

THEORIE

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

Les notions sur les circuits amplificateurs et oscillateurs exposées dans les leçons précédentes, permettent maintenant d'étudier une catégorie de circuits extrêmement importante en électronique : LES MULTIVIBRATEURS.

Les multivibrateurs sont des générateurs D'ONDES CARREES.

On les répartit en trois catégories : multivibrateurs ASTABLES, MONOSTABLES, BISTABLES.

Les premiers produisent une forme d'onde carrée sans AUCUN SIGNAL DE COMMANDE.

Les seconds délivrent une impulsion carrée, APRES L'APPLICATION D'UNE IMPULSION DE COMMANDE.

Les derniers produisent une variation brusque de tension, chaque fois qu'ils sont commandés PAR UN SIGNAL IMPULSIF D'ENTREE.

Avant de commencer l'étude de ces circuits, il est nécessaire de donner quelques précisions concernant les ondes carrées ou rectangulaires.

1 - DEFINITION D'UNE ONDE CARREE

Si un phénomène se reproduit exactement dans des intervalles de temps réguliers, il est dit PERIODIQUE.

L'intervalle de temps T séparant deux phénomènes identiques est appelé PERIODE.

La fréquence caractérise la rapidité avec laquelle le phénomène se reproduit ($F = \frac{1}{T}$).

La figure 1 représente une onde carrée.

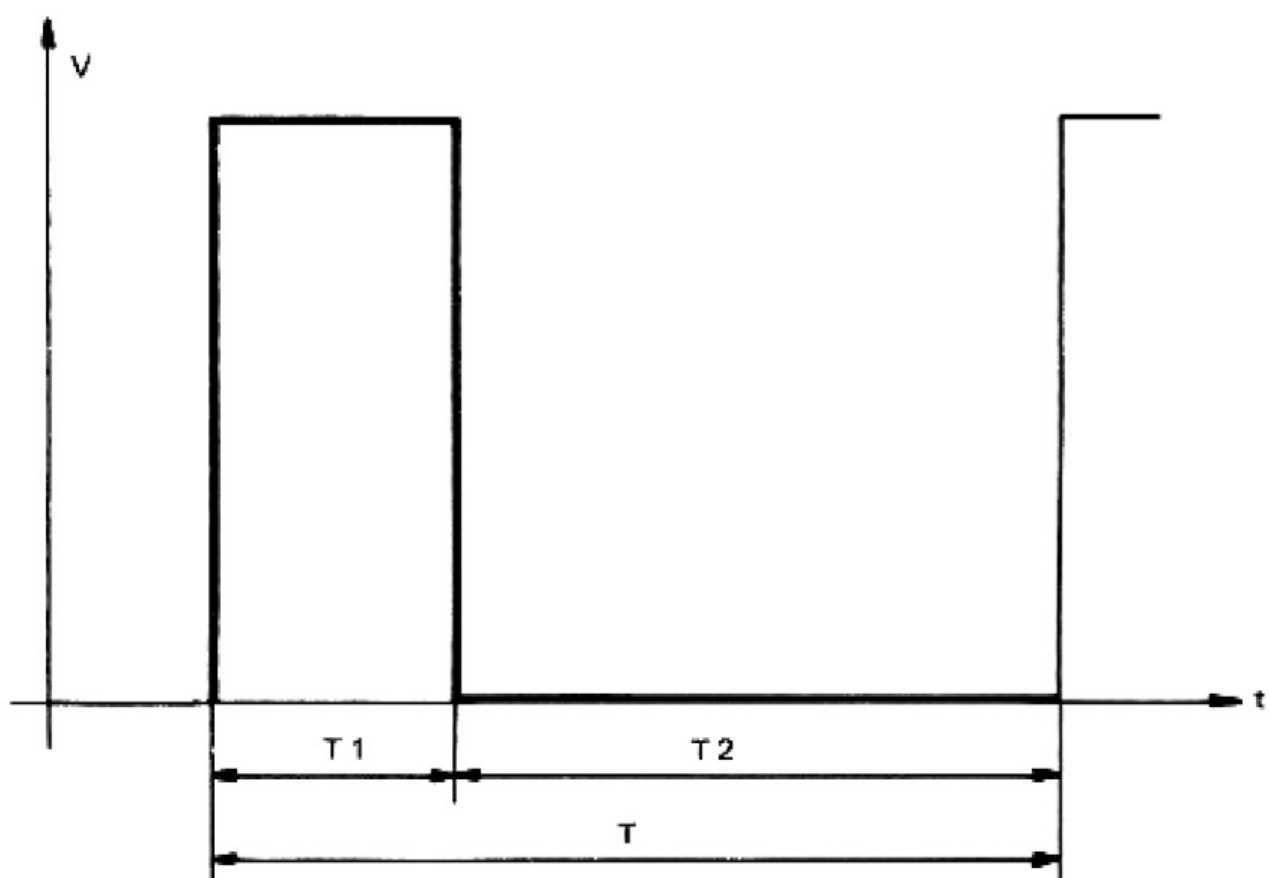


Figure 1

Sur ce graphique, nous avons reporté les temps T , T_1 , T_2 .

T représente la période du signal (intervalle de temps séparant deux créneaux consécutifs).

T1 correspond au temps de travail, c'est-à-dire à la partie positive du signal.

T2 représente le temps de repos, c'est-à-dire le temps pendant lequel la tension reste nulle.

L'onde carrée représentée figure 1 est caractérisée par son FACTEUR DE FORME, son RAPPORT CYCLIQUE et son AMPLITUDE.

Le facteur de forme s'applique aux signaux présentant une forte dissymétrie.

Pour le signal de la figure 1, le facteur de forme est égal à $\frac{T1}{T}$ et il représente la durée du signal bref par rapport à la période totale.

Si le temps T2 était plus court que T1, il serait égal au rapport $\frac{T2}{T}$

Le rapport cyclique est obtenu en divisant le temps de travail par le temps de repos ($\frac{T1}{T2}$).

II - MULTIVIBRATEUR ASTABLE

Il a été inventé en 1918 par ABRAHAM BLOCH.

C'est un générateur d'ondes carrées formé par un amplificateur à deux étages, à liaisons RC, mais dont la sortie est reliée directement à l'entrée.

La figure 2 donne le schéma d'un mutivibrateur astable, souvent appelé multivibrateur ABRAHAM BLOCH, équipé de deux triodes.

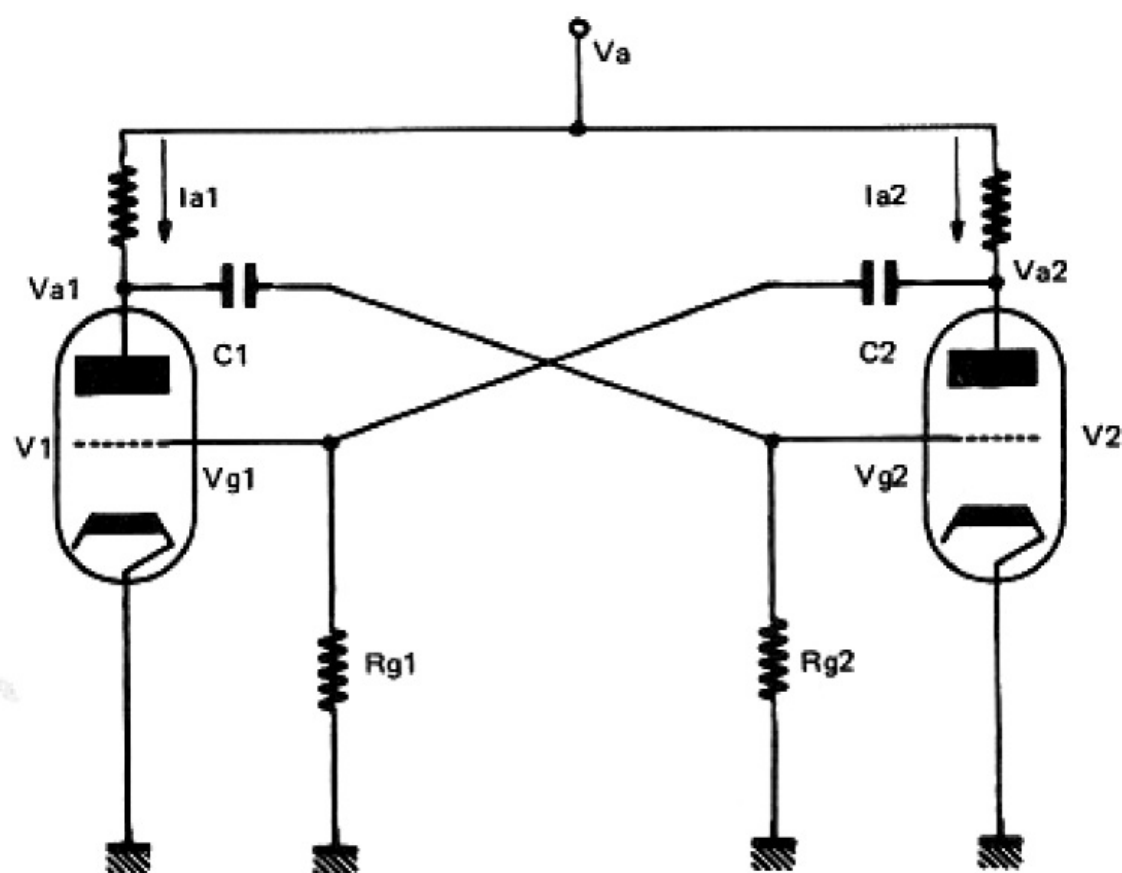


Figure 2

DEMARRAGE DU MONTAGE

Dès que l'on applique la haute tension, les deux tubes V1 et V2 se mettent à conduire.

Bien que le montage soit symétrique, les courants I_{a1} et I_{a2} ne sont pas égaux.

En effet, il faut tenir compte des tolérances des éléments qui font que leurs valeurs ne sont pas rigoureusement identiques.

Supposons que I_{a1} augmente plus vite que I_{a2} , V_{a1} diminue donc plus rapidement que V_{a2} .

Le condensateur $C1$ transmet instantanément la variation de tension ΔV_{a1} aux bornes de la résistance R_{g2} et $C2$ transmet la variation de tension ΔV_{a2} aux bornes de R_{g1} .

Ces variations de tension sont négatives et nous pouvons dire que V_{g2} est plus négative que la tension V_{g1} .

Il en résulte que le tube $V1$ conduit beaucoup plus que le tube $V2$.

Le phénomène s'amplifie rapidement (effet cumulatif) et $V2$ se bloque, tandis que $V1$ conduit à saturation.

Simultanément, dès que le montage est sous tension, le condensateur $C1$ se charge rapidement à travers R_{a1} et à travers la résistance équivalente à R_{g2} et à la résistance interne grille-cathode du tube $V2$.

De même, le condensateur $C2$ se charge à travers R_{a2} et à travers la résistance équivalente à R_{g1} et à la résistance interne grille-cathode du tube $V1$.

Les charges de $C1$ et de $C2$ sont très rapides, car elles s'effectuent à travers des résistances de faibles valeurs (résistances anodiques et résistances grille-cathode de chaque tube).

La figure 3 montre les circuits de charge des condensateurs $C1$ et $C2$, ainsi que les polarités des tensions apparaissant aux bornes de R_{g1} et R_{g2} .

FONCTIONNEMENT DETAILLE DU MONTAGE

Pour expliquer le fonctionnement du multivibrateur, nous allons nous servir de la figure 4 où sont représentées les tensions V_{a1} , V_{a2} , V_{g1} , V_{g2} , et, décomposer une période en intervalles de temps correspondants aux différentes phases du fonctionnement.

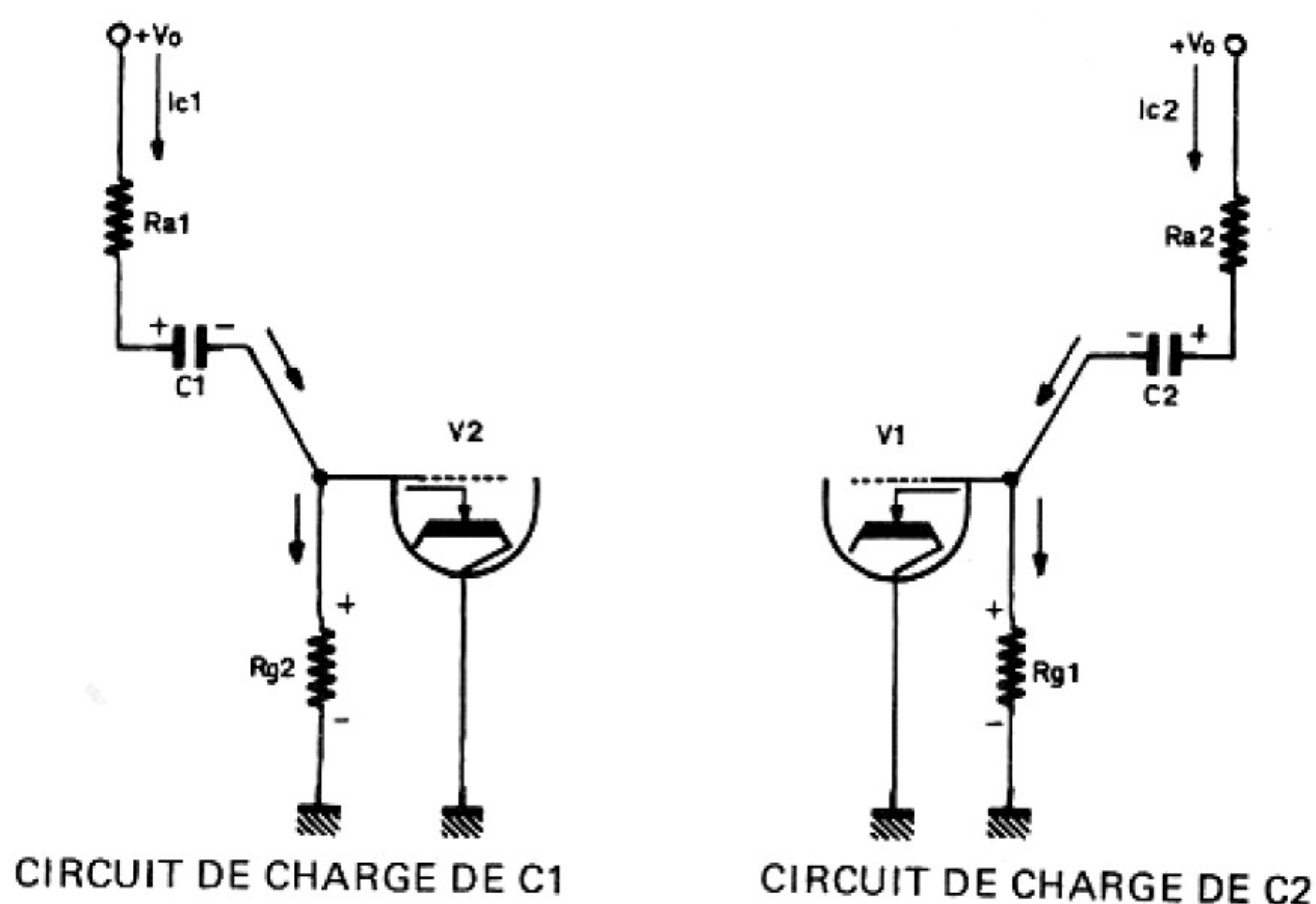


Figure 3

Considérons le montage à l'instant t_0 , c'est-à-dire juste après la période de démarrage.

- V1 conduit fortement et V_{a1} est égale à $V_0 - R_{a1}.I_{a1}$ c'est-à-dire une valeur plus faible que V_0 (V_{a1} mini).
- V2 est bloqué, donc V_{a2} est égale à V_0 .
- V_{g1} est très proche du potentiel de masse, puisque R_{g1} ne reçoit aucune variation provenant de l'anode de V2.
- V_{g2} est fortement négative (très en-dessous de la tension de blocage).

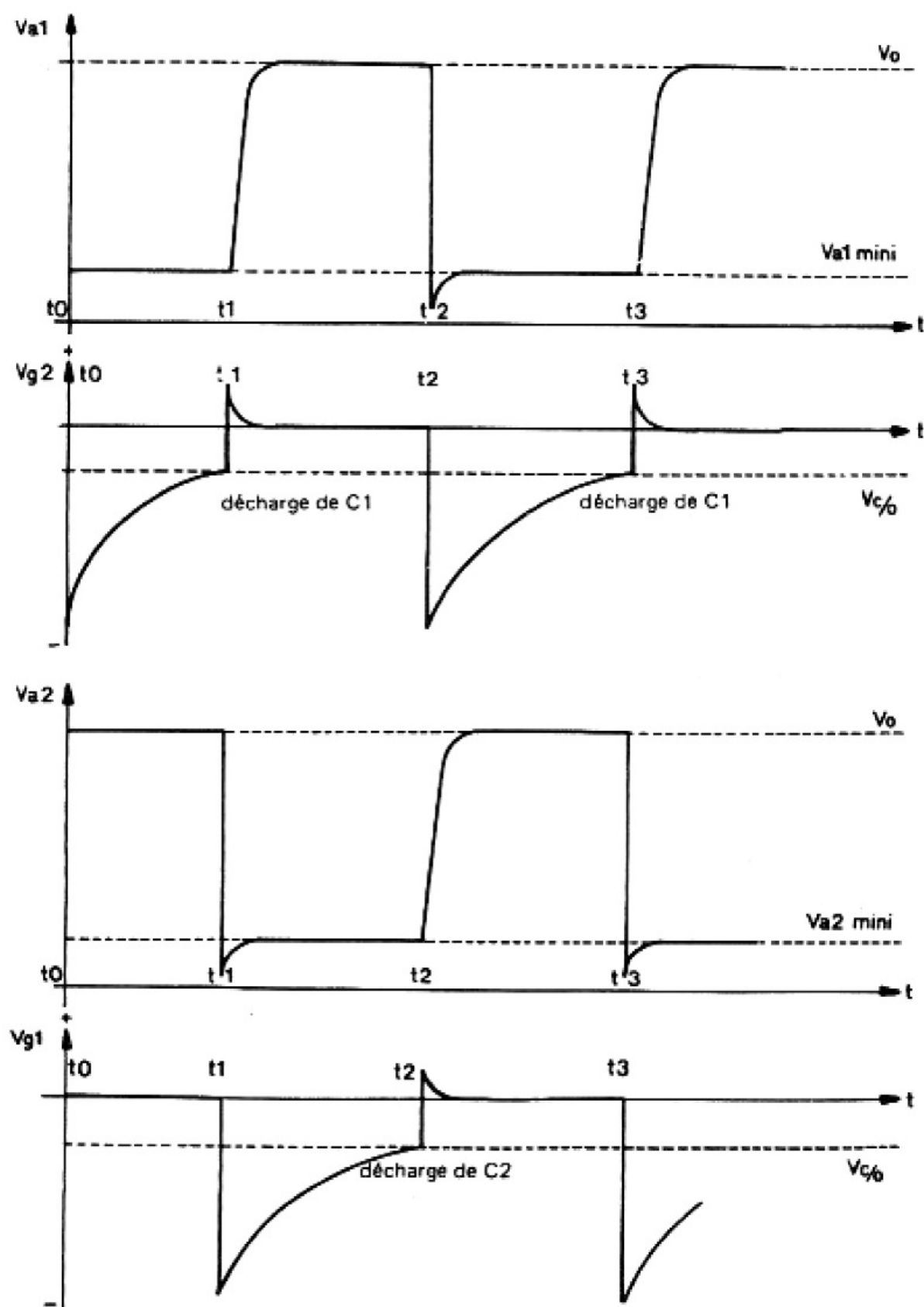


Figure 4

- Les condensateurs C1 et C2 sont chargés à une valeur proche de la haute tension.

ENTRE t_0 et t_1 :

Le condensateur C1 chargé à la haute tension voit la tension de son armature positive diminuer brutalement, dès que le tube V1 se met à conduire.

Il peut alors se décharger à travers la résistance interne de V1 et la résistance Rg2.

CETTE DECHARGE EST LENTE, car la résistance de grille Rg2 a une valeur élevée.

Le courant de décharge Id1 provoque une chute de tension aux bornes de Rg2, suivant les polarités indiquées figure 5.

Cette tension négative sur la grille de V2 maintient le tube bloqué, mais elle diminue au fur et à mesure que la charge se prolonge.

Les tensions Va1 et Va2 gardent respectivement leur valeur Va1 mini et V0.

A L'INSTANT t_1 :

La tension de grille Vg2, qui remonte lentement vers le potentiel masse, atteint la tension de cut-off du tube V2.

Le tube V2 se met donc à conduire et de ce fait la tension Va2 passe de la valeur V0 à la valeur Va2 mini.

Cette brusque variation négative de la tension anodique de V2 est transmise instantanément à la grille de V1 par le condensateur C2.

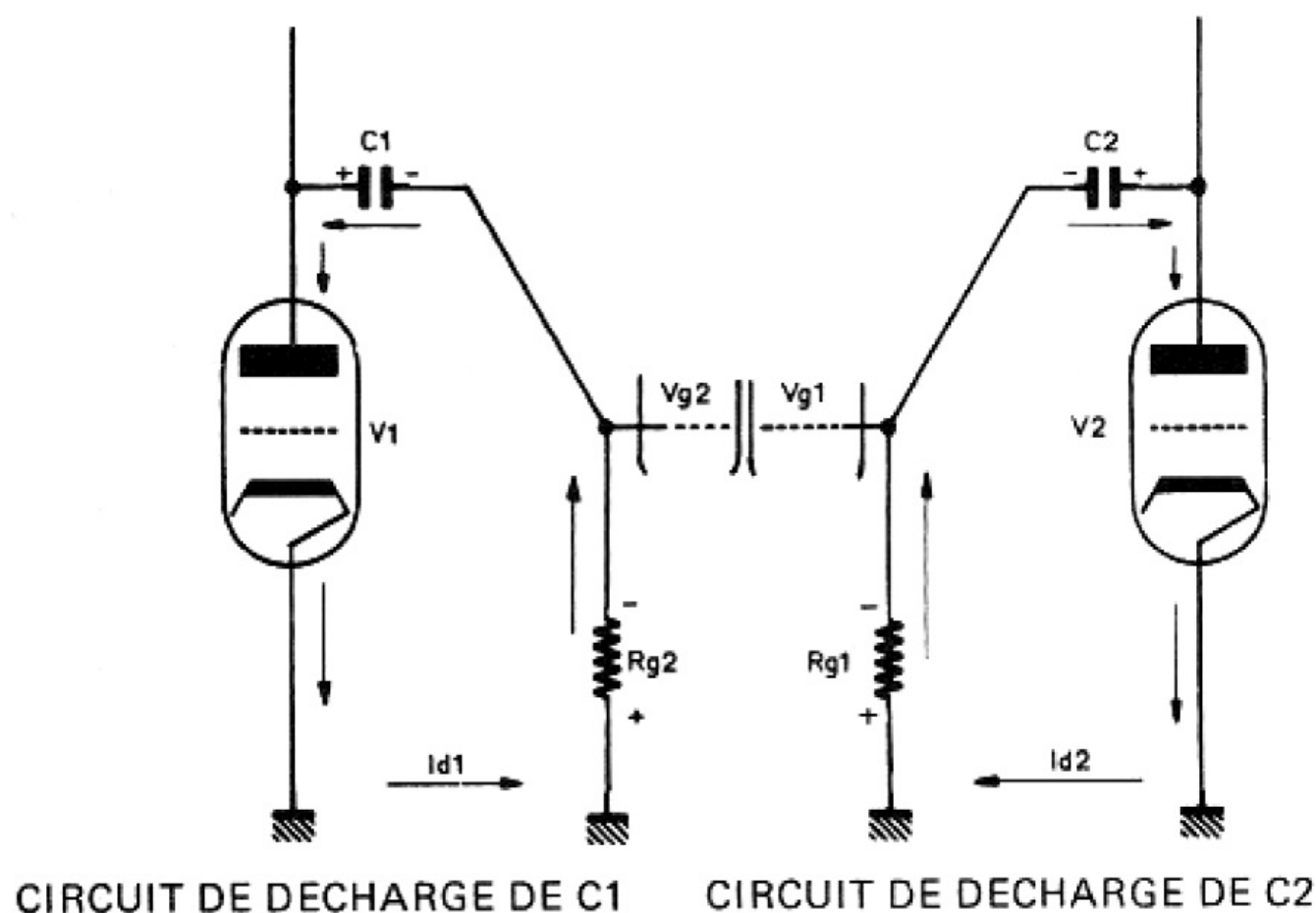


Figure 5

Le tube V1 est bloqué et la tension anodique V_{a1} remonte de $V_{a1 \text{ mini}}$ à V_0 .

En réalité, le changement de tension sur l'anode de V1 se fait suivant une forme exponentielle.

En effet, dès que la tension V_{a1} augmente, le condensateur C1 se charge à travers le circuit décrit figure 3.

Le courant de charge I_{d1} freine la remontée de la tension anodique et provoque l'apparition du petit pic positif aux bornes de la résistance R_{g2} .

DE t_1 à t_2 :

Le tube V1 est bloqué et le tube V2 conduit.

Le condensateur C2 peut se décharger à travers le tube V2 et la résistance de grille Rg1 du tube V1 (voir figure 5).

Le courant de décharge I_{d2} détermine une tension négative sur la grille de V1 et maintient ce dernier bloqué.

Cette tension négative (V_{g1}) remonte lentement vers le potentiel masse jusqu'à l'instant t_2 .

Entre les instants t_1 et t_2 , nous constatons que V_{a1} reste égale à V_0 et V_{a2} à $V_{a2\text{ mini}}$.

A L'INSTANT t_2 :

Le condensateur C2 est presque déchargé et la tension négative de grille V_{g1} atteint la tension de cut-off du tube V1.

Ce dernier se met à conduire et voit sa tension anodique V_{a1} diminuer brutalement.

La variation négative est transmise instantanément à Rg2 par le condensateur C1.

Le tube V2 est bloqué et la tension anodique V_{a2} passe de la valeur $V_{a2\text{ mini}}$ à la valeur V_0 .

Cette remontée se fait exponentiellement car pendant ce temps, le condensateur C2 se charge de nouveau à la haute tension à travers son circuit de charge indiqué figure 3.

De même qu'à l'instant t_1 , la charge du condensateur C2 provoque l'arrondi de la tension V_{a2} et le petit pic positif de la tension V_{g1} .

Cette pointe positive de la tension grille du tube V1 se répercute sur la tension anodique Va1.

En effet, à cet instant précis, la grille devenant positive, le tube conduit encore plus fortement et la tension anodique diminue légèrement.

DE t_2 à t_3 :

Le tube V1 conduit et Va1 est égale à Va1 mini.

Le tube V2 est bloqué et Va2 est égale à V0.

La tension de grille Vg1 reste au voisinage de la masse.

La tension de grille Vg2 remonte lentement suivant la constante de temps du circuit de décharge du condensateur C1.

Au moment où cette tension est égale à la tension de cut-off du tube V2 (instant t_3), celui-ci se débloquent et le cycle peut recommencer.

Sur l'anode du tube V2, on recueille une tension de forme carrée.

LA FREQUENCE DE CETTE ONDE DEPEND DES CONSTANTES DE TEMPS DES CIRCUITS DE DECHARGE DES CONDENSATEURS C1 et C2.

Nous avons vu en effet que les décharges successives de ces condensateurs provoquent les déblocages des tubes et par conséquent les basculements du montage.

Si les circuits de décharge des condensateurs C1 et C2 ne sont pas identiques, le rapport cyclique de l'onde carrée obtenue en sortie sera différent de 1.

Par exemple, si C1 est plus grand que C2, le tube V2 restera bloqué plus longtemps que le tube V1.

Si nous prélevons le signal de sortie sur l'anode de V2, nous aurons un temps de travail plus long que le temps de repos et, par conséquent, un rapport cyclique $\frac{T_1}{T_2}$ supérieur à 1.

II - 1 - AMELIORATIONS DU MULTIVIBRATEUR ABRAHAM BLOCH

Nous avons vu que la tension carrée délivrée par ce montage est assez déformée (fronts avant arrondis et fronts arrière présentant un pic négatif par rapport à la tension V_a mini).

Ce pic est dû au fait que la grille reçoit une tension positive pendant la charge du condensateur qui lui est relié.

Pour éviter que la tension grille devienne positive, on monte des résistances stoppeuses comme sur la figure 6.

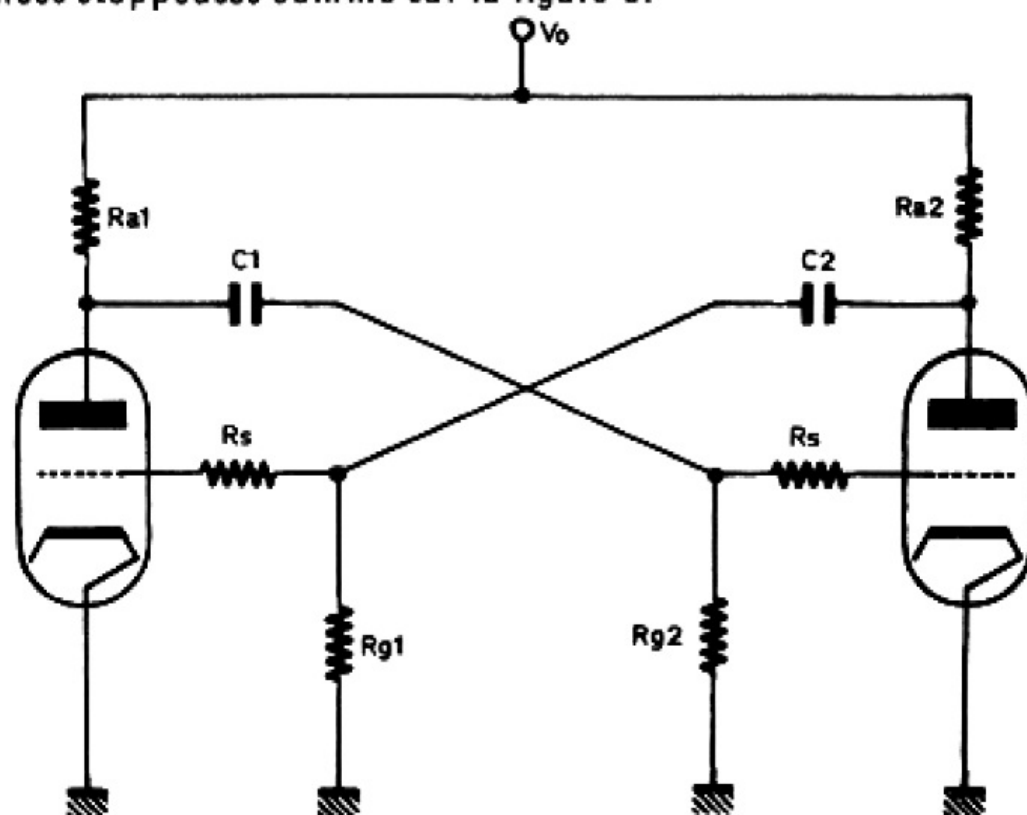


Figure 6

Ces résistances doivent avoir une valeur très supérieure à celle de l'espace grille-cathode.

De cette façon, la presque totalité de l'impulsion positive est chutée aux bornes de RS.

Ce système a néanmoins un grave inconvénient.

Les résistances stoppeuses sont mises en série avec les circuits de charge des condensateurs C1 et C2.

La constante de temps du circuit est donc plus longue et il en résulte que les fronts avants de l'onde carrée sont plus arrondis.

Pour remédier à cet inconvénient, nous pouvons utiliser des tubes penthodes.

La charge des condensateurs C1 et C2 ne se fait plus à travers les résistances anodiques mais à travers les résistances d'écrans RE1 et RE2.

Puisqu'il n'y a plus de charge par Ra1 et Ra2, les fronts de montée sont pratiquement rectilignes et non plus exponentiels.

La figure 7 montre un multivibrateur équipé de deux penthodes.

Malgré toutes les améliorations apportées au multivibrateur ABRAHAM BLOCH, celui-ci présente encore un important défaut : L'INSTABILITE EN FREQUENCE.

L'instabilité est due à l'angle que présente la remontée exponentielle de la tension grille, avec la ligne représentant la tension de cut-off du tube (figure 8).

Lorsque les résistances de grille sont reliées à la masse, la remontée exponentielle se fait en direction du potentiel 0.

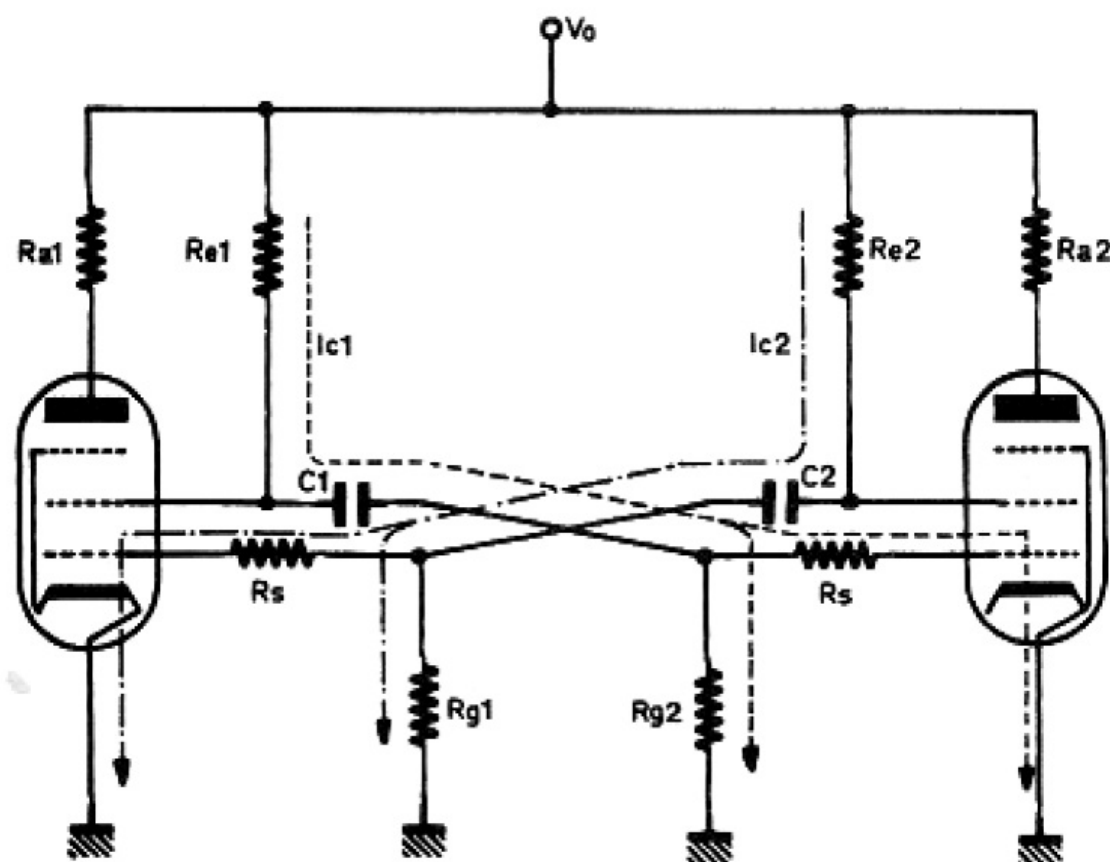


Figure 7

Une faible variation extérieure, fait couper la ligne de la tension de cut-off, plus tôt ou plus tard et provoque de grands écarts en fréquence.

En reliant les résistances de grille directement à la haute tension, le circuit de décharge passe à travers la source de haute tension et la remontée exponentielle se fait en direction de la haute tension V_0 .

De cette façon, de faibles variations extérieures ne provoquent que de faibles déplacements du point de coupure entre la tension de grille et la ligne représentant la tension de cut-off.

Avec ce moyen, la stabilité de l'ensemble est nettement améliorée.

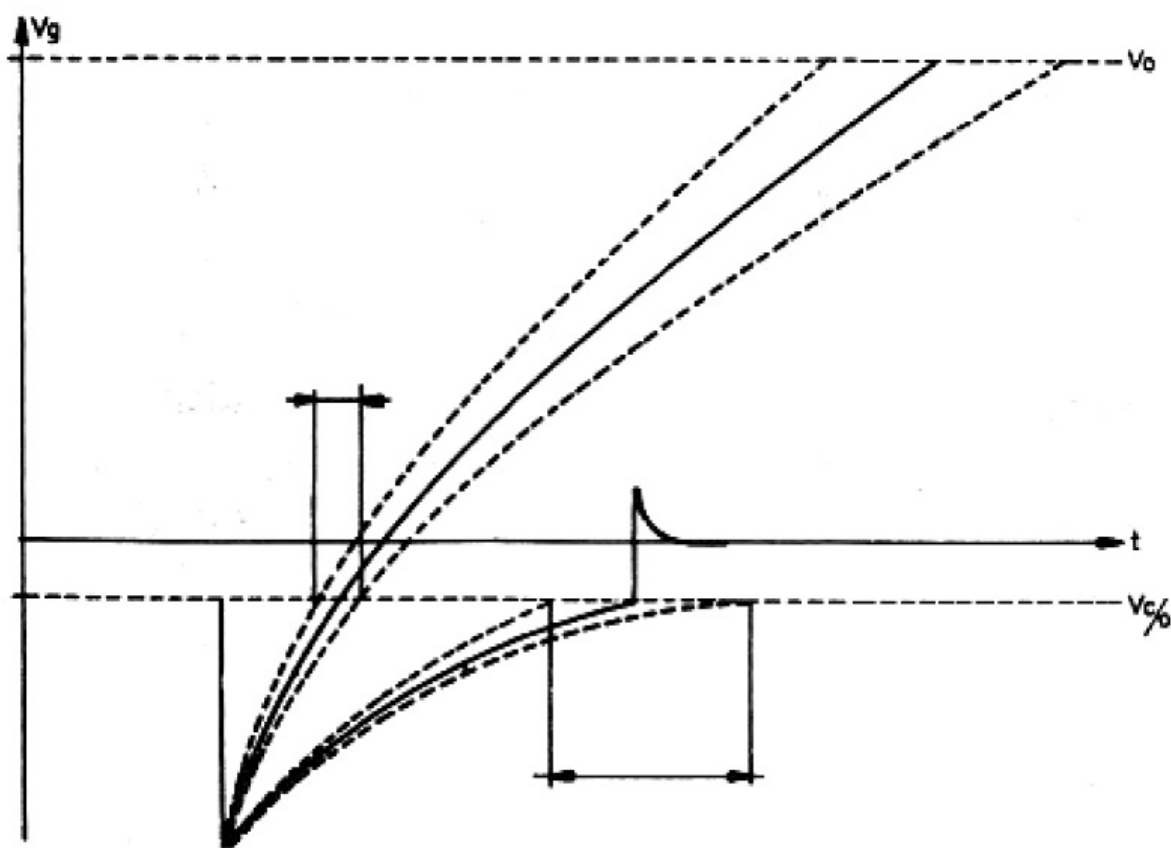


Figure 8

La figure 9 montre un multivibrateur, dont les résistances de fuite de grille R_{g1} et R_{g2} sont reliées à la haute tension.

Avec ce montage, il faut repenser la valeur des éléments, car les résistances de grille R_{g1} et R_{g2} doivent avoir des valeurs très élevées, afin que les potentiels de grille restent voisins de 0 Volt.

III - MULTIVIBRATEUR ASTABLE A COUPLAGE CATHODIQUE

Ce multivibrateur est un montage astable et dissymétrique.

Les cathodes sont réunies et reliées à la masse par une résistance de polarisation R_K .

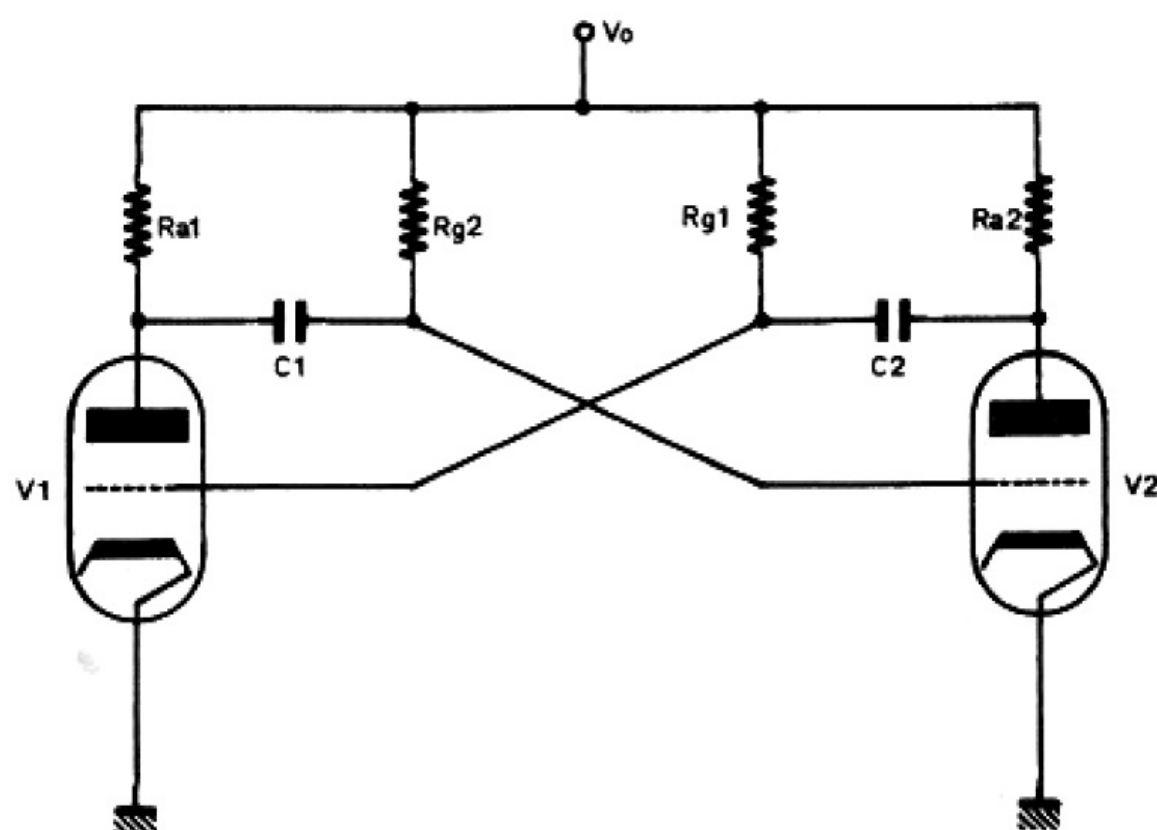


Figure 9

Le schéma de principe d'un tel circuit est représenté sur la figure 10.

Dès que l'on applique la haute tension, les deux triodes se mettent à conduire, mais la chute de tension de V_{a1} est transmise à R_{g2} par le condensateur C.

Comme cette variation est négative, nous avons sur la grille de V2 une tension également négative.

Très rapidement, nous obtenons V2 bloqué et V1 conduisant normalement.

Simultanément à ceci, le condensateur C se charge à la haute tension à travers R_{a1} et R_{g2} .

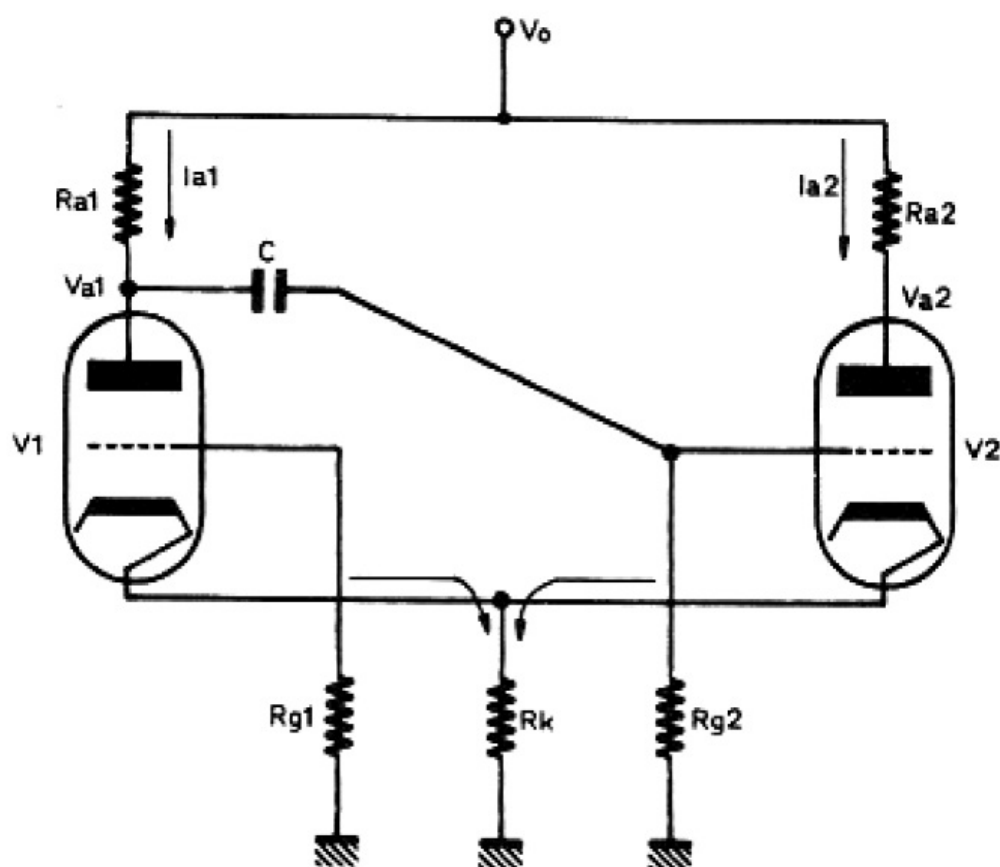


Figure 10

La grille de V1 est reliée à la masse par une résistance de faible valeur et se trouve pratiquement à la masse.

V1 conduisant, le condensateur C peut se décharger exponentiellement à travers la résistance interne de V1 et la résistance R_{g2} .

Le courant dans V1, crée une chute de tension V_K dans la résistance R_K et les cathodes se trouvent à un potentiel positif par rapport à la masse.

Dès que V_{g2} atteint le point critique de cut-off, un courant s'établit dans V2. La chute de tension dans R_K devient plus positive et cela revient à dire que la grille de V1 devient plus négative.

Le courant i_{a1} dans V1 diminue et la tension V_{a1} augmente.

Cette variation du potentiel de V_{a1} est reportée sur la grille de V2 au travers du condensateur C, ce qui augmente encore le courant dans V2 ; d'où, nouvelle augmentation de V_K et diminution plus rapide du courant dans V1.

L'effet étant cumulatif, V1 est rapidement bloqué alors que V2 conduit au maximum.

Dès que V1 est bloqué ($V_{a1} = V_0$), le condensateur C se charge à travers R_{a1} et R_{g2} . Lorsque cette charge est terminée, la grille de V2 est ramenée au potentiel de la masse ; le courant dans V2 diminue alors légèrement, ce qui provoque une diminution de la tension de cathode.

Cette diminution est suffisante pour débloquent le tube V1 qui recommence à conduire.

Le courant i_{a1} crée une chute de tension dans R_{a1} , qui se trouve reportée sur la grille de V2. L'action cumulative amène rapidement V2 à l'interdiction et V1 à la conduction maximum.

Le condensateur C peut se décharger à travers V1 et R_{g2} et un nouveau cycle recommence.

Sur la figure 11, vous trouverez les différentes formes d'ondes présentes dans le circuit que nous venons de décrire.

IV - MULTIVIBRATEUR CHARBONNIER

Ce multivibrateur à couplage cathodique, représenté figure 12, est une variante du montage précédent.

THEORIE 23

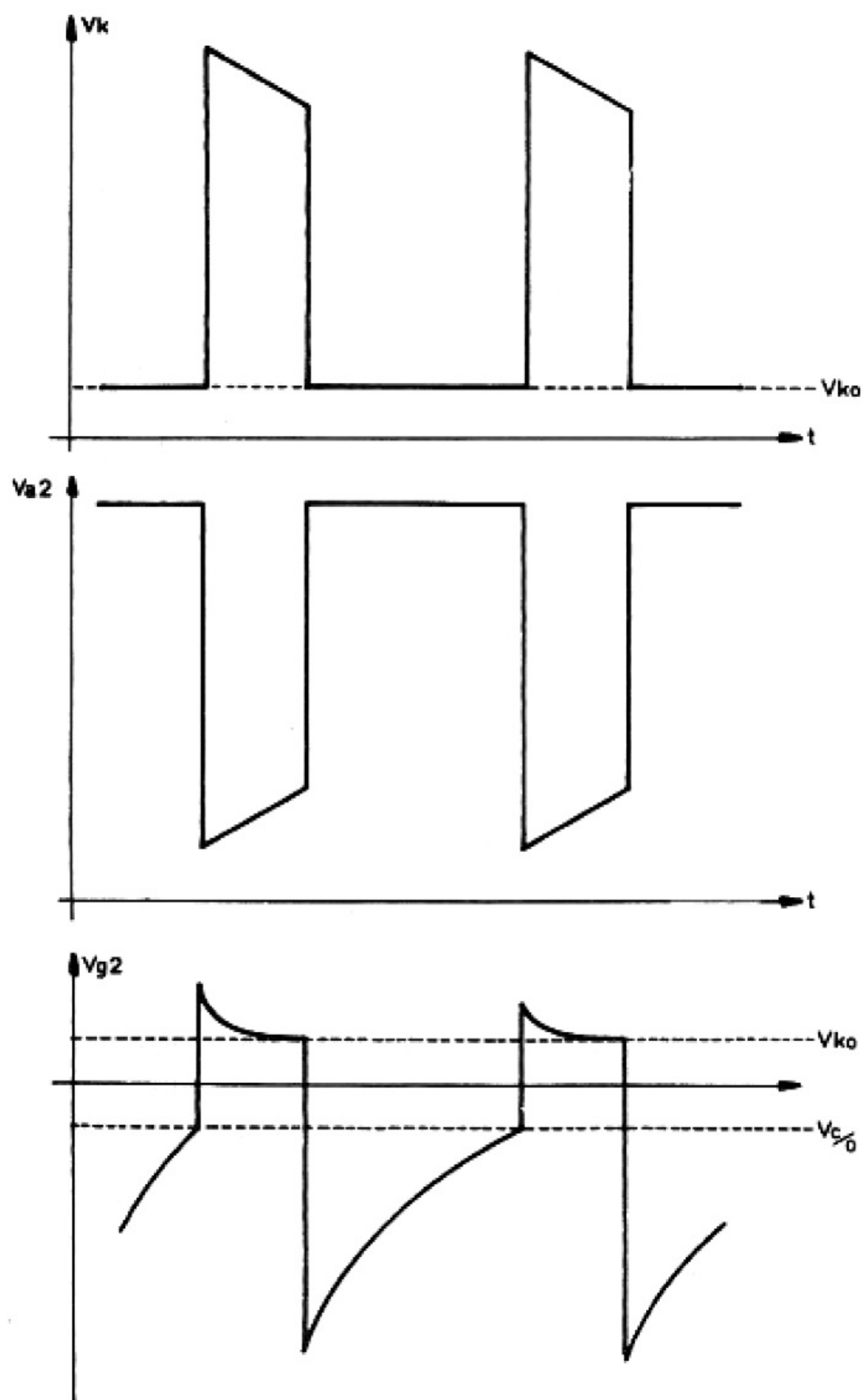


Figure 11

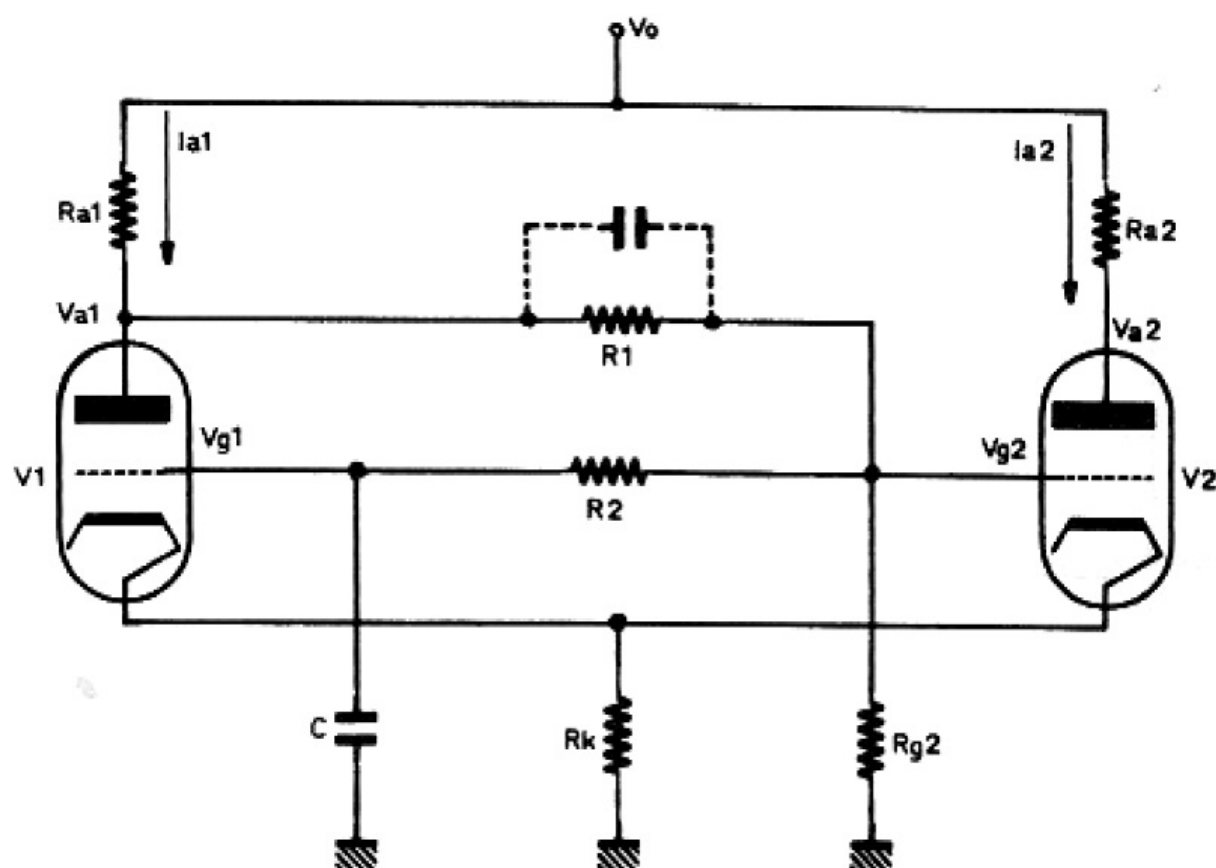


Figure 12

La tension de grille du tube V1 apparaît aux bornes du condensateur C, qui forme avec R2 un RC long.

Dès que l'on applique la haute tension, les deux tubes se mettent à conduire. Mais la grille de V2 est portée à un potentiel positif par le pont de résistances Ra1, R1 et Rg2 placé entre la haute tension et la masse.

Le tube V2 conduit donc beaucoup plus que le tube V1.

La grille de V1 est à un potentiel voisin de la masse (le condensateur C n'a reçu aucune charge) et le courant Ia2 crée une tension positive aux bornes de Rk.

Très rapidement, nous obtenons V1 bloqué et V2 conduisant fortement.

La tension positive V_{g2} apparaissant aux bornes de R_{g2} est également appliquée aux bornes du circuit RC, formé par la résistance R_2 et le condensateur C.

Le condensateur C va donc se charger lentement à travers R_2 à la tension V_{g2} . Dès que son armature reliée à la grille de V1 est à un potentiel positif correspondant à la tension de déblocage du tube V1 ($V_{g1} = V_K - V_{\text{cut-off}}$), ce dernier se met à conduire et sa tension anodique V_{a1} diminue.

La diminution de V_{a1} provoque une diminution de V_{g2} (grâce aux résistances R_1 et R_{g2}) suffisante pour bloquer le tube V2.

La chute de tension de V_{g2} est également présente aux bornes de R_2 . Le condensateur C peut donc se décharger à travers R_2 et R_{g2} . (Il est à noter que la décharge ne peut pas s'effectuer à travers l'espace grille-cathode de V1 et R_K , car la tension V_K est plus élevée que la tension V_{g1}).

La tension V_{g1} diminuant exponentiellement, le tube V1 conduit de moins en moins et la tension V_K est de moins en moins importante.

Au bout d'un certain temps, la tension grille V_{g1} n'est plus suffisante pour maintenir le tube en conduction et celui-ci se bloque.

En même temps, la tension V_{a1} remonte au potentiel V_0 .

Cette variation positive est transmise par le pont de résistances R_1 et R_{g2} à la grille de V2.

L'augmentation du potentiel de grille et la faible tension de polarisation cathode, font que le tube V2 se débloque très facilement.

Le courant I_{a2} , très important, provoque une chute de tension élevée dans R_K qui maintient le tube V1 à l'interdiction.

Le montage est revenu aux conditions de départ (V2 conduit, V1 bloqué) et un nouveau cycle peut commencer.

Le signal recueilli sur l'anode de V1 présente des déformations, dues au fait que le courant I_{a1} suit les variations de la tension-grille V_{g1} .

Par contre, le signal recueilli sur l'anode de V2 est parfaitement rectangulaire.

La fréquence de l'onde carrée délivrée par un multivibrateur CHARBONNIER est relativement stable et en grande partie déterminée par LA CONSTANTE DE TEMPS DU CIRCUIT $R_2 C$.

De par sa conception, ce montage ne peut fournir que des créneaux parfaitement symétriques (rapport cyclique égal à 1).

Pour transmettre plus facilement les variations de la tension anodique V_{a1} sur la grille de commande de V2, on peut améliorer le montage en branchant un petit condensateur aux bornes de R_1 . Ce condensateur est marqué en pointillé sur la figure 12.

V - MULTIVIBRATEUR MONOSTABLE

Le multivibrateur monostable, parfois appelé FLIP-FLOP ou UNIVIBRATEUR, présente un état stable et un état instable.

Une impulsion de déclenchement fait basculer le montage dans l'état instable. Ensuite LE MONTAGE REVIENT DE LUI-MEME A L'ETAT STABLE.

V - 1 - MULTIVIBRATEUR MONOSTABLE A COUPLAGE CATHODIQUE

Ce montage, représenté figure 13 diffère du multivibrateur astable à couplage cathodique par deux points :

1⁰) La résistance de fuite de grille R_{g2} est connectée entre le grille de commande du tube V2 et la cathode du même tube (et non entre grille et masse).

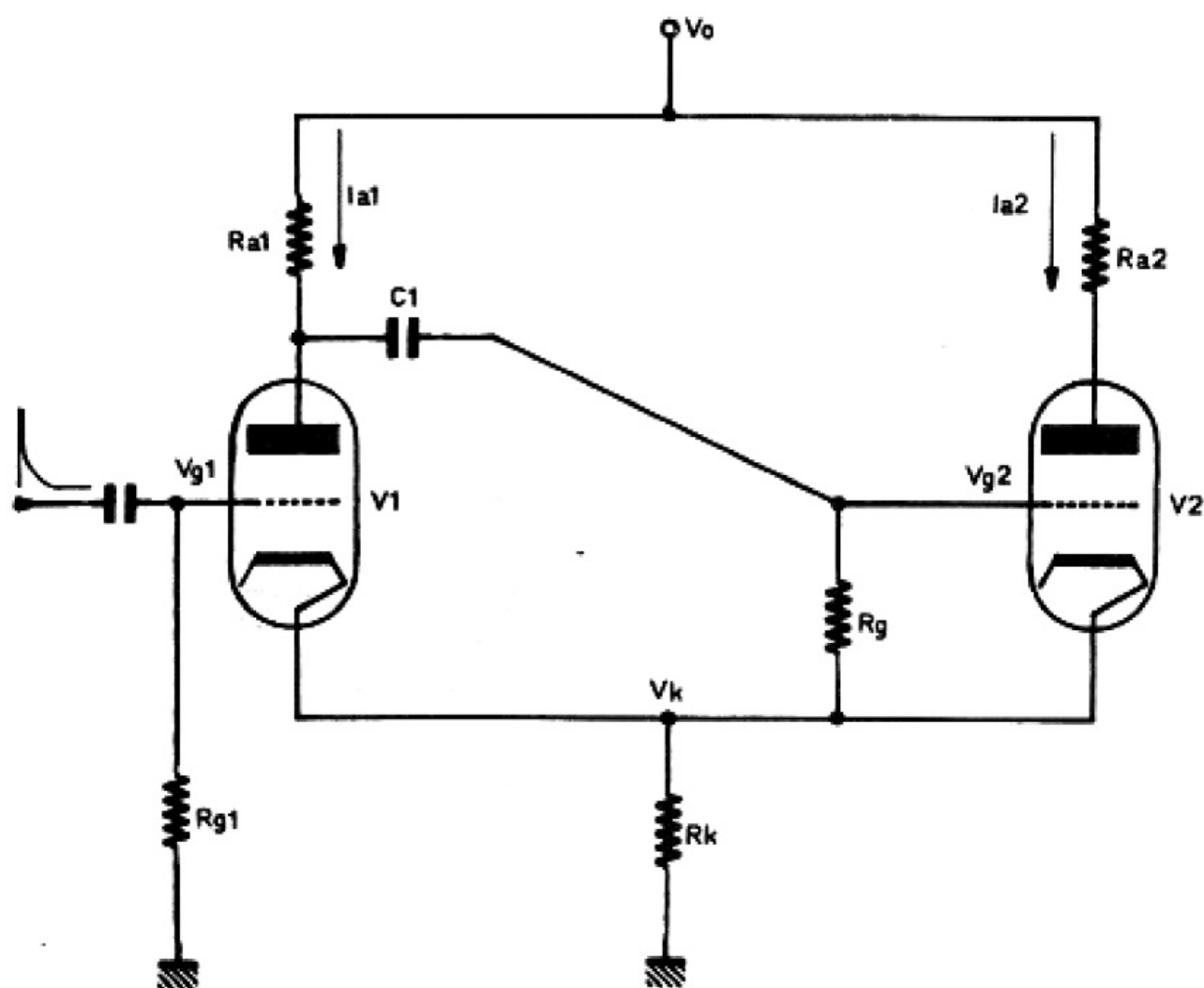


Figure 13

2⁰) La résistance R_{g1} qui détermine le potentiel de repos de la grille de V1, reçoit des impulsions positives de déclenchement.

DEMARRAGE DU SYSTEME

Dès que la haute tension est appliquée, les deux tubes V1 et V2 ont tendance à conduire.

Mais le condensateur C1 se charge à travers R_{a1} , la résistance équivalente à R_{g2} et à l'espace grille cathode de V2 et R_K (voir circuit de charge de C1 sur la figure 14).

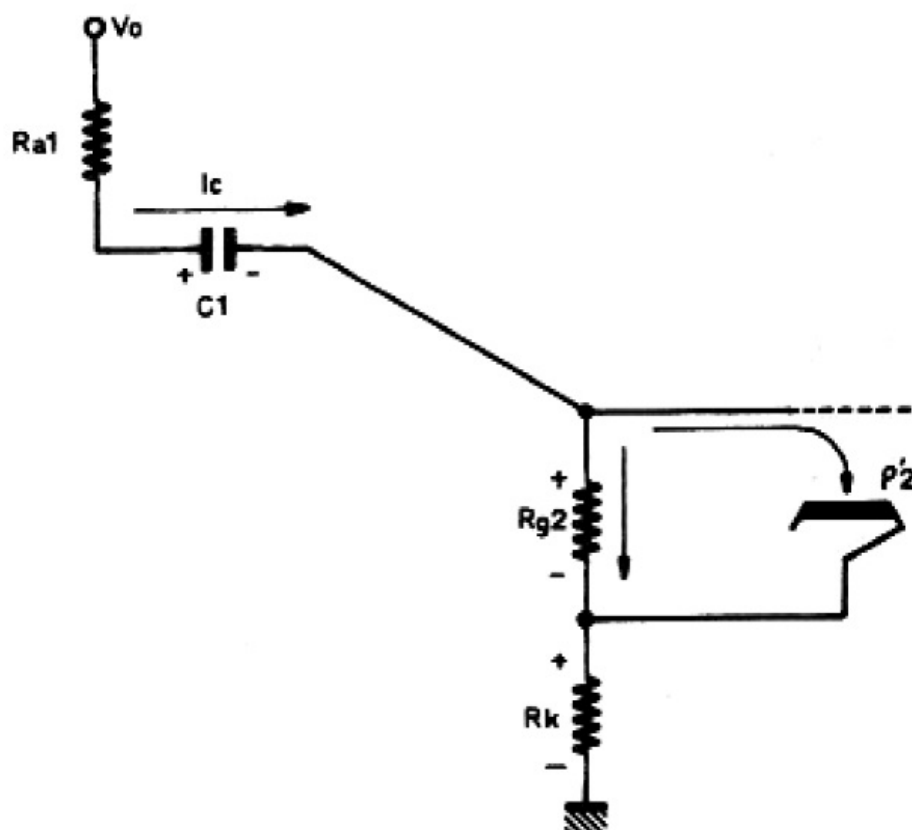


Figure 14

Le courant de charge de ce condensateur crée une tension positive aux bornes de R_{g2} .

La grille de V2 étant positive par rapport à la cathode, le tube V2 conduit au maximum.

Le courant anodique i_{a2} crée dans RK une tension positive telle, qu'elle suffit à maintenir bloqué le tube V1, même lorsque la charge de C1 est terminée.

Dans ce type de montage, nous avons toujours, au départ, V2 conduisant au maximum et V1 bloqué.

FONCTIONNEMENT DU MONTAGE

Les différentes formes d'ondes relevées sur ce montage sont données figure 15.

Au temps t_1 , une impulsion positive parvient sur la grille de commande du tube V1.

Le tube V1 se met à conduire et le courant anodique i_{a1} provoque une chute de tension dans la résistance Ra1.

Cette variation négative est retransmise par le condensateur C1 sur la grille de commande du tube V2.

Celui-ci se bloque et la tension anodique Va2 remonte de la valeur Va2 mini à la valeur V0.

De t_1 à t_2 , le courant i_{a1} provoque une chute de tension dans la résistance RK, mais cette tension n'est pas assez importante pour provoquer le blocage de V1.

V1 conduisant, le condensateur C1 peut se décharger à travers sa résistance interne ρ et la résistance Rg2 (figure 16).

Le courant de décharge i_d provoque aux bornes de la résistance Rg2 une tension négative suffisante pour maintenir le tube V2 bloqué.

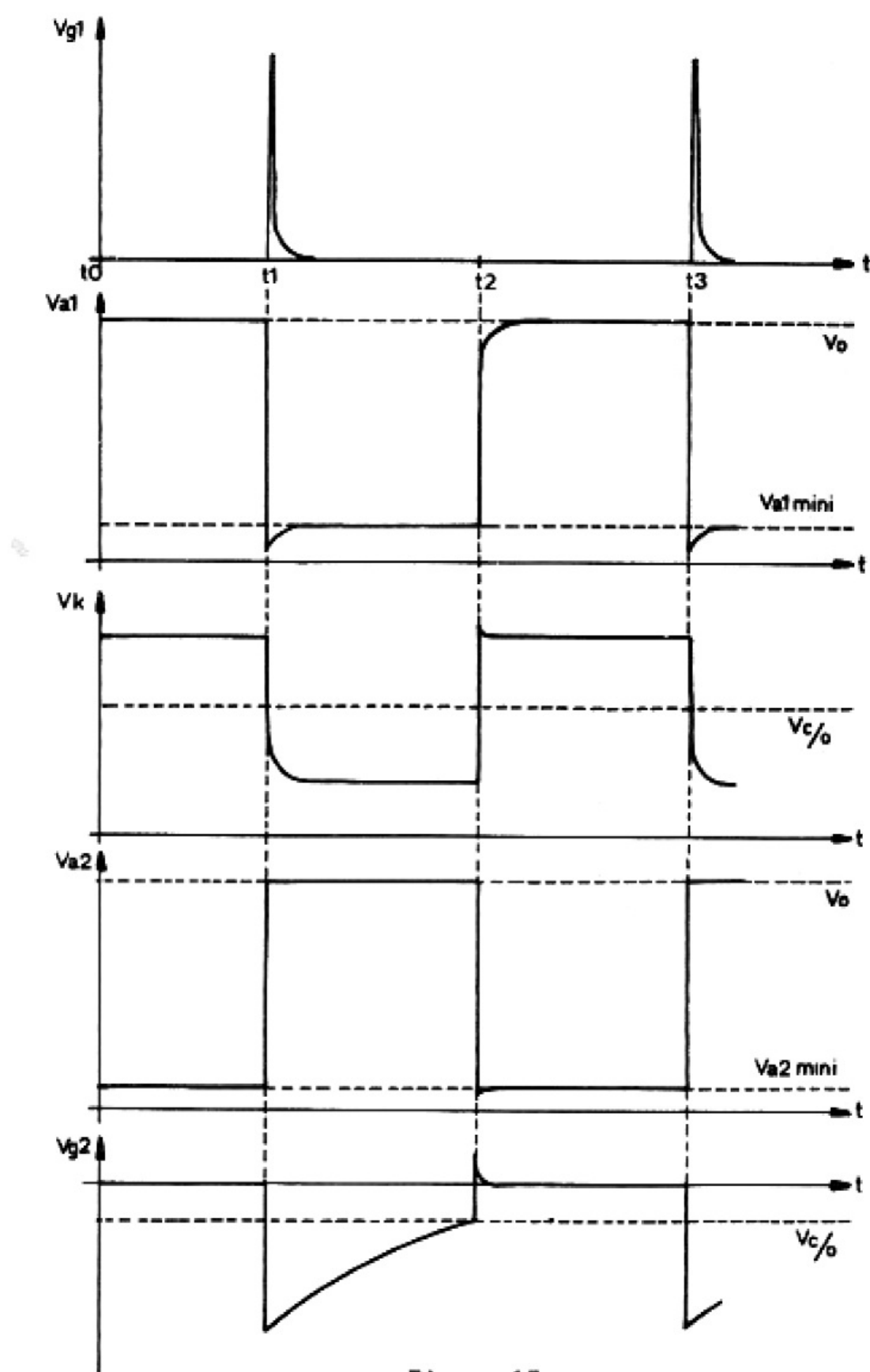


Figure 15

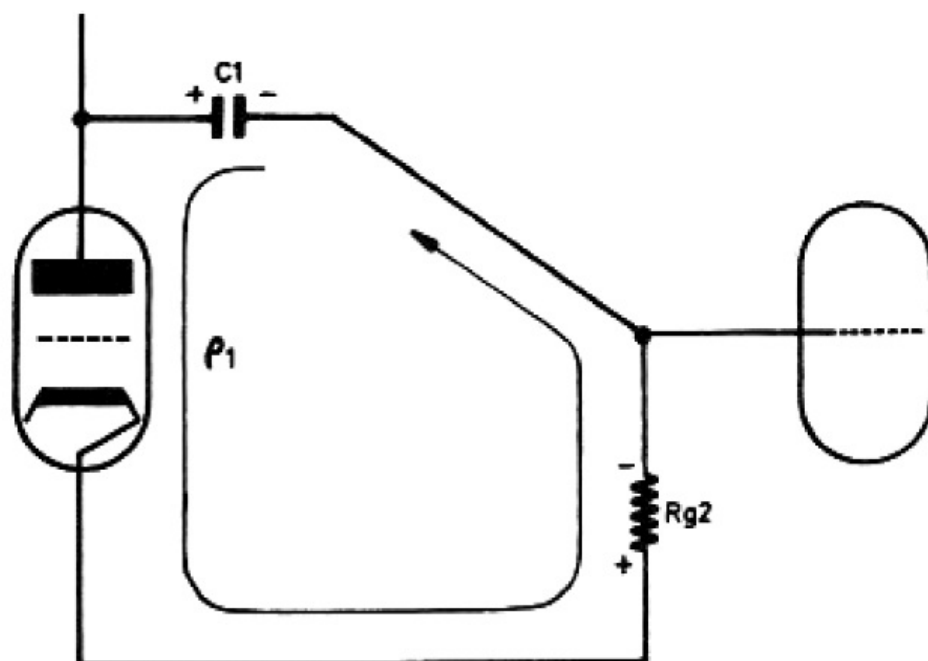


Figure 16

Pendant la décharge, la tension V_{g2} remonte lentement vers le potentiel 0, suivant la constante de temps du circuit de décharge.

A l'instant t_2 , la tension V_{g2} atteint le cut-off du tube V2 et le tube se met à conduire.

Le courant I_{a2} , en traversant RK provoque une tension VK très nettement supérieure à la tension de cut-off du tube V1.

Ce dernier se bloque et sa tension anodique V_{a1} passe de $V_{a1 \text{ mini}}$ à V_0 .

Cette remontée ne se fait pas instantanément, car en même temps, le condensateur C1 se charge à travers R_{a1} , R_{g2} et RK.

Le courant de charge maintient une tension de forme exponentielle aux bornes de la résistance R_{a1} , et provoque un petit pic positif sur la tension grille V_{g2} .

De t_2 à t_3 , le montage reste dans son état stable, c'est-à-dire :

V2 conduisant au maximum ($V_{a2} = V_{a2 \text{ mini}}$)

V1 bloqué par la tension VK ($V_{a1} = V_0$)

C1 chargé à la haute tension.

A l'instant t_3 , une nouvelle impulsion positive sur la grille de V1, vient faire basculer le montage et un nouveau cycle recommence.

V - 2 - AMELIORATION DU MONTAGE

La tension carrée recueillie sur l'anode du tube V1 présente des défauts de forme (remontée exponentielle et pic en-dessous de la valeurs $V_{a1 \text{ mini}}$).

Celle recueillie sur l'anode de V2 est déjà plus acceptable, mais présente également des pics négatifs par rapport à la tension minimum dûs à l'augmentation du courant anodique, lorsque la tension grille V_{g2} devient positive.

Comme dans les montages multivibrateurs, ce défaut peut être atténué en plaçant une résistance stoppeuse entre la résistance R_{g2} et la grille de commande du tube V2.

Cette résistance chute une partie de la tension positive apparaissant sur la grille, et, par conséquent, l'augmentation de courant anodique est moins importante.

La résistance stoppeuse diminue le pic de la tension V_{a2} , mais elle accentue l'arrondi de la tension V_{a1} .

En effet, la résistance est placée en série dans le circuit de charge du condensateur C1. La constante de temps du circuit RC est donc allongée et la remontée exponentielle se fait plus lentement.

Le signal exploité étant dans la plupart des cas celui apparaissant sur l'anode de V2, nous considérons le défaut apporté par la résistance stoppeuse sur le signal d'anode de V1 comme négligeable.

La fréquence du multivibrateur est très stable, car elle est asservie au signal d'entrée.

Seul le rapport cyclique de l'onde carrée peut varier, car la remontée exponentielle de V_{g2} coupe la ligne représentant la tension de cut-off sous un angle trop faible, ce qui entraîne un déblocage de V2 avant ou après le temps normal.

Pour remédier à ce défaut, on relie la résistance de grille R_{g2} à la haute tension (ce mode de branchement a déjà été expliqué au cours de l'étude du multivibrateur ABRAHAM BLOCH).

La figure 17 montre un univibrateur amélioré, doté d'une résistance stoppeuse et dont la résistance de grille R_{g2} est reliée à la haute tension.

V - 3 - COMMANDE DE L'UNIVIBRATEUR

A) PAR IMPULSIONS POSITIVES SUR LA GRILLE DE V1

Ce mode de commande est le plus employé ; c'est celui que nous avons vu au cours des explications concernant le fonctionnement du multivibrateur monostable.

Les impulsions positives provoquent le déblocage du tube V1 et par conséquent le basculement du montage de l'état stable à l'état instable.

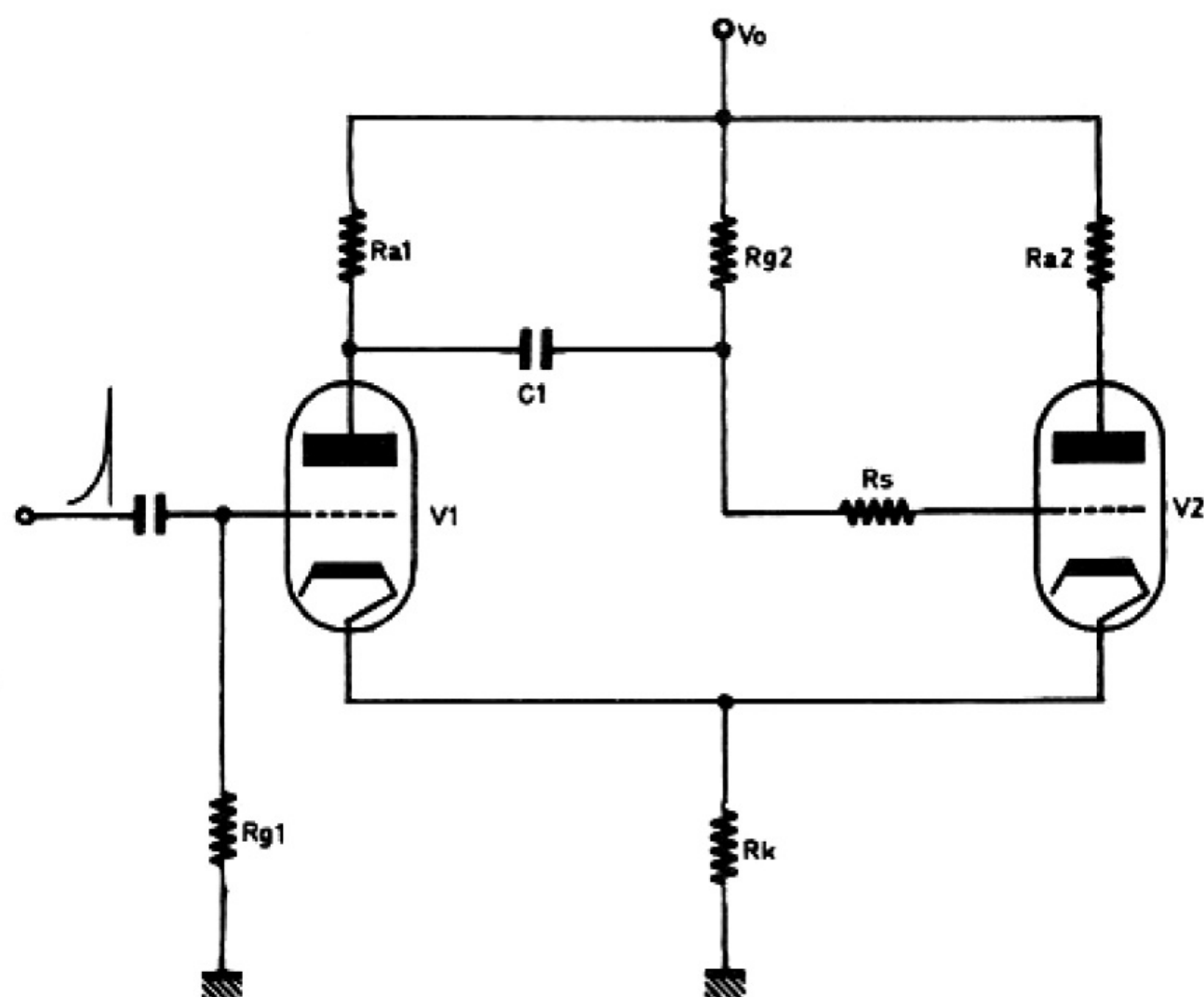


Figure 17

B) PAR IMPULSIONS NEGATIVES SUR LA GRILLE DE V2

Lorsque l'on ne dispose que d'impulsions négatives, celles-ci peuvent être appliquées sur la grille de commande de V2 (figure 18).

Le fonctionnement du montage reste identique à celui que nous venons d'exposer.

L'impulsion négative provoque une diminution du courant i_{a2} , donc de la tension V_K .

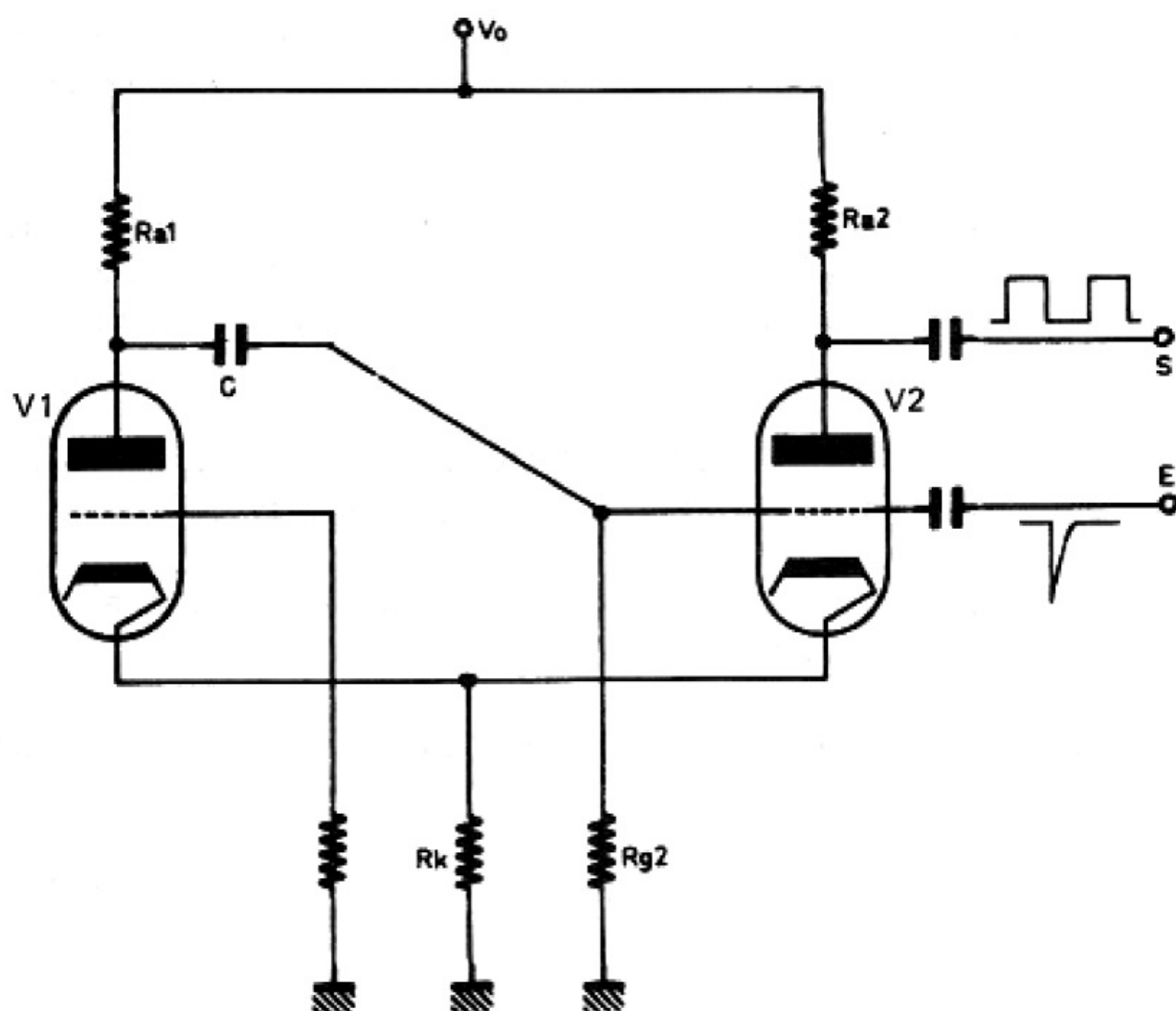


Figure 18

Cette brusque diminution de V_K débloquent le tube $V1$ et autorise la décharge de C qui porte le tube $V2$ à l'interdiction.

C) PAR IMPULSIONS NEGATIVES SUR L'ANODE DE $V1$

Ce mode d'injection nécessite des impulsions d'amplitude très importante.

Le signal négatif appliqué de cette façon fait diminuer V_{a1} . Le condensateur C transmet la variation sur la grille de $V2$ et le tube $V2$ se bloque. La tension V_K diminue et $V1$ se met à conduire.

Le condensateur C peut se décharger à travers $V1$ et $Rg2$ et le courant de décharge maintient le tube $V2$ bloqué, jusqu'à ce que la tension $Vg2$ atteigne la tension de déblocage.

Dans la plupart des cas, le signal appliqué au multivibrateur monostable est composé d'impulsions positives et négatives (ces impulsions sont obtenues en appliquant une tension carrée à un circuit RC différentiateur).

La commande s'effectuant soit avec des pics positifs, soit avec des pics négatifs, il est nécessaire d'éliminer les impulsions inutiles.

Pour cela, on utilise une diode branchée de façon à ne laisser passer que les impulsions ayant la polarité désirée.

La figure 19 montre un univibrateur commandé par les impulsions négatives sur l'anode de $V1$.

La diode D bloque les impulsions positives et laisse passer les impulsions négatives.

VI - MULTIVIBRATEUR BISTABLE

Les montages que nous allons étudier maintenant, ont deux états stables et ils sont essentiellement conçus pour passer d'un état à un autre, lorsqu'on envoie une impulsion de commande sur une entrée déterminée. Ce sont les MULTIVIBRATEURS BISTABLES.

VI - 1 - MULTIVIBRATEUR BISTABLE DU TYPE "ECCLES JORDAN"

Le schéma d'un multivibrateur bistable "ECCLES JORDAN" est donné figure 20.

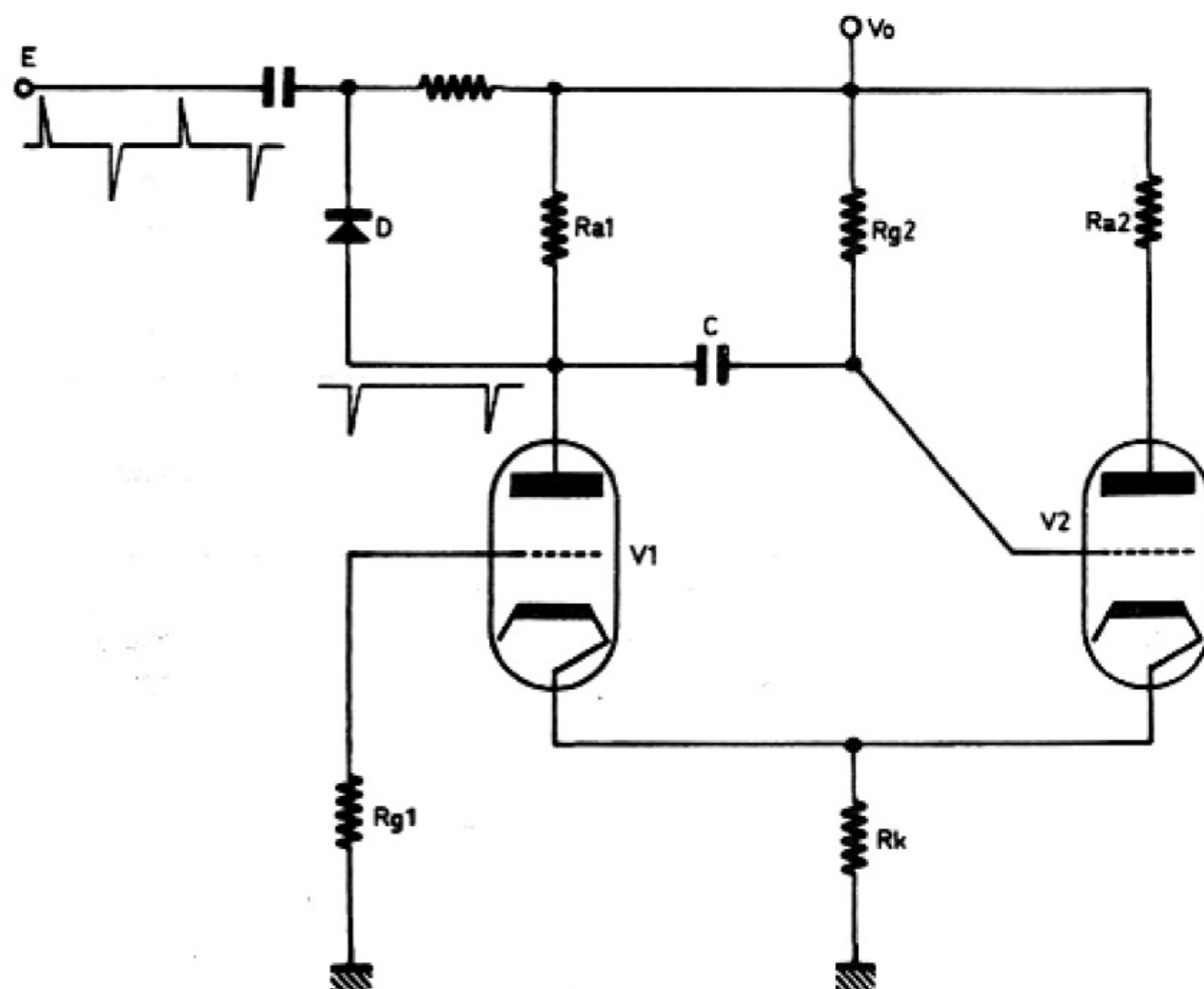


Figure 19

Ce montage se déduit du multivibrateur Abraham Bloch en remplaçant les deux condensateurs de liaison par des résistances.

Le nouveau circuit a maintenant deux liaisons directes. C'est toujours un montage basculant (l'un des tubes est conducteur tandis que l'autre est bloqué), mais du fait des liaisons directes, l'un ou l'autre état se maintient indéfiniment, tant qu'aucune cause extérieure ne le modifie.

La commande est effectuée par des impulsions positives appliquées simultanément, à travers C1 et C2, aux grilles de commande des deux triodes.

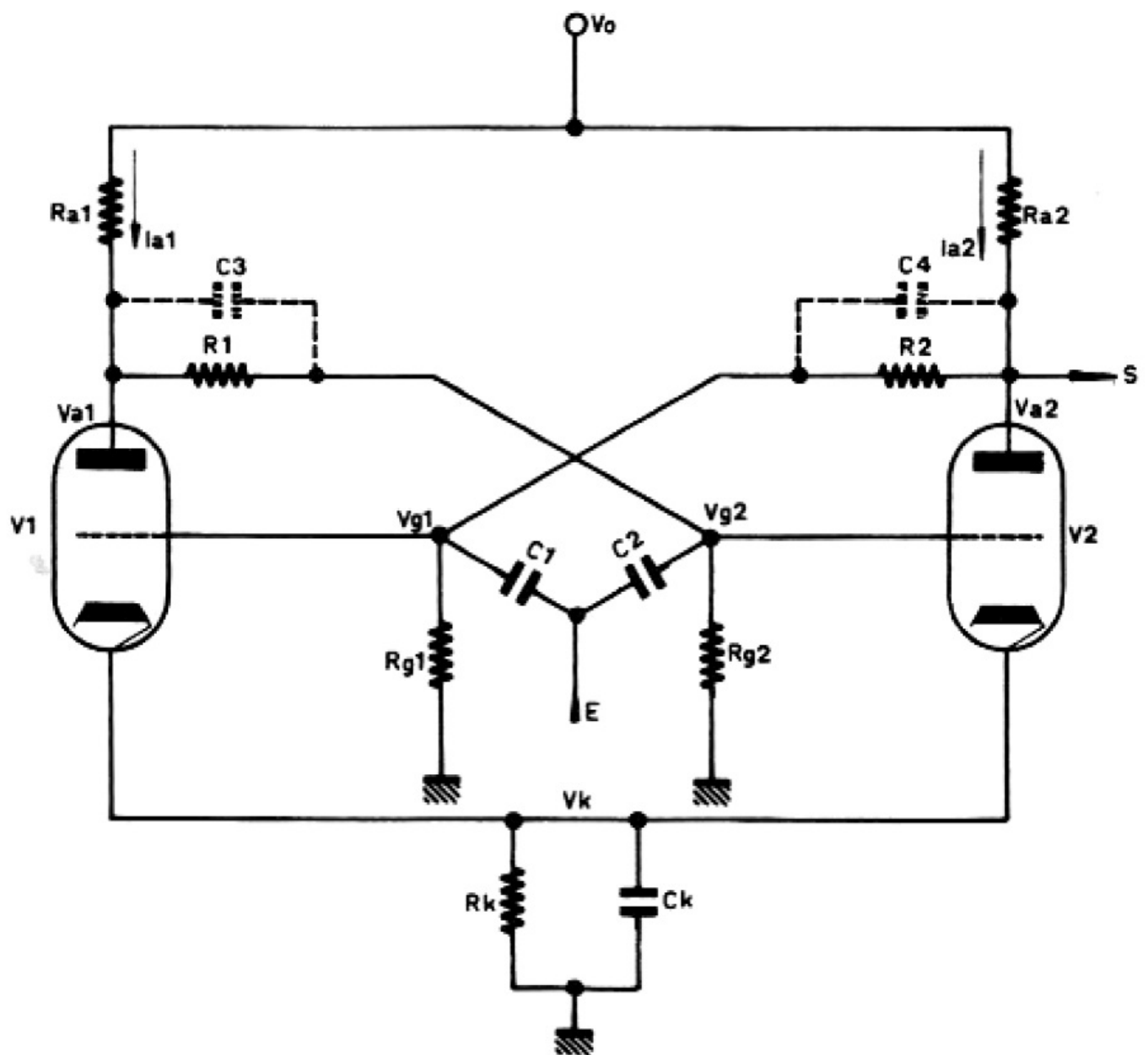


Figure 20

FONCTIONNEMENT DU MONTAGE

Dès que l'on met le montage sous tension, les deux tubes se mettent à conduire.

Malgré la symétrie des circuits, les courants I_{a1} et I_{a2} ne sont pas parfaitement égaux.

Ces deux courants, en traversant R_k , donnent une polarisation de cathode V_k commune aux deux tubes.

Les tensions de polarisation grille des triodes sont données par les courants passant dans les ponts de résistances R_1-R_g et R_2-R_g .

Ces tensions sont positives et dépendent directement des valeurs prises par les tensions anodiques de chaque tube.

La tension grille du tube V_1 est donnée par l'expression :

$$V_{g1} = V_{a2} \times \frac{R_{g1}}{R_2 + R_{g1}}$$

$$\text{Celle du tube } V_2 \text{ est égale à : } V_{a1} \times \frac{R_{g2}}{R_1 + R_{g2}}$$

Nous remarquons immédiatement que pour chaque tube, les tensions de grille et de cathode sont positives.

La tension positive sur la cathode ayant le même effet qu'une tension négative sur la grille, nous pouvons écrire que la tension de polarisation V_{go} est égale à la différence entre V_k et V_g .

Pour le tube V_1 nous obtenons $V_{go1} = V_{g1} - V_k$ et pour le tube V_2 , $V_{go2} = V_{g2} - V_k$.

Pour que les tubes fonctionnent dans des conditions normales (V_{go} négative ou au maximum égale à 0 volt), il faut que les tensions grille V_{g1} et V_{g2} soient moins élevées que la tension de cathode.

Supposons que I_{a1} est plus grand que I_{a2} . Les chutes de tension dans les résistances R_{a1} et R_{a2} , sont inégales et par conséquent V_{a1} est plus faible que V_{a2} .

Comme $R_1 = R_2$ et $R_{g1} = R_{g2}$, les valeurs V_{g1} et V_{g2} ne sont plus égales et nous obtenons V_{g1} plus grand que V_{g2} .

La polarisation du tube V1 ($V_{g1} - V_k$) est plus faible que celle du tube V2 ($V_{g2} - V_k$).

Il en résulte que la triode V1 conduit encore plus que V2.

Très rapidement et grâce à l'effet cumulatif, le tube V1 conduira au maximum et V2 sera bloqué, (polarisation en-dessous de la tension de cut-off).

Sans action extérieure, le système reste inféfiniment dans cet état stable.

Appliquons à l'entrée E, une impulsion positive d'amplitude suffisante pour débloquent V2.

Cette impulsion arrive aussi sur la grille de V1, mais comme ce tube conduit déjà, elle ne provoque aucune réaction importante.

Par contre, l'impulsion débloquent le tube V2. Il en résulte une brusque diminution de la tension anodique V_{a2} et par conséquent, une diminution de V_{g1} .

En même temps, le courant anodique I_{a2} vient s'ajouter dans R_k , au courant anodique de V1, et la tension V_k augmente.

Ces deux effets conjugués font que la tension de polarisation V_{g1} passe en-dessous de la tension de cut-off du tube V1.

En définitive, après l'impulsion de déclenchement, nous obtenons V1 bloqué et V2 conduisant fortement.

Le montage reste dans cet état stable jusqu'à ce qu'une nouvelle impulsion vienne débloquent le tube V1 et provoque un nouveau basculement qui ramène le multivibrateur à la position de départ. La figure 21 montre les différentes formes de tensions que nous pouvons relever sur ce montage.

Nous notons l'apparition de pics sur les tensions anodiques des deux tubes. Ils sont dus aux impulsions positives de commande qui provoquent une surconduction du tube qu'elles débloquent.

Le multivibrateur bistable que nous venons d'étudier est commandé par des impulsions positives.

Il est aussi facile de piloter le montage par des impulsions négatives appliquées sur les grilles de commande de tubes.

La première impulsion, au lieu de débloquent le tube V2, bloque le tube V1. La remontée du potentiel anodique V_{a1} se répercute sur la grille de V2 qui se met à conduire.

Ce mode de commande est très utilisé en pratique, car ces impulsions ne rendent pas la grille positive par rapport à la cathode et par conséquent les petits pics, dus à la surconduction des tubes au moment du déblocage, disparaissent.

Un autre procédé consiste à envoyer les impulsions de commande (positives ou négatives) directement sur les cathodes. Le fonctionnement est le même mais ce montage présente l'avantage de n'utiliser qu'un seul condensateur d'entrée puisque les cathodes sont reliées entre elles.

Les deux condensateurs C3 et C4, de faibles valeurs (50 à 100 pF), montés en parallèle sur R1 et R2, n'introduisent pas de constante de temps propre au circuit.

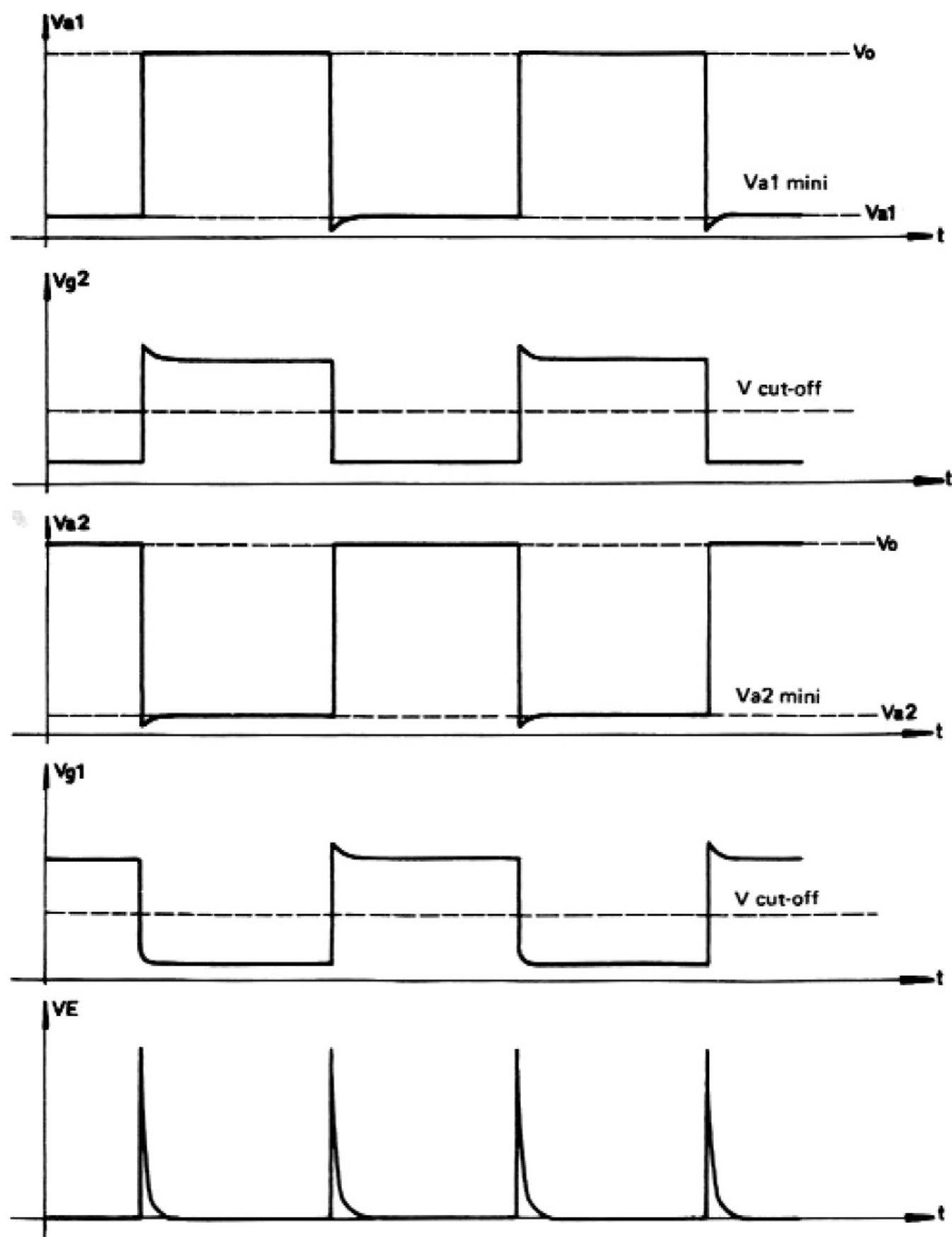


Figure 21

Ils ont pour rôle de transmettre instantanément sur les grilles opposées, les variations de tension anodique et favoriser ainsi les changements d'état du montage.

Le multivibrateur bistable du type "ECCLES JORDAN" commandé par des impulsions négatives, délivre une tension carrée presque parfaite.

La fréquence du signal est constante puisqu'elle dépend uniquement de la fréquence des impulsions de commande et le rapport cyclique est égal à 1.

Si nous voulons obtenir une onde carrée dissymétrique (rapport cyclique différent de 1), nous devons séparer les entrées sur les grilles de commande et injecter deux trains d'impulsions de même fréquence mais présentant un décalage constant dans le temps (figure 22).

VII - BASCULE DE SCHMITT

La bascule de Schmitt transforme des signaux quelconques (dents de scie, sinusoïdes, etc), en tensions rectangulaires. C'est un montage bistable, présentant certaines analogies avec le multivibrateur CHARBONNIER. Le schéma de cette bascule est donné figure 23.

Les cathodes sont couplées par une résistance commune R_k .

Les variations de tension anodique du tube V1 sont transmises à la grille de V2 par le pont de résistances constitué par R_1 et R_{g2} . Le condensateur C1, en parallèle sur R_1 , facilite les basculements en transmettant rapidement les variations de V_{a1} sur la grille de commande de V2.

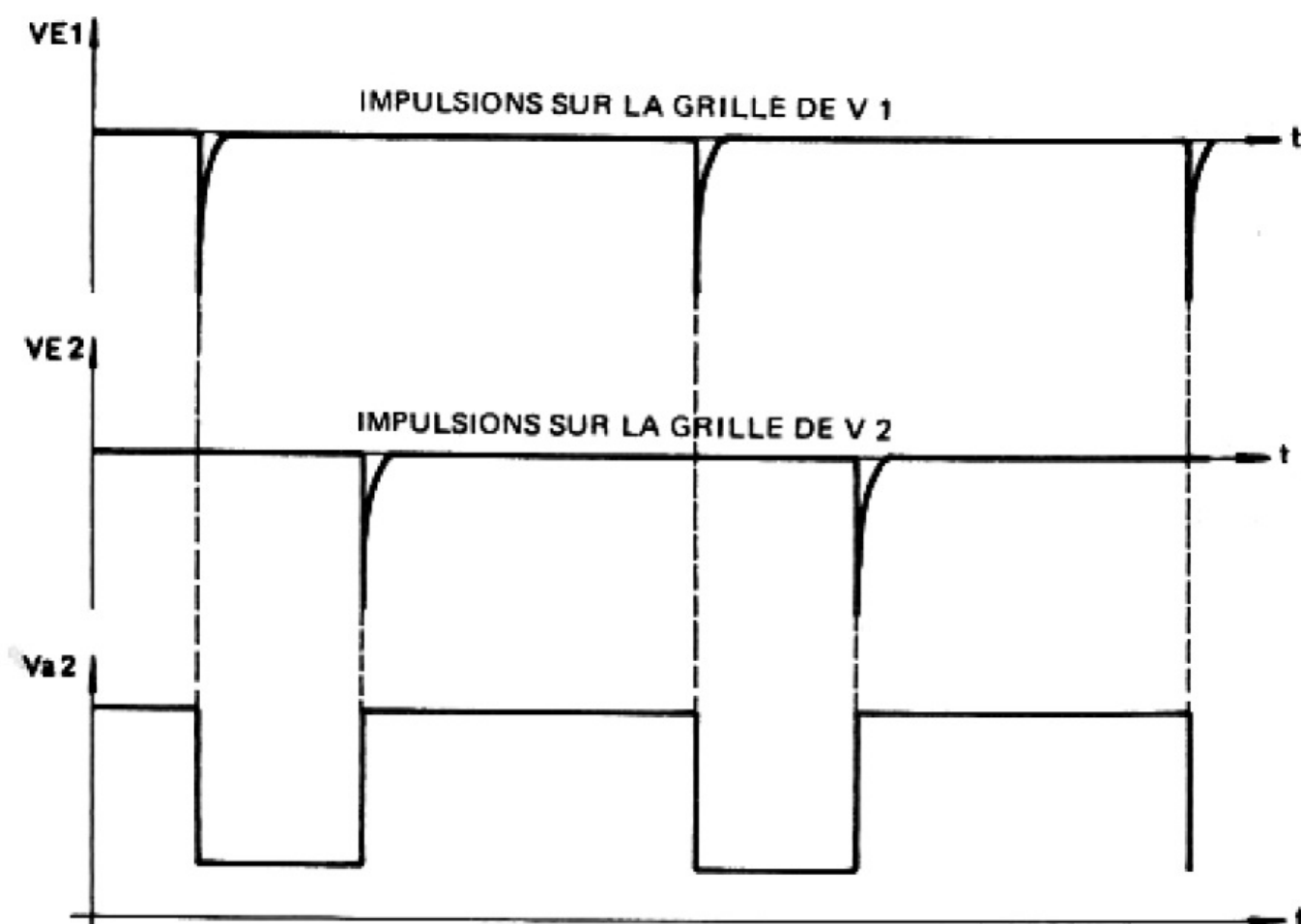


Figure 22

La grille de V1 est polarisée positivement par le pont de résistances formé par R2, R3 et Rg1. Cette tension de polarisation grille est appelée **TENSION DE SEUIL**.

Le potentiomètre R3 permet de régler cette tension à la valeur désirée.

FONCTIONNEMENT DU MONTAGE

Sans signal de commande, le tube V1 est bloqué.

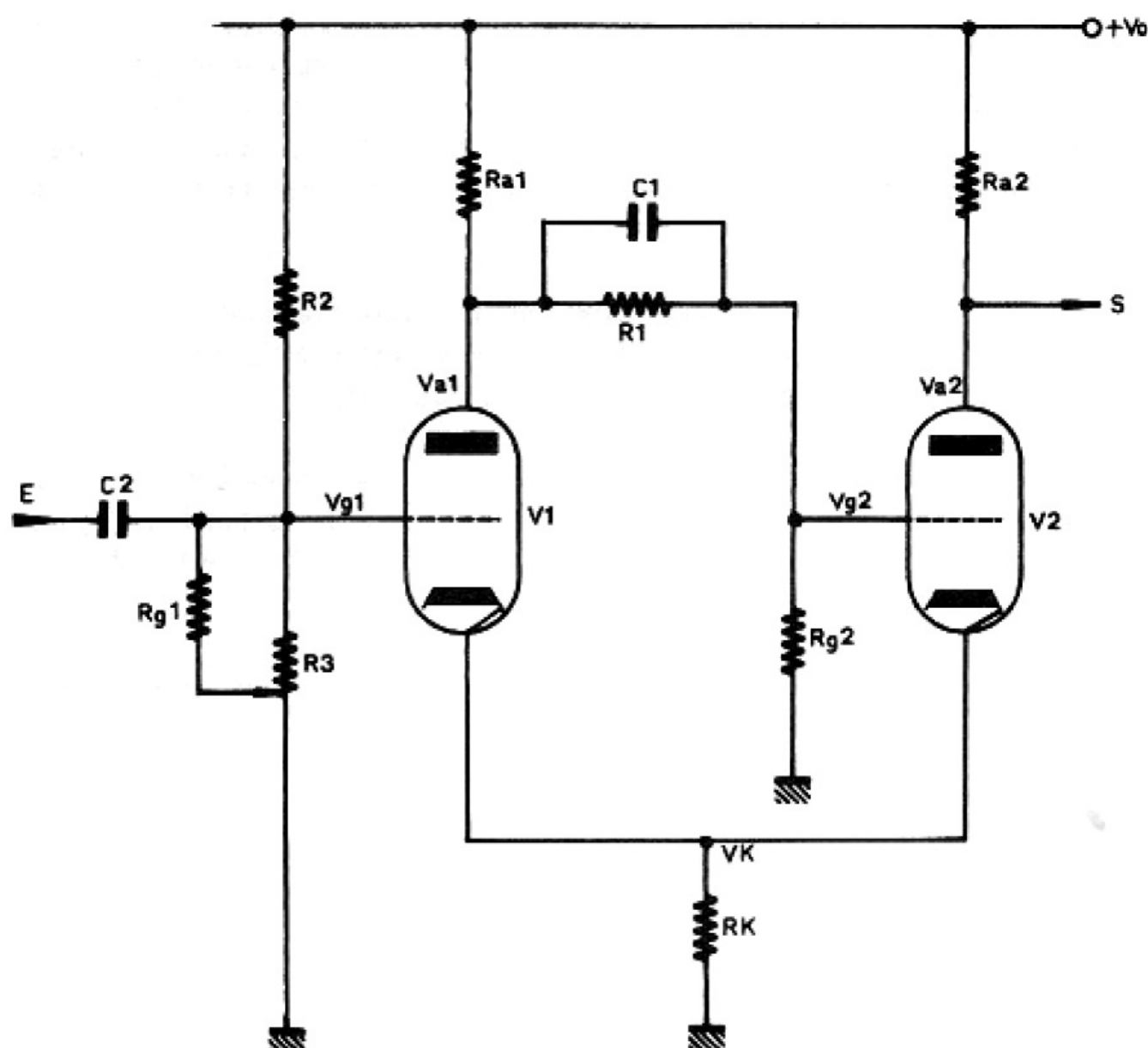


Figure 23

En effet, la tension grille de V2, déterminée par le courant traversant le pont de résistances $R1 - Rg2$, est positive et V2 conduit à la saturation.

Le courant $la2$ produit dans la résistance de cathode Rk , une chute de tension Vk , suffisamment élevée pour bloquer le tube V1 ($V \text{ seuil} - Vk$ en-dessous de la tension de cut-off du tube V1).

Le montage reste dans cet état stable tant qu'aucun signal extérieur n'est injecté à l'entrée. Appliquons un signal de commande sur la grille de commande de V1, par exemple une dent de scie triangulaire semblable à celle de la figure 24. Sur cette figure, sont également reportées toutes les tensions que nous pouvons rencontrer dans le montage.

DE t_0 à t_1 , le montage reste dans le même état stable, puisque la tension instantanée de la grille ($V_{\text{seuil}} + V$ instantanée de la dent de scie), est toujours en-dessous de la tension de cut-off.

A L'INSTANT t_1 , la tension grille de V1 est égale à la tension de déblocage. V1 se met à conduire, la diminution de la tension V_{a1} est retransmise à la grille de V2 par le circuit de liaison (C1 — R1 — Rg2) et V2 se bloque.

La tension V_k diminue et V1 conduit encore plus. Remarquons que le tube V1 ne conduit pas au maximum du fait de sa polarisation. Les tensions V_{a1} et V_k suivent les variations de la tension grille V_{g1} .

ENTRE t_1 et t_2 , la valeur du signal de commande augmente jusqu'à une valeur maximum puis diminue jusqu'à l'instant t_2 où V_{g1} atteint la tension de blocage du tube V1.

Remarquons que les tensions grille du tube V1 correspondant aux tensions de blocage et de déblocage, ne sont pas les mêmes.

Ceci est tout à fait normal puisque la tension de cathode a varié.

Pour le déblocage de V1 elle est égale à $R_k \times I_{a2}$ et pour le blocage, à $R_k \times I_{a1}$.

A L'INSTANT t_2 , la tension instantanée de la grille de V1 atteint la valeur correspondant au blocage du tube.

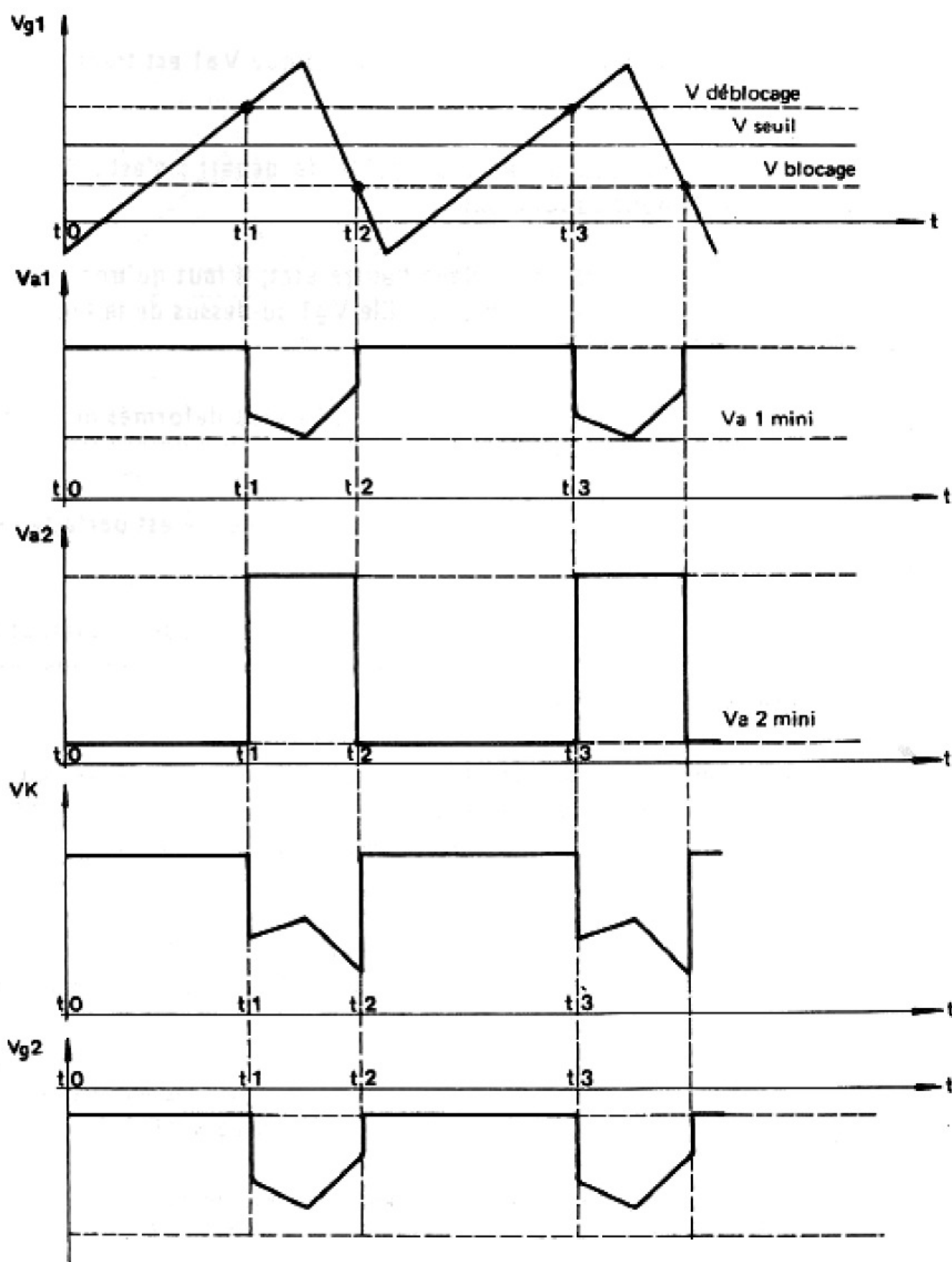


Figure 24

La brusque remontée de la tension anodique V_{a1} est transmise à la grille de V_2 .

Nous sommes revenus à l'état stable de départ ; c'est-à-dire : V_1 bloqué et V_2 fortement conducteur.

Pour basculer le montage dans l'autre état, il faut qu'une nouvelle dent de scie fasse remonter la tension grille V_{g1} au-dessus de la tension de déblocage de V_1 (instant t_3).

Les créneaux recueillis sur l'anode de V_1 sont déformés puisque ce tube ne conduit pas à la saturation.

Par contre, l'onde apparaissant sur l'anode de V_2 est parfaitement rectangulaire.

La précision du temps de conduction de V_1 dépend surtout du signal appliqué qui doit être de fréquence et d'amplitude rigoureusement fixes. La précision dépend aussi du front de montée du signal.

Le réglage de la tension de seuil permet de modifier le rapport cyclique de l'onde carrée. Sur la figure 25 sont représentées deux dents de scie de commande identiques, centrées autour de deux tensions de seuil différentes.

Les tensions de blocage et de déblocage restant les mêmes, nous constatons que le tube V_1 conduira plus longtemps dans le premier cas (figure 5-a) que dans le second (figure 25-b).

Dans la prochaine leçon nous reviendrons sur les amplificateurs, car jusqu'à maintenant nous n'avons vu que les montages BF.

Nous devons donc étudier une autre catégorie de circuits : LES AMPLIFICATEUR HF, avant de passer aux OSCILLATEURS HF.

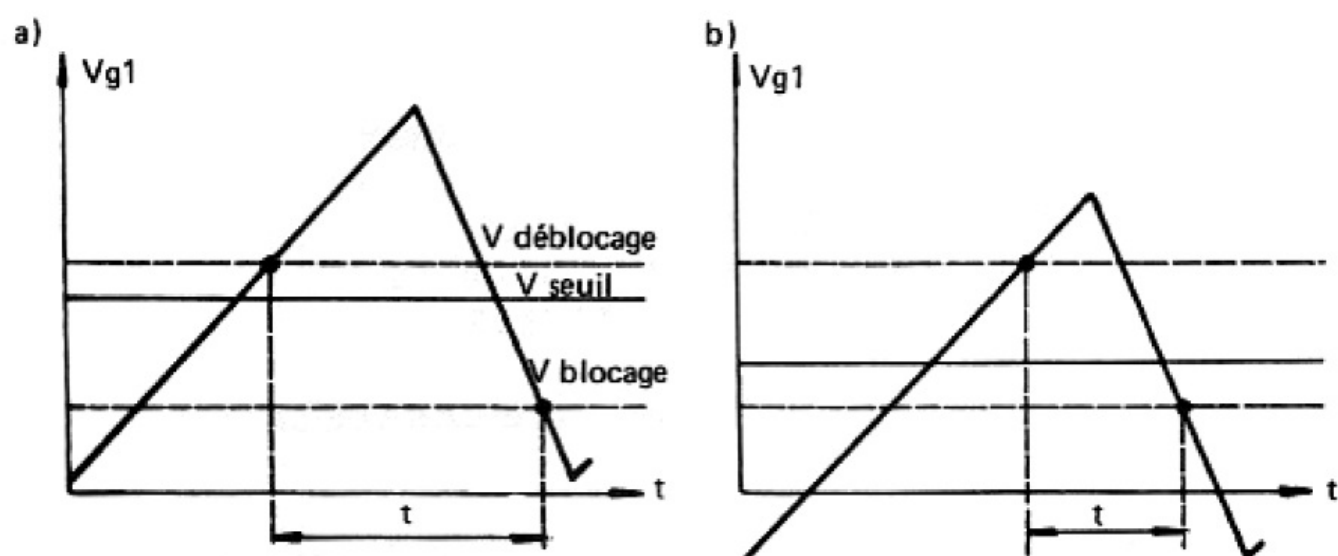


Figure 25

NOTIONS A RETENIR

- Il existe trois catégories de MULTIVIBRATEURS :

- a) Les MULTIVIBRATEURS ASTABLES
- b) Les MULTIVIBRATEURS MONOSTABLES
- c) Les MULTIVIBRATEURS BISTABLES

Les premiers ENGENDRENT UNE ONDE CARREE SANS AUCUN SIGNAL DE COMMANDE.

Les seconds délivrent une IMPULSION CARREE, après application d'une IMPULSION DE COMMANDE.

Les derniers produisent UNE VARIATION BRUSQUE DE TENSION, c'est-à-dire passent d'un état à un autre (V1 conducteur et V2 bloqué ou inversement) APRES APPLICATION D'UN SIGNAL DE COMMANDE.

- La fréquence de fonctionnement d'un multivibrateur ASTABLE (appelée FREQUENCE DE RECURRENCE) dépend des constantes de temps des circuits RC du montage.

Il en résulte que le fait d'augmenter par exemple la valeur des condensateurs entraîne une diminution de la fréquence de récurrence.

- Les MULTIVIBRATEURS ASTABLES peuvent très facilement être asservis en fréquence. Il suffit pour cela d'appliquer un signal de commande, provoquant un basculement prématuré du montage.

EXEMPLE D'APPLICATION : en télévision ou le balayage de l'écran du récepteur doit être synchronisé avec celui de la caméra de prise de vue, on utilise un multivibrateur astable, asservi en fréquence par des impulsions provenant de l'émetteur. Ainsi la fréquence de balayage

des récepteurs Télévision est toujours **RIGOREUSEMENT IDENTIQUE** à la fréquence de balayage de la caméra de prise de vue.

Les **MULTIVIBRATEURS MONOSTABLES** et **BISTABLES** sont principalement utilisés en Télévision Couleurs et en Electronique Industrielle.

EXEMPLE D'APPLICATION :

1) en télévision couleurs un **MULTIVIBRATEUR BISTABLE**, en fonction d'impulsion de commande provenant de l'émetteur, bloque ou débloque les circuits de **DECODAGE COULEURS** selon la nature de l'émission (émission **NOIR** et **BLANC** ou émission couleurs).

2) En électronique industrielle, un multivibrateur **MONOSTABLE** peut servir à la commande d'un compteur électronique. En présence d'une impulsion de commande, le montage bascule et de ce fait produit une impulsion actionnant le compteur. Après basculement le **MONOSTABLE** revient à son état d'origine et se trouve de nouveau en état d'actionner le compteur.

La **BASCULE DE SCHMITT** est un montage **BISTABLE**, capable de transformer en tensions rectangulaires des signaux de formes quelconques (dent de scie - sinusoïdes etc...).

A noter que ce terme de **BASCULE** remplace souvent l'appellation de **MULTIVIBRATEUR** pour les montages **BISTABLES** ET **MONOSTABLES**.

D'autre part le montage **MONOSTABLE** est également appelé **FLIP-FLOP** ou **UNIVIBRATEUR**.



EXERCICES DE REVISION SUR LA LECON THEORIE 23

- 1) Par quoi est caractérisée une onde carrée ?
- 2) Quel est le rôle des condensateurs de liaison dans un multivibrateur astable ABRAHAM BLOCH ?
- 3) Quelle est la particularité de l'onde carrée délivrée par un multivibrateur CHARBONNIER ?
- 4) Comment améliore-t-on la stabilité en fréquence d'un multivibrateur ABRAHAM BLOCH ?
- 5) Quels sont les deux états d'un UNIVIBRATEUR ?
- 6) Citez les trois modes d'injection des impulsions de commande, pour un multivibrateur MONOSTABLE à tubes ?
- 7) Combien faut-il d'impulsions de commande pour qu'un multivibrateur BISTABLE, délivre une onde carrée complète (une période) ?
- 8) Quel est le rôle d'une bascule de SCHMITT ?
- 9) Dans une bascule de SCHMITT, les deux tubes conduisent-ils de la même façon ?
- 10) Comment modifie-t-on le rapport cyclique de l'onde carrée délivrée par une bascule de SCHMITT ?



REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA THEORIE 22

- 1) Entre les oscillations entretenues et les oscillations amorties, il y a la différence suivante : les premières ont constamment la même amplitude, tandis que les secondes ont une amplitude qui diminue graduellement jusqu'à leur disparition.
- 2) On peut représenter les pertes des circuits accordés au moyen d'une résistance en série ou en parallèle.
- 3) On étudie les circuits résonnants du type en série et du type en parallèle.
- 4) Le phénomène de résonance consiste dans le fait que, si la fréquence du générateur est égale à celle du circuit accordé, les oscillations prennent une amplitude très grande par rapport aux oscillations qui se produisent pour toutes les autres fréquences.
- 5) Pour les fréquences supérieures à la fréquence de résonance, un circuit accordé en série se comporte comme s'il était constitué par un bobinage en série avec une résistance.
- 6) Entre le facteur de qualité et la passe-bande d'un circuit accordé, il y a la relation suivante : le produit de ces deux grandeurs est égal à la fréquence de résonance du circuit.
- 7) Le facteur de qualité ou coefficient de surtension d'un circuit accordé série se calcule en divisant la valeur prise par la réactance du bobinage pour la fréquence de résonance par la valeur de la résistance qui représente les pertes.

- 8) Entre les résistance R_p et R_s qui représentent les pertes des circuits accordés en parallèle il y a la relation suivante : la valeur de la résistance R_p est égale à la valeur de la résistance R_s multipliée par le carré du facteur de qualité.
- 9) Le gain de tension d'un amplificateur HF se calcule en multipliant la pente de la pentode, par la valeur de la résistance R_p qui constitue la résistance dynamique.

