



# TRANSISTORS

Cours de radio par correspondance

CIRCUITS A TRANSISTORS

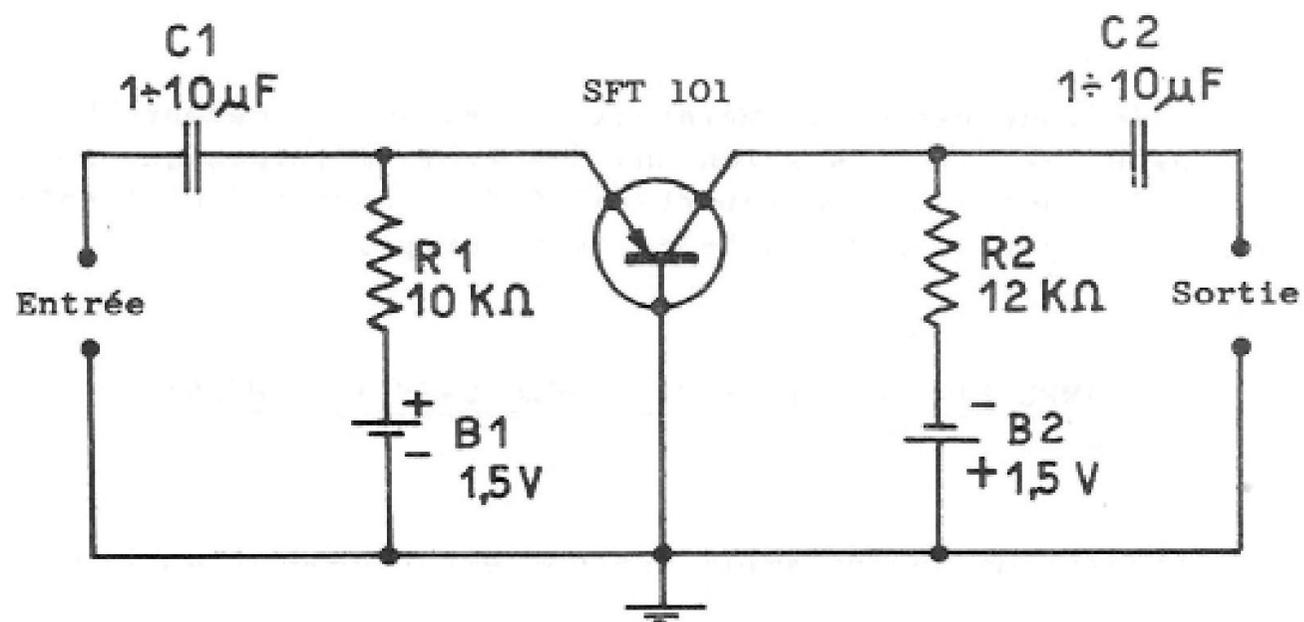
Je vous parlerai, maintenant, des amplificateurs B.F. à transistors utilisés dans les circuits selon une des trois méthodes que nous avons vues dans la leçon précédente ; je me reporterai à des schémas d'utilisation pratique, déjà réalisés, et non plus à des schémas de principe.

AMPLIFICATEUR POUR B.F. AVEC BASE A LA MASSE

Le schéma de cet amplificateur est reproduit en Fig. 1.-

Le transistor utilisé est un PNP type SFT 101 construit par la Compagnie Générale de T.S.F. D'après le sens de la flèche de l'émetteur, vous voyez qu'il s'agit d'un transistor PNP.

Si l'on employait, un transistor type NPN, le sens de polarisation des deux batteries serait inversé.



- Fig. 1 -

"B 1" est la batterie qui polarise l'émetteur par rapport à la base, et "B 2" la batterie qui polarise le collecteur par rapport à la base.

"R 1" et "R 2" sont les résistances qui correspondent aux résistances de grille et de plaque dans l'amplificateur à tube.

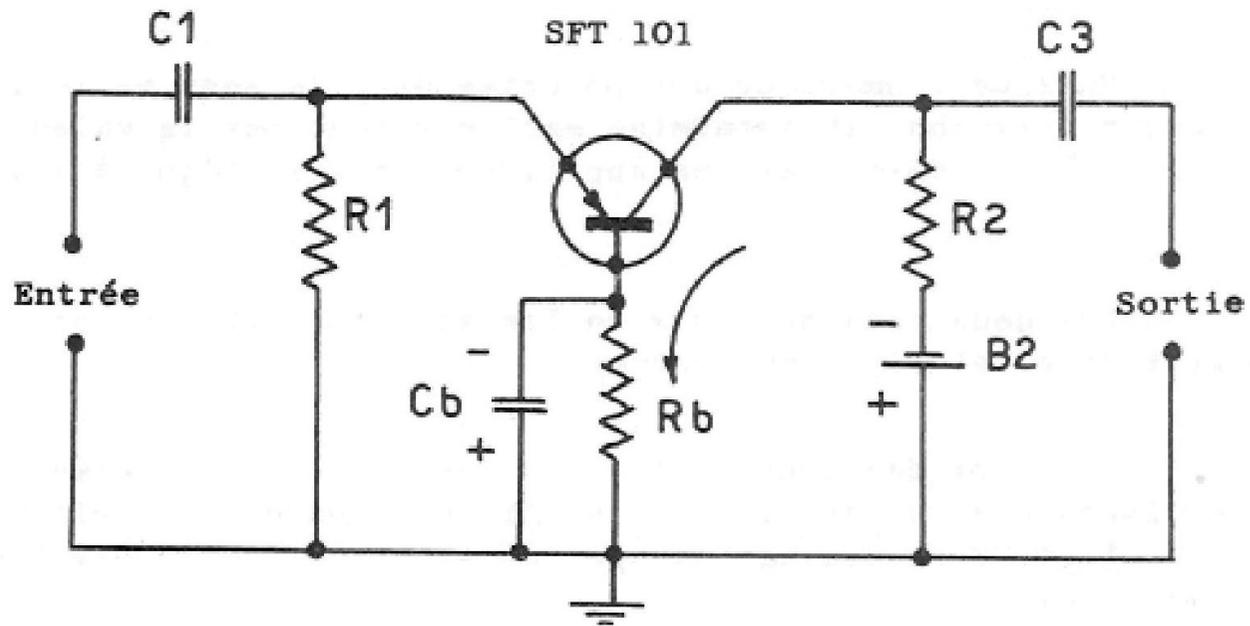
Puisque l'émetteur est polarisé dans le sens de la basse résistance, le courant d'émission est déterminé exclusivement par la valeur de "R 1" et par la tension de "B 1": Il sera égal, en appliquant la loi d'Ohm, à  $1,5 \text{ V} / 10 \text{ K } \Omega = 0,15 \text{ mA}$ .

Les deux condensateurs de liaison "C1" et "C2" ont une valeur de 1 à 10  $\mu\text{F}$ , c'est-à-dire relativement élevée.

L'emploi des condensateurs d'une valeur aussi élevée est dû au fait que les impédances d'entrée et de sortie sont basses (en effet, la réaction présentée par "C1" et "C2" au passage du courant alternatif doit être très petite par rapport à ses impédances.)

Cependant, comme les tensions mises en jeu sont d'une valeur très réduite, on emploie des condensateurs électro-chimiques de petites dimensions et donc proportionnés aux dimensions des transistors.

Cet amplificateur a besoin de deux batteries, ce qui est un



- Fig. 2 -

désavantage : on remédie à cet inconvénient en insérant une résistance dans le circuit de base comme le montre la Fig. 2-.

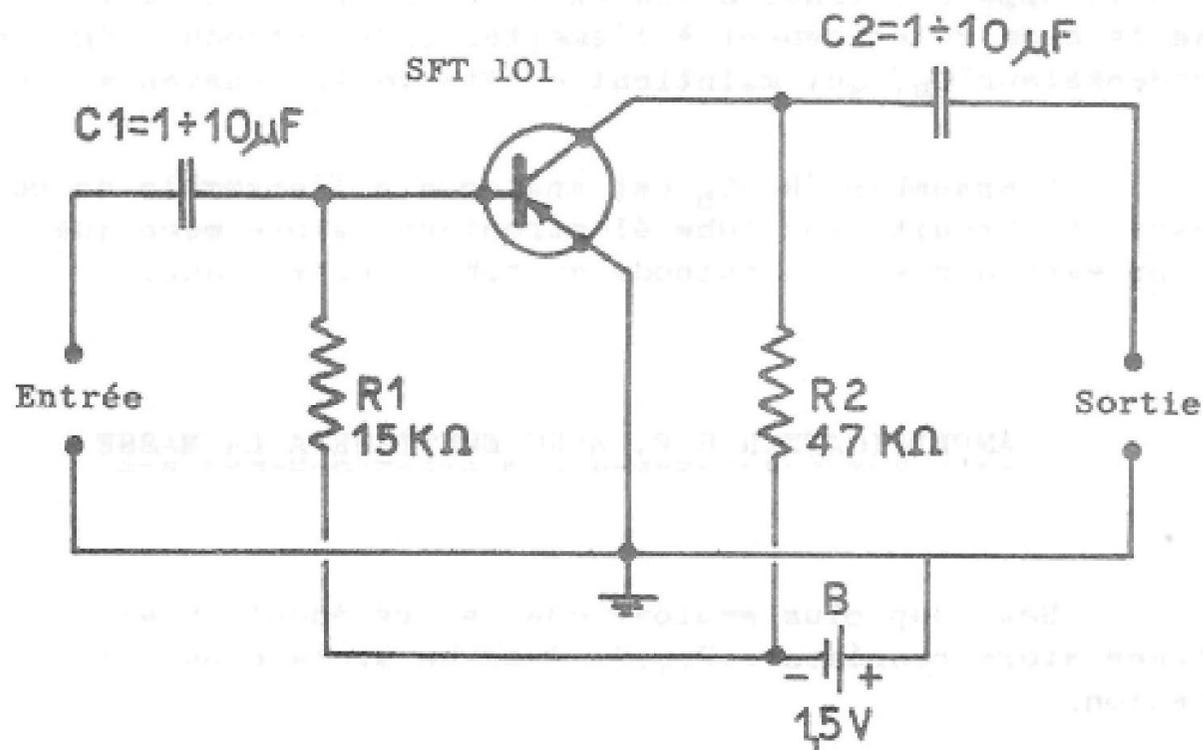
Le courant du collecteur en circulant dans le sens indiqué par la flèche, développe une tension aux extrémités de " $R_b$ " qui a la polarité indiquée et polarise la base relativement à l'émetteur. On introduit également dans le circuit un condensateur " $C_b$ ", qui maintient constante la tension aux bornes de " $R_b$ ".

L'ensemble " $R_b-C_b$ " est analogue à l'ensemble de polarisation cathodique dans le circuit avec tube électronique, alors même que la base du transistor ne correspond pas à la cathode du tube électronique.

#### AMPLIFICATEUR B.F. AVEC EMETTEUR A LA MASSE

Beaucoup plus employé que le précédent, c'est le type d'amplificateur à transistors représenté Fig.3- Avec ce système on obtient le maximum d'amplification.

Le branchement des résistances d'entrée et de sortie reste le même que dans les circuits précédents ; notez qu'il suffit d'une seule batterie de polarisation.



- Fig. 3 -

L'amplification de tension de ce circuit est de l'ordre de 40 à 50 fois avec  $B = 1,5 V$ , et de 80 à 100 fois avec  $B = 3 V$ .

On introduit souvent un ensemble RC entre l'émetteur et la masse, qui a pour rôle de stabiliser les courants et les effets dus aux variations de température.

Le circuit le plus employé avec émetteur à la masse est représenté Fig. 4-

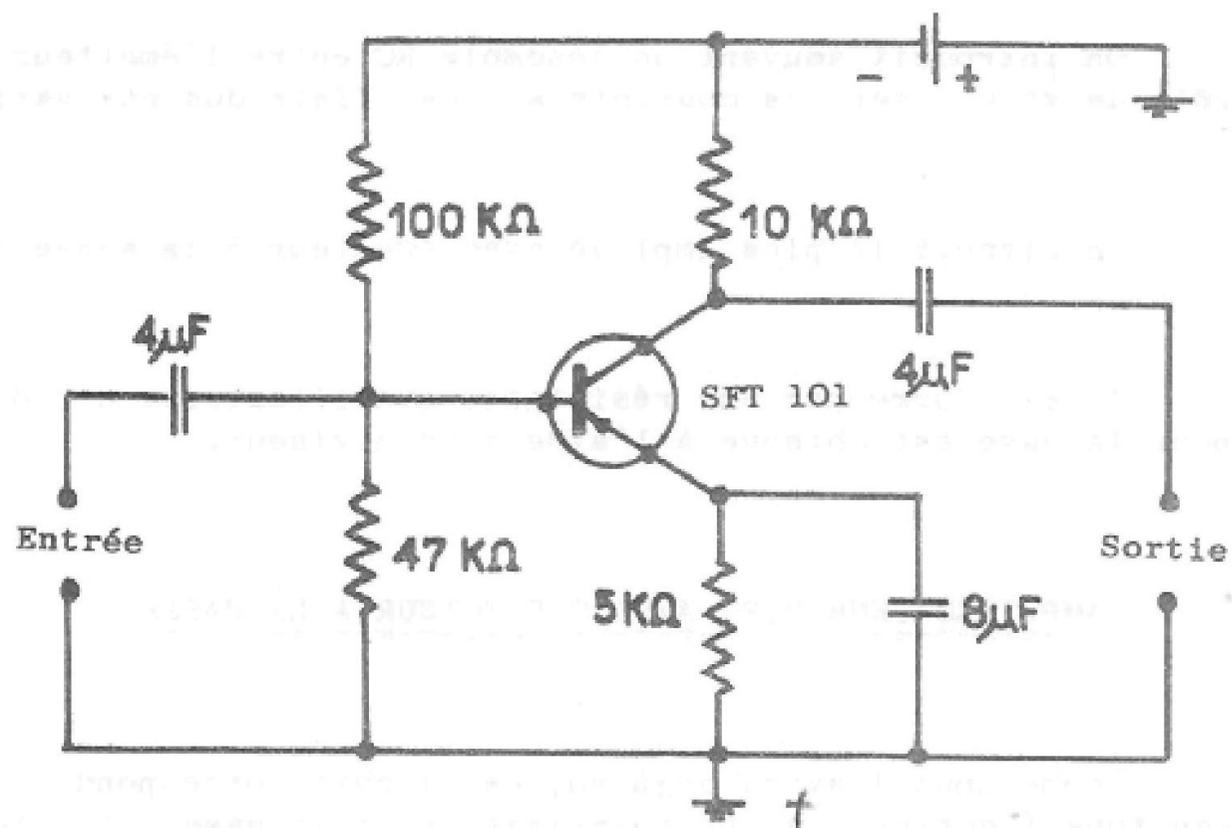
Il est formé par une résistance stabilisatrice et, d'autre part, la tension pour la base est obtenue à l'aide d'un diviseur.

#### =====

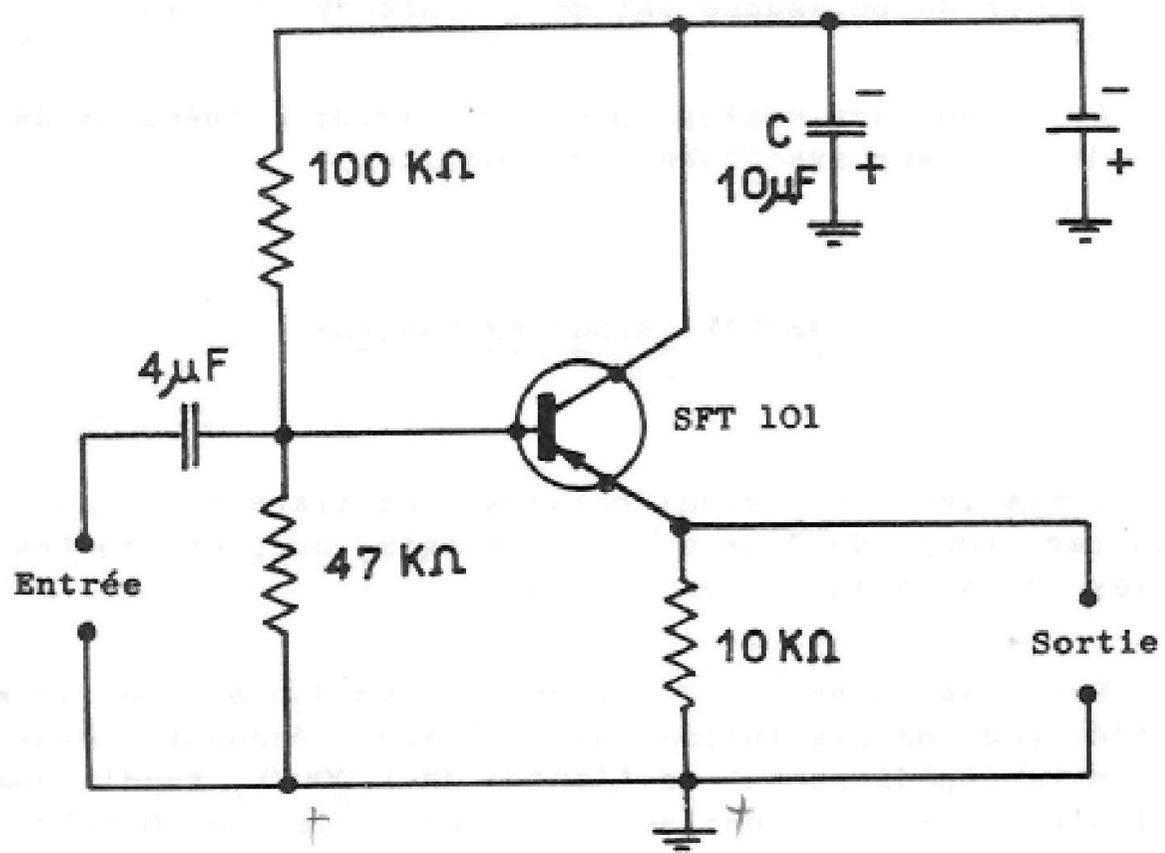
AMPLIFICATEUR B.F. AVEC COLLECTEUR A LA MASSE

#### =====

Comme nous l'avons déjà vu, ce circuit correspond au "cathode follower" avec tube électronique. La polarisation de la base est obtenue, dans ce cas aussi, à l'aide d'un diviseur. Le collecteur est directement relié à une batterie et est à la masse pour les signaux alternatifs, par suite de la présence du condensateur "C" (Fig.5)



- Fig. 4 -



- Fig. 5 -

Ce circuit a une impédance d'entrée très grande et une impédance de sortie de l'ordre de  $100\Omega$ . L'amplification en tension est de l'ordre de 0,3 fois, c'est-à-dire que la tension de sortie est légèrement inférieure à celle d'entrée. L'amplification de puissance est de l'ordre de 15 fois.

Ce schéma est employé pour des circuits spéciaux de la même manière que le cathode follower avec tube électronique.

#### AMPLIFICATEUR EN CASCADE

Comme les tubes électroniques, les transistors sont presque toujours employés par groupe de deux ou trois étages, ou plus, montés en cascade, c'est-à-dire les uns à la suite des autres.

Dans les tubes électroniques, l'impédance d'entrée est généralement assez élevée pour ne pas influencer sur l'étage précédent ; dans les transistors au contraire, cette impédance est de l'ordre de  $1.000\Omega$ , tandis que l'impédance de sortie de l'étage précédent est souvent comprise entre 10 et  $20\text{K}\Omega$ . Un branchement direct entre les deux étages détermine une perte considérable d'amplification par le déséquilibre des impédances. Si nous acceptons cette perte d'amplification, il est nécessaire d'employer plusieurs étages de manière à obtenir l'amplification désirée.

Mais l'on peut aussi se servir d'un transformateur pour effectuer l'adaptation entre la haute impédance de sortie d'un étage et la basse impédance d'entrée de l'étage suivant.

Cette solution est souvent employée et l'on construit à cet effet de tout petits transformateurs.

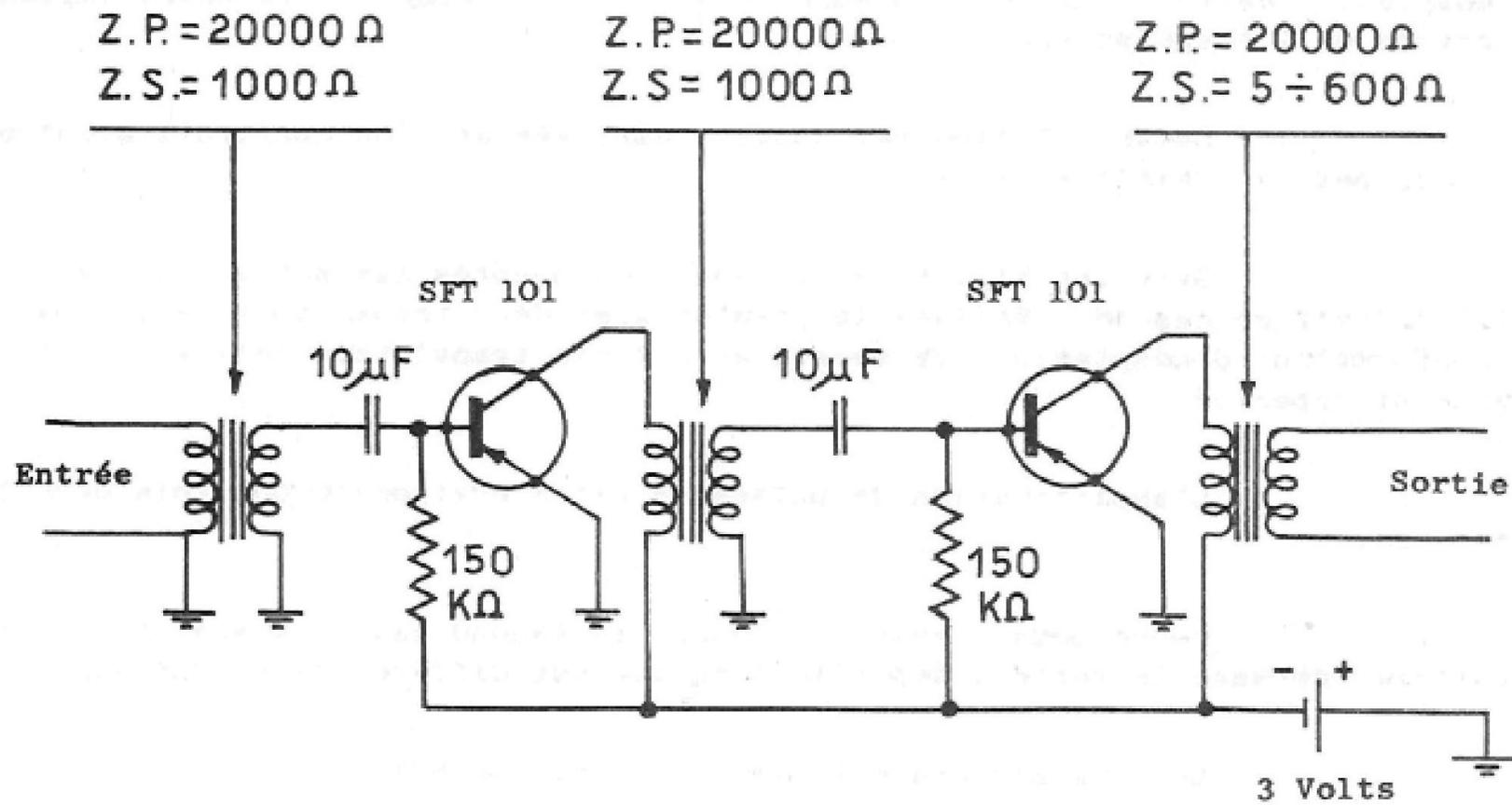
Dans les Fig. 6- et 7- sont représentés les schémas de deux amplificateurs en cascade réalisés, le premier avec deux transistors reliés par transformateur d'adaptation, le second avec trois transistors reliés par résistance et capacité.

L'amplification de puissance est d'environ 30.000 fois dans les deux cas.

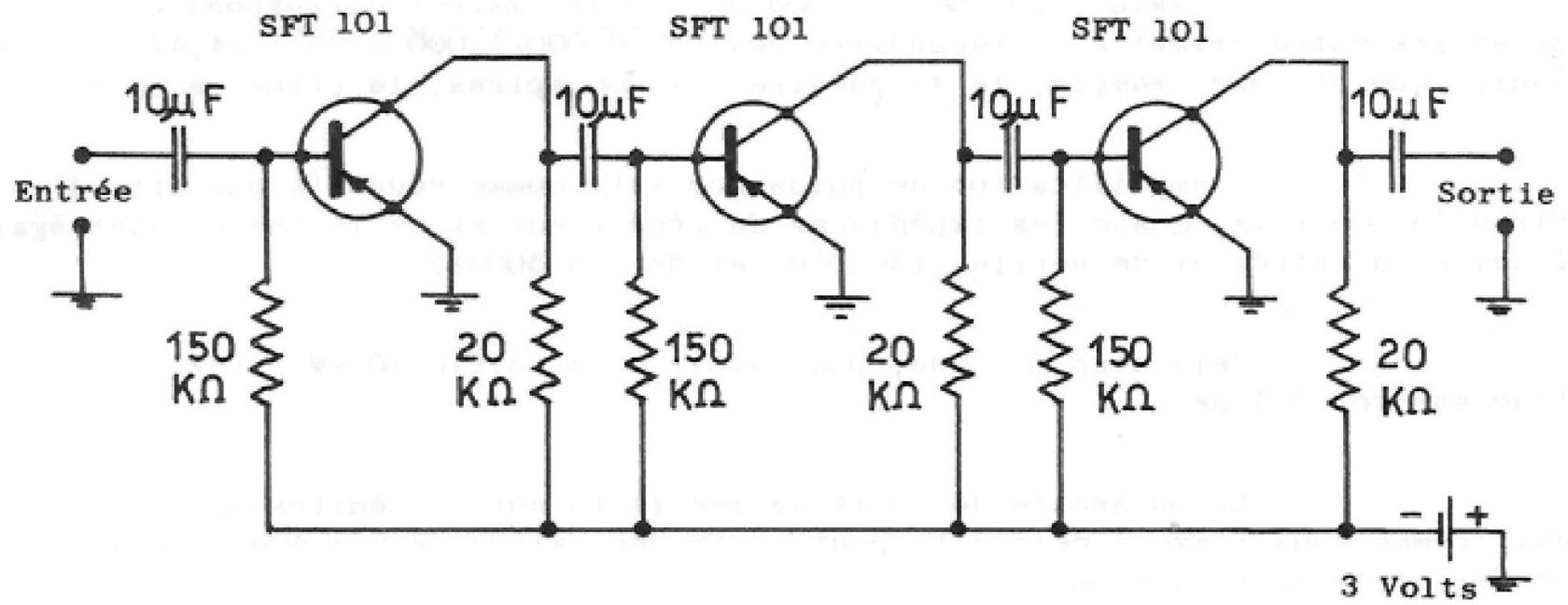
Comme nous l'avons dit, dans le second cas le transistor supplémentaire compense la perte d'amplification due aux différences d'impédance.

Les transistors employés ici sont des SFT 101.

Dans la Fig. 6-, les transformateurs ont un rapport d'impédance primaire-secondaire égal à  $20.000/1.000\Omega$  sur les deux premiers et  $20.000/5$  à  $600\Omega$  pour le dernier.



- Fig. 6 -



- Fig. 7 -

L'impédance secondaire de ce dernier transformateur doit être égale à celle de la charge (casque, haut-parleur, etc...) de manière à avoir ici encore le meilleur rendement dans le transfert de la puissance.

La valeur 20.000 / 1.000 du transformateur correspond à un rapport de spires entre primaire et secondaire égal à  $\sqrt{20.000/1.000} = \sqrt{20/1} = 4,47/1$  (c'est-à-dire que si, par exemple, le secondaire a 1.000 spires, le primaire en aura 4470).

L'amplification de puissance est, comme nous l'avons dit, d'environ 30.000 fois, quand les impédances du générateur et de la charge sont égales à celles d'entrée et de sortie, (20.000 $\Omega$  et de 6 à 500 $\Omega$ )

Cela signifie que, pour avoir à la sortie 10 mW, il faut à l'entrée environ 0,3  $\mu$ W.

La puissance de 10 mW se manifeste aux extrémités de la charge qui, comme nous l'avons déjà dit, peut avoir une valeur de 6 à 500 $\Omega$  suivant la construction du transformateur.

Si nous supposons une charge de 500 $\Omega$ , la tension aux bornes de cette charge sera (d'après la loi d'Ohm) :

$$V = \sqrt{PR} = \sqrt{0,01 \times 500} = 2,24 \text{ V}$$

La tension d'entrée, sur une résistance d'entrée de 20.000 sera :

$$\begin{aligned} V &= \sqrt{P_R} = \sqrt{0,0000003 \times 20.000} = \sqrt{3 \times 10^{-7} \times 2 \times 10^4} \\ &= \sqrt{3 \times 2 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} = \sqrt{60 \cdot 10^{-4}} = 0,0775 \text{ V.} \end{aligned}$$

L'amplification de tension sera donnée par le rapport :

$$\frac{2,24}{0,0775} = 28,9 \text{ fois}$$

Le circuit de la Fig. 7- ne présente aucune particularité. Il s'agit de trois étages amplificateurs à transistors reliés avec émetteur à la masse de la façon la plus simple, c'est-à-dire sans aucun artifice pour obtenir une certaine stabilisation, comme on l'a vu précédemment.

#### AMPLIFICATEURS MINIATURES.

Une des applications les plus importantes des transistors, est leur emploi dans la réalisation de petits amplificateurs B.F. utilisés par exemple en prothèse auditive.

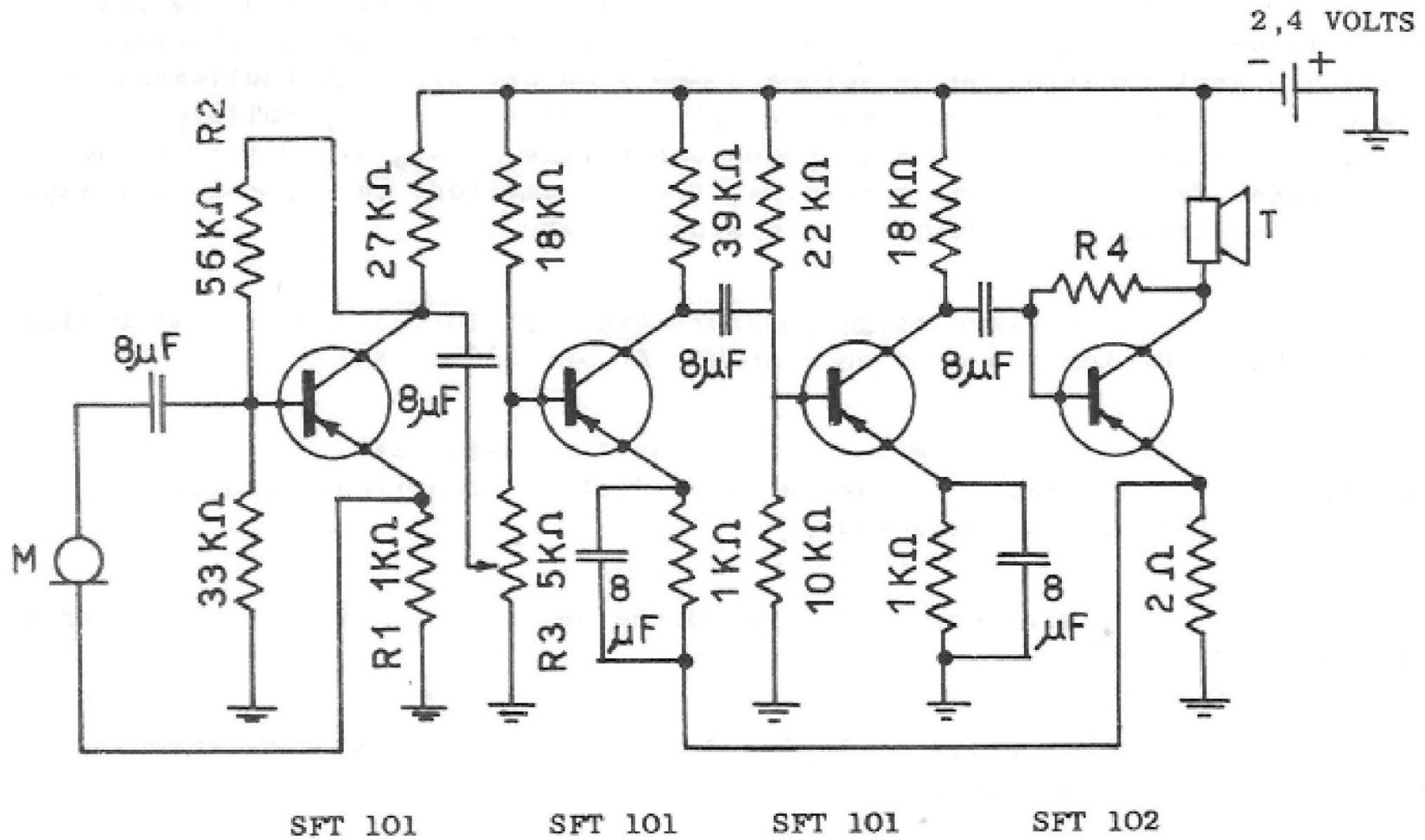
Ces appareils comprennent en général un micro (de prix élevé), un amplificateur avec sa pile d'alimentation et un traducteur miniature.

Les transistors ont permis la réalisation d'appareils aux dimensions vraiment réduites ; très inférieures aux appareils similaires à lampes, même ceux du type subminiature ; en outre, la durée des piles est augmentée, car les transistors n'ont pas besoin de batterie de chauffage et leur rendement est beaucoup plus élevé que celui des tubes.

La Fig. 8-représente le schéma d'un amplificateur moderne, réalisé à l'aide de 4 transistors C.S.F. Les trois premiers sont des SFT 101 et le quatrième est un SFT 102.

Il fonctionne à l'aide d'une batterie de 2,4 V. avec une consommation de 3,5 mA, et fournit une puissance de sortie de 2 mW.

"M"représente le micro qui est branché entre la base et l'émetteur du premier transistor SFT 101. Celui-ci est accompagné d'une résistance stabilisatrice "R1" sur l'émetteur, et d'un diviseur de tension pour polariser la base. L'absence de condensateur en parallèle avec "R1" et le fait que "R2" ne soit pas directement relié au moins, mais au collecteur, provoquent un certain effet de contre-réaction, qui, bien qu'il réduise l'amplification de l'étage, améliore la réponse aux fréquences extrêmes de la bande acoustique, et stabilise également les effets dus aux variations de température.



- Fig. 8 -

Le second étage utilise un diviseur de tension pour la polarisation de la base. La résistance "R3" est un potentiomètre qui permet d'obtenir la variation d'amplification ou de volume, comme l'on dit plus habituellement. La résistance sur l'émetteur est accompagnée d'un condensateur en parallèle, mais au lieu de la souder à la masse, elle prend une partie du signal de sortie, de manière à créer dans ce cas, une contre réaction qui améliore la réponse de l'amplificateur, la stabilité thermique, la distorsion etc...

Le troisième étage toujours avec SFT 101 est doté de stabilisation à diviseur de tension et d'un ensemble RC sur l'émetteur.

Le quatrième étage utilise un transistor SFT 102 ; la résistance de charge est fournie par l'impédance du traducteur acoustique intercalé directement sur le circuit du collecteur.

La résistance "R4" est raccordée de telle manière qu'on obtienne aussi une contre réaction.

Les batteries employées dans ces circuits ont des dimensions très petites, de l'ordre de quelques cm<sup>3</sup>.

Malgré cela, leur durée peut être de plusieurs mois, puisque la consommation de courant est de quelques mA.

AMPLIFICATEURS DE PUISSANCE

La Fig. 9- montre un amplificateur qui sert à exciter un haut-parleur ; le transistor a le même rôle que le tube électronique final d'appareil radio.

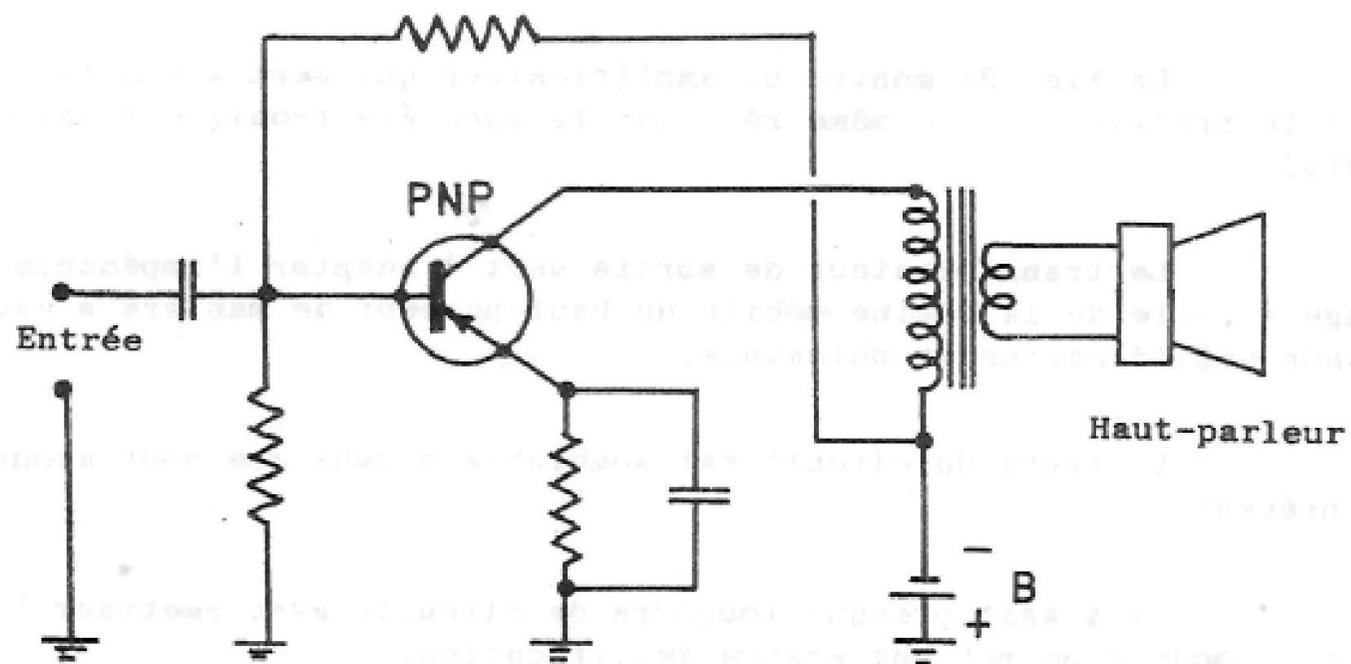
Le transformateur de sortie sert à adapter l'impédance de sortie de l'étage à celle de la bobine mobile du haut-parleur de manière à avoir la plus grande amplification de puissance.

Le reste du circuit est semblable à ceux que nous avons vus jusqu'à présent.

Il s'agit presque toujours de circuits avec émetteur à la masse, parce que ce modèle permet une grande amplification.

Le plus employé dans les amplificateurs de puissance est le circuit à double transistor en OPPOSITION nommé "push-pull".

La Fig. 10 représente un push-pull réalisé à l'aide de deux transistors type SFT 113 de la Compagnie Générale de T.S.F.



- Fig. 9 -

Ils fonctionnent en classe B, c'est-à-dire, que lorsqu'il n'y a pas de signal appliqué, le courant émetteur-collecteur est presque nul ; on y parvient en choisissant la valeur de polarisation de la base. La dissipation de puissance pour l'alimentation est pratiquement nulle en l'absence du signal, et n'augmente qu'en présence d'un signal appliqué à la base.

De même que pour les tubes électroniques, il est nécessaire d'avoir deux étages en opposition pour pouvoir les faire travailler en classe B ; chacun des deux transistors amplifie seulement une alternance du signal total.

Le push-pull est piloté par deux autres transistors SFT 103 couplés à l'aide d'un transformateur.

Avec 2 mW à l'entrée du premier étage, on obtient 10 Watts à la sortie avec une seule batterie de 12 V. Le rendement d'un amplificateur en classe B est de 75 % ; cela signifie que 75 % de la puissance absorbée est transformée en puissance utile dans le haut-parleur. Le rendement est vraiment très élevé et tient au fait qu'en l'absence du signal, la consommation totale du collecteur du push-pull n'est que de 1 mA. Pour le signal maximum, ce courant monte à 1,25 A, le courant moyen absorbé est d'environ 10 mA, aussi bien sans signal qu'avec signal maximum.

Dans l'amplificateur en classe B de la figure 10, notez aussi que la base et l'émetteur sont reliés pratiquement ensemble ; ce qui permet de réduire le courant du collecteur à la valeur de 1 mA sans signal.



En effet, si vous observez la courbe de la fig. 10- dans la 5<sup>ème</sup> leçon sur les transistors, vous pouvez remarquer que les valeurs les plus basses de courant collecteur  $I_c$  sont obtenues avec une tension au collecteur de valeur normale, pour une valeur nulle du courant de la base ; pour avoir une valeur nulle du courant de la base, il est nécessaire qu'entre base et émetteur, il n'y ait pas de différence de potentiel.

Disons encore que le push-pull est souvent utilisé en classe A ; pour le réaliser, il suffit que la base soit polarisée de telle manière que, aussi bien en présence qu'en absence de signal, le courant moyen du collecteur ait toujours la même valeur.

Je termine en résumant ce qui a été dit dans cette leçon.

1- Amplificateur B.F. avec base à la masse circuit général et méthode pour employer une seule batterie.

2- Amplificateur basse-fréquence avec émetteur à la masse circuit général. Nécessité d'une seule batterie - systèmes de stabilisation avec ensemble RC sur émetteur et division de tension pour polarisation de la base.

3- Amplificateur B.F. avec collecteur à la masse et sa correspondance avec le cathode follower à tubes électroniques.

4- La meilleure amplification est obtenue avec le circuit à émetteur à la masse.

5- Emploi de condensateurs de liaison de forte capacité pour que leur réactance soit faible devant l'impédance d'entrée et de sortie déjà basse.

6- Amplificateurs en cascade à liaison par résistance, capacité et liaison par transformateur.

7- Amplification maximum avec circuits couplés par transformateur pour respecter les adaptations d'impédance.

8- Relation entre le rapport du nombre des spires d'un transformateur et le rapport des impédances.

9- Relation entre l'amplification de puissance et de tension, connaissant l'amplification de puissance, l'impédance d'entrée et l'impédance de sortie.

10- Description d'un amplificateur à 3 étages réalisé à l'aide de deux transistors CSF type SFT 101 et d'un SFT 102.

11- Amplificateurs de puissance en classe A et en classe B. Amplificateurs en opposition ou push-pull. Rendement élevé dans le cas d'une amplification en classe B.

EXERCICE PRATIQUE

En procédant à cet aperçu théorique général sur les transistors, je désire vous donner la possibilité d'exécuter quelques montages relatifs aux diodes au germanium et aux transistors.

Dans ce premier exercice pratique, vous verrez quelques caractéristiques d'une diode au germanium du type SFD 106 fabriquée par la Compagnie Générale de T.S.F.

Pour étudier ces caractéristiques, montez le circuit représenté Fig. 11- en utilisant l'alimentation, le lampemètre et le contrôleur universel.

Prélevez la tension 6,3 V sur l'alimentation, réglez-la à l'aide du potentiomètre du lampemètre et appliquez-la au circuit de mesure.

Pour utiliser le potentiomètre du lampemètre, vous devez enlever les vis, soulever le panneau et souder les connexions, sans démonter celles qui existent déjà, comme indiqué à la Fig. 12-

En premier lieu, procédez au réglage du potentiomètre.

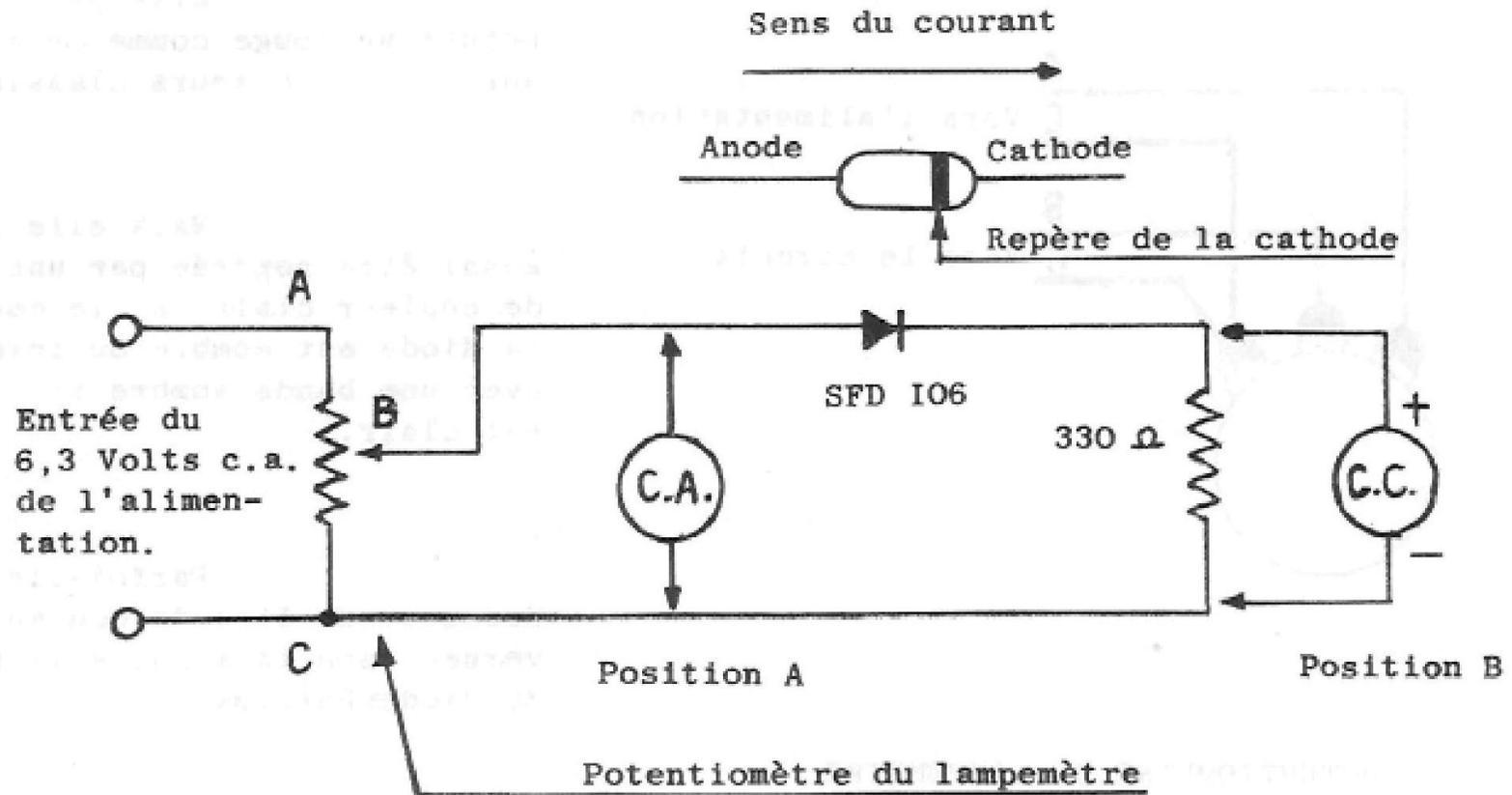
Appliquez la tension 6,3 V. obtenue de l'alimentation, intercalez le contrôleur universel réglé à 10 V.c.a entre les points B et C ( position A fig 11) et, en manoeuvrant le bouton flèche, procédez à la mise au point de la tension en vous référant au cadran du lampemètre.

Vous pouvez dresser le tableau de la Fig. 13- d'après lequel vous déterminerez la tension c.a à la sortie du potentiomètre.

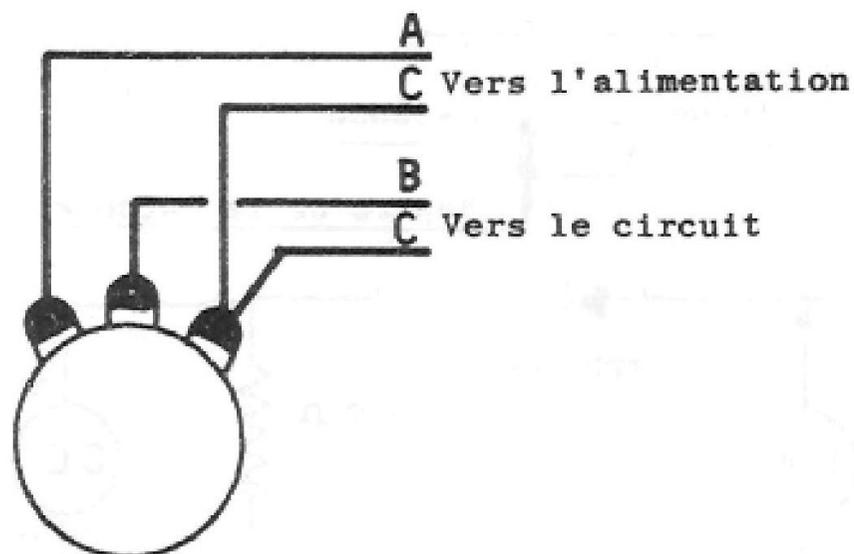
Débranchez maintenant le voltmètre et connectez-le sur les bornes 10 V c.c. en parallèle à la résistance de charge de  $330\Omega$  (position B, fig 11).

Avant d'appliquer la tension au circuit, il faut vous assurer d'avoir correctement raccordé la diode au germanium à l'extrémité correspondant à la cathode, qui, dans notre circuit, doit être connectée à une extrémité de la résistance de  $330\Omega$ .

La diode SFD 106 porte sur son corps le dessin du branchement de celle-ci.



- Fig. 11 -



POTENTIOMETRE DU LAMPOMETRE

VU DU DESSOUS.

- Fig. 12 -

Elle peut être peinte en rouge comme cela se fait sur les redresseurs classiques.

Mais elle peut aussi être repérée par une bande de couleur claire si le corps de la diode est sombre, ou inversement avec une bande sombre si le corps est clair.

Parfois, les bandes peuvent être de couleurs diverses, spécialement s'il s'agit de diodes Philips.

Dans ce cas, le numéro composé avec les chiffres correspondant aux deux couleurs selon le code habituel représentent la référence même de la diode.

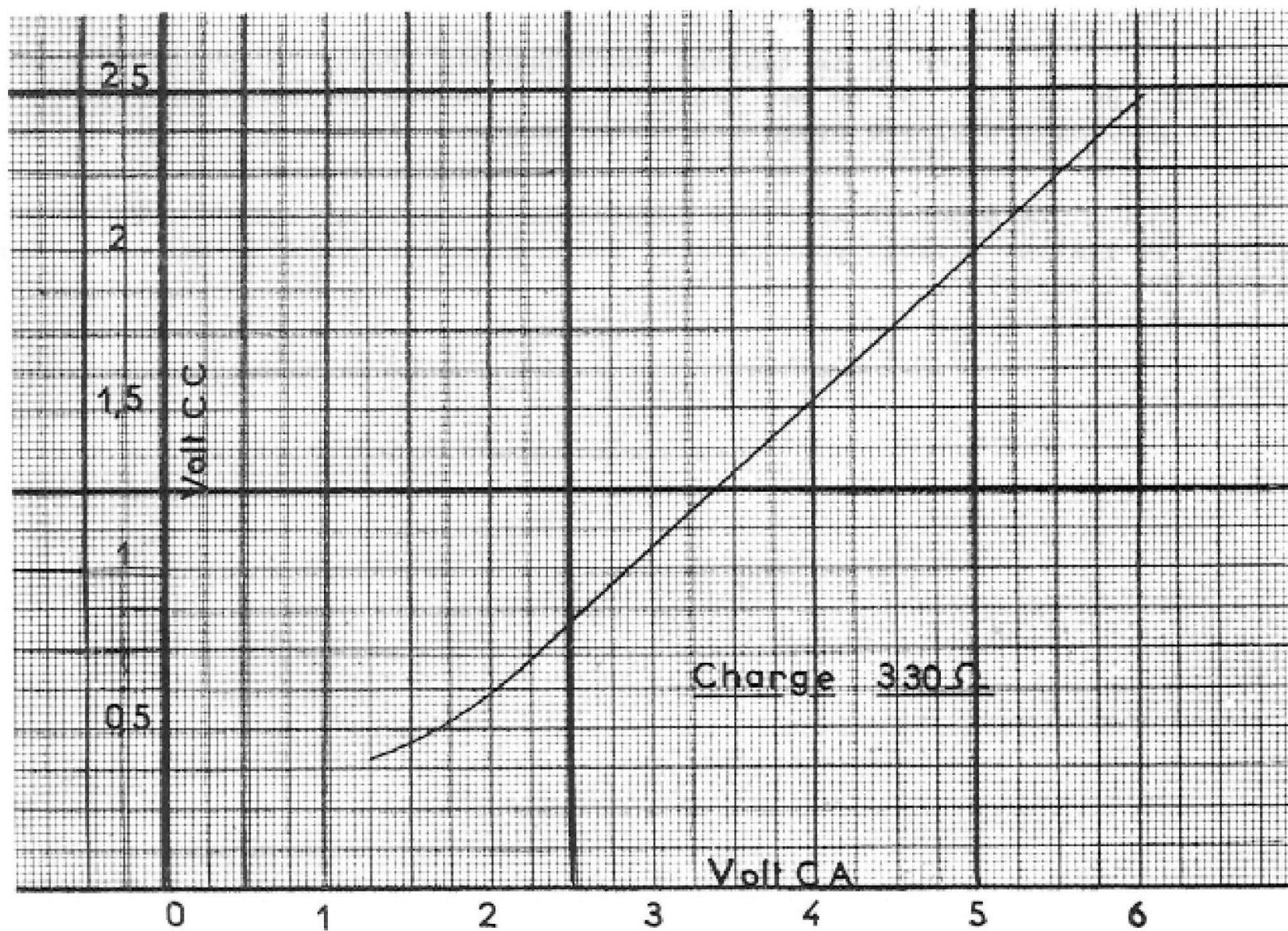
Volt. CA	Position du bouton
0,5	90
1	88
1,5	80
2	73
2,5	62
3	54
3,5	45
4	38
4,5	28
5	20
5,5	12
6	3

- Fig. 13 -

En faisant varier la tension alternative à l'entrée de la diode au germanium, vous obtiendrez la tension de sortie sur la charge et vous pourrez ainsi compléter le tableau (Fig. 14) :

Volt CA	Position du bouton	Volt CC
1,5	80	0,40
2	73	0,60
2,5	62	0,72
3	54	1,05
3,5	45	1,30
4	38	1,50
4,5	28	1,75
5	20	1,98
5,5	12	2,20
6	3	2,45

- Fig. 14 -



- Fig. 15 -

A l'aide de ce tableau, vous pourrez tracer un graphique semblable à celui de la Fig. 15, où est représentée la courbe de fonctionnement de la diode au germanium utilisée comme redresseur pour un circuit de charge de  $330 \Omega$ .

Le prochain exercice consistera à compléter ces mesures et à déterminer un système valable pour relever successivement les diverses caractéristiques d'un transistor.

-----

REPONSES AUX EXERCICES DE REVISION SUR LA 5 ème LECON TRANSISTORS.

1- L'amplification de tension est le rapport entre la tension de sortie et la tension d'entrée.

L'amplification de courant est le rapport entre le courant de sortie et le courant d'entrée.

L'amplification de puissance est le rapport entre la puissance de sortie et la puissance d'entrée.

L'amplification de puissance est égale au produit de l'amplification de tension par l'amplification de courant.

2- La résistance d'entrée est le rapport entre la tension d'entrée et le courant d'entrée.

La résistance de sortie est le rapport entre la tension de sortie et le courant de sortie.

3- La résistance d'entrée est le rapport d'entrée du transistor, environ égal à :

100-300  $\Omega$  avec base à la masse.  
 700-1000  $\Omega$  avec émetteur à la masse.  
 300- 600 K $\Omega$  avec collecteur à la masse.

- La résistance de sortie du transistor est environ égale à :

500 K $\Omega$  avec base à la masse.  
 50 K $\Omega$  avec émetteur à la masse.  
 100  $\Omega$  avec collecteur à la masse.

4- On l'obtient (voir schéma de la Fig. 5-) en faisant varier la tension de la batterie "B2", en relevant les valeurs correspondantes du courant du collecteur et en les reportant sur un graphique. Ceci se fait pour plusieurs valeurs du courant de base, obtenues en faisant varier convenablement la tension de la batterie "B1".

5- Le facteur d'amplification d'un émetteur,  $\alpha$ , se mesure en faisant varier légèrement le courant du collecteur (voir le schéma de la Fig. 5), en faisant varier "B2" et en relevant la variation de courant d'émetteur correspondante :

$$\alpha = \frac{\text{variation de } I_c}{\text{variation de } I_e}$$

- Le facteur d'amplification de base, " $\beta$ ", s'obtient en faisant varier légèrement le courant du collecteur (voir schéma Fig.5-), en faisant varier "B2" et en relevant le courant de base correspondant :

$$\beta = \frac{\text{Variation de } I_c}{\text{Variation de } I_b}$$

En outre les deux facteurs sont liés entre eux par les relations mathématiques :

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad \text{et} \quad \alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$$

-----

EXERCICE DE REVISION SUR LA 6 ème LECON TRANSISTORS.

- 1- Un transformateur de liaison doit être utilisé pour coupler la sortie d'un étage à transistor ayant une impédance de  $20.000\Omega$  avec l'entrée de l'étage suivant de  $1.200\Omega$ . Quel sera le rapport spires primaires/spires secondaires du transformateur?
  
- 2- Un amplificateur à transistors a une valeur d'impédance d'entrée égale à  $50.000\Omega$ . L'impédance de sortie est de  $500\Omega$ . Le gain (ou amplification) de puissance est de 40.000 fois. Si le générateur et la charge sont adaptés aux impédances d'entrée et de sortie, en supposant qu'on applique à l'entrée une tension de 1 V, quelle sera la tension aux extrémités de la résistance de charge de  $500\Omega$  ?
  
- 3- Un amplificateur à transistors est formé par deux étages qui ont chacun un gain en puissance de 500 fois. Quel sera le gain total en puissance, dans le cas de couplage par transformateur ?

Et quel sera le gain en tension si l'impédance d'entrée et de sortie ont toutes les deux une valeur de  $500\Omega$  (Il est bien entendu que, dans le cas présent, les transformateurs d'entrée et de sortie sont construits de manière à avoir cette valeur de  $500\Omega$ ) ?

-----



# TRANSISTORS

Cours de radio par correspondance

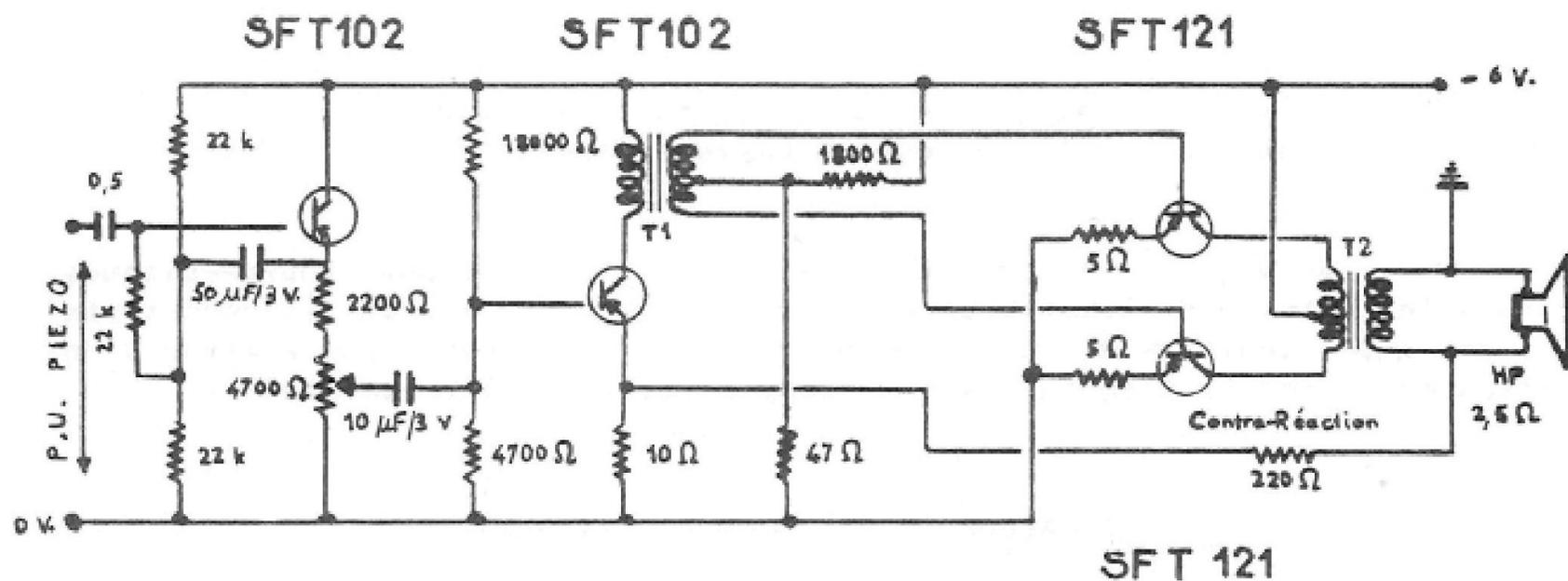
Dans cette leçon nous continuerons l'examen des circuits à transistors utilisés dans les amplificateurs à basse fréquence.

Je vous présenterai un amplificateur complet pour tourne-disques avec tous les détails de construction, puis, je vous expliquerai les caractéristiques des amplificateurs à transistors pour fréquences élevées par analyse d'un amplificateur d'emploi fréquent dans les appareils radio à transistors.

AMPLIFICATEUR "B.F." POUR TOURNE-DISQUES

Cet excellent amplificateur extrêmement facile à réaliser, utilise les 4 transistors suivants (Fig. 1-) :

- 1er étage entrée : 1 transistor C.S.F : "S.F.T 102"



- Fig. 1 -

- 2ème étage driver : 1 transistor C.S.F : "S.F.T 102"
- étage final : 2 transistors C.S.F : "S.F.T 121"

L'entrée est prévue pour un lecteur de disques du type piézo-électrique, un complément est indiqué pour un autre type de lecteur (Fig.2-)

La puissance dans ces conditions est comprise entre 300 et 350 mW avec une très bonne reproduction musicale sur toute la bande des fréquences nécessaires. Ceci permet de résoudre de très nombreux cas d'applications en radioélectricité et applications générales.

- Le haut-parleur utilisé et préconisé est du type à aimant permanent (impédance  $2,5 \Omega$ ).
- L'alimentation s'effectue par quatre piles de 1,5 Volts, soit au total 6 Volts avec le groupement en série.
- Le premier étage est du type collecteur à la masse, afin de présenter une grande impédance d'entrée. Cet étage est en quelque sorte comparable à un montage cathode follower d'une lampe triode; les indications relatives à ce montage avec collecteur à la masse ont été indiquées précédemment (voir Transistors N°6).
- Le second étage constitue ni plus ni moins un étage pilote ou "driver" dont le collecteur est chargé par le primaire du transformateur de liaison; le réglage de la puissance s'effectue comme pour un montage à lampe; un potentiomètre

assure avec un condensateur de liaison l'attaque de la base du transistor. Les polarisations sont classiques et conformes aux indications théoriques signalées.

Enfin l'étage final est un push-pull du type le plus classique fonctionnant en classe "B" (2 transistors "S.F.T. 121"); les deux collecteurs des transistors considérés, sont chargés par le primaire du transformateur de sortie alimenté par un point milieu, allant bien à la source d'alimentation, mais au pôle négatif.

Pour assurer un bon facteur de stabilité, chaque émetteur est polarisé séparément par une résistance de  $5\Omega$ . Ce point particulier étant indiqué à nouveau à titre de remarque, on constate combien l'ensemble du montage est en parfaite correspondance avec un amplificateur analogue utilisant des tubes électroniques.

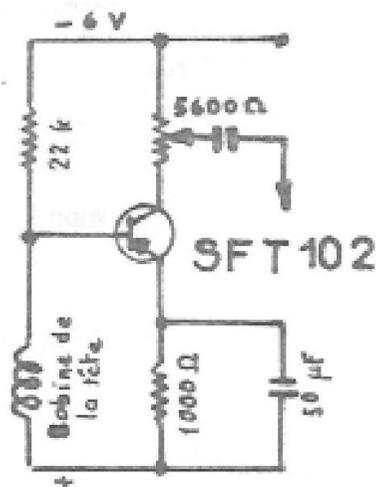
En outre, comme pour un montage classique, une contre-réaction relie une borne de la bobine mobile du haut-parleur à l'émetteur du transistor de l'étage driver, tout comme cette liaison serait effectuée à la cathode d'une lampe. Celle-ci est utilisée pour réduire la distorsion linéaire et non linéaire.

Les deux transistors doivent être à leur "point de fonctionnement", c'est-à-dire dans les conditions optima de courant. Les déplacements du point de fonctionnement, dus à des variations de température, modifient les caractéristiques d'amplification : pour éviter cet ennui, on introduit dans le circuit une résistance "R" à coefficient de température négatif appelée THERMISTANCE.

La VALEUR EN OHMS de la thermistance DIMINUE au fur et à mesure que la TEMPERATURE AUGMENTE.

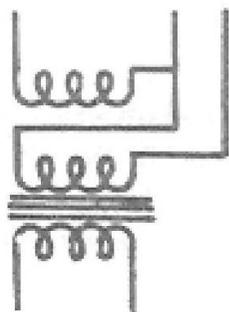
La DISTORSION LINEAIRE EST L'AMPLIFICATION INEGALE DE TOUTES LES FREQUENCES, c'est-à-dire le fait, par exemple que l'amplification du montage vers les fréquences de 10.000 Hz environ diminue nettement.

On a une distorsion non linéaire ou harmonique, lorsqu'en injectant dans l'amplificateur un signal qui a la forme d'une onde sinusoïdale, on obtient à la sortie, un signal amplifié déformé c'est-à-dire qui n'est plus sinusoïdal.



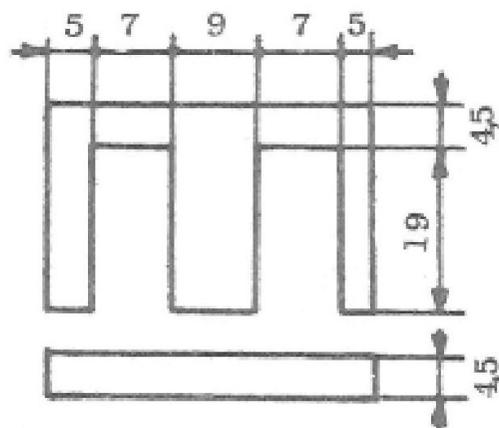
- Fig. 2 -

Un signal déformé est constitué par un signal à une certaine fréquence fondamentale sinusoïdale auquel viennent s'ajouter plusieurs harmoniques (c'est-à-dire fréquences doubles, triples etc... de la fréquence fondamentale).



CARACTERISTIQUES DU TRANSFORMATEUR

T<sub>1</sub> DRIVER



Primaire 1.000 tours fil émail 16/100

Secondaire 2 x 320 tours fil émail 16/100

Tôles Silicium ordinaire 28 x 32 section  
des tôles 1,1 cm<sup>2</sup>.

- Fig. 3 -

Le rapport entre l'amplitude des signaux à fréquence double, triple etc... et l'amplitude du signal à fréquence fondamentale, représente la distorsion non linéaire (ou harmonique).

UNE DISTORSION HARMONIQUE de 5% à 1.000 Hz, signifie que, si nous avons un signal complexe à la sortie d'une fréquence fondamentale de 1.000 Hz avec une certaine amplitude, et que si nous le filtrons par des filtres électriques appropriés, de façon à séparer les composantes 2.000 Hz, 3.000 Hz, etc..., l'amplitude complexe du signal qui constitue ces harmoniques est de l'ordre de 5% de l'amplitude totale.

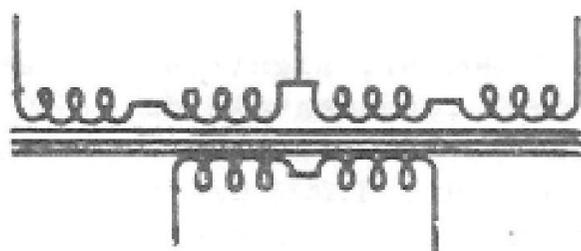
REMARQUE pour l'emploi d'un lecteur différent.

Pour utiliser un lecteur de disques du type à réluctance variable à la place d'un modèle de type piézo-électrique, la forte impédance d'entrée précédente n'est plus nécessaire, et le premier étage est monté en émetteur à la masse pour avoir le maximum de gain en utilisant le même transistor.

Le schéma de la Fig. 2- indique les valeurs nécessaires pour obtenir avec ce transistor un gain maximum.

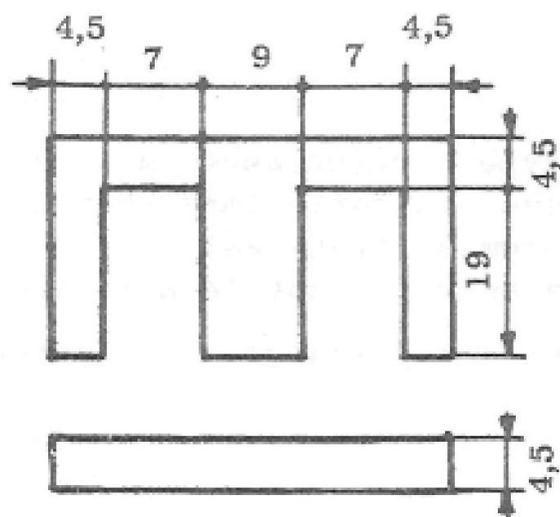
#### AMPLIFICATEURS "H.F"

Jusqu'à maintenant, nous avons traité le problème de l'amplification avec des transistors employés sur des circuits de basse fréquence, c'est-à-dire utilisant des courants alternatifs ayant des fréquences allant de quelques dizaines de "Hz" à près de 20.000 Hz.



CARACTERISTIQUES DU TRANSFORMATEUR

DE SORTIE T<sub>2</sub>



Primaire 2 x 200 tours fil émail 25/100

Secondaire 70 tours fil émail 45/100

Tôles Silicium ordinaire 28 x 32 section  
des tôles 1,1 cm<sup>2</sup>.

- Fig. 4 -

Lorsque les transistors sont employés pour des circuits "H.F.", leurs possibilités d'amplifier ces signaux diminuent considérablement par suite de plusieurs phénomènes qui contribuent à altérer le fonctionnement correct.

Le premier problème est celui de la capacité parasite entre les électrodes, qui constitue un chemin de fuite du signal "H.F." quand la fréquence de celui-ci augmente.

On dit alors qu'un transistor a sa fréquence de coupure à 2 MHz, s'il ne peut travailler que sur des fréquences inférieures à cette valeur.

De toute façon, il convient de limiter la fréquence la plus élevée à une valeur inférieure à celle de coupure; par exemple, dans le cas cité plus haut, la plus haute fréquence de travail, peut être de 1,5 MHz.

Un autre grave problème est dû au fait que les électrons libres, ou encore les trous qui constituent le flux du courant à l'intérieur du transistor, mettent un certain temps pour se déplacer de l'émetteur au collecteur.

Si le temps de transit est trop grand par rapport à la période du courant "H.F.", quand arrive une nouvelle portion du signal, la fin du précédent signal en opposition de phase est encore présente.

En se superposant à celle-ci, elle l'annule et l'on a alors une

réduction du signal de sortie, c'est-à-dire d'amplification.

On dit normalement que cette réduction d'amplification est due au fait que le temps de transit des électrons ou trous, dure une fraction considérable de la période.

Je vous rappelle que la période est le temps mis par un courant alternatif pour réaliser le cycle complet de deux alternances successives, c'est-à-dire l'alternance positive et négative.

Dans le cas d'amplification de hautes fréquences à l'aide de tubes électroniques, les impédances d'entrée et de sortie du tube étant assez élevées, le couplage d'étage à étage se fait d'une façon très simple à l'aide de circuits oscillants qui ne sont pas "chargés" (précisément parce que les impédances sont élevées) et il est facile d'avoir une amplification considérable.

Dans les amplificateurs à transistors, au contraire, les impédances d'entrée et de sortie sont relativement faibles et, de plus, différentes entre elles, ce qui complique les possibilités de couplage avec des circuits oscillants.

On a alors recours à des circuits résonnants avec rapport "L/C" très bas (c'est-à-dire faible inductance et grande capacité), et souvent aussi à des prises

intermédiaires sur les bobines, et à des diviseurs capacitifs pour effectuer les différentes adaptations d'impédances et obtenir ainsi les meilleures conditions d'utilisation du transistor.

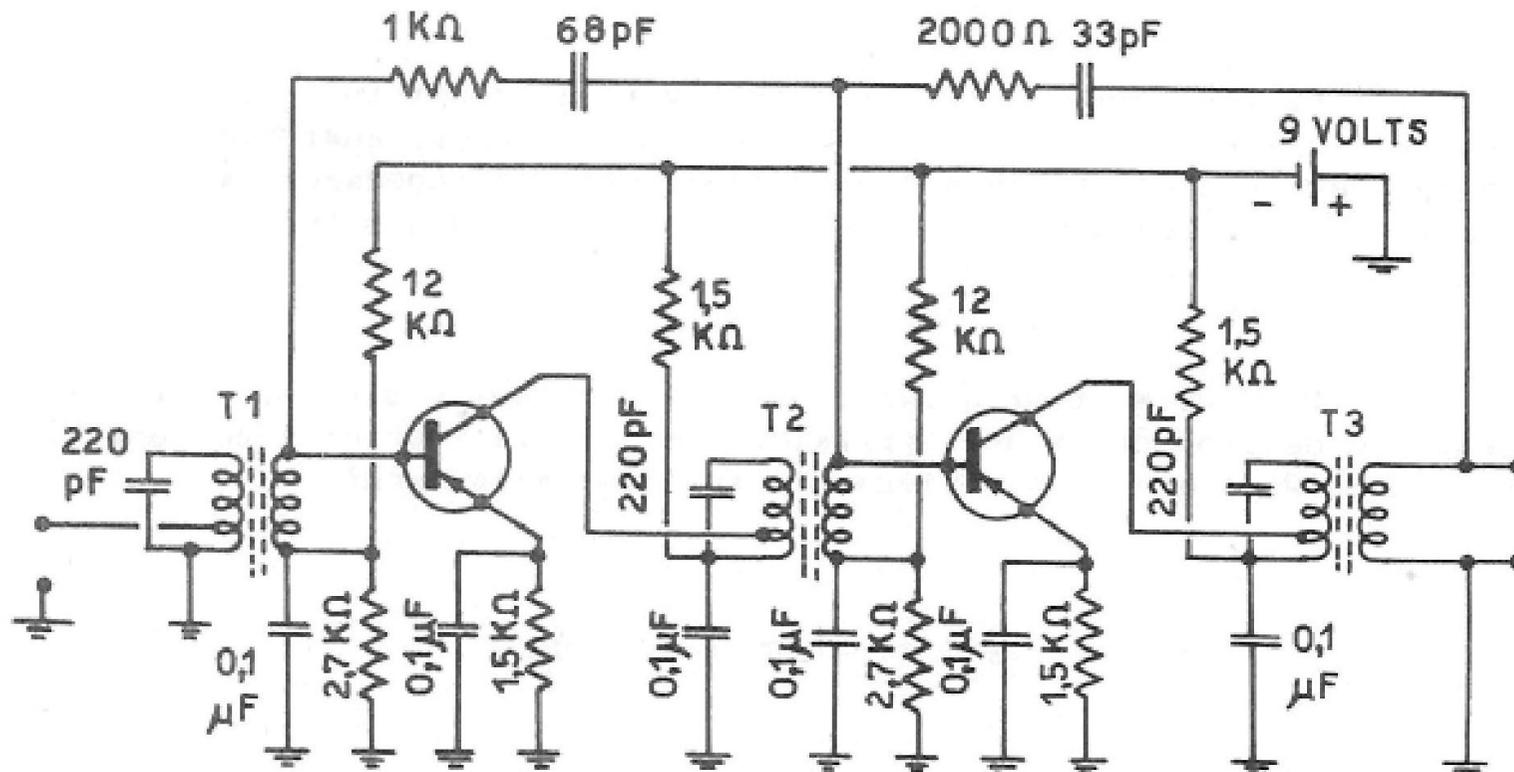
Si l'on compare les circuits "H.F." à transistors aux circuits classiques utilisant les tubes électroniques, les premiers sont bien plus délicats pour l'alignement; en effet, chaque petite variation d'impédance dans un étage se repercute sur les autres, sous forme de variation d'impédance qui produit un désaccord.

Par suite, pour aligner un amplificateur à plusieurs étages, il est nécessaire de procéder à des approximations successives et à de continuelles retouches jusqu'à ce que l'on obtienne le meilleur alignement.

AMPLIFICATEUR A 455 KHz.

Cet amplificateur de moyenne fréquence pour superhétérodyne est à deux étages et il emploie deux transistors type "P.N.P".

La Fig. 5- représente le schéma.



- Fig. 5 -

Ces transistors sont du type à jonction "P.N.P" et sont particulièrement adaptés à l'amplification de la moyenne fréquence. La fréquence de coupure est de 6 MHz, c'est pourquoi l'amplification à 445 KHz est très bonne.

L'amplificateur schématisé a un grand gain en puissance, de l'ordre de 50 db, c'est-à-dire presque 100.000 fois. Les impédances sont de 70 K $\Omega$  à l'entrée et de 1 K $\Omega$  à la sortie.

La tension de 9 Volts appliquée, développe une tension de polarisation du collecteur de 6 Volts et un courant de polarisation du collecteur de 1 mA, à la température ambiante de 25° C.

Les trois transformateurs de moyenne fréquence ont été réalisés sur trois noyaux de "ferroxcube", ce dernier matériau magnétique étant très employé en haute fréquence.

Les rapports du nombre des spires entre primaire et secondaire dans les trois transformateurs sont respectivement:

1/21,8 pour T<sub>1</sub>

1/18,1 pour T<sub>2</sub>

1/10,5 pour T<sub>3</sub>

Les prises sur les trois primaires sont faites de telle façon que le rapport de spires, comptées en partant du côté inférieur de l'enroulement soit par rapport au nombre total des spires du primaire:

0,8 /1 pour  $T_1$

0,315/1 pour  $T_2$

0,26 /1 pour  $T_3$

La valeur du coefficient de surtension "Q" des divers transformateurs de moyenne fréquence, dans les conditions d'utilisation (c'est-à-dire insérés dans le circuit) est pour tous les trois :

$$Q = 35$$

valeur suffisamment élevée, permettant une bonne sélectivité dans les circuits de moyenne fréquence.

Les polarisations des bases des deux transistors sont obtenues, même dans ce cas, à l'aide d'un diviseur de tension constitué par deux résistances respectivement de  $12\text{ K}\Omega$  et  $2,7\text{ K}\Omega$ .

Dans le circuit des émetteurs, il y a aussi un circuit "R.C." constitué par une résistance de  $1,5\text{ K}\Omega$  et par un condensateur de  $0,1\ \mu\text{F}$ , qui ont pour

but de stabiliser le fonctionnement des transistors. Les deux circuits, condensateur - résistance,  $1\text{ K}\Omega - 68\text{ pF}$ , et  $2\text{ K}\Omega - 33\text{ pF}$ , (respectivement branchés entre la sortie et la base du deuxième transistor et entre celle-ci et la base du primaire) ont pour but de neutraliser la capacité qui existe entre les électrodes et d'éviter que les transistors ne se mettent à osciller en produisant des phénomènes de réaction.

Le transistor utilisé aura comme caractéristique une faible capacité de collecteur avec une faible résistance de base. Une faible résistance de base signifie que la liaison base-collecteur présente une faible résistance dans le sens de la conduction du courant.

#### AMPLIFICATEUR POUR TELEVISION.

Dans un amplificateur pour des fréquences vidéo, il faut amplifier uniformément une large bande passante qui s'étend normalement de 50 Hz à 5 MHz environ.

Les tubes électroniques qui sont employés dans ces cas particuliers sont montés avec des circuits spéciaux présentant des artifices susceptibles de compenser la diminution de l'amplification aux extrémités de la bande des fréquences amplifiées.

Cependant les tubes électroniques employés dans l'amplification des fréquences vidéo, amplifient moins bien que ceux employés en "B.F".

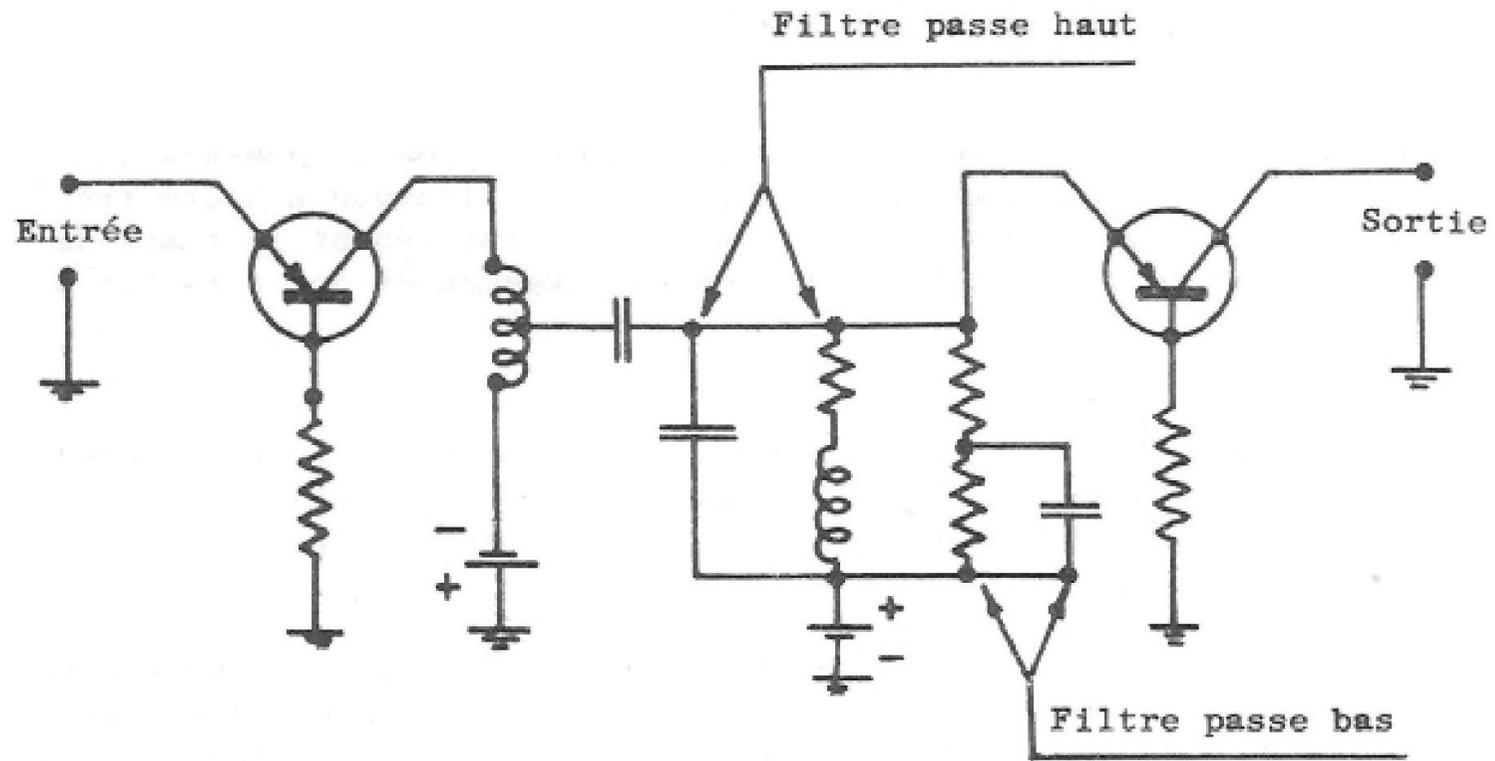
Pour les transistors employés dans les amplis vidéo, les problèmes sont les mêmes; ils sont de plus, accentués par la diminution du coefficient d'amplification  $\alpha$  (alpha) aux fréquences élevées.

Dans les fréquences les plus hautes, l'on voit apparaître des DISTORSIONS DE PHASE qui représentent un grave ennui. Ces inconvénients sont presque totalement éliminés, comme pour les tubes, par des circuits idoines; mais ici les choses se compliquent du problème d'adaptation des impédances.

La Fig. 6- représente un amplificateur Vidéo à deux transistors, avec filtres de compensation. Le premier est un filtre passe haut (qui laisse passer seulement les fréquences les plus élevées), le deuxième est un filtre passe bas (qui atténue les fréquences les plus basses).

Correctement calculés, en partant des caractéristiques des transistors, ces filtres corrigent d'une façon correcte la courbe de réponse.

Dans les circuits pratiques d'amplificateurs vidéo, on emploie des transistors à pointes avec base à la masse ou des transistors à jonction avec connexion émetteur à la masse.



- Fig. 6 -

Je vous résume ce qui a été exposé dans cette leçon :

- 1- Le schéma et les caractéristiques d'un amplificateur basse fréquence pour tourne-disques, d'une puissance de sortie de 0,3 Watt.
- 2- Le problème général des amplifications à haute fréquence. Les phénomènes qui interviennent dans le fonctionnement du transistor amplificateur à haute fréquence et qui réduisent son rendement. Les capacités parasites et le temps de transit. Les problèmes relatifs à l'adaptation des impédances des circuits à transistors.
- 3- Le schéma et les données technologiques générales d'un amplificateur de moyenne fréquence pour récepteur radio à transistors qui emploie deux transistors. Neutralisation de la capacité inter-électrode pour éviter les oscillations.
- 4- L'amplification des courants à vidéo fréquence, c'est-à-dire des courants ayant une fréquence variant de 50 Hz à 5 MHz environ que l'on obtient d'une caméra de télévision et que l'on applique au scope d'un téléviseur. Les problèmes liés à l'amplification vidéo, soit avec les tubes électroniques, soit avec des transistors et correction de la caractéristique d'amplification.

Schéma général d'un amplificateur vidéo à deux transistors, connectés

avec base à la masse, et ses circuits de compensation.

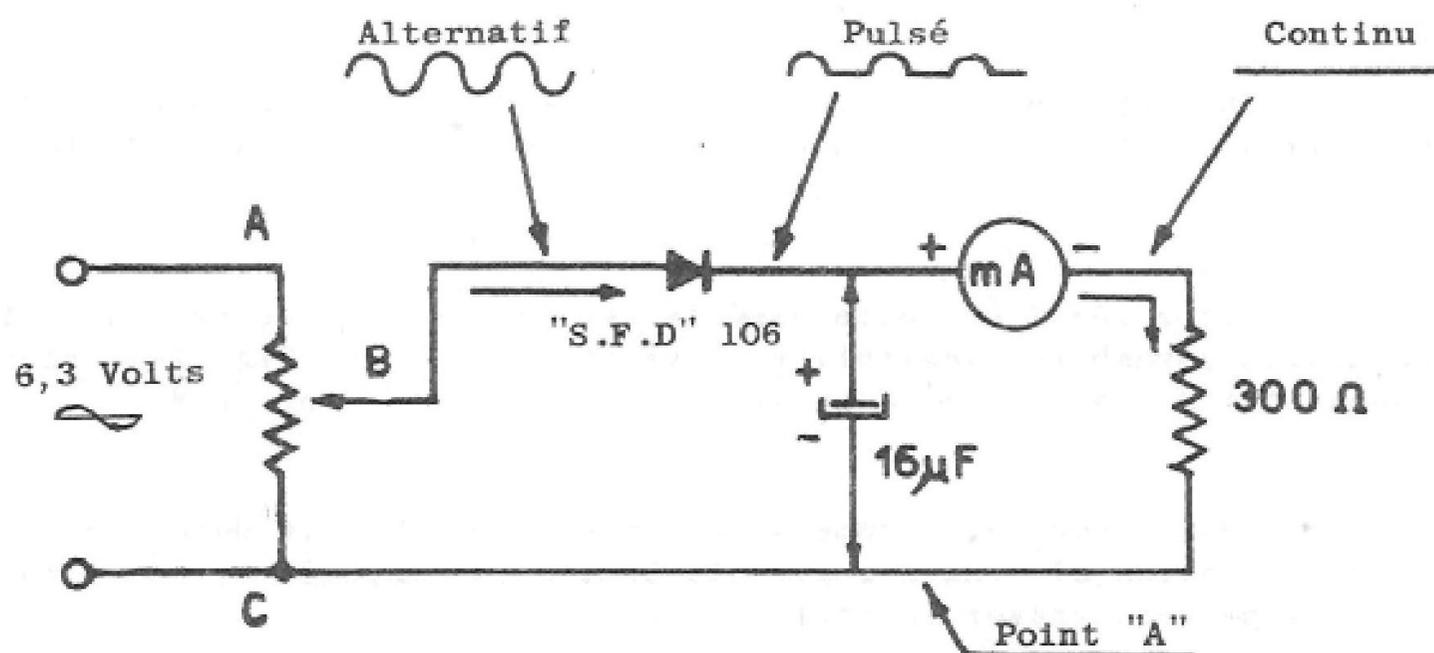
### EXERCICE PRATIQUE

En reprenant le circuit déjà examiné dans l'exercice précédent, vous ferez maintenant la mesure du courant continu dans la charge de la diode redresseuse.

Pour réaliser cette expérience, branchez le contrôleur universel, monté en milliampèremètre, sensibilité 1 mA et 10 mA c.c. (Fig. 7-); rappelez-vous que la sensibilité 1 mA est obtenue sur les bornes "c.c." et "L.M".

Puis exécutez, comme vous l'avez déjà fait la dernière fois, le réglage de la tension alternative avec le bouton du lampemètre; en lisant les mesures, vous pouvez dresser le tableau Fig. 8-.

Le courant révélé est celui qui traverse, pour une seule alternance la diode au germanium. Si vous changez la polarité de celle-ci, vous devez aussi changer la polarité du milliampèremètre, puisque le courant circule dans le sens contraire.



- Fig. 7 -

Volt "C.A"	Volt "C.C"	mA
1,5	0,40	1
2	0,60	1,45
2,5	0,72	2
3	1,05	2,55
3,5	1,30	3,1
4	1,50	3,6
4,5	1,75	4,2
5	1,98	4,7
5,5	2,20	5,3
6	2,45	5,9

- Fig. 8 -

Vérifiez maintenant l'effet d'un condensateur électrolytique branché en parallèle sur la charge du redresseur.

Comme vous le savez, le courant circule seulement par impulsions qui correspondent aux alternances positives ou négatives suivant le sens du branchement du redresseur.

Volt "C.A"	Sans condensateur		Avec condensateur	
	Volt "C.C"	mA	Volt "C.C"	mA
1,5	0,40	1	0,65	1,62
2	0,60	1,45	1	2,45
2,5	0,72	2	1,4	3,40
3	1,05	2,55	1,75	4,35
3,5	1,30	3,1	2,1	5,35
4	1,50	3,6	2,45	6,2
4,5	1,75	4,2	2,85	7,2
5	1,98	4,7	3,2	8,1
5,5	2,20	5,3	3,6	9,1
6	2,45	5,9	4,1	11

- Fig. 9 -

La valeur efficace de ce courant augmente beaucoup en montant en parallèle sur la charge, un condensateur électrolytique, dont le rôle est de se charger pendant une partie de la période et de se décharger partiellement aussitôt après.

D'ailleurs, le condensateur se charge à la valeur maximum de la tension appliquée et, il ne se décharge pas complètement avant l'arrivée de l'alternance suivante: il maintient une certaine charge de telle sorte que le courant ne circule pas dans la diode pour toute l'alternance, mais seulement pendant une partie de celle-ci. Il en résulte une augmentation de la tension redressée et du courant correspondant dans la charge.

Montez un condensateur électrochimique de  $16 \mu\text{F}$  en parallèle sur la sortie (point " A " Fig. 7- ) et répétez les mesures de tension et de courant déjà exécutées.

Vous pourrez dresser le tableau de valeurs Fig. 9-, où sont également reportés les résultats des mesures exécutées sans le condensateur, de telle sorte que la différence dans les deux cas soit évidente.

Dans le prochain exercice, vous relèverez quelques caractéristiques d'un transistor.

=====

REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA 6ème LECON TRANSISTORS

1-  $20.000/1200 = 200/12 = 16,67$

$$\sqrt{16,67} = 4,08$$

Le nombre de spires au primaire est 4,08 fois celui des spires du secondaire.

2- La puissance à l'entrée avec "1 V" est égale à :

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{1^2}{50.000} = \frac{1}{5 \cdot 10^4} = 0,2 \cdot 10^{-4} = 0,00002 \text{ W}$$

La puissance de sortie sera 40.000 fois cette puissance, soit:

$$P_s = 40.000 \times 0,00002 = 4 \times 10^4 \times 0,2 \times 10^{-4} = 4 \times 0,2 = 0,8 \text{ W}$$

La tension de sortie sera égale à:

$$V_s = \sqrt{P_s \cdot R_s} = \sqrt{0,8 \times 500} = \sqrt{400} = 20 \text{ V}$$

En outre, l'amplification de tension sera:

$$A_v = \frac{20}{1} = 20 \text{ fois}$$

3- Le gain en puissance sera de 250.000; en supposant qu'on ait "1W" de sortie, il faudrait à l'entrée 1/250.000 W.

A la sortie sur 500  $\Omega$  , on aura une tension:

$$V_s = \sqrt{P_s \cdot R_s} = \sqrt{1 \times 500} = 22,4 \text{ V}$$

A l'entrée on aura une tension:

$$V_e = \sqrt{P_e \cdot R_e} = \sqrt{1/250.000 \times 500} = \sqrt{0,002} = 0,0448 \text{ V}$$

Le gain en tension sera égal à :

$$A_v = \frac{V_s}{V_e} = \frac{22,4}{0,0448} = 500 \text{ fois}$$

=====

EXERCICE DE REVISION SUR LA 7ème LECON TRANSISTORS

- 1- Qu'est-ce que les résistances à coefficient de température négatif ?  
Quelle est leur fonction dans les amplificateurs à transistors ?
  
- 2- Qu'est-ce que la distorsion linéaire ?
  
- 3- Quand a-t-on de la distorsion harmonique ?
  
- 4- Qu'est-ce que le temps de transit ?  
Quel effet a-t-il sur l'amplification à transistors ?

-----