



THEORIE

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

I - OSCILLATEURS HF

L'étude des amplificateurs de tension et de puissance HF étant terminée, nous allons voir les oscillateurs HF. Ceux-ci ont une grande importance en ELECTRONIQUE en raison de leurs nombreuses applications.

En effet, de même que les oscillateurs BF, les oscillateurs HF sont utilisés dans les laboratoires. Ils permettent de faire des essais sur les tensions HF à fréquence variable, comme par exemple, la détermination des courbes de résonance des circuits résonnants (on dit aussi circuits oscillants).

Ils sont par ailleurs très utilisés en TELECOMMUNICATIONS aussi bien à l'émission qu'à la réception, non seulement en radio mais aussi en TELEVISION, TELEVISION COULEURS, TELEPHONIE, AIDES A LA NAVIGATION (RADAR – BALISES – GONIOMETRIE etc...), de même qu'en ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE où on peut les trouver dans divers circuits d'ASSERVISSEMENT, de CONTROLE, D'ALARME, etc...

I - 1 - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES OSCILLATEURS HF

LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES OSCILLATEURS HF est le même que CELUI DES OSCILLATEURS BF.

Ces deux types d'oscillateurs ne diffèrent que par les solutions différentes adoptées pour la réalisation pratique de leurs circuits.

POUR LES OSCILLATEURS BF, ON UTILISE DE PREFERENCE LES CIRCUITS RC, qui sont constitués, comme nous l'avons vu dans les leçons précédentes, par des résistances et des condensateurs.

Au contraire, POUR LES OSCILLATEURS HF, ON UTILISE LARGEMENT LES CIRCUITS RESONNANTS CONSTITUES PAR DES BOBINAGES ET DES CONDENSATEURS.

Cette différence est due au fait que dans le domaine des basses fréquences, il faut des bobinages de forte inductance. Au contraire, dans le domaine des fréquences élevées, une inductance faible est suffisante.

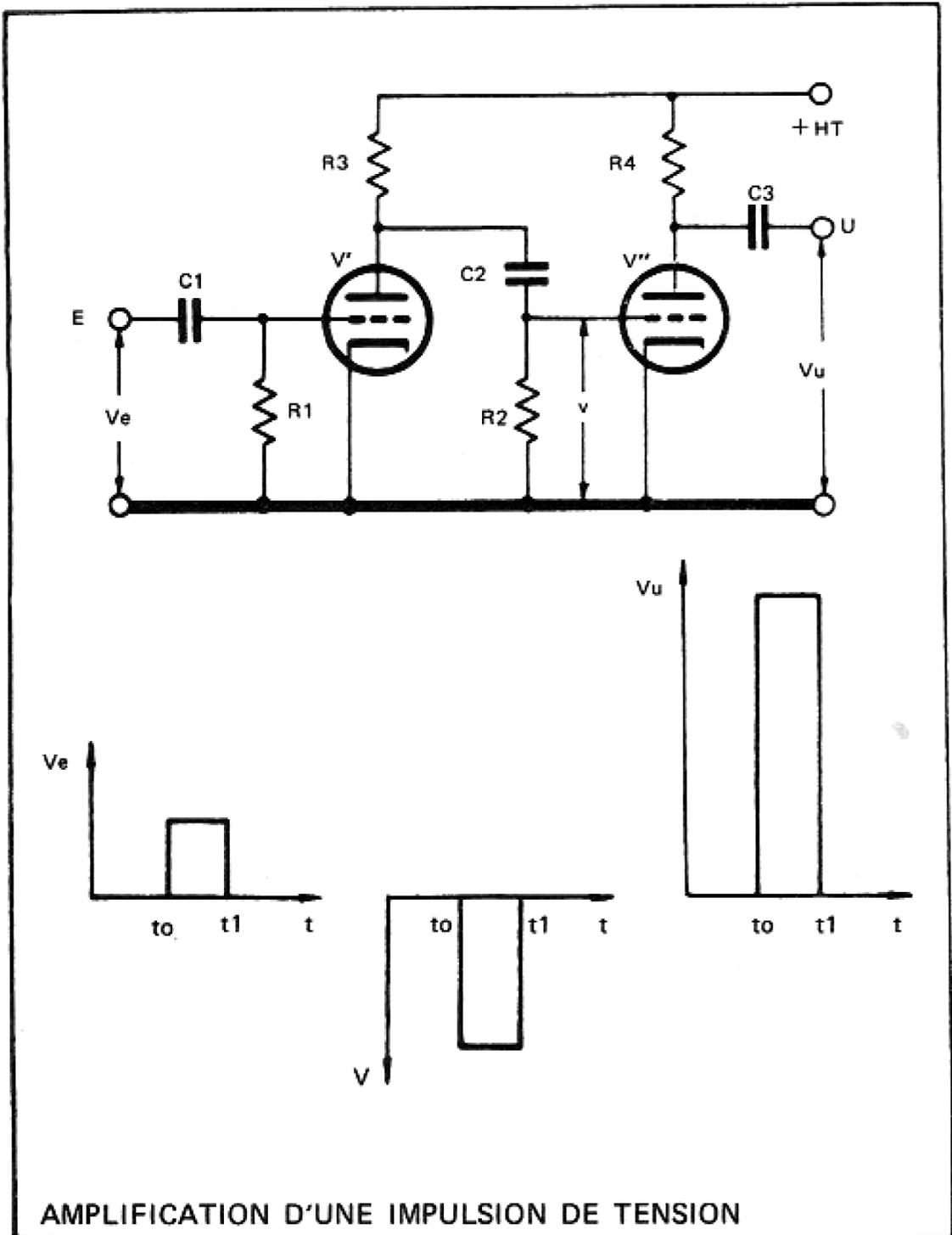
Nous pouvons rappeler par exemple, que l'oscillateur BF à transformateur nécessite un transformateur assez complexe, muni d'un noyau ferromagnétique fermé constitué par un paquet de tôles.

Dans le cas des oscillateurs HF, l'inductance très petite est obtenue par un bobinage sans noyau, donc de construction beaucoup plus simple.

Dans quelques cas, mais uniquement dans le but de permettre le réglage de l'inductance, on utilise un noyau peu volumineux, placé à l'intérieur du bobinage (le plus souvent, ce noyau est fileté, et peut se visser ou se dévisser dans le mandrin qui supporte le bobinage).

Le principe de fonctionnement étant le même, nous pouvons suivre pour les oscillateurs HF le même raisonnement que pour les oscillateurs BF, et partant d'un amplificateur, le transformer en un oscillateur.

Prenons pour exemple l'amplificateur à résistances et capacités à deux étages dont le schéma est reporté sur la figure 1.



AMPLIFICATION D'UNE IMPULSION DE TENSION

Figure 1

Nous notons que les deux tubes ne sont pas polarisés, car leurs grilles sont au même potentiel que la cathode qui est reliée directement à la masse.

Supposons maintenant que l'on applique à l'entrée de l'amplificateur une **IMPULSION POSITIVE** de tension c'est-à-dire une tension V_e comme indiqué sur la figure 1.

On peut obtenir cette impulsion, en touchant par exemple pendant un temps très bref le point E de l'amplificateur avec le pôle positif d'une pile dont le pôle négatif est relié à la masse.

Sur la figure 1, le temps durant lequel se produit le contact avec le point E est compris entre les instants indiqués par t_0 et t_1 .

Par l'intermédiaire du condensateur C1, l'impulsion de tension positive arrive aux extrémités de la résistance R1 et se trouve ainsi appliquée entre la grille du tube V' et la masse.

Par conséquent, la grille du tube V' devient positive par rapport à la cathode et le courant anodique qui traverse le tube V' augmente.

Cette augmentation du courant produit une chute de tension aux extrémités de la résistance R3 et la tension anodique du tube V' diminue donc pendant un temps égal à celui durant lequel l'impulsion est appliquée à la grille.

Entre l'anode et la masse du tube V', on obtient ainsi une impulsion de tension qui est en opposition de phase avec celle qui est appliquée à la grille du tube.

En effet, alors que l'impulsion appliquée à la grille est positive, l'impulsion correspondante obtenue sur l'anode est négative (et provient de la chute de tension aux bornes de R3, provoquée par l'augmentation du courant anodique).

Cette impulsion, appliquée par l'intermédiaire du condensateur C2 aux extrémités de la résistance R2, c'est-à-dire entre la grille du tube V'' et la masse, détermine une diminution analogue de la tension de grille du tube V''.

Cette tension V entre la grille du tube V'' et la masse est représentée figure 1. On voit que jusqu'à l'instant t0, la grille est au même potentiel que la cathode, tandis qu'entre cet instant et l'instant t1, la grille devient négative par rapport à la cathode en raison de l'IMPULSION NEGATIVE appliquée.

Puisque la grille du tube V'' est devenue négative par rapport à la cathode, le courant qui traverse le tube diminue ainsi que la chute de tension aux extrémités de la résistance anodique R4.

Par conséquent, la tension anodique du tube V'' subit une augmentation pendant un temps égal à celui durant lequel l'impulsion est appliquée à la grille.

Entre l'anode du tube V'' et la masse, on obtient ainsi une impulsion de tension qui est dans ce cas encore en opposition avec celle qui est appliquée à la grille du tube.

En effet, alors que l'impulsion appliquée à la grille est négative, l'impulsion correspondante obtenue sur l'anode, est positive (et provient d'une chute de tension moins importante aux bornes de R4, due à une diminution du courant anodique).

Au moyen du condensateur C3, qui bloque la composante continue de la tension anodique, on peut obtenir à la sortie de l'amplificateur une tension Vu de la forme indiquée sur le diagramme de la figure 1.

D'après ce diagramme, on voit que jusqu'à l'instant t0, il n'y a aucun signal à la sortie de l'amplificateur. Entre l'instant t0 et t1, on obtient une impulsion de tension positive qui est en phase avec celle

appliquée à l'entrée (sur la grille de V') mais d'amplitude plus grande.

Nous voyons ainsi que l'amplificateur fonctionne selon les principes décrits dans la leçon précédente, bien que maintenant le signal ne soit pas constitué par une tension sinusoïdale, mais par une impulsion de tension (c'est-à-dire par une tension qui varie brusquement entre deux valeurs).

Dans cet exemple, nous avons supposé qu'on appliquait à l'amplificateur une impulsion de tension pour le motif que nous verrons plus tard.

Imaginons maintenant que l'on branche directement la sortie de l'amplificateur à son entrée au moyen d'un simple conducteur relié entre les points U et E, comme on le voit sur la figure 2-a.

Le condensateur C3 a été éliminé car le condensateur C1 est suffisant pour empêcher la composante continue de la tension anodique du tube V'' d'arriver sur la grille du tube V' .

Grâce à la liaison effectuée, l'impulsion obtenue à la sortie de l'amplificateur peut être reportée à son entrée. Toutefois, cette impulsion est en phase avec celle qui est appliquée à l'entrée, et le circuit peut fonctionner en oscillateur. Il produit lui-même des oscillations sans qu'il soit nécessaire de lui appliquer un signal de l'extérieur.

Ce montage que vous reconnaissez, est appelé **MULTIVIBRATEUR** (théorie 23).

Le schéma de la figure 2-b est identique à celui de la figure 2-a mais présente l'avantage d'une plus grande clarté.

On peut considérer le multivibrateur comme un oscillateur en mesure de produire des signaux BF ou des signaux HF.

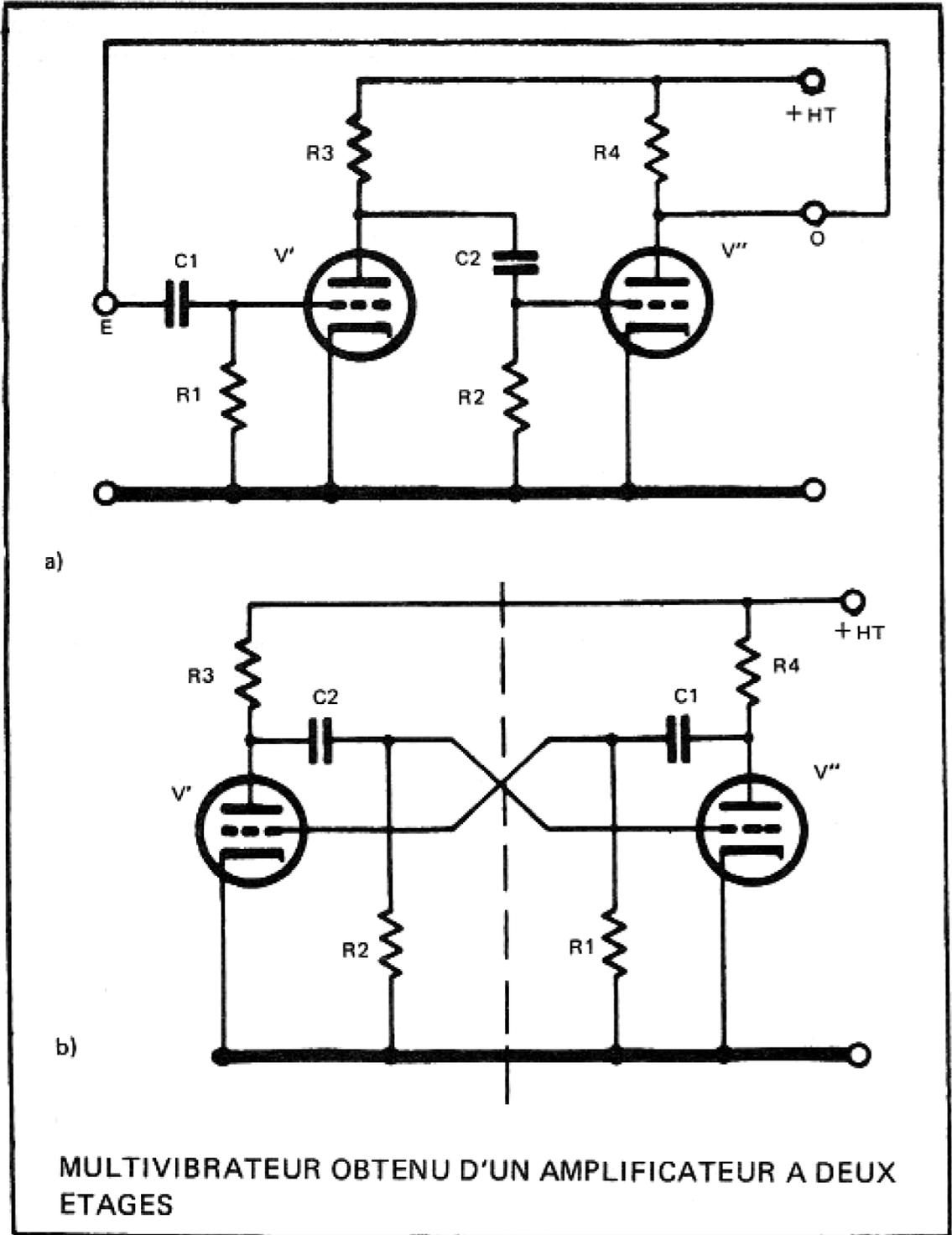


Figure 2

Dans la pratique, pourtant, sauf cas particuliers, le multivibrateur n'est pas utilisé en HF et pour cette gamme de fréquence, on emploie de véritables oscillateurs HF (c'est-à-dire des oscillateurs qui fournissent directement les oscillations sinusoïdales HF).

L'étude du multivibrateur permet de mettre en évidence les principes de fonctionnement valables en général pour tous les oscillateurs.

En effet, pour faire fonctionner un amplificateur en oscillateur, il faut reporter à son entrée le signal de sortie, de façon telle qu'il soit en phase avec le signal d'entrée. En somme, il faut munir l'amplificateur d'un circuit de réaction positive.

Dans le cas du multivibrateur, la totalité du signal de sortie est reportée à l'entrée, et ainsi, en raison de l'importante amplitude, les tubes sont portés à l'interdiction.

Ils fournissent en conséquence, des signaux carrés et non des signaux sinusoïdaux. Pour obtenir ceux-ci, il faudra donc procéder à l'ATTENUATION du signal restitué, c'est-à-dire à la réduction de son amplitude.

Nous verrons que dans tous les oscillateurs HF, sont employés les circuits résonnants qui servent à déterminer la fréquence.

1 - 2 - CIRCUITS FONDAMENTAUX D'OSCILLATEURS HF

Examinons le circuit d'amplification de la figure 3-a.

Dans la plaque de la triode se trouve UN CIRCUIT OSCILLANT LC. La grille du tube est attaquée par un générateur HF qui applique un signal alternatif de fréquence égale à la fréquence de résonance du circuit LC de plaque.

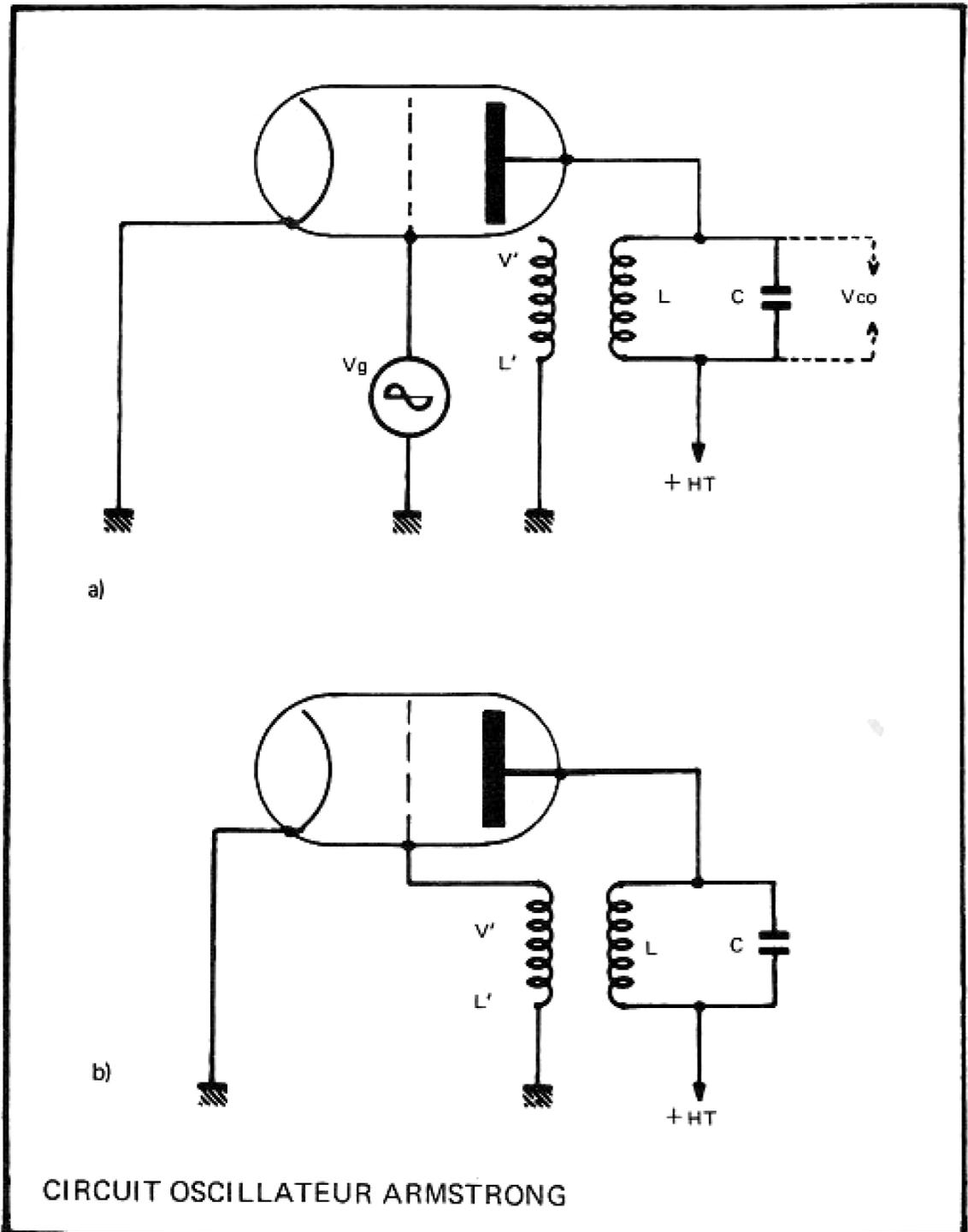


Figure 3

Pour ce signal, le circuit LC se comporte donc comme une résistance et on obtient aux bornes du circuit oscillant, une tension alternative de fréquence f_0 , en opposition de phase avec la tension de grille, et d'amplitude beaucoup plus grande que V_g .

Examinons maintenant la self L' couplée magnétiquement avec la self L . Les variations de tension aux bornes du circuit oscillant (donc aux bornes de L) produisent des variations de courant dans L .

Il existe donc une force électromotrice induite dans L' . On retrouve ainsi aux bornes de L' , une tension alternative de fréquence f_0 et d'amplitude V' .

Cette tension est en phase ou en opposition de phase avec la tension VCO suivant le sens des enroulements de L et L' .

Supposons que nous ayons choisi un sens des enroulements DE FACON TELLE QUE V' SOIT EN PHASE AVEC V_g . L'amplitude de V' de cette tension dépendra du degré de couplage entre L et L' .

Ajustons ce couplage de manière que l'amplitude V' soit exactement égale à V_g . Nous avons un amplificateur qui fournit aux bornes de L' une tension rigoureusement égale à celle qui est appliquée à la grille, c'est-à-dire MEME FREQUENCE, MEME AMPLITUDE et MEME PHASE.

Cela acquis, imaginons que nous commutions la grille de la triode sur la self L' pour obtenir le schéma de la figure 5-b. Le fonctionnement reste exactement le même, puisque la grille retrouve sur L' une tension rigoureusement égale à celle que lui fournissait le générateur.

Le montage oscille sans avoir besoin du générateur : on dit qu'il est auto-oscillant, ou oscillateur.

Mais ceci n'a été possible qu'à deux conditions :

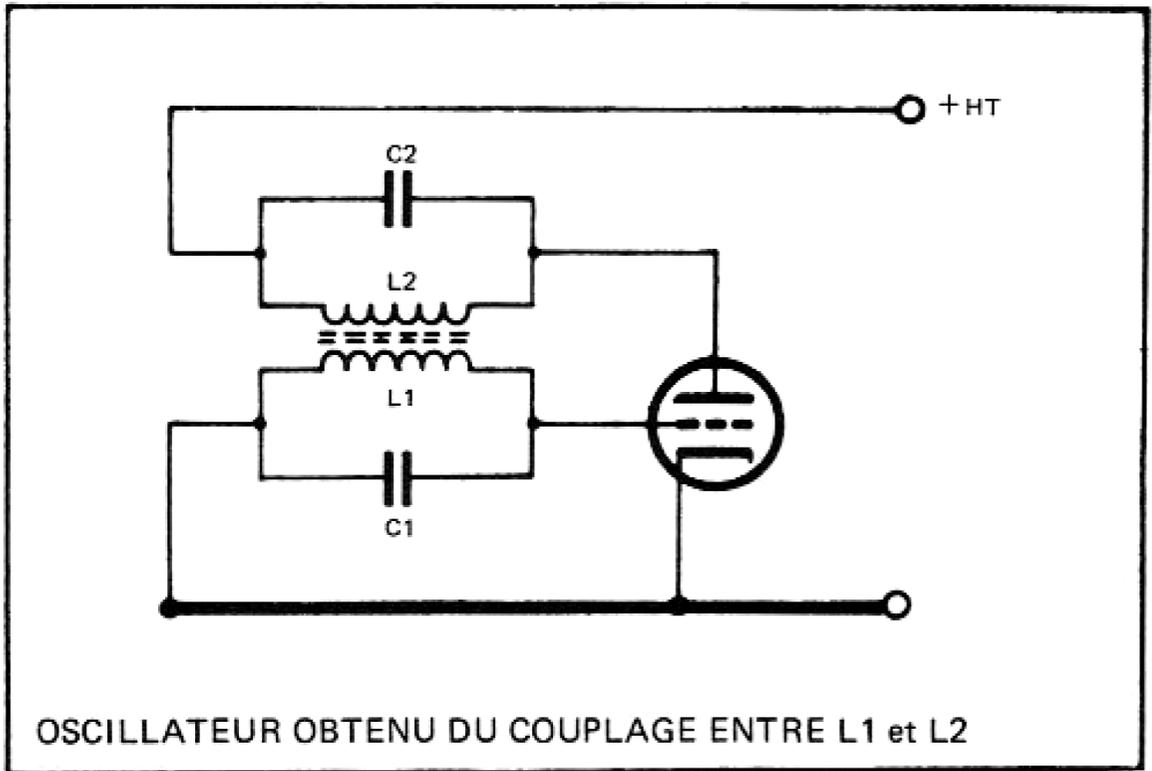


Figure 4

1) La tension V' doit être en phase avec la tension V_g . Il faut donc que la fréquence de V' soit exactement égale à la fréquence de résonance f_0 du circuit de plaque.

L'OSCILLATEUR NE PEUT DONC FONCTIONNER QUE SUR UNE SEULE FREQUENCE, QUI EST IMPOSEE PAR SON CIRCUIT DE PLAQUE.

2) La tension V' doit avoir exactement la même amplitude que celle du générateur qui a permis l'amorçage des oscillations. Examinons d'un peu plus près cette deuxième condition.

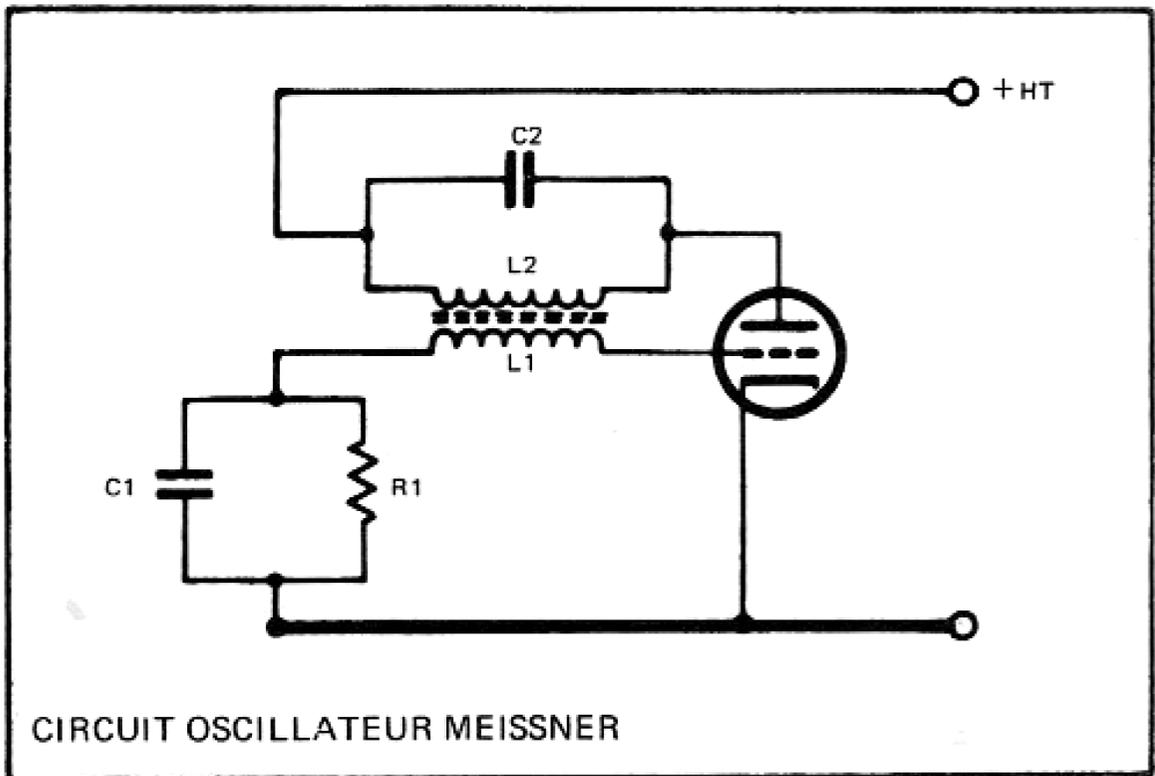


Figure 5

Supposons d'abord que le couplage soit trop faible : V' a alors une amplitude inférieure à V_g . Dès qu'on aura commuté la grille, elle se trouvera attaquée par V' qui est plus petit que V_g .

La tension VCO aux bornes du circuit oscillant diminue donc, entraînant une diminution de V' , qui était déjà trop faible. Les oscillations s'arrêtent donc très vite, et le montage ne peut pas osciller seul.

Supposons maintenant que le couplage soit trop fort : V' a donc une amplitude plus grande que V_g . Revenons alors à la figure 5-a, et augmentons l'amplitude de V_g en agissant sur le générateur.

La tension VCO va augmenter aussi, mais pas indéfiniment tandis que l'on peut toujours augmenter V_g .

Il arrivera donc fatalement un moment où VCO augmentera moins vite que V_g , donc un moment où l'amplitude V' redeviendra égale à celle de V_g . Le montage pourra donc continuer à osciller.

Nous en concluons que pour qu'un oscillateur fonctionne, il faut que le couplage ait au moins une certaine valeur. Si celui-ci est plus fort que nécessaire, l'oscillateur fonctionne toujours, mais avec une amplitude plus grande.

Il reste à voir comment les oscillations peuvent démarrer sans l'aide d'un générateur.

C'est très simple : au moment où l'on applique la haute tension sur la plaque de la triode, le courant plaque s'établit brusquement en traversant la self L . Cela produit dans le circuit oscillant LC des oscillations qui sont justement à la fréquence de résonance f_0 .

Si le couplage entre L et L' est insuffisant, ces oscillations s'amortissent rapidement. Si au contraire, le couplage est égal ou supérieur à la valeur nécessaire, l'amplitude des oscillations croît jusqu'à la valeur déterminée par le couplage.

Dans ces conditions, le montage peut osciller seul.

LE FONCTIONNEMENT DE TOUS LES OSCILLATEURS EST BASE SUR CE PRINCIPE DE REACTION POSITIVE.

Cela signifie que le signal de sortie (pris sur le circuit oscillant) est reporté en phase sur le circuit d'entrée (circuit grille) de façon à créer des oscillations dont la fréquence est déterminée par réglage d'un oscillant LC qui peut se trouver dans le circuit anodique, ou dans le circuit grille.

Sur la figure 4, on voit par exemple, comment le circuit de la figure 3-a peut fonctionner en oscillant au moyen d'un couplage magnétique entre les deux bobines L1 et L2.

Ces bobinages ont été dessinés proches l'un de l'autre et entre-eux, on a aussi tracé une double ligne en pointillé qui représente le noyau ferromagnétique sur lequel ils sont enroulés.

Nous voyons que le noyau n'est plus représenté par un seul trait plein, comme on l'a fait au contraire pour les transformateurs d'alimentation et de basse fréquence.

En effet, maintenant il ne s'agit plus de noyau formé de tôles de fer et de silicium, car les courants HF induiraient des courants parasites importants qui donneraient lieu à une dissipation de puissance considérable.

Pour les transformateurs HF, on utilise des noyaux réalisés avec des poussières de fer collées par des substances plastiques et agglomérantes, dans lesquelles les courants parasites induits et les pertes sont faibles.

En pratique, on utilise le CIRCUIT OSCILLATEUR MEISSNER de la figure 7, obtenu en éliminant le circuit oscillant de grille et en le remplaçant par un simple enroulement L1 (appelé ENROULEMENT DE REACTION).

En plus, dans le circuit de la figure 5 a été ajouté le groupement R1 C1 pour l'autopolarisation de grille, le tube fonctionnant en classe C comme les amplificateurs de puissance HF.

Ce groupement R1 C1 sert à maintenir l'amplitude des oscillations constante.

En effet, SI L'AMPLITUDE DES OSCILLATIONS AUGMENTE, LE COURANT DE GRILLE AUGMENTE AUSSI DE MEME QUE LA

TENSION DE POLARISATION QU'IL PRODUIT EN TRAVERSANT LA RESISTANCE R1.

Celle-ci réduit l'amplification du tube et les oscillations reprennent donc l'amplitude primitive.

Au contraire, SI L'AMPLITUDE DES OSCILLATIONS DIMINUE, LE COURANT DE GRILLE ET LA POLARISATION DIMINUENT AUSSI. Celle-ci provoque alors une augmentation de l'amplification du tube et dans ce cas aussi, les oscillations reprennent l'amplitude primitive.

Pour le fonctionnement de l'oscillateur, il suffit de remarquer que son circuit est identique à celui de l'oscillateur à transformateur. Tout ce qui a été dit à ce sujet est donc valable dans ce cas.

Les inducteurs L1 et L2 de la figure 5 se comportent comme les enroulements d'un transformateur. Etant donné que les tensions induites par les transformateurs sont identiques à celles obtenues avec un autotransformateur, il est évident que l'on peut réaliser des circuits oscillateurs munis d'un seul enroulement avec une prise intermédiaire.

Les circuits oscillants de ces oscillateurs auront donc l'aspect de la figure 6-a.

Nous observons que si la prise intermédiaire K est reliée à la masse, la tension VGK sera en opposition de phase avec la tension VAK.

Le tube électronique introduisant lui aussi un déphasage de π entre la tension d'entrée et la tension de sortie, nous aurons là encore un déphasage de 2π , c'est-à-dire un déphasage nul. La tension réinjectée sera en phase avec la tension d'entrée.

En plus, chacune de ces deux tensions a une valeur d'autant plus grande que le nombre des spires est plus élevé.

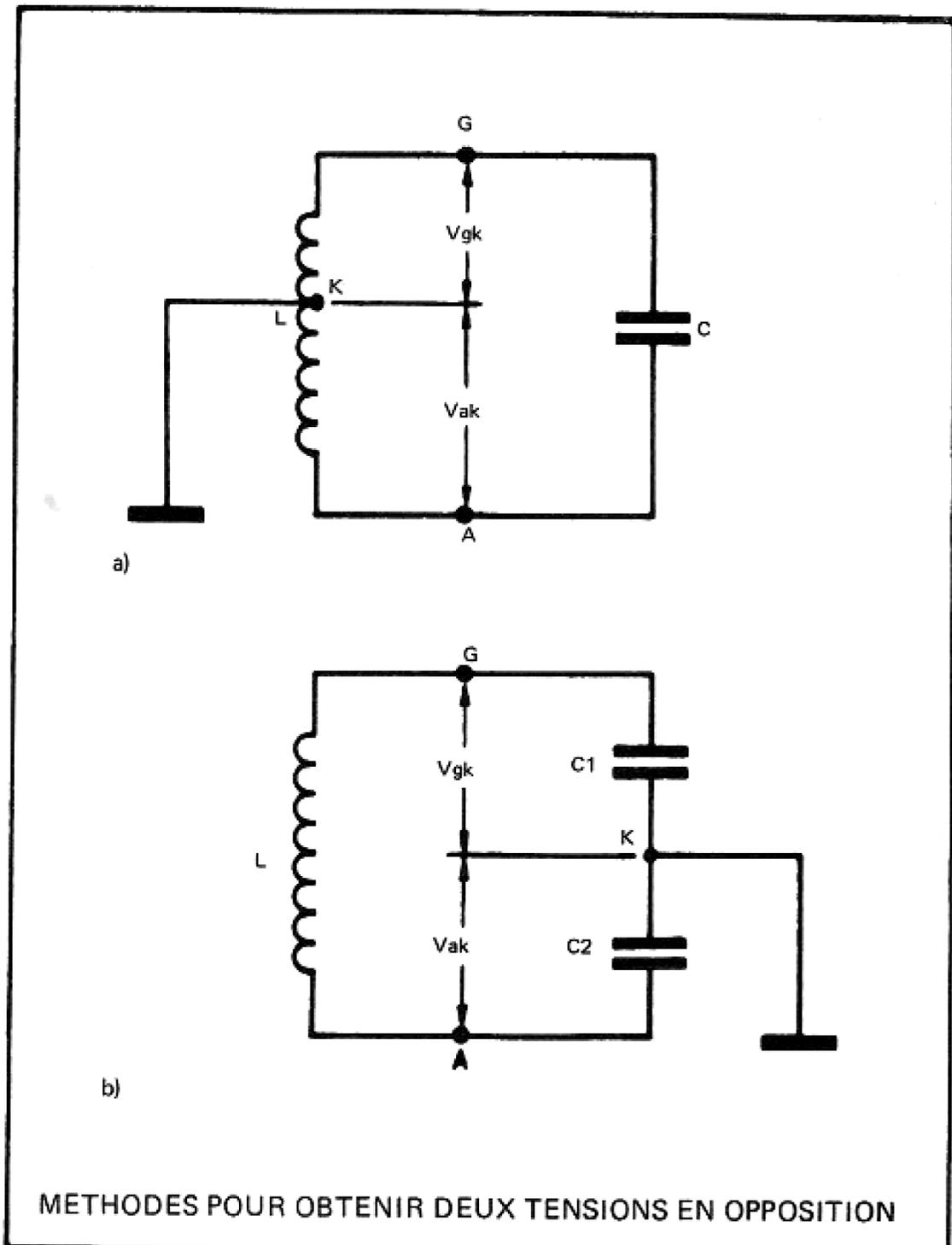


Figure 6

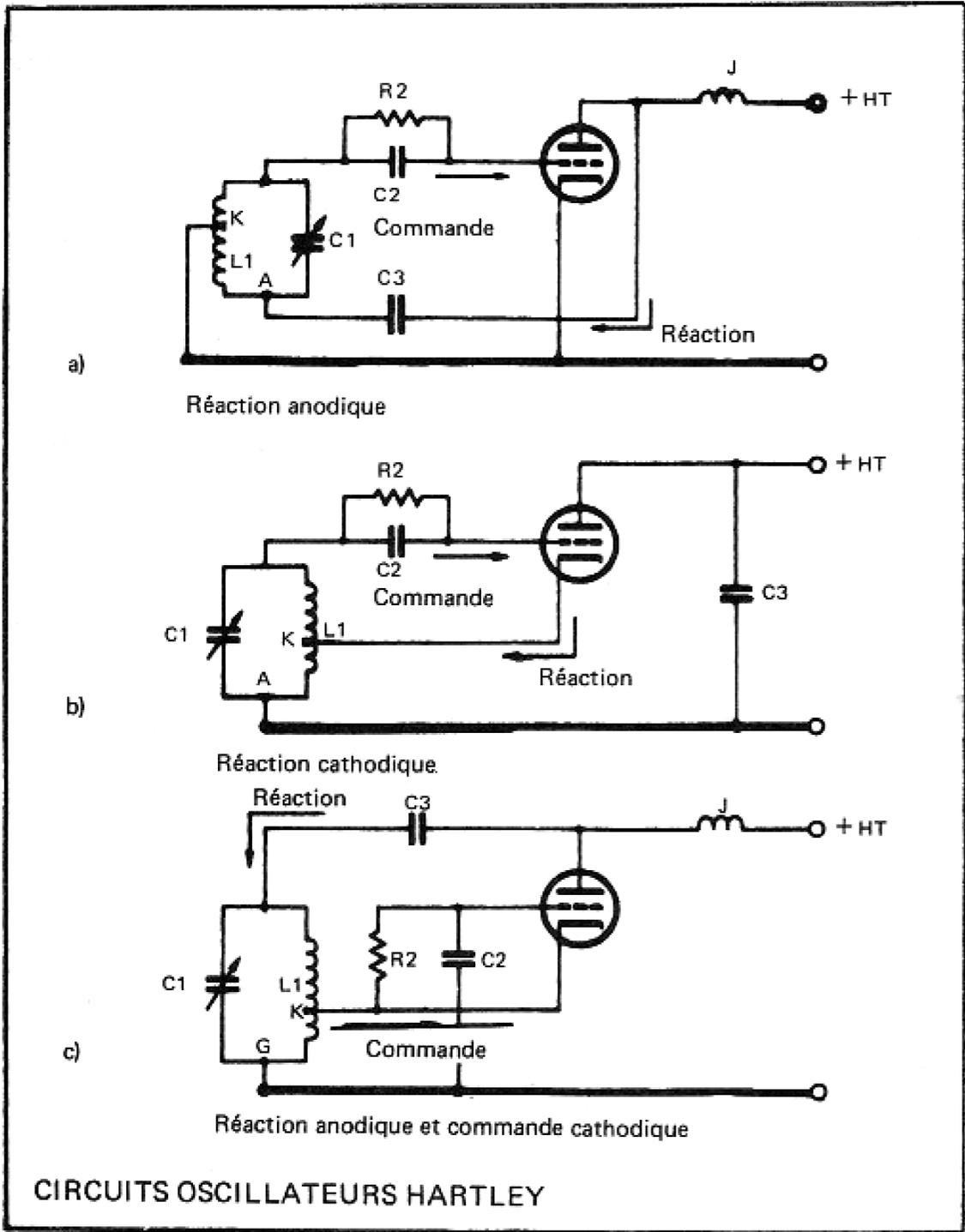


Figure 7

Dans le cas de la figure 6-a, la tension VGK est inférieure à la tension VAK car entre le point G et la prise K, il y a un plus petit nombre de spires qu'entre le point A et la prise K.

Nous avons vu dans la leçon précédente, que l'on obtient un effet identique en munissant la bobine d'une prise intermédiaire, ou en divisant la capacité du condensateur (qui est alors constitué par deux condensateurs en série).

On peut donc réaliser des circuits oscillateurs dont le circuit oscillant a l'aspect de la figure 6-b.

Si on relie à la masse le point K compris entre les deux condensateurs on constate que dans ce cas aussi les tensions VGK et VAK sont en opposition de phase entre elles.

Cependant, chacune de ces tensions a une valeur d'autant plus petite que la capacité du condensateur aux extrémités duquel elle est obtenue est plus grande.

Par exemple, si le condensateur C1 de la figure 6-b avait une capacité égale au double de celle du condensateur C2, la tension VGK aux extrémités de C1 aurait une valeur égale à la moitié de celle de la tension VAK aux extrémités de C2.

Nous allons commencer maintenant l'examen du circuit oscillateur HARTLEY, constitué par un circuit oscillant avec un bobinage à prise intermédiaire.

Sur la figure 7-a, on voit le schéma d'un circuit oscillateur HARTLEY sur lequel le point G est relié à la grille du tube par l'intermédiaire du groupe d'autopolarisation R2 C2.

Le point A est relié à l'anode par l'intermédiaire du condensateur C3 qui a pour rôle de bloquer la composante continue.

La cathode du tube étant reliée directement à la masse, nous pouvons dire que la prise intermédiaire K de l'inducteur est reliée à la cathode par l'intermédiaire de la masse.

Par l'inscription "réaction", on a indiqué sur le schéma la voie suivie pour la réinjection du signal, en vue d'obtenir la réaction positive. Par l'inscription "commande", on a indiqué la voie suivie pour appliquer le signal sur la grille de commande.

Pour que le circuit fonctionne en oscillateur, il faut que le signal qui apparaît par l'anode, et qui est en opposition avec celui qui est appliqué sur la grille, soit réinjecté en PHASE sur cette dernière.

CETTE INVERSION DE PHASE EST OBTENUE PAR LE CIRCUIT OSCILLANT. En effet, comme on l'a vu sur la figure 8-a, la tension qui existe entre le point A et la prise K, est en opposition avec la tension obtenue entre le point G et la prise K (tension qui est justement appliquée sur la grille).

Entre le point G et la prise K, on obtient une tension, étant donné que la bobine L1 se comporte comme un autotransformateur. Elle fournit donc cette tension quand le signal prélevé sur l'anode est appliqué entre le point A et la prise K.

D'après les explications données au sujet de la figure 6-a, on comprend pourquoi en disposant la prise intermédiaire en un certain point de la bobine, on peut obtenir la valeur voulue de tension pour maintenir les oscillations dans le circuit.

Sur le schéma de la figure 7-a, on voit aussi un bobinage J. Sa réactance constitue un obstacle pour la composante alternative du courant anodique, permettant ainsi d'obtenir la tension HF entre l'anode et la masse.

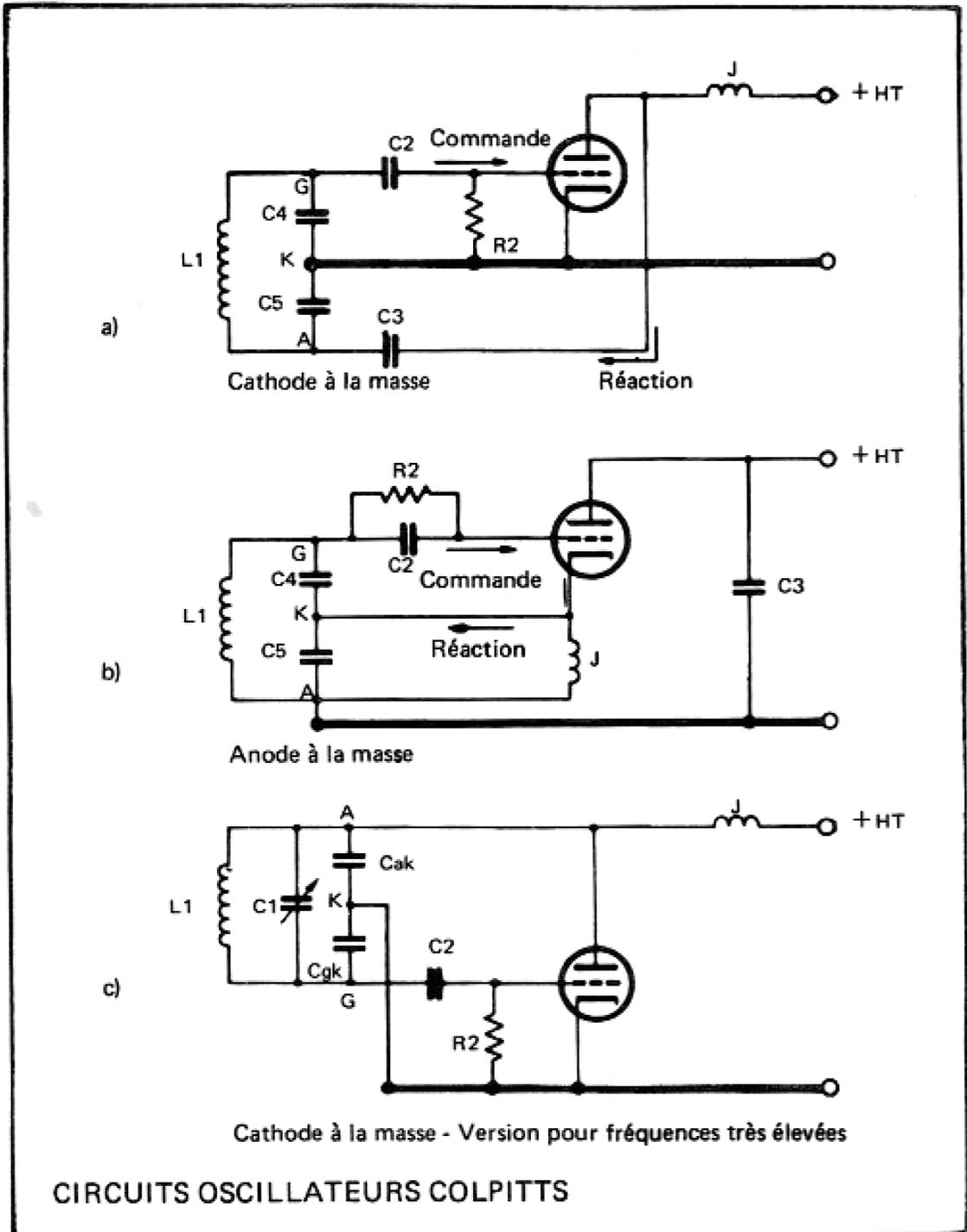


Figure 8

Ce bobinage ne constitue pas au contraire un obstacle pour la composante continue du courant anodique car sa résistance ohmique est très faible.

A la place de la bobine J, on pourrait aussi utiliser une résistance. Dans ce cas, il faudrait alimenter le circuit avec une tension de valeur plus élevée pour compenser la chute de tension produite par la résistance.

Le circuit oscillateur de la figure 7 est appelé **CIRCUIT A REACTION ANODIQUE**, car le signal nécessaire pour obtenir la réaction positive est justement prélevé de l'anode.

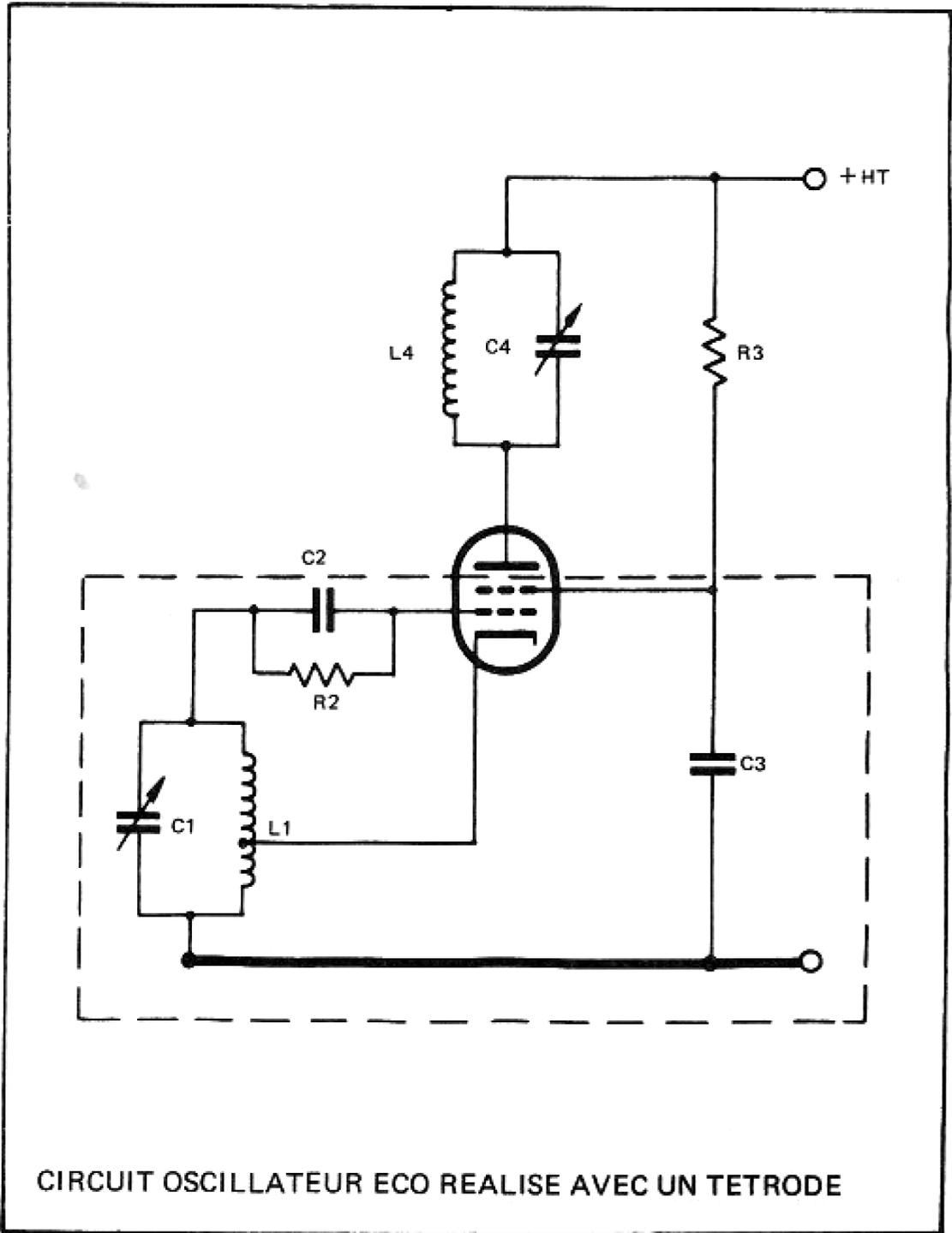
Ce signal peut aussi être prélevé de la cathode et dans ce cas, on a le circuit oscillateur **HARTLEY A REACTION CATHODIQUE**, dont le schéma est donné figure 7-b.

D'après ce schéma, on voit que le circuit oscillant est encore relié de la même façon que sur la figure 9-a. En effet, le point G est relié à la grille du tube par l'intermédiaire du groupe d'autopolarisation R2 C2, la prise K est reliée à la cathode, et le point A est relié à l'onde.

La liaison entre la prise K et la cathode ne se fait plus par l'intermédiaire de la masse mais directement. Par contre, la liaison entre le point A et l'anode s'effectue maintenant à travers la masse et par l'intermédiaire du condensateur C3. Là encore, le rôle de celui-ci est de bloquer la composante continue du courant anodique.

Dans ce circuit, on ne prélève pas le signal de l'anode. La bobine J n'est donc plus nécessaire, comme dans le cas précédent.

Sur l'anode, on n'a donc aucun signal HF, et ON DIT QUE LE TUBE A L'ANODE A LA MASSE. Cette expression doit être comprise dans le sens que L'ANODE DOIT ETRE CONSIDEREE A LA MASSE POUR LE SIGNAL HF, et uniquement pour celui-ci. (Bien entendu, le tube est normalement alimenté en tension continue).



CIRCUIT OSCILLATEUR ECO REALISE AVEC UN TETRODE

Figure 9

La réaction positive est maintenant obtenue grâce à la tension présente entre la cathode du tube et la masse.

Puisque la bobine L1 se comporte comme un autotransformateur, en appliquant une tension entre K et A, on obtient entre G et A, c'est-à-dire entre la grille et la masse.

Pour comprendre le fonctionnement du circuit, on suppose que la tension de commande appliquée à la grille augmente, donc que le courant du tube augmente aussi.

Ce courant parcourt les spires de L1 comprises entre la prise K et le point A. Il produit donc une augmentation de la tension entre K et A. Par induction, la tension aux bornes de L1 augmente aussi, c'est-à-dire que la tension appliquée sur la grille prend une valeur plus élevée.

Ce circuit peut donc fonctionner en oscillateur, car une augmentation de la tension de grille produit une augmentation du courant anodique, qui, à son tour, provoque une augmentation de la tension de grille (principe essentiel de la réaction positive).

Sur le schéma de la figure 7-c, on voit enfin un troisième type de circuit oscillateur HARTLEY, appelé A REACTION ANODIQUE et A COMMANDE CATHODIQUE.

En effet, on obtient la réaction en prélevant le signal de l'anode, comme dans le cas de la figure 7-a, mais le signal de commande est appliqué à la cathode et non à la grille comme dans les circuits précédents.

Pour simplifier le dessin, le circuit oscillant a été dessiné à l'envers par rapport aux schémas précédents, c'est-à-dire avec le point A en haut et avec le point G en bas. Cependant, dans ce cas aussi, il est relié comme on l'a vu précédemment.

En effet, le point A est toujours relié à l'anode, et la prise K à la cathode. Quant au point G, il est encore relié à la grille par l'intermédiaire de la masse et du condensateur C2.

La résistance R2 d'autopolarisation est reliée entre la grille et la cathode car la tension produite par le courant de grille à ses extrémités doit justement être appliquée entre ces deux électrodes.

On note que le condensateur C2 est pratiquement relié là encore aux extrémités de la résistance R2 car les spires de la bobine L1 comprises entre K et G ont une résistance négligeable.

Ce condensateur doit être relié à la masse car il est utilisé comme condensateur de découplage de la grille à laquelle il est relié. Grâce à lui, le signal HF présent sur la grille est éliminé à la masse.

Il s'agit là d'une nécessité, de façon à pouvoir commander le flux des électrons du tube, par le signal HF appliqué à la cathode.

En effet, quand le signal de commande est appliqué à la grille, le potentiel de la cathode ne doit pas varier. Le flux des électrons à l'intérieur du tube est contrôlé par les variations du potentiel de la grille par rapport à celui de la cathode.

Dans le cas de la figure 7-c, on procède de façon inverse.

Le flux des électrons est commandé en faisant varier le potentiel de la cathode, par rapport à celui de la grille qui est maintenu constant par l'intermédiaire du condensateur de découplage C2.

La grille est donc dans les mêmes conditions que l'anode dans le cas de la figure 7-b, et on dit donc que le tube a la grille à la masse. La remarque mentionnée à propos de l'anode à la masse est valable ici.

La grille a un potentiel qui ne varie pas par suite du signal HF mais la tension continue de polarisation lui est appliquée.

La tension de réaction est appliquée entre le point A et la masse, c'est-à-dire aux extrémités de l'enroulement de L1.

La tension de commande est prélevée entre la prise K et la masse ; elle est donc inférieure à la tension de réaction, comme cela est nécessaire, car maintenant le tube amplifie le signal qui lui est appliqué.

Pour démontrer le fonctionnement de ce circuit en oscillateur, on suppose que la tension de commande appliquée à la cathode augmente.

Cette augmentation du potentiel de la cathode par rapport à celui de la grille, se traduit exactement comme si le potentiel de la cathode restait constant et si celui de la grille diminuait. On constate donc une diminution du courant anodique.

Cette diminution du courant anodique produit réduit la chute de tension aux extrémités de la bobine J, qui constitue la charge anodique du tube, comme dans le circuit de la figure 7-a.

La chute de tension aux extrémités de la bobine J ayant diminué, la tension de réaction présente entre l'anode et la masse et appliquée entre A et G augmente. Par conséquent, la tension de commande prélevée entre K et G augmente aussi, ainsi que la tension de la cathode.

Ainsi, à une augmentation de la tension de commande correspond une augmentation ultérieure de la tension de réaction et le circuit est donc en mesure de fonctionner en oscillateur.

En modifiant le circuit oscillant selon les données de la figure 6-b, on obtient les CIRCUITS OSCILLATEURS COLPITTS, dont les deux types les plus utilisés sont montrés sur la figure 8-a et la figure 8-b.

Le circuit avec CATHODE A LA MASSE de la figure 8-a est pratiquement identique à celui de la figure 7-a, comme on peut le constater en considérant la liaison des points G, K et A.

De la même façon, le circuit avec ANODE A LA MASSE de la figure 8-b est identique à celui de la figure 7-b, comme on peut le constater dans ce cas aussi, en considérant la liaison des points G, K et A.

Sur le circuit de la figure 8-b, on voit une bobine J reliée entre la cathode et la masse. Celle-ci a pour but de fournir une tension HF entre la cathode et la masse sous l'effet du courant anodique qui la traverse (en passant de la cathode à la masse).

Sur le circuit correspondant de la figure 7-b, cette bobine n'est pas nécessaire. La tension de réaction entre la cathode et la masse est obtenue aux extrémités des spires comprises entre la prise K et le point A de la bobine L1.

Sur la figure 8-c, on voit enfin la réalisation d'un circuit avec cathode à la masse, prévu plus particulièrement pour fournir des oscillations à fréquence très élevée.

Les condensateurs C4 et C5 de la figure 8-a peuvent dans ce cas être remplacés par les capacités interélectrodes du tube, qui, pour les fréquences très élevées, présentent une réactance assez réduite pour agir efficacement.

A la place du condensateur C4 qui est relié entre la grille et la cathode on aura alors le condensateur C_{gk} qui représente la capacité entre la grille et la cathode. Quant au condensateur C5 qui est relié entre l'anode et la cathode, il sera remplacé par le condensateur C_{ak} qui représente la capacité entre l'anode et la cathode.

Etant donné que ces capacités ont une valeur invariable, on devra pour faire varier la fréquence produite par l'oscillateur, relier aux extrémités du bobinage L1, un condensateur variable C1 (celui-ci est

représenté sur le schéma de la figure 8-c.

1 - 3 - OSCILLATEURS AVEC TETRODES ET PENTODES

Pour simplifier les schémas illustrés jusqu'à présent, on n'a étudié que les triodes. On peut cependant réaliser sans difficulté les mêmes circuits avec des tétrodes ou des pentodes. Il suffit d'alimenter leur grille écran par l'intermédiaire d'une résistance, et de prévoir entre cette électrode et la masse un condensateur de découplage.

Il faut toutefois souligner que l'emploi des tétrodes ou des pentodes pour les oscillateurs à fréquences très élevées n'est pas très conseillé.

En effet, pour ces fréquences, le temps nécessaire aux électrons pour passer de la cathode à l'anode, à travers les différentes grilles n'est pas négligeable par rapport à la période des oscillations. Par conséquent, la réaction positive devient moins efficace, car la tension de réaction n'est plus exactement en phase avec celle de grille.

Nous rappelons que le CONDENSATEUR DE DECOUPLAGE RELIE ENTRE LA GRILLE ECRAN DES TETRODES ET DES PENTODES ET LA MASSE, a pour but D'EMPECHER LES VARIATIONS DE TENSION SUR CETTE ELECTRODE, SOUS L'EFFET DU SIGNAL HF.

On pourrait donc dire que ces tubes fonctionnent avec la grille écran à la masse à l'égard du signal, cette électrode se trouvant dans les mêmes conditions que l'anode des tétrodes de la figure 7-b et de la figure 8-b.

Ainsi, les circuits montrés sur ces figures pourraient être réalisés en utilisant la grille écran des tétrodes ou des pentodes comme anode à la

masse. La cathode et la grille de contrôle des tubes continueraient à exécuter leur fonction habituelle et l'anode serait remplacée par la grille écran.

Naturellement le courant anodique atteindrait aussi dans ce cas la véritable anode du tube et parcourrait le circuit anodique. En disposant dans celui-ci un circuit résonnant dont la fréquence de résonance serait égale à celle de la composante alternative du courant anodique, on obtiendrait aux extrémités du circuit une tension HF d'amplitude importante.

Un circuit de ce type est représenté sur la figure 9-a. A l'intérieur du rectangle en pointillé, est mis en évidence le circuit oscillateur Hartley de la figure 7-b. On peut constater que la fonction d'anode à la masse est maintenant accomplie par la grille écran. La tension HF est obtenue aux extrémités du circuit oscillant L4 C4.

Ce circuit est appelé CIRCUIT OSCILLATEUR ECO (des initiales des mots anglais Electron Coupled Oscillator, qui signifie "oscillateur couplé électriquement").

Le circuit ECO présente une remarquable stabilité de fréquence, c'est-à-dire que la fréquence des oscillations produites varie très peu. Ce problème de la stabilité de fréquence des oscillateurs a une grande importance et nous allons étudier les cours qui peuvent faire varier la fréquence d'un oscillateur et examiner les procédés que l'on adopte pour éliminer ou au moins réduire cet inconvénient.

II - OSCILLATEURS HF A GRANDE STABILITE

Les oscillateurs HF doivent produire une tension alternative, de préférence sinusoïdale et fournir un courant relativement faible à une charge extérieure.

Les qualités que l'on demande à un oscillateur, avec une plus ou moins grande rigueur selon l'emploi que l'on veut en faire, sont :

- la stabilité de l'amplitude de la tension HF quand les tensions d'alimentation varient

- la stabilité de la fréquence produite, quand varient les tensions d'alimentation, la charge extérieure, les facteurs ambiants (surtout la température) et la durée de fonctionnement.

Dans certains cas, on demande aussi la possibilité d'un réglage manuel ou électronique de la fréquence produite.

Commençons par l'étude de la stabilité de fréquence d'un oscillateur. Il s'agit là de la qualité essentielle d'un oscillateur et c'est aussi la plus difficile à obtenir.

II - 1 - OSCILLATIONS LIBRES ET OSCILLATIONS FORCEES

Comme on l'a déjà précisé, un circuit oscillateur HF se compose d'un condensateur en parallèle sur une bobine. Il comporte, en outre un système en mesure de fournir une certaine énergie pour compenser les pertes et entretenir ainsi les oscillations.

L'élément fondamental de ce système est un tube électronique et quelques composants accessoires, câblés de façon à obtenir une réaction positive.

Pour comprendre le phénomène de l'entretien des oscillations, il faut encore une fois avoir recours à la comparaison avec un oscillateur mécanique.

Considérons donc un pendule au repos. Pour le mettre en

mouvement, à un certain moment, il faut lui donner "une impulsion mécanique". Il n'est pas nécessaire, et il est même parfaitement superflu que cette impulsion dure longtemps. La meilleure solution est celle d'une poussée brusque, énergique et immédiatement interrompue, du type de celle que l'on obtient en frappant le pendule avec un marteau de caoutchouc dur et élastique, comme sur la figure 10-a.

Le pendule se met alors à osciller. Ses oscillations ne sont pas très amples et elles sont ISOCHRONES. Cela signifie qu'elles ont une période égale : le pendule engendre des oscillations de fréquence parfaitement constante.

Si on n'applique pas une autre impulsion, le pendule cesse d'osciller, après avoir décrit un certain nombre de cycles d'une amplitude de plus en plus petite (voir figure 10-b).

Electriquement, un circuit oscillant se comporte de la même façon. Les oscillations de tension (et de courant, qui sont liées de façon indissoluble aux oscillations de tension), produites, par exemple, par une impulsion de courant dans la bobine ou par une impulsion de tension sur le condensateur, s'amortissent très vite.

Quand le groupe d'oscillations amorties est formé de quelques centaines de cycles complets (ce qui est déjà beaucoup, et implique des pertes très réduites), la durée du phénomène se calcule en microsecondes, ou bien en millièmes de seconde.

Si l'on retourne au pendule, il est évident que pour le maintenir en oscillation, il faut lui redonner de l'énergie mécanique pour compenser celle perdue par frottement. Cet apport d'énergie doit être effectué à chaque cycle de façon à ce que l'amplitude des oscillations soit constante.

Mais dans le très bref intervalle de temps, pendant lequel est appliquée l'impulsion, le mouvement du pendule est inévitablement changé.

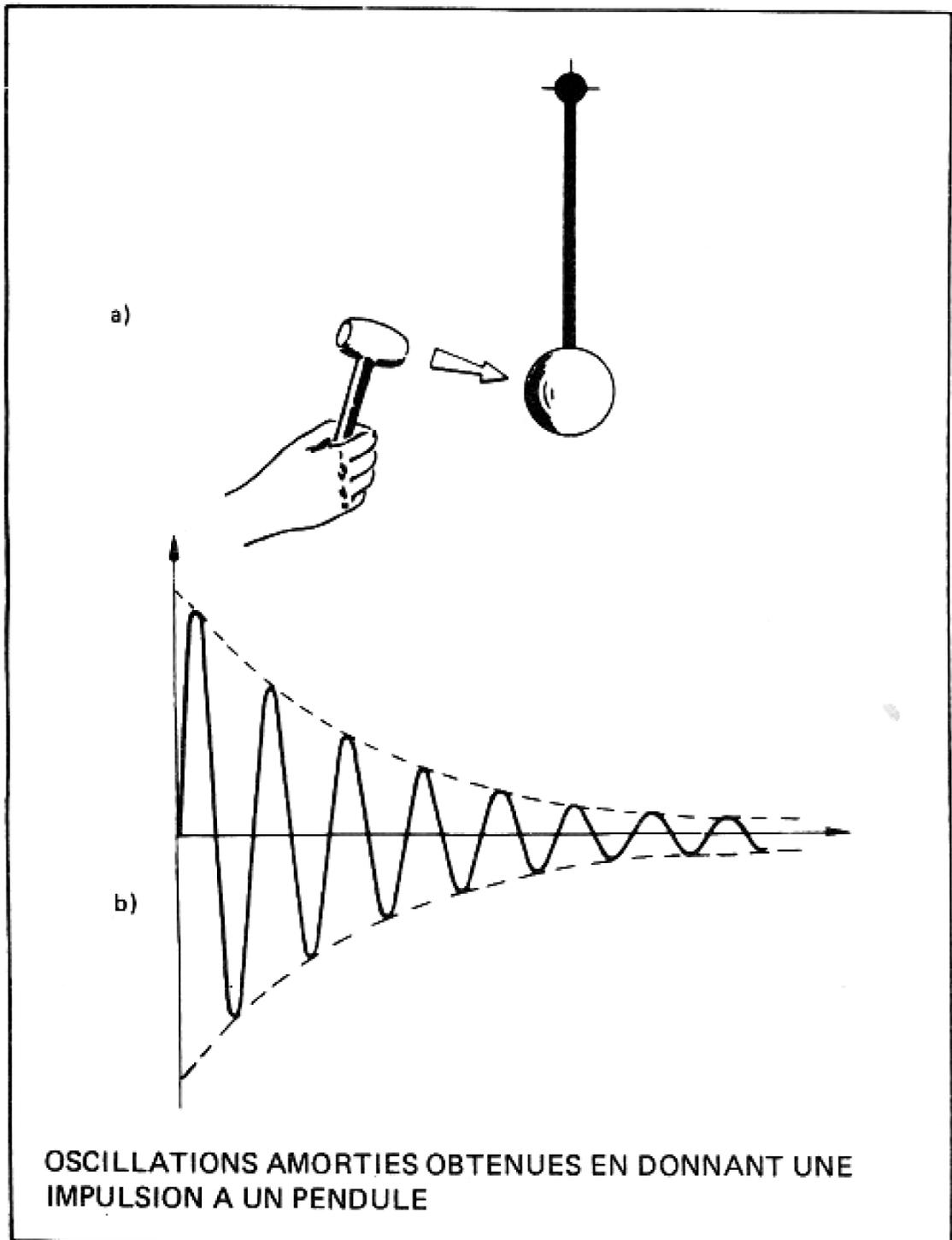


Figure 10

Toutefois, ce changement est d'autant plus négligeable que l'intervalle est plus bref par rapport à la durée de l'oscillation entière.

Si, par exemple, l'impulsion est appliquée quand le pendule est prêt à atteindre (mais qu'il ne l'a pas encore atteinte) la position extrême d'oscillation, elle arrête le mouvement une fraction de seconde, et le sens de l'oscillation s'inverse presque instantanément.

Un observateur, en possession de moyens de mesure peu précis, aurait peine à reconnaître les très petites variations de fréquence causées par les impulsions mécaniques. Il pourrait cependant noter ces variations, s'il était en mesure de contrôler le temps pendant lequel se sont accomplis des centaines ou des milliers d'oscillations.

L'étude du pendule mécanique nous amène aux conclusions suivantes : POUR MAINTENIR L'OSCILLATION A UNE AMPLITUDE CONSTANTE, IL FAUT REFOURNIR AU SYSTEME, A CHAQUE CYCLE, UNE QUANTITE D'ENERGIE EXACTEMENT EGALE A CELLE QUI A ETE PERDUE PAR FROTTEMENT.

D'autre part, quelles que soient les modalités de cet apport d'énergie, elles entraînent une légère variation de la fréquence des oscillations libres.

La variation sera d'autant plus négligeable que l'énergie fournie sera plus petite, c'est-à-dire que les pertes du pendule seront faibles.

Ce raisonnement pour un système mécanique, est valable sans aucune modification pour un circuit oscillant électronique. Dans ce dernier, la fréquence de fonctionnement sera d'autant plus proche de la fréquence théorique des oscillations libres, que le facteur de qualité sera plus élevé. Rappelons que l'on appelle "OSCILLATIONS LIBRES", LES OSCILLATIONS DU CIRCUIT EN L'ABSENCE D'UNE REACTION POSITIVE destinée à compenser les pertes.

Un circuit oscillant possédant un facteur de qualité élevé est un circuit à faibles pertes. Dans celui-ci, la résistance R_s de la bobine a une valeur basse, et l'isolement du condensateur est très grand.

AUTREMENT DIT, PLUS LE FACTEUR DE QUALITE Q DU CIRCUIT OSCILLANT EST ELEVE, PLUS SA FREQUENCE DE FONCTIONNEMENT EST STABLE, LORSQUE CE CIRCUIT EST MONTE EN OSCILLATEUR.

Naturellement, dans un circuit oscillateur, la réaction positive ne doit pas varier sous l'effet de causes accidentelles, comme, par exemple, les variations de la tension continue d'alimentation du tube, ou l'altération des caractéristiques électriques de ce dernier.

II - 2 - METHODES POUR OBTENIR UN FACTEUR DE QUALITE ELEVE

Le problème se divise en deux parties : construction d'un bobinage à très basse résistance et utilisation d'un condensateur avec le meilleur isolement possible entre les deux armatures.

Par "bon isolement", il faut comprendre que la résistance de l'isolant doit être aussi élevée que possible de façon à rendre négligeable le courant de fuite.

On rencontre les plus grandes difficultés dans la réalisation du bobinage. En effet, pour le condensateur, il est relativement facile aujourd'hui de trouver des isolants d'excellente qualité, comme le quartz, le mica, les céramiques à base de titane et l'oxyde d'aluminium.

Cependant, pour des raisons économiques et pour garantir la stabilité de la capacité, il est préférable d'employer l'air sec, qui est le meilleur des diélectriques.

Les isolants solides précédents sont utilisés pour soutenir mécaniquement les armatures du condensateur.

Par contre, la construction d'une bobine à faibles pertes pose de sérieux problèmes. La résistance des enroulements est inévitable, étant donné que tous les métaux présentent une certaine résistance.

D'autre part, il n'est pas possible de réduire cette résistance en augmentant de façon trop importante la section du conducteur.

Il est évident en effet que l'enroulement ne doit pas dépasser certaines dimensions, surtout avec la miniaturisation des circuits modernes. En outre, en augmentant la section, il n'est pas certain que l'on réduise proportionnellement les pertes.

Effectivement, les courants HF ont la propriété de circuler non pas à l'intérieur du conducteur, mais à sa surface. Ce phénomène est connu sous le nom de "EFFET DE PEAU" ou encore EFFET KELVIN (SKIN EFFECT en anglais). Cet effet est d'autant plus important QUE LA FREQUENCE EST ELEVEE.

Pour réduire les pertes, on utilise un conducteur divisé (fil de Litz) formé de plusieurs brins très fins, isolés, réunis en un seul câble.

Le fil de Litz est caractérisé par le nombre de brins qui le compose (de 5 à 20) et par la section de ces brins (de 0,025 mm à 0,1 mm).

Le fil de Litz, grâce à sa constitution, présente une grande surface et une faible section totale.

On peut ainsi construire des bobines avec des centaines de spires, qui correspondent à une inductance importante, avec des pertes très réduites.

Malheureusement, le fil de Litz n'est plus efficace aux fréquences les plus élevées, en raison de l'effet capacitif qui se manifeste entre les différents conducteurs isolés entre eux. L'augmentation de la fréquence, produit dans l'émail isolant, des courants semblables à ceux que l'on a dans le diélectrique des condensateurs.

Ces courants annulent les bénéfiques décrits quand la fréquence dépasse 5 MHz environ.

En plus, on rencontre une difficulté non négligeable en soudant les extrémités des bobines en fil de Litz. L'opération de dénudage avant la soudure, est rendue très difficile par les très petites dimensions des fils, si bien qu'une soudure mal faite est fréquente. Il suffit qu'un seul des conducteurs ne soit pas bien soudé pour que les pertes deviennent importantes, en raison des courants dans le diélectrique émaillé.

Avec l'augmentation de la fréquence (au-dessus de 1 MHz), on tend à utiliser un fil de cuivre émaillé unique - (l'émail au silicone est très indiqué) ou mieux encore un fil argenté.

Si on veut un haut facteur de qualité (pour les fréquences très élevées), on peut utiliser tout simplement un petit tube de cuivre qui offre l'avantage d'avoir deux surfaces conductrices en HF, l'une extérieure et l'autre intérieure.

Pour les fréquences moins élevées, il faut consacrer beaucoup de soin au support mécanique de l'enroulement. Il doit être constitué par un très bon isolant, indéformable à la chaleur, résistant à l'humidité et aux chocs.

On utilise l'urée, le phénol chargé avec du mica en poudre. Tous ces matériaux sont facilement travaillés par impression à injection, qui permet des coûts de production peu élevés.

Quand la fréquence dépasse 5 MHz environ, on préfère utiliser des supports de céramique, de téflon, et aussi de polystyrène.

Pour les fréquences élevées, il suffit de quelques spires pour obtenir l'inductance demandée, aussi, on évite simplement le support, en utilisant un fil de cuivre de 1 mm ou plus de diamètre, suffisamment rigide pour se soutenir tout seul.

Pour les fréquences supérieures à 100 MHz, les bobines deviennent très simples du point de vue géométrique, car elles se réduisent à quelques spires, et même à une seule ou simplement à une moitié de spires.

Il est toutefois difficile d'obtenir un bon facteur de qualité, et il devient nécessaire d'adopter un procédé constructif spécial. Si la fréquence de travail est encore plus élevée, on doit abandonner les formes traditionnelles des bobinages.

Sur la figure 11 on voit par exemple un circuit oscillant apte à fonctionner en VHF. Il est constitué par un bobinage en U soudé directement sur le condensateur variable.

Pour augmenter le facteur de qualité d'un bobinage, on peut le munir d'un noyau.

Le noyau est constitué par un petit cylindre d'une manière ferromagnétique spéciale, qui, comme nous le savons, concentre les lignes d'induction grâce à sa perméabilité élevée.

On peut ainsi obtenir, à égalité de spires et de dimensions géométriques une inductance plus grande. Inversement, à égalité d'inductance, il faut moins de spires et moins de place, c'est-à-dire une longueur de fil moins importante, d'où une plus faible résistance.

Il faut cependant que la matière ferromagnétique soit à basses pertes, pour éviter de dissiper dans le noyau, l'énergie accumulée dans l'enroulement.

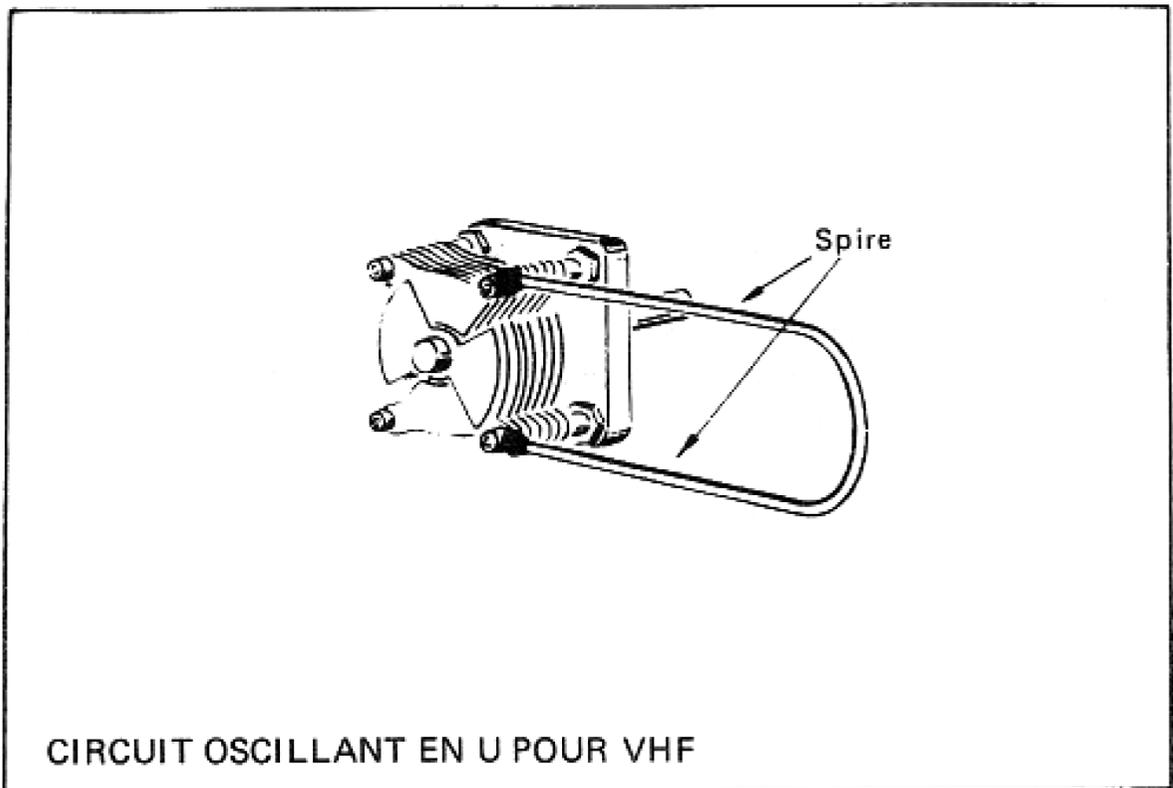


Figure 11

Les matières ferromagnétiques utilisées dans l'industrie sont de divers types, chacun étant adapté à une certaine gamme de fréquence. Comme d'habitude, les difficultés croissent avec l'augmentation de la fréquence, si bien que, au-dessus de 50 MHz environ, il est vraiment difficile de trouver une bonne matière ferromagnétique pour la construction des bobines à noyau.

Pour augmenter le facteur de qualité, il convient également de disposer convenablement les composants du circuit oscillant. En particulier, il faut éviter de fixer la bobine trop près d'une surface métallique magnétique (sinon, une partie importante de l'énergie du circuit oscillant sera absorbée). On doit aussi réduire le plus possible la longueur des diverses liaisons du circuit.

II - 3 - QUARTZ PIEZO-ELECTRIQUES

Malgré les procédés décrits, il est excessivement difficile d'atteindre des facteurs de qualité qui dépassent la centaine d'unités, spécialement pour les fréquences de fonctionnement supérieures à 1 MHz.

Heureusement, on a découvert un moyen d'utiliser une propriété physique de certaines matières cristallines, comme le quartz, la tourmaline et d'autres substances chimiques synthétiques.

Ces matières sont le siège d'un phénomène spécial : LA PIEZO-ELECTRICITE.

Grâce à la piézo-électricité, il est possible de réaliser des circuits oscillants avec un facteur de qualité extraordinairement élevé : de quelques milliers à des centaines de milliers d'unités.

On comprend qu'un oscillateur doté d'un tel circuit oscillant jouisse d'une stabilité exceptionnelle.

La matière la plus utilisée pour la construction des circuits oscillants piézo-électriques est le quartz (bioxyde de silicium), présent dans la nature sous forme de beaux cristaux transparents, de forme hexagonale. En respectant les orientations géométriques de la structure du cristal, on peut tailler des plaquettes de petite épaisseur par rapport à la longueur et la largeur.

Quand une de ces plaquettes est soumise à un champ électrostatique, elle se déforme. Inversement, une déformation mécanique provoque l'apparition d'un champ électrostatique sur les faces de la plaquette.

Si la plaquette de quartz est introduite entre les deux armatures d'un condensateur, en guise de diélectrique, et si une tension HF est appliquée aux armatures, elle se met à vibrer mécaniquement. La vibration est invisible à l'oeil nu, mais on peut la détecter, en recouvrant la

plaquette de poudre de talc : la poudre sera mise en mouvement comme par des mains invisibles.

A son tour, la vibration mécanique produite par la tension HF appliquée engendre une tension HF d'égale fréquence, qui se superpose à la précédente. Pour toutes les fréquences, à l'exception d'une seule, la tension HF produite par la plaquette est très petite par rapport à celle qui est appliquée.

La plaquette de quartz possède une fréquence de résonance mécanique, qui dépend de la façon dont elle a été taillée dans le cristal et de ses dimensions.

Si la tension HF appliquée a une fréquence égale à celle-ci, la vibration du quartz est très importante. La tension HF qui en résulte est élevée et le cristal se comporte alors comme un minuscule mais très puissant circuit oscillant.

En toute rigueur, le comportement piézo-électrique d'un QUARTZ (on appelle ainsi une plaquette de quartz) n'est pas tout à fait équivalent à un circuit oscillant à inductance et capacité.

On voit ceci immédiatement en étudiant la courbe de réponse d'un quartz, c'est-à-dire la courbe qui montre la variation de la tension V produite par le quartz quand la fréquence varie.

Sur la figure 12, on peut voir que cette courbe diffère de la courbe de résonance d'un circuit oscillant normal. On peut noter en particulier que la tension V prend une valeur très petite pour une fréquence très proche de celle de résonance f_0 .

On peut comprendre cette progression de la tension en étudiant le circuit équivalent de la figure 13. L'abréviation C_0 désigne la capacité entre les armatures du condensateur, le quartz étant présent comme diélectrique mais ne vibrant pas (comme ce serait le cas, si une tension était appliquée entre les armatures du condensateur) L , C et R_s représentent les équivalences électriques de l'élasticité et des pertes du cristal.

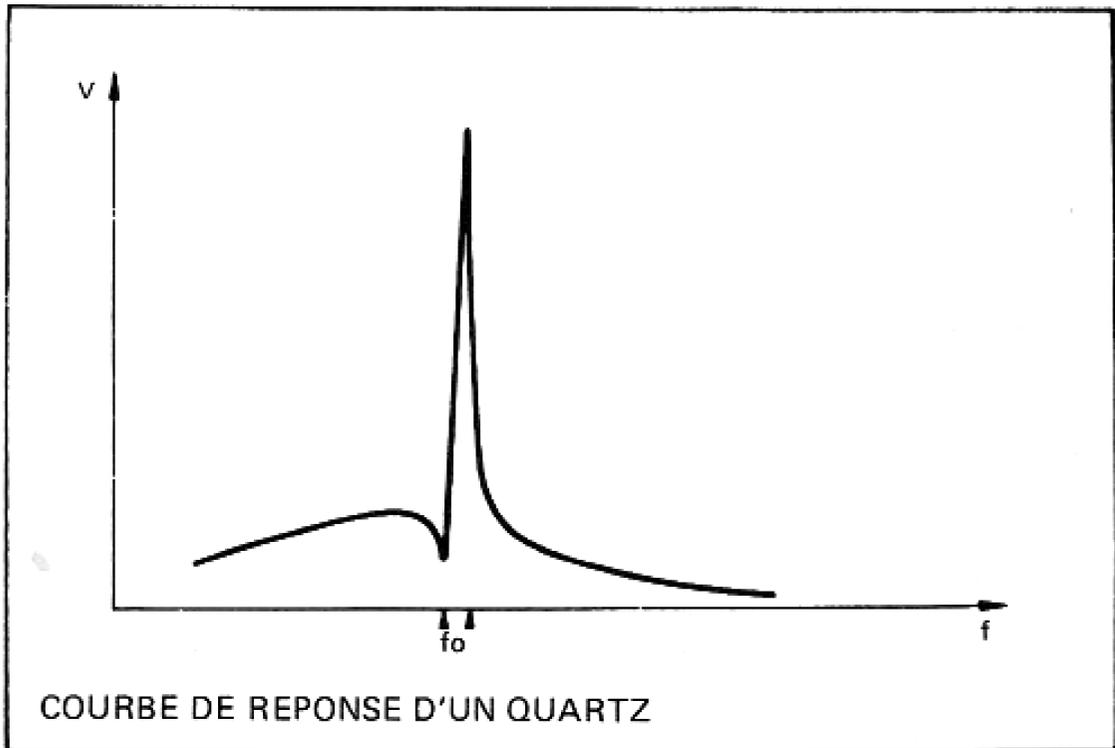


Figure 12

Quand la fréquence de la tension appliquée au quartz coïncide avec celle de résonance de L et C, la tension V est très petite.

Ces deux éléments constituent en effet un circuit oscillant en série, pour lequel la tension prend justement une valeur très faible.

Quand on augmente la fréquence, le circuit LC se comporte comme une inductance mais comme il comprend le condensateur C_0 en parallèle, il constitue un circuit oscillant parallèle. La tension prend alors une valeur maximum pour la fréquence de résonance f_0 .

La fréquence de résonance f_0 d'un quartz dépend de ses dimensions. Les plaquettes les plus utilisées ont des dimensions de l'ordre d'une dizaine de millimètres pour les côtés, et l'épaisseur varie de quelques millimètres à quelques dixièmes de millimètre environ.

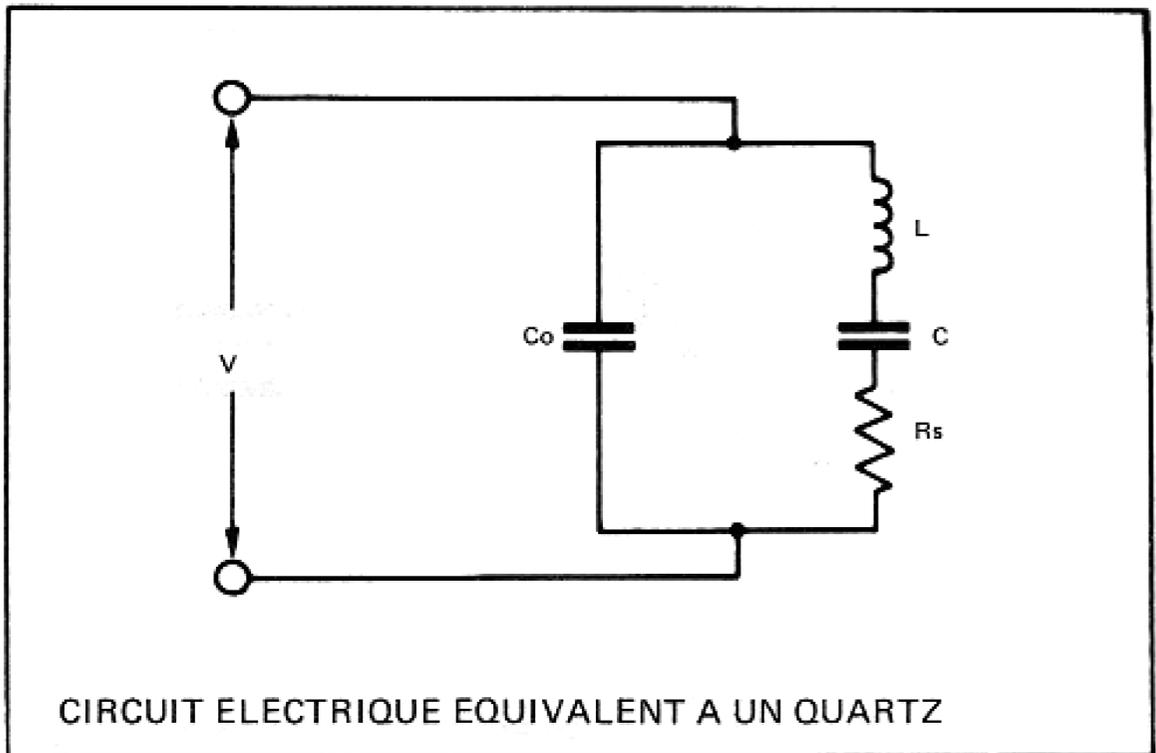


Figure 13

Selon cette épaisseur, la fréquence de résonance s'étend de 0,1 MHz à 10 MHz, et le facteur de qualité atteint quelques milliers d'unités (pour un millimètre d'épaisseur, la fréquence de résonance est de l'ordre de 2,8 MHz).

Comme on le voit sur la figure 14-a, les quartz sont enfermés dans des étuis isolants, munis de deux broches, de façon à pouvoir être rapidement remplacés, comme les tubes électroniques.

Sur la figure 14-b, on voit le signe graphique avec lequel on représente le quartz dans les schémas électriques.

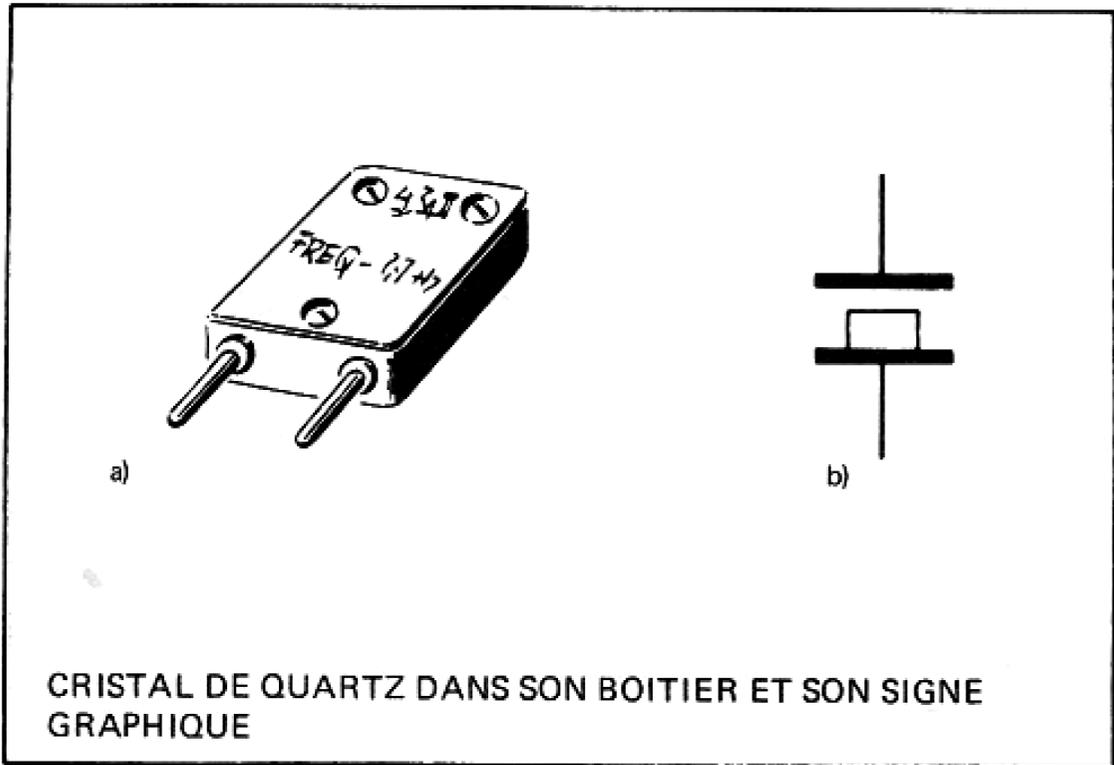


Figure 14

II - 4 - COMPENSATION THERMIQUE DE LA FREQUENCE

La température a une influence sensible sur la fréquence de résonance d'un circuit oscillant. Les quartz piézo-électriques subissent aussi l'influence de la température mais elle est très réduite.

Dans les cas courants, les variations de la fréquence de résonance d'un bon quartz sont presque négligeables, si les variations de la température ne dépassent pas 30 °C.

La cause de l'influence thermique sur la fréquence de résonance des circuits oscillants est la dilatation des métaux, particulièrement le fil du bobinage, sous l'effet de l'augmentation de la température. En plus, les

supports isolants de la bobine et des armatures du condensateur se dilatent.

En définitive, tous ces effets s'additionnent et provoquent une réduction de la fréquence de résonance.

Dans les oscillateurs HF de précision, il est nécessaire de compenser cette DERIVE ou GLISSEMENT de fréquence.

On obtient ce résultat en employant des condensateurs spéciaux avec un diélectrique céramique d'une composition chimique spéciale. Ce diélectrique a la propriété de présenter une réduction de la constante diélectrique quand la température augmente.

Ce type de condensateur subit, en définitive, une réduction de capacité quand la température augmente, c'est-à-dire possède un COEFFICIENT THERMIQUE NEGATIF.

On remplace donc le condensateur unique du circuit, par deux condensateurs. L'un de ceux-ci est du type normal et l'autre du type à coefficient thermique négatif. On obtient ainsi un circuit oscillant sans dérive thermique.

En effet, lorsque la capacité du premier condensateur augmente, celle du second diminue. La capacité de l'ensemble conserve donc sa valeur initiale.

Le coefficient thermique indique la réduction de capacité par degré de température. Il s'exprime en pourcentage pour une augmentation de température de 1°C.

Les constructeurs fabriquent des condensateurs avec un coefficient négatif différent, de façon à pouvoir équilibrer n'importe quel circuit.

Dans l'utilisation pratique, ces condensateurs doivent être installés très près du bobinage, de façon à subir les mêmes variations thermiques

que celui-ci, causes prépondérantes de l'instabilité de fréquence.

III - STABILITE DE FREQUENCE DES OSCILLATEURS

Les paragraphes précédents nous ont fourni les éléments théoriques nécessaires pour traiter à fond le problème de la stabilité de fréquence des oscillateurs HF.

Selon le degré de stabilité demandé, on a différents circuits typiques, qui peuvent être regroupés dans les catégories suivantes :

- oscillateurs à moyenne stabilité pour les appareils de réception radio et télévision et la plupart des circuits utilisés en ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE.

- oscillateurs à haute stabilité, pour la commande des émetteurs ou pour les équipements de mesure.

- oscillateurs à quartz à très grande stabilité, pour émetteurs et pour chronomètres électroniques.

Les deux premières catégories regroupent les circuits dérivés essentiellement des traditionnels circuits Hartley et Colpitts. La troisième catégorie comprend des circuits spéciaux.

Dans tous les cas, l'objectif principal à atteindre est la stabilité de fréquence.

La stabilité de la tension HF produite a beaucoup moins d'importance. En effet, sauf cas exceptionnels, une variation de 5 % et même de 10 % sur l'amplitude de la tension HF produite n'a pas de répercussion défavorable sur les circuits utilisateurs. D'autre part, la méthode de

l'autopolarisation de grille utilisée dans tous les circuits oscillateurs HF garantit une stabilité de tension suffisante.

La stabilité de fréquence se mesure en POURCENTAGE DE DEVIATION, c'est-à-dire par le rapport entre la variation de fréquence et la fréquence HF produite.

En plus, on a une stabilité à longue période et une autre à courte période.

La première est mesurée sur des intervalles de temps de l'ordre des années ; la seconde, des minutes.

Enfin, la stabilité peut être mise en relation avec les différents perturbateurs : température, tension d'alimentation anodique, humidité, pression atmosphérique etc...

III - 1 - OSCILLATEURS TRADITIONNELS ET STABILITE AMELIOREE

On a déjà vu dans le chapitre 1 des circuits, qui, avec des procédés constructifs spéciaux, permettent de réaliser de bons oscillateurs.

Ceux-ci sont capables de fournir des tensions HF avec une stabilité de l'ordre de 1 . Avec une stabilité de cette valeur, un oscillateur fournissant une tension HF de 1 000 kHz par exemple, a une variation de fréquence maximum de 1 kHz (tension HF jamais inférieure à 999 kHz et jamais supérieure à 1 001 kHz).

La figure 15 représente le schéma d'un oscillateur Meissner à réaction de grille. Il est assez stable, et cette qualité est due aux facteurs suivants :

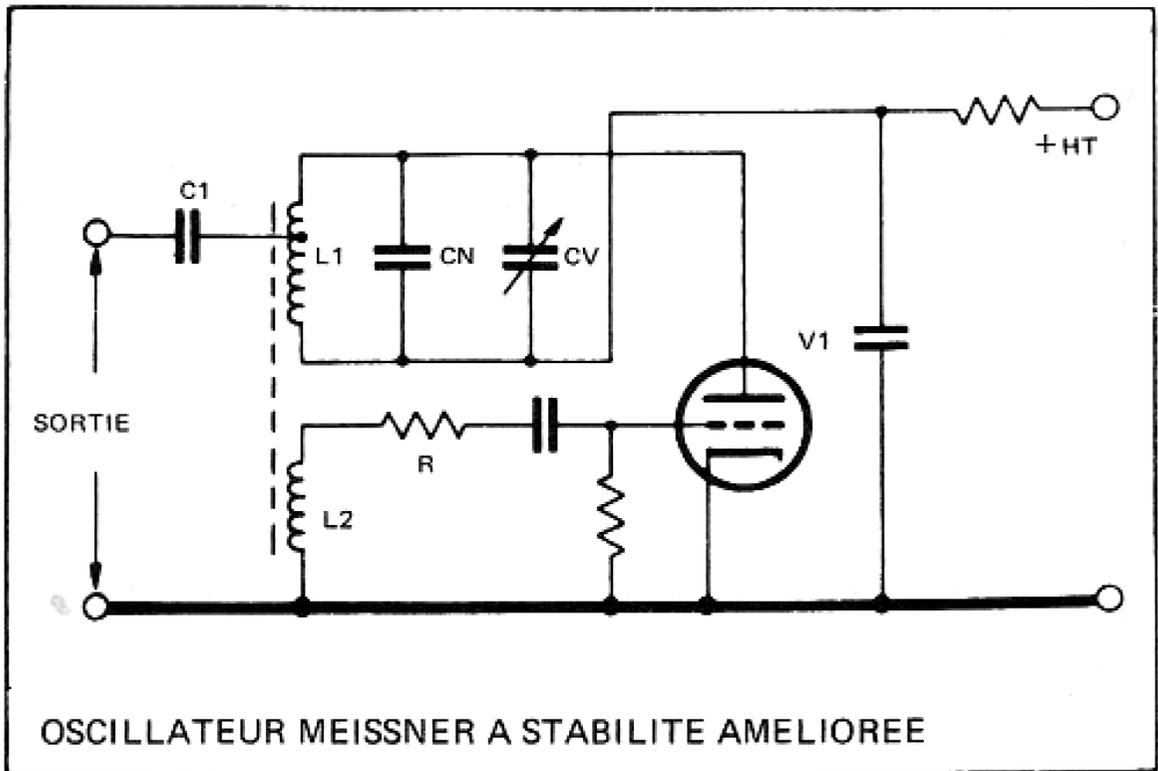


Figure 15

– Disposition du circuit oscillant sur l'anode du tube, car la variation de la capacité interélectrodes anode cathode, en raison de l'effet thermique est plus petite que la variation de la capacité interélectrodes grille cathode.

– Présence du condensateur à coefficient thermique négatif de compensation CN.

Disposition en série sur l'enroulement de réaction positive L2 d'une résistance R de faible valeur (50 à 500 Ω).

Quand les fréquences de fonctionnement varient, cette résistance a pour effet de limiter les variations de la réaction positive.

En effet, en agissant sur le condensateur variable CV, la tension de réaction induite en L2 varie, mais si elle tend à augmenter, R détermine une chute de tension plus importante.

Inversement, si elle diminue, la chute de tension diminue aussi. Ainsi, la tension de réaction reste pratiquement constante.

La tension HF produite est prélevée par l'intermédiaire du condensateur C1 qui arrête la tension continue présente en L1. Etant donné que la prise sur L1 n'est constituée que de quelques spires, on obtient une tension HF de sortie très faible.

Cependant, la charge n'étant reliée qu'à quelques spires de la bobine, n'a pas une influence appréciable sur le fonctionnement du circuit oscillant.

Le tube V1 est une triode de pente moyenne. Les tensions sont relativement faibles de façon à réduire la dissipation anodique, et par conséquent, la chaleur qui en résulte.

Il est toutefois nécessaire que la tension anodique d'alimentation soit stable.

Sur la figure 16 est donné le schéma d'un autre très bon oscillateur à moyenne stabilité. Il s'agit du circuit ECO déjà examiné dans le chapitre 1 de cette leçon.

Là aussi les modifications sont peu nombreuses ; la stabilité est obtenue grâce à :

- une capacité totale du circuit oscillant (CN + CV) très grande par rapport à la capacité interélectrodes, de façon à rendre négligeables les variations de celle-ci, et permettre l'emploi d'un bobinage L1 comportant un petit nombre de spires, donc de hautes performances.

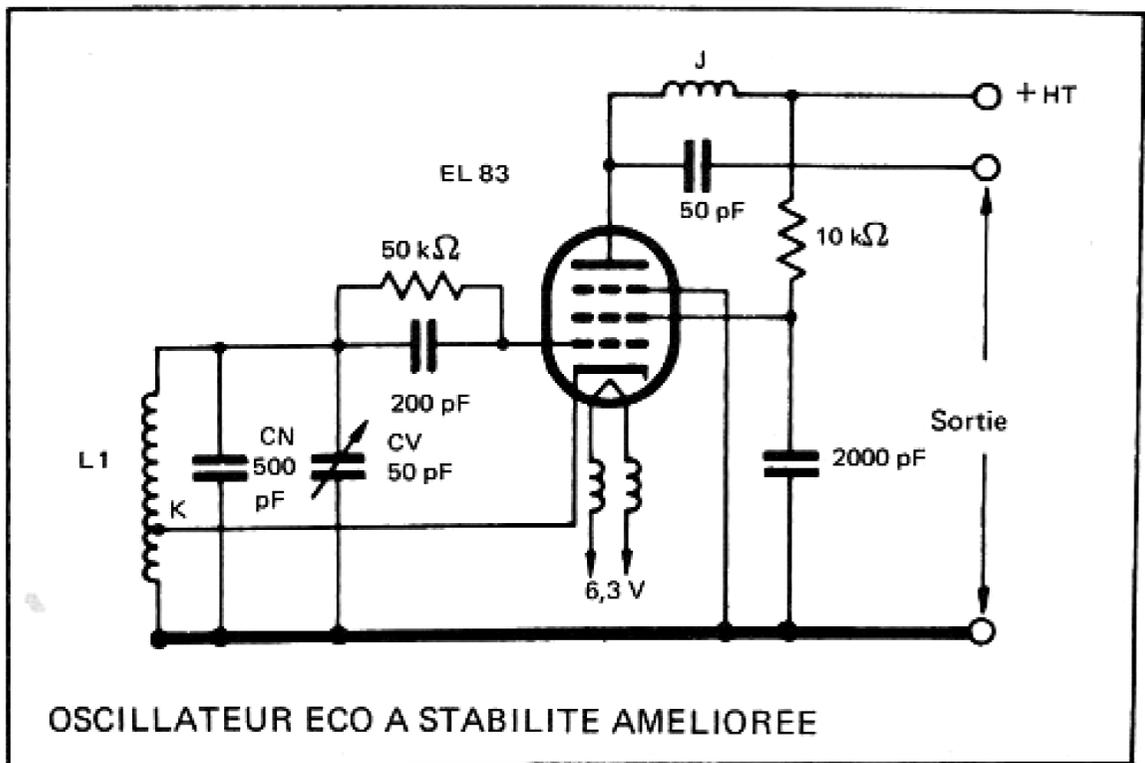


Figure 16

- une prise cathodique K sur la bobine L1 la plus proche possible de l'extrémité inférieure.
- l'élimination du circuit oscillant anodique et l'emploi d'une bobine HF, pour réduire l'action perturbatrice d'une forte tension HF de sortie.
- l'introduction de deux autres bobines HF dans l'alimentation du filament, de façon à éviter les variations du courant qui peut circuler dans la capacité interélectrodes cathode-filament et les répercussions sur la fréquence de résonance du circuit L1 CN CV.

L'oscillateur ECO a l'avantage, par rapport à l'oscillateur Meissner examiné précédemment, de rendre disponible à la sortie, une tension HF plus élevée et d'être moins sensible aux variations de la charge.

III - 2 - OSCILLATEURS A CIRCUIT DECOUPLE

Si l'on désire obtenir une fréquence encore plus stable, il faut faire en sorte que le circuit oscillant soit découplé le plus possible du tube oscillateur.

Sur la figure 17, est reporté le schéma d'un circuit Colpitts sur lequel le circuit oscillant est composé par la bobine L1 et par 4 condensateurs C1, C2, C3 et Cv. En effet, C1 et Cv sont en parallèle et se ramènent donc à une seule capacité (Cv sert à faire varier la fréquence produite).

Sur la figure, on voit qu'entre la liaison G de grille et la masse, on a une tension HF inférieure à celle qui est présente entre l'extrémité supérieure A du circuit oscillant et la masse.

En effet, la tension se divise entre les condensateurs Cv et C1 en parallèle et le condensateur C2.

Il en résulte deux conséquences importantes : la charge, représentée par la résistance de grille R1 dans laquelle circule le courant de grille, ne fait sentir que dans une faible mesure son influence sur le circuit oscillant.

Il n'en serait pas de même si le point G coïncidait avec le point A.

D'autre part, les variations de la capacité interélectrodes grille cathode sont beaucoup moins ressenties, car cette capacité reste en parallèle sur le condensateur C2 qui a une valeur assez élevée.

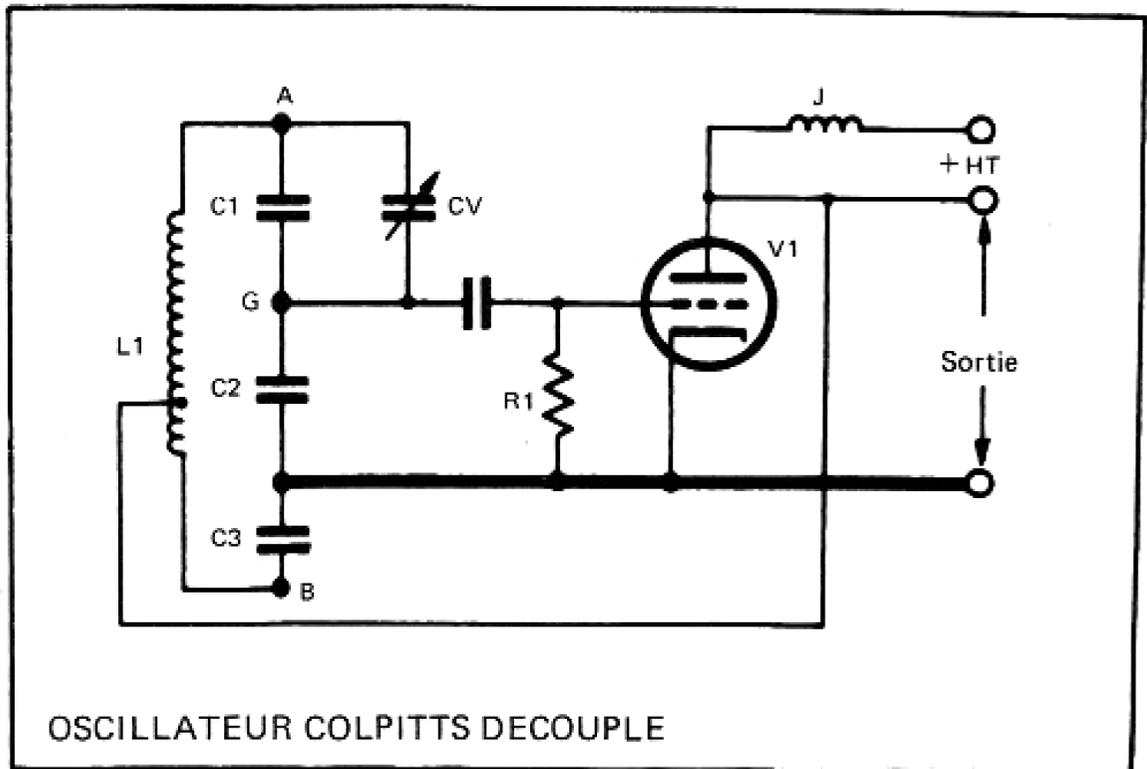


Figure 17

De la même façon, la tension de réaction prélevée sur l'anode du tube n'est pas appliquée à l'extrémité B du circuit oscillant, mais à la prise intermédiaire du bobinage. La charge du circuit est donc réduite.

Limiter la charge sur ce circuit oscillant signifie éviter de réduire le facteur de qualité, car par le terme "charge", on doit entendre une résistance d'une valeur d'autant plus basse que la charge est plus forte.

En définitive, le circuit de la figure 17 équivaut à un oscillateur Colpitts conventionnel, mais équipé d'un circuit oscillant de bonne qualité. Par conséquent, la stabilité de fréquence sera excellente.

La figure 18-a montre le circuit à haute stabilité de Klapp, un des meilleurs actuellement connus. Le circuit oscillant est composé par

l'inducteur L1 et par les condensateurs C1, C2, C3, et Cv, les deux derniers en parallèle pour permettre une certaine variation de la fréquence de résonance.

Le découplage est effectué par le condensateur C2. Quant au circuit de réaction, il comprend le condensateur C1. La figure 18-b montre avec une plus grande évidence que seule, une petite partie de la tension HF présente aux extrémités du circuit oscillant, est appliquée sur la grille du tube électronique.

On voit également que la composante HF du courant anodique fournit de l'énergie au circuit oscillant, par l'intermédiaire de C1.

Sur la figure 18-b, on a omis de dessiner, pour plus de simplicité, les éléments qui ne sont pas essentiels au fonctionnement. Il ne s'agit donc pas du schéma réel, mais d'un schéma explicatif.

Sur cette figure, on peut voir aussi un TUBE STABILISATEUR (V2) dont le fonctionnement mérite une attention spéciale. Ce tube V2 est, grosso-modo, une lampe au néon, c'est-à-dire une enveloppe de verre contenant du néon, de l'argon et du xénon, gaz rares (présents en toute petite quantité dans l'air), à basse pression.

La cathode est un petit manchon métallique placé au centre de l'anode, construite comme dans tous les autres tubes électroniques. La cathode n'est pas chauffée, c'est-à-dire que le tube est du type à CATHODE FROIDE.

Quand on applique une tension continue positive et croissante à l'anode, à travers la résistance R3, on ne note aucun passage de courant dans V2, tant que la tension anodique n'atteint pas une valeur de l'ordre de 150 V. Puis brusquement, le tube s'éclaire faiblement, et on a un important courant anodique quand la tension atteint sa valeur normale.

Dans ces conditions, la tension anodique reste pratiquement constante, même si la tension d'alimentation varie beaucoup.

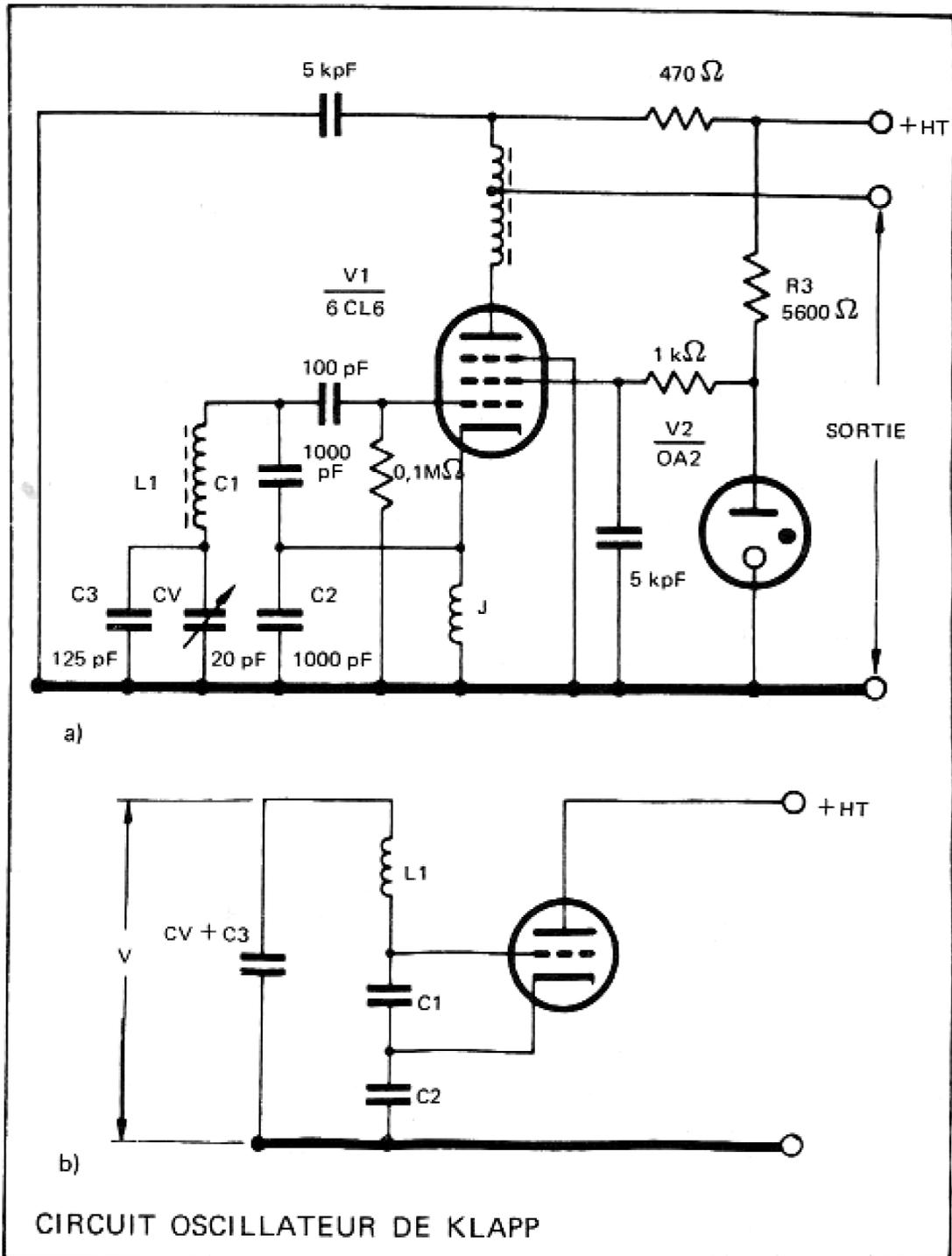


Figure 18

Autrement dit, le tube V2 se comporte comme un stabilisateur de tension.

Sur le schéma de la figure 18-a, il sert précisément à maintenir la tension d'écran de la pentode 6CL6 à la valeur constante de + 150 V, même si la tension d'alimentation varie, et si le courant absorbé par la grille écran ne reste pas constant (en raison par exemple, d'un réglage du CV qui peut provoquer une augmentation ou une diminution de la tension HF).

Il existe dans le commerce des tubes stabilisateurs pour les tensions suivantes : 50 V, 85 V, 90 V, 105 V, 150 V et 200 V. Le courant maximum dans ces diodes est de l'ordre de 20 mA.

Les tubes stabilisateurs sont employés non seulement dans les circuits oscillateurs HF, mais aussi dans les circuits dont le fonctionnement est beaucoup influencé par la tension d'alimentation.

Cependant, leur emploi est presque uniquement consacré aux appareils de laboratoire et à ceux des professionnels (circuits spéciaux pour le calcul électronique et les mesures pour les radars par exemple).

III - 3 - CIRCUITS OSCILLATEURS A QUARTZ

Même si les schémas donnés dans le paragraphe précédent paraissent simples, il est difficile de construire un oscillateur HF vraiment stable.

Il suffit de penser qu'il doit être mécaniquement très robuste, de façon à ce que seul le condensateur variable puisse avoir une influence sur la capacité du circuit oscillant.

Les procédés décrits précédemment ne seront efficaces que si ces normes constructives sont respectées.

ON COMPREND ALORS COMBIEN PEUT ETRE INTERESSANT L'EMPLOI DES QUARTZ PIEZO-ELECTRIQUES.

Ceux-ci permettent de réaliser des circuits simples qui ne nécessitent aucune des exigences dont on vient de parler, tout en assurant une tension HF extrêmement stable.

D'autre part, les oscillateurs HF qui ne sont pas à quartz fournissent une tension HF plus ou moins stable, mais pas exactement connue. On peut bien sûr mesurer l'inductance et la capacité du circuit oscillant, mais le calcul relatif à ces mesures ne fournira qu'une valeur indicative de la fréquence de résonance, en raison de tous les facteurs perturbateurs qui empêchent une évaluation précise.

On procède donc à une CALIBRATION ultérieure de l'oscillateur, ce qui exige des appareils de laboratoire délicats et coûteux, ou alors on doit se contenter d'une approximation.

AU CONTRAIRE, LE QUARTZ EST UN ETALON DE FREQUENCE.

Il indique avec une grande précision, la fréquence exacte de résonance qui sera produite par le circuit oscillateur. Cette fréquence sera indépendante des circuits oscillants à inductance et capacité éventuellement présents, des capacités interélectrodes, des tension d'alimentation et de tout autre facteur perturbateur connu ou inconnu.

Cependant, ces avantages soulèvent un problème dans certains cas.

En effet, toutes les fois qu'il convient de réaliser un oscillateur à fréquences variables pour couvrir une gamme de fréquences, il n'est pas possible d'utiliser un quartz.

Même la solution consistant à mettre un certain nombre de quartz commutables sur un seul circuit oscillateur n'est pas satisfaisante. D'une

part, la fréquence ne varierait pas avec continuité mais par sauts, d'autre part, l'opération serait très onéreuse, en raison du coût élevé des quartz.

Quoi qu'il en soit, un grand nombre des schémas présentés jusqu'à maintenant sont adaptables au fonctionnement avec quartz, avec quelques variantes simples.

Du point de vue strictement théorique, il n'y a rien de neuf, pour la compréhension du fonctionnement de ces circuits. Il suffit de remplacer le signe graphique du quartz (figure 14-b) par son circuit électrique équivalent, montré sur la figure 13.

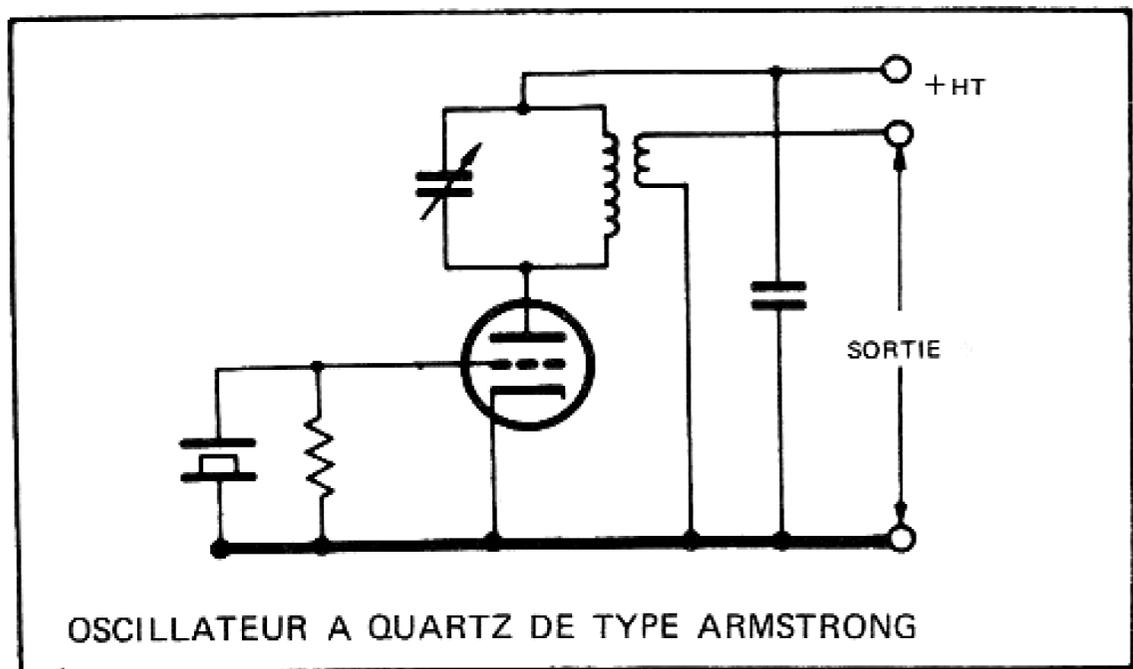


Figure 19

Nous allons maintenant examiner quelques-uns des circuits à quartz les plus utilisés.

La figure 19 représente un oscillateur sur lequel on peut reconnaître un circuit classique.

Le remplacement du circuit oscillant de grille par le quartz élimine un défaut fondamental : l'instabilité de fréquence due à la présence simultanée de deux circuits oscillants, dont chacun intervient dans la définition de la fréquence de fonctionnement. Le quartz ayant un facteur de qualité Q très grand, déterminera la fréquence de fonctionnement.

On se souvient que la réaction positive est obtenue à travers la capacité interélectrodes grille-anode. En utilisant une tétrode ou une pentode au lieu de la triode, on est obligé de disposer un petit condensateur de quelques picofarads, entre l'anode et la grille, pour porter cette capacité interélectrodes à une valeur convenable.

Le circuit de la figure 20, dû à Pierce, est une variante du circuit Colpitts. Les deux condensateurs en série de ce circuit, sont ici remplacés par les capacités intélectrodes d'anode et de grille par rapport à la cathode.

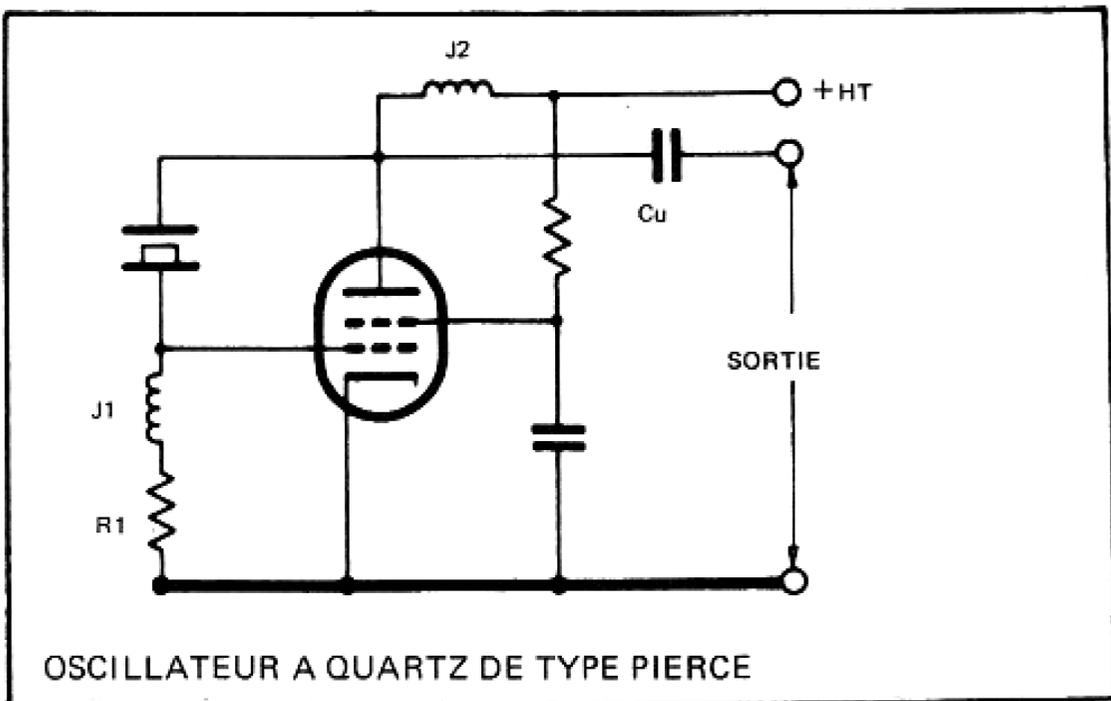


Figure 20

La puissance obtenue est relativement importante, étant donné que maintenant le cristal oscille avec plus d'énergie, étant relié directement à la sortie.

L'oscillateur Pierce est très utilisé puisqu'il ne réclame aucun réglage, contrairement au circuit oscillant vu précédemment.

L'impédance J1 sert à empêcher que la tension HF appliquée sur la grille détermine un courant HF dans la résistance R1. Elle n'est pas strictement nécessaire et elle peut être omise.

L'impédance de charge anodique J2 est aussi remplaçable par une résistance dans la mesure où l'on peut négliger la chaleur dissipée par celle-ci.

Le condensateur Cu transmet la HF au circuit d'utilisation, en bloquant la composante continue de la tension anodique.

Contrairement au cas précédent où la tension HF était faible, mais le courant important, la sortie du circuit Pierce fournit une tension HF assez élevée, mais le courant du circuit est faible.

A la différence des circuits oscillants ordinaires, le cristal de quartz n'entre pas facilement en oscillation, quand on applique la tension au circuit.

Ceci est dû au fait qu'il a une FORTE INERTIE MECANIQUE, qui doit être vaincue initialement par une espèce de "choc" électrique.

Si le quartz est très actif, c'est-à-dire s'il a été obtenu d'un cristal sans imperfections et travaillé avec soin, les courants dus à la charge des condensateurs suffisent à le faire osciller.

De plus, aux premiers instants de fonctionnement, aux extrémités de la résistance d'autopolarisation de grille, il n'existe aucune tension continue négative, car elle se forme justement aux dépens de la tension HF

produite. Dans ces conditions, le tube électronique conduit fortement et présente UNE TRANSCONDUCTANCE ELEVEE.

Dans le cas du fonctionnement à régime normal, la polarisation de grille règle automatiquement l'amplitude de la tension HF produite.

Toutefois, il est possible que quelques cristaux n'entrent pas en oscillation.

On a recours dans ce cas à des circuits avec une réaction positive énergique, pour exciter fortement le cristal.

Le même procédé est utilisé quand on veut extraire de la sortie du circuit non pas la fréquence fondamentale, sur laquelle résonne le cristal, mais la seconde ou la troisième harmonique. Ceci est nécessaire quand on veut obtenir des fréquences supérieures à 10 MHz, ce qui demanderait des cristaux très fins, difficiles à construire et fragiles.

La figure 21 représente le circuit TRITET, dans lequel le véritable oscillateur est formé du quartz et du circuit oscillant L1 C1.

Les oscillations se produisent quand la tension HF de grille est en phase avec celle du circuit oscillant. La réaction, si elle est déjà très énergique, est encore augmentée par la présence du circuit oscillant anodique L2 C2, dont la tension HF est transmise partiellement sur L1 C1 par l'intermédiaire de la résistance intérieure de la tétrode (ou de la pentode).

Ce circuit favorise donc les cristaux très difficiles à faire osciller. On peut même accorder le circuit anodique L2 C2 non pas sur la fondamentale mais sur la seconde ou sur la troisième harmonique.

Enfin, la figure 22 montre un circuit Colpitts modifié par l'utilisation du quartz. On observe l'analogie avec le circuit Klapp de la figure 18-a, analogie encore plus marquée si l'on remplace le quartz par son circuit électrique équivalent (figure 13).

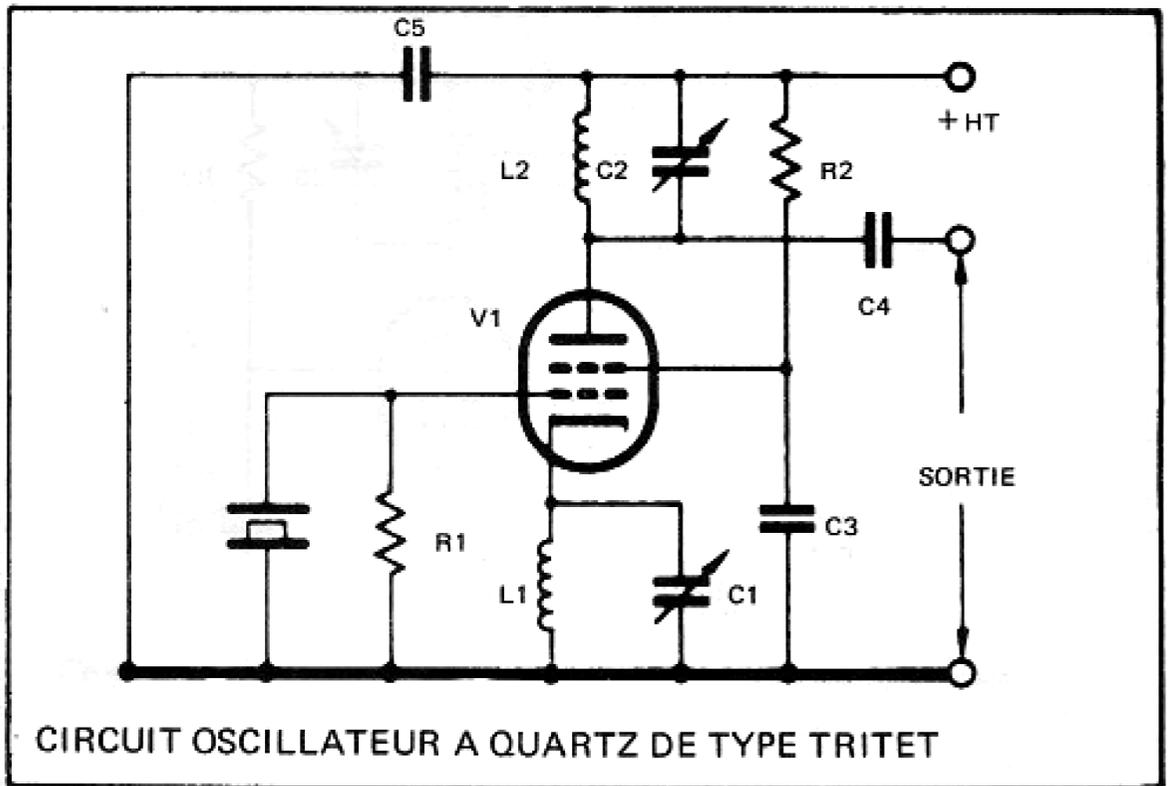


Figure 21

Comme dans tous les circuits Colpitts, le degré de réaction positive est déterminé par le rapport des capacités $C1$ et $C2$. En utilisant un condensateur variable (à la place de $C1$ ou $C2$), on rend possible un réglage précis de la réaction, et donc la meilleure activité du cristal.

On note l'absence du condensateur de grille remplacé par $C1$ et par le quartz. La résistance de grille $R1$ est reliée à la cathode, et le courant continu de grille doit traverser la faible résistance de J pour rejoindre la masse. Par contre, le courant HF qui pourrait circuler à travers $R1$ reste très faible, étant donné la réactance de la bobine J .

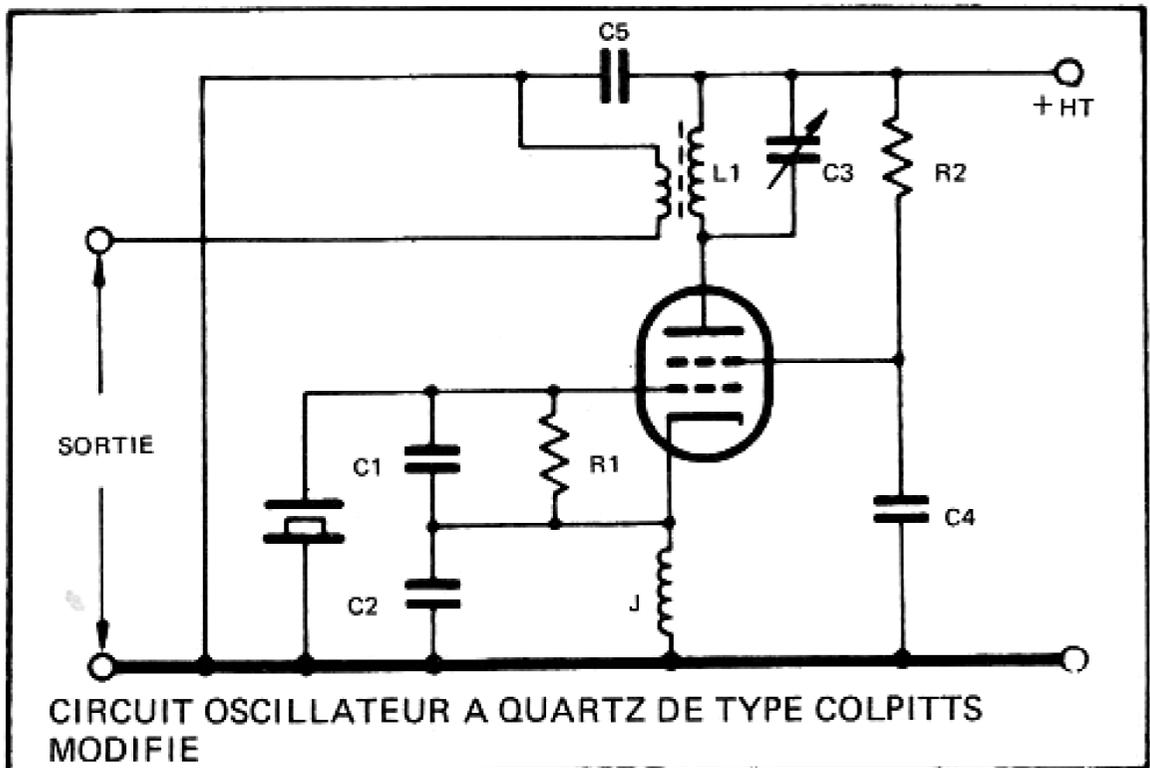


Figure 22

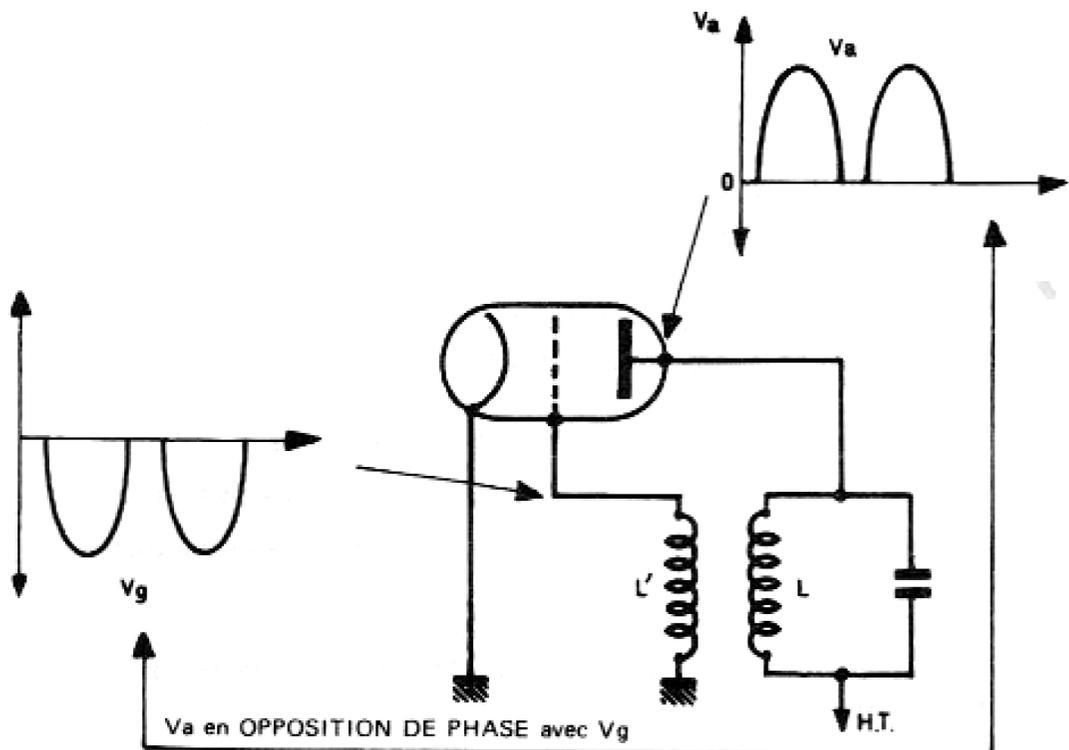
Dans le cours de SPECIALISATION RADIO CONSTITUANT LA SUITE NORMALE DE CE COURS dans le cadre d'une spécialisation en TELECOMMUNICATIONS, nous retrouverons les OSCILLATEURS par exemple, dans les ETAGES CONVERTISSEURS DE FREQUENCE, étages permettant aux AMPLIFICATEURS HF de travailler sur une FREQUENCE UNIQUE (450 kHz en AM) alors que les signaux d'entrée sont compris entre 160 kHz et 16 MHz environ.

NOTIONS A RETENIR

– Il faut respecter deux conditions pour obtenir le fonctionnement d'un OSCILLATEUR HF (ou BF).

a) LA TENSION REINJECTEE DOIT ETRE EN PHASE AVEC V_g .

Etant donné qu'un tube électronique "cathode à la masse" introduit un DEPHASAGE, on peut dire également que la tension V_a doit être réinjectée sur V_g en OPPOSITION DE PHASE.



La figure ci-dessus permet de mieux comprendre cette explication.

En d'autres termes, cela signifie que la TENSION V_a doit être INVERSEE avant d'être appliquée sur la grille.

b) La TENSION REINJECTEE doit avoir une valeur déterminée.

A cette valeur, correspond évidemment un certain DEGRE DE COUPLAGE entre L et L', donné par la formule :

$$M = \frac{1}{k} (L + CR\rho) \text{ avec}$$

k = coefficient d'amplification

L = self induction du circuit oscillant

C = capacité du circuit oscillant

R = résistance effective totale du circuit oscillant

ρ = résistance interne du tube.

- Cette condition de couplage (condition EOLIENNE plus connue sous le nom de CONDITION D'ACCROCHAGE) peut être exprimée sous une autre forme.

En effet, le tube monté en oscillateur amplifie.

Le gain en tension est égal à $G = \frac{V_a}{V_g}$

Pour que l'oscillateur fonctionne, il faut que le circuit de réaction donne une tension V_g , qui, amplifiée redonnera V_a .

En appelant A le rapport $\frac{V_g}{V_a}$ c'est-à-dire LE RAPPORT de transformation introduit par le circuit de réaction positive, nous pouvons dire que G (gain) = $\frac{V_a}{V_g}$ ou 1/A, ce qui conduit à la relation :

CONDITION D'ACCROCHAGE : $A \times G = 1$

(cette formule sera reprise et développée dans la leçon CIRCUITS ELECTRONIQUES 6).

- Les OSCILLATEURS HF les plus courants sont du type :

HARTLEY (série ou parallèle)

ARMSTRONG

**MEISSNER
COLPITTS
ECO (ELECTRON COUPLED OSCILLATOR)**

Dans ce dernier type, l'entretien des oscillations est assuré par un COUPLAGE entre GRILLE DE COMMANDE et GRILLE ECRAN.

- Parmi les OSCILLATEURS à grande stabilité, il faut citer :
 - L'OSCILLATEUR DE KLAPP
 - L'OSCILLATEUR A QUARTZ de type ARMSTRONG, PIERCE, TRITER ou COLPITTS.



EXERCICE DE REVISION SUR LA "THEORIE 25"

- 1) Pourquoi les bobines pour les oscillateurs HF sont-elles d'une construction plus facile que les bobines pour les oscillateurs BF ?
- 2) Pourquoi le circuit oscillateur COLPITTS (cathode à la masse) est-il particulièrement apte à fonctionner aux fréquences élevées ?
- 3) Comment obtient-on la stabilisation d'amplitude dans les oscillateurs HF ?
- 4) Quelle différence y-a-t-il entre les oscillateurs Hartley et les oscillateurs Colpitts ?
- 5) Pourquoi un oscillateur réalisé avec un tube pentode n'est plus conseillé aux fréquences élevées ?
- 6) Dans un circuit oscillateur ECO réalisé avec une tétrode, quelle est la fonction de la grille écran du tube ?
- 7) Quelle est la relation qui existe entre le facteur de qualité et la stabilité en fréquence ?
- 8) Comment peut-on éliminer l'influence de la tension d'alimentation sur la fréquence d'un oscillateur ?
- 9) Pourquoi le QUARTZ permet-il la réalisation d'oscillateurs HF très stable ?
- 10) Pourquoi utilise-t-on avec les QUARTZ, sur les oscillateurs de fréquence élevée, des circuits doubleurs ou tripleurs de fréquence ?



REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA "THEORIE 24"

- 1) La différence entre amplification de puissance et rendement est la suivante : l'amplification de puissance concerne la puissance HF amplifiée par rapport à celle d'entrée ; le rendement concerne le rapport entre la puissance HF de sortie et la puissance d'alimentation.
- 2) Entre puissance d'alimentation, puissance dissipée et rendement, il y a la relation suivante : quand le rendement augmente, la puissance dissipée diminue et la puissance d'alimentation reste inchangée.
- 3) Les amplificateurs en classe C ne peuvent pas être utilisés pour la basse fréquence, car ils introduisent une forte distorsion.
- 4) La tension de polarisation de grille d'un étage en classe C doit être fortement négative pour ne permettre un flux de courant anodique que dans les pointes des demi-ondes positives du signal de commande.
- 5) On utilise le neutrodynage pour annuler l'effet de la capacité anode grille d'une triode.
- 6) En général, les pentodes ne réclament pas le neutrodynage.
- 7) Les capacités parasites anode cathode et grille cathode limitent la fréquence de fonctionnement d'un amplificateur HF.
- 8) Les condensateurs à stator subdivisé sont utilisés dans les circuits symétriques pour les amplificateurs PUSH-PULL.



REponses A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA "THEORIE 25"

- 1) Les bobines pour les oscillateurs HF sont d'une construction plus facile que les bobines pour les oscillateurs BF car elles ne réclament pas de noyau ferromagnétique.
- 2) Le circuit oscillateur COLPITTS (cathode à la masse) est particulièrement apte à fonctionner sur des fréquences élevées car pour ces fréquences, la réactance, due à la capacité grille-anode à travers laquelle se produit la restitution du signal qui détermine la réaction positive, est basse.
- 3) La stabilisation d'amplitude dans les oscillateurs HF s'obtient au moyen de l'autopolarisation de grille qui réduit automatiquement la réaction positive quand la tension HF augmente, et inversement, augmente la réaction positive quand la tension HF diminue.
- 4) Entre les oscillateurs Hartley et les oscillateurs COLPITTS, il y a la différence suivante : dans les premiers, le circuit oscillant est muni d'une prise intermédiaire sur le bobinage, tandis que dans les seconds, on a la subdivision de la capacité du condensateur.
- 5) Un oscillateur réalisé avec un tube pentode n'est pas conseillé aux fréquences élevées, l'espace cathode anode étant trop important et le temps mis par les électrons pour franchir cet espace n'étant plus négligeable.
- 6) Dans un circuit oscillateur ECO réalisé avec une tétrode, la grille écran du tube remplit la fonction d'anode à la masse.
- 7) La relation qui existe entre facteur de qualité et stabilité de fréquence est la suivante : plus le facteur de qualité est haut, plus la fréquence est stable.



THEORIE 25

67

- 8) L'influence de la tension d'alimentation sur la fréquence d'un oscillateur HF s'élimine en stabilisant la tension au moyen d'un tube régulateur de tension.**
- 9) Le quartz permet la construction d'oscillateurs HF très stables car il correspond à un circuit oscillant de Q très élevé.**
- 10) On utilise les circuits à quartz doubleurs ou tripleurs car il n'est pas possible de construire des cristaux de quartz assez fins pour vibrer à des fréquences supérieures à 10 MHz.**