

Le tour du cadre

Tout ou presque sur les cadres

2^e partie

par Daniel Maignan

Nous savons qu'il est possible d'utiliser un cadre pour recevoir les ondes radioélectriques à la place d'une antenne. Avec ce genre de dispositif, du fait de sa structure, l'entrée du récepteur se trouve connectée à un circuit électriquement fermé et le signal capté résulte uniquement du courant haute fréquence induit par la composante magnétique du champ radioélectrique.

Cette série d'articles étalée sur plusieurs numéros fait appel à quelques développements mathématiques de base qui sont destinés à asseoir l'exposé afin de permettre une

bonne compréhension des descriptions pratiques. Après avoir évoqué simplement l'aspect théorique du fonctionnement des cadres, examinons maintenant plusieurs réalisations pratiques aisées à mettre en œuvre, que chacun d'entre vous peut facilement entreprendre.

Nous débutons dans cette édition avec la description d'un cadre à air de grandes dimensions.

We know that it is possible to use a loop instead of a wire antenna for receiving radio waves. With this type of setup, the receiver input is connected to an electri-

cally closed circuit. Consequently, the signal received results entirely from the high frequency current induced by the magnetic component of the electromagnetic field.

This serie of articles, spread over several issues, covers some mathematical fundamentals aimed at grounding the subject in order to enable a good understanding of the practical aspects of loop aeriels. Having covered the basic theory of operation, let's now look at some straightforward practical examples which you can easily tackle.

We start in this issue with the description of a large air-spaced loop aerial.

Descriptions pratiques et exemples de réalisations des principaux modèles de cadre

1. Réalisation pas à pas d'un cadre à air grand modèle

L'ancien cadre à air de grand format se compose en général d'un enroulement fractionné dont les sections peuvent fonctionner en série pour les grandes ondes et en parallèle pour les petites ondes. Le cadre est accordé par un condensateur variable.

Pour sa confection, il sera nécessaire de suivre les étapes ci-dessous.

Nos lecteurs un peu fâchés avec les mathématiques pourront laisser de côté toutes les démonstrations, mais en tenant compte des résultats.

a. Association des enroulements

Comme on l'a vu précédemment, il est indispensable d'éviter les « bouts morts ». Se reporter aux figures 22 a, b et c.

Dans cette réalisation, pour la gamme des GO, les deux enroulements L_1 et L_2 couplés par l'induction mutuelle M sont en série (figure

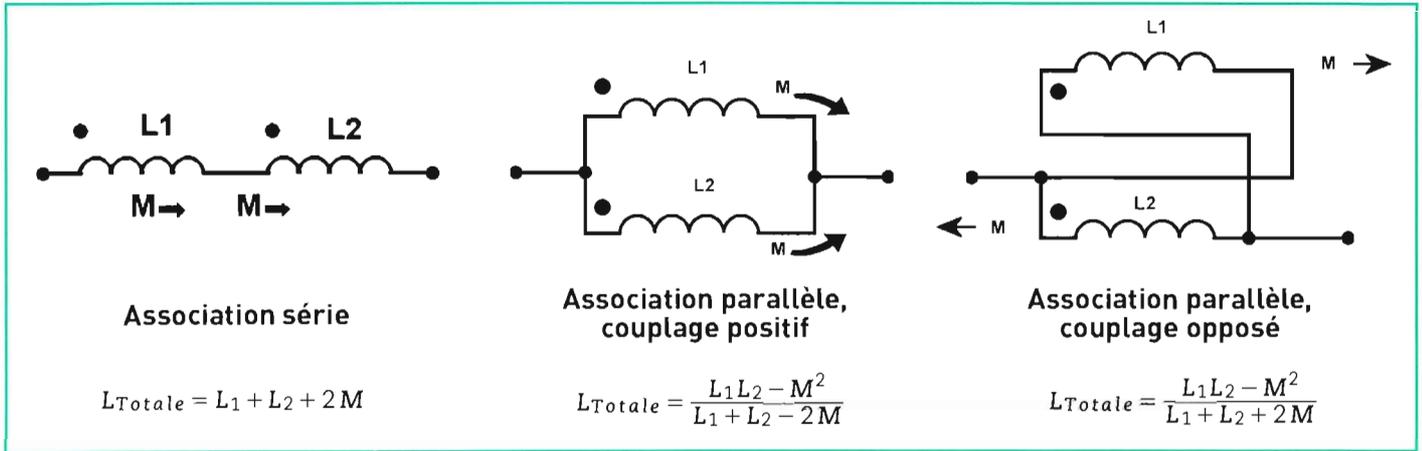
22 a) et en parallèle pour la gamme des PO (figures 22 b et c).

En série avec un couplage positif (M positif), l'inductance totale résultante est L_T :

$$L_T = L_1 + L_2 + 2M \quad (6)$$

Les enroulements en parallèle donnent une nouvelle valeur d'inductance résultante L_T' , avec au dénominateur le terme $2M$ qui est positif ou négatif, selon le sens du couplage.

$$L_T' = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \pm 2M} \quad (7)$$



Figures 22 a, b et c. — Différents modes de couplage des enroulements L_1 et L_2 en évitant les « bouts morts ».

On se base sur une valeur de l'induction mutuelle M de l'ordre de 0,2 à 0,5 μH et l'on veut couvrir les gammes GO et PO avec notre cadre en l'accordant avec un condensateur variable de 500 pF.

b. Procédure de mesure, capacités parasites

Les cadres à air grand modèle ont une surface importante et les capacités parasites entre spires ont une valeur non négligeable dont il faut tenir compte.

La capacité totale d'accord du cadre C_T sur une fréquence donnée

est dans la réalité la somme de la capacité du condensateur externe C_{ext} plus les capacités parasites C_p .

$$C_T = C_{ext} + C_p \quad (8)$$

La capacité parasite peut atteindre plusieurs dizaines de pF.

L'encadré 1 ci-dessous indique la procédure de détermination de la capacité parasite d'un cadre.

c. Définition des données de départ (cahier des charges)

- Inductance totale L_T requise en grandes ondes avec mise en série de L_1 et L_2 : $L_T = 1,9 \text{ mH}$

- Inductance totale L_T' requise en petites ondes, avec mise en parallèle de L_1 et L_2 en couplage négatif : $L_T' = 0,15 \text{ mH}$.

- Induction mutuelle : $M = 0,25 \text{ mH}$.

- Capacités parasites estimées du cadre : 30 pF environ en PO et 25 pF environ en GO.

- Capacité maximum du CV : 500 pF.

- Capacité résiduelle mesurée sur le CV totalement ouvert : 32pF.

Détermination de la capacité parasite

- Faire la mesure de la fréquence de résonance propre F_{rp} à laquelle le cadre résonne seulement avec sa capacité parasite C_p .

- Faire une mesure de résonance à une fréquence F_a de la gamme du cadre, on obtient C_{ext} .

Avec les valeurs obtenues, on pose les deux équations suivantes, grâce à la formule de Thomson :

$$F_{rp} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_p}}$$

d'où :

$$\sqrt{L} = \frac{1}{2\pi F_{rp} \sqrt{C_p}}$$

et

$$F_a = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}}$$

d'où :

$$\sqrt{L} = \frac{1}{2\pi F_a \sqrt{C_T}}$$

Posons l'égalité suivante :

$$\sqrt{L} = \frac{1}{2\pi F_{rp} \sqrt{C_p}} = \frac{1}{2\pi F_a \sqrt{C_T}}$$

Simplifions les deux termes, on obtient :

$$F_{rp} \sqrt{C_p} = F_a \sqrt{C_T}$$

$$\sqrt{C_T} / \sqrt{C_p} = F_{rp} / F_a$$

ou bien :

$$C_T / C_p = (F_{rp} / F_a)^2$$

Remplaçons C_T par sa valeur dans (8) :

$$\frac{C_{ext} + C_p}{C_p} = \left(\frac{F_{rp}}{F_a}\right)^2$$

Connaissant les deux fréquences F_{rp} et F_a ainsi que C_{ext} , il est aisé de calculer C_p .

Exemple de mesures :

$$F_{rp} = 1,8 \text{ MHz}$$

$$F_a = 1,1 \text{ MHz}$$

$$C_{ext} = 45 \text{ pF}$$

$$(45 + C_p) / C_p = (1,8/1,1)^2 = 2,677$$

$$45 + C_p = 2,677 C_p$$

d'où :

$$C_p = 45/1,677 = 26,8 \text{ pF}$$

Encadré 1.

Gammes	Limites des gammes	Inductance	Capacité du CV	Fréquences extrêmes du cadre
GO	0,15 MHz 0,28 MHz	$L_T = 1,9$ mH	525 pF 57 pF	0,159 MHz 0,483 MHz
PO	0,530 MHz 1,610 MHz	$L_T' = 0,15$ mH	530 pF 60 pF	0,565 MHz 1,652 MHz

Tableau I. — Calcul théorique des fréquences extrêmes d'accord du cadre.

Avec les données du cahier des charges, le tableau I ci-dessus montre que le calcul (à l'aide de la formule de Thomson $F = 1/2\pi\sqrt{LC}$) des fréquences d'accord extrêmes du cadre en GO et PO, donne des résultats satisfaisants.

d. Calcul détaillé des inductances

Le calcul détaillé des inductances L_1 et L_2 à l'aide des formules (6) et (7) est donné dans l'encadré ci-dessous.

e. Construction, dimensions mécaniques du cadre

On adopte la technique des bobines à spires égales de la figure 8, page 42 de *Radiofil magazine* n° 51.

L'ossature est constituée de deux tasseaux croisés de 980 mm de longueur. À l'aide d'une scie égoïne, on

pratique aux quatre extrémités une fente de 10 mm de profondeur. Celle-ci est ensuite élargie et enduite de colle afin de recevoir le peigne support du fil (figure 23 a).

Les quatre peignes sont réalisés en matière isolante. Un espace de 30 mm entre L_1 et L_2 , qui a été déterminé expérimentalement, correspond, avec les valeurs d'inductances considérées, à une induction mutuelle de 0,25 mH environ (figures 23 b et c).

En incluant les peignes, on obtient des spires de 73,4 cm de côté, d'où un carré de surface :

$$S = 73,4 \times 73,4 = 5387,56 \text{ cm}^2.$$

On recherche le diamètre D du cercle dont la surface est équivalente, à l'aide de la formule du cercle $S = \pi D^2/4$:

$$D = \sqrt{4 \frac{S}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 5387,56}{3,14}} = 82,84 \text{ cm}$$

f. Calcul du nombre de spires pour L_1 et L_2

On a $D = 82,84$ cm.

On prend pour L_1 : $ep = 14$ cm et pour L_2 : $ep = 7$ cm (approximativement, valeurs peu critiques dont l'influence est faible dans la formule, car $ep < D$).

■ Nombre de spires de L_1 :

Appliquons la formule (4) :

$$K_{L1} = \frac{100}{4 + 11 \times (14/82,4)} = 17$$

Avec la formule (3) on a :

$$n_1 = \sqrt{\frac{1077 \times 10^3}{17 \times 82,4}} \approx 28 \text{ spires}$$

(Note : les formules 3 et 4 sont données en page 45 de *Radiofil magazine* n° 51)

■ Nombre de spires de L_2 :

Appliquons la formule (4) :

$$K_{L2} = \frac{100}{4 + 11 \times (7/82,4)} = 20,26$$

Avec (3) on a :

$$n_2 = \sqrt{\frac{322 \times 10^3}{20,26 \times 82,4}} \approx 14 \text{ spires}$$

Calcul des inductances

Données :

- $L_T = 1,9$ mH
- $L_T' = 0,15$ mH
- $M = 0,25$ mH

$$(6) \Rightarrow GO : L_T = L_1 + L_2 + 2M = 1,9 \text{ mH}$$

D'où :

$$1,9 = L_1 + L_2 + 0,5$$

$$L_1 + L_2 = 1,9 - 0,5 = 1,4$$

$$L_1 = 1,4 - L_2$$

$$(7) \Rightarrow PO : L_T' = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 + 2M} = 0,15 \text{ mH}$$

On se trouve devant un système de deux équations à deux inconnues.

Remplaçons L_1 par sa valeur dans la première : $L_1 = (1,4 - L_2)$ et mettons cette valeur dans L_T' :

$$L_T' = \frac{(1,4 - L_2)L_2 - 0,0625}{1,4 - L_2 + L_2 + 0,5} = \frac{1,4L_2 - L_2^2 - 0,0625}{2} = 0,15$$

$$-L_2^2 + 1,4L_2 - 0,0625 - 0,3 = 0$$

Résolution de l'équation du second degré de la forme $ax^2 + bx + c = 0$

$$-L_2^2 + 1,4L_2 - 0,3625 = 0$$

$$\Delta = b^2 - 4ac$$

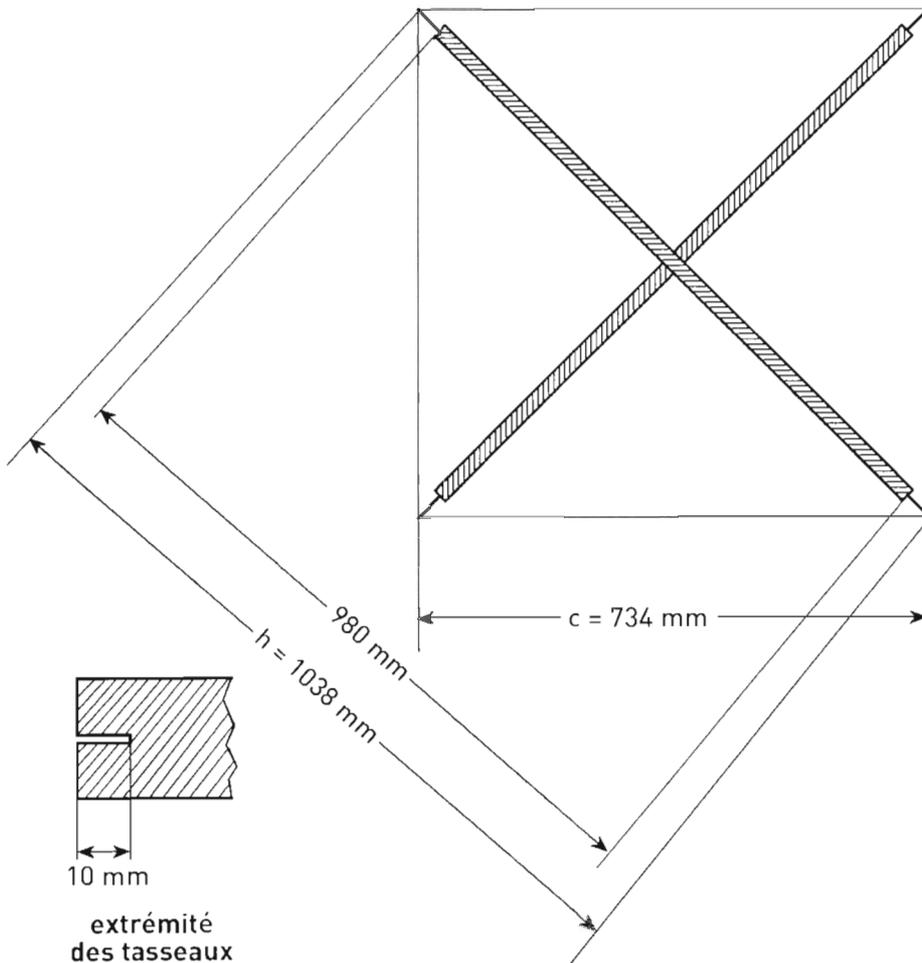
$$\Delta = (1,4)^2 - (4 \times 0,3625) = 0,51 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 0,714$$

$$L = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$$

$$L_2 = \frac{-1,4 + 0,714}{2} = \boxed{0,343 \text{ mH}}$$

$$L_2 = \frac{-1,4 - 0,714}{2} = \boxed{1,057 \text{ mH}}$$

Encadré 2.



g. Confection et mesure des enroulements

Sur le peigne inférieur, quatre petits trous permettent de faire un tour mort pour arrêter le fil au début et à la fin.

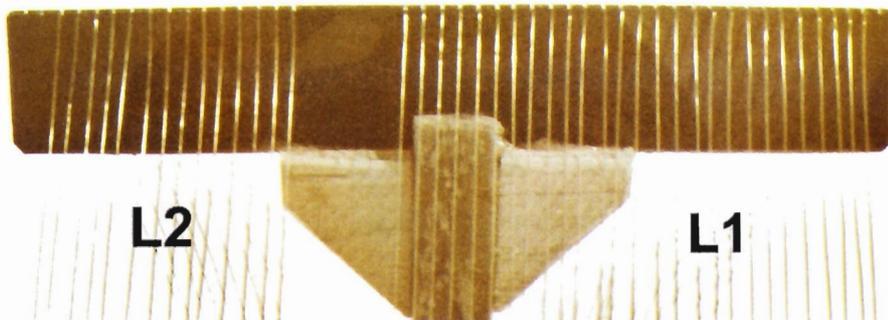
On enroule L_2 en premier lieu et on mesure ensuite sa valeur, comme indiqué ci-dessous. Après cette opération, L_1 est enroulé dans le même sens.

Il faut souligner le fait que la mesure de L_2 est effectuée en premier, avant de bobiner L_1 , car en raison du couplage, chaque mesure individuelle est influencée par l'élément couplé (surtout la mesure de L_2 est influencée par le couplage avec L_1).

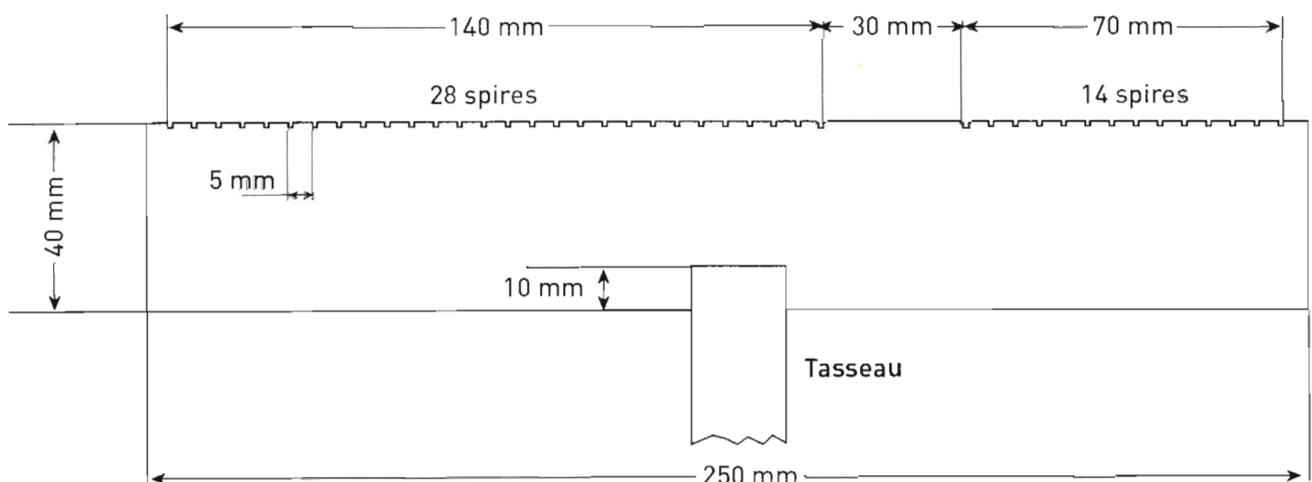
La figure 24 représente le schéma électrique du cadre avec la commutation PO/GO.

Pour chaque inductance, on effectuera ensuite deux essais :

- une mesure de résonance avec condensateur d'accord externe dans la bande correspondante ;
- une mesure de la fréquence de résonance propre pour définir la capacité parasite C_p .



◀ De haut en bas :
Figure 23 a. — Ossature du cadre à air.
Figures 23 b, c. — Détail d'un peigne.



Mesure des selfs au pont d'impédance

a. Mesure de L_2

- capacité d'accord externe $C_{ext} = 39 \text{ pF}$ à $F_a = 1 \text{ MHz}$
- fréquence de résonance propre $F_{rp} = 1,5 \text{ MHz}$

$$\sqrt{L} = \frac{1}{2\pi F_a(39 + C_p)} = \frac{1}{2\pi F_{rp}\sqrt{C_p}}$$

d'où :

$$\begin{aligned} \frac{1}{1 \times \sqrt{39 + C_p}} &= \frac{1}{1,5 \times \sqrt{C_p}} \\ \sqrt{39 + C_p} &= 1,5 \times \sqrt{C_p} \\ 39 + C_p &= 2,25 \times C_p \\ C_p &= 31,2 \text{ pF} \end{aligned}$$

En appliquant (8), la capacité d'accord totale C_T à 1 MHz est égale à :

$$39 \text{ pF} + 31,2 \text{ pF} = 70,2 \text{ pF}$$

ce qui donne :

$$L_2 = \frac{1000}{70,2} \times 4\pi^2 = \boxed{0,360 \text{ mH}}$$

(rappel : valeur calculée = 0,322 mH).

b. Mesure de L_T'

- capacité d'accord externe $C_{ext} = 102 \text{ pF}$ à $F_a = 1 \text{ MHz}$
- fréquence de résonance propre $F_{rp} = 1,65 \text{ MHz}$
- essais réels avec un CV de 500 pF : on obtient un accord de 530 à 1,35 MHz

$$\sqrt{102 + C_p} = 1,65 \times \sqrt{C_p}$$

$$C_p = 102/1,722 = 59,2 \text{ pF}$$

Remarque. — On s'aperçoit que la capacité parasite C_p est supérieure aux prévisions. De ce fait, la couverture de la partie supérieure de la gamme PO est impossible. Pour pallier ce défaut, on pourra prévoir une sous-gamme avec la commutation d'un condensateur ajustable en série avec le condensateur variable.

Donc la capacité d'accord totale C_T à 1 MHz est égale à :

$$102 \text{ pF} + 59,2 \text{ pF} = 161 \text{ pF}$$

ce qui donne :

$$L_T' = 1000/161 \times 4\pi^2 = \boxed{0,157 \text{ mH}}$$

(rappel : valeur calculée = 0,150 mH).

c. Mesure de L_T

- essais réels avec CV = 500 pF : on obtient un accord de $F_{min} = 155 \text{ kHz}$ à $F_{max} = 435 \text{ kHz}$.

La mesure n'est pas possible au pont Boonton.

On procède donc au calcul avec la mesure de résonance. Un générateur HF est faiblement couplé au cadre et l'évaluation de la résonance est donnée par visualisation du signal sur oscilloscope avec sonde 10:1. On peut faire simplement rayonner le générateur sur une petite antenne et capter le signal sur le cadre.

(Ce procédé d'évaluation peut d'ailleurs être employé pour toutes les mesures dans le cas où l'on ne possède pas de pont d'impédance).

Le condensateur variable a les valeurs suivantes : $C_{max} = 500 \text{ pF}$; $C_{min} = 32 \text{ pF}$.

La sonde de l'oscilloscope a une capacité de 10 pF.

La capacité parasite est supposée égale à 25 pF.

On a donc une capacité maximum totale C_{MAX} égale à $(500 \text{ pF} + 10 \text{ pF} + 25 \text{ pF}) = 535 \text{ pF}$;

et une capacité minimum totale C_{MIN} égale à $(32 + 10 \text{ pF} + 25 \text{ pF}) = 67 \text{ pF}$

Calculons L_T avec F_{min} :

$$L_T = \frac{1}{C_{MAX}\omega_{min}^2} = \frac{1000}{535 \times 4\pi^2 \times (0,155)^2} = \boxed{1,97 \text{ mH}}$$

Vérifions avec F_{max} :

$$L_T = \frac{1}{C_{MIN}\omega_{min}^2} = \frac{1000}{67 \times 4\pi^2 \times (0,435)^2} = \boxed{2 \text{ mH}}$$

(rappel : valeur calculée : 1,9 mH)

Conclusion. — Excepté la capacité parasite en PO qui est supérieure aux estimations, les mesures valident les calculs.

Encadré 3.

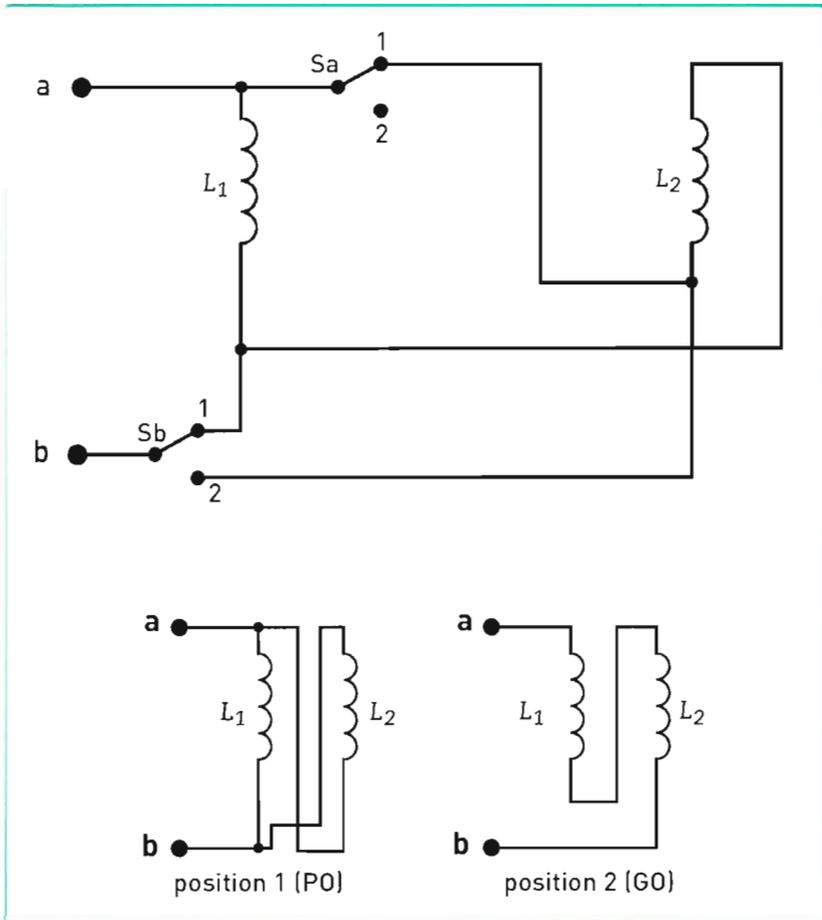


Figure 20. — Schéma électrique du cadre avec la commutation PO/GO

h. Vérification des calculs

Le résultat des mesures avec un pont d'impédance Boonton (Rx meter 250A) est détaillé ci-contre, dans l'encadré 3.

i. Utilisation du cadre

On peut l'employer de différentes manières :

- en le connectant aux prises antenne et terre du poste, à travers un cordon blindé de 50 cm de long ;
- par couplage, le poste lui-même pourvu d'un cadre interne, est disposé à quelques dizaines de centimètres du cadre qui est accordé sur la fréquence à écouter (ou à l'intérieur du cadre, si c'est un poste portatif).

Avec ce dernier procédé de couplage, les résultats sont spectaculaires.

À suivre...

Bibliographie

- *L'Encyclopédie Pratique de la Radio.*
 - *Bulletin de l'AEA n° 103 Lt de Vaisseau G. Malgorn.*
 - *Les bobinages radio* de Hugues Gilloux, Société des Editions Radio 1942.
 - *Apprenez la radio en réalisant des récepteurs* de Marthe Douriau, Editions de la Librairie de la Radio 1957.
 - *Revue Toute la radio n° 129* octobre 1948.
 - *Revue Radio Constructeur*
 - *Revue Radio Plans*
 - *Revue Le Haut-Parleur*
- Remerciements à Serge Logez pour ses conseils techniques et les crédits photo.

Plus d'Antenne!
Plus de Parasites!

avec le
Radiolix 9fr.75
 complet, prêt à placer

EN REMPLAÇANT
 VOTRE ANTENNE PAR

RADIOLIX

VOUS SUPPRIMEREZ
93 p. c. DES PARASITES
 et augmenterez la **PUISSANCE**
 et la **SELECTIVITE** de votre poste.

NOUS REMBOURSERONS
EN CAS DE NON SATISFACTION

BON DE COMMANDE
 Veuillez m'envoyer contre remboursement de 9 fr. 75, un **RADIOLIX** prêt à être placé.

RADIOLIX D.T.

31, Rue Vogler, 31, BRUXELLES