

T H E O R I E



Eurelec-

COURS DE RADIO PAR CORRESPONDANCE

SUPERHETERODYNE
=====

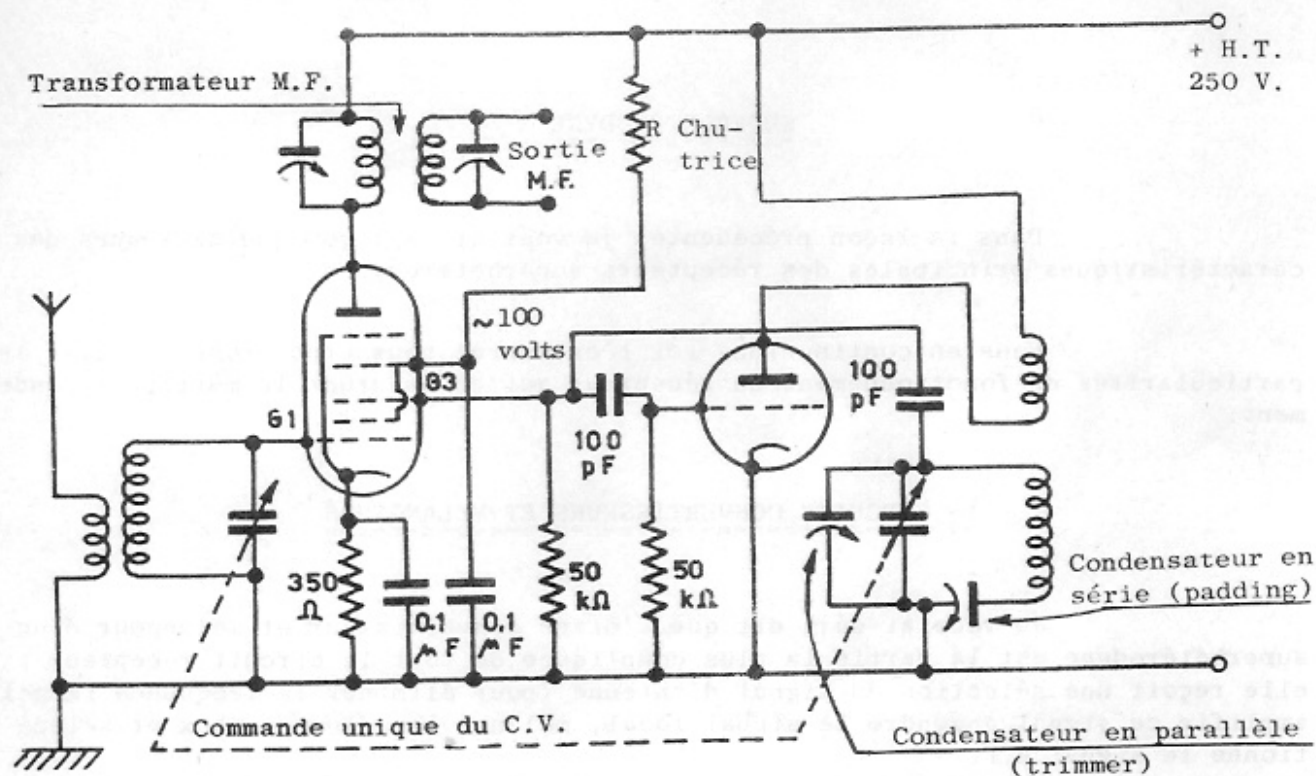
Dans la leçon précédente, je vous ai expliqué quelques-unes des caractéristiques principales des récepteurs superhétérodynes.

Nous en continuerons ici l'examen et nous étudierons en outre les particularités de fonctionnement de récepteur qui en assurent le meilleur rendement.

1- CIRCUITS CONVERTISSEURS ET MELANGEURS
=====

Je vous ai déjà dit que l'étage convertisseur et mélangeur d'un superhétérodyne est la partie la plus compliquée de tout le circuit récepteur : elle reçoit une sélection du signal d'antenne (pour éliminer la fréquence image), amplifie ce signal, engendre le signal local, mélange les deux signaux et sélectionne le signal M.F.

De plus, l'étage convertisseur doit être monté de manière telle



- Fig. 1 -

que le signal du générateur local ne puisse pas être rayonné à travers le circuit d'antenne et donner des perturbations dans les récepteurs du voisinage.

Il est donc recommandable d'examiner quelques circuits afin de connaître les méthodes les plus courantes employées pour obtenir la conversion.

EXEMPLE N° 1

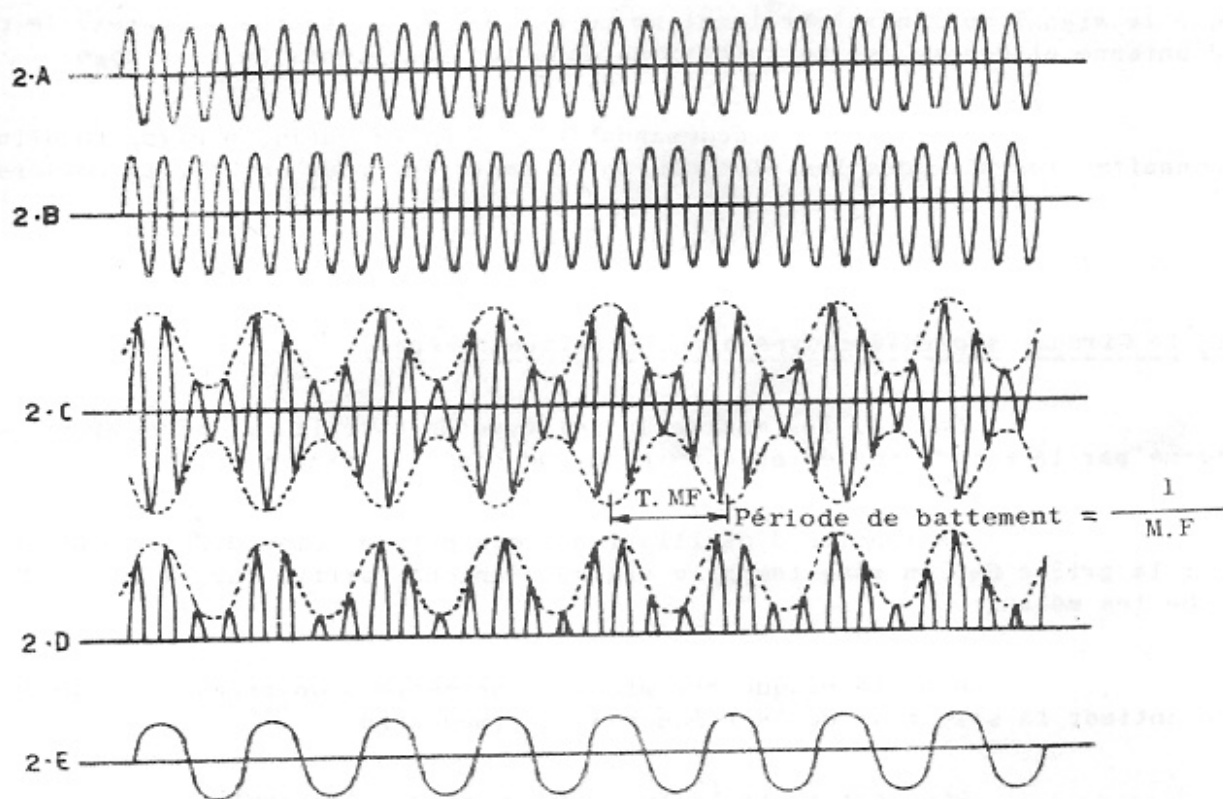
1- 1- Circuit superhétérodyne avec oscillateur séparé.

La Fig. 1- montre un tel type de circuit : l'hétérodyne est formé par la triode montée en générateur de réaction simple.

La tension d'oscillation créée, est injectée dans le tube d'entrée par la grille G_3 ; en même temps, le signal d'antenne arrive sur la grille G_1 et le tube les mélange.

Dans la plaque est placé le primaire d'un transformateur M.F. et on obtient la sélection de la fréquence intermédiaire.

Pour éclaircir le fonctionnement de l'ensemble, j'ai dessiné Fig 2- les formes d'onde des signaux en différents points du circuit mélangeur, en supposant que le signal qui arrive sur l'antenne n'est pas modulé.



- Fig. 2 -

L'explication des diverses figures est la suivante :

- 2.A : Signal d'entrée sur la grille "G₁" . Ce signal H.F. n'est pas modulé : toutes les pointes des sinusoïdes ont donc la même amplitude.

- 2.B : Signal engendré par l'hétérodyne et appliqué à la grille "G₃".

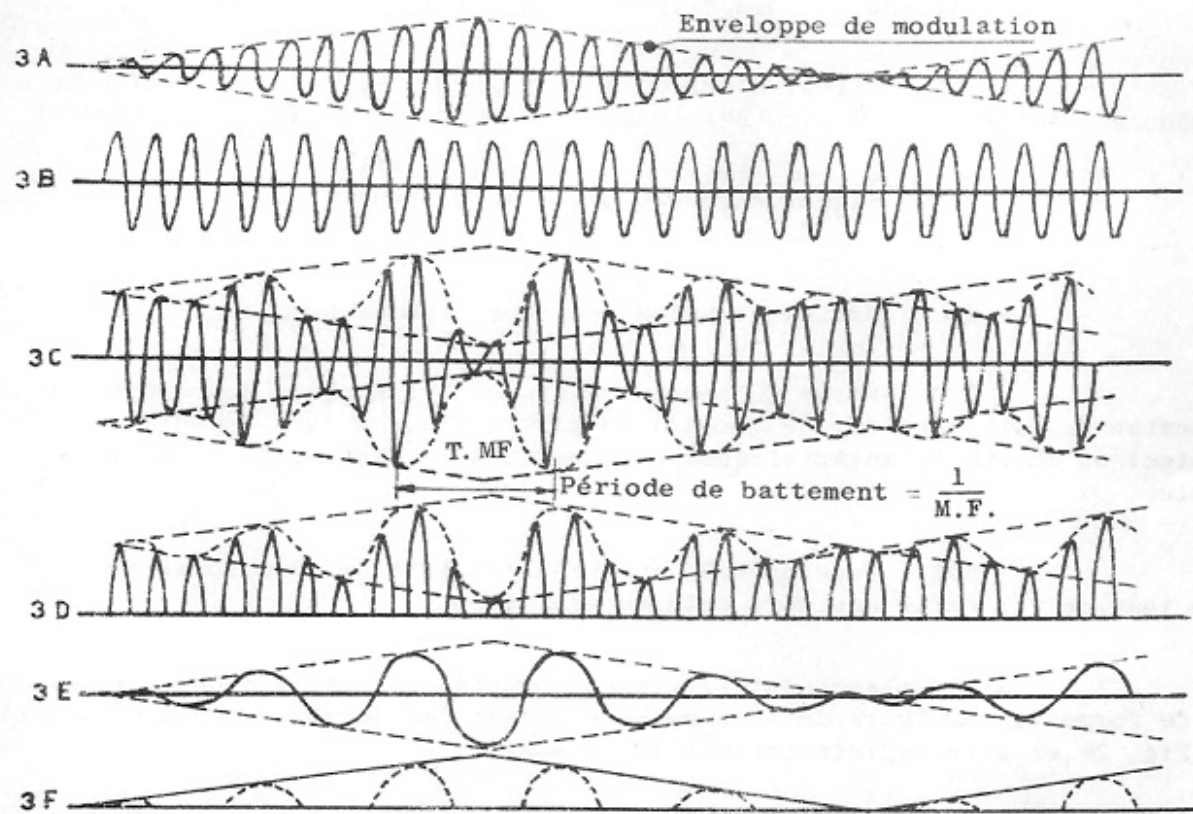
- 2.C : Battement entre les deux signaux précédents.

- 2.D : Forme du courant à travers la plaque, due à l'effet de la tension de battement sur le courant électronique dans le tube, et à l'effet de détection dû aux caractéristiques du tube et à la tension de polarisation choisie.

- 2.E : Tension M.F. sur le secondaire du transformateur M.F. Cette tension est celle qui sera ensuite amplifiée.

Si le signal qui arrive est modulé, par exemple par une tension B.F. de forme triangulaire, on aura successivement les formes d'ondes indiquées à la Fig. 3- et l'interprétation est la suivante :

- 3.A : Signal H.F. modulé, à l'entrée de la grille "G₁".



- Fig. 3 -

- 3.B : Signal de l'hétérodyne (voir 2.B)
- 3.C : Battement (voir 2.C)
- 3.D : Courant sur la plaque (comme en 2.D)
- 3.E : Tension M.F. (comme en 2.E)
- 3.F : Tension M.F. détectée par le second détecteur qui fournit la tension B.F. initiale. Le cycle est alors complet. Après la dernière détection, le récepteur ne comporte que des étages Basse Fréquence. D'après l'examen des figures, on voit la méthode de conversion utilisée pour le circuit de la Fig. 1-.

Cette méthode est appliquée dans tous les circuits convertisseurs de fréquence du type superhétérodyne que nous examinerons maintenant et on retrouvera donc les mêmes figures avec la même signification.

Comme observation générale il faut rappeler qu'il est nécessaire que la tension créée par l'hétérodyne soit la plus grande possible pour obtenir une S_c suffisante (pente de conversion) dans le tube mélangeur, même sans produire des saturations dans le tube lui-même ; de plus, la fréquence engendrée par l'hétérodyne doit être stable et ne pas subir l'influence de la tension d'alimentation et être indépendante des variations de température qui agissent sur les éléments du circuit.

Si la fréquence engendrée n'est pas stable, il devient difficile de maintenir la synchronisation du récepteur et on est obligé de procéder à des artifices de régulation.

La détection du battement du signal "H.F." (Fig.2- D et 3- D), est indispensable pour obtenir la tension M.F. (c'est-à-dire le battement lui-même) aux bornes du transformateur de M.F.

En effet le signal de battement est une modulation réelle et particulière du signal "H.F." engendré par l'hétérodyne.

A propos du circuit de la Fig 1-il faut encore dire qu'il serait avantageux de travailler à fréquences élevées ; mais dans les récepteurs normaux, on ne le fait pas parce qu'il faudrait deux tubes, ce qui augmenterait le prix du récepteur.

EXEMPLE N° 2

1.2. Circuit superhétérodyne avec pentagrille convertisseuse.

La Fig. 4- représente le circuit ; dans ce schéma le tube accomplit une double fonction : engendrer l'oscillation locale et effectuer la conversion.

C'est une des méthodes les plus largement employées dans les récepteurs normaux.

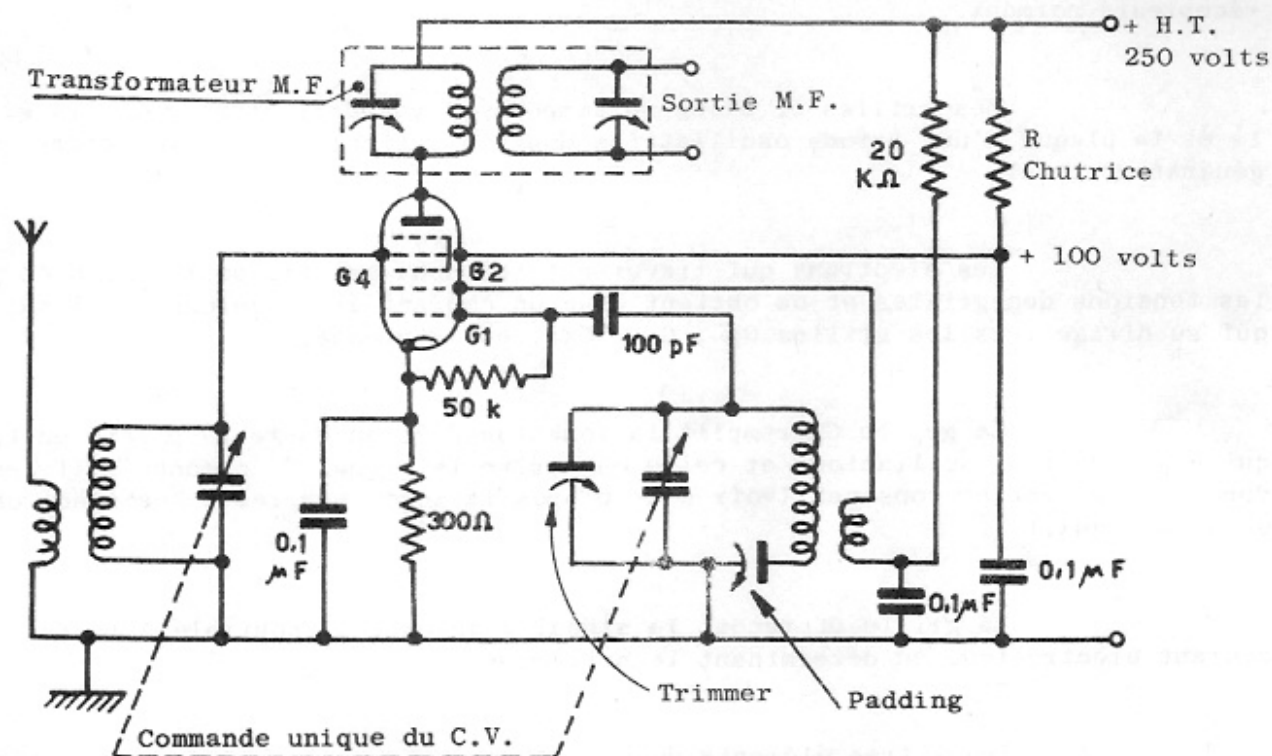
Les grilles G1 et G2 se comportent respectivement comme la grille et la plaque d'une triode oscillatrice dont on obtient le fonctionnement comme générateur local.

Les électrons qui traversent ces deux grilles sont contrôlés par les tensions des grilles et on obtient donc un courant électronique oscillant qui se dirige vers les grilles G3 , G4 , G5 , et la plaque.

La grille G3 remplit la fonction d'écran entre la partie du tube qui engendre les oscillations et celle où arrive le signal d'antenne : elle est donc à un potentiel constant. (voir à ce propos la leçon sur les tubes électroniques spéciaux.)

La grille G4 reçoit le signal d'antenne et contrôle à la fois le courant électronique en déterminant le battement.

Les autres éléments du circuit ne présentent pas de nouveautés.



- Fig. 4 -

Le fonctionnement de ce circuit est bon dans un domaine de fréquences pas trop élevées et il est possible d'utiliser pour la partie triode un type quelconque de circuit générateur comme sur le schéma de la Fig. 1-.

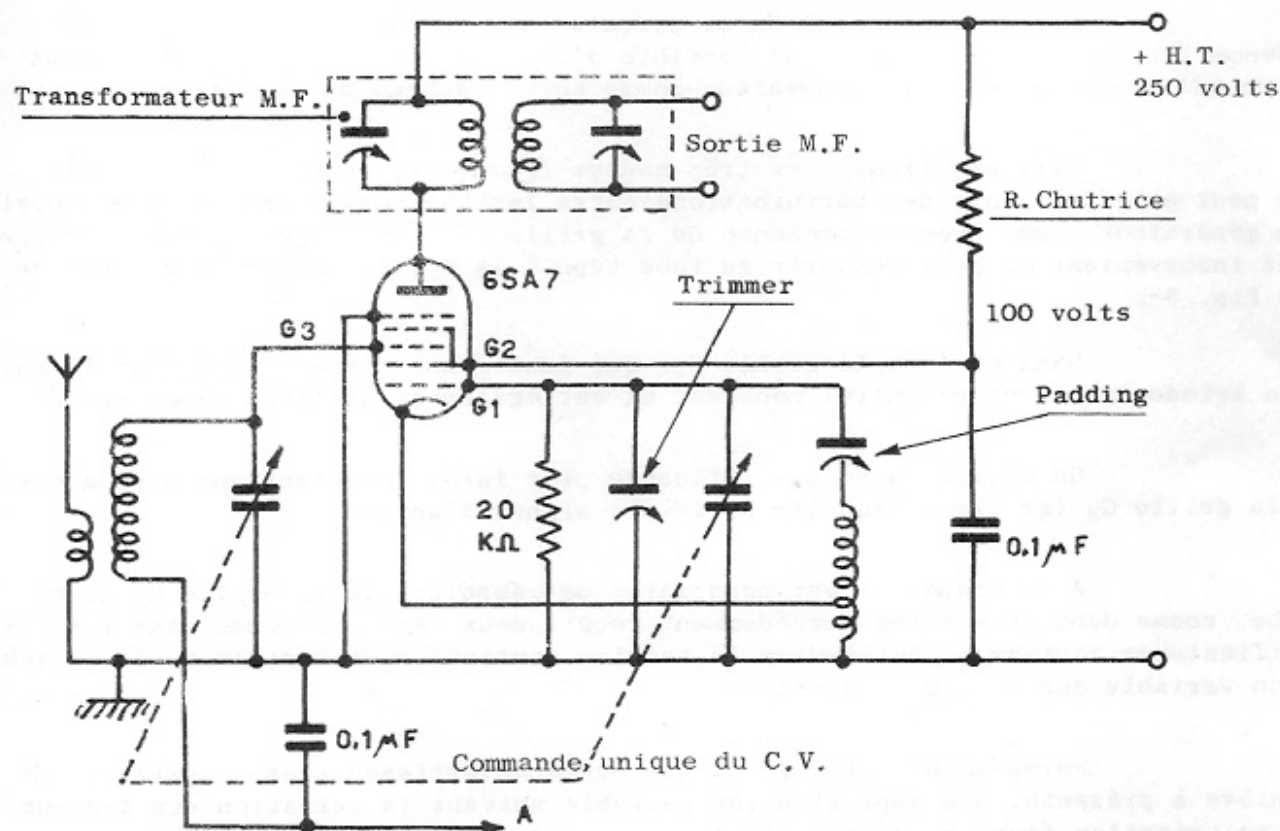
Mais aux fréquences très hautes (gamme des ondes très courtes), on peut en effet avoir des perturbations entre les tensions d'entrée et de sortie du générateur, même avec la présence de la grille de découplage G₃. Pour réduire cet inconvénient on peut recourir au tube type 6 SA 7 et réaliser le circuit de la Fig. 5-.

Dans ce tube, la grille G₂ qui fonctionne comme plaque pour la partie triode, est à un potentiel constant et est également utilisée comme écran.

On obtient donc une influence plus faible des tensions appliquées à la grille G₃ (grille à laquelle arrive le signal d'antenne.)

A ce propos, il est nécessaire de rappeler que la Grille G₃ de ce tube, comme dans ceux cités précédemment, reçoit deux tensions comme dans les amplificateurs normaux, c'est-à-dire la tension continue de polarisation et la tension variable due au signal d'entrée.

Normalement cette grille de tubes convertisseurs est construite de manière à présenter une amplification variable suivant la variation des tensions de polarisation (tube à μ variable ou, pour mieux dire à pente variable).



- Fig. 5 -

Si le signal qui arrive est trop fort, on peut faire varier la tension de polarisation et diminuer l'amplification de l'étage, en évitant les phénomènes de distorsion dus aux tensions importantes.

Dans le schéma de la Fig.5- on pourra donc faire arriver au point "A" une tension continue négative réglable manuellement ou automatiquement, pour obtenir l'effet de régulation désiré.

Un système analogue pourra être disposé dans les schémas précédents, en substituant à la polarisation obtenue avec la résistance cathodique, une polarisation à commande variable.

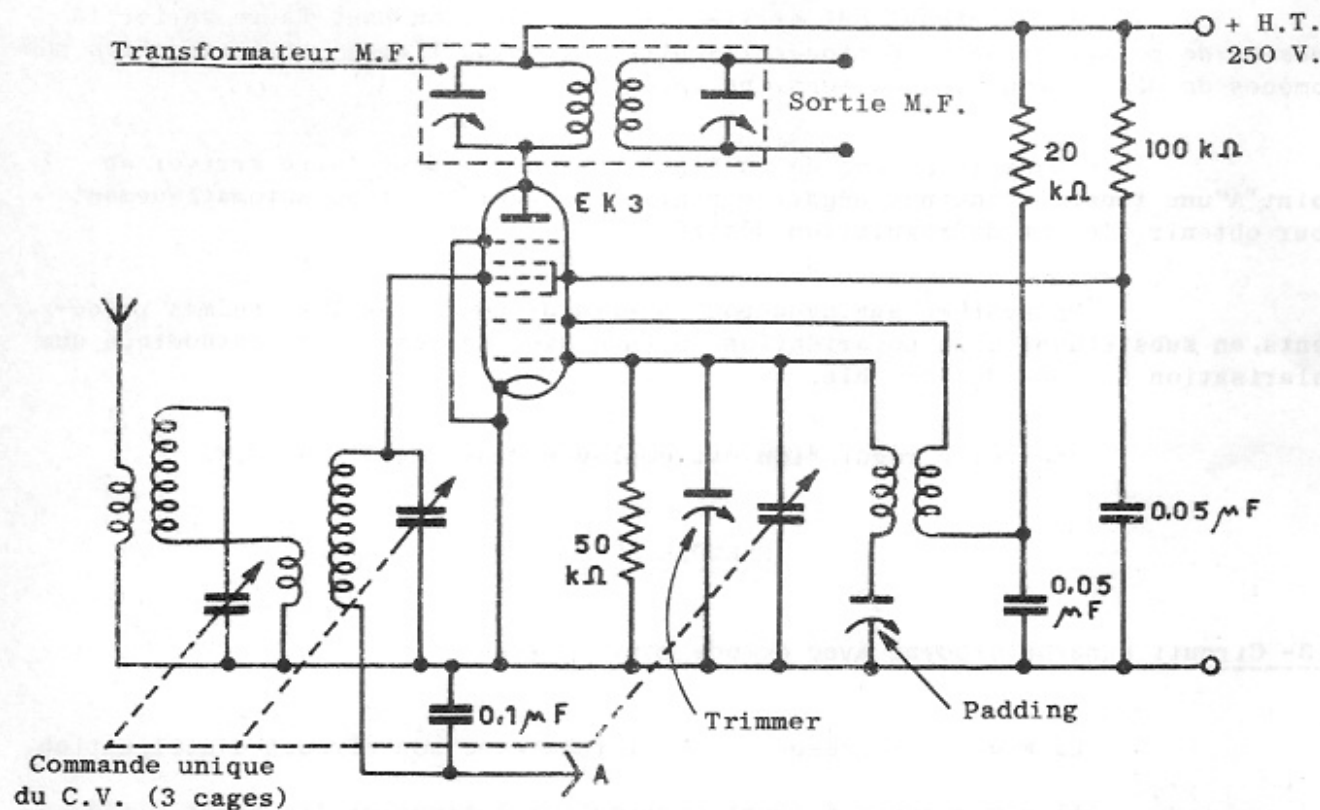
Une telle régulation est employée dans les étages M.F.

EXEMPLE N° 3

1.3- Circuit superhétérodyne avec octode convertisseuse.

La Fig. 6- représente un tel tube avec son circuit d'utilisation.

Il n'y a aucun élément particulier à signaler ; la seule différence à noter par rapport aux schémas précédents est l'utilisation d'un circuit spécial de filtrage placé à l'entrée.



- Fig. 6 -

Il n'est justifié que si la valeur de la M.F. est basse et lorsqu'il devient particulièrement difficile d'éliminer le signal image : dans les autres cas il est préférable de recourir aux circuits plus simples déjà dessinés.

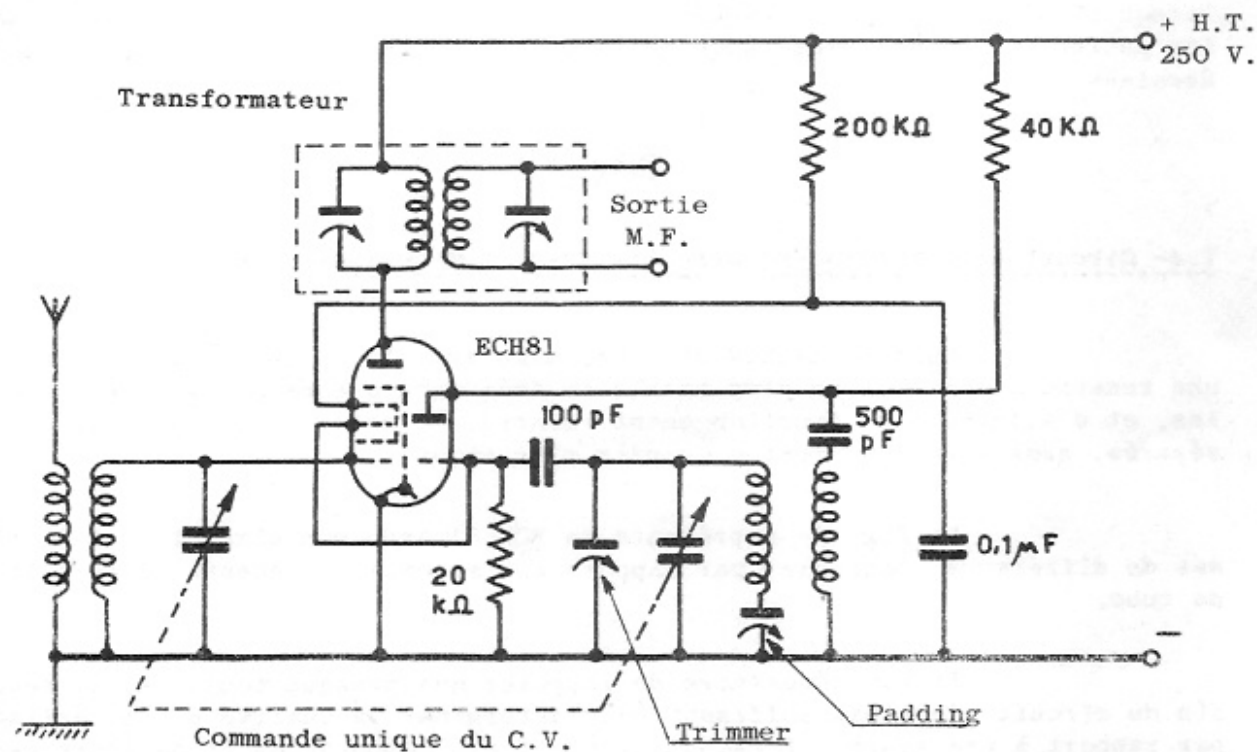
EXEMPLE N° 4

1.4- Circuit superhétérodyne avec triode-heptode convertisseuse.

Un tube double dans une même ampoule en verre, permet de créer une tension d'oscillation plus stable en fréquence que celle des tubes pentagrilles, et d'atteindre un fonctionnement identique à celui obtenu avec deux tubes séparés, sans l'inconvénient d'un prix plus élevé.

La Fig. 7- représente un ECH 81 avec son circuit : et il n'y a pas de différence sensible par rapport aux schémas précédents, à part le type de tube.

Il est nécessaire de rappeler que presque toujours, le seul dessin du circuit n'est pas suffisant pour déterminer la qualité d'une réalisation par rapport à une autre : l'examen attentif des composantes et de leurs caractéristiques peut fournir les indications, qui permettent une comparaison utile.



- Fig. 7 -

EXEMPLE N° 5

1.5 - Circuit superhétérodyne avec étage préamplificateur.

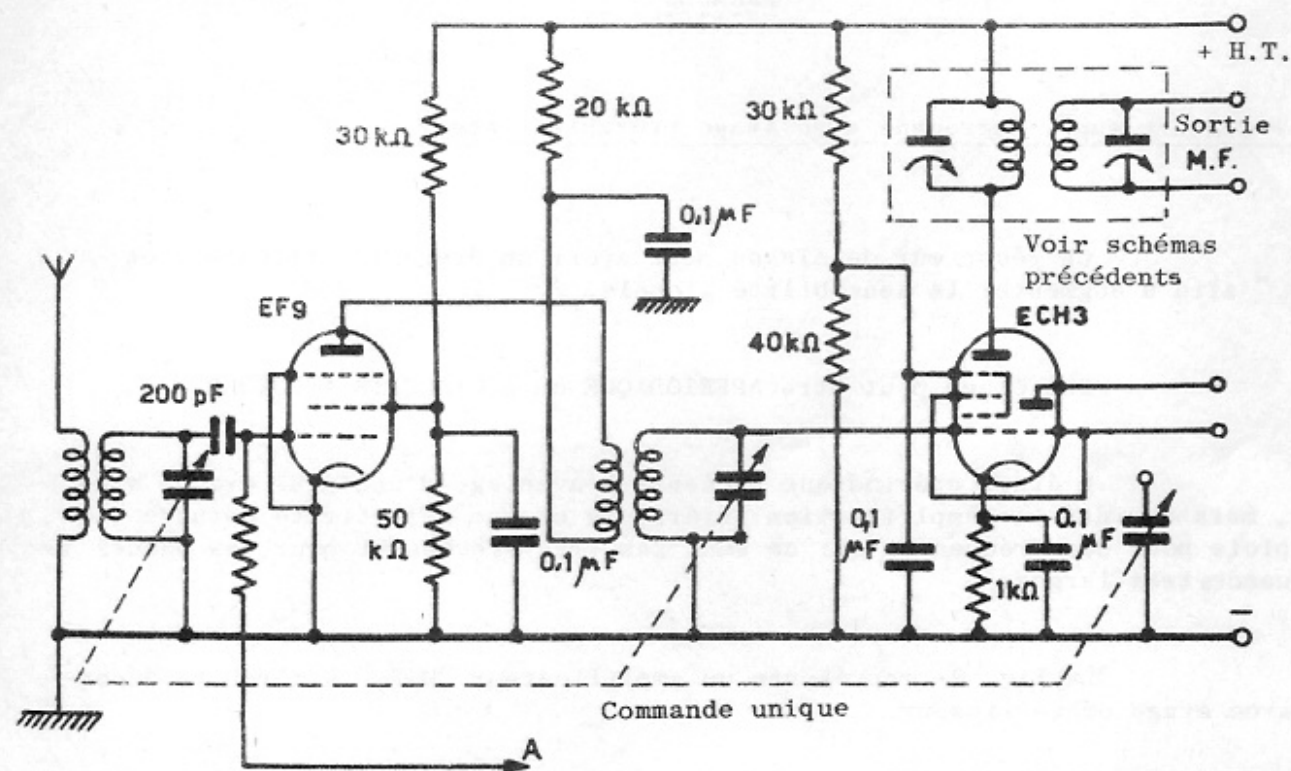
Un récepteur de classe peut avoir un étage amplificateur en "H.F." afin d'augmenter la sensibilité globale.

Cet étage peut être APERIODIQUE ou à CIRCUITS ACCORDES.

L'étage apériodique présente l'avantage d'une plus grande simplicité, mais fournit une amplification inférieure et une sélectivité moindre : on l'emploie pour des fréquences qui ne sont pas très élevées et pour des bandes de fréquences très larges.

La Fig. 8- représente un amplificateur "H.F." à circuits accordés avec étage convertisseur.

Dans l'étage à circuits accordés on utilise une partie du condensateur variable d'accord qui aura donc trois cages au total : une pour l'entrée



- Fig. 8 -

de l'étage amplificateur "H.F.", la seconde pour l'entrée de l'étage convertisseur, l'autre pour le réglage de la fréquence de l'oscillateur.

Les différents circuits oscillateurs, connectés au condensateur variable, doivent être réglés de manière que l'on obtienne pour chaque position du condensateur variable, le rendement maximum de tout l'ensemble dans les meilleures conditions.

Cela veut dire que dans une position quelconque de l'axe de commande, les deux circuits oscillateurs d'entrée des étages doivent être en synchronisation parfaite avec la station que l'on reçoit.

Le circuit oscillateur du générateur doit être exactement synchronisé sur la fréquence qui diffère de la fréquence à recevoir (émission), par la valeur même de la "M.F."

2- CIRCUITS AMPLIFICATEURS A FREQUENCE INTERMEDIAIRE

Le circuit amplificateur à fréquence intermédiaire (étage amplificateur de Moyenne Fréquence) est formé simplement par une pentode amplificatrice de tension en classe "A". A la grille de commande de cette pentode est appliqué le signal "M.F." qui arrive du circuit convertisseur à travers le premier filtre de M.F.; sur la plaque de cette pentode est placé le second filtre de "M.F."

Dans un appareil récepteur, on peut utiliser un ou plusieurs étages de M.F.

Un récepteur domestique du type normal a un seul étage amplificateur de "M.F.": la sélectivité de l'appareil dépend en grande partie du 1er filtre.

Pour obtenir une sélectivité meilleure et avoir en outre une sensibilité plus élevée, on peut disposer un second étage "M.F." et avoir au total trois filtres "M.F."

On le fait sur les récepteurs de type professionnel (utilisés pour des liaisons à grande distance ou en conditions difficiles sur ondes courtes) et sur certains récepteurs de luxe.

L'amplification remarquable que l'on obtient dans un étage "M.F." peut facilement donner naissance à des accrochages, soit par des couplages parasites entre les circuits, soit par induction à travers l'air.

L'étude et la construction d'un tel étage doivent être donc faites avec beaucoup d'attention. La Fig. 9~ représente un circuit normal de "M.F." semblable à un étage sélectif ordinaire.

Mais son fonctionnement doit être tel qu'il n'amplifie pas une seule fréquence, mais une bande entière de fréquences.

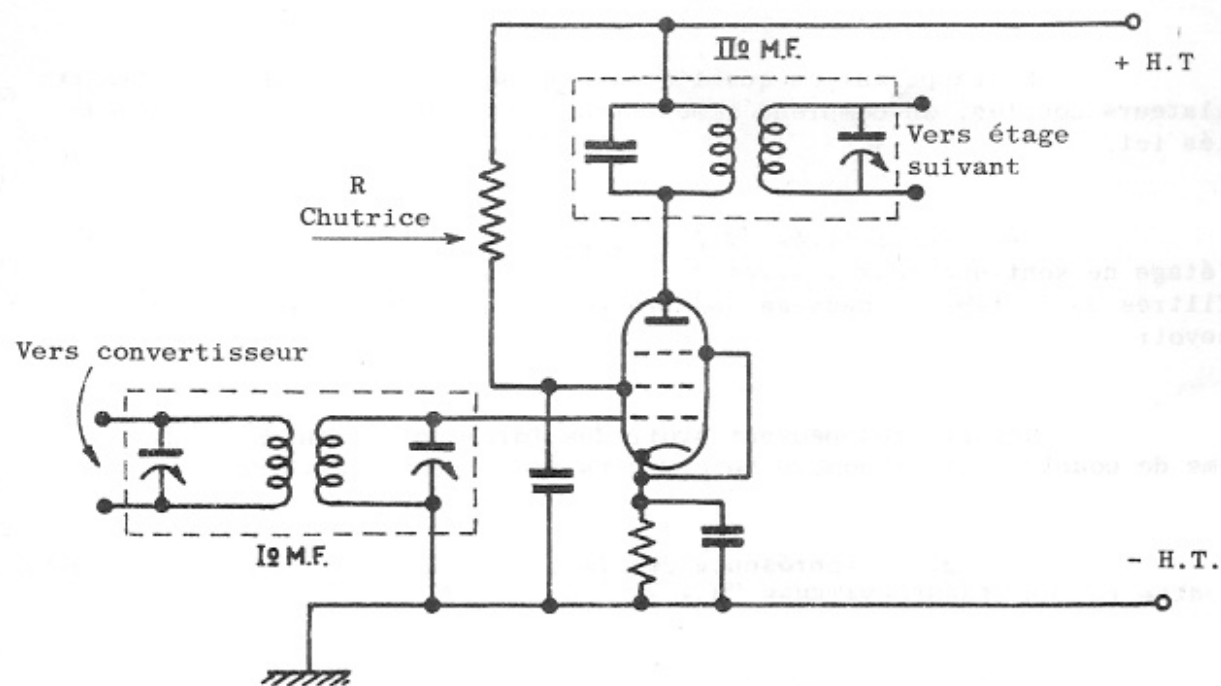
Se rappelant ce que l'on a dit dans la leçon sur les circuits oscillateurs couplés, on comprend immédiatement le but des filtres de bande étudiés ici.

Les deux filtres "M.F." disposés à l'entrée et à la sortie de l'étage ne sont que deux filtres de bande accordés sur la valeur de la "M.F."; ces filtres permettent le passage des fréquences qui constituent l'onde modulée à recevoir.

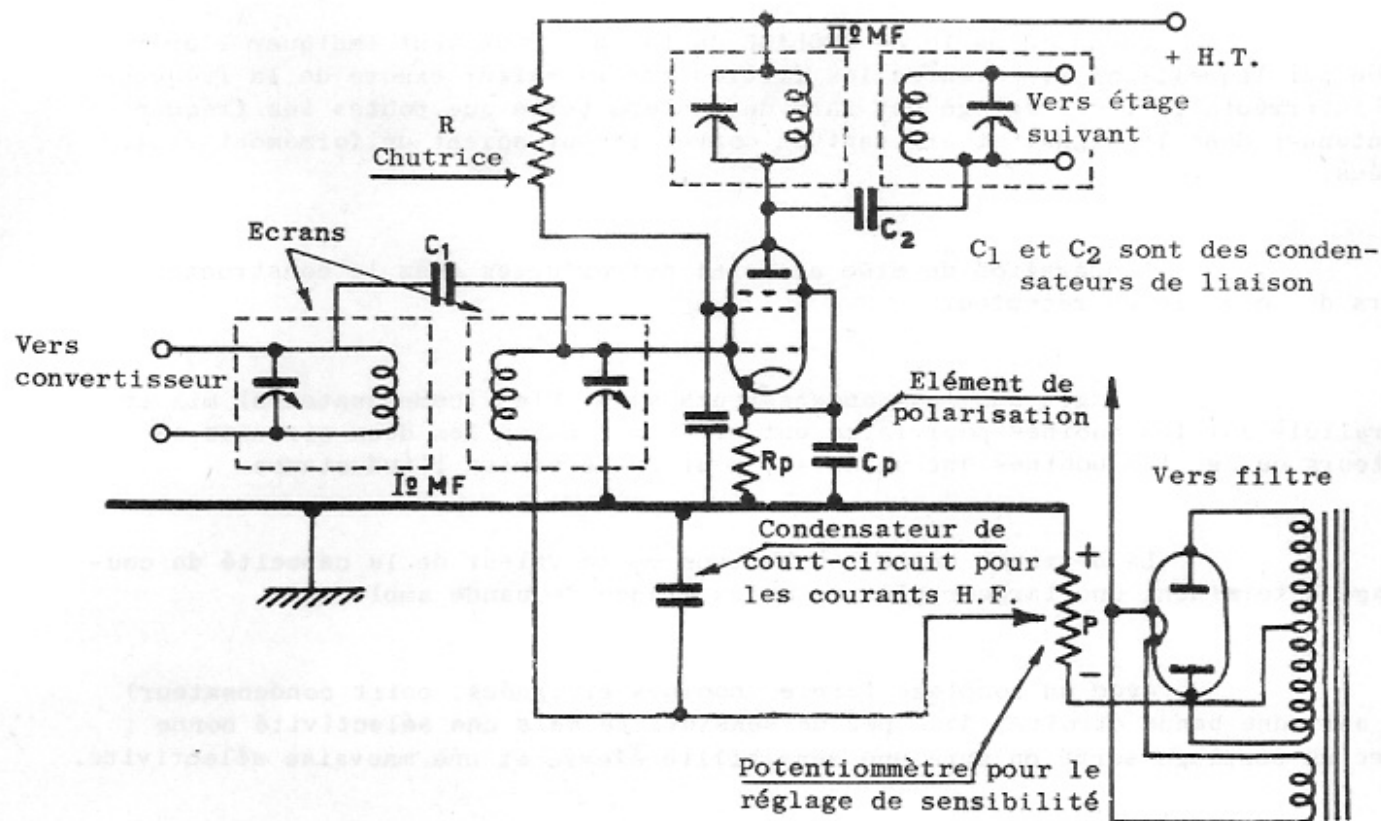
Ces filtres peuvent avoir des formes différentes suivant le système de couplage et le nombre de circuits oscillateurs utilisés.

La Fig. 9- représente des filtres à couplage inductif, appelés pour cette raison TRANSFORMATEURS "M.F."

La Fig. 10-, par contre, représente des filtres à couplage capacitif.



- Fig. 9 -



- Fig. 10 -

Quand on parle de REGLAGE de la "M.F." on veut indiquer l'opération par laquelle on synchronise les filtres sur la valeur exacte de la fréquence intermédiaire : ce réglage est fait de manière telle que toutes les fréquences contenues dans le signal et arrivant du convertisseur soient uniformément amplifiées.

L'opération de mise au point est exécutée chez le constructeur lors du contrôle du récepteur.

On agit sur les condensateurs ajustables (compensateurs) mis en parallèle sur les bobines pour faire entrer en résonance les deux circuits oscillateurs ou, si les bobines ont un noyau, pour faire varier l'inductance.

La distance entre les bobines ou la valeur de la capacité de couplage déterminent une largeur plus ou moins grande de bande amplifiée.

Avec un couplage faible (bobines éloignées, petit condensateur) on aura une bande étroite, donc peu de sensibilité mais une sélectivité bonne ; avec un couplage serré on aura une sensibilité élevée et une mauvaise sélectivité.

Le premier filtre est toujours construit avec un couplage lâche

pour obtenir une bonne sélectivité , tandis que le second est couplé serré pour avoir un bon transfert d'énergie et une augmentation de la sensibilité.

Si les éléments du circuit restent stables, la mise au point se maintient dans le temps .

Quand on doit remplacer certains éléments du circuit il est à conseiller d'effectuer de nouveau le réglage .

Il reste encore à parler des critères qui font choisir la valeur de la fréquence intermédiaire, sur laquelle les filtres doivent être accordés, et qui déterminent par conséquent la plage de fonctionnement de l'hétérodyne.

Autrefois, quand la réception des ondes longues était très répandue, on choisissait la "M.F." autour de 110 KHz à 175 KHz .

Mais actuellement pour concilier les exigences de sélectivité et de reproduction des récepteurs modernes ainsi que les possibilités de réception de plusieurs gammes d'onde (G.O, P.O, O.C.) on préfère choisir la valeur de la "M.F." entre 450 KHz et 470 KHz.

Une réception en onde moyenne avec une telle fréquence "M.F."

ne présente pas d'ennui pour la fréquence image, et le circuit d'accord sur l'entrée de l'étage convertisseur pourra donc être simple et économique.

Pour la réception sur la gamme des ondes courtes, ces valeurs de la "M.F." sont à peine suffisantes et les inconvénients dus à l'influence de la fréquence image se manifestent plus facilement. C'est pour cette raison que les appareils destinés à recevoir uniquement les ondes courtes ont une valeur de "M.F." plus élevée (normalement 1600 KHz). On arrive même à avoir des "M.F." de 10, 7 MHz dans les récepteurs pour ondes ultracourtes, et plus élevées encore dans les téléviseurs.

Dans le circuit de la Fig. 10- j'ai également représenté la liaison qui va à la polarisation réglable pour obtenir un contrôle de l'amplification de l'étage, comme on l'avait déjà fait pour les circuits convertisseurs.

Voyons maintenant comment s'obtient la régulation .

3- CONTROLE DE LA SENSIBILITE DU RECEPTEUR.

Les raisons qui rendent nécessaire le contrôle de l'amplification des étages d'un récepteur, et donc de la sensibilité (c'est-à-dire de la possibilité d'amplifier des signaux toujours plus faibles) sont les suivantes :

a- Eviter les phénomènes de saturation dans l'étage détecteur

et également dans les étages précédents.

b- Compenser l'effet d'évanescence (fading) qui se manifeste dans la transmission des ondes radio (en particulier sur les ondes courtes).

Le réglage de la sensibilité s'effectue dans les étages qui travaillent, en "H.F." et en "M.F."

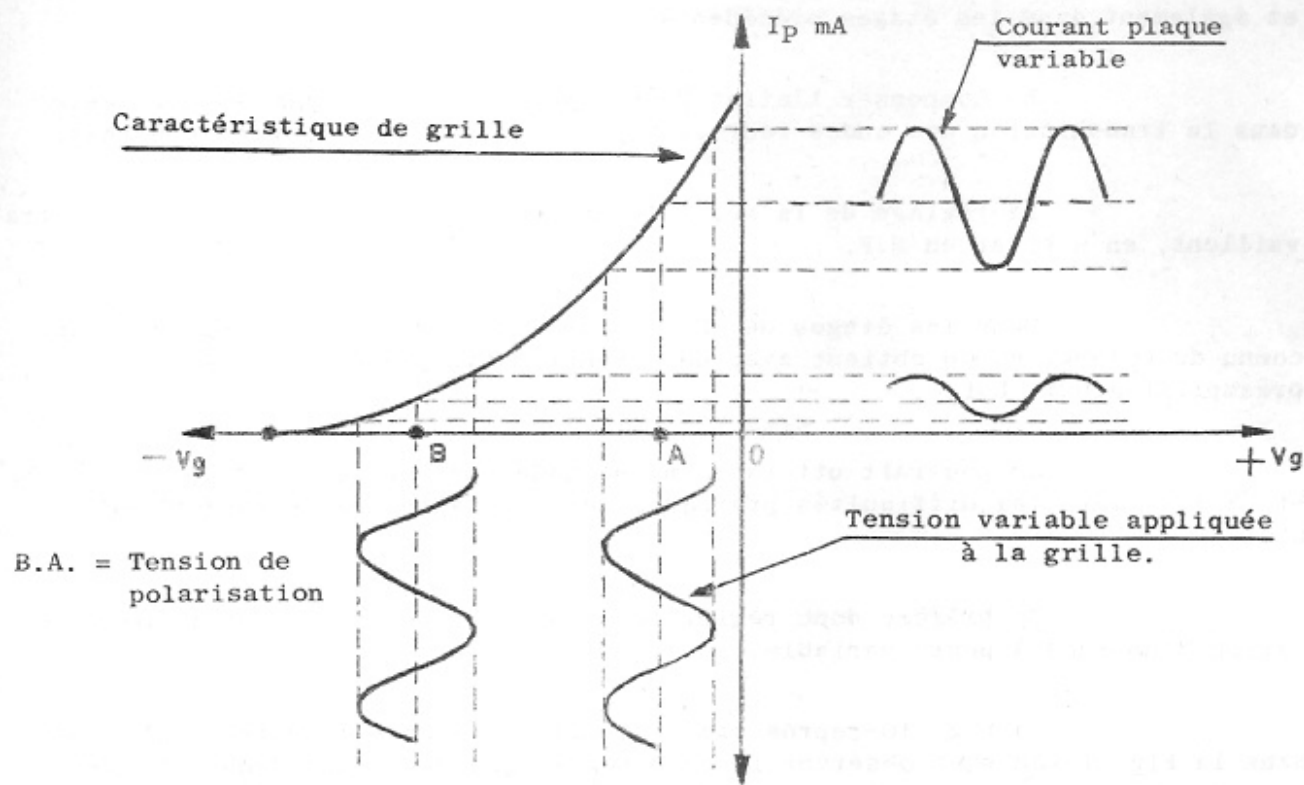
Dans les étages de "B.F.", on a au contraire le réglage bien connu du volume, qu'on obtient avec un potentiomètre placé sur la grille du préamplificateur "B.F."

On pourrait utiliser une méthode analogue pour les étages "H.F." et "M.F.", mais les difficultés pratiques de réalisation ne le conseillent pas.

On préfère donc régler la sensibilité, en modifiant la polarisation d'un tube à pente variable.

La Fig. 10-représentait le circuit adapté à un tel réglage et dans la Fig. 11-on peut observer la caractéristique de grille d'un tel tube.

En faisant varier la polarisation, le point de fonctionnement



- Fig. 11 -

passé de "A" à "B": la pente de la courbe varie, et donc le coefficient "S" qui représente numériquement cette pente.

Comme l'amplification de la pentode est donnée par $u = S \times e$ cette amplification suit la variation de S.

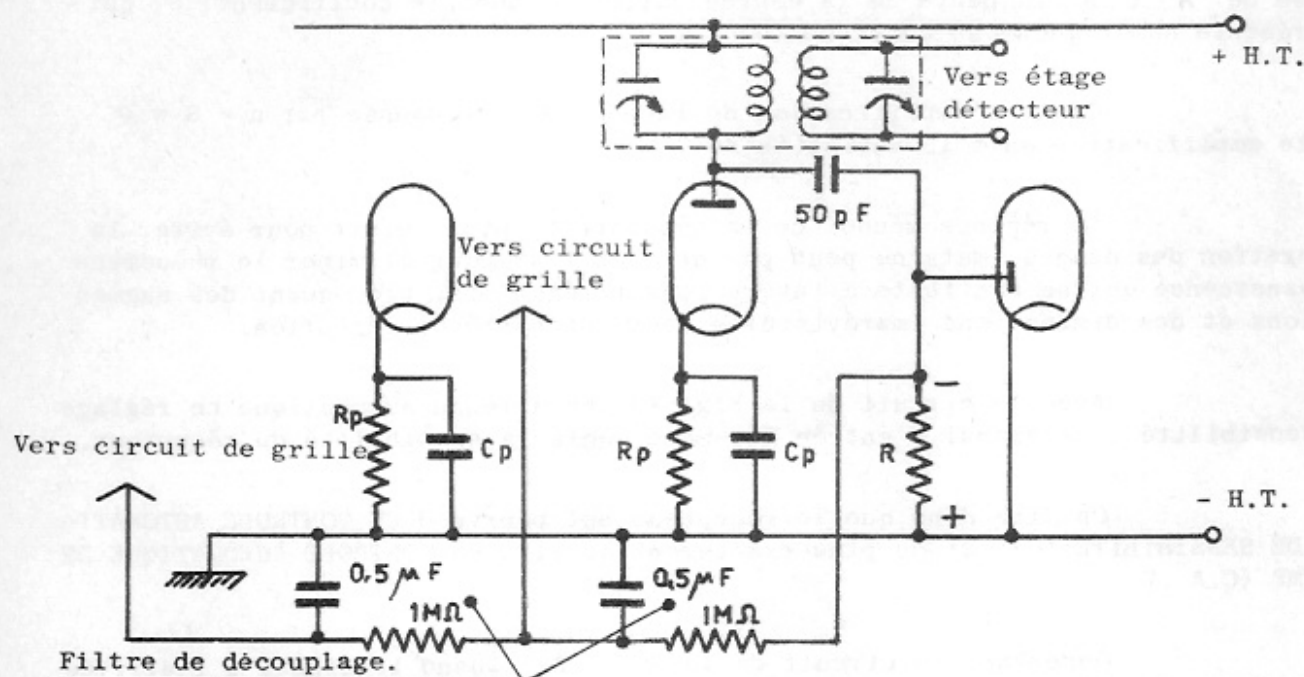
Le réglage manuel de la sensibilité peut servir pour éviter la saturation des étages, mais ne peut pas être utilisé pour éliminer le phénomène d'évanescence qui se manifeste à intervalles irréguliers, provoquant des augmentations et des diminutions imprévisibles de l'intensité de réception.

Avec le circuit de la Fig. 12-, on a rendu automatique ce réglage de sensibilité : le signal d'entrée lui-même règle la sensibilité du récepteur.

On dira donc que le récepteur est pourvu d'UN CONTROLE AUTOMATIQUE DE SENSIBILITE (C.A.S) ou plus exactement qu'il a un CONTROLE AUTOMATIQUE DE VOLUME (C.A .V.).

Observons le circuit de la Fig. 12-. Quand le signal à l'arrivée est faible, la tension continue aux bornes de "R" est pratiquement nulle, et la polarisation des étages amplificateurs est donnée seulement par la chute de tension sur "Rp".

Si le signal est fort, la tension continue sur "R" a une valeur



N.B. Le filtre de découplage a le double but de niveler la tension continue et le contrôle et d'éviter des couplages entre les différents circuits.

- Fig. 12 -

élevée et s'ajoute à la tension déjà existante, en amenant la polarisation totale à des valeurs très négatives (point "B", Fig. 11-).

L'amplification et par conséquent la sensibilité du récepteur diminuent comme on le désire. Si le signal varie de façon irrégulière, la polarisation variera de même, et compensera ces variations.

Le circuit dessiné est de forme simple.

Pour obtenir un effet plus remarquable, on peut amplifier le signal de contrôle, ou on peut faire de manière telle que le réglage intervienne uniquement lorsque le signal à l'arrivée dépasse un certain niveau.

On aura donc les deux cas : un C.A.S amplifié et un C.A.S. retardé.

Etant donné que la variation de polarisation sur la grille des tubes peut produire des perturbations dans le fonctionnement à des fréquences très élevées, sur les récepteurs de luxe ou de type professionnel on n'effectue le réglage que sur quelques tubes en prenant des précautions spéciales.

Dans les récepteurs normaux, la C.A.S est appliquée soit au tube convertisseur, soit à l'amplificateur de "M.F."

OBSERVATIONS SUR LES CIRCUITS DE CONVERSION

de "M.F." et de "C.A.S."

Les circuits décrits sont des circuits fondamentaux, que l'on retrouve dans tous les récepteurs de type normal.

Mais il y a quelques récepteurs de luxe qui possèdent des circuits particuliers : contrôle automatique de fréquence (C.A.F.), suppression de parasites, double conversion de fréquence, sélectivité variable, élargissement de bande.

Je précise par exemple que le nouveau récepteur superhétérodyne que vous construirez dans les leçons pratiques de ce cours, comporte une bande étalée: ce dispositif, utilisé en ondes courtes, est très utile pour une bonne sélectivité, les stations d'émission dans cette gamme ayant des fréquences très voisines l'une de l'autre.

Il est à conseiller dès qu'on a bien assimilé les principes théoriques, de chercher à compléter ses connaissances sur ces questions en consultant les revues spécialisées ou des livres techniques.

REPONSES AUX EXERCICES DE REVISION SUR LA 30ème LECON THEORIQUE
=====

- 1- C'est le phénomène qui se produit dans un circuit quand il y a en même temps deux courants de fréquences différentes.
- 2- L'oscillation "B.F." est le résultat de battement entre deux tensions créées par deux oscillateurs "H.F.", dont l'un est à fréquence fixe et l'autre à fréquence variable.
- 3- Par le battement avec une tension de fréquence connue.
- 4- Hétérodyne.
- 5- Sélectivité plus grande, possibilité de réception sur plusieurs gammes, sensibilité élevée par rapport aux récepteurs à réception directe.
- 6- Par le battement de la tension d'entrée sur l'antenne avec la tension créée par l'hétérodyne.
- 7- Pour avoir des éléments de dimensions plus petites par rapport au circuit d'entrée. De plus on rend possible l'alignement (c'est-à-dire le réglage) des

circuits pour avoir une commande unique parce qu'on a une plage plus étroite de variations.

- 8- C'est le signal dont la fréquence est éloignée de la fréquence de l'hétérodyne, du double de la fréquence "M.F."
- 9- Permet le réglage de la capacité totale du circuit oscillateur quand le condensateur variable est complètement fermé.
- 10 Permet le réglage de la capacité totale du circuit oscillateur quand le condensateur est complètement ouvert.

EXERCICE DE REVISION SUR LA 31ème LECON THEORIQUE

- 1- Indiquez en quelques mots les transformations successives du signal d'antenne dans le 1er étage du superhétérodyne.
- 2- Est-il convenable qu'un hétérodyne fournisse une tension d'oscillation élevée ?
- 3- Quelles sont les caractéristiques que doit présenter l'hétérodyne ?
- 4- Quels sont les avantages présentés par le circuit de conversion de la Fig. 4- par rapport aux circuits avec deux tubes ?
- 5- Quels sont les avantages présentés par le circuit de conversion avec la trio-de-hexode ?
- 6- Quel est l'avantage offert par un étage d'amplification "H.F." dans un récepteur ?
- 7- Quelle est la fonction des filtres "M.F." ?
- 8- Sur quels éléments doit-on agir pour régler un filtre de "M.F." ?
- 9- Pourquoi choisit-on la valeur de la "M.F." entre 450 KHz et 470 KHz ?
- 10- Quel est le but du C.A.S. ?
