Collection

COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE

Laboratoires du Fort de Châtillon

Fontenay-aux-Roses

Rapport C. E. A.

N° 1

19 4 8

Service Documentation

Rapport C.E.A. N° I.

Copie N° 12

Date : Juillet 1948.

Auteur : J. AILLOUD.

Titre : DEMULTIPLICATEURS ELECTRONIQUES (I).

DEMULTIPLICATEURS ELECTRONIQUES (I)

par Jean AILLOUD.

INTRODUCTION

Il arrive très souvent que l'on ait à effectuer des comptages d'évènements formant des suites périodiques ou répartis au hasard. Par l'utilisation directe des systèmes numérateurs mécaniques les plus rapides, on est limité à repérer deux ou trois cents évènements par seconde. S'il s'agit d'une suite répartie statistiquement, ce nombre est bien plus faible. Pour préciser ces données, supposons un numérateur mécanique qui fonctionne sans pertes de comptage jusqu'à un maximum de m évènements par seconde; m est appelé la vitesse maximum de comptage et $\tau = \frac{1}{m}$ le pouvoir de résolution du numérateur considéré. Pour des cadences de plus en plus rapides par rapport à m on constate des écarts de plus en plus importants avec les indications correspondantes du système mécanique.

Ceci est dû au fait que tous les évènements survenant pendant le temps τ qui suit le dernier enregistrement ne peuvent être comptés. On pourrait aussi appeler τ le temps mort du système mécanique. Il est dû aux phénomènes d'inertie, de vibrations et de résonances parasites des pièces constituant le numérateur.

Avec une suite distribuée statistiquement dans le temps il n'y a plus un nombre déterminé d'évènements par seconde et les

intervalles entre deux évènements consécutifs peuvent avoir toutes sortes de valeurs.

En particulier pendant l'intervalle de temps τ qui suit un évènement qui vient d'être compté, il peut survenir un ou plusieurs autres évènements qui ne le seront pas. Dans ces conditions le comptage s'effectue avec un certain pourcentage de pertes.

Le pourcentage de pertes est fonction de τ qui caractérise le numérateur. Il dépend aussi de la suite statistique. On peut caractériser celle-ci par le nombre moyen d'évènements par seconde $\mu = \frac{M}{T}$ pris avec un grand nombre M d'évènements survenus dans le temps T.

La courbe n = 1 (Fig. I) donne alors le pourcentage des pertes dans ces conditions en fonction du produit $\mu\tau$. (Les calculs qui ont précédé l'établissement de cette courbe et de celles qui l'accompagnent dont la signification est donnée plus loin sont développés dans l'article de ALAOGLU L. et SMITH J.N.M. Statistical Theory of a Scaling Circuit -Phys.Rev.USA 1938 -53.832-836).

Imposons nous par exemple de ne pas perdre plus de 10% des évènements dans un comptage statistique en utilisant pour cela un numérateur capable de fonctionner en régime périodique à une cadence de $m = 200$ par seconde, c'est-à-dire dont le pouvoir de résolution est $\tau = \frac{1}{200}$ seconde, la courbe 1 de la figure I donne : $\mu\tau \neq 0,08$ et le nombre moyen d'évènements à enregistrer ne doit pas être supérieur à $\mu = 0,08 \times 200 \neq 16$ par seconde.

Les possibilités d'un tel système mécanique sont donc mal utilisées dans ces conditions.

De plus il est délicat, il exige des mises au point minutieuses ; il comporte aussi des pièces légères animées de mouvements rapides de va-et-vient : celles-ci sont alors sujettes à des détériorations progressives et le numérateur perd peu à peu ses qualités au cours d'un fonctionnement prolongé.

On emploie alors un numérateur électronique dont le pouvoir de résolution τ n'est limité que par les constantes de temps des circuits utilisés. De tels systèmes peuvent fonctionner couramment à des cadences de 100.000 à 200.000 évènements par seconde en régime périodique et certains jusqu'à 500.000 ; dans la plupart des cas où ils sont utilisés pour des comptages statistiques on peut admettre qu'ils fonctionnent sans pertes.

Tous les systèmes numérateurs possèdent une certaine " capacité " d'enregistrement ce qui signifie que les indications comportent un nombre maximum (n-1) d'évènements déjà comptés et que le nième fait revenir le système à zéro. Généralement pour les numérateurs mécaniques n est un grand nombre (1.000.000 ou plus). Ceci s'obtient facilement par des trains d'engrenages convenables. Il n'en est pas de même pour les systèmes électroniques pour lesquels une grande capacité d'enregistrement va de pair avec une forte complexité de circuits.

On emploie donc couramment des systèmes mixtes comportant : une partie électronique à fonctionnement rapide mais à capacité d'enregistrement limitée telle que n = 2,8, IO jusqu'à IOO et plus rarement 1000, et une partie mécanique actionnée par la précédente chaque fois que cette capacité d'enregistrement est atteinte , c'est-à-dire au nième évènement compté.

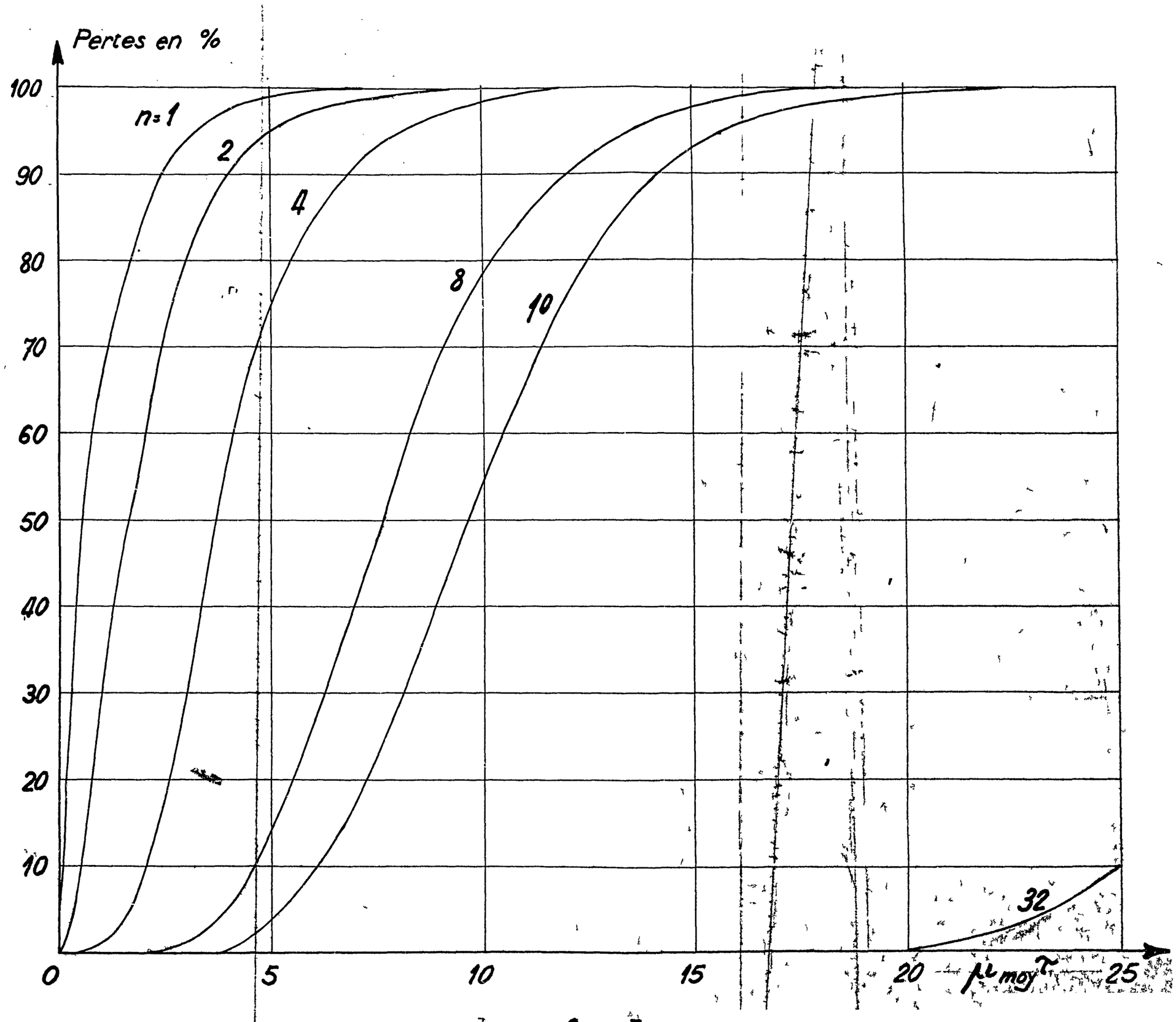

Pertes en %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
5
10
15
20
25
n=1
2
4
8
10
32
μ moy τ

fig. I

La partie électronique agit ainsi en démultiplicateur : dans un comptage de n évènements un seul se trouve agir indirectement sur le système mécanique; d'autre part, s'il s'agit d'un comptage statistique la suite démultipliée appliquée à la partie mécanique n'est plus distribuée complètement au hasard : les écarts sur le temps moyen séparant deux nièmes évènements consécutifs sont d'autant plus faibles que n est plus grand.

Les courbes de la figure I donnent alors le pourcentage des pertes dans ces conditions en fonction du produit $\mu\tau$ et pour différentes valeurs de n.

Reprenons notre premier exemple en faisant précéder le même système mécanique d'un démultiplicateur. Cherchons en fonction de n les nombres moyens maxima d'évènements à compter par seconde pour ne pas avoir plus de IO% de pertes, on trouve :

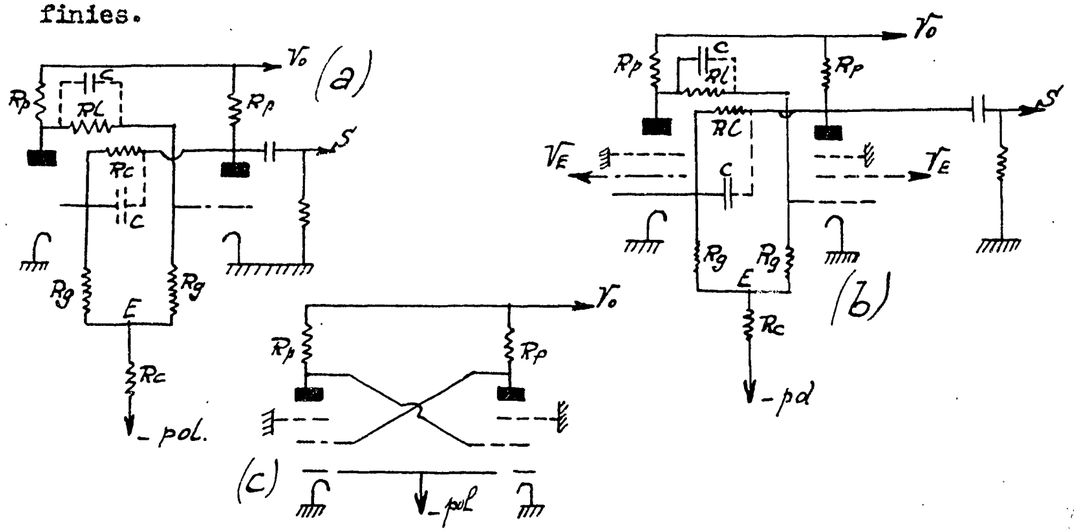
Pour n =	2	4	8	IO	32
μ =	IOO	400	900	I200	5000
μ/n =	50	IOO	II2	I20	I60

Jusqu'à n = 4, la cadence moyenne μ des évènements à compter croît bien plus rapidement que n; ceci est dû comme on l'a vu précédemment à ce que les évènements appliqués au système mécanique ne sont plus répartis complètement au hasard, mais d'une façon plus régulière. Le nombre μ/n met cet effet en évidence; à partir de n = IO et au delà, la suite appliquée au numérateur mécanique se rapprochant de plus en plus d'une suite périodique, μ croît de plus en plus proportionnellement à n suivant la loi $\mu = m.n$.

Les applications possibles des démultiplicateurs électroniques associés ou non aux systèmes totalisateurs mécaniques sont nombreuses. Les évènements à compter peuvent être de nature très différente : vibrations mécaniques, éclairs lumineux, particules ionisantes etc... Ils doivent être transformés en perturbations électriques de formes bien définie pour être appliqués aux circuits démultiplicateurs proprement dits, ainsi ces derniers sont-ils précédés de circuits d'entrée appropriés suivant l'usage auquel on les destine.

CIRCUITS ELEMENTAIRES DES DEMULTIPLICATEURS ELECTRONIQUES

Presque tous les montages de démultiplicateurs électroniques utilisés actuellement ont pour base les systèmes symétriques de deux tubes (Fig.II); ils utilisent soit des triodes, soit des pentodes. Ils possèdent deux états d'équilibre stable et peuvent être considérés comme des multivibrateurs ayant des périodes infinies.



Les circuits (a) et (b) ne diffèrent que par les tubes utilisés : triodes dans le premier cas, pentodes dans le second et sont généralement appelés circuits d'ECCLES-JORDAN; Eux seuls fe-

ront plus ou moins en détails l'objet de cet exposé.En ce qui concerne le circuit (c) ou de REGENER nous renvoyons pour son étude détaillée et ses applications,aux articles de V.H. REGENER ,Review of Scientific Instrument , Vol.17, N°5, pages 185-89, Mai 46.

Le principe de fonctionnement de ces trois types de circuits repose sur la symétrie évidente du montage et sur l'interconnection croisée des deux tubes électroniques: le fait pour l'un des deux tubes de débiter du courant plaque entraîne une chute de potentiel dans la résistance R_p de cette électrode d'où un potentiel de grille du tube opposé dans le cas de (a) et (b)ou de son écran dans le cas de (c) tel que ce tube soit bloqué et ne débite aucun courant.Par contre, le potentiel plaque du tube bloqué assure une tension suffisante de l'électrode de commande du tube opposé pour lui permettre de débiter.Ainsi sur les deux tubes associés il y en a toujours un qui débite,appelé " ouvert " et l'autre bloqué ou " fermé "; chaque tube peut, à tour de rôle, être dans l'un ou l'autre état.

Dans le cas de (a) ou (b) le passage du système d'un état à l'autre peut être provoqué en appliquant au point E des impulsions positives ou négatives.L'amplitude nécessaire pour provoquer ce " basculage " peut être rendue beaucoup plus grande dans le cas d'un choc positif en déterminant les éléments du montage de façon que le potentiel grille du tube bloqué soit très au delà du " cut-off", c'est ce qui ressort immédiatement des diagrammes suivants (Fig.III).

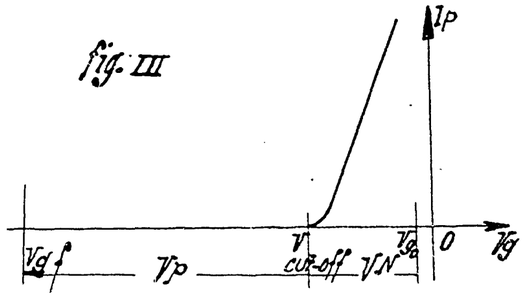


fig. III

Caractéristiques des tubes utilisés :

$I_p = f(V_g)$

V_{go} tension grille du tube qui débite ou " ouvert "

V_{gf} tension grille du tube bloqué ou " fermé ".

L'amplitude V_p positive nécessaire pour amorcer l'ouverture du tube fermé et provoquer le " basculage " du système est beaucoup plus grande que l'amplitude V_N négative pour bloquer le tube ouvert et provoquer le changement d'état d'équilibre.

Appliquons alors au point E des impulsions négatives d'amplitude V_N à front d'attaque assez raide : $\tau = \frac{9}{5}$ par exemple et examinons le mécanisme de leur action.

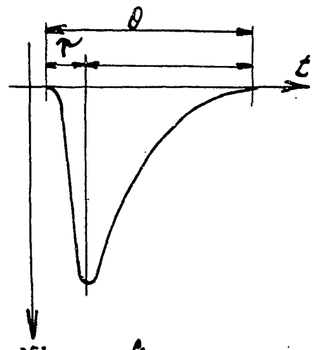
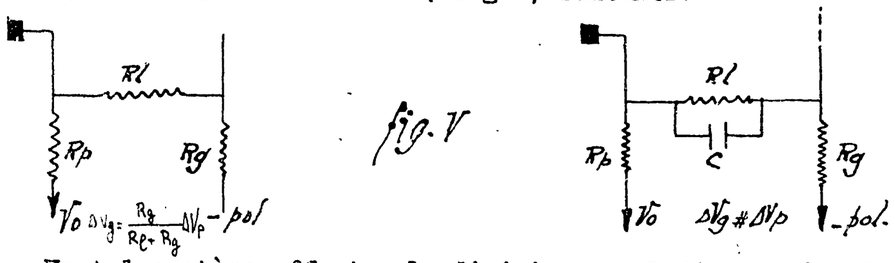


fig IV

Le tube qui était " ouvert" est alors bloqué, son potentiel plaque croît rapidement suivant une loi qui dépend de l'impulsion initiale et de la constante de temps du circuit.Par l'intermédiaire de R_ℓ et C il entraîne la montée de la tension grille du tube opposé malgré le choc négatif initial qui lui est aussi appliqué.

Ce potentiel grille croît au dessus du " cut-off" le tube se débloque à son tour et le système passe au second état d'équilibre. Le rôle de la capacité C est justement d'assurer dans de meilleures conditions la croissance de la tension grille au dessus du " cut-off".En effet en parallèle sur R_ℓ, elle sert de court-cir-

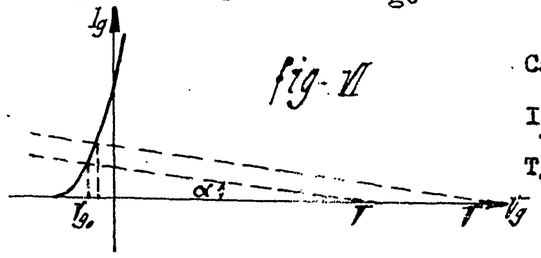
cuit pour les fréquences élevées contenues dans le spectre du front raide du choc positif de plaque et assure une croissance plus rapide ét plus forte du potentiel grille comme le montrent immédiatement les deux schémas (Fig.V) suivants.



Un tel système effectue la division par 2 d'une suite d'impulsions négatives d'amplitude convenables appliquées en E , en restituant en S des chocs alternativement négatifs et positifs d'amplitude identique.

Pour avoir un fonctionnement correct du système tout en gardant une certaine liberté vis-à-vis des tensions d'alimentation et des valeurs des résistances constituant le montage on prend souvent V_{gf} très au delà du point du " cut-off" et $V_{go} \# 0$.

En effet déterminons les chaines potentiométriques reliant les plaques aux grilles opposées et au -pol de façon que dans le cas de la lampe ouverte et si le courant grille I_g n'existait pas, cette électrode soit à la tension positive +V. Par ce courant I_g, V_{go} sera ramené automatiquement vers zéro et le diagramme suivant, montre que même si V_o et -pol donc aussi V subissent des changements importants, V_{go} ne variera sensiblement pas.



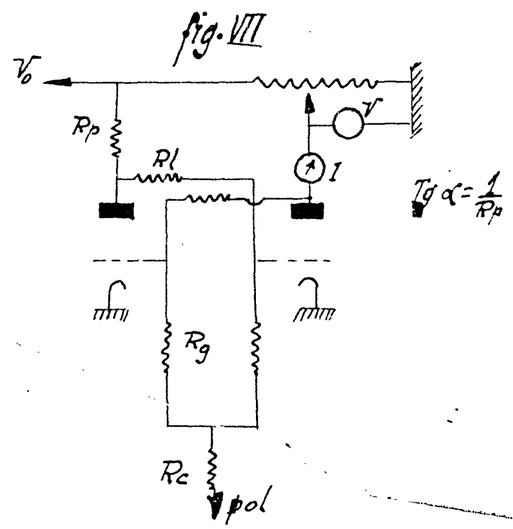
Caractéristique du tube utilisé

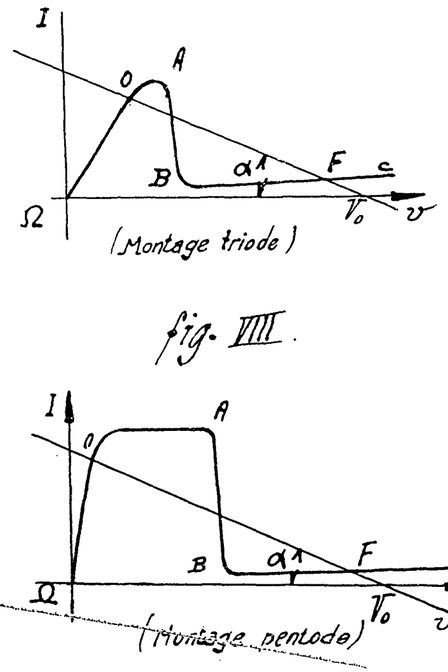
$I_g = f(V_g)$

$Tg\alpha = \frac{1}{Rl}$

On élimine ainsi les variations qui ont les effets les plus marqués sur les conditions de fonctionnement des tubes.

Traçons alors les caractéristiques de la bascule suivant la méthode employée par REGENER en utilisant le montage ci-après (Fig.VII) qui permet d'imposer au système toute la succession des états autres que ceux d'équilibre.





Les caractéristiques obtenues ci-dessus (Fig.VIII) montrent très nettement la " cassure " produite en A B dans les courbes ∩A du tube qui débite par son symétrique qui se débloque à son tour à partir d'une certaine tension v. Les parties B C traduisent le débit de la chaîne des résistances entre V_o et -pol. Les deux points O et F correspondent aux deux états d'équilibre stable. Il est alors possible en traçant les caractéristiques pour différentes valeurs de V_o et -pol de se rendre compte des marges de fonctionnement.

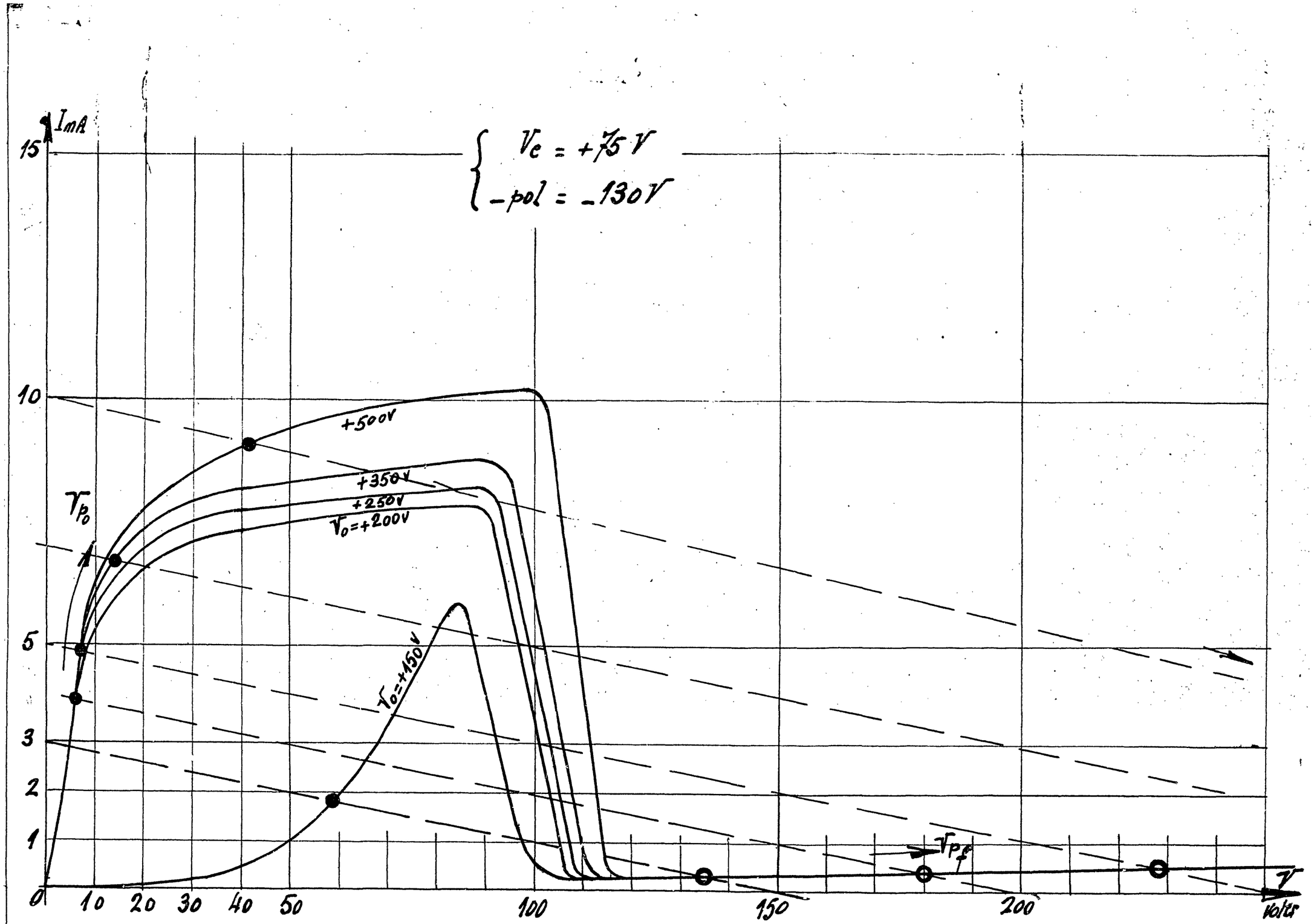

ImA
15
10
5
3
2
1
0
10
20
30
40
50
100
150
200
Volts
Ve = +75 V
-pol = -130 V
+500V
+350V
+250V
Vo=+200V
Vo=+150V
Vpo
Vpf

fig-IX

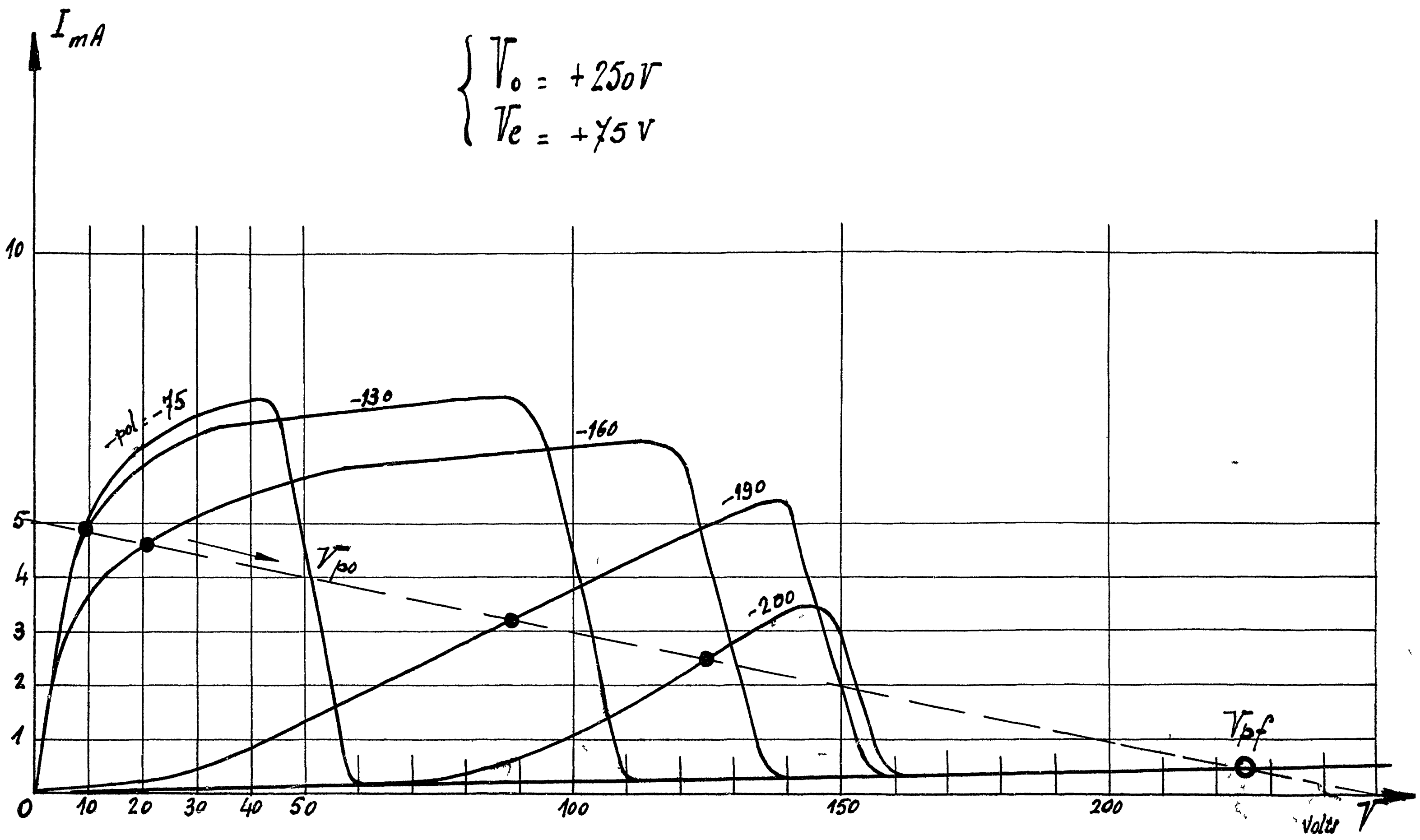

I_{mA}
$V_o = +250V$
$V_e = +75 V$
10
5
4
3
2
1
0
10
20
30
40
50
100
150
200
Volts
V
-pol = -75
-130
-160
-190
-200
V_{po}
V_{pf}

fig X

La bascule du type pentode étant beaucoup plus sûre et ayant prévalue dans la majorité de nos montages va seule faire le sujet de l'exemple qui suit : tubes 6 SJ 7-

avec

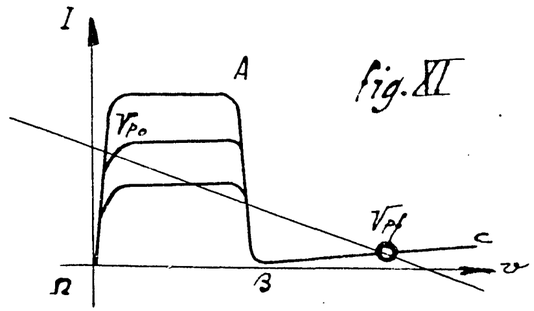
R_p= 50.000 ohms R_1= 0,5 MΩ R_g= 0,3 MΩ R_c= 0,15 MΩ

Les courbes de la figure IX montrent l'influence des variations de V_o. Les autres tensions d'alimentation -pol et V_E étant supposées constantes, l'examen de ces courbes montre immédiatement, comme on pouvait d'ailleurs s'y attendre , qu'en faisant décroître V_o, donc V_{pf}, à partir d'une certaine valeur nominale il n'y a pas de changements importants dans les caractéristiques jusqu'au moment où ces tensions ont diminué suffisamment pour que V ait quitté le domaine positif. Ceci entraîne alors la variation de V_{go}= V devenu négatif, donc du courant débité par le tube " ouvert" et par conséquent de V_{po} et aussi V_{gf}; V peut être choisi dans une plage étendue; il ne faut pas alors perdre de vue que le courant débité par la grille par effet diode ne doit pas risquer de compromettre la durée de vie du tube utilisé; pratiquement on peut admettre de 0,1 à 0,2 mA, ce qui dans le cas qui nous occupe nous laisse pour V_o le choix entre 200 et 300 volts.

Dans la figure X la tension -pol est prise en paramètre. A mesure que cette tension ci devient plus négative mais, tant que V reste positif, tout se borne à un déplacementvers la droite des parties A B de basculage sans que V_{po}, ni naturellement V_{pf}, varient sensiblement. Ceci s'explique très bien en remarquant que le recul va alors en augmentant et qu'il faut une tension plaque plus élevée pour remonter la grille de la lampe " fermée " au point de " cut off".

A partir du moment où la tension de polarisation entraine V= V_{go} dans le domaine négatif on constate la diminution rapide du courant plaque de la lampe ouverte et la déformation des caractéristiques. Pratiquement dans le cas qui nous occupe on peut choisir pour -pol une valeur comprise entre -70v et -160v mais pour avoir V_{gf} aussi négatif que possible on se limite à la plage -130v à -160 volts.

Enfin examinons l'influence de la tension écran, V_e. On constate qu'elle se borne sensiblement à déplacer les paliers des caractéristiques suivant l'axe 1 comme l'indique la figure X1.



Il est avantageux de choisir une forte tension écran compatible avec la dissipation maximum de cette électrode pour placer le point V_{po} dans la partie montante de ΩA, on élimine ainsi les variations de caractéristiques $I_p = f(V_p)$ qui peuvent exister d'une lampe à l'autre ou pour une même lampe qui se produisent pendant la durée de fonctionnement.

Cette rapide étude montre donc que les tensions d'alimentation d'un système bascule n'ont nullement des valeurs critiques. De plus celles qui ont malgré tout la plus grande influence sur le fonctionnement, c'est-à-dire $+V_e$ et -pol, ne sont pas celles qui ont un débit important comme $+V_o$, et peuvent être stabilisées com-

modément.

DEMULTIPLICATION PAR IO OU PAR UNE PUISSANCE DE IO .

L'utilisation d'une chaîne de n bascules placées en série, chacune étant commandée par celle qui la précède, conduit à une démultiplication par 2^n du nombre d'évènements d'entrée.

La lecture des résultats se fait ordinairement sur un ensemble de n voyants, un pour chaque bascule.Les deux états de celle-ci correspondent soit à l'allumage soit à l'extinction.

On peut utiliser directement un système binaire de comptage en rapport avec les voyants, mais il faut ensuite reconvertir les chiffres obtenus dans le système décimal.

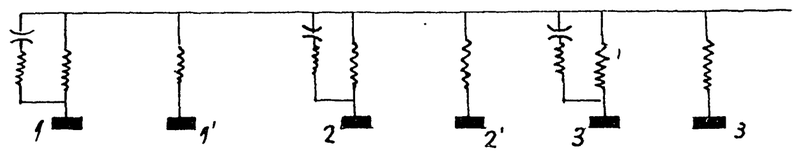
On préfère obtenir électroniquement la démultiplication par 10 ou par une puissance de IO. Dans le cas des chaînes on l'obtient par des réactions convenables entre les bascules, ou bien en utilisant des ensembles de bascules en parallèle ou " anneaux".

A)- SYSTEMES EN CHAINES-

Il existe de nombreux types de ces systèmes, les possibilités de réactions pour atteindre le but proposé étant assez étendues. Deux montages différents réalisés jusqu'à présent permettent tous deux la démultiplication par IO, considérée comme le produit 2 x 5. Les systèmes de réactions employés intéressent trois étages successifs de bascules en ramenant de 8 à 5 le coefficient de démultiplication.Un étage supplémentaire qui précède ou qui succède assure la division par 2.

Considérons donc une " chaîne" de trois étages et dans cha-

que étage la plaque du tube où se trouve connectée la lampe du voyant. C'est généralement une lampe à néon de faible consommation vis-à-vis du débit total du tube et qui s'illumine si ce dernier est " ouvert".



Le tableau suivant donne les états successifs normaux de cet ensemble en supposant qu'initialement les tubes considérés dans chaque étage soient " fermés".

Initial^t.	F	F	F	
1	O	F	F	
2	F	O	F	
3	O	O	F	Production d'une impulsion signe contraire à celui convenable.
4	F	F	O	
5	O	F	O	
6	F	O	O	
7	O	O	O	Production de l'impulsion de sortie de signe convenable.
8	F	F	F	

Premier type :

Montage réalisé avec des bascules de triodes (Fig.XIII).

On utilise ici le cycle de 8 précédent tronqué comme suit:

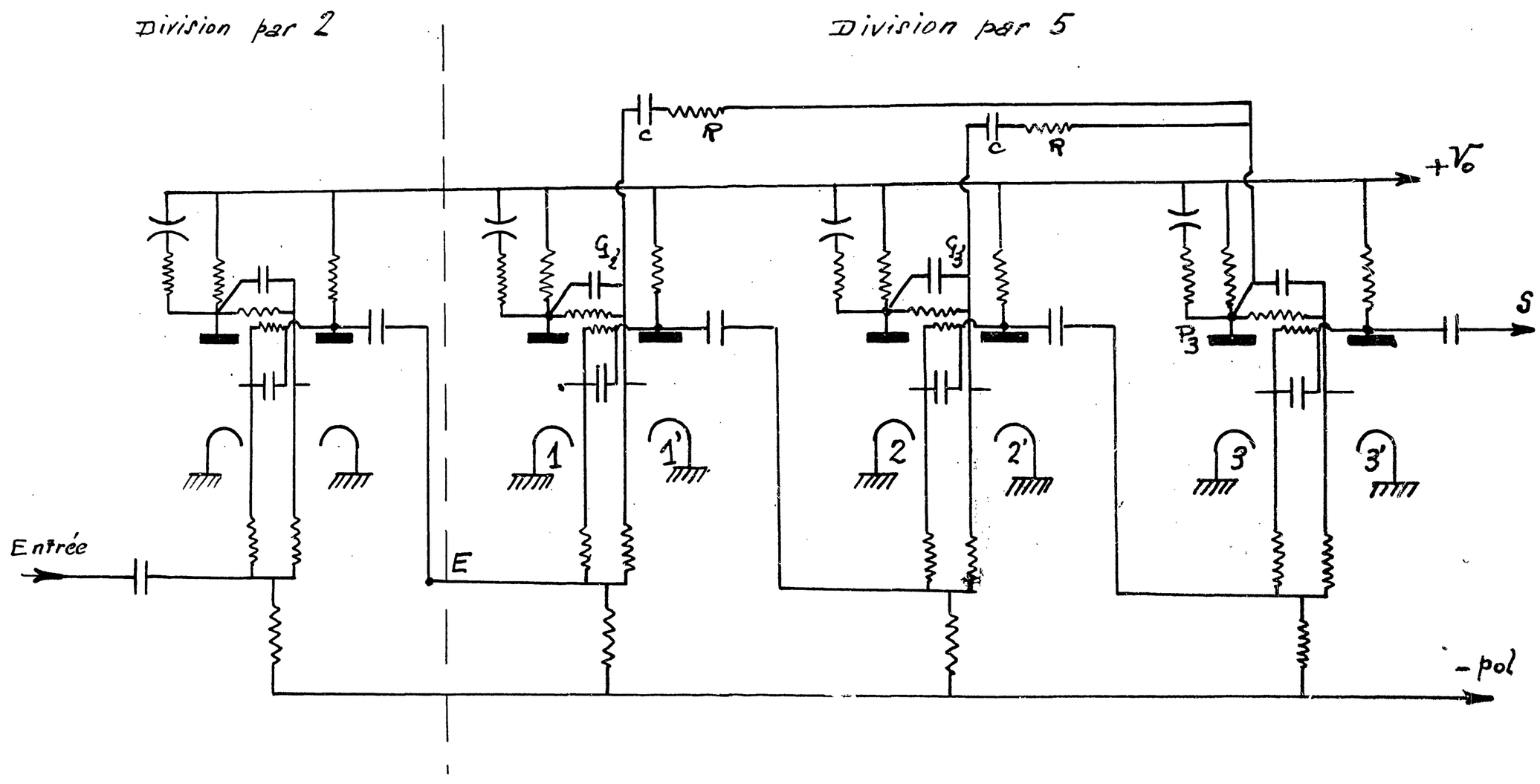

Division par 2
Division par 5
C
R
C
R
+V₀
G₂
G₃
S
P₃
1
1'
2
2'
3
3'
Entrée
E
- pol

fig XIII

Initial^t.	F	F	F
1	O	F	F
2	F	O	F
3	O	O	F
4	O	O	O
5	F	F	F

Après la 3ème impulsion d'entrée le système est caractérisé par l'état O O F et les tubes 1' 2' et 3 sont fermés, la 4ème impulsion les " ouvre " tous trois, mais le 3 ème étage réagit sur les deux précédents par les liaisons $P_3G_{1'}$ et $P_3G_{2'}$ et les grilles de 1' et 2' reçoivent une impulsion négative qui les ramène très rapidement au delà du " cut off "; le système passe donc par l'état F F O pendant un temps court et se retrouve finalement dans l'état O O O .

Le point délicat du montage réside dans la nécessité qu'il y a d'appliquer l'impulsion de réaction avec un retard sur la cause qui lui a donné naissance. Sinon, l'ensemble des trois bascules présente un fonctionnement défectueux; d'autre part ce retard doit être aussi réduit que possible si l'on désire pouvoir compter des impulsions se succédant très rapidement.On réalise ces conditions par l'ensemble " déphaseur" des capacités C et C' et de la résistance R. Dans le but d'augmenter la vitesse de comptage l'étage de division par 2 précède généralement l'ensemble de démultiplication par 5.

La numération peut s'effectuer directement en convenant

d'affecter aux différents voyants les valeurs suivantes :

	DEMULTIPLICATION PAR 2	DEMULTIPLICATION PAR 5		
	1er étage	2ème étage	3ème	4ème
	1	2	4	2
Initial^t	○	○	○	○
1	●	○	○	○
2	○	●	○	○
3	●	●	○	○
4	○	○	●	○
5	●	○	●	○
6	○	●	●	○
7	●	●	●	○
8	○	●	●	●
9	●	●	●	●
10	○	○	○	○

Mais dans ce cas, on préfère utiliser des microampèremètres gradués directement de O à 9 et montés suivant le schéma ci-dessous ce qui assure une lecture plus immédiate de résultat.

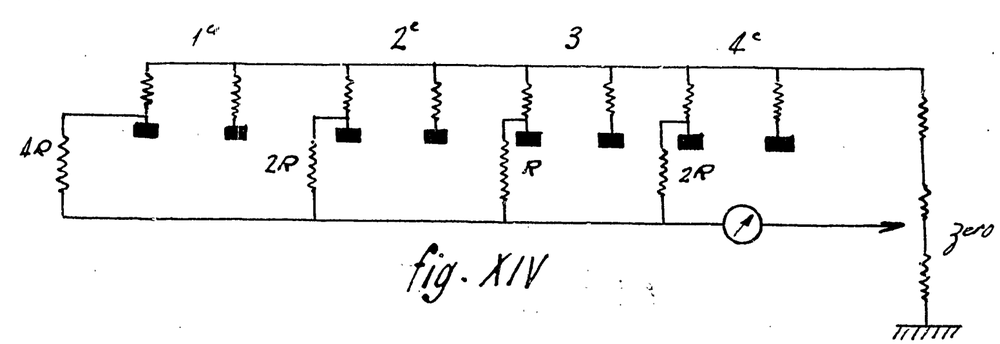


fig. XIV

Avec les valeurs adoptées dans nos montages le fonctionnement reste correct jusqu'à une vitesse de 100.000 impulsions par

seconde environ se succédant en régime périodique.

Deuxième type:

Montage réalisé avec des tubes pentodes (Fig.XV).

Le cycle utilisé est cette fois le suivant :

Initialt.	F	F	F
1	O	F	F
2	F	O	F
3	O	O	F
4	F	F	O
5	F	F	F

Pour le réaliser on applique les impulsions d'entrée à la fois sur le 1 er étage et sur la grille-suppresseuse de 3 et on assure les réactions convenables par les connexions P_1S_I, P_3S_2 et P_3S_3.

Le fonctionnement de l'ensemble est le suivant : jusqu'à la 3 ème impulsion négative d'entrée, les étages I et 2 fonctionnent normalement tandis que les impulsions négatives appliquées sur la grille suppresseuse de 3 ne provoquent aucun changement , le tube étant déjà " fermé ".On peut supposer aussi qu'à l'entrée il se produit des impulsions positives alternées avec les précédentes et d'amplitude identique; elles sont sans action sur les étages 1 et 2 aussi bien que sur la suppresseuse de 3, le potentiel de cette électrode pouvant atteindre des valeurs positives assez élevées sans qu'il en résulte une perturbation sensible des caractéristiques du tube.

A la 4 ème impulsion négative d'entrée le tube 3' est bloqué

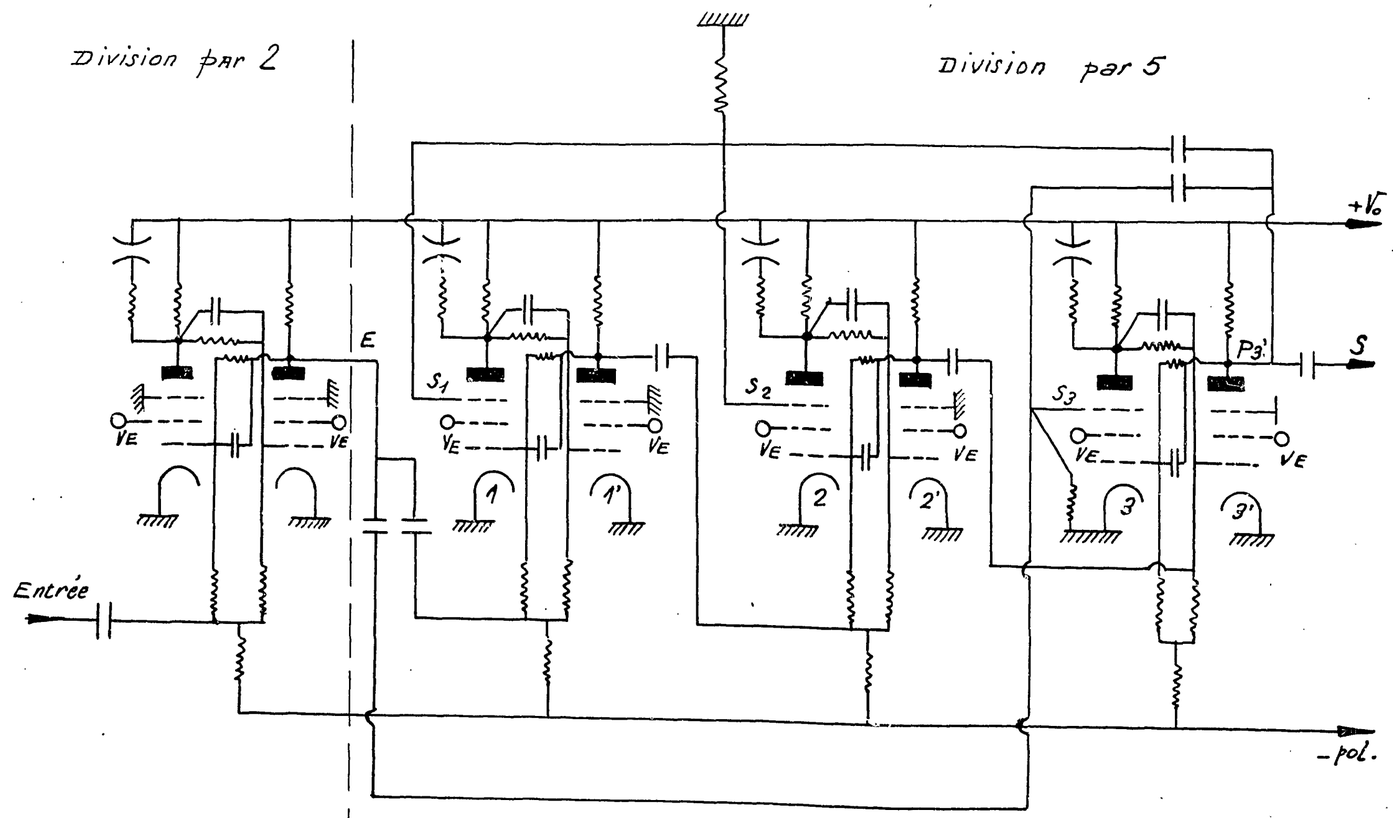


fig. XV

par l'impulsion négative de sortie de l'étage 2 et la grille suppresseuse de 3 reçoit , en même temps que l'impulsion négative d'entrée, une impulsion positive par la liaison P_3S_3. Le potentiel de cette électrode reste alors toujours voisin de zéro.Ce qui permet le basculage de l'étage 3 , d'où l'état : F F O .

Mais la 5 ème impulsion négative d'entrée est de nouveau seule à agir sur la suppresseuse de 3 et bloque ce tube provoquant un nouveau basculage de l'étage 3 ; à ce moment les suppresseuses de 1 et 2 reçoivent par les connections P_3S_I et P_3 S_2 une impulsion négative de forte amplitude , ces deux tubes sont donc bloqués et le premier étage en particulier ne peut basculer sous l'effet de l'impulsion d'entrée, on retrouve l'état initial F F F du cycle.

La vitesse maximum de fonctionnement correct est de même ordre que dans les modèles précédents quoique plus élevée puisqu'aucun retard ne s'introduit dans la réaction.

Dans ce cas les valeurs qu'il convient d'attribuer aux voyants pour la numération sont les suivantes :

DEMULTIPLICATION PAR 2	DEMULTIPLICATION PAR 5		
1 er étage	2 ème étage	3ème	4 ème
1	2	4	8

et l'on utilise la lecture directe.

Initial	○	○	○	○
1	●	○	○	○
2	○	●	○	○
3	●	●	○	○
4	○	○	●	○
5	●	○	●	○
6	○	●	●	○
7	●	●	●	○
8	○	○	○	●
9	●	○	○	●
10	○	○	○	○

B) SYSTEMES EN ANNEAUX - Ils permettent eux aussi d'effectuer directement un comptage dans le système décimal. Il en existe de nombreux types plus ou moins différents.Nous décrivons ici un anneau apparenté à un modèle déjà publié par REGENER (voir Decade Counting Circuits, V.H. REGENER - Review of Scientific Instruments Vol.17 N° 5 , Mai 1946 page 185) qui peut fonctionner avec des tensions d'entrée de forme quelconque (1er type).Le type suivant d'anneau sera traité ultérieurement par V. RAIEVSKI.

Premier Type (Fig.XVI)

On peut utiliser des pentodes conventionnelles type 6 S J 7 à pente fixe,ou 6 S K 7 à pente variable. Les 10 tubes intérieurs sont groupés deux à deux diamètralement opposés et forment un ensemble de (5) bascules placées côte à côte.

Les 10 tubes extérieurs sont normalement polarisés au delà du " cut off " et malgré leurs connexions avec ceux placés près

du centre ils n'interviennent pas dans le comportement des bascules en l'absence de signaux d'entrée.L'entrée est faite sur deux voies E_1 et E_2, l'une pour les grilles des pentodes 1' 3' 5' 7' 9', l'autre pour les grilles de 0' 2' 4' 6' 8' : on s'arrange pour que les deux tensions d'entrée varient autour du point moyen de polarisation à peu près en opposition de phase l'une par rapport à l'autre.

Dans toutes les pentodes extérieures dont la grille suppresseuse est réunie à la grille du tube intérieur " fermé ", c'est-à-dire 1' 2' 3' 4' 5' dans le cas de la figure , il ne peut y avoir de courant plaque appréciable même pour une forte tension positive d'entrée , et c'est l'écran qui supporte toute l'intensité émise par la cathode dans ces conditions. Au contraire, il peut y avoir un courant plaque important dans les tubes dont la grille suppresseuse est à la tension Vgo = 0, c'est-à-dire : 6' 7' 8' 9' 0'. Ce courant passe par la résistance plaque de la pentode intérieure la plus voisine dans le sens de la connection directe qui est réalisée. Un tel courant supplémentaire n'affecte pas l'état d'équilibre d'une bascule s'il passe par la résistance plaque d'un tube " ouvert" dont l'anode est déjà à une tension faible (de l'ordre d'une dizaine de volts) ; au contraire il provoque une chute importante de potentiel dans cette résistance et le basculage en passant dans le circuit plaque d'un tube " fermé ".C'est ce qui se produit pour 1 dès que le potentiel de E_2 est devenu suffisamment élevé au dessus du " cut off " pour faire passer le courant nécessaire dans la connection de 0' à 1, on voit alors que pour répéter le phénomène il est nécessaire d'élever ensuite le potentiel de E_1 ce qui provoque l'ouverture de 2 et ainsi de suite , alternativement, sur les les deux bornes d'entrée.La forme du signal appliqué n'entre pas

en ligne de compte ; seul intervient le niveau de potentiel des grilles des tubes extérieurs.Lorsqu'il s'agit de compter des impulsions des deux bornes E_1E_2 sont réunies à un commutateur électronique.

Les deux groupes de cinq tubes " ouverts " se déplacent alors à chaque perturbation d'entrée et effectuent chaque fois un dixième de tour dans le sens des connexions directes de plaques à plaques ; c'est-à-dire dans le sens des aiguilles d'une montre dans le cas de la figure.La disposition en deux groupes de cinq tubes consécutifs dans le même état dont nous sommes partis à priori, est la seule qui soit possible au cours d'un fonctionnement de l'anneau.

Lors de la mise en route de l'appareil, les cinq tubes " ouverts " et les cinq tubes " fermés " se répartissent au hasard.Un dispositif de mise à zéro qui permet de couper momentanément l'alimentation des écrans des tubes 1, 2, 3, 4, 5 par bouton pressoir les met ainsi dans l'état " fermé "et l'anneau est alors prêt à fonctionner.

Il est d'ailleurs facile de vérifier que l'etat de fonctionnement s'établit de lui-même en trois ou quatre perturbations d'entrée au maximum.Si le dispositif de mise à zéro n'a pas eté utilisé au début.

Avec les valeurs utilisées dans nos montages le système est capable de compter correctement environ 100.000 impulsions par seconde.

En utilisant des lampes à néon on a réalisé differents systèmes de comptage suivant les préférences des opérateurs qui ont à se servir de l'appareil.

Premier Système - (Fig.XVII). -

Il y a un voyant pour chaque tube.La lampe à néon est connectée par l'intermédiaire d'une résistance entre la plaque et la haute tension d'alimentation, il y a alors cinq voyants d'allumés, en adoptant une disposition circulaire de ceux-ci numérotés de 0 à 9 on convient d'utiliser pour la lecture le premier chiffre allumé dans le sens de la rotation au cours du fonctionnement.

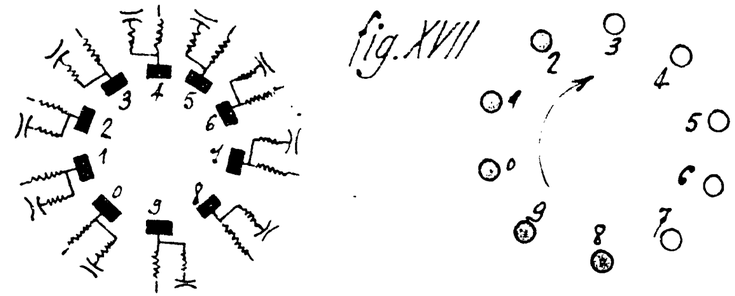


fig.XVII

Deuxième Système - (Fig. XVIII).-

Il y a cinq voyants, une des lampes à néon est connectée comme dans le système précédent sur la plaque de 5 et reste allumée tant que ce tube est " ouvert ".

Les quatre autres lampes , toujours en série avec des résistances convenables, sont connectées entre les plaques consécutives de 1 2 3 4 5 , comme il est indiqué sur le schéma. Tant que deux tubes voisins ont le même état " ouvert " ou " fermé " il n' y a qu'une faible différence de potentiel aux bornes de la lampe à néon connectée entre eux deux et elle reste éteinte, elle s'allume au contraire si les tubes sont dans les états opposés.

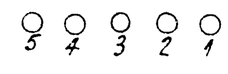
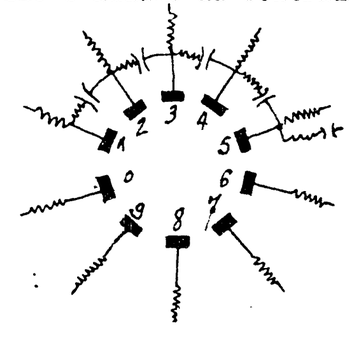


fig-XVIII



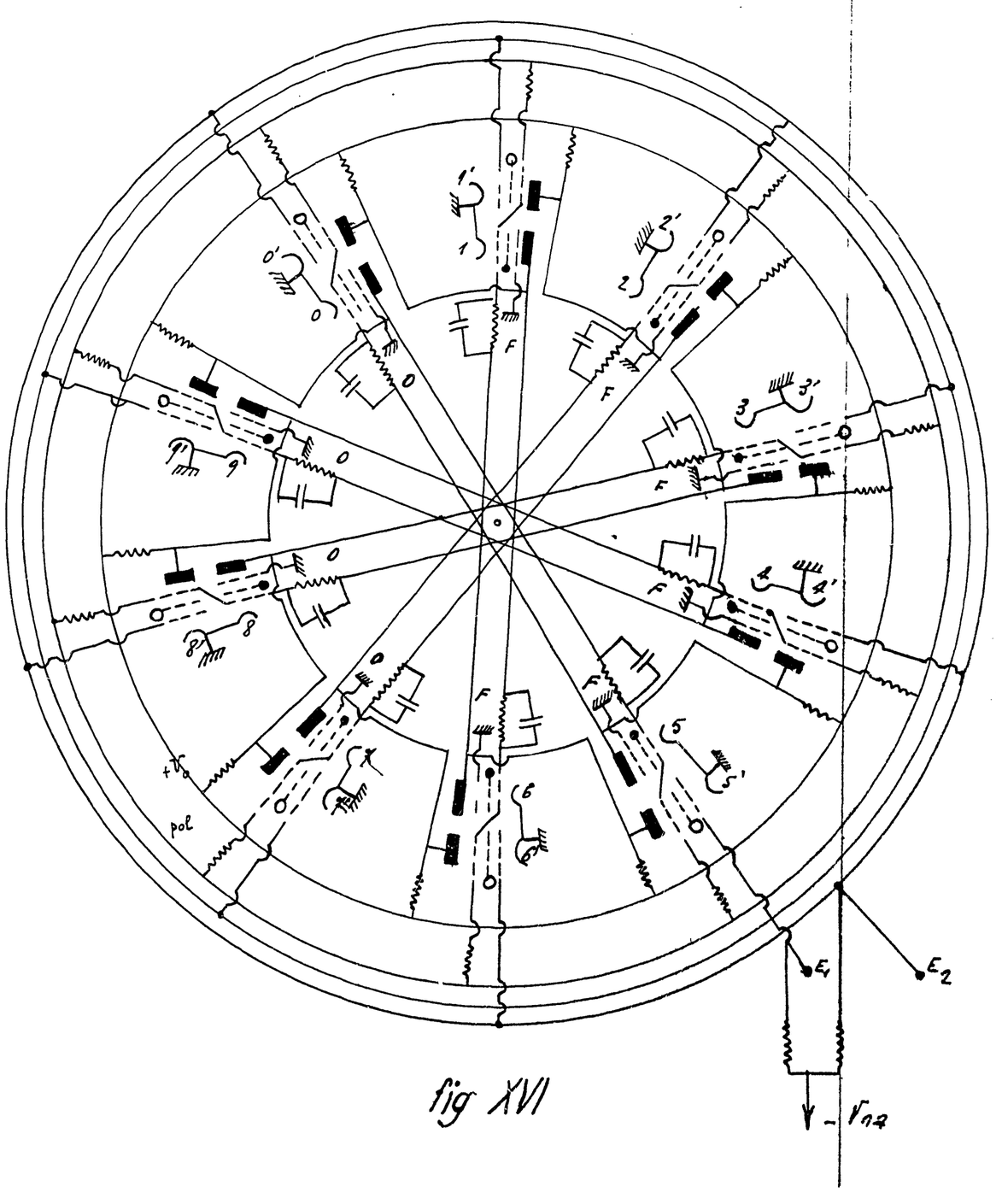


fig XVI

On affecte alors aux voyants les valeurs suivantes :

Initial	1	2	3	4	5
1	●	○	○	○	○
2	○	●	○	○	○
3	○	○	●	○	○
4	○	○	○	●	○
5	○	○	○	○	●
6	●	○	○	○	●
7	○	●	○	○	●
8	○	○	●	○	●
9	○	○	○	●	●
10	●	○	○	○	○

Troisième Système (Fig.XIX).-

Il permet le comptage direct comme le premier système.On utilise en effet 10 voyants numérotés de 0 à 9. Toutes les lampes à néon sont connectées en série avec les résistances entre les plaques consécutives de l'anneau suivant le schéma ci-dessous.

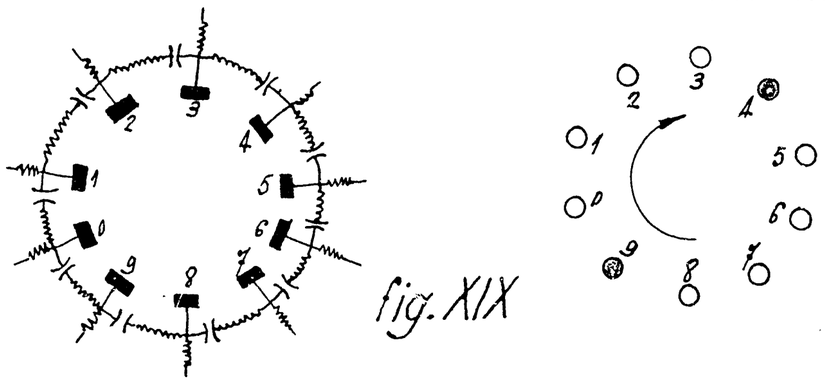


fig. XIX

Les tubes se groupant par cinq "ouverts" et cinq "fermés"

consécutifs il y a seulement deux lampes indicatrices allumées ; au cours d'un cycle de 10 signaux d'entrée chacune s'allume donc deux fois, mais à la seconde sous l'effet d'une tension opposée à celle de la 1 ère.Il suffit alors de faire apparaitre dans le voyant une seule des électrodes de la lampe néon, si cela est possible pour n'avoir d'indications qu'une fois sur 10.On pourrait aussi ajouter en série avec une des résistances un petit redresseur sec pour supprimer le second allumage.

Ce troisième système à l'avantage sur le premier de ne faire apparaitre q'un voyant d'allumé au lieu de cinq, et d'éviter de ce fait, des erreurs de lecture ou un supplément d'attention pour l'opérateur.

Deuxième Type .

Il sera traité par V. RAIEVSKI . (Voir Rap. C.E.A. II-).