



# THEORIE

COURS DE BASE  
ELECTRONIQUE

Comme nous l'avons vu dans la dernière leçon, la REACTION modifie considérablement le comportement d'un amplificateur.

En effet, si LE TAUX DE REACTION est assez élevé, le circuit ne fonctionne plus en amplificateur mais en OSCILLATEUR.

Ces oscillateurs sont aussi appelés GENERATEURS BF, car ils engendrent un signal basse fréquence qui peut varier entre quelques hertz et quelques centaines de kilohertz.

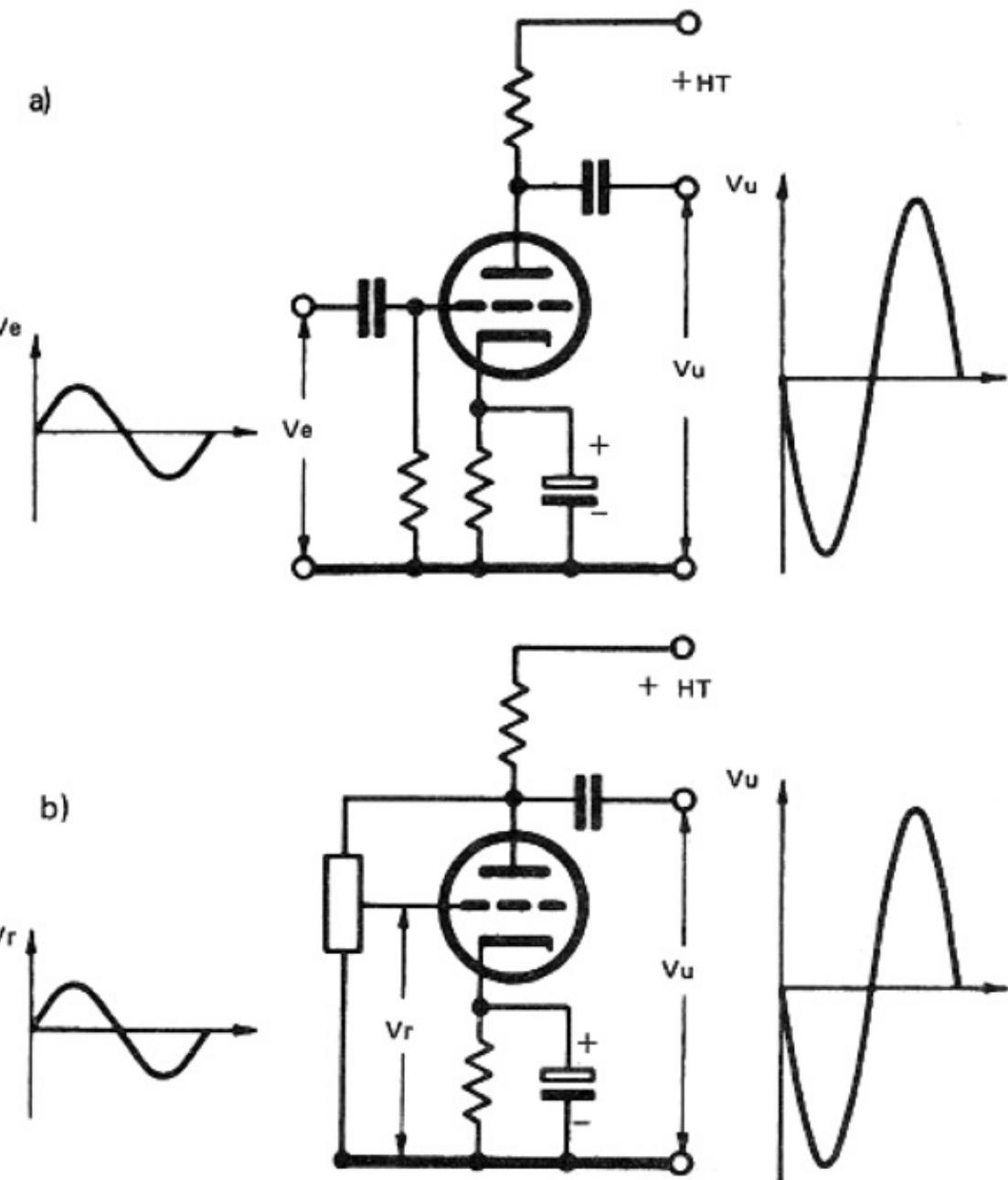
Ces appareils sont couramment utilisés en laboratoire, par exemple pour relever la courbe de réponse d'un amplificateur BF.

D'une manière plus générale, on peut dire que les oscillateurs BF sont utilisés pour faire des essais en laboratoire sur les amplificateurs BF, c'est-à-dire établir le comportement de ceux-ci par rapport à la fréquence du signal.

Pour comprendre le fonctionnement d'un oscillateur BF, commençons par étudier la figure 1-a concernant le schéma d'un amplificateur de tension.

Comme nous le savons, en appliquant une tension  $V_e$  à l'entrée de l'étage, on obtient en sortie une tension  $V_u$  de même fréquence, mais d'amplitude plus importante (l'abréviation  $V_u$  signifie "tension d'utilisation" ; cette tension est souvent désignée également par l'abréviation  $V_s$  qui signifie "tension de sortie").

Il convient de rappeler encore une fois que la tension de sortie du tube EST EN OPPOSITION DE PHASE par rapport à la tension d'entrée (voir figure 1-a).



TRANSFORMATEUR D'UN AMPLIFICATEUR DE TENSION EN  
AMPLIFICATEUR

Figure 1

Observons maintenant que le fonctionnement de l'amplificateur ne change pas si au lieu d'appliquer à l'entrée la tension  $V_e$ , provenant de l'extérieur, on applique une tension  $V_r$  prélevée sur la sortie de l'amplificateur.

Ce prélèvement peut être effectué par l'intermédiaire d'un circuit de réaction, qui, pour l'instant, est représenté simplement par un rectangle (voir figure 1-b).

Evidemment, pour que le fonctionnement de l'amplificateur ne soit pas perturbé, il faut que ce circuit fournisse une tension  $V_r$  de même amplitude et de même fréquence que la tension  $V_e$ , et qu'elle soit EN PHASE avec celle-ci.

Dans ce cas en effet, la tension  $V_r$  étant identique à la tension  $V_e$ , sera amplifiée comme cette dernière, et on obtiendra encore en sortie du tube, une tension  $V_u$  identique à celle fournie par l'amplificateur de la figure 1-a.

Les deux montages de la figure 1 fonctionneront donc de la même façon.

Il faut toutefois remarquer que dans le cas de l'amplificateur de la figure 1-b, la tension  $V_u$  sera due à l'amplification de la tension  $V_r$ , obtenue de l'amplificateur lui-même.

Le montage aura engendré son propre signal d'entrée, c'est-à-dire qu'il fonctionnera en OSCILLATEUR.

Nous pouvons donc dire que le fonctionnement d'un oscillateur est basé sur le principe suivant : une partie de la tension  $V_u$  présente à la sortie, est reportée à l'entrée et amplifiée de façon à obtenir en sortie la même tension  $V_u$ , dont une partie est de nouveau reportée à l'entrée pour être amplifiée et ainsi de suite.

A la différence de ce qui se produit dans un amplificateur où la tension  $V_u$  est obtenue à partir de la tension  $V_e$  provenant de l'extérieur, AUCUN SIGNAL DE L'EXTERIEUR N'EST APPLIQUE A LA GRILLE DE COMMANDE DE L'OSCILLATEUR.

On peut donc se demander de quelle façon est engendrée la tension  $V_u$  au démarrage de l'oscillateur.

En effet, dès la mise sous tension de celui-ci, on ne devrait avoir dans son circuit anodique que la composante continue du courant anodique.

Mais il faut se rappeler que la tension (HT) n'est jamais parfaitement continue.

Ainsi, une très petite variation du courant anodique produit une variation correspondante de la tension anodique.

Cette variation (même si elle est très petite) est reportée sur la grille du tube par l'intermédiaire du circuit de réaction. Elle provoque donc une variation plus grande, qui est de nouveau reportée sur la grille et ainsi de suite.

Il convient également de préciser que, même dans le cas d'une tension rigoureusement continue, on peut enregistrer une très faible variation du courant anodique, en raison par exemple de l'émission électronique de la cathode qui n'est jamais absolument régulière.

D'autre part, lors de la mise sous tension de l'oscillateur, le courant anodique ne s'établit pas brusquement.

En effet, l'émission cathodique qui était nulle lorsque l'oscillateur n'était pas alimenté, augmente progressivement jusqu'à ce que la cathode ait atteint sa température normale de fonctionnement.

CETTE AUGMENTATION DE L'EMISSION CATHODIQUE PROVOQUE DONC UNE VARIATION DU COURANT ANODIQUE, QUI, D'UNE VALEUR NULLE, ATTEINT RAPIDEMENT UNE CERTAINE VALEUR.

Cette variation est reportée sur la grille, et le montage peut alors commencer à osciller.

On comprend ainsi que, dès la mise sous tension de l'oscillateur, il se produit spontanément dans son circuit anodique, des variations de la tension anodique, qui prennent très vite la forme sinusoïdale de fréquence voulue grâce au CIRCUIT DE REACTION que nous étudierons dans cette leçon.

En examinant les diagrammes de la figure 1-b, nous devons remarquer que le circuit de réaction doit accomplir plusieurs tâches :

- a) Réduire l'amplitude de la tension  $V_u$  de façon à fournir la tension  $V_r$  qui sera appliquée sur la grille de commande.
- b) Inverser la phase de façon à ce que le signal  $V_r$  soit en opposition de phase avec le signal  $V_u$ .
- c) Fixer la fréquence du signal engendré par l'oscillateur.

Les différents types d'oscillateur BF diffèrent entre eux par le CIRCUIT DE REACTION adopté, comme nous allons le voir dans les chapitres suivants.

## I - OSCILLATEUR A DEPHASAGE

Le schéma d'un oscillateur à déphasage est reporté sur la figure 2.

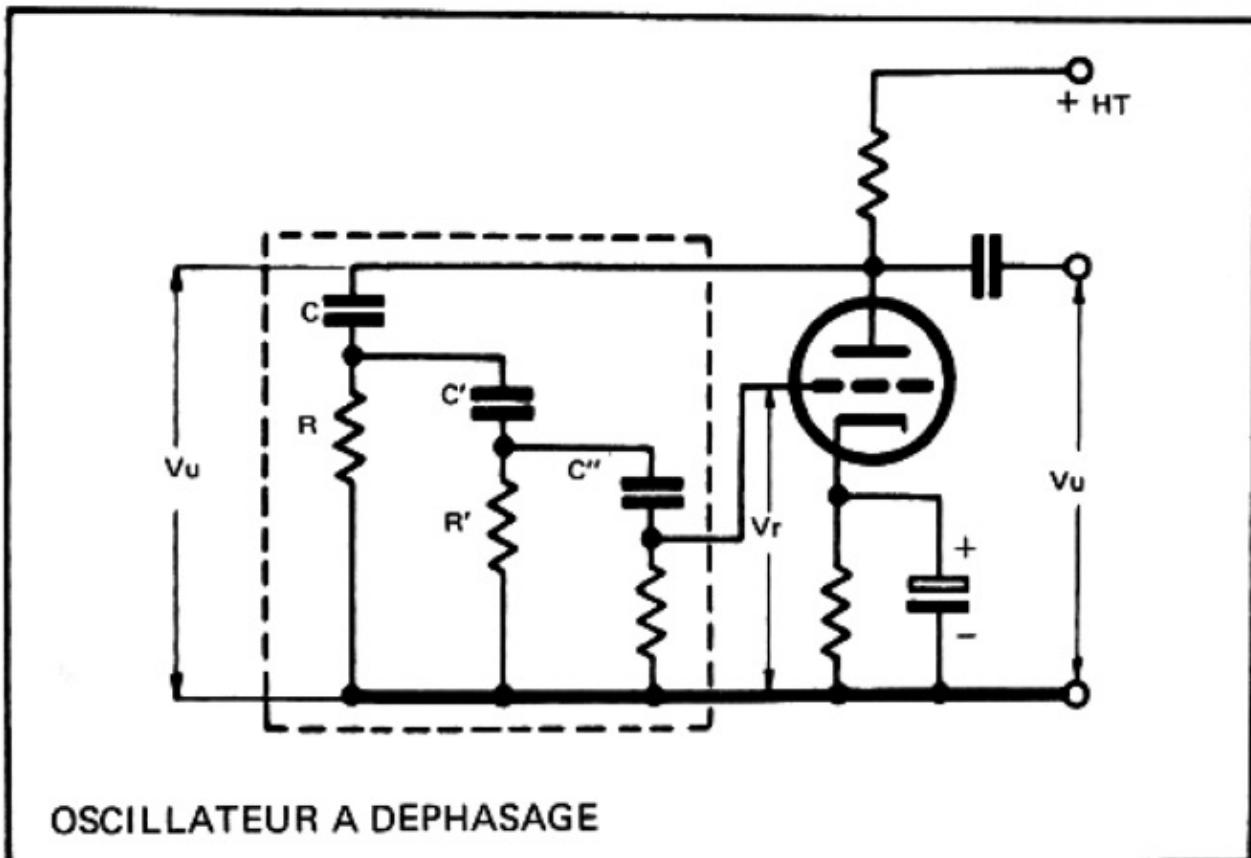


Figure 2

On peut voir que le circuit de réaction (à l'intérieur du rectangle en pointillé) est constitué par trois GROUPES RC, formés d'un condensateur en série avec une résistance.

Ces groupes sont désignés par les abréviations RC, R'C' et R''C''.

La tension Vu entière est appliquée au groupe RC qui est relié entre l'anode du tube et la masse.

Cette tension se partage donc entre le condensateur C et la résistance R.

La tension présente aux extrémités de la résistance R est appliquée au groupe R'C' et elle se partage à son tour entre les deux éléments qui constituent ce groupe.

La tension ainsi présente aux extrémités de la résistance  $R'$  est appliquée enfin au groupe  $R''C''$ , de façon à ce qu'elle se partage encore entre les éléments qui forment ce groupe.

La tension obtenue aux extrémités de la résistance  $R''$  constitue la tension  $V_r$ , appliquée entre grille et masse.

Bien entendu, cette tension ( $V_r$ ) a une amplitude inférieure à celle de la tension  $V_u$ .

En effet, aux extrémités des résistances de chaque groupe, on obtient une tension inférieure à celle qui est appliquée au groupe entier (chaque groupe constituant un circuit diviseur de tension).

On comprend donc que le circuit de réaction a déjà pour effet de réduire l'amplitude de la tension  $V_u$ .

On doit maintenant étudier comment ce même circuit permet d'obtenir une tension  $V_r$  en OPPOSITION DE PHASE avec la tension  $V_u$ .

Examinons pour cette étude, la figure 3-a représentant un groupe  $RC$  aux extrémités duquel est appliquée une tension alternative  $V$ .

Le courant  $i$  qui circule soit dans le condensateur  $C$ , soit dans la résistance  $R$ , produit une tension  $V_C$  (aux bornes du condensateur) et une tension  $V_R$  (aux bornes de la résistance).

Or, le courant  $i$  est DEPHASE EN AVANCE de un quart de période par rapport à la tension  $V_C$  tandis que ce même courant est en phase avec la tension  $V_R$ .

La représentation vectorielle de la figure 3-a met en évidence ce phénomène.

On voit qu'entre le vecteur  $i$  et le vecteur  $V_C$ , il y a un angle de déphasage de  $90^\circ$ , tandis qu'entre ce même vecteur  $i$  et le vecteur  $V_R$ , l'angle de déphasage est nul (vecteurs superposés).

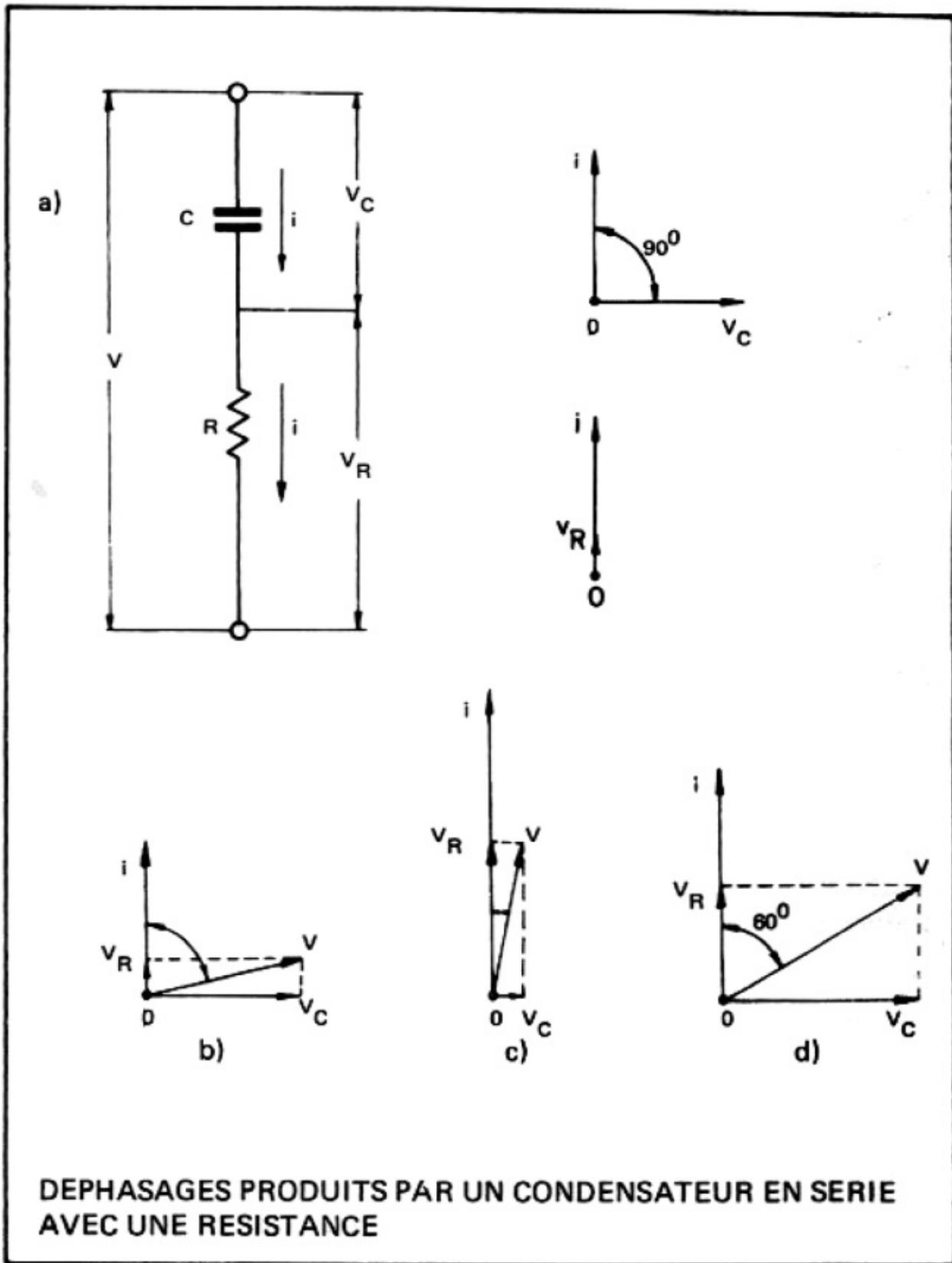


Figure 3

Puisque le vecteur  $i$  est le même pour les deux représentations vectorielles, celles-ci peuvent être réunies en une seule représentation.

Il suffit pour cela de superposer les vecteurs  $i$  comme sur la figure 3-b.

En traçant ensuite à l'extrémité du vecteur  $V_R$  une ligne en pointillé, parallèle au vecteur  $V_C$  et de l'extrémité du vecteur  $V_C$  une ligne en pointillé, parallèle au vecteur  $V_R$ , on peut déterminer le vecteur  $V$ , qui représente la tension  $V$  reçue par le groupe RC.

Ce vecteur est compris entre le point O et le point de rencontre des deux lignes en pointillé.

On peut voir ainsi l'angle de déphasage qui existe entre le vecteur  $V$  et le vecteur  $i$ .

Etant donné que le vecteur  $V_R$  est superposé au vecteur  $i$ , la représentation vectorielle de la figure 3-b, permet de connaître le déphasage entre la tension  $V$  appliquée au groupe RC et la tension  $V_R$  présente aux extrémités de la résistance R.

Nous rappelons maintenant que la REACTANCE présentée au courant  $i$  par le condensateur C est différente selon la fréquence de la tension  $V$ .

En conséquence, la tension  $V_C$  aux extrémités du condensateur dépend aussi de la fréquence de la tension  $V$ .

Quand cette fréquence varie, la répartition de la tension  $V$  entre le condensateur C et la résistance R varie aussi.

Sur la figure 3-a, on voit la représentation vectorielle dans le cas où la tension  $V$  a une fréquence telle que la réactance du condensateur est inférieure à la valeur de la résistance (tension  $V_C$  inférieure à la tension  $V_R$ ).

Le vecteur  $V_C$  a donc une longueur inférieure à celle du vecteur  $V_R$ , et l'angle de déphasage entre le vecteur  $V$  et le vecteur  $V_R$  est inférieur à celui de la figure 3-b.

Evidemment, pour chaque fréquence de la tension  $V$ , on a un angle correspondant de déphasage entre cette tension et la tension  $V_R$ .

Il existe donc une fréquence déterminée pour laquelle l'angle de déphasage est de  $60^\circ$  (cas de la figure 3-d).

Revenons maintenant à l'oscillateur à déphasage.

Supposons que la tension  $V_u$  appliquée au circuit de réaction ait une fréquence introduisant précisément un déphasage de  $60^\circ$  entre cette tension ( $V_u$ ) et la tension présente aux extrémités de la résistance  $R$ .

Cette dernière tension a été désignée par  $V'$  sur la figure 4-a sur laquelle est reporté le schéma du circuit de réaction de l'oscillateur à déphasage.

Le cas de la figure 4-a est pourtant un peu différent de celui de la figure 3.

En effet, sur cette figure, le condensateur  $C$  et la résistance  $R$  sont parcourus par le même courant, tandis que sur la figure 4-a, le condensateur  $C$  est parcouru non seulement par le courant qui traverse la résistance  $R$ , mais aussi par le courant qui traverse le groupe  $R'C'$  qui se trouve en parallèle sur la résistance  $R$ .

Cependant, même dans le cas de la figure 4-a, la fréquence est telle que le déphasage entre les tensions  $V_u$  et  $V'$  est de  $60^\circ$ .

Donc, si on représente la tension  $V_u$  au moyen d'un vecteur vertical comme on le voit sur la figure 4-b, on pourra représenter la tension  $V'$  au moyen d'un vecteur qui formera un angle de  $60^\circ$  avec le vecteur  $V_u$ .

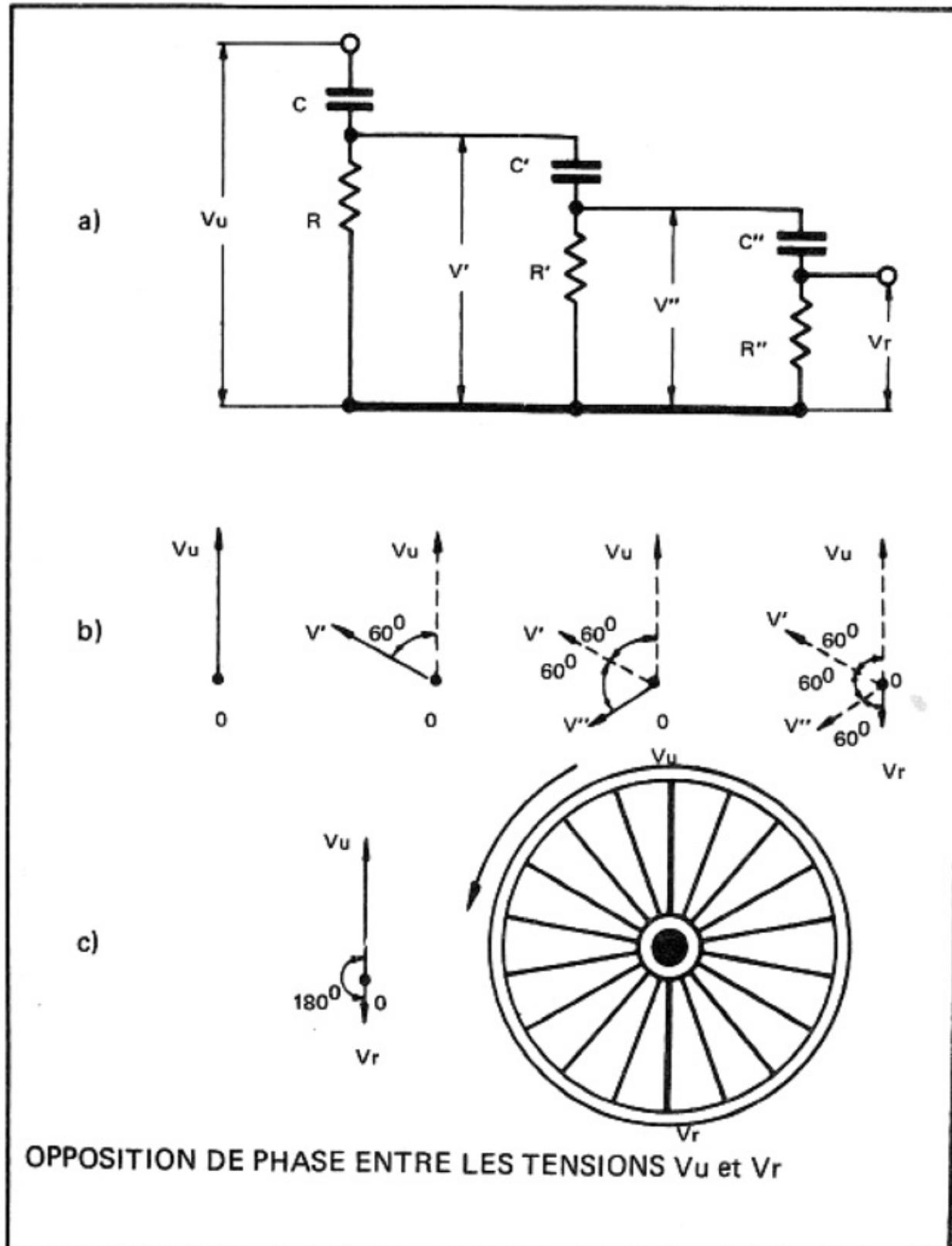


Figure 4

Le vecteur  $V'$  a une longueur inférieure à la longueur du vecteur  $V_u$ , car la tension  $V'$  a une valeur inférieure à celle de la tension  $V_u$ .

La tension  $V'$  appliquée au groupe  $R'C'$  permet d'obtenir la tension  $V''$  aux extrémités de la résistance  $R'$ .

En choisissant bien la valeur du condensateur  $C'$  et de la résistance  $R'$  on peut obtenir que la tension  $V''$  soit aussi déphasée de  $60^0$  par rapport à la tension  $V'$  (pour la même fréquence que celle qui produit un déphasage de  $60^0$  entre les tensions  $V_u$  et  $V'$ ).

La tension  $V''$  a donc été représentée par un vecteur  $V''$  qui forme encore un angle de  $60^0$  avec le vecteur  $V'$  (figure 4-b).

On peut répéter les mêmes remarques pour le groupe  $R''C''$  auquel est appliquée la tension  $V''$  qui permet d'obtenir la tension  $V_r$  aux extrémités de la résistance  $R''$ .

Ainsi la tension  $V_r$  forme un angle de  $60^0$  avec le vecteur  $V''$ .

Il en résulte que le vecteur  $V_R$  qui représente la tension obtenue du circuit de réaction, forme un angle de  $180^0$  avec le vecteur  $V_u$  qui représente la tension appliquée à ce circuit.

Sur la figure 4-c, ne sont reportés que ces deux vecteurs qui présentent un angle de  $180^0$ .

On peut considérer ces vecteurs comme les deux rayons d'une roue qui tourne autour du point O, dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.

Cette roue est représentée sur la figure 4-c et les rayons auxquels nous comparons les deux vecteurs sont tracés par un trait épais. Il est évident que quand la roue tourne dans le sens indiqué par la flèche, les deux rayons prennent toujours des positions opposées, car, par exemple, quand le rayon indiqué par  $V_u$  a son extrémité en haut, le rayon indiqué par  $V_r$  a son extrémité en bas et vice versa.

De la même façon, les tensions Vu et Vr prennent des valeurs toujours opposées entre elles, car, par exemple, quand la tension Vu prend sa valeur maximale positive, la tension Vr prend sa valeur maximale négative et vice versa : CECI SIGNIFIE QUE LES DEUX TENSIONS SONT EN OPPOSITION DE PHASE.

Nous avons vu ainsi comment le circuit de réaction peut réduire l'amplitude de la tension Vu et comment il peut fournir une tension Vr en opposition de phase avec la tension Vu.

Il nous reste encore à voir comment le circuit de réaction peut déterminer la fréquence du signal.

Rappelons-nous à ce sujet que le déphasage de  $180^{\circ}$  indiqué figure 4, se produit pour une fréquence précise, alors que pour les autres fréquences, le déphasage est supérieur ou inférieur à  $180^{\circ}$ .

Etant donné que pour faire fonctionner l'oscillateur, il faut que la tension Vr appliquée à la grille soit en opposition de phase avec la tension Vu obtenue en sortie, il est évident que l'oscillateur ne peut continuer à fonctionner que sur la fréquence qui détermine un déphasage de  $180^{\circ}$ .

Cette fréquence est engendrée de la façon suivante : quand on met l'oscillateur sous tension, il se produit pour des raisons diverses, une variation de la tension anodique, qui, ayant une progression très irrégulière, peut être considérée comme un signal fortement déformé.

OR, UN SIGNAL DEFORME EST CONSTITUE PAR UNE FONDAMENTALE ET PAR LES HARMONIQUES DE FREQUENCE DOUBLE, TRIPLE etc.

Ainsi, à l'amorçage des oscillations, on a en sortie de nombreux signaux de fréquence différente.

Tous ces signaux sont appliqués à la grille par le circuit de réaction, MAIS SEUL, CELUI QUI A UNE FREQUENCE ENGENDRANT UNE TENSION EN OPPOSITION DE PHASE AVEC LA TENSION DE SORTIE EST EN MESURE DE MAINTENIR LE FONCTIONNEMENT DE L'OSCILLATEUR.

Sur la figure 4, on voit que le déphasage de  $180^{\circ}$  est obtenu par la somme des trois déphasages de  $60^{\circ}$  produits par les trois groupes RC.

Pour que chacun de ces trois groupes donne le déphasage de  $60^{\circ}$ , il faut que la valeur du condensateur et de la résistance soit différente d'un groupe à l'autre.

En pratique, on peut cependant utiliser trois groupes RC égaux, c'est-à-dire formés d'un condensateur et d'une résistance de même valeur.

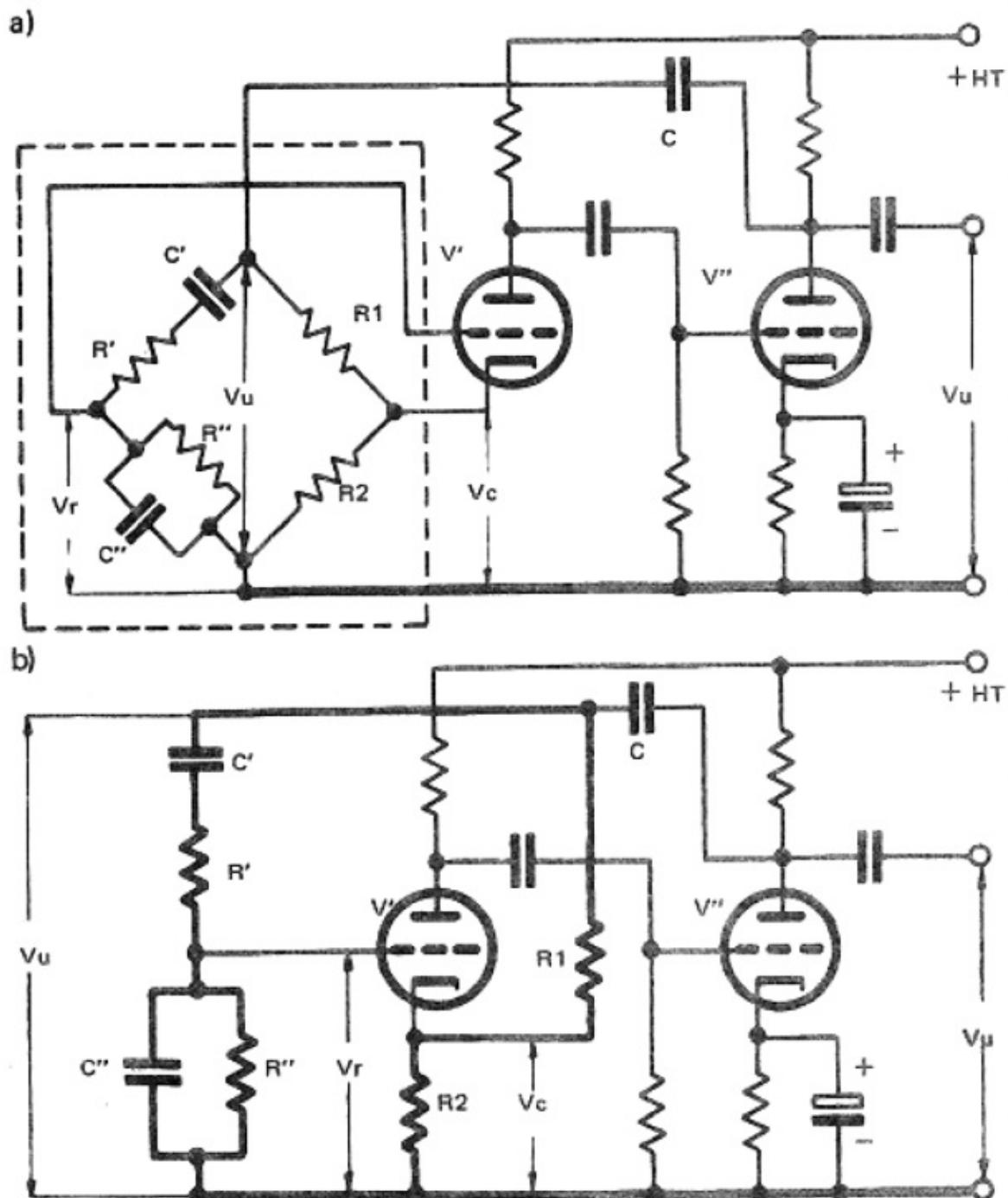
DANS CE CAS, LA SOMME DES DEPHASAGES PRODUITS PAR LES TROIS GROUPES RC DOIT ETRE EGALE A  $180^{\circ}$ , (il n'est donc pas nécessaire que chaque groupe introduise un déphasage de  $60^{\circ}$  ; il suffit que la somme de ces déphasages soit de  $180^{\circ}$ ).

En employant trois groupes RC égaux, il est plus facile de faire varier la valeur de leurs composantes, dont dépend la valeur de la fréquence de l'oscillateur.

Par exemple, on peut utiliser trois résistances variables commandées par un seul axe, qui, grâce à sa rotation, permet de faire varier de la même façon leur valeur, donc la fréquence du signal.

## I - 1 OSCILLATEUR A PONT DE WIEN

Le schéma d'un oscillateur à PONT DE WIEN est donné sur la figure 5-a.



OSCILLATEUR BF A PONT DE WIEN

Figure 5

Cet oscillateur comprend deux tubes, et on peut le considérer comme dérivé d'un amplificateur à deux étages, à l'entrée duquel on reporte la tension de sortie  $V_u$ .

Cette tension ( $V_u$ ) se partage entre les groupes  $R'C'$  et  $R''C''$ , de manière qu'aux extrémités du groupe  $R''C''$ , c'est-à-dire entre la grille du tube  $V'$  et la masse, on obtienne la tension  $V_r$ .

La tension  $V_u$  se partage donc aussi entre les deux résistances  $R_1$  et  $R_2$ , et aux bornes de cette dernière, on obtient la tension  $V_C$ , appliquée entre la cathode du tube  $V'$  et la masse.

Pour bien comprendre le fonctionnement de cet oscillateur, examinons le schéma 5-b.

Celui-ci est identique au schéma 5-a, mais les composants ont été disposés de façon différente.

On voit tout de suite que la résistance  $R_2$  sert non seulement pour le pont, mais aussi pour la polarisation du tube  $V'$ .

Quant à la résistance  $R''$ , elle est utile aussi pour deux circuits : le circuit du pont et le circuit de grille du tube  $V'$ .

Remarquons également que les résistances  $R_1$  et  $R_2$  constituent un circuit de CONTRE-REACTION qui fournit une tension  $V_C$  en opposition de phase avec la tension de sortie du tube  $V'$ .

Les groupes  $R'C'$  et  $R''C''$  constituent au contraire un circuit DE REACTION (tension  $V_r$  en phase avec la tension de sortie de  $V''$ ).

La tension de sortie  $V_u$  est donc utilisée pour engendrer une REACTION POSITIVE, et une REACTION NEGATIVE (appelée aussi contre-réaction).

Les tensions  $V_r$  et  $V_c$ , étant une partie de la tension  $V_u$ , ont évidemment la même fréquence et SONT EN PHASE ENTRE ELLES.

Si ces tensions avaient également la même amplitude, elles se compenseraient réciproquement et l'oscillateur se comporterait comme si aucune tension n'était appliquée au tube  $V'$ .

En effet, pendant l'alternance positive de la tension  $V_r$ , le potentiel de la grille augmenterait, mais le potentiel de la cathode augmenterait de la même façon sous l'effet de la tension  $V_c$ .

Ainsi, la tension entre grille et cathode ne varierait pas.

Le même phénomène se produirait pendant l'alternance négative (diminution du potentiel de la grille, et diminution équivalente du potentiel de la cathode).

Pour que le circuit puisse fonctionner en oscillateur, il faut que la tension  $V_r$  qui produit la réaction ait une amplitude supérieure à la tension  $V_c$  qui produit la contre-réaction.

Dans ce cas, le montage fonctionne en effet comme si un signal d'amplitude égale à la différence entre les tensions  $V_r$  et  $V_c$  était appliqué à la grille.

En choisissant correctement la valeur des composants du PONT DE WIEN, on peut faire en sorte que la tension égale à la différence entre  $V_r$  et  $V_c$  ait l'amplitude voulue pour maintenir l'oscillateur en fonctionnement.

Très souvent, au lieu de la résistance  $R_2$  reliée entre la cathode du tube  $V'$  et la masse, on utilise une lampe à incandescence avec filament de tungstène.

La résistance de ce filament varie beaucoup en fonction du courant qui le parcourt.

Avec ce procédé, on peut obtenir un fonctionnement très stable de l'oscillateur, et maintenir constante l'amplitude du signal, même si le gain des tubes varie.

En effet, quand le gain augmente, et par conséquent la tension de sortie, le courant que cette tension fait passer dans les deux résistances R1 et R2 augmente aussi.

Or, si à la place de R2, on place la lampe à incandescence, l'augmentation de courant qui la parcourt détermine une augmentation de la résistance de son filament.

On obtient donc une plus grande chute de tension à ses extrémités.

Puisque la tension aux bornes du filament constitue la tension  $V_C$  de contre-réaction, son augmentation entraîne une efficacité accrue de la contre-réaction qui réduit le gain.

La tension de sortie diminue et revient ainsi à sa valeur d'origine.

Inversement, quand le gain diminue, le courant qui parcourt la lampe diminue aussi, et entraîne une diminution de la résistance du filament.

La chute de tension aux extrémités de celui-ci est alors plus petite, et la contre-réaction devient moins efficace.

Le gain augmente et la tension de sortie revient à sa valeur d'origine.

En ce qui concerne la fréquence du signal, nous devons observer que, tandis que le circuit de contre-réaction ne comprend que les résis-

tances R1 et R2, le circuit de réaction comprend au contraire, en plus des résistances R' et R'', les condensateurs C' et C'' qui produisent un déphasage différent selon la fréquence.

Donc, tandis que la tension  $V_C$  est en phase avec la tension Vu, quelle que soit la fréquence de celle-ci, la tension Vr est en phase avec la tension Vu mais pour une fréquence déterminée, qui dépend de la valeur des composants des groupes R'C' et R''C''. Pour toutes les autres fréquences, la tension Vr est déphasée par rapport à la tension Vu.

Il en résulte que l'oscillateur ne fonctionne que sur la seule fréquence qui engendre une tension Vr en PHASE avec la tension Vu.

Pour faire varier la fréquence du signal, il suffit de faire varier la valeur des éléments des deux groupes RC.

En pratique, on adopte des valeurs identiques pour les deux résistances ou pour les deux condensateurs, de façon à faciliter le réglage (même axe commandant deux éléments à la fois).

Les deux types d'oscillateurs BF décrits jusqu'à présent sont aussi appelés OSCILLATEURS RC, car leurs circuits de réaction comprennent des résistances et des condensateurs.

Nous allons étudier maintenant un autre type de montage, appelé OSCILLATEUR A TRANSFORMATEUR, son circuit de réaction comprenant un transformateur.

## I - 2 OSCILLATEUR A TRANSFORMATEUR

Le schéma de l'oscillateur BF à transformateur est donné sur la figure 6.

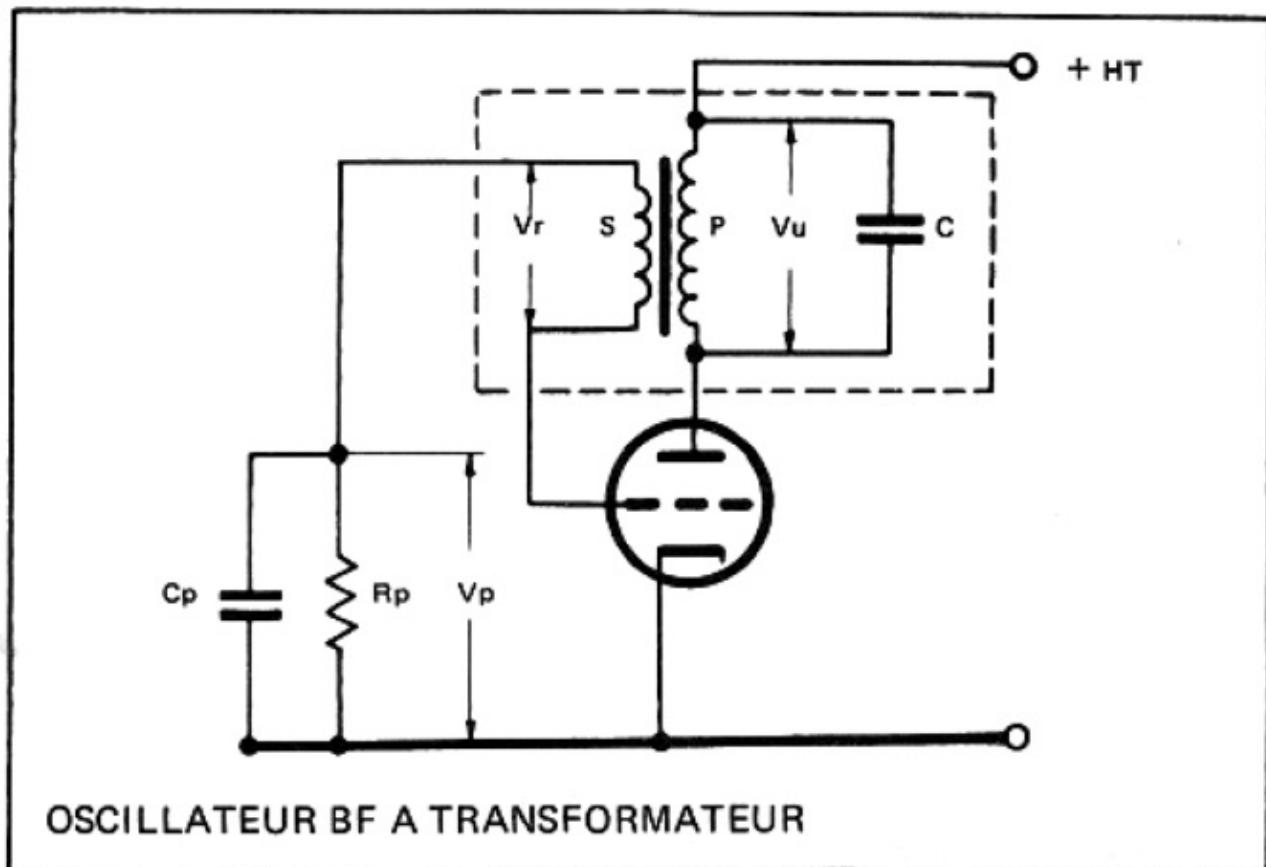


Figure 6

**Nous savons qu'un OSCILLATEUR FONCTIONNE COMME UN AMPLIFICATEUR DONT LE SIGNAL D'ENTREE EST PRELEVE SUR SA SORTIE.**

Cette condition est bien respectée sur l'oscillateur représenté figure 6.

On voit en effet que le signal de sortie  $V_u$  (aux extrémités du primaire  $P$ ) est transféré à l'entrée, par l'intermédiaire du secondaire  $S$ .

On doit remarquer également que la tension de polarisation du tube n'est plus obtenue au moyen d'une résistance cathodique, mais au moyen du groupe  $R_p$   $C_p$  dans le circuit de grille.

Cet oscillateur fonctionne en classe C, alors que les deux oscillateurs précédents fonctionnent en classe A.

Dans le cas de la figure 6, le montage fonctionnant en classe C, il y a un courant de grille qui circule dans la résistance  $R_p$  et détermine la tension de polarisation  $V_p$ .

Celle-ci est maintenue à une valeur constante grâce au condensateur  $C_p$ .

Nous ne nous arrêterons pas pour le moment sur le fonctionnement du groupe  $R_pC_p$ , car nous aurons l'occasion de l'étudier d'une manière plus détaillée quand nous traiterons des amplificateurs de puissance HF.

Pour le moment, nous devons étudier le comportement du circuit de réaction, qui est l'élément fondamental de l'oscillateur.

Ce circuit de réaction comprend un transformateur. Il est donc évident qu'il suffit de choisir correctement le rapport de transformation pour obtenir aux extrémités du secondaire, la valeur désirée pour  $V_r$ .

D'autre part, cette tension  $V_r$  est en phase ou en opposition de phase avec la tension  $V_u$ , selon le sens de branchement des liaisons effectuées aux extrémités du secondaire.

**SI LES DEUX TENSIONS NE SONT PAS EN OPPOSITION DE PHASE (donc si l'oscillateur ne fonctionne pas) IL SUFFIT D'INTERVERTIR LES DEUX EXTREMITES DU SECONDAIRE, POUR OBTENIR LE DEPHASAGE NECESSAIRE.**

Quant à la fréquence de fonctionnement, elle est déterminée par le primaire du transformateur et par le condensateur  $C$ , relié à ses extrémités.

**CETTE FREQUENCE dépend plus exactement de la VALEUR DE L'INDUCTANCE, de l'enroulement et de la valeur capacitive du condensateur.**

Nous verrons d'ailleurs en détails dans la leçon CIRCUITS ELECTRONIQUES 6, consacrée aux oscillateurs, les calculs relatifs à la fréquence de fonctionnement de ces appareils.

## II - CIRCUITS RESONNANTS

Notons d'abord que l'importance primordiale des circuits résonnantes est due essentiellement à leur emploi dans les amplificateurs HF (haute fréquence).

Ainsi, tout ce qui sera dit à propos des circuits résonnantes servira non seulement à compléter l'examen de l'oscillateur BF à transformateur, mais aussi à bien comprendre le fonctionnement des amplificateurs et des OSCILLATEURS HF (que nous verrons dans la leçon 25).

D'une façon générale, on peut dire qu'un CIRCUIT RESONNANT EST CONSTITUE PAR UN BOBINAGE ET UN CONDENSATEUR (voir figure 7-a).

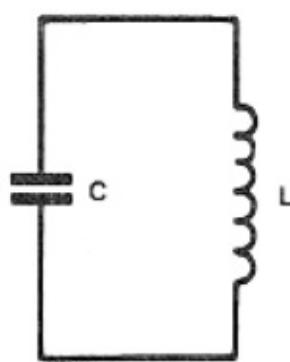
Sur cette figure, est aussi représenté un pendule qui sera utile pour comprendre par analogie, le fonctionnement du circuit résonnant.

En effet, quand un pendule oscille, il donne naissance à des transformations d'énergie semblables à celles qui se produisent dans un circuit résonnant.

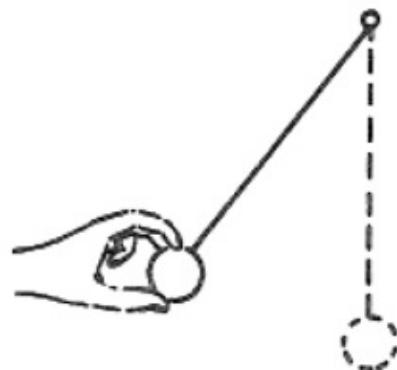
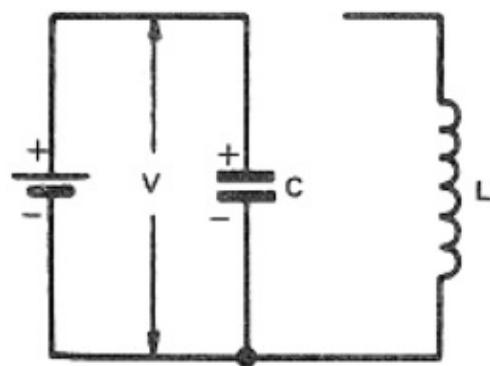
Bien entendu, au même titre qu'il faut fournir une impulsion pour faire osciller le pendule, il faut fournir une énergie au circuit résonnant.

Pour cela, on peut charger le condensateur au moyen d'une pile, après l'avoir déconnecté de la bobine (voir figure 7-b).

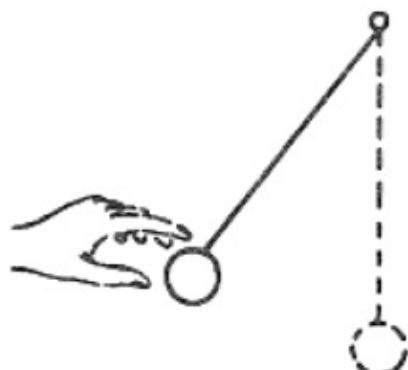
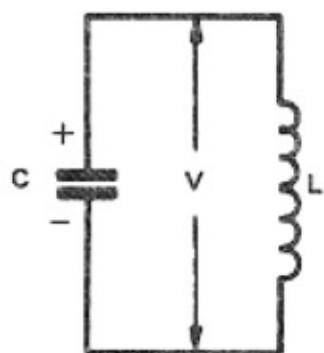
a)



b)



c)



CIRCUIT RESONNANT ET SON ANALOGIE AVEC LE PENDULE

Figure 7

Il est nécessaire qu'au moment de la charge, le condensateur soit déconnecté de la bobine, pour éviter la mise en court-circuit de la pile (nous supposons, en effet, que la bobine ne présente aucune résistance ohmique).

Comme nous le savons, la moitié de l'énergie fournie par la pile pour charger le condensateur est emmagasinée par cet élément, qui crée un champ électrique entre ses armatures.

Sur la figure 7-b, on voit que pour fournir de l'énergie au pendule, il suffit de le déplacer de sa position d'équilibre, désignée par une ligne en pointillé.

En déplaçant le pendule de sa position de repos, il acquiert une certaine énergie potentielle.

Cette énergie potentielle reste constante tant que le pendule est maintenu dans la position indiquée figure 7-b.

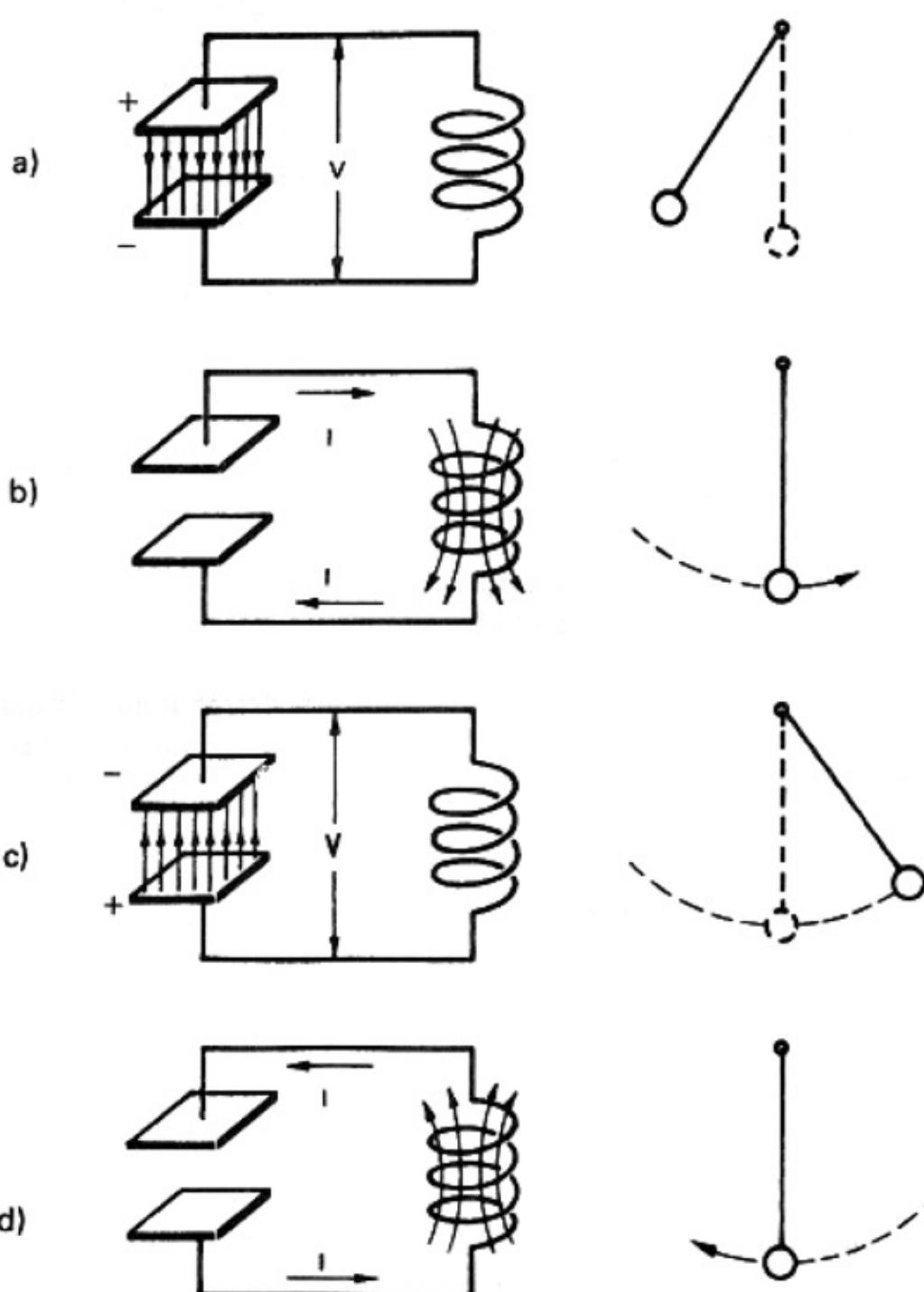
Au contraire, cette énergie varie quand le pendule est lâché (figure 7-c).

De la même façon, après avoir débranché le condensateur de la pile, l'énergie emmagasinée par le condensateur ne varie pas, tant que l'on ne rétablit pas la liaison avec la bobine, comme on le voit sur la figure 7-c.

Nous devons donc étudier ce qui se produit, quand le condensateur CHARGE est relié à la bobine.

La situation en ce moment précis est représentée figure 8-a. Sur cette même figure, on a dessiné le pendule dans la position où il se trouve à l'instant où on le laisse libre de se déplacer.

Evidemment, à partir de cet instant, le pendule retourne vers sa position de repos (figure 8-b), perdant ainsi, à mesure que diminue son niveau, l'énergie potentielle qui lui a été fournie.



COMPORTEMENT D'UN CIRCUIT RESONNANT

Figure 8

Cette énergie n'est pourtant pas détruite, car elle se transforme en énergie cinétique.

Ainsi quand le pendule est de nouveau en position de repos, et qu'il a perdu toute l'énergie potentielle, il possède une énergie cinétique équivalente, due à la vitesse acquise lors de son déplacement.

Dans le cas du circuit résonnant, le condensateur revient aussi en condition de repos, c'est-à-dire dans l'état où il se trouvait avant la CHARGE.

Cela implique qu'il se décharge dans la bobine, et qu'il circule alors dans celle-ci un courant I.

Ce courant est constitué par les charges électriques qui passent d'une armature à l'autre dans le condensateur.

Par suite de ce déplacement, le nombre des charges diminue sur une armature, et augmente sur l'autre, jusqu'à ce que le nombre de charges soit égal sur chaque armature. La tension V a alors une valeur nulle.

La tension étant nulle, le champ électrique du condensateur disparaît ainsi que l'énergie emmagasinée dans ce champ (voir figure 8-b).

Cependant, là aussi, cette énergie électrique n'est pas détruite, mais emmagasinée par la bobine sous forme d'un champ magnétique (dû à la circulation du courant I).

Revenons maintenant au pendule.

Nous pouvons observer que lorsque celui-ci a atteint sa position de repos, il ne s'arrête pas, mais continue à se déplacer en raison de la vitesse acquise.

Cela signifie que l'énergie cinétique se transforme de nouveau en énergie potentielle.

Si nous supposons que le pendule ne rencontre pas de résistance qui freine son mouvement, toute l'énergie cinétique se retransforme en énergie potentielle.

Le pendule atteint donc le même niveau que sur la figure 8-a, mais cette fois à droite de sa position de repos (voir figure 8-c).

Dans le circuit résonnant, on rencontre un comportement analogue.

En effet, grâce à l'énergie emmagasinée par la bobine, le courant continue à circuler dans le montage.

On a donc une augmentation des charges sur une des armatures du condensateur, et une diminution correspondante sur l'autre armature.

Cela signifie qu'entre les armatures du condensateur, s'établit de nouveau une tension V.

L'énergie emmagasinée par la bobine se transforme en énergie électrique dans le condensateur.

Ainsi, de même que l'énergie cinétique du pendule se transforme de nouveau en énergie potentielle, l'énergie magnétique se transforme de nouveau en énergie électrique.

A cet instant, le champ magnétique de la bobine est nul, et le courant prend la valeur zéro alors que la tension reprend la valeur qu'elle avait après la charge d'origine du condensateur (voir figure 8-c).

On retrouve donc les conditions de la figure 8-a, mais il faut remarquer que les polarités aux bornes du condensateur sont inversées.

Cette inversion des polarités, correspond aux positions différentes prises par le pendule par rapport à sa position de repos.

En effet, sur la figure 8-a, le pendule est à gauche, et sur la figure 8-c, il est à droite de sa position de repos.

Quand le pendule atteint la position de la figure 8-c, il a perdu toute son énergie cinétique.

Sa vitesse est nulle, et il s'arrête pour repartir tout de suite vers la gauche, en repassant par la position de repos (figure 8-d) pour laquelle son énergie potentielle s'est de nouveau transformée en énergie cinétique.

Celle-ci lui permet de remonter vers la position de départ (figure 8-a) où il acquiert de nouveau son énergie potentielle.

De la même façon, dès que la tension  $V$  entre les armatures du condensateur a repris la même valeur qu'elle avait sur la figure 8-a, celui-ci commence à se décharger en créant un courant  $I$  qui se dirige de l'armature positive vers l'armature négative (figure 8-d).

Le champ magnétique créé par la bobine est représenté par des lignes de force qui ont le sens contraire de celui de la figure 8-b, le sens du courant qui traverse la bobine étant inversé.

A l'instant considéré sur la figure 8-d, le condensateur étant déchargé, la tension entre ses armatures a de nouveau la valeur zéro.

Comme nous l'avons vu pour la figure 8-b, le courant continue à circuler et il remet le circuit dans les conditions de départ (figure 8-a).

Evidemment, à partir de cet instant, se répète la succession de mouvements que l'on vient de décrire.

Nous voyons donc que, dans le circuit résonnant, se produit continuellement un échange d'énergie entre le condensateur et la bobine.

Cet échange d'énergie provient du fait que le condensateur et la bobine SONT DES ELEMENTS CONSERVATEURS, qui ne dissipent pas l'énergie reçue, mais l'emmagasinent pour la restituer ensuite.

Par suite des charges et des décharges répétées du condensateur, la tension et le courant qui circulent dans le montage, varient entre la valeur zéro et la valeur maximum.

Les mathématiciens ont démontré que ces variations se produisent selon une progression sinusoïdale et nous pouvons dire qu'entre les armatures du condensateur il y a une tension alternative sinusoïdale, tandis que le circuit est parcouru par un courant alternatif, qui a lui aussi une forme sinusoïdale.

Par analogie avec les oscillations du pendule, les variations de la tension et du courant relatives au circuit résonnant sont appelées OSCILLATIONS et les générateurs étudiés dans cette leçon sont aussi appelés "oscillateurs", parce qu'ils donnent lieu à des oscillations de tension et de courant.

La période des oscillations dépend soit de la capacité du condensateur soit de l'inductance de la bobine.

Plus précisément, puisque l'énergie emmagasinée par un condensateur dépend de sa capacité, plus celle-ci est petite, plus la période des oscillations est courte.

Il en est de même en ce qui concerne la bobine. La période des oscillations est fonction de la valeur de l'inductance. Si celle-ci est faible, la période des oscillations est petite.

Au contraire, si ces deux éléments ont une valeur élevée, ils peuvent emmagasiner une plus grande énergie, rendant ainsi plus longue la période des oscillations.

Les mathématiciens ont bien entendu établi la formule qui permet de calculer la période des oscillations d'un circuit résonnant.

Cette formule est la suivante :

$$\begin{aligned} T &= 2 \pi \sqrt{LC} \\ T &= \text{période en seconde} \\ \text{avec } \pi &= 3,14 \text{ (donc } 2\pi = 6,28) \\ L &= \text{valeur de l'inductance en Henry} \\ C &= \text{valeur de la capacité en FARAD.} \end{aligned}$$

On peut donc énoncer : LA PERIODE DES OSCILLATIONS D'UN CIRCUIT RESONNANT S'OBTIENT EN MULTIPLIANT LE NOMBRE 6,28 PAR LA RACINE CARREE DU PRODUIT DE LA VALEUR DE L'INDUCTANCE PAR LA VALEUR DE LA CAPACITE.

Quand on connaît la période des oscillations, il suffit de diviser le nombre 1 par la valeur de la période, pour obtenir la valeur de la fréquence des oscillations, soit :

$$F = \frac{1}{T} \text{ ou encore } F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

**CONCLUSION : UN CIRCUIT RESONNANT PERMET D'OBTE-  
NIR DES OSCILLATIONS DONT LA FREQUENCE DEPEND DE LA  
VALEUR CAPACITIVE DU CONDENSATEUR ET DE LA VALEUR  
INDUCTIVE DE LA BOBINE.**

Nous avons déjà étudié un premier exemple d'application dans le cas de l'oscillateur BF à transformateur de la figure 6.

La fréquence de fonctionnement de celui-ci dépend précisément du circuit résonnant relié à l'anode du tube.

On peut alors se demander pour quelles raisons, on utilise un tube, du moment que le circuit résonnant est suffisant pour obtenir les oscillations.

En réalité, de même que le pendule ne peut pas osciller indéfiniment en raison de la résistance présentée par l'air et par le pivot, de même le circuit résonnant ne peut pas osciller en permanence en raison des pertes introduites par les résistances toujours présentes dans un circuit.

Pour maintenir les oscillations, il faut donc fournir une énergie au circuit résonnant pour compenser ces pertes.

Le tube a précisément cette fonction, et celle-ci sera étudiée lorsque nous traiterons des amplificateurs HF en classe C.

### III - EMPLOI DES GENERATEURS BF

Au début de cette leçon, nous avons dit que les générateurs BF sont d'un emploi courant en laboratoire.

Pour vous permettre de bien comprendre l'utilité de ces appareils, classés dans la catégorie "appareils de mesures ou de contrôle", nous allons vous donner quelques exemples de mesures où le générateur BF s'avère indispensable.

Précisons dès maintenant que ces appareils sont le plus souvent munis de deux réglages.

a) LE REGLAGE EN FREQUENCE : Celui-ci permet de régler la fréquence de fonctionnement du générateur, qui pour un générateur BF est généralement comprise entre quelques Hertz et 100 000 Hertz environ.

b) LE REGLAGE TENSION DE SORTIE (ou ATTENUATION), permettant de faire varier pour toutes les fréquences la tension de sortie entre quelques millivolts et quelques volts.

A titre d'exemple, voici d'ailleurs les caractéristiques du générateur BF GX 204A de METRIX (METRIX est le nom d'une importante firme française, spécialisée dans la construction des appareils de mesures).

### GENERATEUR GX 204A

Fréquence: 15 Hz à 160 kHz en quatre gammes (15 à 160 Hz - 150 à 1600 Hz - 1,5 à 16 kHz - 15 à 160 kHz).

### PRECISION EN FREQUENCE

de 15 à 30 Hz :           ± 0,5Hz  
de 30 à 16 kHz :       ± 2 %  
de 16 kHz à 160 kHz : ± 3 %

### DISTORSION

inférieure à 1,5% jusqu'à 20 kHz  
inférieure à 3,5% de 20 à 160 kHz

### TENSION DE SORTIE

0 à 3 volts - réglage par ATTENUATEUR progressif.

Dans ces caractéristiques, le terme "ATTENUATEUR PROGRESSIF" signifie que l'on peut faire varier régulièrement la TENSION DE SORTIE entre 0 et 3 Volts.

Cette précision est nécessaire, car souvent ce réglage se fait par "bond" (on dit aussi par "saut").

Dans ce cas un commutateur à plusieurs positions permet d'avoir par exemple :

100 mV - 1 V - 2 V et 3 V.

S'il s'agit d'un ATTENUATEUR PROGRESSIF, la commande se fait par POTENTIOMETRE.

Maintenant que nous avons vu comment se présente en pratique un générateur BF, nous pouvons passer à son emploi.

### III - 1 - MESURES RELATIVES A LA BANDE PASSANTE D'UN AMPLIFICATEUR

Dans les leçons précédentes, nous avons vu la signification de BANDE PASSANTE ou LARGEUR DE BANDE d'un amplificateur.

Cette caractéristique indique les fréquences normalement reproduites par l'amplificateur, sans atténuation notable.

Pour le relevé de la Bande Passante, il faut donc disposer d'un générateur BF (branché à l'entrée de l'amplificateur) et d'un appareil de mesures (contrôleur universel par exemple) branché à la sortie de l'amplificateur.

On règle le générateur BF sur une tension donnée (500 mV par exemple) et on fait varier la fréquence de celui-ci entre 20 et 10000 Hz par exemple.

Au fur et à mesure que la fréquence varie, on note la valeur de la tension de sortie, indiquée par le contrôleur.

A la fin de l'opération, on peut ainsi tracer la courbe illustrant le comportement de l'amplificateur aux différentes fréquences.

En remplaçant le contrôleur universel par un OSCILLOSCOPE (appareil permettant de visualiser sur un écran, la forme des signaux), on peut de la même façon relever la BANDE PASSANTE et noter les éventuelles DISTORTIONS en fonction des fréquences et des tensions d'entrée.

### III - 2 - MESURES D'IMPEDANCES

Les générateurs BF sont également utilisés pour les mesures d'impédances des appareils et des composants les plus divers.

Vous avez déjà vu quelques exemples d'applications à ce sujet dans la leçon pratique 14.

Voici encore une application pratique concernant les HAUT-PARLEURS.

Ceux-ci sont essentiellement constitués par une BOBINE MOBILE solidaire d'une membrane. Cette bobine se déplace dans le champ d'un aimant.

Parmi les caractéristiques importantes d'un haut-parleur, il faut citer L'IMPEDANCE de celui-ci, c'est-à-dire la résistance de la bobine mobile à une fréquence donnée.

L'IMPEDANCE d'un haut-parleur, sauf spécification contraire est donnée pour une fréquence de 800 Hz.

Ainsi, pour déterminer l'impédance d'un haut-parleur il faut disposer d'un générateur BF fonctionnant sur 800 Hz.

La mesure est alors simple et le schéma de la figure 9 représente le montage à adopter.

On mesure le potentiel A-B puis le potentiel B-C et l'on agit sur le curseur du potentiomètre, de façon à avoir :  $V_{AB} = V_{BC}$ .

Lorsque ces deux potentiels sont égaux, la valeur de la RESISTANCE OHMIQUE du potentiomètre (mesurée entre A et B à l'aide d'un ohmmètre) est EGALE A L'IMPEDANCE DU HAUT-PARLEUR.

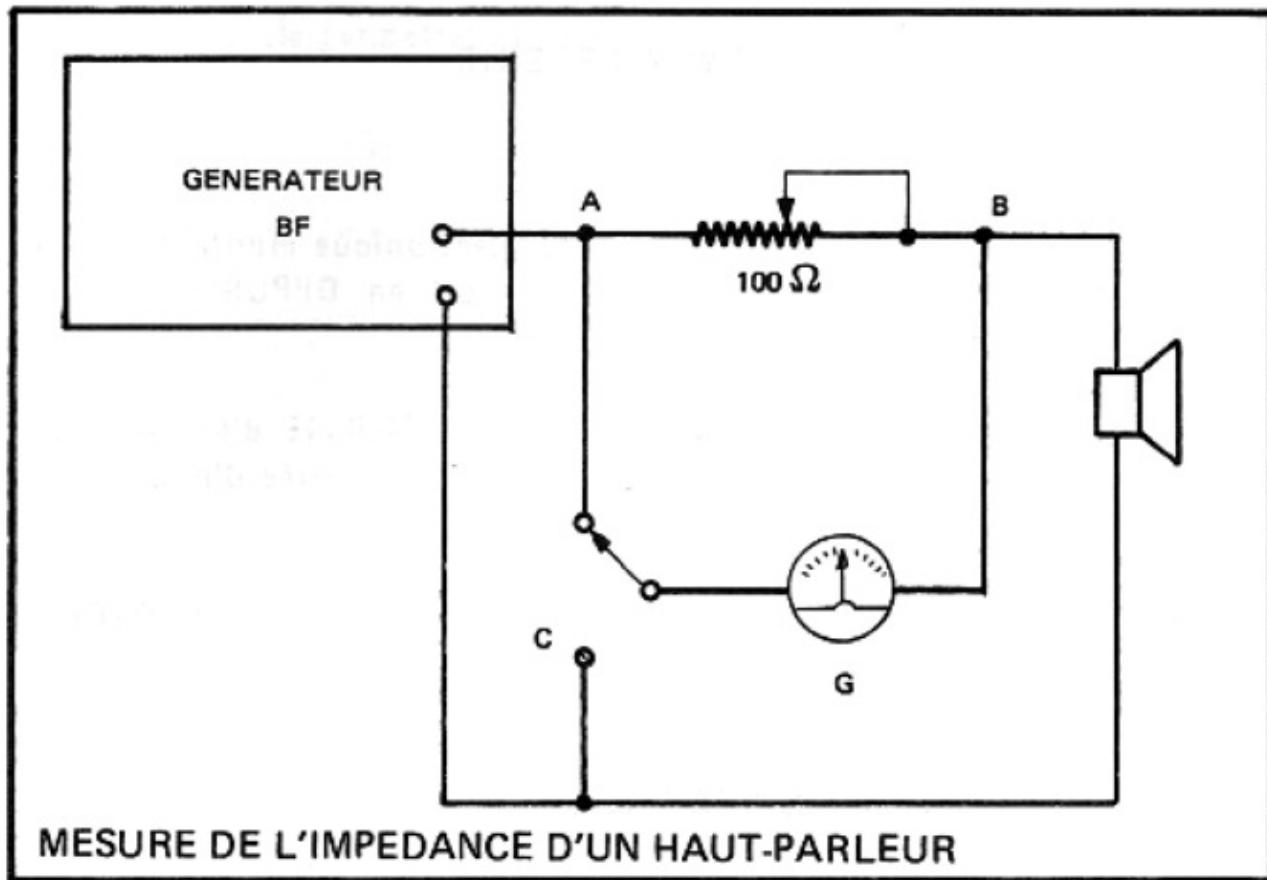


Figure 9

Dans la prochaine leçon nous reviendrons encore sur les circuits résonnantes objets du chapitre 2, pour examiner les DIFFERENTES CAUSES DE PERTES introduites par ces circuits et nous verrons leur importance dans les AMPLIFICATEURS HF.

\*\*\*\*\*

### NOTIONS A RETENIR

- La TENSION DE SORTIE d'un tube électronique monté de façon classique (CATHODE A LA MASSE) est en OPPOSITION DE PHASE par rapport à la TENSION D'ENTREE.
- En prélevant une partie de la TENSION DE SORTIE d'un montage et en la réinjectant en PHASE avec la tension d'entrée d'origine, on obtient une REACTION.
- La REACTION est la base du fonctionnement de tous les OSCILLATEURS, aussi bien BF que HF.
- Les différents types d'oscillateurs ne diffèrent entre eux que par la conception du circuit de REACTION.
- Dans le domaine des OSCILLATEURS BF on distingue trois catégories fondamentales :
  - a) Les OSCILLATEURS à DEPHASAGE
  - b) Les OSCILLATEURS à PONT DE WIEN
  - c) Les OSCILLATEURS à TRANSFORMATEUR.
- Les OSCILLATEURS à DEPHASAGE sont le plus souvent désignés sous l'appellation d'OSCILLATEURS R.C.
- Un OSCILLATEUR à PONT DE WIEN nécessite l'emploi de DEUX COMPOSANTS ACTIFS (deux tubes électroniques ou deux transistors).
- Un circuit résonnant permet d'obtenir des oscillations, dont la fréquence dépend de la valeur capacitive du condensateur et de la valeur inductive de la bobine.

- La formule permettant le calcul de la fréquence :

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

peut aussi, en élevant tous les membres au carré, s'écrire :

$$f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}$$

- Cette version de la formule d'origine, en permettant la suppression de l'extraction de la racine carrée  $\sqrt{LC}$ , peut dans bien des cas faciliter les calculs.

En particulier, il devient plus facile, connaissant la fréquence  $f$ , d'extraire  $L$  ou  $C$ .

Nous avons en effet :

$$L = \frac{1}{4\pi^2 Cf^2} = \frac{1}{C\omega^2} \text{ et}$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 Lf^2} = \frac{1}{L\omega^2}$$

**EXEMPLE :** Un circuit oscillant dont la fréquence de travail doit être de 100 000 Hz est équipé avec une bobine  $L = 500\mu\text{H}$ . Quelle doit être la valeur du condensateur ?

On applique la formule :

$$C = \frac{1}{L\omega^2} = \frac{1}{(500 \times 10^{-6}) \times (40 \times 1 \times 10^{10})}$$

$$C = \frac{1}{500 \times (40 \times 10^4)} = 0,005 \mu\text{F} \text{ soit } C = 5 \text{ nF}$$

**NOTA :** Pour simplifier on a pris :

$$\pi^2 = 10 \text{ soit } 4\pi^2 = 40$$

- De même  $100\ 000 \text{ Hz} = 1 \times 10^5$  et  $(1 \times 10^5)^2 = 10^{10}$
- Pour  $L = 500 \mu\text{H}$  nous avons  $500 \times 10^{-6}$ .

Dans la formule finale, comme nous avons

$$(500 \times 10^{-6}) \times (40 \times 10^{10}) \text{ on peut écrire}$$

$$10^{-6} \times 10^{10} = 10^4 \text{ soit } 500 \times 40 \times 10^4.$$

Remarquez également que nous avons conservé la valeur absolue de  $L = 500 \mu\text{H}$  en écrivant  $500 \times 10^{-6}$  pour la conversion en Henry.

On aurait pu tout aussi bien écrire  $L = 5 \cdot 10^{-4}$  pour supprimer les deux zéros.

Dans ce cas nous aurions eu :

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{(5 \times 10^{-4}) \times (40 \times 1 \times 10^{10})} \\ &= \frac{1}{5 \times (40 \times 1 \times 10^6)} \end{aligned}$$

ce qui revient au même et donne évidemment le même résultat.

En effet :

$$500 \times (40 \times 10^4) = 200\ 000\ 000 \text{ et}$$

$$5 \times (40 \times 10^6) = 200\ 000\ 000 \text{ soit } 2 \times 10^8$$

Comme vous pouvez le voir la méthode des calculs avec les puissances de 10, permet d'éliminer les zéros et évite des erreurs.

En ce qui concerne  $\pi^2 = 10$ , cette approximation n'introduit qu'une erreur parfaitement négligeable.

En effet :

$$\pi^2 = 3,14 \times 3,14 = 9,85$$

valeur peu différente de 10, surtout si l'on se souvient que la tolérance sur la valeur nominale d'un condensateur est très large.

Dans la plupart des cas nous avons pour les condensateurs une tolérance de  $\pm 20\%$ (souvent même  $-20 + 80\%$ ).

Ainsi un condensateur avec une tolérance de  $\pm 5\%$  est déjà un composant très précis.

Aussi, dans les calculs du type de celui de l'exemple donné, il est parfaitement inutile de rechercher une précision supérieure à celle des composants en jeu dans le circuit.



**EXERCICE DE REVISION SUR LA THEORIE 21**

- 1) Quel est le rôle des générateurs BF ?
- 2) Quelle différence y-a-t-il entre un amplificateur et un oscillateur ?
- 3) Quels sont les types d'oscillateurs BF communément employés ?
- 4) Par quels éléments est constitué le circuit de réaction d'un oscillateur à déphasage ?
- 5) Combien de tubes faut-il pour réaliser un oscillateur à pont de Wien ?
- 6) Pour obtenir le fonctionnement d'un oscillateur à pont de Wien a-t-on recours à la réaction positive ou à la réaction négative ?
- 7) Par quel élément est déterminée la fréquence de fonctionnement de l'oscillateur à transformateur ?
- 8) Comment calcule-t-on la période des oscillations d'un circuit résonnant ?



**REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR  
LA THEORIE 20**

- 1) Le coefficient de **CONTRE-REACTION** indique dans quelles proportions, la **TENSION DE SORTIE** est reportée en **OPPOSITION DE PHASE** par rapport au signal d'entrée, sur le **CIRCUIT D'ENTREE**.
- 2) Le taux de **REACTION** indique dans quelles proportions, la **TENSION DE SORTIE** est reportée en **PHASE** par rapport au signal d'entrée, sur le **CIRCUIT D'ENTREE**.
- 3) Le gain d'un amplificateur diminue en présence d'un circuit de **CONTRE REACTION**. Le gain est donc inférieur.
- 4) La bande passante d'un amplificateur double, si la contre-réaction réduit le gain de moitié.
- 5) On appelle **CONDITIONS D'ACCROCHAGE**, les conditions de travail d'un montage, passant de la fonction **AMPLIFICATEUR** à la fonction **OSCILLATEUR**.
- 6) Pour le réglage de la **REACTION**, on peut facilement agir sur **L-C** ou **R**.
- 7) Dans un récepteur à réaction on peut parfaitement utiliser la **REACTION** dans l'étage détecteur amplificateur et la **CONTRE-REACTION** dans l'étage amplificateur BF de puissance.
- 8) Le régime oscillatoire d'un récepteur à Super-Réaction est inaudible, car la fréquence d'interruption des oscillations se produit à la fréquence minimum de 20 kHz et l'oreille humaine ne perçoit plus les **SONS** au-delà de 15kHz environ.

