

# Réalisation des selfs pour circuits LC

## Introduction.

On décrit ci-dessous comment réaliser des selfs pour des circuits d'accord LC, circuits qui comprennent donc une self et un condensateur. On s'est focalisé sur la gamme de fréquences FM (88-108 MHz) et VHF Aviation (118-136 MHz). Mais il va de soi que les considérations et les calculs ci-dessous s'appliquent aussi aux fréquences plus basses ou plus élevées, comme par exemple les Ondes Courtes (disons 7 MHz) ou encore la bande des 2 mètres (144 MHz).

On trouve sur le web une quantité impressionnante d'articles de toutes sortes consacrés aux selfs, y compris des développements mathématiques compliqués, des travaux pratiques, des corrigés d'exercices, etc. Le petit texte ci-dessous est un article de plus. Il n'a pas d'autre ambition que d'aider les débutants et débutantes à construire les selfs qui sont requises pour leurs petits montages. Parfois l'idée de construire soi-même une self est quelque peu rébarbative. Pourtant c'est facile et c'est amusant, comme on va le voir.

Ci-dessous, on présente des selfs de 1,5 à 4 spires. Diamètre du fil nu 0,8 mm. Diamètre des spires 10 mm. On voit que lorsque le nombre de spires est entier (ici 2, 3 et 4) les extrémités de la bobine se superposent.



## Point de départ.

Pour construire un circuit LC, il faut bien entendu partir de quelque part, et faire quelques hypothèses et approximations. On va s'y prendre comme ceci.

Pour le condensateur, le plus simple est probablement d'utiliser un condensateur ajustable à diélectrique en plastique de 0-50 pF. On mettra le condensateur en position moyenne, ce qui donne approximativement 25 pF. Ce condensateur permettra de balayer une gamme de fréquence très large, en fonction des besoins. Cette valeur de 25 pF est en fait approximative. Car en effet, dans les petites réalisations DIY, il traîne des pF parasites un peu partout, qui viennent généralement s'ajouter à la valeur du condensateur ajustable. Par exemple, si l'on utilise une détectrice à tube à l'ancienne, on aura une capacité de l'ordre de 5 pF entre l'anode et la grille du tube. Il en va de même pour les

réalisations à transistors qui présentent des petites capacités entre collecteur, base et émetteur. Dans une première approximation, on s'en tient à la valeur moyenne du condensateur ajustable, soit 25 pF.

La self est de type bobiné en l'air. Pour cela on s'aide d'un support cylindrique de diamètre qui peut aller de 5 mm à 10 mm. On peut par exemple utiliser une mèche à forer, un crayon à papier, ou encore un morceau de câble coaxial 50 ou 75 Ohms. On n'a que l'embarras du choix.

Pour le fil, on peut utiliser un fil nu. Dans ce cas, il faut se rappeler que dans certains montages, la self est sous tension. Il faut donc veiller à ce que les spires soient bien séparées et qu'il n'y ait pas de contact avec la masse. On peut utiliser du fil isolé de type bobinage de moteurs électriques. Dans ce cas, il faudra bien dénuder les extrémités du fils avant de les souder ! On peut aussi utiliser du fil isolé en gaine plastique de type fil de câblage. C'est pratique et donne des constructions robustes. Avec les fils isolés, il y a une petite contrainte : le compactage de la bobine est limité par l'épaisseur de la gaine isolante. Il y aura donc toujours à peu près un mm d'espacement entre les spires. On choisira un fil de diamètre (métal) entre 0,5 et 0,8 mm. Cela ne semble pas critique et n'apparaît pas directement dans les formules de calcul de l'inductance.

Remarque. Dans les constructions anciennes, on voit souvent des selfs de diamètre supérieur à 10 mm et du fil de 1,5 ou 2 mm. L'idée poursuivie était de réduire au maximum la résistance ohmique de la bobine. Dans les constructions DIY récentes, on trouve des selfs de 2 ou 3 mm de diamètre avec du fil fin de 0,2 ou 0,3 mm de diamètre. En ce qui nous concerne, on a « standardisé » en utilisant du fil de 0.8 mm sur un support cylindrique de 6 mm. Cela semble donner pleine satisfaction.

### **Le calcul de la self.**

Maintenant se pose la question suivante : combien de spires faut-il pour obtenir la fréquence de résonance que l'on cherche à atteindre. Pour ce calcul, on s'est largement inspiré de l'article « rappel sur la réalisation des bobinages » de Olivier Ernst F5LVG. On notera que les formules qui suivent sont valables dans le système MKSA, c'est-à-dire qu'il faut impérativement exprimer les longueurs en mètre, les capacités en Farads, les inductances en Henry, et les fréquences en Hz.

On va partir de la formule de Nagaoka. Elle permet de calculer l'inductance de solénoïdes à une seule couche à partir du nombre de spires (N), du diamètre (A) et de la longueur de la bobine (B). La formule est bien connue dans le monde des électriciens et électroniciens. C'est une formule établie de manière largement empirique et dont la précision n'est pas exceptionnelle, puisqu'elle est évaluée à 10 %.

$$L = \frac{10^{-7} \pi^2 N^2 A^2}{B + 0.45A}$$

On va combiner cette formule avec la formule de Thomson, archiconnue dans le monde des radio amateurs, et qui permet de calculer la fréquence de résonance des circuits LC à partir de la valeur du condensateur (C) et de la self (L).

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

On arrive à l'expression suivante, qui va nous permettre d'estimer le nombre de spires :

$$N = \sqrt{\frac{10^5 (B + 0.45A)}{4CF^2A^2}}$$

Ici quelques remarques ou réflexions s'imposent.

Pour commencer, la formule va nous donner un nombre réel, avec des décimales... il faut alors arrondir à la valeur entière juste au-dessus ou juste en-dessous ou à la demi-spire. Par exemple, si le résultat du calcul est  $N = 7,37$ , on arrondira à 7 ou 7,5 ou 8 spires.

Ensuite, comme cette formule est dérivée de la formule de Nagaoka, il ne faut pas en attendre une précision meilleure que 10 %. Concrètement, si le résultat du calcul est 7,37, n'importe quelle valeur de  $N$  entre  $7,4 - 0,7 = 6,7$  et  $7,4 + 0,7 = 8,1$  est acceptable ! Heureusement qu'on a prévu un gros condensateur ajustable qui devrait nous tirer d'affaire !

La formule ci-dessus paraît d'une grande simplicité mais elle cache en réalité quelque chose qui tient du paradoxe. En effet, la formule tient compte de la longueur de la bobine ( $B$ ) qui « d'une certaine manière » dépend du nombre de spires que l'on cherche à établir ( $N$ ). En particulier, si l'on veut réaliser une bobine à spires jointives avec du fil de diamètre  $d$ , la longueur de la bobine sera  $Nd$  avec  $N$  qui est inconnu. On se rappellera aussi que l'espacement entre les spires est limité dans les deux sens. On ne peut pas concevoir une bobine qui soit étirée au-delà d'une certaine limite. D'autre part, si les spires sont trop compactées, elles vont se superposer et la formule de Nagaoka, qui est établie pour les solénoïdes à en seule couche, n'est plus vraiment valable. Donc  $B$  est borné vers le haut et vers le bas.

On peut d'une certaine manière contourner la difficulté. On estime souvent que les meilleures bobines sont celles qui ont un rapport longueur / diamètre proche de l'unité, soit  $B = A$ . On peut donc faire le calcul en remplaçant  $B + 0,45 A$  par  $1,45 A$ . D'un autre côté, on sait par expérience, que dans le domaine FM et VHF qui nous concerne, le nombre de spires est très petit. En fait il est compris entre 1 et 6. On peut considérer que  $B = 0,5 A$ , et le numérateur devient alors  $0,5 A + 0,45 A = 0,95 A$ . On a pris cette option dans les calculs ci-dessous.

#### Calcul de $N$ pour la FM.

$$N = \sqrt{\frac{10^5 * 0,95A}{4CF^2A^2}} = \sqrt{\frac{10^8 * 7,125}{4 * 25 * 98 * 98 * 7,5 * 7,5}} = 3,63$$

Arrondi à 3,5 spires.

#### Calcul de $N$ pour la VHF.

$$N = \sqrt{\frac{10^5 * 0,95A}{4CF^2A^2}} = \sqrt{\frac{10^8 * 7,125}{4 * 25 * 128 * 128 * 7,5 * 7,5}} = 2,78$$

Arrondi à 2,5 spires.

Ces valeurs théoriques sont en accord avec l'expérience. En pratique, pour les récepteurs FM munis d'un condensateur ajustable de 50 pF maximum, on peut utiliser une bobine de 3 ou 3,5 ou 4 spires. Pour un récepteur VHF, également muni d'un condensateur ajustable de 50 pF, une bobine de 1,5 ou 2,0 ou 2,5 spires convient.

#### Références.

- Rappel sur la réalisation des bobinages de Olivier Ernst F5LVG
- Réalisez et calculez vos selfs sur <http://www.tsf-radio.org/>

### Annexe. Propagation des erreurs relatives dans les formules de Nagaoka et de Thomson.

Lorsqu'on évalue une grandeur (G) à partir de mesures expérimentales indépendantes (M), il est parfois intéressant d'estimer les erreurs absolues ou relatives qui résultent de ces mesures. On appelle cela « la propagation des erreurs absolues ou relatives ». Ceci réserve parfois des surprises assez désagréables ! On va essayer d'estimer ces erreurs pour les 3 formules que l'on a utilisées.

Pour cela, on va considérer une bobine de 5 spires, de longueur et de diamètre 10 mm que l'on mesure au 0,1 mm et un condensateur avec une précision de 10 %. On va imaginer que l'on peut estimer 0,1 spire !

On a donc, pour  $N = 5$ ,  $\Delta N = 0,1$ ,  $A = B = 10\text{mm}$ ,  $\Delta A = \Delta B = 0,1\text{mm}$  et  $\Delta C = 0,10$

$$\frac{\Delta L}{L} = 2 \frac{\Delta N}{N} + 2 \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B + 0,5 * \Delta A}{B + 0,5A} = \frac{0,2}{5} + \frac{0,2}{10} + \frac{0,15}{15} = 0,07$$

$$\frac{\Delta F}{F} = 0,5 * \left( \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta C}{C} \right) = 0,5 (0,1 + 0,1) = 0,10$$

$$\frac{\Delta N}{N} = 0,5 * \left( \frac{\Delta B + 0,5 * \Delta A}{B + 0,5A} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta F}{F} + 2 \frac{\Delta A}{A} \right) = 0,5 * \left( \frac{0,15}{15} + 0,10 + 0 + \frac{0,20}{10} \right) = 0,07$$

On voit que les erreurs relatives sont plutôt importantes, pour ce genre de petite bobine. Et il ne faut pas oublier que la formule de Nakagoa est une formule approchée qui donne des résultats valables à 10 % près.

Rédigé par LLC 01.05.2025