

Comportement du rayonnement d'une antenne loop-magnétique

Werner Feller HB9CAB (trad. HB9DSB)

Au sens strict du terme il n'existe pas d'antennes magnétiques. Mais j'utilise néanmoins ce terme, chacun sait ce qu'il représente. Dans un transformateur le flux magnétique sert de courroie de transmission. L'accélération des électrons dans un conducteur est également nécessaire pour le rayonnement des ondes radio. L'accélération est obtenue par l'application d'un courant alternatif. Les électrons en fonction de la direction, de l'accélération et de la force, génèrent à partir d'une certaine fréquence (dépendant de la puissance) un rayonnement polarisé. Ce rayonnement est à la fois une onde et une particule.

Si l'on double la puissance d'émission, la puissance rayonnée ne double pas, mais l'amplitude augmente d'un facteur de 2. Le courant dans l'antenne du récepteur est multiplié par ce même facteur, soit $I^2 \times R =$ deux fois la puissance. Cela nous permet de calculer des systèmes d'antennes couplées avec des unités de courant infini en fonction de l'amplitude et de la phase le long de l'élément rayonnant.

Comparaison avec un dipôle

L'antenne loop-magnétique est un dipôle raccourci avec des radiateurs incurvés radialement vers le haut. Le raccourcissement résulte de la charge capacitive aux extrémités du dipôle. Pour comprendre le comportement d'une telle antenne, nous devons démontrer le comportement d'un dipôle.

Chacun connaît la distribution du courant dans un dipôle. Le courant est maximum au centre pour être nul aux extrémités. Beaucoup parlent d'ondes stationnaires, mais cette onde n'est pas immobile. A titre de comparaison, faisons l'expérience suivante: attachons une corde à un point fixe, cela représente l'extrémité d'un dipôle, l'autre extrémité reste maintenue en main, c'est le point d'alimentation. Maintenant agissons rapidement la corde de haut en bas. Cette vague produite par la

main se propage jusqu'à l'extrémité de la corde, au point d'attache, elle y est rejetée (réfléchiée). Si nous ne tenons pas fermement la corde, celle-ci peut s'échapper de nos mains. Transposée au dipôle, cela signifie qu'une onde avec la vitesse de la lumière se propage jusqu'à l'extrémité du dipôle puis s'en retourne avec une polarisation opposée par-dessus le point d'alimentation à l'autre extrémité du dipôle. Et ainsi de suite. Si la fréquence d'alimentation coïncide avec cette oscillation, on parle de résonance. Le mieux est d'imaginer un point, où le courant serait nul en changeant du négatif au positif et vice versa et circulerait d'avant en arrière le long du dipôle demi-onde. L'amplitude suit une courbe sinusoïdale qui est nulle aux extrémités.

Chaque point le long du radiateur reçoit une partie de particules d'énergie qui produira un rayonnement proportionnel à l'angle d'émission, de l'amplitude

radiateur avec un retard de 45° . Les temps de propagation dans l'antenne sont additionnés ou soustraits ce qui détermine la direction du rayonnement. Si nous avons $135^\circ + 45^\circ = 180^\circ$, les ondes s'annulent, il n'y a pas de rayonnement. Dans l'autre cas, nous avons $135^\circ - 45^\circ = 90^\circ$, les ondes s'additionnent avec un déphasage de 90° . Ce qui apporte un gain de 2 dB. La réduction du rayonnement sur un côté produit une forte directivité et un gain supplémentaire de 3 dB. Donc une somme de 5 dB.

Une antenne loop-magnétique est un système à radiateurs couplés. Mais il n'y a pas d'excitation déphasée des deux parties de l'élément rayonnant. L'onde se propage sur un côté en produisant un renforcement et sur l'autre côté un affaiblissement. L'onde réfléchiée fait de même. Nous constatons qu'il y a seulement une demi-onde rayonnée sur la circonférence. Ceci n'est toutefois pas tout à fait correct.

Les temps de propagation sur la moitié de la circonférence et dans l'air ne coïncident pas tout à fait. Un reste rayonne aussi sur l'autre côté. **Observons une antenne loop-magnétique d'un diamètre de 1 m.**

Facteur de couplage

Il faut tout d'abord calculer le facteur de couplage pour les deux parties opposées du radiateur. On le calcule en additionnant et en soustrayant les ondes décalées par les délais de propagation sur la moitié de la circonférence de l'antenne et le parcours dans l'air. Pour une fréquence de 24 MHz, soit $\lambda/4$, ce facteur est de 0,296 d'une demi-onde d'une part et de 1,243 d'autre part. Soit une somme de 0,77 en moyenne pour l'onde entière. Il ne s'agit pas de l'efficacité, mais une mesure qui reflète la réduction du rayonnement par le couplage des branches de l'antenne. Ceci est seulement valable si la réflexion par le sol et les murs est nulle. Avec un montage proche d'une surface réfléchissante, on peut partiellement compléter la part manquante de la demi-onde.



La loop se compose de 3 fils tressés [Fotos: HB9CAB]

et la phase du courant. La somme de ces parts infimes permet de calculer la puissance du signal en fonction du temps à n'importe quel endroit de la circonférence d'une antenne.

Temps de propagation

Dans l'antenne, des temps de propagation apparaissent. Il est important de le savoir. Les beams et les antennes HB9CV fonctionnent selon ce principe. L'antenne HB9CV comporte deux éléments radiateurs déphasés de 135° . Le déphasage est obtenu par une rotation de 180° et une alimentation retardée de $45^\circ (\lambda/8)$. Le rayonnement dans l'air atteint l'autre élément

Comportement du rayonnement d'une antenne loop-magnétique (II)

Facteur de raccourcissement

Nous calculons ensuite le facteur de raccourcissement. Comme les extrémités participent peu au rayonnement, on peut admettre avec une bonne approximation que la moitié de la puissance est rayonnée par le tiers de la longueur à partir du centre du dipôle. Une loop est une partie raccourcie ou rallongée de cette partie centrale. Dans le cas de notre loop à 24 MHz, $\lambda/2 = 6,2$ m. La troisième part au milieu du dipôle, c'est-à-dire 2,07 m, avec un facteur de 0,5. Le reste de notre loop de 3,14 m ou $2 \times 0,54$ m est imputé aux parts extérieures avec une diminution de rayonnement vers l'extrémité, soit une part de $2 \times 0,26 \times 0,25 = 0,13$. Cela s'ajoute à la réduction de 0,5. Total $0,5 + 0,13 = 0,63$.

Nous devons multiplier les facteurs de couplage et de raccourcissement, soit $0,77 \times 0,63 = 0,48$. La résistance de rayonnement pour 24 MHz est de l'ordre de $0,48 \times 50 \Omega = 24 \Omega$. Ce calcul tient compte du fait que le courant d'un radiateur doit être augmenté selon le facteur de réduction pour rayonner la puissance induite. Les 50Ω représentent une valeur de référence d'un dipôle dans un environnement qui n'est pas libre de réflexions. À 7 MHz ou $\lambda/13$, le facteur est de $0,11 \times 0,24 = 0,026$, ce qui correspond à une résistance de rayonnement d'environ $1,3 \Omega$. À 3,5 MHz ou $\lambda/26$, on obtient un facteur total de 0,013, soit environ $0,66 \Omega$.

Efficacité

Le rendement est directement lié à cette résistance de rayonnement. Plus la résistance de rayonnement est faible plus le courant dans l'antenne est grand. Pour un diamètre de 1 m, à une fréquence de 3,5 MHz et une puissance

d'environ 100 W, nous obtenons un courant de 12,3 A. Celui-ci se réduit à 8,8 A sur 7 MHz et à 2,0 A sur 24 MHz. Le lien entre le diamètre d'une loop et la fréquence de fonctionnement est donc essentiel pour la charge et l'efficacité.

Réflexions pratiques

En principe, il n'y a pas de limite à la circonférence d'une loop. Si les dimensions sont faibles par rapport à la longueur d'onde, le courant augmente énormément. L'avantage des courants très élevés dans une antenne réside dans une bonne pénétration dans les blindages. **Ainsi, des antennes loop-magnétiques peuvent fonctionner dans des habitations et même dans les sous-sols.** Raison d'une limitation à $\lambda/2$. Les objets à proximité n'influencent pas l'accord d'une loop magnétique. Mais prêtez attention aux lignes du câblage domestique où des courants et des tensions importantes peuvent être induits! La réception est aussi diminuée par ce facteur calculé. Cela conduit à l'hypothèse selon laquelle une loop magnétique serait insensible aux champs électriques. Ce n'est pas le cas. Des perturbations peuvent être éliminées par l'orientation de l'antenne. La loop magnétique a, dans la direction de l'axe, un minimum de rayonnement marqué. Par conséquent, un montage vertical et près du sol explique les bons rapports dans le trafic européen par son rayonnement vertical. Un montage horizontal et distancé de la terre est plutôt favorable pour DX.

L'effet skin

Les courants élevés ne causent pas de difficultés insurmontables. En raison de l'effet skin, la majeure partie du courant circule uniquement dans la surface du conducteur. Plus le diamètre du fil ou du tube sera grand, moins cet effet se fera sentir. La résistance en courant alternatif d'un tube de cuivre d'un diamètre de 2,5 cm. est de $7,3 \text{ m}\Omega/\text{m}$. à 7 MHz de $14,3 \text{ m}\Omega/\text{m}$. à 24 MHz. **Le courant circule en effet seulement dans les mm. de la couche extérieure. Celle-ci doit être polie.** Beaucoup d'utilisateurs de loop magnétique sont déçus par les mauvaises performances après

un certain temps. L'oxydation, la poussière et l'humidité forment une couche semi-conductrice rugueuse. Celle-ci augmente considérablement la résistance de perte.

Si la loop est utilisé à 24 MHz, c'est à dire $\lambda/4$ un simple fil suffit. Un fil d'installation électrique de $2,5 \text{ mm}^2$ a une résistance de $231 \text{ m}\Omega/\text{m}$. soit dans notre exemple $0,73 \Omega$. Ceci est négligeable par rapport à la résistance de rayonnement de 24Ω . Par contre, c'est différent à 7 MHz. Pour une efficacité de 90% avec les mêmes dimensions, la résistance de perte ne doit pas dépasser les $130 \text{ m}\Omega$.

Autoconstruction d'une loop

Au lieu d'un tube, l'utilisation de fils de cuivre isolés en parallèle est conseillée. À 7 MHz, un fil de $2,5 \text{ mm}^2$ a une résistance de $125 \text{ m}\Omega/\text{m}$. Trois fils ensemble font dans notre exemple $3,14 \text{ m} \times 41,7 \text{ m}\Omega/\text{m} = 130 \text{ m}\Omega$. Le courant dans un fil ne devrait pas dépasser 3 A. Des fils tressés augmentent la résistance à la flexion et empêchent la formation d'une couche semi-conductrice. La réduction supplémentaire de l'effet skin nous donne la qualité d'un tube sans les inconvénients d'une possible dégradation de la surface. Il n'y a pas de pertes diélectriques dans l'isolation en PVC car la grande différence de potentiel se situe dans le parcours air. Sur 80 m. nous obtenons encore un assez bon rendement en utilisant 2×3 fils tressés ou en augmentant le diamètre à 2 m. Ceci est valable jusqu'à 100 W. Pour 1000 W à 3,5 MHz, il faudra tresser 3×3 fils de 6,3 m. pour répartir le courant de l'ordre de 28 A. En raison des forts courants et des tensions élevées, l'utilisation d'un condensateur variable à vide est recommandée.

Conclusions

Pour les bandes de 30 m, 40 m. et 80 m. des antennes loop-magnétiques sont raisonnables. **Pour les bandes de fréquences plus élevées, un fil jeté hors de la fenêtre donne de meilleurs résultats.** Une loop magnétique est parfaite pour de l'expérimentation d'antennes. On peut l'utiliser dans le salon, sur le balcon ou sous le toit.



Alimentation de la loop