



THEORIE

Cours de radio par correspondance

Dans cette leçon, après avoir examiné le phénomène des battements, nous commencerons l'analyse du récepteur superhétérodyne.

Nous utiliserons l'enseignement des leçons passées pour en rassembler les idées générales.

Le récepteur superhétérodyne représente en effet grâce à la technique moderne le type d'appareil le meilleur, soit du point de vue de la sensibilité, soit de la sélectivité; c'est actuellement le modèle le plus répandu.

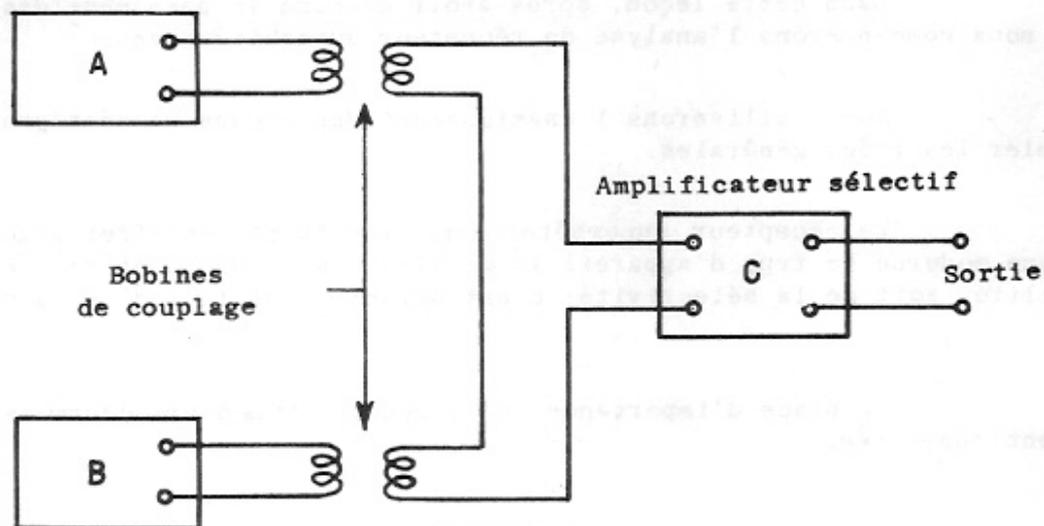
La place d'importance qu'il occupe dans notre cours est donc entièrement justifiée.

1 - BATTEMENTS

Observons la Fig. 1.- Le générateur "A" produit une tension sinusoïdale que nous supposons de fréquence 100 KHz.

Le générateur "B" produit de son côté une tension sinusoïdale

Générateur à fréquence fixe F_A



Générateur à fréquence fixe F_B

- Fig. 1 -

de fréquence 90 KHz.

Grâce aux bobines de couplage, ces tensions sont envoyées à l'entrée d'un amplificateur sélectif "C" qui peut amplifier une fréquence déterminée.

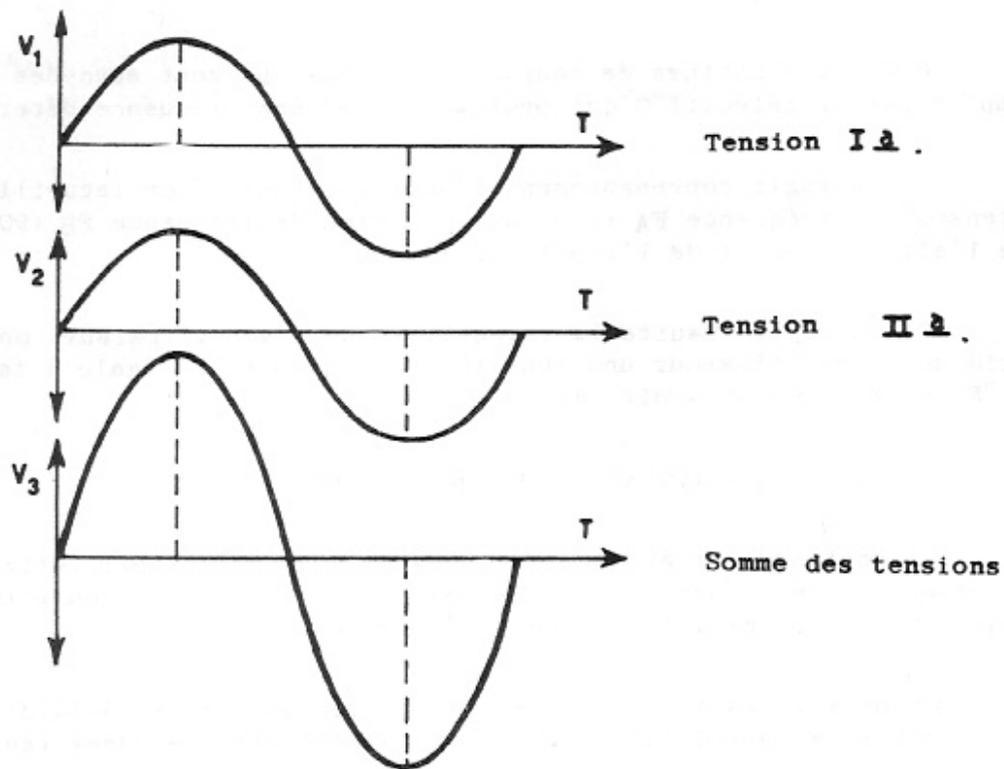
Si on règle convenablement l'amplificateur "C", on recueille à la sortie une tension de fréquence F_A (100 KHz), ou bien de fréquence F_B (90 KHz) par suite de l'effet sélectif de l'amplificateur.

Si on règle ensuite la sélectivité de l'amplificateur, on observe à la sortie de l'amplificateur une tension de fréquence "F" égale à la différence entre " F_A et F_B ", c'est-à-dire que :

$$F = F_A - F_B = 100 \text{ KHz} - 90 \text{ KHz} = 10 \text{ KHz.}$$

Il peut sembler étonnant au premier abord d'obtenir cette fréquence, mais ce phénomène apparaît toujours dans les circuits où l'on a introduit simultanément 2 tensions à fréquences différentes.

On dira alors que cette tension à fréquence égale à la différence des deux fréquences principales, provient du BATTEMENT des deux tensions principales.



- Fig. 2 -

Ce battement s'explique par le fait que la tension totale appliquée à la grille de l'amplificateur est à chaque instant égale à la somme des deux tensions.

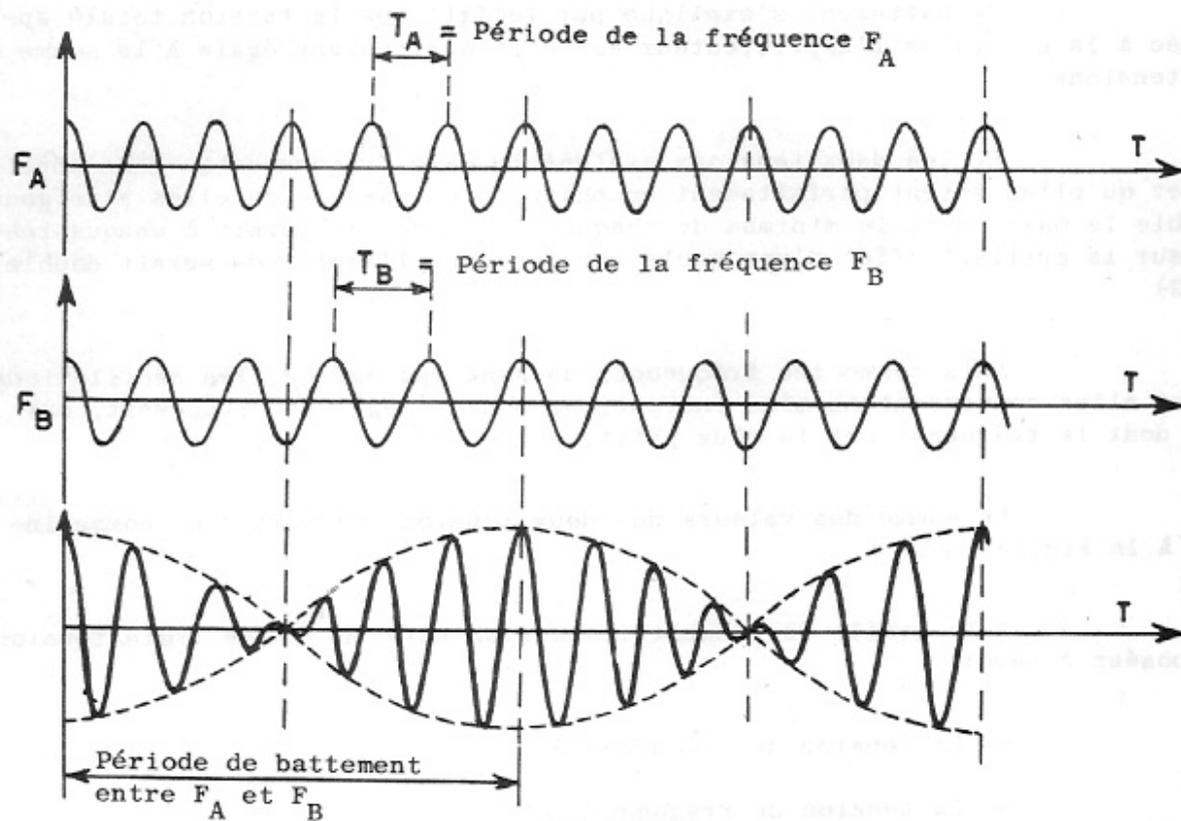
Si les deux tensions avaient la même fréquence, la même amplitude et qu'elles soient parfaitement en phase, c'est-à-dire qu'elles atteignent ensemble le maximum et le minimum de chaque sinusoïde, on aurait à chaque instant sur la grille, l'effet d'une seule tension dont l'amplitude serait double. (Fig.2)

Mais comme les fréquences ne sont pas égales, les oscillations même si elles commencent au même instant, ne peuvent agir simultanément, car celle dont la fréquence est la plus petite est en retard sur l'autre.

La somme des valeurs des deux tensions variera donc comme indiqué à la Fig.3-

A la grille de l'amplificateur, on aura en résumé trois tensions superposées à savoir :

- a- La tension de fréquence " F_A "
- b- La tension de fréquence " F_B "
- c- La somme des deux tensions " F_A " et " F_B "



- Fig. 3 -

La valeur de cette somme variera continuellement ; quand les deux tensions composantes sont en phase, elle sera égale à la somme des deux valeurs maxima et l'on aura un maximum ; quand elles sont en opposition de phase, elle sera égale à zéro.

Le temps qui s'écoule entre 2 zéros successifs, ou bien entre deux maxima de la somme, représente la période de variation de la tension résultante; son inverse nous donnera la fréquence de cette variation.

Cette fréquence est précisément la différence entre F_A et F_B : on l'appelle LA FREQUENCE DE BATTEMENT ENTRE CES DEUX FREQUENCES.

En accordant l'amplificateur sélectif sur la fréquence de battement (qui dans notre exemple était de 10 KHz) on obtiendra à la sortie, une tension amplifiée comme si l'on avait appliqué à l'entrée, au lieu des générateurs "A" et "B" un générateur délivrant du 10 KHz.

2- APPLICATIONS PRATIQUES DES BATTEMENTS.

Le phénomène de battements se prête à beaucoup d'applications.

En utilisant le battement entre deux oscillations à fréquence

élevée, on obtient très facilement des tensions de basse fréquence.

On peut alors construire des oscillateurs B.F. qui sont précisément constitués par deux générateurs H.F., l'un à fréquence fixe et l'autre à fréquence variable entre des limites suffisamment étroites pour être compatibles avec la valeur de la plus grande fréquence de battement désirée.

En réglant l'oscillateur variable, on obtient les différentes fréquences désirées.

Un exemple expliquera mieux ce que j'ai dit.

Pour construire un générateur d'oscillations B.F., il est habituellement nécessaire d'utiliser des condensateurs et des selfs de dimensions suffisantes.

Si le domaine qui nous intéresse s'étend de 20 Hz à 20.000 Hz, il est en outre nécessaire de faire des commutations différentes.

On peut parer à cet inconvénient en construisant un oscillateur fixe H.F. (par exemple à 200 KHz) et un deuxième oscillateur H.F. variable de 180 KHz à 199,980 KHz.

En faisant battre les tensions des deux générateurs entre elles,

on aura une fréquence de battement variable de 20.000 Hz, (200.000 - 180.000 = 20.000 Hz) à 20 Hz (200.000 - 199.980 = 20 Hz).

Etant donné que dans un générateur H.F. une telle variation s'obtient facilement et que le générateur lui-même n'est pas trop cher, on comprend l'avantage qu'il y a à construire un tel appareil.

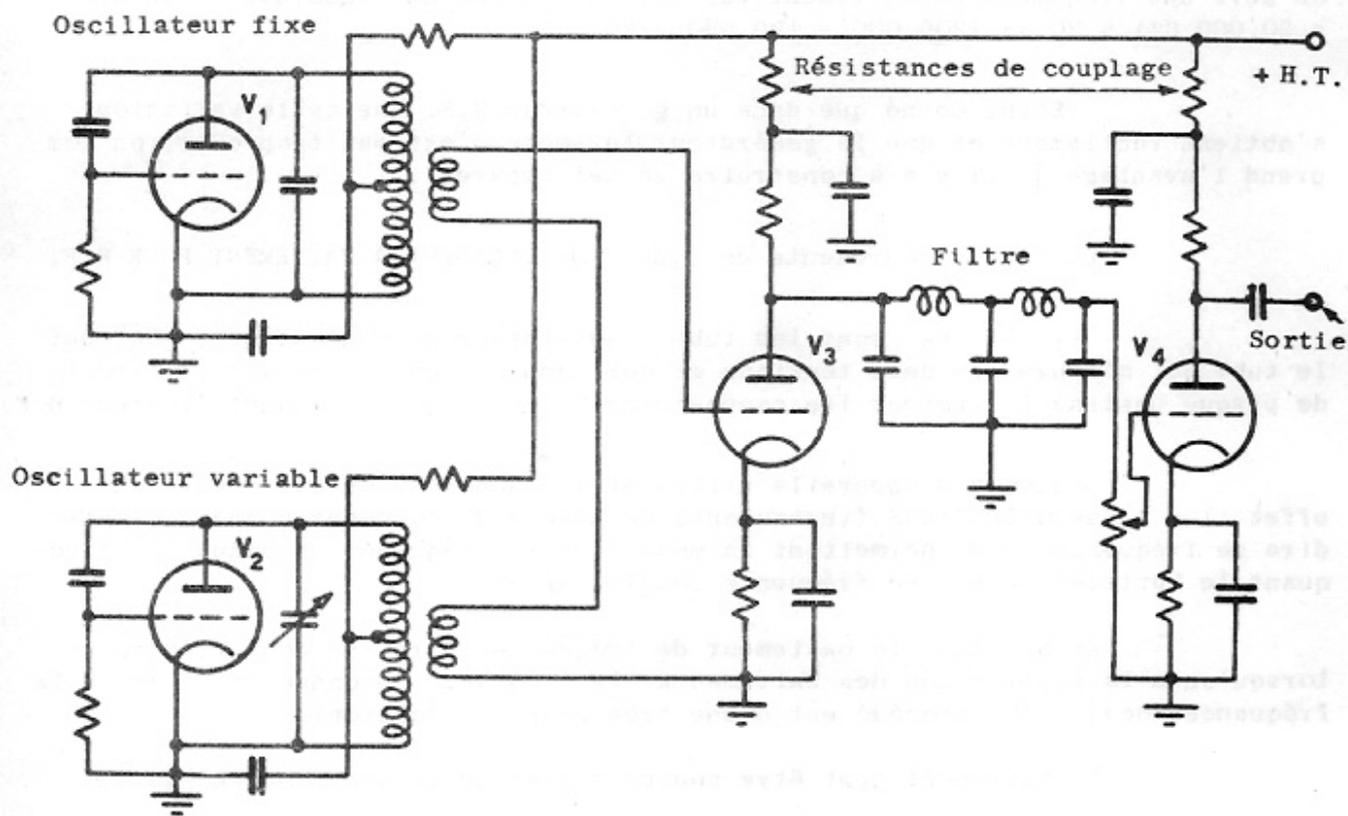
La Fig 4- représente un type d'OSCILLATEUR A BATTEMENT POUR B.F.

"V₁" et "V₂" sont les tubes oscillateur et générateur ; "V₃" est le tube qui mélange les deux tensions et qui comporte un filtre sur le circuit de plaque destiné à éliminer les composantes H.F. ; "V₄" est l'amplificateur B.F.

Beaucoup d'appareils utilisent ce phénomène de battement. En effet il y a des ONDEMETRES (instruments de mesure de longueur d'ondes, c'est-à-dire de fréquences) qui permettent la mesure de la fréquence inconnue en provoquant le battement avec une fréquence locale variable.

En obtenant le battement de fréquence entre les deux fréquences, lorsqu'on a la suppression des battements, la fréquence inconnue est égale à la fréquence locale. (Ce procédé est d'une très grande précision).

Le battement peut être contrôlé avec un casque : on entend un



- Fig. 4 -

sifflement aigu qui va progressivement en diminuant de tonalité jusqu'à devenir très bas lorsque les deux fréquences sont égales.

Le sifflement est déterminé par la tension de battement.

Cette méthode est en outre employée pour entendre les signaux des stations émettrices qui transmettent l'onde porteuse sans modulation phonique, avec les seuls signaux télégraphiques.

Le récepteur doit être muni d'un oscillateur indépendant, dit HETERODYNE, qui produit une fréquence légèrement différente de celle de la station que l'on désire écouter.

Dans le casque du récepteur on entend un sifflement dont le ton dépend de la différence des 2 fréquences et dont le rythme, points-traités, dépend de la station émettrice.

En se servant de cette application du phénomène de battement entre l'hétérodyne local et le signal d'arrivée, on obtient directement la réception des stations dont la porteuse est modulée par le son.

Parmi les modèles de récepteurs qui utilisent un tel phénomène le plus courant est le SUPERHETERODYNE.

3- RECEPTEURS A HETERODYNE

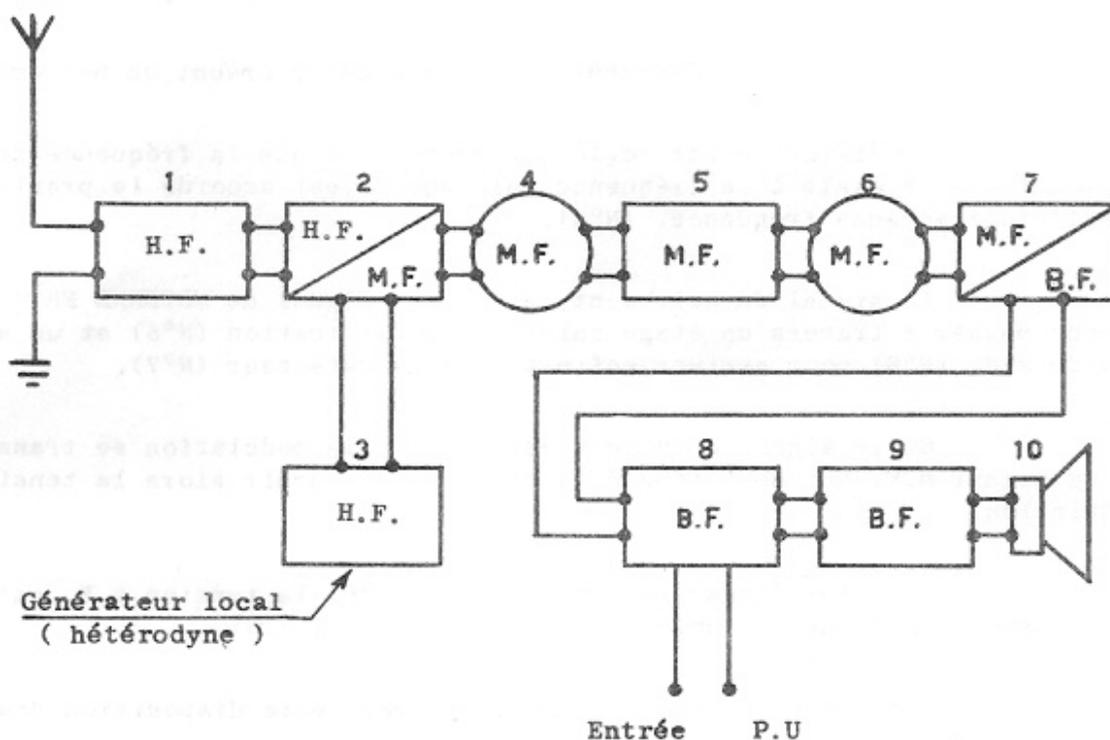
Les récepteurs à amplification directe, c'est-à-dire les récepteurs qui ont leurs différents étages accordés sur la fréquence même de la station à recevoir, présentent d'importants défauts malgré la simplicité du principe.

La sensibilité de ces récepteurs est bonne, car les tubes permettent de fortes amplifications, mais on a le grave inconvénient d'une sélectivité plutôt insuffisante et variable suivant les fréquences d'accord.

En outre, la mise au point des différents étages n'est pas très facile et il n'est pas commode d'utiliser ces circuits pour construire un récepteur adapté à la réception de plusieurs gammes d'onde.

Ces défauts peuvent être évités en utilisant un circuit du type de la Fig. 5-.

Un premier étage (N° 1) a pour rôle d'amplifier le signal haute fréquence qui arrive à l'antenne et de l'envoyer à l'étage mélangeur. (N°2).



- Fig. 5 -

A cet étage mélangeur arrive simultanément, un signal H.F. engendré par un oscillateur local, c'est-à-dire inclus dans le récepteur lui-même(N°3).

Dans l'étage mélangeur ces deux signaux créent un battement.

L'hétérodyne est réglé de façon à ce que la fréquence de battement produite soit égale à la fréquence sur laquelle est accordé le premier filtre de l'étage moyenne fréquence. (N°4).

Le signal de battement, dit aussi signal de MOYENNE FREQUENCE, peut donc passer à travers un étage suivant d'amplification (N°5) et un autre filtre de M.F. (N°6) pour arriver enfin à l'étage détecteur (N°7).

Si le signal d'antenne est modulé, la modulation se transmet aussi au signal M.F. qui peut être détecté et peut fournir alors la tension B.F. de modulation.

Dans les étages suivants (N°8 et N°9) la tension B.F. est amplifiée comme d'habitude, et envoyée au haut parleur (N°10).

Les avantages que l'on obtient avec cette disposition des circuits sont :

a- SELECTIVITE MEILLEURE, parce que les circuits M.F. présentent

une bande de fréquences très étroite et indépendante de la fréquence d'accord.

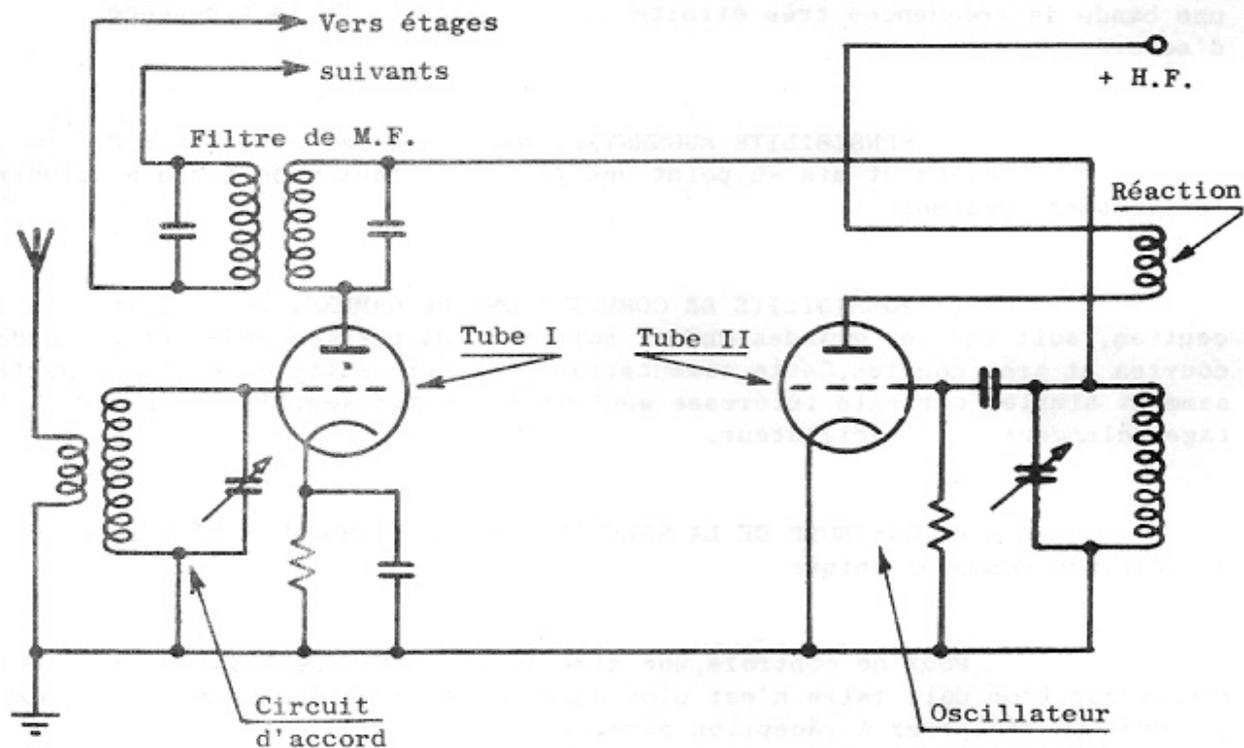
b- SENSIBILITE AUGMENTEE, parce que les circuits M.F. peuvent être réglés et mis au point une fois pour toutes, de façon à obtenir le rendement maximum.

c- POSSIBILITE DE COMMUTATIONS DE GAMMES, pour obtenir la réception, soit sur les grandes ondes, soit sur les petites ondes et les ondes courtes et très courtes. Cette commutation peut être faite d'une façon suffisamment simple, car elle intéresse seulement l'étage amplificateur H.F., l'étage mélangeur et l'oscillateur.

d- CONTROLE DE LA SELECTIVITE SUFFISAMMENT SIMPLE parce qu'obtenue par une commande unique.

Pour ce contrôle, une mise au point est nécessaire, mais l'opération que l'on doit faire n'est plus aussi compliquée que celle qui est exigée dans un récepteur à réception directe.

Suivant la façon dont est fait le mélange du signal d'antenne



- Fig. 6 -

avec le signal local, les types de récepteurs à hétérodyne sont différents.

Par exemple, la Fig. 6- représente un circuit du type ULTRADYNE, modèle particulier d'hétérodyne.

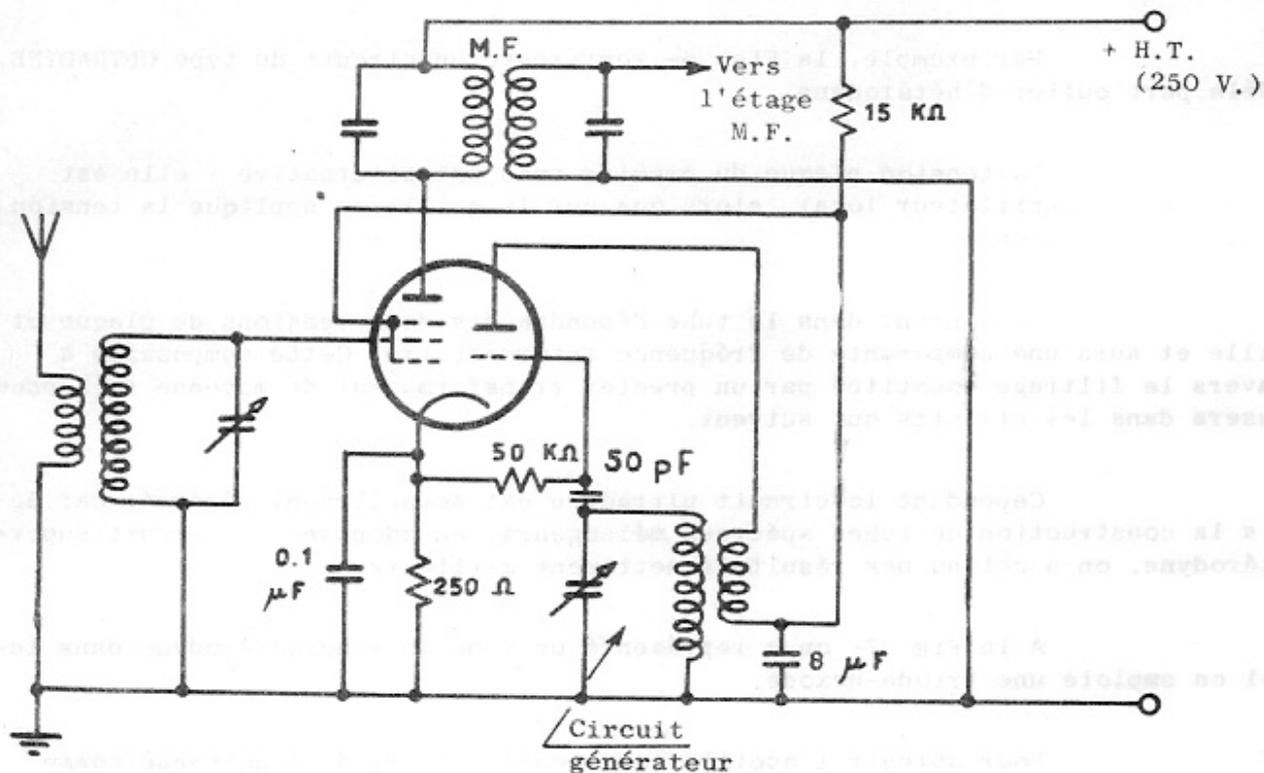
La tension plaque du premier tube est alternative : elle est fournie par l'oscillateur local, alors que sur la grille, on applique la tension d'entrée de l'antenne.

Le courant dans le tube dépendra des deux tensions de plaque et grille et aura une composante de fréquence intermédiaire. Cette composante à travers le filtrage constitué par un premier transformateur de moyenne fréquence, passera dans les circuits qui suivent.

Cependant le circuit ultradyne est actuellement dépassé, car depuis la construction de tubes spéciaux mélangeurs, en adoptant le circuit superhétérodyne, on a obtenu des résultats nettement meilleurs.

A la Fig. 7- on a représenté un type de superhétérodyne dans lequel on emploie une triode-hexode.

Pour obtenir l'oscillation locale, la triode fonctionne comme oscillateur et la partie hexode sert de mélangeur.



- Fig. 7 -

On évite de cette façon que le circuit oscillateur ne puisse avoir d'influence sur le circuit d'accord mis à l'entrée du tube mélangeur, comme il arrivait au contraire dans les circuits précédents.

Si l'on emploie une octode comme tube convertisseur, le découplage entre l'oscillateur et le circuit d'entrée est obtenu grâce aux grilles écran introduites dans le tube.

Le premier étage du récepteur de la Fig. 5- est un étage d'amplification H.F. En pratique, dans les appareils normaux, cet étage n'existe pas parce que la sensibilité du récepteur est déjà suffisante.

Les récepteurs de grande classe possèdent cependant cet étage de préamplification du signal.

Après la conversion, ou après la première détection, le signal est amplifié dans les étages M.F.

Habituellement, dans les récepteurs d'emploi commercial, un seul étage M.F. est suffisant pour obtenir des sensibilités et des sélectivités convenables.

La tension de sortie de cet étage arrive au détecteur de la B.F. qui est composé normalement d'une diode ou bien d'un détecteur à caractéristique de plaque.

Après la détection, le signal B.F. passe par le préamplificateur et l'amplificateur de puissance.

Nous avons examiné le superhétérodyne dans ses lignes générales.

Le tableau que je vous ai tracé dans ces pages vous permettra de suivre dans ses cas particuliers le fonctionnement de ce type important de circuit, sans en perdre de vue les points fondamentaux.

4- RECEPTEUR SUPERHETERODYNE

4-1- Circuit convertisseur.

Le circuit convertisseur qui constitue l'élément distinctif du superhétérodyne, est la partie la plus compliquée du récepteur.

Pour être plus rationnel, je diviserai mon exposé en plusieurs parties.

Nous aurons donc :

4-1-1- Eléments qui déterminent le choix de la fréquence de fonctionnement de l'oscillateur.

4-1-2- Signification de la fréquence image.

4-1-3- Caractéristiques de la commande unique.

4-1-4- Signification de la pente de conversion.

4.1.1. ELEMENTS QUI DETERMINENT LE CHOIX DE LA FREQUENCE DE FONCTIONNEMENT DE L'OSCILLATEUR.

Examinons de quelle façon on doit déterminer la fréquence de l'oscillateur local.

La fréquence de la composante M.F. est donnée par la différence des deux fréquences qui déterminent le battement.

Si nous recevons un poste accordé à 1.000 KHz et que nous désirions obtenir une M.F. de 200 KHz, nous pouvons régler l'hétérodyne, soit sur 1200 KHz ($1200 - 1000 = 200$ KHz), soit sur 800 KHz ($1000 - 800 = 200$ KHz).

Dans les deux cas on obtient le battement de 200 KHz mais les fréquences engendrées par l'hétérodyne sont bien différentes.

Dans les récepteurs normaux on préfère faire en sorte que la fréquence de l'hétérodyne soit toujours supérieure à la fréquence de la station que l'on désire recevoir. Cette méthode comporte les avantages suivants :

a- Self et capacité du circuit oscillateur peu élevées.

b- Plage de variation de la fréquence engendrée plus limitée et donc plus facile à obtenir.

Le deuxième point a une importance fondamentale quand on considère le problème de la commande unique, c'est-à-dire de l'accouplement des commandes des condensateurs variables de l'oscillateur et du circuit d'entrée.

Ce n'est que dans le cas de la réception des ondes ultracourtes qu'il est préférable de faire fonctionner l'hétérodyne sur des fréquences plus basses que celles des stations à recevoir, pour ne pas avoir de pertes excessives dans l'oscillateur et disposer sur celui-ci d'un fonctionnement plus facile.

4-1-2- SIGNIFICATION DE LA FREQUENCE IMAGE.

Supposons que nous ayons réglé notre oscillateur sur la fréquence

de 1200 KHz et que nous voulions recevoir la station N° 1 qui émet à 1000 KHz. Il sera nécessaire de régler le circuit placé à l'entrée du récepteur (comme dans tous les récepteurs) pour l'accorder sur la fréquence de la station que l'on désire recevoir.

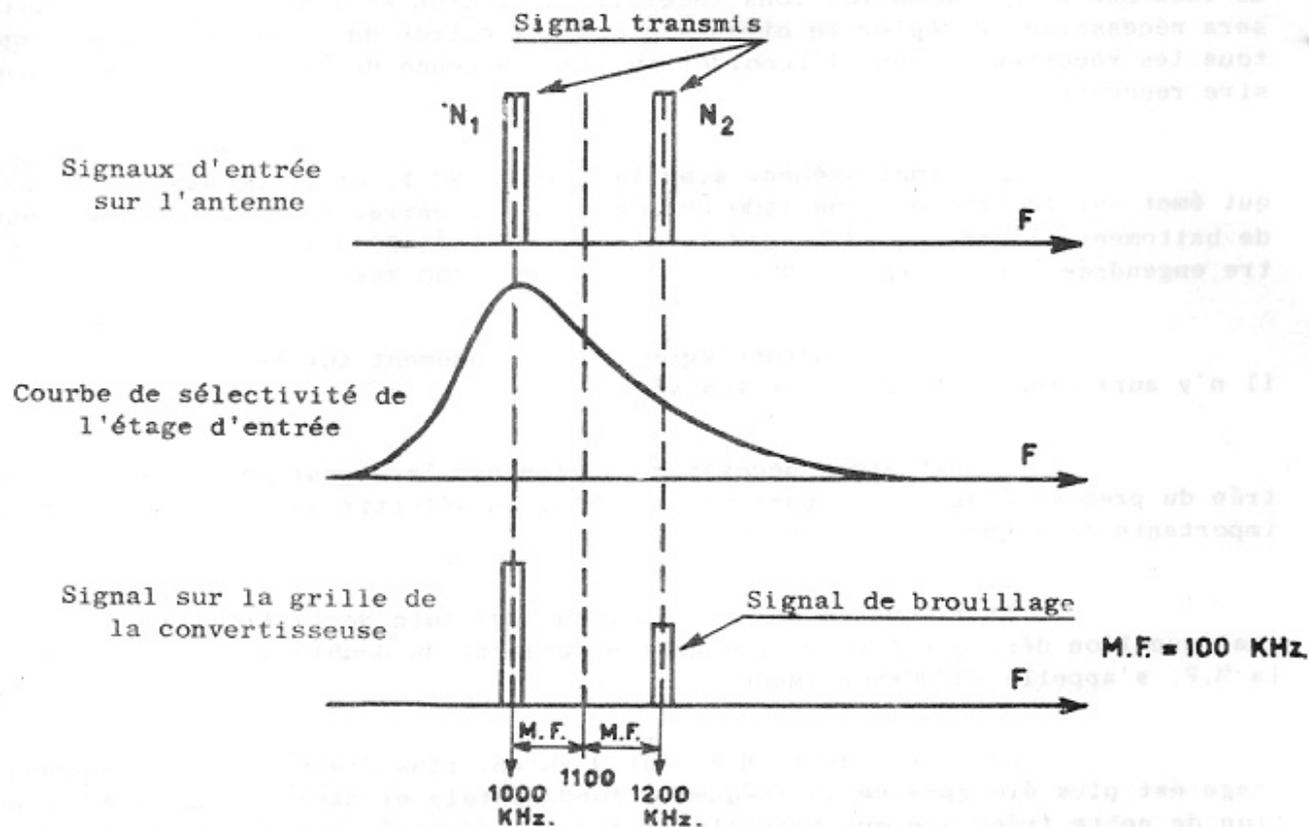
Si simultanément avec la station N° 1, on a une station N° 2 qui émet sur la fréquence de 1400 KHz, on aura à l'entrée de la M.F. deux tensions de battement, l'une engendrée par la station N° 1 ($1200 - 1000 = 200$ KHz), et l'autre engendrée par la station N° 2 ($1400 - 1200 = 200$ KHz).

Les deux tensions agiront simultanément sur le circuit M.F. et il n'y aura plus possibilité de les séparer.

Il est alors nécessaire d'éliminer le signal brouilleur à l'entrée du premier étage en plaçant un circuit très sélectif qui atténue de façon importante le signal de la station N° 2.

La fréquence de ce signal qui est loin de la fréquence du signal que l'on désire recevoir, éloignée exactement du double de la valeur de la M.F. s'appelle FREQUENCE IMAGE.

La valeur de la M.F. est d'autant plus élevée que la fréquence image est plus éloignée de la fréquence fondamentale et dans ce cas, l'élimination de cette fréquence qui brouille le circuit d'entrée est d'autant plus facile.



- Fig. 8 -

On comprend maintenant, pourquoi la valeur de la M.F. qui était auparavant accordée sur 100 KHz soit maintenant, en général, accordée sur 450 KHz et même plus.

Les Fig. 8-et 9-représentent l'efficacité du même circuit d'entrée avec deux valeurs différentes de M.F.

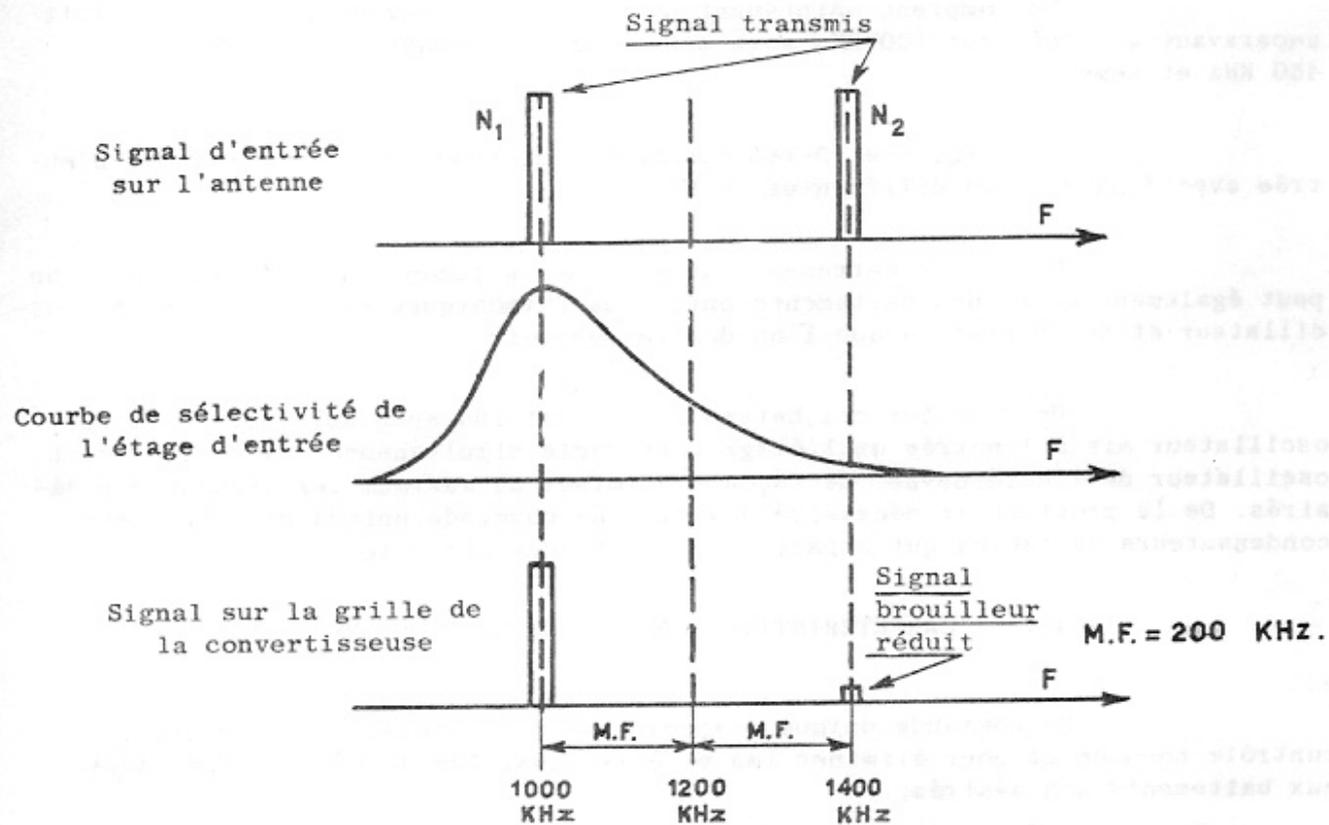
Outre les battements obtenus de la façon indiquée plus haut, on peut également avoir des battements entre les harmoniques de la tension de l'oscillateur et de la station que l'on désire recevoir.

Pour éviter ces battements, il est indispensable que le circuit oscillateur mis à l'entrée de l'étage soit réglé simultanément avec le circuit oscillateur de l'hétérodyne, de façon à éliminer au maximum les signaux non désirés. De là provient la nécessité d'avoir une commande unique pour les deux condensateurs variables qui appartiennent aux deux circuits.

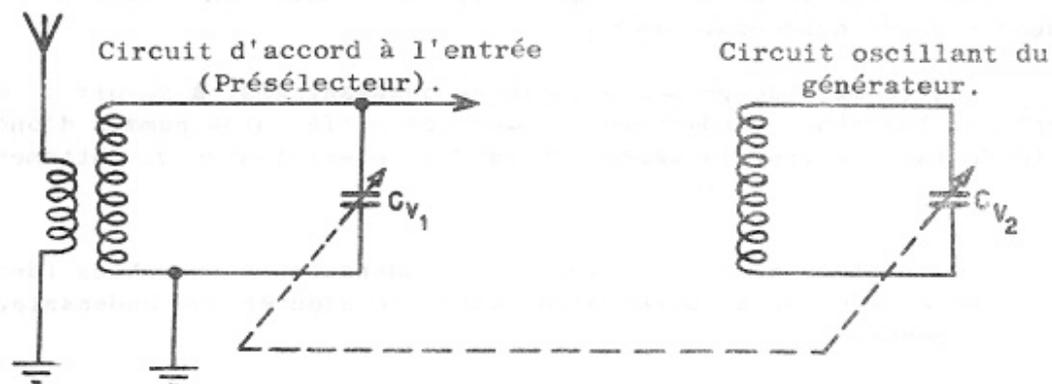
4-1-3- CARACTERISTIQUES DE LA COMMANDE UNIQUE.

La commande unique d'accord est indispensable pour avoir un contrôle commode et pour éliminer les erreurs possibles de sélectivité, dues aux battements non désirés.

La méthode la plus simple pour avoir une commande unique est



- Fig. 9 -



- Fig. 10 -

d'avoir deux condensateurs variables différents couplés ensemble et raccordés au circuit d'accord et au circuit de l'oscillateur. (Fig 10-).

La variation de la capacité des deux condensateurs variables doit être telle que l'on obtienne à chaque instant la tension alternative nécessaire pour effectuer le battement avec le signal sur lequel est accordé le circuit d'entrée.

Pour obtenir la variation désirée de la capacité, pour chaque position différente des condensateurs variables, on peut approcher ou éloigner les secteurs qui constituent la dernière lame mobile de chaque condensateur variable (voir la leçon sur les condensateurs.)

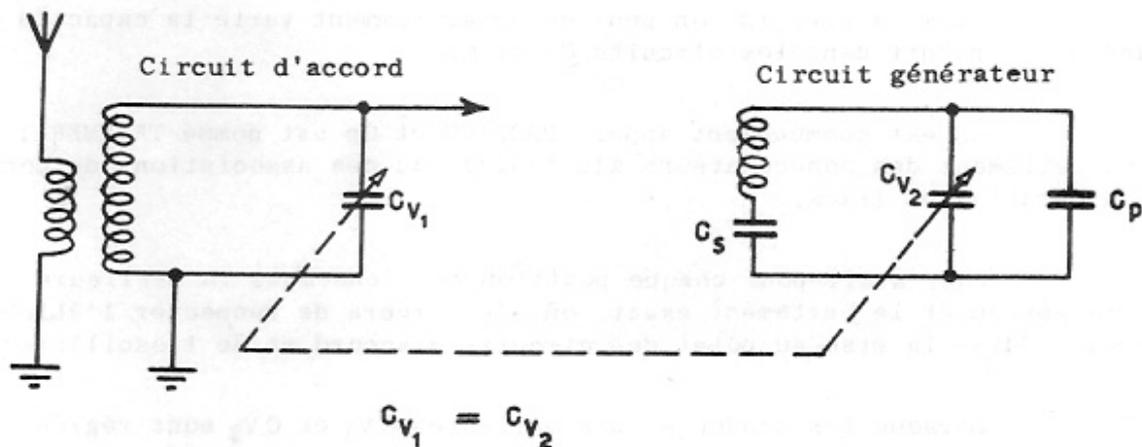
Cette méthode présente quelques désavantages, à savoir : impossibilité d'employer les mêmes condensateurs pour les différentes gammes d'onde, et impossibilité de faire varier la valeur de la M.F. c'est-à-dire du battement que l'on obtient.

On préfère alors employer deux condensateurs variables identiques et faire une correction au moyen d'une capacité ajoutée au condensateur raccordé au circuit général.

Les circuits se présentent alors comme à la Fig 11-. Remarquez que le circuit oscillant du générateur comporte un gros condensateur en série (C_S) et un petit en parallèle (C_P).

Lorsque le condensateur variable de l'oscillateur est complètement fermé (capacité maximum) il y aura en parallèle à la bobine d'inductance, la capacité correspondante à CV_2 et C_S en série. Dans ce cas la capacité totale sera plus petite que la capacité de CV_2 seul.

$$C = \frac{CV_2 \cdot C_S}{CV_2 + C_S} + C_P$$



- Fig. 11 -

C'est ce que l'on désire, car l'oscillateur doit travailler à une fréquence plus élevée que celle du circuit d'accord : la capacité doit donc être plus faible. Inversement lorsque C_{V2} est ouvert au maximum (capacité minimum) le condensateur C_S n'a plus d'influence, sa réactance devenant négligeable par rapport à celle de C_{V2} : C_p devient prépondérant et s'ajoute à la capacité résiduelle de C_{V2} .

La capacité totale est alors $C = C_{V2} + C_p$.

Dans la Fig. 12- on peut observer comment varie la capacité de CV_2 quand on introduit dans les circuits C_S et C_p .

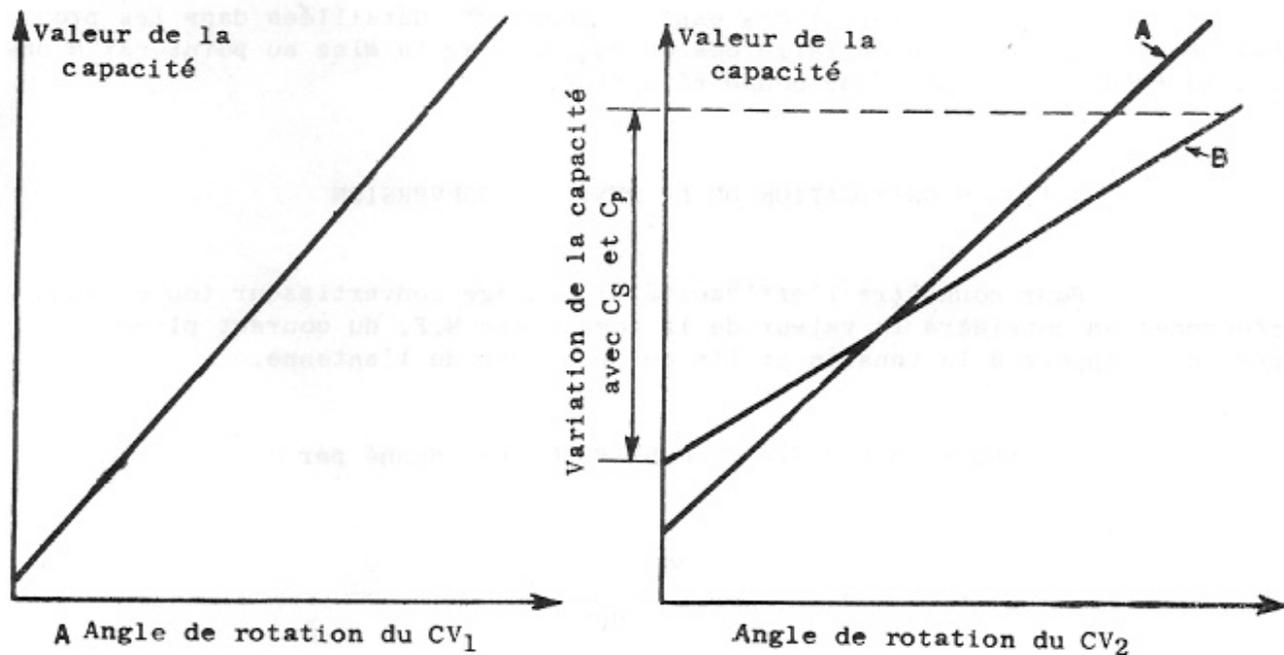
C_S est communément appelé PADDING et C_p est nommé TRIMMER ; ce sont habituellement des condensateurs ajustables, ou des associations de condensateurs ajustables et fixes.

Pour avoir pour chaque position de l'ensemble la meilleure sélectivité de réception et le battement exact, on s'efforcera de respecter l'ALIGNEMENT, c'est-à-dire la mise au point des circuits d'accord et de l'oscillateur.

Lorsque les condensateurs variables CV_1 et CV_2 sont réglés à leur plus grande capacité (fermés au maximum), on règlera C_S de façon à obtenir la M.F. exacte, puis on répètera l'opération avec les condensateurs variables ouverts en réglant C_p .

Ce réglage en deux points devrait être suffisant, si la valeur de la self est exacte, pour obtenir une différence entre la fréquence de résonance du circuit d'accord et la fréquence de résonance de l'oscillateur qui soit toujours égale à la M.F. pour une position quelconque du bouton.

Le circuit d'accord, aura lui aussi, des petits condensateurs qui permettront une compensation de la capacité résiduelle de CV_1 pour un alignement parfait des circuits.



A Angle de rotation du CV_1

A = Loi de variation du CV_2

B = Loi de variation du CV_2 avec les condensateurs C_S et C_P

- Fig. 12 -

Je vous fournirai des explications très détaillées dans les prochaines leçons sur la façon de faire ces opérations car la mise au point est d'une importance fondamentale pour une bonne réception.

4.1.4- SIGNIFICATION DE LA PENTE DE CONVERSION

Pour connaître l'efficacité d'un étage convertisseur (ou changeur de fréquence) on considère la valeur de la composante M.F. du courant plaque dans l'étage, par rapport à la tension grille qui provient de l'antenne.

Ce rapport dit PENTE DE CONVERSION est donné par :

$$S_c = \frac{I_{MF}}{V_g \text{ (antenne)}}$$

Comme dans le cas d'une amplification de pentode ($A = S \times R_p$, voir formule 74), on pourra obtenir l'amplification de conversion en multipliant S_c par R_p , mais R_p représentera ici l'impédance du transformateur M.F à la résonance.

La pente S_c n'est pas constante mais dépend, entre autre de la

valeur de la tension de l'oscillateur local et varie suivant chaque tube changeur de fréquence.

Un étage changeur sera d'autant meilleur que sa pente de conversion sera plus élevée.

REPONSES AUX EXERCICES DE REVISION SUR LA 29ème LECON THEORIQUE

- 1- La réaction a pour but de reporter à l'entrée de l'étage amplificateur une partie de la tension de sortie, de façon à obtenir à l'accrochage des oscillations.
- 2- On a réaction sélective lorsque seules les tensions d'une fréquence déterminée sont reportées à l'entrée de l'étage amplificateur.
- 3- On l'appelle oscillateur parce qu'il produit des tensions variables d'amplitude de fréquence et de formes voulues.
- 4- C'est une méthode de polarisation qui permet un accrochage facile des oscillations et un rendement élevé de l'étage oscillateur.
- 5- Lorsque le couplage entre le circuit de grille et celui de réaction est fait par induction mutuelle.

- 6- Lorsque la réaction s'effectue par auto-induction (c'est-à-dire avec une seule bobine).
- 7- L'avantage est d'avoir la plaque libre et de pouvoir raccorder la charge directement sur elle.
- 8- D'obtenir la réaction par la capacité interne grille-plaque du tube.
- 9- Non, parce que la capacité grille-plaque d'une pentode est trop petite. On peut avoir des oscillations seulement dans le cas où l'on met un condensateur externe qui remplit le même rôle.
- 10- Oui, ce sont les oscillateurs à résistance et capacité de type actuel.

EXERCICE DE REVISION SUR LA 30 ème LECON THEORIQUE

- 1- Qu'est ce qu'un battement ?
- 2- Quel est le principe de fonctionnement d'un oscillateur B.F. à battements ?
- 3- Comment peut-on contrôler une tension de fréquence inconnue ?
- 4- Comment appelle-t-on l'oscillateur qui permet d'obtenir le battement dans un récepteur ?
- 5- Quels sont les avantages du superhétérodyne ?
- 6- Comment obtient-on la tension Moyenne Fréquence de l'étage mélangeur ?
- 7- Pourquoi dans le superhétérodyne choisit-on la fréquence de l'hétérodyne d'une valeur supérieure à la fréquence d'entrée à l'antenne ?
- 8- Qu'est-ce que la fréquence image ?(ou signal image)
- 9- Quel est le but du padding (ou condensateur en série) dans le circuit de l'oscillateur local ?
- 10- Quel est le but du Trimmer (ou condensateur en parallèle) dans le circuit de l'oscillateur local ?