frac{(M\omega)^2}{R_L + R_2 + jL_2\omega}$. Préciser les expressions des coefficients réels a et b .

Application numérique : donner l'ordre de grandeur de la tension efficace de u_2 .

On insère un condensateur C_2 en parallèle à R_L tel que $L_2 C_2 \omega_0^2 = 1$ et $\omega_0 = 2\pi f_0$. On note $Q_2 = 1/(R_2 C_2 \omega_0)$ et $Q_L = R_L / (L_2 \omega_0)$; les valeurs numériques correspondantes sont $C_2 = 22$ pF, $Q_2 = 53,3$ et $Q_L = 55,9$.

I.B9. En négligeant R_2 devant R_L , déterminer la nouvelle expression de l'impédance \underline{Z}'_{21} . Mettre sous la forme :

$$\underline{Z}'_{21} \approx \frac{-R_{21}}{1 + jQ_T \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

Exprimer la résistance R_{21} ainsi que le facteur de qualité Q_T équivalent du transpondeur en fonction de Q_L et de Q_2 . Conclure sur l'intérêt du condensateur C_2 . Application numérique : déterminer les ordres de grandeur des valeurs efficaces de i_2 et de u_2 .

Si le champ électromagnétique a une amplitude trop faible, l'énergie reçue par le transpondeur n'est pas suffisante pour un fonctionnement normal. Ainsi, l'alimentation de la puce ne se fait correctement que si la tension vérifie $U_{2\text{eff}} > 4,6$ V.