

L. SIGRAND (F2XS)

Bases d'électricité et de radioélectricité

Pour le radio-amateur et l'exploitant



EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES FRANÇAISES

**BASES D'ÉLECTRICITÉ
ET DE RADIOÉLECTRICITÉ**

*pour le radio-amateur
et l'exploitant*

(3^e édition)

Couverture : Photo Patrice Guichard.

Toute reproduction, même partielle, de cet ouvrage, est interdite. Une copie ou reproduction par quelque procédé que ce soit, photographie, microfilm, bande magnétique, disque ou autre, constitue une contrefaçon passible des peines prévues par la loi du 11 mars 1957 sur la protection des droits d'auteur.

© 1976 - E.T.S.F.

L. SIGRAND

F2 XS

**BASES D'ÉLECTRICITÉ
ET DE RADIOÉLECTRICITÉ**

*pour le radio-amateur
et l'exploitant*

3^e édition

Diffusion :

AGENCE PARISIENNE DE DISTRIBUTION

43, rue de Dunkerque, 75010 PARIS

SOMMAIRE

Première partie : ELECTRICITE.

| | |
|---|----|
| <i>Le courant électrique</i> | 11 |
| Existence d'un courant | 12 |
| Sens du courant | 13 |
| Effets du courant électrique. | 14 |
| Corps bons conducteurs, isolants | 14 |
| Résistance | 15 |
| Intensité | 15 |
| Force électromotrice, différence de potentiel | 16 |
| <i>Ampèremètre, principe</i> | 18 |
| <i>Ampèremètre à cadre mobile</i> .. | 18 |
| <i>Ampèremètre thermique</i> | 19 |
| <i>Branchement des appareils de mesure</i> | 19 |
| <i>Voltmètre, contrôleur universel.</i> | 20 |
| <i>Loi d'Ohm</i> | 20 |
| <i>Généralités sur les piles</i> | 21 |
| Chute de tension | 23 |
| <i>Groupement des piles</i> | 24 |
| <i>Groupement des résistances</i> .. | 25 |
| <i>Accumulateur</i> | 26 |
| Capacité, régime de charge .. | 27 |
| <i>Magnétisme</i> | 28 |
| Perméabilité magnétique ... | 29 |
| <i>Energie électrique - puissance.</i> | 29 |
| <i>Induction - Courant alternatif.</i> | 30 |
| Action d'un courant alternatif sur une inductance | 32 |

| | |
|--|----|
| <i>Condensateur</i> | 33 |
| Action du courant alternatif sur un condensateur | 34 |
| Circuit comportant une inductance et une capacité | 35 |
| Circuit comprenant inductance, capacité, résistance. | 36 |
| Groupement des condensateurs | 37 |
| <i>Transformateur</i> | 37 |
| <i>Loi de Lenz</i> | 38 |
| Courants de Foucault | 39 |
| <i>Fréquences</i> | 39 |

2° partie : RADIOELECTRICITE.

| | |
|--|----|
| <i>Circuit oscillant</i> | 41 |
| Circuit bouchon - Circuit résonant série | 42 |
| Rayonnement - Courbes de résonance | 43 |
| <i>Circuit d'accord</i> | 44 |
| <i>Les tubes.</i> | |
| Lampe à deux électrodes - | |
| Lampe triode | 45 |
| Triode amplificatrice | 46 |
| Courbe du courant anodique. | 48 |
| <i>Polarisation - Pente</i> | 49 |
| Lampe à écran | 50 |
| Lampe pentode | 51 |
| <i>Amplification basse fréquence.</i> | 52 |
| <i>Fonction oscillatrice</i> | 53 |
| Autres montages oscillateurs. | 54 |

| | | | |
|---|----|--|-----|
| <i>Réception :</i> | | | |
| Principe d'un écouteur - d'un haut-parleur | 55 | Gain du transistor - Contrôle automatique de gain | 87 |
| <i>Détection</i> | 56 | Détection par diode | 87 |
| Changement de fréquence .. | 57 | Détection par transistor | 88 |
| Réception de la télégraphie. | 58 | Compensation de température | 88 |
| Contrôle automatique de gain. | 59 | Compensation par thermistance | 89 |
| Contre-réaction | 60 | <i>Notions sur les montages à contre-réaction</i> | 89 |
| <i>Microphone :</i> | | <i>Principe des liaisons entre étages</i> | 91 |
| A charbon - électrodynamique - à cristal piezoelectrique | 61 | <i>Principe du modulateur équilibré</i> | 92 |
| Adaptation des impédances - Modulation | 62 | <i>Alimentation</i> | 93 |
| <i>Modulation d'amplitude - de fréquence</i> | 63 | Tension inverse de crête | 94 |
| Détection de la modulation de fréquence | 65 | 4^e partie : COMPLEMENTS : | |
| Modulation à bande latérale unique | 66 | <i>Unités et préfixes</i> | 95 |
| Suppression de la porteuse .. | 67 | <i>Coefficient de température</i> | 95 |
| <i>Alimentation - Utilisation du courant alternatif</i> | 68 | <i>Constante de temps</i> | 96 |
| Classes d'amplification | 69 | <i>Diode Zener</i> | 96 |
| <i>Harmoniques</i> | 71 | <i>Pont de Wheatstone</i> | 97 |
| <i>Composition d'un émetteur</i> .. | 72 | <i>Neutrodynage</i> | 98 |
| Manipulation | 74 | <i>Modulation écran</i> | 98 |
| Polarisation dans un émetteur | 75 | <i>Modulation plaque-écran - Cho-ke system - Clamp</i> | 99 |
| Propagation | 75 | Protection du tube du PA .. | 100 |
| <i>Notions sur les antennes d'émission</i> | 77 | <i>Fils de Lecher</i> | 101 |
| <i>Antennes de réception</i> | 81 | <i>Le décibel</i> | 101 |
| 3^e partie : PASSAGE DES TUBES AUX TRANSISTORS : | | <i>Mesure des fréquences</i> | 103 |
| <i>Les semi-conducteurs - Diodes à pointe</i> | 83 | Etalonnage d'un ondemètre à absorption | 104 |
| Diodes à jonction - Transistors | 84 | <i>Mesures pour éviter les brouillages</i> | 104 |
| Montages fondamentaux ... | 85 | <i>Code des couleurs des résistances</i> | 106 |
| | | <i>Symboles utilisés dans les schémas</i> | 109 |

AVANT-PROPOS

Ce cours élémentaire à l'intention des candidats radio-amateurs, leur apporte les connaissances de base des phénomènes électriques et radio-électriques.

Le but recherché est de donner, de manière simple, la possibilité à tous, de s'intéresser à d'agréables occupations dans un domaine illimité.

Les principes fondamentaux exposés sont indispensables pour comprendre le fonctionnement de différentes réalisations permettant ultérieurement l'étude d'ouvrages de niveau plus élevé.

Si quelques formules mathématiques semblent compliquées à certains, qu'ils examinent seulement les termes qui les composent et leur influence sur le phénomène observé.

Les transistors remplacent fréquemment les tubes ; ces derniers cependant restent une ressource sûre pour le débutant qui veut faire des expériences. De ce fait, les fausses manœuvres n'ont pas les mêmes répercussions matérielles et économiques.

Les émetteurs modernes actuels d'une puissance moyenne sont à tubes. Ces derniers seront utilisés pour les explications de radioélectricité.

Ensuite, bien sûr, toutes les connaissances acquises seront reportées sur l'utilisation des transistors.

PREMIERE PARTIE

ÉLECTRICITÉ

LE COURANT ELECTRIQUE

Dans sa définition la plus simple, un courant électrique est un déplacement d'électrons.

On sait qu'un corps simple est formé d'atomes.

L'atome est assez complexe. Sans entrer dans des détails compliqués, on retiendra que l'atome est formé en première approximation d'un noyau lourd et de particules légères qui gravitent autour de ce dernier et qu'on appelle électrons. Comme ils tournent à grande vitesse, ils sont soumis à une force centrifuge qui tendraient à les faire échapper mais le noyau de son côté exerce sur eux une attraction. Ces deux forces s'équilibrent.

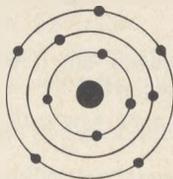


FIG. 1

Les électrons circulent sur des orbites diverses selon les corps, à des distances différentes par rapport au noyau (fig. 1). Seuls les électrons périphériques (ceux placés sur l'orbite la plus extérieure) nous intéresseront car ce sont eux qui sous certaines influences, soit chimiques, soit calorifiques, même lumineuses, peuvent échapper à l'attraction du noyau, se libérer et constituer alors une charge électrique qui pourra se déplacer dans un conducteur : on obtient un courant électrique.

Le noyau possède une charge « positive », l'électron une charge « négative ». Pour définir ces deux termes, prenons l'exemple de l'électricité statique, celle qui est développée par le frottement.

Suspendons à un fil de soie une petite masse très légère. Frottons une baguette de verre avec un chiffon sec. Approchons-la de la petite masse. Celle-ci va être attirée par le verre. Il y a un phénomène d'attraction produit par la présence d'électricité. Si la baguette vient en contact avec notre masse, celle-ci va se charger par contact de la même électricité que celle du verre.

A ce moment un autre phénomène se produit : la masse chargée maintenant de la même électricité que le verre est repoussée par celui-ci.

On frotte alors un morceau de résine avec le chiffon sec. Approchons-le de la masse encore chargée d'électricité du verre : la masse est attirée par la résine alors qu'elle est repoussée par le verre.

On en conclut qu'il y a deux électricités : une, celle du verre, à laquelle on a donné le qualificatif de « positive » et l'autre, celle de la résine, est appelée « négative ».

L'effet d'attraction et de répulsion se vérifie aisément en utilisant le corps en matière plastique transparente d'un crayon à bille et un petit trombone métallique comme masse à l'extrémité du fil. Dès le contact du

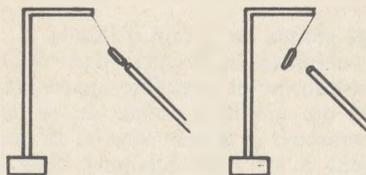


FIG. 2

FIG. 3

trombone avec la partie du crayon qui a été frottée (fig. 2), la répulsion se manifeste aussitôt avec force (fig. 3).

Les deux termes « positif » et « négatif » se retrouveront dans toutes les branches de l'électricité.

Des deux expériences ci-dessus, on déduit une loi très importante :

- des charges d'électricité de noms contraires s'attirent.
- des charges de mêmes noms se repoussent.

L'électricité développée par frottement est appelée « statique ». Nous n'aurons pas à nous occuper ici de cette électricité qui n'aurait pas d'application pratique pour nous.

Existence d'un courant électrique

Une tige de zinc et une tige de cuivre plongent dans un vase contenant de l'eau additionnée d'un peu d'acide sulfurique. On réunit les tiges extérieurement par un fil métallique fin (fig. 4). On constate que celui-ci s'échauffe. Cet échauffement est provoqué par le passage d'un courant électrique dans

le fil. On a ainsi créé une « pile ». Elle produit de l'électricité par action chimique : l'attaque du zinc par l'eau acidulée.

Comme dans tout générateur, il y a un pôle négatif (ou —) qui est la tige de zinc et un pôle positif (ou +) qui est la tige de cuivre. Celle-ci sert



FIG. 4

simplement de contact entre l'eau acidulée et le circuit extérieur. La production d'électricité se fait donc uniquement entre le zinc et l'eau acidulée.

Sens du courant

Le courant part du pôle positif (+), passe dans le circuit extérieur, rejoint le pôle négatif (—) et se referme à l'intérieur de la solution.

On dit que le courant va extérieurement du + au —. C'est le sens adopté lors de la création de la première pile. On l'appelle « sens conventionnel ».

Comme on considère maintenant que le courant électrique est une circulation d'électrons qui sont des charges négatives s'échappant du pôle — et se dirigeant vers le pôle + qui les attire (loi d'attraction des charges de noms contraires), il en résulte que le sens du déplacement des électrons est inverse de celui adopté pour le courant électrique.

Donc si l'on parle de courant électrique, il ira du + au — et si l'on parle d'électrons, le sens de leur déplacement sera du — au +.

Effets du courant électrique

On peut s'assurer du passage d'un courant électrique par d'autres moyens que l'échauffement du fil ou sa luminosité lorsqu'il est très fin et enfermé dans une ampoule de verre dans laquelle on a fait le vide. On fait un bobinage avec du fil de cuivre isolé (c'est-à-dire recouvert d'un isolant, par exemple du fil émaillé ou recouvert de matière plastique). Au centre du

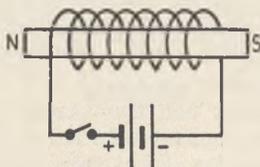


FIG. 5

bobinage on place un petit barreau de fer doux (fig. 5). On ferme l'interrupteur ; le courant de la pile passe dans le bobinage. Le barreau s'aimante : il attire des objets en fer. On ouvre l'interrupteur, le courant ne passe plus, l'aimantation cesse. Si l'on remplace le fer doux par de l'acier, celui-ci s'aimante au passage du courant mais l'aimantation se maintient lorsque le courant ne passe plus : on obtient un aimant. Comme dans tout phénomène électrique ou magnétique, il y a deux pôles. Lorsqu'il s'agit d'aimants on dira plutôt « pôle nord » et « pôle sud ».

Un courant peut donc avoir un effet magnétique.

Il peut aussi avoir un *effet mécanique*.

On place un fil conducteur au-dessus de l'aiguille d'une boussole dans le même sens parallèle (fig. 6 a). On ferme l'interrupteur. Le courant passe dans le conducteur et l'on constate que l'aiguille aimantée pivote et se met en croix avec le courant (fig. 6 b).

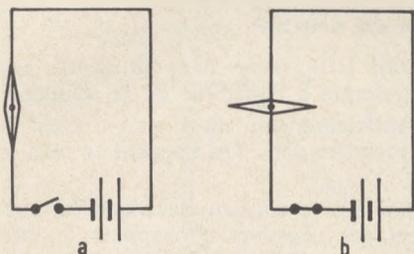


FIG. 6

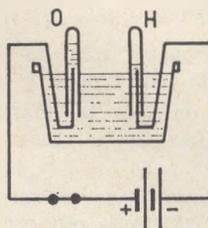


FIG. 7

Effet chimique. On en a vu un exemple dans une pile. On peut faire une autre expérience (fig. 7).

Un récipient contient de l'eau acidulée. Deux éprouvettes plongent dans l'eau et l'on s'arrange pour qu'au départ, elles soient remplies entièrement. Lorsqu'on fait passer le courant, on constate qu'il y a un dégagement de gaz dans chaque éprouvette : l'une contiendra de l'oxygène, l'autre de l'hydrogène. Le courant a décomposé l'eau : c'est le phénomène de l'électrolyse.

Un *générateur électrique* est un appareil qui produit de l'électricité, soit par le résultat d'une action chimique comme dans les piles ou les accumulateurs, soit par action mécanique comme les dynamos et les alternateurs.

Quel que soit le *générateur* considéré, il y aura toujours deux pôles. Si on les réunit par un corps bon conducteur, le courant circulera dans celui-ci. Exemples de corps bons conducteurs : les métaux, la terre, le graphite, l'eau acidulée, etc. Les corps isolants s'opposent au passage du courant. Exemples : le verre, le mica, l'air, la bakélite, etc.

Le courant continu est celui qui conserve toujours le même sens dans un conducteur. C'est, par exemple, le courant fourni par une pile.

Résistance

Les corps bons conducteurs se différencient entre eux par leur facilité plus ou moins grande de conduction. Tout en laissant passer le courant, ils opposent une certaine résistance à ce passage. Un conducteur de gros diamètre a une résistance plus petite qu'un conducteur très fin ; la résistance est également proportionnelle à la longueur ; la nature du métal influe aussi : un conducteur en cuivre a une résistance bien plus faible que le même conducteur en fer.

L'ensemble des facteurs qui influent sur la résistance se trouve dans la formule :

$$R = \rho \frac{L}{s}$$

Dans cette formule, L est la longueur du conducteur, s sa section. La lettre grecque ρ (ro) est la « résistivité » qui représente la résistance du conducteur considéré ayant un centimètre de long et une section de un centimètre carré. La résistivité est donc un coefficient qui caractérise chaque corps conducteur. Ainsi, la résistivité du fer est de 9,06 ; celle du cuivre est 1,6. Ce qui indique que le cuivre est un meilleur conducteur que le fer (résistivité en microhms par cm ; voir N.B. page 21).

La formule indique aussi que plus le conducteur est long et plus sa section est petite, plus la résistance sera grande.

Dans un exemple précédent, on avait branché un conducteur aux bornes d'un générateur. En réalité, on aurait provoqué un « court-circuit » : le courant ne serait pas freiné par la trop faible résistance du conducteur et provoquerait l'échauffement, peut-être même la fusion du fil.

On se protège des dégâts que provoquerait un court-circuit accidentel en intercalant dans le circuit un « fusible » formé d'un fil en alliage fondant facilement dès que l'échauffement résultant du passage d'un courant trop important atteint une certaine valeur.

Les appareils fonctionnant à l'électricité ont toujours une résistance propre : ils utilisent le courant sous forme de travail mécanique, chimique, lumineux, calorifique, sans causer de court-circuit.

En dehors de la résistance propre des appareils, on peut aussi être amené à intercaler une résistance supplémentaire simple dans un circuit. Ces résistances sont constituées par du fil métallique de forte résistivité, comme le constantan (pour des résistances bobinées). On en fait aussi avec des agglomérés de carbone, ou encore avec du graphite.

Intensité

Lorsqu'il passe un certain courant dans un circuit pendant une minute, au bout de cinq minutes, la quantité d'électricité qui passera dans le circuit sera cinq fois plus grande.

L'unité de quantité d'électricité est appelée « coulomb ». Mais ce qui est surtout intéressant à connaître est le nombre de coulombs par seconde.

C'est un peu la même chose lorsqu'il s'agit d'un véhicule qui doit parcourir une certaine distance. S'il lui faut 4 heures pour parcourir 200 kilomètres, sa vitesse sera de 50 km à l'heure.

Si un autre véhicule peut parcourir la même distance en 2 heures, sa vitesse sera de 100 km à l'heure.

Vis-à-vis des performances possibles de chaque véhicule, la notion du nombre de kilomètres par heure est plus significative que celle de la distance parcourue.

De même, la quantité totale de coulombs passant dans un circuit est souvent moins importante à connaître que la quantité par seconde.

Cette quantité est appelée « intensité ». On comprend qu'un courant de forte intensité permettra des performances plus grandes qu'avec une faible intensité.

L'unité d'intensité est l'ampère. On utilise souvent une unité mille fois plus petite, le milliampère.

On mesure l'intensité avec un « ampèremètre » ou un « milliampèremètre », dont on verra le principe ultérieurement. Cet appareil de mesure s'intercale en série dans le circuit (fig. 8).

L'intensité est la même en chaque point d'un circuit simple. Si l'ampèremètre indique 1 ampère, il passe également 1 ampère dans la résistance R.

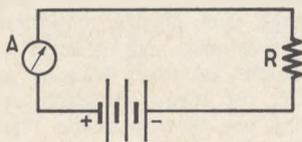


FIG. 8

Force électromotrice et différence de potentiel

Aux bornes d'un générateur, par exemple une pile, on trouve une certaine tension électrique qui sera positive sur un pôle, et négative sur l'autre.

Lorsqu'aucun circuit n'est connecté aux bornes de la pile, cette tension est appelée force électromotrice (f.e.m.). Elle s'évalue en « volts » à l'aide d'un « voltmètre » V que l'on branche à ses bornes (fig. 9).

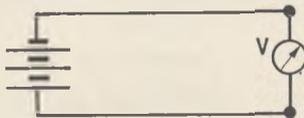


FIG. 9

C'est cette f.e.m. qui permet l'envoi d'un courant dans un circuit. On peut faire la comparaison avec une installation hydraulique.

Un réservoir E plein d'eau est situé à une certaine hauteur. Sur le parcours du tuyau de distribution, on trouve un manomètre m 1, un robinet R, un manomètre m 2. Le réservoir représente une certaine énergie en réserve. Le robinet étant fermé (fig. 10), le manomètre m 1 indique la pression

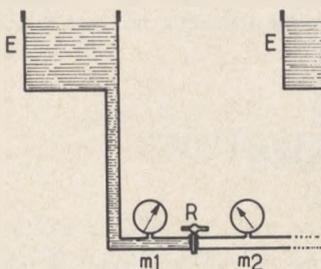


FIG. 10

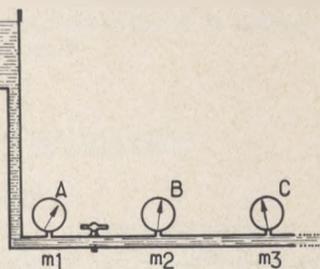


FIG. 11

maximale que provoque le réservoir. Le manomètre m 2 n'indique rien puisque l'eau ne circule pas. On peut comparer le réservoir à la pile électrique et la pression, lorsqu'il n'y a pas de circulation, à la f.e.m. de la pile. Sur la figure 11, le robinet est ouvert, l'eau circule, il y a une différence de pression entre deux points suffisamment éloignés.

Lorsqu'on branche un circuit aux bornes de la pile, le voltmètre mesure cette fois une différence de potentiel (ou tension) différente de la f.e.m. (fig. 12). La résistance est l'analogue du tuyau d'eau : à ses bornes existe

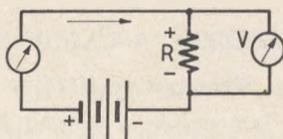


FIG. 12

une différence de potentiel, de même qu'entre les points B et C on mesurait une différence de pression.

Nous reviendrons ultérieurement sur cette notion de f.e.m. et de tension.

AMPEREMETRE

Principe

Fig 13 : A l'intérieur d'un bobinage se trouvent une petite lame fixe de fer doux ; parallèlement et très près de celle-ci, une autre lame identique pouvant pivoter sur un axe et peut donc s'écarter de sa position de repos maintenue par un ressort spirale.

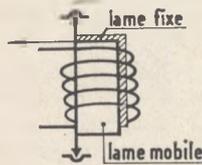


FIG. 13

Au repos les 2 lames sont vis-à-vis l'une de l'autre. Quand on fait passer un courant dans le bobinage, un champ magnétique prend naissance et aimante les 2 lames placées dans ce champ.

Or ces « aimants » qui viennent d'être créés vont avoir ensemble les mêmes pôles en face l'un de l'autre. Ils vont se repousser et la lame mobile va pivoter pour s'éloigner de la lame fixe. Une aiguille solidaire de la lame mobile va se déplacer au-dessus d'un cadran gradué et la lecture sera fonction de l'intensité du courant dans le bobinage.

Cet ampèremètre est du type ferro-magnétique. Il peut aussi mesurer des courants alternatifs puisque les changements d'aimantation se font en même temps sur les 2 lames et les répulsions concordent.

C'est un appareil simple, mais pour obtenir plus de précision, on lui préfère l'appareil suivant.

AMPEREMETRE A CADRE MOBILE

Principe (fig. 14)

Le fil dans lequel on fera passer le courant à mesurer est enroulé sur un cadre léger pouvant pivoter sur un axe : il est maintenu dans sa position de repos par un ressort spirale.

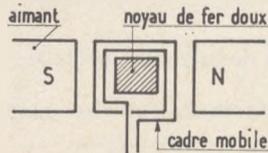


FIG. 14

On place ce cadre dans le champ d'un fort aimant. Quand le courant passe, il produit un champ magnétique dans le cadre qui se comporte comme un aimant à proximité de l'aimant fixe de l'appareil et va pivoter. Son déplacement sera fonction de l'intensité qui passe dans le cadre.

Une pièce de fer doux est placée à l'intérieur du cadre pour que les lignes de force de l'aimant s'y dirigent en plus grand nombre, ce qui renforce la force de rotation du cadre (perméabilité page 29).

Cet appareil ne fonctionne que sur courant continu. Pour l'utiliser en alternatif, il faut lui adjoindre un petit redresseur (pont de diodes) que l'on étudiera plus tard.

AMPEREMETRE THERMIQUE

Principe

On utilise la dilatation d'un conducteur résistant provoquée par la chaleur produite par effet Joule lors du passage du courant (voir page 29).

Ce conducteur AB subit la tension du ressort de la branche CD formée d'un fil passant autour d'une poulie sur laquelle on fixe une aiguille de lecture (fig. 15).

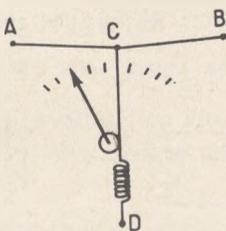


FIG. 15

Au passage du courant, AB s'allonge, ce qui entraîne la poulie et l'aiguille.

C'est ce type d'appareil que l'on utilise souvent pour mesurer des intensités HF (cas des ampèremètres d'antenne, par exemple).

BRANCHEMENT

Un ampèremètre, mesurant l'intensité d'un courant doit être branché en série dans le circuit. Pour ne pas perturber les caractéristiques de ce dernier, il faut que l'ampèremètre (ou plus souvent pour le radio-amateur, le milliampèremètre) ait la plus faible résistance possible.

VOLTMETRE

Le principe des voltmètres est identique à celui des ampèremètres, mais comme il se branche en parallèle aux bornes d'une résistance ou d'un circuit, il ne faut pas qu'il consomme, ou très peu. Pour ne pas perturber, sa résistance est donc la plus forte possible.

CONTROLEUR UNIVERSEL

C'est l'appareil de mesure indispensable. L'équipement mobile dont il est pourvu, peut servir en voltmètre grâce à des résistances en serie, ou en ampèremètre grâce à des shunts (résistances en parallèle).

Son cadran comporte aussi une échelle pour la mesure des résistances et parfois pour celles des capacités et des décibels.

LOI D'OHM

Un circuit (fig. 16) comprend une pile, une résistance R , un voltmètre V branché à ses bornes, un ampèremètre A qui mesure l'intensité dans le circuit et une résistance variable R_h appelée rhéostat. Celui-ci se compose

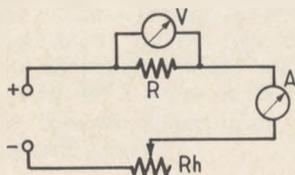


FIG. 16

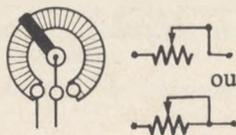


FIG. 17

d'un fil résistant enroulé sur un support isolant en forme de couronne ; un curseur solidaire d'un bouton de commande peut être placé sur une portion plus ou moins grande de résistance (fig. 17). Le rhéostat permet de faire varier l'intensité dans le circuit.

On règle le rhéostat pour lire une intensité de 0,2 ampère. Cette intensité est celle qui passe dans la résistance R et du fait du passage du courant, une tension apparaît aux bornes de R et sa valeur sera lue sur le voltmètre V . Supposons qu'il indique 1 volt.

On agit sur R_h pour que l'intensité devienne 0,4 ampère. On va alors constater que la tension mesurée aux bornes de R est passée à 2 volts.

On continue l'expérience en augmentant l'intensité à 0,6 ampère. La tension aux borne de R sera de 3 volts.

On constate que le rapport entre la tension et la ^{intensité} résistance est constant :

1° $\frac{1}{0,2} = 5$ 2° : $\frac{2}{0,4} = 5$ 3° : $\frac{3}{0,6} = 5$

Ce chiffre constant caractérise la valeur de la résistance. L'intensité et la tension ont bien varié mais la résistance bien sûr est restée la même.

Ce calcul de la résistance est donnée par la formule de la loi d'ohm qui s'exprime ainsi :

$$R = \frac{V \text{ volts}}{I \text{ ampères}}$$

L'unité de résistance est l'ohm. C'est la valeur d'une résistance qui indique une tension de 1 volt lorsqu'elle est parcourue par un courant de 1 ampère.

Une résistance qui serait parcourue par un courant de 2 ampères avec une tension de 40 volts à ses bornes, aurait une valeur de $40/2 = 20$ ohms (ohm s'écrit en abrégé Ω).

La formule $R = V/I$ peut se transformer. On peut l'écrire $V = R \times I$ (ou : RI). Ainsi connaissant la résistance et l'intensité, on peut calculer la tension. Par exemple, une résistance de 20 ohms parcourue par 2 ampères, aura à ses bornes une tension de $20 \times 2 = 40$ volts.

On peut aussi l'écrire : $I = \frac{V}{R}$. Par exemple, si aux bornes d'une résis-

tance de 50 ohms on mesure une tension de 2 volts, l'intensité sera $\frac{2}{50} = 0,040$ ampère (ou 40 milliampères ; on dit couramment : 40 millis).

N.B. — On évalue aussi les résistances en mégohms (millions d'ohms) et en microhms (millionièmes d'ohms).

GENERALITES SUR LES PILES

Une pile se compose d'un métal plongeant dans une solution et c'est la réaction chimique entre eux qui produit de l'électricité. L'autre élément plongeant dans le liquide recueille le courant, il sert de collecteur.

La pile utilisant du zinc et de l'eau acidulée comme on l'a vu précédemment n'est pas utilisée en pratique. Des améliorations ont été apportées. Un type très répandu est la pile Leclanché. Le pôle négatif est constitué par du zinc et le liquide est une solution de sel ammoniac dans l'eau. Le pôle + est un bâton de charbon de corne.

Utilisé tel quel, ce système ne donne pas satisfaction. Après quelque temps de fonctionnement le courant baisse graduellement, la pile devient inutilisable. Voici pourquoi : le passage du courant dans la solution provoque la décomposition de l'eau (qui se compose d'oxygène et d'hydrogène). La décomposition d'un liquide par le courant électrique est appelée électrolyse. Dans ce phénomène l'hydrogène résultant de cette décomposition suit le sens du courant. Nous savons que celui-ci va extérieurement du + au —,

donc du charbon vers le zinc et à l'intérieur il va du zinc vers le charbon. Celui-ci étant chimiquement neutre, il ne peut faire de combinaison avec l'hydrogène qui, suivant le courant, va constituer une gaine gazeuse isolante autour du charbon. On dit que la pile est polarisée.

Pour améliorer la pile, il faut éliminer cet hydrogène isolant. On y parvient en entourant le bâton de charbon d'un sac contenant une poudre à base de bioxyde de manganèse. Celui-ci a la propriété d'absorber l'hydrogène. La pile ainsi améliorée va donc fonctionner d'une façon régulière. Cependant, il ne faut pas que la production d'hydrogène soit plus rapide que son absorption. Il faut que le courant demandé à la pile n'excède pas une certaine valeur, une certaine intensité, indiquée par le fabricant.

Pour plus de commodité, le liquide est rendu gélatineux pour l'immobiliser. Le récipient est constitué par du zinc amalgamé et constitue le pôle négatif.

Un autre type de pile miniature est la pile au mercure.

Une pile est caractérisée par sa f.e.m., par l'intensité normale d'utilisation et aussi par sa résistance interne. En effet, le courant qui circule dans le circuit extérieur, passe aussi à travers la pile.

Dans le calcul de l'intensité, il faut tenir compte de cette résistance interne surtout si R du circuit n'est pas très élevée. Les deux résistances s'ajoutent.

Une pile d'une f.e.m. de 1,5 volt, dont la résistance interne est 10 ohms, est branchée sur une résistance de 20 ohms :

$$\text{On applique la formule } I = \frac{E}{R} = \frac{1,5}{10 + 20} = \frac{1,5}{30} = 0,050 \text{ A (50 millis).}$$

Revenons encore sur la distinction entre la f.e.m. et la tension (ou différence de potentiel).

La f.e.m. est la différence de potentiel aux bornes en circuit ouvert (sans aucun circuit de branché). La différence de potentiel ou tension est mesurée aux bornes d'un circuit ou d'un appareil ; sur le schéma de la figure 18, un

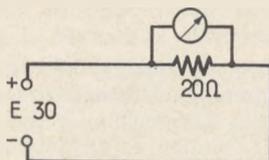


FIG. 18

générateur E d'une f.e.m. de 30 volts et d'une résistance interne Ri de 10 ohms est branché sur un circuit comprenant une résistance R de 20 ohms.

$$\text{On calcule l'intensité : } \frac{E}{R + R_i} = \frac{30}{20 + 10} = 1 \text{ ampère.}$$

La tension mesurée aux bornes de R est $V = RI = 1 \text{ amp} \times 20 \text{ ohms} = 20 \text{ volts}$. On retrouve bien la valeur de l'intensité en utilisant pour le calcul seulement

$$\text{la tension à ses bornes : } \frac{20 \text{ volts}}{20 \text{ ohms}} = 1 \text{ ampère.}$$

On peut donc calculer l'intensité en utilisant la valeur de la f.e.m. à condition de tenir compte de sa résistance interne ; ou en utilisant la valeur de la tension mesurée aux bornes de R du circuit parcourue par le courant.

Chute de tension

Fig. 19 : Un appareil électrique B fonctionne avec une intensité de 1 ampère. On lui applique une f.e.m. de 100 volts de résistance négligeable, mais le circuit a une résistance de 20 ohms. Cette R est parcourue par

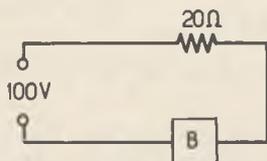


FIG. 19

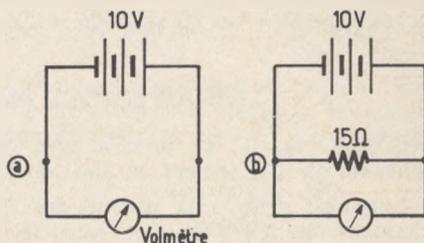


FIG. 20

1 ampère, donc à ses bornes va se produire une chute de tension de $20 \times 1 = 20 \text{ volts}$. Cette chute de tension va se retrancher des 100 volts disponibles et la tension réellement appliquée à l'appareil B sera de $100 - 20 = 80 \text{ volts}$.

Encore un exemple de différence entre f.e.m. et tension aux bornes d'un circuit. Figure 20, en a) le générateur ne débite pas, on mesure la f.e.m., soit 10 volts. En b) on branche une résistance de 15 ohms aux bornes du générateur dont la résistance interne est de 5 ohms.

$$\text{L'intensité sera } \frac{10}{15 + 5} = 0,5 \text{ A.}$$

Le voltmètre indiquera $0,5 \times 15 = 7 \text{ volts}$ (différence de potentiel aux bornes de R et non plus 10 volts (f.e.m.).

Figure 21 : Le générateur a une résistance interne de 10 ohms. La résistance totale du circuit est $5 + 25 + 40 + 10 = 80 \text{ ohms}$.

$$\text{L'intensité est : } 10 : 80 = 0,125 \text{ A.}$$

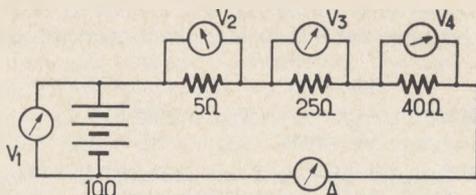


FIG. 21

Tension aux bornes de R1 : $5 \times 0,125 = 0,625 \text{ V}$

R2 : $25 \times 0,125 = 3,125 \text{ V}$

R3 : $40 \times 0,125 = 5 \text{ V}$

Le voltmètre V1 indique le total : 8,750 volts

La chute provoquée par la résistance interne est $10 \times 0,125 = 1,250 \text{ volts}$.
Et l'on retrouve bien les 10 volts de la f.e.m. : $8,750 + 1,250 = 10 \text{ V}$.

GROUPEMENT DES PILES

1° en série : fig. 22 on joint le pôle négatif d'une pile au pôle positif de la suivante ou inversement, et ainsi de suite.

La f.e.m. est égale à la somme des f.e.m. de chaque pile. De même les résistances internes s'ajoutent. Mais le débit sera celui d'une seule pile.

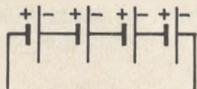


FIG. 22

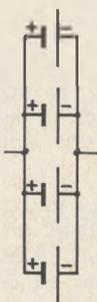


FIG. 23

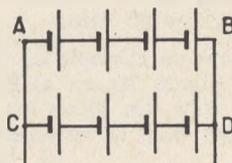


FIG. 24

Ainsi, avec 4 piles ayant chacune une f.e.m. de 1,5 V, une résistance interne de 2 ohms et pouvant débiter 0,2 millis, on disposera une f.e.m. de $1,5 \times 4 = 6 \text{ volts}$, d'une intensité maximale de 0,2 millis, et d'une résistance interne de 8 ohms.

2° en parallèle (fig. 23) : on relie ensemble tous les pôles + et tous les pôles —. La f.e.m. reste celle d'une seule pile, la résistance interne est divisée par le nombre de piles et l'intensité disponible sera multipliée par le nombre de piles. Avec les mêmes piles que dans l'exemple précédent, on aura une f.e.m. de 1,5 V, une intensité disponible de $0,200 \times 4 = 0,8$ A et une résistance interne de $2 : 4 = 0,5$ ohms.

On peut aussi combiner les deux groupements (fig. 24). Avec les mêmes piles que précédemment, la branche AB donne : $4 \times 1,5 = 6$ volts, débit disponible 0,2 A ; la branche CD identique, donne aussi 6 volts, même débit disponible. Chaque branche a une résistance de 8 ohms. Comme ces deux branches sont groupées en parallèle, elles ont la même f.e.m. 6 volts, mais l'intensité disponible sera $0,2 \times 2 = 0,4$ Amp., et la résistance interne sera : $8 : 2 = 4$ ohms.

GROUPEMENT DES RESISTANCES

1° en série : les résistances s'ajoutent. Figure 25 : on obtient $10 + 15 = 30$ ohms.

2° en parallèle : si les résistances ont la même valeur, la résistance équivalente sera égale à celle d'une résistance divisée par le nombre de résistances. Figure 26, la résistance équivalente est $16 : 4 = 4$ ohms.

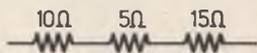


FIG. 25

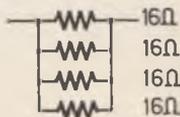


FIG. 26

Cas de résistances de valeurs différentes

La règle est la suivante : L'inverse de la résistance équivalente est égale à la somme des inverses de chaque résistance, ce qui se met sous la forme :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$

Si l'on réduit au même dénominateur, on obtient en définitive :

$$R = \frac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2} \text{ ou } \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$$

Cette formule est utile à retenir : on divise le produit des deux résistances par leur somme. Figure 27, on obtient :

$$R \text{ équivalente : } \frac{10 \times 5}{10 + 5} = \frac{50}{15} = 3,33 \text{ ohms}$$

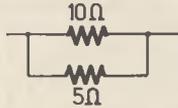


FIG. 27

N.B. : cette formule ne s'applique qu'à deux résistances. Pour trois résistances, la formule deviendrait :

$$R = \frac{r_1 r_2 r_3}{r_1 r_2 + r_1 r_3 + r_2 r_3}$$

ACCUMULATEUR

C'est un générateur utilisant des réactions chimiques comme dans une pile, mais il fonctionne d'une autre façon : il restitue l'énergie qu'on lui a préalablement fournie. Principe (fig. 28) : deux plaques de plomb plongent dans un mélange d'eau et d'acide sulfurique (électrolyte). On réunit les plaques à une source de courant continu.

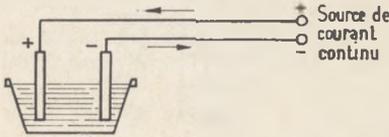


FIG. 28

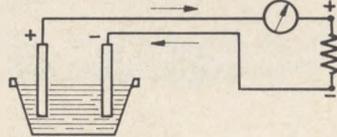


FIG. 29

L'ampèremètre dévie, indiquant le passage du courant. Au bout d'un certain temps on débranche la source et on la remplace par une résistance. On constate alors le passage d'un courant mais dans l'autre sens. En définitive, l'accumulateur restitue la quantité d'électricité qu'on lui a fournie (fig. 29).

Le sens du courant de décharge est inverse de celui de la charge, mais les plaques conservent bien la même polarité, que ce soit la charge ou la décharge, ce que l'on peut vérifier sur les figures 28 et 29.

Les plaques de plomb sont préparées chimiquement à l'avance car le plomb pur serait trop long à former et ne donnerait que peu de quantité de courant.

La résistance interne d'un accumulateur est très faible, pratiquement négligeable, ce qui rend dangereux tout court-circuit, l'intensité n'étant pas limitée par la résistance interne. C'est pourquoi aussi on ne branche pas d'accumulateurs en parallèle comme cela se fait pour les piles.

Capacité

C'est la quantité d'électricité emmagasinée. On l'évalue en ampères-heures. L'ampère-heure est la capacité d'un accumulateur qui donnerait un courant de un ampère pendant une heure. Une batterie ayant une capacité de 40 ampères-heures (AH), pourrait théoriquement fournir un courant de 4 ampères pendant 10 heures, ou un courant de un ampère pendant 40 heures ou encore un courant de 0,1 ampère pendant 400 heures. Cette capacité est fonction des dimensions des plaques et du volume de l'électrolyte.

Régime de charge

Pour ne pas détériorer la batterie, on limite le courant de charge au dixième de la capacité en ampères-heure. La batterie de 40 AH, ne devra pas être chargée à plus de 4 ampères.

La densité de l'électrolyte que l'on mesure avec un pèse-acide, est d'environ 28° Beaumé en charge pour la plupart des batteries.

Cette densité baisse au fur et à mesure de la décharge et tombe à 24°. La mesure de la densité indique nettement l'état de charge.

Courbes des courants de charge et de décharge (fig. 30).

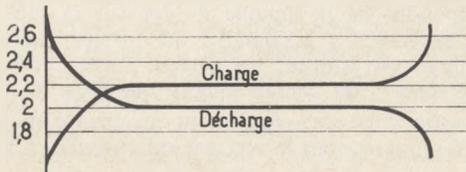


FIG. 30

Charge :

Le courant se maintient aux environs de 2,2 volts puis en fin de charge monte rapidement à 2,6 volts. Le dégagement gazeux qui se produit alors indique que l'accumulateur est chargé. On coupe la charge. La f.e.m. tombe de suite à 2,4 volts puis pendant l'utilisation, se maintient pendant longtemps aux environs de 2 volts et ensuite baisse rapidement. On arrête l'utilisation lorsque la f.e.m. atteint 1,8 volt.

Entretien : Il faut :

- maintenir le niveau de l'électrolyte à 1 centimètre au-dessus des plaques ; on ajoute de l'eau distillée si le niveau est insuffisant.
- ne pas laisser la batterie déchargée pour éviter le sulfatage des plaques.
- graisser les bornes pour éviter la production de sels grimpants.
- respecter les régimes de charge et de décharge.

Autres types d'accumulateurs : ceux au fer-nickel ou au cadmium-nickel avec une électrolyte alcaline. Ils sont robustes et plus légers que les accumulateurs au plomb mais leur f.e.m. et leur capacité sont moindres et le prix de revient est plus élevé.

MAGNETISME

Un aimant est un morceau d'acier qui a la propriété d'attirer le fer. On lui donne souvent la forme d'un barreau ou d'un fer à cheval. Il y a un pôle nord et un pôle sud à ses extrémités. Le pôle nord de l'aimant est celui qui, s'il était suspendu et mobile, se dirigerait vers le pôle nord de la terre (boussole).

Un pôle ne peut exister seul. Si l'on brise en deux une aiguille aimantée, on obtient deux aimants (fig. 31).

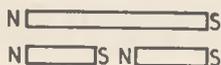


FIG. 31

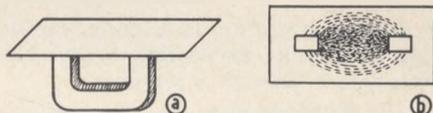


FIG. 32

Le champ magnétique d'un aimant est l'espace dans lequel l'attraction se manifeste. On place une feuille de carton mince au-dessus d'un aimant (fig. 32 a). On saupoudre de la limaille de fer sur la feuille à laquelle on applique quelques secousses ; la limaille va former un dessin particulier représentant des lignes qui suivent un certain trajet ; ces lignes matérialisent les « lignes de force » du champ magnétique (Fig. 32 b).

Un courant électrique possède également un champ magnétique qui sera plus marqué si le fil parcouru par le courant est enroulé en bobinage (fig. 33).

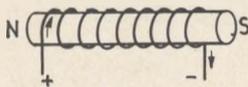


FIG. 33

Un cylindre de carton ou de matière isolante sur lequel est enroulé ce fil constitue un « solénoïde ». A l'intérieur le courant créera un champ magnétique. Le pôle nord de ce champ sera du côté du solénoïde où l'on verrait le courant tourner dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

Si l'on place un barreau de fer doux à l'intérieur, il s'aimantera au passage du courant. Si le courant cesse, l'aimantation disparaît. C'est le principe de l'électro-aimant. Si on remplace le fer par de l'acier, celui-ci conserve l'aimantation. C'est une façon d'obtenir un aimant permanent.

Un courant électrique placé dans un champ magnétique, à cause des actions réciproques des deux champs (le deuxième étant celui du courant) va être soumis à des forces et pourra se déplacer.

Le courant peut donc effectuer un travail. Cette propriété est utilisée dans les moteurs électriques.

Perméabilité magnétique

Les corps placés dans un champ magnétique offrent une certaine résistance aux lignes de force.

La perméabilité magnétique caractérise la facilité avec laquelle ils se laissent traverser.

Celle de l'air est 1.

Celle du fer, plusieurs milliers. C'est pourquoi un noyau de fer doux placé à l'intérieur d'un bobinage, augmente considérablement le champ magnétique de celui-ci.

ENERGIE ELECTRIQUE

L'énergie est ce qui permet d'effectuer un travail. L'électricité est une source d'énergie : elle peut effectuer un travail mécanique (déplacement d'un conducteur parcouru par le courant et placé dans un champ magnétique, moteur électrique) ou encore se transformer en chaleur.

La chaleur est aussi de l'énergie.

L'unité de quantité de chaleur est la calorie : c'est la quantité nécessaire pour élever de 1 degré la température d'un centimètre cube d'eau (1 gramme).

Le passage d'un courant dans un conducteur dégage de la chaleur. C'est l'effet Joule. L'énergie fournie à une résistance R parcourue par un courant I pendant un temps de t secondes, est évaluée en « joules ».

La formule est : $W \text{ joules} = RI^2t$ (R en ohms ; I en ampères ; t en secondes). On voit que l'énergie dissipée (chaleur dégagée) est proportionnelle au carré de l'intensité. Par exemple si l'intensité double (multipliée par 2) l'énergie dissipée sera 4 fois plus grande.

PUISSANCE

On appelle puissance le nombre de joules par seconde. Elle s'exprime en watts. La formule devient donc : $W \text{ watts} = RI^2$ le temps devenant égal à un, n'est donc plus exprimé).

Cette formule importante peut s'écrire : $W \text{ watts} = UI$ (U en volts, I en ampères). En effet, on sait que $U = RI$; si on met dans la formule RI à la place de U, on a bien : $RI \times I = RI^2$.

La puissance caractérise un appareil, une résistance. Quand on parle d'une résistance de 2 watts, cela veut dire que l'intensité qu'elle peut admettre ne doit pas dépasser une certaine valeur pour ne pas être détruite par une trop forte température.

Soit une résistance chauffante de 100 ohms prévue pour une puissance
de 400 watts. Le produit $RI^2 = W \text{ watts}$. On en tire $I^2 = \frac{W}{R}$, donc $\frac{400}{100} = 4$.

4 est le carré de l'intensité. La racine carrée de 4 est 2. Donc l'intensité maximale admise pour cette résistance sera 2 ampères.

INDUCTION

On a vu que le passage du courant provoque l'aimantation d'un noyau de fer doux placé au centre du bobinage. Sur ce même noyau on ajoute un deuxième bobinage comme sur la figure 34. La seule liaison entre les

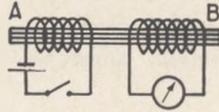


FIG. 34

deux bobinages est le noyau. Lorsque l'on ferme le contact, le courant aimante le noyau. Au moment de cette fermeture, on constate dans l'appareil de mesure le passage d'un courant très bref dans le bobinage B. Ce courant « induit » cesse bien que le courant continue de circuler dans A et que l'aimantation subsiste. Si l'on ouvre le contact, l'aimantation cesse et l'on constate le passage d'un courant très bref de sens contraire dans B. On voit donc que l'on peut obtenir un courant induit lorsque l'aimantation, donc le champ magnétique, est variable. Dans notre expérience, il passait de zéro à une certaine valeur, restait constant (alors le courant cessait), ensuite passait de sa valeur constante à zéro (le courant naissait puis cessait).

COURANT ALTERNATIF

Le courant alternatif est ainsi appelé parce qu'il change constamment de sens. A un moment donné il circule dans le sens positif, puis il s'annule et circule ensuite dans le sens négatif.

On le représente schématiquement par une courbe représentant les valeurs du courant ou de la tension dans le temps (fig. 35).

Le courant part de zéro, atteint une certaine valeur positive maximale I_m , diminue pour passer par zéro, devient négatif et atteint la même valeur maximale mais négative.

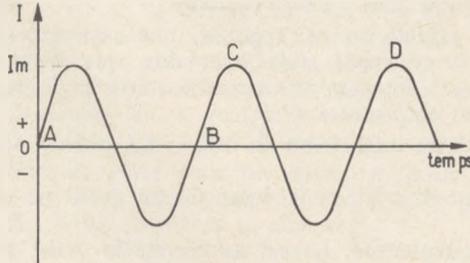


FIG. 35

La « période » est le temps que met le courant pour passer d'une certaine valeur dans un sens et revenir à la même valeur dans le même sens. Sur la figure 35 l'espace AB ou encore CD représente une période.

La « fréquence » du courant est le nombre de périodes par seconde. Ainsi le courant du réseau de distribution électrique est à 50 périodes, c'est-à-dire que cinquante fois par seconde le courant électrique part de zéro, passe par un maximum, la valeur zéro, un maximum de sens inverse et de nouveau zéro ; en résumé on a par période une alternance positive et une alternance négative.

La courbe de la figure 35 représente la forme d'un courant alternatif « sinusoïdal ». Ce mot précise que le courant est fonction d'un terme trigonométrique appelé sinus. La courbe de la figure 36 représente un courant alternatif : les mêmes valeurs se retrouvent périodiquement mais il n'est plus sinusoïdal.

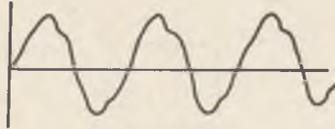


FIG. 36

On verra que certains phénomènes peuvent se rapporter à des courants sinusoïdaux ou non.

Un courant alternatif est caractérisé par une « valeur maximale » I_m si l'on considère l'intensité et U_m si l'on considère la tension.

Il est aussi caractérisé par une « valeur efficace ». Ce serait celle d'un courant continu qui dégagerait la même quantité de chaleur dans le même temps dans une résistance pure.

Elle est égale à $0,707 \times I_{max}$ s'il s'agit de courant sinusoïdaux. Cette formule s'applique pour les tensions $U_{eff} = U_{max} \times 0,707$.

Les appareils de mesure sont en général gradués en valeurs efficaces. La formule précédente permet de calculer la valeur maximale : ainsi sur le secteur de 110 volts, la tension maximale (ou tension de pointe) atteinte par le courant est $110 : 0,707 = 155$ volts.

On peut faire le même calcul en multipliant par 1,414 au lieu de diviser par 0,707, ce qui revient au même : $110 \times 1,414 = 155$.

Nous pourrions créer expérimentalement un courant alternatif avec le dispositif de la figure 37 : en A un barreau aimanté est animé d'un mou-



FIG. 37

vement de rotation. Ses pôles passent alternativement devant le noyau de fer doux sur lequel se trouve un bobinage. A chaque tour, les pôles changent devant le noyau et le courant induit lui-même changera de sens.

En B, un cadre tournant dans le champ d'un aimant produira également du courant alternatif.

Le courant alternatif du réseau de distribution est produit par des machines plus complexes et plus importantes appelées « alternateurs » fournissant un courant sinusoïdal.

Action d'un courant alternatif sur une inductance

On suppose que le bobinage (ou inductance) de la figure 38 comporte un grand nombre de spires bobinées sur un noyau de fer doux mais a une résistance ohmique faible, par exemple 10 ohms. Si à ses bornes on branchait

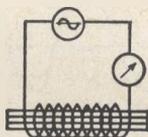


FIG. 38

une f.e.m. de 100 volts en continu, l'intensité serait importante : $100 : 10 = 10$ ampères ; la puissance RI^2 serait $10 \times 100 = 1\,000$ watts et se dissiperait en chaleur ; elle pourrait provoquer la destruction du bobinage.

Si l'on remplace la f.e.m. continue par la même en courant alternatif, on constate que l'intensité dans le circuit est bien plus faible ; l'effet de court-circuit provoqué par la source de courant continu n'existe plus. Tout se passe comme si l'inductance présentait par rapport au courant alternatif une résistance supplémentaire à la résistance ohmique. Cette résistance supplémentaire est appelée « impédance ».

Elle est fonction de l'importance du bobinage et de la fréquence du courant.

L'importance du bobinage est fonction de son « coefficient de self-induction » qui varie avec la nature du noyau et il est proportionnel au carré du nombre de spires. L'unité de self-induction, désigné par la lettre L , est le henry, unité assez considérable et dans les circuits radio on utilise fréquemment le millihenry ou le microhenry.

La valeur de l'impédance, désignée par la lettre Z , est donnée par la formule $Z = \omega L$, dans laquelle Z est exprimée en ohms, L en henrys ; ω est appelée « pulsation » du courant ; c'est la fréquence F multipliée par 2π . Donc $\omega = 2\pi F$.

On voit que plus la fréquence est élevée, plus l'impédance est elle-même plus élevée.

L'intensité dans un circuit de résistance ohmique négligeable comportant une inductance est :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{T\omega}{\Omega} = I \end{array} \right. \begin{array}{l} I \text{ en ampères} \\ U \text{ en volts} \\ L \text{ en henrys} \end{array}$$

Dans une résistance pure, l'intensité et la tension passent en même temps par leurs valeurs maximales ou nulles ; on dit qu'elles sont en phase.

Dans une inductance pure, le courant est en retard sur la tension : il y a un décalage ou déphasage de un quart de période ou 90° (fig. 39).

On voit que la courbe en pointillé qui représente l'intensité, est en retard sur la courbe en ligne pleine qui représente la tension.

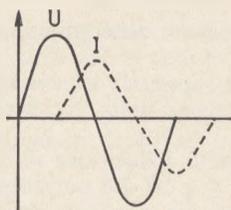


FIG. 39

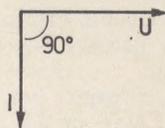


FIG. 40

Retenir l'existence de ce décalage de l'intensité sur la tension, ce que l'on représente schématiquement par la figure 40.

Explication : lorsque la tension est appliquée à la self, celle-ci s'oppose à la variation de courant (qui passe de zéro à une certaine valeur).

Le courant est « freiné » et retarde donc sur la tension.

CONDENSATEUR

Principe :

Deux lames métalliques très proches l'une de l'autre, séparées par un isolant (air, mica, etc.) constituent un condensateur.

A la fermeture de l'interrupteur du circuit de la figure 41 on constate le passage d'un courant très bref. Le condensateur s'est chargé ; le courant ne passe plus.

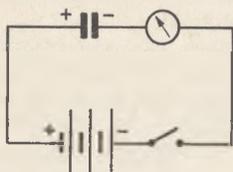


FIG. 41

La quantité d'électricité emmagasinée dans le condensateur est fonction de la surface des lames en présence, de l'épaisseur de l'isolant, appelé diélectrique et de la nature de ce diélectrique, caractérisé par ce qu'on appelle son pouvoir inducteur spécifique (ou constante diélectrique). Pour l'air il est égal à 1. Pour le mica il est bien plus important, pouvant aller jusqu'à 8.

En résumé, la « capacité » d'un condensateur est d'autant plus importante que la surface des lames et la constante diélectrique sont plus grandes et que l'épaisseur entre les lames est plus petite.

L'unité de capacité est le farad. C'est une unité trop importante en pratique. On utilise le microfarad, qui vaut un millionième de farad ; le nanofarad qui vaut un millième de microfarad et le picofarad qui vaut un millionième de microfarad.

Les condensateurs sont caractérisés par leur rigidité diélectrique, exprimée en kV/mm (kilo-volts par millimètre).

Cette rigidité exprime la tension que peuvent supporter les condensateurs sans être détruits par l'étincelle qui pourrait éclater entre les deux lames de ceux-ci.

Ainsi, le papier pour condensateur a une rigidité diélectrique de 20 à 40. Le papier bulle de 4,8 à 7,2. Les céramiques de 4 à 10. Le polyéthylène 40.

Lorsqu'on a besoin de capacités importantes, de plusieurs microfarads par exemple, on utilise des condensateurs « électrolytiques ou électrochimiques » dans lesquels le diélectrique est une couche d'alumine produite chimiquement sur un ruban d'aluminium.

Cette couche est très mince, donc la capacité est très importante. Mais ils sont polarisés, c'est-à-dire qu'ils possèdent un pôle positif et un pôle négatif ; ils ne sont donc utilisables qu'avec des tensions continues en respectant le sens des polarités sinon le condensateur serait détruit.

Action du courant alternatif sur un condensateur

Un condensateur arrête le courant continu. Mais lorsqu'on branche à ses bornes une source alternative, il y a une suite de charges et de décharges de sorte que dans le circuit tout se passe comme si le condensateur laissait passer le courant (fig. 42). Il présente une certaine impédance (réactance de capacité).

Cette impédance est $Z = \frac{1}{\omega C}$ } Z en ohms
 $\omega = 2 \pi$ Fréquence (pulsation).
 C en farads

On voit que plus la capacité et la pulsation, donc la fréquence, sont grandes, plus l'impédance est faible.

Une forte capacité branchée sur une fréquence très élevée ferait effet de court-circuit.

On a vu qu'une inductance provoquait un décalage du courant qui se trouvait en retard sur la tension.

Une capacité provoque un décalage inverse : le courant est en *avance* sur la tension (fig. 42 bis). (Lorsque la tension est appliquée à un condensateur, celui-ci absorbe de suite le courant ; la tension aux bornes du conden-

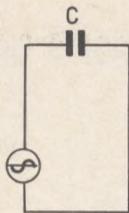


FIG. 42

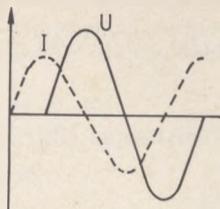


FIG. 42 bis

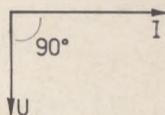


FIG. 43

sateur n'apparaît que graduellement jusqu'à ce qu'il soit chargé. Donc la tension retarde sur le courant). C'est ce que l'on représente schématiquement par le diagramme de la figure 43.

En supposant le circuit sans résistance, l'intensité serait :

$$I = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = U \omega C$$

Circuit comportant une inductance et une capacité (fig. 44 et 45)

L'intensité est d'autant plus grande que la tension, la pulsation c'est-à-dire la fréquence, et la capacité sont plus grandes.

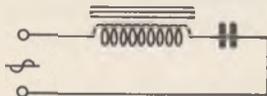


FIG. 44

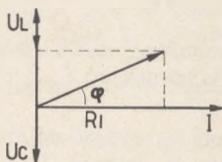


FIG. 45

L'inductance provoque un décalage en arrière du courant, le condensateur provoque un décalage en avant du courant. Ces deux actions vont se contrarier. Le décalage résultant sera fonction de l'importance de U_L par rapport à U_C et le courant sera en avance ou en retard suivant le cas.

Lorsque les décalages provoqués par L et par C se compensent, l'annulation des deux composantes réactives produisent la « résonance ».

Celle-ci se produit donc lorsqu'on a :

$\omega L = \frac{1}{\omega C}$. De cette formule, on dit aussi que la condition de résonance est $\omega^2 LC = 1$.

Effet des résistances (fig. 46 et 47)

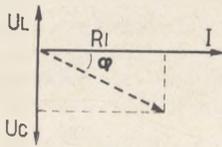


FIG. 46

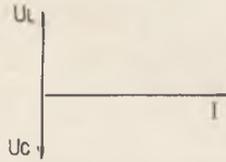


FIG. 47

Les circuits ne sont jamais sans résistance. La formule de l'impédance pour un circuit comprenant inductance et résistance devient :

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

Le courant est décalé en arrière d'un angle inférieur à 90°.

Pour un circuit comprenant capacité et résistance, la formule de l'impédance devient :

$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$ Le courant est décalé en avant d'un angle inférieur à 90°.

Circuit comprenant inductance, capacité, résistance

L'impédance sera donnée par la formule :

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$$

A la résonance, des surtensions élevées peuvent se produire aux bornes de L et de C en particulier si R est faible.

N.B. Dans un circuit ne comprenant que des résistances pures, la tension U est en phase avec l'intensité i (figure 47 bis).

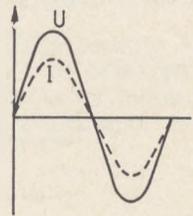


FIG. 47 bis

Groupement des bobinages

S'il n'y a aucun couplage entre eux, la formule est celle du groupement des résistances :

en série : $L_t = L_1 + L_2 + L_3 \dots$

en parallèle : $\frac{1}{L_t} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} \dots$

Groupement des condensateurs

On utilise souvent ces branchements pour obtenir diverses valeurs. En parallèle, les capacités s'ajoutent. $C = c_1 + c_2 + c_3$. En série, nous aurons

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3} \quad (\text{fig. 48 et 49}).$$

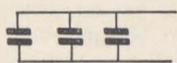


FIG. 48

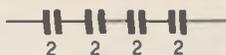


FIG. 49

La capacité résultante C sera inférieure à la plus petite des capacités en série.

Cette formule devient pour deux capacités seulement : $\frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$.

Lorsqu'il s'agit de condensateurs de même valeur, on peut simplifier en divisant la valeur de la capacité d'un condensateur par le nombre n de ces condensateurs. $C = \frac{c}{n}$.

Par exemple la capacité résultante de cet ensemble de quatre condensateurs de 2 microfarads ($2 \mu\text{F}$) chacun, sera de $2 : 4 = 0,5 \mu\text{F}$. Mais pour 2 condensateurs en série, l'un de $6 \mu\text{F}$ et l'autre de 2, la capacité résultante sera $\frac{6 \times 2}{6 + 2} = \frac{12}{8} = 1,5 \Omega$.

LE TRANSFORMATEUR

Considérons le schéma de la fig. 50. On sait que le courant variable passant dans le bobinage A induit un courant dans B, ce que l'on peut constater par la luminosité de l'ampoule.

C'est le principe du transformateur que l'on représente schématiquement figure 51.

Sur le noyau de fer doux sont bobinés un enroulement primaire P et un enroulement secondaire S.

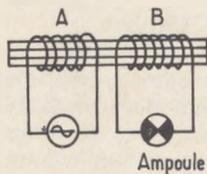


FIG. 50

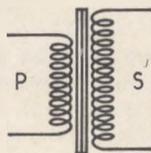


FIG. 51

Le rapport du nombre des spires du secondaire à celui du primaire est appelé « rapport de transformation ». Si le primaire comporte 1 000 spires et le secondaire 5 000 spires, le rapport de transformation est $\frac{5\ 000}{1\ 000} = 5$.

si le secondaire ne comporte que 100 spires, le rapport sera $\frac{100}{1000} = \frac{1}{10}$.

Dans le premier cas, le transformateur est élévateur de tension ; dans le second cas, il est abaisseur. Ce principe va permettre de transformer le courant alternatif de façon commode qui ne serait pas applicable au courant continu.

Exemple : On applique au primaire d'un transformateur une tension de 100 volts. Si le rapport de transformation est 5, on recueillera au secondaire une tension 5 fois plus forte, donc 500 volts.

Si le rapport est $1/20$, on recueillera une tension $1/20$ (ou 0,05) fois moins forte : $100 \times 0,05 = 5$ volts.

L'intensité va varier en sens inverse. Pour un rapport de transformation de 5, si la tension est bien multipliée par 5, l'intensité est divisée par 5. Pour un transformateur $\frac{1}{5}$, elle serait multipliée par 5.

Ce qui est logique. Si l'on suppose le transformateur sans perte, on devrait trouver au secondaire la même puissance qu'au primaire. La puissance étant exprimée par $U \times I$, si U augmente, I diminue. Par exemple, si l'intensité dans le primaire d'un transformateur est de un ampère, et la tension à ses bornes de 100 volts, et le rapport de transformation de 5, la puissance au primaire sera $100 \times 1 = 100$ watts. Au secondaire nous aurons donc une tension de $100 \times 5 = 500$ volts ; l'intensité sera de $\frac{1}{5} = 0,2$ ampère. La puissance au secondaire est bien la même qu'au primaire : $500 \times 0,2 = 100$ watts (il faudrait bien sûr diminuer les pertes inévitables). Ce qui est certain c'est qu'il est impossible d'obtenir au secondaire une puissance supérieure à celle du primaire. Si la tension augmente au secondaire, obligatoirement l'intensité diminue.

LA LOI DE LENZ

On a vu qu'un bobinage couplé à un autre circuit, crée une f.e.m. dans ce circuit. Le même phénomène se produit dans toute inductance. Le courant variable la parcourant provoque une force électromotrice induite qui sera d'un sens tel qu'elle s'opposera à la variation qui lui donne naissance. Autrement dit, si le courant augmente, la f.e.m. induite aura tendance à le diminuer. S'il diminue, ou cesse, elle aura tendance à le prolonger. D'où la

loi de Lenz qui peut se résumer ainsi : « le sens du courant induit est tel qu'il s'oppose à la variation du flux qui lui donne naissance ».

Courants de Foucault

Lorsqu'une masse métallique se trouve dans un champ magnétique variable, des courants d'induction vont prendre naissance dans cette masse.

Leur sens sera tel qu'ils tendent à s'opposer à la variation du champ (loi de Lenz).

Ils se manifestent sous forme de chaleur et représentent une perte d'énergie. Pour les éviter, dans un noyau de transformateur par exemple, on utilise des noyaux feuilletés, composés de tôles minces isolées.

Le principe des courants de Foucault est utilisé pour amortir le mouvement de l'aiguille des appareils de mesure. Le mouvement du cadre se déplaçant dans un champ magnétique provoque des courants de Foucault. Leur sens s'opposant à la cause qui leur donne naissance, vont freiner le mouvement de l'aiguille, évitant ainsi les nombreuses oscillations de celle-ci qui existent dans les appareils non amortis.

FREQUENCES

Les fréquences se répartissent en plusieurs catégories : très basses fréquences, basses fréquences, hautes fréquences, très hautes fréquences, etc.

Les fréquences audibles sont comprises dans la catégorie basse fréquence, jusqu'à une dizaine de kilohertz (1 kilo-hertz = 1 000 hertz). Certaines personnes peuvent percevoir des fréquences supérieures.

Les hautes et très hautes fréquences sont du domaine de la radio. Ce sont elles qui permettent de rayonner de l'énergie à distance, ce que l'on verra plus tard.

Les transformateurs à noyau de fer doux sont utilisés en basse fréquence (BF). Ce noyau augmente considérablement le coefficient de self-induction, ce qui est nécessaire car l'induction mutuelle entre les bobinages, donc leur action réciproque est fonction de la fréquence qui est relativement basse.

On ne peut utiliser dans des bobinages haute fréquence (HF), des noyaux de fer doux comme en BF ; ils représenteraient un vrai court-circuit pour la H.F.

Par contre, si l'on fait un aggloméré de poudre de fer très fine dans un isolant que l'on moule en forme de noyau, les grains sont isolés les uns des autres et de tels noyaux peuvent être utilisés dans les bobinages HF (noyaux de ferrite).

Leur avantage est d'augmenter fortement le coefficient de self-induction du bobinage, ou bien, pour une même valeur de self-induction, il faut moins de spires de fil, ce qui diminue les pertes et l'encombrement.

2^e PARTIE

RADIOÉLECTRICITÉ

CIRCUIT OSCILLANT

Considérons le montage figure 52.

Le commutateur branché sur A permet la charge de C. On le place ensuite sur B. Il provoque la décharge de C à travers L.

L étant une inductance, on peut appliquer la loi de Lenz : le courant de décharge de C passe dans L tout en étant freiné par l'action de la self-induction. Lorsque le condensateur a écoulé sa charge, le courant va cesser ; il varie d'une certaine valeur à zéro et la self-induction va provoquer une f.e.m. donnant un courant de même sens que celui qui disparaît et qui finalement vient charger le condensateur en sens inverse (fig. 53).

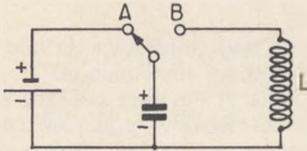


FIG. 52

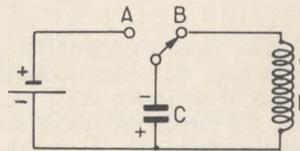


FIG. 53

C une fois chargé, comme il est resté branché sur L, le cycle recommence dans l'autre sens. On obtient donc un va-et-vient de courant dans le circuit LC, autrement dit, des oscillations et le circuit est appelé circuit oscillant.

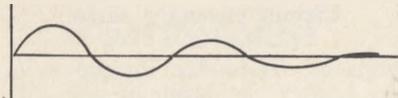


FIG. 54

L'énergie fournie à C lors de la première charge se dissipe peu à peu à cause de la résistance du circuit et les oscillations cessent. Elles sont dites « amorties » (fig. 54).

L'amortissement varie avec la valeur de la résistance. Pour une résistance trop forte, le circuit ne serait plus oscillant.

Le circuit oscillant possède une « fréquence propre ». Elle est fonction de L et de C. Plus ces derniers sont importants, plus l'énergie emmagasinée qui s'échange de l'un à l'autre est importante, le temps de charge et de décharge prend plus de temps, donc est plus long et la fréquence propre est plus basse. Elle augmenterait avec la diminution de L ou de C.

Pour mémoire, la période est donnée par la formule de Thomson : $T = 2\pi \sqrt{LC}$ (L en henrys, C en farads). On voit que la période augmente avec les valeurs de L et C, donc la fréquence diminue et inversement, la fréquence propre augmenterait avec la diminution de L ou de C.

Circuit bouchon

Il est composé d'un condensateur en parallèle sur une inductance (fig. 55). A la résonance, c'est-à-dire lorsque $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, si ce circuit était

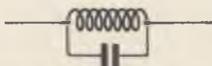


FIG. 55

sans résistance, il se comporterait comme une impédance infinie et empêcherait le passage du courant. Il agirait comme un bouchon.

En réalité la résistance n'est jamais nulle et un léger courant existe.

L'action du circuit bouchon est surtout sensible pour les courants de même pulsation (donc de même fréquence) et son action diminuera vis-à-vis des fréquences différentes.

Donc, si aux bornes d'un tel circuit on applique une tension de même fréquence il arrêtera ou empêchera fortement le passage de ce courant, car il représente une très grande impédance vis-à-vis de cette fréquence.

Si l'on place aux bornes d'un générateur un circuit bouchon en parallèle on recueillera une tension maximale à ses bornes lorsque la fréquence du générateur sera égale à celle du circuit bouchon.

Circuit résonant série

Fig. 56. A la résonance, c'est-à-dire lorsque $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, l'action de l'inductance

annule celle de la capacité et seule la résistance du circuit intervient. L'impédance devient très faible et le courant passe sans difficulté.

L'action du circuit série est l'inverse de celle du circuit parallèle. Si donc on veut éliminer une fréquence particulière parmi plusieurs aux bornes d'un circuit, on pourra placer en série un circuit bouchon réglé sur cette fréquence : il la bloquera alors que les autres fréquences différentes, passeront : (fig. 57) ou un circuit-série en parallèle qui court-circuitera la fréquence indésirable mais par les autres (fig. 58).

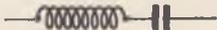


FIG. 56

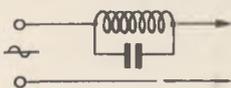


FIG. 57

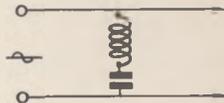


FIG. 58

Courbes de résonance.

Un circuit oscillant est caractérisé par sa courbe de résonance en fonction de la fréquence. La valeur de la résistance influe sur la forme de cette courbe. Elle est très pointue pour une résistance très faible, s'aplatit avec l'augmentation de résistance la sélectivité diminue et pour une forte résistance, le circuit n'est plus oscillant.

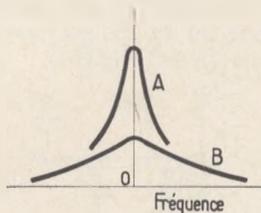


FIG. 59. — On fait varier graduellement la fréquence.

Courbe A : avec une résistance faible. La résonance (en O) est très marquée.

Courbe B : la résistance ohmique du circuit est plus forte, la courbe est aplatie, la sélectivité est moins bonne.

La qualité d'un circuit oscillant est d'autant meilleure que sa résistance est faible.

RAYONNEMENT

Expérience (fig. 60) : un fil métallique vertical est relié à sa base à un générateur de courant alternatif. La fréquence du générateur est réglable.

On le met en route en commençant par une fréquence très basse que l'on augmente graduellement. On ne constate tout d'abord aucun phénomène. La fréquence atteint une valeur assez élevée, par exemple 150 kHz



FIG. 60

(150 000 Hz). On constate alors un rayonnement à distance d'une partie de l'énergie fournie à l'antenne.

Les hautes fréquences sont nécessaires pour qu'il y ait rayonnement d'énergie.

CIRCUIT D'ACCORD

Les antennes de tous les émetteurs rayonnent ensemble dans l'espace. A la réception il faut les trier pour ne pas recevoir un mélange qui serait incompréhensible. A la base du fil qui va servir d'antenne, on place un bobinage L_1 couplé à un circuit LC (fig. 61).

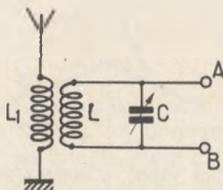


FIG. 61

C est un condensateur variable : il est composé de lames fixes entre lesquelles, sans les toucher, viennent s'encastrent plus ou moins les lames mobiles. Selon la position de celles-ci, la capacité résultante est plus ou moins importante.

L'antenne recueille toutes les fréquences de l'espace. Le circuit LC possède une fréquence propre. Si dans l'antenne existe la même fréquence parmi les autres, seule cette fréquence va agir fortement sur le circuit oscillant. La tension recueillie aux bornes AB du circuit LC pourra être appliquée à un amplificateur.

On a ainsi réalisé un circuit d'accord.

La sélectivité d'un circuit est sa faculté de bien séparer des fréquences voisines.

LES TUBES

La lampe a deux électrodes

Dans une ampoule de verre dans laquelle on a fait le vide se trouve une électrode constituée d'un fil métallique, portée à haute température, et appelée cathode ; à proximité se trouve une autre électrode appelée plaque (à cause de sa forme) ou encore anode.

On applique une différence de potentiel entre l'anode et la cathode (fig. 62).

Si le positif est du côté cathode, l'anode sera négative : aucun courant ne passe.

Si le positif est du côté anode, le courant passe dans le circuit et à travers l'espace cathode-anode.

Cette lampe (ou « tube ») appelée diode (à vide) est conductrice lorsque l'anode est positive par rapport à la cathode. C'est le phénomène de l'émission électronique. Les électrons s'échappent de la cathode lorsque celle-ci est portée à une température élevée en présence de la tension de l'anode qui les attire créant ainsi une circulation d'électrons, donc un courant électrique.

On utilise cette diode pour le redressement du courant alternatif (fig. 63). Le courant dans le circuit passera seulement lorsque ce sera l'alternance positive que sera sur l'anode. Lorsque ce sera l'alternance négative, aucun courant

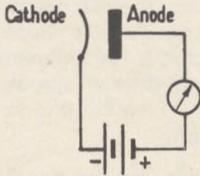


FIG. 62

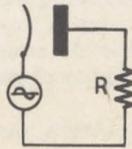


FIG. 63

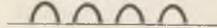


FIG. 64

ne circulera dans la résistance R. En définitive le courant dans celle-ci sera toujours dans le même sens et aura la forme de la figure 64. On verra plus loin comment utiliser ce courant « unidirectionnel ».

La cathode peut être à chauffage direct ; c'était le cas des premiers tubes : le filament est directement alimenté par la « tension de chauffage ». Elle peut être à chauffage indirect : le filament chauffant n'émet pas d'électrons. Il est à proximité de la cathode qui est ainsi chauffée indirectement.

Lampe triode

Une électrode supplémentaire appelée grille, en forme de spirale fine entoure la cathode. Elle se trouve donc placée entre celle-ci et l'anode. Représentation schématique figure 65.

N.B. Le circuit de chauffage n'intervenant pas dans le fonctionnement, ne sera pas représenté sur les schémas.

Fonctionnement d'une triode (fig. 66).



FIG. 65

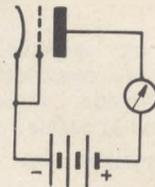


FIG. 66

La tension d'anode doit être assez élevée, généralement de 100 à 300 volts selon le type de lampe. Le + de la haute tension (HT) est bien relié côté anode. On réunit la grille à la cathode. Aucune tension n'existe donc entre ces deux électrodes. Les électrons passent à travers les spires de la grille pour atteindre l'anode. Dans ces conditions un certain courant circule dans le circuit.

On intercale maintenant entre grille et cathode une petite tension avec le négatif côté grille (fig. 67). La grille se trouve sur le chemin des électrons. Mais elle est négative ; les électrons sont des particules négatives. La grille va donc les repousser. Grâce à l'attraction de l'anode ils passeront, mais en moins grand nombre : le courant anode va diminuer. Si c'est le positif que l'on met côté grille, celle-ci va exercer une attraction sur les électrons qui passeront en plus grand nombre et le courant anodique va augmenter. On voit qu'une petite action sur la grille se répercute sur le courant anodique.

Propriété amplificatrice de la triode

On reprend le schéma de la figure 67. On suppose une tension anodique de 100 volts, une tension négative de 1 volt sur la grille (on dit aussi polarisation négative) et un courant anodique de 0,010 ampère (ou 10 millis).

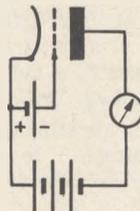


FIG. 67

Ensuite on applique -2 volts sur la grille. Le courant anodique va baisser d'une certaine valeur. Pour qu'il revienne à sa valeur primitive de 10 millis il faudra augmenter l'attraction qu'exerce l'anode sur les électrons

donc on augmentera la tension anodique qui passera, par exemple, à 110 volts au lieu de 100 volts. La tension grille était passée de -1 à -2 volts.

On voit ainsi qu'une variation de 1 volt sur la grille provoque une répercussion de $110 - 100 = 10$ volts sur l'anode, d'où une amplification théorique de 10. Le tube est bien amplificateur.

Si l'on place une tension alternative entre grille et filament, le courant anodique va suivre ces variations.

Utilisation pratique de cette propriété (fig. 68)

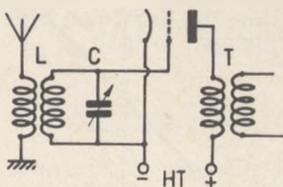


FIG. 68

L'antenne est couplée à un circuit oscillant LC. Celui-ci va être très sensible à une fréquence reçue dans l'antenne qui correspondra à sa fréquence propre. La tension HF aux bornes de LC est appliquée entre grille et cathode. Le courant plaque va varier de façon importante au même rythme et ses variations pourront être appliquées à un autre étage amplificateur.

Remarque : le négatif de la HT est commun à divers circuits et est relié au châssis, c'est-à-dire à la masse. Sur les schémas on ne le représente pas : c'est le symbole de la masse qui le remplace (fig. 69). La lecture des schémas en est simplifiée.

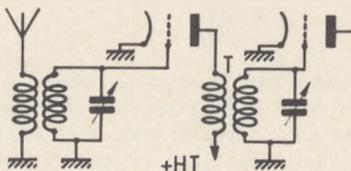


FIG. 69

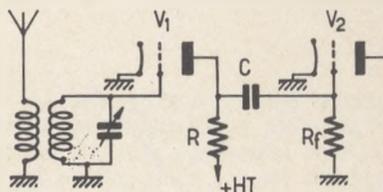


FIG. 70

On aurait pu faire le montage suivant : (fig. 70). Pour l'attaque du deuxième étage, on a remplacé le transfo T par une résistance R. C'est aux bornes de celle-ci que l'on recueille les variations de tension provoquées par celles du courant anodique. Pour que la HT ne soit pas appliquée à la grille de V2 on intercale un condensateur C1 qui isole la grille de la HT continue tout en laissant passer les tensions alternatives recueillies aux bornes de R.

La résistance Rf doit être très élevée pour ne pas court-circuiter les signaux HF. Elle est nécessaire pour écouler à la masse les électrons qui frap-

pent la grille, sinon ils s'accumuleraient sur celle-ci qui deviendrait de plus en plus négative à partir d'une certaine valeur le tube ne fonctionnerait plus ; il serait bloqué. On l'appelle résistance de fuite. Elle permet aussi d'appliquer à la grille une tension de polarisation (page 49).

Courbe du courant anodique en fonction de la tension grille

L'allure de cette courbe est donnée sur la figure 70 bis. L'axe horizontal représente les tensions appliquées à la grille. L'axe vertical représente le courant anodique en milliampères

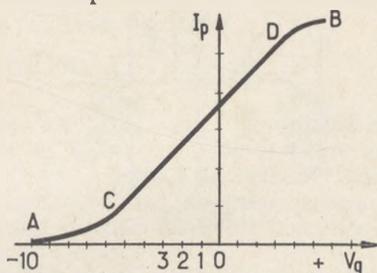


FIG. 70 bis

Si on applique à la grille une tension négative très forte (par exemple — 15) il n'y a aucun courant anodique, le tube est bloqué. On diminue la tension négative. A partir d'une certaine valeur, le courant anodique prend naissance. Il augmente au fur et à mesure que la tension de polarisation diminue. Si la polarisation passe par zéro puis devient positive le courant anodique augmente mais à partir d'une certaine valeur (point B) il n'augmente plus : c'est le courant de saturation.

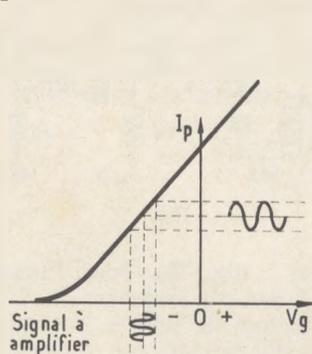


FIG. 71

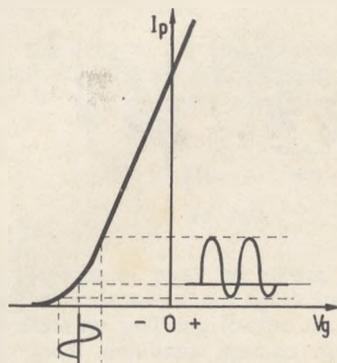


FIG. 72

On voit qu'il y a un coude au début de la courbe (point A). Ce point est le « cut-off ». Ensuite il y a une portion rectiligne CD, et de nouveau un coude.

La valeur plus ou moins négative appliquée à la grille est la « polarisation ».

Cette polarisation est choisie pour que la fréquence appliquée à la grille tombe sur une portion droite (fig. 71). Sinon, le signal se retrouverait déformé dans le circuit anodique : une alternance serait plus petite que l'autre (fig. 72).

On polarise pour rester dans les régions négatives de grille : ainsi le courant plaque, en l'absence de signal, (courant de repos), est moins fort, la consommation est moins grande ; à zéro ou avec une polarisation positive, en plus du courant anodique important, ce qui est inutile, un courant de grille prendrait naissance et les signaux seraient également déformés.

POLARISATION

Fig. 73. Un moyen commode de polariser le tube est de placer une résistance dans le circuit de cathode. Le courant anode-cathode parcourt cette résistance qui provoque une chute de tension et une différence de potentiel apparaît aux bornes de R avec le côté positif vers la cathode, le

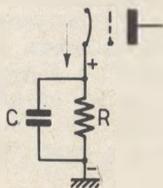


FIG. 73

côté négatif se trouvant côté masse ; or le circuit grille est relié à la masse ; finalement on voit que la tension continue entre cathode et grille est bien négative sur cette dernière. Une capacité C est placée aux bornes de R pour laisser passer les fréquences à amplifier. R n'influe donc pas sur celles-ci et sert uniquement à créer la tension continue négative indispensable.

Suivant le type de tubes, R peut être de quelques centaines d'ohms ; C a quelques millièmes de microfarads, mais en basse fréquence (BF) il doit avoir quelques dizaines de microfarads.

PENTE

On appelle pente du tube, le rapport de la variation du courant anodique à la variation de la tension grille (fig. 74). Si l'on fait varier la tension grille de -3 à -2 , le courant plaque varie de 4 à 6 millis. Donc pour une variation de 1 volt sur la grille, la variation du courant anodique est

2 millis. La pente est $\frac{2}{1} = 2$ millis par volt. Dans l'autre exemple (fig. 75), lorsque la tension grille passe de 3 à 2 volts, le courant anodique varie de 4 à 8 millis ; la pente est $\frac{4}{1} = 4$ millis par volt.

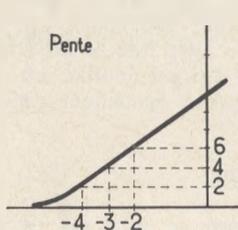


FIG. 74

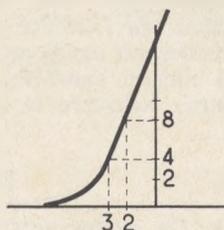


FIG. 75

La pente est fixe dans ces deux exemples. Quel que soit le point de polarisation choisi, la réponse aura toujours la même valeur. Ainsi sur la figure 74 on peut choisir le point de fonctionnement à -2 ou -3 ou -4 , tant qu'on n'atteint pas la région courbée, l'amplification, fonction de la pente, reste la même. Le tube est dit à « pente fixe ».

En modifiant la forme de la grille, en lui donnant un pas variable, on obtient la caractéristique de la figure 76. On voit que l'amplification varie avec la polarisation. Le tube est à « pente variable ».

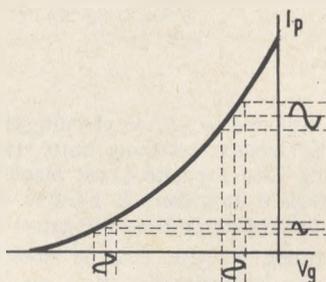


FIG. 76

Lampe à écran

La grille de la triode étant proche de la plaque, un certain effet de capacité existe entre elles. On voit que cette capacité (C_p , fig. 77) se trouve finalement en parallèle sur le circuit LC. Cette capacité « interne » est parfois assez forte pour empêcher le fonctionnement du tube pour des fréquences très élevées.

On ajoute une grille supplémentaire (fig. 78). La première grille, normale, est appelée grille de commande. La deuxième, grille écran ou écran tout court. On y applique une tension positive. Cet écran intercalé entre grille de commande et plaque, les éloigne en quelque sorte et la capacité

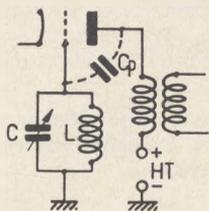


FIG. 77

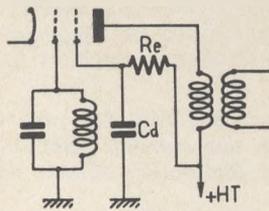


FIG. 78

interne nuisible diminue fortement. La résistance R_e sert à appliquer sur l'écran, suivant le type de tube, une tension inférieure à celle de la plaque.

L'écran ne devant intervenir que par sa tension continue, le condensateur C_d sert à écarter à la masse toute trace de HF. C'est un condensateur de découplage. Etant relié à la masse pour la HF, cette grille constitue une séparation statique qui contribue à la suppression des effets provoqués par la capacité grille-anode du tube.

Lampe pentode

On ajoute maintenant un troisième grille (fig. 79), appelée grille supprimeuse ou suppressor.

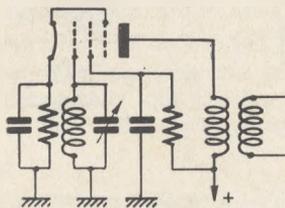


FIG. 79

Sans cette grille, il pourrait se produire que le choc des électrons sur la plaque fasse rebondir ceux-ci qui reviendraient en arrière attirés à nouveau par l'écran. Il y aurait un phénomène d'émission secondaire.

La grille supprimeuse, reliée à la cathode, sert de séparation et évite ce phénomène.

Lampes multiples

On peut trouver dans la même ampoule de verre, différentes sections comme par exemple une double diode (fig. 80), une diode-triode (fig. 81),

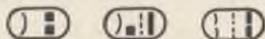


FIG. 80 FIG. 81 FIG. 82

une double triode (fig. 82), une triode-pentode, une double pentode, etc., utilisant soit une cathode commune, soit deux cathodes séparées. Elles permettent une diminution notable de l'encombrement.

AMPLIFICATION BASSE FREQUENCE (BF)

On a vu le principe de l'accord et de l'amplificateur en HF. Le principe en BF reste le même ; seuls certains composants sont différents. En particulier les transfos, (à air en HF), auront un noyau de fer doux, la fréquence étant bien plus basse, le noyau est nécessaire pour avoir une valeur de self-induction suffisante. Les capacités de couplage et de découplage seront également plus importantes.

On utilise souvent en amplification BF un montage « push-pull » (fig. 84).

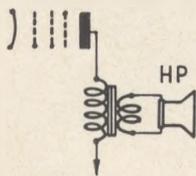


FIG. 83

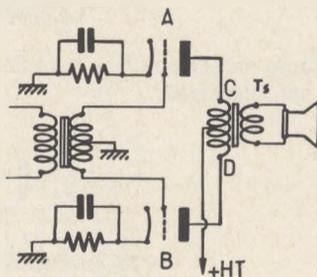


FIG. 84

Principe : on utilise deux tubes identiques ou un tube double. Les grilles sont attaquées par un transformateur. Les tensions BF aux bornes du transfo rendent alternativement une grille positive et l'autre négative.

La haute tension plaque est appliquée au point milieu du primaire du transfo de sortie, Ts. On voit que dans cet enroulement, les courants continus des plaques sont en sens contraires, les inductions s'annulent donc dans le noyau et le courant plaque est sans influence magnétique.

Lorsque la grille de A est positive, la grille de B est négative. Donc lorsque le courant plaque augmente dans A il diminue dans B. L'instant d'après, il augmente dans B et diminue dans A. Les effets produits dans l'enroulement CD se complètent et les signaux se retrouvent aux bornes du secondaire. En effet (fig. 85) les flèches pleines représentent le sens du courant continu de plaque dans chaque moitié d'enroulement. Lorsque le courant dans CO augmente, il y a renforcement du courant dans le sens de la flèche en pointillé. Pendant ce temps, puisque la grille II est négative

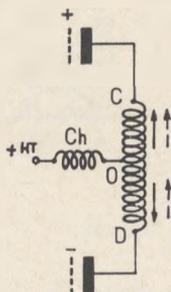


FIG. 85

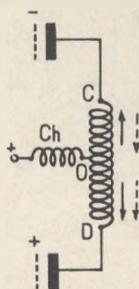


FIG. 86

il y a diminution du courant dans DO. C'est comme si on ajoutait un courant de sens contraire à la flèche pleine (sens de la 2^e flèche en pointillé). On voit alors que ces deux flèches en pointillé, exprimant le sens de l'alternance BF ont un effet concordant. A l'instant suivant, les polarités de grille ont changé, l'effet concordant subsiste mais dans l'autre sens et l'on retrouve bien dans le circuit de plaque les variations appliquées aux grilles (fig. 86).

Ce montage peut également être utilisé en HF.

Le bobinage Ch est une « self de choc » (ou bobine d'arrêt).

Une self de choc est un bobinage avec un grand nombre de spires pour obtenir une inductance importante qui laissera passer le courant continu mais empêchera le passage des hautes fréquences.

FONCTION OSCILLATRICE

Principe : on sait que les variations de la tension alternative appliquée sur la grille provoquent une variation importante de courant de même forme dans le circuit de plaque. Sur la figure 87, un couplage variable permet de rapprocher de L1 un petit bobinage L2. On part d'une position de L2 très éloignée et on diminue progressivement la distance. A partir d'une certaine valeur de couplage, L2 va réagir sur L1. Si le sens de l'enroulement de L2 est convenable (bobiné en sens inverse de L1), la moindre petite

variation de courant dans L2 va provoquer une réaction sur L1 donc sur la grille, et pour un couplage déterminé, appelé « couplage critique », cette action va provoquer « l'entretien des oscillations ».

On se rappelle qu'un circuit oscillant, lorsque le condensateur se décharge dans la self, fournit des ondes amorties. Si l'on arrive à compenser les pertes qui diminuent l'amplitude (a-b), l'onde ne sera plus amortie, elle sera « entretenue » ; le phénomène se reproduira indéfiniment tant que le couplage entre L1 et L2 sera maintenu. (fig. 88)

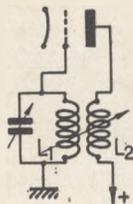


FIG. 87

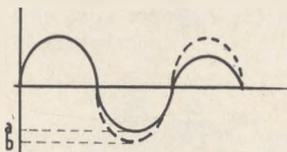


FIG. 88

Donc, pour avoir un oscillateur, il suffit de faire agir le courant plaque sur la grille au moyen d'un bobinage enroulé dans le sens convenable, et dès le couplage critique atteint, les oscillations prennent naissance spontanément.

Autres possibilités de montages oscillateurs

Figure 89 : le circuit oscillant est placé dans le circuit de plaque.

Figure 90 : on obtient le même effet en utilisant un couplage cathode-grille : les variations du courant plaque passent également dans le circuit

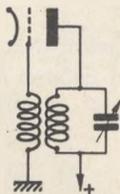


FIG. 89

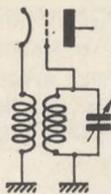


FIG. 90

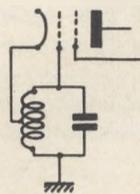


FIG. 91

de cathode et un couplage entre L2 et L1 provoque l'entretien des oscillations. Mais cette fois, le sens des enroulements doit être le même, on utilise alors une portion de L1 (fig. 91) pour remplacer L2 (oscillateur ECO).

On peut également faire la prise de cathode sur un pont de capacités C1 C2 (fig. 92) (oscillateur Clapp).

Autre disposition : (fig. 93). Le couplage peut se faire au moyen d'un condensateur variable. Le bobinage L2 est en couplage fixe avec L1. Une self de choc alimente la plaque en HT et bloque le passage de la HF qui passe alors facilement à travers L2 et le condensateur de dosage C2.

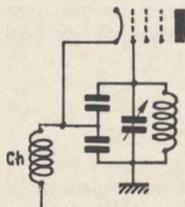


FIG. 92

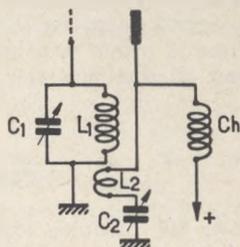


FIG. 93

RECEPTION

Principe d'un écouteur (fig. 94)

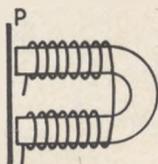


FIG. 94

Une plaque mince de fer P est placée très près des pôles d'un aimant. Il existe une force d'attraction permanente. Un bobinage est enroulé sur les pôles de l'aimant. Le passage d'un courant BF dans les enroulements va influencer sur l'attraction de la membrane et celle-ci va vibrer au rythme de la modulation.

Principe du haut-parleur (fig. 95)

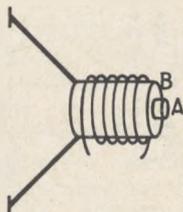


FIG. 95

Une bobine B est solidaire d'une membrane conique en carton souple. A l'intérieur, sans toucher la bobine, se trouve un aimant puissant A. Les courants BF passant dans la bobine créent un champ magnétique variable. Le champ magnétique de l'aimant va réagir sur ce dernier et provoquer le déplacement de la membrane au rythme de la modulation ; les variations électriques sont transformées en vibrations sonores grâce à la membrane.

C'est en somme le même principe que le microphone électrodynamique ; un tel haut-parleur est réversible et peut servir de microphone (voir page 61).

DETECTION

Les signaux de HF modulée reçus dans l'antenne et amplifiés ne pourraient être entendus directement : l'oreille est insensible aux fréquences élevées ; de plus si on examine la forme d'une onde modulée en amplitude, on voit que les enveloppes de la porteuse représentant la BF sont en opposition et leurs actions s'annulent : l'amplitude A est positive, A' est identique mais négative (fig. 96, voir aussi fig. 110).

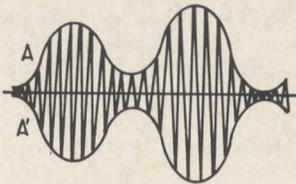


FIG. 96

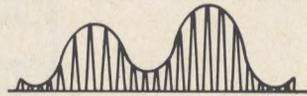


FIG. 97

Pour recevoir la BF il faut « détecter » les signaux, c'est-à-dire que l'on supprime toutes les alternances de même sens (fig. 97) et tout se passera comme si l'on avait une onde HF correspondant à la porteuse et une seule enveloppe représentant la BF audible.

Principe du détecteur (fig. 98)

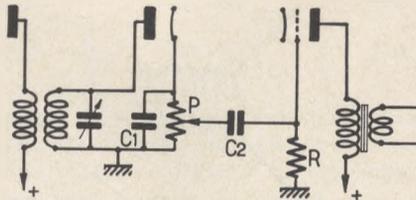


FIG. 98

Les signaux à détecter sont appliqués à une diode qui ne laissera passer que les alternances d'un seul sens (dans notre exemple, les alternances positives). Les autres seront sans effet, la diode étant bloquée lorsque sa plaque n'est pas positive.

Le courant « détecté » à travers le potentiomètre P produit une tension détectée. Le curseur de P permet de doser à travers C2 la tension appliquée à la grille de l'étage amplificateur BF.

On a ainsi un réglage du volume sonore. C1 sert à écouler la composante HF. Sa valeur est relativement faible pour ne pas court-circuiter les signaux BF aux bornes de P. De plus, il augmente la tension obtenue et améliore le rendement de la détection. Par contre C2 doit avoir une forte capacité pour ne pas faire obstacle au passage des composantes BF qu'il doit laisser passer. Il est indispensable pour ne pas polariser la grille par la tension continue redressée de détection.

On a maintenant tous les éléments pour comprendre le fonctionnement d'un récepteur simple (fig. 99).

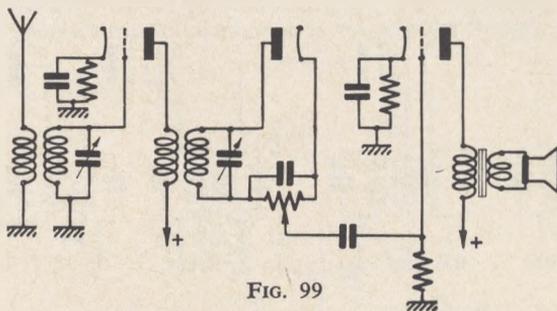


FIG. 99

Les signaux recueillis dans l'antenne sont appliqués à un premier circuit oscillant que l'on accorde sur la fréquence désirée que l'on applique à la grille du premier tube. Ces signaux se retrouvent amplifiés dans le circuit de plaque couplé à un autre circuit oscillant relié à une diode détectrice. Les signaux détectés sont appliqués à la grille de l'amplificateur BF qui actionne le haut-parleur.

Changement de fréquence

Le montage précédent est à amplification directe. Il a l'avantage d'être simple mais la sélectivité (c'est-à-dire la séparation des différentes stations) est insuffisante. Les récepteurs modernes sont à changement de fréquence (appelés aussi « superhétérodynes »).

Le principe est le suivant : si l'on combine dans un circuit convenable deux fréquences différentes, f_1 et f_2 , le résultat se traduira par une addition ou une soustraction des deux fréquences, soit $f_2 + f_1$ ou $f_2 - f_1$.

Supposons une fréquence f_2 de 1 400 000 hertz (1 400 kilohertz) et une fréquence f_1 de 1 000 000 (ou 1 000 kHz), la résultante sera 1 400 kHz

+ 1 000 kHz = 2 400 kHz et également 1 400 kHz — 1 000 kHz = 400 kHz.

On appliquera cette dernière fréquence à un circuit réglé sur 400 kHz pour bien la séparer de l'autre fréquence et pour l'appliquer aux étages amplificateurs qui suivent.

Les deux fréquences à combiner proviennent, l'une de celle de réception, l'autre d'un « oscillateur local ». On s'arrange pour que la fréquence de ce dernier, f_2 par exemple, varie dans la même proportion que celle des circuits d'accord (f_1) ; ainsi, quelle que soit la fréquence de réception, l'écart restera le même et la fréquence résultante, toujours de même valeur, est appelée moyenne fréquence ou fréquence intermédiaire. Ce procédé permet d'obtenir une meilleure amplification et sélection puisque les caractéristiques des circuits moyenne fréquence restent constamment les mêmes quelle que soit la fréquence des signaux de réception.

Principe d'un tel montage (fig. 100).

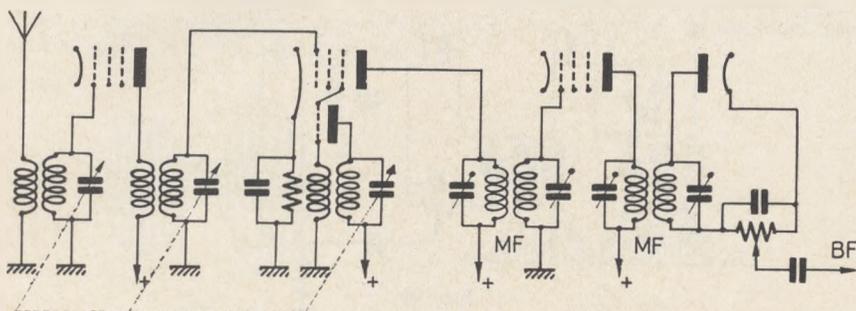


FIG. 100

Les signaux amplifiés par un premier étage sont appliqués à un deuxième tube. Il est commode d'utiliser pour ce dernier une triode-pentode. La partie triode fonctionnera en oscillateur local. Nous aurons donc dans la partie pentode à la fois la fréquence de réception sur la première grille et la fréquence locale sur la troisième grille. Dans le circuit plaque nous aurons un transformateur moyenne fréquence MF réglé sur la différence des deux fréquences. Un deuxième étage amplificateur MF applique ces signaux à la diode détectrice.

Les capacités des transfos MF sont des ajustables. Une fois les réglages faits à la mise au point, il n'y a plus à y retoucher. Quant aux condensateurs variables des circuits d'accord et d'oscillateur, ils sont commandés par le même bouton.

Réception de la télégraphie (CW)

La détection des ondes entretenues pures ne fournissent qu'un courant redressé inaudible, mis à part le souffle de la réception du signal. Pour

les rendre audibles, on utilise ce qu'on appelle couramment un BFO (beating frequency oscillator) ou oscillateur de battement. Lorsqu'on mélange deux fréquences de valeurs voisines, les alternances tantôt s'ajoutent puis graduellement se retranchent ; on obtient un battement dont la fréquence sera égale à la différence des deux fréquences.

Si la MF d'un récepteur est de 400 kHz et qu'on lui applique une fréquence de 401 kHz, on obtiendra un battement de 1 kHz qui est une note audible.

Il est commode d'appliquer l'oscillation du BFO sur l'étage MF puisque celui-ci ne varie pas avec la fréquence de réception.

Contrôle automatique de gain (CAG ou antifading)

La propagation des petites ondes et des ondes courtes est affectée de variations plus ou moins rapides, résultant des réflexions irrégulières des ondes sur les couches supérieures de l'atmosphère. On essaie de pallier dans une certaine mesure, de façon automatique, ces variations gênantes qui obligeraient à manœuvrer fréquemment le bouton de commande du volume sonore.

Principe (fig. 101).

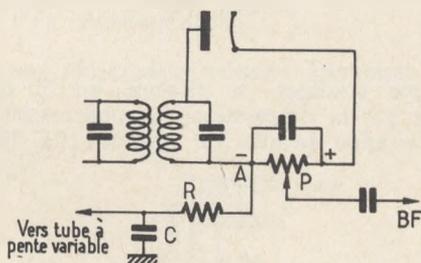


FIG. 101

Aux bornes du potentiomètre normal de détection P, apparaît une tension plus ou moins élevée suivant la force des signaux détectés. Au point A cette tension est négative.

Et cette tension négative va être dirigée sur la grille d'un tube HF ou MF à pente variable.

Pour des signaux très forts, la tension négative de détection étant forte, la pente du tube concerné sera faible, l'amplification également (revoir la courbe de la figure 76).

Pour des signaux faibles, la tension négative appliquée à la grille sera faible, la pente sera plus forte.

R est une forte résistance, par exemple 1 megohm (1 MΩ).

C est un condensateur de 0,1 microfarad (0,1 Mμ). Cette résistance élevée empêche de charger le condensateur instantanément. Sa charge ne variera

pas au rythme de la modulation ; il prendra une valeur moyenne ne suivant que les variations d'intensité de réception des signaux.

La contre-réaction

Elle est utilisée pour diminuer les distorsions et améliorer la fidélité de reproduction des amplificateurs BF.

Principe : supposons un signal A appliqué à l'entrée d'un amplificateur. A la sortie, au lieu de retrouver un signal amplifié B de même forme, on obtient un signal C déformé.

Si l'on réinjecte dans le circuit d'entrée une petite amplitude du signal C mais en opposition (signal D, les amplitudes vont se retrancher) ; les déformations se retranchent également ; de sorte que si l'amplification est moins importante, la reproduction est meilleure (fig. 102).

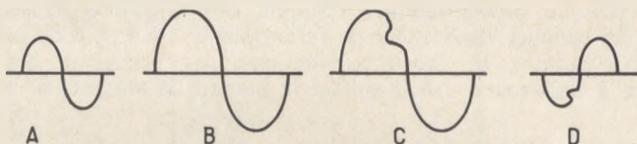


FIG. 102

Un moyen simple d'utiliser ce principe est la contre-réaction série d'intensité provoquée par la suppression du condensateur de découplage de la résistance de polarisation du tube BF intéressé (fig. 103).

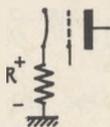


FIG. 103

Les signaux BF seront atténués : une alternance positive sur la grille augmente le courant dans R ; la tension à ses bornes augmente avec le négatif côté grille d'où tendance du courant à diminuer, donc à réduire l'amplitude positive du signal.

Une alternance négative diminuerait le courant dans R, la tension négative aux bornes de R serait plus faible, ce qui se traduirait par une amplitude négative moins forte dans le circuit de plaque qui recueille les signaux.

Il y a bien là, un effet de contre-réaction.

N.B. On peut aussi appliquer une contre-réaction de tension. On en verra une application dans l'étude des transistors.

MICROPHONE

Le microphone sert à transformer les ondes sonores de la parole (ou de la musique) en variations électriques.

Microphone à charbon. Principe (fig. 104)

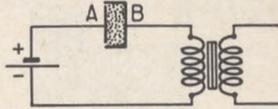


FIG. 104

Une plaque métallique mince A appuie sur de la grenaille ou de la poudre de charbon contenue dans un récipient B, dont le fond métallique assure le contact avec les grains de charbon dont la conductibilité va varier avec la pression exercée par la plaque vibrante au rythme de la parole. La conductibilité imparfaite du charbon va suivre ces mêmes variations, l'intensité du courant va faire de même et les ondes sonores seront transformées en variations électriques qui seront dirigées sur des circuits amplificateurs par l'intermédiaire d'un transformateur.

Microphone électrodynamique . Principe (fig. 105)

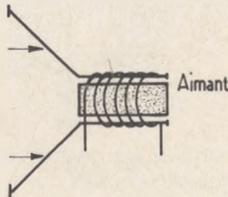


FIG. 105

Une membrane est solidaire d'un bobinage (bobine mobile) dont le centre est occupé par un fort aimant permanent.

Les ondes sonores viennent frapper la membrane qui vibre, la bobine mobile suit ces vibrations. Cette bobine se déplace donc dans le champ magnétique de l'aimant ; ainsi un courant induit correspondant aux vibrations de la membrane prend naissance dans le circuit.

Microphone à cristal. Piezoélectricité

Une pression mécanique exercée sur certains cristaux comme le quartz, les sels de Seignette, fait apparaître une différence de potentiel sur leurs faces. Inversement les mêmes cristaux placés dans un champ magnétique vont se contracter. C'est le phénomène de la piezoélectricité. Les ondes

sonores frappant la membrane vibrante qui appuie sur le cristal font apparaître une différence de potentiel que l'on peut appliquer à la grille d'un amplificateur (fig. 106).

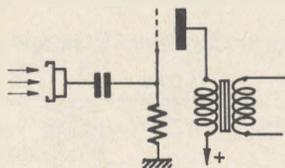


FIG. 106

Adaptation des impédances

Pour faire un transfert d'énergie satisfaisant d'un système dans un autre, il faut le faire sur des impédances du même ordre de grandeur. Si ce n'est pas le cas, il faut un système adaptateur d'impédance.

Par exemple, l'attaque d'un haut-parleur dont la bobine mobile n'a que quelques ohms d'impédance. Il faut transformer l'impédance plutôt élevée du circuit de plaque pour obtenir une valeur faible compatible avec celle de la bobine mobile grâce à un transformateur abaisseur de tension (fig. 107).

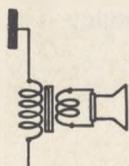


FIG. 107

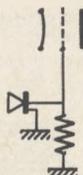


FIG. 108

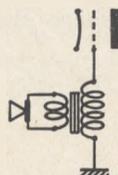


FIG. 109

Autre exemple : cas d'un microphone.

Un micro à cristal est à haute impédance. L'entrée d'un tube également. Un transformateur n'est pas nécessaire (fig. 108). Si c'est un micro dynamique, à faible impédance, un transformateur élévateur est nécessaire (fig. 109).

MODULATION

Les ondes entretenues pures, d'une fréquence élevée vont pouvoir rayonner. La constitution d'un émetteur sera examinée ultérieurement. Mais le principe de base sera la création d'une émission en « entretenues » qui suffisamment amplifiées serviront de moyen de transport au loin des ondes sonores de la parole.

Pour cela, il faut « moduler » cette onde « porteuse ».

Modulation d'amplitude

On fait agir les fréquences audibles de la parole sur l'étage HF destiné à fournir son énergie à l'antenne d'émission. Par exemple, comme sur la figure 109 bis. Les courants BF vont se combiner avec le courant HF. Le résultat sera une onde modulée dont l'amplitude variera au rythme de la modulation (fig. 110).

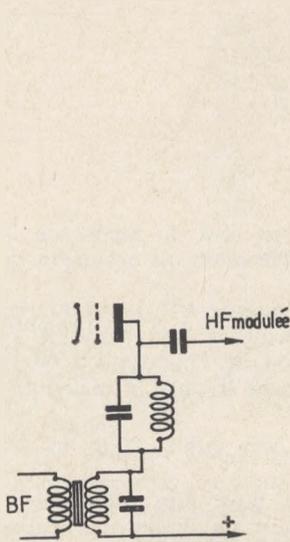


FIG. 109 bis

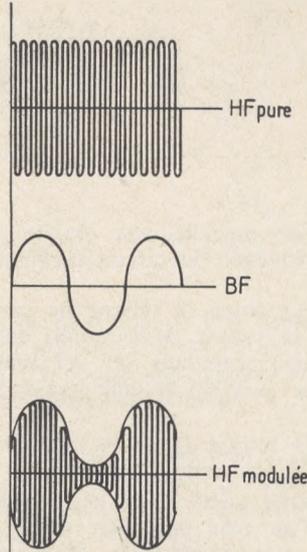


FIG. 110

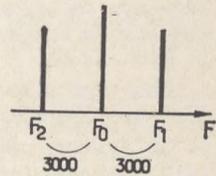


FIG. 111

On voit que la double enveloppe du courant HF modulé reproduit les amplitudes BF. Nous avons vu antérieurement comment récupérer cette modulation à la réception.

Si l'on considère que les fréquences utiles de la parole vont d'une cinquantaine de Hz à 3 000 Hz environ, on constate que l'onde modulée en amplitude se traduit par 3 fréquences :

- 1° celle de l'onde porteuse F_0 ;
- 2° une fréquence F_1 égale à $F_0 + 3\,000$;
- 3° une fréquence F_2 égale à $F_0 - 3\,000$.

On voit sur la figure 111 que l'espace occupé par l'onde modulée en amplitude représente dans l'exemple une « largeur de bande » de 3 000 Hz (3 kHz) de part et d'autre de la fréquence porteuse, soit en tout 6 kHz.

Modulation de fréquence

Principe (fig. 112). Supposons un oscillateur CL, aux bornes duquel on branche un système capacitif composé de deux lames dont une peut vibrer sous l'influence d'ondes sonores. Lorsque la lame vibre, elle se rapproche

et s'éloigne de la lame fixe. On fait agir sur la membrane vibrante une onde sonore, mettons de 1 000 Hz.

L'amplitude des vibrations de la membrane sera fonction de l'intensité sonore. Plus celle-ci sera forte, plus les vibrations seront de forte amplitude

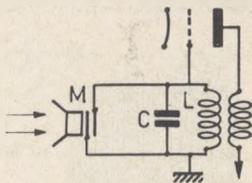


FIG. 112

et plus la variation de capacité sera grande. Il en sera de même de la modification de la fréquence du circuit oscillant (déviaton ou excursion de fréquence).

Et celle-ci va se produire au rythme de la fréquence BF de 1 000 Hz. Autrement dit, c'est la vitesse de variation de fréquence qui reproduit la fréquence BF avec une amplitude qui est fonction de l'importance de la déviation de fréquence donc du volume sonore venant frapper la membrane du microphone.

Pour une intensité sonore faible, la déviation sera faible. Pour un son de forte amplitude, elle sera importante.

Ce système simplifié serait trop peu sensible pour être utilisé ainsi.

Il faut savoir qu'un tube peut être monté dans un circuit particulier pour fonctionner en capacité variable. On l'appelle tube à réactance. Son rôle est d'être équivalent à une capacité variable. La basse fréquence que l'on applique provoque cette variation de capacité qui va moduler l'onde porteuse en fréquence comme dans notre exemple. La forme d'une onde modulée en fréquence est celle de la figure 113.

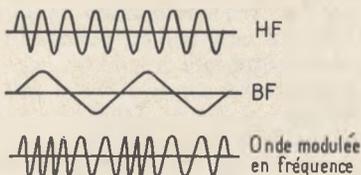


FIG. 113

Les amplitudes positives augmentent la fréquence de l'onde porteuse, les amplitudes négatives la diminuent. L'excursion ou la déviation de fréquence est donc fonction de l'amplitude BF, et la vitesse, ou si l'on veut le rythme de ces déviations de fréquence reproduisent la fréquence de la BF.

Détection de la modulation de fréquence

On peut recevoir la modulation de fréquence sur un récepteur pour la modulation d'amplitude. On désaccorde le récepteur pour que la réception se fasse sur un flanc de la courbe. Si l'on est réglé sur la fréquence F_0 (fig. 114), toute variation de part et d'autre de cette fréquence sera

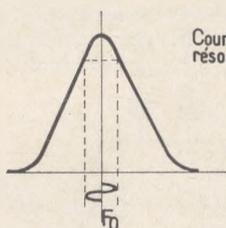


FIG. 114

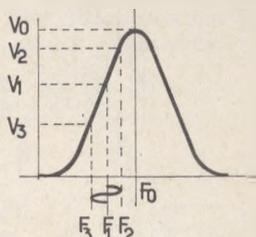


FIG. 115

symétrique et il n'y aura pas de détection. Si l'on déplace le point de fonctionnement en F_1 , figure 115, une variation de F_1 en F_2 donne une tension V_2 . Une variation de F_1 en F_3 donne une tension V_3 dont la valeur est bien plus faible. On a donc transformé la variation de fréquence en variation d'amplitude.

On pourrait réaliser une détection de fréquence par l'emploi de deux circuits accordés, l'un sur une fréquence $F + f$, l'autre sur une fréquence $F - f$. Les deux circuits sont montés comme sur la figure 116. Lorsque la bobine L fournit une fréquence F , les écarts $+f$ et $-f$ s'annulent. Les tensions entre AB et AC sont égales mais de sens contraires, la résultante entre B et C est donc nulle.

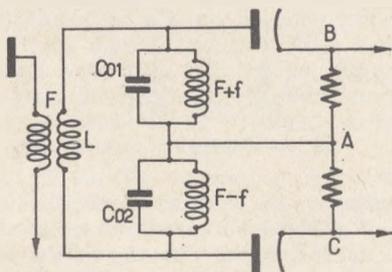


FIG. 116

Si la fréquence augmente, elle se rapproche de la résonance de CO_1 , la tension augmente à ses bornes. En même temps, cette fréquence s'est donc éloignée de celle de CO_2 ; la tension à ses bornes diminue. Il y a une résultante aux bornes de BC qui n'est plus nulle. L'amplitude prend donc

une valeur qui est fonction de la fréquence. Il y a démodulation.

Pour mémoire : pratiquement on utilise un autre montage d'une prise au point plus facile : le démodulateur à déphasage de Foster-Seeley (schéma de principe fig. 117).

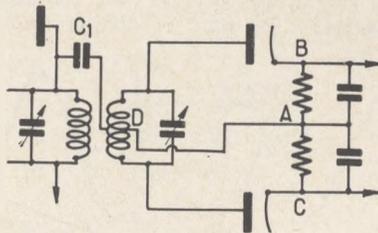


Fig. 117

Les deux circuits sont identiques. De plus C1 applique la tension du primaire à la prise médiane. Lorsque la fréquence varie autour de la fréquence centrale, C1 introduit un déphasage, la résistance aux bornes de BC n'est plus nulle.

La modulation à bande latérale unique. (BLU ou SSB)

Pour une compréhension suffisante de la parole, la transmission des fréquences jusqu'à 3 kHz donne satisfaction. Si l'on augmente cette fréquence, on gagne en fidélité de reproduction. Lorsqu'il s'agit de simples conversations et non de transmissions en haute fidélité, on limite la « largeur de bande » le plus possible. On a vu que la modulation d'amplitude a pour résultat la transmission sur l'air d'une fréquence fondamentale (la porteuse) et de « fréquences latérales » de part et d'autre de cette porteuse. Leurs limites sont fixées en raison de la fidélité recherchée.

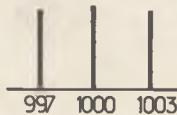


Fig. 118

Considérons par exemple une fréquence de 3 kHz. Supposons une fréquence d'émission de 1 MHz. La transmission en modulation d'amplitude va donner une bande de fréquences dont le milieu sera 1 MHz et les limites 1 000 kHz + 3 kHz et 1 000 kHz - 3 kHz (fig. 118).

On voit qu'il faut une largeur de bande de 1 003 kHz - 997 kHz = 6 kHz pour une transmission utile de 3 kHz.

La BLU va permettre de supprimer la porteuse et une des deux bandes latérales ; toute la puissance va se retrouver dans une seule bande avec l'avantage considérable de n'occuper qu'une place réduite de moitié dans le spectre des fréquences.

Suppression de la porteuse

On l'obtient par l'utilisation d'un « modulateur équilibré ». Voici son principe figure 119.

Le circuit plaque est monté comme pour un push-pull. Dans le circuit grille on trouve le secondaire du transfo de modulation monté également comme pour un push-pull. On trouve en plus un transformateur HF branché entre le point milieu de la secondaire du transfo de modulation et un point commun aux deux cathodes.

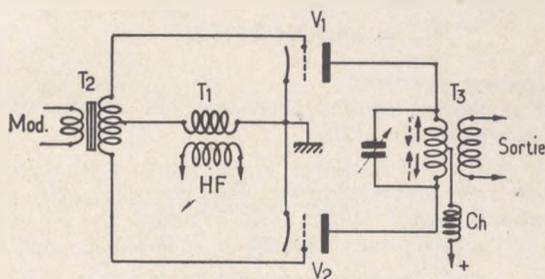


FIG. 119

En l'absence de modulation, le secondaire de T2 est sans action, on peut l'ignorer pour l'instant.

On envoie de la HF sur les grilles. Du fait du montage utilisé, les deux grilles se trouvent au même moment, ou positives, ou négatives.

Supposons une tension positive sur les grilles. Le courant plaque (sens des flèches) de V1 va augmenter. Mais il augmente aussi dans V2. Comme les plaques sont alimentées en HT par le point milieu de T3, les courants circulent en sens contraire dans T3 et leurs effets s'annulent dans cet enroulement (flèches pleines). Supposons une tension négative, nous aurons encore des effets qui s'annulent dans T3. La HF que nous appliquons en T1 ne se retrouvera pas à la sortie. Notre système est équilibré parce que les grilles sont au même potentiel en même temps.

Appliquons de la BF sur T2. Comme ce circuit d'attaque BF est monté en push-pull, lorsque la grille de V1 reçoit une tension positive, celle de V2 est négative. Notre système est déséquilibré et de la haute-fréquence va se manifester à la sortie au rythme de la modulation.

On constate alors la présence des deux bandes latérales mais la porteuse a disparu. Ainsi le modulateur équilibré produit de la « double bande latérale ».

Ce schéma de base comprendrait bien sûr en pratique des dispositifs permettant de parfaire les réglages pour compenser des dissymétries possibles, un potentiomètre dans les cathodes permettrait d'ajuster les polarisations des deux tubes, des selfs de choc isoleraient la modulation de la HF, des

mélangeurs à quartz résoudre la question de production et de stabilisation des fréquences, etc.

L'émetteur en double bande latérale tel quel serait sans intérêt. Le gros avantage est la réduction de la largeur de bande. Pour cela on supprime une des deux bandes latérales, l'inférieure ou la supérieure. Savoir que la suppression d'une bande peut se faire à l'aide de filtres à quartz, de filtres mécaniques ou par déphasage.

ALIMENTATION

Utilisation du courant alternatif.

Pour obtenir le courant continu nécessaire aux circuits, on peut redresser le courant alternatif (fig. 120).

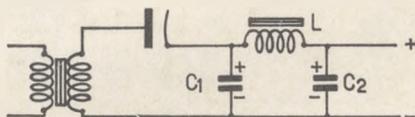


FIG. 120

La diode ne laisse passer que les alternances positives. La self à fer L a un coefficient de self élevé. Son effet est de s'opposer aux variations du courant redressé unidirectionnel (loi de Lenz).

Quand le courant de l'alternance augmente, l'action de freinage de L facilite la charge de C1. Quand le courant diminue, la self fournit de l'énergie pour éviter cette diminution, C1 peut se décharger et fournir aussi de l'énergie. C2 faisant office de réservoir vient compléter cette action. On arrive ainsi à avoir un courant presque continu si les valeurs de C1 C2 et L sont suffisantes (fig. 121).

On obtient un meilleur filtrage en redressant les deux alternances (fig. 122).

Lorsque la plaque de la diode A est positive, le courant passe. B étant négative n'intervient pas. Lorsque A est négative, elle n'intervient pas mais B étant positive, le courant passe encore dans le sens de la flèche : quelle

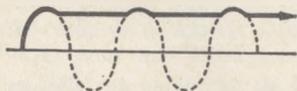


FIG. 121

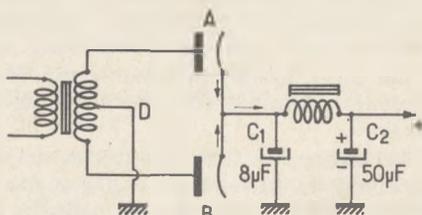


FIG. 122

que soit l'alternance, positive ou négative, le courant se trouve toujours dans le même sens à la sortie (fig. 123).

Attention : C1 se charge à la tension de crête. Celle-ci est plus élevée que la tension efficace mesurée au secondaire du transformateur. On sait qu'une tension efficace de 300 volts représente une tension de crête de $300 \times 1,414 = 424,2$ volts.

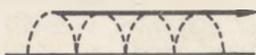


FIG. 123

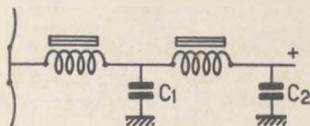


FIG. 124

On peut aussi faire un filtrage à « self en tête » (fig. 124). La tension redressée sera plus faible qu'avec condensateur en tête mais la régulation sera meilleure, C1 est mieux protégé contre les surtensions et peut avoir une capacité plus grande sans risquer de court-circuiter la valve à la mise en route.

Le transformateur d'alimentation comprend habituellement un primaire avec une commutation possible sur différentes tensions par un cavalier-fusible. Le secondaire comprend un enroulement de chauffage basse tension pour les filaments des tubes, un enroulement de chauffage basse tension pour la valve redresseuse, un enroulement haute tension avec prise médiane (fig. 125).

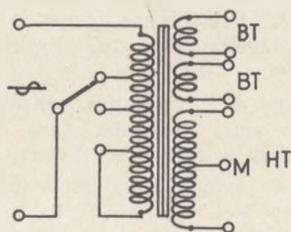


FIG. 125

LES CLASSES D'AMPLIFICATION

Il y a trois classes principales d'amplification. Elles sont fonction de la polarisation du tube.

Classe A (fig. 126). On considère la caractéristique du courant plaque en fonction de la tension de polarisation. On lui donne une valeur telle que les signaux à amplifier correspondent à une portion droite de cette caractéristique. C'est la classe la plus fréquente en réception.

Classe B (fig. 127). On applique à la grille une tension négative suffisante pour que le courant plaque s'annule. Ce point est appelé le « cut-off ».

On voit qu'une seule alternance est amplifiée. Il est donc nécessaire d'utiliser un montage push-pull pour qu'un deuxième tube amplifie l'autre

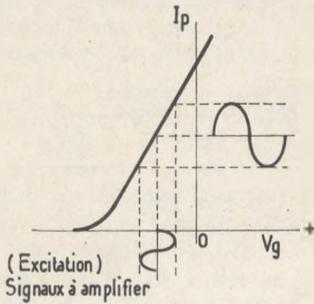


FIG. 126

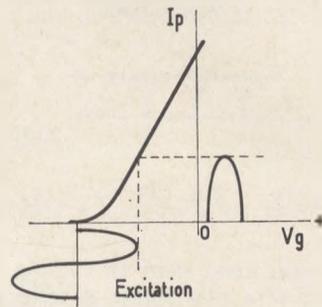


FIG. 127

alternance. Cette classe permet d'obtenir une plus grande puissance qu'en classe A.

Classe C (fig. 128). La polarisation se trouve bien au-delà du cut-off. L'excitation doit être très importante. Elle arrive même dans la zone de polarisation positive de grille d'où naissance d'un courant grille. On utilise cette classe à l'émission à cause de son rendement important. Le circuit oscillant placé dans le circuit de plaque reconstitue la portion de sinusoïde qui manque grâce à l'oscillation libre qui se produit quand le courant de plaque n'a plus lieu.

La première impulsion de l'excitation charge C puis disparaît. Le condensateur se décharge alors librement dans L ; lorsqu'il a perdu sa charge, l'effet de self tend à prolonger le courant et vient charger le

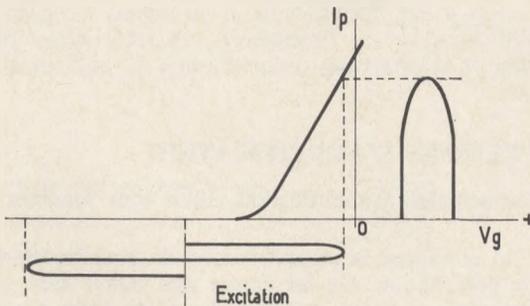


FIG. 128

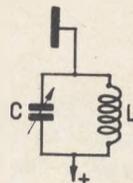


FIG. 129

condensateur dans l'autre sens. Lorsque l'énergie de self a chargé le condensateur (dans le même sens qu'au départ) et si la fréquence propre du circuit est égale à celle des impulsions de l'excitation, la nouvelle impulsion arrive sur un condensateur qui vient de récupérer presque toute sa charge de départ si le circuit est à faible perte. L'énergie empruntée à l'alimentation plaque est faible : c'est le creux de plaque qui indique bien que l'on à ce moment la concordance des fréquences de l'excitation et du circuit oscillant de plaque.

En l'absence de charge, le creux est nettement marqué. Si l'on emprunte de l'énergie au circuit oscillant (couplage d'une antenne par exemple), l'énergie empruntée à la source de plaque sera plus importante et l'intensité au creux de plaque augmentera.

N.B. Il existe aussi des classes intermédiaires AB1 et AB2 : 1 indique la classe AB sans courant de grille ; 2, la classe AB avec courant de grille.

HARMONIQUES

On connaît la forme d'un courant sinusoïdal (fig. 130). Un courant alternatif périodique de forme quelconque (fig. 131) peut se décomposer en un certain nombre d'autres fréquences, chacune d'elles étant sinusoïdale.

On appelle harmoniques, les fréquences qui sont un multiple de la fréquence fondamentale. Ainsi un quartz dont la fréquence est de 8 MHz fournit aussi les fréquences multiples de 8, soit $8 \times 2 = 16$ MHz, $8 \times 3 = 24$ MHz, $8 \times 4 = 32$ MHz, etc.

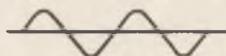


FIG. 130

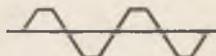


FIG. 131

Pour recueillir ces fréquences harmoniques, on utilise un circuit oscillant dont la fréquence propre est celle que l'on veut utiliser. Par exemple figure 132. Le quartz oscille sur sa fréquence de 8 MHz. Le circuit oscillant est réglé sur 24 MHz et recueille cette fréquence. On a ainsi réalisé une

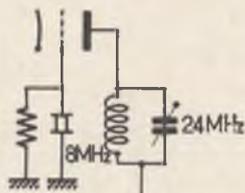


FIG. 132

multiplication de fréquences. C'est le procédé utilisé pour obtenir facilement des fréquences élevées avec l'avantage que les quartz sont alors moins fragiles puisque plus épais.

COMPOSITION D'UN EMETTEUR

Schéma synoptique. (fig. 132 bis)

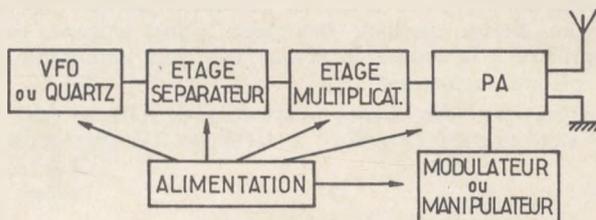


FIG. 132 bis

Oscillateur : Il peut être fixe (quartz) ou variable (VFO). Voici quelques types couramment utilisés (fig. 133 à 136).

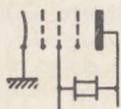


FIG. 133

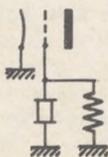


FIG. 134

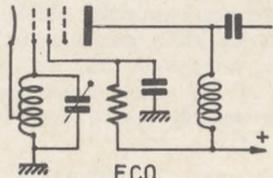


FIG. 135

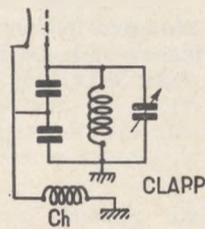


FIG. 136

Etage séparateur (fig. 137, V2) : il est apériodique ou à large bande. Il n'existe pas toujours sur tous les émetteurs (cas des émetteurs à trois étages). Il sert à bien séparer l'oscillateur de base.

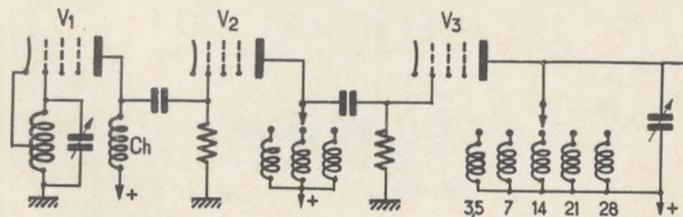


FIG. 137

Etage multiplicateur (V3) : il fournit la fréquence finale recherchée grâce à la multiplication de fréquences. Il comprend un circuit par bande, résonnant sur la fréquence choisie.

Le PA : c'est l'étage amplificateur de puissance de la fréquence reçue de l'étage multiplicateur de fréquences (appelé couramment exciter ou driver) et qu'il fournit à l'antenne grâce au circuit oscillant qui le constitue.

On peut faire le couplage à l'antenne de différentes façons. Autrefois, il était courant de « piquer » l'antenne sur une spire du bobinage du PA. Il n'y avait alors aucun filtrage des harmoniques qui pouvaient subsister.

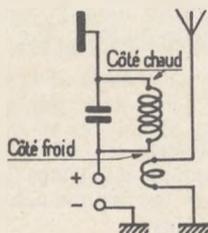


FIG. 138

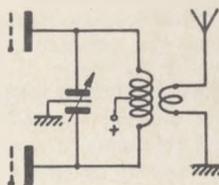


FIG. 139

Un couplage par boucle à basse impédance du côté froid du bobinage (côté masse) et non côté chaud, qui favoriserait les harmoniques, se fait encore quelquefois surtout en VHF fig. 138, bien que dans ce cas, il est plus fréquent d'utiliser un montage push-pull avec la boucle de couplage au centre du bobinage (point neutre). (fig. 139)

Actuellement on utilise surtout un circuit en pi (fig. 140). La plaque est alimentée en parallèle à travers une self de choc.

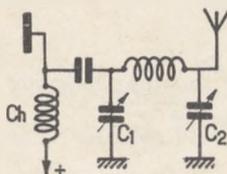


FIG. 140

C_2 a une valeur supérieure à C_1 . Pour faire le réglage, on met C_2 au maximum de sa capacité. Puisqu'elle est plus importante que C_1 , c'est comme si ce dernier était seul. C'est lui qui sert à faire l'accord que l'on vérifie par le creux du courant de plaque (on a vu la question du creux de plaque dans l'étude de la classe C). L'antenne se trouve en quelque sorte

court-circuitée par la forte capacité à sa base, elle n'est pas chargée et le courant du courant de plaque a une faible valeur. Pour obtenir une valeur normale du courant de plaque, on diminue C2 et on retouche C1 pour revenir au creux. Celui-ci augmente régulièrement avec la répétition des réglages ; on s'arrête dès que le courant de plaque a atteint la valeur fixée pour un fonctionnement correct du PA. Ainsi on travaille avec une capacité de sortie à la base aussi importante que possible, compatible avec le courant de plaque prévu, ce qui défavorise le transfert à l'antenne d'harmoniques possibles.

Il est évident que si la dose d'harmoniques est très forte, ce circuit en laissera passer. Mais, ce système est assez efficace dans la majorité des cas et permet une adaptation à l'antenne plus facile qu'avec une simple boucle de couplage.

Manipulation

Autrefois on faisait couramment une coupure du courant de cathode du PA. Le courant de cathode est généralement important et ce procédé n'est plus à recommander actuellement à cause des claquements de manipulation qui risquent de gêner les récepteurs voisins.

On peut faire une coupure d'écran : le courant d'écran est moins important que celui de cathode.

On peut aussi agir sur l'oscillateur si le tube final est polarisé séparément. Un procédé très généralisé est le blocage de grille du PA. S'il nécessite une polarisation séparée de -200 volts (pour une 807 ou 6146 par exemple) il présente l'avantage de polariser en permanence le tube final qui se trouve protégé en l'absence d'excitation et de ne couper qu'un courant de trois millis seulement.

Principe (fig. 141).

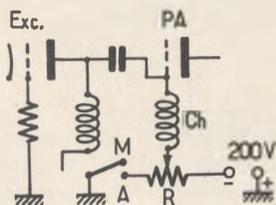


FIG. 141

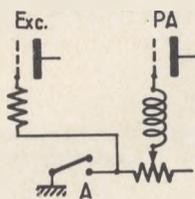


FIG. 142

R est une résistance à collier de 10 000 ohms de fort wattage (10 à 20 W). Le collier sert à trouver une position -50 V pour la polarisation du tube final en fonctionnement normal lorsqu'on appuie sur le manipulateur. Pour trouver cette tension, il faut que le tube débite son intensité normale, ce qui est facilement fait sur antenne fictive. On voit sur la figure que le manipulateur étant levé, l'extrémité A n'est plus en liaison

avec la masse, le courant ne passe plus dans R, il n'y a plus de chute de tension et la grille est alors portée à -200 V : le tube est bloqué.

On peut aussi bloquer en même temps, l'exciter en ramenant sa grille sur l'extrémité A. Manipulateur abaissé, cette grille est à la masse comme auparavant, donc fonctionnement normal ; manipulateur levé, elle se trouve portée à -200 V (fig. 141 : exciter non bloqué ; fig. 142 : exciter bloqué).

En BLU, on peut de plus provoquer un déséquilibre du modulateur équilibré qui fait apparaître la HF à la sortie.

Polarisation dans un émetteur

On peut polariser un tube par une source séparée de polarisation comme on l'a vu en étudiant le blocage de grille en télégraphie.

On peut aussi dans tout système fonctionnant avec courant de grille (oscillateur, ampli classe C), réaliser cette polarisation en insérant une résistance dans le circuit de grille. Le courant de grille qui la traverse fait apparaître à ses bornes une tension avec le négatif côté grille, d'où le nom de « polarisation automatique de grille » (fig. 143).

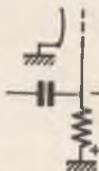


FIG. 143

Etant simple, ce montage est assez couramment utilisé. Mais tout manque d'excitation sur la grille supprimerait le courant de grille, par là même, la polarisation. Le courant plaque du tube non polarisé pourrait atteindre des valeurs assez fortes pour détruire celui-ci rapidement (plaque qui rougit).

PROPAGATION

On appelle longueur d'onde la distance parcourue par les ondes pendant le temps d'une période.

La vitesse de propagation des ondes est de $300\,000\text{ km}$ à la seconde. La longueur d'onde représentée par le symbole λ est égale à $V \times T$ (V : vitesse ; T : temps de la période). Mais la période T détermine aussi la

fréquence F . On a alors $T = \frac{1}{F}$; si dans la formule on remplace T par son

équivalent $\frac{1}{F}$, la formule devient $\lambda = V \times \frac{1}{F} = \frac{V}{F}$. Inversement on peut

dire $F = \frac{V}{\lambda}$.

On peut utiliser les formules simplifiées :

$$F = \frac{300}{\lambda} \quad \lambda = \frac{300}{F} \quad \text{en exprimant } \lambda \text{ en mètres et } F \text{ en mégahertz.}$$

Ainsi une fréquence de 10 MHz est égale à $\frac{300}{10} = 30$ mètres. Une λ de 30 mètres est égale à $\frac{300}{30} = 10$ MHz.

On appelle normalement grandes ondes (ou ondes longues), celles supérieures à 800 m. Au-dessous nous avons les petites ondes (ou ondes moyennes).

Les ondes qui nous intéressent ici sont les ondes courtes (ou ondes décamétriques), de 10 à 80 mètres, et au-dessous, les ondes très courtes 2 m par exemple (THF ou VHF) et ultra-courtes (UHF), (métriques et centimétriques).

Ondes courtes

Les ondes peuvent se réfléchir sur les couches supérieures ionisées de l'atmosphère ; (ionosphère).

Au départ de l'antenne, il y aura des ondes directes, assez vite amorties et des ondes réfléchies (fig. 144) qui peuvent atteindre des points très éloignés après une ou plusieurs réflexions.

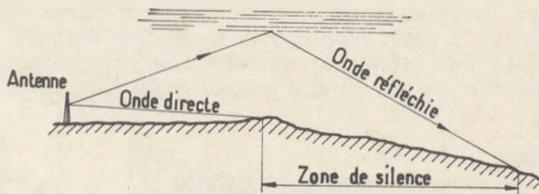


FIG. 144

Entre la fin des ondes directes et le début des ondes réfléchies se produisent des zones de silence (skip) dans lesquelles un récepteur se trouve hors de portée du rayon direct et n'est pas assez éloigné pour recevoir le rayon réfléchi. Ainsi une émission qui pourrait être reçue à 500 km, pourrait ne pas l'être à 50 km.

Ondes THF et UHF

Pratiquement ces ondes se propagent en ligne droite. Les zones de réception sont donc réduites. Les obstacles (bâtiments, collines, etc.) forment écran et arrêtent la propagation.

Différents facteurs influent sur la propagation des ondes courtes. Il se produit des variations saisonnières, des variations diurnes et nocturnes, et des cycles de propagation portant sur plusieurs années. Les conditions de propagation en hiver sont différentes de celles en été.

On constate que de jour, la propagation est favorisée sur les ondes décamétriques élevées, comme pour 28, 21 ou 14 MHz. Au fur et à mesure que le jour tombe, la force des signaux s'atténue graduellement. De nuit, ce sera surtout les ondes courtes plus basses qui « passeront », par exemple le 3,5 et le 7 MHz.

En VHF, les distances normales régulières atteintes sont assez faibles ; cependant il se produit parfois des propagations exceptionnelles, favorables aux longues distances, mais apparaissant et disparaissant brusquement, donc très capricieuses.

NOTIONS SIMPLES SUR LES ANTENNES D'EMISSION

L'antenne sert à rayonner l'énergie HF que lui fournit l'étage final de l'émetteur. On l'accorde donc sur la fréquence d'émission.

La notion de longueur d'onde, qui est l'espace parcouru par les ondes pendant la durée d'une période, intervient pour déterminer la longueur de l'antenne en observant la répartition des courants le long de celle-ci.

Répartition des courants et tensions le long du fil d'antenne

Cas d'une onde entière : le fil a approximativement la même longueur que la longueur d'onde correspondant à la fréquence de l'émission : figure 145 : le courant est nul aux extrémités ; figure 146 : les tensions sont maximales aux extrémités.



FIG. 145



FIG. 146

Cas d'une antenne demi-onde : figure 147 : le courant est toujours nul aux extrémités mais maximal au centre. C'est l'inverse pour les tensions (fig. 148).

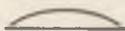


FIG. 147

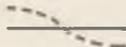


FIG. 148



FIG. 149

Une antenne peut être horizontale ou verticale. Une antenne verticale est fréquemment réglée en quart d'onde. Figure 149 : le courant est maximal à la base.

Une antenne est caractérisée par son « impédance caractéristique » (donnée par la formule $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$, L étant le coefficient de self-induction,

C la capacité par unité de longueur. Dans cette formule la fréquence n'intervient pas. L'impédance caractéristique ne varie qu'en fonction du type d'antenne (forme, diamètre des brins).

Il faut toujours rechercher l'adaptation des impédances entre l'antenne et le conducteur qui lui apporte l'énergie HF de l'émetteur et qu'on appelle feeder. Si l'adaptation est imparfaite, une partie de l'énergie fournie à l'antenne refluera vers l'émetteur et ne sera pas rayonnée. Il est donc important que le feeder ait une impédance caractéristique semblable à celle du point d'attaque de l'antenne.

Un feeder peut être un fil simple, deux fils parallèles, très fréquemment un câble coaxial composé d'un conducteur central à l'intérieur d'une gaine isolante recouverte d'une tresse métallique servant de blindage.

Les valeurs les plus courantes sont des coaxiaux de 50 et 75 ohms, des feeders « twin lead » (deux fils parallèles dans un ruban isolant plat) de 300 ohms, des feeders en fils parallèles plus espacés, de 600 ohms. (L'impédance caractéristique d'un feeder dépend du diamètre des fils et de leur écartement.)

Il existe de nombreux types d'antennes.

Un type simple, utilisé également comme base de comparaison avec d'autres antennes, est le « doublet demi-onde » (fig. 150).

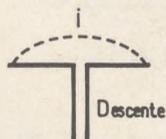


FIG. 150

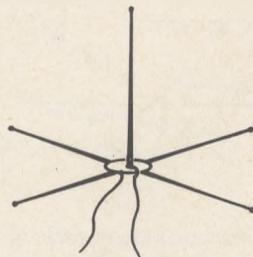


FIG. 151

Nous savons que le courant maximal est au centre ; c'est le point d'attaque, c'est-à-dire du branchement du feeder (attaque en intensité). En cet endroit l'impédance caractéristique est d'environ de 73 ohms. Autrefois on utilisait fréquemment du fil torsadé qui représentait à peu près cette valeur. Actuellement on utilise plutôt du coaxial de 75 ohms malgré une

petite dyssymétrie du fait que le conducteur et la gaine n'ont pas exactement les mêmes dimensions.

Autre type fréquent : le fouet vertical 1/4 d'onde avec plan de sol et appelé encore ground plane (fig. 151). Le plan de sol est constitué par 4 brins horizontaux placés à la base du fouet. L'impédance au centre est plus faible que pour le doublet. On peut la relever en inclinant les brins vers le bas.

Antennes de dimensions quelconques : lorsque le brin rayonnant ne peut être de longueur suffisante pour correspondre à $\lambda/4$, $\lambda/2$, etc., on peut en augmenter artificiellement la longueur en plaçant une self à la base de l'antenne ; il est commode d'agir sur cette self pour parfaire les réglages.

Ce peut être le cas pour une antenne « long fil » : on utilise la longueur maximale disponible pour tendre un fil ; suivant cette longueur, la répartition du courant le long du fil fournira à l'extrémité d'attaque un ventre, un nœud ou une valeur intermédiaire d'intensité, donc une impédance variable dont il faudra tenir compte : une self ajoutée permettra de faciliter les réglages.

Dans les antennes verticales en mobile, la self est placée au centre.

Autres types d'antenne : cubical quad (fig. 152).

Antenne Levy (fig. 153) ; descente à 600 ohms (deux fils parallèles espacés, ce qui présente assez souvent des problèmes d'entrée de ces fils dans le local.

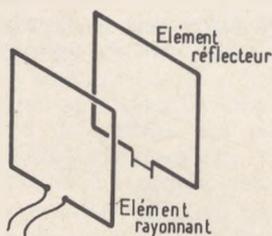


FIG. 152

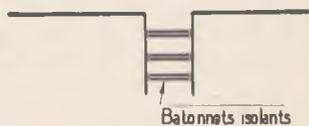


FIG. 153

Actuellement on utilise fréquemment des antennes multibandes à trappes à un, deux ou 3 brins soit fixes, soit rotatives.

En VHF on utilise surtout l'antenne Yagi : elle se compose d'un brin rayonnant complété par des éléments plus ou moins nombreux placés à distance convenable de ce brin et de dimensions variables les uns par rapport aux autres (fig. 154).

Ces antennes sont très directives, ce qui implique de les faire rotatives.

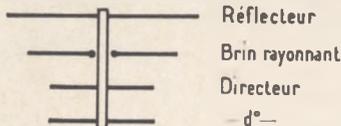


FIG. 154

Antenne halo

Fréquente en VHF en mobile. Elle est formée d'un élément circulaire 1/2 onde coupé en son milieu qui représente les extrémités. La gaine du coaxial de descente est fixée à l'opposé et le conducteur à une petite tige placée au-dessous de l'antenne et qui sert pour l'adaptation (fig. 155).

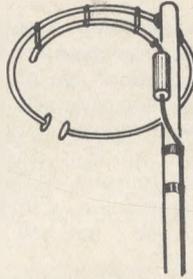


FIG. 155

DIAGRAMMES DE RAYONNEMENT

Une antenne est aussi caractérisée par son diagramme de rayonnement : l'énergie peut être rayonnée plus ou moins selon certaines directions.

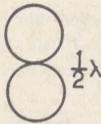


FIG. 156

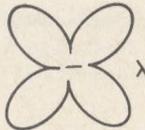


FIG. 157

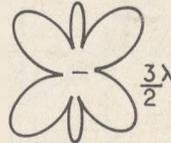


FIG. 158

ANTENNE DIRECTIVE

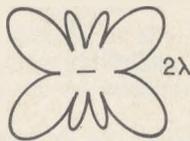


FIG. 159

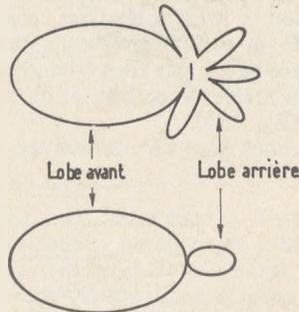


FIG. 160

Pour un doublet le diagramme de rayonnement est représenté figure 156 : il existe deux lobes un avant, un arrière ; le rayonnement est maximal dans un plan perpendiculaire au doublet. Il est minimal dans la direction qui prolonge les fils du doublet.

Autres diagrammes figures 157, 158, 159, 160.

LES ANTENNES DE RECEPTION

L'antenne d'émission est toujours bien réglée. Elle sera excellente pour la réception puisque émission et réception se font sur le même réglage.

En l'absence d'antenne d'émission, la réception sera néanmoins possible grâce à l'amplification considérable des récepteurs modernes qui compensera la médiocrité d'un fil quelconque servant d'antenne.

On peut se contenter d'un fil horizontal, tendu le plus haut possible au-dessus sol. On le réunira à la prise antenne du récepteur par l'intermédiaire d'un condensateur de 100 picofarads si le fil est assez long, afin de diminuer sa capacité propre (puisqu'on a ainsi 2 capacités en série) qui pourrait influencer sur l'accord des circuits d'entrée. On peut aussi connecter le fil de descente en un point situé au tiers du brin horizontal.

Un fouet vertical est quelquefois plus réalisable quand on manque d'espace.

Dans certains cas, il faut se contenter d'une antenne intérieure. Si c'est loin d'être parfait, on aura quand même de la réception. Le cas le moins favorable est l'installation à l'intérieur d'un bâtiment en béton armé. Les fils métalliques qu'il contient forment cage de Faraday : celle-ci est une cage métallique de grillage. Un opérateur ou un appareil placés à l'intérieur seront isolés de tout champ électrique extérieur. Le bâtiment en question ferait obstacle à la pénétration des ondes dans le local.

Une prise de terre, qui n'est pas toujours indiquée pour l'émission suivant les circonstances, améliorera toujours la réception lorsque l'antenne est quelconque ou insuffisante. On la constitue de préférence avec une ou plusieurs plaques métalliques enfouies dans un sol humide et soudées à un conducteur de grosse section relié lui-même à la prise « terre » ou « masse » du récepteur.

Lorsqu'il ne s'agit que d'antenne de réception, il est courant d'utiliser comme prise de terre une conduite d'eau ou de chauffage central sur laquelle on fixe un collier métallique qui assurera le contact après avoir gratté l'oxyde ou la peinture de la conduite.

Ce genre de prise de terre n'est pas à recommander pour l'émission, vu les perturbations HF qu'elle risquerait de provoquer chez les voisins.

3^e PARTIE

PASSAGE DES TUBES AUX TRANSISTORS

LES SEMI-CONDUCTEURS

Les tubes ont permis de faire comprendre les principes de la radio. Mais les semi-conducteurs peuvent facilement remplacer les tubes. L'avantage en est la simplification de l'alimentation : pas de tension de chauffage ni de haute tension : une seule batterie à basse tension suffit.

Les émetteurs récents sont souvent « transistorisés » sauf peut-être l'étage final qui est encore à tubes pour des puissances moyennes (20 à 100 watts).

Les deux semi-conducteurs usuels sont le germanium et le silicium auxquels on a incorporé une faible dose d'impureté. Suivant la nature de ces impuretés, on obtient un semi-conducteur de type N (avec l'arsenic ou l'antimoine) et un semi-conducteur de type P (avec l'indium ou le gallium). Le type N comporte un excès d'électrons (le type P, un manque d'électrons).

L'étude et la technologie des semi-conducteurs sont assez complexes. Il suffira ici de savoir passer des schémas d'utilisation des tubes à ceux des diodes et transistors.

Diodes à pointe (fig. 161)

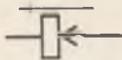


FIG. 161



FIG. 161 bis



FIG. 161 ter

Une pointe métallique très fine est appliquée sur une parcelle de semi-conducteur N. On obtient un effet de conduction dans le sens pointe-semi-conducteur.

Ces diodes à pointe conviennent très bien pour la détection des signaux HF. Pour le redressement de courants plus importants, on utilise des diodes à jonction.

Diodes à jonction

On associe un semi-conducteur P avec un semi-conducteur N fig. 161 bis. Si l'on applique une tension + du côté P, le courant circule dans le circuit (fig. 162) : la diode est conductrice.

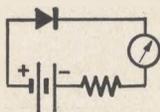


FIG. 162

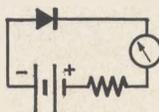


FIG. 163



FIG. 164

Si l'on applique une tension —, toujours du côté P, le courant ne circule pas (fig. 163) (représentation schématique des diodes fig. 161 ter).

Transistors

Les premiers transistors étaient à pointe (fig. 164) : deux pointes métalliques très près l'une de l'autre s'appuyaient sur un cristal de germanium du type N qui remplissait le rôle de base.

Les transistors actuels sont à jonction (fig. 165). Ils comprennent deux parties P séparées par une partie N.

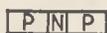


FIG. 165



FIG. 166

L'émetteur est toujours représenté par une flèche.

La partie intercalée N est appelée la base. Les parties P sont respectivement l'émetteur et le collecteur. (voir fig. 166 différentes représentations schématiques).

Si l'on applique une tension négative du côté collecteur, entre celui-ci et l'émetteur (fig. 167) le courant ne passe pas ou est très faible. Si dans les mêmes conditions on applique une petite tension négative sur la base,

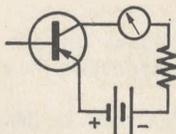


FIG. 167

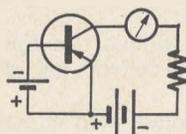


FIG. 168

un léger courant de base prend naissance et l'on constate alors le passage du courant entre émetteur et collecteur. En l'absence de tension négative sur la base, le courant ne passe pas.)

Une faible variation de tension sur la base provoque une grande variation de « courant collecteur » (fig. 168).

On peut comparer le transistor à un tube triode ; la base remplit l'office de grille, le collecteur celui de plaque, et l'émetteur celui de cathode.

Dans ce transistor PNP la tension collecteur est négative (donc positive côté émetteur) ; celle de base est négative.

On peut polariser celle-ci en la reliant à travers une résistance élevée au pôle négatif de la tension collecteur (fig. 169) ou encore par l'intermédiaire d'un pont (fig. 170) ; une seule batterie d'alimentation est donc suffisante.

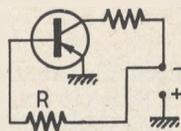


FIG. 169

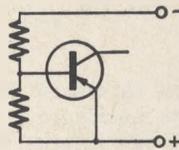


FIG. 170

Transistors NPN

Il est possible d'invertir les types de semi-conducteur. Il faut alors inverser les polarités : c'est une tension positive que l'on applique au collecteur, la base est polarisée positivement.

Sur un schéma, on distingue les deux sortes NPN ou PNP par le sens de la flèche de l'émetteur : vers l'extérieur pour un NPN, vers le transistor pour un PNP (fig. 171 et 172).

Le principe de fonctionnement reste le même, quel que soit le type utilisé.

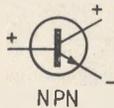


FIG. 171

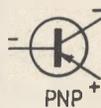


FIG. 172

Les trois montages fondamentaux

montage en émetteur commun (fig. 173).

C'est le montage le plus fréquent. Les signaux sont appliqués entre base et émetteur. La base est l'électrode de commande, comme la grille l'était dans un tube. Les signaux amplifiés sont recueillis entre collecteur et émetteur.

R1 et R2 constituent un pont (ou diviseur de tension) pour la polarisation de la base. R3 est la résistance de charge sur laquelle on recueille les tensions alternatives amplifiées produites par les variations de courant collecteur qui elles-mêmes sont produites par les faibles variations du courant de base.

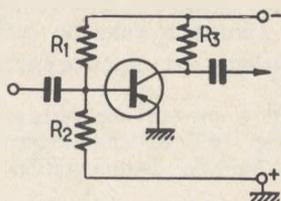


FIG. 173

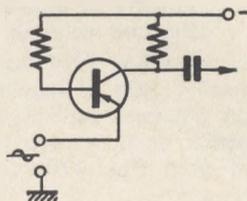


FIG. 174

Ce montage est caractérisé par une impédance d'entrée moyenne (200 à 2 000 ohms) ; une impédance de sortie assez forte (10 000 à 100 000 ohms) ; il assure une bonne amplification de tension et de courant, donc de puissance.

Ce montage est excellent comme amplificateur.

Montage en base commune (fig. 174).

Les signaux sont appliqués à l'émetteur qui est donc l'électrode de commande.

Ce montage est caractérisé par : une impédance d'entrée assez faible (quelques dizaines d'ohms à un millier d'ohms) ; une impédance de sortie élevée (500 000 ohms à 1 mégohm) ; une amplification de courant moins de 1 mais une forte amplitude de tension. Ce montage convient pour attaquer une haute impédance.

Montage en collecteur commun (fig. 175).

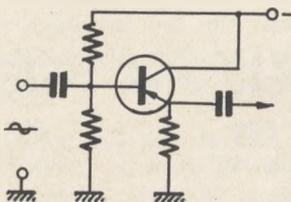


FIG. 175

Les signaux sont appliqués sur la base et recueillis sur l'émetteur. Ce montage est caractérisé par une forte impédance d'entrée (0,2 à 1 mégohm) ; une faible impédance de sortie (50 à 500 ohms). Il convient pour l'attaque d'une faible impédance.

Gain du transistor

On appelle amplification β du transistor monté en émetteur commun, le rapport de la variation du courant collecteur à la petite variation du courant de base.

Ainsi sur la figure 176 donnant la courbe du courant collecteur I_c en fonction du courant de base, une variation du courant de base de $0,8 - 0,4 = 0,4$ millis provoque une variation du courant collecteur de $30 - 10 = 20$ millis.

On dit que le gain β est $20 : 0,4 = 50$.

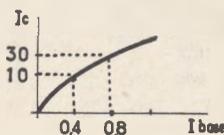


FIG. 176

Contrôle automatique de gain (CAG, antifading)

Le principe est le même que pour les tubes. Une modification de la polarisation de base va agir sur le gain.

Plus le signal est puissant, plus la tension choisie positive, venant du CAG,

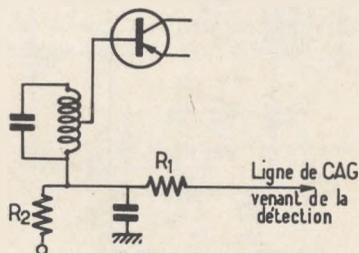


FIG. 177

appliquée à la base à travers R_1 , sera forte, plus la polarisation négative de base va diminuer et donc, le gain du transistor.

Pour des signaux faibles, la tension positive devient moins forte, le gain augmente (fig. 177).

Détection par diode (fig. 178)

On retrouve le schéma déjà étudié avec les tubes.

R_2 sert à polariser la diode. Celle-ci ne détecte qu'à partir d'un certain seuil, 0,25 volt par exemple. C'est pourquoi on applique une petite tension qui supprime ce seuil, et la diode fonctionne même pour des signaux inférieurs à 0,25 volt.

Détection par transistor (fig. 179)

La jonction émetteur-base forme une diode avec un seuil de détection plus petit qu'avec une diode à pointe.

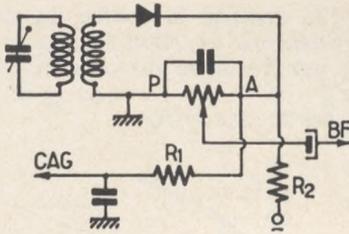


FIG. 178

Le diviseur de tension formé par R_1 et R_2 ne doit donner qu'une très faible polarisation, sinon il n'y aurait pas détection mais amplification. Alors seules les alternances négatives agiront sur le courant de collecteur. R_6 est la résistance de charge pour recueillir la tension détectée BF.

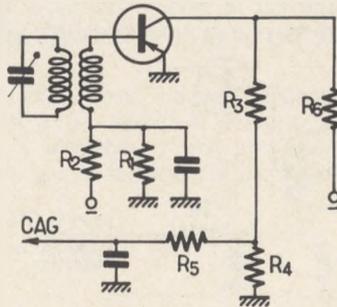


FIG. 179

L'ensemble R_3 et R_4 est le diviseur de tension qui fournit la tension de CAG appliquée à la base des transistors commandés.

Compensation de température

Les transistors sont sensibles à la lumière (effet photoélectrique). Ils sont placés dans une enveloppe opaque. Ils sont sensibles à la chaleur : le courant collecteur-émetteur augmente avec celle-ci.

On obtient une certaine régulation par l'insertion d'une résistance dans l'émetteur (fig. 180). Si la température augmente, le courant émetteur augmente, la tension aux bornes de R augmente ; le potentiel aux bornes

de R devient plus négatif du côté émetteur (en B), donc plus positif en A qui est tourné vers la base ; la base devient moins négative, elle est moins fortement polarisée et provoque une baisse de courant collecteur-émetteur qui tendait à augmenter. Il y a ainsi compensation et régulation.

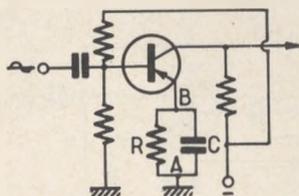


FIG. 180

L'impédance de C doit être faible par rapport à R. Les courants alternatifs ne doivent pas pratiquement passer à travers R qui n'est parcourue que par le courant continu de collecteur-émetteur.

Compensation par thermistance

Principe (fig. 181).

Une thermistance est une résistance dont la valeur diminue fortement avec la température.

R_1 ne change pas de valeur. La thermistance Th fait varier la deuxième branche du pont et provoque la régulation du courant de base en fonction de la température.

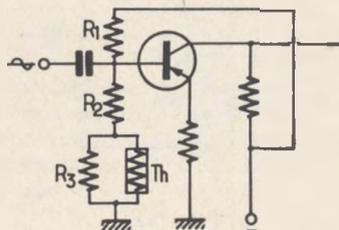


FIG. 181

NOTIONS SUR LES MONTAGES A CONTRE-REACTION

Contre-réaction d'intensité (fig. 182)

La résistance R_c est analogue à celle non découplée placée dans la cathode d'un tube.

Pour une alternance négative sur la base, le courant collecteur augmente, donc également dans R_c . L'extrémité A devient plus négative, ce qui revient

à une tension plus positive sur la base, donc diminution du courant collecteur. On obtient bien l'effet d'une contre-réaction.

Ce montage ressemble à ce qui était utilisé pour la compensation de température. Dans ce dernier cas, le condensateur aux bornes de la résis-

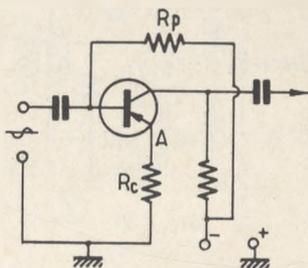


FIG. 182

tance avait pour but de laisser passer les courants alternatifs pour qu'ils n'introduisent pas d'effet de contre-réaction qui n'était pas recherché.

Contre-réaction de tension (fig. 183)

Une fraction de la tension de sortie est réinjectée (en opposition de phase) à l'entrée du transistor grâce à R_{cr} et C .

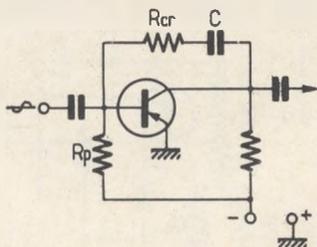


FIG. 183

L'ensemble R_{cr} et R_p (polarisation) forme un diviseur de tension pour les signaux alternatifs de sorte que seule une faible partie de la tension de sortie est utilisée.

Contre-réaction sur 2 étages

La tension de contre-réaction est appliquée sur l'émetteur et non sur la base comme dans le cas d'un seul étage de l'inversion de phase par étage qui provoquerait cette fois une réaction au lieu d'une contre-réaction (fig. 184).

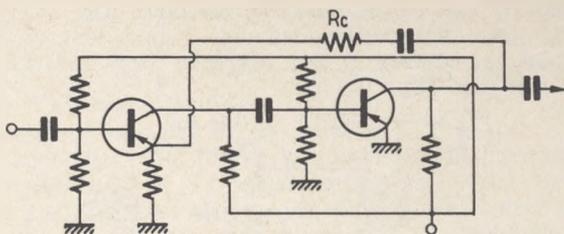


FIG. 184

PRINCIPE DES LIAISONS ENTRE ETAGES

Nous retrouvons les mêmes principes que pour les tubes mais il faut bien sûr tenir compte des impédances bien différentes.

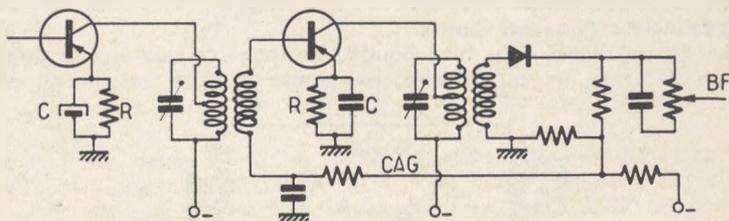


FIG. 185

Les liaisons HF peuvent se faire par résistance, par self, par transformation (fig. 185) ou auto-transformateur (fig. 186).

Les prises médianes améliorent l'adaptation des impédances, diminuent l'amortissement des circuits accordés, d'où meilleure sélectivité.

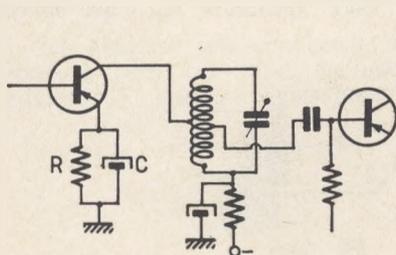


FIG. 186

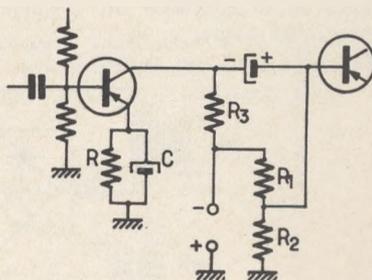


FIG. 187

Les liaisons BF peuvent se faire par résistance (fig. 187) ou par transformateur (fig. 188). Les condensateurs de liaison sont de forte capacité (électrochimiques miniatures). Il faut respecter leurs polarités (sur le rôle de C et de R voir page 88).

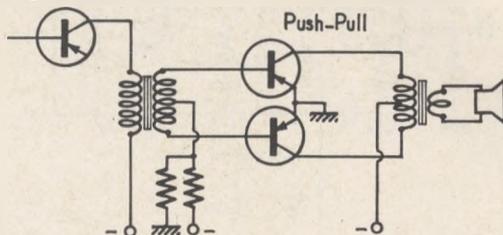


FIG. 188

PRINCIPE DU MODULATEUR EQUILIBRE

On en a vu le principe avec les tubes. Il reste le même avec des diodes à semi-conducteur (montage shunt).

Si les quatre diodes sont bien équilibrées, on voit que si l'on applique la HF en l'absence de modulation, les points A et B restent au même

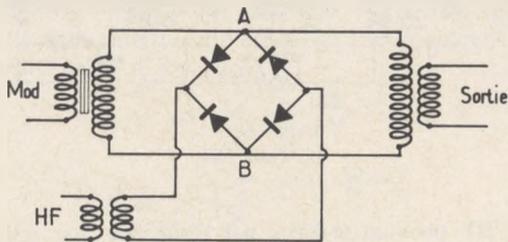


FIG. 189

potentiel et il n'y a pas de HF à la sortie. La modulation appliquée va produire le déséquilibre du système et faire apparaître les deux bandes latérales à la sortie.

Montage série (fig. 190).

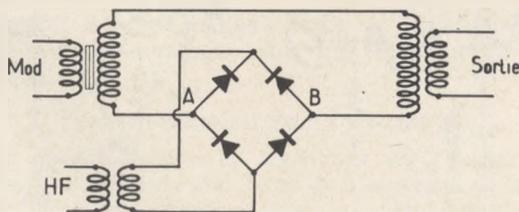


FIG. 190

Si les quatre diodes sont identiques, comme pour le montage shunt, les points A et B sont au même potentiel en HF en l'absence de modulation.

Ces montages ne sont pas utilisés tels quels ; ils nécessitent forcément des possibilités d'ajustage d'équilibre.

Il existe plusieurs variantes de ces systèmes :

HF sans modulation (fig. 191) : supposons à un moment donné une tension + côté inférieur de T1, nous aurons un — côté supérieur. Dans le primaire de T3 le courant sera en opposition dans chaque moitié de cet enroulement ; il n'y aura pas d'induction dans le secondaire. Le courant

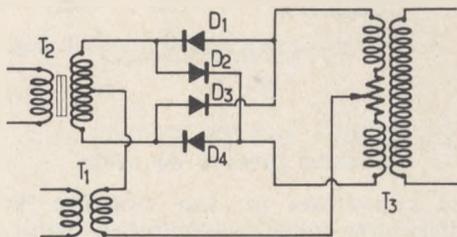


FIG. 191

passera à la fois dans D1 et D4, rejoint le point milieu de T2 et se referme sur T1. A l'instant suivant, en T1 le + se trouve du côté supérieur. Le courant va emprunter cette fois le circuit à travers D2 et D3 ne provoquant aucune induction dans T3.

Le potentiomètre permet d'ajuster l'équilibre. La modulation appliquée en même temps que la HF va déséquilibrer le système et faire apparaître les bandes latérales à la sortie.

ALIMENTATION

Les diodes à semi-conducteur remplacent facilement avec avantage les diodes à vide. On utilise les mêmes principes de montage. R est une résistance de quelques ohms pour limiter le débit au moment de la mise

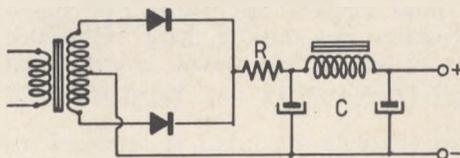


FIG. 192

en route, C, de très forte capacité, ferait effet de court-circuit tant qu'il n'a pas atteint sa charge (fig. 192).

Montage avec transformateur sans point milieu (fig. 193).

Ceci est possible grâce à un montage en pont de quatre diodes.

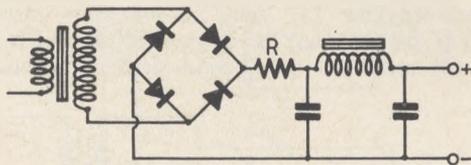


FIG. 193

Tension inverse de crête

Les diodes sont caractérisées par leur « tension inverse de crête ». Considérons le redressement simple du schéma de la figure 194. Lorsque le point A est positif, la diode conduit et vient charger C ; à l'alternance suivante, A est négatif, la diode ne conduit pas elle se trouve soumise à la tension A et B avec, intercalée sur son trajet, la tension aux bornes de C qui s'est maintenue ; on trouve un branchement de deux tensions en série qui donc s'ajoutent (fig. 194 (a) et (b)).

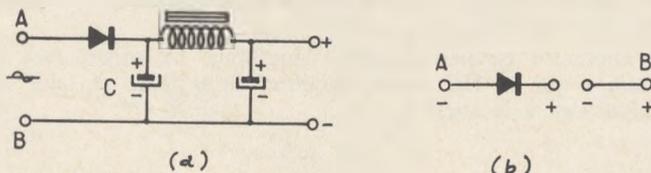


FIG. 194

De plus, on a vu que la tension de crête, qui est la tension maximale atteinte par chaque alternance, est plus forte que la tension efficace indiquée par un voltmètre (1,414 fois la tension efficace).

Finalement, la diode supporte une tension bien supérieure à la tension redressée. Pour conserver une certaine marge de sécurité, il est prudent d'utiliser des diodes au tiers de leur tension inverse de crête.

4° PARTIE

COMPLÉMENTS

LES UNITES ET LES PREFIXES

deca indique des dizaines.

| | | | |
|-------|---|---------------------------------|---------------------------------|
| hecto | — | centaines ou multiplication par | 100 (10 ²) |
| kilo | — | mille | 1000 (10 ³) |
| mega | — | millions | 1 000 000 (10 ⁶) |
| giga | — | mille de millions | 1000 000 000 (10 ⁹) |
| tera | — | millions de millions | |

| | | | |
|-------|---|--|--|
| deci | — | dixièmes | |
| centi | — | centièmes | |
| milli | — | millièmes | |
| micro | — | millionnièmes | |
| nano | — | millièmes de millionnièmes (ou millièmes de micro) | |
| pico | — | millionnièmes de millionnièmes (ou micro micro) | |

A l'aide de ces préfixes, on peut former des multiples ou des sous-multiples des unités vues précédemment.

Exemples : un microvolt = un millionième de volt
un milliampère = un millième d'ampère ; couramment un « milli »
un kilowatt = mille watts
un megohm = 1000 000 ohms
un megahertz = un million de hertz
un microfarad = un millionième de farad
un nanofarad = un millième de microfarad
un picofarad = un micromicrofarad

COEFFICIENT DE TEMPERATURE

Pour la plupart des corps la résistance augmente avec la température (exception : la résistance du carbone diminue).

Lorsqu'on a besoin d'une grande précision dans la mesure d'une résis-

tance, il faut tenir compte du coefficient de température du corps considéré. Ce coefficient représente l'augmentation de la résistance par degré de température et par ohm.

Ainsi la résistance à « t » degrés est égale à la résistance à 0° plus son augmentation, ce qui se met sous la forme :

$$R_t = R_0 + R_0 \alpha t = R_0 (1 + \alpha t)$$

R_t est la résistance cherchée à t degrés.

R_0 est la résistance à zéro degré.

t est l'augmentation de température.

α est le coefficient de température.

CONSTANTE DE TEMPS

En raison de la résistance R du circuit (fig. 195), le condensateur ne se charge pas instantanément. La constante de temps est le temps t néces-

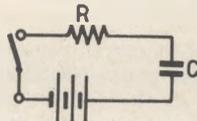


FIG. 195

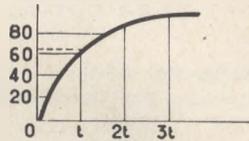


FIG. 196

saire pour que la tension aux bornes de C atteigne les 2/3 de sa valeur

$$t = CR \quad \left\{ \begin{array}{l} t \text{ en seconde} \\ C \text{ en farad} \\ R \text{ en ohms} \end{array} \right.$$

(fig. 196).

LA DIODE ZENER

On la représente par le symbole indiqué à la page 111. C'est une diode PN. Elle a une résistance interne faible dans le sens direct, et élevée dans le sens inverse. Si on augmente la tension inverse, à partir d'une certaine valeur, le courant augmente brusquement. C'est le point de Zener.

Au-delà la résistance devient brusquement très faible, le courant devient très important et la tension aux bornes de la diode reste pratiquement constante.

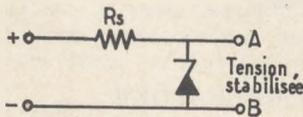


FIG. 197

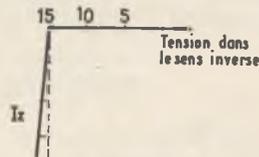


FIG. 198

On utilise ces diodes pour stabiliser les alimentations (fig. 197).

R_s permet de fixer le point de fonctionnement de la diode.

Exemple : une diminution du courant aux bornes de AB provoquerait une augmentation de la tension. Celle-ci augmentant donc aux bornes de la diode, le courant qui la traverse va augmenter ; il augmente aussi dans R_s ; la chute de tension aux bornes de R_s augmente, de sorte que cette chute de tension va compenser l'augmentation de tension qui s'était produite en AB dans le sens inverse.

Il existe des diodes pour différentes tensions.

La courbe de la figure 198 serait celle d'une diode Zener 15 volts ; à partir de cette valeur, la tension reste pratiquement constante.

PONT DE WHEATSTONE (fig. 199)

Il se compose de 2 branches ABC et ADC formées de 4 résistances r_1, r_2, r_3, r_4 . Une branche médiane BD comporte un appareil de mesure.

On applique une tension en AC. Le courant se répartit dans les 2 branches. Si les résistances ont la même valeur, les potentiels des points B et D seront identiques ; il ne passera donc pas de courant entre eux.

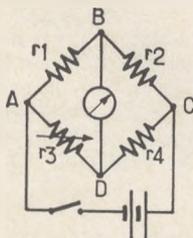


FIG. 199

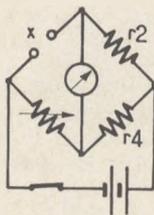


FIG. 200

Si une résistance est différente, il y aura déséquilibre, un courant passera dans BD.

On a la relation $\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}$. On peut la transformer : $r_1 = \frac{r_3 \times r_2}{r_4}$.

Si l'on fait $r_2 = r_4$, la division de $\frac{r_3}{r_4}$ donne 1, et on obtient $r_1 = r_3$.

On place en r_3 une résistance variable étalonnée. On met la résistance inconnue x à la place de r_1 . On agit sur la résistance variable pour arriver à annuler le courant dans BD. A ce moment précis, la valeur de la résistance cherchée sera celle indiquée par la résistance étalonnée (fig. 200).

NEUTRODYNAGE

La capacité interne d'un tube, en particulier entre grille et plaque (fig. 201), peut devenir gênante surtout lorsque les fréquences sont élevées, et constituer un couplage provoquant des accrochages (auto-oscillations).

Il est donc nécessaire parfois de « neutrodynner » le tube.

En voici un exemple (fig. 202).

C_n = quelques pF.

C = 1 000 pF.

Tel qu'il est branché, le condensateur de neutrodynage C_n neutralise la capacité parasite.

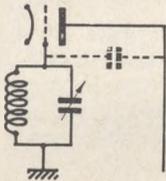


FIG. 201

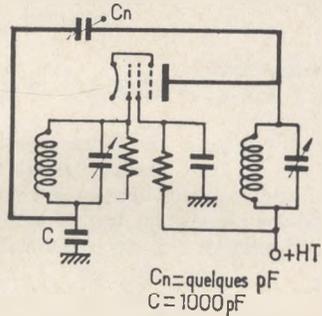


FIG. 202

On retrouve une sorte de pont comme on l'a vu précédemment. La branche de neutrodynage comprend en somme le diviseur de tension composé de C_n et de C . Pour un réglage précis de l'ajustable C_n , l'effet de capacité interne sur les tensions HF est annulé.

MODULATION ECRAN (fig. 203)

La tension d'écran doit être inférieure à sa valeur habituelle, de moitié par exemple.

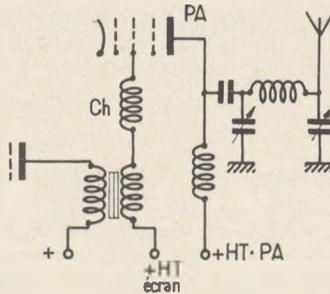


FIG. 203

MODULATION PLAQUE ECRAN (fig. 204)

La modulation est appliquée à la plaque ; également à l'écran à travers R.
 Ce montage, plus souple à régler que le précédent nécessite un amplificateur BF plus puissant. On se base sur une puissance BF égale à la moitié de la puissance alimentation du PA.

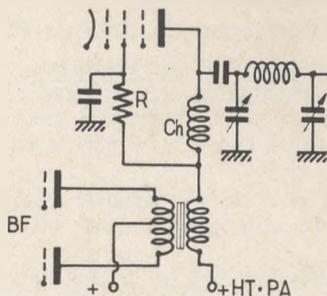


FIG. 204

MODULATION CHOKE SYSTEM (fig. 205)

Convient à des émetteurs de petite puissance.
 Les 2 tubes travaillent sous la même tension plaque. S est une self à fer importante qui s'oppose aux variations de courant résultant de la BF. Le courant qui traverse S est donc constant ; les variations vont alors se répercuter sur le courant plaque du PA qui sera ainsi modulé.

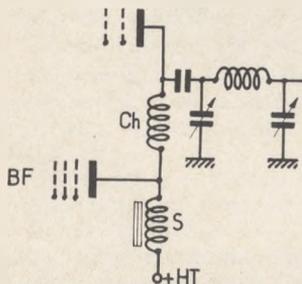


FIG. 205

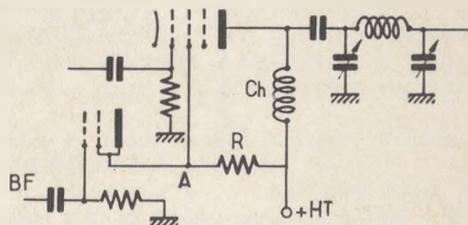


FIG. 205 bis

MODULATION CLAMP

Principe : (fig. 205 bis).

C'est une modulation écran par l'intermédiaire d'un tube faisant office de résistance variable.

La tension écran est prise au point A sur un pont constitué par R et la résistance anode-cathode du tube V monté en triode (écran et plaque reliés ensemble).

Les signaux BF appliqués à la grille de V font varier son courant anodique ; par conséquent aussi la tension au point A : la modulation est donc appliquée sur l'écran du PA.

Protection du tube du PA

Lorsque la polarisation se fait par résistance de grille, c'est le courant grille (excitation) qui fournit la tension négative nécessaire.

Si pour une cause quelconque l'excitation vient à manquer, le tube n'est plus polarisé et risque d'être endommagé par le courant anodique dépassant une valeur normale.

Le plus simple et le plus sûr est d'utiliser une polarisation indépendante du même genre que celle utilisée pour faire une manipulation par blocage de grille.

Avec ou sans excitation, le tube est polarisé en permanence et ne risque rien.

Systeme Clamp.

On peut aussi utiliser un tube de protection (tube clamp), procédé efficace mais qui nécessite le montage d'un tube supplémentaire.

En voici le principe (fig. 205 ter) :

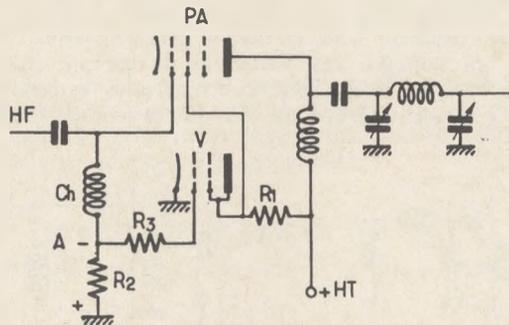


FIG. 205 ter

R2 fournit la polarisation du PA grâce au courant de grille faisant apparaître une tension négative côté grille. Cette tension est aussi appliquée à la grille du tube V dont le débit est alors faible ; ce tube se comporte comme une résistance assez forte et ne perturbe pas le courant écran normal du PA.

Si l'excitation vient à manquer, il n'y a plus de courant de grille PA, la tension négative au point A disparaît ; V n'étant plus polarisé, son débit augmente, le courant dans R1 aussi, provoquant une forte chute de tension aux bornes de celle-ci, diminuant d'autant la tension appliquée à l'écran.

Avec celui-ci nettement sous-volté, le courant anodique n'atteint pas de valeur dangereuse et cesse même de fonctionner.

FILS DE LECHER

Vu leur encombrement, ils sont surtout utilisés en VHF et UHF. Deux conducteurs sont fixés et tendu sur une planche graduée. Un curseur C, faisant office de court-circuit, coulisse sur les 2 fils. Une extrémité se termine par une boucle B que l'on couple au PA. Une boucle de Hertz (boucle se fermant sur une ampoule) est également couplée au PA, suffisamment pour qu'elle s'illumine (fig. 206).

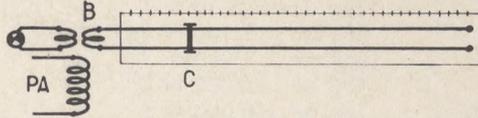


FIG. 206

Partant de l'extrémité côté boucle, on fait glisser le curseur sur les fils. A un moment donné, l'éclat de l'ampoule tombe brusquement. On note cet emplacement. On continue de faire glisser le curseur (l'ampoule reprend son éclat) jusqu'à ce que l'éclat de l'ampoule tombe à nouveau. On note cet endroit. La distance entre les 2 emplacements notés représente une demi-longueur d'onde.

LE DECIBEL

Lorsqu'on a besoin d'évaluer l'atténuation ou l'amplification d'un système, on peut le faire en comparant la puissance recueillie à la sortie, à celle fournie à l'entrée. Soit P_1 la puissance d'entrée, P_2 celle de sortie. Le rapport des puissances sera P_2/P_1 . Si ce rapport est plus grand que 1, il y a amplification ; s'il est plus petit que 1, il y a atténuation.

Prenons le cas d'une ligne de transmission. On lui fournit à l'entrée une puissance de 2 watts. Supposons qu'on recueille à la sortie une puissance de 1 watt, le rapport des puissances sera $1/2$. L'atténuation est de $1/2$ ou 0,5.

On trouve la puissance de sortie en multipliant la puissance d'entrée par ce rapport 0,5 qui caractérise notre ligne : $2 \text{ W} \times 0,5 = 1 \text{ W}$.

Si une puissance de 0,2 watt est fournie à un ampli qui donne à la sortie une puissance de 10 watts, le rapport des puissances est $10/0,2 = 50$. Le signal est amplifié 50 fois.

On peut donc se baser sur des rapports de puissance pour évaluer une atténuation ou une amplification.

Cependant on préfère utiliser une autre unité, le bel, et surtout son sous-multiple, le décibel ($1/10$ de bel), écrit « db » :

L'impression que fournit une certaine puissance sur nos sens, n'est pas proportionnelle à cette puissance. Dans une salle un haut-parleur donne une certaine intensité sonore : nous ajoutons un deuxième haut-parleur

fournissant lui aussi la même puissance, de sorte que la puissance se trouve doublée. L'impression ressentie ne sera pas double, mais d'une valeur à peine supérieure à la première. On constate que nos sens sont sensibles proportionnellement non au rapport des puissances, mais au logarithme de ce rapport, ce qui donne un nombre bien moins important.

Sans entrer dans l'étude des logarithmes, on peut examiner la table suivante :

| | |
|--------|-------------|
| log de | 1 = 0 |
| log de | 10 = 1 |
| log de | 100 = 2 |
| log de | 1 000 = 3 |
| log de | 10 000 = 4 |
| log de | 100 000 = 5 |

L'amplification ou l'atténuation seront exprimées en bels en prenant le logarithme du rapport des puissances. On voit sur le tableau que le logarithme de 100 est 2, ce qui veut dire qu'un rapport de puissance de 100 représente une amplification de 2 bels et plus couramment de 20 décibels (20 db).

L'avantage de cette notation est qu'il est très facile de résoudre les problèmes d'amplification ou d'atténuation par une simple addition ou soustraction.

Si nous faisons suivre un amplificateur donnant 10 db d'un autre ampli donnant 15 db par l'intermédiaire d'un système ayant une atténuation de 2 db, l'amplification résultante sera : $10 - 2 + 15 = 23$ db.

N.B. On peut aussi exprimer en db un rapport de tensions ou d'intensités, mesurées sur des impédances égales. La formule pour un rapport de puissance est $10 \log P_2/P_1$; pour un rapport de tensions ou d'intensités, elle devient $20 \log U_2/U_1$.

Bien remarquer que les bels ou décibels ne représentent pas une valeur absolue comme les volts, les ampères, les watts. Ils expriment seulement un rapport et ne donnent par eux-mêmes aucune indication sur la puissance réelle si l'on ne précise pas la puissance d'entrée.

Quelques valeurs :

| rapport de puissance | db |
|----------------------------|----|
| 1,99 | 3 |
| 3,98 | 6 |
| 10 | 10 |
| 100 | 20 |
| 199,60 | 23 |
| 1 000 | 30 |

Le décibel en acoustique :

On sait que l'effet physiologique d'une intensité sonore n'est pas proportionnel aux puissances, mais à leur logarithme. Si l'on définit un niveau de référence correspondant au seuil d'audibilité sonore, le décibel peut

devenir une unité acoustique proprement dite qui s'appelle alors aussi « phone ».

Voici quelques valeurs approximatives :

| | |
|--|--------|
| Campagne calme | 10 db |
| Conversation à voix basse | 20 db |
| Bruits d'une salle de restaurant | 60 db |
| Rue bruyante | 80 db |
| Bruit d'une rame de métro | 95 db |
| Seuil de la douleur | 140 db |

MESURE DES FREQUENCES

Un marqueur à quartz est nécessaire pour une précision satisfaisante. Mais il n'indique pas si l'on est dans la bande, puisque le même quartz peut servir pour plusieurs bandes de fréquences.

Il faut tout d'abord déterminer la bande. Ce sera possible avec un ondemètre à absorption non sensible.

Un appareil sensible pourrait donner des indications sur harmoniques. Ainsi on pourrait très bien trouver du 14 MHz à la sortie et être à pleine puissance sur 10,5 MHz (ce 14 apparaissant comme harmonique).

L'ondemètre (fig. 207) et constitué par un circuit oscillant, formé d'un bobinage, d'un condensateur variable d'une vingtaine de picofarads (pas plus, pour un étalement suffisant) et d'une petite ampoule de faible tension (1,5 volt) sous 0,2 ampère (200 millis). Elle a donc une résistance faible ($1,5 : 0,2 = 7,5$ ohms) et n'amortit pas trop le circuit.

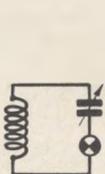


FIG. 207

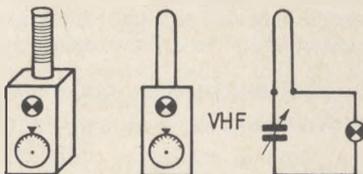


FIG. 208

En décimétrique, il faudra un bobinage par bande.

En VHF on utilise une boucle et une faible capacité (quelques picofarads) (fig. 208).

Le marqueur se compose d'un transistor HF (genre OC 44 qui convient très bien). Le collecteur est alimenté par —9 volts à travers une self de choc, sur laquelle est fixée une petite tige de cuivre de 20 cm de long qui facilite le couplage vers le récepteur ou sur un circuit ; une résistance de 500 000 ohms polarise la base et le quartz est branché entre la base et le collecteur (fig. 209).

Avec ce montage, le marqueur fonctionne très bien avec des quartz des surplus FT 243. Voici les valeurs à choisir pour les limites de bandes :

- 3,5 MHz pour tous les débuts de bandes : 3,5 7 14 21 28.
 3,8 (fin de bande du 3,5).
 7,1 (fin de bande du 7).
 7,175 (fin de bande du 14 : 14,350).
 7,150 (fin de bande du 21 : 21,450).
 7,425 (fin de bande du 28 : 29,700).
 7,200 (début de bande du 144).
 7,300 (fin de bande du 146).

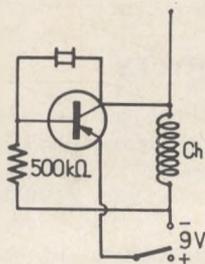


FIG. 209

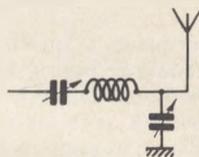


FIG. 209 bis

Grid dip

C'est un oscillateur qui, couplé à un circuit oscillant, indiquera la fréquence de résonance de circuit sans erreur possible, en observant la chute du courant de grille (dip) de cet appareil.

Il est indispensable si l'on veut construire des circuits et des bobinages.

Il peut servir en « récepteur » et permettre alors la recherche d'harmoniques ou d'auto-oscillations. Comme il est sensible, il ne fait pas, dans cette utilisation, double emploi avec l'ondemètre non sensible décrit précédemment

Étalonnage d'un ondemètre à absorption

Il faut un récepteur, un marqueur et un grid dip.

On met en route le marqueur muni du quartz correspondant à la fréquence ou à la limite de bande cherchée et on règle le récepteur sur le souffle fourni par l'émission du quartz.

On met en route le grid dip muni du bobinage qui convient et on fait interférer l'émission du quartz avec celle du grid dip ; on réglerà le grid dip pour un battement nul (extinction du sifflement d'interférence).

A ce moment le grid dip émet bien sur la fréquence du quartz. On approche alors l'ondemètre à étalonner, du bobinage du grid dip et on manœuvre le condensateur de l'ondemètre jusqu'à obtenir le « dip ». On note alors la fréquence d'une façon précise sur le cadran de l'ondemètre.

MESURES POUR EVITER LES BROUILLAGES

— En premier lieu, ne pas trop pousser la modulation. Une surmodulation provoque un élargissement considérable de l'émission dans la bande utilisée.

— Ne pas avoir d'harmoniques à la sortie sur l'antenne ou la charge fictive. Pour cela, prendre le maximum de précautions :

- ne plus « piquer » d'antennes sur le PA.
- placer la boucle de couplage d'antenne du côté froid (côté masse) du bobinage du PA.
- de préférence, utiliser pour ce couplage un circuit en pi ou en L. fréquemment utilisé en VHF à transistors le circuit en L comprend deux condensateurs variables comme pour le circuit en pi mais le premier condensateur est branché en série. (fig. 209 bis). pour la VHF, une cavité (circuit résonant en forme de boîte métallique aux dimensions très précises) est excellente.
- bloquer les fréquences qui pourraient passer sur le secteur à travers l'alimentation.

Un filtre efficace est le suivant (fig. 210).

Il comprend sur chaque fil du secteur un bobinage à spires jointives, de 6 à 10 cm de long, en fil de 6 à 8 dixièmes, sur un mandrin de 2 à 3 cm de diamètre.

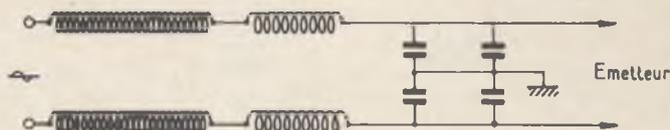


FIG. 210

Ces bobinages bloquent la HF. Il faut ajouter en série une dizaine de spires espacées pour bloquer la VHF.

Ces deux modèles de bobinages sont indispensables : il arrive que des fréquences élevées existent dans un émetteur en décamétriques, et en VHF, on part quelquefois de fréquences assez basses comme le 8 ou le 24 MHz.

Les bobinages à spires jointives bloqueront la HF mais pourrait laisser passer la VHF par leur capacité répartie. De son côté, les bobinages VHF seraient insuffisants pour bloquer la HF.

Côté émetteur, on place 2 condensateurs de 0,1 microfarad, tension de service 1 500 volts en série, avec le milieu à la masse. On les double avec des condensateurs au mica ou céramique de faible valeur, 100 picos suffisent.

Fonctionnement : les HF et VHF sont arrêtées par les bobinages, chacun à sa façon ; les fréquences, ne passant pas, sont facilement dérivées à la masse et ne vont pas sur le secteur.

Les condensateurs (mica ou céramique) sont nécessaires car les 0,1 de découplage habituels au papier sont selfiques pour des fréquences élevées, qui passeront alors très bien dans les « micas » ou céramiques.

On peut placer le tout dans un coffret métallique. Pour que les bobinages conservent leur rôle de blocage, ils doivent être éloignés des parois du coffret à une distance d'au moins leur diamètre.

N.B. Le secteur étant relié à la masse à travers les condensateurs, prendre les précautions d'isolement et de sécurité nécessaires.

Auto-oscillations

Elles pourraient créer de nombreuses fréquences parasites.

Pour vérifier leur absence, on enlève le quartz ou l'oscillatrice du VFO : il ne doit subsister aucune trace de HF dans le PA. On utilise un grid dip ou un mesureur de champ sensible pour s'en assurer.

Attention : si le PA est polarisé par résistance de grille, faire cet essai rapidement, le courant anodique pouvant prendre une valeur dangereuse pour le tube.

LE CODE DES COULEURS DES RESISTANCES

Les valeurs des résistances usuelles sont rarement marquées directement. On les exprime plutôt par des couleurs. Dans le modèle de la figure 211 on considère les couleurs du corps de la résistance, d'une extrémité et d'une tache ronde dans le milieu. L'absence de tache indiquerait que sa couleur est celle du corps.



FIG. 211



FIG. 212

Dans le type figure 212, on considère les couleurs d'un premier anneau d'un deuxième et d'un troisième. Le code est le suivant :

| Couleur du corps ou du 1 ^{er} anneau | Valeur numérique | Couleur de l'extrémité ou du 2 ^e anneau | Couleur de la tache ou du 3 ^e anneau nombre de zéros à ajouter |
|--|---------------------|---|---|
| noir | 0 | 0 | |
| marron | 1 | 1 | 0 |
| rouge | 2 | 2 | 00 |
| orange | 3 | 3 | 000 |
| jaune | 4 | 4 | 0000 |
| vert | 5 | 5 | 00000 |
| bleu | 6 | 6 | 000000 |
| violet | 7 | 7 | |
| gris | 8 | 8 | |
| blanc | 9 | 9 | |

Exemples : (fig. 211).

Le corps est orange = 3.

L'extrémité est marron = 1.

La tache est rouge = 00.

La résistance est 3 100 ohms.

(Fig. 212).

Le 1^{er} anneau est marron = 1.

Le 2^e anneau est vert = 5.

Le 3^e anneau est jaune = 0000.

La résistance est 150 000 ohms.

Parfois un quatrième anneau existe : il représente la tolérance de précision.

— un anneau doré indique une précision de $\pm 5\%$.

— un anneau argenté indique une précision de $\pm 10\%$.

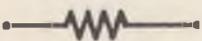
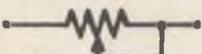
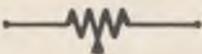
— l'absence de ce quatrième anneau indique une précision de $\pm 20\%$.

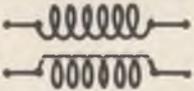
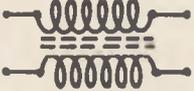
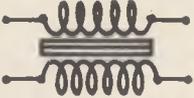
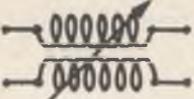
La puissance que peut dissiper une résistance est fonction de ses dimen-

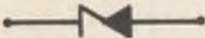
sions. Les valeurs les plus courantes sont $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, 2 watts.

Pour de plus fortes puissances, on utilise plutôt des « résistances bobinées » composées d'un fil résistant émaillé enroulé sur un mandrin isolant supportant la température résultant de l'échauffement du fil. Il y en a pouvant dissiper jusqu'à 200 watts.

SYMBOLES UTILISÉS DANS LES SCHÉMAS

| | |
|---|--------------------------------|
|  | RÉSISTANCE |
|  | RÉSISTANCE VARIABLE - RHEOSTAT |
|  | POTENTIOMÈTRE |
|  | CONDENSATEUR FIXE |
|  | CONDENSATEUR VARIABLE |
|  | CONDENSATEUR AJUSTABLE |
|  | CONDENSATEUR ELECTROCHIMIQUE |

| | |
|---|--------------------------|
|  | SELF |
|  | SELF DE CHOC |
|  | SELF A FER |
|  | SELF A FER DIVISÉ |
|  | TRANSFORMATEUR A AIR |
|  | À NOYAU DE FERRITE |
|  | BF ou D'ALIMENTATION |
|  | SELF A COUPLAGE VARIABLE |

| | |
|---|-------------------------|
|  | DIODE A SEMI CONDUCTEUR |
|  | DIODE ZENER |
|  | QUARTZ |
|  | TRANSISTOR PNP |
|  | TRANSISTOR NPN |
|  | MICROPHONE |
|  | HAUT PARLEUR |
|  | ANTENNE MASSE |

ω = Pulsation ($2\pi F$)

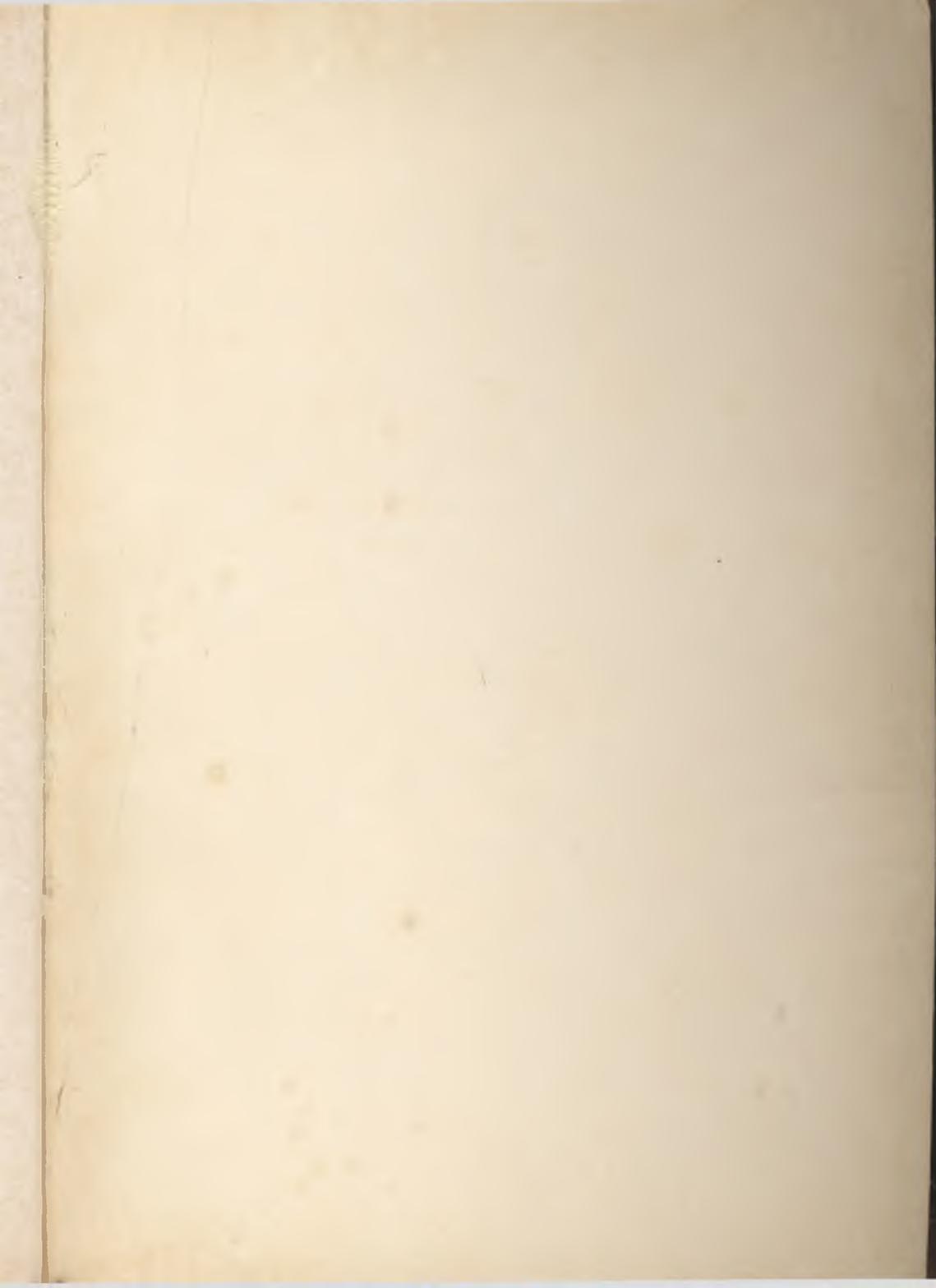
λ = Longueur d'onde

Ω = Ohm

ACHEVE D'IMPRIMER
SUR LES PRESSES DE LA
SOCIETE PARISIENNE
D'IMPRIMERIE

70, rue Comans, 75019 PARIS
4^e TRIMESTRE 1976

— DEPOT LEGAL —
— N° IMPRIMEUR : 110 —
— N° EDITEUR : 163 —



ESF