



TRANSISTORS

Cours de radio par correspondance

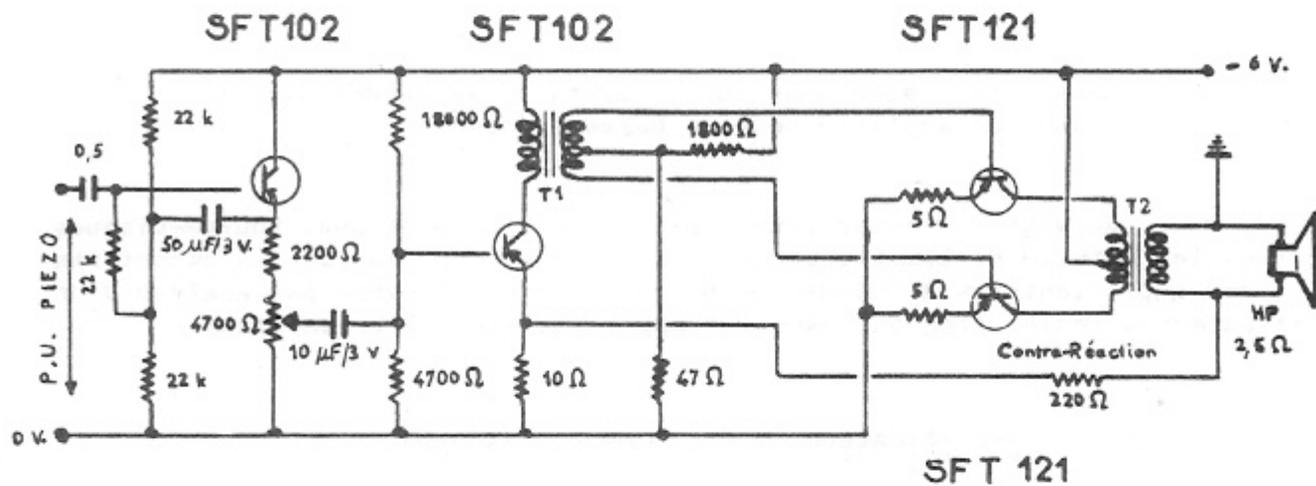
Dans cette leçon nous continuerons l'examen des circuits à transistors utilisés dans les amplificateurs à basse fréquence.

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 5Ω . 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.

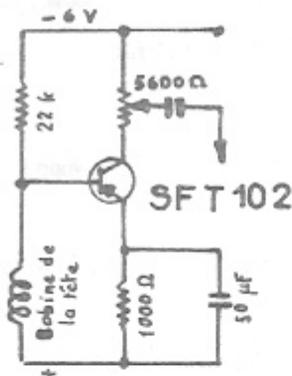
En outre, comme pour un montage classique, une contre-réaction relie une borne de la bobine mobile du haut-parleur à l'émetteur du transistor de l'étage driver, tout comme cette liaison serait effectuée à la cathode d'une lampe. Celle-ci est utilisée pour réduire la distorsion linéaire et non linéaire.

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.

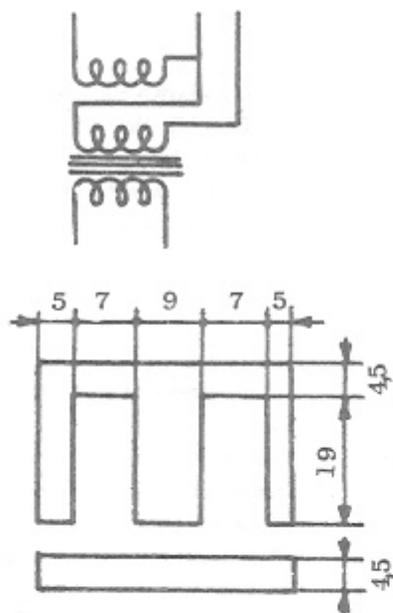
La DISTORSION LINEAIRE EST L'AMPLIFICATION INEGALE DE TOUTES LES FREQUENCES, c'est-à-dire le fait, par exemple que l'amplification du montage vers les fréquences de 10.000 Hz environ diminue nettement.

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

T₁ DRIVER

<u>Primaire</u>	1.000 tours fil émail 16/100
<u>Secondaire</u>	2 x 320 tours fil émail 16/100
<u>Tôles</u>	Silicium ordinaire 28 x 32 section des tôles 1,1 cm ² .

- 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.

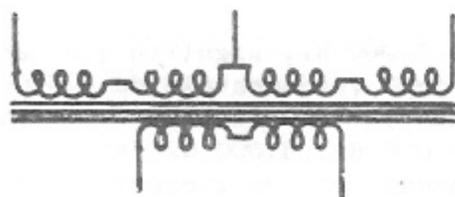
REMARQUE pour l'emploi d'un lecteur différent.

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.

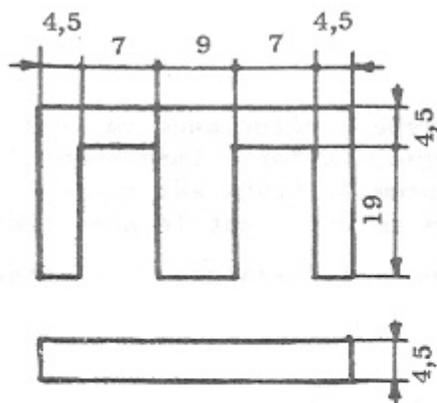
AMPLIFICATEURS "H.F"

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 T₂



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 cm².

- 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.

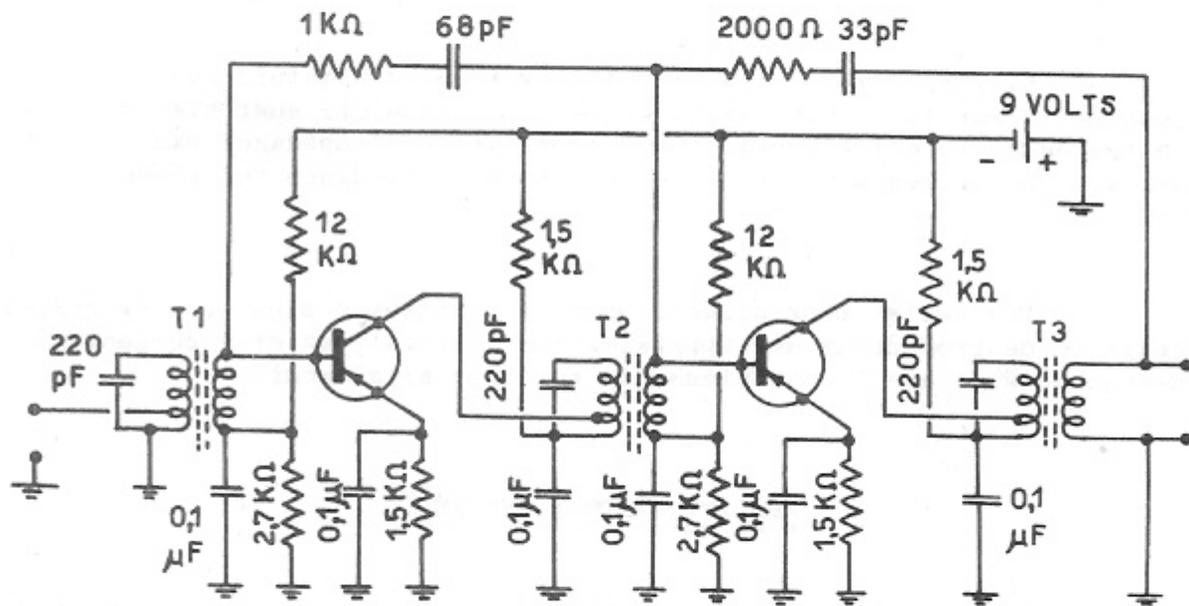
Si l'on compare les circuits "H.F." à transistors aux circuits classiques utilisant les tubes électroniques, les premiers sont bien plus délicats pour l'alignement; en effet, chaque petite variation d'impédance dans un étage se repercute sur les autres, sous forme de variation d'impédance qui produit 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 Ω à l'entrée et de 1 K Ω 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 T₁

1/18,1 pour T₂

1/10,5 pour T₃

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".

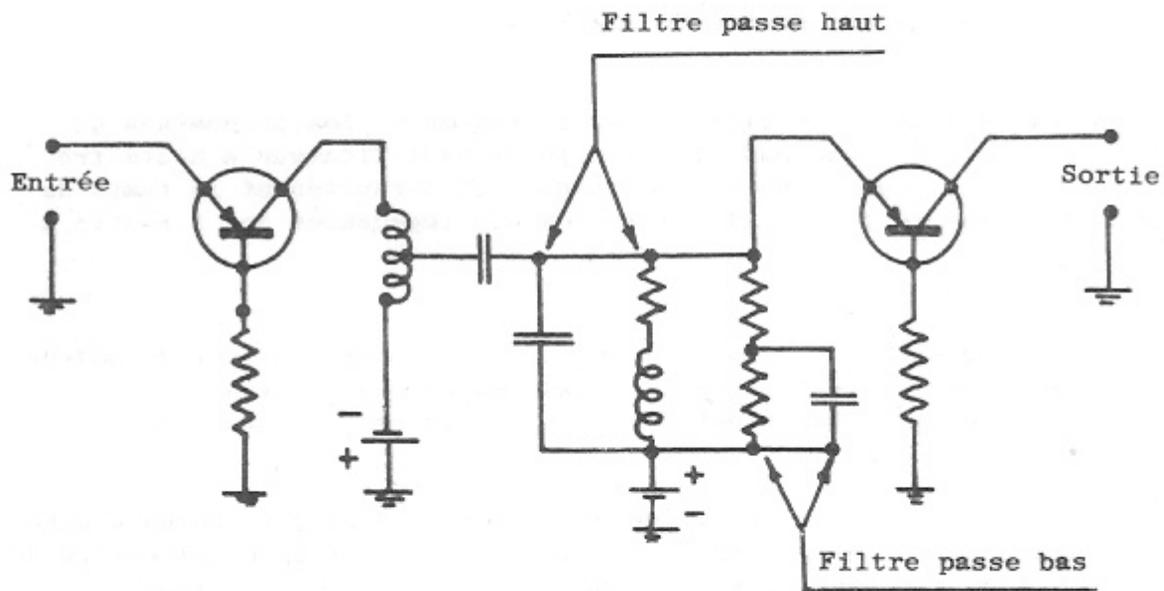
Pour les transistors employés dans les amplis vidéo, les problèmes sont les mêmes; ils sont de plus, accentués par la diminution du coefficient d'amplification α (alpha) aux fréquences élevées.

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.

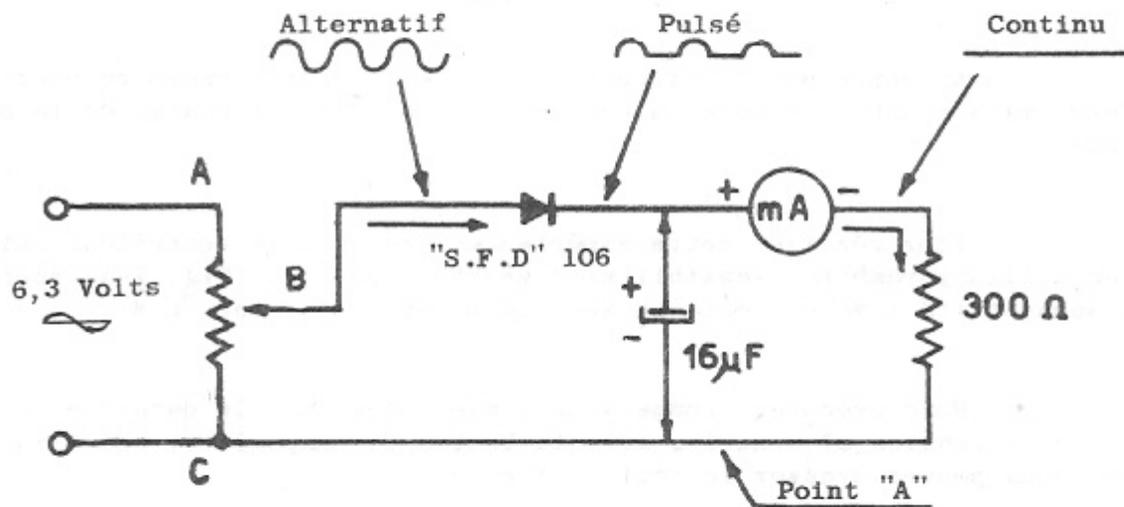
EXERCICE PRATIQUE

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 500Ω , 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 ?

=====