POUR LES ÉTUDIANTS... ET LES PROFESSEURS

CALCULS

Les stabilisateurs de tension à tubes à gaz

Bien que les stabilisateurs à semiconducteurs (transistors et diodes Zener) soient actuellement très à la mode, les montages utilisant des tubes à gaz, allant d'une simple ampoule au néon jusqu'aux « stabilivolts » et autres « stabilitrons », donnent des résultats aussi bons et conduisent, parfois, à des solutions plus simples.

On peut ajouter que beaucoup de techniciens possèdent encore de tels tubes, de sorte qu'avant de parler de stabilisateurs à semiconducteurs il est nécessaire de déblayer le terrain des stabilisateurs tout court.

Rappel de quelques notions essentielles

Un tube stabilisateur est constitué de deux électrodes placées dans une atmosphère de gaz inerte, généralement argon, hélium ou néon. La caractéristique statique d'un tube stabilisateur s'obtient en appliquant à ce tube une tension croissante E, à travers une résistance série R, et en mesurant le courant I à travers le tube et la tension V à ses bornes (fig. 1).

Pour commencer, la tension E croît sans qu'il y ait un courant à travers le milliampèremètre M. Lorsque la tension V aux bornes du tube St. atteint une certaine valeur V_a, dite *tension d'amorçage*, un certain courant traverse le tube stabilisateur, après quoi la tension V diminue jusqu'à une certaine valeur V_s, dite *tension de stabilisation*, légèrement inférieure à V_a et correspondant à une valeur I_{min} du courant à travers le tube.

Si l'on continue à augmenter la tension d'alimentation E, le courant I augmente, mais la tension V_s ne varie pratiquement pas jusqu'à ce que I atteigne une certaine valeur I_{max}, à partir de laquelle la tension V recommence à croître.

Le graphique de la figure 2 ne traduit que très grossièrement le déroulement de ces différents phénomènes, car on pourrait penser, en le regardant, qu'un certain courant existe pendant l'accroissement de la tension V de 0 à V_a. De plus, la tension V_s n'est pas rigoureusement stable, en réalité, dans l'intervalle de I_{min} à I_{max}, mais augmente légèrement, d'une certaine quantité ΔV_s, très faible par rapport à V_s, mais parfaitement mesurable. Le graphique de la figure 3 traduit donc mieux le comportement du montage de la figure 1, et on notera que les notices des fabricants se contentent d'indiquer, pour chaque tube, la portion de la courbe comprise entre les points *a* et *b*.

Dans un montage réel, un stabilisateur travaille sur une charge, que l'on assimile à une certaine résistance R_c parcourue par le courant correspondant I_c (fig. 4). Pour calculer un tel stabilisateur nous avons besoin de connaître :

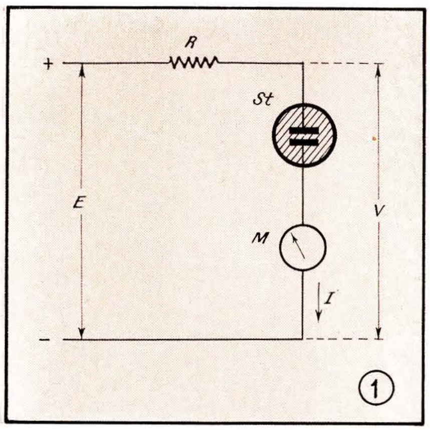

Fig. 1. — Lorsque la tension d'entrée E varie, la tension de sortie V varie d'une façon non linéaire.

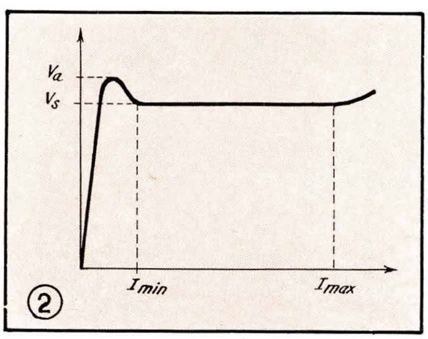

Fig. 2. — Allure très approximative de la variation de la tension de sortie V.

1. — La valeur minimale E_{min} de la tension d'alimentation ;

2. — La tension stabilisée V_s, compte tenu de la « marge » ΔV_s ;

3. — La valeur minimale I_{min} du courant I_s à travers le tube ;

4. — La valeur maximale I_{max} de ce même courant.

D'autre part, si nous assimilons la portion *a b* de la courbe de la figure 3 à une droite, nous pouvons en définir la pente

$$\frac{\Delta V_s}{I_{max} - I_{min}},$$

c'est-à-dire ce que l'on pourrait appeler la *résistance interne* du tube stabilisateur. Cette résistance interne, appelons-la R_i, varie suivant le type du tube, mais demeure toujours faible, comprise entre 100 et 500 Ω pour la plupart des tubes courants.

Bases du calcul

Le montage élémentaire de la figure 4 peut être défini par les deux relations suivantes :

$$E = R_1 (I_s + I_c) + V_s ;$$

$$I_c = \frac{V_s}{R_c}.$$

Généralement, la charge, c'est-à-dire R_c et I_c, ainsi que la valeur V_s de la tension stabilisée, nous sont connues, de sorte que le problème se réduit au choix du tube stabilisateur (en fonction de V_s) et à la détermination de R_1 et de E.

D'un autre côté, on nous impose souvent le coefficient de stabilisation K que doit présenter le montage à calculer, et qui est défini par le rapport de la variation ΔE de la tension d'alimentation à la variation correspondante ΔV_s de la tension stabilisée, les deux étant exprimées en pourcent. Autrement dit

$$K = \frac{\Delta E \,.\, V_s}{\Delta V_s \,.\, E}, \qquad (1)$$

et la stabilisation est d'autant meilleure que ce coefficient est plus grand.

Par exemple, si la tension d'alimentation E = 250 V varie de ± 20 V, nous avons

$\Delta E = 40$. Si nous voulons avoir une tension de sortie stabilisée $V_s = 100$ V, avec une variation ne dépassant pas $\pm$ 0,5 V, c'est-à-dire $\Delta V_s = 1$, le coefficient K devra être

$$K = \frac{40 \, . \, 100}{250 \, . \, 1} = 16.$$

Cependant, si nous reprenons le schéma de la figure 4, nous pouvons dire que R_1 et R_i constituent un diviseur de tension pour la tension d'alimentation (variable). Nous pouvons y négliger l'influence de R_c, car nous avons toujours $R_i \ll R_c$. Par conséquent, on peut écrire, d'une façon suffisamment exacte que

$$\frac{\Delta V_s}{\Delta E} = \frac{R_i}{R_i + R_s},$$

ou encore, puisque $R_1 \gg R_i$,

$$\frac{\Delta V_s}{\Delta E} = \frac{R_i}{R_1}. \qquad (2)$$

Si nous comparons les relations (1) et (2), nous pouvons dire que le coefficient de stabilisation K est proportionnel au rapport R_1/R_i. On montre, cependant, qu'il est peu intéressant de pousser ce rapport au-delà de 20, car on ne gagne alors que fort peu sur le rapport $\Delta V_s/\Delta E$. Mais il est nécessaire, pour que ce rapport soit de l'ordre de 0,1, d'avoir $R_1/R_i > 8$.

La relation (1) montre que l'efficacité de la stabilisation dépend également du rapport E/V_s : on a intérêt à réduire ce rapport le plus possible. Le tableau suivant nous donne la valeur du coefficient K en fonction du rapport E/V_s et pour un certain nombre de valeurs du rapport R_1/R_i.

Il faut noter, cependant, que l'augmentation de la résistance R_1 élargit un peu les limites de variation de E entre lesquelles la stabilisation demeure efficace. Etant donné que le fonctionnement normal du stabilisateur est délimité par les intensités minimale et maximale, I_{min} et I_{max}, la plage de stabilisation ΔE peut être définie par

$$\Delta E = R_1 (I_{max} - I_{min}),$$

en négligeant R_i. Si nous voulons exprimer cette plage N en pourcent de la tension E, nous pouvons écrire

$$N = \frac{100 \, (I_{max} - I_{min}) \, R_1}{E}. \qquad (3)$$

Comme on l'a vu, la tension d'alimentation E, à son tour, peut s'exprimer par

$$E = V_s + (I_c + I_s) \, R_1, \qquad (4)$$

mais lors des calculs il est très important de bien choisir la valeur du courant I_s. Autrement dit, si l'on adopte, par exemple, $I_s = I_{min}$, il faut prendre pour E la valeur correspondant à la limite inférieure de la variation possible. Dans ces conditions, le mieux est de prendre E = tension d'alimentation nominale et

$$I_s = \frac{I_{max} + I_{min}}{2}. \qquad (5)$$

Si nous désignons par ΔI_s la différence $I_{max} - I_{min}$, nous avons, bien entendu,

$$R_i = \frac{\Delta V_s}{\Delta I_s}.$$

Cette expression, combinée avec (4) et (5), nous permet de transformer (3), et d'écrire

$$N = \frac{100}{\dfrac{1}{2} + \dfrac{I_{min}}{\Delta I_s} + \dfrac{I_c}{\Delta I_s} + \dfrac{V_s}{\Delta V_s} \cdot \dfrac{R_i}{R_1}}, \qquad (6)$$

relation un peu encombrante, mais fort utile par le rapport qu'elle nous permet de déterminer entre N et R_1/R_i.

Exemples de calcul

Les tensions stabilisées V_s ne peuvent être choisies qu'en fonction des tubes existants. Nous verrons plus loin qu'il est possible d'élargir la limite supérieure de ces tensions en montant deux tubes en série, mais pour l'instant nous nous occuperons uniquement de la tension nominale propre à chaque tube.

Prenons, par exemple, un tube très courant, qui s'appelle, suivant la provenance, OC3/VR105, OB2 ou STV-108. Ses caractéristiques peuvent être définies par les chiffres suivants :

$V_s = 108$ V ;
$I_{min} = 5$ mA ;
$I_{max} = 30$ mA ;
$\Delta V_s = 3{,}5$ V.

Il est à noter que les caractéristiques des différents constructeurs ne sont pas d'accord sur la valeur de ΔV_s, qui varie de 1 à 3,5 V. C'est ce dernier chiffre que nous retiendrons. Il en résulte que la résistance interne du tube, R_i, est

$$R_i = \frac{\Delta V_s}{\Delta I_s} = \frac{3{,}5}{0{,}025} = 140 \, \Omega \text{ env.}$$

Etant donné que nous disposons d'un tube stabilisateur et, par conséquent, d'une valeur de V_s bien déterminée (108 V), nous pouvons avoir affaire à deux sortes de problèmes :

1. — Etant donné une certaine tension d'alimentation E (évidemment $E > V_s$), calculer la résistance série R_1 et, partant de là, le coefficient de stabilisation K ;

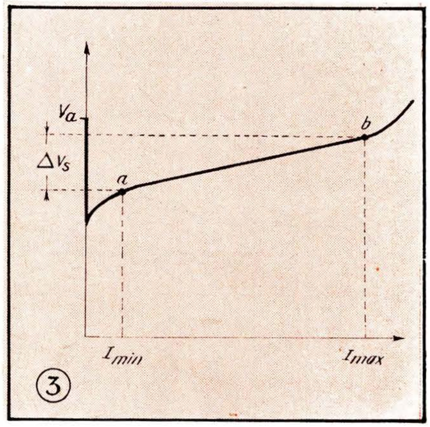

Fig. 3. — Allure plus conforme à la réalité de la variation de la tension de sortie V.

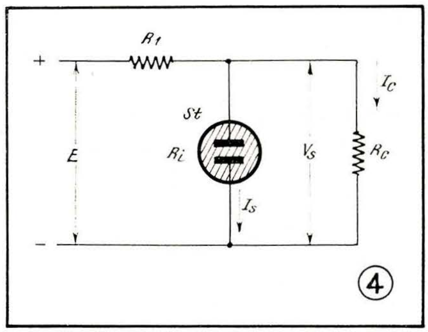

Fig. 4. — Schéma de principe d'un stabilisateur simple.

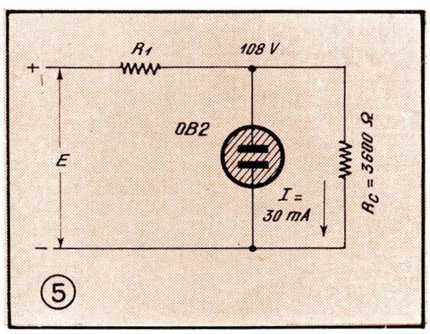

Fig. 5. — Schéma d'un stabilisateur pour 108 V, utilisant un tube OB2.

Tableau pour le calcul du cœfficient K

Rapport E/V_s	*Valeur du coefficient* K *pour les valeurs de* R_1/R_i *suivantes :*						
	5	10	15	20	25	30	35
1,25	4	8	12	16	20	24	28
1,50	3,3	6,7	10	13,4	16,7	20	23,4
1,75	2,9	5,7	8,6	11,4	14,3	17,15	20
2	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5
2,50	2	4	6	8	10	12	14
3	1,7	3,3	5	6,7	8,3	10	11,7
3,50	1,5	2,9	4,3	5,7	7,15	8,6	10
4	1,25	2,5	3,75	5	6,25	7,5	8,75

2. — Etant donné un certain coefficient K, imposé, calculer la tension d'alimentation nécessaire et, partant de là, la valeur de R_1.

Bien entendu, on suppose, dans les deux cas, que les caractéristiques de la charge, c'est-à-dire I_c et R_c, nous sont imposées.

Premier problème : calculer R_1 et K.

Il s'agit d'alimenter, en 108 volts stabilisés, un montage qui consomme 30 mA, la tension d'alimentation étant de 216 V.

Pour calculer R_1, nous pouvons utiliser la relation (4), dans laquelle on fera, bien entendu

$$I_s = \frac{I_{max} + I_{min}}{2} = 17{,}5 \text{ mA}.$$

Il en résulte

$$R_1 = \frac{108}{0{,}0475} = 2300\ \Omega \text{ env.}$$

Le coefficient de stabilisation K sera déterminé en calculant d'abord N par la relation (3)

$$N = \frac{100 \,.\, 0{,}025 \,.\, 2300}{216} = 26{,}6\ \%.$$

Autrement dit, la tension nominale d'alimentation E varie de $\pm$ 13,3 %, c'est-à-dire entre 187,3 et 244,7 V, soit $\Delta E = 57{,}4$. Dans ces conditions, la valeur de K est, d'après (1),

$$K = \frac{57{,}4 \,.\, 108}{3{,}5 \,.\, 216} = 8{,}2.$$

Nous pouvions, également, déterminer K à l'aide du tableau donné plus haut, puisque $E/V_s = 2$ et $R_1/R_1 = 2300/140 = 16{,}4$. Nous voyons que K est compris entre 7,5 et 10.

Prochaine étude :
Stabilisateurs à tubes électroniques

Deuxième problème : calculer E et R_1.

On nous impose un coefficient $K = 20$, avec les caractéristiques de charge identiques au cas précédent : $I_c = 30$ mA.

Ce problème comporte, en réalité, plusieurs solutions, comme nous le montre d'ailleurs le tableau des valeurs de K. La solution la plus économique consiste, évidemment, à prendre un rapport E/V_s aussi faible que possible, de façon à réduire la dissipation dans R_1, en diminuant la valeur de cette résistance. Par exemple, si nous adoptons $R_1/R_1 = 25$, nous aboutissons, d'après le tableau, à $E/V_s = 1{,}25$, c'est-à-dire à $E = 108 \,.\, 1{,}25 = 135$ V, avec $R_1 = 140 \,.\, 25 = 3500\ \Omega$.

La prochaine fois nous verrons encore quelques exemples, et parlerons de certains montages particuliers, avec deux tubes en série ou deux stabilisateurs en cascade.

(A suivre) **R. M.**

Calcul des atténuateurs en décibels ★

Nous avons, il y a quelque temps, posé un certain nombre de problèmes sur le calcul des affaiblissements ou des gains en décibels. Nous avons constaté, à cette occasion, que beaucoup de nos lecteurs s'en tiraient assez mal, en considérant le décibel comme un rapport de tensions tout simplement, au lieu de le traiter en rapport de puissances.

Ci-dessous vous trouverez une méthode de calcul d'un atténuateur à plots, introduisant un affaiblissement imposé, en décibels, par plot.

Lorsqu'on a à calculer un tel atténuateur, on se trouve généralement en présence de valeurs imposées suivantes :

Atténuation totale en décibels, que nous désignerons par D ;

Atténuation par plot, en décibels également, que nous désignerons par d ;

Résistance totale de l'atténuateur, R.

La valeur de D oscille généralement entre 15 et 45 dB, et celle de d entre 1 et 3 dB. D'autre part, la valeur de R, ou du moins son ordre de grandeur, dépend du montage dont l'atténuateur calculé doit faire partie : circuit de grille à haute impédance ; circuit de cathode à basse impédance, etc.

Nous allons donc calculer, à titre d'exemple, un atténuateur introduisant un affaiblissement maximal de 16 dB, par bonds de 2 en 2 dB. Son schéma de principe est représenté par la figure ci-contre. Le nombre n de postions d'atténuation est évidemment égal à

$$n = \frac{D}{d} = 8,$$

le contacteur nécessaire devant être à $n + 1$ positions, puisque la première correspond à un affaiblissement nul (0 dB).

Si nous appelons P_{n+1} la puissance de sortie correspondant à une certaine position de l'atténuateur, et P_n celle correspondant à la position précédente, moins atténuée, nous avons, évidemment, d'après les conditions imposées

$$d = 2 = 10 \log \frac{P_{n+1}}{P_n}.$$

Comme la puissance prélevée aux bornes d'une résistance est proportionnelle à la valeur de cette dernière, nous pouvons écrire

$$\frac{P_{n+1}}{P_n} = \frac{R_{n+1}}{R_n},$$

et, par conséquent,

$$d = -2 = 10 \log \frac{R_{n+1}}{R_n}.$$

Le signe « moins » placé devant le nombre de décibels signifie qu'il s'agit d'un affaiblissement. Il en résulte donc

$$\log \frac{R_{n+1}}{R_n} = -0{,}2$$

ce qui revient à écrire, en notation « logarithmique »

$$\log \frac{R_{n+1}}{R_n} = \bar{1},8,$$

d'où, d'après les tables,

$$\frac{R_{n+1}}{R_n} = 0{,}63$$

Si nous admettons, pour commencer, que R_n représente la résistance totale R de l'atténuateur, et R_{n+1} la somme $R_2 + R_3 + \ldots$ $\ldots + R_9$ nous pouvons écrire

$$\frac{R - R_1}{R} = 0{,}63\ ,$$

d'où

$$R_1 = 0{,}37\ R. \qquad (1)$$

En continuant le même raisonnement, nous pouvons écrire

$$\frac{R - (R_1 + R_2)}{R - R_1} = 0{,}63,$$

ce qui nous donne, en remplaçant R_1 par sa valeur (1) :

$$\frac{0{,}63\ R - R_2}{0{,}63\ R} = 0{,}63.$$

En posant $0{,}63 = k$, nous simplifions et arrivons à

$$R_2 = Rk\,(1 - k). \qquad (2)$$

Nous trouverons de même :

$$R_3 = Rk^2\,(1 - k)$$
$$R_4 = Rk^3\,(1 - k)$$
etc.

D'une façon tout à fait générale, pour un atténuateur quelconque à n résistances

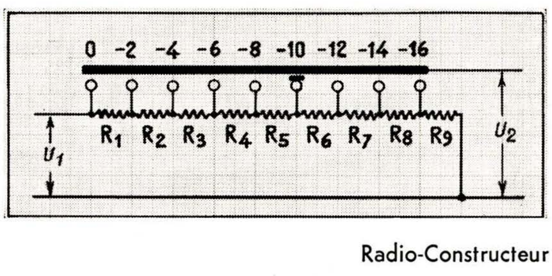

Schéma d'un atténuateur de 0 à — 16 dB, par bonds de 2 dB.

POUR LES ÉTUDIANTS... ET LES PROFESSEURS

CALCULS

Les stabilisateurs de tension à tubes à gaz

(Voir aussi "Radio-Constructeur" n° 200)

Montage en série

Les tubes à gaz, utilisés généralement pour la stabilisation des tensions continues, sont prévus le plus souvent pour des tensions de 75 à 105 V, qui atteignent, pour certains types, 150 V. Cela veut dire que si nous utilisons un seul tube, suivant le montage indiqué dans notre précédent article, nous ne pouvons pas obtenir, par exemple, une tension stabilisée de l'ordre de 200 V ou plus, si nous en avons besoin.

La solution, dans ce cas, consiste à monter deux tubes stabilisateurs en série, suivant le schéma de la figure 6, en respectant leur polarité, car (et nous avons omis de le noter dans notre dernier article) un tube stabilisateur comporte une anode, réunie au « plus » de la tension à stabiliser, et une cathode, réunie au « moins ».

Dans le cas le plus simple, lorsque les deux tubes montés en série sont du même type, tout se passe comme si nous avions affaire à un tube unique possédant les caractéristiques suivantes :

La *plage de régulation* ΔV_{so} est égale à la somme des plages de régulation des deux tubes. Par exemple, si nous utilisons un tube OB2, dont la plage de régulation maximale est de 4 V, nous aurons pour le montage de la figure 6, $\Delta V_{so} =$ 8 V (valeur maximale), la valeur moyenne étant, d'après les notices des constructeurs, de l'ordre de 1,5 V par tube, soit 3 V pour les deux.

Pour éviter toute confusion dans ce qui suit, nous désignons par ΔV_{so} la plage de stabilisation propre à chaque tube et par ΔV_s la plage réelle, imposée ou à calculer.

La *résistance interne* résultante R_i est égale à la somme des résistances internes des deux tubes. Rappelons que, pour chaque tube, la résistance interne est définie par le rapport

$$\frac{\Delta V_s}{I_{max} - I_{min}},$$

et que, de ce fait, cette résistance peut varier très sensiblement suivant que l'on adopte la valeur moyenne ou maximale pour ΔV_s. Le mieux est de faire la moyenne et de calculer R_i à partir de cette valeur. Par exemple, toujours dans le cas d'un OB2, la plage de régulation moyenne sera $(4 + 1{,}5)/2 = 2{,}75$ V, ce qui, divisé par $I_{max} - I_{min} = 25$ mA, donne $R_i = 110\ \Omega$ par tube, soit 220 Ω pour deux tubes en série.

La *tension stabilisée* nominale V_s est égale à la somme des tensions stabilisées des deux tubes. Toujours en supposant deux tubes OB2 en série, nous avons, pour le montage de la figure 6, $V_s =$ 216 V.

La *tension d'alimentation* minimale E_{min} est égale à la somme des tensions d'alimentation minimales des deux tubes. Dans notre dernier article nous n'avons pas précisé suffisamment cette notion de tension d'alimentation minimale, qui définit la limite d'amorçage certain du tube stabilisateur, en tenant compte de la dispersion des caractéristiques et du vieillissement du tube, qui peut entraîner une augmentation de V_a (tension d'amorçage). En d'autres termes, si la tension d'alimentation, imposée ou calculée, reste supérieure à E_{min}, le fonctionnement du stabilisateur a lieu à coup sûr.

La tension E_{min} est généralement indiquée dans les notices des constructeurs, mais parfois sous une appellation différente : « tension maximale d'amorçage ». Pour le tube OB2, pris comme exemple, elle est de 127 à 130 V, suivant l'origine des documents. Donc, pour le schéma de la figure 6, elle sera de 254 à 266 V.

Exemples de calcul

Nous prendrons un autre tube courant, qui s'appelle, suivant la provenance, OD3/VR150, OA2, STV150/30, 150C2, etc. Ses caractéristiques sont définies par les chiffres suivants :

$V_s = 150$ V ;
$I_{min} = 5$ mA ;
$I_{max} = 30$ mA ;
$E_{min} = 180$ à 186 V ;
$\Delta V_{so} = 4$ V (valeur moyenne) ;
$R_i = 160\ \Omega$.

Pratiquement, le problème peut se présenter de deux manières différentes :

Calculer la résistance série R_1 et le coefficient de stabilisation K

Supposons que nous disposions d'une tension redressée de 400 V et que nous ayons besoin d'alimenter, sous 300 V stabilisés, un dispositif consommant 40 mA. Nous devons, évidemment, prévoir deux tubes en série, montés suivant le schéma de la figure 6.

Comme il a été indiqué dans « R.C. » n° 200, on commence par calculer la valeur de R_1 par la relation (4), que nous reproduisons :

$$E = V_s + (I_c + I_s)\, R_1,$$

et où nous avons : $V_s = 300$ V ; $I_c =$ 40 mA ; $I_s = 17{,}5$ mA ; $E = 400$ V. Il en résulte

$$R_1 = \frac{100}{0{,}0575} = 1740\ \Omega \text{ env.}$$

Le coefficient de stabilisation K sera déterminé par la relation

$$K = \frac{R_1 V_s}{R_i E}, \qquad (7)$$

qui découle de tout ce qui a été dit dans le n° 200 de « R.C. ». Cela nous donne donc

$$K = \frac{1740 \cdot 300}{320 \cdot 400} = 4{,}06 \text{ env.}$$

La situation se présente donc de la façon suivante :

a. — La valeur de R_1 est définie pour une certaine valeur de E, car elle dépend de la différence $E - V_s$;

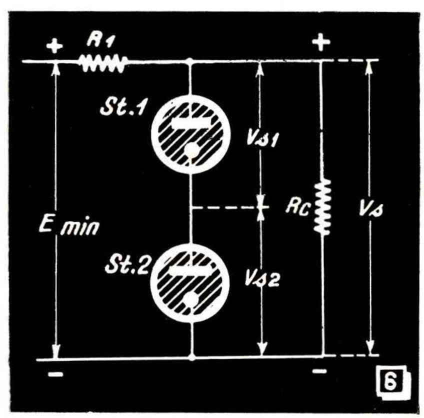

Fig. 6. — Deux tubes stabilisateurs peuvent être montés en série sous certaines conditions.

b. — La valeur de R_1 est définie pour un certain débit I_s, correspondant à un « point de fonctionnement » placé au milieu de la plage de stabilisation.

c. — Les variations de la tension à la sortie, c'est-à-dire ΔV_s, dépendent, pour un ensemble de valeurs ainsi définies, des variations de la tension « primaire ». Ces dernières peuvent être calculées par le coefficient N, à l'aide de la relation (3), soit

$$N = \frac{100\,\Delta I_s R_1}{E} = \frac{4350}{400} = 10{,}85\ \%.$$

Tout cela veut dire que la plage de régulation « primaire » représente $\pm 5{,}4\ \%$ environ de la tension E, soit un peu moins de 22 V de part et d'autre de la valeur nominale. Dans ce cas extrême, la tension de sortie variera de N/K %, soit, en chiffre rond, $11/4 = 2{,}75\ \%$. Si on veut, à la sortie, une tension plus stable, dont les variations ne dépassent pas, par exemple, $\pm 0{,}5\ \%$, soit 1 % au total, il ne faut pas que les variations de la tension d'alimentation dépassent $1 \times K = 4\ \%$ en gros, soit $\pm 2\ \%$ autour de la valeur nominale. C'est peu, et nettement insuffisant dans la plupart des cas pratiques.

Pour augmenter N, il faut donc augmenter E, dans un rapport qui dépend des possibilités pratiques et du matériel dont on dispose. Nous allons voir rapidement, à titre d'illustration, ce que le problème pris comme exemple devient avec $E = 500$ V et $E = 600$ V.

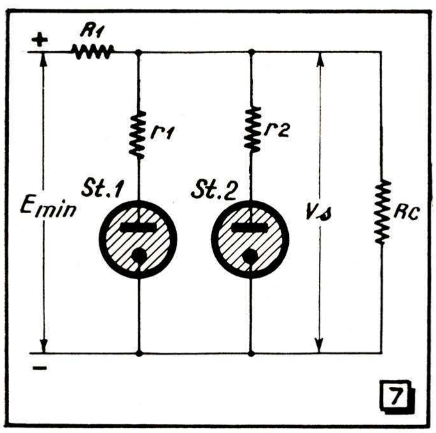

Fig. 7. — *Deux tubes stabilisateurs identiques, montés en parallèle, permettent, parfois, de mieux résoudre un problème.*

Avec $E = 500$ V, nous avons $R_1 = 200/0{,}0575 = 3480\ \Omega$. Dans ces conditions, on vérifiera que $K = 6{,}5$ et $N = 17{,}4\ \%$.

Avec $E = 600$ V, on a $R_1 = 5200\ \Omega$ très sensiblement, et on trouve, avec cette valeur, $K = 8{,}1$ et $N = 21{,}7\ \%$.

La dernière combinaison est, évidemment, beaucoup plus intéressante, car, même si l'on ne tolère que 1 % de variation à la sortie, on dispose encore d'une plage de 8,1 % à l'entrée, soit $\pm 4{,}05\ \%$.

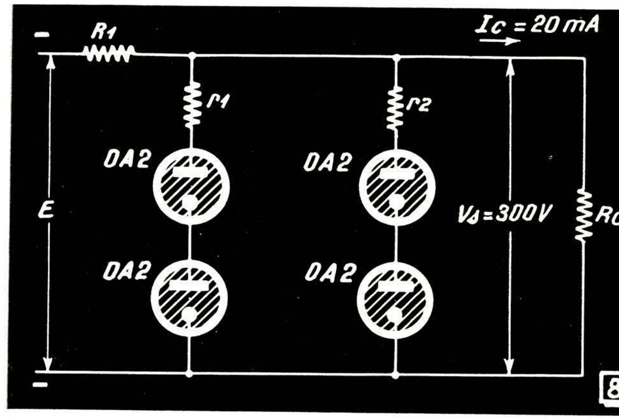

Fig. 8. — *Il est également possible de monter les tubes stabilisateurs en série-parallèle.*

Mais l'inconvénient reste la nécessité d'avoir une tension d'alimentation très élevée et une perte de puissance considérable dans la résistance R_1 (de l'ordre de 15 W).

Calculer la tension d'alimentation E et la résistance R_1

Ce problème découle évidemment de ce que nous venons de dire, car on suppose ici que c'est le pourcentage de variation à la sortie qui se trouve imposé. Nous allons, cette fois-ci, effectuer le calcul pour une tension stabilisée de 300 V, encore une fois, mais un débit du circuit d'utilisation de 20 mA seulement. Nous allons voir, par cet exemple, que les choses se présentent alors beaucoup plus favorablement. Bien entendu, le montage se fait encore suivant le schéma de la figure 6, avec deux tubes OA2.

Supposons donc que le pourcentage de variation à la sortie imposé soit de 1 %, soit $\pm 0{,}5\ \%$ par rapport à la tension nominale $V_s = 300$ V, et que, parallèlement, on demande au montage de « couvrir » des variations de la tension d'alimentation de 12 % au total, soit $\pm 6\ \%$ par rapport à la valeur à calculer E.

Il en résulte que le coefficient K est égal à 12 lui aussi, puisque $N/K = 1$.

Mais une question se pose avant tout : peut-on s'imposer un coefficient N aussi grand que l'on veut et calculer ensuite E et R_1 ? La réponse sera donnée par le procédé même de calcul de ces deux grandeurs et par la condition qui s'introduit naturellement : il est nécessaire que E soit positif.

Si nous reprenons la relation (7) indiquée plus haut, nous pouvons écrire

$$\frac{KR_i}{V_s} = \frac{R_1}{E}. \qquad (8)$$

D'autre part, nous pouvons transformer la relation permettant de calculer R_1, c'est-à-dire

$$R_1 = \frac{E - V_s}{I_c + I_s}$$

et l'écrire

$$\frac{R_1}{E} = \frac{E - V_s}{(I_c + I_s)\,E}. \qquad (9)$$

En égalant le premier membre de (8) au second de (9) et en effectuant toutes les opérations pour exprimer E en fonction de toutes les autres grandeurs, nous obtenons

$$E = \frac{-V_s^2}{KR_i\,(I_c + I_s) - V_s}. \qquad (10)$$

Pour que la valeur calculée pour E soit positive, il faut évidemment que le dénominateur de cette expression soit négatif, ce qui entraîne

$$KR_i\,(I_c + I_s) < V_s$$

d'où

$$K < \frac{V_s}{R_i\,(I_c + I_s)}. \qquad (11)$$

Dans notre cas, pour $V_s = 300$ V, $R_i = 320\ \Omega$ (deux tubes en série), et $I_c + I_s = 0{,}0375$ A, nous obtenons $K < 300/12 < 25$. Inutile de dire que, lorsqu'on approche de la limite supérieure, définie par (11), on aboutit à des valeurs de E parfaitement déraisonnables.

Toujours est-il que pour $K = 12$, nous trouvons, après avoir fait le calcul, $E = 580$ V en chiffre rond, et $R_1 = 4800\ \Omega$. Nous pouvons vérifier également que si l'on fait $K = N = 20$, on arrive à $E = 1500$ V.

Montage en parallèle

De tout ce qui précède, nous avons pu conclure que la stabilisation par un seul tube (ou par deux tubes en série, ce qui revient pratiquement au même) ne permet pas toujours de résoudre un problème posé, lorsque le courant d'utilisation est important ou qu'il est nécessaire de couvrir une large plage de variations de la tension « primaire ».

Il est alors souvent intéressant de prévoir le montage de deux tubes identiques en parallèle, suivant le schéma de la figure 7, montage dont les caractéristiques peuvent se résumer ainsi :

Plage de régulation ΔV_{so} la même que pour un seul tube ;

Résistance interne R_i en principe égale à la moitié de la résistance interne d'un seul tube. Cependant, il est recommandé de mettre une résistance telle que r_1 ou r_2, de quelque 100 Ω, en série avec chaque tube, afin de faciliter l'égalisation des courants dans les deux branches.

L'inconvénient, c'est que ces résistances augmentent la résistance interne de chaque tube et, par conséquent, élargissent un peu la plage de stabilisation ΔV_{so} ;

Intensités I_{max} et I_{min} doubles de celle d'un seul tube.

Les quelques exemples qui suivent nous montreront le parti que l'on peut tirer d'un montage en parallèle, qui s'applique, bien entendu, soit à deux tubes (fig. 7), soit à deux branches comportant, chacune, deux tubes en série. Le calcul de ces ensembles ne diffère en rien de ce que nous avons indiqué plus haut, car chaque groupement peut toujours être assimilé à un tube unique.

Reprenons donc le problème déjà posé, d'une tension stabilisée de 300 V avec un débit de 20 mA, et adoptons un montage comprenant quatre tubes OA2, en deux branches parallèles contenant chacune deux tubes (fig. 8).

Du fait de la présence des résistances r_1 et r_2, nous aurons, pour ce montage, $R_i = 210\ \Omega$. D'autre part, nous avons $I_s = 2 \times 17{,}5$ mA $= 0{,}035$ mA, et, par conséquent, $I_c + I_s = 0{,}055$ A. Il en résulte donc, d'après (11), que le coefficient K doit rester inférieur à 25. Si nous voulons avoir une variation globale de 1 % à la sortie, nous avons toujours $K = N$. Si nous adoptons $K = 12$, comme précédemment, l'expression (10) nous donne $E = 560$ V. L'avantage, par rapport au montage avec deux tubes seulement, est pratiquement inexistant.

En réalité, nous pouvons, en tenant compte des particularités d'un montage, rendre un système à tubes stabilisateurs en parallèle un peu plus efficace. Par exemple, si nous nous imposons une très faible variation de la tension à la sortie, de l'ordre de 1 %, nous pouvons admettre pour les tubes stabilisateurs un courant plus faible en régime permanent, en s'arrangeant pour ne pas dépasser les limites de ΔV_{so}. Il est ainsi possible, dans notre cas, de se contenter d'un courant de 12 mA par branche, ce qui fait un courant total, y compris celui du circuit d'utilisation, de 44 mA. D'autre part, on peut diminuer légèrement les résistances r_1 et r_2, en les ramenant à quelque 60 Ω chacune. La valeur globale R_i du montage descend alors à 190 Ω. Si l'on refait le calcul dans ces conditions, on arrive à $E = 450$ V, ce qui est nettement plus raisonnable.

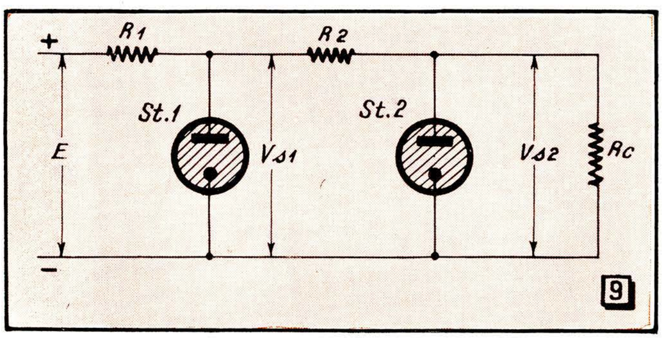

Fig. 9. — *Une stabilisation beaucoup plus efficace est obtenue par le montage de deux stabilisateurs en cascade.*

Mais, de toute façon, tous les calculs que l'on peut faire sur les montages stabilisateurs à tubes à gaz ne peuvent que servir de base à une mise au point expérimentale, à cause de la dispersion des caractéristiques et des valeurs très différentes que l'on trouve dans telle ou telle documentation. Par exemple, en ce qui concerne la résistance interne R_i du tube OA2, on peut trouver des valeurs allant de 80 Ω à 240 Ω. Or, suivant que l'on adopte l'une ou l'autre de ces valeurs extrêmes, les conditions de fonctionnement calculées changent totalement.

Prenons encore un exemple de comparaison. Supposons que nous ayons à obtenir une tension de 150 V aussi stable que possible, à partir d'une alimentation dont la tension varie de ± 10 %, soit 20 % au total, et avec un débit de 40 mA dans le circuit d'utilisation.

Essayons d'abord un seul tube OA2, dont nous adoptons la résistance interne $R_i = 100\ \Omega$ et fixons le courant moyen de fonctionnement à $I_s = 0{,}017$ A. Les conditions du problème nous donnent la valeur $N = 20$, et nous pouvons écrire, comme précédemment,

$$N = 20 = \frac{100 \,.\, 0{,}025 \,.\, R_1}{E}$$

d'où

$$R_1/E = 8\,.$$

En portant cette valeur dans l'expression (9), où nous avons $I_c + I_s = 0{,}057$ et $V_s = 150$, nous obtenons

$$E - 150 = 0{,}455\ E\,,$$

d'où

$$E = \frac{150}{0{,}545} = 275\ \text{V}\,.$$

On calcule alors, à partir de cette valeur $N = 20$, et nous pouvons écrire, $K = 12$, très sensiblement. Autrement dit, les variations à la sortie seront de 20/12 = 1,67 %, soit ± 0,85 % environ.

Voyons ce que cela va donner avec deux tubes en parallèle. La valeur de N reste la même, mais le courant ΔI_s est maintenant de 0,05 A. En mettant en série avec chaque tube une résistance de 70 Ω, on obtient une valeur globale $R_i = 85\ \Omega$. Fixons le courant de chaque tube à 15 mA.

Nous avons $R_1/E = 4$ et $I_c + I_s = 0{,}070$. On en tire $E - 150 = 0{,}28$ E et $E = 150/0{,}72 = 208$ V. La résistance série R_1 sera, par conséquent, $R_1 = 830\ \Omega$. Mais le coefficient de stabilisation K se trouve ramené à 7 environ, ce qui donne, à la sortie, un pourcentage de variation voisin de 3 (2,86 %, pour être plus précis).

Donc, on a, incontestablement, réalisé un gain important du côté de la tension d'alimentation, mais on a perdu en efficacité de stabilisation. On peut se demander alors si, en conservant la même valeur de E qu'avec un seul tube, on ne peut pas avoir un coefficient K plus élevé. Le calcul montre qu'avec $R_1 = 1790\ \Omega$ on obtient alors $K = 11{,}5$ environ. Donc aucun avantage. D'une façon générale, les montages parallèles procurent rarement un avantage marquant et on leur préfère des stabilisateurs à deux étages.

Stabilisation en deux étages

De tout ce qui précède on peut conclure qu'un stabilisateur simple, à un seul tube où à deux tubes en parallèle, ne permet guère d'aller très loin dans l'efficacité de la stabilisation. En particulier, si les variations de la tension d'alimentation sont très importantes, et que l'on demande, en même temps, un très faible pourcentage de variation à la sortie, le problème est, pratiquement, insoluble, à moins d'avoir affaire à des courants d'utilisation très faibles, de l'ordre de 3 - 5 mA, auquel cas on peut atteindre, pour K, des valeurs de l'ordre de 30 et même au-dessus.

C'est pourquoi on a très souvent recours à une stabilisation en deux étages, réalisée, par exemple, suivant le schéma de la figure 9.

La tension de sortie V_{s2} est déterminée par le type du tube St. 2. Elle est, par exemple, de 108 V avec un tube OB2. La tension V_{s1} est égalgement définie par le tube St. 1 : 150 V pour un tube OA2. Dès lors, le calcul devient très simple. Si, par exemple, nous voulons stabiliser avec un débit de 30 mA dans le circuit d'utilisation, nous avons, en admettant 17 mA comme courant de fonctionnement du tube St. 2,

$$R_2 = \frac{42}{0{,}047} = 895\ \Omega\,.$$

Si l'on admet $R_i = 100\ \Omega$ comme résistance interne du tube St 2, le coefficient K_2 est de 6,4 environ. Il est à remarquer qu'on peut obtenir un coefficient K_2 plus grand, en réduisant le courant de fonctionnement du tube St. 2. Comme ce tube est alimenté en tension déjà stabilisée, le « dépassement » de la plage de stabilisation n'est pas à craindre.

C'est ainsi qu'en faisant $I_{s2} = 10$ mA, on trouverait $K_2 = 7{,}55$. Pour l'étage avec tube St. 1, on détermine d'abord la limite a ne pas dépasser pour K_1, en utilisant l'expression (11) et en tenant compte du fait que le courant total traversant R_1 comprend celui du tube St. 2, celui du tube St. 1 et celui du circuit d'utilisation, soit, en admettant $I_{s2} = 10$ mA, un courant de 0,057 A. Nous trouvons ainsi que la limite pour K_1 se situe à 26 environ. Pour choisir K_1, il faut tenir compte du degré de stabilisation globale que nous voulons obtenir et du fait que le coefficient global est égal au produit $K_1 \times K_2$.

Si, par exemple, nous voulons avoir à la sortie une stabilité à $\pm 0,25\ \%$, c'est-à-dire 0,5 % au total, à partir d'un secteur qui varie de $\pm 15\ \%$, soit 30 % au total, nous avons $N = 30$ et $K = N/0,5 = 60$. Comme nous disposons déjà de $K_2 = 7,5$, il nous suffira d'avoir $K_1 = 60/7,5 = 8$. Pour avoir une certaine marge, basons-nous sur $K_1 = 10$.

Pour calculer E et R_1, nous disposons alors de deux équations :

$$K_1 = 10\ \frac{R_1 \,.\, 150}{100\ E} \quad \text{(d'après 7)}$$

$$R_1 = \frac{E - 150}{0,057}\ .$$

Nous trouvons ainsi $E = 242$ V et $R_1 = 1610\ \Omega$.

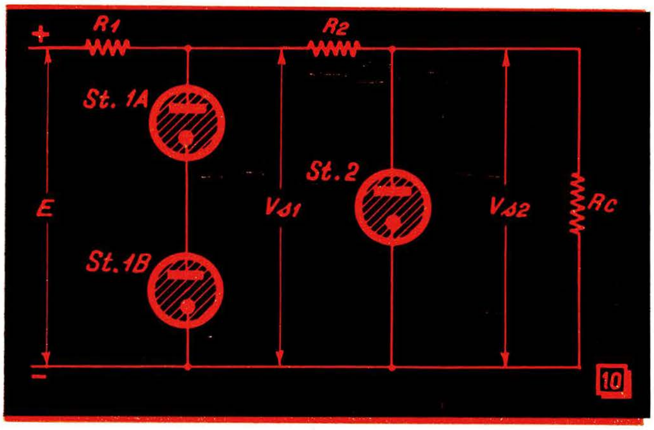

Fig. 10. — *Montage analogue à celui de la figure 9, mais permettant d'obtenir une tension de sortie plus élevée.*

Si la tension de sortie doit être plus élevée, par exemple 150 V, nous pouvons adopter le schéma de la figure 10, en utilisant trois tubes OA2, de façon à avoir $V_{s1} = 300$ V. Dans ces conditions, même si le débit d'utilisation est assez élevé (par ex. $I_c = 50$ mA), nous aurons $R_2 = 2500\ \Omega$ et $K_2 = 12,5$, de sorte que le premier étage de stabilisation pourra avoir un coefficient K_1 relativement modeste, tout en assurant une stabilisation globale très efficace.

Encore quelques mots sur les montages en série

Lorsqu'on monte deux tubes stabilisateurs en série, il est recommandé de shunter l'un d'eux par une résistance telle que R (fig. 11), afin de faciliter l'allumage de l'ensemble. La valeur de cette résistance, nullement critique, sera comprise entre 200 kΩ et 500 kΩ.

Dans un montage de deux stabilisateurs en série, il est possible de prélever une tension stabilisée intermédiaire, égale à la tension V_{s2} nominale du tube St. 2. Le circuit d'utilisation alimenté par la tension V_{s2} sera, de préférence, à faible débit (1 à 4 mA, par exemple), de façon à ne pas trop déséquilibrer l'ensemble, car le tube St. 1 se trouve traversé par la somme des courants I_s et I_{c2}, tandis que St. 2 ne laisse passer que le courant I_s.

L'utilisation normale de la tension V_{s2} est, par exemple, l'alimentation d'un écran.

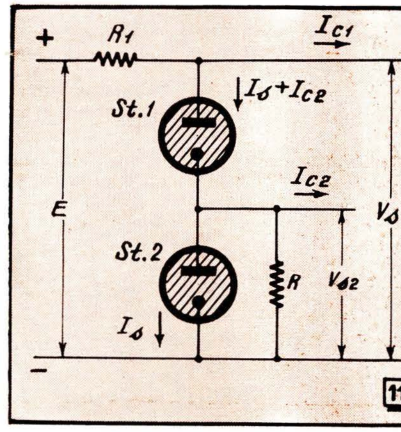

Fig. 11. — *Deux stabilisateurs en série permettent d'obtenir une tension stabilité intermédiaire* V_{s2}.

Dans un montage série, on peut associer deux tubes différents, à condition que leurs courants de fonctionnement soient identiques, ce qui est le cas des tubes OA2 et OB2. De cette façon, on peut, par exemple, avec deux OA2, obtenir 150 V en V_{s2} et 300 V en V_{s1}, ou, avec un OA2 en St.1 et un OB2 en St. 2, avoir $150 + 108 = 250$ V en V_{s1} et 108 V en V_{s2}, ou encore, en intervertissant les deux tubes, la même tension en V_{s1}, mais 150 V en V_{s2}.

Bien entendu, l'association en série de deux tubes différents est également possible dans le cas d'un schéma tel que celui de la figure 10.

Dans tout ce qui précède, nous avons constamment supposé que le courant d'utilisation restait constant. Mais il est des cas où l'on a besoin de stabiliser une tension en présence de variations plus ou moins importantes du débit. Nous verrons la prochaine fois les particularités du calcul de ces dispositifs.

(A suivre) **R. M.**

Solutions détaillées des problèmes publiés dans le n° 199 de "Radio-Constructeur"

A propos du problème P 29

Une suite d'erreurs s'est glissée dans la solution du problème P 29 publiée dans le numéro 199 de « Radio-Constructeur », et nous remercions les lecteurs qui nous l'ont signalé, en particulier MM. **Rochette**, **H. Caillou**, **B. Bonnefille** et **L. Péletier**. Voici donc la solution correcte.

La résistance totale du shunt universel indiquée dans la solution « première version » est exacte : $R = 4500\ \Omega$. Mais la résultante de la résistance propre du microampèremètre ($\mathbf{r} = 1500\ \Omega$) et de R en parallèle n'est pas égale à 1350 Ω, mais à 1125 Ω, ce qui entraîne, pour la chute de tension maximale U_1 aux bornes de l'appareil

$$U_1 = 1125 \times 0,0002 = 0,25\ \text{V}.$$

Pour calculer la résistance R_1, on forme le rapport

$$\frac{R_1 + 1500}{4500 - R_1}\ ,$$

mais sa valeur est égale au rapport du courant qui traverse le shunt, soit 1,85 mA, à celui qui traverse le microampèremètre, c'est-à-dire 0,15 mA, donc, très sensiblement, 12,3. En effectuant les calculs on trouve $R_1 = 4050\ \Omega$, ce qui entraîne $R_2 + R_3 = 450\ \Omega$. Par conséquent, pour calculer la chute de tension U_2 on a le choix soit de multiplier $R_2 + R_3$ par $1,85 \,.\, 10^{-3}$, soit de multiplier $4050 + 1500$, c'est-à-dire $R_1 + \mathbf{r}$, par $0,15 \,.\, 10^{-3}$. Dans les deux cas on trouve, très sensiblement, 0,83 V.

Pour calculer R_2, on écrit

$$\frac{R_2 - 5550}{450 - R_2} = 132,$$

puisque 132 représente le rapport des intensités 19,85 mA (dans la branche R_3) et 0,15 mA, dans la branche $R_2 + R_1 + \mathbf{r}$. On trouve $R_2 = 405\ \Omega$, et on en tire $R_3 = 45\ \Omega$.

Il en résulte que la chute de tension U_3 est

$$U_3 = 19,85 \,.\, 10^{-3} \,.\, 45 = 0,89\ \text{V env.}$$

La vérité finit toujours par triompher, et nous nous excusons d'avoir induit nos lecteurs en erreur.

Solution du problème P 34

Il ne s'agit pas, à proprement parler, d'une solution, mais de la discussion des résultats obtenus dans le problème P 29, ci-dessus. Il est clair, en effet, qu'un milliampèremètre présentant une chute de tension à ses bornes de l'ordre du volt est peu indiqué pour effectuer des vérifications sur des montages à transistors. Les moyens tendant à rendre cette chute de tension plus faible peuvent être de deux sortes.

Tout d'abord on a intérêt, évidemment, à choisir un microampèremètre présentant une résistance propre **r** aussi faible que possible. D'ailleurs, la résistance indiquée dans le problème P 29 peut être considérée comme un maximum, car les différentes

POUR LES ÉTUDIANTS . . . ET LES PROFESSEURS

CALCULS

Les stabilisateurs de tension à tubes à gaz

(Voir aussi "Radio-Constructeur" nos 200 et 201)

Lorsque la charge du stabilisateur varie

Deux cas peuvent alors se présenter, que nous analyserons en nous basant sur le schéma-type de la figure 12.

Premier cas. — La tension d'alimentation E est stable, mais le courant I_c du circuit d'utilisation varie.

Tout d'abord, on se rend compte, évidemment, que la plage de variation du courant I_c est limitée par celle du courant I_s du tube stabilisateur. Si ce dernier peut varier, comme c'est souvent le cas, entre 5 et 30 mA (tubes OA 2, OB 2 et analogues), le courant I_c pourra varier de 25 mA tout au plus.

Les conditions de fonctionnement n'étant pas tout à fait les mêmes qu'avec une charge constante, nous modifierons un peu le procédé de calcul.

Supposons d'abord une tension d'alimentation E quelconque appliquée à l'entrée du montage de la figure 12. Un certain courant I s'établit dans le circuit et nous pouvons écrire :

$$E = I\,(R_1 + R_c)\,. \qquad (12)$$

Aux bornes du tube apparaît alors une certaine tension V telle que

$$V = E - R_1 I\,,$$

expression que nous pouvons écrire aussi, en y remplaçant I par sa valeur tirée de (12),

$$V = \frac{ER_c}{R_1 + R_c}\,.$$

Mais pour que le stabilisateur puisse fonctionner normalement, la tension V doit être au moins égale à la tension d'amorçage V_a, c'est-à-dire

$$\frac{ER_c}{R_1 + R_c} \geqslant V_a\,,$$

inégalité qui peut encore s'écrire

$$E \geqslant V_a\,\frac{R_1 + R_c}{R_c}$$

et, aussi,

$$E \geqslant V_a + V_a\,\frac{R_1}{R_c}\,. \qquad (13)$$

Enfin, puisque $R_c = V_s/I_c$, on obtient

$$E \geqslant V_a + \frac{V_a}{V_s}\,R_1 I_c\,. \qquad (14)$$

D'autre part, lorsque le tube stabilisateur se trouve amorcé, sa zone de fonctionnement se trouve limitée par les deux valeurs I_{max} et I_{min} de son courant, ce qui se traduit, pour E, par une double inégalité :

$$E \leqslant V_s + (I_{max} + I_c)\,R_1\,; \qquad (15)$$

$$E \geqslant V_s + (I_{min} + I_c)\,R_1\,. \qquad (16)$$

Dans notre cas, avec le courant I_c du circuit d'utilisation qui varie, nous utiliserons, pour déterminer E, les relations

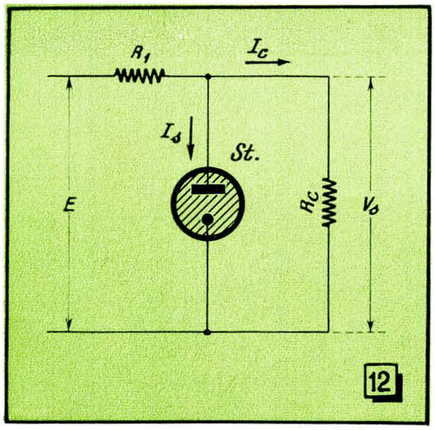

Fig. 12. — *Schéma-type d'un montage stabilisateur de tension à tube à gaz, dans lequel la tension d'alimentation et le courant I_c du circuit d'utilisation sont tous les deux variables.*

(14) et (16), en y faisant $I_c = I_{c\,max}$ et en adoptant celle qui conduit à la plus grande valeur de E.

Deuxième cas. — La tension d'alimentation E et le courant I_c du circuit d'utilisation varient tous les deux.

Si la variation de la tension d'alimentation s'exprime par $\pm n\,\%$, les deux valeurs extrêmes E_{min} et E_{max} sont dans le rapport

$$E_{max} = E_{min}\,\frac{E + n}{E - n}\,. \qquad (17)$$

D'autre part, on doit évidemment avoir, d'après les inégalités (14) et (15), en

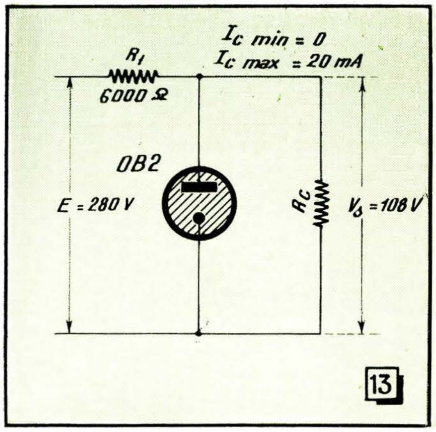

Fig. 13. — *Montage stabilisateur à tube OB 2 : le courant d'utilisation varie de 0 à 20 mA.*

faisant intervenir, dans la première, $I_c = I_{c\,max}$, et dans la seconde, $I_c = I_{c\,min}$:

$$E_{min} \geqslant V_a + \frac{V_a}{V_s}\,R_1 I_{c\,max}\,; \qquad (18)$$

$$E_{max} \leqslant V_s + (I_{max} + I_{c\,min})\,R_1\,. \quad (19)$$

Les deux inégalités seront satisfaites si les valeurs E_{min} et R_1 sont telles que nous ayons

$$\left(V_a + \frac{V_a}{V_s}\,R_1 I_{c\,max}\right)\frac{E + n}{E - n}$$
$$\leqslant V_s + (I_{max} + I_{c\,min})\,R_1\,. \qquad (20)$$

Exemples de calcul

1. — La tension d'alimentation est stable et sa valeur E = 280 V, nous est connue. Calculer la valeur de R_1 pour avoir à la *sortie une tension stabilisée à 108 V, avec un débit du circuit d'utilisation variant de 0 à 25 mA.*

Adoptons le tube OB 2, ou un tube analogue (fig. 13) dont la tension d'amorçage est $V_a = 132$ V. Tirons d'abord la valeur de R_1 de la relation (14), ce qui nous donne

$$280 \geqslant 132 + \frac{132}{108}\, 25 \,.\, 10^{-3}\, R_1 ,$$

c'est-à-dire, en arrondissant :

$$280 \geqslant 132 + 3 \,.\, 10^{-2}\, R_1 .$$

Cela nous donne $R_1 \leqslant 4940\ \Omega$. Pour avoir la limite inférieure de R_1 nous utilisons l'inégalité (15) qui s'écrit alors, en prenant $I_{c\,min} = 0$,

$$280 \leqslant 108 + 3 \,.\, 10^{-2}\, R_1 .$$

Nous voyons que cela nous donne $R_1 \geqslant 5750\ \Omega$. Les deux conditions sont incompatibles, ce qui veut dire que l'intensité maximale $I_{c\,max}$ est trop élevée. Augmenter la tension d'alimentation E ne servirait à rien, car les deux inégalités en présence montrent que l'incompatibilité subsistera, quelle que soit la valeur de E, tant que les deux facteurs de R_1 demeurent du même ordre de grandeur.

Si nous refaisons le calcul pour $I_{c\,max} = 20$ mA, nous aboutirons à deux inégalités parfaitement compatibles : $R_1 \leqslant 6060\ \Omega$ et $R_1 \geqslant 5740\ \Omega$. Autrement dit, la solution consisterait à adopter $R_1 = 6000\ \Omega$.

On peut, d'ailleurs, lorsqu'on arrive à une incompatibilité, prendre la plus grande des deux valeurs de R_1, la porter dans l'inégalité (14) et en tirer la valeur maximale admissible de I_c. Par exemple, si nous faisons ce calcul avec $R_1 = 5750\ \Omega$, nous trouvons $I_{c\,max} = 21$ mA.

Si nous avions absolument besoin d'une intensité $I_{c\,max}$ nettement plus élevée, on pourrait songer à utiliser deux tubes stabilisateurs en parallèle, suivant le schéma de la figure 7 de notre dernier numéro. Par exemple, si nous avions besoin de $I_{c\,max} = 40$ mA, nous aboutirions à une première inégalité $R_1 \leqslant 3000\ \Omega$ env. en utilisant la relation (14), et à $R_1 \geqslant 2880\ \Omega$ en utilisant l'inégalité (15), puisque nous aurons alors $I_{max} = 60$ mA.

Il faut ajouter, cependant, que tous les calculs supposant une tension d'alimentation E constante ne peuvent avoir un sens pratique que si cette tension est déjà stabilisée, par un dispositif à ferrorésonance, par exemple.

Si l'on a besoin d'un stabilisateur « absorbant » une variation de I_c non pas entre une valeur nulle et une certaine valeur $I_{c\,max}$, mais entre deux valeurs $I_{c\,min}$ et $I_{c\,max}$ non nulles, la plage de variation maximale possible se rétrécit d'autant plus que la valeur $I_{c\,max}$ est plus élevée. C'est ainsi que nous pouvons, et il est facile de le vérifier par le calcul, obtenir une variation de 5 à 25 mA avec $R_1 = 4900\ \Omega$ très sensiblement, le calcul se faisant comme précédemment, en remplaçant dans (15) I_{max} par $I_{max} + I_{c\,min}$.

Mais si nous voulons une limite supérieure $I_{c\,max} = 40$ mA, par exemple, le courant $I_{c\,min}$ ne devrait pas être inférieur à 17 mA, avec R_1 de l'ordre de 3000 Ω.

2. — La tension d'alimentation E varie de ± 5 % autour de sa valeur nominale 280 V. Quelle est la limite maximale $I_{c\,max}$ de la variation du courant de charge, en supposant que la valeur minimale de ce courant soit nulle ? La tension stabilisée est, comme dans l'exemple précédent, $V_s = 108$ V.

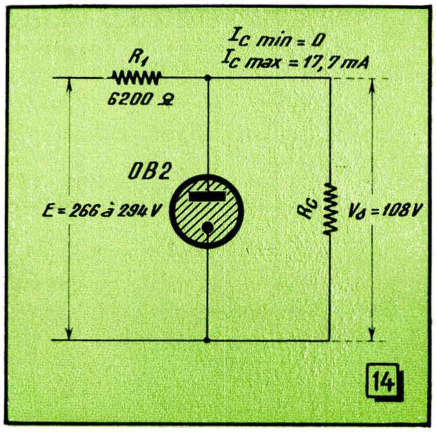

Fig. 14. — *Dans cet exemple, la tension d'alimentation varie de ± 5 %. On cherche la plage de variation admissible de I_c.*

Le calcul est très simple. On tire d'abord la valeur de R_1 de la relation (19), ce qui donne, puisque $E_{max} = 294$ V,

$$294 \leqslant 108 + 3 \,.\, 10^{-2}\, R_1$$

et

$$R_1 \geqslant 6200\ \Omega .$$

On porte alors cette valeur dans l'inégalité (18) et on obtient

$$266 \geqslant 132 + 1{,}22 \,.\, 6200\, I_{c\,max} ,$$

ce qui aboutit à

$$I_{c\,max} \leqslant 17{,}75 \,.\, 10^{-3}\ \text{A} ,$$

soit un courant ne dépassant pas 17,75 mA (fig. 14).

On pourrait, d'une façon tout à fait analogue, calculer les limites de toute autre plage de variation de I_c, en s'imposant une certaine valeur $I_{c\,min}$ que l'on porterait dans (19).

On se rendrait compte également, par un calcul rapide, que la plage de variation admissible pour I_c se rétrécit lorsque la variation de la tension d'alimentation augmente. Par exemple, si cette variation atteint ± 10 %, on trouverait pour R_1 une valeur de 6670 Ω env. et pour $I_{c\,max}$ une limite supérieure de 14,7 mA à peu près. Si l'on admet une valeur de $I_{c\,max}$ plus élevée, avec la limite $I_{c\,min}$ non nulle, la plage de variation possible devient encore plus réduite.

3. — Déterminer la tension d'alimentation minimale E, supposée stable, de façon à obtenir une tension stabilisée de 150 V, le débit du circuit d'utilisation variant de 0 à 20 mA.

La tension stabilisée étant de 150 V, on choisit le tube OA 2, avec $V_a = 180$ V.

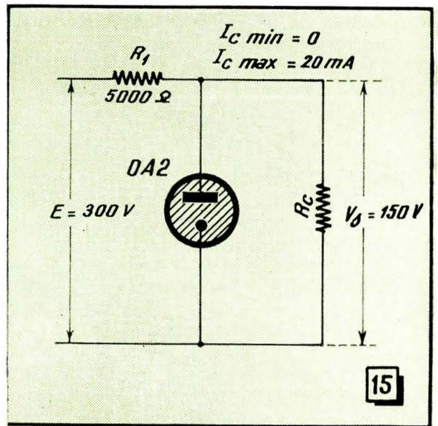

Fig. 15. — *Même exemple de calcul que pour le cas de la figure 13, mais ici, avec un tube O A 2.*

La tension cherchée E doit satisfaire simultanément les inégalités (14), (15) et (16), c'est-à-dire :

$$E \geqslant 180 + \frac{180}{150} \,.\, 20 \,.\, 10^{-3}\, R_1 ; \qquad (a)$$

$$E \leqslant 150 + 30 \,.\, 10^{-3}\, R_1 ; \qquad (b)$$

$$E \geqslant 150 + 25 \,.\, 10^{-3}\, R_1 .$$

La troisième inégalité est satisfaite par la solution de la première, c'est évident, tandis que la première et la deuxième sont compatibles si nous avons

$$180 + 24 \,.\, 10^{-3}\, R_1 \leqslant 150 + 30 \,.\, 10^{-3}\, R_1 ,$$

ce qui conduit à $R_1 \geqslant 5000\ \Omega$. En portant cette valeur dans la première inégalité, on trouve

$$E \geqslant 180 + 24 \,.\, 10^{-3} \,.\, 5000$$
$$\geqslant 180 + 120 = 300\ \text{V}.$$

Ces conditions de fonctionnement sont résumées sur le schéma de la figure 15.

Nous voyons qu'à l'aide des mêmes relations il est possible de formuler la condition de compatibilité des inégalités (*a*) et (*b*) ci-dessus pour une certaine valeur limite du courant $I_{c\,max}$. Il suffit d'écrire

$$180 + 1{,}2\, I_{c\,max}\, R_1 = 150 + 30 \,.\, 10^{-3}\, R_1 ,$$

ce qui entraîne

$$30 = R_1 (30 \,.\, 10^{-3} - 1{,}2\, I_{c\,max}) .$$

Pour que cette expression ait un sens, il faut évidemment que nous ayons

$$30 \,.\, 10^{-3} - 1{,}2\, I_{c\,max} > 0 ,$$

ce qui entraîne

$$I_{c\,max} < \frac{30 \,.\, 10^{-3}}{1{,}2} \leqslant 25\ \text{mA} .$$

Cependant, la tension d'alimentation E nécessaire s'élève très vite lorsque $I_{c\,max}$ dépasse 20 mA. Par exemple, pour $I_{c\,max} = 24$ mA, nous aboutirons à $R_1 = 25\,000\ \Omega$ et, par conséquent, à $E \geqslant 180 + 600 \geqslant 780$ V.

Les stabilisateurs de tension à tubes électroniques

L'utilisation des tubes électroniques ou, plus exactement, l'utilisation combinée de ces tubes avec les tubes stabilisateurs à gaz, permet de réaliser des stabilisateurs beaucoup plus efficaces et intéressants que ceux dont nous avons passé en revue les différentes variantes, et qui ne faisaient appel qu'à des tubes à gaz.

Principe général

Le schéma le plus simple d'un stabilisateur électronique est celui de la figure 16. Si l'on exprime en pour-cent la variation ΔE de la tension d'alimentation et celle, ΔV_s de la tension stabilisée, le coefficient de stabilisation K s'exprime par le rapport

$$K = \frac{\Delta E}{\Delta V_s} \qquad (21)$$

D'autre part, l'accroissement ΔV_s de la tension stabilisée sera évidemment égal au produit de l'accroissement ΔI_a du courant anodique par la résistance totale de charge $R_{c\,tot}$, c'est-à-dire

$$\Delta V_s = \Delta I_a R_{c\,tot} .$$

La résistance totale de charge est formée de deux branches parallèles : la résistance de charge R_c elle-même et la résistance du circuit du tube stabilisateur, égale à V_s/I_s. Etant donné que $I_s + I_c = I_a$, on arrive à l'expression de la résistance de charge totale :

$$R_{c\,tot} = \frac{V_s}{I_a} .$$

En réalité, les stabilisateurs de ce type sont généralement conçus pour des courants d'utilisation compris entre 60 et 100 mA, de sorte que le courant I_s est de 5 à 10 fois plus faible que le courant I_c. On peut donc, sans introduire une erreur excessive, négliger I_s et écrire

$$\Delta V_s \approx \Delta I_a R_c . \qquad (22)$$

Le schéma de la figure 16 montre encore qu'un accroissement ΔV_s de la tension stabilisée, provoqué par la variation ΔE de la tension d'alimentation, sera exprimé par

$$\Delta V_s = \Delta E - \Delta E_a , \qquad (23)$$

car le tube V et la charge R_c constituent un diviseur de tension pour la tension d'alimentation.

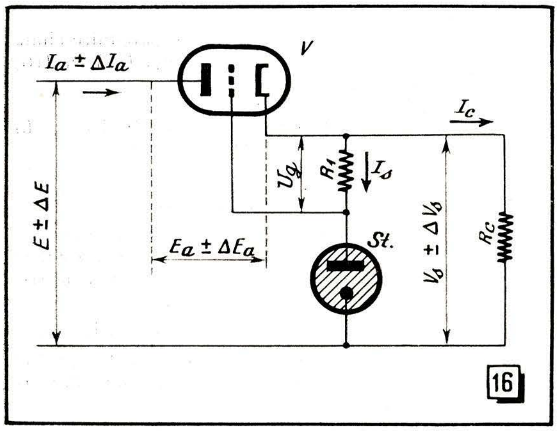

Fig. 16. — *Schéma classique d'un stabilisateur de tension électronique associé à un tube à gaz qui fournit à la triode une tension fixe de référence.*

Le tube V de la figure 16 est, en réalité, un « cathode follower », dans lequel un accroissement Δi_a du courant anodique est lié à la variation Δe_g de la tension de grille et à celle Δe_a de la tension d'anode par l'expression

$$\Delta i_a = S \Delta e_g - \frac{\Delta e_a}{R_i} , \qquad (24)$$

dans laquelle S représente la pente du tube et R_i sa résistance interne. Comme la tension aux bornes du tube stabilisateur St. reste fixe, toute variation ΔV_s de la tension stabilisée se trouvera reportée sur la grille de V. Nous pouvons donc considérer que, dans l'expression (24), $\Delta e_g = \Delta V_s$, $\Delta i_a = \Delta I_a$ et $\Delta e_a = \Delta E_a$.

Dans tout tube électronique, nous avons $S = \mu/R_i$, de sorte que l'expression (24), après remplacement de ses différents termes par leur équivalent indiqué cidessus, et en posant, d'après (23), $\Delta E_a = \Delta E - \Delta V_s$, devient

$$\Delta I_a = \frac{\mu}{R_i} \Delta V_s - \frac{1}{R_i} (\Delta E - \Delta V_s) .$$

En portant la valeur ainsi définie de ΔI_a dans l'expression (22) nous obtenons

$$\Delta V_s = \frac{R_c}{R_i} \mu \Delta V_s - \frac{R_c}{R_i} (\Delta E - \Delta V_s) .$$

En divisant tous les termes par ΔV_s et en résolvant, ensuite, par rapport à $\Delta E/\Delta V_s$ on aboutit à

$$\frac{\Delta E}{\Delta V_s} = \mu + 1 - \frac{R_i}{R_c} . \qquad (25)$$

Le coefficient de stabilisation K, exprimant le rapport ΔE en pour-cent à ΔV_s en pour-cent, s'écrit

$$K = \frac{\Delta E \, . \, V_s}{E \, . \, \Delta V_s} ,$$

c'est-à-dire

$$K = \frac{V_s}{E} \left(1 + \mu - \frac{R_i}{R_c} \right) . \qquad (26)$$

Il est également intéressant de connaître la résistance interne r_i du stabilisateur, qui est égale, dans notre cas, à

$$r_i \approx \frac{R_i}{1 + \mu} . \qquad (27)$$

On voit, par conséquent, que l'accroissement de K et la diminution de r_i peuvent être obtenus en faisant appel à un tube V possédant un coefficient d'amplification μ élevé et une résistance interne R_i faible.

(A suivre.) **R. M.**

Amplificateurs de mesure galvanométriques A 25 et A 70

(BRION LEROUX)

Il y a quelque temps (n° 199 de R. C.) nous avons donné quelques indications générales sur l'emploi des amplificateurs galvanométriques dans les mesures, télémesures et régulation. Vous trouverez cidessous les principales caractéristiques des deux types de ces amplificateurs fabriqués par **Brion Leroux.**

A 25. — Les tensions à l'entrée des différents modèles sont de 0 à 5, 0 à 10, 0 à 20 et 0 à 50 mV, avec une consommation, respectivement, de 4, 2, 1 et 0,5 µA. Le courant de sortie, proportionnel à la tension d'entrée à ± 1 % près, est de 0 à 5 mA dans une charge de 0 à 500 Ω. Cet amplificateur exige une source d'alimentation extérieure de 6 V, en continu filtré.

A 25 B. — Mêmes caractéristiques que celles du A 25, mais l'appareil comporte sa propre alimentation incorporée.

A 70. — Alimentation incorporée à partir du secteur 127/220 V, 50 Hz. Les tensions à l'entrée des différents modèles sont de 0 à 1, 0 à 5, 0 à 10 et 0 à 50 mV, avec une consommation, respectivement, de 0,15, 0,03, 0,02 et 0.005 µA. Le courant de sortie, proportionnel à la tension d'entrée à ± 0,5 % près, est de 0 à 5 mA dans une charge de 0 à 500 Ω.