

Comment ça marche ?

L'ANTENNE ACTIVE

4 - Cadre ferrite

Par le radio-club F6KRR

L'expression "antenne active" est ambiguë. Elle pourrait faire croire qu'une électronique quelconque puisse améliorer les performances d'une antenne. Bien sûr, il n'en est rien, une antenne est un système passif et l'électronique ne peut qu'améliorer l'adaptation de l'antenne au récepteur. Dans les précédents "Comment ça marche ?" nous avons vu trois antennes actives des types "fouet court", "petite boucle" et "cadre à air", avec des exemples pour la bande 137 kHz. Cette fois-ci nous déclinerons le principe avec un cadre ferrite.

La surface d'un cadre à air est du même ordre de grandeur que celle d'une simple boucle. On peut réduire notablement cette surface en insérant à l'intérieur des spires un barreau de ferrite qui a un μ relatif beaucoup plus important que l'air. Même si par ailleurs la longueur du barreau est beaucoup plus conséquente que le diamètre de la spire, l'encombrement d'un cadre ferrite est plus de cent fois inférieur à celui d'un cadre à air.

Cadre à ferrite.

Rappel de quelques formules fondamentales de l'électromagnétisme concernant la boucle élémentaire ^[1]:

$$\mathbf{E} = \nu \cdot \mathbf{B} \text{ et } \mathbf{B} = \mu \cdot \mu_0 \cdot \mathbf{H}$$

$$\mathbf{E} = \nu \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot \mathbf{H} \quad \nu = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$$

$$\mathbf{e} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}_{\text{EFF}} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} \cdot \omega$$

$$\mathbf{H}_{\text{EFF}} = 2\pi \frac{\mathbf{S}}{\lambda} = \frac{\omega \cdot \mathbf{S}}{\nu}$$

Nous voyons que l'induction \mathbf{B} augmente comme la perméabilité μ . En conséquence la f.é.m. \mathbf{e} à la sortie de la boucle augmente aussi comme μ . Mais au point de réception, on connaît généralement la valeur du champ \mathbf{E} dans l'air. On voit alors que celui-ci augmente au niveau de la boucle comme la racine carrée de μ car il est égal à $\nu \cdot \mathbf{B}$ et la vitesse de propagation ν diminue comme la racine carrée de μ quand \mathbf{B} augmente comme μ . Par ailleurs, ν étant au dénominateur de la formule donnant la hauteur effective \mathbf{H}_{EFF} , celle-ci augmente aussi comme la racine carrée de μ ⁽¹⁾. Ainsi \mathbf{e} qui est égal à leur produit augmente bien comme μ . Par ailleurs on a vu que \mathbf{H}_{EFF} augmentait comme le nombre de spires n .

Réalisation pratique

Pour bénéficier du système, on dispose la ferrite à l'intérieur de la boucle. Il faut qu'elle ait une dimension dans le sens du vecteur \mathbf{B} égale à plusieurs fois le diamètre de la boucle et au minimum, à la longueur du bobinage. Comme le matériau est difficile à fabriquer en grosse

section, le diamètre des spires est très petit (< 3 cm) et leur hauteur effective extrêmement faible. On compense avec un grand nombre de spires et une grande perméabilité. Voir sur la figure 1 un exemple de cadre ferrite pour les VLF-LF.

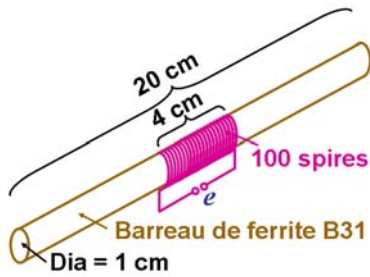


Figure 1.

Perméabilités initiales et effectives

La perméabilité initiale (μ_i) d'un matériau ferrite vaut pour un circuit magnétique fermé (petit tore rempli de fil). Avec un barreau de ferrite mis à l'intérieur d'un bobinage, le circuit magnétique est ouvert, ce qui réduit la perméabilité appelée alors "effective" (μ_e). Celle-ci dépend fortement des dimensions du barreau. La figure 2 montre un abaque donnant les μ_e pour un barreau en ferrite **B31** avec μ_i de 900 et un autre en **B41** avec μ_i de 250 ⁽²⁾.

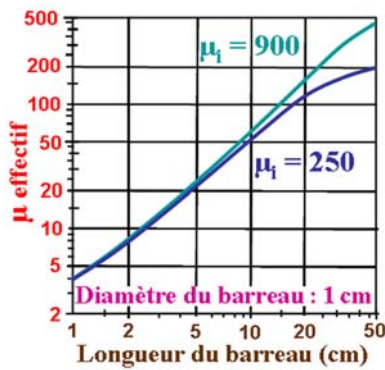


Figure 2.

Attention, l'abaque est valable pour un bobinage occupant toute la longueur du barreau et pour un fil bobiné directement sur la ferrite ⁽³⁾.

Self induction du bobinage

Lorsque la bobine est moins longue que le barreau, le μ_e augmente comme la racine cubique du rapport $L_{\text{Barreau}} / L_{\text{Bobine}}$. Il varie également selon la position de la bobine sur le barreau. On parle alors de perméabilité apparente (μ_a). Voir la figure 3.

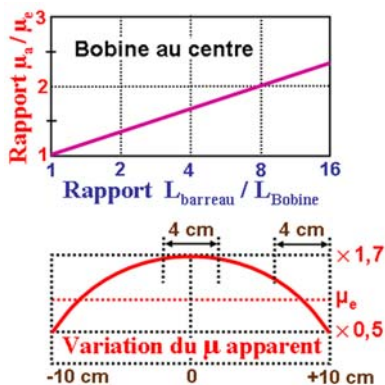


Figure 3.

Noter qu'ici la variation est de l'ordre de 1,8 (rapport 5 et moyenne sur 4 cm). Plus la bobine est longue, et plus la variation est faible (et inversement).

Courants de Foucault

La ferrite n'est pas un matériau totalement isolant. Elle présente une certaine conductivité et quand elle est en présence d'un champ électromagnétique des courants y prennent naissance, appelés "courants de Foucault". Ils augmentent avec la fréquence et se dissipent en chaleur, occasionnant des pertes qui s'ajoutent à d'autres pertes secondaires. Pour chaque type de ferrite, on définit un facteur de qualité, comme pour les condensateurs. On le matérialise schématiquement par une résistance R_F en parallèle sur la bobine contenant la ferrite. La figure 4 montre les courants de Foucault dans un barreau de ferrite et un moyen de les diminuer.

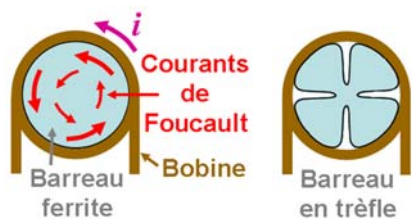


Figure 4.

Le barreau avec section en trèfle a été très employé pour les cadres de réception PO-GO. Une autre solution consiste à grouper en parallèle plusieurs barreaux circulaires isolés (3 ou 7). Naturellement, du fait que l'on augmente les entrefers, le μ effectif chute en conséquence. Le barreau en trèfle est intéressant pour la bande MF et le groupement de barreaux pour les VLF-LF, surtout parce qu'il augmente la surface des spires.

Résultats pour le 137 kHz ⁽⁴⁾

Soit un bâtonnet de ferrite **B31** avec un diamètre de 1 cm et une longueur de 20 cm. On bobine au centre 100 spires en fil émaillé dia 0,25 mm, directement sur la ferrite, sur une largeur totale de 4 cm. On estime un μ_a égal à 275 (cf. fig. 2 et 3). On a sur la figure 5 le schéma de principe du système.

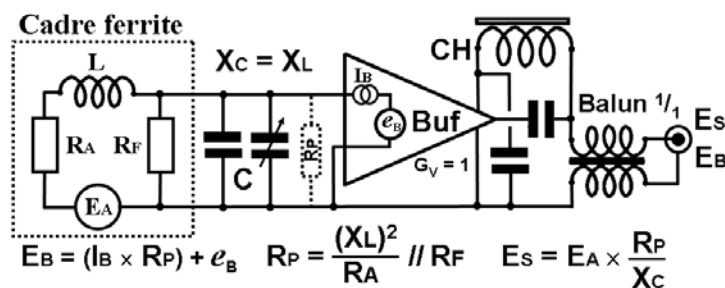


Figure 5.

La self de la bobine L est de l'ordre de $500 \mu\text{H}$ ⁽⁵⁾ ce qui donne une impédance de 430Ω . C est alors égal à 2700 pF en négligeant la capacité répartie de L .

Résistance du fil R_A à 137 kHz : $1,68 \Omega$, soit un Q de 256 et une impédance à la résonance qui serait égale à $110 \text{ k}\Omega$ sans les pertes dans la ferrite. Le Q de celle-ci à 137 kHz est de l'ordre de 360, entraînant une résistance R_F de $155 \text{ k}\Omega$. R_P est alors égale à $64 \text{ k}\Omega$, soit un Q effectif (Q_e) de 150, correspondant à une bande passante à -3dB de $0,9 \text{ kHz}$.

Largeur de bande du canal = 10 Hz (modes numériques lents).

Fa (bruit de bande) = 75 dB, soit un champ **E** de 0,013 $\mu\text{V}/\text{m}$ dans l'air et 0,21 $\mu\text{V}/\text{m}$ au niveau de la bobine après multiplication par racine de μ_a .

$$H_{\text{EFF}} = 2\pi \times S/\lambda \times 100 \times \sqrt{275} = 0,00057 \text{ m.}$$

$$e = 210 \text{ nV/m} \times 0,00057 \text{ m} = 0,12 \text{ nV}$$

Résistance de rayonnement $R_R < 1\text{p}\Omega$ (négligeable)

$$E_S = e.Q = 0,12 \text{ nV} \times 150 = 18 \text{ nV}$$

I_B à l'entrée du FET : 0,2 pA/Hz

Alors $E_B = 0,0002 \text{ nA} \times 64000 \times \sqrt{10} = 40,5 \text{ nV}$ (on néglige la tension de bruit du buffer et le bruit thermique du cadre).

Nous sommes 7 dB au dessus du bruit de bande, soit 13 dB en dessous de la sensibilité requise pour un bruit de bande moyen à la campagne. C'est moins bien qu'avec un cadre à air ou une simple boucle, mais c'est beaucoup moins encombrant. Cela serait suffisant pour un QRA en zone très urbanisée mais pour la campagne, il faudrait envisager un groupement de 7 barreaux en parallèle.

N-B : En bobinant 150 spires sur une largeur de 6 cm, les calculs donnent un bruit thermique 4,7 dB au dessus du bruit de bande. La différence n'est pas très significative comparativement aux approximations de calcul, d'où la nécessité d'expérimenter.

Expérimentation

Attention, comme pour le cadre à air, on ne peut pas juger des performances en mesurant le niveau de sortie du cadre ferrite sur une station radio. Ce qui compte, c'est le rapport S/B. Celui-ci peut diminuer si le niveau de bruit thermique augmente plus vite que le signal. Pour faire les mesures, il faut disposer d'un analyseur de spectre avec préampli à faible bruit et d'une petite cage de Faraday. On met le cadre dans la cage et on mesure le niveau de bruit (thermique) à la sortie de l'antenne active. Puis on le sort et on mesure à nouveau le bruit (de fond de bande) et on compare les résultats. Le bruit de bande doit être au moins 6 dB au dessus du bruit thermique ⁽⁶⁾. L'analyseur de spectre permet de différencier le bruit de bande des signaux reçus des stations. S'il n'y a pas de différence de bruit, c'est que le système est sous dimensionné pour le DX. En absence de moyens adéquats, on peut se contenter de calculer la self induction à partir de la valeur du condensateur d'accord et de déterminer le **Q** en mesurant la bande passante ($Q=F/B_{3\text{dB}}$). Si l'on connaît les caractéristiques en bruit du FET à l'entrée du buffer ⁽⁷⁾, on peut se faire une idée des performances en faisant les calculs comme ci-dessus. Noter que ceux-ci, ainsi que les mesures, ne sont pas à la portée du néophyte.

La Rubrique "Comment ça marche ?" est une activité collective du radio-club F6KRK (<http://www.f6krk.org>). Pour une correspondance technique concernant cette rubrique : "f5nb@ref-union.org".

Bibliographie.

[1] Revoir les "Comment ça marche ?" concernés dans les précédents Radio-REF. Ils sont également consultables et téléchargeables sur le site de F6KRK : "www.blog.f6krk.org", catégorie "Bulletins et Gazettes" puis "Comment ça marche ?".

Notes.

- 1) Rappel : $\lambda = v/F$.
- 2) La ferrite B31 est prévue pour couvrir les VLF-LF (3-300 kHz) et la B41 pour couvrir aussi les MF (0,3-3 MHz).

- 3) *Si le fil est bobiné sur un mandrin comme dans les cadres radio, l'entrefer supplémentaire ainsi créé diminue la perméabilité apparente.*
- 4) *Revoir les conditions de réception dans les exemples précédents sur le fouet et la boucle ^[1].*
- 5) *Impossible de faire un calcul précis. La self est comprise entre 350 et 700 μH selon les méthodes employées.*
- 6) *Faire les mesures à l'endroit de la réception et à différents moments de la journée, voire de l'année, car le bruit de bande peut varier dans de grandes proportions. Pour une performance optimale, il faudra tenir compte du bruit de bande minimum.*
- 7) *Le buffer peut être combiné avec un préamplificateur faible bruit.*