SECRETARIAT D'ETAT à la GUERRE

DIRECTION DES TRANSMISSIONS

TRS 1358

Collection des Manuels
du
Sous-Officier Spécialiste des Transmissions

TOME 8

MESURES EN RADIOÉLECTRICITE

(DÉPANNAGE - VÉRIFICATION - ALIGNEMENT)

PARIS
1955

SECRETARIAT D'ETAT à la GUERRE

DIRECTION DES TRANSMISSIONS

TRS 1358

Collection des Manuels
du
Sous-Officier Spécialiste des Transmissions

TOME 8

MESURES EN RADIOÉLECTRICITÉ

(DÉPANNAGE - VÉRIFICATION - ALIGNEMENT)

PARIS
1955

NOTE LIMINAIRE

La Collection des Manuels du Sous-Officier Spécialiste s'adresse essentiellement aux sous-officiers de l'Arme ou du Service des Transmissions. Elle doit fournir les documents de base nécessaires à la préparations des brevets des 1er et 2e degrés.

La rédaction de ces manuels a été entreprise en 1951 sur les principes suivants :

— la collection comprendra, en introduction, un cours d'électricité générale adapté dont l'étude est indispensable pour la compréhension des différents volumes de la collection.

— chaque spécialité sera étudiée dans un ou plusieurs tomes de la collection.

— les manuels ne traiteront pas des questions d'exploitation et de procédure, ces matières se trouvant dans les documentations inter-armées ACP.

— seuls les principes et la description des organes de base constitutifs des appareils seront étudiés dans ces manuels. Le spécialiste aura ensuite à se reporter aux notices techniques propres à chaque appareil pour en connaître la description et le fonctionnement.

Certains ouvrages de la collection comportent des développements mathématiques plus poussés qui ne seront accessibles qu'à des spécialistes ayant une culture générale suffisante. Ces développements seront barrés en marge d'un trait continu ; ils pourront être négligés par les candidats aux brevets les moins spécialisés mais devront, par contre, être connus des sous-officiers candidats aux brevets tels que Détection Electromagnétique, Voies Multiples...

L'ensemble de cette collection a représenté un effort considérable, pour doter les sous-officiers d'instruments de travail convenables et

pour doter les sous-officiers d'instruments de travail convenables et efficaces.

La première édition présentera cependant d'inévitables imperfections ; mais il a paru préférable de hâter la sortie des divers volumes plutôt que d'en retarder trop longtemps la parution ; les retouches nécessaires seront apportées dans les éditions futures.

Ce travail de mise au point définitive pourra être le fait de chacun des lecteurs et la 3e Sous-Commission des règlements de Transmissions recevra volontiers toutes les observations qui seront faites sur chacun des manuels de la collection. Ces observations qui pourront être adressées au Président de la 3e Sous-Commission de Rédaction des Règlements de Transmissions, Direction des Transmissions, 51 bis, Boulevard de Latour-Maubourg, PARIS-7e.

LISTE DES OFFICIERS AYANT PARTICIPE A LA REDACTION DES MANUELS DU SPECIALISTE

Le Général de Division GUERIN, Président de la Commission des Règlements de Tranmissions.

Le Colonel VIGNOLLES, Commandant les Transmissions de la 1re Région Militaire - Président de la 3e Sous-Commission de Rédaction de la collection des Manuels du Spécialiste.

Le Colonel MIARD, Inspecteur Technique du Matériel de Transmissions.

Le Colonel POIROT, Commandant le Groupement des Contrôles Radio-électriques.

Le Colonel DUPONT, Sous-Directeur à la Direction des Transmissions.

Le Colonel PICQUENARD, Commandant le 8e Rég. de Transmissions.

Le Lt-Colonel LOCHARD, du Groupement des Contrôles Radioélectriques.

Le Lt-Colonel REVIL, de la Section Technique des Transmissions.

Le Lt-Colonel ROUDIL, du 18e Régiment de Transmissions.

Le Lt-Colonel PLAETEVOET, de l'Ecole d'Application des Transmissions.

Le Lt-Colonel GUIRLET, de la Section Technique de l'Armée.

Le Lt-Colonel CHEVREAU, de l'Inspection Technique du Matériel de Transmissions.

L'Ingénieur en Chef de 2e Classe MOYON, des Télécommunications d'Armement.

Le Chef de Bataillon PORCHEROT, du 18e Régiment de Transmissions.

Le Chef de Bataillon CHAMPEL, de l'Ecole d'Application des Transmissions.

Le Chef de Bataillon LESTANG, de l'Ecole d'Application des Transmissions.

Le Chef de Bataillon BONNETON, du 18e Régiment de Transmissions.

Le Chef de Bataillon ANDRE, de l'Ecole d'Application des Transmissions.

Le Chef de Bataillon CHARRIER, de la Direction des Transmissions.

Le Chef de Bataillon LADET, du Centre d'Instruction Technique de Détection Electromagnétique.

Le Capitaine FERAUD, de l'Inspection Technique du Matériel de Transmission.

Le Capitaine BASSET, de l'Ecole d'Application des Transmissions.

Le Capitaine LEVEQUE, de l'Ecole d'Application des Transmissions.

Le Capitaine AUGIER, de la Section Technique des Transmissions.

Le Capitaine LAPIERRE, du 42e Régiment de Transmissions.

Le Capitaine APS, du Groupement des Contrôles Radioélectriques.

Le Capitaine BERNARD, de l'Ecole d'Application de Transmissions.

Le Capitaine SALAUN, du Service Central du Matériel de Transmissions.

Le Capitaine RIBOT, du 8e Régiment de Transmissions.

Le Chef d'Escadron COMERRE, de l'Inspection Technique du Matériel de Transmissions - Secrétaire de la 3e Sous-Commission.

VOLUMES CONSTITUANT LA COLLECTION DES MANUELS DU SOUS-OFFICIER SPECIALISTE DES TRANSMISSIONS

TOME 1	- Electricité.	TRS 1351
TOME 2	- Lignes et câbles.	TRS 1352
TOME 3	- Téléphonie. Manuelle et automatique.	TRS 1353
TOME 4	- Télégraphie.	TRS 1354
TOME 5	- Equipement des lignes, L S G D, répéteurs.	TRS 1355
TOME 6	- Voies multiples.	TRS 1356
TOME 7	- Radioélectricité générale.	TRS 1357
TOME 8	- Radioélectricité. Mesures. Dépannage. Vérification. Alignement.	TRS 1358
TOME 9	- Installations fixes.	TRS 1359
TOME 10	- Ecoutes et Radiogoniométrie.	TRS 1360
TOME 11	- Propagation.	TRS 1361
TOME 12	- Détection électromagnétique.	TRS 1362
TOME 13	- Colombophilie.	TRS 1363
TOME 14	- Taille de quartz.	TRS 1364
TOME 15	- Exploitation.	TRS 1365
TOME 16	- Service du Matériel des Transmissions.	TRS 1366
TOME 17	- Gestion. Personnels Civils.	TRS 1367
TOME 18	- Sources d'énergie. Eclairage.	TRS 1368
TOME 19	- Machines à chiffrer.	TRS 1369
TOME 20	- Infra-rouges.	TRS 1370
TOME 21	- Les antennes.	TRS 1371

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE PREMIER

APPAREILS DE MESURE

1 - GENERALITES.

1.1 - Eléments constitutifs des circuits radioélectriques.

Un circuit radioélectrique comprend, en général, les trois éléments essentiels suivants :

— un générateur ou source d'énergie, fournissant la tension nécessaire au fonctionnement,

— des consommateurs d'énergie ou charges absorbant l'énergie fournie,

— un ou des instruments de mesure.

Suivant la fréquence du courant utilisé :

— un courant continu (fréquence nulle),

— basse fréquence,

— haute fréquence,

la nature de ces trois éléments varie ainsi que l'indique le tableau I.

TABLEAU I

FREQUENCE DU COURANT UTILISE	NATURE DE LA SOURCE	NATURE DE LA CHARGE	INSTRUMENTS DE MESURE UTILISES
Courant continu f = 0	Piles Accumulateurs Convertisseur	Résistances	Galvanomètre à courant continu pouvant fonctionner suivant le cas en : — microampèremètre, — milliampèremètre, — ampèremètre, — voltmètre.
Basse fréquence 50 à 20 000 c/s	Buzzer Générateur B.F.	Résistances Selfs Condensateurs Tubes	Galvanomètre à courant alternatif pouvant fonctionner suivant le cas en : — milliampèremètre, — ampèremètre, — voltmètre. Voltmètre électronique.
Haute fréquence 20 kc/s à 50 Mc/s	Hétérodyne Générateur H.F.	Résistances Selfs Condensateurs Tubes	Voltmètre électronique. Thermocouple. Ampèremètre.

1.2 - Grandeurs à mesurer.

— Dans un circuit (ou un ensemble de circuits) radioélectrique, les grandeurs à mesurer sont en général les suivantes :

— tensions,

— intensités,

— résistances et impédances,

— fréquence.

— La mesure des intensités et des tensions fera l'objet d'un premier paragraphe dans lequel on étudiera successivement les mesures :

— en courant continu,

— en courant alternatif B.F.,

— en courant alternatif H.F.

— La mesure des résistances et des impédances, pouvant se déduire des mesures de tension et d'intensité, fera l'objet d'un deuxième paragraphe.

— La mesure des fréquences, effectuée avec des appareils d'autre nature que ceux utilisés ci-dessus fera l'objet d'un troisième paragraphe.

— L'oscilloscope cathodique, appareil utilisé à des fins très diverses, fera l'objet d'un quatrième paragraphe.

1.3 - Dispositif de contrôle des circuits (ou sonnette).

En dehors des mesures proprement dites, il est utile de disposer d'un appareil permettant de contrôler, par une opération très rapide, la continuité d'un circuit radioélectrique.

On peut constituer très simplement un tel appareil en utilisant une ampoule de cadran ou de lampe de poche, alimentée par une pile (Fig. 1).

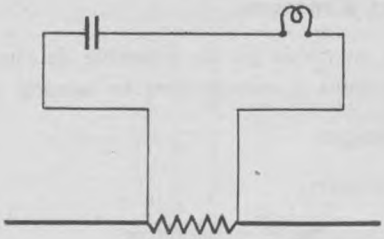


Fig. 1

Cet appareil permet de constater soit un court-circuit franc entre deux points normalement isolés, soit la coupure d'un circuit.

Pour faire des essais de continuité aux bornes de résistances de grande valeur, on peut être amené à utiliser un tube au néon au lieu d'une lampe à incandescence. La sonnette sera alors alimentée par le secteur, avec une résistance de protection en série (Fig. 2).

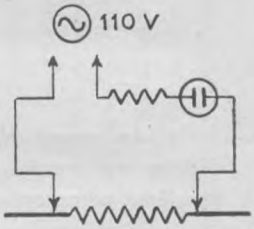


Fig. 2

Le tube s'illumine même si le débit est très faible, quand il n'y a pas de coupure dans le circuit.

2 - MESURE DES INTENSITES ET DES TENSIONS.

2.1 - Mesures en courant continu.

a) *Notions générales sur les appareils de mesure utilisés.*

Le galvanomètre constitue la partie essentielle des appareils utilisés pour ces mesures. Suivant le montage choisi, il peut fonctionner en ampèremètre, voltmètre, ohmmètre... On y trouve des galvanomètres à cadre mobile, à aimant mobile, électrodynamiques, thermiques, ainsi qualifiés suivant leur mode de construction ou la nature du phénomène utilisé.

Le galvanomètre à cadre mobile est le plus répandu et les appareils de mesure les plus courants en sont de simples adaptations (Fig. 3).

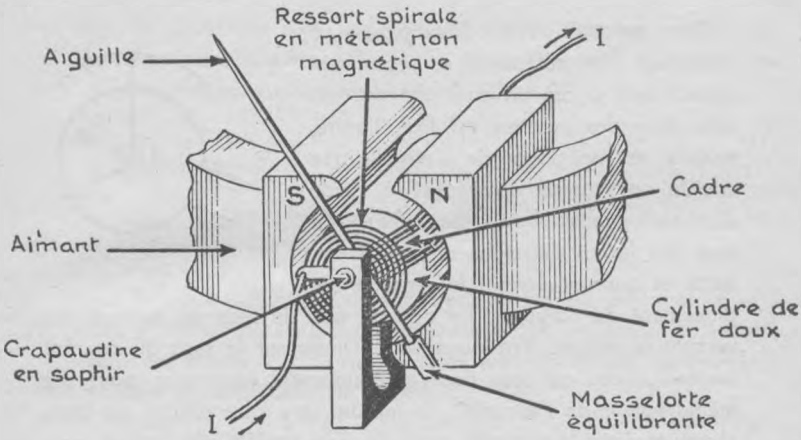


Fig. 3

Un aimant ordinaire est coupé par un évidement cylindrique dans lequel vient se placer l'équipage mobile. L'élément actif de celui-ci est un cadre rectangulaire ou circulaire qui comporte un certain nombre de spires. Au centre de l'évidement polaire est disposé un cylindre ou une bille de fer doux, fixe, qui diminue la longueur de l'entrefer et rend le champ radial. Le cadre est solidaire de l'aiguille indicatrice qui se déplace devant un cadran gradué. Il porte deux pivots en acier trempé qui se logent dans deux crapaudines de pierre fine (saphir, rubis). Une petite masse mobile sur un levier permet l'équilibrage exact de l'aiguille de telle sorte que les indications de l'appareil sont invariables quand on passe de la position horizontale à la position verticale. Le courant est amené au cadre par deux ressorts spiraux l'un en avant, l'autre en arrière, qui sont bandés en sens inverse et dont l'action antagoniste fixe le zéro de l'instrument.

Le fonctionnement est dû au phénomène électromagnétique : le couple des forces électromagnétiques appliqué au cadre est équilibré par le couple antagoniste des ressorts.

De réalisation différente, le galvanomètre à fer doux est souvent utilisé, aussi bien en alternatif qu'en continu (Fig. 4).

Deux palettes de fer doux placées à l'intérieur d'un solénoïde se repoussent quand celui-ci est traversé par un courant. Une des palettes est fixe, l'autre, mobile est solidaire de l'aiguille. Le couple antagoniste est réalisé à l'aide d'un ressort spirale non magnétique. Le sens des forces qui agissent sur les palettes et par conséquent le sens de déplacement de l'aiguille, ne dépend pas du sens du courant traversant la bobine. Pratiquement en inversant le sens du courant, les indications ne sont pas rigoureusement identiques pour une même valeur de l'intensité ; la mesure sera plus précise en branchant toujours l'appareil dans le sens qui a été utilisé pour l'étalonnage.

Fig. 4

b) *Microampèremètre.*

But - Cet appareil sert à déceler et mesurer les courants d'une intensité de l'ordre du microampère.

Principe - C'est un galvanomètre dont l'aiguille dévie totalement pour une intensité de l'ordre de quelques microampères (200 μ A par exemple).

Utilisation - Se monte en série dans le circuit à étudier. Il ne doit donc avoir qu'une résistance très faible, de façon à ne pas modifier sensiblement les caractéristiques du circuit.

Dans les appareils à cadre mobile le sens des forces s'exerçant sur le cadre dépend du sens courant appliqué ; il est nécessaire de brancher l'appareil dans le bon sens, indiqué par une borne + et une borne — (+ rouge, — noir).

Caractéristiques - Le microampèremètre est caractérisé par sa sensibilité que l'on définit pratiquement comme étant la valeur de l'intensité provoquant une déviation totale de l'aiguille sur le cadran. Si un courant de 200 μ A produit cet effet, on dit que la sensibilité de cet appareil est de 200 μ A.

La sensibilité d'un appareil de qualité moyenne utilisé pour le dépannage radio est de 500 μ A. Un appareil de très bonne qualité atteindra une sensibilité de 50 μ A.

c) *Milliampèremètre - Ampèremètre.*

But - Il sert à mesurer des courants d'une intensité de l'ordre du milliampère ou de l'ampère.

Principe - A partir d'un microampèremètre, on peut mesurer des intensités de l'ordre de l'ampère ou du milliampère, en utilisant des shunts (Fig. 5) qui dérivent hors du cadre une partie du courant circulant dans le circuit.

Calcul des shunts - Soit un microampèremètre de résistance R_g ayant une déviation totale pour une intensité i_1. Pour réaliser à partir de cet appareil un milliampèremètre ayant une déviation totale pour une intensité I il suffit de shunter le microampèremètre, c'est-à-dire de disposer entre ses bornes une résistance R_s convenablement choisie.

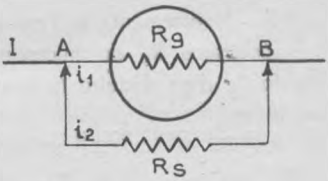


Fig. 5

Il est facile de calculer la valeur du shunt.

Soit I l'intensité parcourant le circuit,

Soit i_1 l'intensité dans le galvanomètre,

Soit i_2 l'intensité dans le shunt.

On peut écrire

$$V_A - V_B = R_g\, i_1 = R_s\, i_2$$

d'où l'on tire

$$R_s = R_g \frac{i_1}{i_2}$$

Or on a

$$I = i_1 + i_2$$

d'où

$$i_2 = I - i_1$$

ce qui donne

$$\boxed{R_s = R_g \frac{i_1}{I - i_1}}$$

Ainsi, connaissant la résistance du galvanomètre et sa sensibilité, il est possible de connaître la valeur du shunt permettant une mesure de sensibilité donnée.

Inversement, si l'on connaît la résistance R_s du shunt, la résistance R_g du microampèremètre et sa sensibilité i_1, il est facile d'en déduire la sensibilité I de l'ensemble.

On peut écrire :

$$R_s (I - i_1) = R_g i_1$$

$$R_s I = (R_s + R_g) i_1$$

$$I = i_1 \frac{R_s + R_g}{R_s}$$

En posant $\frac{R_s + R_g}{R_s} = m$

On a

$$\boxed{I = i_1 \times m}$$

où m est appelé *multiplicateur du shunt.*

Grâce aux shunts, on obtient un appareil à plusieurs sensibilités, où le même galvanomètre permet de mesurer des intensités allant de quelques microampères à plusieurs ampères.

Réalisation d'un ampèremètre à plusieurs sensibilités.

L'ampèremètre représenté par la figure 6 utilise un galvanomètre de sensibilité 50 μ A et de résistance de 5 000 Ω.

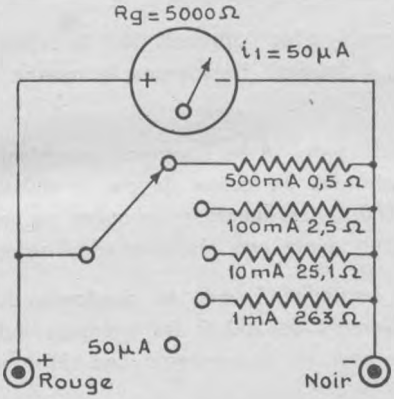


Fig. 6

A partir de ces données, pour avoir un montage d'une sensibilité de 1 mA il suffit d'appliquer la formule donnant la valeur du shunt :

$$R_s = R_g \frac{i_1}{I - i_1}$$

Or :

$$R_g = 5\,000\ \Omega$$

$$i_1 = 50 \times 10^{-6}\ A$$

$$I = 1\,000 \times 10^{-6}\ A$$

On a : $R_s = 5\,000 \times \dfrac{50 \times 10^{-6}}{(1\,000 - 50) \times 10^{-6}} = 5\,000 \times \dfrac{50}{950}$

soit : $R_s \# 263\ \Omega$.

Utilisation - L'ampèremètre se monte en série dans le circuit à étudier. Il ne doit avoir qu'une résistance faible pour ne pas perturber les mesures.

En utilisant un appareil à plusieurs sensibilités pour mesurer une intensité inconnue il faut toujours prendre la précaution de commencer la mesure sur la plus grande sensibilité c'est-à-dire sur celle qui permet de mesurer l'intensité la plus élevée, afin d'éviter de détériorer l'appareil.

Par exemple, avec l'appareil dont le schéma est donné par la figure 6, il faudrait commencer la mesure sur la sensibilité 500 mA.

Caractéristiques - Avec l'appareil précédent sur la sensibilité 50 μ A, c'est-à-dire en lecture directe, la résistance du montage étant de 5 000 Ω les intensités indiquées ne seront exactes que pour un circuit ayant une résistance de l'ordre de 50 000 Ω.

Sur la sensibilité 1 mA, la résistance du montage étant approximativement de 250 Ω les intensités indiquées ne seront exactes que pour un circuit ayant une résistance de l'ordre de 3 000 Ω.

On peut en effet considérer la mesure effectuée comme suffisamment précise lorsque le résultat est obtenu avec une erreur relative ne dépassant pas 10 %.

Soit I la vraie valeur de l'intensité.

Si U est la tension aux bornes du circuit et R sa résistance on a :

$$I = \frac{U}{R}$$

Soit I' la valeur indiquée par l'ampèremètre.

Si R' est la résistance de l'appareil on a :

$$I' = \frac{R + R'}{U}$$

L'erreur absolue commise sur la mesure est $I = I - I'$.

L'erreur relative est égale à :

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{I - I'}{I}$$

c'est-à-dire :

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{\dfrac{U}{R} - \dfrac{U}{R + R'}}{\dfrac{U}{R}} = \frac{R'}{R + R'}$$

Dans le premier exemple cité plus haut,

on a : $$\frac{\Delta I}{I} = \frac{R'}{R + R'} = \frac{5\,000}{55\,000} \# 9\,\%$$

Dans le deuxième exemple cité plus haut on a :

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{R'}{R + R'} = \frac{250}{3\,250} \# 8\,\%$$

Sur quelques appareils on trouve indiquée la résistance ohmique du cadre sur le cadran de l'appareil (Fig. 7).

En changeant la valeur des shunts la sensibilité du montage change. Un commutateur rotatif permet de mettre le shunt, approprié au courant à mesurer.

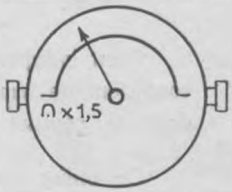


Fig. 7

d) *Voltmètre.*

But - C'est un appareil qui est utilisé pour la mesure des tensions. Il est constitué par un milliampèremètre en série avec une résistance élevée.

Principe - Soit à mesurer une tension U_2, la résistance de l'appareil étant R, il est traversé par un courant $i_2 = \frac{U_2}{R}$.

Puisque U_2 est proportionnel à i_2 il suffit de graduer le cadran directement en volts pour avoir la valeur de la tension mesurée.

Pour réaliser un voltmètre mesurant des tensions de 0 à U_1 avec un milliampèremètre de sensibilité i_1 il suffit que la résistance totale de l'appareil soit : $R = \frac{U_1}{i_1}$. En effet soit U_2 la tension à mesurer, telle que $U_2 < U_1$, le courant traversant l'appareil sera $i_2 = \frac{U_2}{R}$ on aura bien $i_2 < i_1$ et la mesure sera possible.

Si R_g est la résistance du milliampèremètre, il suffira de mettre en série avec elle une résistance additionnelle R_a telle que :

$$R_a = R - R_g$$

ou

$$R_a = \frac{U_1}{i_1} - R_g$$

Il est indispensable que cette résistance additionnelle ait un coefficient de température nul, car sa valeur doit être indépendante du courant qui la traverse.

On utilise par exemple, du constantan.

La réalisation pratique est la suivante (Fig. 8).

Soit un milliampèremètre de sensibilité $i_1 = 1$ mA et de résistance $R_g = 250\ \Omega$.

Pour une déviation totale de l'aiguille, la tension à ses bornes sera :

$$U_1 = 250 \times 0{,}001 = 0{,}25 \text{ volt.}$$

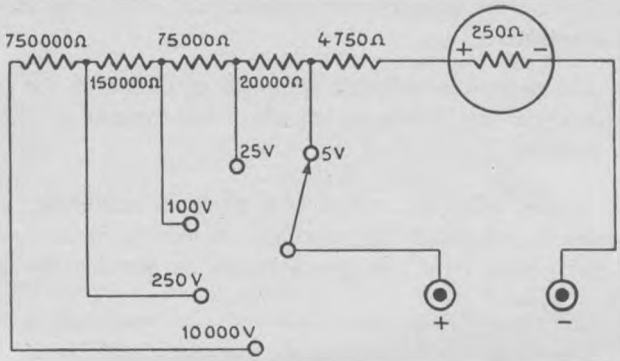


Fig. 8

Inversement, si on applique une différence de potentiel de 0,25 volt à ses bornes, on aura une déviation totale de l'aiguille. Ce milliampèremètre gradué en volts, permettra de mesurer des tensions de 0 à 0,25 volts.

Pour réaliser un voltmètre de 0 à 5 volts il faut que la résistance totale de l'appareil soit :

$$R = \frac{5}{0{,}001} = 5\,000\ \Omega$$

on met en série avec le cadre une résistance additionnelle :

$$R_a = 5\,000 - 250 = 4\,750\ \Omega.$$

Pour réaliser un voltmètre de 0 à 25 volts il faut que la résistance totale de l'appareil soit :

$$R = \frac{25}{0{,}001} = 25\,000\ \Omega$$

on met en série avec le cadre une résistance additionnelle :

$$R_a = 25\,000 - 250 = 24\,750\ \Omega$$

ou, ce qui donne le même résultat, une résistance supplémentaire

de 20 000 Ω en série avce la résistance de 5 000 Ω du voltmètre de sensibilité 5 volts.

Utilisation - Le voltmètre se monte en dérivation sur la partie de circuit aux bornes de laquelle il faut mesurer la différence de potentiel.

Si l'on utilise un voltmètre à plusieurs sensibilités, il faut prendre la précaution de commencer la mesure sur la sensibilité la plus grande (1) si l'on ignore l'ordre de grandeur de la tension à mesurer.

Caractéristique - Pour qu'un voltmètre soit précis, il est nécessaire que l'intensité dérivée hors du circuit sur lequel s'effectue la mesure soit négligeable par rapport à l'intensité traversant le circuit. Il doit donc présenter une grande résistance interne.

Si U est la valeur de la tension aux bornes du circuit avant d'avoir placé le voltmètre, U' la valeur de la lecture faite avec le voltmètre V (Fig. 9) l'erreur relative est alors :

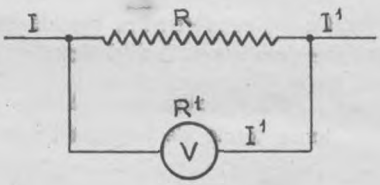


Fig. 9

$$\frac{\Delta U}{U'} = \frac{U - U'}{U}$$

On a : $U = R\,I$.

En supposant que le courant total circulant dans le circuit reste sensiblement le même après interposition du voltmètre, on peut écrire :

$$U' = R\,I'$$

(1) Par analogie avec ce qui a été vu à propos de l'ampèremètre à plusieurs sensibilités, la plus grande sensibilité d'un voltmètre est celle qui permet la mesure des tensions les plus élevées auxquelles l'appareil peut être soumis.

D'où $$U - U' = R\,(I - I') = R\,I_1$$

$$\frac{U - U'}{U} = \frac{R\,I_1}{R\,I} = \frac{I_1}{I}$$

Or : $$R'\,I_1 = I = R\,I' = R\,(I - I_1) \text{ d'où :}$$

$$\frac{I_1}{I} = \frac{R}{R + R'}$$

et finalement $$\frac{U - U'}{U} = \frac{R}{R + R'}$$

L'erreur relative commise sur la mesure sera d'autant plus faible que la résistance du voltmètre sera plus grande.

La qualité d'un voltmètre est caractérisée par sa résistance intérieure par volt.

Le voltmètre décrit précédemment a une résistance de 5 000 Ω pour une sensibilité de 5 volts c'est-à-dire une résistance de 1 000 ohms par volt.

Le rapport Ω/V d'un voltmètre dépend de la sensibilité du galvanomètre utilisé. Si i_1 est la sensibilité du galvanomètre le rapport Ω/V sera $\frac{1}{i_1}$ car $i_1 = \frac{U}{R}$ est par conséquent

$$\frac{1}{i_1} = \frac{R}{U}$$

Dans le cas précédent où $i_1 = 1$ mA on a bien :

$$\frac{1}{i_1} = \frac{1}{0{,}001}\ \Omega/V = 1\,000\ \Omega/V.$$

Avec un galvanomètre de sensibilité 50 μ A, on peut réaliser un voltmètre ayant un rapport Ω/V de

$$\frac{1}{50 \times 10^{-6}} = 20\,000\ \Omega/V.$$

On peut faire varier ce rapport en agissant sur la sensibilité du milliampèremètre utilisé.

c) *Voltmètre électronique.*

But - Les galvanomètres les plus sensibles parmi ceux utilisés pour la réalisation des voltmètres ont une sensibilité de 20 μ A ce qui donne un rapport de 50 000 Ω/V. Pour mesurer une tension de 5 volts aux bornes d'une résistance de 1 MΩ en utilisant la sensibilité 5 volts, on place en parallèle sur la résistance de 1 MΩ une résistance de 250 000 Ω la mesure sera donc entièrement faussée.

Pour mesurer de faibles tensions aux bornes de résistances de grande valeur on utilise le voltmètre électronique qui présente sur les positions servant aux mesures de ces faibles tensions une très grande résistance.

Principes de fonctionnement - Le voltmètre électronique fonctionne sur le principe de déséquilibre (pont de Wheatstone) (Fig. 10).

Le tube 1 LE 3 constitue la résistance variable fonction de la tension appliquée à la grille. A l'équilibre, l'aiguille ne dévie pas. La tension à mesurer est appliquée entre les points A et B dans le circuit grille, avec la polarité indiquée. Cette tension modifie la résistance du tube. L'équilibre est rompu et l'aiguille dévie proportionnellement à la tension appliquée.

L'avantage de ce voltmètre est d'avoir une très grande résistance d'entrée.

En effet, la tension à mesurer est appliquée aux bornes d'une résistance de 11 M Ω quelle que soit la sensibilité utilisée.

Le tube fonctionnant d'autre part sans courant grille, l'appareil offre une résistance d'entrée constante.

Par contre la caractéristique Ω/V change avec la sensibilité utilisée ; elle est d'autant plus grande que la sensibilité choisie est plus faible.

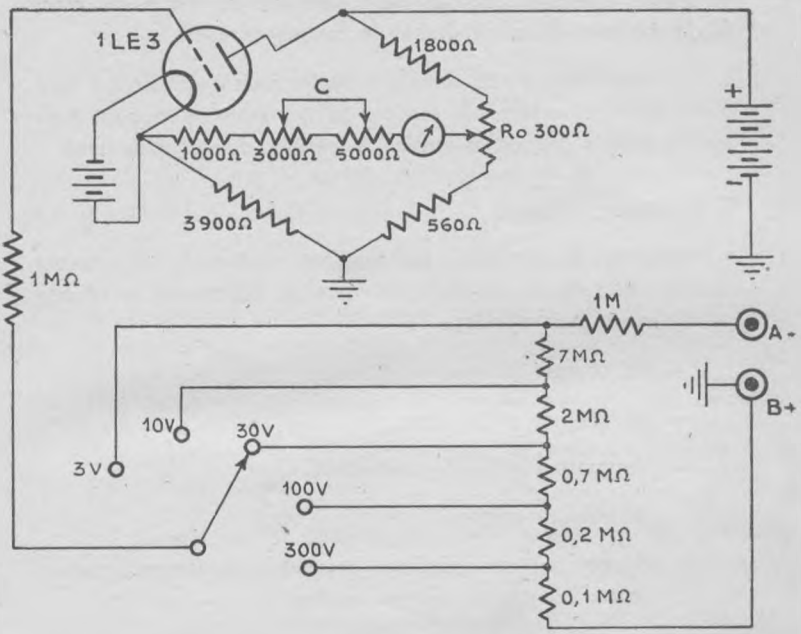


Fig. 10

Sur la sensibilité 3 volts, le rapport Ω/V est

$$\frac{11\,000\,000}{3} = 3\,666\,000\ \Omega/V$$

et sur la sensibilité 300 volts ce rapport n'est plus que

$$\frac{11\,000\,000}{300} = 36\,660\ \Omega/V.$$

Pratiquement pour les tensions supérieures à 300 V son emploi peut être remplacé par celui d'un voltmètre ordinaire.

Utilisation - On branche le voltmètre électronique en dérivation sur l'organe aux bornes duquel on doit mesurer la tension. Avant chaque mesure, il est nécessaire de ramener l'aiguille

au zéro à l'aide du rhéostat de tarage (ou de remise au zéro) R_0. Le cavalier C sert à établir le tarage en usine.

Caractéristiques - Le voltmètre électronique a un rapport Ω/V élevé pour les mesures de tensions faibles mais ce rapport diminue beaucoup lorsque la tension à mesurer devient plus forte.

f) *Exemples pratiques.*

Mesures d'intensités - Les mesures d'intensités en courant continu effectués sur un poste en cours de dépannage se résume pratiquement aux mesures :

— de courant plaque,

— de courant grille écran,

— de courant grille de commande,

— de courant cathode,

— de courant de chauffage des filaments (lorsque ceux-ci sont alimentés en courant continu).

Les valeurs de ces intensités dépendent essentiellement des tubes utilisés ainsi que de leurs conditions d'emploi et de fonctionnement.

Le tube 6 F 6, tétrode de puissance B.F. alimenté sous 250 V débite en régime de fonctionnement normal 40,5 mA. L'intensité plaque est de 34 mA et l'intensité écran de 6,5 mA, ce qui correspond à une résistance totale de $\frac{250}{0{,}0405} = 6\,200\ \Omega$ pour le circuit.

Pour faire une mesure correcte d'intensité cathode il faudra que la résistance du milliampèremètre soit négligeable par rapport à cette valeur. La résistance propre de l'appareil est approximativement de 2,5 Ω pour la sensibilité 100 mA ; elle est donc négligeable devant 6 200 Ω et les valeurs lues seront correctes.

Lorsqu'il s'agit d'un courant grille (cas des oscillateurs ou amplificateurs à courant grille) la résistance du milliampèremètre

reste encore négligeable devant la résistance du circuit et les mesures sont possibles.

Quelques cas d'impossibilité peuvent se produire. Par exemple la mesure de l'intensité totale d'alimentation des filaments d'un poste récepteur à 15 tubes, 6,3 V/0,3 A donc de 21 Ω de résistance chacun, dans le cas où ils sont chauffés en parallèle ; la résistance équivalente à l'ensemble est alors de $\frac{21}{15} = 1{,}4\ \Omega$ si l'ampèremètre utilisé a une résistance de 1 Ω sur la position 5 A, en supposant la résistance de la source nulle, il indiquera :

$\frac{6{,}3}{1{,}4 + 1} = 2{,}6$ ampères au lieu de $\frac{6{,}3}{1{,}4} = 4{,}5$ ampères, consommation effective des 15 tubes, la mesure d'intensité sera donc entièrement faussée.

Quand on ne possède pas un ampèremètre de résistance suffisamment faible par rapport au circuit, il suffit de mesurer U et d'en déduire I en effectuant le rapport $\frac{U}{R} \doteq I$.

La résistance R doit être, le cas échéant, mesurée à chaud (cas des filaments) c'est-à-dire dans les conditions normales de fonctionnement.

Mesures de tensions - Le problème des mesures de tension est souvent très délicat en radioélectricité et nécessite un certain nombre de précautions sans lesquelles on risque d'obtenir des résultats erronés.

Soit un voltmètre de qualité moyenne, 2 000 Ω/V, la résistance sur la position 300 volts est de 600 k Ω.

Si cet appareil placé sur la sensibilité 300 volts, est branché entre la plaque d'un tube 6 F 6 et la masse, la résistance ohmique de l'impédance de charge étant de 200 Ω, la résistance interne de la source (convertisseur) 120 Ω, l'erreur de mesure sera négligeable puisque la résistance intérieure du voltmètre soit 600 k Ω est placée en parallèle sur une résistance de 320 Ω.

Soit maintenant à mesurer la tension entre grille et cathode (tension négative de polarisation de l'ordre de 16 volts). Le voltmètre placé sur la position 25 volts présente une résistance de 50 kΩ qui, mise en parallèle sur une résistance de 50 410 Ω fausse entièrement la mesure (Fig. 11).

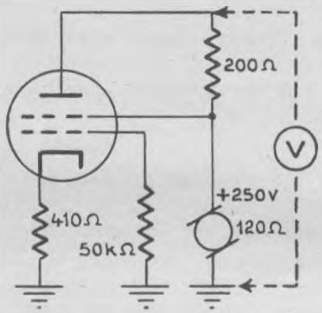


Fig. 11

(Dans ce cas particulier la tension négative de polarisation peut se mesurer entre cathode et masse puisqu'il n'y a pas de courant grille. Elle est alors possible avec un voltmètre 1 000 Ω/V). Si la polarisation se fait par courant grille avec une même résistance, l'utilisation d'un voltmètre électronique devient nécessaire. Le voltmètre électronique décrit plus haut a toujours une résistance d'entrée de 11 MΩ qui, placée en parallèle aux 50 kΩ n'introduit aucune erreur appréciable.

Lorsqu'on ne possède pas de voltmètre électronique il suffit de mesurer l'intensité traversant le circuit et, en supposant les valeurs des résistances correctes, de faire le produit R I = U (Fig. 12).

Soit un montage amplificateur de tension B.F. utilisant un tube 6SJ7 pour un gain théorique de 328 et une tension maximum de sortie de 79 volts.

Si l'on dispose d'un voltmètre 1 000 Ω/V (donc de 300 kΩ

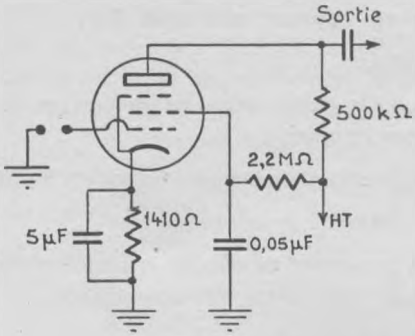


Fig. 12

de résistance intérieure sur la position 300 volts) et qu'on le branche entre plaque et masse, on place une résistance de 300 kΩ en parallèle sur une résistance de 500 kΩ en supposant la résistance de la source négligeable. La lecture est fausse. Il en est de même de celles faites entre grille-écran et masse et entre cathode et grille de commande.

Soit à mesurer la tension entre cathode et masse. L'intensité parcourant le circuit plaque peut atteindre au maximum la valeur

$$i = \frac{250}{501\,410} \# 500\ \mu\ A$$

(cas où le tube offrirait un court-circuit franc au courant continu) ce qui donne une tension maximum de

$$500 \times 10^{-6} \times 1\,410 = 0{,}7 \text{ volt.}$$

Pour mesurer cette tension au voltmètre, il faut utiliser la sensibilité 5 volts sur laquelle il présente une résistance de 5 000 Ω qui, mise en parallèle sur 1 410 Ω ne permet pas une mesure suffisamment précise.

Chaque fois que cela est possible, il y a donc intérêt à utiliser le voltmètre électronique qui, présentant une grande impédance d'entrée, permet des mesures plus exactes.

2.2 - Mesures en courant alternatif B.F.

a) *Ampèremètres.*

Les appareils utilisés pour les mesures en courant B.F. sont de deux types principaux :

— l'ampèremètre thermique,

— l'ampèremètre à redresseur.

But - Ils permettent de déceler la présence d'un courant dans un circuit et de mesurer son intensité efficace.

Ampèremètre thermique.

Principe - Il utilise le principe suivant : un courant d'intensité i passant dans un fil de résistance R, dégage une puissance $R\,i^2$, le fil s'échauffe et s'il a un coefficient de dilatation notable il s'allonge ; l'allongement ainsi produit est fonction de l'échauffement du fil, donc de i. En mesurant cet allongement on peut en déduire la valeur du courant i.

Utilisation - Cet appareil peut être utilisé aussi bien en courant continu qu'en courant alternatif. Dans ce dernier cas l'allongement est proportionnel à $R\,I_{eff}^2$ et on en déduit la valeur de l'intensité efficace du courant.

L'allongement du fil est en général faible et il est nécessaire de prévoir des dispositifs mécaniques d'amplification (voir schéma fig. 13).

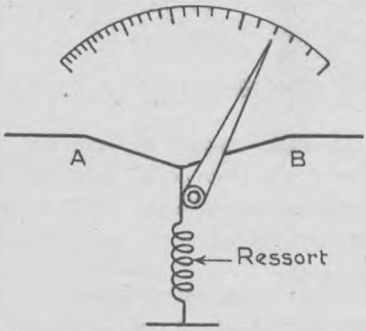


Fig. 13

Caractéristique - Les mesures faites en courant B.F. avec cet appareil sont pratiquement indépendantes de la fréquence, mais sa sensibilité est faible et son étalonnage non stable, en particulier du fait des variations de la température ambiante.

Ampèremètre à redresseur.

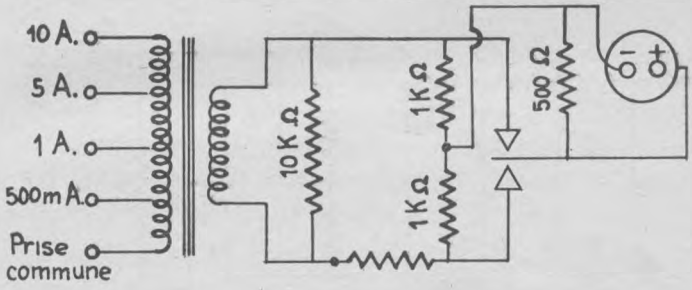


Fig. 14

Principe (Fig. 14) - Le courant alternatif redressé par un redresseur double, alimente un galvanomètre à cadre mobile. Avec un redresseur bien établi, l'intensité moyenne redressée est proportionnelle à l'intensité alternative efficace.

L'intensité débitée par le redresseur sera fonction du rapport de transformation du transformateur d'intensité, ce qui donnera la possibilité de réaliser plusieurs positions de mesures ou sensibilités.

Utilisation - Cet appareil ne peut être utilisé que pour la mesure du courant alternatif. Il se monte en série dans le circuit à étudier.

Caractéristiques - Cet ampèremètre est peu résistant : son impédance d'entrée, pour une fréquence donnée, dépend de la sensibilité utilisée. Les graduations du cadran ne sont pas les mêmes qu'en courant continu, car il faut tenir compte de la résistance introduite par le redresseur et de sa caractéristique de redressement.

b) *Voltmètre alternatif* (Fig. 15).

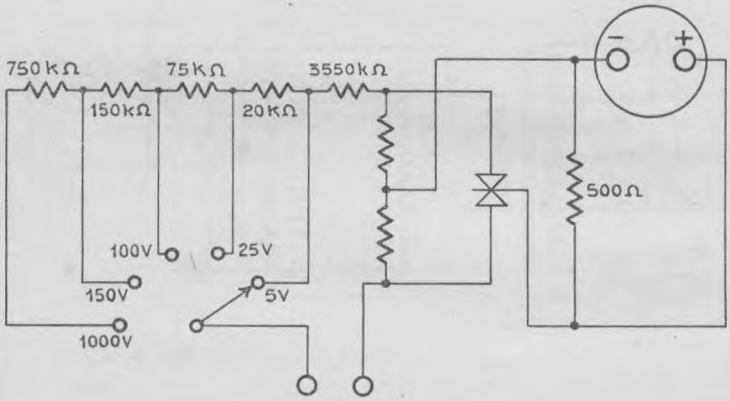


Fig. 15

But - Il permet de mesurer les tensions alternatives.

Principe - Le courant alternatif redressé est appliqué au cadre d'un milliampèremètre : l'intensité redressée est fonction de l'intensité alternative parcourant l'appareil, donc de la tension appliquée à ses bornes.

Le voltmètre se compose d'une ou plusieurs résistances en série avec le milliampèremètre à redresseur décrit plus haut. Le cadran est gradué en volts et permet de lire la valeur moyenne de la tension alternative B.F. appliquée. Il peut être gradué en valeur efficace pour une tension parfaitement sinusoïdale.

Utilisation - Cet appareil permet de mesurer des tensions

de l'ordre de 0,1 volt à 1 000 volts dans la gamme de fréquences de 50 à 5 000 c/s mais il est inutilisable en H.F. Il se monte en dérivation sur l'organe aux bornes duquel on veut mesurer la tension.

Caractéristiques - Le rendement en efficacité du redresseur n'étant constant qu'à partir d'une certaine intensité (500 μ A par exemple), les graduations sont inégalement espacées sur le cadran.

c) *Voltmètre électronique.*

But - Certaines mesures en courant alternatif de fréquence téléphonique nécessitent une grande précision (Ex. : relevé des courbes de réponse d'amplificateurs). Pour les faire on doit utiliser des appareils ne modifiant pas les caractéristiques du circuit par adjonction d'une charge et pouvant être utilisés dans une bande assez large de fréquences.

On utilise à cet effet des voltmètres électroniques (ou voltmètres à lampe).

On en trouve 2 types :

— voltmètre électronique à détection plaque,

— voltmètre électronique à détection grille.

Voltmètre électronique à détection plaque.

Principe - L'appareil est monté avec un tube triode (Fig. 16) ou un tube pentode.

Dans le circuit plaque est placé un milliampèremètre à courant continu mesurant le courant moyen. Un condensateur placé aux bornes de l'appareil de mesure court-circuite la composante alternative du courant de plaque.

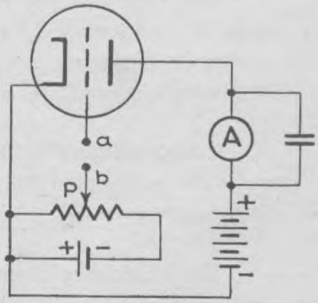


Fig. 16

La grille est polarisée au point de coupure par l'intermédiaire du potentiomètre P. La tension U à mesurer est appliquée entre a et b.

Le courant de plaque est proportionnel à la valeur de U efficace.

Réalisation - Voltmètre de Moullin. Il a été conçu pour des tubes à chauffage direct. L'alimentation totale de l'appareil a été réalisée à l'aide d'une source unique E et ne comporte qu'un seul organe de réglage (Fig. 17).

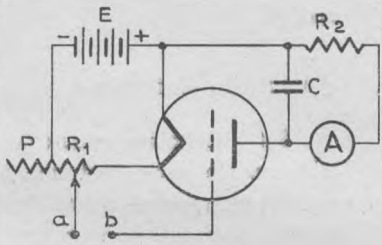


Fig. 17

La source E alimente le filament à travers une résistance de réglage R_1. La tension de plaque est réduite à la tension de chauffage du filament. La polarisation de grille est fournie par une prise sur la résistance R_1.

L'organe de réglage unique, est constitué par le curseur P de la résistance R_1.

Avant de faire une mesure, on met en court-circuit les bornes a et b et on amène l'aiguille du milliampèremètre devant son repère en déplaçant le curseur P. A ce moment toutes les caractéristiques du circuit se trouvent déterminées. L'appareil est réglé.

Caractéristiques - Cet appareil permet de mesurer les tensions de l'ordre du 1/10e de volt à 10 volts (la grille ne doit pas être positive).

Son impédance d'entrée est pratiquement infinie et diminue progressivement lorsque la fréquence croît.

L'étalonnage peut varier sensiblement avec une modification de la source d'alimentation. Il est indispensable de la stabiliser.

Voltmètre à détection grille.

Principe - Il se compose d'un tube triode fonctionnant en détecteur par la grille (Fig. 18).

La tension à mesurer est appliquée dans le circuit de grille entre a et b. L'appareil de mesure est constitué par un milliampèremètre à courant continu placé dans le circuit de plaque du tube.

Au repos, la polarisation de grille est nulle.

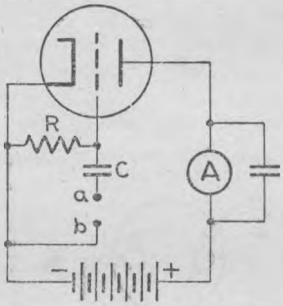


Fig. 18

Quand on applique une tension alternative U, la détection dans l'espace grille cathode provoque une chute de tension moyenne de grille ; la polarisation de grille devient négative ; le courant de plaque diminue et sa diminution est proportionnelle à la tension U appliquée.

Caractéristiques - Il mesure les tensions en B.F. de quelques volts à 1/10e de volt.

Son impédance d'entrée est très grande.

Pour que l'aiguille dévie dans le sens habituel on utilise un montage en pont ; le milliampèremètre étant monté dans une diagonale, le pont est amené au zéro dans la position de repos, par variation de la résistance Q (Fig. 19).

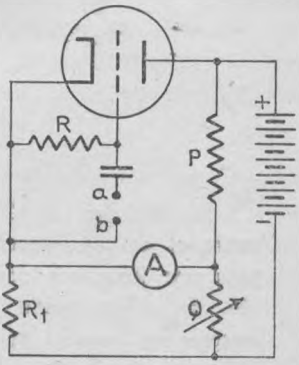


Fig. 19

d) *Voltmètre de sortie* (Output meter).

But - Cet appareil permet de mesurer la tension de sortie des amplificateurs B.F. ou des générateurs B.F.

Il permet accessoirement de mesurer la puissance de sortie. L'appareil étant gradué en volts efficaces, il suffit d'appliquer la formule $= W = \frac{U^2_{eff}}{Z}$.

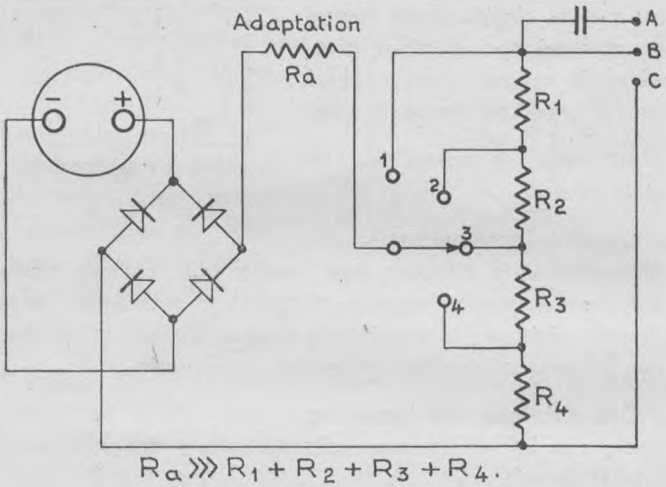


Fig. 20

Principe (voir fig. 20) - Il se compose d'un galvanomètre à cadre et de redresseurs. Son impédance d'entrée est constante pour une fréquence donnée, quelle que soit la sensibilité utilisée. En effet, quelle que soit la sensibilité, la tension à mesurer est toujours appliquée aux bornes de l'ensemble R des résistances R_1, R_2, R_3 et R_4 et de plus R_a est très grand devant R.

Utilisation - Dans la pratique on mesure la tension de sortie entre la plaque de l'étage final et la masse. Pour éliminer la composante continue, on place un condensateur en série avec l'appareil de mesure, entre les bornes A et B.

Si le circuit n'est pas le siège d'un courant continu, on appli-

que la tension à mesurer entre les bornes C et B. L'impédance se réduit à une résistance pure indépendante de la fréquence.

Caractéristiques - Pour les mesures de tension, il suffit que l'impédance du voltmètre branché en parallèle sur l'impédance de charge, soit très grande par rapport à celle-ci.

Pour les mesures de puissance de sortie l'impédance du voltmètre de sortie remplace l'impédance de charge et par conséquent doit lui être égale.

e) *Exemples pratiques.*

On distinguera les mesures en courant alternatif 50 c/s et les mesures en basse fréquence (fréquences acoustiques).

Mesures en courant alternatif industriel (50 c/s).

Les circuits alimentés par un tel courant sont le primaire et les secondaires des transformateurs d'alimentation et les circuits d'alimentation des filaments dans le cas ou ceux-ci sont alimentés en alternatif.

Les mesures d'intensité se font en insérant directement l'ampèremètre en série dans le circuit étudié. Elles sont en général possibles, sauf dans le cas où la résistance de l'ampèremètre n'est pas négligeable devant la résistance du circuit (intensité filament mesurée avec un appareil très résistant) (voir exemple cité dans le paragraphe des mesures en courant continu).

Les mesures de tensions sont toujours possibles. Soit par exemple, un transformateur donnant 250 volts sous 50 mA. En fonctionnement normal la résistance de charge est :

$$\frac{250}{50 \times 10^{-3}} = 5\,000\ \Omega.$$

Même si le voltmètre est de mauvaise qualité, 200 Ω/V par exemple, il aura sur la position 300 volts une résistance de 60 kΩ suffisamment grande devant 5 kΩ pour que la mesure soit correcte.

Pour mesurer la puissance consommée, il suffit de mesurer U et I et de faire le produit. Soit par exemple un poste consom-

mant 600 mA au primaire, branché sur 110 volts. La consommation est $110 \times 600 \times 10^{-3} = 66$ watts.

Mesures en basse fréquence.

Réglage et alignement des récepteurs ou amplificateurs B.F.

Les circuits des récepteurs ou amplificateurs B.F. doivent être réglés de manière à obtenir la puissance de sortie maximum sans toutefois provoquer de distorsion. Pour mesurer cette puissance il suffit de brancher un voltmètre de sortie aux bornes du secondaire du transformateur de sortie (ou au primaire en employant la sortie avec capacité).

La lecture est faite en volts efficaces, la puissance de sortie en sera déduite par la formule

$$W = \frac{E^2_{eff}}{Z}$$

Pour faire des mesures de puissance avec précision, il faudra que les impédances soient correctement adaptées, lorsqu'on branche le voltmètre de sortie.

Dans la pratique on se borne à régler le poste de façon que la tension de sortie soit maximum.

Relevé des courbes de réponse d'amplificateurs ou de générateurs B.F.

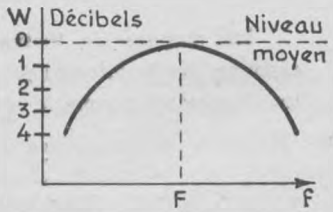


Fig. 21

Dans le cas d'amplificateurs B.F. on branche un générateur B.F. entre grille et masse de l'amplificateur et un voltmètre de sortie aux bornes de l'impédance de charge. La puissance recueillie est fonction de la fréquence du signal. On peut mesurer les niveaux en décibels au-dessus et au-dessous du niveau moyen. La courbe obtenue a l'allure de la figure 21.

On appelle en effet niveau d'une puissance P_1 par rapport

à une puissance de référence P_2, le rapport de ces deux puissances

$$N = \frac{P_1}{P_2}$$

Pour faciliter les calculs ou les représentations graphiques, on mesure souvent ces niveaux en décibels.

$$N \text{ (mesuré en décibels)} = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2}.$$

Par exemple, soit une puissance de référence, encore appelée niveau moyen, égale à 1 watt : le niveau en décibels d'une puissance de 10 watts, par rapport à ce niveau moyen est :

$$N = 10 \log_{10} \frac{10}{1} = 10 \times 1 = 10 \text{ décibels.}$$

2.3 - Mesures en courant alternatif H.F.

a) *Tube au néon.*

But - Il sert à déceler la présence de courants H.F. dans les circuits.

Principe - Le tube couplé à un circuit siège d'un courant H.F. est soumis à une force électromotrice d'induction qui l'illumine.

Utlisation - Le tube est couplé lâchement au circuit à étudier.

Caractéristiques - Cet appareil permet uniquement de constater la présence d'un courant H.F. sans en évaluer la grandeur.

b) *Ampèremètre thermique.*

But - Il permet de mesurer l'intensité de courant H.F.

Principe - C'est le même que celui de l'ampèremètre thermique B.F.

Utilisation - Il se branche en série dans le circuit à mesurer.

Caractéristiques - Cet appareil est simple, mais sujet à de

graves erreurs dues à l'hystérésis et aux variations de la température (refaire le calage au zéro avant chaque mesure).

Il est doué d'une grande inertie et aux très hautes fréquences la résistance ohmique augmente par suite de l'effet pelliculaire.

Enfin il ne permet la mesure que de courants d'assez grande valeur (100 mA au minimum).

Cet appareil ne donne que des indications approximatives et ne peut être utilisé pour des mesures de précision.

c) *Ampèremètre à thermocouple.*

But - Il permet de mesurer avec précision l'intensité des courants H.F.

Principe (Fig. 22) - Deux fils de métaux différents sont soudés en A et B ; lorsque les températures t et t_1 des deux soudures sont différentes, la boucle est le siège d'un courant continu que l'on peut mettre en évidence en intercalant un galvanomètre dans le circuit.

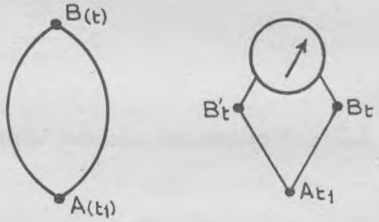


Fig. 22

Réalisation - Le courant qu'il s'agit de mesurer traverse un fil résistant X Y. L'échauffement est transmis à la soudure A (soudure chaude). L'appareil de mesure est branché en B B' (soudures froides) (Fig. 23).

Il existe des types divers de thermocouples. Dans les uns, le fil chauffant et la soudure se touchent : l'échauffement est alors transmis par conduction, mais la résistance du contact produit une légère déviation qui entraîne une légère erreur de mesure. Dans les autres (Fig. 23), les deux fils sont isolés par une perle isolante (verre ou mica) et la chaleur se transmet par rayonnement.

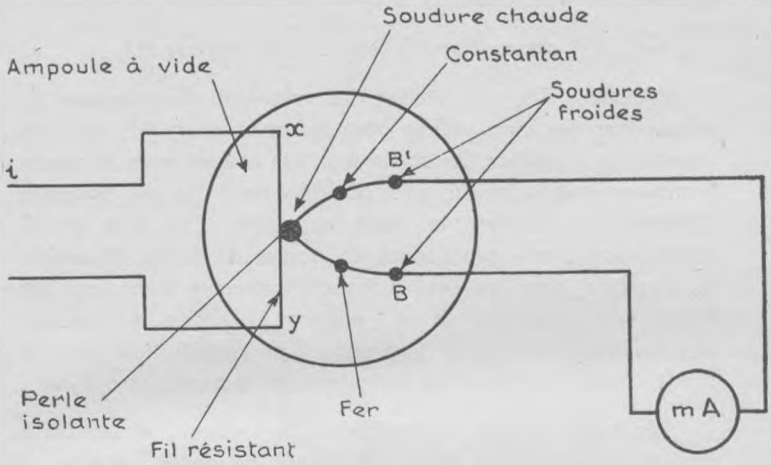


Fig. 23

Ils sont en général montés dans des ampoules à vide pour éviter les pertes.

La force électromotrice thermo-électrique qui apparaît entre les deux soudures, pour une différence de température donnée, dépend de la nature des métaux. Les couples les plus fréquemment utilisés sont : argent-bismuth, fer-constantan, cuivre-constantan.

Utilisation - Ces appareils sont utilisés pour déceler ou mesurer les courants des circuits à haute fréquence ; ils se montent en série dans le circuit à étudier.

Caractéristiques - L'élément chauffant X Y doit être constitué par un fil très fin de façon à augmenter la sensibilité de l'appareil et à diminuer l'effet de peau. Cette condition limite les courants à mesurer à de faibles valeurs. Les appareils de laboratoire permettent des mesures précises dans une large bande de fréquence, avec une sensibilité pouvant aller de 1 mA à 100 mA. Des appareils plus robustes du type industriel, permettent des mesures dans une gamme de fréquence plus limitée et peuvent avoir une sensibilité comprise entre 0,1 A et une dizaine d'ampères.

d) *Voltmètre électronique.*

But - Cet appareil sert à mesurer des tensions H.F.

Principe - On peut utiliser des voltmètres électroniques du même type que ceux utilisés pour les mesures en B.F. Mais on a avantage à réaliser des connexions très courtes entre la source à mesurer et le détecteur, c'est pourquoi on utilise des appareils différents. La détection est faite au moyen d'un tube gland, souvent une diode, placé dans un boîtier de faible dimension, ou « probe », que l'on peut amener à proximité immédiate des bornes entre lesquelles on veut mesurer la tension H.F. La tension continue détectée est appliquée à un amplificateur dans le circuit duquel se trouve un instrument de mesure. .

Réalisation - Dans le modèle décrit ci-contre, la tension à mesurer est appliquée entre les bornes marquées « Haut » et

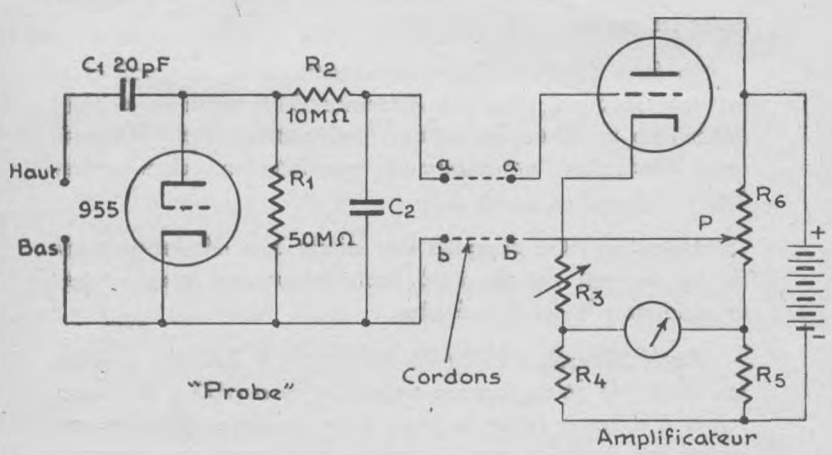


Fig. 24

« Bas » dans le circuit d'un tube triode monté en diode (Fig. 24). La tension détectée et filtrée est appliquée entre a et b dans le circuit de grille du tube amplificateur.

Au repos, on court-circuite les bornes a et b. La grille est polarisée positivement par rapport à la cathode par le courant i (Fig. 25) qui développe une tension U dans la résistance R 6.

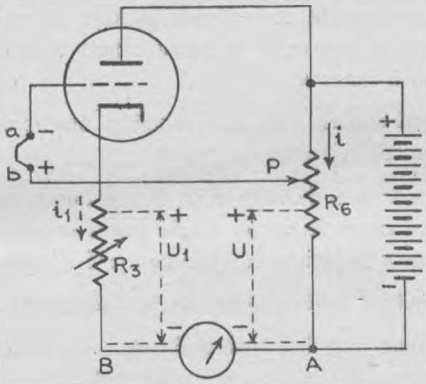


Fig. 25

D'autre part, il existe un courant de plaque i_1 qui développe une tension U_1 de sens opposé à U dans la résistance de cathode R_3. Les valeurs de résistances sont choisies de façon à ce que les tensions U_1 et U soient sensiblement de même valeur. Il circule alors dans le circuit de plaque un courant de repos i_1. Si on applique entre a et b la tension détectée avec la polarité indiquée, la polarisation de grille devient négative par rapport à la cathode, et le courant de plaque i_1 diminue d'une quantité proportionnelle à la tension appliquée.

Le milliampèremètre est gradué en volts efficaces, et pour permettre de faire une lecture avec un déplacement de l'aiguille dans le sens habituel, l'appareil de mesure est monté dans la diagonale d'un pont (Fig. 24) comprenant la résistance R_4, la résistance variable R_3 et le tube, le potentiomètre R_6, la résistance R_5. Au repos, on agit sur le curseur P du potentiomètre pour amener l'aiguille au zéro de la graduation.

Utilisation - Pratiquement les opérations sont les suivantes :

— choisir la sensibilité désirée en donnant à R_3 la valeur convenable,

— court-circuiter les bornes d'entrée,

— ajuster le milliampèremètre au zéro en agissant sur R_6,

— supprimer le court-circuit et faire la mesure en prenant soin de connecter la borne « Bas » à la masse de l'appareil à mesurer.

Caractéristiques - Un bon voltmètre électronique doit présenter les qualités suivantes :

— impédance d'entrée aussi élevée que possible, de manière à ne pas charger le circuit étudié (cette impédance d'entrée est constituée par la résistance et la capacité d'entrée de l'appareil) ;

— résultats indépendants de la fréquence ;

— bonne stabilité, c'est-à-dire que les lectures doivent être indépendantes de la tension d'alimentation (une variation de la tension d'alimentation ne doit pas entraîner une variation du résultat de la mesure) ;

— sécurité de l'appareil, qui doit être protégé contre les surcharges accidentelles ;

— commodité d'emploi ;

— possibilité de faire des mesures dans une gamme étendue de fréquences.

e) *Exemples pratiques de mesures H.F.*

En pratique les mesures en H.F. se résument aux mesures d'intensité, les mesures de tension H.F. étant faites en laboratoire.

Mesures d'intensité :

Ces mesures d'intensité H.F. sont surtout faites sur les émetteurs pour mesurer le courant d'antenne. Les ampèremètres sont en général des appareils à couple thermoélectrique pouvant être insérés dans le circuit d'antenne par l'action d'un interrupteur.

Les valeurs des courants sont de l'ordre de 1 à 10 ampères.

3 - OSCILLOSCOPE CATHODIQUE.

3.1 - Principe.

a) *Tubes cathodiques* (Fig. 26).

Le tube cathodique est un tube à vide dans lequel les électrons émis par la cathode vont frapper un écran et le rendent

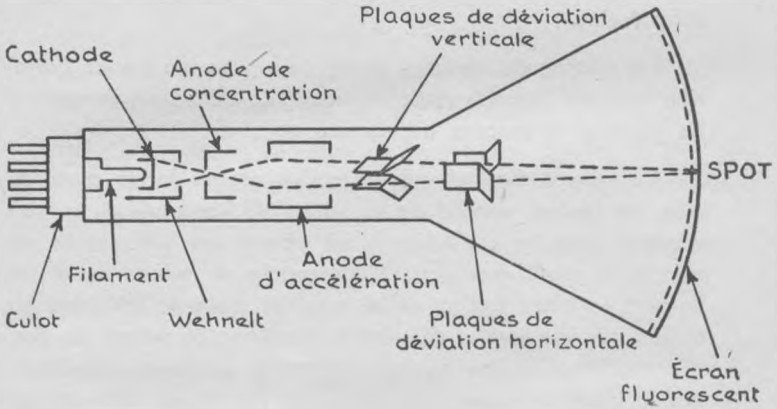


Fig. 26

fluorescent. Les électrons sont concentrés en un faisceau qui peut être dirigé grâce à des plaques de déviation.

Le tube cathodique comprend :

— un canon à électrons,

— des plaques de déviation,

— un écran.

Le canon à électrons se compose des éléments suivants :

— une cathode émissive chauffée par un filament : la pastille génératrice d'électrons est très petite en vue d'obtenir un spot punctiforme ;

— une grille cylindrique (cylindre de Wehnelt) entourant la cathode ; elle est percée d'un petit trou et a pour but de diaphragmer le pinceau d'électrons, de régler le débit du tube et de protéger en outre la cathode contre le retour destructeur des électrons ;

— l'anode de concentation qui concentre le faisceau d'électrons ;

— l'anode d'accélération qui donne aux électrons une vitesse considérable.

Les plaques de déviation horizontale et les plaques de déviation verticale (appelés parfois plaques de déflection) permettent de déplacer le pinceau d'électrons.

L'écran est constitué par un enduit déposé sur la paroi du tube. Sa couleur dépend de la nature du corps utilisé. Le vert employé pour les oscilloscopes est obtenu par une couche de silicate de soude recouverte d'une couche de sulfure ou oxyde de zinc. Le blanc brillant utilisé pour les tubes de télévision est obtenu par une couche de silicate recouverte du sulfate de zinc. L'écran doit avoir une constante de temps suffisante, c'est-à-dire que la trace lumineuse faite sur l'écran par le spot doit demeurer un certain temps après la disparition de celui-ci. L'écran doit avoir aussi une très grande conductibilité de manière à évacuer sans arrêt les électrons. Un spot trop intense ou trop peu mobile peut entraîner une détérioration grave de l'écran et son arrêt prolongé peut même provoquer la fusion du tube au point d'impact.

b) *Principe de fonctionnement.*

La paire de plaques de déviation verticale reçoit la tension périodique à analyser. Il se crée entre ces deux plaques un champ électrique vertical quand on établit entre elles une différence de potentiel U. Ce champ produit une déviation du faisceau dans le plan vertical, donc un déplacement vertical du spot sur l'écran (Fig. 27). L'amplitude du déplacement du spot à partir du centre (position de repos) est pratiquement proportionnelle au champ électrique, donc à la tension appliquée (ceci dans le

Fig. 27

cas où l'on n'applique aucune tension aux bornes des plaques de déviation horizontale).

De même si l'on applique une tension périodique aux plaques de déviation horizontale (aucune tension n'étant appliquée

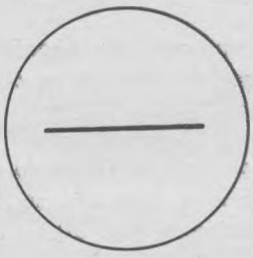


Fig. 28

aux plaques de déviation verticale) on obtient un déplacement horizontal du spot sur l'écran (Fig. 28).

On peut obtenir sur l'écran la représentation en fonction du temps d'une tension périodique quelconque.

Il suffit d'appliquer cette tension aux plaques de déviation verticale en même temps que l'on provoque un déplacement horizontal du spot appelé balayage proportionnel au temps.

Si l'on suppose que la tension périodique à étudier est sinusoïdale et que sa période est égale au temps mis par le

spot pour se déplacer de la gauche à la droite de l'écran, on obtient sur celui-ci une image analogue à celle de la figure 29.

Le tracé pointillé représente le retour du spot de la droite à la gauche.

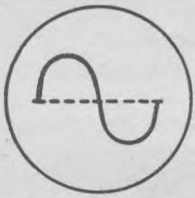


Fig. 29

Fig. 30

Fig. 31

Dans les bons appareils, des dispositifs spéciaux permettent de supprimer la trace de retour et on obtient des images telles que la figure 30.

Généralement on règle la vitesse de déplacement horizontal du spot de façon à faire apparaître sur l'écran plusieurs cycles de la tension à représenter (Fig. 31).

c) *Montage* (Fig. 32).

Le schéma suivant donne une idée du montage.

Le cylindre de Wehnelt est polarisé négativement par rapport à la cathode ; le curseur P_1 permet le réglage de cette polarisation. Un autre curseur P_2 permet de régler la tension fortement positive de la première anode. La haute tension est à la masse et il en est de même de l'écran chargé positivement qui se trouve sensiblement à la tension de l'anode la plus élevée (cette précaution permet d'éviter les perturbations extérieures qui pourraient provoquer des déviations du faisceau et nuire au tracé).

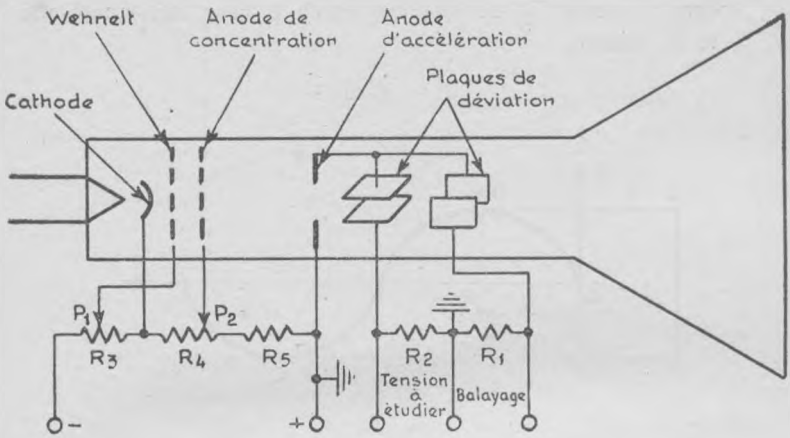


Fig. 32

3.2 - Etude de l'oscilloscope.

a) *Composition.*

L'oscilloscope cathodique comprend :

— un tube à rayon cathodique à déflection électrostatique,

— un système d'alimentation : transformateurs, tubes redresseurs et éléments de filtrage,

— un système de balayage soit linéaire, soit déclenché,

— un amplificateur de déviation verticale,

— un amplificateur de déviation horizontale.

Généralement un dispositif de commutation permet les combinaisons multiples des amplificateurs. On peut ainsi avoir soit un étage d'amplification sur chaque paire de plaques déflectrices, soit les deux étages en série sur une seule plaque soit l'un ou l'autre amplificateur sur une même paire de plaques.

Base de temps.

Soit une tension sinusoïdale appliquée aux plaques horizontales (déviation verticale Y). On verra apparaître sur l'écran une

ligne verticale CD de longueur égale à deux fois l'amplitude de la tension :

$$Y = V_v \sin \omega t.$$

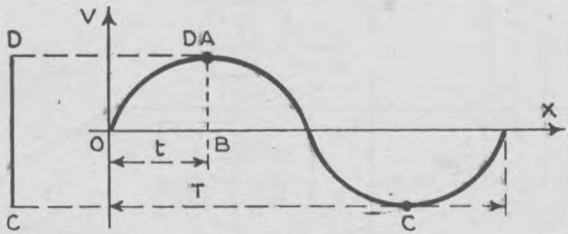


Fig. 33

Appliquons entre les plaques verticales une tension

$$X = V_H = k\,t,$$

k étant une constante. On verra apparaître sur l'écran la figure : $Y = V_v \sin \omega t$ et $X = k\,t$ d'où en éliminant t :

$$Y = V_v \sin \omega \frac{X}{K}$$

Si à la fin de chaque période T de la tension V_v on annule la tension appliquée aux plaques verticales (déviation horizontale) le spot reviendra au point 0. Donc pour avoir une figure lisible il faudra que la tension V_H de déviation horizontale soit de la forme :

$$0 < t < T \qquad V_H = k\,t \qquad\qquad T < t < 2\,T$$
$$t = T \qquad V_H = 0 \qquad\qquad \text{pour } V_H = K\,(t - T)$$

C'est une tension en dents de scie, on l'appelle tension de balayage.

Si on veut obtenir sur l'écran l'image de N sinusoïdes il suffira de prendre pour la tension horizontale la forme

$$0 < t < N\,T \qquad V_H = k\,t$$
$$t = N\,T \qquad V_H = 0$$

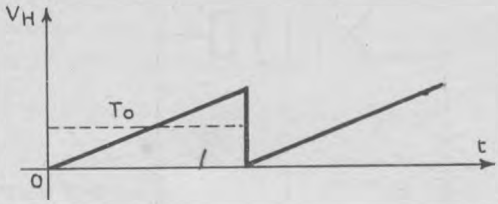


Fig. 34

Autrement dit T_o étant la période des dents de scie, l'écran fera apparaître N sinusoïdes si

$$\frac{T_o}{T} = N.$$

Principe et réalisation des tensions de balayage.

La tension en dents de scie est produite par la charge lente d'un condensateur C suivie de sa décharge rapide, la charge se faisant à courant constant. Le courant constant de charge est le courant plaque d'un tube pentode. Le potentiomètre P_1 ajuste la tension écran et par suite la valeur de ce courant. La tension aux bornes du condensateur est :

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{I_t}{C}$$

et croît donc proportionnellement au temps (Fig. 35).

Au moment où cette tension devient maximum U_{max}, il faut provoquer la décharge brusque du condensateur de façon à annuler cette tension. On utilise pour cela un tube à gaz et à grille de commande ou thytraton (Fig. 36), ce tube est tel que lorsque la tension entre cathode et plaque dépasse une certaine valeur, le tube s'amorce et tout se passe comme si l'intervalle cathode plaque formait court-circuit. La grille de commande

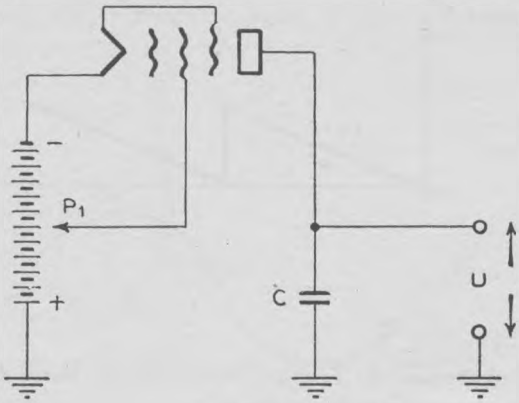


Fig. 35

de ce tube sert à faire varier la tension d'amorçage du tube. La période de la dent de scie est donc

$$T = \frac{CU_{max}}{I}.$$

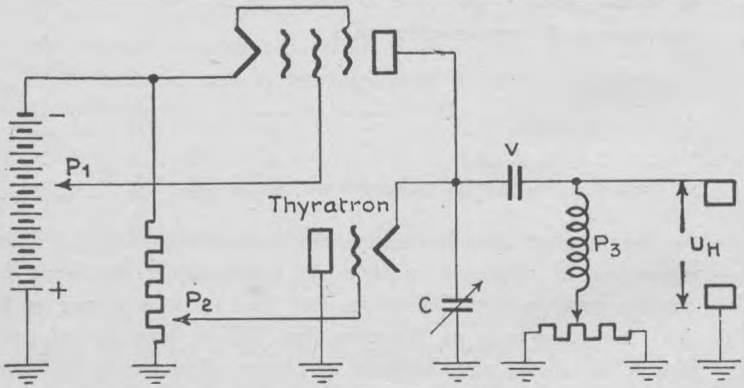


Fig. 36

Un potentiomètre P_2 sert à régler cette tension d'amorçage. Le signal est envoyé par l'intermédiaire du condensateur V aux plaques de déviation horizontale.

Le potentiomètre P_3 sert à cadrer l'image.

Il y a donc trois paramètres permettant de régler la fréquence de balayage :

a) le condensateur C,

b) l'intensité I du courant plaque (potentiomètre P_1),

c) la tension U_{max} d'amorçage (potentiomètre P_2).

Le condensateur C est variable de façon discontinue et permet de découper la bande totale en sous-gammes de fréquences.

Le potentiomètre P_1 sert à couvrir de façon continue l'intérieur de chaque sous-gamme.

La fréquence d'utilisation est limitée par l'emploi du tube à gaz, et peut aller jusqu'à 100 kc/s.

La liaison avec les plaques de déviation horizontale U_H peut se faire à travers un amplificateur à résistances du type déjà examiné précédemment.

Synchronisation.

Le phénomène à examiner ne varie pas souvent d'une façon absolument régulière dans le temps. Il faut synchroniser alors la tension de balayage sur la tension à observer. Pour cela on prélève une fraction S de cette tension pour amorcer le thyratron en fin de période (Fig. 37). La durée du balayage devient donc un multiple de la période de la tension à observer.

Balayage déclenché.

Lorsque le phénomène à observer n'est pas périodique, on utilise un écran à fluorescence persistante et on s'arrange pour enclencher le balayage horizontal au début du phénomène qui apparaît ainsi sur l'écran.

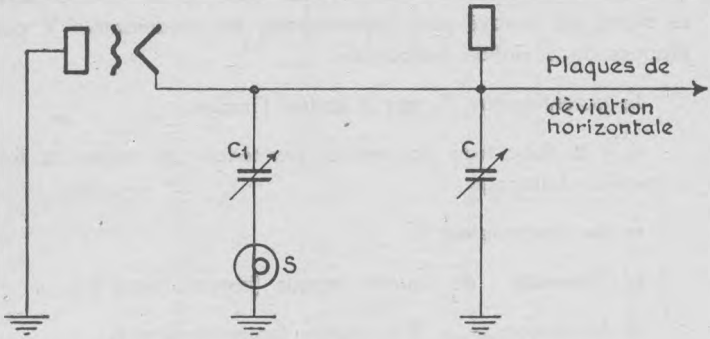


Fig. 37

c) *Rôle des boutons de commande* (Fig. 38).

Réglage du tube.

— Luminosité : potentiomètre agissant sur la tension du Wehnelt.

— Concentration : potentiomètre agissant sur la tension des plaques de concentration.

— Cadrage : 2 potentiomètres agissant sur les tensions appliquées aux plaques de déviation horizontale et verticale et permettant de centrer le spot.

Réglage du balayage.

12 gammes de fréquences : commutateur, permettant à l'oscillateur de couvrir plusieurs gammes de fréquences.

— Vernier : commande permettant à l'oscillateur de couvrir la gamme de fréquences indiquée par le bouton de gamme.

— Amplitude : potentiomètre permettant de régler l'amplitude de la tension de balayage, c'est-à-dire l'amplitude du déplacement horizontal du spot.

— Balayage déclenché ou relaxé : commutateur permettant d'avoir un balayage soit déclenché, soit relaxé (linéaire).

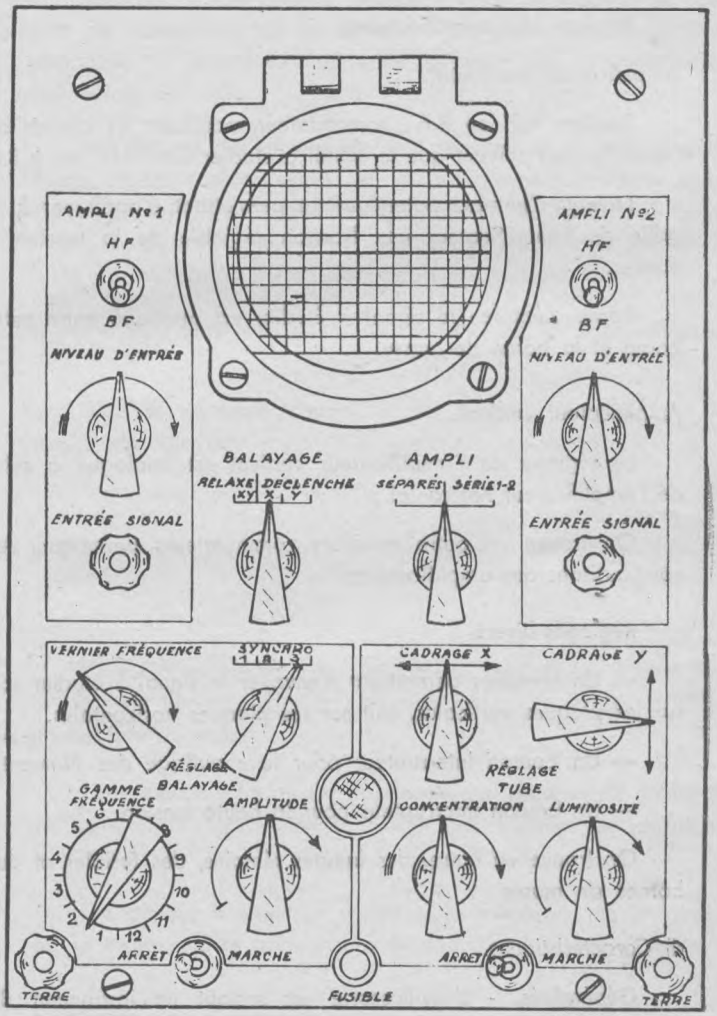

AMPLI N° 1
HF
BF
NIVEAU D'ENTRÉE
ENTRÉE SIGNAL
AMPLI N°2
HF
BF
NIVEAU D'ENTRÉE
ENTRÉE SIGNAL
BALAYAGE
RELAXE
DÉCLENCHE
KY
X
Y
AMPLI
SÉPARÉS
SÉRIE 1-2
VERNIER FRÉQUENCE
SYNCHRO
1
B
3
RÉGLAGE BALAYAGE
GAMME FRÉQUENCE
AMPLITUDE
CADRAGE X
CADRAGE Y
RÉGLAGE TUBE
CONCENTRATION
LUMINOSITÉ
ARRÊT
MARCHE
ARRÊT
MARCHE
TERRE
FUSIBLE
TERRE

Fig. 38

— Synchro : commutateur permettant la synchronisation de la tension de balayage par la tension à étudier.

Réglage des amplificateurs.

Amplificateur horizontal.

Position H.F. ou B.F. : commutateur modifiant les circuits de l'amplificateur suivant que le signal à étudier est à H.F. ou à B.F.

Niveau d'entrée : potentiomètre permettant d'appliquer à la grille de l'amplificateur une fraction réglable de la tension à étudier.

Borne d'entrée : le signal à étudier est appliqué entre cette borne et la borne de masse.

Amplificateur vertical.

Le réglage de l'amplificateur vertical est analogue à celui de l'amplificateur horizontal.

On trouve en outre plusieurs commutateurs permettant les combinaisons des amplificateurs.

Réglages divers.

— Un inverseur permettant d'envoyer le signal à étudier soit sur les plaques verticales, soit sur les plaques horizontales.

— Un bouton interrupteur pour le chauffage des filaments.

— Un bouton interrupteur pour la haute tension.

On trouve en outre, des lampes témoins, des fusibles et des bornes de masse.

d) *Caractéristiques.*

Généralités. - L'oscilloscope est surtout un instrument de contrôle remarquable qui permet de voir fonctionner les circuits étudiés et donne de grandes possibilités d'analyse. On peut cependant l'utiliser en tant qu'appareil de mesure ainsi qu'on le verra plus loin mais la stabilité et la précision de lecture de ses indi-

cations ne permettent généralement pas des mesures absolues très précises.

Sensibilité - On appelle sensibilité d'un oscilloscope le rapport de l'amplitude de la déviation provoquée par la tension appliquée, à l'amplitude de cette tension ; elle se mesure en millimètres par volt.

Elle dépend des dimensions de l'appareil de sa tension anodique, de ses caractéristiques et est pratiquement comprise entre 1 et 0,5 mm/V. Pour obtenir une déviation du spot de 5 centimètres de part et d'autre de la position de repos, avec une sensibilité de 0,5 mm/V, il faut disposer d'une tension de

$$\frac{50}{0,5} = 100 \text{ volts maximums soit } \frac{100}{\sqrt{2}} \# 70 \text{ volts efficaces.}$$

D'où la nécessité d'amplifier les tensions à étudier et la tension de balayage.

3.3 - Utilisations pratiques.

a) *Relevé d'un oscillogramme.*

C'est l'observation d'un phénomène périodique, c'est-à-dire le tracé sur l'écran, de la courbe représentant sa loi de variation en fonction du temps.

La tension à mesurer est appliquée aux plaques de déviation verticale et la tension de balayage aux plaques de déviation horizontale.

On obtient une image stable si la fréquence de balayage est la même que la fréquence à étudier ou en est un multiple.

b) *Mesure des déphasages* (courbes de Lissajous).

On applique sur les plaques de déviation verticale et horizontale deux tensions de même fréquence.

Si la différence de phase est nulle on obtient une droite AB (Fig. 39).

x est l'amplitude de la tension de balayage.

y est l'amplitude de la tension à mesurer.

Si les deux tensions sont en opposition on obtient encore une droite symétrique de la première (Fig. 40).

Si les deux tensions sont en quadrature on a l'ellipse de la figure 41 ou un cercle lorsque x = y.

Si le déphasage est quelconque, on a une ellipse quelconque (Fig. 42).

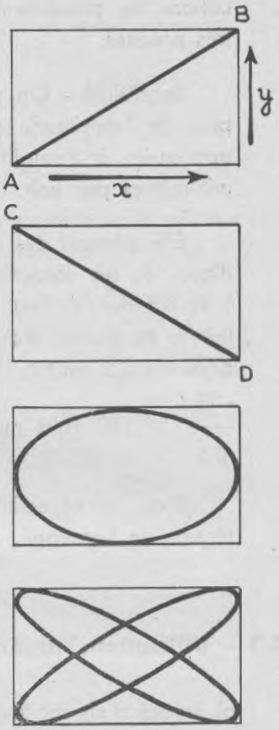


Fig. 39 à 42

c) *Emploi comme voltmètre.*

L'élongation du spot sur l'écran est une fonction croissante, sensiblement linéaire du champ qui existe entre les plaques de déviation, donc de la tension appliquée.

Avec un étalonnage préalable elle peut donc servir à mesurer la tension (Fig. 43).

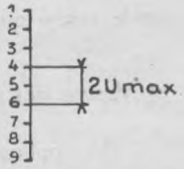


Fig. 43

Mesure d'une tension sans balayage.

On obtient uniquement un déplacement vertical du spot, proportionnel à l'amplitude.

On étalonne par comparaison avec un voltmètre étalon.

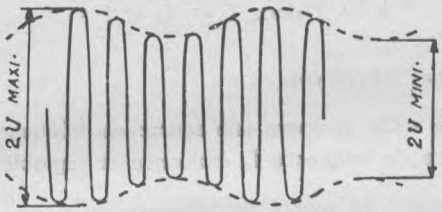


Fig. 44

Mesure d'une tension avec balayage (Fig. 44).

On obtient une représentation en fonction du temps de la tension appliquée à l'entrée et on peut lire la tension de crête. U_{max} et la tension de creux U_{min}.

d) *Mesure de la fréquence de balayage d'un oscilloscope.*

Il faut disposer d'une source de tension alternative de fréquence étalonnée et réglable.

On règle les organes de commande de la base de temps sur la position à étalonner.

On applique la tension étalonnée sur les plaques de déviation et on ajuste sa fréquence de façon à avoir une image stable.

On lit la fréquence du générateur et on compte le nombre de cycles de l'oscillogramme qui apparaît sur l'écran. On en déduit la fréquence du balayage.

Soit T la période du générateur,

T_0 la période de balayage,

k le nombre de cycles vus sur l'écran,

$$\text{on a } \frac{T_o}{T} = k, \text{ soit : } \frac{f}{f_o} = k.$$

En principe on s'arrange pour obtenir sur l'écran un seul cycle et on lit directement la fréquence de la source étalonnée on a alors :

$$k = 1 \text{ donc } T = T_o \text{ et } f = f_o.$$

c) *Mesure des fréquences.*

Principe - On compare une source de fréquence f inconnue à une source de fréquence f_o étalonnée et réglable.

Réalisation - La source de fréquence inconnue est appliquée aux plaques de déviation verticale, l'autre aux plaques de déviation horizontale.

On peut faire varier la fréquence de la source étalonnée jusqu'à ce que l'on obtienne sur l'écran une des figures 45, 46,

Fig. 45	Fig. 46	Fig. 47	Fig. 48	Fig. 49
$\Delta\varphi = 0$	$\Delta\varphi = \pi$	$\Delta\varphi = \frac{\pi}{4}$	$\Delta\varphi = \frac{3\pi}{4}$	$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$

47, 48, 49 qui indiquent que les deux sources déphasées d'un certain angle, ont la même fréquence.

Si les deux fréquences sont multiples l'une de l'autre les figures vont se déformer et le rapport des fréquences $\frac{f}{f_o}$ sera

égal au rapport du nombre des points de contact horizontaux H ; au nombre des points de contact verticaux V de la courbe et du rectangle circonscrit.

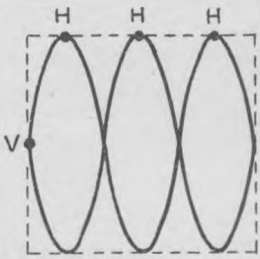


Fig. 50

Dans le cas de la figure 50 on a, en supposant toujours que la tension de fréquence connue f_0 ait été appliquée aux plaques de déviation horizontale,

$$\frac{f}{f_0} = \frac{3}{1} \text{ donc } f = 3\ f_0.$$

La fréquence de la source appliquée aux plaques de déviation verticale est trois fois plus grande que celle de la source appliquée aux plaques de déviation horizontale.

CHAPITRE II

SOURCES DE COURANTS

1 - SOURCES D'ENERGIE.

L'énergie électrique nécessaire dans les mesures est fournie soit par :

1°) les piles.

2°) les accumulateurs.

3°) le secteur alternatif 110 volts/50 c/s.

L'analyse détaillée de ces différents systèmes sort du domaine de ce fascicule. Cependant il est bon de retenir quelques principes qui sont les suivants :

a) La source la moins encombrante et celle dont le prix de revient est le moins élevé, c'est le secteur alternatif.

b) Seul le secteur alternatif est susceptible de fournir des tensions très élevées.

c) Les appareils générateurs de courant sont sensibles à toute variation de tension d'alimentation. Pour des mesures précises il importera par suite d'utiliser des batteries d'accumulateurs dont le débit et la tension restent sensiblement constants.

Les sources de courant utilisées en radioélectricité comprennent les générateurs à basse fréquence et les générateurs à haute fréquence.

2 - GENERATEURS A BASSE FREQUENCE.

Ces appareils sont destinés à produire des courants sinusoïdaux à fréquence musicale.

Ils se présentent en pratique sous deux aspects différents.

2.1 - Oscillateurs à basse fréquence.

Le courant est produit par un dispositif auto-entretenu fonctionnant directement sur la fréquence de travail.

Les générateurs de ce type comprennent généralement un circuit oscillant classique accordé sur une fréquence peu élevée

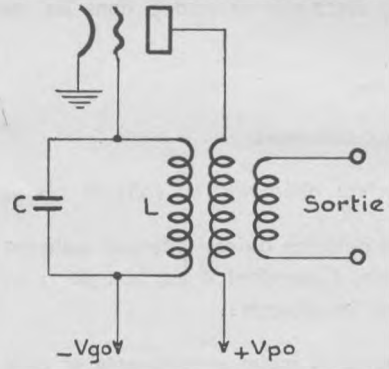


Fig. 51

et par suite comprenant une inductance à fer accouplée à une forte capacité ainsi que l'indique la figure 51.

Ces générateurs produisent une onde sensiblement sinusoïdale. Ils ont cependant l'inconvénient de couvrir difficilement une large bande de fréquence, la fréquence propre de la self L étant très basse. Il faut donc disposer de plusieurs jeux de self L et de capacité C. L'appareil est lourd et encombrant.

Un autre système utilisé actuellement dont le prix de revient

est beaucoup moins élevé et dont le poids est beaucoup plus faible est un système oscillateur qui utilise les propriétés de lignes artificielles constituées au moyen de résistances et de capacités.

On sait qu'un tube entretient des oscillations si on peut prélever une partie de la tension alternative recueillie sur sa plaque, lui faire subir une rotation de phase de l'angle π et la réinjecter ainsi dans la grille (Fig. 52).

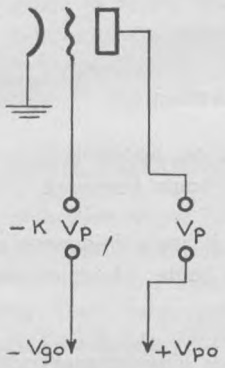


Fig. 52 a

Ce déphasage est produit au moyen d'ensembles à résistance capacité (Fig. 526). La tension plaque recueillie aux bornes de R_p est affaiblie à travers la ligne artificielle ainsi constituée et la

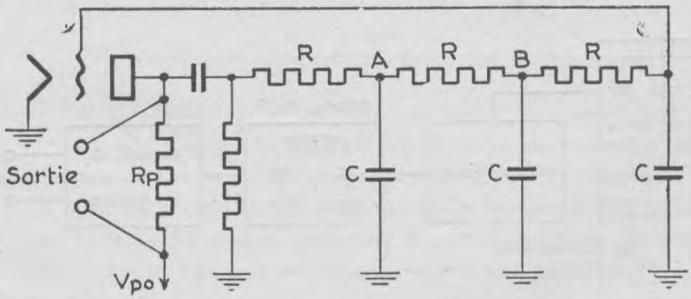


Fig. 52 b

partie ainsi recueillie entre D et la masse peut se trouver déphasée de π par rapport à la tension alternative de plaque, suivant les valeurs données à R et à C. Il suffit alors de réinjecter dans la grille du tube la tension prise entre le point D et la masse.

Il est évident que pour qu'il en soit ainsi il faut que le gain du tube soit égal ou supérieur à l'affaiblissement dû à la ligne artificielle. Si cette condition est remplie de façon à rester dans le voisinage de la limite d'amorçage, l'oscillation obtenue est sensiblement sinusoïdale.

2.2 - Oscillateurs à battement.

On utilise dans ces appareils le battement facile à obtenir entre deux ondes à haute fréquence.

Un générateur à haute fréquence est calé sur la fréquence F_1, et un autre à haute fréquence variable sur la fréquence F_2 (Fig. 53).

Les deux tensions ainsi obtenues sont envoyées dans un système mélangeur à la sortie duquel on isole la tension à la fréquence $F_1 - F_2$ au moyen de filtres haute fréquence. On amplifie ensuite cette tension dans un système amplificateur à résistance réglable de manière à pouvoir faire varier le niveau de sortie.

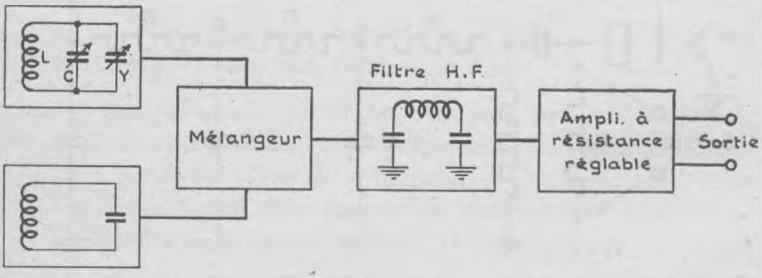


Fig. 53

Cet appareil est délicat à manipuler par suite des dérives inhérentes à tout oscillateur, et un tarage est nécessaire avant d'effectuer une opération quelconque. Il se fait généralement au moyen d'un petit condensateur variable qui permet de réaliser l'égalité F_1 — F_2 pour le zéro de l'échelle. Cette égalité est contrôlée par un indicateur cathodique.

Ces appareils ont l'avantage de couvrir en une seule bande toute la gamme des fréquences acoustiques de 15 à 15 000 c/s. La sortie est réalisée généralement sur plusieurs impédances de façon à adapter au mieux la source avec l'organe d'utilisation. Le niveau de sortie peut atteindre des valeurs élevées, jusqu'à 150 volts environ.

3 - GENERATEURS A HAUTE FREQUENCE.

Les générateurs utilisés en haute fréquence comme sources de courant sont constitués par des oscillateurs à tubes et à onde entretenue d'un type quelconque, réglables et étalonnés en fréquence et en puissance. Leurs caractéristiques et leur puissance dépendent de l'utilisation envisagée.

Dans le cas d'une puissance importante on utilisera des émetteurs pris dans le matériel courant. Pour des mesures de laboratoire, où la puissance demandée est faible on utilise des appareils adaptés à cet usage donnant à la fois une fréquence pure et une tension repérée avec précision. Pour arriver à ce résultat il importe tout d'abord que ce matériel soit soigneusement blindé, sa qualité étant directement liée à l'efficacité du blindage.

Ces générateurs comprennent deux parties principales :

a) Un oscillateur à fréquence étalonnée, réglable dans une gamme très étendue (10 kc/s à 05 Mc/s) et de puissance sensiblement constante suffisamment grande pour être mesurée avec un appareil à aiguille. L'étalonnage de la fréquence peut se faire par l'intermédiaire d'un oscillateur à quartz monté en multivibrateur de façon à avoir une fréquence repère tous les 100 à 200 kc/s.

b) Un affaiblisseur apériodique et étalonné, qui permet d'af-

faiblir le signal dans un rapport connu à partir du signal indiqué sur l'appareil de mesure du générateur.

Cet affaiblisseur doit être très soigné, le signal à la sortie doit pouvoir être de l'ordre du microvolt.

Les générateurs de mesure à haute fréquence fournissent en général une onde entretenue pure ou modulée en amplitude de 400 c/s. La profondeur de modulation est réglable sur les générateurs soignés. Il existe aussi des générateurs modulés en fréquence, la déviation de fréquence est variable.

Pratiquement ces générateurs se présentent sous deux aspects :

a) Les générateurs étalonnés, sont conçus pour des mesures à niveau très faible à l'entrée des récepteurs, on a pris dans leur construction le maximum de précautions pour réaliser des étalons de mesure. La tension de sortie va de 1 volt à 0,1 microvolt.

b) Les générateurs d'atelier établis sur les mêmes principes sont moins soignés et moins précis. L'affaiblisseur devient un organe purement qualitatif permettant de doser le niveau de sortie. Ils sont évidemment plus légers et moins onéreux que les précédents. Ils sont utilisés surtout pour l'alignement des divers circuits des récepteurs.

3.1 - Principe et emploi des affaiblisseurs.

L'affaiblisseur le plus simple est constitué par un potentiomètre de résistance R, sur laquelle la tension V est répartie uniformément, au moyen d'une prise mobile on prélève une tension U qui est appliquée sur la charge R_p tel que le rapport $\frac{U}{V} = s$ constitue le rapport dans lequel la tension V est affaiblie. Le générateur H.F. est généralement constitué comme l'indique la figure 54. Un générateur H.F. de tension E sinusoïdale

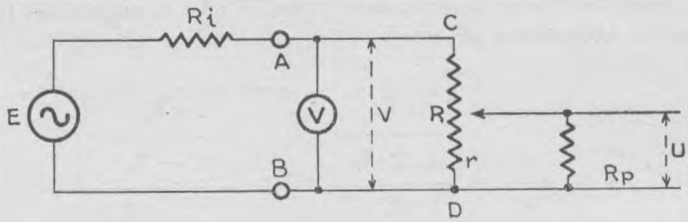


Fig. 54

débite sur sa résistance R_i et sur la résistance équivalente R_u à l'ensemble potentiomètre et charge

$$R_u = R - r + \frac{r\,R_p}{r + R_p}.$$

Si la résistance R_p était infinie on aurait $R_u = R$ et on pourrait écrire :

$$\frac{U}{V} = \frac{r}{R} = s.$$

En prenant V = constante = 1 V par exemple

$$U = \frac{V}{R}\,r = k\,r$$

Il suffirait d'étalonner le cadran du potentiomètre en microvolt ou en décibels par rapport à 1 volt.

C'est d'ailleurs ce qui est réalisé sur les générateurs d'atelier n'offrant aucune précision.

Généralement la résistance R_p n'est pas infinie et est même de l'ordre de grandeur de r.

Dans ces conditions les indications portées sur le cadran du

potentiomètre ne correspondent à rien. En effet le rapport des tensions U et V est alors :

$$s = \frac{U}{V} = \frac{\dfrac{r\,R_p}{r + R_p}}{R_u} = \frac{\dfrac{r\,R_p}{r - R_p}}{R - r\,\dfrac{R_p\,r}{r + R_p}}$$

$$s = \frac{1}{\dfrac{R - r}{r}\left(\dfrac{r}{R_p} + 1\right) + 1}$$

Ce rapport varie avec R_p, on ne peut plus écrire $U = k\,r$. D'autre part la force électromotrice E débite un courant I :

$$I = \frac{E}{R_i + R_u}.$$

La Résistance R_u variera avec les résistances r et R_p. Le générateur ne débite donc pas sur une résistance constante, la précision avec laquelle sa fréquence est déterminée en souffre beaucoup.

En résumé pour avoir un système d'affaiblissement efficace il faudra :

1°) Conserver une charge R_p constante quelle que soit la mesure de façon à pouvoir étalonner en tensions ou en décibels le cadran du potentiomètre.

2°) Faire en sorte que le générateur E débite toujours sur une charge constante.

3.2 - Conservation de la constance de la charge R_p.

Il ressort de l'examen de la formule donnant le rapport s des tensions que la charge R_p intervient sous forme du rapport

$\frac{r}{R_p}$, si l'on prend r très faible devant R_p, le rapport $\frac{r}{R_o}$ sera négligeable devant l'unité et on pourra écrire :

$$s = \frac{1}{\frac{R - r}{r} + 1} = \frac{r}{R}$$

On prendra par suite r et R le plus faible possible, ce qui d'ailleurs constitue une facilité de fabrication, les résistances r et R ne devant pas présenter d'élément réactif.

On prend généralement un potentiomètre de 50 Ω. On utilise alors pour relier le générateur H.F. à la maquette à étudier un câble coaxial de 50 Ω. On réalise ainsi une adaptation à peu près correcte de la charge R_p.

Cette charge R_p est généralement constituée par une antenne fictive dont l'impédance est déterminée dans une certaine gamme de fréquences.

3.3 - Débit constant du générateur.

D'après ce qui précède la charge R_u du générateur H.F. est faible et ce dernier devrait par conséquent avoir un gros débit, ce qui est incompatible avec sa stabilité en fréquence.

On place alors un étage intermédiaire à charge cathodique.

On a ainsi une source de courant à grand débit.

On utilise alors un affaiblisseur à impédance d'entrée constante réalisé dans le schéma ci-dessous.

Le générateur voit alors toujours l'affaiblisseur à travers la somme des résistances $R_1 + R_2 = R$ qui reste constante.

Ce système est généralement suivi d'un affaiblisseur à décades basé sur le même principe.

On fait en sorte que le rapport de transformation soit 1, 1/10, 1/100, 1/1 000, etc...

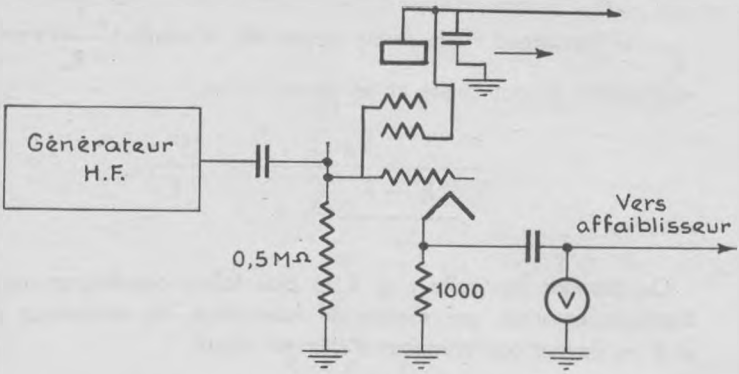


Fig. 55

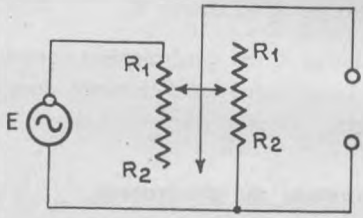


Fig. 56

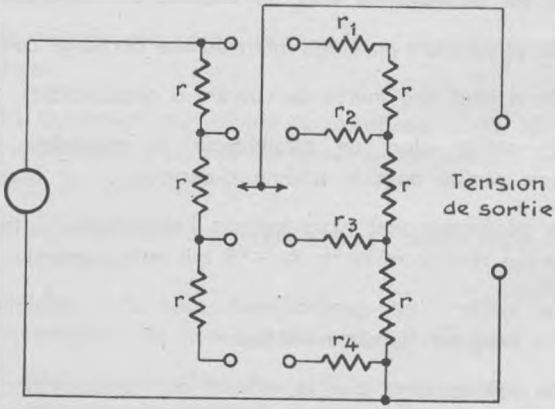


Fig. 57

Le montage suivant est aussi, souvent utilisé :

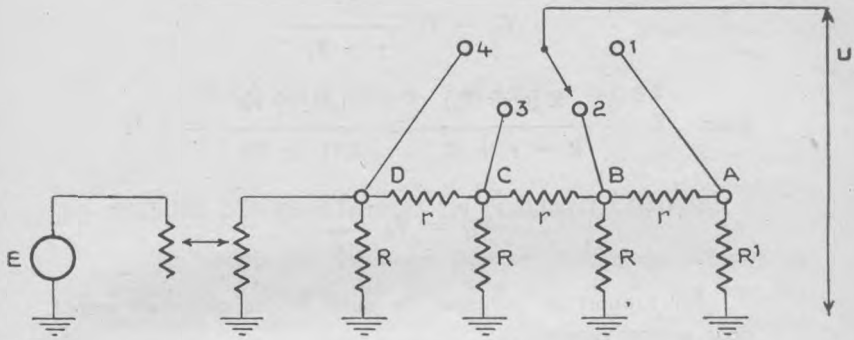


Fig. 57 bis

Par rapport au point B, le point A situé entre B et la masse a un potentiel

$$V_A = V_B \frac{r}{r + R'}.$$

Si on prend pour $R' = 1\ \Omega$ on prendra pour $r = 9\ \Omega$, le rapport est donc égal à $\frac{1}{9 + 1} + \frac{1}{10}$.

Le point B est situé entre C et les résistances R et $(r + R')$ en parallèle. La résistance R est de 1,11 Ω. La résistance équivalente à l'ensemble R et $(r + R')$ est :

$$R_1 = \frac{R\,(r + R')}{r + R + R'} = \frac{1{,}11 \times 10}{10 + 1{,}11} = 1\ \Omega.$$

Le potentiel du point B par rapport à celui de C est :

$$V_B = V_C \frac{R_1}{r + R_1} = V_o \frac{1}{10}.$$

De même le point C pris entre D, la résistance r et les deux résistances en parallèle R et $r + R_1$ est au potentiel :

$$V_C = V_D \frac{R_2}{r + R_2}$$

avec $$R_2 = \frac{R\,(r + R_1)}{R + r + R_1} = \frac{1{,}11 \times 10}{1{,}11 + 10} = 1\ \Omega$$

$$V_C = V_D \frac{1}{10}.$$

Par rapport au potentiel du point D, les potentiels seront donc successivement :

$$V_C = \frac{V_D}{10}$$

$$V_B = V_C \frac{1}{100}$$

$$V_C = V_D \frac{1}{1\,000}$$

CHAPITRE III

MESURE DES IMPEDANCES

1 - MESURE DES RESISTANCES EN COURANT CONTINU.

La mesure des résistances peut se déduire des mesures de tension et d'intensité, ou peut être faite directement par des montages ou appareils spéciaux tels que le pont de Wheatstone ou l'ohmmètre.

1.1 - Méthode de l'ampèremètre et du voltmètre.

Deux montages sont utilisés.

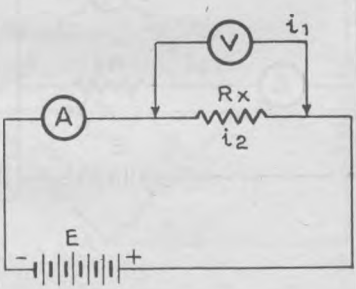


Fig. 58

Montage aval (Fig. 58). On constitue un circuit avec la résistance R_x à mesurer, une source E et un ampèremètre. On place un voltmètre aux bornes de R_x

La valeur de R_x se déduit des deux mesures de U et de i :

$$R_x = \frac{U}{i}$$

U étant la tension aux bornes de la résistance à mesurer et i l'intensité totale parcourant le circuit.

On suppose que i_1 courant traversant le voltmètre est négligeable par rapport à i.

Si on connaît la résistance R_g du voltmètre on peut avoir la valeur exacte de R_x. On peut en effet calculer $i_1 = \frac{U}{R_g}$ et on en déduit :

$$R_x = \frac{U}{i - i_1}.$$

Le montage est utilisé pour la mesure de faibles résistances, car le voltmètre a une résistance intérieure suffisamment grande pour ne dériver qu'une très faible partie du courant.

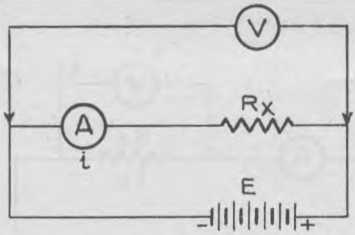


Fig. 59

Montage en amont (Fig. 59). Dans ce montage, le voltmètre n'est plus branché aux bornes de R_x mais aux bornes de la source. On a :

$$R_x = \frac{U}{i}$$

U étant la tension aux bornes de la source et i le courant traversant le circuit.

Mais dans cette mesure on ne tient pas compte de la chute de tension dans l'ampèremètre.

Si on connaît la chute de tension U, aux bornes de l'ampèremètre on a la valeur exacte de R_x, qui est :

$$R_x = \frac{U - U_1}{i}.$$

Le montage amont est utilisé pour la mesure des grandes résistances, car on peut alors négliger la résistance de l'ampèremètre devant la résistance à mesurer.

1.2 - Pont de Wheatstone (Fig. 60).

Il est constitué par la résistance R_x à mesurer et de trois résistances auxiliaires, R_1, R_2, R_3. Dans une des diagonales se trouve

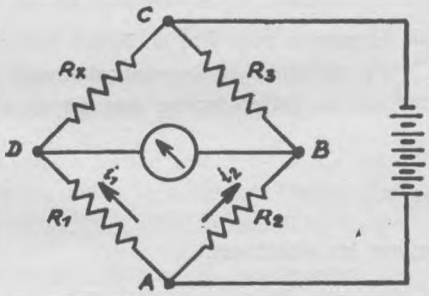


Fig. 60

un galvanomètre. Dans l'autre diagonale la source d'alimentation.

Lorsqu'il ne passe aucun courant dans le galvanomètre D et B sont au même potentiomètre ; on a donc :

$$R_1 \times i_1 = R_2 \times i_2$$

$$R_x \times i_1 = R_3 \times i_2$$

d'où l'on tire :

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \times R_3$$

Il suffit de régler ces 3 résistances pour amener au zéro l'aiguille de l'appareil de mesure et connaissant leurs valeurs, on en déduit la résistance R_x.

Généralement le rapport $\frac{R_1}{R_2}$ varie par bonds (par exemple $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{10}$, 1, 10, 100) et R_3 varie progressivement.

Dans certains cas R_3 est fixe (par exemple, 0,1 - 1 - 10 Ω) et on fait varier progressivement le rapport $\frac{R_1}{R_2}$.

L'appareil de mesure peut être un simple indicateur de zéro. Le pont peut être alimenté en courant alternatif. Dans ce cas on peut remplacer le galvanomètre par un écouteur téléphonique.

1.3 - Ohmmètre (Fig. 61).

But - Mesurer les résistances.

Principe - Une pile débite sur un circuit comportant la résistance à mesurer et un galvanomètre G gradué en ohms.

Réalisation - L'ohmmètre décrit permet de mesurer une résistance de 1 000 Ω. Le courant i_2 traversant l'appareil de mesure est fonction de la résistance placée entre A et B. Quand cette résistance est infinie, le courant i_2 est nul, l'aiguille ne dévie pas. Lorsque la résistance est nulle, le courant i_2 est maximum, l'aiguille doit alors se trouver sur la dernière graduation du cadran qui correspond à la graduation zéro de l'ohmmètre. Le potentiomètre P_1 permet de faire varier i_1 et i_2 de manière à placer l'aiguille au zéro avant chaque mesure. Cette opération

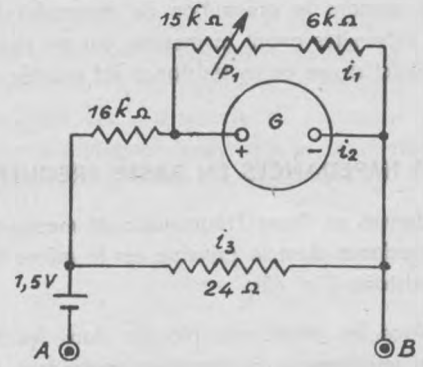


Fig. 61

s'appelle le tarage de l'ohmmètre. Lorsque l'appareil dispose de plusieurs sensibilités (1) le tarage doit s'effectuer avant chaque mesure et chaque passage à une sensibilité nouvelle, le courant étant fonction du débit de la pile et du montage utilisé. L'échelle des ohms est en sens inverse de l'échelle des intensités et l'appareil est étalonné à la construction.

Une résistance de protection de 16 k Ω protège le cadre contre les surintensités au moment du tarage.

Pour que le tarage soit possible sur les différentes positions, on fait varier soit la sensibilité de l'appareil de mesure en faisant varier le shunt, soit plus rarement la tension de la pile.

Utilisation - Remarques importantes :

— lorsqu'on effectue une mesure sur une résistance il ne faut jamais la laisser sous tension, car celle-ci est placée soit en série, soit en opposition avec la pile. Si cette tension est suffisamment grande, le courant i_2 traversant le galvanomètre est très supérieur au courant que peut supporter l'appareil de mesure, ce qui entraîne la détérioration du cadre ;

(1) Par analogie avec ce qui a été vu à propos de l'ampèremètre et du voltmètre, la sensibilité d'un ohmmètre est l'aptitude de celui-ci à mesurer une résistance de valeur déterminée, la plus grande sensibilité de l'appareil correspondant à la position qui permet la mesure de la résistance la plus élevée.

— il faut prendre la précaution de dessouder la résistance à une de ses extrémités avant la mesure, car on risque d'obtenir un résultat inexact si une autre résistance est montée en parallèle.

2 - MESURE DES IMPEDANCES EN BASSE FREQUENCE.

Les impédances en Basse Fréquence sont mesurées au moyen de ponts d'impédance dont le principe est le même que celui du pont de Wheatstone (Fig. 62).

On remplace les résistances placées dans les branches du pont par des impédances quelconques possédant chacune un terme actif (résistance) et un terme réactif (réactance). Le pont est alimenté entre C et D par une force électromotrice *sinusoïdale*.

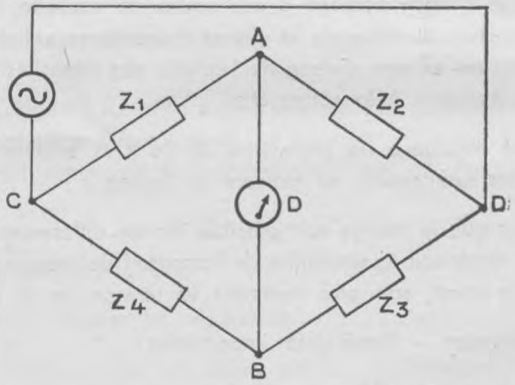


Fig. 62

En jouant sur les valeurs des impédances Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, on peut arriver à annuler la différence de potentiel entre A et B. Pour vérifier que cette différence de potentiel est nulle on utilise généralement, non plus un ampèremètre comme dans le cas du pont de Wheatstone, mais un appareil de mesure de zéro qui peut être soit un simple écouteur téléphonique, soit un appareil à

détecteur. L'écouteur téléphonique ne permet de fonctionner que dans le domaine des fréquences musicales. Sa sensibilité moyenne est de l'ordre de 10 microampères et atteint 1 microampère entre 1 000 et 2 000 c/s. L'avantage de l'écouteur vient du fait que l'oreille peut distinguer facilement le son fondamental et l'isoler des harmoniques gênants.

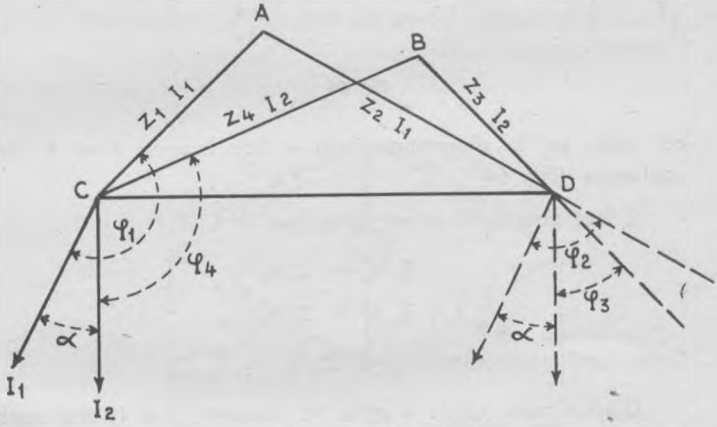


Fig. 63

Conditions d'équilibre.

Figurons sur un diagramme de Fresnel les tensions prises entre C et D. On a : (Fig. 63)

$$\overrightarrow{V_{CA}} + \overrightarrow{V_{AD}} = \overrightarrow{V_{CD}}$$

$$\overrightarrow{V_{CB}} + \overrightarrow{V_{BD}} = \overrightarrow{V_{CD}}$$

Soient les courants I_1 et I_2 dans les deux branches du pont. L'équilibre a lieu lorsque la différence de potentiel entre A et B

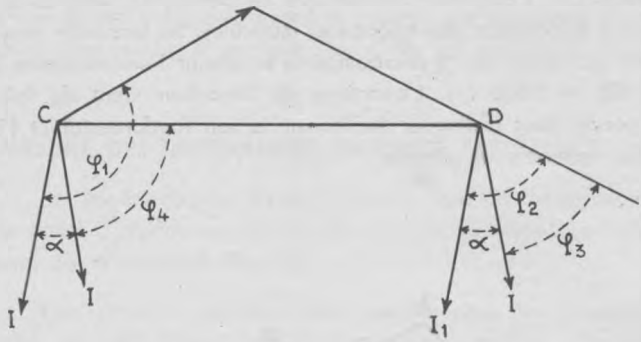


Fig. 64

est nulle, sur le diagramme cela a lieu lorsque A et B sont confondus. (Fig. 64)

Il faut pour qu'il en soit ainsi que :

$$Z_1 \; I_1 = Z_4 \; I_2$$

$$Z_2 \; I_1 = Z_3 \; I_2$$

Cette condition se ramène à (1) $Z_1 \; Z_3 = Z_2 \; Z_4$.

D'autre part l'angle α entre les courants I_1 et I_2 doit rester le même

$$\varphi_4 - \varphi_1 = \varphi_3 - \varphi_2$$

ce que l'on peut écrire :

$$(2) \; \varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_4 - \varphi_3.$$

Précautions de montage :

a) Utiliser des transformateurs à écran dont les écrans seront mis à la masse.

b) Blinder tous les organes constitutifs du pont.

---

1) Les angles φ sont positifs lorsque la tension est en avance sur le courant (impédance inductive) et négatifs dans le cas contraire (impédance capacitive).

Les relations 1) et 2) sont les relations de base permettant d'établir les conditions d'équilibre des ponts en courant alternatif et sinusoïdal.

Pour éliminer au maximum les erreurs il conviendra d'opérer par méthode de substitution en réalisant la mesure en deux temps :

— on réalise l'équilibre avec l'impédance inconnue ;

— on enlève cette impédance et on la remplace par une impédance étalon variable. On réalise à nouveau l'équilibre, la valeur de l'impédance étalon ainsi trouvée est égale à la valeur de l'impédance inconnue.

Mesure des résistances :

Si l'impédance inconnue est une résistance, on utilise un pont

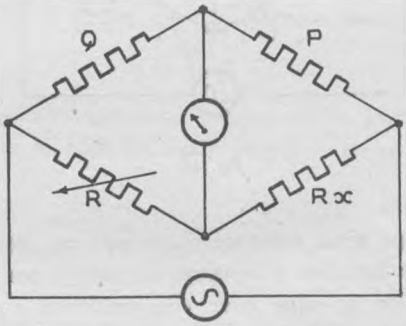


Fig. 65

constitué (Fig. 65) par 4 résistances P, Q, R et R_x, R_x étant la résistance inconnue. Dans ces conditions l'équilibre est réalisé si :

$$Q\ R_x = P\ R$$

$$R_x = \frac{P}{Q} R .$$

Il suffit de rendre R variable pour trouver l'équilibre, si on connaît le rapport $\frac{P}{Q}$ on en déduit facilement R_x.

Mesure des capacités :

On utilise un pont de SAUTY (Fig. 66). Il faut distinguer trois cas :

a) Le condensateur à mesurer est de bonne qualité, il n'a par suite que des pertes négligeables. On utilise alors un pont

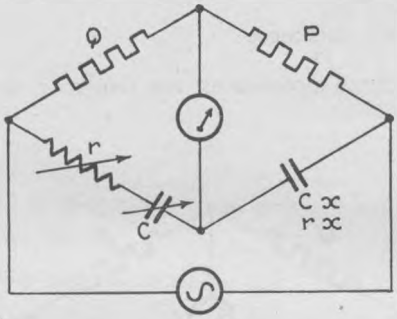


Fig. 66

de Sauty, type série, constitué d'une part par deux résistances P et Q dans les branches supérieures du pont et par une capacité C variable étalon en série avec une résistance r variable étalon dans la 4e branche, la 3e branche étant constituée par la capacité inconnue de valeur C_x et de résistance de pertes série rX.

Les conditions d'équilibre sont toujours :

(1) $$Z_1 \, Z_3 = Z_2 \, Z_4$$

(2) $$\varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_4 - \varphi_3$$

$$Z_1 = Q, \; Z_2 = P, \; Z_3 = \sqrt{r_x^2 + \frac{1}{C_x^2 \, \omega^2}}, \; Z_4 = \sqrt{r^2 + \frac{1}{C^2 \, \omega^2}}$$

$$\varphi_1 = 0, \; \varphi_2 = 0, \; \varphi_4 - \varphi_3 = 0$$

$$t_g \, \varphi_3 = \frac{1}{C_x \, \omega \, r_x} \qquad t_g \, \varphi_4 = \frac{1}{C \, \omega \, r}$$

Les relations (1) et (2) donnent

$$Q \sqrt{r_x^2 + \frac{1}{C_x^2\ \omega^2}} = P \sqrt{r^2 + \frac{1}{C^2\ \omega^2}}$$

$$\frac{1}{C_x\ \omega\ r_x} = \frac{1}{C\ \omega\ r}$$

$$C_x = C\ \frac{Q}{P}$$

$$r_x = r\ \frac{P}{Q}$$

L'angle de pertes du condensateur inconnu est :

$$t_g\ \delta = C_x\ \omega\ r_x .$$

b) Le condensateur à mesurer a de très fortes pertes, on utilise alors le pont de Sauty parallèle, on remplace alors dans

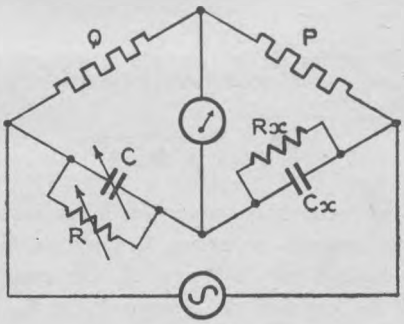


Fig. 67

le pont précédent la capacité C et la résistance r en série par une capacité C et une résistance R en parallèle (Fig. 67).

Les phases et les impédances de Q et P restent les mêmes. Le condensateur C et la résistance R ont pour impédance (voir chapitre premier).

$$Z_4 = \frac{R}{\sqrt{+ C^2 \omega^2 R^2}}, \qquad \operatorname{tg} \varphi_4 = C \omega R$$

De même :

$$Z_3 = \frac{R_x}{\sqrt{1 + C_x^2 \omega^2 R_x^2}}, \qquad \operatorname{tg} \varphi_3 = C_x \omega R_x$$

Les conditions d'équilibre sont dans ces conditions :

$$Q \frac{R_x}{\sqrt{1 + C_x^2 \omega^2 R_x^2}} = P \frac{R}{\sqrt{1 + C^2 \omega^2 R^2}}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_3 = \operatorname{tg} \varphi_4 = C \omega R = C_x \omega R_x$$

$$R_x = \frac{P}{Q} R$$

$$C_x = C \frac{Q}{P}$$

L'angle de pertes de la capacité à mesurer est :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{C \omega R}.$$

c) Pour les mesures de capacités, mises sous tension élevée alternative ou continue on utilise le pont de Schering dont le montage est indiqué sur la figure 68. On peut manœuvrer en toute sécurité les organes de réglage C_1 et R_1, la plus grande partie de la tension de la source étant répartie sur C_2 et C_x.

Les impédances et les phases des quatre branches sont :

$$Z_1 = \frac{R_1}{\sqrt{1 + C_1^2 \omega^2 R_1^2}}, \qquad Z_2 = \frac{1}{C_2 \omega}$$

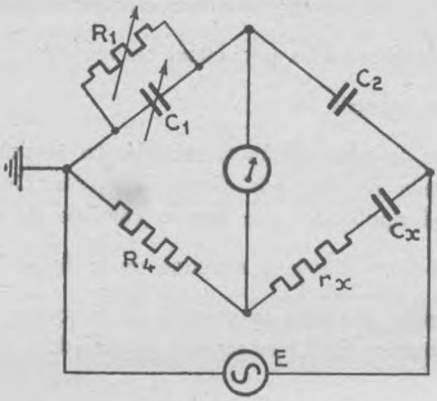


Fig. 68

$$Z_3 = \sqrt{r_x^2 + \frac{C_x^2\,\omega^2}{1}}, \qquad Z_4 = R_4$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = C_1\,\omega\,R_1$$

$$\operatorname{tg} \varphi_3 = \frac{1}{C_x\,\omega\,r_x} \qquad \varphi_4 = 0.$$

Les conditions d'équilibre sont alors :

$$\frac{R_1}{\sqrt{1 + C_1^2\,\omega^2\,R_1^2}} \times \sqrt{r_x^2 + \frac{1}{C_x^2\,\omega^2}} = \frac{R_4}{C_2\,\omega}$$

$$\operatorname{tg}\left(\varphi_1 - \frac{\pi}{2}\right) = -\operatorname{tg} \varphi_3 \text{ ou } = \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_1} = \operatorname{tg} \varphi_3$$

$$C_x\,\omega\,r_x = C_1\,\omega\,R_1$$

$$\left\| \begin{array}{l} r_x = R_4 \dfrac{C_1}{C_2} \\[2ex] C_x = C_2 \dfrac{R_1}{R_4} \end{array} \right.$$

d) *Mesures et essais des condensateurs électrochimiques.*

Des procédés spéciaux permettent ces mesures.

Mesure de la capacité.

On utilise le pont de Sauty modifié. La tension appliquée au condensateur ne doit pas changer de sens. On obtient ce résultat en lui appliquant une tension continue de polarisation.

On peut alors utiliser le montage de la figure 69.

Il faut veiller à choisir la polarité de la source E, de façon que le condensateur C_x à mesurer soit polarisé dans le sens voulu.

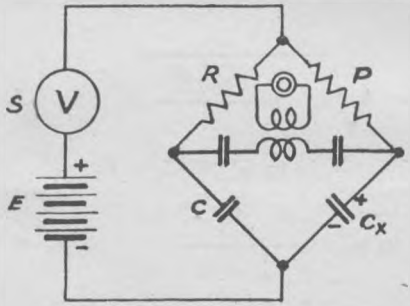


Fig. 69

D'autre part la tension alternative produite aux bornes de C_1 par la source S doit demeurer constamment inférieure à la tension de polarisation sous peine de détériorer le condensateur.

Les conditions d'équilibre sont les mêmes que sur le pont de Sauty ordinaire.

Mesure du courant de fuite.

On commence à appliquer au condensateur chimique une tension relativement faible et de polarité convenable que l'on augmente progressivement. Chaque augmentation de tension pro-

voque une brusque augmentation d'intensité suivie d'une diminution lente, phénomène dû à la charge du condensateur et à la formation d'une pellicule isolante.

Mesure des inductances.

On peut comparer l'inductance à mesurer, soit à une inductance variable étalon, soit à une capacité variable étalon.

e) *Pont d'inductance :*

La tête de pont est constituée par les résistances P et Q, l'inductance et la résistance étalon sont placées dans la 4e branche, l'inductance inconnue dans la troisième (Fig. 70).

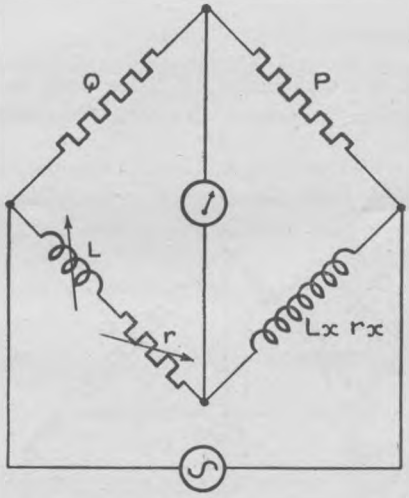


Fig. 70

Les conditions d'équilibre sont :

$$Q \sqrt{L_x^2 \omega^2 + r_x^2} = P \sqrt{L^2 \omega^2 + x^2}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_s = \frac{L_x \omega}{r_x}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_4 = \frac{L\,\omega}{r}$$

$$\frac{L\,\omega}{r} = \frac{L_x\,\omega}{r_x}$$

$$r_x = r\,\frac{P}{Q}$$

$$L_x = L\,\frac{P}{Q}$$

f) *Pont de Maxwell :*

La capacité d'équilibrage est située dans la branche opposée à l'inductance à mesurer. On obtient le montage ci-dessous (Fig. 71).

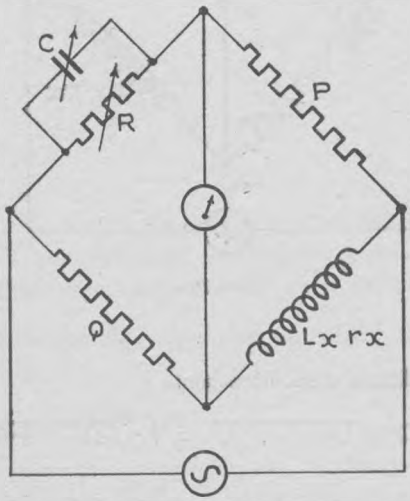


Fig. 71

Les conditions d'équilibre sont :

$$\frac{R}{\sqrt{1 + C^2 \omega^2 R^2}} \sqrt{L_x^2 \omega^2 + r_x^2} = P\,Q$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = - C \omega R \qquad \varphi_2 = 0$$

$$\operatorname{tg} \varphi_3 = \frac{L_x \omega}{r_x} \qquad \varphi_4 = 0$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = - \operatorname{tg} \varphi_3 \qquad \Bigg\| \qquad L_x = PQC$$

$$C \omega R = \frac{L_x \omega}{r_x} \qquad \Bigg\| \qquad r_x = \frac{PQ}{R}$$

3 - MESURE DES IMPEDANCES EN HAUTE FREQUENCE.

3.1 - Généralités.

Une impédance se présente généralement sous la forme d'une résistance, ou d'une inductance, ou d'une capacité. Cette impédance offre au passage du courant, soit une résistance R, soit une réactance de self $L \omega$ ou de capacité $\frac{1}{C \omega}$.

La pulsation ω croît avec la fréquence, on voit par suite que la quantité $L \omega$ augmente et $\frac{1}{C \omega}$ diminue.

Une résistance est constituée comme un ensemble de conducteurs infiniment petits qui présenteront toujours entre eux des effets de self et de capacité. Elle peut donc toujours se ramener à un ensemble complexe figuré ci-dessous. (Fig. 72)

— 1 est la self répartie sur toute la résistance, cet effet étant dû au fait que les filets de courant ne suivent pas un chemin rectiligne.

— C_3 est la capacité répartie due aux différences de potentiel existant à l'intérieur de la résistance.

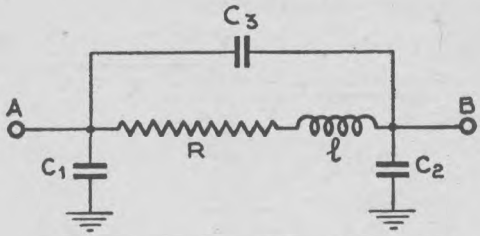


Fig. 72

— C_1 et C_2 figurent les capacités de l'ensemble par rapport à la masse.

— R est la résistance ohmique qui est susceptible de dissiper une puissance par effet Joule. Cette résistance varie d'ailleurs avec la fréquence, les filets de courant ayant tendance à se répartir sur la périphérie au fur et à mesure que la fréquence augmente. Elle augmente par suite avec la fréquence.

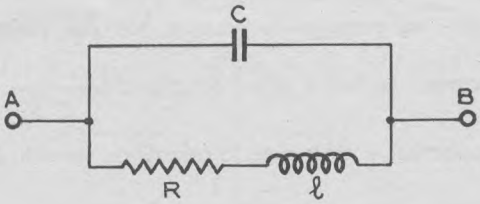


Fig. 73

Les capacités C_1, C_2 et C_3 peuvent se réduire d'ailleurs à une seule capacité C, le schéma équivalent est alors le suivant (Fig. 73).

On obtient un véritable circuit oscillant.

Dire que l'impédance ci-dessus est une résistance c'est dire que la valeur de R est grande, que $L\,\omega$ est faible et $\frac{1}{C\,\omega}$ très

grand vis-à-vis de R. De même l'impédance ci-dessus devient une inductance si la quantité $L\omega$ est beaucoup plus grande que R et beaucoup plus faible que $\frac{1}{C\omega}$.

On conçoit par suite qu'une résistance pure et une inductance pure en haute fréquence sont des éléments introuvables.

Les capacités en haute fréquence au contraire ($\frac{1}{C\omega}$ faible devant $L\omega$ et R) sont faciles à réaliser par suite de l'utilisation d'un diélectrique sensiblement parfait qui n'est autre que l'air ; c'est pourquoi on utilisera toujours des capacités variables comme étalon de mesures et on essayera toujours d'éliminer les autres facteurs résistance et inductance.

3.2 - Méthode de mesure.

On pourrait utiliser la méthode des ponts de mesure utilisée en Basse Fréquence, mais les éléments parasites du fait du grand nombre de connexions réalisées rend cette méthode impraticable.

On lui préfère la méthode dite du circuit oscillant de mesure dont on utilise les propriétés de résonance. Ce circuit oscillant de mesure est couplé à un générateur Haute Fréquence et la tension aux bornes de la capacité est lue par l'intermédiaire d'un voltmètre à lampes. L'ensemble porte le nom de Q mètre (Acuimètre).

Cet appareil permet de mesurer directement :

1) Les coefficients de surtension des circuits.

2) Les valeurs des selfs et capacités apparentes.

En outre grâce à cet appareil on peut déterminer :

1) La fréquence propre d'une bobine.

2) Sa capacité répartie.

3) Sa résistance série.

4) La résistance de fuite d'un condensateur.

5) Son angle de pertes.

6) La constante diélectrique d'un isolant.

7) Les impédances d'antenne et de feeder (constante d'affaiblissement et constante de phase).

3.3 - Principe du Q mètre.

Soit un circuit oscillant LC dans lequel est inséré une résistance r (de 0,01 à 0,04 ohm), aux bornes de laquelle est appliquée une différence de potentiel E Haute Fréquence (Fig. 74).

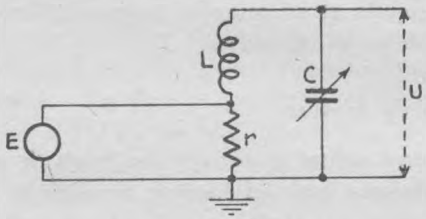


Fig. 74

Soit U la tension H.F. aux bornes de la self L ou de la capacité C. On définit le coefficient de surtension du circuit comme étant le rapport $Q = \frac{U}{E}$.

Si l'on fait en sorte que la différence de potentiel E reste constante, on peut écrire :

$$Q = k\,U.$$

Dans ces conditions rien n'empêche de porter sur le voltmètre à lampes les graduations indiquant la valeur du coefficient de surtension.

On peut d'ailleurs, suivant la valeur de k (c'est-à-dire de la tension E) porter plusieurs sensibilités sur l'appareil de mesure.

Afin d'étendre le domaine des mesures, la force électromotrice E est fournie par un générateur Haute Fréquence à fréquence variable. La capacité C est constituée par deux condensateurs variables étalon montés en parallèles (une barette permet de n'en utiliser qu'un).

Le coefficient de surtension Q se lit sur un voltmètre à lampes. L'inductance L est constituée par une bobine amovible. Il existe un jeu de bobines permettant de réaliser une gamme étendue de mesures.

Le schéma théorique de l'appareil se présente par suite de la façon suivante : (Fig. 75)

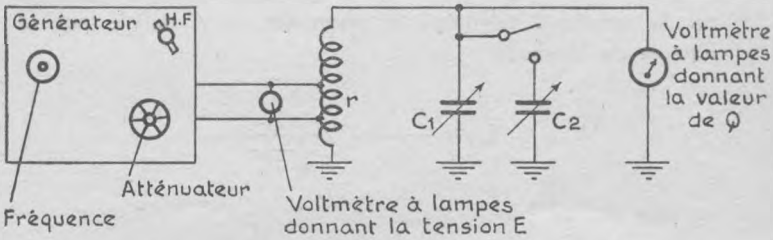


Fig. 75

3.4 - Mesure rapide des capacités.

Supposons que l'on fasse varier soit la capacité C soit la fréquence f. Le voltmètre à lampes donnant le coefficient de surtension indiquera des valeurs de plus en plus grandes au fur et à mesure que l'on se rapprochera de la résonance du circuit LC, la plus grande de ces valeurs correspondra à la résonance du circuit.

L'accord est obtenu pour une certaine valeur C_0 du condensateur C. Introduisons en parallèle sur ce condensateur le condensateur γ (Fig. 76). L'accord n'existe plus. Pour le rétablir il suffira de diminuer la capacité C. Soit C_1 l'accord. On a :

$$\gamma = C_0 - C_1 .$$

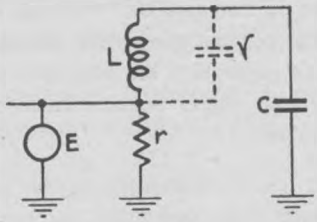


Fig. 76

3.5 - Mesure rapide des inductances.

On utilise le même principe que précédemment, on se base sur la remarque suivante : la résonance étant définie par la formule de Thomson

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

on peut écrire :

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2} \times \frac{1}{C}.$$

Si on se donne comme constante la quantité $\frac{1}{4\pi^2 f^2} = k'$

$$L = K' \times \frac{1}{C}.$$

On peut graduer par suite la capacité C en Henrys.

La capactié C porte par suite une graduation en picofarad et une deuxième graduation en microhenry. Comme la capacité est elle-même divisible en deux on trouve deux graduations indiquant les valeurs de la self.

La valeur du coefficient k' ne dépend que de la fréquence f.

C'est pourquoi sur le cadran des fréquences du générateur H.F. se trouve portée dans chaque gamme l'inscription :

$$L \times 10^n .$$

Il suffira de placer le cadran du générateur H.F. sur cette graduation. On cherche ensuite l'accord du circuit LC avec la capacité C ou 2 C.

A l'accord, obtenu pour un maximum de lecture sur le voltmètre à lampes, il suffit de lire la valeur de l'inductance L sur le cadran des capacités ou de multiplier par le coefficient 10^n pour avoir la valeur de la self en microhenry.

3.6 - Mesures particulières.

1) *Etude d'une bobine.*

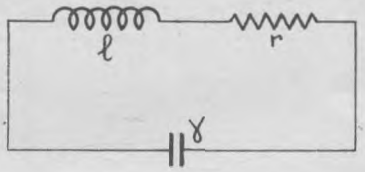


Fig. 77

L'impédance Z d'une bobine se schématise de la façon suivante :

l = inductance vraie

r = résistance propre

γ = capacité répartie.

$$Q = \frac{L\,\omega}{r} = \text{coefficient de surtension vrai ou interne.}$$

D'après la méthode de mesure rapide on ne mesure pas la self l mais, une impédance complexe comprenant l, γ et r dans laquelle l'élément self est prépondérant.

On mesure alors la self apparente L, un coefficient de surtension apparant Q et une résistance répartie R.

On a $$Q = \frac{L\,\omega}{R}.$$

On remarque d'autre part que le schéma ci-dessus représente un véritable circuit oscillant qui a une fréquence f_0 de résonance. C'est la fréquence propre de la self.

L'étude de la bobine se raménera par suite à déterminer les valeurs de :

$$l,\ r,\ Q,\ \gamma,\ L,\ Q,\ R,\ f_0.$$

La connaissance de la capacité γ permet de déterminer directement l et q et r à partir des valeurs L et Q trouvées grâce à la méthode de mesure rapide des inductances. En effet pour la même fréquence la condition de résonance peut s'écrire

$$l\,(\gamma + C)\,\omega_0^2 = L\,C\,\omega_0^2.$$

$$l = L\,\frac{1}{1 + \frac{\gamma}{C}}.$$

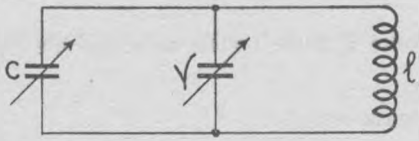


Fig. 78

On aura de même :

$$q = Q\,\frac{1}{1 + \frac{\gamma}{C}}$$

$$r = R \frac{1}{(1 + \frac{\gamma}{C})^2}.$$

a) *Mesure de la fréquence propre f_o :*

Il suffit pour cela de brancher en parallèle sur la bobine à étudier une bobine étalon L_1 (Fig. 79).

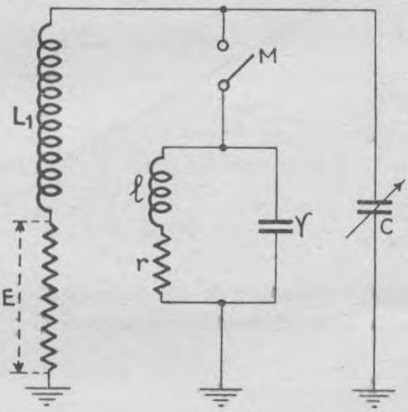


Fig. 79

Supposons que la tension d'injection E soit à la fréquence f_o de résonance de la self $l\ \gamma\ r$, l'ensemble $l\gamma r$ se présente alors comme un circuit oscillant à l'accord, c'est-à-dire comme une résistance pure

$$R_{AR} = \frac{l^2\ \omega^2}{r}.$$

Si l'accord est réalisé sur la fréquence f_o au moyen de la capacité C et de la self L_1 l'introduction de la self L ne doit pas faire varier l'accord puisque l'on n'introduit aucun terme réactif dans le circuit.

La fréquence f_0 propre de la self L sera celle pour laquelle il n'y aura pas à retrancher la capacité C pour réaliser l'accord.

Cette méthode est assez délicate, on opère par approximations successives. On construit la courbe $\Delta C = g(f)$ point par point, ΔC étant l'écart de capacité nécessaire au rétablissement de l'accord, lorsque l'on fait varier la fréquence f.

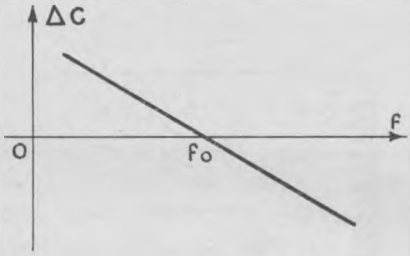


Fig. 80

La courbe représentatrice est sensiblement une droite aux alentours de $\Delta C = 0$ c'est-à-dire pour f_0 (Fig. 80).

b) *Mesure de la capacité répartie :*

La relation de base de l'accord du circuit est :

$$l\,(C + \gamma)\,\omega^2 = 1\,.$$

Cette relation peut s'écrire :

$$C + \gamma = \frac{1}{l\,\omega^2} = \frac{1}{l}\,\frac{\lambda^2}{4\,\pi^2\,C^2}$$

étant la longueur d'onde correspondant à la fréquence f.

On a par suite :

$$C = K\,\lambda^2$$

On peut tracer la droite

$$\lambda^2 = f\,(C) \text{ (Fig. 81).}$$

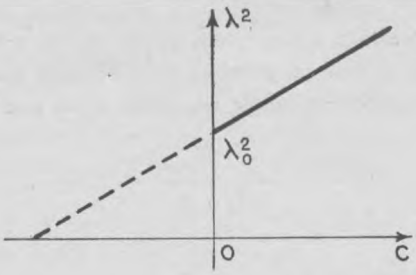


Fig. 81

Cette droite coupe l'axe des λ^2 au point $C = 0$

$$\lambda^2 = \frac{1}{K\gamma}$$

qui correspond d'après la valeur donnée à K à $\omega_0{}^2$

$$\omega_0{}^2 = \frac{1}{l\gamma}$$

c'est-à-dire à la fréquence propre de la bobine f_0 (on vérifie ainsi la valeur trouvée précédemment).

Cette droite coupe l'axe des capacités au point tel que $C = -\gamma$. On détermine ainsi la capacité répartie de la bobine.

c) *Calcul des autres paramètres.*

$$l = L \frac{1}{1 + \frac{\gamma}{C}}$$

$$q = Q \frac{1}{1 + \frac{\gamma}{C}}$$

$$r = R \frac{1}{(1 + \frac{\gamma}{C})^2}$$

4 - ETUDE D'UN CONDENSATEUR.

Une capacité a toujours des pertes qui se schématisent par une résistance R mise en parallèle ou r en série avec la capacité (Fig. 82). On définit un angle de pertes δ tel que

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{1}{C \omega R} = C \omega r .$$

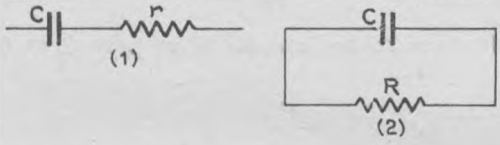


Fig. 82

On distingue deux cas suivant que la capacité est plus faible que 750 pF. ou plus grande.

4.1 - Cas des capacités inférieures à 750 pF (de forte impédance)

Au moyen d'un commutateur on introduit la capacité C_x en parallèle sur la capacité de mesure C. On place une bobine étalon.

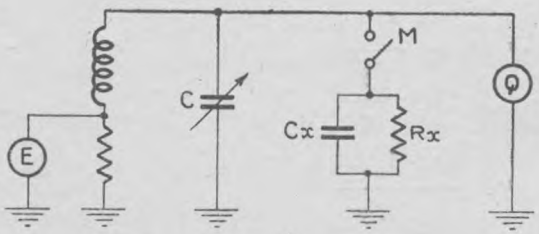


Fig. 83 a

A l'accord le commutateur M étant ouvert on lit C_1 et Q_1 ; on ferme le commutateur M on lit alors pour l'accord C_2 et Q_2.

On a successivement :

$$L\, C_1\, \omega^2 = 1$$

$$L\, (C_2 + C_x)\, \omega^2 = 1$$

$$Q_1 = \frac{L\,\omega}{R}$$

$$\frac{1}{Q_2} = \frac{R}{L\,\omega} + \frac{L\,\omega}{R_x} = \frac{1}{Q_1} + \frac{L\,\omega}{R_x}$$

On tire de ces deux groupes d'égalités

$$C_x = C_1 - C_2$$

$$R_x = L\,\omega \frac{1}{\dfrac{1}{Q_2} - \dfrac{1}{Q_1}} = \frac{1}{C_1\,\omega} \frac{Q_1\ Q_2}{Q_1 - Q_2}.$$

$$\text{tg}\ \delta = \frac{1}{R_x\, C_x\, \omega} = \frac{C_1}{C_1 - C_2} \left(\frac{Q_2 - Q_1}{Q_1\ Q_2}\right)$$

4.2 - Cas des capacités de valeur supérieure à 750 pF (de faible impédance).

Dans ce cas on place la capacité en série dans le circuit oscillant (Fig. 83 b). On préfère utiliser la représentation série :

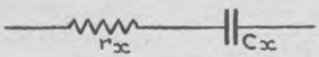


Fig. 83 b

On utilise comme précédemment un commutateur M qui place ou court-circuite la capacité à mesurer dans le circuit oscillant (Fig. 83 c).

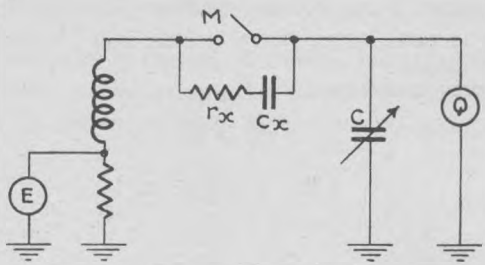


Fig. 83 c

Commutateur M fermé on lit C et Q_1, commutateur M ouvert on lit C_2 et Q_2.

On a dans les deux cas :

$$L\ C_1\ \omega^2 = 1$$

$$L\ \frac{(C_2 \quad C_x)}{C_2 + C_x}\ \omega^2 = 1$$

$$Q_1 = \frac{L\ \omega}{R} = \frac{1}{C_1\ \omega\ R}$$

$$Q_2 = \frac{L\ \omega}{R - r_x} = \frac{1}{C_2\ \omega\ (R + r_x)}$$

On tire de ces égalités :

$$C_x = \frac{C_1 \quad C_2}{C_2 - C_1}$$

$$r_x = \frac{1}{\omega}\ \left(\frac{Q_1\ C_1 - Q_2\ C_2}{Q_1\ Q_2 \quad C_1\ C_2}\right)$$

$$\text{tg}\ \delta = r_x\ C_x\ \omega = \frac{1}{C_2 - C_1}\ \left(\frac{Q_1\ C_1 - Q_2\ C_2}{Q_1\ Q_2}\right)$$

$$\text{tg}\ \delta = \frac{\dfrac{C_1}{Q_2} - \dfrac{C_2}{Q_1}}{C_2 - C_1}$$

4.3 - Etude d'un diélectrique.

Si on prend deux plateaux de surface S situés à la distance e (Fig. 84), la capacité de l'ensemble est :

$$C = \frac{E_o\ S}{11{,}3\ e}$$

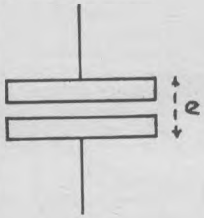


Fig. 84

C en ucgs

S en cm^2

e en cm

E_o = constante diélectrique du vide = 1 (unités cgs)

Si on introduit un diélectrique entre les bornes du condensateur on obtient une nouvelle capacité.

$$C' = \frac{E\ S}{11{,}3\ e}.$$

E étant la constante diélectrique du milieu considéré.

On place le condensateur en parallèle sur le circuit oscillant de mesure (Fig. 85).

Au moyen d'une clé M on fait l'accord dans les trois cas suivants :

Accords réalisés pour : M ouvert C_1 Q_1

M fermé, le diélectrique placé entre les plateaux C_2 Q_2

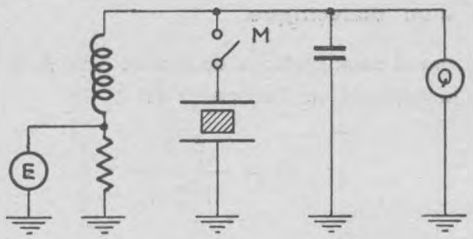


Fig. 85

M fermé, le diélectrique enlevé C_3 Q_3.

Dans les 3 cas on a les groupes d'égalités :

$$L\ C_1\ \omega^2 = 1$$

$$L\ (C_2 + C')\ \omega^2 = 1$$

$$L\ (C_3 + C)\ \omega^2 = 1$$

d'où l'on tire :

$$C' = C + C_3 - C_2$$

$$\frac{E\ S}{11{,}3\ e} = \frac{S}{11{,}3\ e} + C_3 - C_2$$

$$E = 1 + \frac{11{,}3\ e}{S}\ (C_3 - C_2).$$

5 - CONTROLEUR UNIVERSEL (planche n° 72).

5.1 - But.

Les mesures les plus courantes étant des mesures de tensions et d'intensité, on a réuni dans un appareil de faible encombrement un galvanomètre et les divers circuits permettant son fonctionnement en ampèremètre ou voltmètre par le jeu de commutateurs. Cet appareil qui prend le nom de contrôleur universel, peut éventuellement par l'adjonction d'autres organes, fonctionner en ohmmètre ou capacimètre.

Planche n° 72 — *Dépannage Radio*

5.2 - Principe (Fig. 86).

C'est un galvanomètre à cadre mobile qui peut être alimenté à travers un pont de cellules redresseuses permettant les mesures aussi bien en courant alternatif qu'en courant continu. Des shunts et des résistances de valeurs différentes mis en service par un commutateur permettent de l'utiliser en ampèremètre et voltmètre

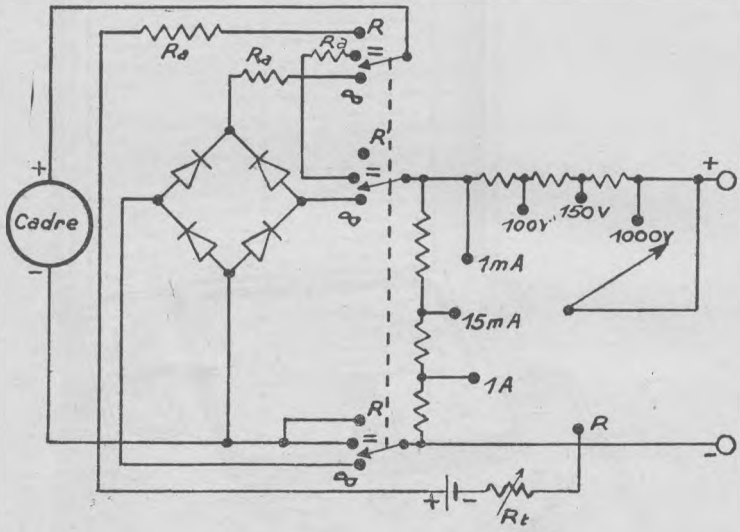


Fig. 86

à plusieurs sensibilités ; l'adjonction d'une pile débitant dans le cadre à travers une résistance à mesurer et un rhéostat de tarage rendent son utilisation possible en ohmmètre. Alimenté en courant alternatif, il permet parfois de mesurer la réactance d'un condensateur (non électro-chimique).

Le cadran porte en alternatif et en continu les graduations en volts et en ampères. Les graduations en ohms sont en général inversées par rapport aux graduations en ampères.

5.3 - Caractéristiques.

Par construction un contrôleur universel est toujours un bon voltmètre (grande résistance en général supérieure à 1000 Ω/V) (1).

Mais, de ce fait, il constitue un ampèremètre médiocre à résistance élevée, à n'employer qu'avec précaution ; en particulier il n'est pas utilisable pour la mesure du courant de chauffage des filaments alimentés sous 6 volts (il donnerait des intensités erronées).

Les mesures faites avec cet appareil sont précises en courant continu ou en courant alternatif à fréquence industrielle (20 à 500 c/s) mais pour les fréquences supérieures on n'obtient que des ordres de grandeur.

5.4 - Utilisation.

En dehors des mesures et pour le transport, éviter un grand balancement de l'aiguille du cadran, en laissant l'appareil sur la position de mesure des plus grandes intensités : le shunt étant très faible dans cette position amortira les oscillations de l'aiguille qui provoquent un courant induit ; en effet, supposons que l'on écarte le cadre de sa position d'équilibre ; il va être le siège de courants induits dont le sens sera tel que les forces électromagnétiques développées vont s'opposer au déplacement : la résistance du circuit étant rendue minimum par l'utilisation du shunt le moins résistant, l'intensité et, par conséquent, la force électromagnétique résultante, seront maximums : cette force s'opposera donc de façon plus intense aux oscillations du cadre.

Eviter d'user la pile intérieure, en ne laissant jamais l'appareil sur la position ohmmètre où un contact accidentel peut rendre la pile inutilisable.

Pendant les mesures, après avoir placé le commutateur sur

---

(1) 1 000 ohms par volt est un minimum qui se révélera insuffisant pour beaucoup de mesures. Il est à remarquer que les renseignements numériques fournis dans les notices concernant les matériels radios en service actuellement dans l'Armée sont en général le résultat des mesures effectuées avec des voltmètres n'ayant pas une résistance supérieure à 1 000 ohms par volt.

la position convenable suivant que l'on veut mesurer une tension ou une intensité, vérifier que le commutateur est bien sur la position « continu » pour les mesures en courant continu et sur la position « alternatif » pour les mesures en courant alternatif.

Eviter de faire traverser l'appareil par un courant trop intense pouvant le détériorer en commençant les mesures dont on ignore l'ordre de grandeur sur la position permettant de mesurer la tension où l'intensité la plus grande. On change de sensibilité jusqu'à ce que l'on ait un déplacement suffisant de l'aiguille, en débranchant avant de modifier la position du commutateur de sensibilité.

Ne pas oublier de tarer l'appareil (ramener l'aiguille au zéro) au moyen du bouton de commande avant chaque mesure de résistance en raison de l'usure progressive de la pile.

Si l'appareil fonctionne en capacimètre, il faut aussi tarer avant chaque mesure.

CHAPITRE IV

MESURES SUR LES TUBES A VIDE

1 - GENERALITES.

Les mesures sur les tubes à vide consistent à déterminer leurs caractéristiques, pente, résistance interne et coefficient d'amplification, soit à vérifier globalement si ces tubes sont conformes aux normes fixées par le constructeur. La vérification brutale des tubes à vide se fait au moyen d'appareils appelés lampemètres, pour les tubes de faible puissance ne dépassant pas 30 watts. Pour les tubes d'émission en particulier il convient par suite d'exposer les méthodes qui permettent de faire des essais déterminant les caractéristiques détaillées de ces tubes.

1.1 - Mesure et vérification des tubes de faible puissance (lampemètre).

— Vérification du bon isolement des électrodes.

— Débit des tubes à vide ou à gaz.

— Pente d'un tube amplificateur.

— Degré du vide, qui se traduit par la présence de gaz en plus ou moins grande quantité.

— Vérification du fonctionnement des tubes à œil cathodique.

— Vérification du débit des tubes diodes.

1.2 - Réalisations.

Les mesures ci-dessus ne peuvent s'effectuer que par l'intermédiaire d'une alimentation stable. C'est pourquoi ces appareils

destinés à utiliser le courant du secteur comprennent une alimentation dont la tension continue de sortie peut être ajustée à tous les instants.

1.3 - Isolement des électrodes.

En général, les électrodes d'un tube ne doivent pas être en contact l'une avec l'autre.

Pour vérifier leur isolement on place l'intervalle inter-électrodes en série dans un circuit alimenté par le secondaire d'un transformateur et comprenant une résistance R de grande valeur (50 000 à 10 000 ohms).

Cette différence de potentiel amorce le tube au néon qui s'illumine. La tension appliquée aux bornes du secondaire est de l'ordre de 150 à 250 volts.

1.4 - Vérification du débit d'un tube et mesure de la pente.

La pente d'un tube est donnée par la formule :

$$p = \frac{\Delta I_p}{\Delta V_g} \text{ pour une tension } V_p \text{ donnée.}$$

La mesure de la pente se ramenant à la mesure de ΔI_p on aura ainsi vérifié par la même occasion le débit du tube.

Pour mesurer la pente d'un tube, on s'est efforcé, dans un but de simplification des connexions, de ramener toutes les mesures des pentes des différentes lampes à une mesure unique. Pour cela, on s'appuie sur le fait que pour une même variation de tension grille ΔV_g, commune à tous les tubes, la mesure de la pente revient à celle du courant plaque I_p, puisque dans ces conditions la pente et le courant plaque sont proportionnels :

$$p = k \Delta I_p .$$

Il suffira donc, dans un milliampèremètre à courant continu, de mesurer la différence ΔI_p entre le courant plaque maximum I_M correspondant à la tension grille maximum et le courant plaque minimum I... correspondant à la tension grille minimum. Il

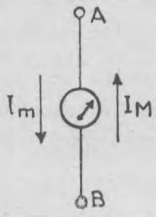


Fig. 87

faut remarquer d'ailleurs que seule la composante alternative du courant plaque présente de l'intérêt dans la mesure.

Il faut donc trouver une solution permettant de mesurer $I_M - I_m$. Cela s'obtiendra en faisant circuler dans le même appareil de mesure le courant I_M dans un sens et le courant I_m dans l'autre sens.

On mesurera ainsi sur l'appareil la quantité :

$$I_M - I_m = \Delta I_p .$$

1.5 - Réalisation pratique.

Au moyen d'un double commutateur (I) et (II) on voit que sur la position (a) le potentiel de grille est $- V_{go} + V_g$ et le courant plaque a la valeur I_M et le sens indiqué par la flèche (Fig. 88).. Sur la position (b) le potentiel de grille est $- V_{go} - V_g$

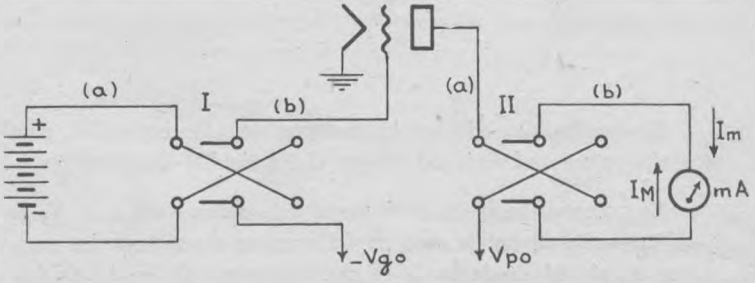


Fig. 88

et le courant plaque a la valeur I_m et est de sens contraire avec I_M.

Si l'inertie de l'appareil de mesure est suffisante et si la commutation est réalisée très rapidement et se produit très souvent dans le temps, le milliampèremètre indiquera directement la valeur

$$I_M - I_m = \Delta I_p .$$

La commutation est réalisée pratiquement par une double diode à la fréquence du secteur suivant le schéma de principe ci-dessus (Fig. 89) :

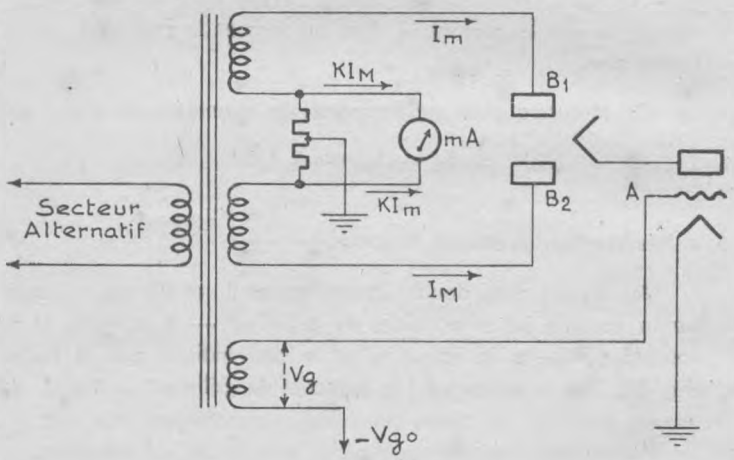


Fig. 89

La tension d'anode est fournie par deux enroulements d'un transformateur redressés au moyen d'une double diode.

Le potentiel de grille en A prend les valeurs $- V_{go} + V_g$ et $- V_{go} - V_g$ suivant le sens de l'alternance du secteur. Le montage est réalisé de façon à ce que la plaque B_2 de la double diode soit positive et B_1 négative lorsque la tension grille, est

$- V_{go} + V_g$. De même, lorsque la tension grille est $- V_{go} - V_g$, B_2 est négatif et B_1 positif. Les plaques B_1 et B_2 ne pourront laisser passer le courant que si elles sont positives, le milliampèremètre sera traversé par un courant proportionnel soit à I_M, soit à I_m et de sens contraire. Comme son inertie est grande à la fréquence du secteur, il indiquera bien le courant résultant :

$$\Delta I_p = I_M - I_m .$$

ΔV_g restant le même pour tous les tubes, le milliampèremètre peut être gradué directement en *millisièmens*.

1.6 - Vérification du vide.

Si le vide n'est pas parfait dans un tube soumis à un fonctionnement statique normal indiqué par le constructeur, il existera un courant grille qu'il suffira de déceler au moyen du microampèremètre. Généralement, cet appareil étant très délicat, on mesure au moyen d'un voltmètre électronique la tension provoquée par ce courant grille aux bornes d'une résistance étalonnée.

1.7 - Vérification des tubes à œil cathodique.

On applique les tensions prévues et on fait varier la tension de la grille de commande de l'œil cathodique. On voit ainsi si l'ouverture et la fermeture des secteurs lumineux est correcte.

1.8 - Vérification du débit des diodes.

On mesure le courant débité par la diode à essayer dans une résistance correspondant à la charge que l'on utilise normalement pour chaque type de tube.

1.9 - Mesures et vérification des tubes de puissance supérieure à 30 watts.

La vérification d'un tube de puissance peut se faire facilement sur l'émetteur dont il fait partie de façon grossière en vérifiant que la puissance de sortie de l'émetteur est bien la même que celle qui est prescrite dans la notice.

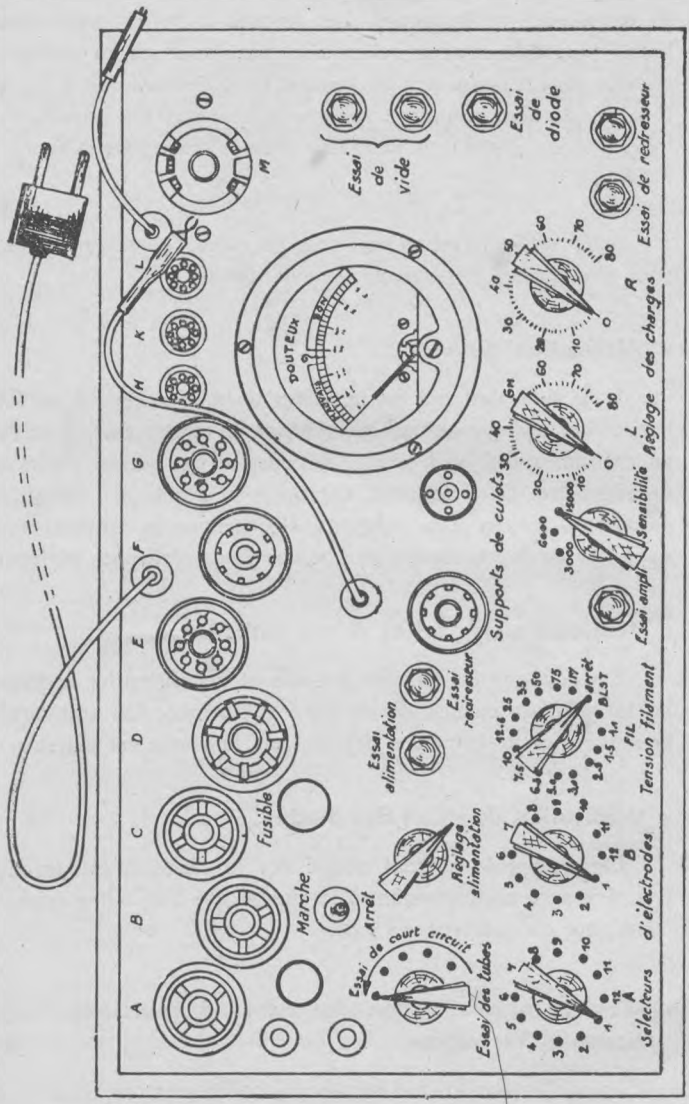


Fig. 90 — *Platine de lampemètre*

Cependant dans certains cas particuliers, il convient de rechercher un rendement de ces tubes le plus élevé possible. Dans ces conditions on doit soit relever les caractéristiques statiques de ces tubes, soit déterminer pour des tensions d'alimentation données les valeurs de leurs pente, résistance interne et coefficient d'amplification.

1.10 - Relevé des caractéristiques statiques ($i_p = f(v_p)$, $i_p = f(v_g)$, $v_p = f(v_g)$.

Le relevé des caractéristiques statiques des tubes triodes ne présente qu'une seule difficulté c'est de pouvoir disposer d'une source de courant continu à tension variable et susceptible de débiter un courant allant jusqu'à 1 ampère pour les tubes de puissance des émetteurs. On réalise généralement de tels générateurs de courants au moyen d'autotransformateurs à prises multiples ou alternostats. On redresse ensuite la tension au moyen de tubes à gaz.

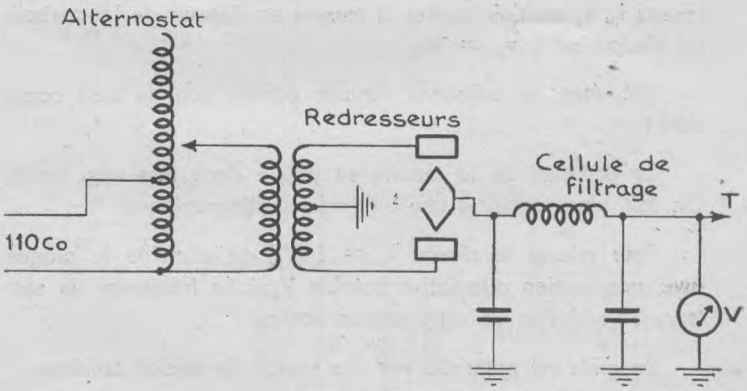


Fig. 91

On fait varier la tension redressée en jouant sur le rapport de transformation de l'alternostat. Un appareil de mesure donne la valeur de la tension continue.

La tension grille est fournie par un dispositif à tension variable à faible débit du même type que le précédent.

Cependant ces dispositifs ne peuvent être utilisés que dans le domaine où les tubes n'ont pas à dissiper une puissance supé-

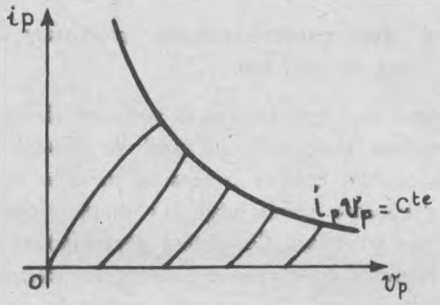


Fig. 92

rieure à celle fixée par le constructeur. En particulier dans le réseau i_p, v_p on doit arrêter la mesure en dessous de l'hyperbole de dissipation $i_p\ v_p = W_d$.

(W_d étant la puissance dissipée admise pour le tube considéré.)

Le domaine de la mesure se trouve donc être trop limité. On fait alors appel à une méthode oscillographique.

Pour relever le réseau $i_p = f\ (V_p)$ on alimente la plaque avec une tension alternative notable V_p à la fréquence du secteur, à l'exclusion de cette tension continue.

La grille est polarisée par une source de tension continue.

La tension V_p est appliquée directement par l'intermédiaire, soit de l'amplificateur de l'oscilloscope pour les faibles tensions plaques, soit d'un affaiblisseur pour les grandes tensions, sur les plaques de déviation horizontales d'un oscilloscope.

Une résistance sur le retour de cathode est le siège d'une tension V proportionnelle au courant de plaque i_p $V = \rho\ i_p$.

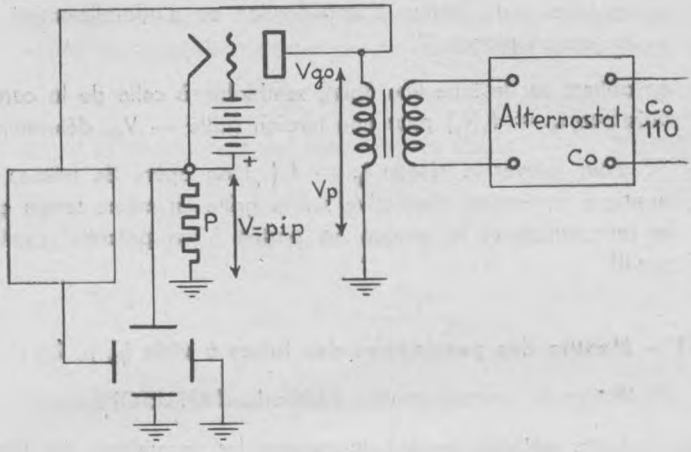


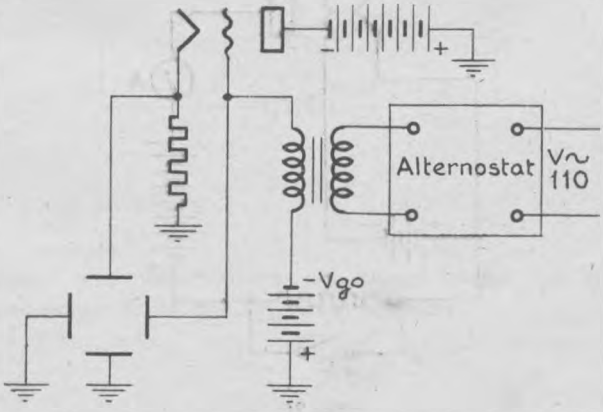
Fig. 93

Cette tension est appliquée sur les plaques de déviations verticale de l'oscilloscope.

Si l'on connaît parfaitement

a) la valeur de ρ,

b) les sensibilités du tube oscilloscope,



c) les valeurs du facteur d'amplification ou d'affaiblissement de la tension plaque V_p,

on obtient sur le tube une figure semblable à celle de la caractéristique $i_p = f(v_p)$ pour une tension grille — V_{go} déterminée.

Pour relever le réseau $i_p = f(v_g)$ on opère de même, on applique la tension alternative sur la grille en même temps que la polarisation et la plaque est portée à un potentiel continu positif.

1.11 - Mesure des paramètres des tubes à vide (μ, p, R_i).

1°) *Mesure en courant continu* (Méthode d'APPLETON).

Cette méthode permet de mesurer les paramètres des tubes à vide avec une précision suffisante lorsqu'on se limite aux régions où ces paramètres sont des constantes, c'est-à-dire aux zones où les caractéristiques statiques sont des droites.

a) *Mesure de la résistance interne.*

Le montage utilisé est celui de la figure 94, les tensions V_p et V_g sont amenées à une valeur convenable pour que le point

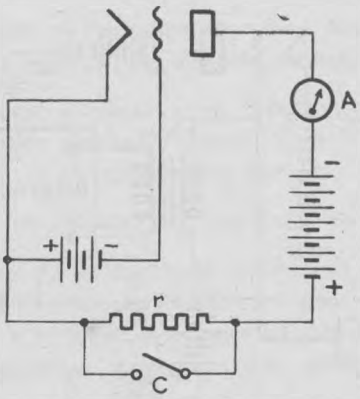


Fig. 94

de fonctionnement soit situé dans la zone des caractéristiques rectilignes. L'équation de la caractéristique peut alors s'écrire

$$R_i \; I_1 = V_p + \mu \; V_g - V_o$$

quand la résistance r est mise dans le circuit

$$(r + R_i) \; I_2 = V_p + \mu \; V_g - V_o$$

d'où

$$R_i \; I_1 = (r + R_i) \; I_2$$

$$R_i = r \frac{I_2}{I_1 - I_2}.$$

b) *Mesure du coefficient d'amplification.*

On utilise le montage indiqué à la figure 95. On compare les variations de tension grille et de tension plaque qui pro-

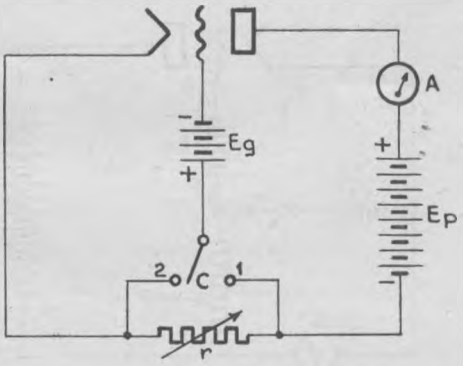


Fig. 95

voquent une même variation de courant plaque. On place le commutateur C en position 1. On a alors :

$$V_{p1} = E_p - r_1 \; I_p$$

$$V_{g1} = E_g - r_1 \; I_p$$

On place le commutateur C en position 2, on règle la résistance r pour ramener le courant plaque à sa valeur primitive :

$$V_{p2} = E_p - r_2 I_p$$

$$V_{g2} = E_g$$

d'où . $$\mu = \frac{r_2 - r_1}{r_1}$$

lorsque μ est grand, on peut écrire :

$$\mu = \frac{r_2}{r_1}.$$

a) *Mesure de la pente.*

On utilise le montage de la figure 96.

Soit G la résistance du galvanomètre.

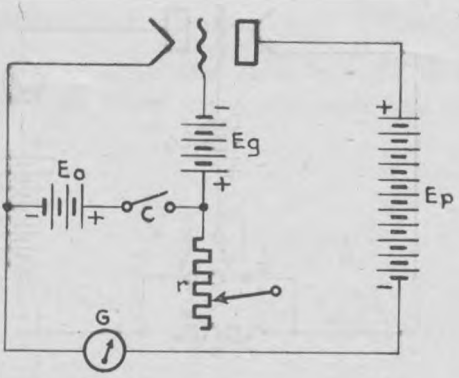


Fig. 96

Lorsque le commutateur C est ouvert, les tensions sont les suivantes :

$$V_{p1} = E_p - G I_p$$

$$V_{g1} = E_g - G I_p$$

On repère la valeur de I_p dans le galvanomètre G.

On ferme le commutateur G et on règle la résistance r jusqu'à ce que G marque la valeur du courant I_p précédent.

Dans ces conditions :

$$V_{g2} = E_g + E_o$$

avec $$E_o = r \Delta I_p - G I_p$$

d'où : $$\Delta V_g = r \Delta I_p$$

et $$p = \frac{\Delta I_p}{\Delta V_g} = \frac{1}{r}.$$

On remplace la mesure directe de ce courant par la mesure du courant plaque en utilisant le montage de la figure 97.

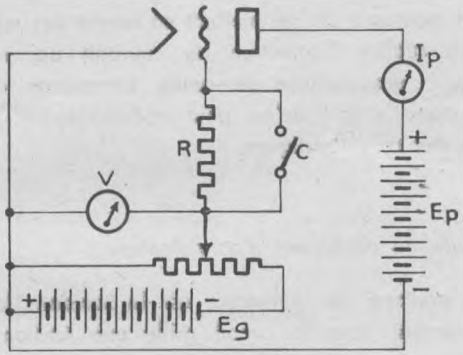


Fig. 97

Le commutateur C étant fermé, E_p et E_g étant à leurs valeurs normales, on lit V_g sur le voltmètre et I_p sur le milliampèremètre le courant inverse de grille n'intervient pas.

On ouvre le commutateur C, comme R est de l'ordre de 1 Mégohm le courant inverse de grille rend la grille moins négative d'où un accroissement du courant plaque. On le ramène à sa valeur primitive par réglage de la tension V_g à la valeur V_{g2}.

L'accroissement de la tension négative compense alors la tension qui apparaît aux bornes de la résistance R, ce qui s'écrit :

$$V_{g2} - V_{g1} = R\, I_g$$

équation déterminant I_g

$$I_g = \frac{+ V_{g2} - V_{g1}}{R}.$$

Cette mesure inclut dans la valeur I_g tous les divers courants de fuite, mais la discrimination de ces derniers est toujours longue et délicate.

2 - MESURES EN COURANT ALTERNATIF (Méthode de Miller).

Les montages utilisés mettent en œuvre des méthodes de zéro (où l'on réalise l'extinction du courant) qui apparentent ces mesures à des mesures de ponts. L'avantage de ces mesures réside dans le fait qu'on peut opérer jusque dans la région coudée des caractéristiques.

a) *Mesure du coefficient d'amplification.*

Le principe de la mesure est le suivant : lorsqu'on injecte simultanément dans le circuit grille une tension alternative E_g et dans le circuit plaque une tension alternative $E_p = E_g$ (c'est-à-dire en opposition de phase), il n'y a pas de variation du courant plaque. Cette propriété résulte de l'équation du tube

$$R_i\, i_p = V_p + \mu\, V_g - V_o.$$

Considérons le montage de la figure 98 où nous négligerons pour le moment l'inductance variable M. La source alternative S ne débite pratiquement que dans les résistances R_1 et R_2 sur lesquelles sont en parallèle la résistance d'entrée et la résistance interne de la lampe. A condition que le courant du tube soit faible devant le courant débité par la source, nous pourrons

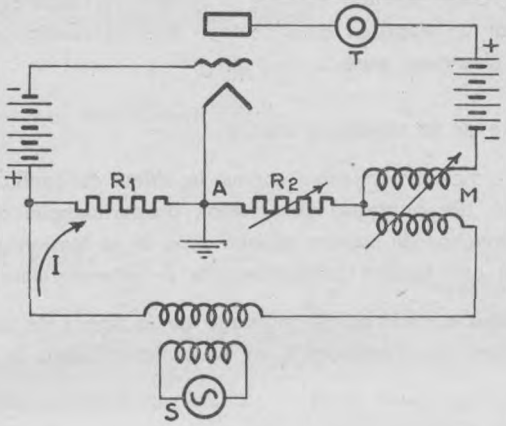


Fig. 98

admettre que la tension alternative de grille E_g comptée par rapport au point A est :

$$E_g = + R_1 I$$

La tension alternative de plaque est par contre

$$E_p = R_2 I$$

Pour qu'il y ait compensation il faut que :

$$E_p = \mu E_g$$

D'où

$$R_2 I = \mu R_1 I$$

$$\mu = \frac{R_2}{R_1}.$$

Pour éliminer l'influence du courant plaque, on prend des résistances R faibles de l'ordre de 10 ohms. Néanmoins, il faut tenir compte des déphasages introduits soit par l'écouteur téléphonique, soit par les capacités interélectrodes qui empêchent d'obtenir un zéro complet. La petite inductance mutuelle M permet de compenser ce déphasage.

Une autre solution consiste à remplacer l'écouteur téléphonique par un appareil amplificateur dont la résistance d'entrée est une résistance pure.

b) *Mesure de la résistance interne.*

Cette mesure supposera connue la valeur du coefficient d'amplification. On opposera une tension proportionnelle au courant plaque (fonction du courant plaque donc de la tension grille alternative) à une tension proportionnelle à cette dernière.

Si nous considérons le montage de la figure 99 la source S débite dans les résistances R_1 et R_2, la lampe dans la résistance

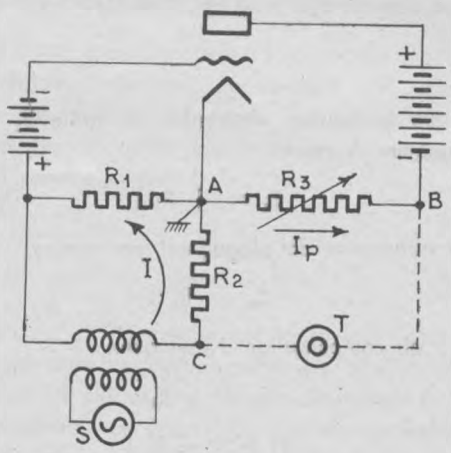


Fig. 99

R_3. Nous pouvons écrire :

$$E_g = - R_1 I$$

$$I_p = \frac{M E_g}{R_3 + R_i} = \frac{\mu R_1}{R_3 + R_i} I.$$

Les points B et C sont au même potentiel et il y a silence complet dans le téléphone lorsque :

$$+ R_2 I = - R_3 I_p$$

relation qui peut encore s'écrire :

$$R_2 = R_3 \frac{\mu R_1}{R_3 + R_1}$$

et qui définit :

$$R_1 = (\mu \frac{R_1}{R_2} - 1).$$

Pratiquement, on fait : $R_2 = R_1$ et on a : $R_1 = R_3 (\mu - 1)$.

En pratique, on combine la mesure de μ et celle de R_1 en prenant R_2 variable. On intercale en C l'inductance mutuelle visée au paragraphe précédent et en B un interrupteur sur la branche AB.

c) *Mesure de la pente.*

Dès que μ et R_1 sont connus, on peut calculer p, il suffit d'écrire :

$$\mu = p R_1$$

$$\text{ou} \quad p = \frac{\mu}{R_1}.$$

On peut aussi déduire la valeur de la pente de la mesure précédente (Fig. 99). Appelons p_a la pente apparente, la valeur déterminée par :

$$I_p = \frac{\mu}{R_3 + R_1} E_g = p_a E_g.$$

La condition d'extinction du son prend la forme :

$$p_a = \frac{R_2}{R_1 R_3}.$$

On mesure ainsi directement la pente apparente ; on peut en déduire la valeur de la pente :

— dans le cas où R_i est très grand (pentode) :

$$p_a = \frac{\mu}{R_3 + R_i} \cong \frac{\mu}{R_i} = p$$

— dans le cas d'un tube à faible résistance interne :

$$p_a = \frac{\mu}{R_i} \frac{1}{1 + \frac{R_3}{R_i}} = p \frac{1}{1 + \frac{R_3}{R_i}}$$

connaissant p_a et R_i, cette relation nous permet de calculer la valeur de p :

$$p = \frac{R_2}{R_1 R_3} (1 + \frac{R_3}{R_i}).$$

2.1 - Mesure directe de la pente.

On peut opérer directement la mesure de la pente p à condition d'utiliser dans le circuit de plaque un milliampèremètre électrodynamique (électrodynamomètre) ou plus simplement un milliampèremètre alternatif alimenté à travers un transformateur pour ne mesurer que le courant alternatif de plaque.

Il est cependant nécessaire dans ce dernier cas de bien définir les conditions de l'expérience pour faire la distinction entre pente et pente apparente comme ci-dessus.

2.2 - Mesure au pont de la résistance interne.

Il est possible de mesurer la résistance interne au pont de mesures, l'équilibre du montage étant réalisé au moyen :

— d'une résistance variable R déterminant la valeur de R_i par :

$$R_i = R \frac{P}{Q}$$

— d'un condensateur variable en parallèle sur R et équilibrant les capacités avec la masse (électrodes et sources de tension). Pour obtenir un zéro acceptable, on est conduit à court-circuiter le pont pour les courants HF au moyen d'une capacité.

2.3 - Mesure des paramètres dans le cas d'une pentode.

La méthode de Miller est applicable, et comme la résistance interne est très grande, la mesure nous donne directement la pente en court-circuit :

$$p = \frac{R_2}{R_1 \; R_3}.$$

La méthode de Miller est par contre inutilisable :

— pour la mesure du coefficient d'amplification $\mu = \frac{R_2}{R_1}$ l'obligation de limiter les valeurs de R_2 et par conséquent de R_1 enlèvent toute précision à la mesure.

— pour la mesure de la résistance interne puisqu'il faut connaître avec précision le coefficient d'amplification.

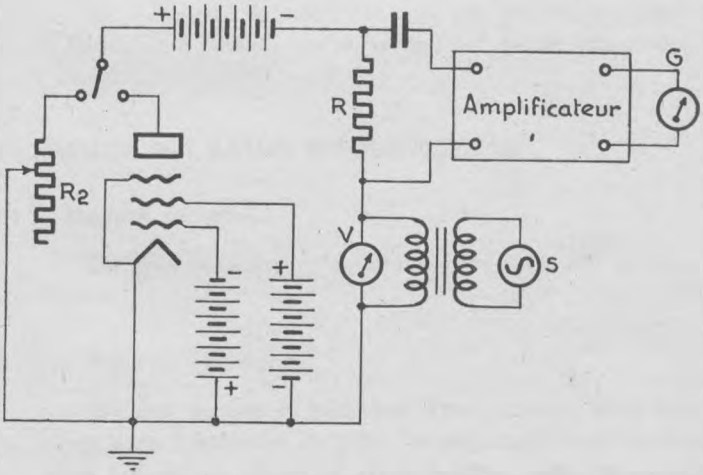


Fig. 100

On est ainsi amené à mesurer R_i par une méthode de substitution et d'en déduire μ au moyen de la relation

$$\mu = p\ R_i .$$

On utilise le montage de la figure 100.

La source alternative débite dans un circuit comprenant la résistance R, et suivant la position de l'inverseur, la résistance R_2 ou la résistance R_1.

En opérant à niveau alternatif V constant et en réglant R_2 de façon que la déviation de l'appareil de mesure soit maintenue constante quelle que soit la position de l'inverseur, on a mesuré :

$$R_1 = R_2 .$$

La mesure donne une précision suffisante pour les besoins courants.

CHAPITRE V

MESURE DES FREQUENCES

1 - GENERALITES.

La mesure des fréquences est la seule mesure qui en radioélectricité permet d'arriver à une très grande précision.

Les fréquences radioélectriques se subdivisent en trois blocs principaux :

a) Les Basses Fréquences : 1 c/s à 20 000 c/s.

b) Les Hautes Fréquences : 20 kc/s à 100 Mc/s.

c) Les très Hautes Fréquences supérieures à 100 Mc/s.

Les techniques de mesure ne sont pas les mêmes suivant que la fréquence à mesurer fait partie de l'une de ces trois catégories.

2 - MESURE DES BASSES FREQUENCES.

2.1 - Mesure au pont.

On peut utiliser soit le pont à résonance, soit le pont de Wien.

2.1.1 - Pont de résonance.

On veut mesurer la fréquence d'une source S. Pour cela, on place dans 3 branches du pont des résistances P, Q et R, dans la 4e branche on place un circuit oscillant série de caractéris-

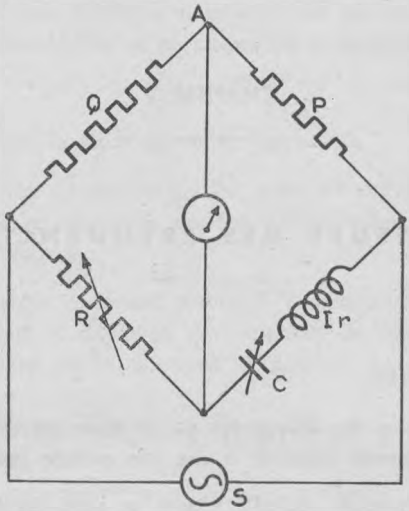


Fig. 101

tiques L et C. Lorsque ce circuit entre en résonance, il est équivalent à la résistance r.

Et on a :

$$L\,C\,\omega^2 = 1$$

d'où

$$f = \frac{1}{2\,\pi\,\sqrt{L\,C}}.$$

2.1.2 - Pont de Wien.

Ce pont ne comprend que des résistances et des capacités étalonnées. La tête de pont est constituée par les résistances P et Q, les 2 autres branches comprennent, l'une une capacité et une résistance en série (R_4, C_4), l'autre une capacité et une résistance en parallèle (R_3, C_3).

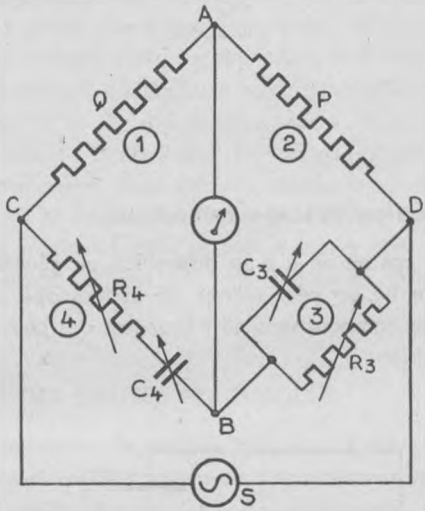


Fig. 102

Les conditions d'équilibre sont :

$$(1) \qquad Q \frac{R_3}{\sqrt{1 + C_3^2 R_3^2 \omega^2}} = P \sqrt{R_4^2 + \frac{1}{C_4^2 \omega^2}}$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = 0 \qquad \text{tg } \varphi_3 = \text{tg } \varphi_4$$

$$(2) \qquad \frac{1}{C_3 \omega R_3} = C_4 \omega R_4$$

La relation (2) définit la fréquence f de la source S :

$$f = \frac{1}{2 \pi \sqrt{C_4 C_3 R_3 R_4}}$$

Pratiquement, on prend :

$$R_4 = R_3 = R$$

$$C_4 = C_3 = C$$

D'où :

$$\frac{Q}{P} = 2$$

$$f = \frac{1}{2 \pi R C}.$$

2.2 - Mesure à l'oscilloscope cathodique.

Dans le cas où on a à sa disposition un générateur étalonné de fréquence f_o, on peut utiliser un oscilloscope cathodique en effectuant des comparaisons de fréquences qui peuvent être d'une grande précision.

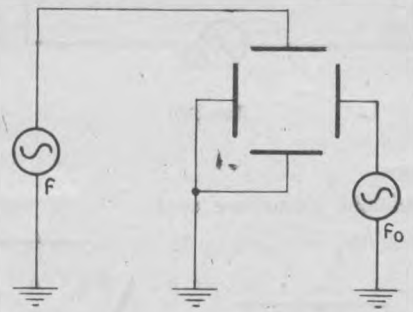


Fig. 103

Suivant que la fréquence de la source et la fréquence inconnue sont voisines ou non, on utilise les montages décrits dans le paragraphe relatif à l'oscilloscope du chapitre I. Si l'image obtenue est absolument stable, la fréquence inconnue est déterminée à 1 cycle près. C'est donc une méthode d'une précision qui ne dépend par suite que de la fréquence étalon.

2.2.1 - Fréquencemètre à résonance.

Si l'utilisation des circuits oscillants dans le domaine des fréquences radioélectriques permet une grande souplesse dans la

mesure des fréquences de résonance, il n'en est pas de même dans le domaine des basses fréquences, où les valeurs des coefficients de surtension des circuits utilisés sont trop faibles : la réalisation de circuits oscillants à accord variable nécessite l'emploi de bobinages et de condensateurs trop volumineux. C'est pourquoi on préfère utiliser des résonateurs mécaniques excités par des électroaimants dans lesquels circule le courant de fréquence inconnue. Si la fréquence propre de la lame vibrante est la même que cette fréquence, elle se met à vibrer fortement. Ce système est d'un usage courant pour les fréquences industrielles.

3 - MESURE DES HAUTES FREQUENCES.

Les appareils de mesure utilisés sont les ondemètres ou les fréquencemètres. Le « cœur » de ces appareils est un circuit oscillant de construction soignée, à condensateur variable : la fréquence propre de ce circuit oscillant dépend de la valeur donnée à sa capacité et, généralement, à la construction, le cadran relié aux lames mobiles de condensateur est directement étalonné en fréquence.

3.1 - Ondemètres et fréquencemètres à résonance ou à absorption.

Cette catégorie d'appareils n'a pas de source d'oscillation propre : son circuit oscillant est excité par l'oscillation extérieure dont on veut mesurer la fréquence. Lorsqu'il est accordé sur cette fréquence, son oscillation est maximum, ainsi que l'énergie qu'il a prélevée à la source extérieure : ce maximum est d'autant plus poussé que le circuit oscillant de l'ondemètre a un coefficient de surtension plus élevé.

3.1.1 - Ondemètre à résonance.

Il possède un appareil de mesure indiquant l'amplitude de son oscillation propre : celle-ci passe par un maximum au moment de l'accord.

Pour obtenir une bonne précision dans la mesure, il faut :

— dégrossir la mesure avec un couplage serré.

— la finir avec un couplage lâche ; pour modifier le moins possible les caractéristiques du circuit dont on mesure la fréquence.

L'appareil de mesure utilisé est :

— soit une lampe au néon placée en parallèle sur le circuit oscillant : lorsque le couplage est très lâche on n'observe qu'une illumination fugitive à la résonance. On peut obtenir une précision de 1 % environ.

— soit un microampèremètre à courant alternatif mis en série.

Dans ce cas on peut opérer avec le déréglage de capacité ,voir figure 104). On branche en parallèle sur le circuit une capacité Y qui peut être déconnectée au moyen de l'interrupteur I_Y.

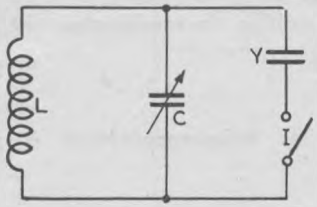


Fig. 104

Quand la lecture ne varie pas que Y soit ou non en circuit, on a, puisque la courbe de résonance de tension est symétrique.

$$C_o = C + \frac{Y}{2}.$$

La précision de la mesure est de 1 % environ.

On peut utiliser comme interrupteur automatique une lame vibrante. On prend un détecteur suivi d'un téléphone, et on entend un son à la fréquence de la lame vibrante tant que l'équilibre n'est pas réalisé.

3.1.2 - Ondemètre à absorption.

Il ne possède pas d'appareil de mesure, mais lorsqu'il est accordé il absorbe le maximum d'énergie au générateur dont on veut mesurer la fréquence. L'appareil de mesure de celui-ci passe par un minimum.

Lorsque l'ondemètre est couplé de plus en plus fortement ce minimum est de plus en plus accusé, mais l'impédance rapportée du secondaire sur le primaire devient appréciable, et la fréquence de l'oscillation du générateur est modifiée ; on peut observer les phénomènes décrits à la figure 105 (où le couplage augmente de gauche à droite) quand on fait varier la capacité de l'ondemètre.

Le couplage doit rester le plus lâche possible de façon à avoir un minimum de courant dans l'oscillateur, comme l'indique d'ailleurs la figure.

De toute façon la mesure sera plus précise, si le circuit de l'ondemètre est soigné et stable. Pour cela il faut :

— avoir un circuit très solide, résistant aux vibrations mécaniques.

— blinder le circuit pour éviter les effets de main. On ne touche que des parties mises à la masse ; le circuit est couplé au moyen d'un feeder et d'une antenne.

— réaliser l'insensibilité aux variations de température, par des dispositifs de compensation, ou des thermostats.

3.2.1 - Ondemètres ou fréquencemètres hétérodynes.

Un fréquencemètre hétérodyne est un oscillateur stable de fréquence. variable et étalonné : la combinaison de son oscillation propre et de l'oscillation de fréquence inconnue produit le phénomène de battement. Au battement zéro, le fréquencemètre est réglé sur la fréquence inconnue.

Lorsqu'on injecte dans un détecteur deux signaux de fré-

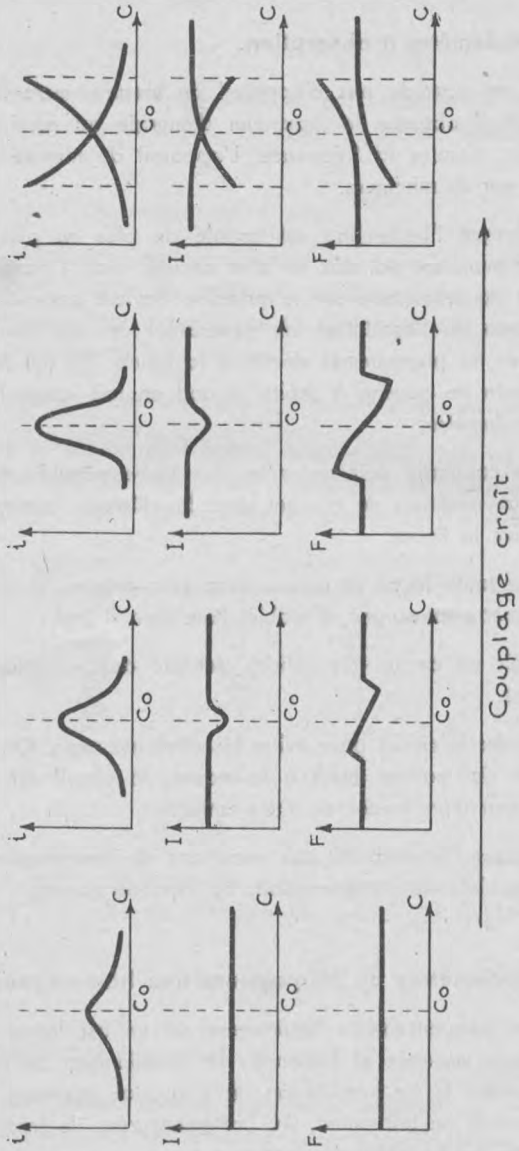


Fig. 105

quences f_1 et f_2, on peut mettre en évidence à la sortie du détecteur un signal de fréquence f telle que :

$$f = f_1 - f_2 .$$

On dit qu'il y a battement entre les deux signaux incidents et f est appelée fréquence de battement.

Si les fréquences f_1 et f_2 sont suffisamment rapprochées le signal de fréquence f produira un son audible dans un haut-parleur.

Supposons donc que l'on injecte dans un détecteur deux signaux, l'un de fréquence fixe f_1, l'autre de fréquence variable f_2 et que l'on applique à un haut-parleur le signal de battement obtenu dont la fréquence est $f = f_1 - f_2$. Si l'un fait tendre f_2 vers f_1, aucun son ne sortira au début du haut-parleur si f est suffisamment grande, c'est-à-dire si f_2 est primitivement suffisamment éloignée de f_1. Puis on percevra une note, aiguë d'abord, dont la hauteur ira en diminuant avec f jusqu'à ce qu'on n'entende plus rien. On aura à ce moment : $f = 0$ et la fréquence variable f_2 sera alors égale à f_1. On aura réalisé le battement zéro.

Si l'on continuait à faire varier f_2 dans le même sens, on réentendrait un son d'abord grave et dont la hauteur irait croissant jusqu'à ce que pour une différence $f_2 - f_1$ suffisamment grande le son disparaisse à nouveau.

Remarque. - Comme on vient de le voir, toutes les zones de silence ne correspondent pas au battement zéro. Il y a donc lieu de se méfier des faux « battements zéro ».

On utilise ce principe pour la mesure des fréquences.

En effet, d'après ce qui précède, il suffit de connaître à tout moment la valeur de la fréquence variable f_2 pour pouvoir mesurer f_1.

Cette condition est remplie si l'on dispose d'un oscillateur à fréquence variable étalonné avec précision.

Il en résulte qu'un appareil permettant la mesure de fré-

quences et basé sur le principe qui vient d'être exposé doit comporter :

— un oscillateur à fréquence variable.

— un détecteur auquel on applique le signal produit par l'oscillateur et celui dont on veut mesurer la fréquence.

— un amplificateur B.F. pour donner au signal de battement provenant du détecteur un niveau suffisant avant de l'envoyer sur un haut-parleur ou sur un casque.

— enfin un dispositif d'étalonnage de l'oscillateur : par exemple un oscillateur à quartz.

On voit qu'un fréquencemètre pourra servir également à régler un émetteur ou un générateur de signaux sur une fréquence déterminée.

En effet, l'oscillateur du fréquencemètre étant réglé sur la fréquence fixée, il suffira de faire varier la fréquence du signal produit par l'émetteur ou le générateur jusqu'à ce que l'on constate un battement zéro dans le casque du fréquencemètre.

La précision de ce type d'appareil atteint 0,04 %. Elle dépend principalement du dispositif d'étalonnage de l'oscillateur.

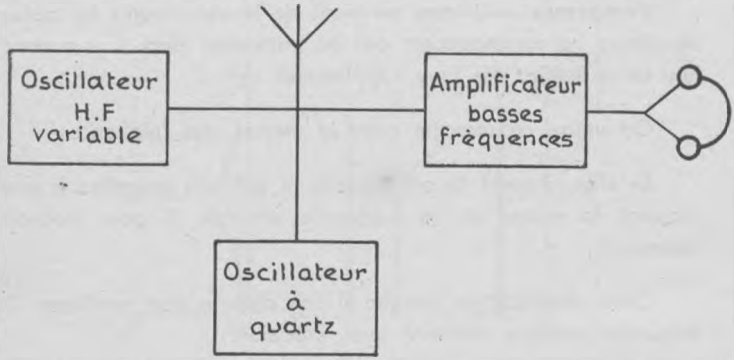


Fig. 106

L'oscillateur à quartz est du type multivibrateur, de façon à donner sur toute la gamme de l'appareil des repères de fréquence aussi voisins que possible les uns des autres.

3.2.2 - Utilisation.

La fréquence à mesurer est généralement captée par une antenne constituée par un petit morceau de fil conducteur.

Un commutateur multiple permet l'étalonnage et les mesures de fréquence en supprimant ou en mettant en service l'antenne, l'oscillateur à quartz et l'oscillateur H.F. à fréquence variable.

3.2.3 - Etalonnage de l'oscillateur H.F. à fréquence variable.

L'antenne est enlevée de façon à supprimer toute oscillation parasite. Les deux oscillateurs sont mis en fonctionnement. Il suffit d'étalonner l'oscillateur à fréquence variable au moyen de l'oscillateur à quartz sur une fréquence voisine de celle que l'on veut mesurer. L'amplificateur B.F. amplifie le battement qui est perçu à l'oreille. Il suffit alors de réaliser le battement zéro.

3.2.4 - Mesure d'une fréquence.

L'antenne est branchée à l'appareil et l'oscillateur à quartz est mis hors circuit. Il suffit de faire le battement zéro entre la fréquence reçue par l'antenne et la fréquence lue sur l'oscillateur à fréquence variable qui vient d'être étalonné au plus près de la fréquence à mesurer.

Remarque. - Si la fréquence à mesurer est une fréquence harmonique du quartz il suffit de brancher l'antenne à l'oscillateur à quartz et de supprimer l'oscillateur à fréquence variable. On fait alors le battement entre la fréquence reçue par l'antenne et la fréquence de l'oscillateur à quartz. Cette opération peut servir à l'étalonnage d'un émetteur à fréquence variable.

3.2.5 - Mesure des fréquences par comptage direct du nombre d'impulsions.

Certains appareils donnant directement sur des cadrans

la valeur des fréquences à mesurer. Il existe de nombreux types de ces appareils. On se bornera à exposer le principe l'un d'eux.

Cet appareil mesure des fréquences comprises entre 0,01 c/s et 10 Mc/s. Il est entièrement automatique et à lecture directe.

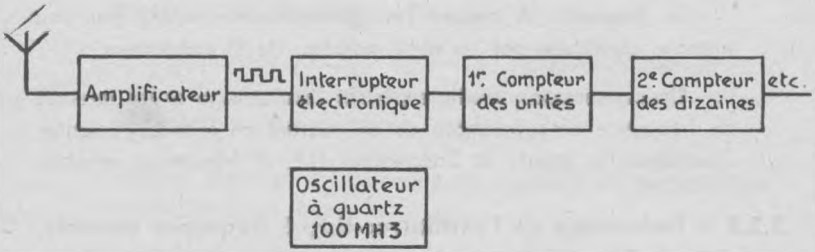


Fig. 107

Un amplificateur transforme la sinusoïde de l'onde dont on veut mesurer la fréquence en signaux carrés de même fréquence. Ces signaux sont appliqués à un interrupteur électronique qui s'ouvre et se ferme alternativement pendant des intervalles de temps égaux. Pendant les périodes de fermeture il transmet à l'organe suivant un certain nombre d'impulsions. Ces périodes peuvent prendre cinq durées : 0, 0,001, 0,01, 0,1, 1, 10 secondes.

Elles sont dérivées directement d'un oscillateur à quartz de 100 Mc/s. Les impulsions qui ont traversé l'interrupteur pendant une période de fermeture atteignent une série de compteurs électroniques en chaîne. Chaque compteur a la propriété d'envoyer au suivant une impulsion lorsqu'il en reçoit dix, et distribue un courant sur un microampèremètre proportionnel au reste des impulsions non transmises au compteur suivant.

Par exemple pour 785 334 c/s, le premier compteur enverra 78 533 impulsions au compteur suivant et un courant proportionnel aux 4 impulsions restantes.

Cet appareil a l'avantage de permettre de suivre les variations de fréquences des oscillateurs à haute et basse fréquence. L'erreur est normalement de l'ordre du 5×10^{-6} c/s.

4 - MESURE DES TRES HAUTES FREQUENCES.

4.1 - Fils de Lécher.

4.1.1 - Principe.

La source dont on veut mesurer la fréquence est couplée à un système de deux fils parallèles de longueur grande devant la longueur d'onde.

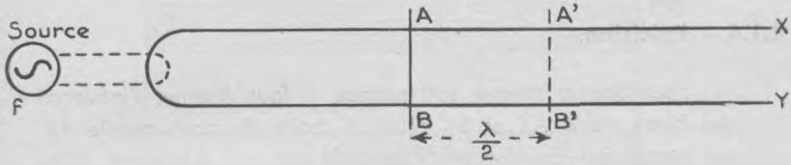


Fig. 108

Sur ces deux fils, on déplace un pont A B réalisant un court-circuit entre les deux fils. Ce système entre en résonance lorsque le pont occupe successivement des positions telles que A B, A' B', etc..., espacées les unes des autres de $\frac{\lambda}{2}$.

4.1.2 - Observation de résonance.

Le contrôle de la résonance peut s'effectuer à l'aide d'un indicateur quelconque permettant de contrôler soit un maximum de tension, soit un maximum d'intensité. On peut soit connecter en série sur A B une lampe à incandescence, soit en parallèle un voltmètre à détecteur.

4.1.3 - Propriétés générales d'une ligne.

Sauf dans le cas où la ligne est fermée sur son impédance caractéristique, on sait qu'une ligne est le siège d'ondes stationnaires, c'est-à-dire que si l'on promène le long de la ligne un voltmètre ou un ampèremètre Haute Fréquence, placé entre deux points tels que A et B, on voit apparaître des maximums et des minimums de tension et de courant.

La distance entre deux minimums ou deux maximums de courant est égale à la demi-longueur d'onde.

On obtient ainsi facilement la fréquence de la source grâce à la relation :

$$f_H / \text{sec.} = \frac{C}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{\lambda \text{ m}}.$$

4.1.4 - Précision.

Pour que la mesure soit précise, il faut éliminer l'influence des bouts morts AX et BY situés à droite du pont mobile AB, qui constituent un résonateur accordé sur une fréquence différente de la fréquence à analyser.

Pratiquement, on constitue le pont avec un grand disque de cuivre formant écran et percé de deux trous pour le passage des fils de ligne.

Il ne faut pas escompter une précision supérieure à 2 %.

5 - ONDEMETRES A RESONANCE.

Pour obtenir une meilleure précision, il faut réduire l'amortissement en supprimant le rayonnement. On remplace la ligne à fils parallèles par une ligne coaxiale. Par construction du câble coaxial le rayonnement est sensiblement nul. Les pertes se réduisent à celles dans le cuivre. On obtient ainsi des précisions de l'ordre de 1/1000e.

Malgré tout, la réalisation de tels appareils est beaucoup plus délicate que celle des fils de Lécher.. La réalisation des contacts glissants, pour obtenir un ondemètre à variation continue de fréquence, demande un ajustage très précis, sous peine de pertes prohibitives.

Le couplage avec la source et le détecteur se fait au moyen de petites boucles.

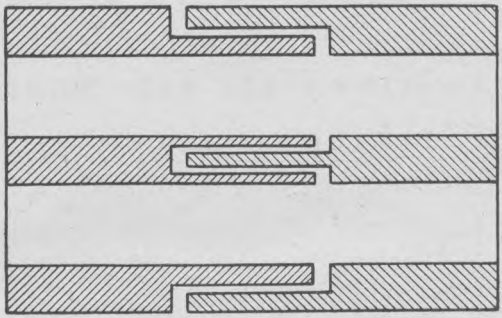


Fig. 109

CHAPITRE VI

MESURES SUR LES AMPLIFICATEURS BASSE FREQUENCE

1 - GENERALITES.

Sauf dans des cas particuliers bien définis les amplificateurs basse fréquence sont constitués par un ou plusieurs étages, les liaisons entre étages se faisant soit par capacité et résistance ou soit par transformateur à fer.

Le système à liaison par capacité et self à fer du point de vue des mesures présente les mêmes caractéristiques que le systême à résistance capacité. Ces amplificateurs travaillent tous en classe A ou B sans courant grille.

L'amplificateur quel qu'il soit doit être fidèle c'est-à-dire que le signal à la sortie doit être identique dans sa forme avec le signal injecté à l'entrée. Le rapport entre le signal de sortie et le signal d'entrée doit rester constant quelle que soit la fréquence. Cette qualité globale se traduit par l'étude des éléments constitutifs suivants :

— linéarité ou distorsion en amplitude.

— fidélité ou distorsion en fréquence, ou distorsion linéaire.

— déphasage ou distorsion de phase.

— distorsion harmonique ou distorsion non linéaire.

— ronflements du secteur.

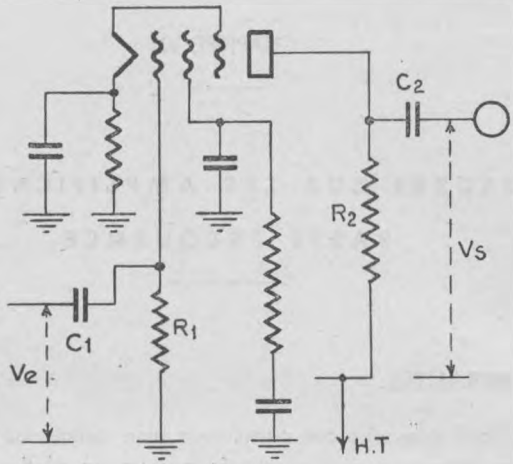


Fig. 110

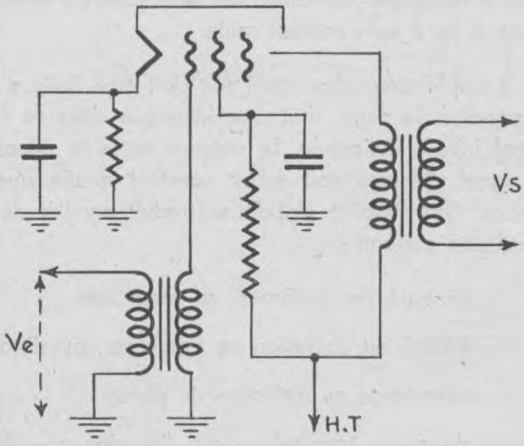


Fig. 111

2 - MESURES.

2.1 - Mesure de la linéarité.

On dit qu'un amplificateur est linéaire lorsque la valeur de l'amplification est indépendante du niveau du signal d'entrée.

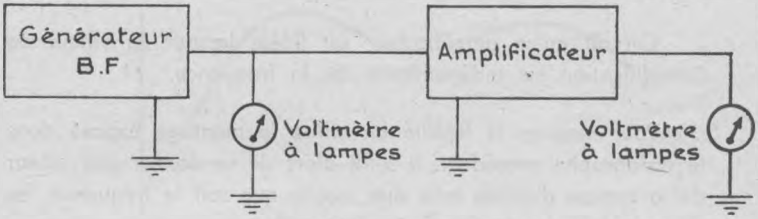


Fig. 112

L'amplification est le rapport entre la tension de sortie et la tension d'entrée.

La mesure consiste par suite à mesurer ce rapport pour différentes valeurs de la tension d'entrée.

La fréquence choisie est de 800 ou 1000 c/s.

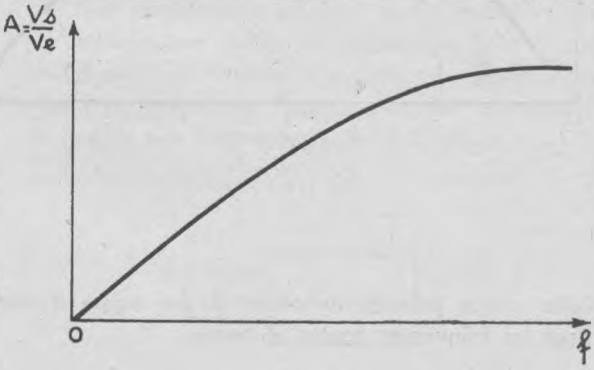


Fig. 113

La courbe de $A = f(V_a)$ doit être une droite pour obtenir une bonne linéarité.

Elle s'incurve cependant vers le bas lorsque l'on atteint le domaine des caractéristiques courbes des tubes à vide.

2.2 - Mesure de la fidélité.

On dit qu'un amplificateur est fidèle lorsque la valeur de l'amplification est indépendante de la fréquence.

Pour mesurer la fidélité on utilise le montage exposé dans le paragraphe précédent. Il suffit alors de se donner une valeur de la tension d'entrée telle que, quelle que soit la fréquence, les tubes à vide n'aient pas de courant grille.

On relève la courbe de l'amplification en fonction de la fréquence.

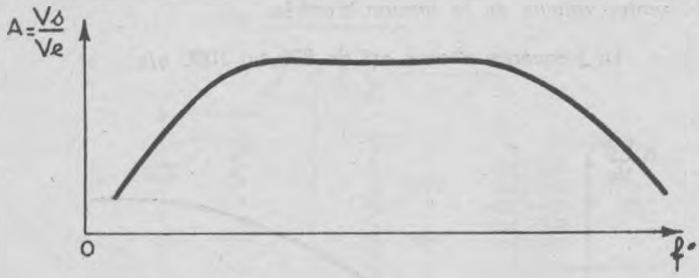


Fig. 114

Cette courbe présente un palier et une baisse d'amplification pour les fréquences hautes et basses.

Pratiquement, on opère à *niveau de sortie constant.*

2.3 - Mesure du déphasage ou distorsion de phase.

La mesure du déphasage entre les tensions d'entrée et de sortie se fait au moyen de l'oscilloscope cathodique en utilisant les figures de Lissajous. Il existe des phasemètres à lecture directe.

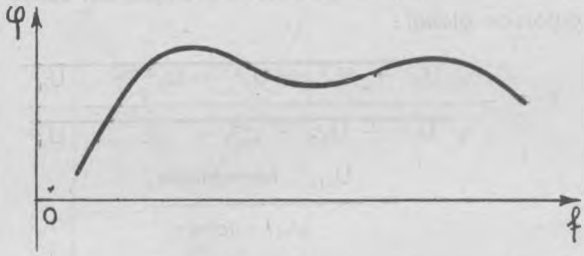


Fig. 115

leur utilisation est délicate. C'est pourquoi la mesure à l'oscilloscope est la plus commode. On relève la courbe de déphasage en fonction des fréquences.

2.4 - Mesure de la distorsion harmonique ou distorsion non linéaire.

Tout amplificateur introduit de la distorsion harmonique. Si on applique une tension V_1 sinusoïdale à la fréquence f à un amplificateur on recueille à la sortie une tension V_2 amplifiée, qui n'est plus sinusoïdale. Cette tension est composée d'une infinité de tension aux fréquences f, 2f, 3f ... nf.

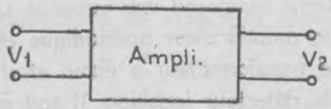


Fig. 116

Soient U_1, U_2, U_3 ... U_n ces tensions. La tension U_1 est la tension fondamentale, les autres tensions forment les harmoniques.

L'analyse harmonique consiste à comparer les harmoniques au terme fondamental. Elle peut se faire pour tous les harmoniques considérés séparément ou pour l'ensemble lorsque leur amplitude est faible devant celle du fondamental. C'est généralement ce cas qui est envisagé dans la pratique. On définit un taux de distorsion global :

$$K = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + U_5^2 + \dots U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots\dots\dots U_n^2}} = \frac{U_{eff} \text{ . harmonique}}{U_{eff} \text{ . total}}.$$

Dans le cas où l'on veut comparer séparément chaque harmonique au fondamental, l'appareillage de mesure est extrêmement compliqué et onéreux. On utilise des voltmètres amplificateurs sélectifs dans lesquels on peut mesurer isolément l'amplitude de chaque harmonique.

2.5 - Mesure du taux de distorsion harmonique.

On opère en isolant le terme fondamental de tous les harmoniques à l'aide d'un voltmètre à lampe, on mesure alors directement la valeur efficace des harmoniques. On peut effectuer ces mesures au pont dont le principe est exposé ci-dessous.

2.5.1 - Pont à résonance.

La tension à étudier est appliquée sur la diagonale « source » d'un pont à résonance shuntée par une résistance potentiomètre R. Les bras résistants du pont sont constitués par trois résistances identiques R_1.

Le bras sélectif comprend une capacité C, une self L et une résistance R_2. Un amplificateur apériodique est branché par l'intermédiaire d'un transformateur à écran et d'un inverseur I, soit sur la diagonale détecteur (position 1) soit sur la fraction r du potentiomètre R (position 2).

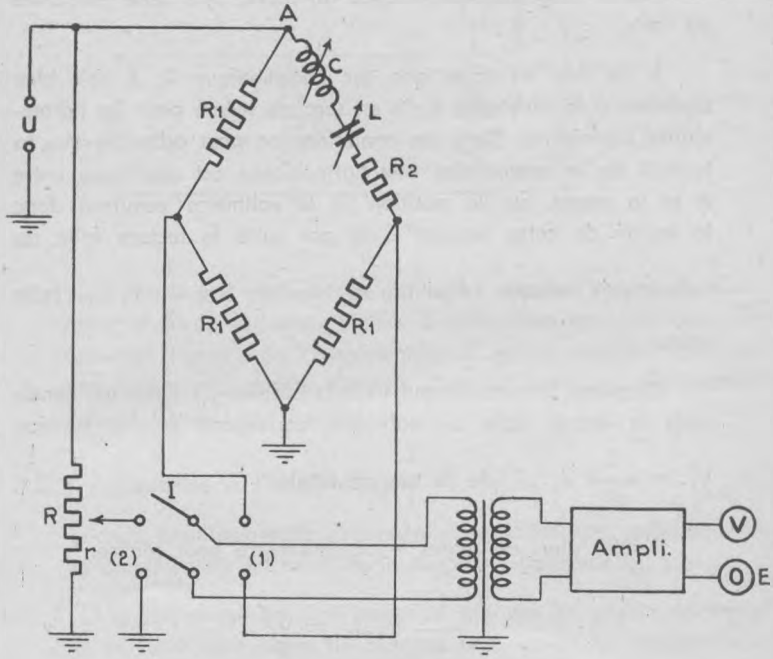


Fig. 117

On place le commutateur I sur la position (1) et on règle le pont à l'équilibre pour la composante fondamentale de U. Comme U n'est pas exactement sinusoïdal, le voltmètre V va dévier et au lieu d'observer un zéro à l'équilibre, on observe un minimum. Dans la branche sélective on a alors :

$$L\,C\,\omega_0^2 = 1 \text{ ou } L\,\omega_0 = \frac{1}{C\,\omega_0}.$$

Pour un harmonique de rang n la réactance de la branche est :

$$X = n\,L\,\omega_0 - \frac{1}{n\,C\,\omega_0} = n\,L\,\omega_0\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

Plus le rang des harmoniques est élevé, plus cette réactance est forte.

Si on fait en sorte que sur l'harmonique 2, X soit bien supérieur à la résistance R_1, il en sera de même pour les harmoniques supérieures. Dans ces conditions on peut admettre que la totalité de la tension due aux harmoniques est appliquée entre A et la masse. Sur la position (1) le voltmètre mesurera donc la moitié de cette tension. C'est par suite la lecture faite au voltmètre V lorsque l'équilibre est réalisé. Soit $\frac{1}{2} V_{4\ eff}$ cette valeur.

On place le commutateur I sur la position (2). Dans ces conditions la lecture faite au voltmètre correspond à une fraction $V_2 = \frac{r}{R} V_{s\ eff}$, de la tension totale.

Il suffit alors de régler le potentiomètre pour réaliser

$$\frac{1}{2} V_{4\ eff} = V_2$$

On a alors :

$$\frac{1}{2} V_{4\ eff} = V_2 = \frac{r}{R} V_{s\ eff}$$

$$\frac{V_{4\ eff}}{V_{s\ eff}} = \frac{2\,r}{R} = \text{taux de distorsion.}$$

L'emploi du pont a l'avantage de permettre l'élimination rigoureuse du terme fondamental et peut être utilisé en n'importe quelle fréquence de la gamme basse fréquence.

Le problème le plus délicat à résoudre consiste à faire débiter la source U sur son impédance normale d'utilisation. On utilise un transformateur de construction très soignée qui permet d'adapter la résistance d'entrée R du pont à la résistance de charge sur laquelle U doit débiter. Il est plus souvent avanta-

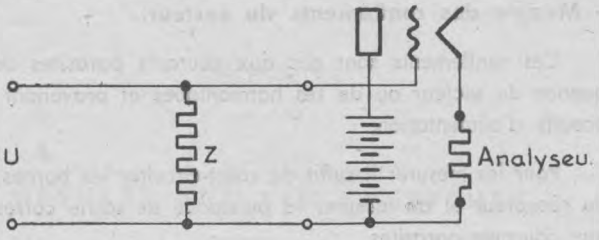


Fig. 118

geux d'adapter un montage à contre réaction totale, la résistance d'entrée est alors infinie. Il suffit dans ces conditions de brancher l'entrée de l'amplificateur à contre réaction totale en parallèle sur la charge normale Z de la tension U, le fonctionnement n'en est pas modifié.

2.5.2 - Contrôle à l'oscilloscope.

On peut apprécier facilement à l'oscilloscope cathodique si un amplificateur introduit de la distorsion harmonique.

On applique sur une paire de plaques la tension de sortie V_3 et sur l'autre paire de plaques une tension en concordance

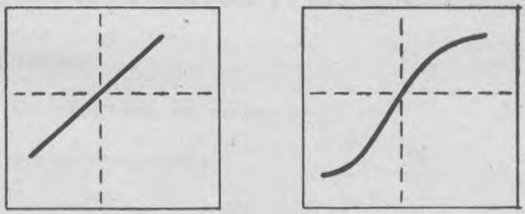


Fig. 119

de phase avec V_s (1) et sinusoïdale. Si la distorsion est nulle l'image est constituée par une droite. Dans le cas contraire on obtient une courbe, on peut ainsi apprécier la distorsion suivant le degré de déformaton de la droite.

(1) De même fréquence.

2.6 - Mesure des ronflements du secteur.

Ces ronflements sont dus aux courants parasites de la fréquence du secteur ou de ses harmoniques et provenant des dispositifs d'alimentation.

Pour les mesurer il suffit de court-circuiter les bornes d'entrée du récepteur et de mesurer la puissance de sortie correspondant aux courants parasites.

———-

CHAPITRE VII

MESURES SUR LES EMETTEURS

1 - En dehors des mesures simples qui ont été indiquées par ailleurs, un certain nombre de mesures vont caractériser l'émetteur tout entier, ce sont celles-là que nous allons étudier dans ce chapitre :

— Mesures de puissance et de rendement

— Mesures sur la modulation et les distorsions

— Mesures de la fréquence.

Nous ne parlerons pas de l'étude du spectre radioélectrique et des moyens de le déterminer pratiquement.

2 - MESURE DES PUISSANCES ET DES RENDEMENTS

2.1 - Définitions.

Il est nécessaire de distinguer :

— la puissance rayonnée

$$W_r = R_r \, I^2_{eff}$$

R_r est la résistance de rayonnement et I_{eff} l'intensité du courant mesuré en un point fixé conventionnellement, un ventre de courant ou le plus souvent la base de l'antenne.

— la puissance d'antenne ou puissance de sortie de l'émetteur, celle-ci comprend la puissance rayonnée, les pertes dans le fil d'antenne et la prise de terre

$$W_a = R_a \, I^2_{eff}$$

R_a résistance effective et I_{eff} intensité au même point comme ci-dessus.

— la puissance fournie à l'étage de puissance

puissance W_1 fournie par les sources d'alimentation à l'étage final (filaments et circuits anodiques).

— la puissance d'alimentation

puissance W_2 fournie à l'ensemble des étages.

— la puissance total W_t prélevée sur le réseau par les sources qui alimentent les divers circuits de l'émetteur.

On peut définir les rendements suivants :

Rendement antenne $= \dfrac{W_r}{W_a}$

Rendement étage final $= \dfrac{W_a}{W_1}$

Rendement d'alimentation $= \dfrac{W_2}{W_t}$

Rendement global du poste $= \dfrac{W_a}{W_t}$

2.2 - Mesure de la puissance totale et de la puissance d'alimentation.

Ces puissances sont à mesurer par les méthodes usuelles de l'électrotechnique wattmètre, ampèremètre et voltmètre...

Il y a simplement lieu de remarquer que la présence de la H.F. risque de perturber les mesures par induction. C'est pourquoi il vaut mieux opérer avec des appareils de mesure insensibles aux courants H.F. (appareils à cadre mobile).

2.3 - Mesure de la puissance antenne.

a) On mesure l'impédance apparente de l'antenne

$$Z = \sqrt{R_a^2 + X_a^2}$$

par les méthodes ordinaires de mesure des impédances. Pratiquement l'antenne est accordée et $X_a = 0$. En mesurant I_{eff} à la sortie du poste, on obtient $W_a = R_a I^2_{eff}$. Cette méthode est d'un emploi délicat.

b) On peut aussi remplacer l'antenne par l'antenne fictive équivalente et mesurer la puissance absorbée par cette dernière. Si on ne connaît pas l'antenne équivalente on la détermine par approximations pour charger l'émetteur de la même façon. En pratique on prend une simple résistance ou une lampe à incandescence.

2.4 - Mesure de la puissance rayonnée.

Cette mesure implique la connaissance du champ rayonné par l'antenne. Dans certains cas la résistance de rayonnement peut être connue approximativement par le calcul : par exemple :

Celle d'une antenne demi-onde isolée est de 73 ohms, en son milieu. On peut en déduire

$$W^2_r = R^2_r I^2_{eff}.$$

2.5 - Mesures sur la modulation d'amplitude.

2.5.1 - Définition.

Une onde à haute fréquence $U_o \sin \omega t$, modulée en amplitude par un signal à basse fréquence u, est représentée par

$$U = (U_o + m u) \sin \omega t$$

U_o est l'amplitude de la porteuse, m, un coefficient.

Dans le cas où le courant basse fréquence est sinusoïdal
$U = (U_o + m u_o \sin \Omega t) \sin \omega t = U_o (1 + K \sin \Omega t) \sin \omega t$

La constante K proportionnelle à la valeur de u_o est dite taux de modulation.

L'enveloppe des oscillations haute fréquence se compose de deux courbes définies par $\pm U_o (1 + K \sin \Omega t)$ représentée en figure 120. La courbe enveloppe a la même forme que la tension de modulation.

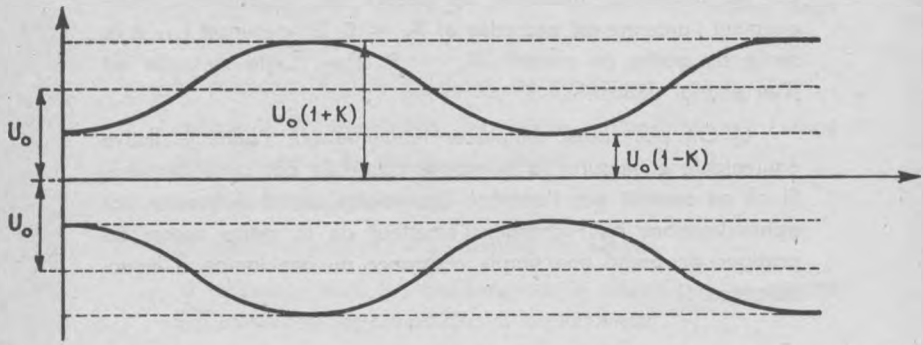


Fig. 120

Si la tension de modulation u n'est pas sinusoïdale l'enveloppe de l'onde modulée aura la même forme que la tension de modulation si le coefficient K est constant on dit que la modulation est parfaite (K indépendant de la fréquence et de l'amplitude de la tension de modulation u). S'il n'en est pas ainsi il y a distorsion. On distingue deux types de distorsions.

— la distorsion harmnonique ou en amplitude (dite aussi non linéaire)

K indépendant de la fréquence mais non de u.

Cette distorsion fait apparaître des harmoniques de la tension de modulation.

— la distorsion en fréquence de modulation (dite aussi linéaire ou uniforme).

K indépendant de u mais non de Ω.

Il n'y a pas apparition d'harmoniques, mais la modulation se fait avec un taux variable avec la fréquence, elle est donc imparfaite.

2.5.2 - Mesure du taux de modulation.

L'onde modulée est représentée à la figure 120.

L'amplitude de l'onde a une valeur moyenne U_o constante et des maximums et minimums définis par

$$U_{Max} = U_o (1 + K)$$

$$U_{min} = U_o (1 - K)$$

$$\text{D'où } 2\, U_o = U_{max} + U_{min}$$

$$2\, K\, U_o = U_{max} - U_{min}$$

$$K = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}} = \frac{U_{max} - U_o}{U_o} = \frac{U_o - U_{min}}{U_o}$$

La mesure du taux de modulation s'effectue de façon simple à l'oscilloscope cathodique sur l'écran duquel on observe une image analogue à la figure 120. Si l'oscilloscope est linéaire les amplitudes sur l'image sont proportionnelles aux tensions et on mesure K en remplaçant les valeurs U_{max} et U_{min} par les hauteurs d'images correspondantes.

Cette mesure n'a de sens que tant que U_{max} et U_{min} sont décelables c'est-à-dire tant que $K < 1$. Pour $K = 1$ (100 %). $U_{min} = 0$ $U_{max} = 2\, U_o$. Si $K > 1$ on dit qu'il y a surmodulation ce qui correspondrait à une valeur U_{min} négative. Ceci n'est pas possible physiquement et la valeur U_{min} reste nulle tout le temps que $U \leqslant o$. La mesure à l'oscilloscope n'a plus de sens.

Dans cette méthode le balayage horizontal est en dents de scie et synchronisé par la tension de modulation. On n'obtiendra une image stable que si la fréquence de modulation est rigoureusement constante.

2.6 - Méthode du trapèze.

Cette méthode permet d'avoir une image stable même avec une modulation de fréquence variable.

On applique aux plaques de déviation horizontale une tension synchrone de la tension de modulation

$$u = u_o \sin (\Omega\, t)$$

et aux plaques de déviation verticales la tension H.F. modulée

$$U_o (1 + K \sin \Omega t) (\sin \omega t + \varphi).$$

A chaque instant le spot décrit une ligne verticale de grandeur

$$U_o (1 + K \sin \Omega t).$$

qui est déplacée latéralement de la quantité

$$n\ U_o \sin \Omega t$$

Soient $\alpha\ \beta$ et $\gamma\ \delta$ les bases du trapèze, on a (Fig. 121)

$$K = \frac{\alpha\ \beta - \gamma\ \delta}{\alpha\ \beta + \gamma\ \delta}$$

En effet

$$\alpha\ \beta = 2\ m\ U_o\ (1 + K)\ \alpha\ \beta + \gamma\ \delta = 4\ m\ U_o$$

$$\gamma\ \delta = 2\ m\ U_o\ (1 - K)\ \alpha\ \beta - \gamma\ 5 = 4\ m\ U_o\ K$$

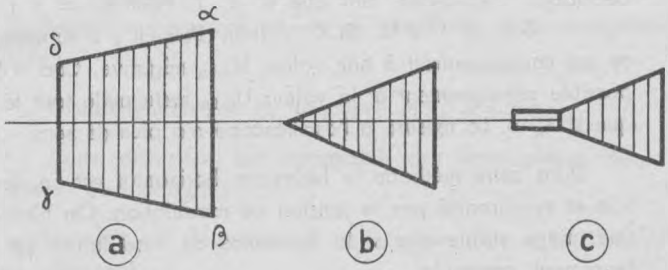


Fig. 121

Remarques :

1. On peut avoir un éclairement strié, ce qui dénote une distorsion harmonique importante.

2. Si le trapèze est déformé c'est généralement dû à une induction H.F. qu'il est facile d'éliminer par blindage et découplage.

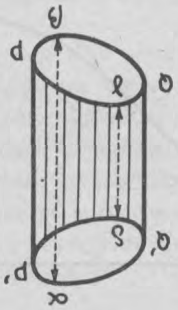


Fig. 122

3. Les deux côtés obliques du trapèze peuvent se transformer en deux ellipses (Fig. 122). Cela veut dire que la tension de modulation n'est pas en synchronisme avec l'enveloppe de la tension H.F. modulée. Pour supprimer cet inconvénient, il y a intérêt à prélever cette tension au plus près de l'étage de sortie de l'amplificateur de basse fréquence.

2.7 - Mesure des distorsions de modulation.

2.7.1 - Courbe de fidélité d'un émetteur.

Lorsqu'on applique à l'entrée d'un émetteur une tension de modulation sinusoïdale, et si les circuits de modulation sont fidèles on obtient une onde à modulation sinusoïdale telle que le taux de modulation K est proportionnel à l'amplitude de la tension de modulation.

Si on fait varier le niveau de la tension de modulation V et que l'on mesure le taux de modulation obtenue on trouve pour un poste fidèle une courbe analogue à celle de la *figure 123*. La courbe est une droite avec éventuellement une légère inflexion pour les fortes valeurs de U.

On s'impose en général un écart relatif maximum $\frac{\Delta K}{K}$ par rapport à la droite théorique.

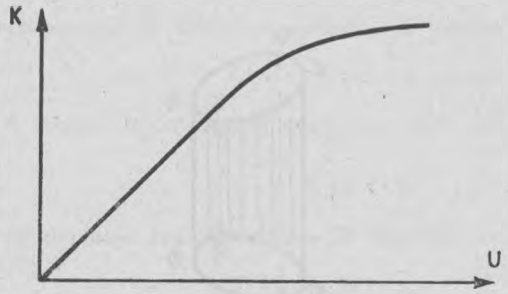


Fig. 123

2.8 - Mesure de la distorsion en fréquence de modulation.

Si l'on maintient constant le niveau de la modulation : le taux de modulation peut dépendre de la fréquence. On trace la courbe correspondante en prenant généralement comme origine K à 800 c/s. La courbe affecte d'ordinaire l'allure de la fig. 124.

Dans le cas par exemple d'un émetteur de radiodiffusion on s'impose une variation de K inférieure à 0,43 décibels entre 200 et 5 000 c/s.

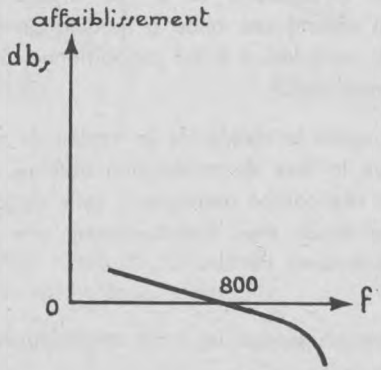


Fig. 124

3 - MESURE DE LA FREQUENCE D'UN EMETTEUR.

Les mesures de fréquence d'un émetteur ne se distinguent en rien d'une mesure de fréquence sur une source quelconque de courant à fréquence radioélectrique. Certaines conditions annexes, imposées par la façon dont le matériel est utilisé, conduisent à examiner le problème sous un jour particulier et à mettre en œuvre des modes opératoires particuliers. Il en résulte qu'il faut connaître avec précision : l'exactitude de l'étalonnage et la stabilité de fréquence d'un émetteur.

L'exactitude d'étalonnage conduit à une précision imposée qui varie de 1/1000 à 1/10 000 pour les émetteurs de campagne. La mesure de fréquence d'un émetteur est donc à priori une mesure précise. Elle nécessite l'emploi d'une méthode hétérodyne utilisant un étalon à quartz comme base.

Indépendamment de l'exactitude de la fréquence moyenne en régime permanent il est indispensable de supprimer toute fluctuation lente ou rapide de la fréquence de travail. Les variations accidentelles de fréquence sont dues aux causes suivantes :

1°) *La dérive.* - La dérive de fréquence a lieu principalement lorsqu'un émetteur est mis en route, par suite de l'échauffement progressif des conducteurs, la fréquence varie de façon lente. Pour corriger ce défaut on utilise des dispositifs correcteurs, constitués en général par des condensateurs à coefficient de température négatif.

2°) *La manipulation.* - La manipulation produit une variation importante du régime de fonctionnement des étages. Il se produit un glissement de fréquences pendant les périodes où l'on passe du signal à zéro.

3° *La modulation.* - La modulation produit des effets du même genre.

4°) L'alimentation et les vibrations mécaniques peuvent occasionner eux aussi des glissements de fréquence.

4 - METHODES DE MESURE.

4.1 - Exactitude d'étalonnage.

On utilise les procédés déjà analysés dans le chapitre sur la mesure des fréquences.

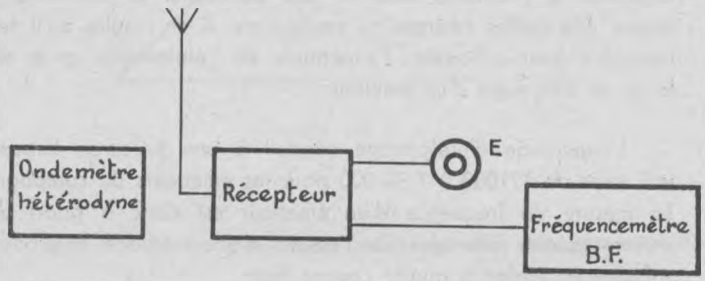


Fig. 125

Dans le cas d'un émetteur lointain et faible on utilise un récepteur et on applique la méthode hétérodyne. Le montage à utiliser est celui de la figure 125. L'onde à mesurer est reçue par un récepteur quelconque de préférence très sélectif.

On accorde le récepteur sur l'émetteur lointain. On met en marche et on règle l'ondemètre hétérodyne pour avoir le battement zéro. On peut utiliser comme ondemètre hétérodyne un appareil multivibrateur à quartz, on obtient ainsi une très grande précision, en mesurant la différence de fréquence à l'aide d'un fréquencemètre B.F.

4.2 - Stabilité.

Le contrôle de la stabilité se fait suivant le principe de montage exposé précédemment.

4.3 - Etude du spectre radioélectrique.

L'étude du spectre radioélectrique d'un émetteur se fait en utilisant un récepteur très sélectif; on peut repérer ainsi les différentes composantes de l'onde et mesurer leur fréquence

(méthodes de l'ondemètre hétérodyne), si on a un appareil indicateur du niveau de sortie, on peut aussi mesurer l'amplitude de chaque composante, par comparaison avec le niveau de sortie obtenu à l'aide d'un générateur étalonné.

On a intérêt à se placer à quelques kilomètres de l'antenne de façon à avoir le maximum de précision.

5 - MESURES SPECIALES RELATIVES AUX EMETTEURS A MODULATION DE FREQUENCE.

Certaines des mesures à effectuer sur les postes émetteurs à modulation de fréquence ne diffèrent naturellement pas des mesures analogues sur les postes à modulation d'amplitude : fréquence de l'onde porteuse, stabilité, rendement d'un étage, etc.

On examinera donc ici uniquement les mesures particulières telles que celles concernant la profondeur de modulation (ou l'indice de modulation) et celles concernant les distorsions. Ces mesures sont basées sur la comparaison des fréquences du spectre de l'onde modulée en fréquence avec une onde non modulée.

5.1 - Mesure de l'indice de modulation.

La mesure de la valeur de la profondeur de modulation, c'est-à-dire la déviation de fréquence, ou celle de l'indice de modulation peut s'effectuer au moyen de deux méthodes principales.

La première méthode consiste à moduler l'onde haute fréquence par une onde à une fréquence aussi basse que possible. On prend généralement le secteur à 50 c/s comme onde basse fréquence. On obtient alors un spectre presque continu qui ne dépasse guère les limites de l'excursion de fréquence. On fait alors battre l'oscillation modulée en fréquence avec celle d'une hétérodyne ou en déduit ainsi facilement la largeur du spectre et par suite la déviation de fréquence.

La seconde méthode est basée sur le fait que pour certaines valeurs de l'indice de modulation, qui restent toujours les mêmes

4 - METHODES DE MESURE.

4.1 - Exactitude d'étalonnage.

On utilise les procédés déjà analysés dans le chapitre sur la mesure des fréquences.

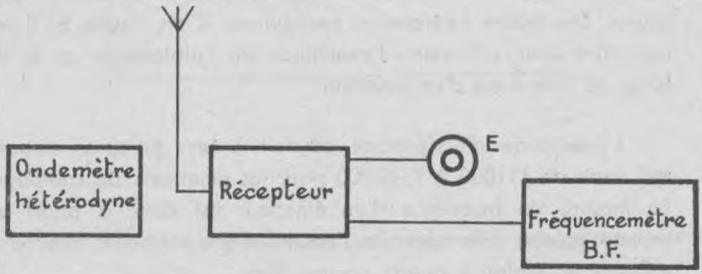


Fig. 125

Dans le cas d'un émetteur lointain et faible on utilise un récepteur et on applique la méthode hétérodyne. Le montage à utiliser est celui de la figure 125. L'onde à mesurer est reçue par un récepteur quelconque de préférence très sélectif.

On accorde le récepteur sur l'émetteur lointain. On met en marche et on règle l'ondemètre hétérodyne pour avoir le battement zéro. On peut utiliser comme ondemètre hétérodyne un appareil multivibrateur à quartz, on obtient ainsi une très grande précision, en mesurant la différence de fréquence à l'aide d'un fréquencemètre B.F.

4.2 - Stabilité.

Le contrôle de la stabilité se fait suivant le principe de montage exposé précédemment.

4.3 - Etude du spectre radioélectrique.

L'étude du spectre radioélectrique d'un émetteur se fait en utilisant un récepteur très sélectif ; on peut repérer ainsi les différentes composantes de l'onde et mesurer leur fréquence

(méthodes de l'ondemètre hétérodyne), si on a un appareil indicateur du niveau de sortie, on peut aussi mesurer l'amplitude de chaque composante, par comparaison avec le niveau de sortie obtenu à l'aide d'un générateur étalonné.

On a intérêt à se placer à quelques kilomètres de l'antenne de façon à avoir le maximum de précision.

5 - MESURES SPECIALES RELATIVES AUX EMETTEURS A MODULATION DE FREQUENCE.

Certaines des mesures à effectuer sur les postes émetteurs à modulation de fréquence ne diffèrent naturellement pas des mesures analogues sur les postes à modulation d'amplitude : fréquence de l'onde porteuse, stabilité, rendement d'un étage, etc.

On examinera donc ici uniquement les mesures particulières telles que celles concernant la profondeur de modulation (ou l'indice de modulation) et celles concernant les distorsions. Ces mesures sont basées sur la comparaison des fréquences du spectre de l'onde modulée en fréquence avec une onde non modulée.

5.1 - Mesure de l'indice de modulation.

La mesure de la valeur de la profondeur de modulation, c'est-à-dire la déviation de fréquence, ou celle de l'indice de modulation peut s'effectuer au moyen de deux méthodes principales.

La première méthode consiste à moduler l'onde haute fréquence par une onde à une fréquence aussi basse que possible. On prend généralement le secteur à 50 c/s comme onde basse fréquence. On obtient alors un spectre presque continu qui ne dépasse guère les limites de l'excursion de fréquence. On fait alors battre l'oscillation modulée en fréquence avec celle d'une hétérodyne ou en déduit ainsi facilement la largeur du spectre et par suite la déviation de fréquence.

La seconde méthode est basée sur le fait que pour certaines valeurs de l'indice de modulation, qui restent toujours les mêmes

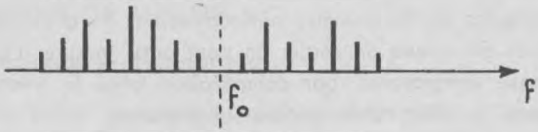


Fig. 126

(2,4 et 5,52) la porteuse disparaît du spectre des fréquences. On module alors à une fréquence assez élevée de façon à avoir un spectre dont les premières ondes latérales sont éloignées de l'onde porteuse, dont on observe le battement avec un hétérodyne. On augmente alors la tension de modulation de façon continue de façon à accroître la déviation de fréquence et l'indice de modulation, jusqu'à extinction du battement qui se produit lorsque la porteuse a disparu, l'indice de modulation est alors 2,4. Si on continue à augmenter la tension de modulation, le battement réapparaît et redisparaît ensuite lorsque l'indice est de 5,52. On peut ainsi déterminer l'indice de modulation correspondant à une tension de modulatoin donnée.

5.2 - Mesure des distorsions.

On opère par comparaison. On prélève une fraction de la tension modulée en fréquence, on la détecte au moyen d'un discriminateur linéaire, la tension de modulation ainsi produite est comparée à la tension de modulation appliquée à l'émetteur. Ces deux tensions sont appliquées à un oscilloscope cathodique.

S'il n'y a pas de distorsion, l'image obtenue est une droite.

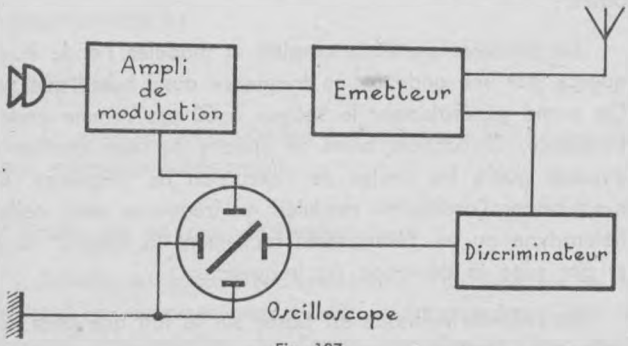


Fig. 127

CHAPITRE VIII

MESURES SUR LES RECEPTEURS

1 - GENERALITES.

Les récepteurs actuellement en service sont du type superhétérodyne. Pour comparer les différents récepteurs les uns aux autres il a été nécessaire de définir :

— les qualités qui caractérisent les différents récepteurs et d'attribuer à ces qualités des chiffres permettant de les comparer entre eux : ces qualités sont la sensibilité, la sélectivité et la fidélité mesurée par les distorsions.

— les données communes à tous les récepteurs et qui permettent de comparer leurs différentes qualités. Ces données ont été normalisées par la « Société des Radioélectriciens ». Elles seront définies plus loin.

— les méthodes de mesure qui matérialisent par des chiffres les qualités des récepteurs.

1.1 - Signal à l'entrée.

On définit sous le nom de signal à l'entrée, la force électromotrice induite dans l'antenne par l'onde. On considère pratiquement deux sortes de signaux à l'entrée : d'une part le *signal utile* dû à l'action de l'onde à recevoir et sur laquelle le récepteur est accordé, d'autre part les *signaux parasites* et *brouilleurs* créés dans l'aérien par les ondes étrangères à l'onde à recevoir.

Le signal utile peut être soit une onde entretenue pure de la forme $A \sin (\omega t + \varphi)$ soit une onde modulée $A (1 + k \sin \Omega t)$, $\sin (\omega t) + \varphi)$ Ω étant la pulsation basse fréquence et ω la pulsation haute fréquence.

Les brouilleurs sont constitués par des ondes de même nature que les précédentes, les parasites au contraire sont constitués par des phénomènes transitoires dont le spectre de fréquence est très étendu.

Les mesures courantes sur les récepteurs consistent à analyser le récepteur en présence du signal utile seulement, ce sont les mesures faites avec un « seul signal » et en présence de deux signaux dont un brouilleur, ce sont les mesures « à deux signaux ». On n'essaye jamais un récepteur en présence de parasites.

On prend comme mesure du signal à l'entrée la valeur efficace de la tension haute fréquence induite dans l'antenne E_{eff}. On l'exprime souvent en décibels au-dessus du niveau de référence de 1 volt.

1.2 - Signal à la sortie.

Le signal à la sortie est mesuré par l'énergie électrique disponible à la sortie de l'amplificateur à basse fréquence.

Dans la majorité des récepteurs le signal à la sortie est constitué par l'onde sonore émise par le haut-parleur.

On est amené à distinguer le signal utile et les signaux parasites internes. Ces signaux parasites sont de plusieurs sortes :

a) *le bruit de fond* est caractérisé par un *bruit de chute d'eau.* Il s'accroît d'ailleurs lorsque le récepteur est accordé sur une fréquence. Il apparaît dès que le récepteur amplifie. C'est le bruit de fond propre du récepteur.

b) *les ronflements* sont dûs à une insuffisance de filtrage des tensions d'alimentation. Ils peuvent être aussi provoqués par des accrochages à l'intérieur des récepteurs.

Le plus souvent la fréquence du ronflement est de 100 c/s et correspond à l'harmonique 2 du secteur.

c) *les sifflements* sont dûs aux interférences entre l'onde incidente et un harmonique de l'oscillateur local. Ils peuvent être aussi provoqués par des accrochages dans les étages haute fréquence et de fréquence intermédiaire.

d) *les bruits de cloches* sont dues aux vibrations mécaniques des électrodes des tubes.

Le niveau du signal à la sortie s'évalue en puissance. On utilise à cet effet des appareils appelés voltmètre de sortie qui sont tels que leur impédance d'entrée correspond à l'impédance de sortie du récepteur.

Si R est le module de cette impédance, la puissance de sortie de l'appareil est :

$$P = \frac{V^2_{eff}}{R}.$$

On peut donc, si R est constant, graduer ces voltmètres de sortie en wattmètre. On obtient ainsi des wattmètres de sortie (output meter).

La puissance de sortie devrait se baser sur la mesure de l'onde sonore issue du haut-parleur. C'est la puissance acoustique. On ne peut généralement pas effectuer cette mesure. C'est pourquoi on remplace généralement le haut-parleur par une résistance. Ce n'est qu'une approximation grossière, car le haut-parleur n'offre pas la même impédance aux diverses fréquences.

1.3 - Sensibilité.

La sensibilité correspond au niveau minimum nécessaire du signal à l'entrée qui produit à la sortie une puissance normalisée.

La sensibilité ne dépend que de l'amplification aux fréquences haute et intermédiaire. L'organe de réglage de la sensibilité n'agit que sur les étages de fréquences haute et intermédiaire. Il peut être manuel ou automatique.

On distingue :

a) *la sensibilité maximum* définie par la valeur du signal à l'entrée qui fournit une puissance déterminée à la sortie sans s'inquiéter du bruit de fond. Cette mesure est par suite d'un intérêt pratique très médiocre, car le signal utile est toujours mélangé aux bruits divers.

b) *la sensibilité utilisable,* c'est la valeur du signal à l'entrée qui détermine une puissance de sortie donnée avec un réglage du récepteur, tel que le rapport signal sur bruit de fond du récepteur soit supérieur ou au moins égal à une valeur donnée. Le réglage du récepteur ainsi réalisé est le réglage normal du récepteur.

Comme le bruit de fond d'un récepteur est produit dans les circuits d'entrée (1) la sensibilité d'un récepteur ne dépendra que des circuits d'entrée, elle est indépendante de l'amplification totale du récepteur. La mesure de la sensibilité utilisable revient donc à la mesure du bruit de fond à l'entrée.

1.4 - Sélectivité.

La sélectivité d'un récepteur est son aptitude à séparer deux signaux de fréquences voisines. On définit la bande passante d'un récepteur comme l'intervalle entre deux fréquences dans lequel la variation du niveau de l'amplification reste inférieur à une limite fixée.

1.5 - Fidélité.

On distingue dans un récepteur, plusieurs types de distorsions :

a) *La distorsion harmonique* dûe à la courbure des caractéristiques des tubes, qui fait qu'à un signal incident modulé par une tension sinusoïdale basse fréquence, correspond à la sortie un signal basse fréquence comprenant plusieurs harmoniques de cette tension sinusoïdale. Il y a évidemment des phénomènes de distorsion harmonique dans les circuits haute fréquence, les circuits basse fréquence et le détecteur.

b) *La distorsion en fréquence de modulation* due aux variations d'amplification du récepteur suivant les fréquences de modulation.

---

(1) Car ils subissent toute l'amplification du récepteur.

c) *La distorsion en amplitude* : suivant l'amplitude du signal à l'entrée, l'amplification ne reste pas la même.

d) *La distorsion différentielle* : lorsque deux signaux voisins sont appliqués à un récepteur, il apparaît une intermodulation qui donne lieu à des signaux parasites qui n'existeraient pas si l'on appliquait au récepteur chacun des deux signaux pris séparément.

La distorsion permet de définir une des qualités principales d'un récepteur : la *fidélité*. Elle est mesurée par la *bande passante électrique globale*. C'est-à-dire par la largeur de la bande de fréquence de modulation pour laquelle l'affaiblissement reste inférieur ou au plus égal à une valeur connue (par exemple 6 décibels au-dessous de la valeur maximum).

1.6 - Stabilité.

Un récepteur est stable si on peut faire correspondre à un signal d'entrée donné un signal de sortie qui reste le même dans le temps. Les causes d'instabilité viennent des écarts de température, des variations des tensions d'alimentation et des vibrations mécaniques.

1.7 - Rayonnements.

Les récepteurs comportent en général un ou plusieurs oscillateurs pouvant se comporter comme des émetteurs et rayonner une certaine puissance dans l'antenne. Il y a donc lieu de mesurer ces rayonnements, mesure qui porte sur la valeur de la force électromotrice induite dans l'antenne.

1.8 - Efficacité de la commande automatique de sensibilité.

C'est l'aptitude du récepteur à corriger les variations de la puissance de sortie de l'appareil provoquées par les variations accidentelles du signal à l'entrée.

1.9 - Normalisation des données communes à tous les récepteurs.

Le signal d'entrée s'il est modulé en amplitude est défini par :

La fréquence de modulation : 400 c/s.

Le taux de modulation : 30 %.

Le signal à la sortie est de 50 mW dans l'impédance de sortie normale ; cette impédance sera une résistance pure dont la valeur est déterminée par le constructeur.

La sensibilité utilisable est définie par le niveau du signal à l'entrée qui donne une tension de sortie telle que le rapport $\frac{\text{puissance signal}}{\text{puissance bruit}}$ ait une valeur définie comme il suit :

Radiotéléphonie : 26 dB (ce qui correspond à 0,125 mV pour le bruit et 50 mW de signal).

Télégraphie automatique : 10 dB (ce qui correspond à 5 mV de bruit pour 50 mW de signal).

Ecoute au casque : 0 dB (1 volt de signal pour 1 volt de bruit).

La commande automatique de sensibilité doit être telle que le signal à l'entrée étant de 1 V_{eff} (modulé à 400 c/s et à 30 %) le signal à la sortie soit de 500 mW.

La mesure de la *bande passante électrique globale* du récepteur (bande passante des basses fréquences mesurée à la sortie du récepteur) se fait en prenant un signal d'entrée normal de 5 millivolts donnant un niveau de sortie du récepteur de 50 milliwatts.

L'antenne du récepteur a été normalisée sous forme d'an-

tenne fictive. Cette antenne fictive comprend les éléments suivants :

— Fréquences de 150 à 1 500 kc/s

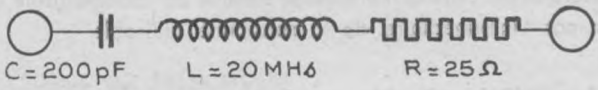


Fig. 128

— Fréquences de 1,5 Mc/s à 20 Mc/s.

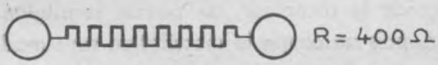


Fig. 129

2 - MESURES DE SENSIBILITE.

2.1 - Sensibilité maximum.

On réalise le montage de la figure 130. On règle le générateur étalonné sur la fréquence à laquelle on veut faire la mesure. On module à 400 c/s et à 30 % de façon à réaliser le *signal à l'entrée normale* (normalisé).

On accorde le récepteur et on pousse au maximum les manettes de réglage de la sensibilité et de la puissance. Puis on ajuste le niveau à l'entrée de façon à obtenir le *signal normal à la sortie*, normalisé à 50 mW.

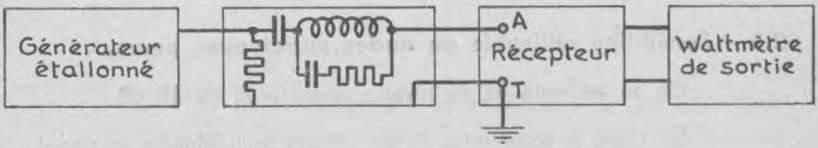


Fig. 130

Si le bruit de fond est négligeable la puissance mesurée correspond à la puissance utile. On a ainsi mesuré la sensibilité du récepteur que l'on évalue généralement en microvolts.

Si le bruit de fond est important il faut l'éliminer pour la mesure sinon celle-ci n'a plus de sens. Il est indispensable de passer par l'intermédiaire de la sensibilité utilisable.

2.2 - Sensibilité utilisable en téléphonie.

On cherche le niveau du signal d'entrée qui donne un signal de sortie normalisé à la condition toutefois que le rapport signal sur bruit soit de 26 décibels.

On accorde le récepteur, on pousse sensibilité et puissance au maximum, puis on coupe la modulation sans modifier la valeur de la porteuse, on note alors le bruit de fond. Si celui-ci est inférieur d'au moins 26 décibels du niveau du signal (0,125 mW) on admet que le signal utile correspond au signal total. Dans ce cas la sensibilité utilisable coïncide avec la sensibilité maximum.

Si le niveau de bruit est trop fort, on réduit la sensibilité, on augmente de façon convenable le signal à l'entrée et on opère comme précédemment.

Cette façon d'opérer doit être aménagée suivant la façon dont le récepteur est conçu. En tout cas il est préférable de laisser la puissance au maximum en réduisant la sensibilité (si possible uniquement sur les étages F.I. pour conserver un fort niveau signal/bruit.

Lorsqu'on ne peut pas déconnecter la commande automatique de sensibilité il faut augmenter le niveau du signal à l'entrée et réduire la puissance pour satisfaire aux deux conditions imposées.

2.3 - Sensibilité utilisable en ondes entretenues pures.

On se contente ici du niveau signal/bruit de 10 dB.

On régle le générateur de battements pour obtenir un signal de sortie de 400 c/s.

Sans générateur, la puissance étant au maximum, on régle la sensibilité de telle façon que le niveau de bruit soit 5 mW.

On rétablit le signal à l'entrée et on régle sa valeur pour obtenir le niveau de sortie de 50 mW. On a ainsi la sensibilité utilisable.

3 - MESURES DE SELECTIVITE.

3.1 - Mesures à un seul signal.

On mesure la sélectivité globale des circuits oscillants des divers étages en repérant les affaiblissements pour les fréquences environnant la fréquence de travail.

On opère en principe sans régulateur automatique de sensibilité et avec le réglage normal du récepteur défini ci-dessus. On modifie la fréquence du générateur en maintenant constant le niveau d'entrée. Mais comme la sélectivité est très élevée, le signal à la sortie diminue très rapidement et la mesure devient impossible.

Pour tourner ces difficultés on opère à signal d'entrée variable et à signal de sortie constant.

Dans ces conditions l'ampli B.F. fournit uniquement la réponse des étages H.F. La mesure de l'affaiblissement est remplacé par la mesure du renforcement du signal à l'entrée.

3.2 - Choix du signal à l'entrée.

Dans le cas d'un signal modulé deux causes d'erreur importantes peuvent apparaître :

1°) D'une part une fréquence de modulation trop élevée par rapport à la bande passante du récepteur qui donne une courbe de sélectivité à deux bosses. On a l'illusion d'un déréglage ou d'un défaut d'alignement.

D'où la normalisation de la modulation à 400 c/s. Cette fréquence de modulation peut cependant être trop forte avec un récepteur à réaction poussée.

Avec un signal entretenu on ne peut plus opérer comme précédemment, il faut relever le niveau de la porteuse avec un microampèremètre connecté en série dans la résistance de charge du détecteur.

3.3 - Particularités expérimentales.

Un certain nombre de précautions sont à prendre :

— pour bien opérer à la fréquence d'accord du récepteur.

— pour éviter tout glissement de fréquence. On contrôle en revenant de temps à autre au réglage d'accord. On évite les jeux mécaniques du générateur.

— pour éviter de saturer les étages d'entrée en voulant opérer sur une bande de fréquence trop importante.

Il faut opérer sans régulateur automatique de sensibilité mais si on ne peut le mettre hors de service il est nécessaire d'effectuer les mesures avec un niveau de signal assez faible pour que la régulation automatique n'intervienne pas, à condition que le signal utile soit assez fort pour dominer le bruit de fond.

La courbe peut comporter un certain nombre de points singuliers qui seraient passés inaperçus dans le relevé par points espacés de la courbe de sélectivité, il faut les repérer par une exploration préliminaire de la gamme.

3.4 - Relevé d'une courbe de sélectivité à l'oscilloscope.

Pour éviter le relevé par points d'une courbe de sélectivité on a mis au point un procédé pour relever à l'oscilloscope la courbe de sélectivité d'un récepteur. On peut ainsi en suivre les variations lors d'un réglage.

On attaque le récepteur par un générateur modulé en fréquence, on branche les plaques de déviation verticale en parallèle sur la résistance de détection. On synchronise le balayage horizontal avec le générateur. Dans ces conditions on observe sur l'écran une courbe de sélectivité.

3.5 - Réalisation pratique.

Le générateur à modulation de fréquence comprend un oscillateur et un tube à réactance qui est commandé par un générateur de tension à dents de scie, la fréquence des dents de scie est généralement celle du secteur. Comme l'ensemble n'est pas susceptible de fournir une déviation de fréquence suffisante pour couvrir au minimum la bande passante du récepteur (8 kc/s au minimum) on fait suivre l'ensemble tube à réactance et oscillateur par un ou plusieurs étages multiplicateurs de fréquence. L'appareil ainsi constitué porte le nom de *vobulateur*.

La tension à fréquence variable ainsi créée est appliquée à l'entrée du circuit du récepteur dont on veut relever la courbe de sélectivité (à la borne antenne si l'on veut relever la courbe de sélectivité globale du récepteur).

On prélève la tension détectée par le récepteur sur la résistance de charge de la diode de réception et on injecte cette tension sur les plaques de déviation verticale d'un oscilloscope.

On fait balayer les plaques de déviation horizontale par une tension en dents de scie synchrone de la tension en dents de scie du modulateur.

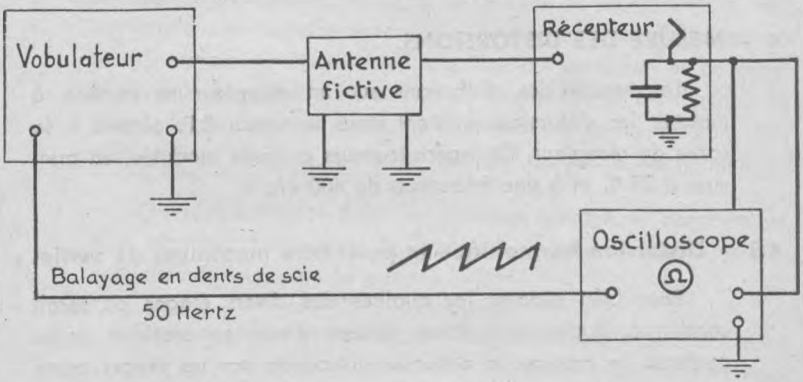


Fig. 131

Pour avoir un synchronisme parfait on utilise le même générateur à dents de scie qui est celui de l'oscilloscope (tous les oscilloscopes sont munis d'un générateur de balayage).

3.6 - Méthodes à deux signaux.

Le principe de cette mesure consiste à faire agir sur le récepteur deux signaux dont l'un représente le signal utile et le second un signal brouilleur ou parasite de façon à reproduire d'une façon aussi approchée que possible le comportement réel d'un récepteur.

En général on adopte les conditions suivantes :

Le signal utile et le brouilleur modulés à 400 c/s à 30 %.

Le brouilleur est écarté d'une fréquence Δ F de la fréquence du signal utile et on règle son niveau d'entrée de telle sorte qu'à la réception il donne un signal inférieur de 26 décibels au niveau du signal utile (rapport 20 en amplitude, 400 en puissance).

On peut ainsi tracer la courbe du niveau du brouilleur tolérable en fonction de Δ F.

Nous n'insisterons pas sur l'application de la méthode à deux signaux qui reste une méthode de vérification, en laboratoire, des qualités d'un récepteur.

4 - MESURE DES DISTORSIONS.

La mesure des distorsions sur un récepteur se ramène à mesurer les distorsions existant dans le signal B.F. obtenu à la sortie du récepteur. On opère toujours en onde modulée, en principe à 30 % et à une fréquence de 400 c/s.

4.1 - Distorsion harmonique et puissance maximum de sortie.

Pour bien séparer les qualités des divers étages on serait conduit à étudier séparément chacun d'eux, en pratique on se contente de mesurer la distorsion introduite par les étages basse fréquence et la distorsion globale.

4.1.1 - Distorsion à basse fréquence.

On n'utilise que les étages B.F. (position pick-up par exemple) et on fait agir sur ceux-ci un signal musical pur, parfaitement sinusoïdal, en poussant au maximum le réglage de puissance. On place en parallèle sur le H.P. ou sur le casque un dispositif de mesure de distorsion harmonique à impédance d'entrée élevée (pour ne pas introduire de perturbations sur le rendement de l'étage final).

On fait la mesure de la distorsion pour plusieurs fréquences de la gamme musicale. On repère le taux de distorsion pour chaque puissance de sortie.

Par déduction on peut déterminer la puissance de sortie en fonction de la fréquence du signal B.F. n'introduisant qu'une distorsion acceptable (5 à 10 %).

4.1.2 - Distorsion globale.

Cette mesure faite rarement, car elle donne des résultats peu précis, est conduite de la façon suivante.

On fait agir un générateur étalonné modulé à 400 c/s, avec un taux de modulation de 30 %, à l'entrée du récepteur. On met le récepteur en marche avec AVC ; on l'accorde sur la fréquence du générateur. On pousse la puissance au maximum et on règle le niveau du signal d'entrée et en même temps on diminue la puissance de façon à maintenir le niveau de sortie constant. On mesure pour chaque niveau le taux de distorsion harmonique.

On répète l'essai pour les diverses fréquences normales et pour plusieurs fréquences de modulation, souvent parmi les fréquences inférieures de la gamme.

Dans ce mode opératoire les étages B.F. travaillent à niveau constant et la distorsion harmonique correspondante reste connue et faible (5 à 10 %).

4.2 - Distorsion en fréquence de modulation - Fidélité.

La mesure de la distorsion en fréquence se ramène à étudier la loi de variation du niveau de sortie en faisant agir à l'entrée un signal modulé de niveau et de taux de modulation constants mais de fréquence de modulation variable.

Le récepteur fonctionne avec AVC, sa manette de puissance étant ajustée de telle façon que l'on obtienne à la sortie un signal B.F. de niveau suffisant pour que l'on puisse utilement mesurer ses variations.

On mesure la valeur de la puissance de sortie pour chaque fréquence de modulation. On trace la courbe en décibels en se reférant à la valeur maximum de la puissance de sortie (Fig. 132).

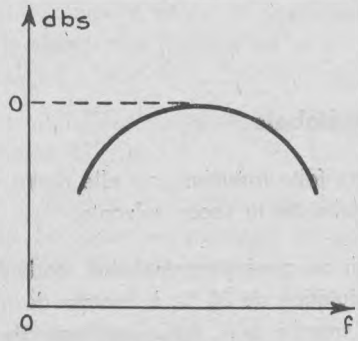


Fig. 132

5 - ETUDE DU REGULATEUR AUTOMATIQUE DE SENSIBILITE.

Le régulateur automatique de sensibilité est en fait un réducteur de la sensibilité des étages de haute fréquence et de fréquence intermédiaire. Le contrôle de son efficacité consiste à repérer le niveau de sortie pour un isgnal d'entrée de niveau variable.

On opère en général à partir du niveau de sortie maximum tolérable pour un bon fonctionnement de l'appareil, et en diminuant le niveau du signal d'entrée.

La figure 151 donne l'aspect de la courbe correspondant à un fonctionnement correct.

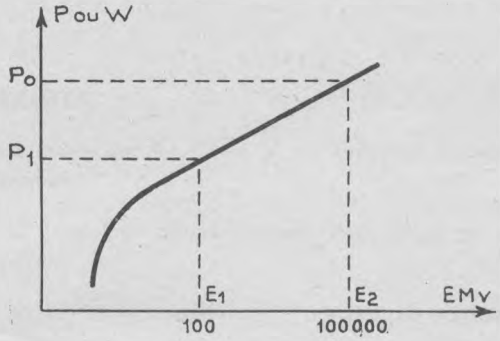


Fig. 133

CHAPITRE IX

MESURES SUR LES LIGNES ET LES ANTENNES

1 - GENERALITES.

Les mesures sur les lignes et les antennes doivent permettre de déterminer :

— si l'émetteur débite sur son impédance de charge normale.

— si l'antenne possède les propriétés de rayonnement prévues.

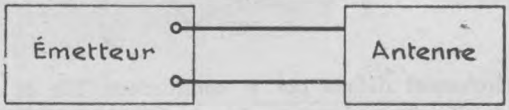


Fig. 134

Dans la majorité des cas l'émetteur se trouve branché à l'antenne par l'intermédiaire d'une ligne qui ne doit pas rayonner d'énergie et dont le rendement énergétique doit être maximum.

Les lignes à ondes progressives sont utilisées pour les lignes longues, les lignes à ondes stationnaires pour les lignes courtes (longueur maximum des lignes courtes : $\frac{\lambda}{2}$).

Les mesures sur les lignes et les antennes consisteront donc à évaluer :

— l'impédance équivalente à l'entrée de l'ensemble ligne antenne côté émetteur.

— l'impédance caractéristique de la ligne.

— les caractéristiques de rayonnement de l'antenne.

2 - MESURE DES IMPEDANCES DE LIGNES ET D'ANTENNES.

Tout émetteur débite une certaine puissance H.F. entre ses bornes A.B. dans l'antenne par l'intermédiaire d'une ligne. On est par suite amené à calculer l'impédance Z_e équivalente à l'ensemble antenne ligne dans laquelle la même puissance serait dissipée. Cette impédance constitue la charge de l'émetteur, elle

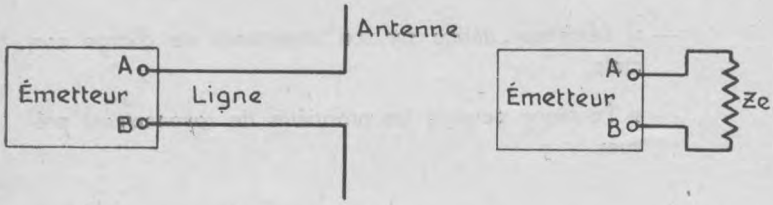


Fig. 135

est généralement définie par le constructeur. Elle se mesure au moyen du Q mètre selon les méthodes exposées dans le chapitre relatif à la mesure des impédances en haute fréquence. On peut de la même façon calculer l'impédance équivalente à une antenne au moyen du même appareil. Les détails de la méthode à utiliser sont exposées ci-dessous.

2.1 - Mesure des impédances d'antenne.

2.1.1 - L'antenne possède un pôle à la masse (antennes fouets, antennes verticales).

Elle se présente donc comme une impédance

$$Z = \sqrt{R_x^2 + X^2}$$

ayant un pôle à la masse.

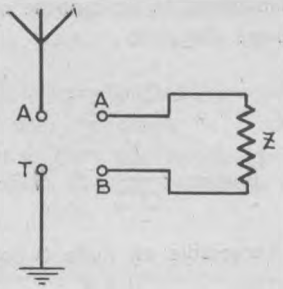


Fig. 136

Si le module de Z est grand on est amené à la mesure des grandes impédances. On place alors la prise antenne au point chaud de la capacité C.

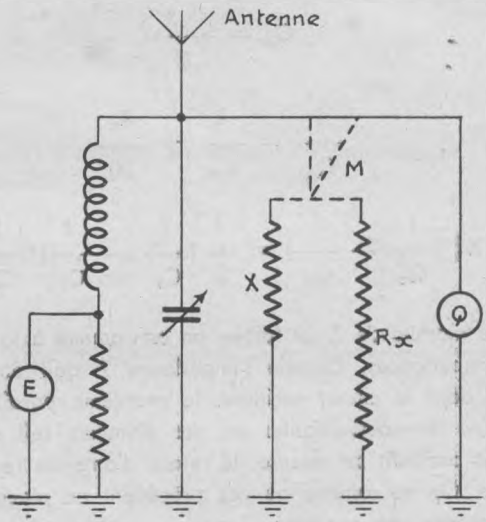


Fig. 137

Avec un commutateur M on branche ou on enlève l'antenne on a alors le groupe d'égalités :

$$L\,C_1\,\omega^2 = 1$$

$$\left(L\,\omega - \frac{1}{C^2\,\omega} \pm X\right) = 0$$

(la réactance de l'ensemble est nulle à l'accord) :

$$\frac{1}{C_1\,\omega} - \frac{1}{C_2\,\omega} \pm X = 0$$

$$\pm X = \frac{1}{C_2\,\omega} - \frac{1}{C_1\,\omega} = \frac{1}{\omega}\left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1}\right)$$

Suivant le signe de $\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1}$ on aura soit une réactance de self (+) soit une réactance de capacité (—)

$$Q_1 = \frac{L\,\omega}{R}$$

$$\frac{1}{Q_2} = \frac{R}{L\,\omega} + \frac{R_x}{(X)}$$

$$R_x = |X|\left(\frac{1}{Q_2} - \frac{1}{Q_1}\right) = \frac{1}{\omega}\left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1}\right)\left(\frac{1}{Q_2} - \frac{1}{Q_1}\right)$$

Si le module de Z est faible, on est ramené à la mesure des faibles impédances. Comme l'impédance Z doit être branchée en série dans le circuit oscillant, le problème paraît impossible sous peine de court-circuiter un des éléments self ou capacité du circuit oscillant de mesure, le retour d'antenne se faisant par la masse. On se ramène au cas précédent en plaçant en série avec l'antenne une capacité C connue, de façon à ramener l'impédance à mesurer à une forte valeur.

2.1.2 - L'antenne est symétrique (antenne doublet, antenne alimentée par un feeder).

La méthode reste la même que précédemment si l'antenne est équivalente à une impédance de module élevée. Dans le cas contraire, il est toujours possible de la monter en série dans le circuit oscillant entre le point chaud de la capacité et de la self.

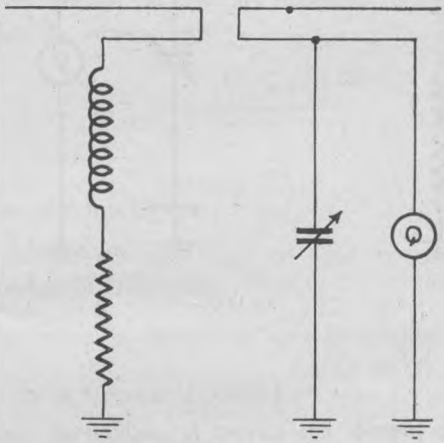


Fig. 138

Dans ces conditions en utilisant un commutateur M on a :

pour M fermé. $L\,C_1\,\omega^2 = 1$

pour M ouvert : $L\,\omega \pm X_a - \dfrac{1}{C_2\,\omega} = 0$

$$\pm X_a = \frac{1}{C_2\,\omega} - L\,\omega = \frac{1}{C_2\,\omega} - \frac{1}{C_1\,\omega} = \frac{1}{\omega}\left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1}\right)$$

Pour $\dfrac{1}{C_2} - \dfrac{1}{C_1} > 0 \quad X_a = L_a\,\omega$ (1)

$\dfrac{1}{C_2} - \dfrac{1}{C_1} < 0 \quad X_a = \dfrac{1}{C_a\,\omega}$ (2)

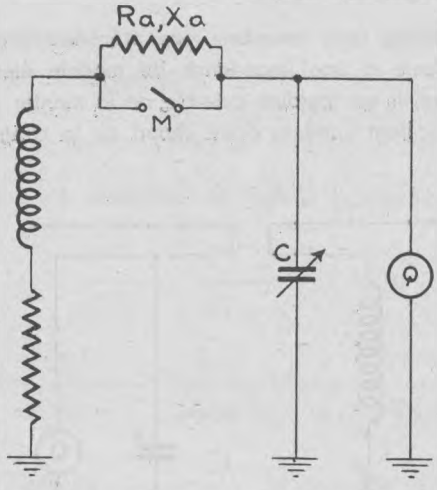


Fig. 139

Dans le premier cas suivant la position du commutateur M les coefficients de surtension Q_1 et Q_2 sont définis de la façon suivante :

$$Q_1 = \frac{L\,\omega}{R}$$

$$Q_2 = \frac{L\,\omega \pm L_a\,\omega}{R + R_x}$$

En remplaçant $L\,\omega$ par $\frac{1}{C_1\,\omega}$ et $L_a\,\omega$ par $\frac{1}{\omega}\left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1}\right)$

On obtient : $R_x = \frac{1}{\omega}\left(\frac{1}{C_2\,Q_2} - \frac{1}{C_1\,Q_1}\right)$

Dans le deuxième cas les coefficients Q_1 et Q_2 sont définis par :

$$Q_1 = \frac{L\,\omega}{R}$$

$$Q_2 = \frac{L\,\omega}{R + R_x}$$

On est ramené au cas des capacités de faible impédance (c'est-à-dire de forte valeur)

$$R_x = \frac{1}{\omega}\left(\frac{Q_1\,C_1 - Q_2\,C_2}{Q_1\,Q_2 \quad C_1\,C_2}\right).$$

2.2 - Mesure sur les lignes.

Un élément infiniment petit de ligne est constitué par l'ensemble complexe ci-dessous :

Si l'on prend un élément de ligne de longueur faible vis-à-vis du quart de la longueur d'onde : $l = \frac{\lambda}{20}$ l'impédance ramenée de la ligne est sensiblement

(1) $Z_1 = l\sqrt{(R^2 + L^2\,\omega^2)}$ pour CD en court-circuit

(2) $\frac{1}{Z_2} = l\sqrt{(G^2 + C^2\,\omega^2)}$

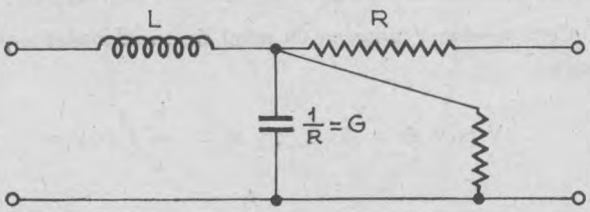


Fig. 140

Dans le premier cas la ligne se présente comme une impédance de faible valeur, dans le 2e cas comme une impédance de forte valeur.

On applique par suite les méthodes exposées dans le paragraphe précédent.

On en déduit les valeurs de R, L, G et C ainsi que celle de l'impédance caractéristique qui est donnée par la formule :

$$Z^2_c = Z_1 \, Z_2 \, .$$

3 - RELEVE DES DIAGRAMMES DE RAYONNEMENT D'ANTENNE.

Le rayonnement d'une antenne dans l'espace est caractérisé par la valeur du champ qu'elle crée à grande distance dans toutes les directions. En un point de l'espace défini par sa distance et ses coordonnées (x y z) la valeur du champ est :

$$E\,(x\ y\ z) = \frac{k}{r}\,F\,(x\ y\ z).$$

La fonction F (x y z) est une surface appelée surface de rayonnement au facteur de forme. Généralement on coupe cette surface soit par un plan vertical, on obtient alors une courbe qui est le diagramme de rayonnement vertical de l'antenne, soit par un plan horizontal on obtient le diagramme de rayonnement horizontal.

Il faut matérialiser par des mesures ces diagrammes de rayonnement qui définissent les propriétés directives des antennes.

La mesure se fait en remarquant qu'il y a proportionalité entre le champ qui frappe une antenne de réception et la tension continue prise sur la résistance de détection du récepteur.

Cette tension V prise en un point de coordonnées x y z peut s'écrire :

$$V\,(x\ y\ z) = K'\,E\,(x\ y\ z) = \frac{k}{r}\,F\,(x\ y\ z)$$

$$V\,(x\ y\ z) = \frac{A}{r}\,F\,(x\ y\ z)$$

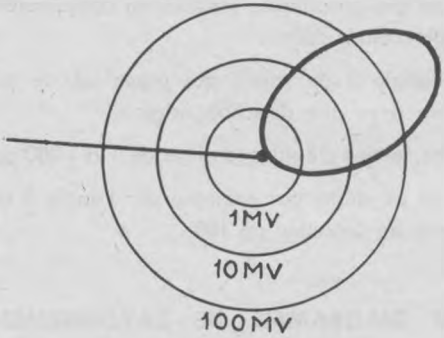


Fig. 141

Si on effectue la mesure de la tension en tous les points d'une sphère de rayon r, on obtient une surface semblable à la surface F (x y z) dont la représentation suffira pour définir les propriétés directives de l'antenne.

Pratiquement on relève les diagrammes de rayonnement dans le plan vertical et dans le plan horizontal. Les résultats se

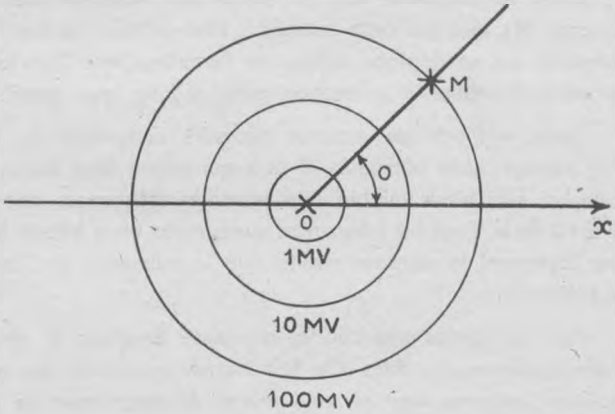


Fig. 142

font en utilisant des graphiques gradués en coordonnées polaires ; un point du plan étant défini :

1°) par l'angle 0 du rayon qui passe par le point où est faite la mesure avec une direction origine,

2°) par des cercles d'égales tensions de 1 à 1 000 par exemple.

Le point M est défini par exemple par l'angle 0 et la tension sur la résistance de détection de 100.

4 - RELEVE DU DIAGRAMME DE RAYONNEMENT HORIZONTAL.

On peut opérer de deux façons différentes suivant que l'on veut relever le diagramme de rayonnement d'une antenne de réception ou d'une antenne d'émission.

On utilise dans le premier cas un émetteur mobile travaillant en OEP dont l'antenne sera orientée de façon à ce que la polarisation de son antenne soit la même que celle de l'antenne du récepteur envisagé. On place l'émetteur à une distance r du récepteur (en principe quelques kilomètres si l'émetteur a une puissance de l'ordre de 10 watts). On mesure sur le récepteur la valeur de la tension continue détectée et l'on recommence l'opération en décrivant tout autour du récepteur un rayon de cercle r.

Dans le deuxième cas on utilise un récepteur mobile, le principe des mesures reste le même sauf qu'elles se font sur le récepteur qui se déplace autour de l'émetteur que l'on fait évidemment travailler à puissance aussi réduite que possible.

Cette méthode de mesures nécessite cependant un terrain bien dégagé, sans bâtiments ni bois qui puisse faire écran. C'est pourquoi elle n'est valable que pour les fréquences allant jusqu'à 10 Mc/s. Pour les fréquences supérieures on a intérêt à diminuer fortement la distance r ainsi que la puissance de l'émetteur de référence.

Pour les ondes très courtes on laisse émetteur et récepteur à des emplacements fixes. On fait tourner autour de son axe de symétrie l'antenne dont on veut relever le diagramme de rayonnement.

IIe PARTIE

Technique du Dépannage en Radioélectricité

CHAPITRE PREMIER

METHODE GENERALE DE DEPANNAGE

Dépanner un appareil devenu défectueux, c'est le remettre en état de bon fonctionnement et lui redonner les caractéristiques indiquées par le constructeur.

Le dépannage requiert de nombreuses qualités : connaissance technique du fonctionnement général des ensembles radioélectriques et des appareils de mesures nécessaires, ordre, patience, et surtout méthode dans le travail.

Il s'effectue en deux étapes :

1. La recherche et le diagnostic des pannes.

2. La réparation proprement dite.

La première étape est certainement la plus difficile, du fait de la diversité des appareillages, et nécessite le maximum d'esprit de méthode.

C'est cette méthode à adopter ou mieux la marche à suivre dans le travail qui sera indiquée dans les chapitres suivants. Les indications données présentent obligatoirement un caractère très général, puisque valables pour des appareillages de types extrêmement différents. Elles devront donc être complétées, dans chaque cas particulier, par une étude attentive des notices correspondantes.

Ce n'est que lorsqu'on n'aura pas ces renseignements à sa disposition, ou lorsqu'ils n'auront pas permis de déterminer le siège de la panne, que l'on devra recourir à la méthode générale exposée par la suite. Toute autre manière d'opérer conduirait à des pertes de temps.

1 - FICHES DE POSTES.

Les renseignements fournis par l'utilisateur de l'appareil éclairent souvent le dépanneur sur l'origine de la panne et ses manifestations. Il est donc très utile de faire suivre chaque appareil d'une fiche qui recueille les observations à chaque fin le service et permet d'autre part de contrôler la durée de fonctionnement des éléments constitutifs.

Exemple de fiche de poste :

POSTE SCR-193 n° 7

DATES DE		NOM ET GRADE DE L'UTILISATEUR	ETAT DU POSTE	OBSERVATIONS
Perception	Réintégration			
8-12-51	22-12-51	Aspirant TRADER	B	Changé la VT 4 C du M.O.
4-1-52	10-1-52	Sgt-chef BAILLOT	M	Pas de minimum P.A.
10-1-52	11-1-52	Atel. dépannage	B	Condensateur accord TV 6 en C/C. Vérification générale.
15-1-52	15-1-52	Caporal DUVAL	M	Pas de déviation antenne.
15-1-52	15-1-52	Atel. dépannage	B	Mauvais réglage de l'opérateur.

Enfin, au cours de ses recherches, le dépanneur, tout en appliquant les méthodes indiquées, doit constamment se servir de tous ses sens. Les alinéas qui suivent donnent des indications sur les constatations qui peuvent être faites.

Mais attention : Il ne faut pas laisser l'appareil sous tension plus de quelques secondes tant que l'on a pas acquis la certitude que cela ne risque pas d'aggraver la panne.

La vue :

Avant de mettre le poste sous tension, regarder s'il y a :

— des conducteurs cassés ou dessoudés,

— des pièces brisées ou carbonisées,

— des fusibles grillés,

— des pièces en court-circuit,

— des vis ou écrous désserrés.

Le poste étant sous tension, rechercher si on aperçoit :

— des lueurs violettes dans certains tubes,

— de la fumée,

— des étincelles.

L'odorat :

L'appareil étant en fonctionnement depuis quelques minutes, il peut être possible de décéler une odeur anormale telle que celle de :

— compound de scellement indiquant un transformateur surchargé,

— peinture brûlée indiquant une résistance surchauffée,

— caoutchouc brûlé indiquant un mauvais isolement,

— œufs pourris indiquant un redresseur sec qui chauffe anormalement.

L'ouïe :

Le poste étant sous tension, écouter si l'on entend :

— des sifflements,

— un grésillement,

— un bourdonnement.

Avec l'expérience, un bruit déterminé permettra souvent de déceler rapidement la nature de la panne. Les bruits les plus courants seront d'ailleurs analysés au chapitre IV concernant les récepteurs.

Le toucher :

Lorsque l'appareil vient de fonctionner pendant un certain temps, couper l'alimentation et *s'assurer de la décharge des condensateurs.*

Toucher alors avec précaution les différentes pièces telles que résistances, transformateurs et condensateurs. Si certaines de ces pièces sont surchauffées, il peut y avoir là une indication sur la nature de la panne.

Ces observations préliminaires permettent souvent de trouver une pièce défectueuse (ou des pièces défectueuses) qu'il conviendra de remplacer. Mais il faut remarquer que la pièce détériorée n'est pas *nécessairement* l'organe ayant provoqué la panne. Celui-ci peut lui être simplement associé.

Il arrive par exemple qu'une résistance soit grillée parce qu'elle est surchargée par suite d'un court-circuit. Il ne suffirait pas alors de remplacer la résistance : la nouvelle pièce serait soumise à la même cause de détérioration. Il faut supprimer tout d'abord le court-circuit, *cause première* de la panne. Tant que l'on n'a pas décélé cette cause première, le dépannage n'est pas effectué car les pièces de rechange mises en place seraient de nouveau détériorées, pour la même raison qu'à l'origine.

Ces premières constatations étant faites, il convient ensuite de vérifier et dépanner méthodiquement l'ensemble de l'appareillage, toutes les défectuosités de fonctionnement ne se traduisant pas nécessairement de façon aussi évidente.

On procède alors aux six opérations successives qui seront analysées en détails dans les chapitres suivants :

1. *Vérification de l'alimentation.*

2. *Vérification des accessoires.*

3. *Examen complet de l'appareil lui-même.*

4. *Localisation de l'étage en panne.*

5. *Détermination de l'organe défectueux.*

6. *Réparation proprement dite.*

Tout dépannage d'appareil émetteur ou récepteur doit être complété par une vérification de son fonctionnement, avec les mises au point et réglages nécessaires pour obtenir le meilleur fonctionnement.

Pour un récepteur, cette opération a reçu le nom d'alignement. Cette question fait l'objet de développements détaillés dans le chapitre VIII.

Des indications sont également données sur ce point pour le cas des émetteurs, au chapitre V.

CHAPITRE II

VERIFICATION DE L'ALIMENTATION

Les pannes proviennent parfois de l'alimentation. Mais il est surtout fréquent qu'un défaut de l'appareillage entraîne la mise hors service d'une partie de l'alimentation en lui imposant une surcharge excessive. Par suite, avant toute autre opération, il est nécessaire de procéder au contrôle de son fonctionnement.

En particulier *une règle absolue* devra être observée avant quelqu'essai que ce soit.

Un appareil ne doit en aucun cas être mis sous tension sans avoir mesuré l'isolement du circuit H.T. de l'appareillage qui ne doit pas être inférieur à plusieurs milliers d'ohms, ce qui indiquerait un court-circuit H.T. et risquerait d'endommager plus gravement encore l'alimentation.

On notera toutefois que cette mesure étant faite sous les basses tensions des piles de l'ohmmètre ne prouve pas qu'un amorçage ne puisse se produire quand on appliquera la H.T. de l'alimentation. En conséquence les opérations de vérification qui sont mentionnées par la suite doivent être effectuées avec beaucoup de précaution et de célérité.

Pratiquement, il faut garder la *main sur l'interrupteur* de mise en marche, tandis qu'on note les indications du voltmètre, pour pouvoir couper immédiatement le courant, si le défaut indiqué dans le tableau est constaté.

Quand on essaie un système d'alimentation, il faut le séparer de l'appareil et le brancher sur une résistance égale à l'im-

pédance d'utilisation et d'assez forte puissance pour éviter qu'elle ne soit mise hors d'usage.

Exemple :

BC 312

H.T. : 224 volts, 80 milliampères de débit

$$R = \frac{224 \times 1\,000}{80} = 2\,800 \text{ ohms}$$

Puissance : VI ou RI^2 = 17,92 W.

Prendre une ampoule de 220 V/20 W par exemple ou une résistance de 2 800 ohms/50 W.

Ne jamais mettre l'alimentation sous tension sans avoir vérifié l'état des fusibles et leurs valeurs.

BC 312 FU 21 A : 10 A/25 volts

BD 77 du BC 191 :

FU 13 : 30 A/250 volts,

FU 22 : 60 A/250 volts,

FU 18 A : 1 A/1 000 volts.

Il est d'ailleurs utile dans ce cas de mesurer la tension continue et la tension d'ondulation résiduelle (Fig. 1).

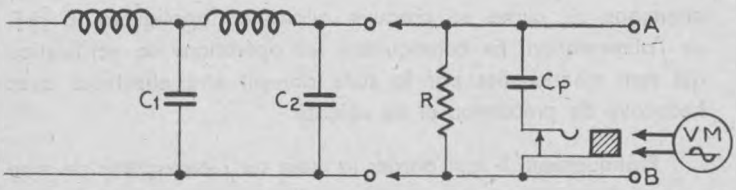


Fig. 1

L'appareil de mesure alternatif se branche après que le redresseur a été mis en service, le courant de charge du condensateur de protection C_p pouvant endommager le voltmètre.

1 - RECEPTEURS ET EMETTEURS DE FAIBLE PUISSANCE.

Les sources utilisées pouvant être de types variés, chacun de ces procédés sont analysés successivement et les opérations de vérification détaillées dans chaque catégorie.

1.1 - Piles.

Les bruits, le manque de puissance, le fonctionnement irrégulier du poste sont souvent provoqués par l'usure des piles. Il est important de consulter les manuels techniques qui donnent les valeurs limites.

Exemple : SCR-536 - Poste BC-611.

Réception :

Pile BA-37	Tension 1,5 V normal	1,35 minimum
	Débit 300 mA normal	
	275 mA minimum	

Emission :

Pile BA-38	Tension 103 V normal	75 V minimum
	Débit 30 mA normal	
	26 mA minimum	

Exemple : SCR-609-610 - Poste BC-620.

Réception :

Pile BA-40	Tension 1,5 V normal	1,1 V minimum
	Débit 0,7 A normal	
	0,55 A minimum	

Emission :

Pile BA-39	Tension 150 V normal	110 V minimum
	Débit 45 mA normal	
	35 mA minimum	

Il est dangereux pour le câblage et les contacts de laisser les piles à l'intérieur des postes (SCR-536 notamment) après usage, les sels attaquent, rongent le métal, les piles gonflent et sont très

difficiles à ôter. Nettoyer les contacts avec de la toile émeri très fine et usée, terminer au papier journal pour avoir des surfaces de contact très lisses.

Il faut toujours essayer les piles en débit.

Le lot d'alignement IE-17 du SCR-536 comprend un boîtier I-135-E qui permet entre autres la vérification des BA-37 et BA-38 en tension et débit. Ces mesures sont souvent négligées et ont pour conséquence, un rendement souvent très faible des appareils qui se traduit par une portée dérisoire. Il est par ailleurs fortement conseillé d'essayer en conditions normales de fonctionnement les appareils avant de les livrer aux utilisateurs.

1.2 - Accumulateurs.

Les accumulateurs ne servent ordinairement pas directement à alimenter les postes radio. Ils sont les réservoirs d'énergie des convertisseurs rotatifs. Il faut qu'ils soient proportionnés à la puissance à fournir au poste.

Exemple : SCR-193 :

180 Ah/12 V.

Exemple : SCR-610 :

Batterie du véhicule jeep 6 V/ 90 Ah en général
6 V/105 Ah en principe.

En présence d'une tension trop faible, il faut avant tout nettoyer et bien resserrer les connexions sur l'accumulateur. Si c'est insuffisant, on peut remédier aux défauts les plus courants, en suivant les indications du tableau ci-dessous.

TABLEAU DE QUELQUES PANNES ET LEURS REMEDES

PANNES	CAUSES	REMEDES
Tension de la batterie trop faible.	Batterie déchargée. Eléments défectueux. Niveau d'électrolyte trop bas. Mauvaises connexions. Bornes corrodées.	Recharger la batterie. Vérifier chaque élément en prenant la tension. Remplir d'eau distillée. Nettoyer et resserrer les connexions.
La batterie se décharge très vite.	Batterie pas assez chargée. Niveau de l'électrolyte trop faible. Elément défectueux.	Vérifier le débit imposé à la batterie. Remplir d'eau distillée. Le remplacer.
La batterie se décharge très vite.	Régime de charge excessif. Sulfatation. Batterie vieille, usure normale : boues au fond. Batterie restée au repos déchargée.	Donner à la batterie une surcharge lente.
Niveau d'électrolyte baisse trop vite.	Bac cassé ou fendu. Charges excessives. Evaporation due à la température trop élevée.	Remplacer le bac ou batterie. Additionner d'eau distillée.
Bac cassé ou fendu.	Vibration. Gel. Mauvais traitements.	Remplacer bac. Revoir fixation.

PANNES	CAUSES	REMEDES
Electrolyte change de couleur (vu dans le densimètre).	Batterie vieille. Surcharge. Régime de charge excessif. Température de fonctionnement trop élevée.	Réduire le régime de charge.
Formation d'écume.	Eléments tels que graisse animale ou huile.	Elimination sous forme d'écume ; si l'élimination tarde, vider et remettre électrolyte correct.
Corrosion et saleté sur la batterie (pièce métalliques adjacentes attaquées).	Batterie non nettoyée après la charge. Eléments débordent. Dégagement de gaz excessif pendant la charge. Bornes non graissées.	Laver à grande eau et essuyer. Brosser et enduire de vaseline.

1.3 - Vibreur.

Un système d'alimentation par vibreur comporte les éléments principaux suivants : le vibreur proprement dit, le transformateur, le redresseur et filtres. Une panne a souvent pour cause un court-circuit, un circuit ouvert, un vibreur en panne, un redresseur, un filtre défectueux. Si le vibreur fonctionne normalement, on entend un léger ronflement et on sent une légère vibration au toucher. Si le vibreur ne fonctionne pas, vérifier si les éléments du filtre d'entrée ne sont pas coupés (self d'arrêt H.F. et C.1).

Si le vibreur fonctionne, mesurer la tension alternative au secondaire en employant un voltmètre alternatif sur son échelle

la plus forte. Une tension nulle, indique une coupure du transformateur ou un court-circuit du condensateur parallèle appelé aussi étouffeur C.2.

Le reste du système est analogue à celui fonctionnant sur courant alternatif et peut être essayé comme on le verra plus loins.

Schéma type du système d'alimentation vibreur-transformateur redresseur (type le plus courant) (Fig. 2).

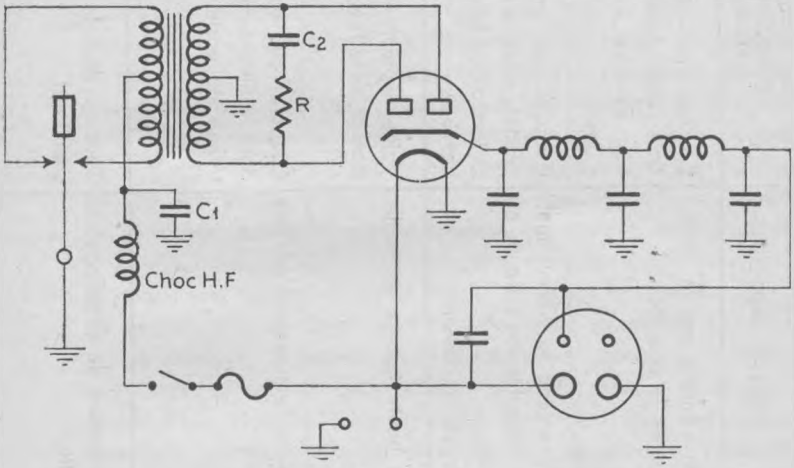


Fig. 2

Nota. - Il existe des systèmes auto-redresseurs dans lesquels il n'y a pas de valve (ex. le vibreur du SCR-593).

Vérification du vibreur : Appliquer le 6 ou 12 V (suivant type de VB) sur grosses broches pour la majorité ou suivant notice, *la main doit ressentir les vibrations.*

TABLEAU DES PANNES ET LEURS REMEDES POSSIBLES

OPERATIONS A EFFECTUER	RESULTATS OBSERVES	CONCLUSIONS A EN TIRER	REMEDES POSSIBLES
Le poste à l'arrêt, brancher un voltmètre continu à la sortie du filtre entre plus et moins de la haute tension. Mettre le poste sous tension.	On n'entend pas le vibreur couper le courant.	Coupure ou court-circuit dans l'arrivée de l'alimentation ou bien vibreur hors d'usage.	Rechercher la coupure ou court-circuit, changer le vibreur.
	On entend le vibreur mais la haute tension est nulle ou faible. Couper le courant.	Coupure ou court-circuit possible dans le circuit haute tension ou bien filtre défectueux.	Passer à l'opération suivante.
Débrancher la connexion d'entrée du filtre et brancher un voltmètre continu entre la masse et la sortie du redresseur (valve ou vibreur synchrone). Mettre le poste sous tension.	La haute tension est nulle.	Valve, vibreur ou transformateur défectueux.	Vérifier ces organes et changer ceux qui sont défectueux.
	La haute tension n'est pas nulle.	Coupure ou court-circuit dans le filtre ou bien à l'intérieur du poste.	Vérifier les organes du filtre et changer ceux qui sont défectueux ; s'ils sont bons, rechercher le défaut du circuit haute tension du poste.
Brancher un voltmètre entre les deux broches filament d'un support de lampe. Mettre le poste sous tension.	La tension de chauffage est nulle.	Coupure dans le circuit de chauffage.	Rechercher la coupure.

1.4 - Convertisseurs rotatifs.

Pour les récepteurs et les émetteurs de petite puissance, un moteur électrique basse tension 6 ou 12, quelquefois 24 V est accouplé à une dynamo ou monté avec un inducteur commun, c'est le dynamotor.

Exemples : DM 21 du BC-312
DM 34 D du SCR-608 A.

Quand la rotation de la dynamo est entraînée par une manivelle à main, l'ensemble est un génémotor.

Exemple : GN-45 du SCR-284 - Rotation 60 t/m.

Les défauts habituels dans les convertisseurs sont : balais usés, contacts et collecteurs sales. Les balais usés font du bruit et donnent des fluctuations à la sortie, ils doivent être remplacés quand ils ont moins de 0,5 cm de longueur mesurée du collecteur au ressort de pression du balai. Attention, il faut toujours remettre un balai enlevé pour une raison quelconque dans le même porte-balai et dans la même position. Les connexions souples des balais doivent être vérifiées, car une connexion souple cassée fait passer le courant par le ressort de pression qui chauffe, se détrempe et a une pression faible. Un collecteur malpropre fait du bruit et donne une tension de sortie faible. On peut le nettoyer avec du papier de verre fin et bien l'essuyer avec un chiffon sec, ne jamais employer le papier émeri dont l'action abrasive continue longtemps. Le système d'alimentation doit être essayé en charge avant d'être branché à un appareil. Ceci peut être réalisé en branchant une résistance en dérivation sur la sortie du système d'alimentation calculée comme au chapitre I : VERIFICATION DE L'ALIMENTATION. La tension et le courant de l'alimentation, le courant débité par la batterie (mesurés plusieurs fois) doivent concorder avec celles indiquées sur le manuel technique.

TABLEAU DE PANNES AVEC REMEDES POSSIBLES

OPERATIONS A EFFECTUER	RESULTATS OBSERVES	A EN TIRER CONCLUSIONS	REMEDES POSSIBLES
1. Le poste à l'arrêt, brancher un voltmètre continu à la sortie de l'alimentation. Mettre le poste sous tension.	Le convertisseur tourne difficilement et la haute tension est nulle ou faible. Couper le courant.	Cour-circuit possible dans le circuit haute tension du côté convertisseur dans le filtre, à l'intérieur du poste.	Passer à l'opération 2.
	Le convertisseur tourne normalement mais la H.T. est nulle.	Coupure dans le convertisseur (H.T.) ; la self de filtrage ou les conducteurs qui les relient.	Rechercher la coupure en vérifiant d'abord les conducteurs, puis la self, enfin le convertisseur, changer les organes défectueux ou réparer la coupure.
	Le convertisseur ne tourne pas.	Coupure dans le circuit d'alimentation du convertisseur ou l'enroulement primaire.	Rechercher la coupure, changer le convertisseur.
2. Débrancher le fil « plus » haute tension côté poste et brancher le voltmètre à la sortie du filtre, mettre le poste sous tension.	Le convertisseur tourne difficilement et la haute tension est nulle. Couper le courant.	Court-circuit dans le filtre (C ou L) ou bien dans le circuit H.T. côté convertisseur.	Passer à l'opération 3.
	Le convertisseur tourne normalement et la H.T. est normale.	Court-circuit dans le circuit H.T. à l'intérieur du poste.	Rechercher le court-circuit.
3. Débrancher la connexion d'entrée du filtre et brancher le voltmètre entre masse et la plus haute tension venant du convertisseur. Mettre le poste sous tension.	Le convertisseur tourne difficilement et la H.T. est nulle ou faible. Couper le courant.	Court-circuit dans le circuit H.T. côté convertisseur (enroulement et connexions).	Rechercher le court-circuit, changer le convertisseur défectueux.
	Le convertisseur tourne normalement et la H.T. est normale.	Court-circuit dans le filtre.	Vérifier le filtre et changer les organes défectueux.
4. Brancher un voltmètre entre les deux broches filament d'un support de lampe. Mettre le poste sous tension.	La tension de chauffage est nulle.	Coupure dans le circuit de chauffage.	Rechercher la coupure.

1.5 - Alimentation par le courant alternatif.

Une méthode d'essai à l'ohmmètre des circuits filtre pour rechercher la partie défectueuse consiste à vérifier la résistance à l'entrée et à la sortie des circuits. En comparant les valeurs à celles indiquées dans le manuel technique la partie défectueuse peut être déterminée. Un avantage de cette méthode, c'est que l'alimentation ne débite pas pendant cet essai. Ainsi aucune détérioration ne peut se produire en aucune partie du fait d'un courant excessif en cas de court-circuit. La plupart des systèmes d'alimentation ont un petit condensateur de dérivation connecté à l'entrée entre chaque fil de la ligne d'alimentatoin et la terre comme le montre le schéma pour empêcher les bruits H.F. de pénétrer dans l'équipement par la ligne du secteur. Comme la résistance en courant continu du primaire est faible, il faut déconnecter les condensateurs et les vérifier sur un capacimètre. Essayer ensuite le transformateur à vide et vérifier les tensions au secondaire (attention : un transformateur qui donne les tensions correctes et qui chauffe exagérément peut avoir quelques spires en court-circuit au primaire). Vérifier ensuite l'état du filtre, la continuité de la self de filtrage, l'état des condensateurs, du diviseur de tension.

Si la self de filtre était court-circuitée, les lectures à l'entrée et à la sortie seraient identiques. Si la self d'arrêt était coupée, la lecture à l'entrée serait très élevée (résistance de fuite du premier condensateur) et la résistance à la sortie serait pratique-

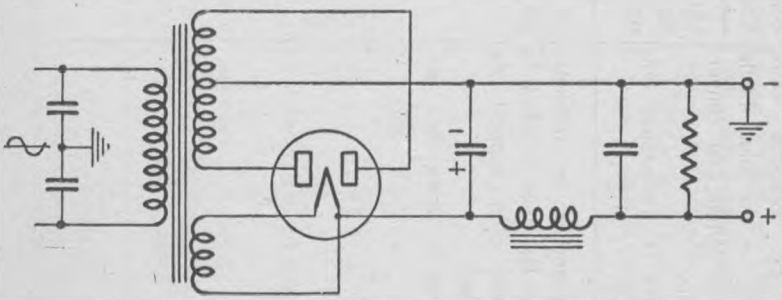


Fig. 3

ment normale. Si l'un ou l'autre condensateur était coupé, les deux lectures demeureraient à peu près les mêmes. Si la première capacité était court-circuitée, la résistance à l'entrée serait faible et la résistance à la sortie serait celle du diviseur de tension en parallèle avec celle de la self d'arrêt. Si la seconde capacité était court-circuitée, la lecture à l'entrée serait la résistance de la self d'arrêt et la résistance de sortie serait très faible.

2 - EMETTEURS A GRANDE PUISSANCE.

Il faut distinguer deux catégories :

a) Ceux qui n'excèdent pas un kilowatt environ.

Exemple : SCR-399 : 400 à 500 watts

SIPL B 72 : 500 à 600 watts - LORENTZ CQCT 1 kW 2.

L'alimentation du dernier étage est seule différente, celle des étages intermédiaires est classique et vue au paragraphe courant alternatif.

La H.T. des émetteurs puissants est de plusieurs milliers de volts et son contrôle se fait par appareil incorporé au châssis d'alimentation.

Le circuit primaire du transformateur H.T. comprend des sécurités qui sont des interrupteurs en série. Il faut que tous les panneaux, couvercles soient en place et fermés pour que le primaire soit alimenté.

Les valves à gaz sont chauffées par un transformateur séparé avant d'appliquer la H.T. qui est souvent commandée par une minuterie.

Les réglages du dernier étage se font à tension réduite ou en téléphonie à cause de la tension plaque diminuée.

Les émetteurs possèdent en série dans la polarisation fixe du dernier étage un relais qui ne colle que si cette tension existe et commande le primaire du transformateur H.T.

Les fusibles et disjoncteurs protègent le primaire du transformateur. Les lampes au néon ou à filament témoignent visuellement de la présence de la H.T.

Tous ces appareils se vérifient à l'ohmmètre, mais ATTENTION il faut contrôler la résistance de purge qui décharge les condensateurs de filtrage qui sont très dangereux.

Les pannes sont souvent décelées par les sens : arcs entre H.T. et masse, odeur de transformateur grillé, relais qui ne colle pas.

Si l'on veut mesurer la H.T., il est très recommandé de mettre le négatif de l'appareil de mesure à la masse du châssis, d'avoir un cordon très fortement isolé, d'être isolé et de ne travailler qu'avec une seule main, l'autre dans la poche par exemple. Certains émetteurs utilisent des éléments *de redresseurs secs montés en pont comme redresseurs à H.T.*

b) Les émetteurs de puissance supérieure à un kilowatt font partie des stations fixes très importantes et demandent un personnel spécialisé : l'étude de leur dépannage est hors du domaine de cet ouvrage.

2.1 - Alimentation en alternatif.

TABLEAU DE PANNES AVEC REMEDES POSSIBLES

OPERATIONS A EFFECTUER	RESULTATS OBSERVES	CONCLUSIONS A EN TIRER	REMEDES POSSIBLES
1. Le poste à l'arrêt, brancher un voltmètre continu à la sortie du filtre entre plus et moins de la H.T., mettre l'alimentation sous tension.	La haute tension est nulle. Couper le courant. Le fusible grille.	Coupure dans le circuit H.T. Court-circuit H.T.	Passer à l'opération 2. Passer à l'opération 2.
	La haute tension monte puis tombe à zéro. Fusible grillé.	Court-circuit à chaud.	Passer à l'opération 3.
	La haute tension est faible.	Valve usée, transfo défectueux ou condensateur d'entrée sec ou débranché.	Vérifier ces organes et changer ceux qui sont défectueux. Passer à l'opération 2.
2. Débrancher le fil « plus » haute tension côté poste et brancher le voltmètre à la sortie du filtre. Mettre l'alimentation sous tension.	La haute tension est nulle. Couper le courant. Le fusible grille.	Coupure dans le circuit H.T. côté alimentation. Court-circuit.	Passer à l'opération 3.
	La H.T. est normale.	Court-circuit à l'intérieur du poste.	Dépannage du poste.
3. Débrancher la connexion d'entrée du filtre et brancher le voltmètre entre la masse et le filament de la valve. Mettre le poste sous tension.	La H.T. est nulle.	Valve ou transfo défectueux.	Passer à l'opération 4.
	La H.T. est normale.	Coupure ou court-circuit.	Vérifier et réparer le filtre.
4. Retirer la valve de son support, mettre le poste sous tension et brancher un voltmètre alternatif entre le point milieu de l'enroulement H.T. du transformateur et successivement les deux broches de support correspondant aux plaques de la valve.	La tension alternative du secondaire du transformateur est normale.	Valve défectueuse.	Changer la valve.
	La tension alternative est nulle.	Coupure dans le circuit de retour au point milieu du transformateur.	Rechercher la coupure et si nécessaire changer le transformateur.
	La tension est faible et les enroulements H.T. ne donnent pas la même tension.	Coupure ou court-circuit dans les enroulements H.T. du transformateur.	Changer transformateur.
5. Brancher un voltmètre alternatif entre les deux broches filaments d'un tube.	Tension de chauffage est nulle ou faible.	Coupure ou court-circuit plus ou moins franc dans le circuit de chauffage.	Passer à l'opération 6.
6. Débrancher les 2 fils d'alimentation filaments et mettre le voltmètre alternatif directement sur le transformateur.	La tension est normale.	Coupure ou court-circuit côté poste.	Dépannage poste.
	La tension de chauffage est nulle ou faible.	Coupure ou court-circuit plus ou moins franc de l'enroulement de chauffage du transformateur.	Changer ou réparer le transformateur.

CHAPITRE III

VERIFICATION DES ACCESSOIRES

Les pannes sont parfois dues aux organes extérieurs du poste. Il faut vérifier ces accessoires avant de rechercher les pannes à l'intérieur du poste.

Examiner :

— *Les cordons* - Vérifier la continuité à l'ohmmètre en les tendant afin de bien séparer les coupures éventuelles. Rechercher les mauvais contacts possibles en les remuant en tous sens, en particulier près des extrémités où ces organes travaillent continuellement à la flexion et à la torsion.

— *Les prises de raccordement* - Vérifier si elles ne sont pas oxydées ou sales, si les contacts sont francs.

— *Les autres accessoires* - Microphones, casques, haut-parleurs, etc...

Quand on dispose d'un poste complet, en état de marche, du même type que le poste à dépanner, le mieux est d'installer le poste à dépanner avec tous les accessoires du poste en bon état.

Si le poste détérioré fonctionne alors, la panne provient sûrement de l'un des accessoires.

Il suffit alors de remplacer UN par UN, les accessoires du poste bon par ceux du poste en panne.

Lorsque l'appareil cesse de fonctionner, c'est que le dernier accessoire échangé est hors d'usage ; il faut le réparer ou le remplacer.

Il est indispensable de poursuivre l'opération jusqu'à ce que tous les accessoires du poste à dépanner aient été soumis à l'essai, car plusieurs d'entre eux peuvent être défectueux.

CHAPITRE IV

VERIFICATION DE L'APPAREIL

Avant de procéder au dépannage proprement dit, il est important de faire un nettoyage et une inspection complète du châssis de l'appareil.

Il est très recommandé, dans les pays tropicaux, où le degré hygrométrique est très élevé, de prévoir un séchage faisant remonter l'isolement général des éléments à une valeur normale. Il est prévu des chambres de séchage pour conserver et entreposer le matériel. Un atelier peut faire lui-même cette opération avec une caisse métallique où l'on fait régner une température d'environ 60 à 70 degrés centigrades à l'aide de lampes de fort wattage ou mieux de lampes à rayons infra-rouge. Un ventilateur refoule vers l'extérieur l'air humide et se met en marche à l'aide d'un thermostat, quand la température est trop élevée.

1 - ENLEVEMENT DE TOUS LES ORGANES ENFICHES.

1.1 - Tubes à vide et vibreurs.

Un tube octal ou un vibreur peut être ordinairement enlevé de son support en exerçant une traction sur la base et non sur le verre. Si nécessaire, insérer la lame d'un tournevis fin entre le culot du tube et son support et tourner doucement pour décoller les broches.

Pour les tubes de la série miniature 1R5, 1T4, 1S5, 3S'4, etc.) appuyer sur le fond à travers le culot qui est percé au centre à cet effet.

Un tube loctal doit être légèrement incliné d'un côté jusqu'à ce qu'on entende un déclic, ensuite le tube peut être soulevé hors de son support.

1.2 - Quartz. Lampes témoins.

Enlever les crochets ou tiges de fixation.

1.3 - Fiches. Broches.

Pour les fiches à broches, appuyer sur l'encliquetage ou tourner légèrement dans le sens du déverrouillage.

De toute façon ne jamais forcer sur un organe pour l'enlever, mais rechercher le système de verrouillage permettant de le libérer.

2 - NETTOYAGE.

Il est fortement recommandé d'utiliser un aspirateur pour enlever les poussières et particules qui sont souvent cause d'un mauvais fonctionnement. A défaut d'aspirateur, on peut utiliser un jet d'air ou un pinceau.

3 - EXAMEN DE L'APPAREIL.

L'appareil étant nettoyé, il faut procéder à un examen complet de toutes les pièces et du câblage.

Il est essentiel et surtout dans les postes fonctionnant sur des fréquences élevées (SCR-300, SCR-624, AN/TRC 1), de remettre le câblage dans sa disposition origine. On se réfèrera, à cet effet, à un poste en bon état.

Toute trace d'échauffement, d'écoulements de liquide ou de brai, ou de dénudation de conducteur dénotera un organe défectueux ou surchargé.

Les transformateurs doivent faire l'objet d'un examen attentif. Ceux d'alimentation, de modulation, de liaison basse fréquence sont souvent enfermés dans un boîtier rempli de brai.

Les transformateurs H.F. et F.I. sont généralement équipés de noyaux magnétiques réglables : un noyau dévissé ou brisé met cet élément hors fonctionnement.

Parmi les parties à vérifier se trouvent également les contacts des supports, les ressorts de contact, les roues dentées, les condensateurs d'accord, les commandes de volume, les commutateurs de gammes, les isolateurs, les barrettes à bornes, les jacks, les boulons desserrés.

Les parties mobiles doivent être vérifiées au point de vue usure, notamment les curseurs, les molettes des selfs variables. Tourner chaque commande dans le sens des aiguilles d'une montre aussi loin qu'elle peut aller, puis de même en sens inverse. S'il se produit un effet de ressort dans une direction ou dans l'autre, il faut le noter et corriger le défaut. Tout jeu appréciable dans les engrenages de la commande d'accord doit être également noté. Les défauts de cette nature peuvent quelquefois être corrigés, mais demandent habituellement le remplacement.

4 - VERIFICATION DES ORGANES MOBILES.

4.1 - Vérification des tubes au lampemètre.

Cette opération doit devenir un réflexe qui permet de continuer le dépannage sur de bonnes bases, les tubes constituant souvent une cause de mauvais fonctionnement.

4.2 - Vérification des quartz.

Utiliser un oscillateur dont on mesure le débit grille.

4.3 - Vérification des accessoires par élimination.

Il est bon de conserver à l'atelier un appareil de même type en état de marche afin de pouvoir lui substituer, un à un, les accessoires de celui qui est en panne. En mettant en service chaque élément douteux, le poste doit continuer à fonctionner ; sinon l'organe qui vient d'être mis est mauvais.

Une autre solution consiste à utiliser les accessoires en bon état de l'atelier. Mais ce procédé présente le risque de détruire l'organe sain en le soumettant aux mêmes causes de détérioration qui ont entraîné la mise hors service de la pièce d'origine.

Enfin, il est très important quand un poste tombe en panne de vérifier l'unité collective complète et s'il est sur véhicule, la partie radio de ce dernier, à savoir : anti-parasitage, batterie d'accumulateur, boîte de connexions, isolateurs d'antenne, etc.

Dès que cet examen est terminé, changer ou réparer les pièces notées défectueuses.

CHAPITRE V

LOCALISATION DE L'ETAGE EN PANNE

Quand les accessoires et l'alimentation ont été vérifiés et reconnus bons ou remis en état de marche, il faut procéder à la recherche de la panne dans le poste proprement dit en déterminant, tout d'abord, l'étage dans lequel elle se situe.

***

Les opérations décrites jusqu'ici s'appliquent aussi bien aux émetteurs qu'aux récepteurs.

Mais la recherche en vue de la localisation de l'étage en panne ne peut être conduite de la même façon pour un émetteur et pour un récepteur.

Aussi le présent chapitre est-il divisé en deux parties, chacune ayant trait à l'un de ces cas.

1 - LOCALISATION DE L'ETAGE EN PANNE DANS UN RECEPTEUR.

On se trouve dans l'un des cas indiqués dans la colonne de gauche du tableau ci-desosus et on appliquera les méthodes indiquées dans la colonne de droite. Ces méthodes sont décrites en détail dans les pages suivantes.

CONSTATATIONS	OPERATIONS A EFFECTUER
Volume sonore faible ou nul.	Appliquer la méthode de localisation par injection de signal aux étages B.F. ; cela suffira, en général, pour localiser la panne.
Sons déformés.	Appliquer la méthode de localisation par injection de signal aux étages B.F. puis à l'étage détecteur ; en général le dérangement sera trouvé dans l'un d'eux.
Bruits anormaux pouvant être très intenses (sifflements, bourdonnements).	Appliquer la méthode de réduction au silence.
Le récepteur reçoit peu d'émissions, et seulement celles qui sont généralement très puissantes.	Appliquer la méthode de localisation par injection de signal aux étages successifs ; en général le dérangement sera trouvé dans les étages F.I. ou H.F.
Fonctionnement intermittent.	Laisser chauffer le poste, puis donner de petits coups aux différentes pièces pour rechercher le contact intermittent. Frapper tubes, connexions, résistances, condensateurs, bobines, etc...

1.1 - Suppression de la régulation automatique de sensibilité.

Il est commode, pour effectuer le dépannage du récepteur, d'éliminer l'action du dispositif de contrôle automatique de sensibilité (A.V.C.) ; il suffit pour cela de court-circuiter à la masse la ligne d'antifading.

Procéder à cette opération avant de rechercher la panne.

1.2 - Description des méthodes de localisation.

1° *Localisation par injection de signal.*

Cette méthode consiste à alimenter successivement chaque étage au moyen d'un signal de forme, de fréquence et de tension convenablement choisies, fourni par une hétérodyne.

Lorsqu'on arrive à un étage qui ne transmet pas correctement le signal au haut-parleur on sait que l'organe défectueux se trouve dans cet étage.

Le mode opératoire est le suivant :

1. Mettre le poste sous tension.

2. Mettre le commutateur convenable sur la position correspondant à la réception des ondes entretenues modulées.

3. Appliquer sur la grille du tube de sortie un signal à basse fréquence de quelques volts (par l'intermédiaire d'un condensateur d'au moins 10 000 pF).

Si le haut-parleur fait entendre le signal correctement l'étage de sortie est bon.

Appliquer alors successivement le signal sur la grille de chacun des tubes B.F. en s'éloignant de l'étage de sortie et en réduisant graduellement l'amplitude.

Si le signal est perçu correctement pour chacun de ces essais tous les étages B.F. sont bons.

4. Appliquer à l'entrée du détecteur (par l'intermédiaire d'un condensateur d'au moins 100 pF) un signal de fréquence égale à la fréquence intermédiaire du récepteur et modulé.

Si le signal est perçu correctement l'appliquer successivement sur la grille de chacun des tubes de fréquence intermédiaire en s'éloignant du tube détecteur (et diminuant la tension à chaque manœuvre), puis sur la grille de commande du changement de fréquence (tube mélangeur ou tube changeur de fréquence suivant que le récepteur comporte deux tubes ou un seul pour cette fonction).

On court-circuite alors successivement les grilles des différents tubes en remontant progressivement de la sortie vers l'entrée du récepteur, jusqu'à ce que la mise à la masse d'une grille laisse subsister le bruit parasite. On localise ainsi la partie défectueuse dans les circuits compris entre la grille dont la mise à la masse n'arrête pas le bruit et la précédente (y compris le circuit qui relie cette dernière à la masse).

S'il faut aller jusqu'au bout et court-circuiter au châssis la borne antenne pour supprimer le bruit, celui-ci a une origine extérieure au poste.

2 - LOCALISATION DE L'ETAGE EN PANNE DANS UN EMETTEUR.

2.1 - Remarques préliminaires essentielles.

1° Les tensions d'alimentation des plaques sont souvent très élevées, d'où nécessité pour le dépanneur d'opérer avec précautions.

2° Il est très dangereux pour les tubes d'appliquer la haute tension sans s'être assuré que les polarisations fixes de grille ont des valeurs convenables.

3° Les émetteurs comportent en général des appareils de mesure insérés en permanence dans les circuits grille et plaque, au moins dans la chaîne H.F. ; les indications de ces appareils aideront à localiser la panne.

2.2 - Description de la méthode.

1° S'assurer que les filaments des tubes sont en bon état et vérifier les valeurs des tensions de polarisation avant d'appliquer la haute tension, éventuellement réduite, qui aura été vérifiée préalablement suivant les règles édictées au chapitre VI.

2° Passer à la vérification des étages dans l'ordre :

— chaîne de haute fréquence
— organes de manipulation
— chaîne de basse fréquence

(ces trois ensembles forment des unités complètes dans l'émetteur).

a) Chaîne haute fréquence.

Placer le commutateur sur la position « graphie » et effectuer les opérations de réglage sur une fréquence déterminée dans l'ordre normal :

— étage pilote,

— étage amplificateur intermédiaire (éventuellement),

— étage amplificateur de puissance,

— étage antenne.

Si on ne parvient pas à régler un étage, c'est que celui-ci (ou le précédent, ou encore parfois, mais plus rarement, le suivant) est en panne.

Nota - Lorsque l'on procède ainsi à la vérification des étages amplificateurs H.F., il faut s'assurer en outre que ceux-ci sont correctement neutrodynés.

b) Circuits de manipulation.

Si tous les circuits fonctionnent normalement, c'est-à-dire si on est arrivé à régler l'émetteur en graphie, il faut passer aux circuits de manipulation, qui sont d'ailleurs le plus souvent assez réduits (sauf dans le cas de la manipulation par blocage de grille ou avec compensation).

Se mettre en position de trafic. Si le manipulateur est sans action, la panne provient des circuits correspondants, où les organes les plus sujets à dérangements sont les relais.

c) Chaîne basse fréquence.

Vérifier d'abord l'alimentation (qui en général est autonome)

et les accessoires (microphone), puis les étages proprements dits, comprenant :

— l'étage préampli de micro,

— les étages amplificateurs intermédiaires,

— l'étage de sortie modulateur.

Les méthodes générales de localisation exposées à propos des récepteurs s'appliquent ; toutefois la source de tension B.F. est en général le microphone et non plus une hétérodyne auxiliaire, et en conséquence, l'ordre de succession des opérations est le suivant :

— vérification des étages à petite puissance à la sortie desquels on branche un casque pour remplacer le haut-parleur de récepteur,

— vérification des étages à grande puissance pour lesquels l'indicateur est un voltmètre de sortie approprié.

Il est à noter qu'un étage basse fréquence de puissance ne doit jamais être mis en fonctionnement sans être chargé par l'amplificateur de puissance H.F. de l'émetteur ou par une résistance équivalente.

Dans les paragraphes suivants on a volontairement employé des abréviations, forme abrégées, ou termes empruntés à « l'argot » du dépanneur.

ANNEXE I

EXEMPLE DE DEPANNAGE D'UN RECEPTEUR

Se reporter au schéma type qui représente un récepteur superhétérodyne classique.

Si on ne possède ni notice, ni schéma de l'appareil un examen rapide permet d'avoir une idée générale de sa constitution et de voir s'il n'y a aucune pièce apparemment détériorée (grillée, claquée, suintante), ce qui donnerait d'utiles indications.

1 - VERIFICATION DE L'ALIMENTATION.

Vérifier que la barrette ou le commutateur d'adaptation du primaire du transfo à la tension du secteur est sur la bonne position et mettre le récepteur en marche un instant, après avoir branché le contrôleur sur la H.T. avant filtrage (entre point milieu enroulement H.T. du transfo et cathode valve).

Deux cas :

1) Rien ne s'allume : vérifier fusible, interrupteur et primaire du transformateur d'alimentation.

2) Le récepteur s'allume : suivre les indications du tableau suivant.

1er cas : *La H.T. est faible, forte ou nulle*

	VERIFICATIONS	RESULTATS	PANNES PROBABLES
H.T. faible	H.T. après filtrage.	Nulle.	2e chimique claqué.
	Enroulements H.T. du transfo.	Dissymétrie dans les secondaires.	Transfo détérioré.
	Polarisation grille B.F.	Nulle.	Circuit de polarisation.
	Condensateur liaison grille B.F.	Isolement défectueux.	Condensateurs HS
H.T. forte	Excitation H.P. ou self de filtrage.	Circuit coupé.	
	Débit H.T.	Débit insuffisant.	Circuit H.T. coupé ou tube B.F. hors service.
H.T. nulle	1er chimique.	Claqué.	—
	Valve.	H.S.	—
	Transfo	H.S. ou point milieu débranché.	—

2e cas : *La H.T. est normale*

Vérifier la tension plaque du tube B.F. de sortie.

NULLE : Transfo sortie ou cordon H.P. coupé.

NORMALE : Continuer les essais.

***

L'alimentation a été ainsi vérifiée : on pourra alors laisser le récepteur sous tension puisque les risques d'aggravation de la panne ont été éliminés.

2 - VERIFICATION DU POSTE PROPREMENT DIT.

Brancher une antenne et faire parcourir une gamme.

Le récepteur peut :

— être muet ou faible,

— ou bien ronfler, siffler, craquer, etc.

2.1 - Récepteur muet.

1° Mettre le doigt sur la grille 1re B.F.

a) RIEN : Opérer comme indiqué ci-dessous.

OPERATIONS	RESULTATS	CONCLUSIONS
Mesurer la tension écran B.F. sortie.	RIEN BONNE	Connexion coupée.
Mesurer la tension écran 1re B.F.	RIEN BONNE	Découplage claqué. Résistance coupée.
Mesurer la tension plaque 1re B.F.	RIEN BONNE	Découplage claqué. Résistance coupée.
Mesurer la tension cathode 1re B.F.	TROP FORTE BONNE	Résistance cathode coupée.
Toucher la grille 2e B.F.	RIEN TOC	Grille court-circuitée à la masse. Circuit secondaire de transfo coupé ou primaire en C.C. Bon.
Toucher la plaque 1re B.F.	RIEN TOC	Capacité de liaison coupée ou grille 1re B.F. à la masse. Bon.

b) Ronflement dans le H.P. La partie B.F. « répond ».

2° Chercher à entendre l'hétérodyne branchée comme indiqué ci-dessous.

BRANCHEMENT	RESULTATS	CONCLUSIONS - VERIFICATIONS
à la grille 1re F.I. (signal F.I.)	RIEN	Si les tensions du tube sont bonnes : secondaires du transfo défectueux ou oxydation des bobinages ou condensateur d'accord défectueux. Sinon, panne dans l'ampli F.I. ou le circuit de détection.
	BON	Etage F.I. bon.
à la grille changeuse de fréquence (signal F.I.)	RIEN	1° Transfo F.I. en panne, ou tube mal alimenté ou mauvais.
	BON	Ampli F.I. bon.
à la grille changeuse de fréquence (signal H.F.)	RIEN	Vérifier l'oscillateur : voltmètre entre grille oscillatrice et masse. RIEN : panne de l'oscillateur. TENSION NEGATIVE. l'oscillateur marche, mesurer la tension plaque ; c'est le circuit H.F. qui est en panne. Autre méthode de vérification de l'oscillateur, court-circuiter l'oscillateur : si la polarisation cathode augmente c'est que l'oscillateur fonctionne, sinon aucune oscillation.
	BON	Etage changeur bon.

BRANCHEMENT	RESULTATS	CONCLUSIONS - VERIFICATIONS
à la grille de la H.F. (signal H.F.)	RIEN	Tube mal alimenté Transfo H.F. Liaison commutateur } H.S.
	BON	Etage H.F. bon
à la borne antenne (signal H.F.)	RIEN	Circuit d'entrée Commutateur } en panne

2.2 - Le récepteur marche très faiblement.

La panne peut provenir soit de l'ampli B.F. ayant un gain trop faible (tube B.F. épuisé), soit de la partie avant détection :

— certains tubes épuisés,

— mauvais alignement F.I. ou H.F.,

— défectuosité dans un transformateur F.I.

2.3 - Le récepteur ronfle.

Le ronflement provient, en général, de l'alimentation :

— self de filtre saturée,

— chimiques secs ou coupés,

— découplages défectueux dans les polarisations par le négatif,

— isolement cathode des tubes B.F. défectueux.

Ronflement sur les émissions : isolement cathode du tube changeur défectueux.

2.4 - Le récepteur marche mais avec une forte distorsion.

La panne réside, le plus souvent, dans la partie B.F.

a) Vérifier la tension de polarisation des tubes et doubler le découplage (dans le schéma type, la 2e B.F., est polarisée par la grille, la tension de polarisation se mesure entre point milieu du transfo et masse ou, sur la grille, avec un voltmètre à tube).

b) Brancher un voltmètre entre grille 2e B.F. et masse : si la tension est positive sur la grille, la capacité de liaison a des fuites, la remplacer.

En cas de distorsion ou de manque de puissance sur les stations fortes, vérifier la tension cathode 1re B.F. ; s'il y a lieu, changer la capacité de liaison en tête du potentiomètre.

2.5 - Le récepteur siffle ou accroche.

Dans cette rubrique sont classés divers phénomènes très différents : en général, les caractères propres de la panne permettent, comme on le verra, de déterminer assez facilement l'étage à incriminer. Comme, très souvent, c'est le tube qui en est cause, on commencera par le remplacer par un autre réputé bon (1) et, s'il n'y a aucune amélioration, on remettra le tube ancien et on passera à la recherche du dérangement dans l'étage lui-même.

Les symptômes que l'on peut rencontrer sont les suivants :

1° Le récepteur accroche tout le long des gammes, les stations reçues le sont avec uen très forte distorsion : l'ampli F.I. accroche (on peut s'en rendre compte aisément en amortissant les transformateurs F.I. par 50 kΩ : le phénomène disparaît alors).

On peut avoir :

— un découplage défectueux (le doubler ; en particulier, essayer de découpler la H.T. à la masse par 0,1 μ F, le dernier chimique pouvant être en voie de dessèchement) ;

— une tension écran trop forte ;

— un blindage de tube F.I. défectueux, ou mal mis à la masse (surtout avec les tubes européens).

(1) C'est un nouvel exemple de l'emploi d'un tube d'essai.

2° Le récepteur siffle entre les stations qui sont reçues correctement ;

on a un ampli instable : il accroche entre les stations ou bien il est bloqué sur les stations par la tension de A.V.C.

Ce sera le plus souvent l'ampli H.F. (tube H.F. ou changeur), parfois l'ampli F.I. (le vérifier en amortissant les transfos F.I.).

Rechercher :

— les découplages défectueux (en particulier d'écran et de H.T.),

— les tensions d'écran trop fortes.

3° Le récepteur accroche vers le haut de gamme P.O. (550 kc/s), sa F.I., étant de 472 kc/s : caractéristique d'un accrochage entre F.I. et circuits H.F. d'entrée.

Vérifier :

— les découplages,

— le blindage du fil d'entrée d'antenne,

— les tensions écran et polarisation des tubes H.F. et changeur.

4° Le récepteur accroche vers un bas de gamme (fréquence élevée :

il s'agit d'un accrochage dans l'ampli H.F.

Vérifier pour ce tube :

— découplage écran et cathode,

— tensions d'alimentation,

— blindage.

5° Le récepteur marche seulement sur certaines portions d'une gamme :

Le plus souvent ceci proviendra de l'alignement incorrect ou du fonctionnement défectueux de l'oscillateur local.

Si l'alignement est correct : blocage de la changeuse ou décrochage de l'oscillateur.

Vérifier le courant d'oscillation (milli en série avec la fuite de grille oscillatrice) : on doit avoir un courant variant de 0,1 à 0,5 mA le long de la gamme (valeurs extrêmes).

a) L'oscillateur décroche :

— tension plaque trop faible,

— tension de chauffage trop faible,

— tube épuisé.

Vérifier si le C.V. n'est pas court-circuitée pour certaines positions des lames mobiles.

b) L'oscillateur oscille trop énergiquement :

— tension plaque trop forte (vérifier les résistances ou pont d'alimentation),

— tension de chauffage du tube trop forte.

———

ANNEXE II

EXEMPLE DE DEPANNAGE D'UN EMETTEUR

Se reporter au schéma type d'émetteur indiqué.

Si on ne possède ni notice, ni schéma, un examen rapide aura permis de se rendre compte de la constitution de l'ensemble et de vérifier s'il n'y a pas d'organes apparamment détériorés (brûlés, claqués, brisés...).

Sur le schéma type le tube de sortie est polarisé séparément et il y a deux alimentations H.T. pour la chaîne H.F. : ce sont les trois éléments à vérifier d'abord en mesurant les tensions à la sortie, l'émetteur étant sur « Graphie » et position « Réglage » (H.T. réduite sur le tube 809).

Si ces tensions sont faibles, débrancher et vérifier les circuits H.T. et polarisation (court-circuit à la masse, découplage claqué).

1 - LES ALIMENTATIONS SONT CORRECTES.

Le pilote étant sur une fréquence donnée, on cherche à regler le circuit du séparateur de façon à obtenir un maximum de courant dans la grille du P.A. (1). On suppose que les jeux de selfs corrects sont en place).

a) Le milli reste à zéro : le séparateur ou le pilote peuvent être défectueux.

Vérifier les tensions sur les tubes. Si tout est normal, véri-

(1) P.A. = Amplificateur H.F. de puissance (Power Amplifier).

fier les circuits H.F. en doublant les découplages et les condensateurs de liaison dont l'un est peut-être coupé.

La mesure de la tension grille du pilote avec un voltmètre très résistant (20 k Ω/V) indiquera si le pilote oscille et permettra de restreindre les recherches. Passer les tubes au lampemètre.

La panne peut aussi provenir du circuit grille du P.A. qui peut être coupé. Vérifier les tensions sur le tube 809 et le tube lui-même.

b) Le milli passe par un maximum : Tout est correct jusqu'à la grille du P.A.

2 - ON CHERCHE ALORS A REGLER LE P.A. AU MINIMUM DE COURANT PLAQUE (le circuit d'antenne étant découplé).

a) Pas de minimum, les tensions étant correctes sur le tube : C.O. de sortie défectueux ou tube mauvais.

b) On a un accord, mais, en relâchant le bouton « essai-graphie », le courant plaque ne retombe pas au zéro ; le P.A. auto-oscille :

— neutrodynation incorrecte,

— condensateur de protection en série avec C_N claqué.

c) On a un minimum correct.

3 - ON CHERCHE ALORS A REGLER LE CIRCUIT D'ANTENNE.

Pour cela ajuster :

— l'accord d'antenne,

— le couplage (pour charger correctement le P.A.).

On peut avoir :

— un mauvais contact dans la self variable d'antenne ou dans un commutateur,

— le thermocouple de l'ampèremètre claqué (ce qui coupe le circuit d'antenne).

Si tout est correct la partie H.F. est bonne.

4 - VERIFICATION DES CIRCUITS DE MANIPULATION.

La manipulation se faisant ici dans la cathode, le circuit de manipulation est très rustique et pratiquement indéréglable.

5 - RESTE A VERIFIER LE FONCTIONNEMENT EN PHONIE.

Le voltmètre servant à contrôler le taux de modulation permet de vérifier le fonctionnement de l'ampli de modulation, à condition que ce dernier soit chargé par le P.A. H.F.

Noter que l'ampèremètre thermique d'antenne permet également de contrôler la modulation : à 100 % dans les éclats de voix en modulation téléphonique, l'intensité du thermique doit augmenter de 10 % environ ; ceci n'est pas valable pour les ampèremètres d'antenne à redresseur cupoxyde.

Vérifier l'alimentation et mettre les circuits H.T. en état le cas échéant, puis brancher le micro (vérifié préalablement) et parler (le potentiomètre de gain étant au maximum).

Aucune tension à la sortie : on va chercher ici la panne en partant du premier étage et non du dernier comme dans un récepteur, car, en général, on ne disposera pas d'un signal assez puissant pour attaquer et vérifier directement le dernier étage.

Brancher un casque entre la grille du tube 6F6 et la masse.

Si on n'entend pas la modulation, vérifier :

— tensions, tubes des deux premiers étages,

— doubles découplages, capacités de liaison, etc...

Si ces deux premiers étages sont reconnus bons, brancher le casque de grille à grille du Push-Pull 6L6 en réduisant le gain.

a) On n'entend rien : vérifier tensions et tube sur l'étage séparateur 6F6, vérifier le transfo intervalve.

b) On entend le signal : l'étage à incriminer est le A.P. final ; vérifier les tensions et les tubes ainsi que le transfo de sortie.

L'étage sera en bon état lorsque le signal du micro donnera un niveau normal au voltmètre du secondaire.

L'émetteur fonctionnera ainsi en phonie : il reste à l'écouter sur un récepteur voisin (blindé et antenne débranchée pour éviter la saturation) pour vérifier que le signal est pur et non ronflé à 50 ou 100 c/s (vérifier filtrages et découplages, le cas échéant).

— —

CHAPITRE VI

DETERMINATION DE L'ORGANE DEFECTUEUX

Les recherches pratiquées conformément aux indications des chapitres précédents ont permis de déterminer l'étage défectueux.

Il s'agit maintenant de préciser l'organe de cet étage qui est la cause de la panne.

Pour obtenir ce résultat on se livre à deux séries de mesures.

1 Mesures de résistances	Les tubes à vide enlevés, ainsi que les cordons d'alimentation (1), mesurer les résistances entre chacun des contacts des broches des tubes, d'une part, et le châssis ou la haute tension, d'autre part.
Mesures de tensions	Les tubes étant en place et le poste sous tension, mesurer les différences de potentiel entre chacun des contacts des broches des tubes et le châssis.

Comparer le résultat des mesures aux chiffres correspondants indiqués par la notice du constructeur.

On décèlera de cette façon :

— soit directement l'organe défectueux,

— soit le circuit dans lequel il se trouve.

(1) Dans certains postes, pour isoler l'alimentation, il est nécessaire de supprimer certaines connexions fixes.

Dans ce dernier cas, on vérifiera tous les éléments du circuit en question en mesurant, en particulier, les valeurs des résistances et des capacités.

Il y aura lieu également de vérifier les tubes au lampemètre.

Il faut cependant se souvenir qu'un tube donné comme bon par cet appareil peut néanmoins présenter des défauts, qui, sans interdire le fonctionnement du poste, le rendent défectueux.

Si l'on dispose de tubes d'essais, on pourra les substituer aux tubes en service sur le poste et déceler ceux dont le fonctionnement n'est pas satisfaisant.

***

Les opérations décrites ci-dessus permettent de déterminer l'organe défectueux ou le défaut :

— résistance coupée,

— condensateur claqué ou court-circuité,

— bobine coupée,

— court-circuit entre pièces,

— contact entre une pièce normalement isolée et la masse ou la H.T.,

— connexion dessoudée ou soudure mauvaise,

— tube mauvais, etc...

Il faut prendre soin de s'assurer qu'il n'y a pas plusieurs organes défectueux et, s'il y a doute entre deux ou plusieurs organes, ceux-ci doivent être débranchés du poste et vérifiés séparément.

***

Les indications qui précèdent sur la détermination de l'organe défectueux, stade ultime de la recherche de la panne, sont intentionnellement très générales ; une étude plus précise ne trouverait pas place dans le présent fascicule dont le but est seulement de donner des principes élémentaires.

CHAPITRE VII

REMPLACEMENT DE L'ORGANE DEFECTUEUX

Quand l'organe défectueux est repéré, il faut le remplacer par un organe de même type et en bon état.

Pour cela, il faut dessouder puis ressouder les connexions qui relient l'organe en cause au reste du montage.

Les précautions suivantes doivent être prises :

1. Les soudures doivent être faites avec soin et mécaniquement solides. Elles ne doivent pas offrir une résistance électrique anormale.

2. Les connexions ne doivent être ni déplacées, ni allongées, ni raccourcies. Quand on est amené à déplacer des fils pendant le dépannage, il faut les remettre soigneusement à leur place primitive.

3. Une résistance doit être remplacée par une pièce de même valeur en ohms et susceptible de dissiper la même puissance. A défaut, on peut utiliser une résistance apte à dissiper une plus grande puissance mais l'inverse doit être strictement prohibé.

4. De même un condensateur doit être remplacé par une pièce de même capacité et susceptible de supporter la même tension.

A défaut on peut utiliser un condensateur construit pour supporter une tension plus élevée mais l'inverse ne peut être admis.

1 - PRECAUTIONS CONCERNANT LA TROPICALISATION.

Un appareil radio, lorsqu'il n'est pas tropicalisé, ne résiste pas à l'humidité ambiante.

L'humidité s'infiltre partout où l'air peut passer. L'eau ainsi déposée forme une couche qui, entre autre, amortit les bobines, change la valeur des résistances, court-circuite partiellement les condensateurs. Il convient également d'éviter la formation de moisissures qui entraînent l'oxydation de certaines pièces essentielles et en général de tout l'appareillage.

Le remède consiste à obstruer les fissures invisibles par l'application d'un vernis qui résistera à l'humidité, au chaud et au froid.

Il faudra appliquer également du vernis sur tout l'appareil y compris le châssis, sauf sur les engrenages, vis et écrous de réglage, culots de mesure, cadrans, jacks non étanches, etc.

2 - MATERIEL NECESSAIRE.

a) Pour tropicaliser un ou quelques appareils seulement :

Un pulvérisateur type « Fly-Tox ».

b) Pour une série plus importante :

Un compresseur,

Un pistolet à peinture,

Un tampon dateur.

3 - OPERATIONS A EFFECTUER.

La tropicalisation, pour être efficace, doit être effectuée en deux stades.

1) En cours de dépannage.

2) En fin de dépannage.

3.1 - En cours de dépannage.

Les pièces détachées destinées au dépannage sont enduites de vernis, à l'aide d'un pinceau, soit par le dépanneur, soit par un spécialiste qui dans ce cas sera chargé d'alimenter l'atelier en pièces tropicalisées.

Une fois la nouvelle pièce mise en place, il faut éventuellement lui retirer son blindage, l'enduire de vernis (sauf les vis de réglage) ainsi que l'intérieur du blindage.

Lorsqu'il s'agit de remplacer quelques pièces sur un appareil déjà tropicalisé, il faudra remettre du vernis sur ces pièces, soudures, câblage, etc...

3.2 - En fin de dépannage.

L'appareil étant réparé et mis au point, on doit effectuer les opérations suivantes :

— masquer avec du fort papier d'emballage (papier métallisé, par exemple) fixé avec du chatterton les organes cités plus haut : engrenages, vis de réglage, écrous mobiles, supports de mesure, condensateurs variables, etc. Nettoyer toutes les parties encrassées, sales ou oxydées.

— placer alors les appareils masqués dans une chambre de séchage pendant une douzaine d'heures.

— sortir de la chambre de séchage une série d'appareils. Appliquer à l'aide du pistolet trois couches de vernis en ayant soin de le faire pénétrer aux endroits peu accessibles, aussi bien dessous que dessus.

Inscrire la date de l'opération.

— placer au fur et à mesure les appareils vernis dans une chambre chaude (température maximum de 70° C) et laisser sécher 24 heures environ.

— reprendre les appareils séchés, les démasquer et refaire entièrement l'alignement.

Conserver les papiers qui peuvent servir pour d'autres ensembles.

Un appareil ainsi traité pourra être utilisé sans crainte de dérangements dus à l'humidité.

Pour les appareils lourds tels que SCR-399 ou 543 pour qui on ne disposerait pas de chambres assez volumineuses et pour lesquels la tropicalisation devrait s'effectuer en atelier, il sera bon de prévoir des lampes « infra-rouge » pour sécher l'appareil sur place.

— ——

IIIe PARTIE

Alignement

CHAPITRE PREMIER

ALIGNEMENT D'UN RECEPTEUR

Une fois l'organe défectueux remplacé, il faut mettre le poste sous tension, vérifier son fonctionnement et effectuer, si besoin est, les réglages et mises au point nécessaires, par exemple l'alignement pour un récepteur.

1 - PRINCIPE DE L'ALIGNEMENT.

Aligner un récepteur c'est régler les caractéristiques « ajustables » (selfs ou capacités) de ses différents circuits de manière qu'ils soient tous à l'accord optimum pour chaque fréquence de la gamme de réception, l'accord sur cette fréquence étant réalisé en service normal, uniquement par variation de capacités variables monocommandées, en général toutes identiques.

1.1 - Condensateurs et selfs ajustables.

a) Les condensateurs ajustables, disposés dans les circuits d'un récepteur en vue de son alignement, portent les noms de paddings et de trimmers.

Le mode de branchement est différent pour les deux types :

— les paddings se placent en série avec les condensateurs d'accord des circuits oscillants et leur action est sensible surtout en bas de la gamme (fréquences basses).

— les trimmers se placent en parallèle sur les mêmes condensateurs et leur action est sensible surtout en haut de gamme (fréquences élevées).

b) Les selfs ajustables sont généralement à noyau de fer réglable ; leur action est sensible surtout en bas de gamme.

c) Ces organes ajustables sont réglés en utilisant des outils spéciaux.

1.2 - Matériel nécessaire.

Pour aligner un récepteur il faut disposer du matériel suivant :

— une hétérodyne modulée,

— une antenne fictive standard,

— un jeu d'outils d'alignement,

— un indicateur d'accord.

L'antenne fictive doit toujours être utilisée pour l'alignement des circuits H.F. d'entrée.

Diverses sortes d'indicateurs sont utilisables.

1.3 - Dispositions générales.

On rencontre deux classes d'appareils :

1° les récepteurs à amplification directe,

2° les récepteurs superhétérodynes.

Dans les deux cas se souvenir qu'il faut toujours remonter à partir de l'indicateur, c'est-à-dire, aller de la détection vers les circuits d'entrée.

Mettre le récepteur à son maximum d'amplification.

Par contre régler toujours la tension de sortie de l'hétérodyne de manière à éviter la saturation des derniers étages du récepteur.

TYPE D'ONDE UTILISEE	INDICATEUR	BRANCHE A :	REGLAGE AU :	BRANCHEMENT SUR LE RECEPTEUR TYPE
H.F. modulée	Haut-parleur	Sortie B.F.	Maximum de son	
	Voltmètre de sortie	Sortie B.F.	Maximum de déviation	Entre A et la masse
	Voltmètre alternatif + capacité	Sortie B.F.	Maximum de déviation	Entre B et la masse
H.F. pure ou modulée	Voltmètre continu à tubes	R. de détection B.F.	Maximum de déviation	Aux bornes de C
	Voltmètre continu à tubes	R. de détection de A.C.V.	Maxim. de déviation *	Entre D et la masse
	Milliampèremètre (0 à 10 mA)	Dans la plaque d'un tube commandé par le A.C.V.	Minimum de déviation *	En E ou en F
	Voltmètre continu (0 à 5 V)	Sur la R. de cathode d'un tube commandé par le A.C.V.	Minimum de déviation *	Aux bornes de G ou H
	Œil magique ou indicateur d'accord (S mètre) du récepteur.	Branché à demeure et commandé par le A.C.V.	Maximum * d'épanouissement (œil) ou de déviation (S mètre)	NOTA : Dans ce récepteur la commande de A.C.V. est prise par 50 pF sur la plaque de la dernière F.I. : pour le réglage du dernier transfo F.I. appliquer la remarque ci-contre.

ATTENTION : Dans tous les cas signalés par (*) où l'indicateur est commandé par le A.C.V. et si la commande de A.C.V. est prise sur la plaque de la dernière F.I., le réglage du secondaire du dernier transfo F.I. doit se faire à l'inverse de l'indication de cette colonne du tableau.

1.4 - Alignement des récepteurs à amplification directe.

Tous les circuits du récepteur doivent être accordés sur la même fréquence qui est celle du signal reçu.

Les condensateurs variables étant identiques il suffit de réaliser :

— l'égalité des selfs d'accord,

— l'égalité des capacités parasites.

On égalise les capacités parasites à l'aide des trimmers ; on ajustera ceux-ci en haut de la gamme.

Si les selfs sont réglables c'est au moyen de celles-ci qu'on effectuera l'alignement à l'autre extrémité de la gamme.

En haut comme en bas de gamme il convient de choisir une fréquence à 10 % environ de l'extrémité.

Se souvenir que le réglage par self réagit sur le réglage par trimmer et réciproquement. Toujours revenir d'une extrémité de gamme à l'autre pour réaliser l'alignement par approximations successives.

Aligner toujours une gamme complètement avant de passer à la suivante.

Exemple : alignement d'une gamme P.O. : 1 500 kc/s à 550 kc/s.

Mettre hétérodyne et cadran du récepteur sur 1 400 kc/s : régler les trimmers.

Mettre hétérodyne et cadran du récepteur sur 500 kc/s : régler les selfs.

Revenir sur 1 400 kc/s pour parfaire l'accord des trimmers.

1.5 - Alignement des récepteurs superhétérodynes.

On rencontre dans un tel récepteur trois sortes de circuits :

— les circuits F.I. à régler sur une fréquence fixe,

— les circuits H.F. à régler sur le signal à recevoir,

— le circuit d'oscillateur local à régler sur une fréquence différant de celle du signal de la valeur de la F.I.

En général, la fréquence locale est supérieure à la fréquence incidente.

Se souvenir que c'est l'oscillateur local qui détermine la position des stations sur le cadran.

1° Alignement des circuits F.I.

les séparer du récepteur	Court-circuiter l'oscillateur local ; mettre hors-circuit le A.C.V. si l'on ne s'en sert pas comme indicateur d'accord.

Injecter un signal de fréquence égale à la F.I. sur la grille du dernier tube F.I.

Régler secondaire puis primaire du dernier transfo F.I.

Remonter ainsi les étages F.I. en retouchant chaque fois la tension de sortie de l'hétérodyne pour éviter la saturation du récepteur.

2° Alignement des circuits à fréquence radio (circuits H.F. et oscillateur local).

Il y a plusieurs méthodes possibles. Nous citerons les deux principales, mais, dans tous les cas, il faut aligner complètement une gamme avant de passer à la suivante.

a) Alignement classique.

On aligne d'abord l'oscillateur local.

Dans celui-ci on a à régler	Trimmer aux fréquences élevées (à 10 % de l'extrémité de la gamme).
	Padding ou self aux fréquences basses (à 10 % de l'extrémité de gamme).

Le réglage est effectué de façon que les fréquences reçues correspondent aux indications du cadran.

On aligne ensuite les circuits H.F. (alignement identique à celui d'un récepteur à amplification directe).

Exemple : alignement de la gamme P.O. : 1 500 kc/s à 500 kc/s.

Mettre hétérodyne et cadran du récepteur sur 1 400 kc/s : régler le trimmer de l'oscillateur local.

Mettre hétérodyne et cadran du récepteur sur 500 kc/s : régler le padding de l'oscillateur local.

Revenir sur 1 400 kc/s car le réglage du padding réagit sur l'accord trimmer.

Régler ensuite les trimmers des circuits H.F. avec l'hétérodyne sur 1 400 kc/s et éventuellement les selfs (hétérodyne sur 500 kc/s), en revenant chaque fois sur le réglage précédent, comme plus haut.

Nota 1 - Se servir de l'antenne fictive standard pour régler les circuits d'entrée. S'il y a un correcteur d'antenne, le placer à mi-course pour faire l'alignement.

Nota 2 - Sur une gamme O.C., on peut retrouver le deuxième battement dans la plage de variation utile du trimmer ; prendre toujours le réglage correspondant à la capacité minimum du trimmer.

b) Alignement par substitution.

On met en commande séparée l'oscillateur local. On pourra donc régler parfaitement la partie H.F. du récepteur.

Remettant ensuite en monocommande l'oscillateur local, il ne reste plus qu'à effectuer le réglage de celui-ci.

L'ordre des opérations est inversé par rapport à la méthode classique.

Ce procédé doit être utilisé pour l'alignement des récepteurs complètement déréglés.

Exemple : alignement de la gamme P.O. : 1 500 kc/s à 550 kc/s.

Déconnecter le C.V. d'oscillateur local et brancher un C.V. identique à commande séparée.

Mettre hétérodyne et cadran du récepteur sur 1 400 kc/s.

Régler le C.V. d'oscillateur local au maximum de réception.

Régler les trimmers des circuits H.F.

Même opération sur 500 kc/s : régler les selfs H.F. éventuellement et revenir sur 1 400 kc/s pour parfaire le réglage des trimmers.

L'alignement H.F. est terminé. Rebrancher le C.V. normal de l'oscillateur local.

Mettre hétérodyne et cadran du récepteur sur 1 400 kc/s : régler le trimmer d'oscillateur local.

Mettre hétérodyne et cadran du récepteur sur 500 kc/s : régler le padding d'oscillateur local.

Revenir sur 1 400 kc/s pour parfaire le réglage du trimmer.

L'alignement de la gamme est terminé.
