



THEORIE

Cours de radio par correspondance

INTRODUCTION A LA MODULATION DE FREQUENCE

- 1- Résumé sur la modulation d'amplitude.
- 2- Modulation de fréquence.
- 3- Principales caractéristiques, avantages et inconvénients de la F.M.
- 4- Généralités sur les récepteurs F.M.

INTRODUCTION A LA MODULATION DE FREQUENCE

Comme je vous l'ai expliqué dans les leçons précédentes, pour établir une communication radio, il faut moduler, par un signal de basse fréquence, un autre signal, à fréquence très élevée, qui se propage dans l'espace.

Pour obtenir ce résultat, il faut superposer à l'onde porteuse le signal acoustique, que l'on veut transmettre à distance.

Cette opération s'appelle MODULATION.

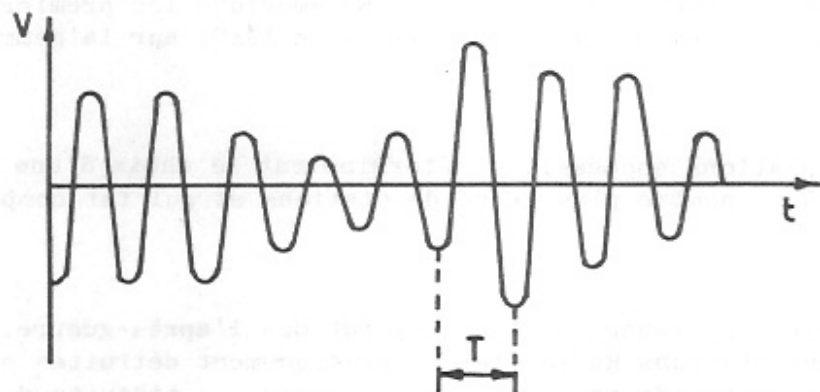
L'onde porteuse peut être modulée ou non ; elle est modulée pendant la transmission effective ; elle ne l'est pas pendant les pauses et les intervalles.

Jusqu'à maintenant je vous ai toujours parlé de modulation d'amplitude, c'est-à-dire de la modulation qui consistait à faire varier l'amplitude de l'onde porteuse en fonction du signal modulateur. (Fig. 1-).

Ce système, qui était le plus employé jusqu'à aujourd'hui, en particulier pour les transmissions normales, est maintenant dépassé par un autre type de modulation : LA MODULATION DE FREQUENCE.

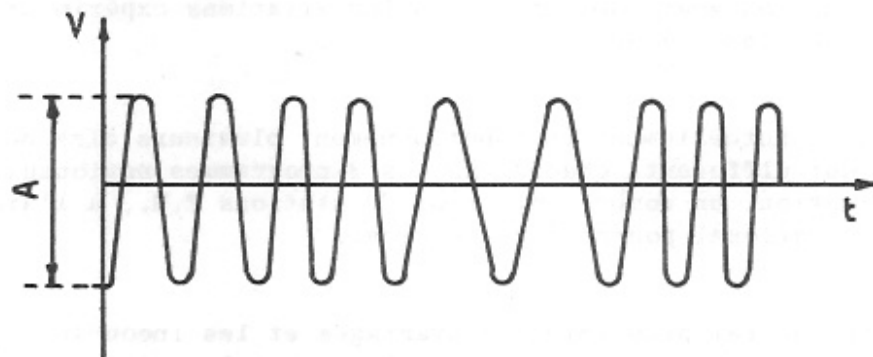
Ce n'est pas que la modulation d'amplitude soit désormais hors d'usage, mais la modulation de fréquence lui permet de s'affirmer pour des raisons d'ordre technique et économique.

Elle sera probablement destinée plus tard à remplacer presque complètement la modulation d'amplitude.



Signal modulé en
amplitude

$T = \text{Constante}$



Signal modulé en
fréquence

$A = \text{Constante}$

- Fig. 1

Depuis plusieurs années, on connaissait le type de modulation, mais il n'était pas encore exploitable commercialement. En Amérique les premières transmissions F.M. (modulation de fréquence) furent faites en 1940, sur la gamme comprise entre 42 et 50 MHz.

Les améliorations successives déterminèrent le choix d'une autre bande de fréquences, destinée à un nombre plus grand de stations et qui fut comprise entre 84 et 108 MHz.

En Europe et en France, la F.M. apparut dès l'après-guerre. Cela commence en Allemagne, où les stations Radio étaient pratiquement détruites et où il fallait trouver une solution rapide pour remettre en place les circuits de radiodiffusion ; puis en Italie, où l'on avait déjà fait des installations expérimentales et ensuite dans les autres nations, France, Suisse, etc...

La "R.T.F." a actuellement en fonctionnement plusieurs dizaines de stations émettrices F.M. qui diffusent, chacune un des 3 programmes nationaux. Elle a aussi, en voie de réalisation, un nombre important de stations F.M., à l'aide desquelles tout le territoire national pourra être desservi.

Je vous expliquerai plus loin les avantages et les inconvénients de la modulation de fréquence. Résumons brièvement, pour le moment, le principe A.M.

(modulation d'amplitude) et après, avec la plus grande simplicité imposée par le but et le caractère technique de ces leçons, je vous expliquerai le principe de la modulation de fréquence. Retenez bien les abréviations suivantes :

A.M. = Modulation d'amplitude (Amplitude Modulée)

F.M. = Modulation de fréquence (Fréquence Modulée)

M.F. = Fréquence intermédiaire (Moyenne Fréquence)

H.F. = Haute Fréquence

B.F. = Basse Fréquence

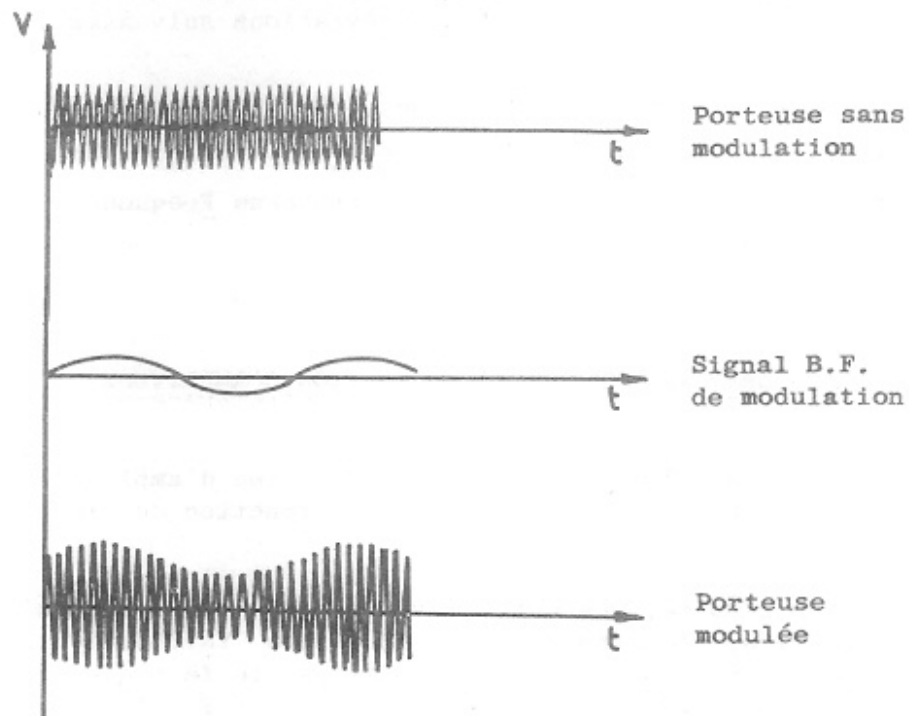
1- BREF RESUME SUR LA MODULATION D'AMPLITUDE

Dans le système d'émission à modulation d'amplitude, c'est l'amplitude (puissance) de l'onde porteuse qui varie en fonction du signal de modulation.

Il en résulte, que cette variation d'amplitude ondule au rythme de la "B.F." de modulation. L'on nomme cette ondulation "ENVELOPPE B.F. DE LA PORTEUSE". La modulation d'amplitude est caractérisée par le fait que la fréquence porteuse s'accompagne de deux bandes de fréquences, $F + f$ et $F - f$, où :

et F = fréquence porteuse
 f = fréquence de modulation.

MODULATION D'AMPLITUDE



- Fig. 2 -

L'ensemble des fréquences F , $F+f$, et $F-f$, sont émises simultanément.

Pour bien reproduire la "B.F." à la réception, il faut donc recevoir une bande de fréquence au moins égale à deux fois la "B.F." la plus élevée transmise par l'émetteur.

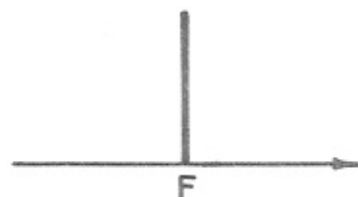
Les exigences de séparation des bandes sur un grand nombre d'émetteurs pour les différentes gammes "G.O", "P.O" et "O.C", nous ont conduit à limiter la fréquence à transmettre à 4.500 Hz, ce qui donne une largeur de bande émise de 9 KHz.

Il en résulte qu'en supprimant les fréquences supérieures à 4.500 Hz, la fidélité de reproduction en est réduite. Pour obtenir la plus grande fidélité de reproduction il faudrait que les ondes latérales puissent s'étendre au moins jusqu'à 15.000 Hz : ceci est obtenu avec la F.M.

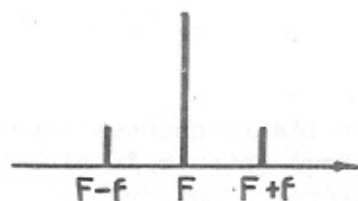
Il faut aussi se rappeler que dans la A.M., la puissance rayonnée sur l'onde porteuse est toujours la même, tandis que la puissance sur les bandes latérales peut atteindre, dans le cas de modulation à 100%, les 50% de la puissance rapportée à la puissance porteuse (Fig. 3-).

L'intensité à la réception dépend uniquement de la puissance des bandes latérales et on doit pour cela adopter un taux de modulation élevée.

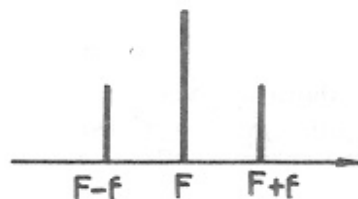
SPECTRE DU SIGNAL



Porteuse non modulée



Porteuse modulée à 50 %



Porteuse modulée à 100 %

A la Fig. 4- on a représenté la superposition d'une onde porteuse A.M. et les pourcentages de modulation.

2- MODULATION DE FREQUENCE

Dans le système de transmission à modulation de fréquence l'amplitude de l'onde porteuse reste constante, alors que varie la valeur instantanée de la fréquence.

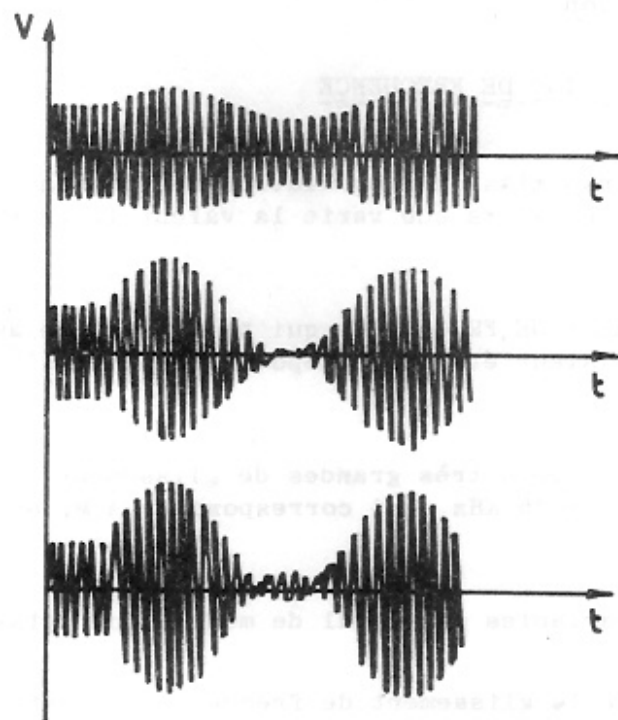
On a donc un GLISSEMENT DE FREQUENCE, qui peut être une augmentation ou une diminution par rapport à la valeur établie, proportionnelle à l'intensité du signal de modulation (Fig. 5-).

On peut obtenir des valeurs très grandes de glissement ; on a convenu de choisir comme glissement maximum 75 KHz, qui correspond en A.M. à 100 % de modulation.

Les deux grandeurs variables du signal de modulation agissent de cette façon :

AMPLITUDE : Détermine le glissement de fréquence ; c'est-à-dire, la largeur de la bande des fréquences émises.

FREQUENCE : Détermine la fréquence du glissement ; c'est-à-dire, la vitesse à laquelle se produit le glissement.



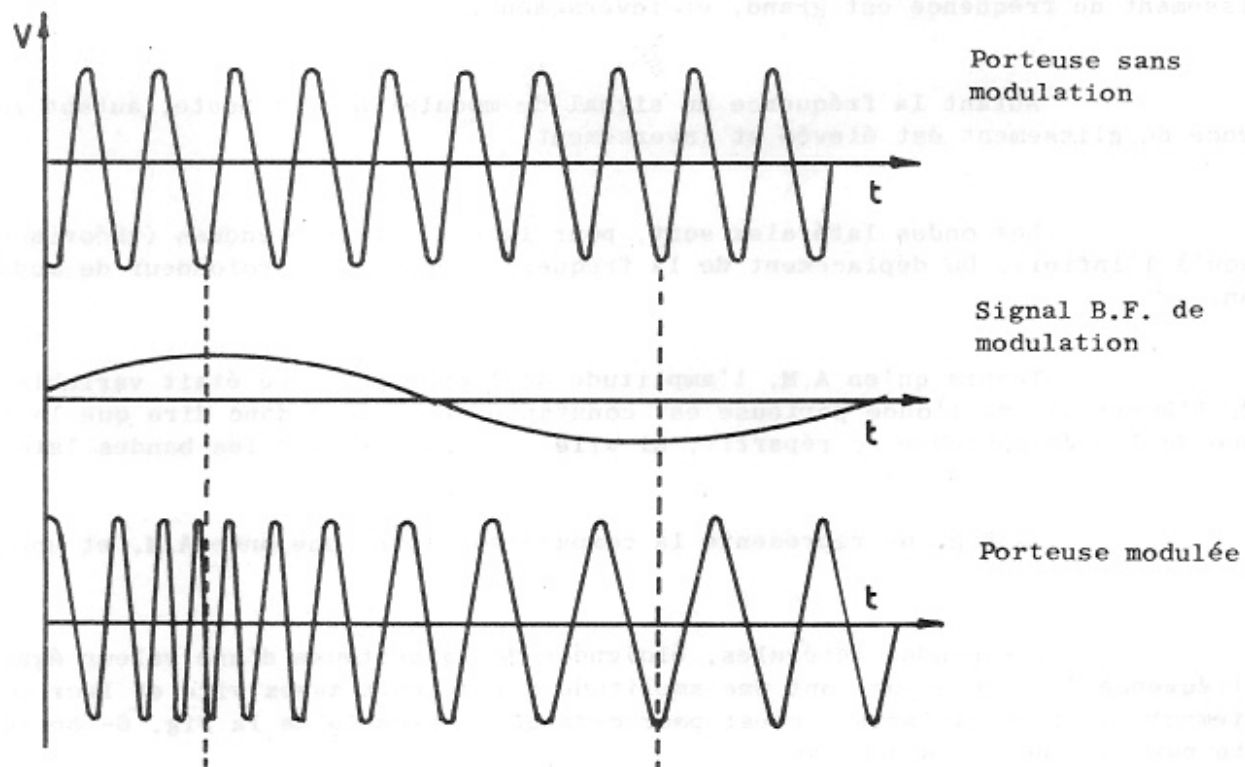
Modulation à 30 %

Modulation à 100 %

Modulation $> 100\%$
Surmodulation

- Fig. 4 -

MODULATION DE FREQUENCE



- Fig. 5 -

Autant l'amplitude du signal de modulation est élevée, autant le glissement de fréquence est grand, et inversement.

Autant la fréquence du signal de modulation est haute, autant la fréquence du glissement est élevée et inversement.

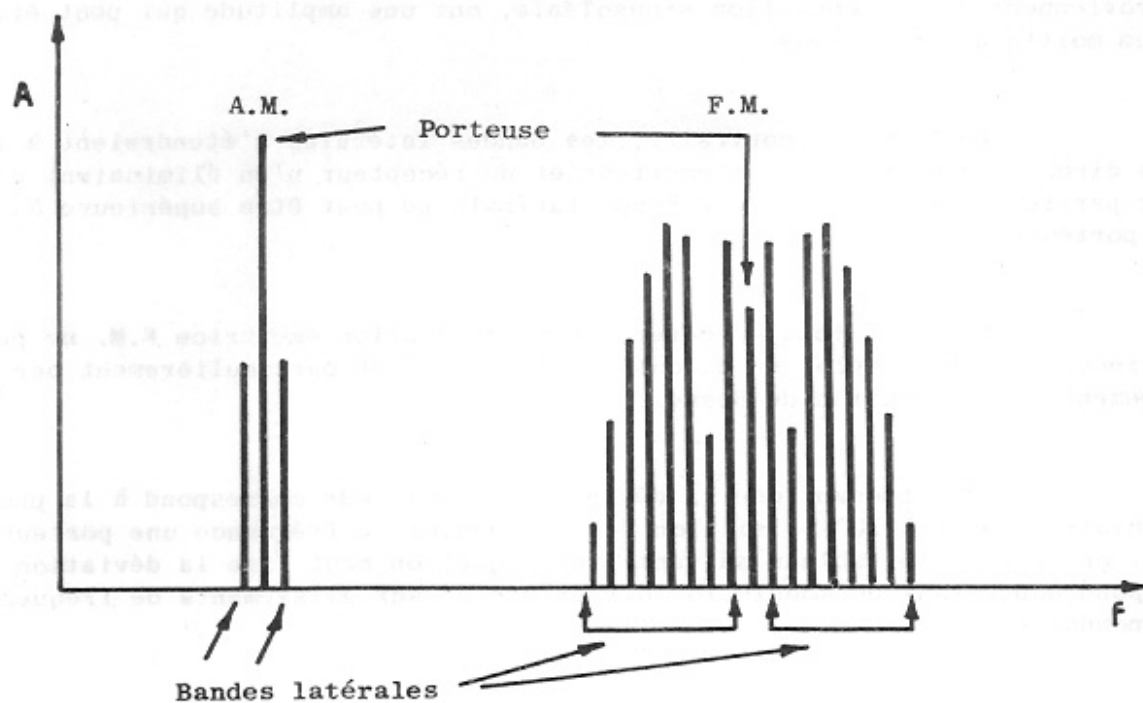
Les ondes latérales sont, pour la F.M., très étendues (théoriquement jusqu'à l'infini). Du déplacement de la fréquence, dépend la profondeur de modulation.

Tandis qu'en A.M. l'amplitude de l'onde porteuse était variable, en F.M. l'amplitude de l'onde porteuse est constante et on peut donc dire que la puissance de l'onde porteuse se répartit, si elle est modulée, sur les bandes latérales.

La Fig. 6- représente la comparaison entre une onde A.M. et une onde F.M.

Les bandes latérales, éloignées de la porteuse d'une valeur égale à la fréquence de modulation, ont une amplitude qui décroît assez vite et leur comportement est très variable : c'est pour cela que l'exemple de la Fig. 6- ne représente pas la généralité des cas.

SPECTRE D'UNE ONDE MODULEE EN A.M. ET EN F.M.



- Fig. 6 -

Vue sous cet angle, une transmission F.M. est profondément différente de A.M. car cette dernière a un canal bien défini et les deux bandes latérales, qui proviennent d'une modulation sinusoïdale, ont une amplitude qui peut être au maximum moitié de la porteuse.

En F.M., au contraire, les bandes latérales s'étendraient à l'infini si les circuits résonnants de l'émetteur et du récepteur n'en éliminaient pas une grande partie : l'amplitude d'une bande latérale ne peut être supérieure à celle de la porteuse.

La bande totale couverte par une station émettrice F.M. ne peut être déterminée que par l'emploi du calcul infinitésimal et particulièrement par le développement de la fonction de Bessel.

En supposant que la déviation de + 75 KHz correspond à la profondeur de modulation égale à 100 %, si l'on désire moduler en fréquence une porteuse de 95 MHz, on en tire le tableau suivant, sur lequel on peut lire la déviation qui correspond à des taux de modulation différents et aux glissements de fréquences correspondants.

Le glissement de fréquence est donc un pourcentage très faible de l'onde porteuse, et inférieure à 1 %.

Pourcentage de modulation	Glissement de KHz	Fréquences extrêmes de la porteuse
20 %	15	95015 KHz 94985 "
50 %	37,5	95037,5 KHz 94962,5 "
100 %	75	95075 KHz 94925 "

La largeur totale des bandes latérales est pour la "F.M." de 200 KHz avec le glissement maximum de ± 75 KHz, c'est-à-dire en modulation à 100% ; elle est presque 20 fois plus grande que celle obtenue pour l'A.M.

3- PRINCIPALES CARACTERISTIQUES, AVANTAGES
ET INCONVENIENTS DE LA F.M.

Comme je vous l'ai déjà dit, les transmissions de radiodiffusion à modulation de fréquence sont faites sur les ondes très courtes et plus particulièrement sur la gamme des 88 à 100 MHz qui correspond à des longueurs d'onde comprises entre 3,41 et 3 mètres.

Le mode de propagation de ces longueurs d'onde sera traitée à part dans la leçon résumée à la propagation et aux antennes F.M.

Par l'emploi de fréquences élevées, on obtient que la largeur de la bande soit faible par rapport à la fréquence porteuse.

Avec la F.M. on peut ainsi transmettre, et rayonner toute la gamme des fréquences acoustiques, en réduisant de beaucoup la distorsion.

Les appareils émetteurs et récepteurs en F.M., sont beaucoup plus compliqués et coûteux que ceux pour A.M. ; mais, les développements récents de la technique, le rendement des émetteurs, la plus grande fidélité de transmission, minimisent cet inconvénient.

L'émetteur F.M. fonctionne avec des étages en classe "A" pour la basse fréquence, ce qui limite ainsi la distorsion, et en classe "C" pour la haute fréquence, ce qui donne un rendement élevé.

On doit noter à ce propos que la puissance rayonnée d'un émetteur F.M. est la même, soit sans modulation, soit avec modulation. Dans les émetteurs A.M. au contraire, la puissance rayonnée varie de 2 à 3 fois avec ou sans modulation, ce qui exige une alimentation puissante à faible résistance interne.

Le rayonnement à portée optique (c'est-à-dire en visibilité directe) des stations F.M. nécessite pour "arroser" le territoire, un nombre plus grand de stations ; mais leurs puissances seront bien inférieures à celles employées, en A.M. et d'un coût très réduit, tant au point de vue installation, que mise en route et entretien.

En A.M. le modulateur doit fournir à l'étage final de l'émetteur au moins la moitié de la puissance nécessaire à son fonctionnement ; cela signifie que l'on met en jeu des puissances de 50 - 100 K.V.A. (Kilo-Volts-Ampères).

Naturellement, le modulateur dans ce cas, est de dimensions importantes, et l'émetteur absorbe une grande puissance électrique.

En F.M., au contraire, le modulateur n'absorbe qu'une très faible puissance et il peut alors être réalisé avec deux tubes pentode, de la série miniature.

En effet, un signal H.F., issu d'un pilote de faible puissance, peut commander les étages successifs d'un émetteur, puisque leur réglage est prévu pour amplifier la bande des fréquences à transmettre et qu'il n'y a pas de variation dans l'amplitude du signal, mais seulement variation de la fréquence.

Comme ordre de grandeur, je peux vous dire que, tandis que dans les stations d'émission A.M. la puissance engendrée, ou rayonnée est de l'ordre de dizaines de Kilowatts, en F.M. elle est de l'ordre de dizaines de Watts.

Le récepteur à F.M. utilise un nombre plus grand de circuits accordés, donc un nombre plus grand de tubes, et, en outre, pour pouvoir exploiter complètement la gamme des fréquences acoustiques, il doit être réalisé avec des étages B.F. qui aient des caractéristiques améliorées, avec des contrôles de tonalité, des circuits correcteurs et plusieurs haut-parleurs.

Ainsi, le récepteur pour F.M. devrait avoir théoriquement 9 à 10 tubes, 2 à 3 haut-parleurs, un meuble acoustiquement parfait et être ainsi d'un prix sensiblement élevé.

Pour éviter cet inconvénient et développer l'emploi de la F.M., l'industrie a mis au point des récepteurs F.M. (adaptés également à la réception des programmes à modulation d'amplitude) d'un prix légèrement supérieur à celui d'un récepteur normal superhétérodyne A.M., avec de bonnes qualités de reproduction acoustique.

Les récepteurs mixtes pour A.M. et F.M. à 7 tubes, ont une vaste gamme d'applications et connaissent une large diffusion.

La réalisation de ces récepteurs a été possible lorsque les fabricants de tubes, ont sorti des tubes multiples convenant au but recherché.

Des 7 tubes qui composent le récepteur A.M.-F.M., 3 au moins sont doubles ; c'est pour cette raison que le nombre effectif des circuits est plus grand que celui qui paraît déterminé par le nombre de tubes.

La réception en F.M., même si elle n'est pas exploitée pour la reproduction haute fidélité en basse fréquence, est préférée à celle en A.M. à cause de la diminution du fading et des interférences.

Les parasites, en particulier, les parasites impulsifs à décharge, modulent l'amplitude de l'onde porteuse, mais puisque, dans les récepteurs à F.M., il y a un circuit LIMITEUR D'AMPLITUDE, ces bruits sont notablement réduits.

L'effet d'évanouissement se manifeste lorsqu'il y a réception simultanée de 2 stations sur la même fréquence ; en F.M. il est suffisant qu'une des deux stations soit reçue avec une intensité double de l'autre, pour qu'il y ait disparition de la seconde avec suppression des interférences indésirables.

4- GENERALITES SUR LES RECEPTEURS A "F.M."

Après ce que l'on a dit sur la F.M., il est nécessaire que je vous donne maintenant quelques informations sur cette modulation.

Actuellement presque tous les récepteurs sont du type superhétérodyne à changement de fréquence, amplification en Moyenne Fréquence, détection et amplification à basse fréquence.

Le schéma est à peu près celui du superhétérodyne pour A.M. avec les étages H.F. et M.F. Par une commutation spéciale, on adapte les circuits au fonctionnement en A.M. ou F.M.

La répartition actuelle des émetteurs F.M. ne permet pas de recevoir dans certaines localités, il est donc convenable que le récepteur puisse également fonctionner en A.M. ; mais en prévision aussi de l'extension de la modulation de fréquence, il faut prévoir dès maintenant ce type de réception.

Pour cette raison, les récepteurs réservés exclusivement à la F.M. sont peu utilisés, mais ils sont d'une classe supérieure, de prix élevé, et sont des modèles à haute fidélité.

Une solution qui trouvera un accueil favorable sur le marché Français, est celle de l'ADAPTATEUR F.M., c'est-à-dire d'un ensemble apte à la réception avec une amplification suffisante et une détection de la basse fréquence.

Le signal détecté est appliqué ensuite sur la prise "P.U." d'un récepteur normal ou sur l'entrée d'un amplificateur B.F. : son fonctionnement global nécessite donc un récepteur classique A.M. ou un amplificateur.

Ces adaptateurs, de dimensions réduites et d'emploi facile, sont d'un prix inférieur à celui d'un récepteur complet, puisqu'ils ne possèdent ni haut-parleur ni circuits de basse fréquence.

On a expérimenté et également réalisé avec succès, des récepteurs à super-réaction et d'autres récepteurs particuliers. Parmi ceux-ci, certains appareils présentent de l'intérêt et seront décrits dans la leçon consacrée aux récepteurs spéciaux pour F.M.

Le récepteur courant F.M. est par conséquent du type "mixte" fonctionnant aussi bien en F.M. qu'en A.M.

Des soins particuliers sont employés dans la réalisation du circuit d'accord et de conversion pour la F.M., les fréquences de travail étant très élevées ; on note une tendance générale à utiliser des inductances variables pour la sélectivité.

La moyenne fréquence ou fréquence intermédiaire, obtenue dans l'étage convertisseur est à 6,75 MHz, fréquence d'accord des transformateurs M.F.

Dans les récepteurs mixtes, il existe alors 2 M.F. ; une pour la A.M., normalement 455 ou 472 KHz, et une pour la F.M. à 6,75 MHz.

Des précautions particulières sont également employées dans la réalisation du circuit détecteur, que l'on nomme en F.M. : DISCRIMINATEUR.

Des détails plus nombreux et des explications plus fournies vous seront données dans les leçons prochaines, où l'on traitera du récepteur F.M. en général et des circuits qui le composent.

REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA 34ème LECON THEORIQUE

- 1- Les ajustables du circuit oscillant de l'oscillateur local (padding ou trimmer) et les ajustables du circuit d'accord sur la grille du convertisseur (padding ou trimmer).
- 2- Le noyau de fer mis à l'intérieur des bobines de l'oscillateur et d'accord.
- 3- On ne peut obtenir l'alignement qu'en 3 points seulement. Pour les autres, on a un écart plus ou moins important.
- 4- Oui, sur une seule gamme, si les lames du C.V. ont la forme voulue.
- 5- Parce que dans la gamme des ondes courtes, la fréquence image se trouve très près (sur l'échelle) du signal principal.
- 6- Réduction des bruits, reproduction parfaite de la B.F., réduction des interférences.
- 7- Le glissement de fréquence de la porteuse varie (la fréquence augmente ou diminue).
- 8- La rapidité avec laquelle se produit la variation de fréquence de la porteuse.
- 9- Le premier est un tube mis dans le circuit de façon à ce qu'il se conduise comme une réactance capacitive ou inductive. Le deuxième est un type d'antenne apte à la réception ondes courtes et ultra-courtes.

EXERCICES DE REVISION SUR LA 35ème LECON THEORIQUE F.M.

- 1- Quelle est, de façon schématique, la différence entre A.M. et F.M. ?
- 2- Pourquoi la portée des stations émettrices F.M. est-elle la portée optique ?
- 3- Quels sont les avantages de la réception F.M. ?
- 4- A quelle valeur de glissement de fréquence correspond, pour la F.M., une modulation à 100 % en A.M. ?
- 5- Quelle est la gamme de fréquence utilisée dans les transmissions F.M. ?
- 6- Quelle est la valeur de la M.F. pour les récepteurs F.M. ?
