



THEORIE

Cours de radio par correspondance

CIRCUIT OSCILLANTS COUPLES.

Dans une leçon précédente, nous avons examiné les circuits oscillants simples, c'est-à-dire ceux formés par une self, une capacité et une résistance, et nous avons vu de quelle façon variaient les impédances en fonction de la fréquence.

Il est maintenant nécessaire d'étudier ce qui se passe dans un circuit oscillant lorsqu'il se trouve raccordé, ou couplé à un autre circuit.

Nous examinerons ce qui nous intéresse le plus, en mettant en relief les applications pratiques de tels circuits.

1- COEFFICIENT DE COUPLAGE.

Lorsqu'on parle de transformateurs, soit du type alimentation soit du type adaptateur d'impédance, on suppose en général que tout le flux magnétique

produit par les spires primaires traverse les spires secondaires, c'est-à-dire, que chaque ligne de force produite par la bobine primaire passe à travers toutes les spires de la bobine secondaire.

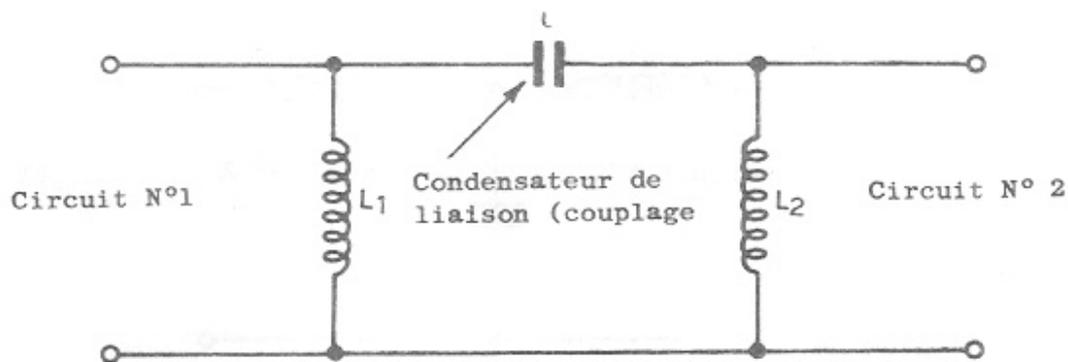
En réalité, cela n'est pas exact mais, pour les transformateurs avec noyau de fer complètement fermé, on peut négliger les pertes de flux parce qu'elles n'ont pas une influence appréciable sur le fonctionnement.

On dit que ces transformateurs sont à COUPLAGE TRES SERRE. Pour indiquer l'effet de couplage de ces bobines et faire les comparaisons nécessaires avec d'autres, indépendamment de leurs dimensions, on utilise un coefficient, dit "COEFFICIENT DE COUPLAGE", et représenté par la lettre K.

Il peut varier de "zéro" à "un" comme maximum. Lorsqu'il est nul, cela signifie que les deux bobines du transformateur considéré sont séparées et placées suffisamment loin l'une de l'autre pour qu'il n'existe plus aucun effet d'induction mutuelle entre elles.

Lorsqu'il est égal à "1", cela signifie que les bobines sont très voisines, de sorte que tout le flux produit par la première passe dans la deuxième.

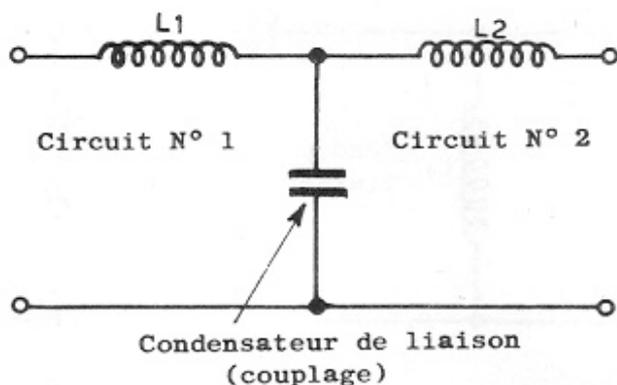
Dans les transformateurs "B.F.", le couplage est serré: "K" est égal à "1".



-Fig. 1 -

Dans les transformateurs "H.F", au contraire, les bobines n'ont presque jamais leurs noyaux complètement fermés, et le coefficient de couplage "K" dépasse difficilement "0,5".

Ce coefficient est calculé par des formules particulières, qui lient la valeur de l'induction mutuelle à la valeur des inductances de chaque bobine.



- Fig. 2 -

Il est possible de coupler deux circuits en employant, au lieu de l'effet inductif, l'effet capacitif.

Dans la Fig. 1-, on a un circuit dans lequel les bobines et les circuits correspondants sont couplés au moyen du condensateur "C"; le couplage sera d'autant plus serré que l'impédance du condensateur sera plus faible.

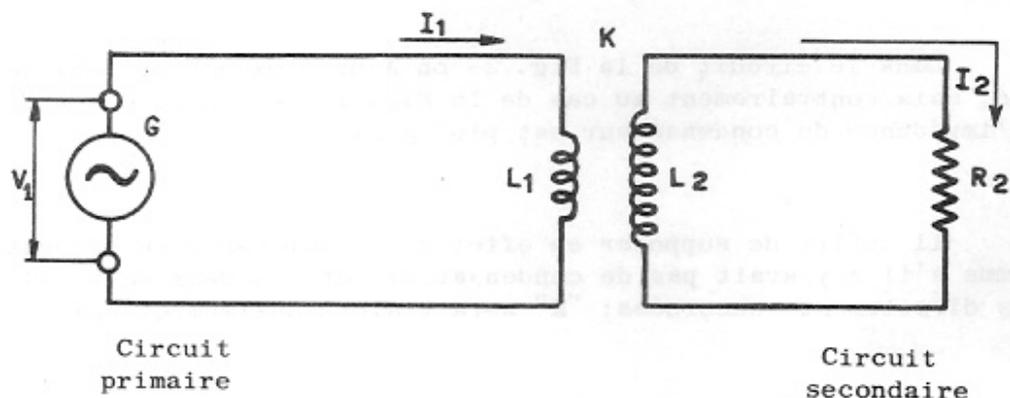
Si l'impédance devient nulle (condensateur de forte valeur, pratiquement en court-circuit), le couplage sera égal à "1".

Dans le circuit de la Fig. 2- on a un deuxième système de couplage par capacité, mais contrairement au cas de la Fig. 1- le couplage est d'autant plus serré que l'impédance du condensateur est plus grande.

Il suffit de supposer en effet que l'impédance du condensateur est infinie (comme s'il n'y avait pas de condensateur) et les deux bobines se trouveraient alors directement raccordées: "K" serait alors maximum et égal à "1".

Pour ces circuits comme pour tous les systèmes de couplage, il existe des formules appropriées au calcul du coefficient "K".

Examinons maintenant quelques types de circuits couplés qui représentent un intérêt particulier: leur étude nous permettra une compréhension plus facile du fonctionnement des récepteurs.



- Fig. 3 -

2- CIRCUITS COUPLES, SECONDAIRE NON ACCORDE, CHARGE RESISTIVE.

La Fig. 3- représente ce type de circuit.

Un générateur "G", qui peut être un alternateur ou un tube, crée une tension alternative à fréquence variable.

Si le coefficient "K" est voisin de "1", ce schéma peut représenter un transformateur de liaison ou un transformateur quelconque de type déjà connu.

Si le coefficient "K" est de faible valeur (inférieur à 0,5) le schéma peut représenter un transformateur "H.F.", comme était, par exemple, la bobine avec 3 enroulements placée à l'entrée des récepteurs radio construits dans les leçons pratiques (mais supprimant le condensateur variable).

Dans cet exemple, le générateur est constitué par l'antenne qui reçoit les ondes électro-magnétiques, et R_2 est la résistance de la grille (si elle existe) du tube amplificateur.

Le courant dans le circuit primaire dépend de la tension V_1 et de l'impédance totale du circuit primaire plus celle du secondaire ramené au primaire.

Si le couplage est maximum, le circuit se comporte, comme le transformateur de liaison déjà étudié. Si le couplage est lâche, c'est-à-dire insuffisant, l'effet du secondaire sera plus faible et l'impédance secondaire ramenée au primaire sera alors moins grande.

Si le couplage est nul, l'effet du secondaire est nul et le courant primaire dans ce cas ne dépend que de l'impédance primaire.

Egalement dans le secondaire, le courant " I_2 " dépend du couplage et varie de zéro (bobine non couplée) jusqu'à un maximum lorsque le couplage est le plus serré.

Les courants " I_1 et I_2 " dépendent en outre de la fréquence de la tension " V_1 " appliquée.

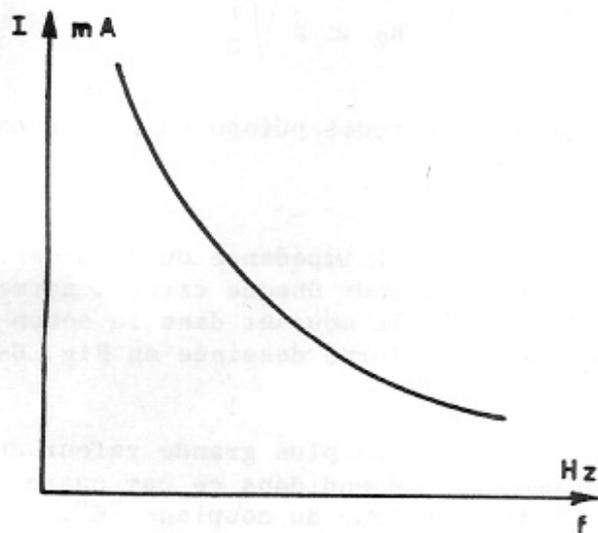
Si on trace le diagramme représentant la variation de ces deux courants en fonction de la fréquence de la tension " V_1 ", on obtient une courbe semblable à celle de la Fig. 4-.

3- CIRCUITS COUPLES, SECONDAIRE ACCORDE

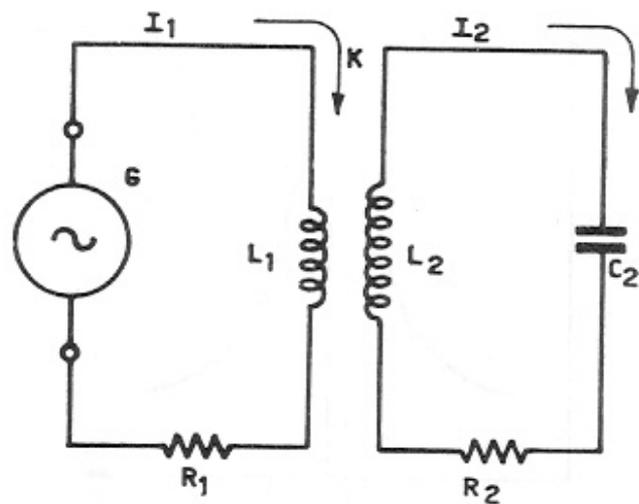
Dans ce circuit, schématisé à la Fig. 5-, le primaire pourrait, par exemple, être en série avec la plaque d'un tube, et le secondaire sur la grille du tube suivant.

Le raisonnement tenu précédemment au sujet du couplage reste ici parfaitement valable.

L'on doit se rappeler que, dans le cas du circuit secondaire, possédant



- Fig. 4 -



Circuit primaire

Circuit secondaire

- Fig. 5 -

une inductance "L" un condensateur "C" et une résistance "R₂", "R₂" doit être très petit devant "L" et "C",

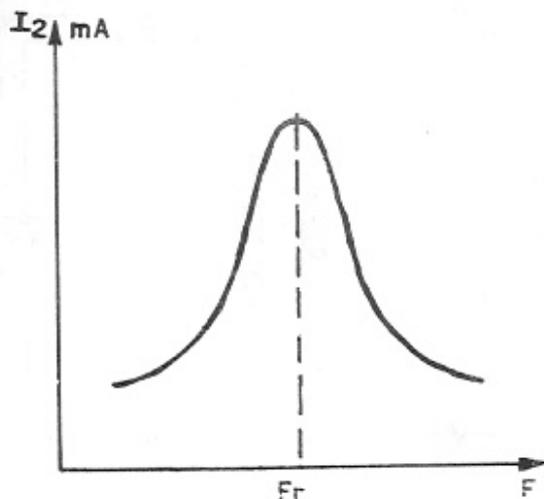
$$R_2 < 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

pour que le circuit puisse entrer en oscillation.

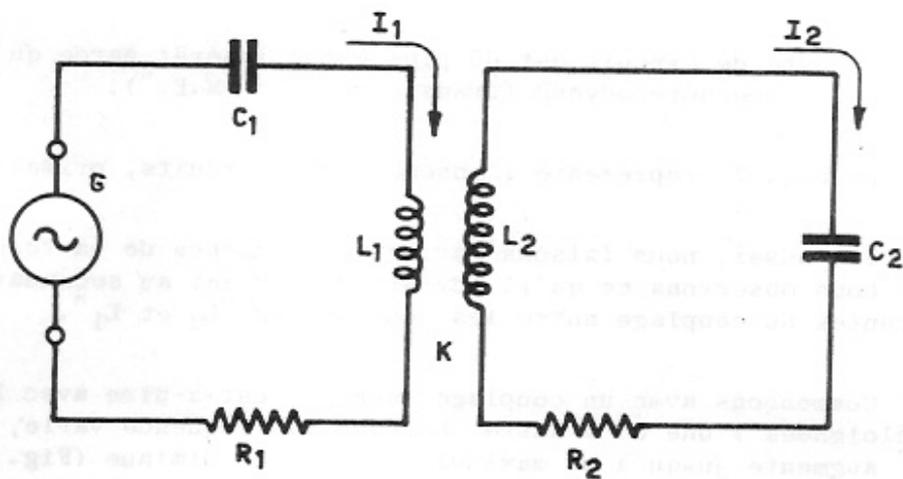
L'impédance du secondaire variera comme pour chaque circuit normal et par suite, le courant dans le secondaire aura la forme dessinée en Fig. 6-.

La plus grande valeur du courant "I₂" dépend dans ce cas outre "R₂", de la valeur du couplage "K".

Plus serré est le couplage plus grand sera le courant dans le circuit secondaire.



- Fig. 6 -



$$L_1 = L_2$$

$$C_1 = C_2$$

$$R_1 = R_2$$

- Fig. 7 -

4- CIRCUITS COUPLES, PRIMAIRE ET SECONDAIRE
ACCORDES SUR LA MEME FREQUENCE

Ce type de circuit est du plus grand intérêt parce qu'il est employé dans les récepteurs superhétérodynes (transformateurs "M.F.").

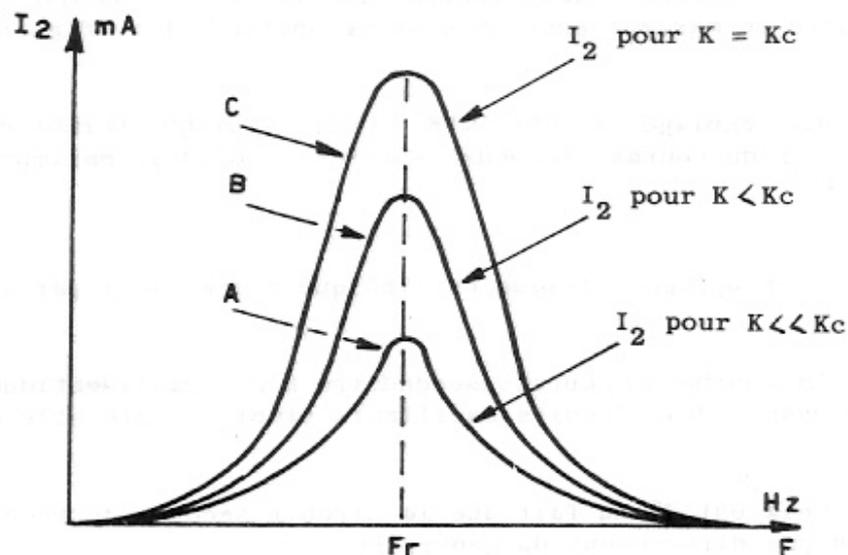
La Fig. 7- représente l'ensemble des circuits, primaire et secondaire.

Ici aussi, nous faisons varier la fréquence de la tension appliquée au primaire et nous observons ce qu'il advient du courant au secondaire, pour des valeurs différentes du couplage entre les inductances " L_2 et L_1 ".

Commençons avec un couplage lâche, c'est-à-dire avec les bobines suffisamment éloignées l'une de l'autre. Lorsque la fréquence varie, le courant dans le secondaire augmente jusqu'à un maximum, puis après diminue (Fig. 8- courbe "A").

On aura résonance de l'ensemble des circuits, à la fréquence pour laquelle ils ont été réglés séparément.

Si par exemple, chaque circuit pour son propre compte résonne sur 1 M Hz, on aura la résonance de 1 MHz.



F_r = Fréquence de résonance

$K < K_c$ = Veut dire que K est plus petit que K critique

$K \ll \ll K_c$ = K bien plus petit que K critique

K_c = Coefficient de couplage critique

- Fig. 8 -

Si maintenant nous répétons la même opération en approchant toujours de plus en plus les bobines, nous verrons que la valeur maximum de " I_2 " augmente jusqu'à atteindre un maximum pour un couplage particulier (Fig. 8- courbe "C").

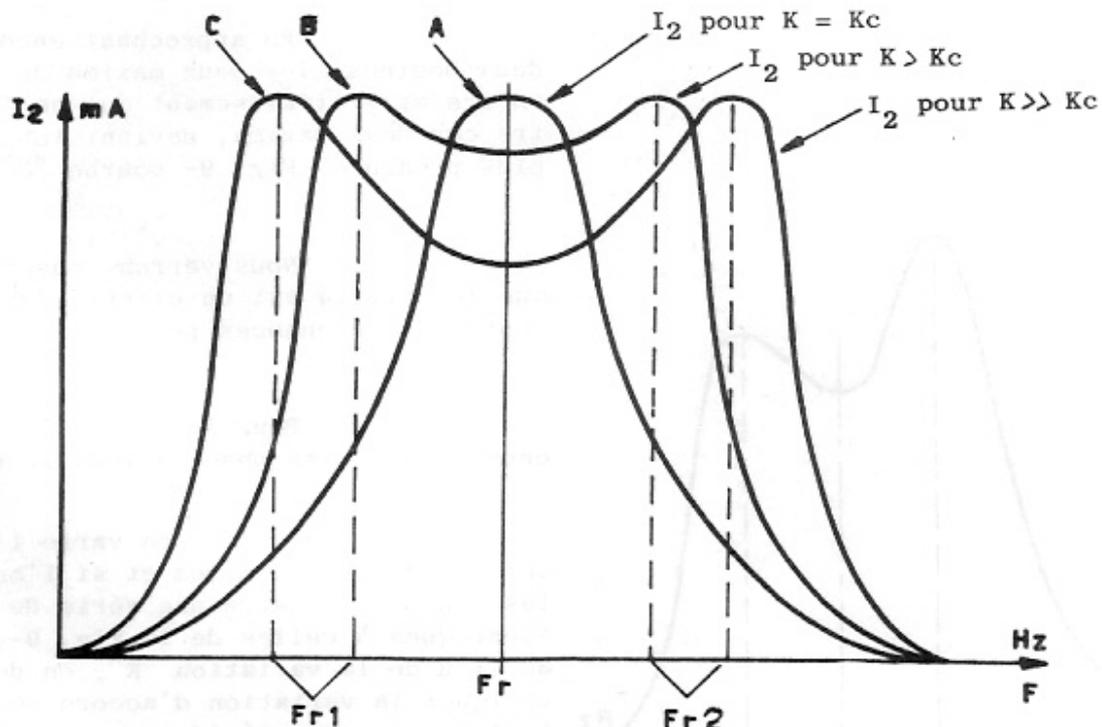
Ce couplage dit CRITIQUE est celui qui permet d'avoir le maximum absolu des valeurs du courant secondaire (c'est-à-dire le maximum des valeurs maxima de " I_2 ").

Le couplage critique est indiqué normalement par le symbole " K_C ".

La courbe du courant secondaire n'est pas identique aux courbes normales de résonance des circuits oscillants simples, mais elle est plus aplatie.

Cela est dû au fait que le circuit secondaire reçoit l'énergie du primaire et non pas directement du générateur.

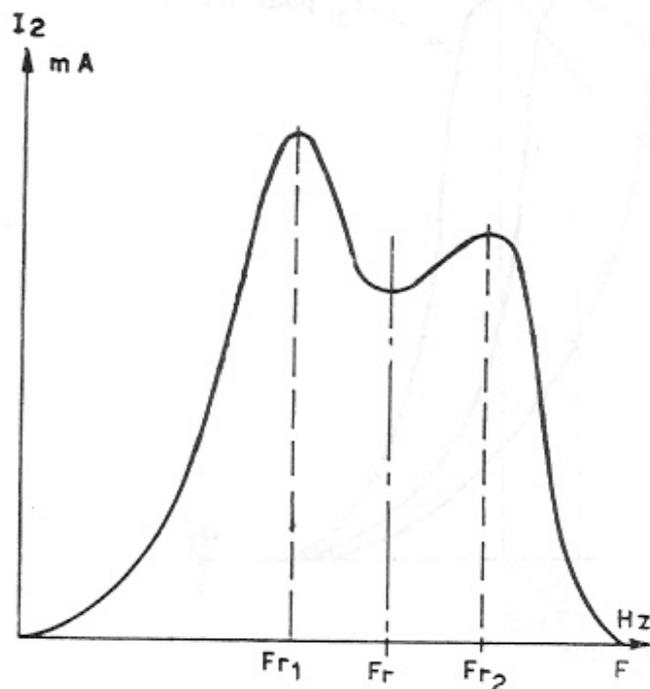
Si l'on augmente le couplage au delà de sa valeur critique et, si l'on fait varier la fréquence de " V_1 ", on peut observer que la fréquence de résonance n'est plus unique mais qu'elle se dédouble et l'on obtient alors une courbe comme celle dessinée à la Fig. 9- (courbe "B").



$K > K_c$ K plus grand que K critique

$K \gg K_c$ K bien plus grand que K_c

- Fig. 9 -



- Fig. 10 -

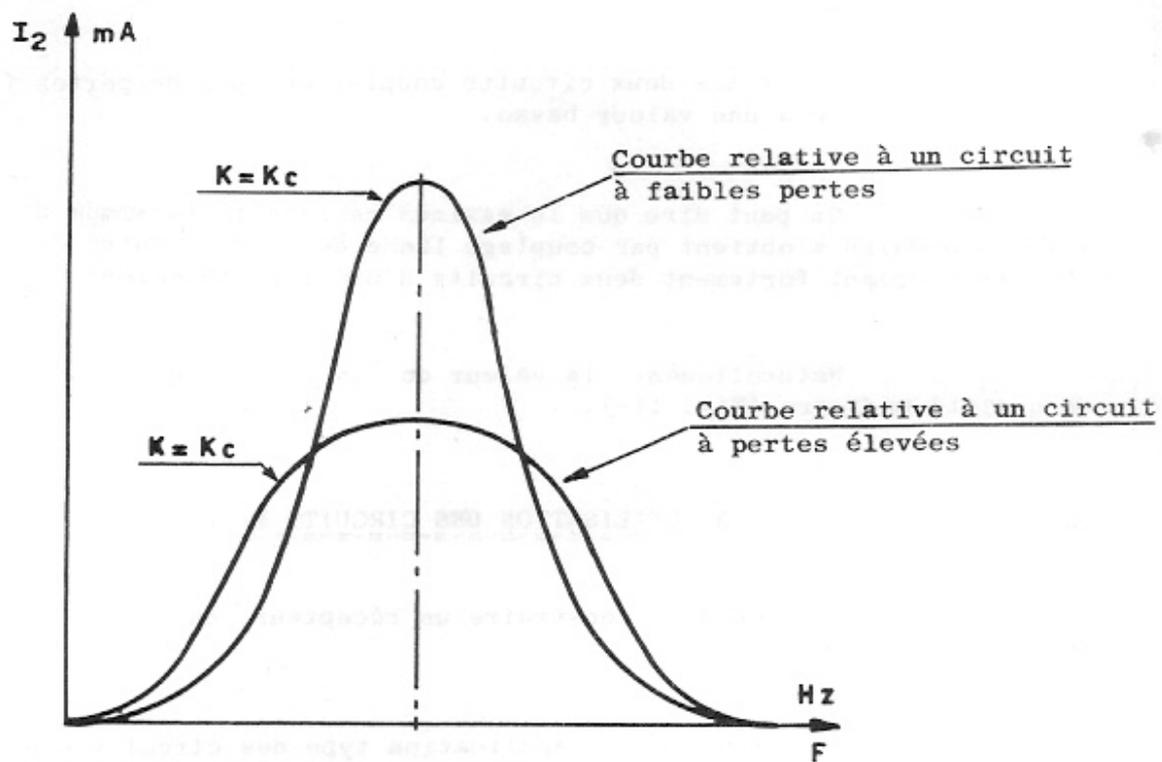
En approchant encore les deux bobines, les deux maxima se déplacent encore et l'affaissement qui se forme entre ces deux maxima, devient toujours plus prononcé (Fig. 9- courbe "C").

Nous verrons ensuite de quelle utilité est un circuit qui présente ces résonances particulières.

Pour le moment on peut encore faire les observations suivantes:

1- Si l'on varie l'accord entre certaines limites et si l'on retrace les courbes, on aura une série de courbes identiques à celles de la Fig. 9-, où, au lieu de la variation "K", on devra indiquer la variation d'accord relative à chaque courbe précédemment tracée.

2- Si les deux circuits n'ont pas les mêmes pertes, lorsqu'on



- Fig. 11 -

opère comme indiqué dans l'observation précédente, on obtient des courbes non symétriques (Fig. 10-).

3- Si les deux circuits couplés ont peu de pertes (ξ élevé) le couplage critique a une valeur basse.

On peut dire que le "maximum maximorum" (maximum des maxima) du courant secondaire s'obtient par couplage lâche de deux circuits de bonne qualité, ou bien en couplant fortement deux circuits d'une qualité moindre.

Naturellement, la valeur de " I_2 " sera plus faible dans les circuits de qualité médiocre (Fig. 11-).

5- UTILISATION DES CIRCUITS ETUDIÉS

Si l'on doit construire un récepteur, on peut monter le circuit représenté en Fig. 12-.

Ce circuit est l'application type des circuits couplés avec seulement le secondaire accordé.

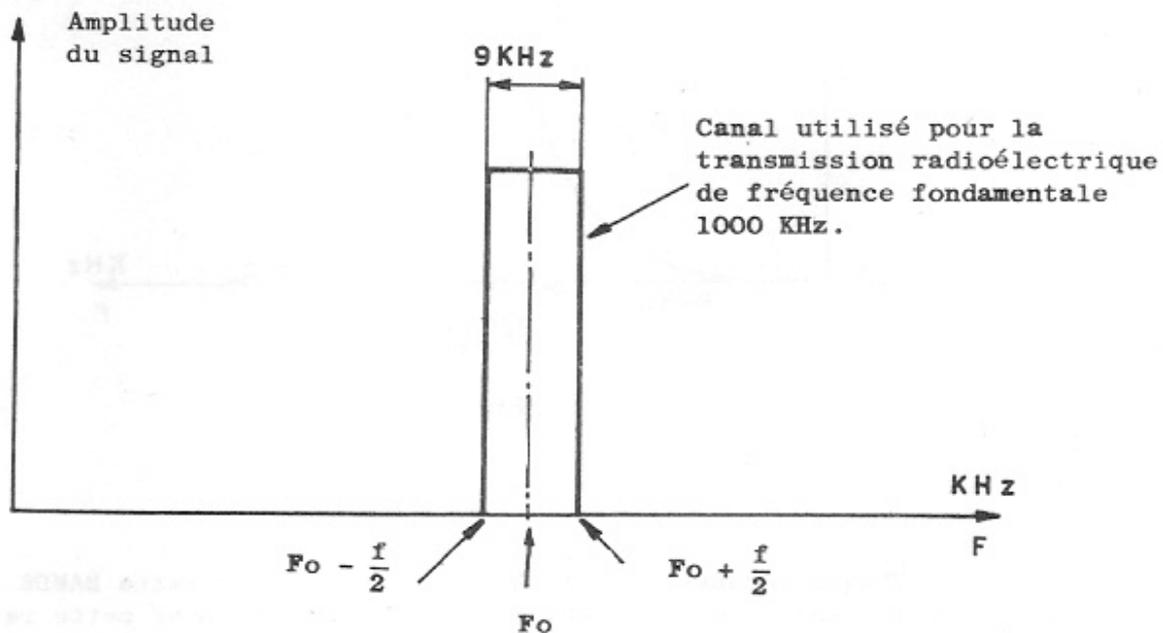
Les trois premiers étages sont amplificateurs sélectifs (voir la courbe de la Fig. 6-) Il est donc clair que, seulement lorsque les trois étages seront accordés sur la même fréquence, l'on aura la meilleure réception, soit en intensité (maximum d'intensité des courants secondaires et par conséquent plus grande tension sur chaque grille), soit comme sélectivité sur le récepteur, chaque étage laissant passer la seule fréquence sur laquelle il est accordé.

Il est nécessaire ici de préciser un point: le signal à l'entrée du récepteur n'est composé d'une fréquence simple que dans le cas où il n'y a pas de modulation à fréquence acoustique.

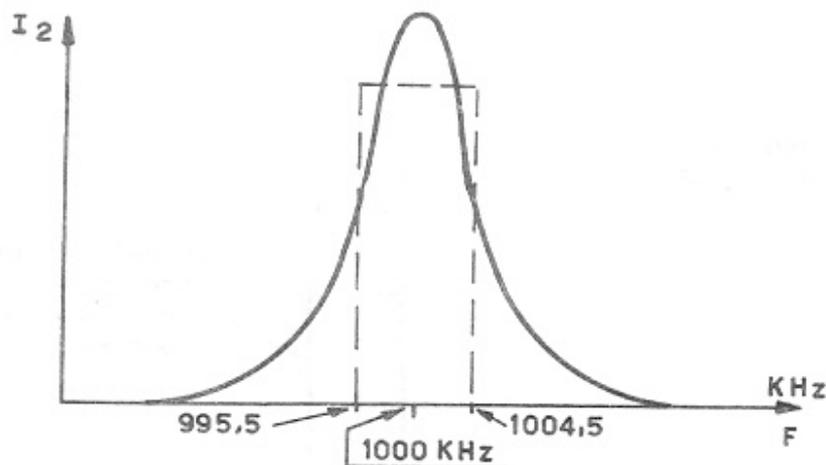
Lorsqu'au contraire, le signal est modulé, il est accompagné d'un ensemble de fréquences qui sont: fréquence fondamentale + fréquence de modulation, et fréquence fondamentale - fréquence de modulation; la fréquence fondamentale est dite PORTEUSE.

Cet ensemble constitue l'onde transmise et la différence entre la fréquence la plus haute et la plus basse détermine le canal qui limite la bande de transmission.

Pour vous donner un exemple, je vous dirai que dans le champ des ondes moyennes, chaque station occupe un canal de 9 KHz ($F_0 + 4,5$ KHz et $F_0 - 4,5$ KHz) autour de la fréquence fondamentale " F_0 " (Fig. 13-).

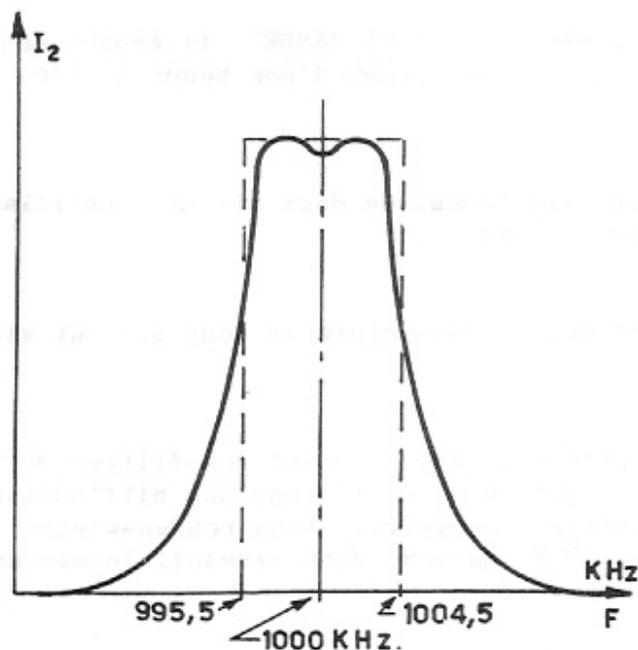


- Fig. 13 -



- Fig. 14 -

Chaque récepteur doit alors laisser passer cette **BANDE DE FREQUENCES** qui représente le canal: les circuits résonnants devront pour cette raison être construits de façon à permettre le passage complet des fréquences du canal désiré et s'opposer au passage des autres.



- Fig. 15 -

Cela n'est pas facile à obtenir et l'on essaiera donc de s'en approcher le plus possible. La Fig. 14- montre comment se présente la courbe de résonance d'un circuit par rapport aux fréquences qui déterminent le canal.

Il est évident qu'il serait désirable, pour recevoir avec la même intensité les signaux de toutes les fréquences, que la courbe de résonance soit rectangulaire.

Puisqu'il n'est pas possible d'avoir une telle forme sur un circuit résonnant simple, on a pensé utiliser un système de circuits couplés et accordés.

Dans la Fig. 15- vous pouvez observer que la courbe de résonance de ces circuits couplés, est

nettement plus adaptée à sélectionner la bande de fréquences qui nous intéresse.

Ce circuit est communément nommé "FILTRE DE BANDE": il trouve une application chaque fois que l'on désire la sélection soignée d'une bande de fréquences déterminée.

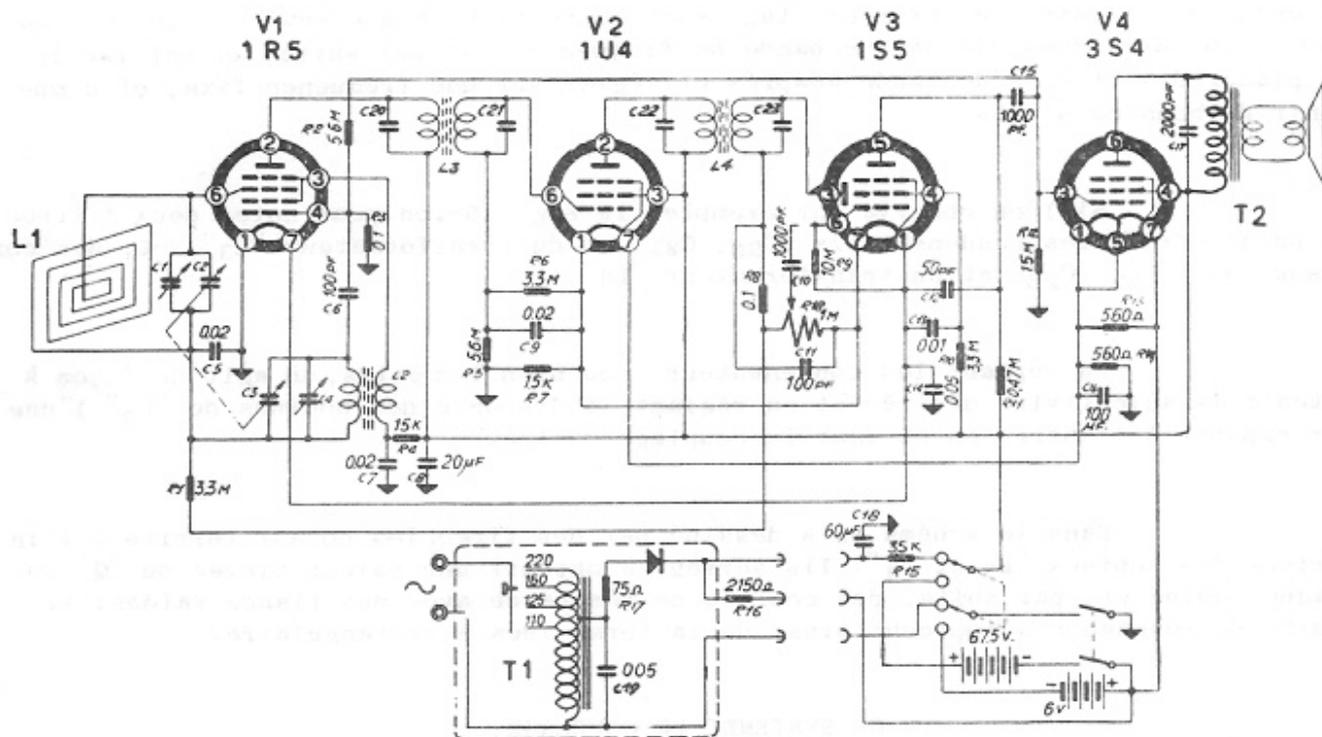
On se rappellera qu'il s'agit simplement de deux circuits oscillants avec couplage à peine supérieur au couplage critique.

Si l'on désire élargir la bande, on augmentera le couplage, et vice-versa.

Mais on doit tout de suite préciser, que l'emploi des filtres de bande, bien qu'avantageux par ses résultats, présente en pratique des difficultés notables non négligeables, car il est nécessaire d'employer deux condensateurs variables pour chaque filtre; le nombre des "C V" devient donc excessif lorsqu'on utilise deux ou trois étages.

On préfère les circuits couplés et accordés uniquement dans le cas où l'on doit amplifier une seule bande de fréquences.

C'est ce qui existe avec les récepteurs à changement de fréquence,



- Fig. 16 -

c'est-à-dire avec les superhétérodynes. Dans ces types de récepteurs, toutes les fréquences à l'entrée du premier étage sont converties en une seule fréquence (ou pour mieux dire dans une unique bande de fréquences) et par suite, il est facile de placer des filtres de bande adaptés et réglés sur une fréquence fixe, et d'obtenir de bons résultats.

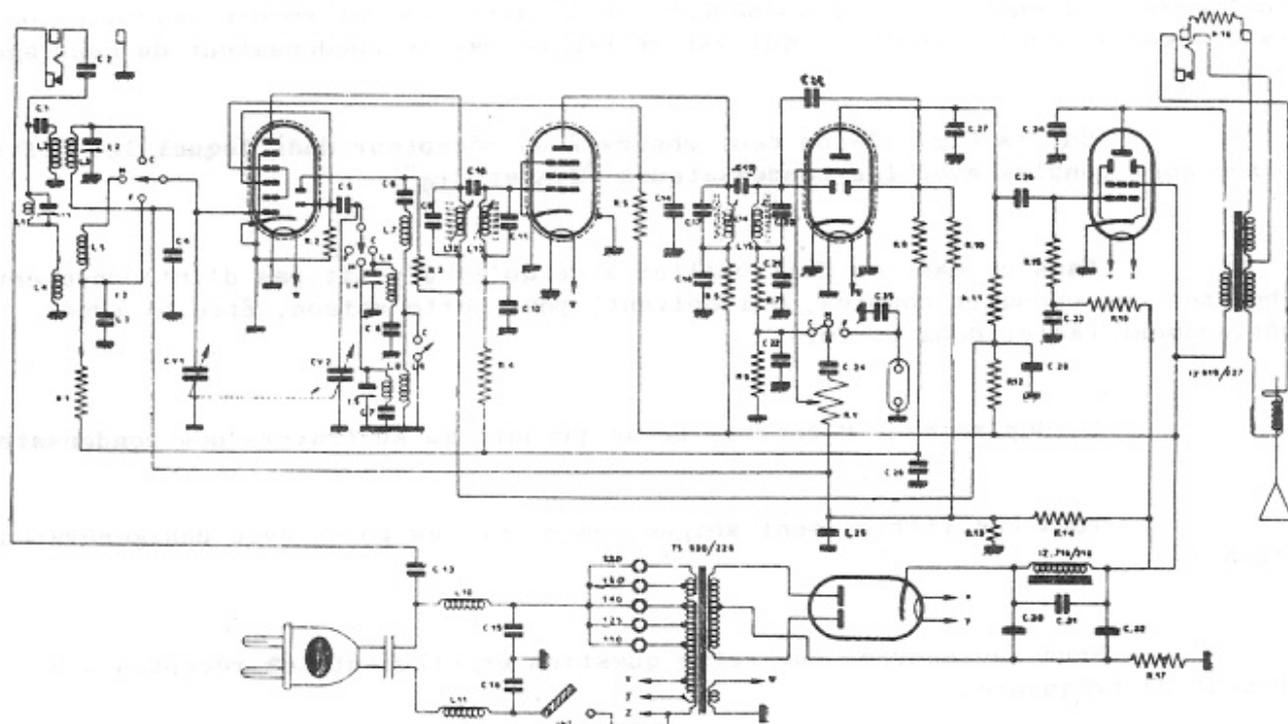
Si l'on observe par exemple, la Fig. 16-, on peut noter deux filtres de bande formés des condensateurs "C₂₀, C₂₁" et du transformateur "L₃", et, des condensateurs "C₂₂, C₂₃" et du transformateur "L₄".

En réglant les condensateurs, ou bien les selfs, on agit de façon à obtenir la sélectivité désirée et en réglant la distance des bobines de "L₃" l'une par rapport à l'autre, on obtient le couplage désiré.

Dans le schéma on a dessiné par des tirets les noyaux ferrite à l'intérieur des bobines "L₃ et L₄". Ils servent à obtenir une valeur élevée du "Q" sur chaque bobine et, par suite, des courbes de résonance avec des flancs raides: la courbe de résonance s'approche ainsi de la forme idéale rectangulaire.

6- SYSTEMES DE COUPLAGE.

Dans les circuits étudiés au cours de cette leçon on a seulement parlé de couplage par moyens électro-magnétiques.



- Fig. 17 -

Comme on l'a déjà dit, on peut faire des couplages capacitifs entre les différents circuits. Les raisonnements déjà faits restent encore valables: on devra évaluer le coefficient "K" qui est déterminé par le condensateur du couplage.

Sur la Fig. 17- on peut observer un récepteur dans lequel les filtres de bande sont couplés avec les condensateurs "C₁₀ et C₁₉".

Dans ce cas, on doit veiller à ce qu'il n'y ait pas d'influence entre les bobines des circuits couplés, qui doivent, pour cette raison, être blindées magnétiquement (acier doux ou fer).

Le déplacement d'énergie ne se produit qu'au travers des condensateurs.

Tous ces filtres sont soigneusement mis au point avec des générateurs de signaux.

Nous reviendrons sur cette question en étudiant les récepteurs à changement de fréquence.

=====

REPONSES AUX EXERCICES DE REVISION SUR LE 27ème THEORIQUE

- 1- Oui. On peut tracer des courbes différentes en faisant varier successivement toutes les tensions appliquées au tube analysé et en considérant le fonctionnement propre du tube.
- 2- On peut calculer des courbes caractéristiques.
- 3- Non, il est en équilibre pour le courant alternatif. Les tensions continues servent seulement à maintenir le tube dans les conditions normales de fonctionnement.
- 4- La microphonicité se manifeste à la suite de coups ou par des vibrations; le ronflement ne dépend au contraire que du tube et se manifeste même si le tube est placé dans les meilleures conditions de travail.
- 5- "10 μ A" pour les tubes de puissance, et inférieur à "10 μ A" pour les autres tubes.
- 6- Pour faire en sorte que l'aiguille de l'instrument se trouve toujours dans la même position, lorsqu'on essaie des tubes de type différent. L'aiguille ne devra se déplacer que dans le cas où le tube qui est en essai est mauvais.

=====

EXERCICE DE REVISION SUR LE 28 ème THEORIQUE

- 1- Qu'est-ce que signifie couplage lâche?
- 2- Qu'est-ce que le coefficient de couplage?
- 3- Si deux bobines "A" ont un couplage égal à "0,4" et deux autres bobines "B" un couplage égal à "0,15", quelles seront les bobines couplées le plus serré.
- 4- Qu'est-ce que le couplage critique?
- 5- Quand a-t-on les deux maxima dans le secondaire de 2 circuits oscillants couplés?
- 6- Si l'on diminue le couplage de 2 circuits oscillants couplés au-dessous du couplage critique, a-t-on encore le phénomène de la double résonance?
- 7- Qu'est-ce que la porteuse?
- 8- Qu'est-ce qu'un canal de transmission?
- 9- Qu'est-ce qu'une bande de fréquences?
- 10- Qu'est-ce qu'un filtre de bande?

=====