



CONDITIONS D'EMPLOI DES STABILISATEURS DE TENSION

OA2 et 6073

OB2 et 6074

APPLICATIONS INDUSTRIELLES 3
TUBES STABILISATEURS

SEPTEMBRE 1956

ÉDITION N° 2

MAZDA
LES CAHIERS
DÉPARTEMENT RADIO

1975

1975

1975

1975

1975

1975





SOMMAIRE

	pages
INTRODUCTION _____	3
DESCRIPTION — MODE DE FONCTIONNEMENT _____	4
CIRCUIT D'EMPLOI — RAPPEL DES DÉFINITIONS _____	5
MISE EN ÉQUATIONS DU PROBLÈME _____	6
DISCUSSION DES FORMULES _____	8
RÉSOLUTION ALGÈBRE DU PROBLÈME _____	10
RÉSOLUTION GRAPHIQUE DU PROBLÈME _____	13
RÉSUMÉ DE LA RÉOLUTION DES CAS SIMPLES POUR UN TYPE DE STABILISATEUR DONNÉ _____	17
QUALITÉ DE LA RÉGULATION _____	18
GROUPEMENT DES TUBES STABILISATEURS _____	20
REMARQUES COMPLÉMENTAIRES _____	23
RÉSUMÉ DES CARACTÉRISTIQUES DES TUBES _____	24
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES _____	24



CONDITIONS D'EMPLOI DES STABILISATEURS DE TENSION

INTRODUCTION

Les équipements électroniques demandent dans la plupart des cas une alimentation en tension continue, fournie par le redressement de la tension du secteur. L'ensemble redresseur comprend, sous sa forme la plus classique, une valve mono- ou biplaque (redressement une ou deux alternances) et une cellule de filtrage, éliminant la composante alternative à 50 ou 100 c/s. L'alimentation continue ainsi obtenue est caractérisée par sa tension et par le débit qu'elle est susceptible de fournir à l'appareil utilisateur.

Mais telle qu'elle se présente ainsi, cette source n'est pas stable : les variations de tension du secteur se répercutent sur la tension redressée. D'autre part la chute de tension dans les éléments résistants du redresseur (valve, transformateur, self de filtrage) est proportionnelle au courant de charge et entraîne donc, si ce courant est appelé à varier, des modifications de la tension redressée.

Or, dans un grand nombre de cas, le bon fonctionnement du montage utilisateur exige l'emploi d'une source d'alimentation de tension constante quels que soient les paramètres qui peuvent être appelés à varier.

A titre d'exemple, la stabilité en fréquence d'un montage oscillateur de type quelconque (oscillateur Hartley et Colpitts, oscillateur R. C., etc.) dépend en partie de la stabilité de la tension d'anode.

La distribution des tensions aux différents étages d'un amplificateur à courant continu,

l'alimentation de grille-écran d'une pentode de puissance dans un amplificateur soigné du point de vue linéarité, etc., demandent également des sources stabilisées.

On a alors recours à des dispositifs électroniques de stabilisation de tension. Ces dispositifs sont de deux sortes :

Les uns utilisent un tube stabilisateur de tension, qui fournit dans certaines conditions d'alimentation, une tension fixe, d'une valeur déterminée, non influencée par les variations du secteur ou de la charge.

Les autres utilisent des montages complexes, basés sur un principe de réaction, c'est-à-dire qu'ils agissent en sens inverse de la variation que l'on désire annuler.

Le but de la présente étude est d'exposer le mode d'utilisation des tubes stabilisateurs de tension fabriqués par la Compagnie des Lampes Mazda, des types OA2 et OB2 et des versions 5 Étoiles de ces types, 6073 et 6074, utilisés dans le premier cas ou bien servant dans le second d'éléments de comparaison. On rappellera les principes de fonctionnement de ces stabilisateurs de tension, et on définira les principaux paramètres qui les caractérisent. Ces données permettront d'examiner le mode de détermination des circuits d'utilisation, compte tenu des facteurs connus (tension des sources, débit désiré).

Cet exposé montrera les services qu'on peut attendre de tels tubes et le degré de stabilisation qu'ils procurent dans les exemples précédemment cités.



DESCRIPTION — MODE DE FONCTIONNEMENT

Les tubes stabilisateurs sont constitués de deux électrodes placées dans une atmosphère de gaz inerte. Dans le cas des stabilisateurs Mazda OA2 et OB2, ces deux électrodes sont deux cylindres concentriques, et l'un d'eux, la cathode, est recouvert d'oxydes émissifs. Le choix des matériaux constituant les électrodes, d'une part, et celui du gaz inerte et de la pression de remplissage, d'autre part, influent fortement sur les conditions de fonctionnement de tels tubes.

La caractéristique statique d'un tel tube sera tracée en appliquant au tube une tension croissante E à travers une résistance série R et en mesurant en permanence le courant I à travers le tube et la tension V aux bornes du tube. La caractéristique $I=f(V)$ obtenue a l'aspect ci-dessous (figure 2).

La tension croît initialement sans qu'il y ait de courant à travers le tube.

Pour une valeur V_a ou tension d'amorçage, une décharge s'établit à travers le tube, puis la tension se maintient sensiblement constante à une valeur V_s ou tension de stabilisation légèrement inférieure à V_a , tandis que le courant continue à croître. La décharge s'observe visuellement par une lueur dont la couleur dépend du mélange gazeux utilisé pour le remplissage. Le mécanisme du fonctionnement s'explique succinctement de la manière suivante : soit au départ un électron libre, dû à l'ionisation d'une molécule gazeuse sous une influence quelconque (rayons cosmiques, effet photoélectrique). Du fait de la tension positive appliquée à l'anode cet électron est attiré vers l'anode et acquiert une certaine énergie qui provoque l'ionisation d'autres molécules; les ions positifs sont attirés vers la cathode, les électrons vers l'anode. Le phénomène est cumulatif et si le champ est suffisant, il se poursuit jusqu'à ce qu'il y ait amorçage entre anode et cathode. La différence de potentiel s'établit alors uniquement au voisinage de la cathode, le

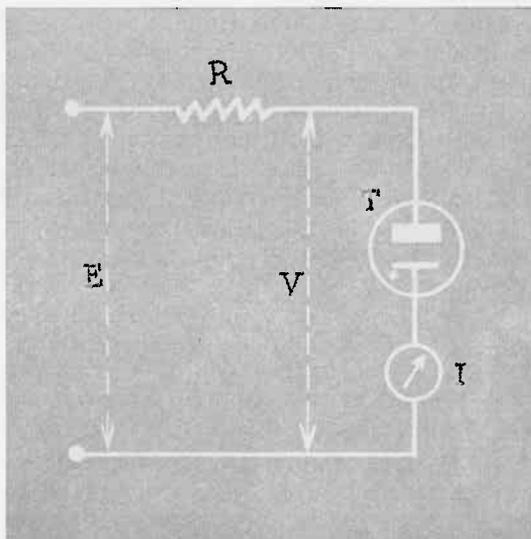


Fig. 1

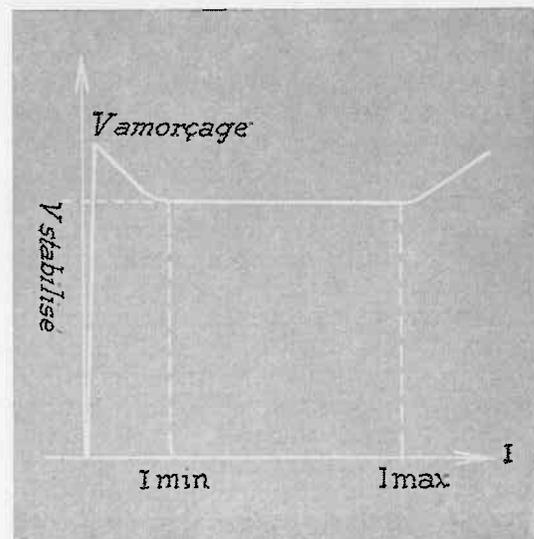


Fig. 2

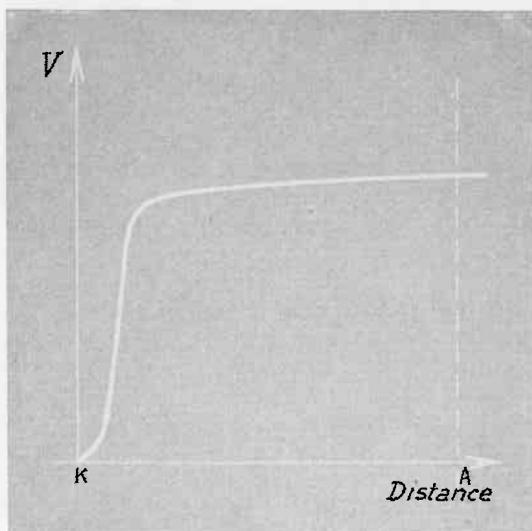


Fig. 3

reste de l'espace anode-cathode, occupé en égale quantité de particules positives et négatives constitue le « plasma » (fig. 3). La différence de potentiel au voisinage de

la cathode, qui dépend de la nature du gaz et de la nature de la cathode, définit la « tension de stabilisation ».

Selon l'intensité du courant qui traverse le tube, la décharge s'établit sur une portion plus ou moins grande de la cathode, ce qui fait que la densité de courant reste constante. A partir du moment où la décharge occupe toute la surface de cathode, une nouvelle augmentation de courant s'accompagne d'une élévation de potentiel : on est sorti de la zone de fonctionnement normal.

L'amorçage du tube est dû à trois actions : le champ électro-statique dû au potentiel cathode-anode, un effet photoélectrique, un effet radioactif.

L'effet photoélectrique est mis en évidence en maintenant un tube dans l'obscurité pendant 24 heures et en mesurant ensuite la tension minimum d'amorçage, le tube étant toujours à l'abri de la lumière : la tension doit être majorée de 50 à 100 volts pour assurer l'amorçage.

CIRCUIT D'EMPLOI — RAPPEL DES DÉFINITIONS

Le circuit d'utilisation d'un tube stabilisateur se schématise de la manière suivante (figure 4).

La source de tension V_b alimente une résistance série R_b puis deux éléments placés en parallèle, le tube stabilisateur T , traversé par un courant I_t , et la résistance de charge R_u , traversé par un courant I_u .

L'établissement d'un tel circuit exige la connaissance de 4 paramètres de base.

1) Tension d'amorçage V_a : tension à laquelle se produit l'amorçage du tube T .

2) Tension de stabilisation V_s ou tension de fonctionnement : tension à laquelle se fixe la tension aux bornes de T , après amorçage.

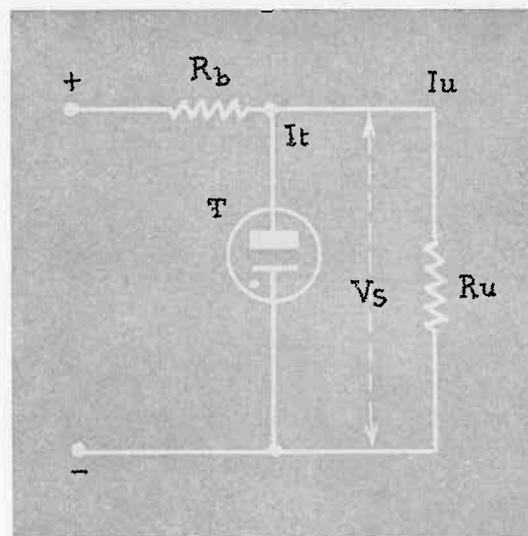


Fig. 4



3) Courant minimum I_{\min} : c'est le courant minimum pour maintenir la décharge à travers le tube T.

4) Courant maximum I_{\max} : au delà de la valeur maximum, la tension aux bornes du tube T croît rapidement ainsi qu'il a été expliqué plus haut.

Ces données pour les tubes OA2 et OB2, 6073 et 6074, sont indiquées dans les feuillets de caractéristiques.

Grandeurs	OA2 6073	OB2 6074
Tension CC d'amorçage	155	115 volts approx.
Tension CC de fonctionnement	150	108 volts approx.
Courant minimum	5	5 mA
Courant maximum	30	30 mA

On remarquera dès l'abord que la tension d'amorçage et la tension de fonctionnement sont données en **valeurs approximatives**. Ceci a pour but de prévenir l'utilisateur qu'il existe des marges de tolérances et qu'entre deux tubes de même type, il peut exister des écarts autour de ces valeurs moyennes. On est donc conduit à définir un autre paramètre donné au catalogue et qui est :

la tension minimum d'alimentation.

La tension d'alimentation minimum est la

MISE EN ÉQUATIONS DU PROBLÈME

Le circuit de base se met aisément en équation, selon la loi d'Ohm, si l'on considère toutes les grandeurs comme constantes.

$$V_b = R_b (I_u + I_t) + V_s$$

et

$$I_u = \frac{V_s}{R_u}$$

valeur minimum de tension qui assure l'amorçage du tube T quel que soit le tube utilisé. Elle tient compte également de l'augmentation éventuelle de la tension d'amorçage au cours de la vie du tube, phénomène généralement constaté dans les tubes à gaz. Elle est de 185 volts pour le tube OA2 et 133 volts pour le tube OB2. (Note 1.) On a toujours l'inégalité :

$$V_a < V_b \text{ min.}$$

La dernière notion à définir est celle de plage de régulation : si on représente la courbe $V = f(I_t)$ pour I_t compris entre I_{\min} et I_{\max} , on n'obtient pas rigoureusement une droite parallèle à l'axe des abscisses : la courbe peut s'assimiler à une droite, dont la pente $\frac{dV_s}{dI_t}$ est considérée comme « la résistance interne » du tube T. Il est évident que l'on prend toute disposition pour que cette résistance soit faible.

La plage de régulation donnée dans les notices, représente la variation ΔV_s pour des variations de courants maximum (de 25 mA dans le cas des OA2 et OB2). Il s'agit d'une valeur moyenne, cette plage de régulation n'étant pas rigoureusement identique d'un tube à l'autre.

Dans le cas des OA2 et OB2 la moyenne de la résistance interne est de 80 ohms, la valeur maxima possible étant de 240 ohms.

NOTE 1. Dans l'obscurité, ces valeurs seraient :
225 volts pour le OA2 et le 6073,
210 volts pour le OB2 et le 6074.

Dans le cas le plus élémentaire, V_b est donné par la tension de la source, V_s par le choix du stabilisateur T, R_u est une charge connue, ce qui entraîne la détermination de I_u , le seul élément qui reste à déterminer est R_b . On prend alors pour I_t dans le stabilisateur une valeur moyenne prise entre I_{\min} et I_{\max} , qui fixe la valeur de R_b .

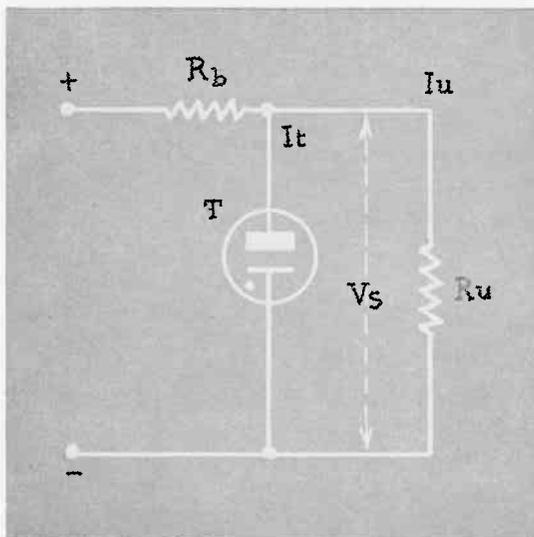


Fig. 5

Exemple :

$V_b = 200 \text{ V}$ $T = \text{tube OB2}$, soit $V_s = 108 \text{ V}$.

$I_u = 10 \text{ mA}$ Supposons $I_t = 10 \text{ mA}$

$$R_b = \frac{200 - 108}{20} = 4.600 \text{ Ohms.}$$

Mais la résolution complète du problème exige que l'on tienne compte d'un ensemble de conditions qui vont être développées ci-dessous.

En effet, on cherche en général à déterminer des valeurs de V_b et R_b qui tout en étant aussi économiques que possible du point de vue alimentation, soient compatibles avec les exigences de fonctionnement du stabilisateur. Car la source que l'on désire stabiliser est sujette à variations et la charge peut n'être pas constante. Quelles que soient les variations de la source ou de la charge, les exigences de fonctionnement du tube T doivent être respectées.

Ces exigences se traduisent alors par plusieurs inégalités :

1° L'amorçage du tube T ne peut avoir lieu à coup sûr que dans le cas où la tension appliquée au tube est supérieure à la tension minimum d'alimentation définie plus haut, $V_b \text{ min.}$

Au moment où on applique la tension au circuit le tube T n'est pas encore amorcé et il circule dans le circuit un courant I . L'équation du circuit est la suivante :

$$V_b = (R_b + R_u) \cdot I.$$

La tension aux bornes du tube T s'écrit :

$$\begin{aligned} V &= V_b - R_b I = V_b - V_b \cdot \frac{R_b}{R_b + R_u} \\ &= V_b \frac{R_u}{R_b + R_u}. \end{aligned}$$

Cette tension doit être au moins égale à la tension minimum d'amorçage $V_b \text{ min.}$, ce qui conduit à

$$V_b \frac{R_u}{R_b + R_u} \geq V_b \text{ min.}$$

ou
$$V_b \geq V_b \text{ min.} \frac{R_b + R_u}{R_u}$$

La condition de fonctionnement se met sous la forme

$$V_b \geq V_b \text{ min.} + V_b \text{ min.} \frac{R_b}{R_u} \quad (1).$$

Cette expression s'écrit encore, en fonction de la tension d'amorçage et du courant I_u de charge après amorçage défini par :

$$\frac{V_s}{R_u} = I_u$$

$$V_b \geq V_b \text{ min.} + \frac{V_b \text{ min.}}{V_s} R_b I_u \quad (2)$$

Si la charge est variable, ces inégalités devront être satisfaites en supposant la charge maximum, c'est-à-dire $I_u \text{ max.}$ (ou $R_u \text{ minimum}$ dans l'expression (1)).

2° Le tube une fois amorcé doit être traversé par un courant compris entre les valeurs maximum et minimum ($I \text{ max.}$ et $I \text{ min.}$), ce qui conduit à la double inégalité tirée de l'équation de base :

$$V_b \leq V_s + (I \text{ max.} + I_u) R_b \quad (3)$$

$$V_b \geq V_s + (I \text{ min.} + I_u) R_b \quad (4)$$



$$V_s + (I_{\min} + I_u) R_b \leq V_b \leq V_s + (I_{\max} + I_u) R_b$$

Ces formules (1) ou (2), (3) et (4), définissent non pas les valeurs de V_b et R_b en fonction des caractéristiques des circuits,

mais les limites entre lesquelles ils seront choisis. Après discussion de ces formules, on donnera la résolution algébrique d'un certain nombre d'exemples pratiques, puis une représentation graphique, qui permet la détermination plus rapide du problème, à l'aide de laquelle seront repris et traités les mêmes exemples.

DISCUSSION DES FORMULES

1^{er} cas. — Le courant I_u varie entre $I_u \min$ et $I_u \max$, les variations de source V_b ne sont pas prises en considération.

L'augmentation de la charge I_u est compensée par la diminution du courant I_t dans le tube, toutes autres valeurs restant égales dans l'équation de base $V_b = R_b (I_u + I_t) + V_s$. La variation maximum de I_t définie par $I_{\max} - I_{\min}$ limite la variation maximum de I_u .

$$I_u \max - I_u \min \leq I_{\max} - I_{\min}$$

Dans le cas des tubes OA2 et OB2, cette variation maximum est de 25 mA.

Les équations de base du problème sont déduites de (2), (3) et (4).

$$V_b \geq V_b \min + \frac{V_b \min}{V_s} R_b \cdot I_u \max \quad (2a)$$

$$V_b \leq V_s + (I_{\max} + I_u \min) R_b \quad (3a)$$

$$V_b \geq V_s + (I_{\min} + I_u \max) R_b \quad (4a)$$

Les formules (4a) et (2a) indiquent le minimum de V_b en fonction du courant max. d'utilisation : selon que la valeur fournie par l'une ou par l'autre formule est plus élevée, elle sera prise en considération.

En fait, dans les cas les plus fréquents, le minimum de V_b est donné par la formule 2a. En effet, la différence entre les valeurs de V_b fournies par ces deux formules s'exprime par :

$$V_b \text{ (formule 2a)} - V_b \text{ (formule 4a)} = V_b \min - V_s - R_b \left(\frac{V_b \min}{V_s} I_u - I_u - I_{\min} \right)$$

Dans le cas du OA2, $V_b \min - V_s = 185 - 150 = 35$ volts, $I_{\min} = 5$ mA. $V_b \text{ (formule 2a)} - V_b \text{ (formule 4a)} = 35 \text{ volts} + R_b (0,23 I_u - 5)$.

Dans le cas du OB2, $V_b \min - V_s = 133 - 108 = 25$ volts, $I_{\min} = 5$ mA. $V_b \text{ (formule 2a)} - V_b \text{ (formule 4a)} = 25 \text{ volts} + R_b (0,23 I_u - 5)$.

La tension V_b (formule 4a) conduit à des valeurs supérieures à V_b (formule 2a) si le terme négatif ($5 \cdot R_b$) l'emporte sur les deux termes positifs, ce qui ne se produit que pour des valeurs élevées de R_b , et des valeurs faibles de charge I_u . Or, à charge faible, on peut en général limiter la valeur de R_b et l'on ne rentre pas dans ces conditions.

La formule 2a est donc le plus souvent prépondérante. On pensera peut-être plus aisément à calculer V_b à partir de 3a et 4a, en conservant toutefois la marge $V_b > V_b \min$. Mais il ne faut pas oublier que ces conditions ne sont pas suffisantes et que la formule 2a) peut entraîner une augmentation notable de la valeur de V_b .

2^e cas. — Le courant I_u est donné, mais on prend en considération les variations du réseau d'alimentation qui entraînent les variations de V_b entre deux valeurs extrêmes, soit V_{b1} et V_{b2} .

Les trois inégalités de base deviennent :

$$V_{b1} \geq V_b \min + \frac{V_b \min}{V_s} R_b \cdot I_u \quad (2b)$$



$$V_{b2} \leq V_s + (I_u + I \max) R_b \quad (3b)$$

$$V_{b1} \geq V_s + (I_u + I \min) R_b \quad (4b)$$

Comme dans le premier cas, la tension minimum de V_b doit tenir compte des inéquations (2b) et (4b), l'inéquation (2b) étant prépondérante généralement.

En général, les variations de la tension d'alimentation s'expriment en pourcentage de cette tension, par le rapport $\frac{\Delta V_b}{V_b}$. On va montrer que plus ce pourcentage est élevé, plus la tension V_{b1} doit être élevée. Elle sera également d'autant plus élevée que le débit I_u sera plus important.

La démonstration, basée sur les équations (3b) et (4b), est la suivante : Pour que (3b) et (4b) soient compatibles, il faut que l'augmentation de V_{b1} , soit $V_{b2} - V_{b1} = \Delta V_{b1}$, n'entraîne pas une variation de I supérieure à $\Delta I = I \max - I \min$ prévu par les données caractéristiques du tube. Or, toute augmentation dV_b s'exprime par $dV_b = R_b \cdot dI$. On doit donc avoir $\Delta V_{b1} \leq R_b \Delta I$.

Or, d'après (4b), la valeur maximum de R_b est :

$$\frac{V_{b1} - V_s}{I_u + I \min}$$

soit :

$$\Delta V_{b1} \leq \frac{\Delta I}{I_u + I \min} (V_{b1} - V_s)$$

et :

$$\frac{\Delta V_{b1}}{V_{b1}} \leq \frac{\Delta I}{I_u + I \min} \left(1 - \frac{V_s}{V_{b1}}\right)$$

ΔI , $I \min$ et V_s dépendent du tube stabilisateur choisi.

A I_u donné, si $\frac{\Delta V_{b1}}{V_{b1}}$ croît, le deuxième membre doit croître, ceci impose que le terme $\frac{V_s}{V_{b1}}$ décroisse, donc que V_{b1} soit d'autant plus élevé.

Pour une variation donnée de la source $\frac{\Delta V_{b1}}{V_{b1}}$, une augmentation de I_u entraîne la

diminution du facteur $\frac{\Delta I}{I_u + I \min}$. Elle doit être compensée par une augmentation du deuxième terme, qui se traduit par une augmentation de V_{b1} .

On aboutit aux mêmes conclusions en basant la démonstration sur les équations (2b) et (3b), la condition (2b) déterminant le plus fréquemment le minimum de V_b , comme il a été montré plus haut :

L'équation (2b) définit un maximum de

$$R_b : R_b \leq \frac{(V_{b1} - V_b \min)}{I_u V_b \min} V_s$$

L'équation (3b) définit un minimum de

$$R_{b1} : R_b \leq \frac{V_{b2} - V_s}{I_u + I \max}$$

Ces deux conditions ne sont compatibles que dans le cas où

$$\frac{V_{b2} - V_s}{I_u + I \max} \leq \frac{V_{b1} - V_b \min}{I_u} \cdot \frac{V_s}{V_b \min}$$

En exprimant V_{b2} par $V_{b1} + \Delta V_{b1}$ cette expression devient :

$$\Delta V_{b1} \cdot I_u + V_{b1} \cdot I_u \leq V_{b1} \cdot I \max \frac{V_s}{V_b \min} + V_{b1} I_u \frac{V_s}{V_b \min} - V_s I \max$$

ou en fonction du rapport connu $\frac{\Delta V_{b1}}{V_{b1}}$

$$\frac{\Delta V_{b1}}{V_{b1}} \leq \frac{I \max}{I_u} \left[\frac{V_s}{V_b \min} - \frac{V_s}{V_{b1}} \right] + \frac{V_s}{V_b \min} - 1$$

V_s , $V_b \min$ et $I \max$ dépendant du tube stabilisateur choisi, le terme $\frac{V_s}{V_b \min} - 1$ est défini.

A I_u donné, une augmentation de $\frac{\Delta V_{b1}}{V_{b1}}$ doit être compensée par une diminution de $\frac{V_s}{V_{b1}}$, soit par une augmentation de V_{b1} .

Pour une variation donnée de la source $\frac{\Delta V_{b1}}{V_{b1}}$, une augmentation de I_u entraîne la



diminution du facteur $\frac{I_{\max}}{I_u}$ donc doit être compensée par une augmentation du deuxième terme, qui se traduit par une augmentation de V_{b1} .

Une application pratique met en évidence ces résultats : soit le stabilisateur OB2, pour lequel $V_s = 108$ volts, $V_b \min = 133$ volts, $I_{\max} = 30$ mA.

Supposons que la source varie de $\pm 5\%$ autour de sa valeur moyenne :

$$\frac{\Delta V_{b1}}{V_{b1}} = \frac{10}{95} \approx 0,10$$

et calculons le minimum de V_{b1} , d'après la

formule précédente pour $I_u = 10$ mA et $I_u = 30$ mA :

$I_u = 10$ mA on obtient $V_{b1} \geq 150$ Volts

$I_u = 30$ mA on obtient $V_{b1} \geq 205$ Volts

Toutes choses égales, supposons que la source varie de $\pm 10\%$ autour de sa valeur moyenne, soit $\frac{\Delta V_{b1}}{V_{b1}} = 0,22$.

Pour :

$I_u = 10$ mA on obtient $V_{b1} \geq 160$ Volts

$I_u = 30$ mA on obtient $V_{b1} \geq 264$ Volts

Ainsi, toute augmentation du rapport $\frac{\Delta V_b}{V_b}$ entraîne la nécessité d'augmenter V_{b1} , et ceci d'autant plus que I_u est plus grand.

RÉSOLUTION ALGÈBRE DU PROBLÈME

L'examen qui précède montre que la détermination des valeurs limites de V_b et R_b qui conviennent à chaque problème demande la résolution simultanée d'inéquations établies d'après un certain nombre de données qui sont en général :

- choix du stabilisateur de tension d'après la valeur de la tension stabilisée désirée,
- valeurs du courant de charge et de ses variations éventuelles,
- variations éventuelles de la source de tension.

Les valeurs de V_b et R_b choisies doivent satisfaire les inéquations écrites plus haut.

Les démonstrations précédentes ont montré que la tension V_b devra être choisie d'autant plus élevée que les variations de tension d'alimentation à compenser sont plus grandes, et que le débit demandé I_u est plus élevé.

On trouvera ci-dessous un certain nombre de problèmes traités par ordre croissant de difficultés. Si les types mentionnées ci-après

sont OA2 et OB2, il est évident qu'ils peuvent être respectivement remplacés par leur version 5 Etoiles 6073 et 6074.

Premier exemple.

On dispose d'une source de tension de 300 volts, avec laquelle on veut stabiliser une tension de 150 volts, (stabilisateur OA2) pour un débit variant de 0 à 20 mA (note 2).

D'après les inéquations (2a) et (3a) :

$$300 \geq 185 + \frac{185}{150} \cdot 20 \cdot R_b$$

$$\text{soit } R_b \leq 4,7 \text{ K}\Omega$$

$$300 \leq 150 + 30 \cdot R_b$$

$$\text{soit } R_b \geq 5 \text{ K}\Omega$$

Ces deux conditions ne sont pas compatibles. La source de tension permet un courant max. moindre, obtenu en faisant :

NOTE 2. Dans l'ensemble des exemples, R_b est exprimé en kilohms et I en milliampères, de sorte que le produit $R_b I$ est exprimé en volts.



$$R_b = 5 \text{ K}\Omega : I_u \text{ max} = \frac{(300 - 185) 150}{5 \cdot 185} = 18,6 \text{ mA.}$$

On a donc : $V_b = 300 \text{ V}$, $R_b = 5 \text{ K}\Omega$,
 I_u compris entre 0 et 18,6 mA.

Deuxième exemple.

Quelle est la source de tension minimum qui permettrait dans l'exemple précédent de faire varier la charge de 0 à 20 mA ?

$$V_b \geq 185 + \frac{185}{150} \cdot 20 \cdot R_b$$

(et $V_b \geq 150 + 25 R_b$, satisfait par la première expression)

$$V_b \leq 150 + 30 R_b$$

Ces deux inégalités sont compatibles si

$$185 + \frac{185}{150} \cdot 20 \cdot R_b \leq 150 + 30 R_b$$

$$R_b \geq \frac{185 - 150}{5,3} = 6.600 \text{ ohms}$$

$$V_b \geq 185 + 25 \times 6,6 = 185 + 165 = 350 \text{ volts.}$$

On a donc au minimum : $V_b = 350 \text{ volts}$,
 $R_b = 6,6 \text{ K}\Omega$, I_u compris entre 0 et 20 mA.

Ces valeurs peuvent paraître élevées, mais comme on le voit, elles sont imposées par les caractéristiques des stabilisateurs.

Troisième exemple.

Utilisant un tube OA2 avec une charge variant de 5 à 20 mA, quelles valeurs de R_b et V_b choisir, si la source de tension est sujette à des variations de $\pm 5\%$?

Les inéquations (2) et (4) s'écrivent :

$$V_{b1} \geq 185 + \frac{185}{150} \cdot 20 R_b$$

et $V_{b2} \leq 150 + 35 R_b$

V_{b1} valeur minimum de la source, et V_{b2} valeur maximum sont liées par la relation

$$V_{b2} = V_{b1} \times \frac{105}{95}$$

R_b et V_{b1} satisferaient donc au problème si :

$$\left(185 + \frac{185}{150} \cdot 20 R_b\right) \cdot \frac{105}{95} \leq 150 + 35 R_b$$

On en tire $R_b \geq 7.000 \text{ ohms}$
 $V_{b1} \geq 358 \text{ volts.}$

La valeur nominale minimum de la source est donc :

$$V_b = \frac{358 \times 100}{95} = 377 \text{ volts.}$$

En conclusion : $V_b \geq 377 \text{ volts}$

$R_b \geq 7.000 \text{ ohms.}$

Pour prendre une marge de garantie, on prendra de préférence des valeurs légèrement supérieures (il faut en particulier palier les tolérances sur les résistances).

Quatrième exemple.

Mêmes données qu'au troisième, mais la source est sujette à des variations de $\pm 10\%$.

Le problème se résoud de manière identique avec la relation $V_{b2} = V_{b1} \times \frac{110}{90}$

On a donc :

$$\left(185 + \frac{185}{150} \cdot 20 \cdot R_b\right) \cdot \frac{110}{90} \leq 150 + 35 R_b$$

d'où :

$$R_b \geq 16.200 \text{ ohms}$$

$$V_{b1} \geq 585 \text{ volts}$$

avec une valeur nominale V_b de

$$\frac{585 \times 100}{90} = 650 \text{ volts.}$$

Alors que la tension désirée n'est que de 150 volts, on est conduit à exiger de la source une tension de 650 volts. Ceci conduirait donc à une source d'alimentation très onéreuse et quasi inacceptable.

Une solution à ce problème consiste à utiliser deux tubes stabilisateurs en parallèle. Les avantages et inconvénients de ce système seront analysés plus loin (voir page 21).



Cinquième exemple.

Le stabilisateur OB2 étant traversé par un courant de 20 mA, comment choisir V_b et R_b si V_b varie de $\pm 5\%$ et la valeur de R_b est sujette à des variations de $\pm 10\%$?

On procédera de manière analogue en écrivant les inéquations (2) et (4) :

$$V_{b1} \geq 133 + \frac{133}{108} \cdot 20 \cdot R_b \text{ max}$$

et

$$V_{b2} \leq 108 + 50 \cdot R_b \text{ min.}$$

$$V_{b1} \text{ et } V_{b2} \text{ sont liés par : } V_{b2} = \frac{V_{b1} \times 105}{95}$$

$R_b \text{ min}$ et $R_b \text{ max}$ sont liés par :

$$R_b \text{ max} = \frac{R_b \text{ min} \times 110}{90}$$

Il vient donc, en ne conservant comme variable que V_{b1} et $R_b \text{ min}$, et en résolvant les deux inéquations :

$$\left(133 + \frac{133}{108} \cdot 20 \cdot \frac{R_b \text{ min} \cdot 110}{90} \right) \cdot \frac{105}{95} \leq 108 + 50 \cdot R_b \text{ min}$$

ou

$$R_b \text{ min} \left(50 - \frac{133}{108} \cdot 20 \cdot \frac{110}{90} \cdot \frac{105}{95} \right) \geq 133 \cdot \frac{105}{95} - 108$$

On en tire :

$$R_b \text{ min} \geq 2,34 \text{ K}\Omega$$

$$V_b \text{ min} \geq 204 \text{ V}$$

Les valeurs nominales de tensions et de résistances sont :

$$R_b \geq \frac{2,34 \times 100}{90} = 2,600 \text{ K}\Omega$$

$$V_b \geq \frac{204 \times 100}{95} = 215 \text{ volts}$$

la résistance pouvant varier de 2.340 ohms à 2.860, et la tension d'alimentation de 204 volts à 225.

Sixième exemple.

Les données sont les mêmes, mais la charge n'est que de 5 mA.

Les inéquations deviennent :

$$V_{b1} \geq 133 + \frac{133}{108} \cdot 5 \cdot R_b \text{ max}$$

et

$$V_{b2} \leq 108 + 35 \cdot R_b \text{ min.}$$

Il en résulte de même manière :

$$\left(133 + \frac{133}{108} \cdot 5 \cdot \frac{R_b \text{ min} \times 110}{90} \right) \cdot \frac{105}{95}$$

$$\leq 108 + 35 \cdot R_b \text{ min}$$

$$R_b \text{ min} \geq 1.500 \text{ ohms.}$$

A laquelle correspond :

$$V_b \text{ min} \geq 144 \text{ volts}$$

soit (en valeurs minimum) :

$$R_b \text{ min} = 1.500 \text{ ohms} \quad V_b \text{ min} = 144 \text{ volts}$$

$$R_b \text{ nom} = 1.660 \text{ ohms} \quad V_b \text{ nom} = 152 \text{ volts}$$

$$R_b \text{ max} = 1.840 \text{ ohms} \quad V_b \text{ max} = 160 \text{ volts}$$

Les exemples 5 et 6 montrent bien que la tension d'alimentation sera d'autant plus élevée que le débit demandé sera plus grand, toutes choses étant égales par ailleurs.





RÉSOLUTION GRAPHIQUE DU PROBLÈME

Le procédé de calcul qui vient d'être exposé peut paraître fastidieux. Il est possible de résoudre graphiquement le problème, ainsi que l'a exposé Raymond G. MILES (note 3).

La solution graphique est basée sur le tracé de deux réseaux de courbes :

le réseau de courbes correspondant aux valeurs minimum de I_u et définissant la limite supérieure de la tension V_b , à savoir :

$$V_b = V_s + (I_{\max} + I_u) \cdot R_b$$

le réseau de courbes correspondant aux valeurs maximum de I_u et définissant la limite inférieure de V_b , à savoir :

$$V_b = V_s + (I_{\min} + I_u) \cdot R_b$$

ou

$$V_b = V_b \min + \frac{V_b \min}{V_s} \cdot R_b \cdot I_u$$

selon que l'une ou l'autre de ces expressions fournit une valeur supérieure de V_b .

Ces réseaux sont tracés sous la forme :

$$V_b = f(R_b)$$

I_u étant pris comme paramètre variable.

La connaissance de ces réseaux permet la détermination d'une des grandeurs : tension d'alimentation, résistance série, courant de charge, les deux autres une fois connues. Le point figuratif se situe à l'intérieur d'une zone déterminée par les deux courbes intéressées.

Ces réseaux ont été tracés pour les deux types de stabilisateurs OA2 et OB2 (fig 6 et 7). Leur utilisation apparaîtra clairement en reprenant les exemples donnés pages 11, 12, 13.

On ne perdra pas de vue dans la résolution de ces exemples que :

les courbes ayant pour paramètre $I_u \max$ délimitent les zones de minimum de V_b et de maximum de R_b .

les courbes ayant pour paramètre $I_u \min$ délimitent les zones de maximum de V_b et de minimum de R_b .

Premier exemple.

On dispose d'une source de tension de 300 volts, avec laquelle on veut stabiliser 150 volts, pour un débit variant de 0 à 20 mA. Valeur de R_b .

La courbe $I_u = 20 \text{ mA max}$
coupe $V = 300 \text{ V}$ à $R_b \max = 4.700 \text{ ohms}$.

La courbe $I_u = 0 \text{ mA min}$
coupe $V = 300 \text{ V}$ à $R_b \min = 5.000 \text{ ohms}$.

Ces données sont incompatibles. Le problème n'est pas soluble.

Pour $R_b \max = 5.000 \text{ ohms}$ et $V_b = 300 \text{ V}$, le courant max est inférieur à 20 mA, soit 18,5 mA (interpolation entre les courbes).

Deuxième exemple.

Quelle est la source de tension minimum qui permet de faire varier la charge de 0 à 20 mA ?

Les courbes $I_u = 20 \text{ mA}$ et $I_u \min = 0$ se coupent en un point

$$V_b = 350 \text{ volts}, R_b = 6.600 \text{ ohms}.$$

Troisième exemple.

Utilisant un tube OA2 avec une charge variant de 5 à 20 mA, comment choisir V_b et R_b si la source de tension est sujette à des variations de $\pm 5\%$?

Les courbes $I_{\min} = 5 \text{ mA}$ et $I_{\max} = 20 \text{ mA}$, se coupent en un point qui détermine le minimum possible de R_b et V_b soit ici :

$$V_b = 267 \text{ volts et } R_b = 3.300 \text{ ohms}.$$

Mais ces valeurs ne conviennent pas, car si la tension monte à sa valeur maximum

$$V_b = \frac{267 \times 105}{95} = 294 \text{ volts, le courant de}$$

charge ne doit pas alors tomber en dessous de 10 mA, courbe I_{\min} qui passe par le point $V_b = 294 \text{ volts}, R_b = 3.300 \text{ ohms}$.

NOTE 3. How to design V.R. tubes circuits, Raymond G. Miles, Electronics, octobre 1952, p. 133.

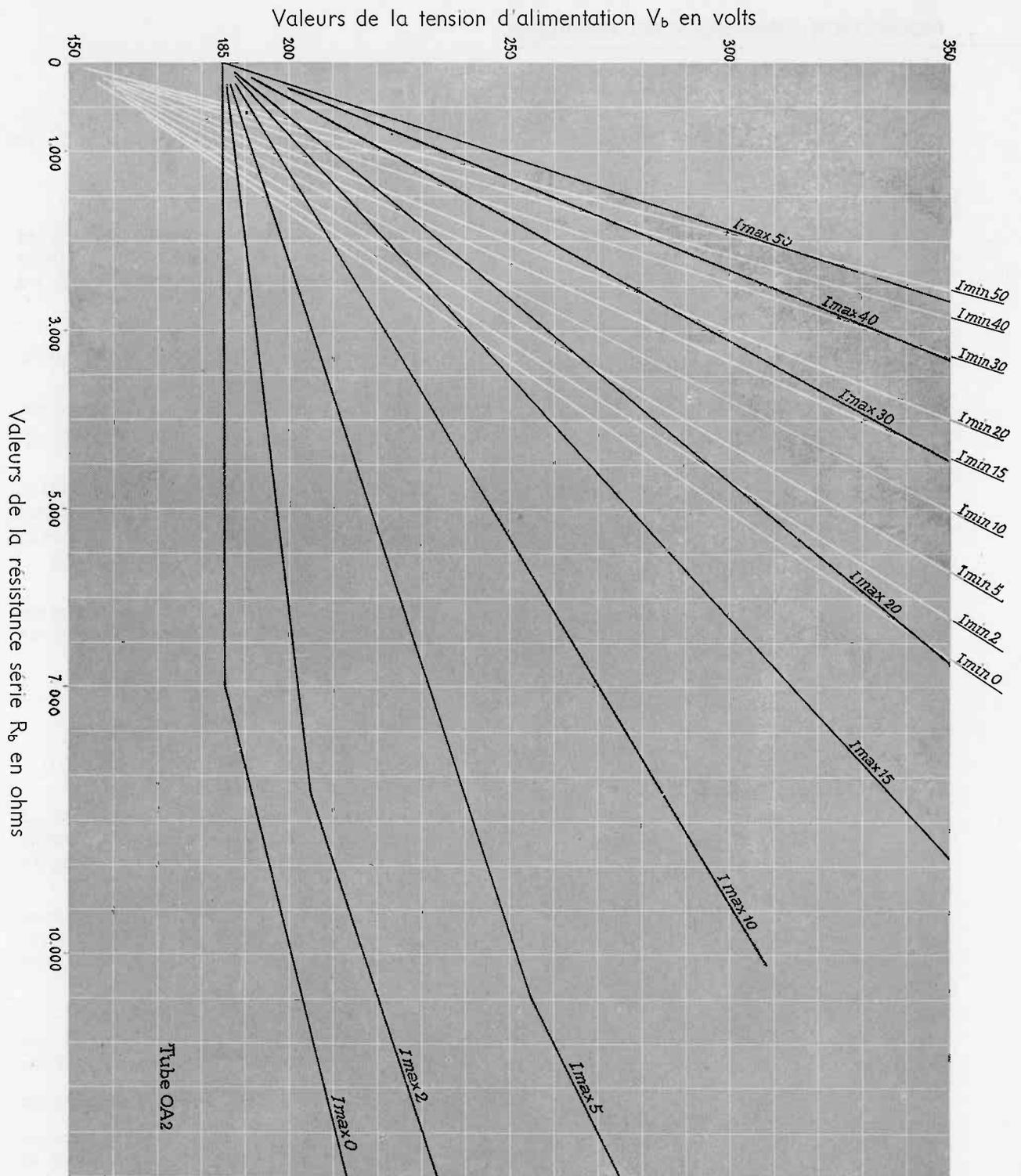


Fig. 6

Voir pages 17 et 18 un rappel schématique de



tubes électroniques MAZDA

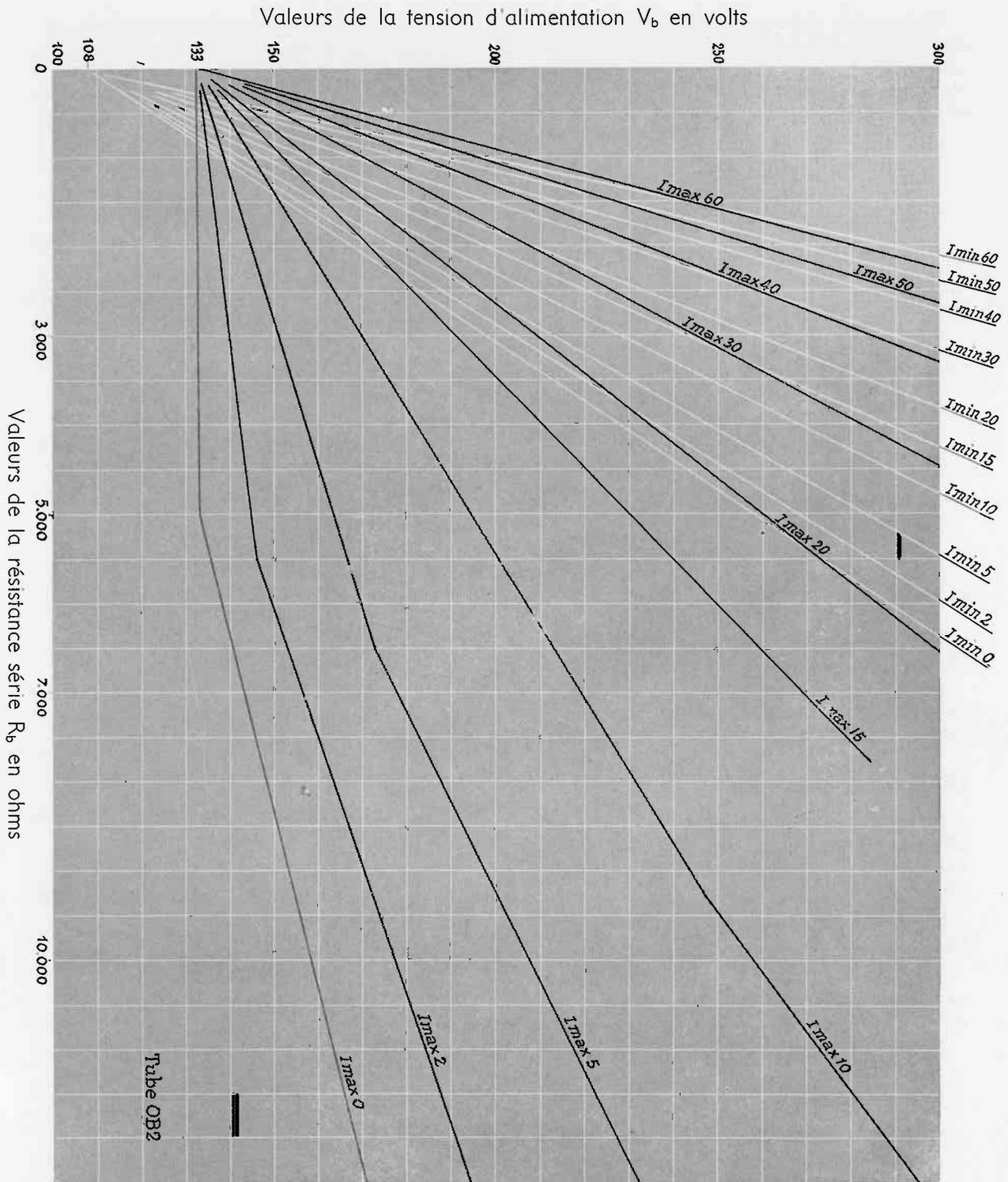


Fig. 7



On procède alors par approximation successive, en choisissant des valeurs arbitraires de R_b supérieures à celles trouvées par l'intersection des deux courbes I_{\min} et I_{\max} :

Ainsi si $R_b = 5.000$ ohms, $V_b \min = 308$ volts (point relevé sur la courbe $I_{\max} = 20$ mA) mais à cette valeur correspond

$$V_b \max = \frac{308 \times 105}{95} = 340 \text{ volts}$$

et le point $R_b = 5.000$ ohms, $V_b = 340$ volts correspond à $I_{\min} = 8$ mA, ce qui ne convient pas,

en prenant $R_b = 7.000$ ohms, on trouve, sur la courbe $I_{\max} = 20$ mA, $V_b \min = 360$ volts; soit $V_b \max = \frac{360 \times 105}{95} = 398$ volts.

Le point $V_b = 398$ V, $R_b = 7.000$ ohms admet un courant minimum de 5 mA.

On prendra donc cette valeur.

Quatrième exemple.

Mêmes données avec une source variant de ± 10 %.

Cet exemple ne sera pas repris ici, car il conduit à des valeurs de tension prohibitives et sera traité ultérieurement (page 22).

Cinquième exemple.

Le stabilisateur OB2 fournit un débit de 20 mA. Comment choisir V_b et R_b , si V_b varie de ± 5 % et R_b n'est donné qu'à 10 % près ?

Ici les valeurs de I_{\max} et I_{\min} se confondent avec 20 mA.

L'intersection des courbes $I_{\min} = 20$ mA et $I_{\max} = 20$ mA conduit à $V_b = 156$ volts et $R_b = 900$ ohms.

A la valeur minimum de R_b correspond, à l'intersection de la courbe $I_{\min} = 20$ mA le maximum de V_b .

A la valeur maximum de R_b correspond, à l'intersection de la courbe $I_{\max} = 20$ mA, le minimum de V_b .

On procédera par approximations successives en prenant des valeurs arbitraires de R_b , en cherchant sur les courbes le maximum et le minimum de V_b , et en regardant si les valeurs trouvées sont compatibles avec les variations de la source.

Avec $R_b \min = 2.000$ ohms

$R_b \max = 2.450$ ohms.

V_{b2} , relevé sur la courbe $I_{\min} = 20$ mA ≤ 208 volts.

V_{b1} , relevé sur la courbe $I_{\max} = 20$ mA ≥ 192 volts, ce qui correspond à un maximum supérieur à

$$\frac{192 \times 105}{55} = 212 \text{ volts}$$

Ces 2 valeurs ne sont donc pas compatibles.

Avec :

$R_b \min = 2.500$ ohms

$R_b \max = 3.050$ ohms

V_{b2} , relevé sur la courbe

$I_{\min} = 20$ mA ≤ 233 volts

V_{b1} , relevé sur la courbe

$I_{\max} = 20$ mA ≥ 207 volts.

ce qui correspond à un maximum :

$$\frac{207 \times 105}{95} = 229 \text{ volts.}$$

Ces deux valeurs sont donc compatibles et pourront être choisies.

Par interpolation entre ces deux valeurs, on peut chercher les valeurs minimum possibles, soit :

Avec :

$R_b \min = 2.400$ ohms

$R_b \max = 2.860$ ohms

Sur la courbe

$I_{\min} = 20$ mA $V_{b2} \leq 226$ volts

Sur la courbe

$I_{\max} = 20$ mA $V_{b1} \geq 204$ volts

et $\frac{204 \times 105}{95} = 226$ volts.



Cette valeur est donc la valeur minimum acceptable et correspond à

$$V_b \text{ nominal} = 215 \text{ volts}$$

$$R_b \text{ nominal} = 2.600 \text{ ohms.}$$

Sixième exemple.

Mêmes données, mais la charge n'est que de 5 mA.

L'intersection des courbes $I_{\min} = 5 \text{ mA}$ et $I_{\max} = 5 \text{ mA}$, conduit à

$$V_b = 140 \text{ V} \quad R_b = 900 \text{ ohms.}$$

Avec $R_b \text{ min} = 1.000 \text{ ohms}$, $R_b \text{ max} = 1.220 \text{ ohms}$:

$V_{b2} \leq 144 \text{ V}$ et $V_{b1} \geq 142 \text{ V}$
ne convient pas, car

$$\frac{105}{95} V_{b1} > 144 \text{ V.}$$

$$R_b \text{ min} = 2.000 \text{ ohms,}$$

$$R_b \text{ max} = 2.450 \text{ ohms,}$$

$$V_{b2} \leq 178 \text{ V} \quad V_{b1} \geq 152 \text{ V}$$

$$\frac{52 \times 105}{95} = 168 \text{ V.}$$

La valeur est satisfaisante, mais on peut envisager une valeur moindre telle que :

$$R_b \text{ min} = 1.500 \Omega, \quad R_b \text{ max} = 1.840 \Omega,$$

$$V_{b2} \leq 160 \text{ V}, \quad V_{b1} \geq 145 \text{ V}$$

$$\frac{145 \times 105}{95} = 160 \text{ V.}$$

On prendra $V_b \text{ nom} = 150 \text{ volts}$,
 $R_b \text{ nom} = 1.650 \text{ ohms}$.

RÉSUMÉ DE LA RÉOLUTION DES CAS SIMPLES POUR UN TYPE DE STABILISATEUR DONNÉ

A) La tension d'alimentation est donnée, les courants de charges minimum et maximum sont connus. On recherche la résistance série.

Tracer une horizontale à la valeur de la tension d'alimentation.

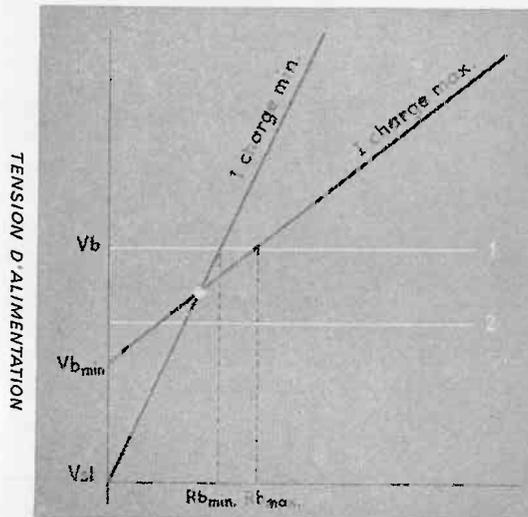


Fig. 7 bis

L'intersection avec I_{\min} donne la valeur minimum de R_b .

L'intersection avec I_{\max} donne la valeur maximum de R_b .

Choisir R entre ces 2 valeurs (horizontale 1).

Cas particuliers :

1) Si la valeur sur I_{\max} est inférieure à la valeur sur I_{\min} (horizontale 2), le problème est insoluble, la tension d'alimentation est insuffisante.

2) Si le courant de charge ne doit pas varier, prendre aussi bien le courant I_{\min} que I_{\max} correspondant à cette valeur unique. La méthode reste la même.

B) Les courants de charges minimum et maximum sont donnés. On recherche la valeur de la tension d'alimentation et de la résistance série.

L'intersection des courbes correspondant au courant de charges minimum d'une part, maximum d'autre part, donne les valeurs minimum possible de V_b et R_b .



C) Mêmes données qu'en B, mais le secteur est susceptible de varier de 5 (ou 10 %).

Procéder comme en B; considérer la valeur obtenue comme celle correspondant au secteur diminué de 5 % (ou 10 %).

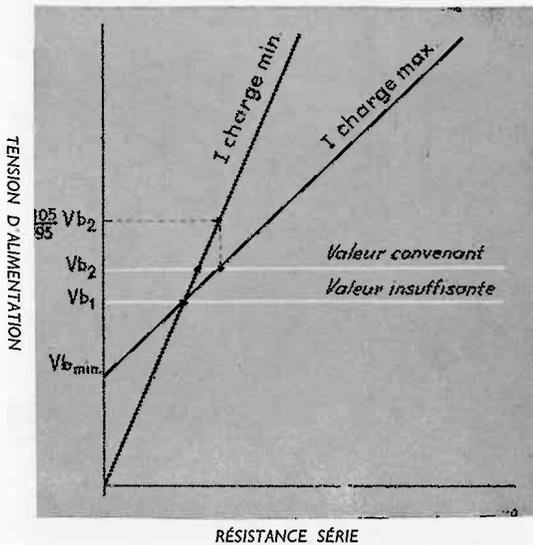


Fig. 7 ter

QUALITÉ DE LA RÉGULATION

Les conditions d'emploi étant déterminées il est intéressant d'examiner quelle est la régulation donnée par le montage en fonction des variations de la tension d'entrée, tous autres paramètres restant égaux par ailleurs.

Considérons la caractéristique du tube T pour des courants compris entre les valeurs minimum et maximum. Elle est dans cette zone assimilable à une droite.

Pour simplifier l'écriture, on désignera par A et B les deux points de fonctionne-

ment correspondant aux courants minimum et maximum, soit I_A et I_B et par V_{sA} et V_{sB} les tensions de stabilisation correspondantes.

$$V_b \times \frac{105}{95} \left(\text{ou } V_b \times \frac{110}{90} \right)$$

ment correspondant aux courants minimum et maximum, soit I_A et I_B et par V_{sA} et V_{sB} les tensions de stabilisation correspondantes.

On a déjà indiqué que $V_{sB} - V_{sA}$ constituait la plage de régulation et le rapport $\frac{V_{sB} - V_{sA}}{I_B - I_A}$ la résistance interne du tube, soit r (note 4).

La courbe caractéristique a pour équation :

$$V_s = r \cdot I + Cte = rI + V_0.$$

(1) NB - Se rappeler que sur les courbes I_{max} , R_b est maximum sur les courbes I_{min} , R_b est minimum

NOTE 4. Pour les OA2 et OB2 $V_{sA} - V_{sB} = 2$ volts, $r = 80$ ohms. Il s'agit de valeurs moyennes, les tubes pouvant en réalité prendre des valeurs plus petites ou supérieures à ces données. Au maximum $V_{sA} - V_{sB} = 6$ volts, $r = 240$ ohms.

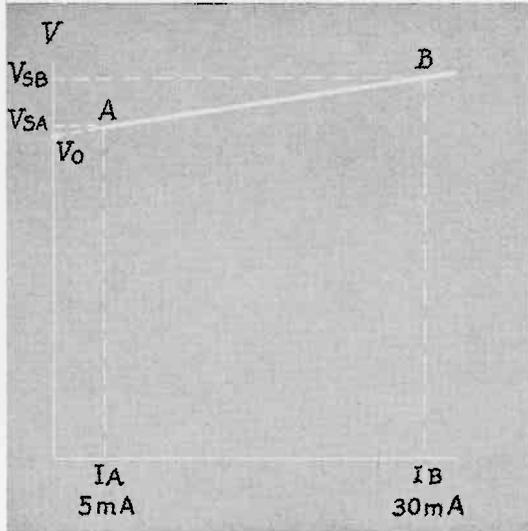


Fig. 8

Reprenant ci-dessous le circuit de base, on cherchera à évaluer le rapport $\frac{dV_b}{dV_s}$ qui définit la régulation apportée par le montage.

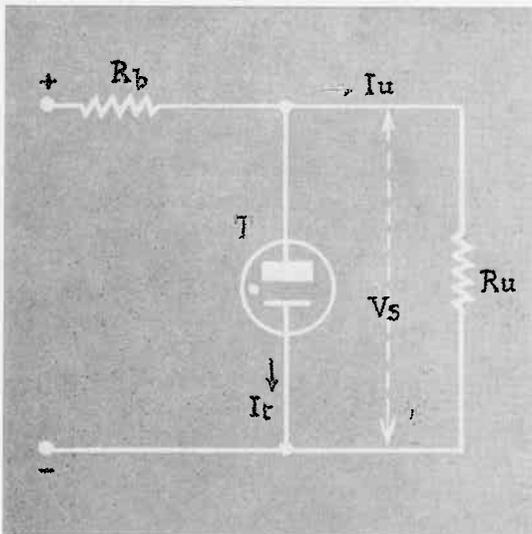


Fig. 9

La tension V_s est définie par 3 équations :

- (1) $V_s = R_u I_u$
- (2) $V_s = rI + V_0$
- (3) $V_s = V_b - R_b (I + I_u)$

V_s s'exprime en fonction de V_b et des paramètres des circuits, en éliminant I et I_u de ces trois équations.

$$I_u = \frac{V_s}{R_u}$$

$$I = \frac{V_s - V_0}{r}$$

$$V_s = V_b - R_b \left[\frac{V_s - V_0}{r} + \frac{V_s}{R_u} \right]$$

$$V_s \left[1 + \frac{R_b}{r} + \frac{R_b}{R_u} \right] = V_b + \frac{V_0 R_b}{r}$$

$$V_s = \frac{V_b \cdot r \cdot R_u + V_0 \cdot R_s \cdot R_u}{r \cdot R_u + R_s \cdot R_u + r \cdot R_s}$$

$$= \frac{V_b \cdot r + V_0 \cdot R_b}{r + R_b + r \cdot \frac{R_b}{R_u}}$$

Le rapport de stabilisation $\frac{dV_b}{dV_s} = \delta$ s'exprime d'après l'équation précédente.

$$\delta = \frac{r + R_b + r \frac{R_b}{R_u}}{r}$$

ou en remplaçant $r \cdot \frac{R_b}{R_u}$ par son expression en fonction de V_s et V_b soit :

$$r \cdot \frac{R_b}{R_u} = \frac{V_b \cdot r + V_0 \cdot R_b - (r + R_b) \cdot V_s}{V_s}$$

$$\delta = \frac{V_b \cdot r + V_0 \cdot R_b}{r \cdot V_s}$$

On voit donc que δ est proportionnel à V_b , proportionnel à R_b , inversement proportionnel à V_s .

Pour un stabilisateur donné, la régulation sera d'autant meilleure que la tension d'alimentation sera élevée.

Pour des stabilisateurs de type OA2 et OB2, fonctionnant à faible courant, V_0 et V_s sont voisins, on a sensiblement :

$$\delta = \frac{V_b}{V_s} + \frac{R_b}{r}$$

Applications.

Dans l'exemple N° 2 (stabilisateur OA2)

$$V_b = 350 \text{ V} \quad V_s = 150 \text{ V}$$

$$R_b = 6.600 \text{ ohms} \quad r = 80 \text{ ohms}$$



$$\delta = \frac{350}{150} + \frac{6,6}{0,08} = 2,33 + 82,5 = 84,8$$

si $\frac{\Delta V_b}{V_b} = \pm 5\%$ $\Delta V_0 = \pm 17,5 \text{ V}$
 $\Delta V_s = \pm 0,21 \text{ V}$.

Dans l'exemple N° 5 (stabilisateur OB2)
 $V_b = 215 \text{ V}$.

$R_b = 2.600 \text{ ohms}$ la source varie de 5 %

$$\delta = \frac{215}{108} + \frac{2,60}{0,08} = 2 + 32,5 = 34,5.$$

Si $\Delta V_b = \pm \frac{215 \times 5}{100} = \pm 10,75 \text{ V}$

$$\Delta V_s = \pm \frac{10,75}{34,5} = \pm 0,31 \text{ V}.$$

Dans l'exemple N° 6 (stabilisateur OB2)

$$V_b = 152 \text{ V} \pm 5\%$$

$$R_b = 1.660 \text{ ohms}$$

$$\delta = \frac{152}{108} + \frac{1,66}{0,08} = 1,4 + 20,8 = 22,2.$$

Si $\Delta V_b = \frac{150 \times 5}{100} = \pm 7,5 \text{ V}$

$$\Delta V_s = \pm \frac{7,5}{22,2} = \pm 0,34 \text{ V}.$$

Il est intéressant de constater numériquement que le fait d'augmenter la tension d'alimentation améliore la qualité de la régulation, quoique en valeur absolue V_b croisse notablement. Ce point est mis en évidence par les deux derniers exemples.

Les variations de la source sont exprimées en général en pourcentage. La qualité de régulation s'exprimera mieux par :

$$\delta' = \frac{\Delta V_b}{V_b} : \frac{\Delta V_s}{V_s}$$

rapport des variations relatives de la tension d'entrée aux variations relatives de la tension de sortie.

$$\delta' = \frac{V_b \cdot r + V_0 \cdot R_b}{r \cdot V_s} \times \frac{V_s}{V_b}$$

$$\delta' = 1 + \frac{V_0 \cdot R_b}{r \cdot V_b}$$

En assimilant, sans erreur notable, V_0 et V_s :

$$\delta' \simeq 1 + \frac{V_s \cdot R_b}{V_b \cdot r}$$

Applications :

Exemple N° 2 :

$$\delta' = 1 + \frac{150}{350} \times \frac{6,6}{0,08} = 1 + 35,4 = 36,4$$

si

$$\frac{\Delta V_b}{V_b} = 5\% \quad \frac{\Delta V_s}{V_s} = \frac{5\%}{35,4} = 0,14\%$$

Exemple N° 5 :

$$\delta' = 1 + \frac{108}{215} \times \frac{2,60}{0,08} = 1 + 16,4 = 17,4$$

si

$$\frac{\Delta V_b}{V_b} = 5\% \quad \frac{\Delta V_s}{V_s} = 0,29\%$$

Exemple N° 6 :

$$\delta' = 1 + \frac{108}{152} \times \frac{1,66}{0,08} = 1 + 14,8 = 15,8$$

si

$$\frac{\Delta V_b}{V_b} = 5\% \quad \frac{\Delta V_s}{V_s} = 0,31\%$$

GROUPEMENT DES TUBES STABILISATEURS

L'exposé ci-dessus a montré que la stabilité que l'on peut attendre d'un montage à tubes stabilisateurs est satisfaisante dans de très nombreux cas, à condition que les tubes soient placés dans des conditions de fonctionnement correctes.

Il nous reste à donner quelques détails sur le groupement des tubes stabilisateurs,

soit en série, soit en parallèle, et à examiner l'influence de ces groupements sur la stabilité des montages.

1° Mise en série de tubes stabilisateurs.

Ce montage (fig. 10) est utilisé lorsque la tension désirée est la somme de la ten-

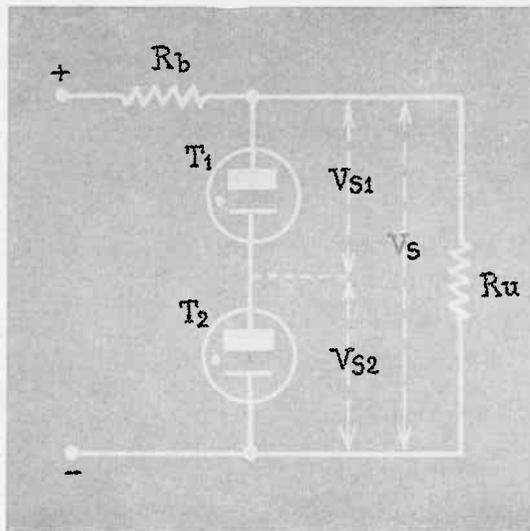


Fig. 10

sion disponible aux bornes de chaque tube. Il est évident que la tension de stabilisation est égale à $V_{s1} + V_{s2}$, pour des courants dans les stabilisateurs compris entre I_{min} et I_{max} : si les deux tubes sont des OA2 ou des OB2, I_{min} et I_{max} sont identiques et respectivement égaux à 5 et 30 mA ; si l'on était conduit à associer deux tubes dont les valeurs extrêmes de courants soient différentes, les valeurs à considérer seraient la plus forte pour I_{min} et la plus faible pour I_{max} , et il faudrait qu'il y ait compatibilité entre ces valeurs ($I_{min} < I_{max}$).

Les équations de fonctionnement données plus haut pour un seul tube, qui permettent la détermination de la tension d'alimentation et de la résistance série sont donc valables en faisant :

$$V_s = V_{s1} + V_{s2}$$

$$V_b \text{ min} = V_b \text{ min}_1 + V_b \text{ min}_2$$

Cette deuxième formule peut prêter à discussion : elle suppose en effet que l'amorçage des deux tubes a lieu simultanément. Or un tube stabilisateur non amorcé se comporte en principe comme un coupe-circuit : le montage figure 10 serait donc hors d'état de fonctionner à la mise en route, aucun des tubes ne recevant la tension d'alimentation. L'expérience prouve que, si V_b est suffisant, il y a toujours amor-

çage. On est donc en droit de supposer qu'il existe une préionisation légère précédant toute action de la haute tension (note 5), qui permet le démarrage du phénomène, et par suite l'amorçage des tubes.

La mise en série des tubes ne nuit pas à la qualité de la régulation : la plage de régulation est égale à la somme des plages de régulation de chaque tube, les résistances internes à la somme des résistances et pour des tubes de mêmes caractéristiques le rapport $\frac{\Delta V_s}{V_s}$ se conserve.

2° Mise en parallèle des tubes stabilisateurs.

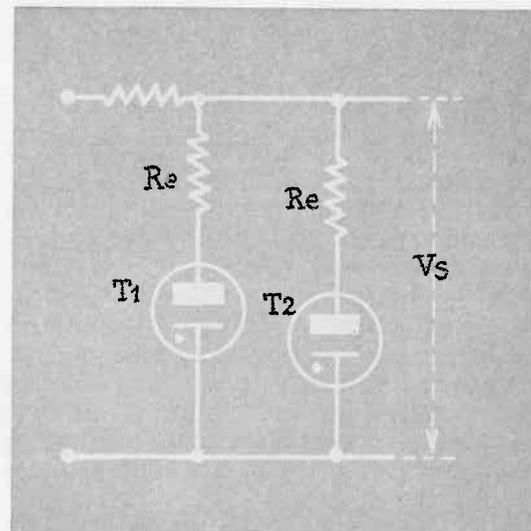


Fig. 11

Elle est nécessaire lorsqu'un tube aurait à supporter des variations de courants trop importantes. Ceci se produit dans trois cas :

- variation du courant de charge supérieure à la différence $I_{max} - I_{min}$,
- courant de charge important,
- variation de la tension du secteur importante.

NOTE 5. Voir page 5, les facteurs qui influent sur l'amorçage et le fonctionnement des stabilisateurs.



Si l'emploi d'un seul tube stabilisateur n'est permis d'aucune façon dans le premier cas, il peut être envisagé dans les deux autres cas, mais comme on l'a vu dans les exemples exposés précédemment (exemple N° 4) il conduit à des tensions d'alimentation très élevées par rapport à la tension désirée.

Cette solution onéreuse à un seul tube stabilisateur peut être évitée par la mise en parallèle de deux tubes stabilisateurs. Pour le calcul de la tension d'alimentation V_b et de la résistance R_b , on prendra :

V_s = la tension de stabilisation de chaque tube (on ne peut évidemment mettre en parallèle que des tubes de même nature).

$V_b \text{ min}$ = la tension minimum d'alimentation de chaque tube,

$$I \text{ min} = I \text{ min}_1 + I \text{ min}_2,$$

$$I \text{ max} = I \text{ max}_1 + I \text{ max}_2.$$

On est toutefois obligé de mettre en série avec chaque tube une résistance d'égalisation R_e de 100 ohms qui facilite l'égalisation des courants entre les deux tubes et compense les légères différences entre les tensions de stabilisation des tubes : cette résistance R_e est traversée par un courant variable : elle entraîne donc une diminution de la stabilisation, puisqu'à la variation due au tube lui-même s'ajoute la variation de tension inévitable aux bornes de la résistance (variation de 2,5 volts dans les cas extrêmes).

Ainsi dans les cas où l'on hésite entre l'emploi d'un ou deux tubes stabilisateurs, on examinera s'il est préférable d'utiliser une tension d'alimentation élevée, ou si au contraire, on peut admettre une stabilisation de qualité un peu inférieure : un des facteurs jouant dans ce choix repose sur les possibilités de réalisation de l'ensemble redresseur : un tube redresseur de série courante fournit aisément 300 volts (série miniature) ou même 400 volts (série octale). Au-delà, il faut avoir recours à des tubes spéciaux et des éléments (transformateurs, éléments de filtrage) mieux isolés. Tous ces points sont à considérer.

Exemple.

Le 4^e exemple page 16 a les données suivantes :

Tension de stabilisation 150 volts.

Courant de charge variant entre 5 et 20 mA.

La source d'alimentation subit des variations de 10 %.

On a donc :

$$I \text{ min} = 10 \text{ mA} \quad I \text{ max} = 60 \text{ mA}$$

L'inégalité (2) :

$$V_{b1} \geq V_b \text{ min} + \frac{V_b \text{ min}}{V} R_b \cdot I_u$$

donne :

$$V_{b1} \geq 185 + \frac{185}{150} \cdot 20 \cdot R_b.$$

L'inégalité (3) :

$$V_{b2} \leq V_s + (I_u \text{ min} + I \text{ max}) R_b$$

est à modifier légèrement

pour introduire le terme

$$R_e \cdot \frac{I \text{ max}}{2} \text{ qui s'ajoute à } V_s.$$

Elle devient :

$$V_{b2} \leq V_s + R_e \frac{I \text{ max}}{2} + (I_u \text{ min} + I \text{ max}) R_b$$

et donne :

$$V_{b2} \leq 150 + 0,1 \times 30 + (5 + 60) R_b$$

De même l'inégalité (4) devient :

$$V_{b1} \geq V_s + R_e \frac{I \text{ min}}{2} + (I_u \text{ max} + I \text{ min}) R_b$$

$$V_{b1} \geq 150 + 0,1 \times \frac{10}{5} + (20 + 10) R_b.$$

Nous résolverons (2) et (3) et vérifierons que la valeur trouvée convient à (4).

Nous avons :

$$V_{b2} = V_{b1} \times \frac{110}{90}$$

Il vient donc :

$$V_{b1} \geq 185 + \frac{185 \times 20}{150} R_b \quad (2)$$



$$\text{et } \frac{11}{9} V_{b1} \leq 153 + 65 R_b \quad (3)$$

soit :

$$\left(185 + \frac{185}{150} 20 \cdot R_b\right) \frac{11}{9} \geq 153 + 65 R_b$$

Cette équation est satisfaite pour :

$$R_b \geq 2,1 \text{ Kilohms}$$

ce qui entraîne d'après (2) $V_{b1} \geq 234$ volts.

REMARQUES COMPLÉMENTAIRES SUR L'EMPLOI DES TUBES STABILISATEURS

1° Brochage.

Le brochage des tubes OA2 et OB2 à sorties multiples de cathode et d'anode n'est pas uniquement nécessité par la fixation mécanique des électrodes. Cette disposition a été adoptée pour donner à l'utilisateur une sécurité supplémentaire.

En effet, si le tube est monté comme il est indiqué sur la figure 12 le fait d'enlever le tube de son support supprime la tension aux bornes de la charge. Or, en l'absence de tube, la tension appliquée à l'utilisation serait notablement supérieure à la tension normale, ainsi qu'il ressort des circuits précédemment étudiés, ce qui risquerait d'entraîner une détérioration des éléments constituant la charge, et que l'on a tenu au contraire à protéger.

Le brochage des OA2 et OB2 est donc prévu pour éviter toute surcharge accidentelle de l'utilisation.

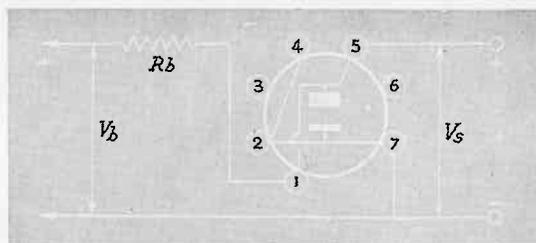


Fig. 12

La valeur nominale de la tension d'alimentation est les $\frac{10}{9}$ de V_{b1} , soit 260 volts, la valeur maximum est 286 volts. L'équation (4) est satisfaite si $V_{b1} \geq 213$ volts, ce qui est le cas.

On se souvient qu'un seul tube aurait conduit à 650 volts. Cette deuxième solution est donc préférable.

2° Respect de la polarité.

Il est déconseillé d'employer les tubes avec des polarités inverses de celles pour lesquelles ils ont été prévus.

En effet, par construction les deux électrodes ont une structure différente en vue de remplir leur rôle respectif de cathode et d'anode. Les traitements auxquels elles sont soumises diffèrent. Les tubes sont « formés » et leurs caractéristiques sont stabilisées dans le sens convenable des polarités.

Le fonctionnement des tubes en polarité inversée conduit à des tensions d'amorçage et de stabilisation qui dépassent notablement les valeurs normales. Il n'est du reste pas possible d'en garantir la stabilité : la tension de stabilisation augmente très rapidement avec le courant. De plus, si un fonctionnement de courte durée en polarité inversée ne détruit pas la qualité du tube après retour au sens normal, un fonctionnement prolongé risquerait d'altérer ses caractéristiques.

Il en résulte que le fonctionnement en alternatif est déconseillé pour toute diode à gaz où les deux électrodes sont différenciées. Ces tubes sont uniquement destinés à la stabilisation de tensions continues.



3° Capacité maximum aux bornes du tube.

Lorsqu'une capacité est placée en parallèle sur le tube stabilisateur, on devra veiller à ce qu'elle n'ait pas une valeur élevée. Le circuit ainsi constitué est en effet susceptible d'entrer en oscillation, ce qui entraîne la superposition d'une tension alternative à la tension continue de régulation.

La valeur de capacité qu'il est conseillé de ne pas dépasser est de 0,1 μ F.

4° Durée de vie des tubes stabilisateurs.

Le vieillissement des tubes stabilisateurs se traduit par une variation des caractéris-

tiques : les tensions de stabilisation et d'amorçage ont tendance à croître lentement.

L'évolution du tube stabilisateur employé à débit constant se présente de la manière suivante : après quelques dérives au cours des premières heures, le tube prend son état de régime qui se maintient pendant plusieurs milliers d'heures. Ensuite la tension de stabilisation commence à croître. On peut considérer comme limite extrême de vie le moment où le tube sort des valeurs extrêmes de caractéristiques prévues pour le type de tube considéré. Ce temps est de l'ordre de 10.000 heures.

Résumé des caractéristiques des tubes stabilisateurs OA2 - OB2 - 6073 - 6074

	Tension CC d'amorçage		Tension de fonctionnement à 5 mA		Tension de fonctionnement à 30 mA		Plage de régulation entre 5 et 30 mA		
	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum	
OA2	155	186	142	150	150	165	2	6	volts
OB2	115	133	102	108	108	113	1,5	4	volts
6073	155	165	142	150	150	158	2	5	volts
6074	115	133	103	108	108	113	1,5	4	volts

NB. - Les valeurs données au catalogue sont les valeurs moyennes.

Les autres données indiquent d'après les normes actuellement en vigueur, les écarts de caractéristiques éventuels d'un tube à l'autre et tiennent compte de la tenue dans le temps.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- W. R. BERG — Optimun parameter for gas tube voltage regulators.
(Electronics - Octobre 1947 - pages 136 à 138).
- R. C. MILES — How to design VR tube circuits.
(Electronics - Octobre 1950 - pages 135 à 137).
- F. A. BENSON — A study of the characteristics of glow discharge voltage regulator tubes.
(Electronic Engineering - Septembre 1952, pages 396 à 402 et Octobre 1952, pages 456 à 460).

LAMPE MAZDA

COMPAGNIE DES LAMPES
 SOCIÉTÉ ANONYME CAPITAL 1.026.000.000 DE FRF
 DÉPARTEMENT TUBES ÉLECTRONIQUES
 29, RUE DE LISBONNE - PARIS (VIII^e)
 TÉL. : LABORDE 72-60 à 68
 ADR. TÉL. MAZDALAMP-PARIS — R. C. SEINE 54-B-5088

MAGASINS ET DÉPÔTS DE LA RÉGION PARISIENNE

Magasin " SAINT-DENIS "	101, rue du Fg-St-Denis (10 ^e)	Tél TAI	53-43
Dépôt MAZDA-RADIO	116, cours de Vincennes (12 ^e)	Tél. DOR.	66-25
Dépôt MAZDA-RADIO	58, faubourg Poissonnière (10 ^e)	Tél. PRO.	82-42
Dépôt MAZDA-RADIO	8, rue de l'Arrivée (15 ^e)	Tél. LIT.	32-60
Dépôt MAZDA-RADIO	11, boul. St-Marcel (13 ^e)	Tél. GOB.	22-74
Dépôt MAZDA-RADIO	32, avenue Gambetta (20 ^e)	Tél. ROQ.	65-82
Dépôt MAZDA-RADIO	25, rue Duret (16 ^e)	Tél. KLE.	04-36
Dépôt MAZDA-RADIO	4, impasse St-Claude (3 ^e)	Tél. TUR.	39-76
Dépôt MAZDA-RADIO	6, cité Trévise (9 ^e)	Tél. PRO.	49-64
Dépôt MAZDA-RADIO	39-41, rue des Cloys (18 ^e)	Tél. CLI.	19-76
Dépôt MAZDA-RADIO	42, rue de Dantzig (15 ^e)	Tél. VAU.	93-01
Dépôt MAZDA-RADIO	30, rue Jules-Guesde (14 ^e)	Tél. SUF.	30-82
Dépôt MAZDA-RADIO	39, rue du Faubourg-Poissonnière (9 ^e)	Tél. PRO.	29-82
Dépôt MAZDA-RADIO	1, rue J.-J.-Rousseau ASNIERES	Tél. GRE.	33-34
Dépôt MAZDA-RADIO	30, rue Decorse, ST-MAURICE	Tél. ENT.	23-03
Dépôt MAZDA-RADIO	95, avenue de Paris, ST-MANDE	Tél. DAU.	47-79
Dépôt MAZDA-RADIO	9, Pl. Square-P.-de-Geyter, ST-DENIS	Tél. PLA.	46-83
Dépôt MAZDA-RADIO	1, rue du Général-Leclerc, VERSAILLES	Tél. VER.	32-29

AGENCES COMPAGNIE DES LAMPES - PROVINCE

ALSACE	Strasbourg (Bas-Rhin)	8, rue Finkmatt.
CENTRE	Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme)	20, rue Blatin.
EST	Nancy (Meurthe-et-Moselle)	53, avenue Foch.
ILE-DE-FRANCE	Paris (11 ^e)	33, av. de la République.
NORD	Lille (Nord)	42, rue Basse.
NORMANDIE	Rouen (Seine-Inférieure)	48 et 50, rue du Renard.
OUEST	Nantes (Loire-Inférieure)	8, rue Harrouys.
SUD	Toulouse (Haute-Garonne)	2, rue Delacroix.
SUD-EST	Marseille (Bouches-du-Rhône)	148, rue Paradis.
SUD-OUEST	Nice (Alpes-Maritimes)	5, pas. Temple-Vaudois.
M. BERGER	Bordeaux (Gironde)	125, cours Alsace-Lorraine.
M. LEVI	Saint-Etienne (Loire)	13, rue Blanqui.
MM. PELLET & SOIGNAC	Marseille (Bouches-du-Rhône)	3, rue Saint-Jacques.
	Lyon (Rhône)	301, rue Duguesclin.

SUCCURSALES ET BUREAUX DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ

AMIENS (Somme)	48, rue Lavallard.	METZ (Moselle)	3, avenue Serpenoise.
AVIGNON (Vaucluse)	40, rue St-Christophe.	MONTPELLIER (Hérault)	25, faubourg de Nîmes.
BORDEAUX (Gironde)	220, cours de la Marne.	NANCY (Meurthe-et-Moselle)	78, rue Raymond-Poincaré.
CLERMONT-FERRAND (P.-de-D.)	22, rue A. Audolent.	NANTES (Loire-Inférieure)	4, rue Linné, Boîte post. 220.
DIJON (Côte-d'Or)	4, rue Montmartre.	NICE (Alpes-Maritimes)	31, avenue Auber.
GRENOBLE (Isère)	36, rue d'Alembert.	RENNES (Ille-et-Vilaine)	57, rue Duhamel.
LIMOGES (Haute-Vienne)	17, rue de Châteauroux.	SAINT-ETIENNE (Loire)	7, rue Balzac.
LILLE (Nord)	289, rue de Solferno.	STRASBOURG (Bas-Rhin)	13, rue Déserte.
LYON (Rhône)	38, cours de la Liberté.	TOULOUSE (Haute-Garonne)	14, rue Bayard.
MARSEILLE (B.-du-Rhône)	65, avenue du Prado.	TOURS (Indre-et-Loire)	24-26, rue des Docks.

OUTRE-MER

ALGERIE	A.O.F.
ALGER. — Société Alsthom, 1, rue Denfert-Rochereau. Tél. 300-56 et 300-57.	Compagnie Générale d'Electricité (Iris), 2, avenue Gambetta, DAKAR, B.P. 237.
Compagnie Générale d'Electricité, 12, bd Auguste-Comte. Tél. 675-95.	Anciens Etablissements Ch. Peyrissac et Cie Siège : 42, allées d'Orléans, Bordeaux. Tél. 44-63-11, 12 et 13.
ORAN. — Société Alsthom, 17, avenue Emile-Loubet. Tél. 249-91 et 92.	Comptoirs à Bamako (Soudan) ; Bobo Dioulasso (Haute-Volta) ; Abidjan (Côte d'Ivoire) ; Conakry (Guinée) ; Kayes (Soudan) ; Saint-Louis, Kaolack et Thies (Sénégal) ; Ségou (Soudan).
Compagnie Générale d'Electricité, 34 ter, bd Hippolyte-Giraud.	
TUNISIE	A.E.F.
TUNIS. — Etablissement V. Constantin et Cie, 15-17, rue Es-Sadikia. Tél. 04-73.	DOUALA. — Compagnie Générale d'Electricité, avenue Poincaré. B.P. 326.
Compagnie Générale d'Electricité, 8, impasse de Salonique. Tél. 27-16, 58-74 et 58-75.	
Ets S. Dana, 20, rue de Colmar. Tél. 15-64 et 53-88.	INDOCHINE
Scialom, 6, avenue de Paris.	SAIGON. — Société Anonyme Frexor, 59-65, boulevard Charner. Tél. 20-435.
MAROC	MARTINIQUE
CASABLANCA. — Compagnie Générale d'Electricité, 52, boulevard de la Résistance Française. Tél. 630-21. B. P. N° 807.	FORT-DE-FRANCE. — M. Tersen, B. P. N° 59.
	MADAGASCAR
	TANANARIVE. — M. Fossard, avenue de la Libération. B. P. 339.