



THEORIE

Cours de radio par correspondance

RECEPTEUR POUR SIGNAUX MODULES EN FREQUENCE.

LIMITATION ET DETECTION.

GENERALITES.

Comme je vous l'ai déjà expliqué dans les leçons précédentes, le signal reçu par l'antenne, converti en "M.F.", est d'abord amplifié puis appliqué au circuit détecteur.

Ce circuit a la mission d'extraire du signal modulé le signal modulateur, c'est-à-dire le signal de basse fréquence, et on l'appelle pour cette raison un DEMODULATEUR.

La modulation est l'opération par laquelle on introduit sur le

signal "H.F.", le signal de basse fréquence : cela s'accomplit dans l'émetteur ; la démodulation est l'opération contraire et s'effectue dans le récepteur.

En pratique, avant l'étage détecteur, il y a le circuit LIMITEUR ou ECRETEUR (Fig. 1-).

Ce circuit à pour but d'éliminer les variations d'amplitude du signal amplifié "M.F."

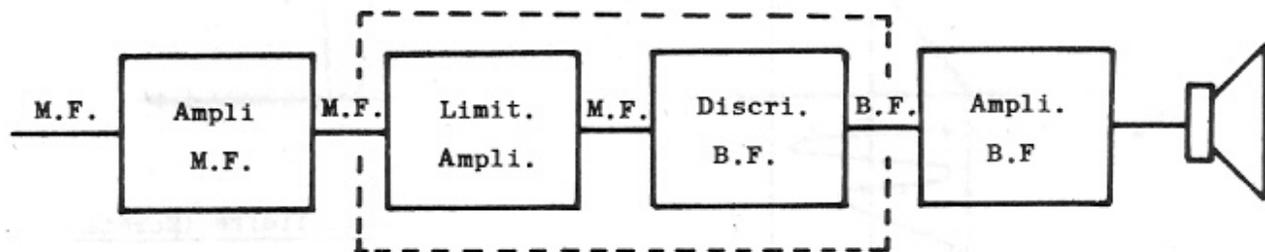
Lors de la transmission "F.M.", le signal n'est modulé qu'en fréquence, l'amplitude restant constante.

L'éventuelle modulation d'amplitude du signal n'est uniquement due qu'à des perturbations atmosphériques, interférences etc...

Pour éliminer ces parasites lors de la réception, il suffit de rendre l'amplitude du signal constante ; pour cela, on écrête le signal dans les deux sens, alternance positive et alternance négative.

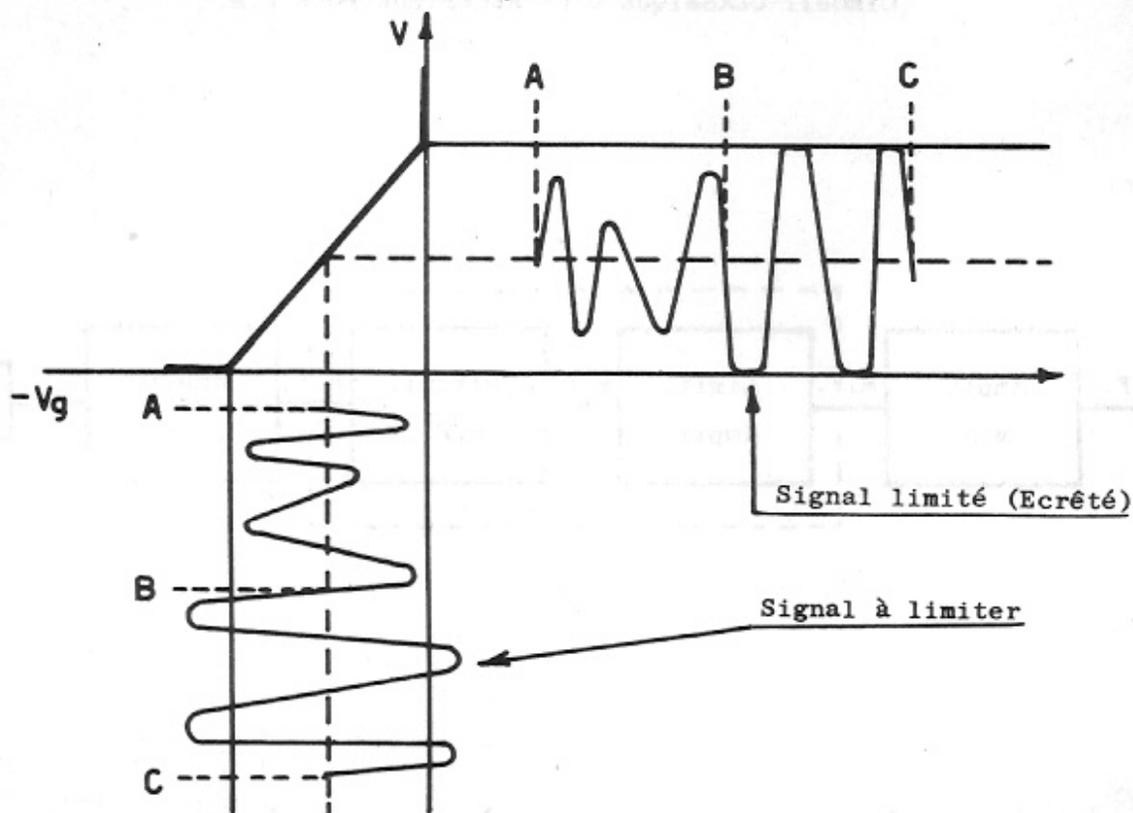
Le signal ainsi ECRETE n'altère aucunement les fréquences de modulation, puisque c'est la variation plus ou moins grande de la fréquence et la vitesse

CIRCUIT CLASSIQUE D'UN RECEPTEUR POUR F.M.



- Fig. 1 -

CARACTERISTIQUE D'UN ETAGE LIMITEUR.



de cette variation qui représente l'amplitude et la fréquence de la "B.F." de modulation.

La Fig. 2- donne la représentation théorique d'un limiteur d'amplitude ; le signal qui en sort est sans modulation d'amplitude et conserve inaltérée la fréquence.

Le signal ECRETE, à la sortie du limiteur, est appliqué au circuit détecteur.

Comme vous pouvez l'observer sur la caractéristique du limiteur, le fonctionnement de celui-ci n'est obtenu que lorsque le signal dépasse une certaine valeur (tracé B - C) ; lorsque le signal est d'une amplitude inférieure (tracé A - B) le limiteur n'agit pas et, dans ce cas, la modulation d'amplitude, c'est-à-dire le parasite, est présent à la sortie.

Il est alors nécessaire d'appliquer au limiteur un signal d'amplitude telle, qu'il garantisse toujours le fonctionnement de ce circuit. Le résultat le meilleur est obtenu avec les récepteurs "F.M." dans lesquels l'étage limiteur agit déjà sur le bruit de fond introduit par les circuits précédents.

La limitation peut être obtenue avec des systèmes différents : Par tube séparé, par le détecteur même ou bien en agissant électriquement sur le circuit amplificateur "M.F."

2- CIRCUITS LIMITEURS.

Vous aurez désormais compris l'importance qu'a la limitation d'amplitude dans les récepteurs "F.M."

Rappelez-vous que le récepteur le meilleur est celui qui LIMITE le plus, même avec le signal le plus faible.

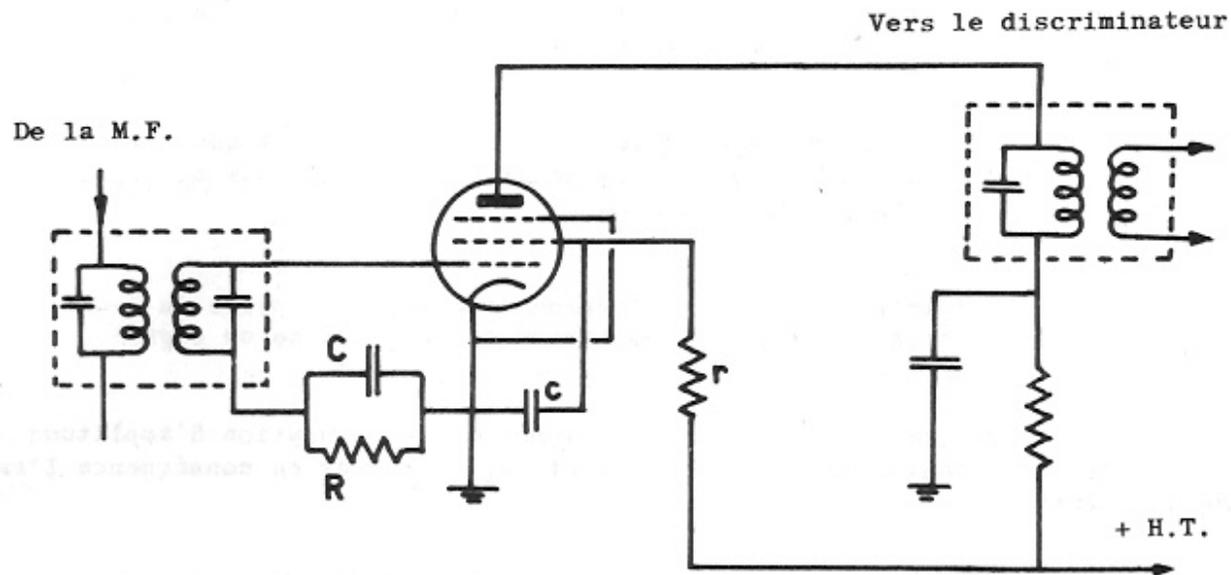
Le limiteur le plus commun emploie le détecteur même, je vous le décrirai ainsi que tous les types de circuits détecteurs.

Je vous explique maintenant un circuit courant à tubes séparés.

CIRCUIT LIMITEUR A AUTOPOLARISATION.

Le schéma théorique de ce limiteur est donné Fig. 3-. Le tube qui est une pentode de type commun pour "F.M." (6 AV 6, EF 89, EF 80, ECB 6, EF 42, etc...) est alimenté par une tension de grille-écran réduite, peu supérieure à 50 Volts ; la tension de grille est limitée à 2 ou 3 volts négatifs, car dans le

LIMITEUR D'AMPLITUDE PAR AUTOPOLARISATION.



- Fig. 3 -

cas contraire le tube ne débite plus (cut off).

La tension de polarisation est donnée par l'ensemble "R-C" et est telle, qu'elle équivaut presque à la valeur de la tension "M.F." appliquée à la grille, et qu'elle fait fonctionner le tube en classe "C".

Les valeurs de "R-C" doivent être choisies de façon à rendre la tension d'autopolarisation, fonction de la modulation d'amplitude du signal appliqué, et non de la modulation de fréquence.

En d'autres termes, la tension de grille est tirée du signal appliqué au tube et principalement de la modulation d'amplitude de ce signal.

Lorsque, pour une cause quelconque, la modulation d'amplitude augmente, la tension d'autopolarisation croît et fait diminuer en conséquence l'amplitude du signal.

En pratique, l'intervention du limiteur est provoquée par le signal même que l'on veut écreter.

La constante de temps du circuit d'autopolarisation doit être comprise

entre 5 et 25 micro-secondes, on trouve souvent :

$$R = 50 \text{ à } 100 \text{ K } \Omega$$

$$C = 100 \text{ à } 250 \text{ pF}$$

Un résultat meilleur est obtenu en branchant également sur la grille-écran un groupe "RC" qui ait la même constante de temps.

Ainsi, en augmentant la tension d'entrée, le courant de la grille-écran augmente et par conséquent la tension de cette grille diminue.

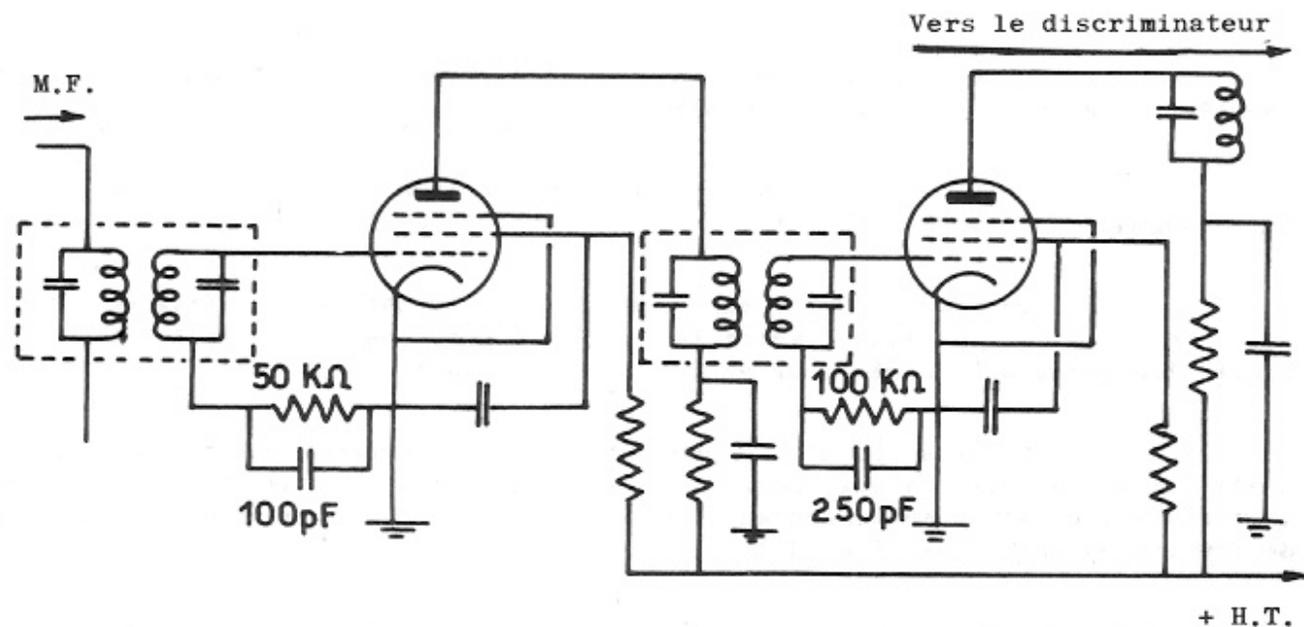
Pour des circuits bien adaptés, la limitation peut être de l'ordre de 50 fois : c'est le rapport entre la tension limitée de sortie et la tension minimum nécessaire à l'entrée pour un écrêtage suffisant.

Dans les récepteurs professionnels, on emploie parfois deux circuits limiteurs en série qui, réglés sur une constante de temps différente, améliorent la limitation en augmentant son champ d'action sur une plus grande plage de fréquences parasites (Fig. 4-).

NOTA : Comme vous avez pu le constater sur la Fig. 2-, le courant de sortie est à peu près rectangulaire, puisqu'il dérive d'une sinusoïde "dont les crêtes sont amorties". Mais cela n'a pas d'importance, puisque la charge anodique

1° Limiteur à constante
de temps de $5 \mu\text{s}$

2° Limiteur à constante
de temps de $25 \mu\text{s}$



- Fig. 4 -

avec son circuit oscillant, est accordée sur la valeur de la "M.F."; la tension de sortie obtenue aux bornes de celui-ci a de nouveau l'allure sinusoïdale, et ses variations de fréquence reproduisent exactement celles de la tension d'entrée.

Dans les récepteurs "F.M." commerciaux, actuellement fabriqués par l'industrie nationale et étrangère, la limitation est obtenue automatiquement par le détecteur : ceci n'est possible que parce que l'on a réalisé des circuits détecteurs spécifiquement "F.M." insensibles à la modulation d'amplitude : il s'agit le plus souvent du DETECTEUR A RAPPORT et du DETECTEUR DE PHASE.

3- CIRCUITS DETECTEURS. F.M.

GENERALITES.

La détection du signal modulé en fréquence se fait en deux temps :

- 1- Conversion de la modulation de fréquence en modulation d'amplitude.
- 2- Détection du signal obtenu modulé en amplitude.

La difficulté la plus grande dans cette détection consiste à obtenir la linéarité sur toute la gamme. Il s'agit de faire correspondre à une certaine fréquence une certaine tension, dont la valeur soit proportionnelle aux variations de la fréquence même.

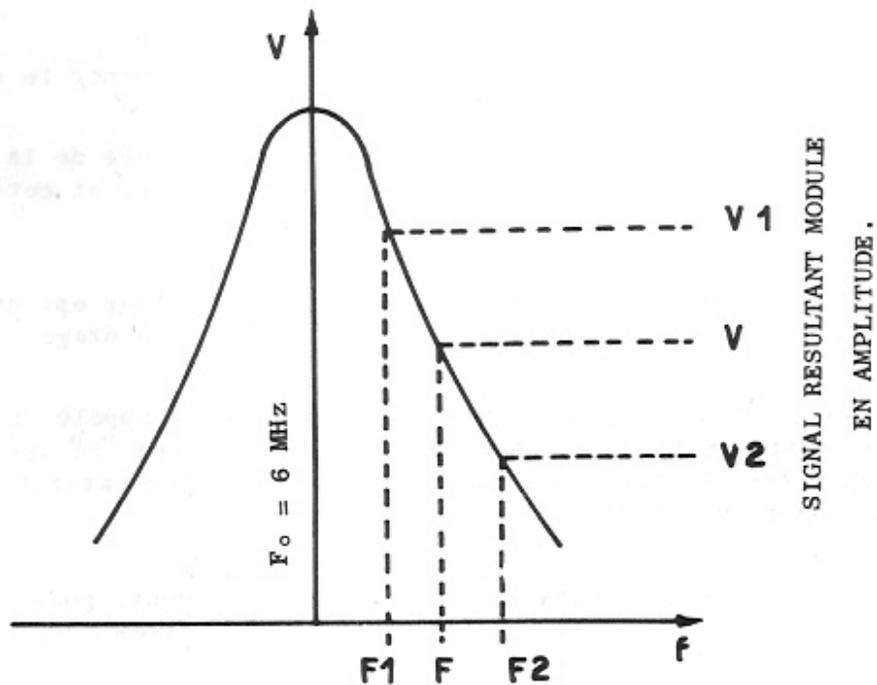
La proportionalité entre la tension développée et la dérive de fréquence doit être rigoureuse, c'est-à-dire que la courbe caractéristique du détecteur doit être une droite.

L'opération qui fait correspondre une certaine tension à une certaine fréquence est appelée DISCRIMINATION; elle est suivie de la détection : jusque-là, le signal discriminé a seulement modifié le système de modulation. Par une démodulation, on extrait ensuite le signal "B.F." (à part une composante continue due à la valeur de repos, c'est-à-dire sans modulation, de l'onde porteuse).

Un circuit oscillant quelconque peut "discriminer" une fréquence, comme la Fig. 5- l'explique.

En observant la courbe de résonance d'un circuit accordé, vous notez qu'en appliquant un signal de fréquence "F", choisi de façon à ce qu'il tombe dans la moitié du tracé rectiligne, on obtient une tension "V" correspondante. En faisant varier le signal appliqué entre les limites "F₁" et "F₂", la tension qui correspond variera dans les limites "V₁" et "V₂".

LE SIGNAL APPLIQUE EST MODULE EN FREQUENCE.



- Fig. 5 -

On a de façon simple obtenu la CONVERSION (première étape de détection) du signal "F.M." en signal "A.M.", PUISQUE LA TENSION "V" VARIE EN FONCTION DES VARIATIONS DE LA FREQUENCE "F".

Cette tension sera ensuite démodulée pour donner le signal "B.F."

Il est rigoureusement nécessaire, que le tracé de la caractéristique compris entre " V_1 " et " V_2 " soit parfaitement rectiligne, et cette condition est difficile à obtenir.

Il faut noter que, par ce système, le limiteur est absent, et si la détection est faite avec un tel circuit, il faut prévoir un étage limiteur.

Le système dont nous avons parlé peut être appelé "hors sélectivité"; en effet, le circuit oscillant est accordé sur la fréquence "F" (par exemple 6 MHz) tandis que l'on travaille avec le signal à 6,75 MHz et les variations de fréquence elles-mêmes sont comprises entre 6.600 et 6.900 KHz.

Cela explique pourquoi il est, théoriquement, possible avec un récepteur "A.M.", capable de recevoir la gamme de trois mètres, de recevoir les émissions "F.M.", lorsqu'il est légèrement désaccordé.

En pratique, cela est très difficile, soit à cause de la faible longueur d'onde, soit à cause de la largeur étroite de la caractéristique rectiligne

de résonance du récepteur "A.M."

4- CIRCUIT DETECTEUR DESACCORDE.

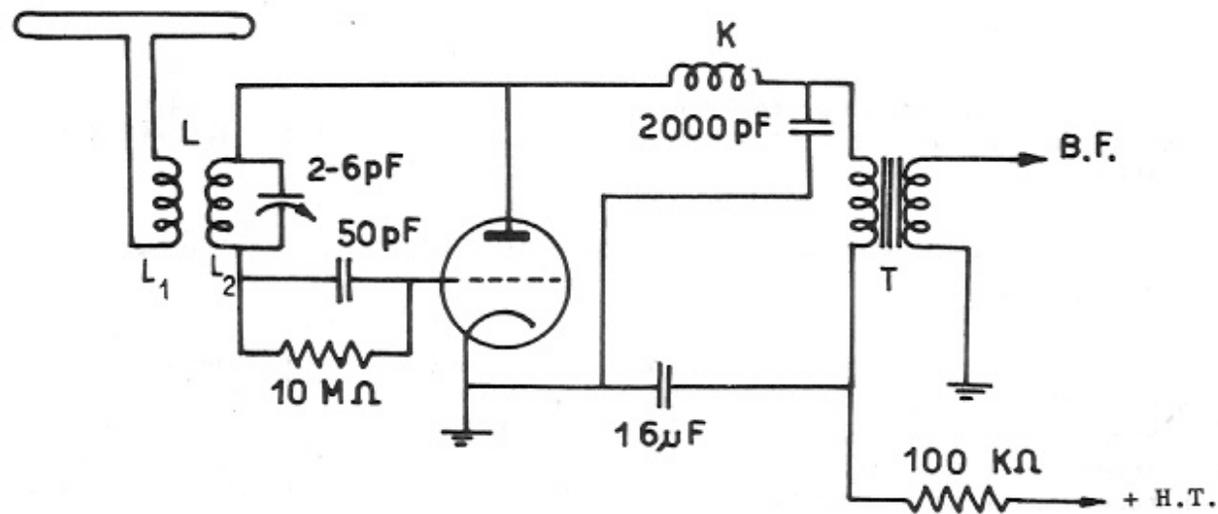
Un exemple, très courant pour les amateurs dans lequel on applique les principes de la détection à bande latérale, est donné par les RECEPTEURS A SUPER-REACTION.

Le schéma de la Fig. 6- représente précisément l'un de ceux-ci extrêmement simplifié.

Le circuit est celui d'un récepteur à réaction dans lequel la réaction est tellement accentuée qu'elle bloque (par R - C : 50 pF - 10 M) le fonctionnement de la triode à des intervalles réguliers et très brefs, dont les sons sont insensibles à l'oreille. Ce circuit a une amplification élevée et est suivi d'un tube amplificateur donnant une sensibilité identique à celle d'un superhétérodyne à 5 tubes.

Ce circuit, comme tous les récepteurs à super-réaction, est du type pour "A.M."; cependant, en désaccordant légèrement le circuit d'accord, il est possible de recevoir les émissions "F.M." avec une certaine fidélité.

Si, au contraire, le circuit d'accord est réglé exactement sur la



K = Self de choc H.F.

T = Transformateur B.F.

fréquence porteuse, on n'obtient aucune réception, et l'on n'entend qu'un bruit confus.

5- DETECTEUR POUR F.M. A BANDES LATERALES.

Un perfectionnement du détecteur décrit précédemment est également employé dans les récepteurs commerciaux : il s'agit du dispositif à bandes latérales ou à circuits accordés latéralement, représenté en Fig. 7-.

Comme vous le voyez le secondaire accordé est divisé en deux parties accordées sur des fréquences légèrement différentes, " F_1 " et " F_2 "; la fréquence d'accord du primaire, dite fréquence centrale " F_0 ", elle, est symétrique par rapport aux deux précédentes.

La différence entre " F_1 " et " F_2 " et " F_0 ", doit être supérieure à la plus grande dérive de fréquence.

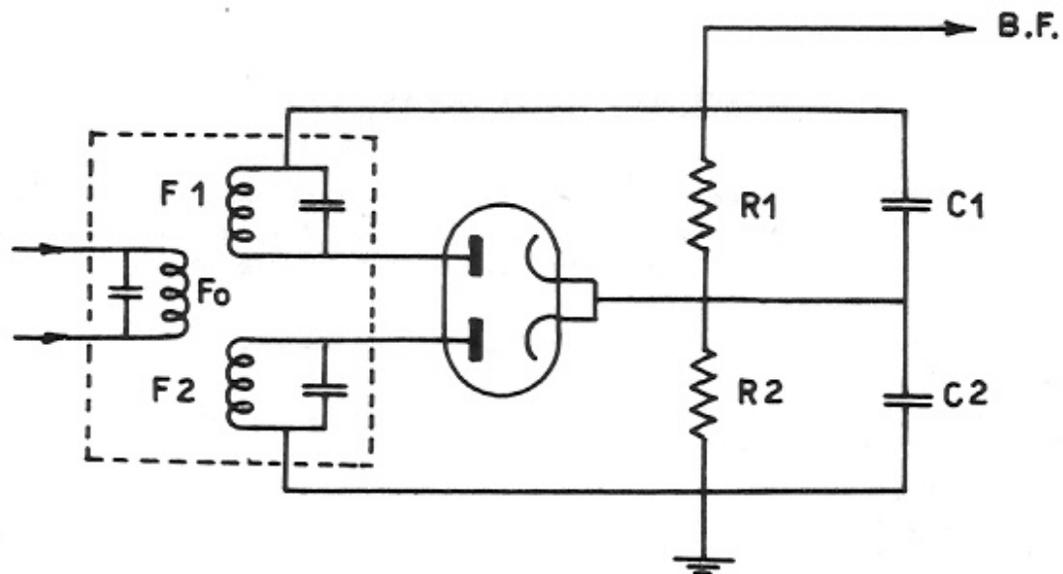
Exemple :

$$F_1 = 6,65 \text{ MHz}$$

$$F_0 = 6,75 \text{ MHz}$$

$$F_2 = 6,85 \text{ MHz}$$

DETECTEUR A BANDE LATERALE



$$F_1 = 6.650 \text{ KHz}$$

$$F_0 = 6.750 \text{ KHz}$$

$$F_2 = 6.850 \text{ KHz}$$

- Fig. 7 -

Chaque circuit secondaire est raccordé à une diode détectrice avec le groupe de détection correspondant.

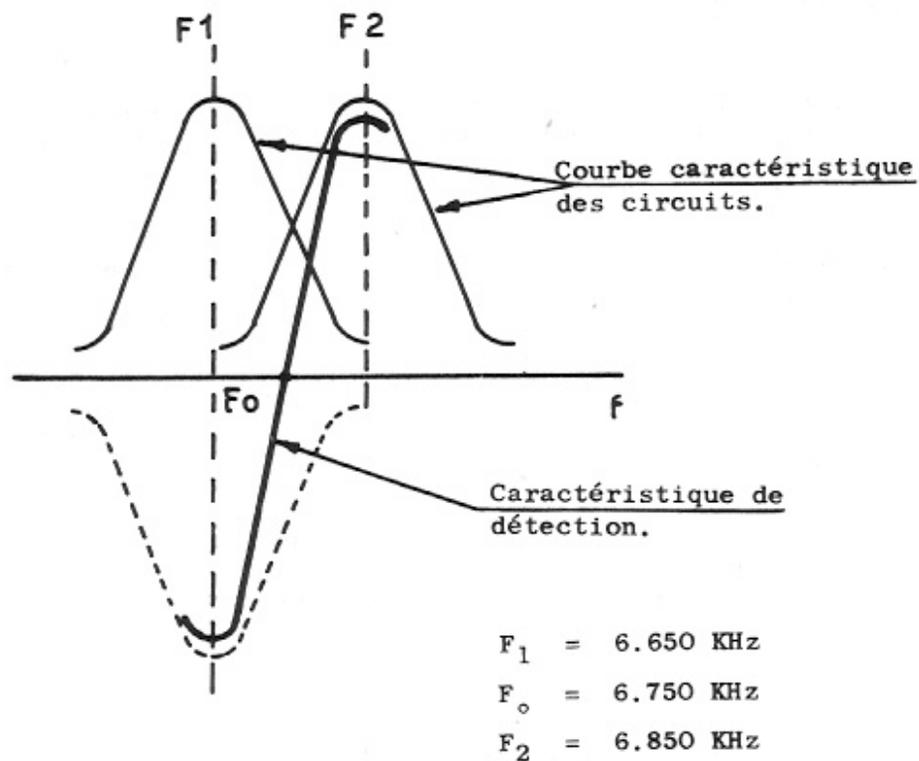
La caractéristique de détection est représentée en trait plus gras que la caractéristique normale à la Fig. 8-, sur laquelle on a tracé la courbe de résonance de chacun des deux circuits accordés.

A ce propos, je vous fais remarquer que la fréquence de désaccord (100 KHz) est très petite par rapport à la fréquence centrale " F_0 " (6.750 KHz).

La dérive de fréquence doit être comprise dans l'intervalle " $F_0 + 100$ KHz, $F_0 - 100$ KHz" ; en sortant de ces deux limites il se manifeste une distorsion linéaire.

Avec les deux pointes à ± 100 KHz le fonctionnement est régulier puisque la dérive la plus grande, qui correspond à 100 pour 100 de modulation est de ± 75 KHz.

Le fonctionnement du circuit est le suivant ; la présence au primaire d'un signal modulé en fréquence, détermine le fonctionnement des diodes (instantanément de l'une ou de l'autre selon que la fréquence est plus grande ou



- Fig. 8 -

plus petite que " F_0 "). Il apparaît ainsi, aux bornes des deux groupes de détection des tensions continues correspondantes.

Ces tensions sont en parallèle, en ce qui concerne le raccordement des diodes qui ont la cathode commune, mais elles sont de polarité opposée en ce qui concerne le signal "B.F." prélevé.

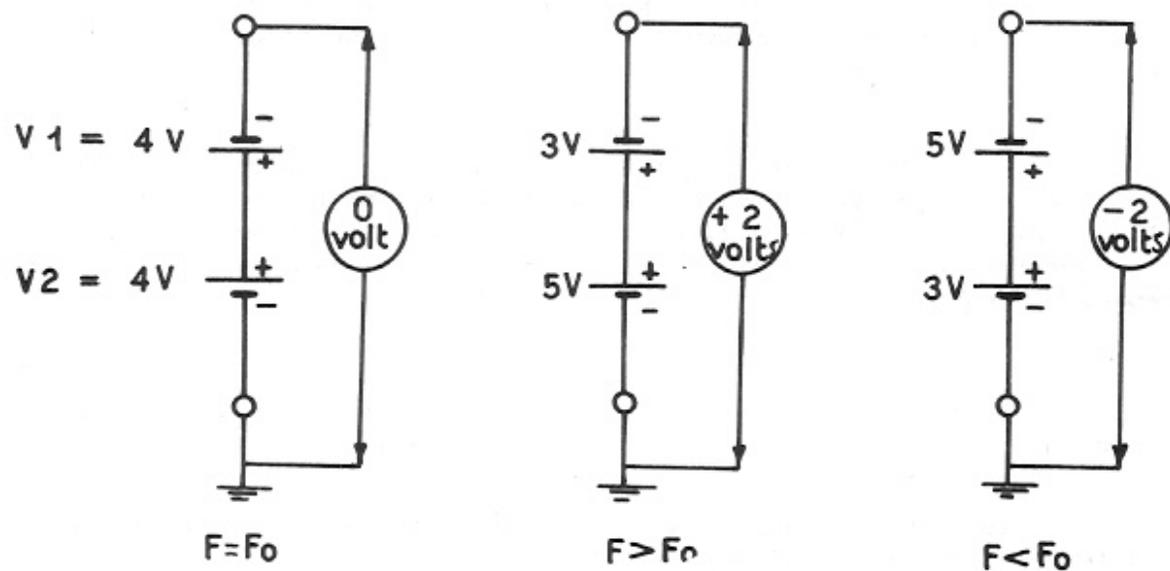
Si la fréquence appliquée au primaire est égale à " F_0 ", les tensions aux bornes des deux groupes de détection sont égales, et on ne détecte pas de signal "B.F." Si au contraire la fréquence appliquée au primaire est différente de " F_0 " et comprise dans l'intervalle $\pm "F"$, les tensions dans les deux groupes sont différentes et leur différence constitue précisément le signal "B.F." que l'on cherche.

La Fig. 9- vous expliquera mieux comment s'établit cette différence de tension.

Imaginez que nous remplacions les tensions prélevées sur les groupes de détection, par piles sèches " V_1 " et " V_2 ".

Lorsque " $F = F_0$ ", les tensions sont égales et on ne trouve pas de différence qui puisse produire le signal "B.F."

EXEMPLE DE LA DETECTION A RAPPORT DE TENSIONS



- Fig. 9 -

Quand "F" est plus grand que " F_0 ", " V_1 " diminue et " V_2 " augmente engendrant ainsi une différence de tension ; le contraire se produit lorsque "F" est inférieur à " F_0 ".

Comme je vous l'ai déjà dit, la variation de cette différence constitue précisément le signal "B.F."

Un tel détecteur est assez compliqué dans sa construction aussi bien mécanique, qu'électrique, et il a été pratiquement abandonné ; de plus il est surpassé, en simplicité et efficacité, par les autres types que nous verrons ensuite.

D'une façon générale, le détecteur à bandes latérales présente une difficulté de mise au point et une linéarité insuffisante pour la plage de dérive nécessaire.

Dans la prochaine leçon je vous parlerai des autres types de circuits détecteurs "F.M."

- Détecteur à déphasage ou discriminateur de Foster-Seely.
- Détecteur à rapport symétrique.
- Détecteur à rapport dissymétrique.

REPONSES AUX EXERCICES DE REVISION SUR LA 39ème LECON THEORIQUE "F.M."
OU SUR LA 5ème LECON THEORIQUE "F.M./C".

- 1- La valeur de la "M.F." pour les récepteurs "F.M." est de 6,75 MHz (quelquefois 10,7 MHz), la largeur de bande est pratiquement de 150 KHz.
- 2- Les motifs qui ont déterminé le choix le choix de cette valeur sont :
 - réduction de l'effet de dérive (glissement de fréquence).
 - constance de l'amplification.
 - réduction des rotations de phase.
 - fréquences harmoniques hors de la gamme de réception.
 - rapport élevé entre fréquence d'accord et bande passante.
- 3- Deux étages d'amplification "M.F." sont nécessaires pour obtenir un signal d'amplitude suffisante au fonctionnement du limiteur. A 6,75 MHz l'amplification d'un étage est voisine de 30, alors qu'à 455 KHz elle est voisine de 100.
- 4- Pour obtenir la largeur de bande de 150 KHz, on préfère employer le principe où tous les circuits sont accordés à 6,75 MHz, avec un couplage particulier entre le primaire et le secondaire.

EXERCICES DE REVISION SUR LA 40ème LECON THEORIQUE "F.M."
OU SUR LA 6ème LECON THEORIQUE "F.M./C".

- 1- Pourquoi la limitation est-elle nécessaire ?
- 2- Quelle est la caractéristique indispensable pour garantir le fonctionnement du limiteur ?
- 3- Quelles sont les étapes de détection employées pour la "F.M." ?
- 4- Sur quel principe se base le détecteur à bandes latérales ?
- 5- Comment obtient-on la courbe de réponse du détecteur à bandes latérales ?
- 6- Quelle doit être la distance entre les deux crêtes de la caractéristique d'un détecteur "F.M." ?