



LA STRUCTURE DU RECEPTEUR DE RADIODIFFUSION AM CLASSIQUE

CIRCUIT D'ANTENNE GAMME D'ONDES

L'entrée du récepteur est reliée à l'antenne qui est une tige métallique plus ou moins longue parcourue par les faibles courants induits par émetteurs alentours. Pour sélectionner un émetteur parmi tous les autres on utilise un circuit accordé sur la fréquence de porteuse correspondante, l'impédance de ce circuit n'a de fortes valeurs que pour les fréquences proches de sa fréquence d'accord, et seul l'émetteur sélectionné peut fournir aux bornes du circuit LC une tension appréciable qui est le signal modulé cherché.

Il faut donc être capable de faire varier la fréquence d'accord du circuit d'antenne, c'est presque toujours en modifiant la valeur du condensateur qui est un condensateur variable à lames mobiles ou une diode à capacité variable. Cependant la fréquence des émetteurs peut se situer dans une très large bande de fréquence, de 150kHz à plusieurs dizaines de mégahertz. Or entre les valeurs extrêmes d'un condensateur variable le rapport ne dépasse pas beaucoup 10 ce qui correspond à une variation de fréquence de l'ordre de 3. Il est donc impossible avec une seule bobine de s'accorder dans une bande de fréquence plus large qu'une demi décade. Il faudra pour sélectionner tous les émetteurs accessibles changer de valeurs de self.

Le condensateur variable étant unique, la zone de fréquence couverte avec une self donnée est appelée **une gamme d'ondes**.

On distingue traditionnellement la **gamme Grandes Ondes (GO)** qui couvre les fréquences de 150 à 450 kHz, en réalité la bande est limitée à 250 kHz environ. L'adjectif grande a été choisi par les premiers radioélectriciens qui parlaient plus

Les stations de radio GO	
France Inter	162kHz
Europe 1	183kHz
RTL	234kHz
BBC	198kHz
RMC	216kHz

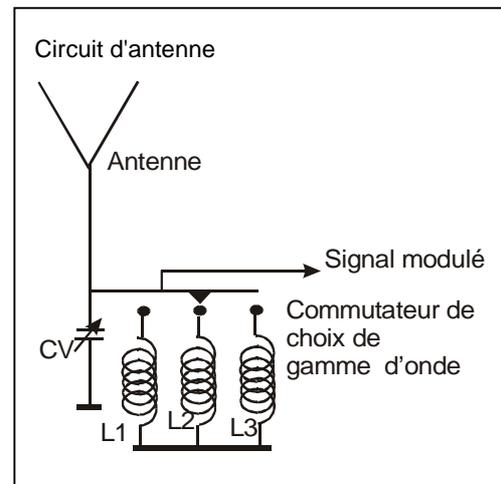
souvent de longueur d'onde que de fréquence (150kHz correspond à une longueur d'onde de 2000 mètres, 250kHz à 1200 mètres).

Les petites ondes (PO), de 530kHz (566 mètres) à 1620kHz (185 mètres)

De nombreuses gammes **d'ondes courtes**

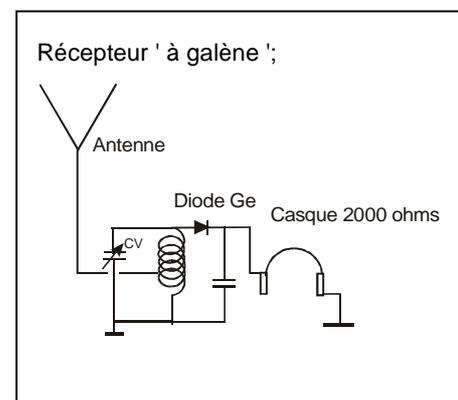
(OC) de 4,5 à 30Mhz

Dans les récepteurs portables limités aux gammes GO et PO il n'y a pas d'antenne mais un bâton de ferrite qui joue ce rôle autour duquel sont placés les deux bobinages.



TRAITEMENT DU SIGNAL D'ANTENNE

Si l'émetteur est puissant ou proche et l'antenne de bonne qualité la tension recueillie peut atteindre une fraction de volt. Il est alors possible de détecter directement par une diode, au germanium de préférence ou une diode à pointe qui a une caractéristique non linéaire dès quelques dizaines de millivolts. Les récepteurs à galène de nos grands pères fonctionnaient comme cela; la galène est un petit cristal de sulfure de plomb sur lequel ils venaient chercher un contact non linéaire avec un fil raide d'acier ou de tungstène, il serait remplacé maintenant par une diode germanium. Attention avec un tel récepteur si le signal d'antenne est trop faible la détection ne se fait pas et il est inutile d'accroître le gain de l'ampli BF qui suit car il ne saurait



amplifier un signal qui n'existe pas . Les récepteurs de l'époque fonctionnaient sans amplification BF, la résistance de détection était celle d'un casque équipé de deux écouteurs de haute impédance (2kΩ).

Pour des émetteurs lointains la tension recueillie peut n'être que de quelques microvolts et une amplification HF est nécessaire . Pour un récepteur calé sur une seule station un amplificateur est facile à construire .Il existe ainsi des récepteurs à amplification directe mono station (EUROPE 1 ou Luxembourg) ne coûtant que quelques francs distribués comme objet publicitaire . Mais pour un récepteur susceptible d'écouter des émetteurs dont la fréquence est comprise entre 150kHz et quelques mégahertz il faudrait utiliser un amplificateur de fort gain dans toute cette bande , sa construction serait très difficile. La solution a été trouvée au début du siècle par Lucien Levy , c'est la **réception superhétérodyne** .

PRINCIPE DU RECEPTEUR SUPERHETERODYNE

Le signal d'antenne de faible niveau est multiplié par le signal d'un oscillateur local de façon à obtenir un battement dont la fréquence est fixe. Ainsi il est possible d'utiliser le même amplificateur quelle que soit la fréquence de la porteuse captée.

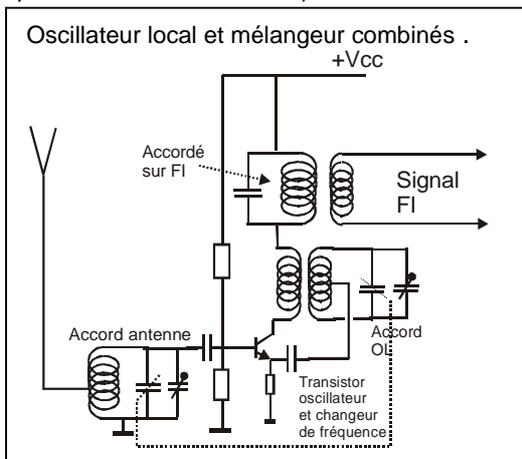
Soit $v_A = as(t).cos \omega_A t$ le signal aux bornes du circuit accordé d'antenne , si on le multiplie par un signal sinusoïdal de pulsation ω_{OL} (pulsation d'un oscillateur local) on obtient deux termes de battement :

$$as(t).cos \omega_A t.cos \omega_{OL} t = \frac{a}{2} [s(t).cos(\omega_A + \omega_{OL})t + s(t).cos(\omega_A - \omega_{OL})t]$$

de fréquences somme et différence modulés en amplitude de la même façon que le signal d'antenne. Il suffit alors de choisir la fréquence de l'oscillateur local de façon que la fréquence de l'un d'entre eux (généralement le terme différence) soit égale à une valeur fixe , la **fréquence intermédiaire** f_i . Ce signal de battement peut avoir une amplitude plus grande que le signal d'antenne , le quotient des deux est le **gain de conversion** :

$$Gain\ de\ conversion(dB) = 20Log \frac{Amplitude\ du\ signal\ à\ f_i}{Amplitude\ du\ signal\ d'antenne}$$

Ce produit est effectué par un mélangeur que l'on appelle **changeur de fréquence**. C'est comme on l'a vu plus haut n'importe quel circuit non linéaire. On a beaucoup utilisé le schéma mettant en œuvre un seul transistor attaqué sur sa base par le signal d'antenne et sur son émetteur par l'oscillateur local . (Ce montage qui à été décrit précédemment est on l'a vu un piètre modulateur, mais ici c'est seulement sa non linéarité qui est exploitée et les gains de conversion peuvent atteindre 20 dB)



Très souvent le transistor mélangeur est utilisé pour constituer lui même l'oscillateur local .C'est par exemple le cas dans le montage de la figure ci contre que l'on rencontre dans de nombreux récepteurs classiques . On notera que l'antenne dont l'impédance est faible, surtout si elle est presque adaptée, est connectée sur une prise intermédiaire du bobinage pour ne pas trop amortir le circuit d'antenne .

Alignement du récepteur .

Pour satisfaire à la condition précédente la fréquence de l'oscillateur local doit être adaptée pour chaque fréquence d'antenne. Ceci est obtenu en

employant un condensateur à double cage de façon à faire varier simultanément fréquence d'accord d'antenne et fréquence de l'oscillateur local.

Cependant il y à une difficulté car les deux fréquences étant différentes il en est de même de la self puisque pour simplifier la construction les deux condensateurs sont égaux (les lames mobiles

sont portées sur le même axe). Lorsque les condensateurs ont leur valeur médiane les fréquences sont :

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_{\max} / 2}}$$

pour le circuit d'antenne et

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_o C_{\max} / 2}}$$

pour l'oscillateur local

il est facile de choisir les selfs de façon que la différence des fréquences soit égale à la fréquence intermédiaire choisie .

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_{\max} / 2}} - \frac{1}{2\pi\sqrt{L_o C_{\max} / 2}} = f_i$$

malheureusement cette différence ne conserve plus sa valeur lorsque les condensateurs varient.

A titre d'exemple considérons deux condensateurs variant de 50 à 500pF ,la valeur médiane est 275 pF .Choisissons la valeur de la self d'antenne de façon que lorsque le condensateur est maximal la fréquence d'accord d'antenne soit de 530kHz, soit $L_1=0,18mH$. Avec cette valeur la fréquence obtenue lorsque C est minimal est de 1,67Mhz. (Couverture de la gamme PO)

Lorsque le condensateur variable est à mi course $C=275pF$, la fréquence d'accord est de 715kHz.Si maintenant la fréquence intermédiaire choisie est de 455 kHz l'oscillateur local doit pour cette position osciller sur $715+455=1,17Mhz$ et la self correspondante est $68,3 \mu H$.

Si maintenant nous ramenons C à la valeur maximale la fréquence d'antenne est 530kHz et celle de l'oscillateur local 867kHz soit une différence de 337 kHz au lieu de 445 ..

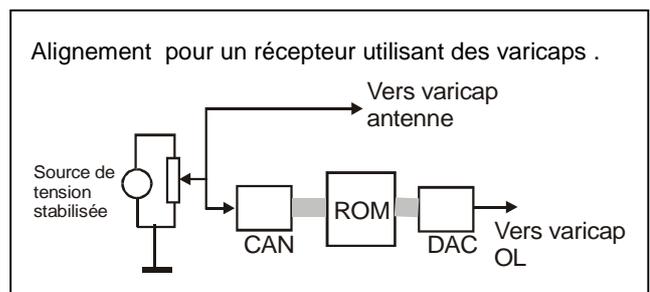
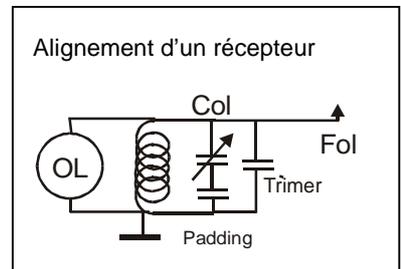
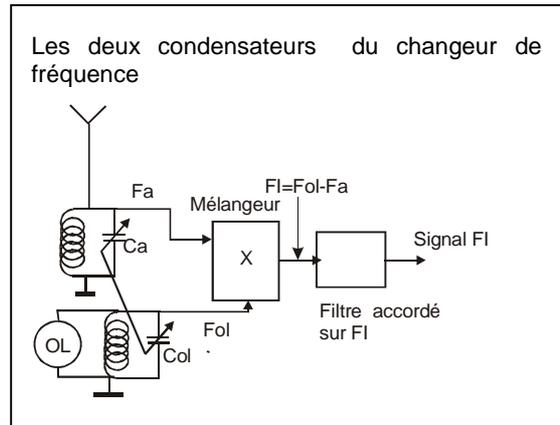
Pour C minimal la fréquence d'antenne est 1,67Mhz et celle de l'oscillateur local 2,723Mhz soit une différence de 1,05 Mhz

Lorsque l'on modifie la capacité d'accord d'antenne pour balayer la gamme d'onde la fréquence du battement n'est pas constante.

Classiquement on remédie à cette difficulté en introduisant sur l'un des deux circuits oscillants (en général le circuit de l'oscillateur local) deux condensateurs supplémentaires appelés Trimmer et Padding.

Le Trimmer en parallèle sur le condensateur variable est de faible valeur , typiquement le dixième de ce dernier, il n'intervient que lorsque le condensateur variable est au voisinage de son minimum. Le Padding au contraire est grand 3 ou 4 fois la valeur maximale , il n'intervient que lorsque C est au voisinage de sa valeur maximale. Par tâtonnements en jouant sur les valeurs de ces deux éléments il est possible de régler la fréquence de l'oscillateur local de façon que l'écart avec la fréquence du circuit d'antenne soit exactement la valeur de f_i cherchée pour 3 valeurs de C, au milieu et aux extrémités de la gamme. Dans ces conditions la fréquence de battement reste très proche de la valeur idéale dans toute la gamme , cette opération de réglage est l'**alignement du récepteur** .

Dans les récepteurs récents le condensateur variable est remplacé par des varicaps commandées en tension. Il est alors facile à partir de la tension fournie par un potentiomètre qui commande les varicaps du circuit d'antenne de fabriquer la tension convenable pour les varicaps de l'oscillateur local .Le circuit peut par exemple mettre en œuvre une conversion analogique numérique et une ROM convenablement programmée .





Fréquence image

Soit f_A la fréquence de la porteuse de la station que nous voulons capter. L'oscillateur local doit fonctionner à la fréquence f_{OL} telle que $f_{OL} - f_A = f_I$. Mais il existe une autre fréquence d'antenne qui fournit un battement à la même fréquence, elle est telle que :

$$f_I = f'_A - f_{OL} \text{ cette seconde fréquence appelée } \mathbf{fréquence\ image}$$

en identifiant ces deux il vient :

$$f_{OL} = \frac{f_A + f'_A}{2} \text{ la fréquence image est le symétrique de } f_A \text{ par rapport à l'oscillateur local.}$$

Dans la gamme GO si la fréquence d'antenne est de 200kHz, la fréquence intermédiaire 455kHz, l'oscillateur local fonctionne à 655kHz et la fréquence image se trouve à 1100kHz, cette fréquence ne peut en aucun cas perturber la réception car le circuit d'antenne même de faible Q l'élimine efficacement. En PO la fréquence image est également convenablement rejetée ; pour $f_A=1\text{Mhz}$, $f_{OL}=1,455\text{Mhz}$ et $f'_A=1,91\text{Mhz}$, le circuit d'antenne accordé sur 1Mhz a une impédance très faible pour cette fréquence. Il n'en est pas de même aux fréquences élevées (gammes OC), par exemple pour $f_A=30\text{Mhz}$, $f_{OL}=30,455\text{Mhz}$ et $f'_A=30,91\text{Mhz}$, l'écart n'est plus que de 1Mhz et le circuit d'antenne doit avoir un Q bien supérieur à 30. Pour résoudre ce problème les récepteurs OC ont une fréquence intermédiaire plus élevée et un double changement de fréquence.

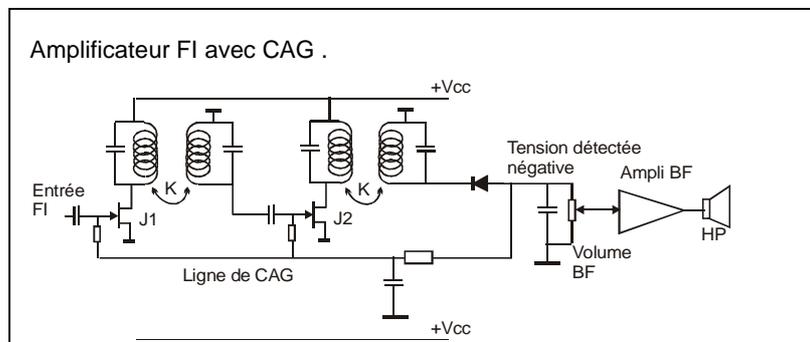
L'amplificateur moyenne fréquence (FI fréquence intermédiaire)

Pour les récepteurs classiques cette fréquence est de 455kHz. On a vu plus haut que le spectre transmis était limité à 5kHz le gain de l'amplificateur FI devrait donc avoir un gain constant dans une bande de 10kHz centrée sur 455kHz. Un simple circuit oscillant ne fournit pas une forme suffisamment plate, il est fait appel en général à un transformateur à primaire et secondaires accordés au couplage critique.

Le gain de cet amplificateur doit être assez élevé, en effet pour par exemple 100µV au niveau de l'antenne et un gain de conversion de 10dB, le niveau à l'entrée de l'ampli FI est voisin de 300µV, or il doit être en sortie de l'ordre du volt pour que le détecteur à diode fonctionne correctement, soit un gain de 3000 c'est à dire 70dB.

Contrôle automatique de gain (CAG)

Le niveau du signal reçu par l'antenne varie considérablement d'un instant à l'autre par suite des fluctuations des conditions de propagation, c'est le **fading**. Cette variation se traduit au niveau du haut parleur final par une variation de niveau que l'auditeur doit corriger en permanence en agissant sur le potentiomètre de volume. Pour éviter cette contrainte désagréable le gain de l'amplificateur est modifié automatiquement pour maintenir de niveau de sortie constant. Ceci est obtenu facilement en utilisant par exemple le niveau continu de détection pour modifier le point de polarisation des composants. Le schéma suivant représente le principe d'un tel asservissement de niveau. Si le niveau de sortie baisse la tension détectée devient moins négative, le potentiel grille source des JFET diminue en valeur absolue ce qui a pour conséquence d'augmenter leur pente donc le gain.

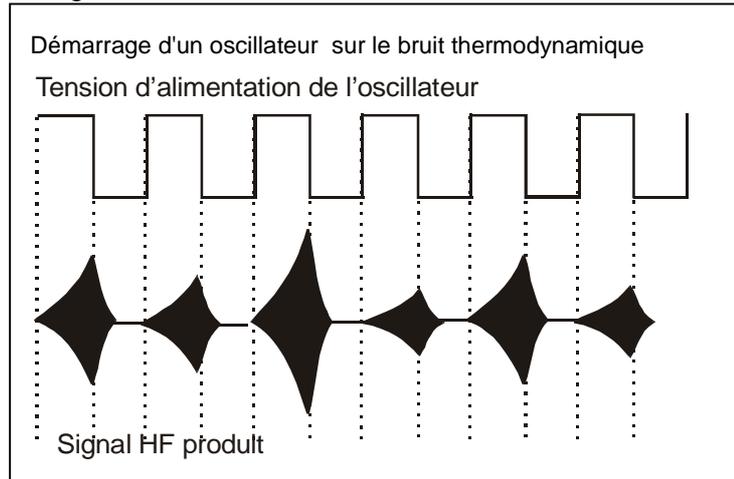




LA RECEPTION SUPERREACTION

Le système superhétérodyne équipe la quasi totalité des récepteurs ,il existe cependant un autre type de récepteur, sensible ,inventé à l'époque des tubes électroniques et que l'on retrouve dans certains circuits destinés soit à la télécommande des modèles réduits (jouets en particulier) soit à la transmission de données à faible distance.

Lorsque l'on applique la tension d'alimentation sur un montage oscillateur le niveau d'oscillation croit d'abord exponentiellement avant d'atteindre une valeur d'équilibre. Le coefficient du terme exponentiel dépend essentiellement du coefficient de surtension du circuit accordé . En absence de bruit thermodynamique la valeur initiale du niveau d'oscillation serait nulle et le resterait. C'est le bruit qui assure le démarrage initial. Or ce niveau de bruit faible , est variable d'un instant à un autre . Le temps mis par l'oscillateur pour atteindre un niveau d'oscillation fixé est donc très variable d'un démarrage à l'autre . Si l'on module en signaux carrés la tension d'alimentation d'un oscillateur , suffisamment rapidement pour que le niveau d'équilibre ne soit jamais atteint , on obtient des démarrages successifs dont le niveau final varie considérablement de l'un à l'autre . La détection par une diode de ce signal HF fournit un signal BF ayant une forte composante aléatoire , on parle de souffle de super réaction .



Si au bruit thermodynamique vient se superposer un signal sinusoïdal ayant une fréquence proche de l'accord du circuit , le démarrage de l'oscillateur se synchronise sur ce dernier et le niveau maximal atteint lorsque l'alimentation est de nouveau coupée est fonction de son seul niveau. Pour une amplitude sinusoïdale constante les bouffées successives de HF sont identiques; une détection par diode fournit un signal continu, le bruit de super réaction disparaît. Pour une onde HF modulée en amplitude la tension détectée reproduit approximativement le signal modulant.

Un tel récepteur est donc très simple, il est sensible puisqu'il suffit que le signal HF ait un niveau nettement supérieur au bruit. Il présente cependant deux inconvénients , la réponse n'est pas très linéaire (le signal BF n'est pas parfaitement semblable à l'enveloppe du signal HF reçu) et il n'est pas très sélectif car le bruit de super réaction est supprimé pour une fréquence reçue assez différente de la porteuse , le Q du circuit ne doit pas en effet être trop grand pour permettre un découpage rapide (ultra sonore) de l'alimentation.

