



CIRCUITS ELECTRONIQUES

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

Dans cette sixième et dernière leçon CIRCUITS ELECTRONIQUES, nous allons résumer les leçons précédentes concernant les OSCILLATEURS et compléter celles-ci par quelques données nouvelles et quelques formules d'usage courant.

1 - CIRCUIT OSCILLANT

La figure 1 montre un circuit LC parallèle branché dans le circuit anodique d'une triode.

Dans la position indiquée par la figure 1, le commutateur est en position A. La grille de la triode est polarisée au potentiel de la masse, et il en résulte que le courant anodique traversant la bobine L est assez important.

La chute de tension aux bornes de L est très faible, puisqu'elle est due uniquement à la faible résistance ohmique de la bobine (la réactance inductive d'une bobine est nulle à la fréquence 0).

Aucune résistance ne figure sur le schéma, nous supposons en effet que la résistance de L est négligeable ; de la sorte, aucune tension n'apparaît à ses bornes, et le condensateur est complètement déchargé.

Le courant anodique en traversant la bobine engendre un flux magnétique et au bout d'un certain temps, la bobine a emmagasiné une quantité d'énergie qui dépend de l'inductance L et du courant I. Cet état du circuit LC est représenté figure 2-a.

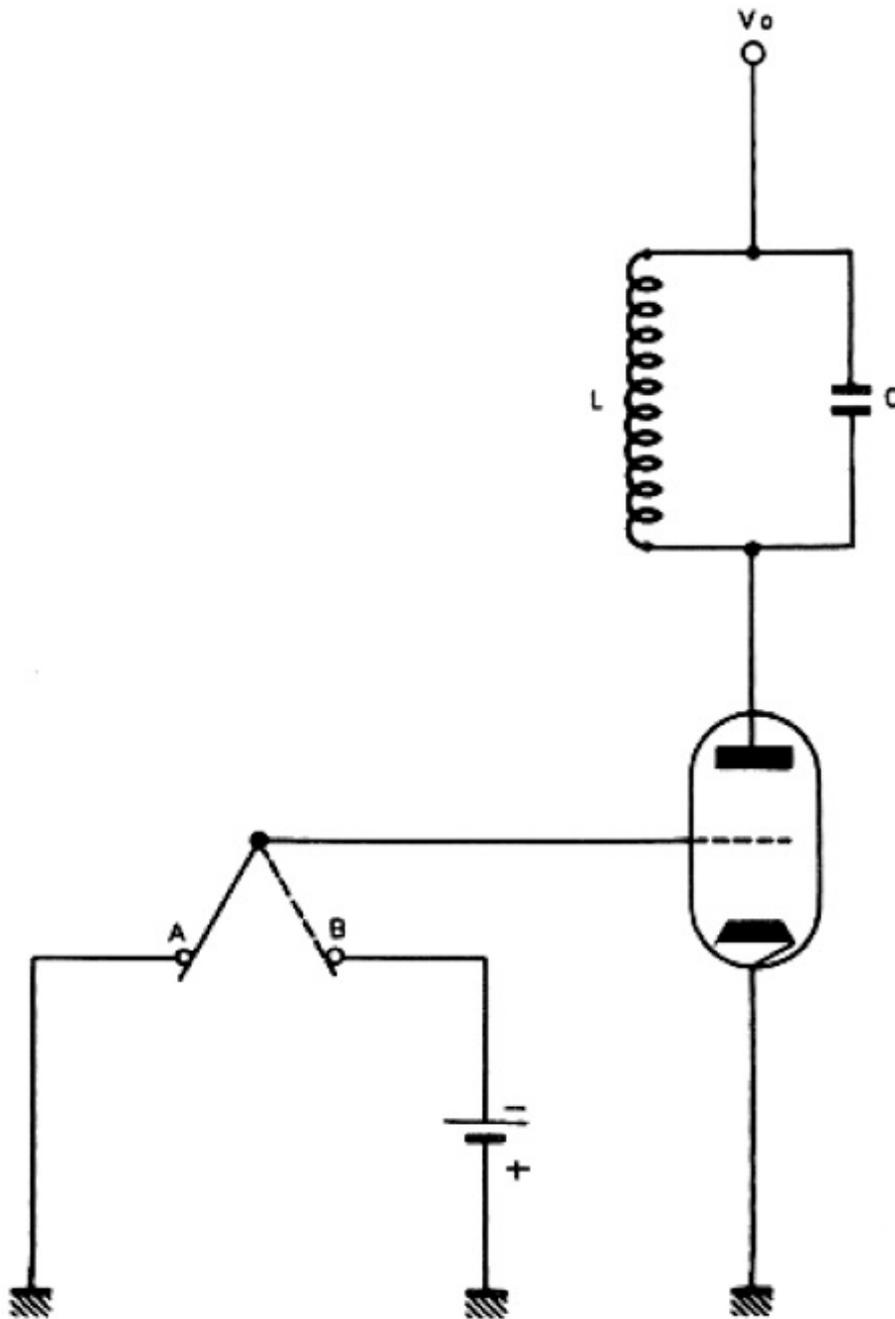


Figure 1

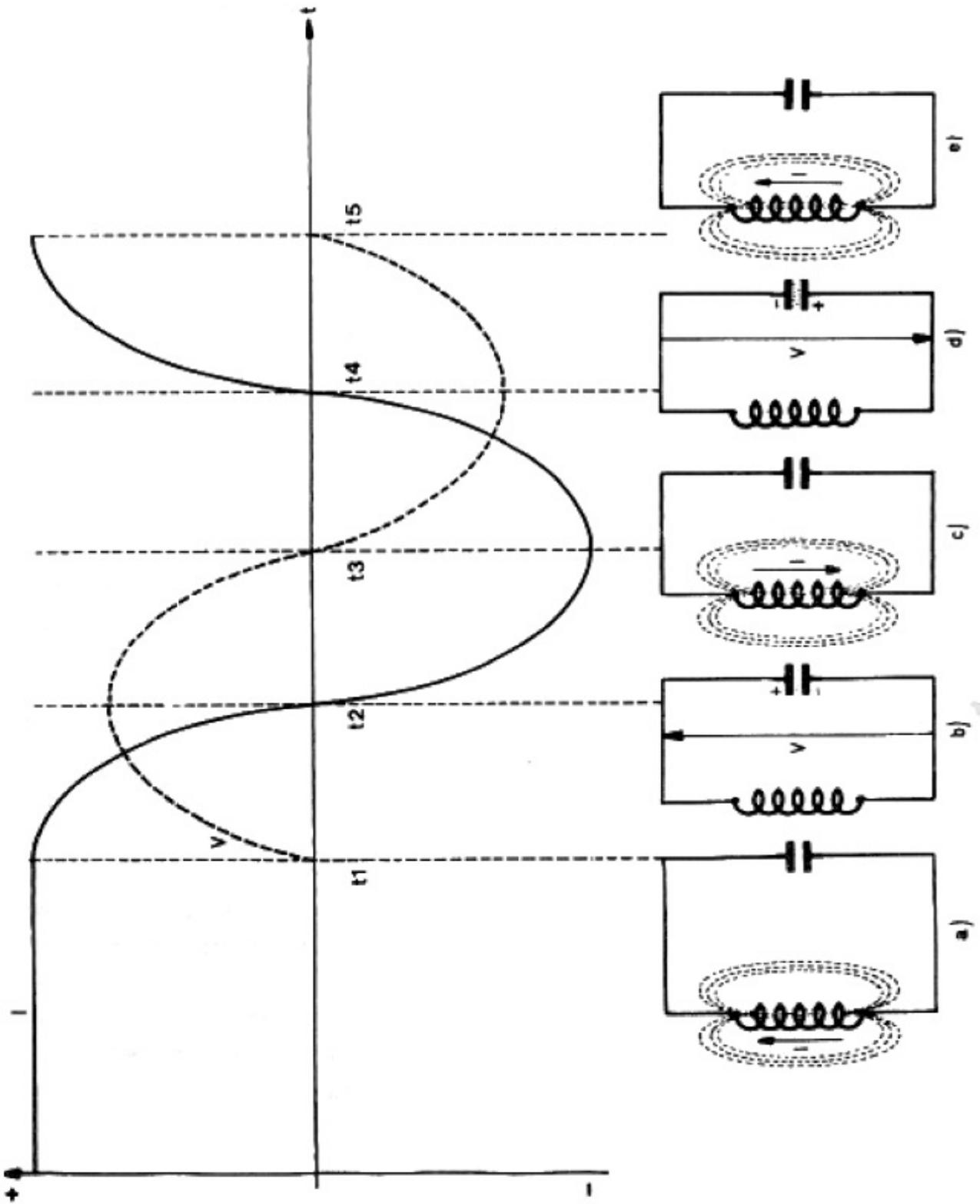


Figure 2

Passons maintenant le commutateur en position B. La tension négative de la pile est appliquée à la grille de commande de la triode, et nous supposons que cette tension est suffisante pour interrompre totalement le courant anodique du tube.

Si le courant traversant L était interrompu d'une manière instantanée, la tension induite aux bornes du bobinage serait infinie, mais cela est rendu impossible par la présence du condensateur C.

En effet, dès que le courant I commence à diminuer, la bobine produit une f.c.e.m qui tend à s'opposer à la diminution du courant, ou autrement dit, à entretenir le courant.

Comme ce courant ne peut plus traverser la triode, il est obligé de traverser le condensateur et par conséquent de le charger.

A mesure que la charge de C s'accroît, la tension aux bornes de C augmente, ceci implique, pour que la charge continue à s'effectuer, une augmentation de la tension induite (f.c.e.m) aux bornes de L.

Or, le seul moyen qui permette à cette tension de continuer à croître, est que le courant qui traverse L décroisse de plus en plus vite, comme le montre la courbe représentant I dans la figure 2 entre t_1 et t_2 .

Au temps t_2 , le courant est nul, mais le condensateur est chargé au maximum de tension (figure 2-b). L'énergie emmagasinée dans la bobine est passée dans le condensateur sous la forme d'un champ électrique.

La tension aux bornes de C doit être équilibrée par une tension égale aux bornes de L. Pour réaliser cet équilibre, le condensateur va se décharger dans la bobine et produire ainsi un courant de sens inverse, donc négatif.

Evidemment, en se déchargeant le condensateur perd de la tension, si bien que le taux de changement du courant, qui engendre la tension induite dans L, diminue peu à peu jusqu'à ce que le condensateur soit complètement déchargé.

La tension aux bornes du circuit est alors nulle et le courant passe par un maximum négatif (point t3 de la figure 2).

Toute l'énergie emmagasinée entre les armatures de C sous forme de champ électrique a été restituée à L sous forme de champ magnétique, **MAIS DANS LE SENS OPPOSE** (figure 2-c).

Maintenant, le courant recommence à charger C, mais avec des polarités inverses de celles qu'il avait acquises précédemment, et le phénomène que nous venons de décrire se reproduit.

Le deuxième renversement de polarités (figure 2-d et 2-e) nous ramène dans les conditions de départ (temps t5).

Si aucune perte ne se produisait, tout pourrait recommencer et l'énergie prélevée au départ sur la source de haute tension serait perpétuellement relancée du condensateur au bobinage et du bobinage au condensateur.

Le courant ne cesserait jamais d'osciller et on peut démontrer mathématiquement que les variations de tension et de courant sont **SINUSOIDALES**.

L'OSCILLATEUR QUE NOUS VENONS DE DECRIRE EST AUSSI IMAGINAIRE QUE LE MOUVEMENT PERPETUEL.

Il est impossible de réaliser un circuit oscillant dépourvu de pertes. La résistance des circuits (résistance ohmique de la bobine, résistance de fuite du condensateur, résistances des fils et des liaisons) dissipe à chaque cycle une partie de l'énergie initiale.

En raison de ces pertes, l'énergie échangée entre le condensateur et la bobine diminue graduellement et disparaît complètement après un certain temps.

Pour les mêmes raisons, l'amplitude des oscillations diminue également et devient nulle lorsqu'il n'y a plus d'énergie disponible dans le circuit.

Ainsi, la tension aux extrémités du condensateur prend la forme indiquée sur la figure 3-b.

Sur celle-ci, on voit clairement que la valeur de la tension pour un cycle donné est inférieure à celle du cycle précédent.

Le même phénomène se produit pour le courant, car chaque fois que la bobine crée un champ magnétique, elle emmagasine une énergie de plus en plus faible.

Le courant a alors une forme identique à celle représentée sur la figure 3-b.

En conclusion, les oscillations qui se produisent dans les circuits oscillants sont appelées **OSCILLATIONS AMORTIES**, leur amplitude diminuant progressivement jusqu'à zéro.

Pour les circuits oscillants, on utilise généralement des condensateurs qui ont des pertes très réduites. On peut donc dire que dans un circuit oscillant les pertes sont dues uniquement à la résistance du conducteur constituant la bobine.

Ainsi, on peut considérer qu'un circuit oscillant est constitué par un condensateur sans pertes et par une bobine avec résistance.

On représente donc cette bobine avec une résistance en série, de valeur égale à la résistance ohmique du conducteur constituant l'enroulement (figure 4-a)

Il est alors plus évident que le courant dû aux charges et aux décharges successives du condensateur, doit traverser la résistance R_s qui dissipe de l'énergie.

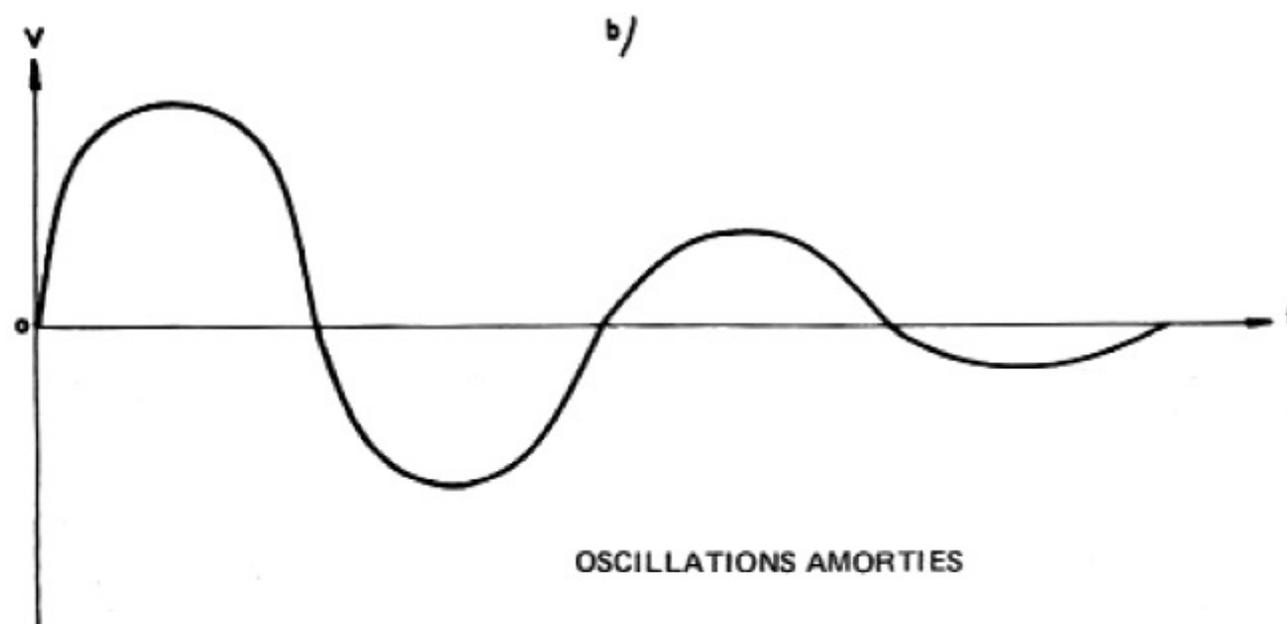
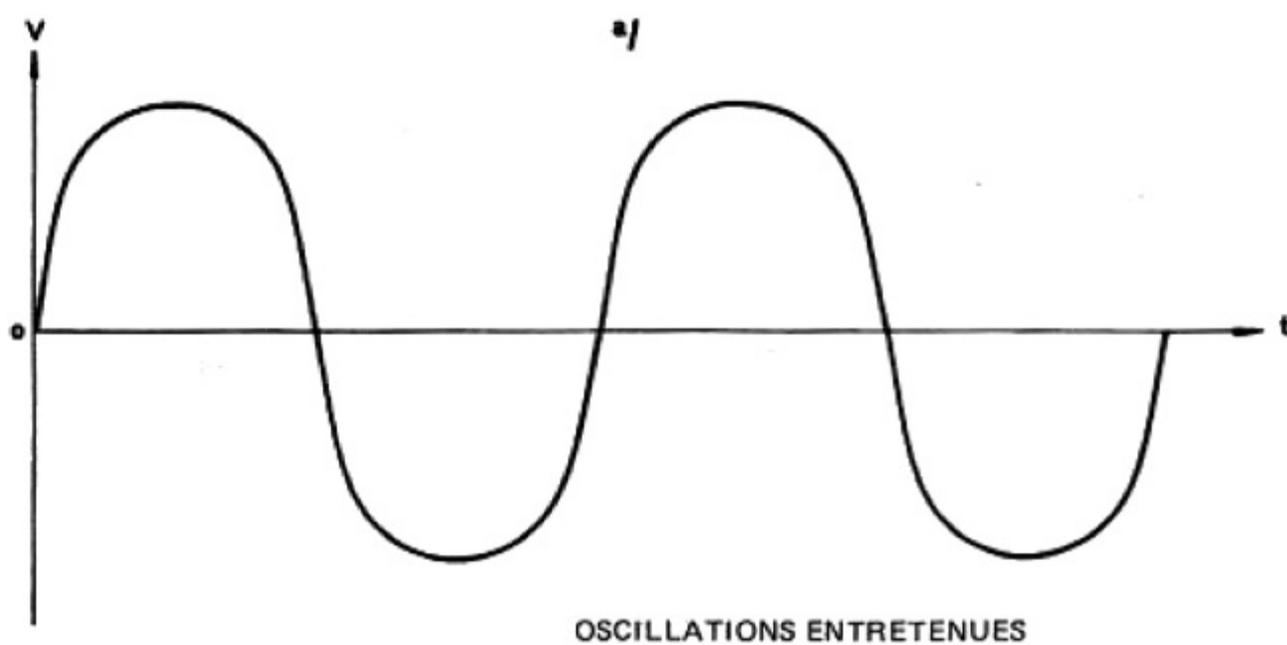


Figure 3

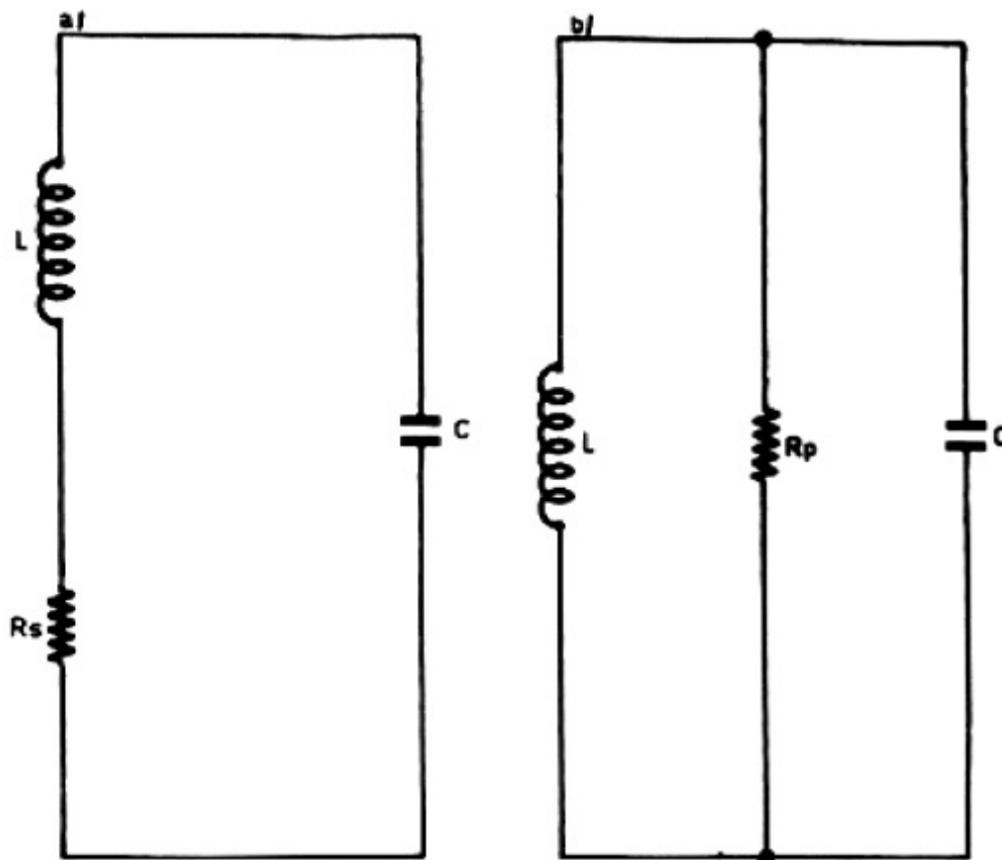


Figure 4

La résistance R_s DOIT ETRE LA PLUS PETITE POSSIBLE, ceci afin d'éviter les pertes.

Si la résistance effective dépasse la valeur $R = 2\sqrt{L/C}$ le circuit ne peut osciller car la tension ou le courant ne s'inverse pas après l'impulsion initiale.

En effet, toute l'énergie emmagasinée par la bobine est dissipée dans la résistance dès le premier cycle.

Remarquons également que la même énergie est dissipée si, au lieu d'avoir la résistance en série avec le bobinage celle-ci se trouve en parallèle sur le condensateur et la bobine (figure 4-b).

Dans ce cas, la totalité du courant de charge et de décharge du condensateur ne traverse pas la bobine, et une partie de celui-ci circule à travers la résistance R_p , déterminant dans cet élément une dissipation d'énergie.

Le circuit représenté figure 4-a est appelé **CIRCUIT RESONNANT SERIE**, celui de la figure 4-b, **CIRCUIT RESONNANT PARALLELE**.

Evidemment, pour un circuit résonnant donné, le facteur de qualité doit toujours être le même, que les pertes soient représentées par la résistance R_s ou par la résistance R_p .

On peut déterminer la relation qui existe entre R_s et R_p , lorsque les deux circuits sont équivalents.

Par des calculs complexes qui sortent du cadre de ce cours, on trouve que la valeur de la résistance R_p du circuit résonnant parallèle doit être égale au produit de la résistance R_s du circuit résonnant série par le carré du facteur de qualité : $R_p = R_s \times Q^2$.

II - FREQUENCE D'OSCILLATION

A partir de l'instant t_1 de la figure 2, la bobine L et le condensateur C travaillent en circuit fermé.

Le courant traversant L est donc égal au courant traversant C et les tensions apparaissant à leurs bornes sont aussi égales.

Il résulte de ceci que les réactances de L et de C doivent être aussi égales. Nous pouvons donc écrire que :

$$L\omega = \frac{1}{C\omega}$$

ω est la pulsation de l'onde sinusoïdale apparaissant, lorsque le circuit entre en oscillation.

Remplaçons ω par son expression en fonction de la fréquence ($2\pi F$), nous obtenons :

$$2\pi F \times L = \frac{1}{2\pi FC}$$

Tirons la valeur de F :

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C}}$$

Nous avons déjà trouvé cette formule dans la leçon théorique 4, lorsque nous avons calculé la fréquence de résonance d'un circuit LC.

Nous pouvons dire que si l'on fournit une certaine énergie à un circuit LC parallèle, celui-ci se met à osciller à une fréquence correspondant à la FREQUENCE DE RESONANCE du circuit. C'est pour cette raison que les circuits oscillants sont aussi appelés CIRCUITS RESONNANTS.

En utilisant des valeurs de L et de C très petites, nous pouvons obtenir des fréquences très élevées (plusieurs MHz).

Exemple : soit à calculer la fréquence d'oscillation d'un circuit LC parallèle composé d'une bobine dont l'inductance $L = 4\mu\text{H}$ et d'un condensateur de 1pF .

La fréquence d'oscillation de ce circuit est donnée par la formule :

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

soit en remplaçant les lettres par leur valeur :

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{1}{2 \times 3,14 \times \sqrt{4 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-12}}} \\
 &= \frac{1}{6,28 \sqrt{4 \times 10^{-9}}} \\
 &= \frac{1}{6,28 \times 2 \times 10^{-9}} = \frac{10^9}{12,56} = 79\,617\,754 \text{ Hz.}
 \end{aligned}$$

Nous pouvons considérer que cette fréquence est très peu différente de 80 MHz.

III – REACTION D'UNE ONDE SINUSOÏDALE

Nous avons vu qu'un circuit oscillant est capable de produire une onde sinusoïdale amortie.

Il faut donc trouver un moyen pour entretenir les oscillations, c'est-à-dire rendre à chaque cycle la quantité d'énergie perdue dans sa résistance propre, plus celle prélevée par l'utilisation.

Nous possédons, sous la forme du courant continu de l'alimentation, d'importantes réserves d'énergie. Il suffit donc d'en prélever périodiquement une parcelle et de l'injecter au circuit oscillant juste au bon moment. Revenons au circuit de la figure 1.

Le circuit LC est mis en état d'oscillation par le passage du commutateur de A en B, c'est-à-dire à l'instant T1 de la figure 2.

A l'instant t5, une certaine quantité d'énergie a été dissipée dans la résistance du circuit.

Si au moment t3, on remet le commutateur en A, l'oscillation reprend son amplitude initiale jusqu'en t5.

En effet, la triode se remet à conduire et le courant anodique vient renforcer l'action de la bobine L.

Nous savons qu'un commutateur ne peut fonctionner aux fréquences élevées utilisées en électronique.

Il faut donc trouver un système qui rende la grille de la triode plus négative de t1 à t3 et plus positive de t3 à t5, et ainsi de suite pour chaque cycle.

A la fréquence de résonance, le circuit LC se comporte comme une résistance élevée. La triode est donc montée en amplificatrice à résistance, et, une petite fraction de la tension sinusoïdale apparaissant sur l'anode suffirait, si on l'injectait convenablement sur la grille de commande, à compenser les pertes.

La figure 5-a montre un circuit amplificateur dont la charge anodique est constituée par un circuit LC.

La tension d'entrée V_g est fournie par un petit générateur travaillant à la fréquence de résonance du circuit LC.

Cette tension est amplifiée par le tube et elle subit un déphasage de 180° (figure 5-b).

SI UNE PETITE PARTIE DE LA TENSION V_a EST INVERSEE ET APPLIQUEE SUR LA GRILLE, LE PETIT GENERATEUR EST

INUTILE. L'AMPLIFICATEUR FOURNIT ALORS SA PROPRE TENSION D'ENTREE ET DEVIENT UN GENERATEUR D'OSCILLATIONS ENTRETENUES, C'EST-A-DIRE UN OSCILLATEUR.

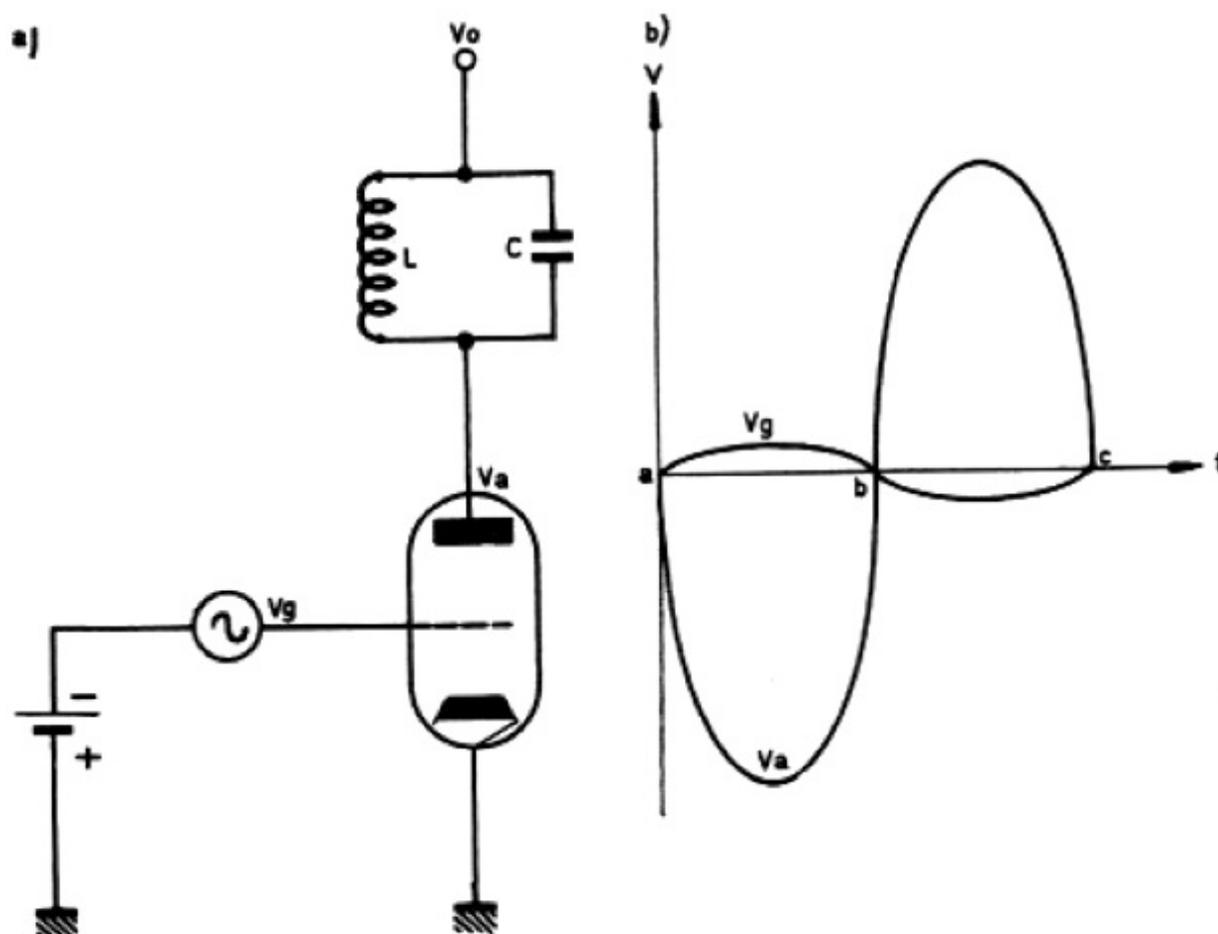


Figure 5

La méthode la plus simple, pour réaliser ce que nous venons d'énoncer, est d'insérer un bobinage dans le circuit de grille et de le coupler inductivement avec la bobine du circuit oscillant, jusqu'à ce que la tension induite soit suffisante pour entretenir les oscillations.

La figure 6 montre un oscillateur de ce type. L'enroulement de

grille L2, appelé aussi enroulement de REACTION, peut être connecté dans deux sens différents par rapport à L1.

Un seul sens produit l'inversion de la tension anodique nécessaire pour qu'il y ait oscillation.

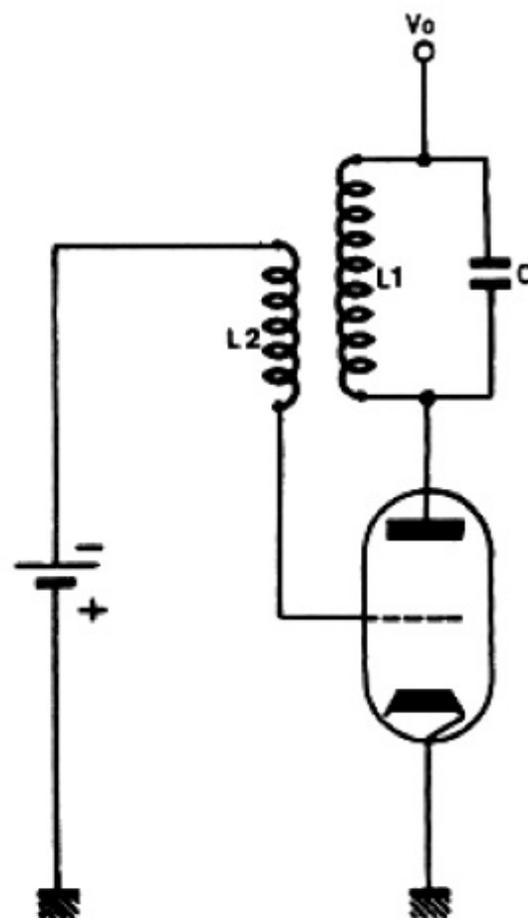


Figure 6

La REACTION est alors POSITIVE.

Quand la tension induite dans L2 est suffisamment élevée et de sens convenable, les oscillations s'amorcent d'elles-mêmes sans qu'aucune action extérieure soit nécessaire.

En définitive, nous pouvons dire que le fonctionnement d'un oscillateur est basé sur le principe suivant : une partie de la tension présente sur l'anode est inversée, puis reportée sur l'entrée et amplifiée de façon à obtenir en sortie la même tension anodique, dont une partie est de nouveau reportée à l'entrée pour être amplifiée et ainsi de suite.

On peut se demander de quelle façon est engendrée la tension sinusoïdale 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 faible) est reportée sur la grille du tube par le circuit de réaction. Elle provoque une variation plus grande sur l'anode, qui est de nouveau reportée sur la grille, et ainsi de suite.

Même si la tension d'alimentation est 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 rigoureusement constante.

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 augmente progressivement, jusqu'à ce que la cathode ait atteint sa température normale de fonctionnement.

Cette augmentation de l'émission 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 des variations de la tension anodique, qui prennent très vite la forme sinusoïdale de fréquence voulue, grâce au **CIRCUIT DE REACTION** que nous allons étudier maintenant plus en détails.

IV - DIFFERENTS CIRCUITS DE REACTION

Le circuit de réaction d'un oscillateur a trois rôles distincts :

- 1) produire une inversion de phase, de façon à ce que la tension de grille soit en opposition de phase avec la tension anodique,
- 2) prélever la fraction de la tension anodique qui sera appliquée sur la grille de commande,
- 3) fixer la fréquence du signal engendré par l'oscillateur.

Nous venons de voir que l'inversion du signal appliqué sur la grille de commande, est obtenue en branchant l'enroulement de réaction dans le bon sens.

Ce montage nécessite deux enroulements distincts, comme ceux de la figure 6.

Dans certains cas, on utilise un seul enroulement connecté entre la grille de commande et l'anode du tube. Cet enroulement possède une prise intermédiaire reliée à la haute tension.

De cette façon, la tension alternative de grille est toujours opposée à la tension anodique et, il est possible d'ajuster l'amplitude de ces deux tensions en déplaçant la prise intermédiaire le long du bobinage.

Ce montage est illustré par la figure 7, où l'on voit apparaître deux éléments nouveaux :

- un condensateur C_g qui isole la grille de la haute tension et évite ainsi la détérioration rapide du tube,
- une résistance R qui transmet à la grille une polarisation correcte.

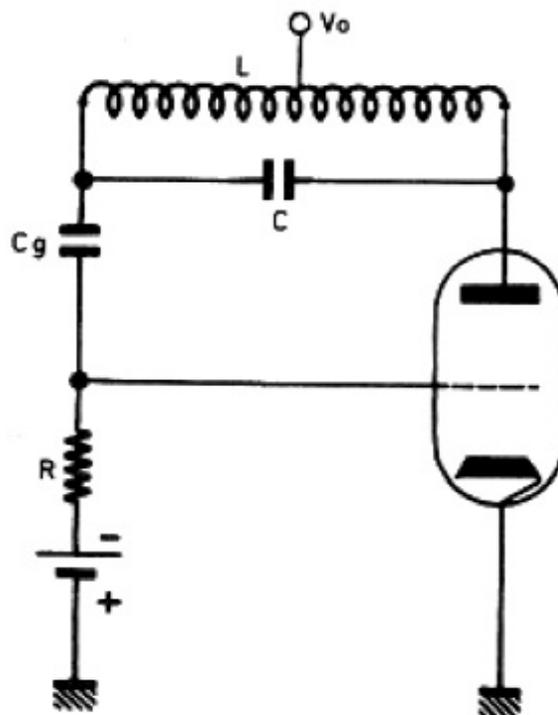


Figure 7

Jusqu'à maintenant, nous avons considéré des oscillateurs utilisant des circuits oscillants LC.

Il existe d'autres oscillateurs appelés oscillateurs à déphasage dont le circuit de REACTION POSITIVE est réalisé à l'aide de plusieurs circuits RC mis bout à bout (figure 8).

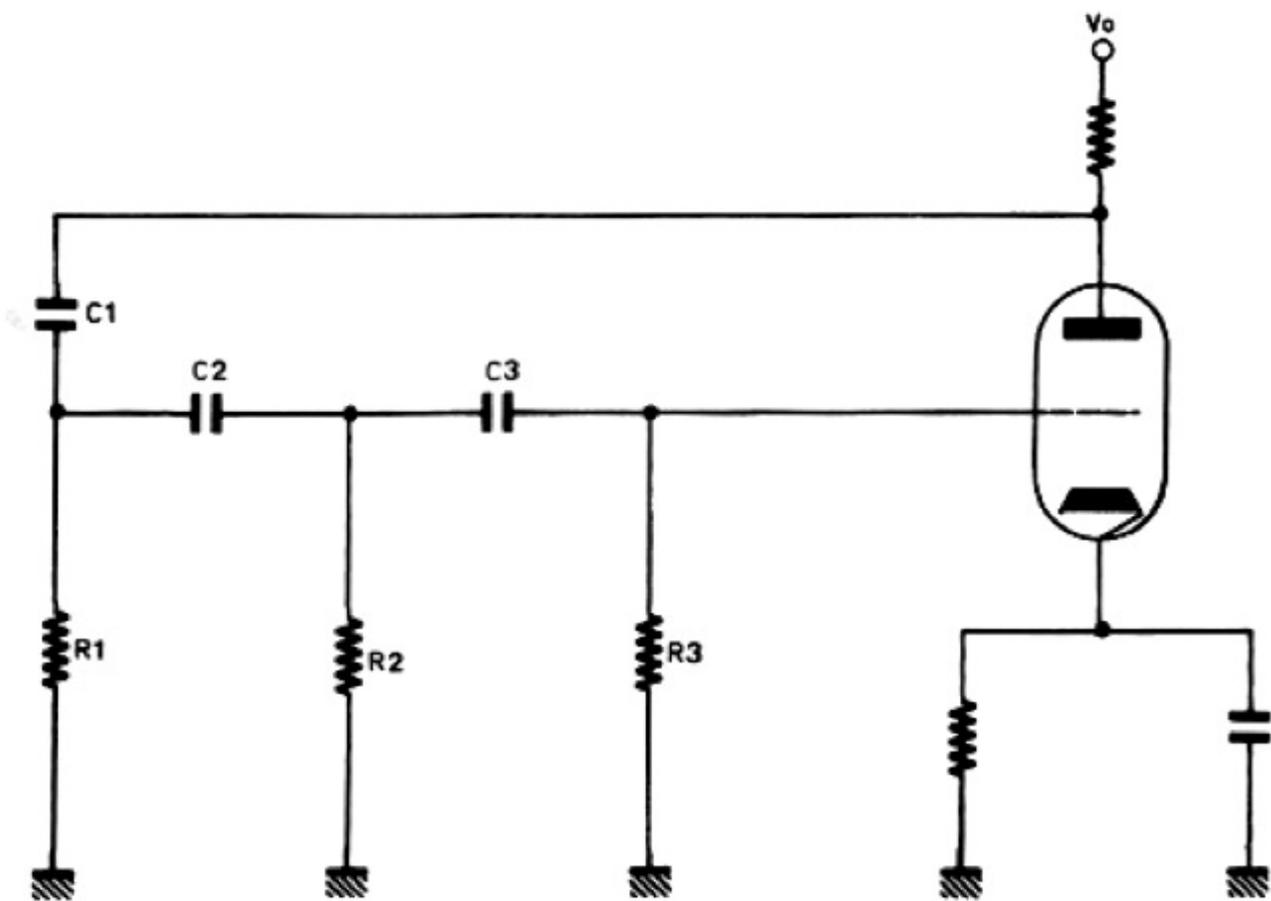


Figure 8

Nous savons déjà, qu'aux bornes d'un circuit RC série, la tension est déphasée en arrière par rapport au courant. La tension apparaissant aux bornes de la résistance est en phase avec le courant, par conséquent elle est déphasée par rapport à la tension totale aux bornes du circuit.

Ce déphasage peut varier entre 0 et 90° suivant les valeurs de R et de C et aussi de la fréquence (la fréquence détermine la réactance capacitive du condensateur).

En groupant plusieurs de ces circuits en série, on cumule les déphasages.

POUR UNE FREQUENCE DETERMINEE, LE DEPHASAGE TOTAL ATTEINT 180° ET LE MONTAGE SE MET A OSCILLER.

Les circuits de réaction doivent aussi répondre au second critère qui est : réduire le signal anodique dans un rapport convenable.

La figure 9 montre un oscillateur et ses tensions de grille et d'anode. Le circuit de réaction est représenté par un rectangle et il peut être de n'importe quel type.

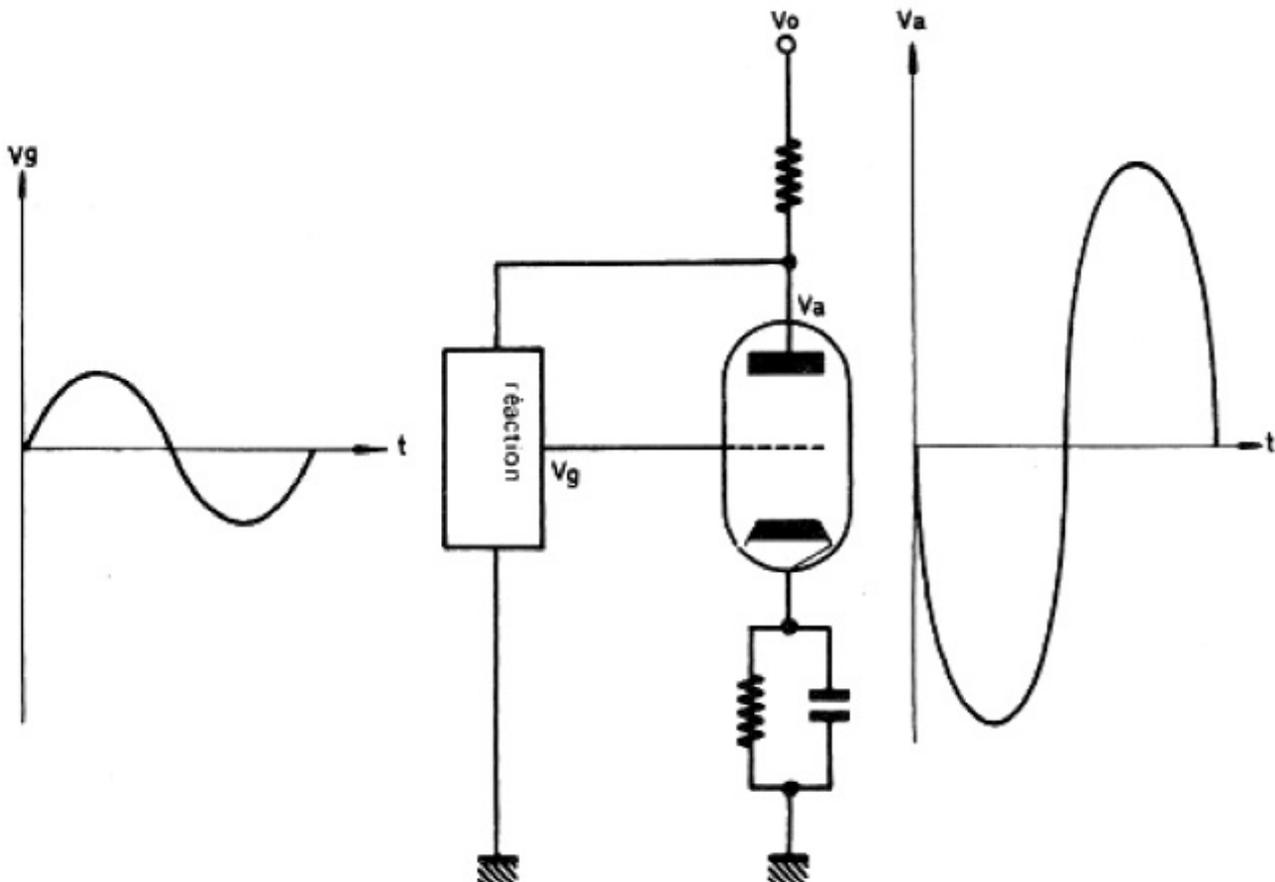


Figure 9

Cet oscillateur est un amplificateur à résistance, auquel on a ajouté un circuit de REACTION POSITIVE.

Comme dans tous les amplificateurs, le gain de tension G est égal au rapport $\frac{V_a}{V_g}$.

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

Appelons 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 : $G = \frac{V_a}{V_g}$ ou bien $= \frac{1}{A}$, ce qui conduit à la relation : $A \times G = 1$.

Cette relation est la condition d'AUTO-OSCILLATION du circuit.

Ainsi, si nous utilisons un montage dont le gain de tension est de 30, il faut que la tension ramenée par le circuit de réaction sur la grille soit 30 fois plus petite que la tension sinusoïdale apparaissant sur l'anode ($A = \frac{1}{30}$).

Que se passe-t-il, quand la lampe renvoie sur sa grille une tension supérieure à celle qui est nécessaire à l'entretien des oscillations, c'est-à-dire lorsque $A \times G > 1$?

Les oscillations prennent une amplitude de plus en plus grande, et, s'il n'y avait pas de limitation due au montage lui-même, elles deviendraient infinies.

Mais, dès que l'amplitude atteint un certain niveau, un courant de grille naît pendant les alternances positives du signal qui lui est appliqué et le circuit de grille se met à dissiper de la puissance.

La perte d'énergie qui en résulte équilibre le surplus provenant de l'anode, si bien qu'un niveau stable est rapidement atteint.

Si l'amplitude du signal de grille est vraiment trop importante, les alternances positives sont automatiquement limitées par la création d'un courant grille (on dit qu'il y a écrêtage) et les alternances négatives sont réduites par la courbure des caractéristiques et même par le blocage du tube, lorsque la tension grille dépasse le point de cut-off.

La forme d'onde que l'on obtient est très déformée et parfois inutilisable. Il est évident que si l'on désire obtenir une forme d'onde aussi proche que possible de la sinusoïde pure, il faut ajuster la réaction anode-grille, de manière à ce que le signal de grille reste compris dans les parties rectilignes des caractéristiques du tube.

V - DISTORSIONS

Nous venons de voir que si la tension de réaction est trop importante, le signal de sortie se trouve déformé.

La figure 10 montre clairement que plus la résistance dynamique du circuit anodique (impédance du circuit LC à la résonance) est élevée, plus grande est l'amplitude que l'on peut atteindre sans que le courant de grille ou la courbure inférieure de la caractéristique y oppose des limites.

Nous avons vu dans la leçon CIRCUITS ELECTRONIQUES 1 que la résistance dynamique d'un circuit LC est égale à $\frac{XL^2}{R}$. R représente la résistance ohmique du circuit.

Etant donné que le facteur de qualité Q d'un circuit LC est égal

à $\frac{XL}{R}$, nous pouvons écrire que la résistance dynamique a pour valeur $Q \times X$ où X est la réactance de L ou de C à la fréquence de résonance.

La figure 10 montre un réseau de caractéristiques anodiques et deux droites de charge.

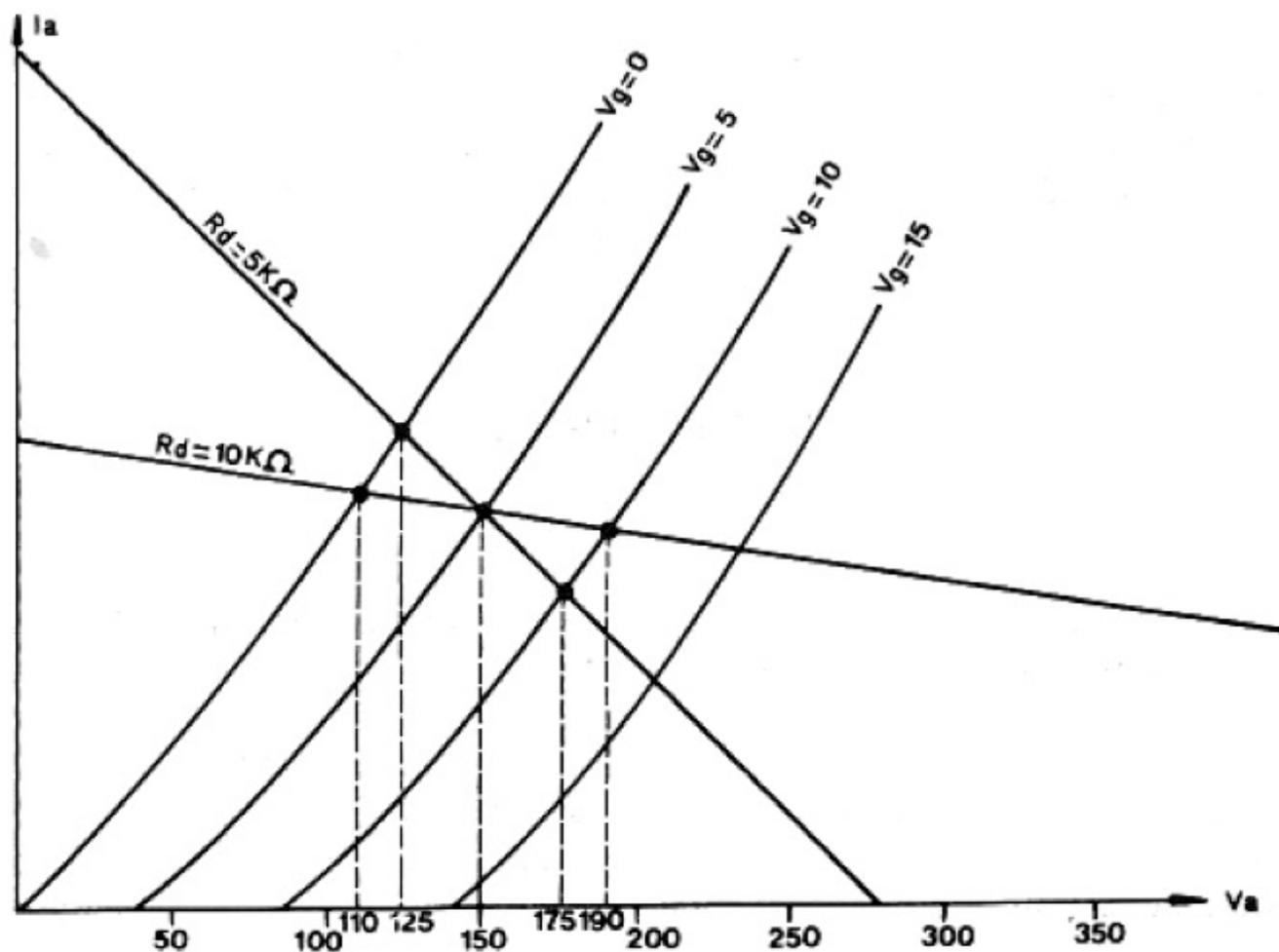


Figure 10

Le tube équipant l'oscillateur a une tension anodique de 150 V et une polarisation de - 5V.

Nous constatons que si la résistance dynamique est de $5\text{ k}\Omega$ et si la tension grille varie entre 0 Volt et -10 Volts , la tension en sortie a une amplitude de 50 Volts ($150\text{ V} - 125\text{ V}$).

Si la résistance dynamique a pour valeur $10\text{ k}\Omega$, la droite de charge s'incline vers l'horizontal et nous obtenons une tension de sortie de 80 Volts .

L'amplitude de la tension sinusoïdale de sortie augmente lorsque la résistance de charge du tube est plus grande.

Le circuit oscillant doit donc avoir un facteur de qualité Q élevé ($R_d = Q.X$).

Mais un facteur Q élevé a un autre effet encore plus important. Nous savons que le facteur de qualité indique le rapport existant entre le courant circulant à l'intérieur du circuit LC et le courant d'apport extérieur (ici celui fourni par le tube).

Autrement dit, plus grand est le facteur Q , moins le tube doit fournir de l'énergie pour entretenir les oscillations.

Supposons que Q soit égal à 100 et R_d à $100\text{ k}\Omega$, puisque $R_d = Q.X$, $X = 1000\ \Omega$.

A la fréquence de résonance, l'impédance présentée par le circuit au courant provenant du tube est 100 fois supérieure à celle du bobinage ou du condensateur.

Comme la tension à leurs bornes est la même, le courant anodique du tube ne représente que le centième du courant oscillant entre la bobine et le condensateur.

La distorsion dont peut être affectée ce courant de 1% est pratiquement négligeable et on peut conclure que dans des conditions de polarisation et de réaction normales, le courant oscillant est toujours sinusoïdal.

VI - POLARISATION ET ALIMENTATION DES OSCILLATIONS

A) POLARISATION PAR COURANT GRILLE

Nous avons vu que le courant grille tend à limiter l'amplitude des oscillations en produisant un écrêtage de l'onde sinusoïdale. Il faut donc limiter au maximum ce courant grille.

Pour cela, il faut augmenter la tension de polarisation de façon à ce que les alternances positives du signal ne rendent la grille que très légèrement positive.

On utilise le léger courant grille qui subsiste pour créer une polarisation par courant grille.

Le schéma de ce circuit est donné figure 11.

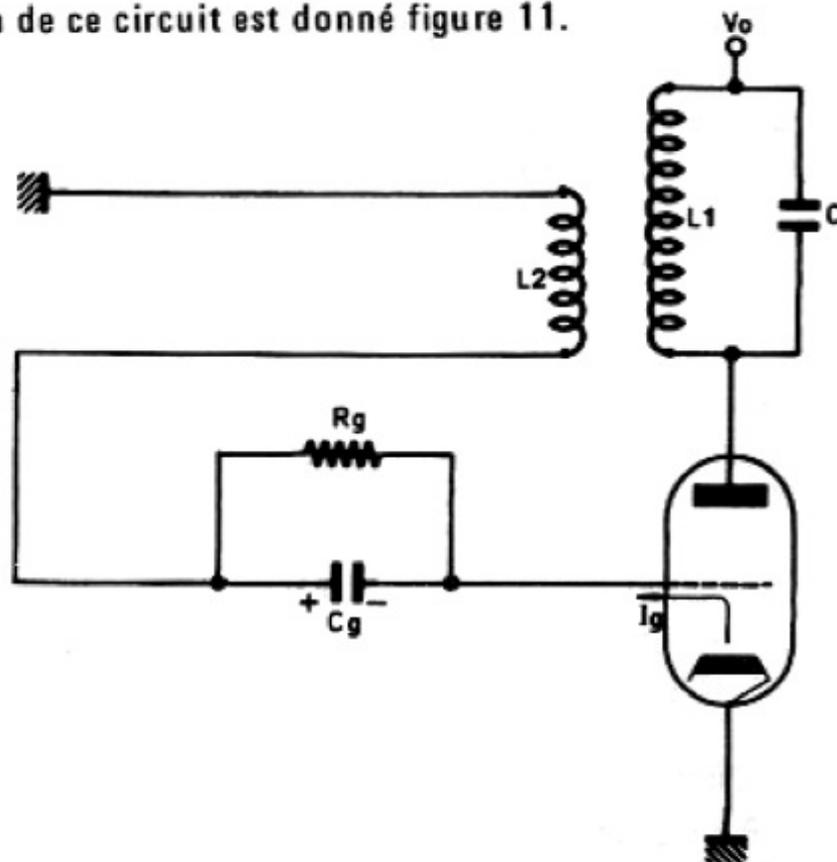


Figure 11

Au démarrage, la première alternance positive du signal crée un courant grille I_g , qui charge rapidement le condensateur C_g suivant les polarités indiquées sur la figure 11.

Pendant l'alternance négative, le courant grille est nul et le condensateur C_g peut se décharger à travers la résistance R_g .

Le condensateur perd seulement une petite fraction de sa charge, car R_g a une valeur élevée qui tend à réduire le courant de décharge (RC long).

L'armature située du côté de la grille de commande voit sa charge augmenter à chaque alternance positive.

Au bout de quelques cycles, la tension de cette armature se stabilise autour d'une valeur moyenne qui est précisément la tension de polarisation du tube.

A ce moment, seule une infime partie de l'alternance positive provoque un courant grille.

Ce courant grille négligeable est néanmoins suffisant pour compenser la chute de tension due à la décharge du condensateur dans R_g .

B) ALIMENTATION DES OSCILLATEURS

L'impédance de charge du tube oscillateur est constituée par l'impédance du circuit oscillant et par l'impédance de la source haute tension.

Lorsque la source est commune à plusieurs étages, ceux-ci ramènent sur l'anode du tube oscillateur des effets parasites.

D'autre part, le courant alternatif engendré par l'oscillateur ne doit pas traverser la source, car il peut perturber le fonctionnement des étages suivants.

Il est donc nécessaire d'isoler, au point de vue alternatif, le circuit oscillant de la source.

Pour cela, on utilise une bobine, appelée SELF D'ARRET ou SELF DE CHOC, qui présente une impédance telle, qu'elle arrête la composante alternative.

1) ALIMENTATION SERIE

Dans ce montage (figure 12) le courant continu d'alimentation traverse le circuit oscillant avant d'arriver au tube.

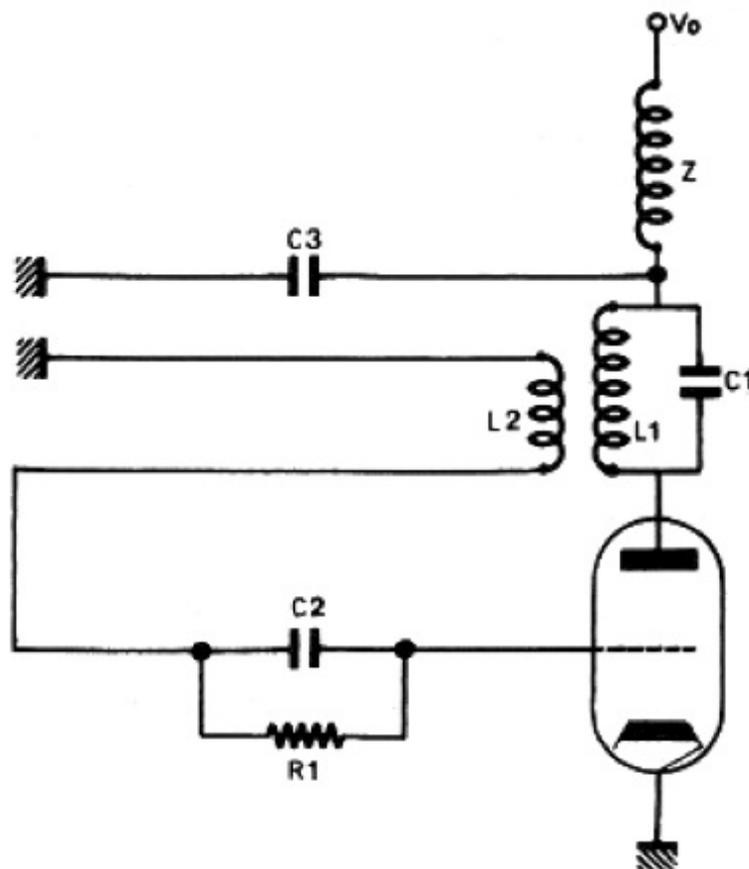


Figure 12

Dans ce cas, on dit que l'ALIMENTATION EST EN SERIE AVEC LE CIRCUIT OSCILLANT.

Le condensateur C3 a pour but d'écouler vers la masse les composantes alternatives (C3 se comporte comme un court-circuit) et l'impédance Z (self de choc) a pour but d'empêcher que ces composantes ne puissent passer à travers le circuit d'alimentation.

2) ALIMENTATION PARALLELE

Dans le cas de la figure 13, au contraire, nous dirons que l'ALIMENTATION EST PARALLELE AU CIRCUIT OSCILLANT.

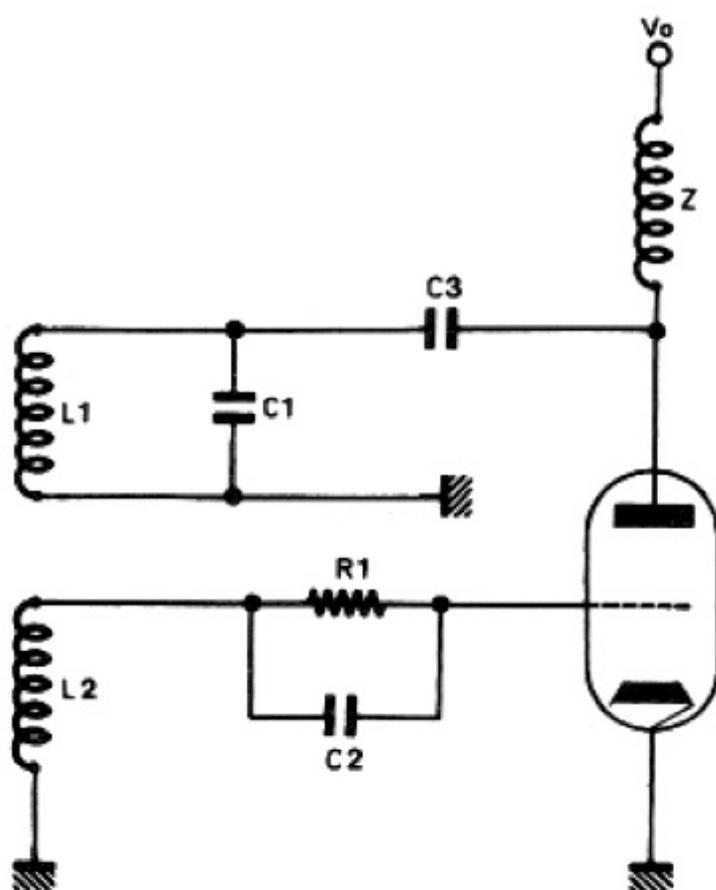


Figure 13

Lorsque la source est commune à plusieurs étages, ceux-ci ramènent sur l'anode du tube oscillateur des effets parasites.

La self de choc Z empêche la composante alternative d'atteindre l'alimentation et arrête les ondes parasites qui pourraient venir de l'alimentation.

Le condensateur $C3$ a lui, une impédance telle qu'il laisse passer la composante alternative vers le circuit oscillant $L1-C1$.

Voyons maintenant les différents types d'oscillateurs couramment utilisés en électronique.

VII - OSCILLATEURS A CIRCUITS OSCILLANTS

L'élément déterminant la fréquence de ces oscillateurs est un circuit LC parallèle, placé soit dans le circuit anodique, soit dans le circuit grille du tube.

La réaction positive est assurée par un couplage anode-grille soit inductif, soit capacitif.

VII - 1 - OSCILLATEURS A PLAQUE ACCORDEE

Cet oscillateur représenté figure 14 est celui que nous avons étudié au début de cette leçon.

Le circuit oscillant $L1 - C1$ est placé dans le circuit anodique (ou circuit plaque).

La réaction est obtenue en couplant les bobines $L1$ et $L2$.

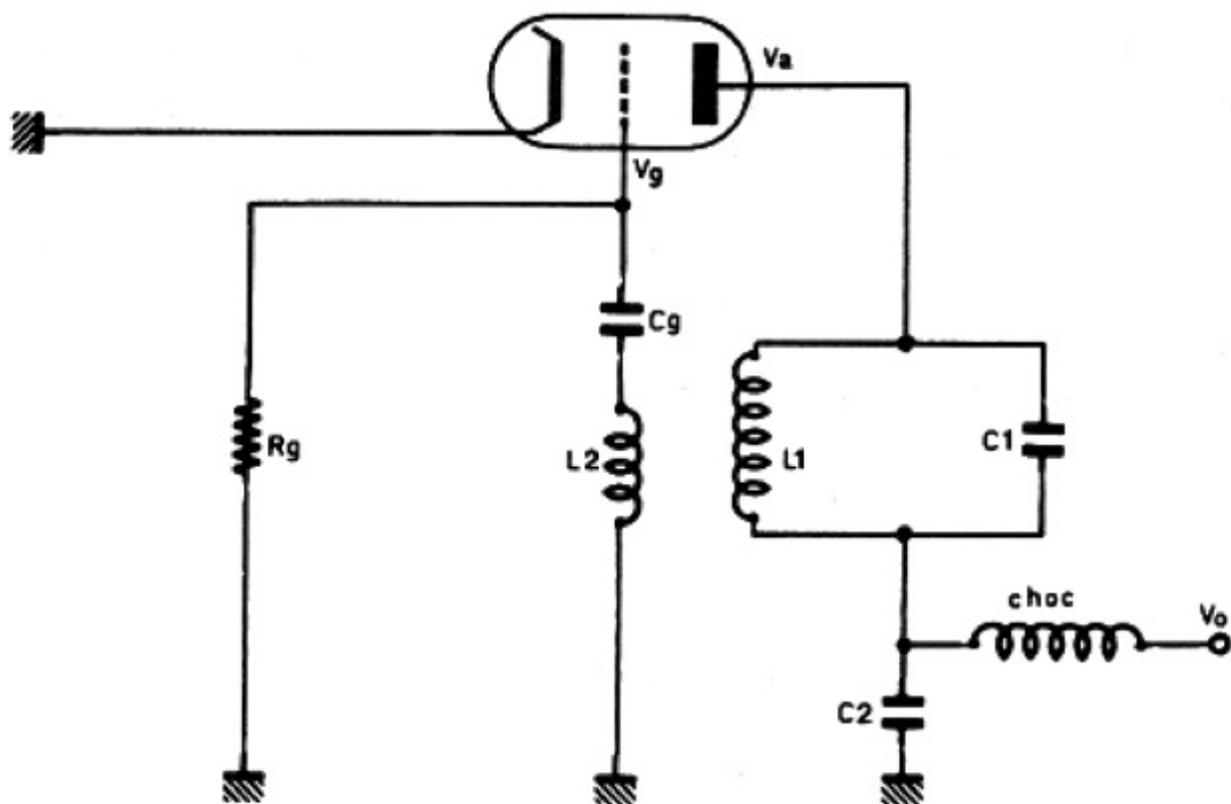


Figure 14

La polarisation par courant grille est assurée par le condensateur C_g et par la résistance R_g .

Ici, R_g n'est plus connectée aux bornes du condensateur, mais entre la grille et la masse.

Ce mode de branchement ne modifie en rien le fonctionnement du circuit de polarisation.

Voyons quelles sont les conditions de fonctionnement de cet oscillateur.

a) Condition de phase.

Les tensions alternatives V_a et V_g doivent être en opposition de phase, de façon à ce que la tension reportée soit en PHASE avec la tension V_g d'origine (REACTION).

Pour cela, il suffit de réaliser un couplage négatif, en enroulant les spires des bobines L_1 et L_2 en sens inverse.

b) Condition d'auto-oscillation.

Nous savons déjà que cette condition est réalisée, lorsque $A \times G = 1$.

A représentant le rapport de transformation introduit par les bobines L_1, L_2 et G le gain du tube employé.

Le gain G est égal au rapport

$$\frac{\mu Z_a}{\rho + Z_a}$$

Z_a représente l'impédance de charge anodique du tube et elle est égale à l'impédance du circuit oscillant LC.

A la résonance, nous avons vu que cette impédance (résistance dynamique) est exprimée par le rapport $\frac{L}{CR}$ (R est la résistance ohmique du bobinage).

Nous pouvons écrire que :

$$G = \frac{\mu \frac{L}{CR}}{\rho + \frac{L}{CR}}$$

Multiplions le numérateur et le dénominateur par le produit CR , nous obtenons :

$$G = \frac{\mu \times L}{\rho RC + L}$$

Le rapport de transformation A est l'inverse du gain, soit $\frac{1}{G}$

Il vient donc pour valeur de A :

$$A = \frac{\rho RC + L}{\mu L}$$

Ainsi, nous pouvons calculer directement le rapport de transformation, en fonction des paramètres du tube utilisé et des éléments constituant le circuit oscillant.

Exemple : Soit un oscillateur dont le tube a une résistance interne ρ de $10 \text{ k}\Omega$ et un coefficient d'amplification de 20.

Le circuit oscillant est constitué par une bobine de 2 mH et d'un condensateur de 100 pF . La résistance ohmique R du circuit oscillant est de 10Ω .

Nous avons :

$$A = \frac{\mu RC + L}{\mu L}$$

Remplaçons les lettres par leur valeur, nous obtenons :

$$A = \frac{10^3 \times 10 \times 100 \times 10^{-12} + 2 \times 10^{-3}}{20 \times 2 \times 10^{-3}}$$

$$= \frac{10^{-6} + 2 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-2}} = \frac{10^{-4} + 2 \times 10^{-1}}{4}$$

Le terme 10^{-4} est très petit devant 2×10^{-1} et dans ce cas, nous pouvons le négliger.

Nous trouvons pour valeur de A :

$$A \cong \frac{\frac{2}{10}}{4} \cong \frac{1}{20}$$

VII - 2 - OSCILLATEURS A GRILLE ACCORDEE

Cet oscillateur, représenté figure 15 a un fonctionnement identique à celui que nous venons d'étudier.

Dans ce montage, le circuit oscillant est placé dans le circuit grille. Une self de choc est placée en série avec R_g , afin d'éviter l'amortissement du circuit oscillant.

VII - 3 - OSCILLATEURS HARTLEY

Le circuit oscillant et de réaction de cet oscillateur (figure 16) est formé par une bobine à prise intermédiaire et un condensateur.

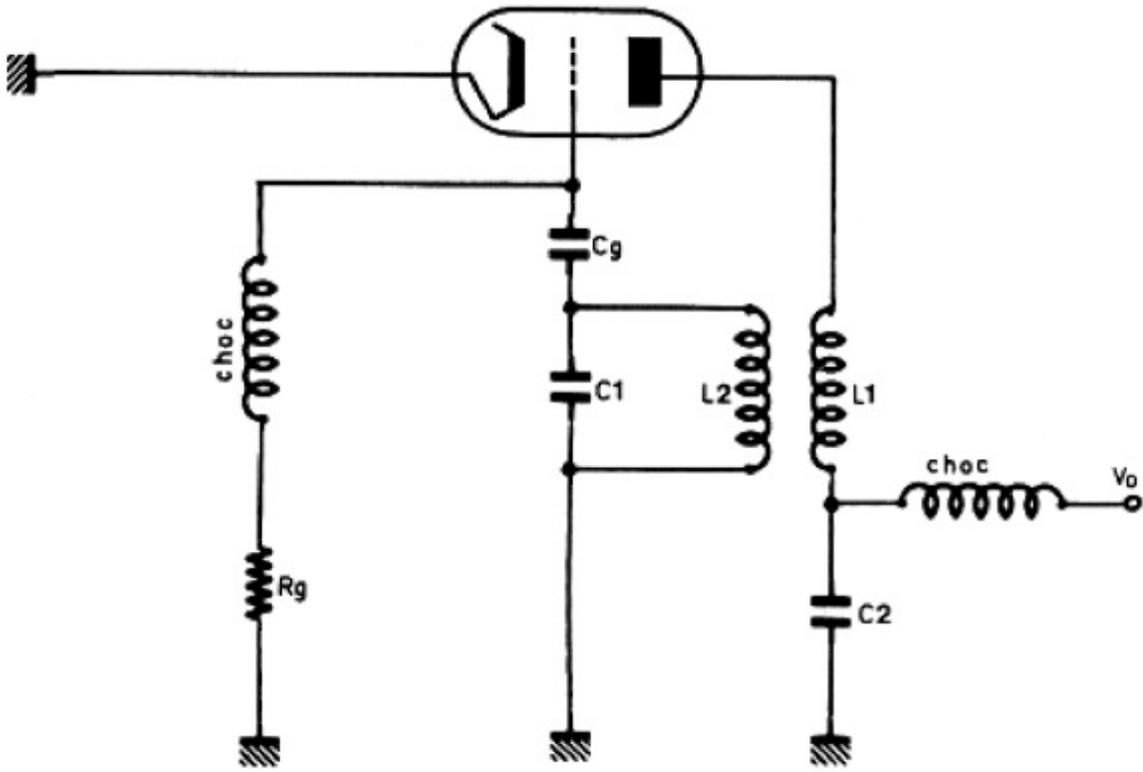


Figure 15

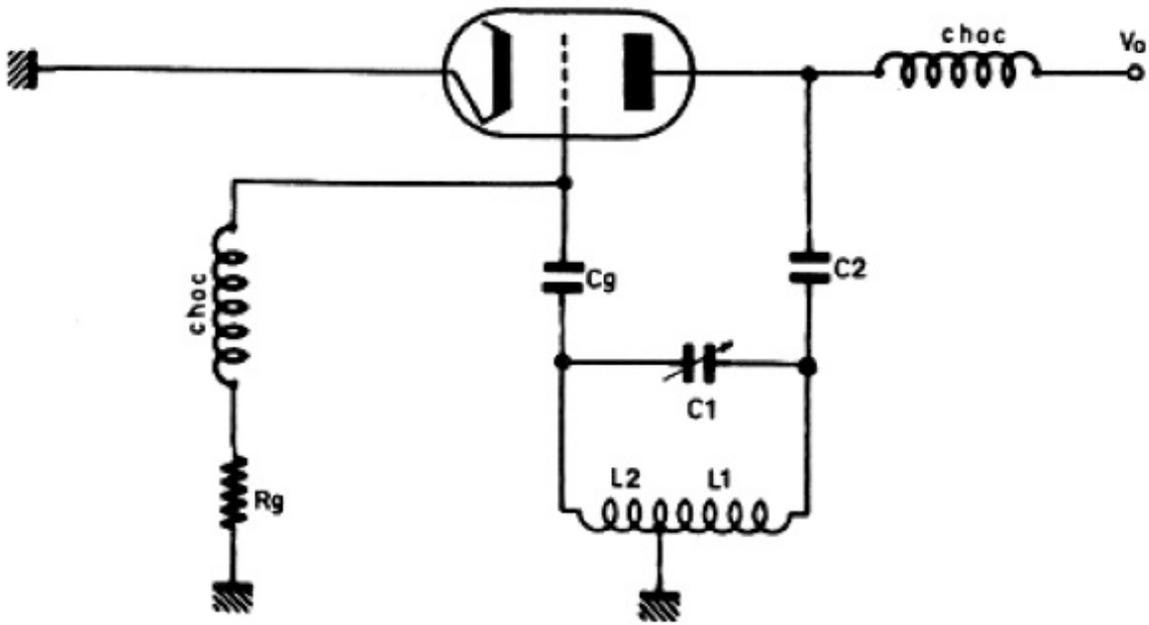


Figure 16

La réaction dans ce cas se produit par auto-induction et non par induction mutuelle.

VII - 4 - OSCILLATEURS COLPITTS

Un point intermédiaire peut être obtenu en utilisant deux condensateurs en série et en reliant le point commun à la masse (figure 17).

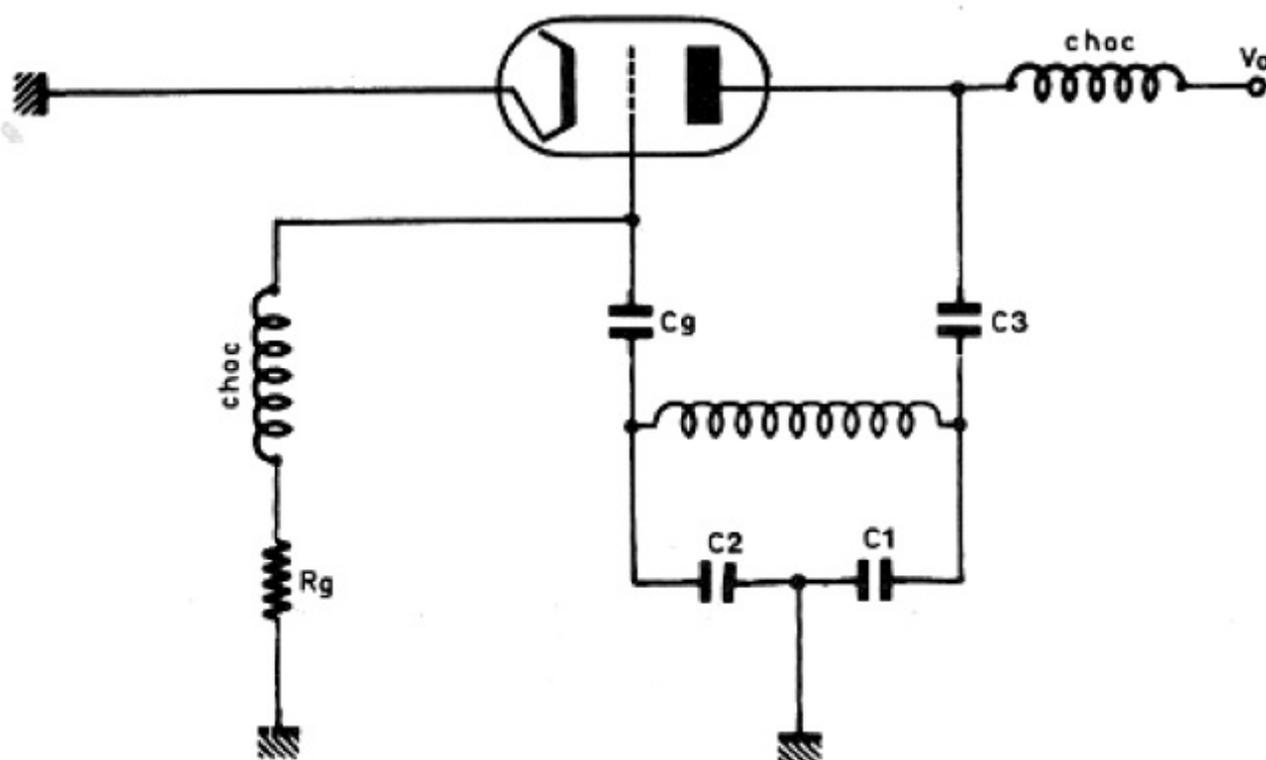


Figure 17

Le déphasage de 180° est réalisé automatiquement par les deux condensateurs C1 et C2.

Ce circuit ne peut être alimenté qu'en parallèle.

VII - 5 - OSCILLATEURS E.C.O

La figure 18 représente un oscillateur, connu sous le nom anglais de "ELECTRON COUPLED OSCILLATOR" (oscillateur à couplage électronique).

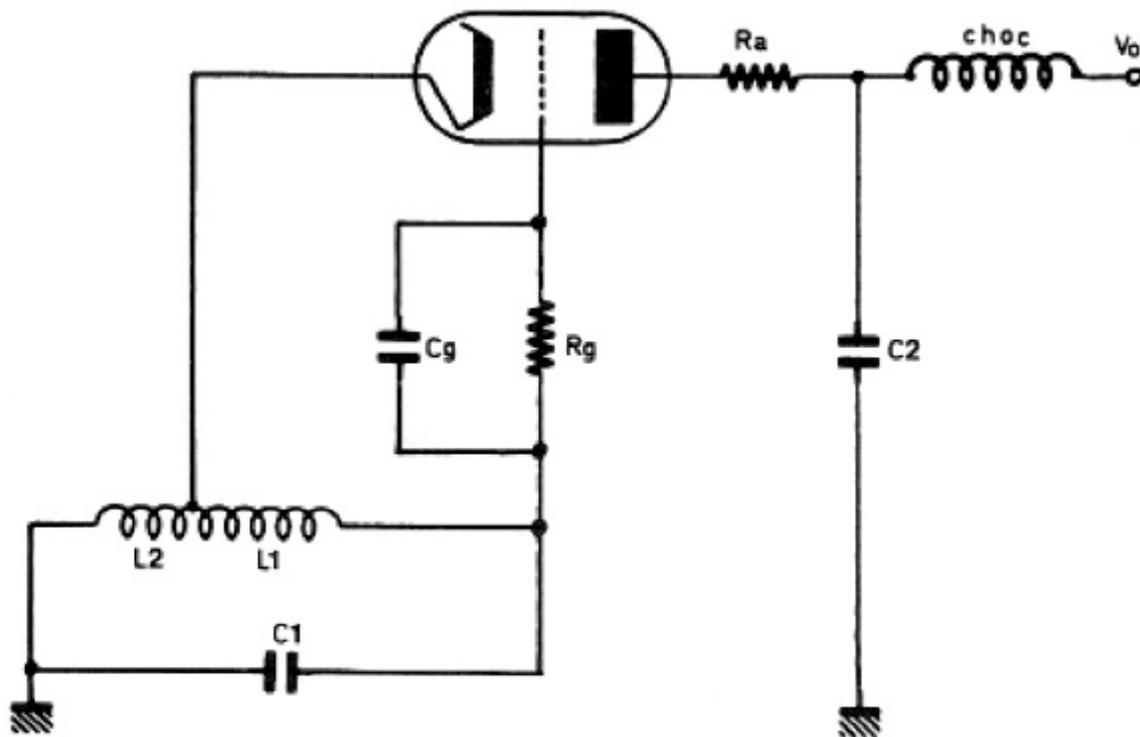


Figure 18

La cathode n'est plus réunie à la masse de façon directe, mais à travers L2.

Le principe de fonctionnement est le même que celui de l'oscillateur Hartley, mais ici la charge anodique Ra n'a plus aucune influence sur le circuit oscillant.

On obtient donc une stabilité améliorée dans le fonctionnement.

Un montage très intéressant de cet oscillateur peut être réalisé à l'aide d'une penthode (figure 19). Cet oscillateur comprend deux parties :

1) une partie oscillatrice constituée par les trois premières électrodes du tube (K, g1, g2).

2) une partie amplificatrice constituée par le circuit anodique du tube et son impédance de charge.

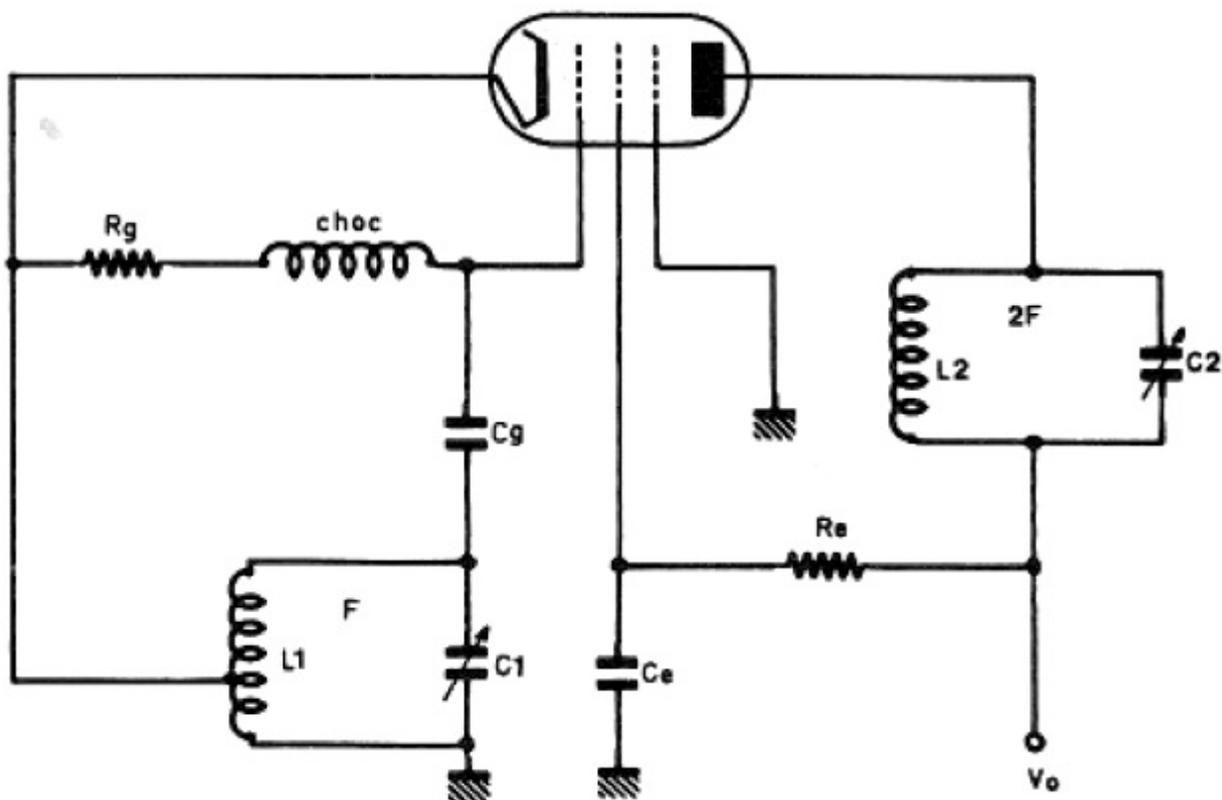


Figure 19

L'oscillateur E.C.O peut fonctionner en multiplicateur de fréquence. Il suffit pour cela de placer dans le circuit anodique du tube, un circuit oscillant (L2 - C2) accordé sur une harmonique du signal engendré par la partie oscillatrice.

VII - 6 - OSCILLATEURS ARMSTRONG OU TP.TG

Ce type d'oscillateur, représenté figure 20, utilise pour obtenir l'effet de réaction, la capacité qui existe à l'intérieur du tube entre l'anode et la grille de commande.

Le circuit oscillant déterminant la fréquence d'oscillation est placé dans le circuit grille.

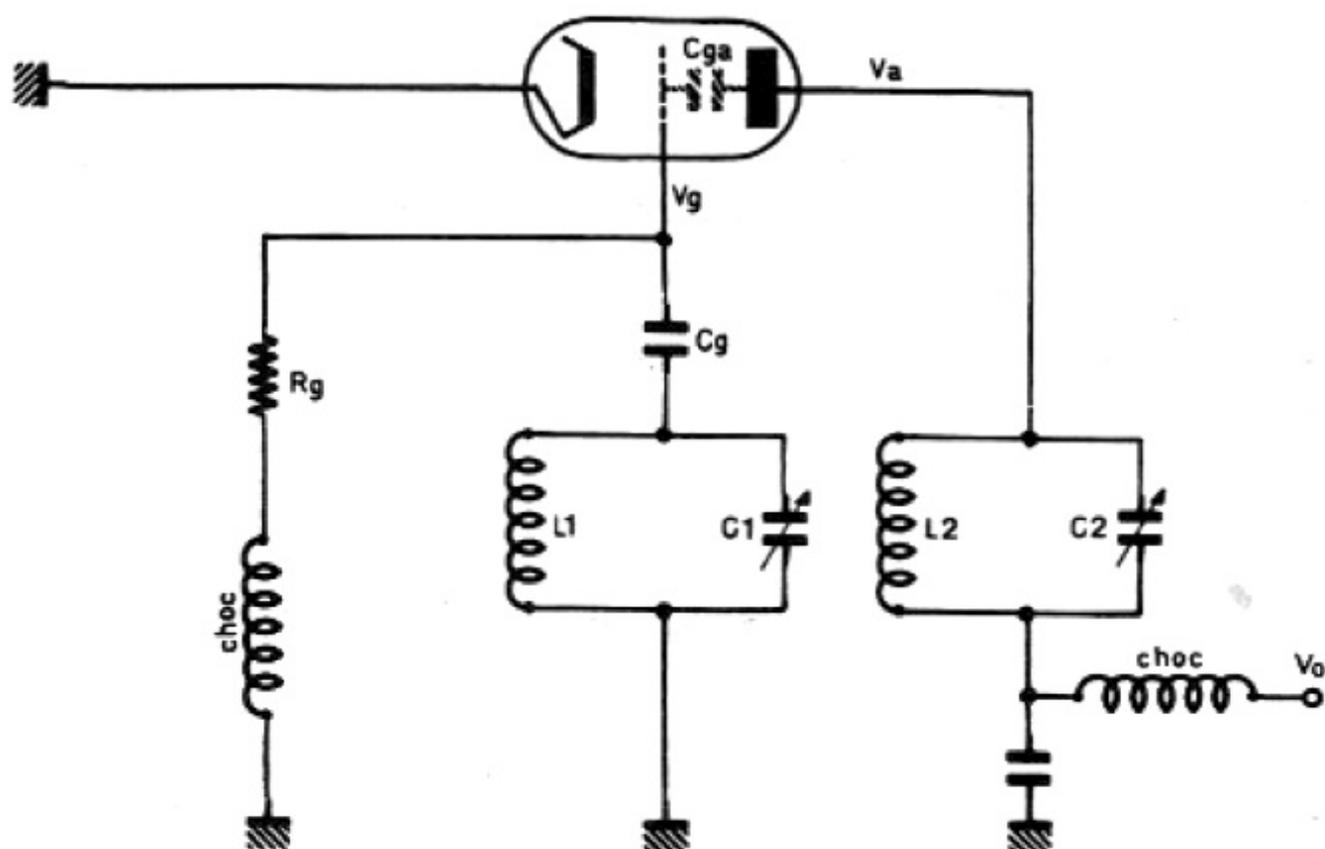


Figure 20

Pour obtenir un fonctionnement correct, il faut que le circuit oscillant L2 - C2 soit accordé sur une fréquence légèrement supérieure à celle sur laquelle est accordé le circuit L1 - C1.

En effet, la capacité C_{ga} ne peut introduire qu'un déphasage maximum de 90° .

Pour remplir la condition de phase (V_g et V_a déphasés de 180°), il est nécessaire que le circuit oscillant $L_2 - C_2$ présente un effet inductif.

De cette façon, les déphasages introduits par la capacité C_{ga} et par le circuit oscillant $L_2 - C_2$ s'ajoutent et le déphasage résultant est voisin de 180° .

Cet oscillateur, par son principe même de fonctionnement, ne peut être utilisé qu'avec des triodes, car les tétrodes et les pentodes présentent, en général, des capacités grille-anode trop faibles.

Avec ce dernier type d'oscillateur, nous pouvons considérer comme complète la liste des plus importants générateurs d'oscillations à base de circuits oscillants.

VIII - OSCILLATEURS A CIRCUITS RC

Sous cette dénomination, on doit grouper tous les générateurs d'oscillations qui, au lieu d'employer les circuits oscillants habituels pour déterminer la fréquence de la tension engendrée, utilisent des circuits à résistances et à capacités, dont la constante de temps détermine la fréquence.

VIII - 1 - OSCILLATEURS A DEPHASAGE

Le schéma d'un oscillateur à déphasage est donné figure 21.

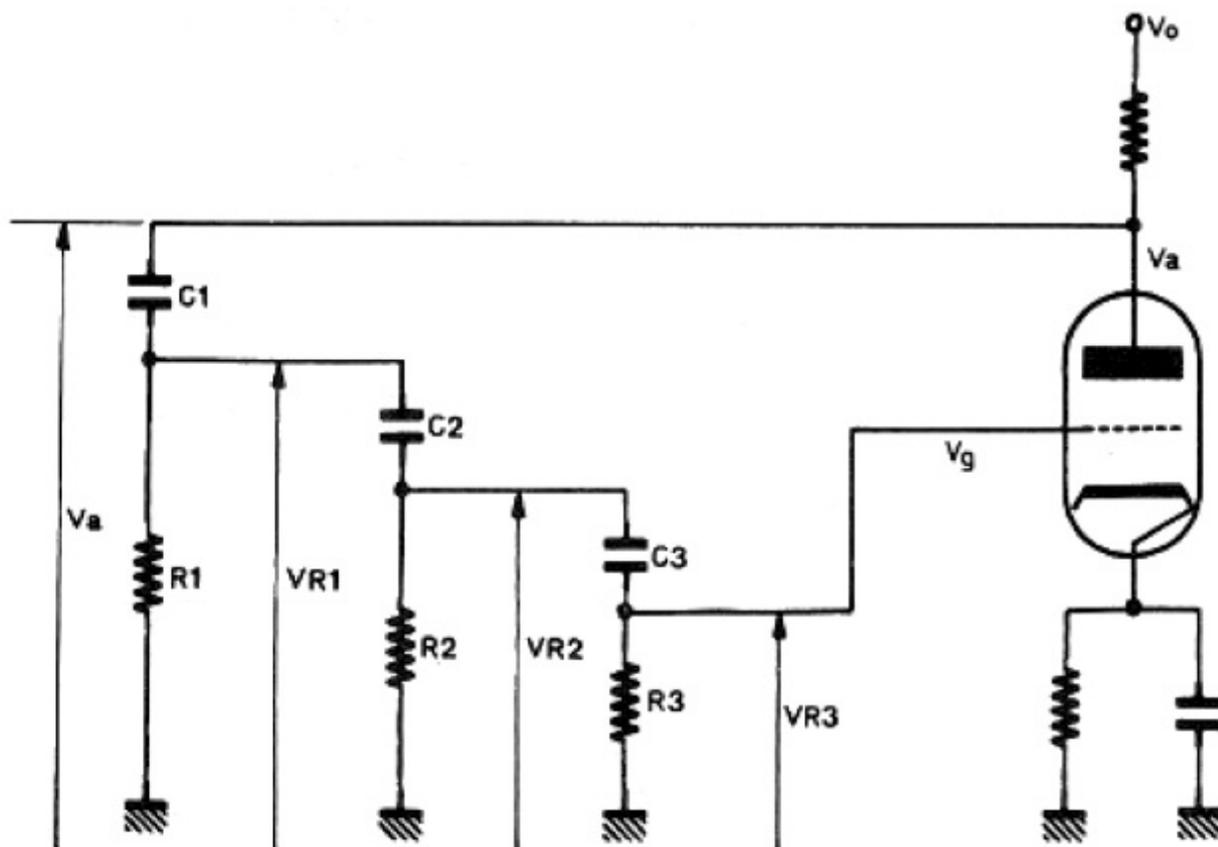


Figure 21

Le circuit de réaction est constitué par trois groupes R_1C_1 , R_2C_2 , R_3C_3 formés d'un condensateur en série avec une résistance.

La tension V_a entière est appliquée au groupe R_1C_1 qui est relié entre l'anode du tube et la masse.

Cette tension se partage entre le condensateur C_1 et la résistance R_1 .

La tension présente aux bornes de la résistance R_1 est appliquée au groupe R_2C_2 et elle se partage à son tour entre les deux éléments (R_2 et C_2) de ce circuit.

Enfin, la tension apparaissant aux bornes de R2 est appliquée au circuit R3C3, de façon à ce qu'elle se partage entre les éléments qui forment ce groupe.

La tension obtenue aux extrémités de R3, constitue la tension V_g appliquée entre grille et masse.

La tension V_g a une amplitude inférieure à celle de la tension V_a .

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

Ce circuit de réaction remplit donc déjà son premier rôle, c'est-à-dire réduire le signal de grille dans un rapport convenable.

Nous devons maintenant étudier comment ce même circuit permet d'obtenir une tension V_g en OPPOSITION DE PHASE avec la tension V_a .

Examinons la figure 22-a représentant un circuit RC, aux extrémités duquel est appliquée une tension alternative V .

Le courant I qui traverse le condensateur C et la résistance R produit une tension V_C (aux bornes du condensateur) et une tension V_R (aux bornes de la résistance).

La tension V_R est en phase avec le courant I . La tension V_C est déphasée de 90° en arrière par rapport au courant I .

Le diagramme de FRESNEL de la figure 22-b met en évidence ce phénomène.

Connaissant la position des vecteurs V_C et V_R , nous pouvons facilement tracer le vecteur représentant la tension V .

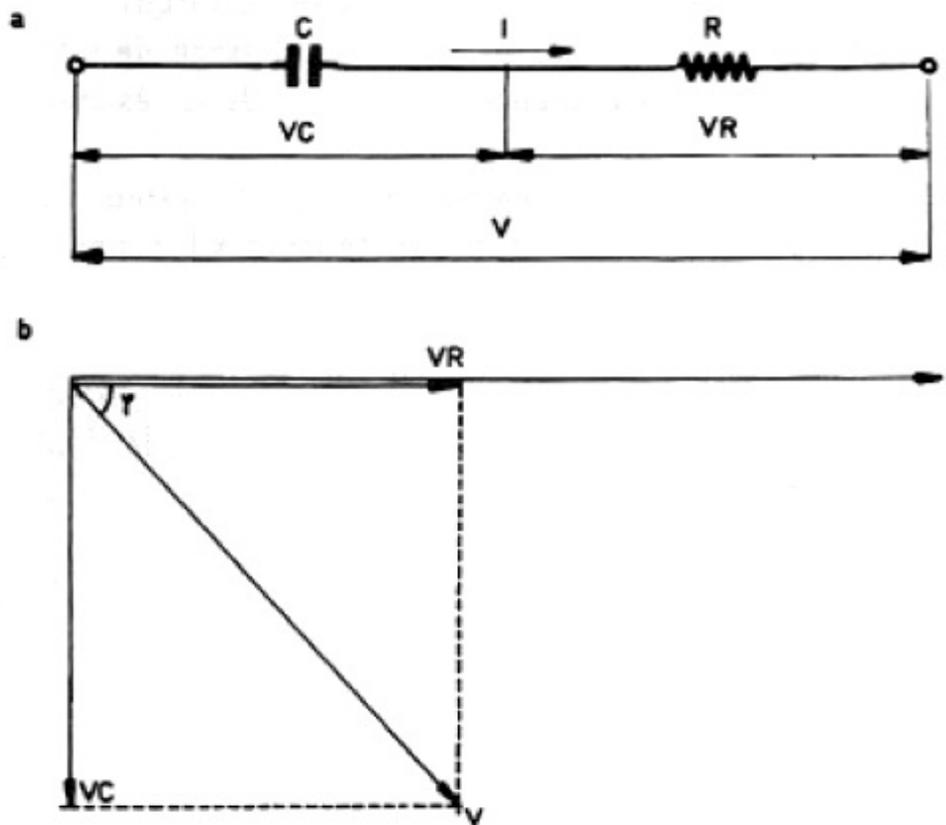


Figure 22

La tension V_R est déphasée par rapport à la tension V d'un angle φ .

Cet angle φ dépend de la valeur des éléments, mais aussi de la **FREQUENCE DE LA TENSION APPLIQUEE AU CIRCUIT** (rappelons brièvement que la **REACTANCE** d'un condensateur $X_C = \frac{1}{C\omega}$ est directement liée à la fréquence).

Il existe donc une fréquence déterminée pour laquelle le déphasage est de 60° .

Revenons maintenant à l'oscillateur à déphasage de la figure 21.

Supposons que la tension V_a appliquée au circuit de réaction ait une fréquence, déterminant précisément un déphasage de 60° entre cette tension V_a et la tension VR_1 présente aux bornes de la résistance R_1 .

En choisissant bien la valeur du condensateur C_2 et de la résistance R_2 , nous pouvons obtenir une tension VR_2 déphasée de 60° par rapport à VR_1 .

Il en est de même pour le circuit R_3C_3 , et lorsque les trois groupes RC introduisent chacun un déphasage de 60° , le déphasage total entre V_a et V_g est égal à 180° .

La figure 23 montre la représentation vectorielle de ce phénomène.

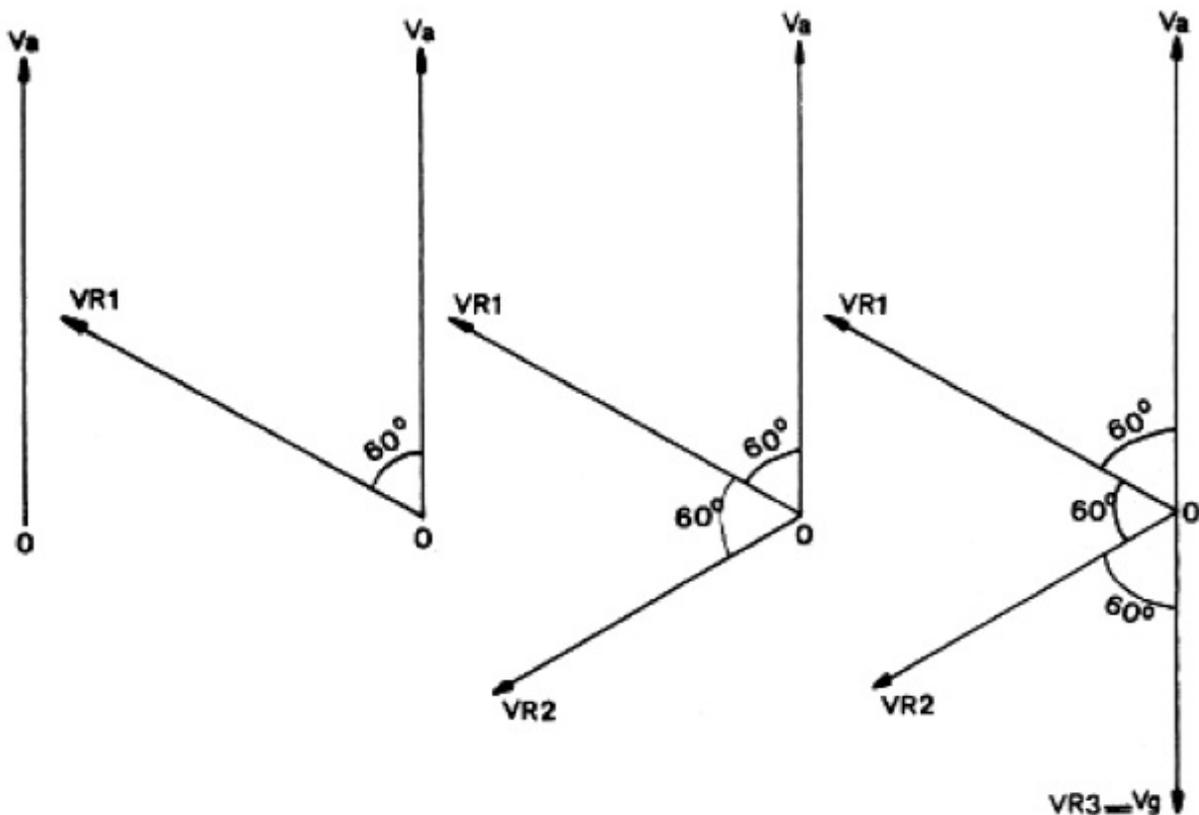


Figure 23

Le circuit de réaction de ce type d'oscillateur répond donc bien aux trois conditions de fonctionnement, à savoir :

- réduire le signal de grille dans un certain rapport,
- produire un déphasage de 180° ,
- déterminer la fréquence d'oscillation.

Sur la figure 23, nous voyons que le déphasage de 180° est obtenu en additionnant les trois déphasages de 60° produits par les trois groupes RC.

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

En pratique, on utilise souvent trois groupes RC égaux c'est-à-dire formés de condensateurs et de résistances de même valeur.

Dans ce cas, la somme des déphasages produits par les trois groupes RC doit être égale à 180° .

Il n'est pas nécessaire que chaque groupe introduise un déphasage de 60° , il suffit que la somme de ces déphasage soit de 180° .

En employant trois circuits RC égaux, il est plus facile de faire varier la valeur de leurs composants, dont dépend la valeur de la fréquence d'oscillation.

Cette fréquence, lorsque les circuits RC sont égaux, est donnée par la formule :

$$F = \frac{1}{2\pi R.C \sqrt{6}}$$

La démonstration de cette formule n'est pas donnée dans ce cours, car elle fait appel à des notions mathématiques d'un niveau trop élevé (calcul imaginaire).

VIII - 2 - OSCILLATEURS A PONT DE WIEN

Cet oscillateur comprend deux tubes montés en amplificateur à résistance.

La tension de sortie du second étage est appliquée à l'entrée du premier tube amplificateur à travers un circuit de réaction (figure 24).

Le déphasage de 180° est produit par le tube V2.

La tension de sortie Va2 est appliquée directement sur la grille du tube V1 à travers le condensateur C.

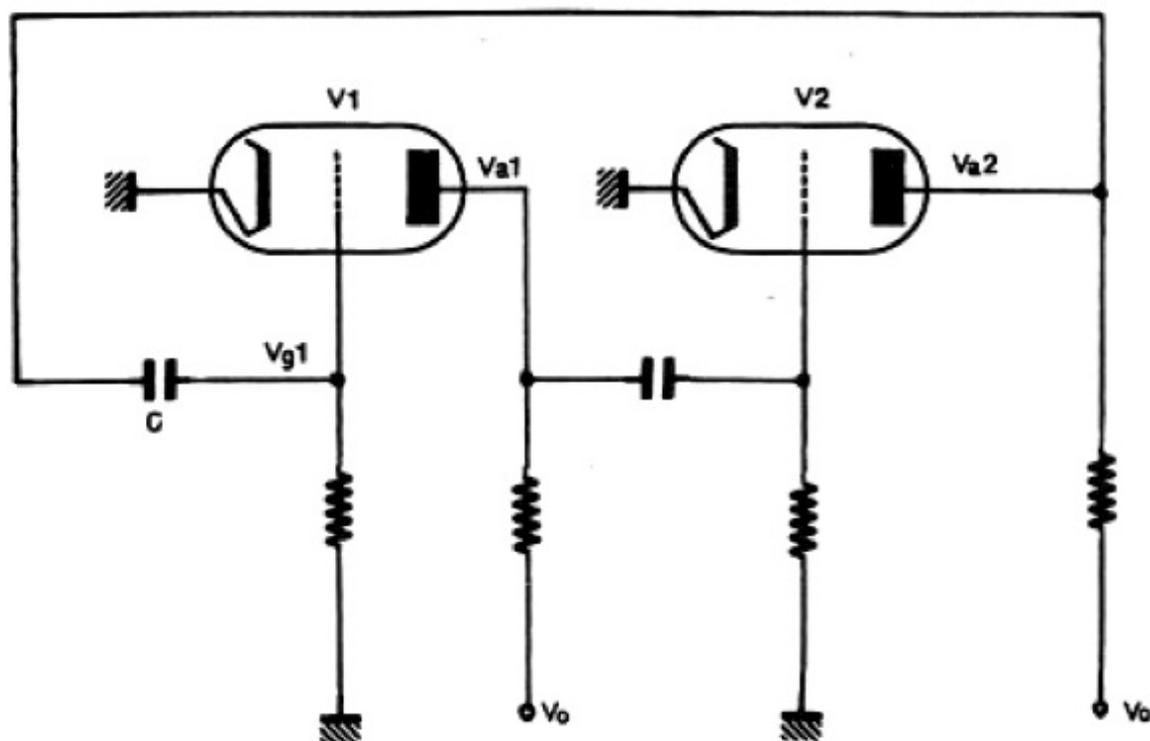


Figure 24

Dans ce montage, le signal V_{g1} est pratiquement égal au signal V_{a2} apparaissant sur l'anode du tube V2.

Nous pouvons donc dire que le rapport de transformation A, apporté par le circuit de réaction, est égal à 1.

Nous avons donc $A \times G$ beaucoup plus grand que 1 (G est égal au produit des gains de chaque tube : $G = G_1 \times G_2$).

Les signaux recueillis sont donc déformés par le courant grille et écrêtés par le blocage du tube V1 au cut-off.

En sortie, on obtient des signaux rectangulaires. Pour obtenir une tension sinusoïdale, il faut modifier le montage de façon à réaliser la condition d'auto-oscillation $A \times G = 1$.

Le schéma de cet oscillateur à PONT DE WIEN est donné figure 25.

La tension V_{a2} se partage entre les circuits R1C1 et R2C2 de manière qu'aux extrémités du groupe R2C2, c'est-à-dire entre la grille du tube V1 et la masse, on obtienne la tension V_{g1} .

La tension V_{a2} est aussi appliquée à la cathode du tube V1, à travers le pont de résistances R3 et R4.

Les résistances R3 et R4 constituent un circuit de REACTION NEGATIVE. En effet, la tension VC ramenée sur la cathode est en opposition de phase avec la tension anodique du tube V1.

Les groupes R1C1 et R2C2 constituent un circuit de REACTION POSITIVE (V_{g1} en opposition de phase avec V_{a1}).

Les tensions V_{g1} et VC, étant une partie de la tension V_{a2} , ont évidemment la même fréquence et SONT EN PHASE ENTRE ELLES.

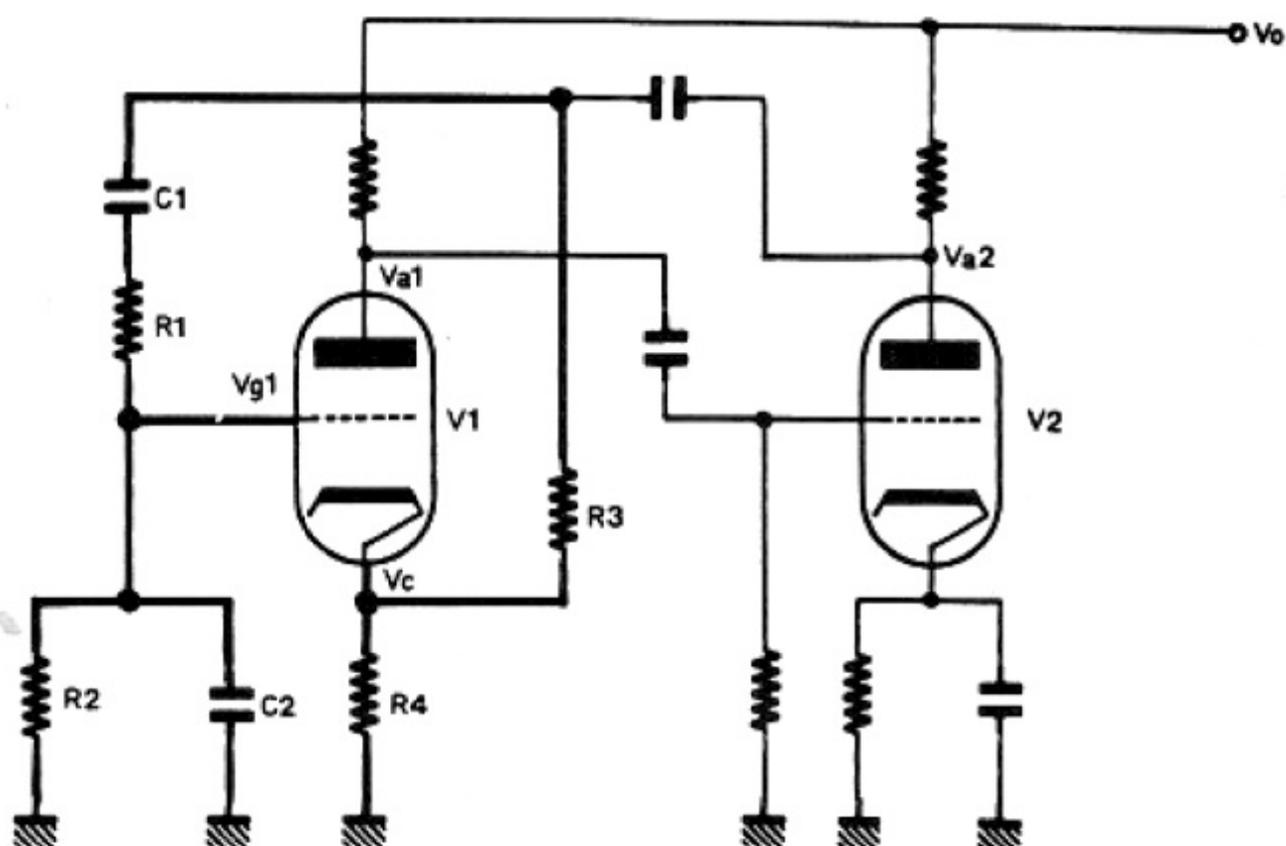


Figure 25

Si ces tensions avaient également la même amplitude, elles se compenseraient et l'oscillateur se comporterait comme s'il n'y avait aucun signal à l'entrée du tube V1.

En effet, pendant l'alternance positive de la tension V_{g1} , le potentiel de grille augmenterait, mais le potentiel de la cathode augmenterait de la même valeur 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 de la tension grille et diminution équivalente de la tension de cathode).

Pour que le montage puisse fonctionner en oscillateur, il faut que la tension V_{g1} qui produit la réaction positive, ait une amplitude supérieure à la tension V_C .

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_{g1} et V_C ait l'amplitude voulue pour maintenir l'oscillateur en fonctionnement.

En ce qui concerne la fréquence du signal, nous devons remarquer que le circuit de contre-réaction ne comprend que les résistances R_2 et R_3 , tandis que le circuit de réaction positive, comprend en plus des résistances R_1 et R_2 , les condensateurs C_1 et C_2 qui produisent un déphasage différent selon la fréquence.

Pour une fréquence bien déterminée, le déphasage introduit par le circuit R_1C_1 série est compensé par le déphasage produit par le circuit R_2C_2 parallèle.

Pour toutes les autres fréquences, la tension V_{g1} est déphasée par rapport à la tension V_{a2} .

Il en résulte que l'oscillateur ne fonctionne que sur la fréquence, qui engendre une tension V_{g1} EN PHASE avec la tension V_{a2} .

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 et pour les deux condensateurs, de façon à faciliter le réglage.

Dans ce cas, la fréquence de l'oscillateur à PONT DE WIEN est donnée par la formule :

$$F = \frac{1}{2 \pi RC}$$

Exemple : Calculer la fréquence d'oscillation d'un oscillateur à PONT DE WIEN identique à celui de la figure 12, dont les résistances R1 et R2 valent 1000 Ω et les condensateurs C1 et C2 0,1 μF .

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2 \times 3,14 \times 1000 \times 0,1 \times 10^{-6}} = \frac{1}{6,28 \times 10^{-4}} \\ &= \frac{10000}{6,28} = 1592 \text{ Hz.} \end{aligned}$$

IX - OSCILLATEURS A QUARTZ

Un oscillateur de très grande stabilité est un circuit très délicat à établir, et par conséquent un élément coûteux.

Cependant, quand l'oscillateur ne doit pas couvrir une gamme étendue de fréquences, il existe un moyen relativement économique et simple de maintenir la fréquence dans des limites très étroites.

On fait usage des remarquables propriétés de certaines matières cristallines, comme LE QUARTZ, LA TOURMALINE ou le SEL DE SEIGNETTE.

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

Un cristal de quartz se présente sous la forme d'un prisme hexagonal terminé par deux pyramides (figure 26-a).

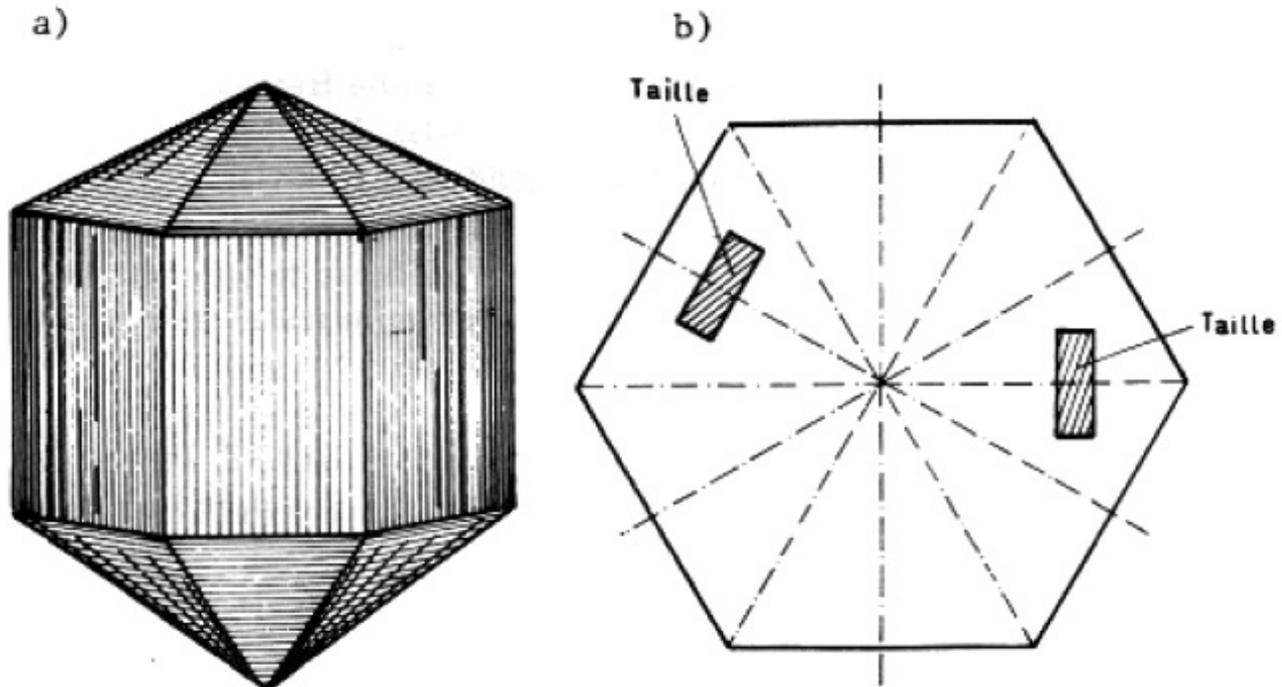


Figure 26

En respectant les orientations géométriques de la structure du cristal, on peut tailler des plaquettes de faible épaisseur, par rapport à la longueur et la largeur (figure 26-b).

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

Si la lamelle de quartz est introduite entre deux armatures métalliques et si une tension sinusoïdale est appliquée aux armatures, elle se met à vibrer mécaniquement.

La vibration est invisible à l'oeil nu, mais nous pouvons la détecter, en recouvrant la plaquette de poudre de talc.

A son tour, la vibration mécanique produite par la tension sinusoïdale, engendre une tension sinusoïdale d'égale fréquence.

La lamelle 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 appliquée aux armatures a une fréquence égale à la fréquence de résonance mécanique du quartz, la vibration est très importante et la tension sinusoïdale engendrée par la lamelle est très élevée.

Le cristal se comporte donc comme un minuscule, mais puissant circuit oscillant.

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.

Le circuit équivalent à un quartz est donné figure 27.

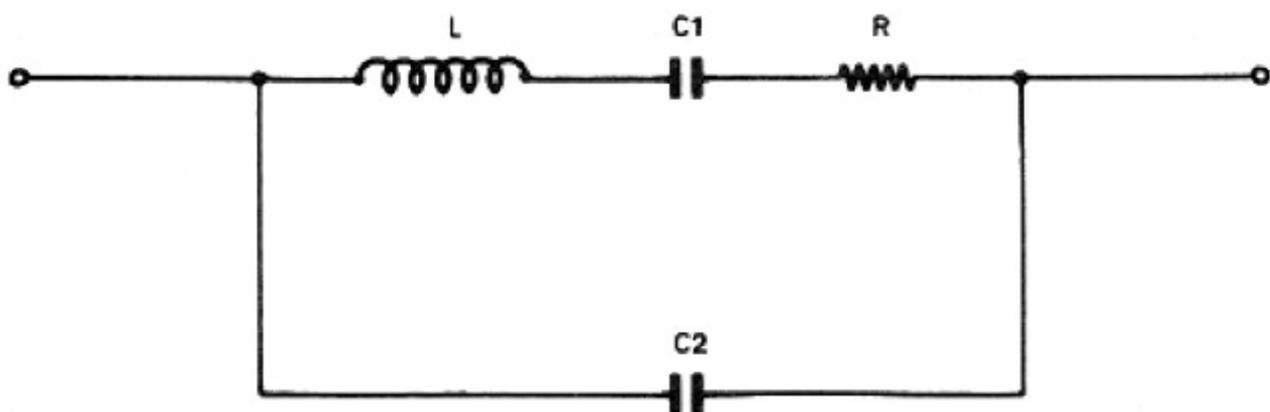


Figure 27

L correspond à son inertie mécanique, C1 à son élasticité, R à sa viscosité matérielle et C2 représente la capacité due aux deux armatures métalliques.

Comme nous pouvons le constater, ce circuit se compose d'un circuit RLC série (L, C1, R) et d'un circuit LC parallèle (L, C2).

Il possède donc deux fréquences de résonance, puisque les deux circuits (série et parallèle) ne sont pas identiques.

La figure 28 montre la courbe de réponse d'un quartz, c'est-à-dire la variation de la tension engendrée par le quartz quand la fréquence varie.

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 faible, pour une valeur très proche de la fréquence F_0 .

Cette chute de tension est obtenue, lorsque la fréquence est égale à la fréquence de résonance du circuit L, C1, R série.

Quand on augmente la fréquence, le circuit L, C1, R série se comporte comme une inductance ($L\omega$ plus grand que $C1 \omega$).

Cette inductance et le condensateur C2 constituent un circuit oscillant qui engendre une TENSION MAXIMUM A LA FREQUENCE DE RESONANCE 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.

Selon cette épaisseur la fréquence de résonance s'étend de 0,1 MHz à 10 MHz.

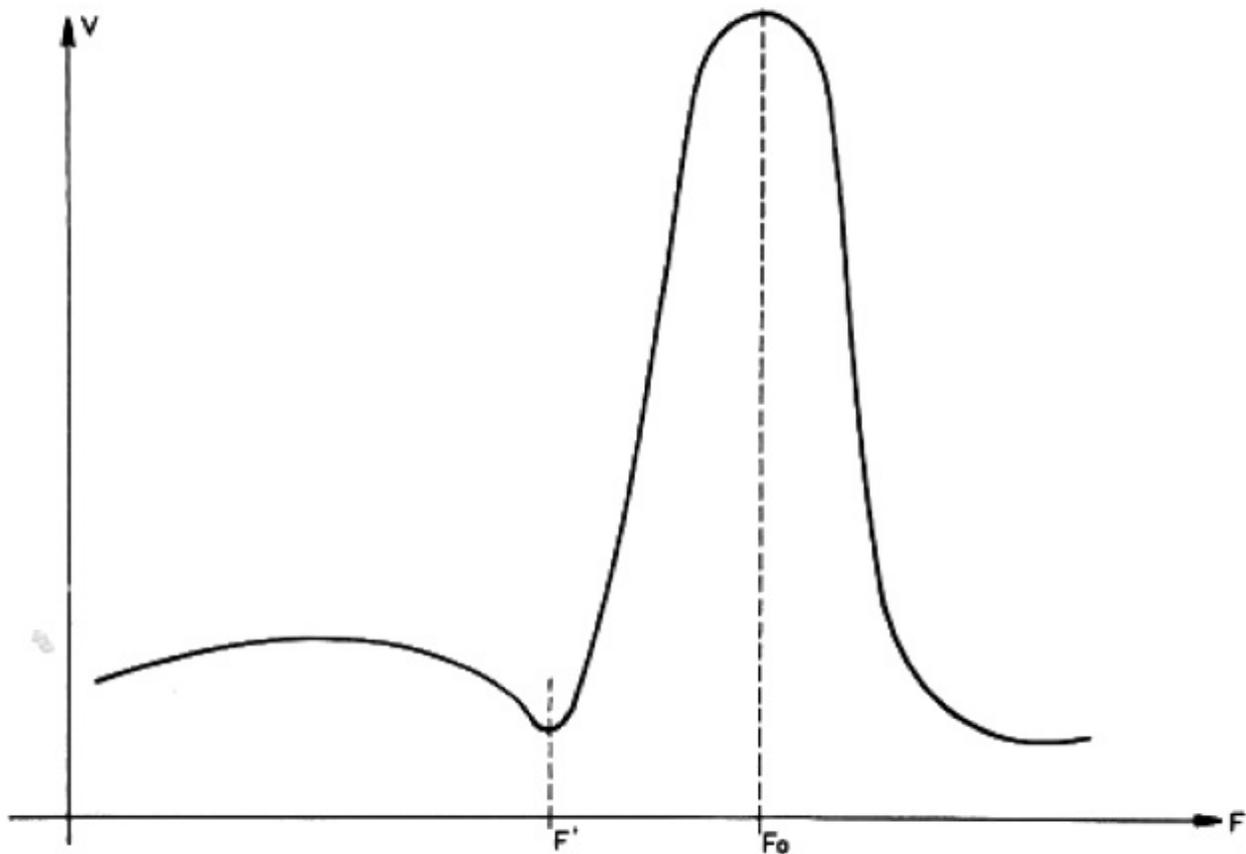


Figure 28

On calcule facilement cette fréquence, en utilisant la relation $F = \frac{2750}{e}$

- 2750 est un nombre ayant un rapport avec la vitesse de propagation dans le quartz.
- F correspond à la fréquence en kilohertz.
- e désigne l'épaisseur en millimètre de la lamelle de quartz.

Signalons aussi que le facteur de qualité Q d'un quartz est très élevé, il atteint 10000 à 50000 dans l'air et 100000 à 1000000 dans le vide.

CETTE CARACTERISTIQUE EST TRES IMPORTANTE, CAR ELLE PERMET DE REALISER DES OSCILLATEURS AYANT UNE TRES GRANDE STABILITE.

La seule influence notable est celle de la température, effet d'ailleurs modéré qu'il est possible d'éviter en enfermant le quartz dans un boîtier.

X - 1 - OSCILLATEURS A QUARTZ DU TYPE ARMSTRONG

La figure 29 représente cet oscillateur, sur lequel on peut reconnaître le circuit classique décrit à la figure 20.

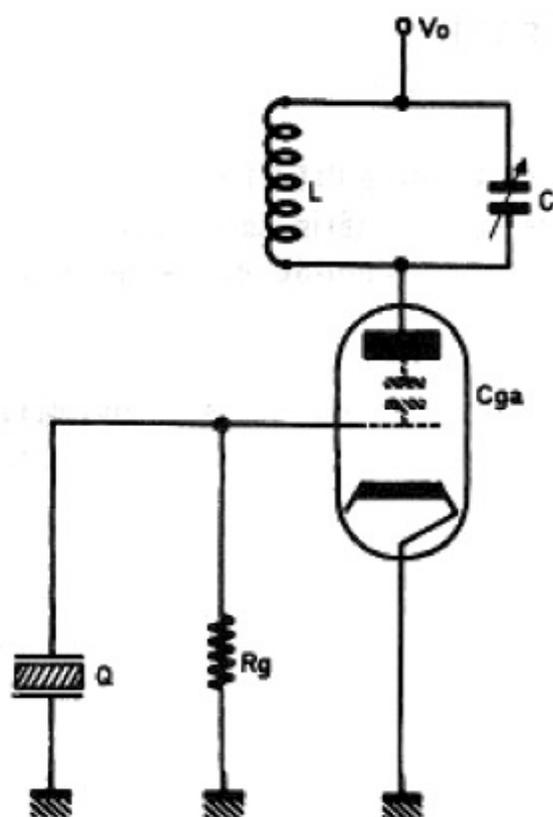


Figure 29

Le remplacement du circuit oscillant de grille par le quartz élimine le 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, détermine la fréquence de fonctionnement.

On se souvient que la réaction positive est obtenue, grâce à la capacité inter-électrodes C_{ga} .

Si nous utilisons une penthode ou une tétrode, il faut disposer un petit condensateur de quelques picofarads, entre l'anode et la grille, pour porter la capacité inter-électrodes à une valeur convenable.

X - 2 - OSCILLATEURS PIERCE

Le circuit de la figure 30, dû à PIERCE, est une variante du circuit Colpitts. Les deux condensateurs en série de ce circuit sont ici remplacés par les capacités inter-électrodes d'anode et de grille par rapport à la cathode.

La puissance obtenue est relativement importante. En effet, maintenant le quartz oscille avec plus d'énergie, car il est relié directement au circuit anodique.

L'oscillateur PIERCE est très utilisé puisqu'il ne réclame aucun réglage, contrairement aux circuits oscillants vus précédemment.

X - 3 - OSCILLATEURS A QUARTZ DE TYPE TRITET

Dans ce circuit (figure 31), le véritable oscillateur est formé par le quartz et le circuit oscillant $L1 - C1$.

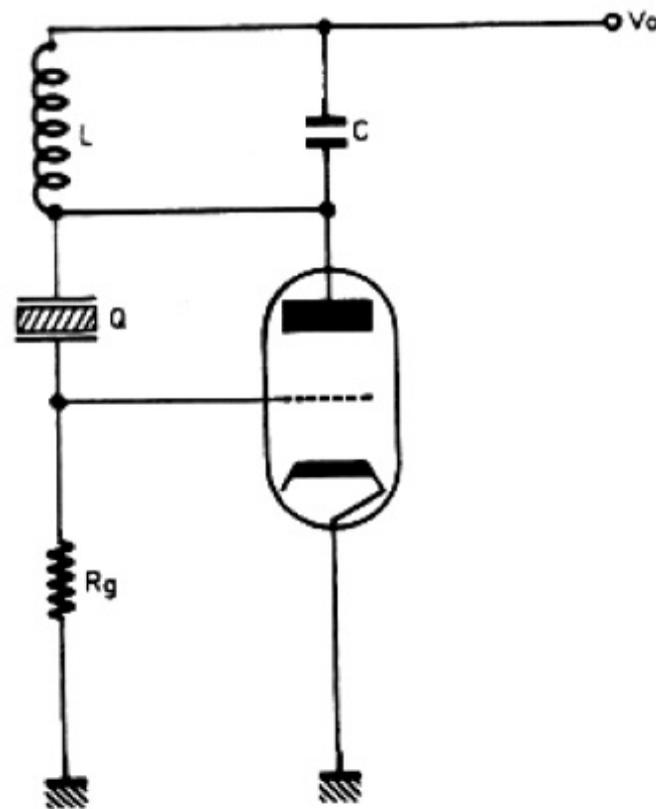


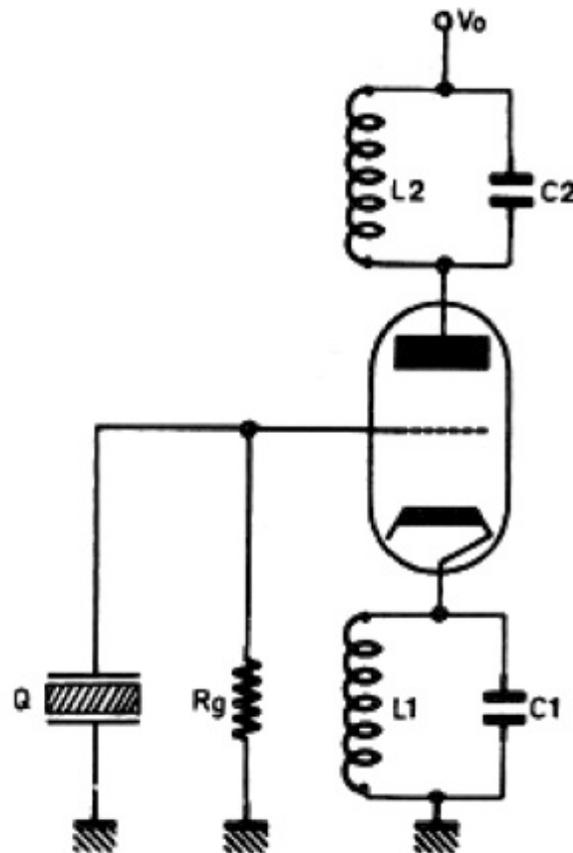
Figure 30

Les oscillations se produisent quand le signal de grille est en phase avec celui du circuit oscillant $L1 - C1$.

La réaction, déjà très énergique, est encore accrue par la présence du circuit oscillant anodique $L2 - C2$, dont la tension HF est transmise partiellement à $L1 - C1$ à travers la résistance interne du tube.

Cette réaction très énergique favorise les quartz difficiles à faire osciller.

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



OSCILLATEUR TRITET

Figure 31

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 imperfection et taillé avec soin, les courants dûs à la charge des condensateurs suffisent à le faire osciller.

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

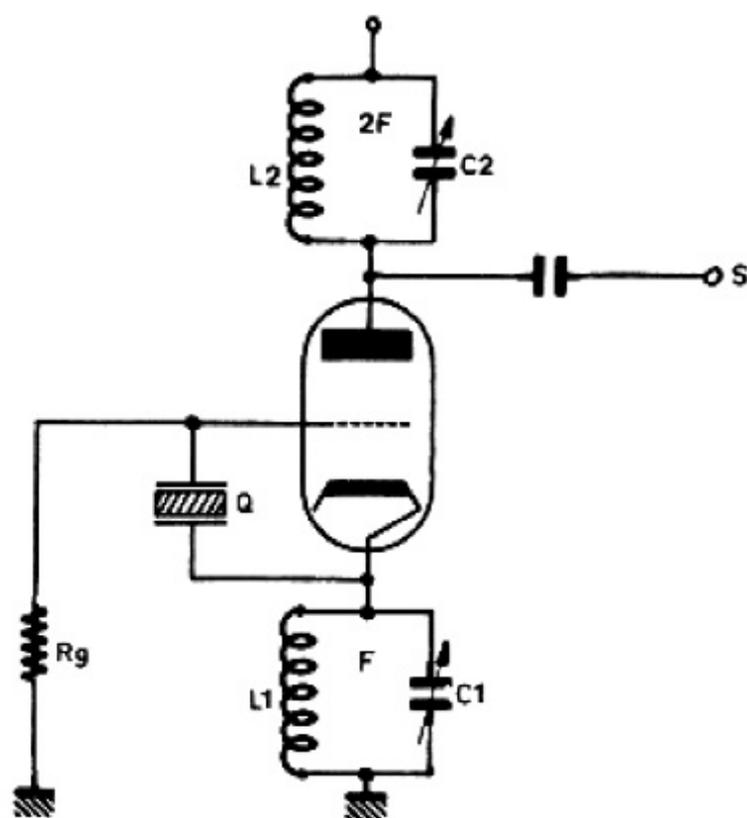
On a recours dans ce cas à des circuits avec une réaction positive importante, pour exciter fortement le quartz.

X - 4 - MULTIPLICATEURS DE FREQUENCE A QUARTZ

Le même procédé est utilisé, quand on veut extraire de la sortie du circuit, non pas la fréquence fondamentale sur laquelle résonne le quartz, mais la seconde ou la troisième harmonique.

Ceci est nécessaire, lorsque l'on veut obtenir des fréquences supérieures à 10 MHz, ce qui demanderait des cristaux très fins difficiles à tailler et fragiles.

La figure 32 donne le schéma d'un doubleur de fréquence à quartz.



DOUBLEUR DE FREQUENCE A QUARTZ

Figure 32

Dans tous ces montages d'oscillateurs, il est utile d'avoir un circuit oscillant dans la plaque, accordable par un condensateur variable. On peut ainsi régler la puissance prise au quartz, et éviter de le faire éclater.

XI - OSCILLATEURS A TRANSISTORS

Les oscillateurs à transistors SONT BASES SUR LE MEME PRINCIPE QUE LES OSCILLATEURS A TUBES.

Nous pouvons donc dire qu'un amplificateur à transistors, doté d'un circuit de REACTION POSITIVE et polarisé convenablement, constitue un oscillateur.

Nous ne reviendrons pas sur cette théorie qui est acquise et nous nous bornerons à donner les schémas de principes et quelques explications concernant les particularités de ces montages.

XI - 1 - OSCILLATEURS A CIRCUITS OSCILLANTS

La figure 33 montre un oscillateur à enroulement de réaction. Ce montage correspond à l'oscillateur à grille accordée utilisant une triode.

Le circuit oscillant LC peut être monté soit dans le circuit base, soit dans le circuit collecteur.

La résistance R_b permet de polariser la base du transistor.

Un autre type d'oscillateur LC, appelé HARTLEY, est représenté figure 34.

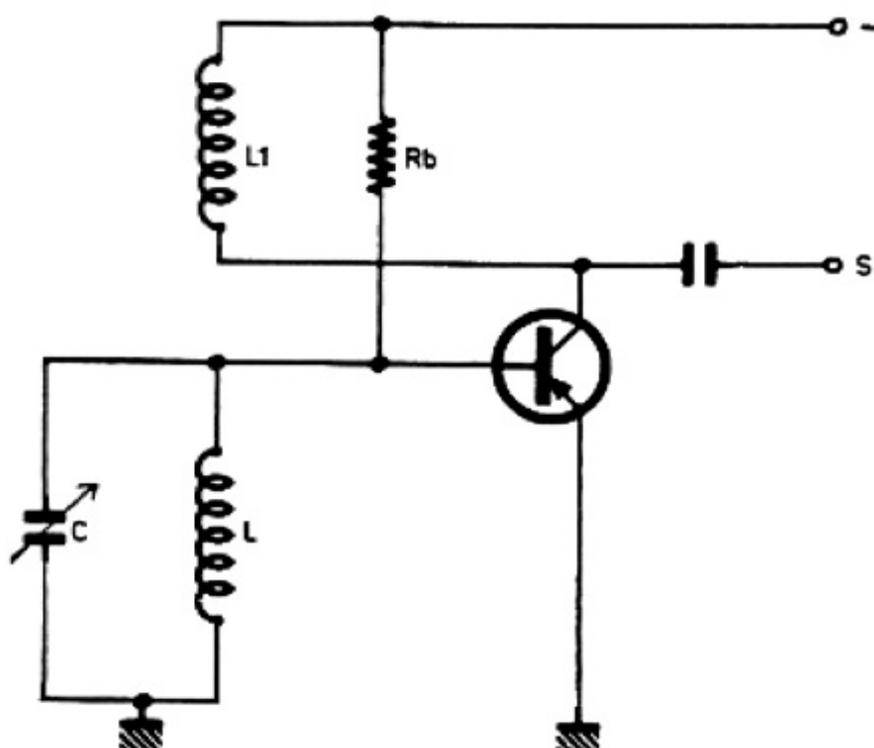


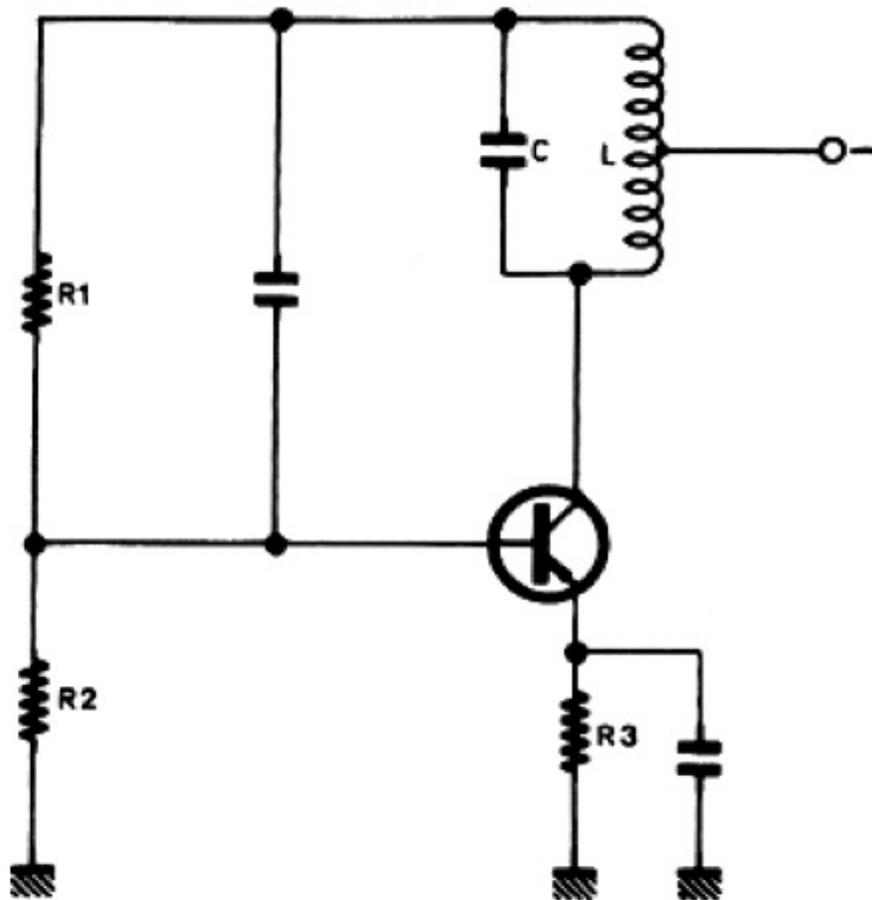
Figure 33

Vous reconnaissez certainement le montage que nous avons déjà vu dans la première partie de cette leçon.

La réaction est obtenue, grâce à un seul enroulement possédant une prise intermédiaire.

Les résistances R_1 , R_2 et R_3 assurent une polarisation correcte du transistor.

Le montage de la figure 35 est un oscillateur COLPITTS. La différence par rapport à l'oscillateur Hartley est la suivante : la prise intermédiaire est obtenue, en divisant le condensateur d'accord du circuit oscillant en deux condensateurs C_1 et C_2 . Le point de jonction est directement relié à la masse.



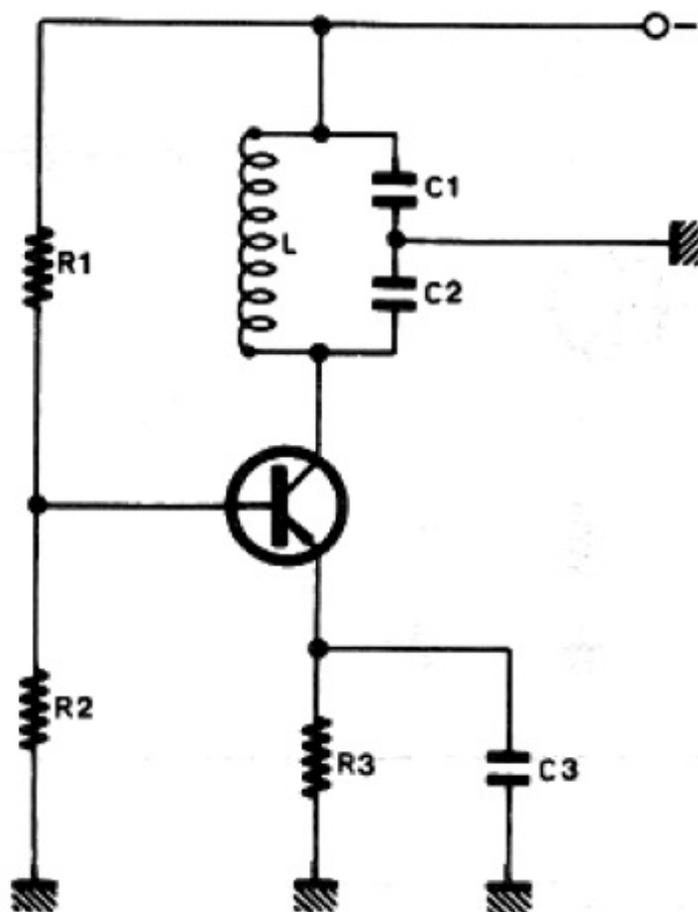
OSCILLATEUR DU TYPE HARTLEY

Figure 34

XI - 2 - OSCILLATEURS A RC

Les oscillateurs RC dérivent en général d'un amplificateur à résistances, dont la sortie et l'entrée sont reliées au travers d'un réseau ne contenant que des résistances et des capacités.

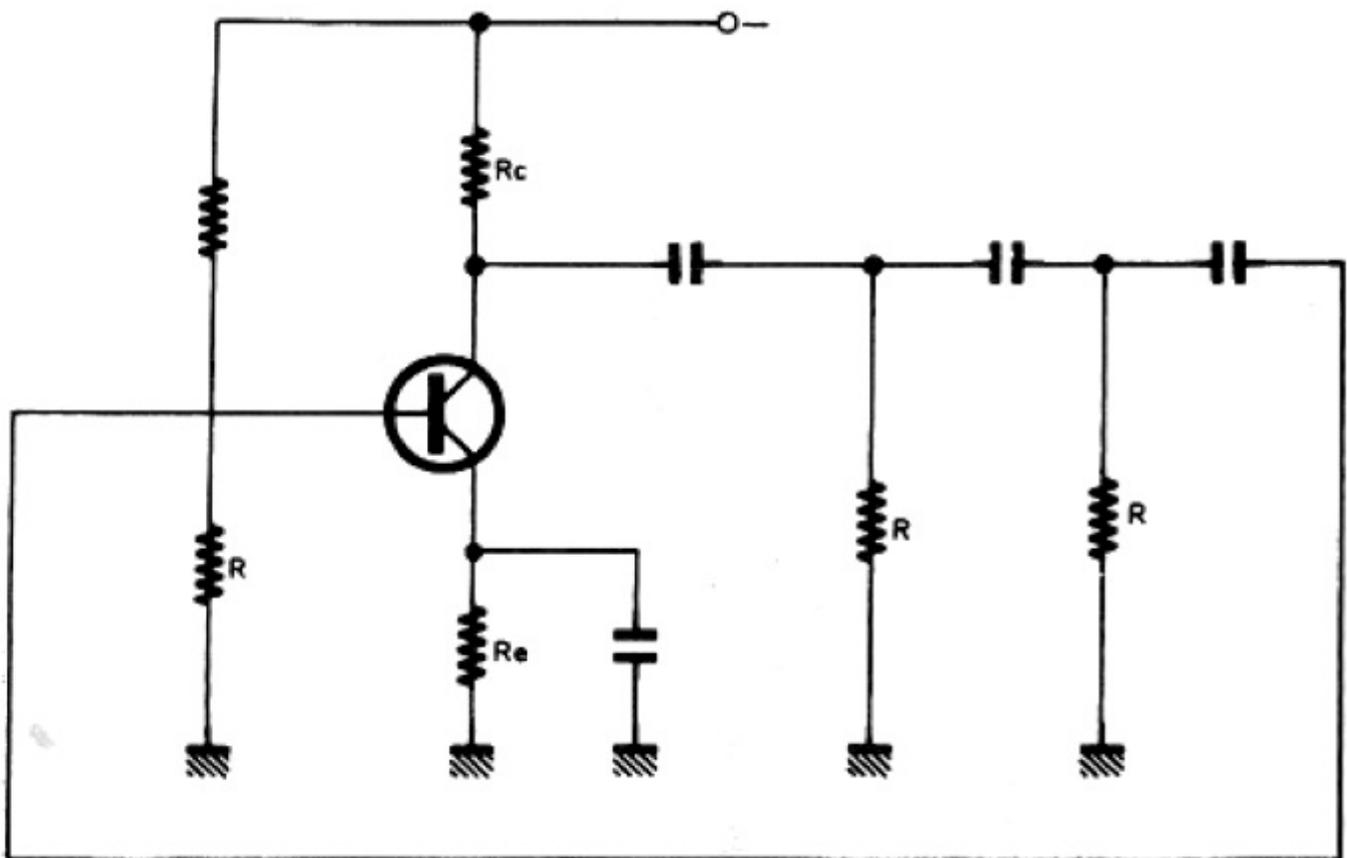
Le schéma d'un oscillateur à déphasage utilisant un seul transistor et trois groupe RC est donné figure 36.



OSCILLATEUR DU TYPE COLPITTS

Figure 35

Afin de rendre la fréquence aussi indépendante que possible des variations des paramètres des transistors en fonction de la température, il est recommandé d'opérer le couplage entre l'entrée et la sortie au moyen d'un étage à collecteur commun. Nous obtenons ainsi le montage de la figure 37.



OSCILLATEUR A DEPHASAGE

Figure 36

XI - 3 - OSCILLATEURS A QUARTZ

Les quartz dont la fréquence est comprise entre 1 et 10 MHz sont généralement ceux qui présentent la meilleure activité (facilité à entrer en oscillation).

L'emploi de ces derniers dans les oscillateurs à transistors est le plus aisé. Ils acceptent souvent d'osciller dans les circuits dérivés du montage PIERCE sans circuit accordé, comme celui représenté figure 38.

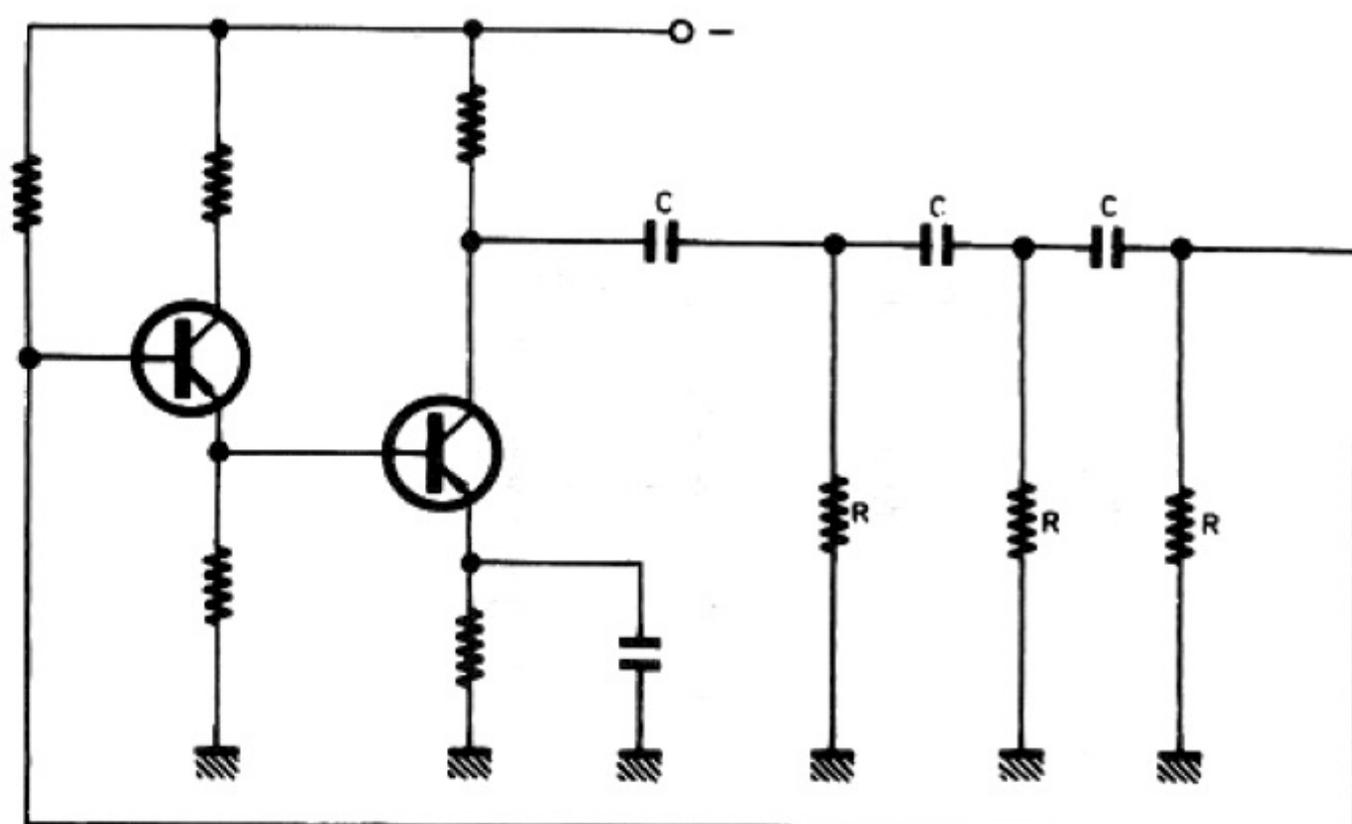


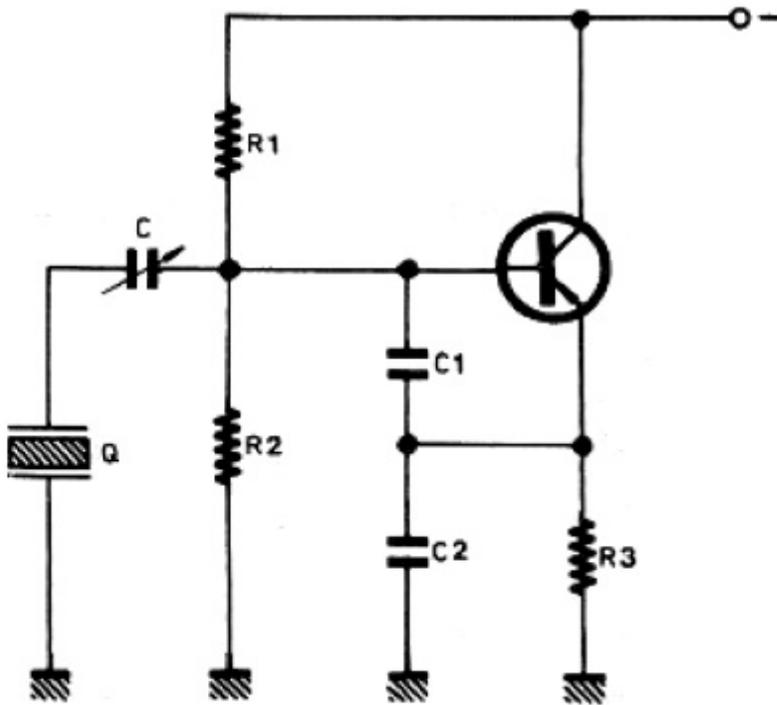
Figure 37

Au-dessus de 10 MHz, il est très difficile de faire osciller un quartz dans un montage ne comportant pas de circuit accordé de collecteur.

Les figures 39 et 40 donnent deux exemples d'oscillateurs utilisant un quartz et un circuit oscillant.

Plus leur fréquence est basse, plus les quartz sont d'un emploi difficile avec les transistors. Les quartz dont la fréquence est inférieure à 50 kHz, sont souvent munis de trois électrodes, dont l'une est reliée au point froid du montage.

On les utilise le plus souvent dans des oscillateurs à deux transistors, dans lesquels ils servent d'éléments de liaison entre les deux étages. La réaction est effectuée par un circuit RC reliant la sortie à l'entrée.



OSCILLATEUR A QUARTZ SANS CIRCUIT OSCILLANT

Figure 38

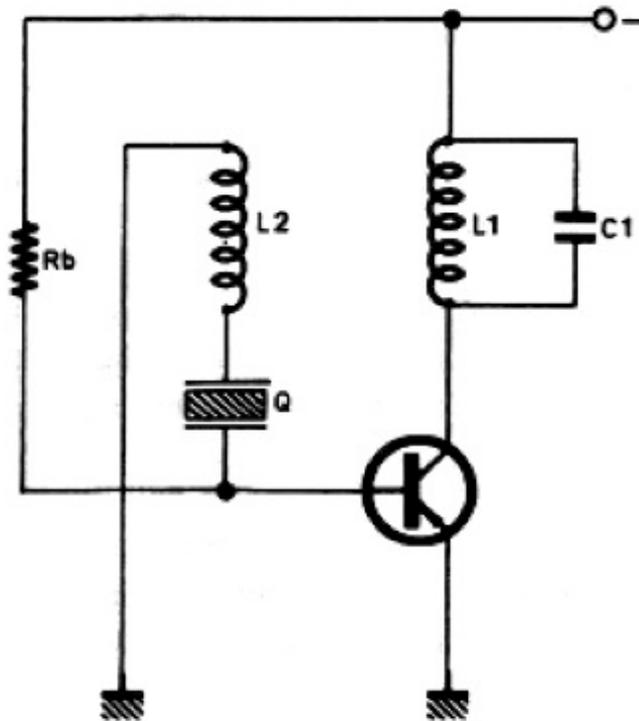


Figure 39

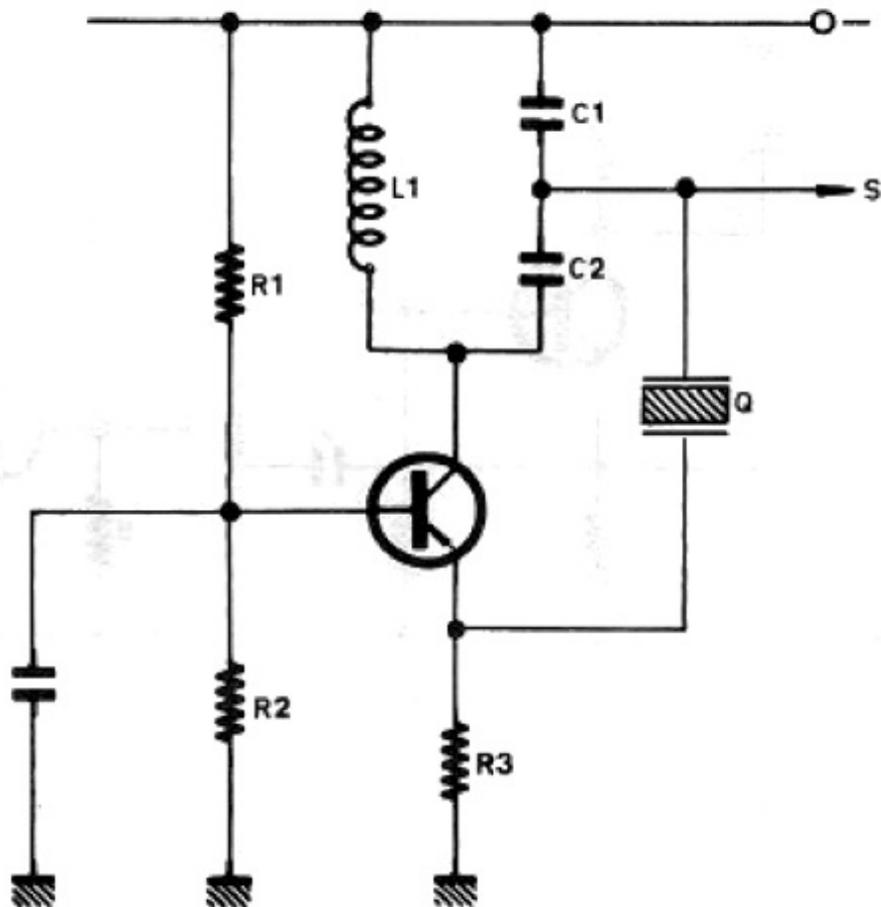


Figure 40

XII - OSCILLATEURS A DIAPASON

Etant donné la difficulté d'emploi des quartz pour des fréquences basses, c'est-à-dire inférieures à 10 kHz, il est souvent plus économique d'utiliser un oscillateur piloté par diapason.

Le diapason est un instrument métallique en forme de U.

Lorsque les branches sont mises en mouvement par un choc, celles-ci se mettent à battre à une fréquence rigoureusement constante.

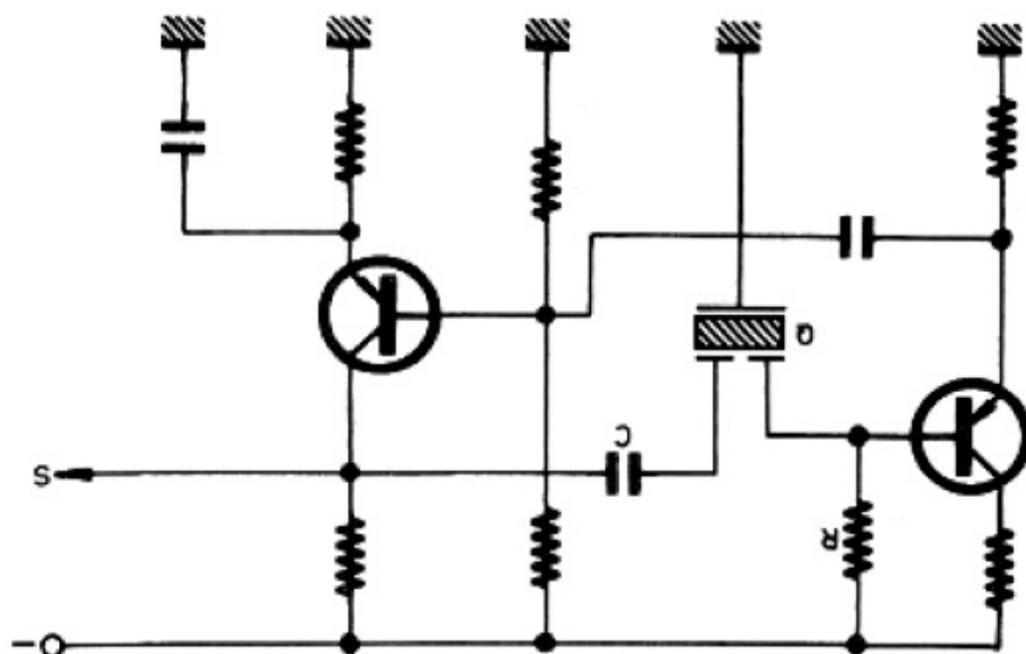


Figure 41

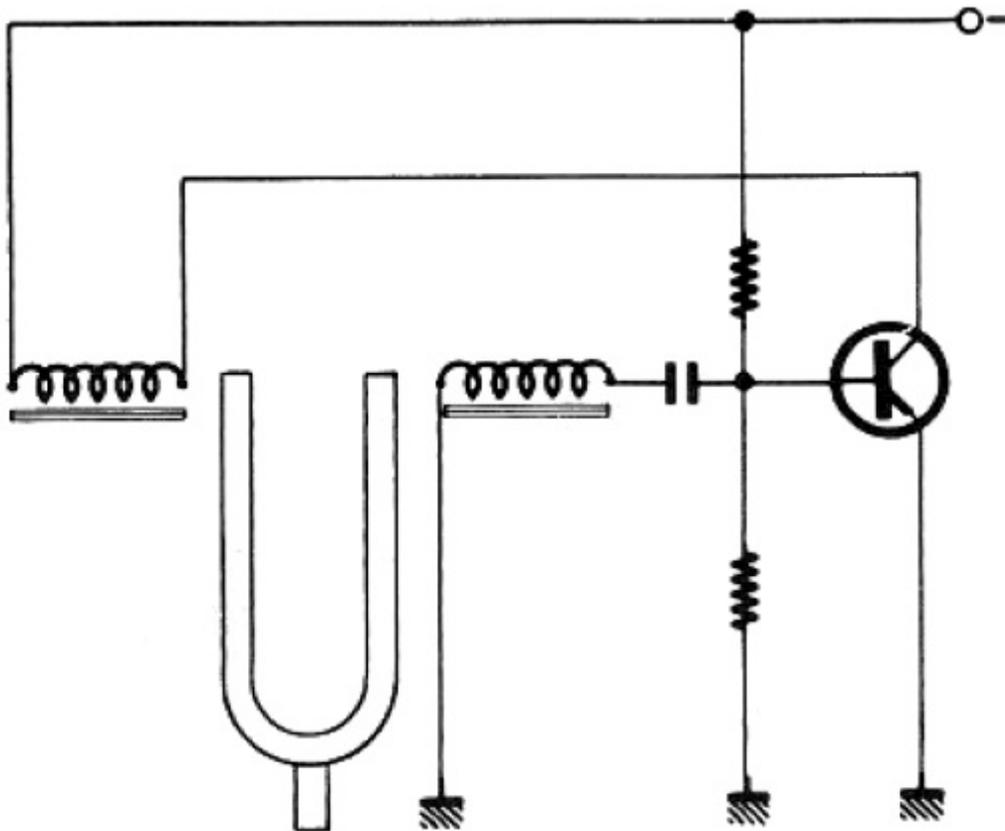
Dans le montage oscillateur de la figure 42, une des branches du diapason est mise en mouvement par le champ magnétique, engendré par le passage du courant dans la bobine L1.

La vibration mécanique est transmise à l'autre branche qui, en se déplaçant, modifie le circuit magnétique de la bobine L2.

Il se produit donc dans L2 une variation de courant qui suit les oscillations du diapason.

La variation de courant dans L2 est amplifiée par le transistor et renvoyée dans la bobine L1 qui entretient ainsi les oscillations du diapason.

Le plus souvent, les constructeurs livrent leurs diapasons accompagnés du circuit électronique dans un boîtier unique, maintenu à température constante au moyen d'un thermostat et parfois en atmosphère neutre ou sous vide.



OSCILLATEUR A DIAPASON

Figure 42

Nous venons de voir les montages **OSCILLATEURS FONDAMENTAUX**. Tous les oscillateurs sont basés sur les principes que nous venons de voir, même si en pratique on peut constater l'existence (ou l'absence de certains composants, par rapport aux schémas mentionnés.

Il ne s'agit là en effet que de **VARIANTES** de constructeurs, mais le montage peut toujours être comparé à l'un des circuits fondamentaux classiques.

