

# Les alimentations stabilisées

(Suite — Voir N° 1478)

## Alimentations à courant constant

### GENERALITES

DANS certains cas, il peut être nécessaire d'avoir à sa disposition une source de courant (constant). On peut citer l'alimentation des diodes zener. En effet, si ces semi-conducteurs ont une tension qui dépend peu du courant qui les traverse, celle-ci varie tout de même. C'est presque sans influence pour les montages très simples comme ceux décrits dans notre premier article, mais dès que l'on utilise un amplificateur d'erreur de grand gain pour la comparaison de la tension de sortie et de la référence, la moindre variation de la tension zener se retrouve amplifiée en sortie, ce qui peut prendre des proportions telles que l'on ne doit pas négliger le phénomène. De plus, stabiliser le courant zener, revient à stabiliser la dissipation de ces éléments, donc leur équilibre thermique.

### IDEES DE DEPART

L'obtention d'une tension constante est conditionnée par une résistance interne très faible. On peut dire que pour obtenir un courant constant, il suffit de rechercher une résistance interne de la source la plus grande possible. On se rapproche assez de cette situation en alimentant notre zener, ou toute charge, par une résistance de valeur très élevée. Dans ces conditions, pour obtenir un courant suffisant, la loi d'Ohm nous oblige à « partir » d'une tension très élevée, ce qui est souvent incompatible avec la charge et la résistance série. La figure 1 donne le schéma correspondant.

### REALISATION PRATIQUE (figure 2)

Pour obtenir un courant constant réellement utilisable, il suffit de rendre constante la tension aux bornes de la résistance  $R_V$ . La source peut alors avoir une valeur acceptable. Si ENR varie, ES varie dans le même sens, puisque  $V_R$  varie de cette même façon. Mais  $V_Z$  étant constante, le courant émetteur ou collecteur (ce qui revient au même) reste constant.  $R_V$  détermine alors la valeur du courant (de court-circuit) désiré. On détermine facilement celui-ci en appliquant l'approximation suivante :  $I_r V_Z / R_V$ , d'autant plus précise que  $V_Z$  est grande. En effet, on n'a pas tenu compte du  $V_{be}$  du transistor. La figure 3 indique une réalisation pour forts courants. Pour des performances plus poussées, (très peu souvent nécessaires en pratique), on peut utiliser des régulateurs intégrés. En raison de la complexité du montage et les performances réellement nécessaires, on ne retiendra que les régulateurs (intégrés) du type tripolaire (ou RIT) comme l'indique la figure 4.

### PROBLEMES THERMIQUES

#### RESISTANCE THERMIQUE

Le ballast (surtout) ayant à dissiper une puissance importante, verra la température de sa jonction s'élever dangereusement si l'on n'évacue pas rapidement les calories. Ce sera le rôle du radiateur ou refroidisseur. La figure 5 montre l'existence de diverses résistances thermiques entre la jonction et l'air ambiant (ou « ambiante ») qui affaiblissent le « signal thermique » émis par la jonction.  $R_1$  est la résistance thermique ( $R_{th}$ ) jonction-boîtier ( $R_{th} j-b$ );  $R_2$  est la résistance thermique ( $R_{th}$ ) boîtier-radiateur ( $R_{th} b-r$ );  $R_3$  est la résistance thermique ( $R_{th}$ ) radiateur-ambiante ( $R_{th} r-a$ ). On voit que ces résistances, étant en série, s'additionnent et contribuent à un mauvais refroidissement de la jonction.

$R_1$  est fixée et définie à la construction du transistor.  $R_2$  peut être réduite si l'on monte directement le transistor sur son radiateur avec un peu de graisse siliconnée (celle-ci est un bon isolant

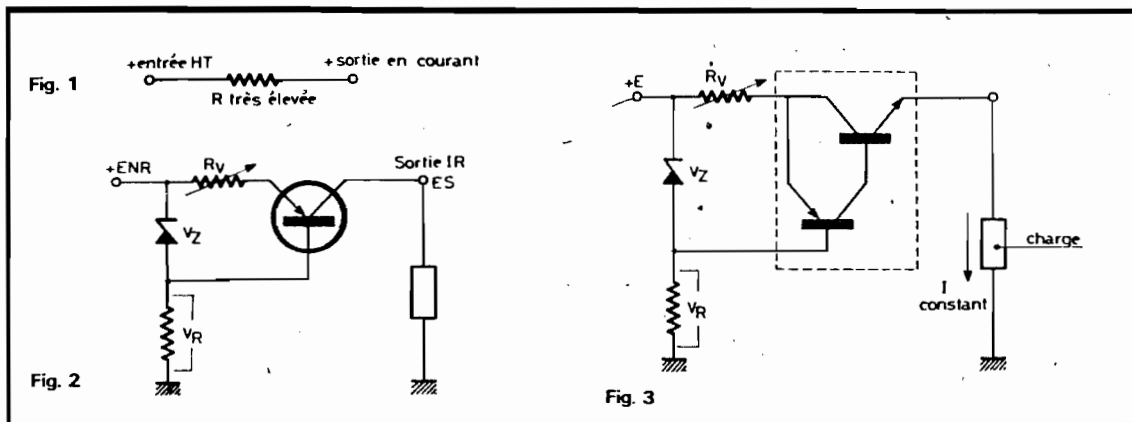
électrique et un bon conducteur thermique).

$R_3$  dépend surtout de la technologie du refroidisseur et d'autres facteurs que nous allons voir.

#### ECOULEMENT DE LA CHALEUR

La chaleur peut s'écouler d'un émetteur (thermique) vers un récepteur (thermique) de trois façons qui peuvent se combiner.

**Par conduction :** Le récepteur et l'émetteur sont en contact thermique direct ; c'est le cas de la jonction avec le boîtier, du boîtier et du radiateur (et du doigt qui touche le fer à souder). Le mica (ou plastique isolant) que certains utilisent sans répit, ayant une résistance thermique élevée, il est préférable d'isoler le radiateur (ou chaque radiateur) du châssis. **Par convection :** Le contact thermique s'effectue par l'intermédiaire d'une faible quantité d'air en mouvement. On voit sur la figure 6 que si les ailettes du radiateur (par exemple) sont insuffisamment rapprochées et de grande surface, l'air qui s'y trouve s'échauffe facilement et tend à s'élever le long des ailettes ; il se



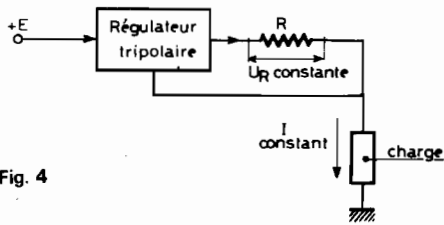


Fig. 4

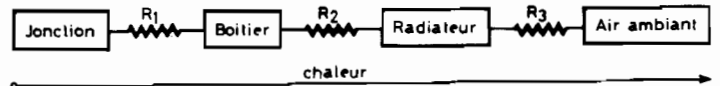


Fig. 5

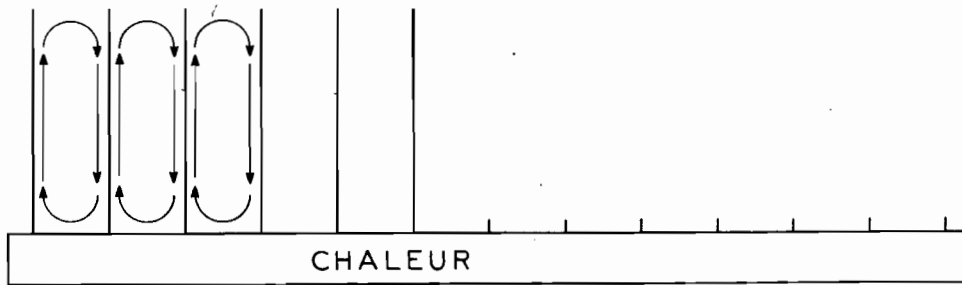


Fig. 6

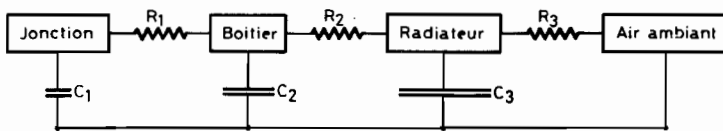


Fig. 7

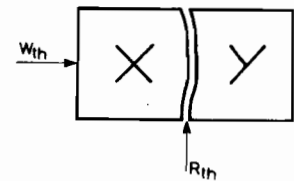


Fig. 8

créée donc une « aération » de l'ensemble. C'est ce principe qui est utilisé dans la plupart des bons radiateurs pour semi-conducteurs (et pour certains modèles d'appareillement). Nous avons parlé de convection naturelle (c'est-à-dire de transport de chaleur d'un corps à un autre par un fluide, l'air). Il est intéressant pour profiter pleinement des possibilités en puissance des semi-conducteurs, d'utiliser une convection dite « forcée » à l'aide d'un ventilateur. On aura soin de prévoir un système qui protégera les semi-conducteurs lors d'une panne éventuelle du ventilateur. Etant donné le prix de cet article, son utilisation ne sera envisagée que dans des cas bien particuliers (transistor de puissance haute fréquence, par exemple).

Pour ménager cet appareil, on pourra, à l'aide d'une thermistance (ou d'un système analogue), le mettre en marche lorsque le radiateur atteindra une certaine température.

#### PAR RAYONNEMENT

Comme le soleil, le transistor qui chauffe émet un rayonnement et l'on sait qu'un corps noir-

mât absorbe tous les rayonnements qu'il reçoit (il a donc une faible résistance aux rayonnements thermiques), et qu'un corps blanc brillant réfléchit une grande partie de ceux-ci. Donc, pour refroidir correctement les jonctions (ce qui revient à diminuer les résistances thermiques), on aura avantage à monter le transistor directement sur un radiateur noir-mât d'un matériau très bon conducteur de la chaleur (aluminium, cuivre) et d'une structure à ailettes. Cette géométrie a un deuxième avantage, c'est de réduire l'encombrement, car pour avoir un bon contact entre le radiateur et l'atmosphère ambiante, il faut une surface importante.

#### CAPACITE THERMIQUE

Il faut parler d'un autre ennui : la capacité thermique. On s'aperçoit qu'un récepteur (thermique) soumis à une énergie (thermique), n'atteint pas instantanément sa température de régime (inertie thermique). De la même façon, un récepteur (thermique) auquel on cesse de fournir des calories ne redescend pas instantanément à la température ambiante (rémanence thermique).

L'inertie et la rémanence thermiques sont les conséquences de la capacité thermique. Pareil à un condensateur, celle-ci se charge et se décharge à travers la résistance thermique. L'ensemble forme une constante de temps (RXC) thermique, difficile à évaluer. La figure 7 donne une idée des diverses capacités et résistances thermiques.

#### EVALUATION DES RESISTANCES THERMIQUES

Le fabricant de semi-conducteurs donnant des précisions quant à la résistance thermique ( $R_1$ ), il convient d'avoir des idées sur celle-ci. Etant donné le rapport d'une élévation de température et d'une puissance dissipée, elle se chiffre naturellement en degrés par watt ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ) qu'on pourrait appeler ohms thermiques (loi d'ohm thermique : résistance thermique = tension thermique ( $^{\circ}\text{C}$ )/courant thermique (W)).

Exemple : un corps x est relié à un corps y par une  $R_{th}$  de  $3^{\circ}\text{C}/\text{W}$ . Si l'on fournit (figure 8) au corps x une puissance de 10 W, la température de y sera inférieure

à celle de x de  $3 \times 10 = 30^{\circ}\text{C}$ . La résistance thermique a donc une chute de « tension thermique » de  $30^{\circ}\text{C}$ . A titre indicatif nous donnons la résistance thermique propre des micas que l'on intercale souvent entre le transistor de puissance et le refroidisseur, afin de les isoler. Elle est d'environ  $1,5^{\circ}\text{C}/\text{W}$  et s'abaisse à la moitié dès que l'on enduit les deux faces de graisse siliconée.

#### PUISANCE DISSIPABLE

La puissance maximale qu'un transistor peut dissiper dépend essentiellement de la température maximale que sa jonction peut supporter et de la résistance thermique jonction-boîtier. Considérons un transistor qui supporte au maximum 150 W à  $25^{\circ}\text{C}$  boîtier. Sa température de jonction ne devant pas dépasser  $100^{\circ}\text{C}$ . On peut connaître la résistance thermique jonction-boîtier. En effet, ce transistor supporte 150 W maximum, à  $25^{\circ}\text{C}$  boîtier ou  $100^{\circ}\text{C}$  jonction. La chute de « tension thermique » est donc de  $100^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} = 75^{\circ}\text{C}$ . La résistance thermique est de

$$\frac{75^{\circ}\text{C}}{150 \text{ W}} = 0,5^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

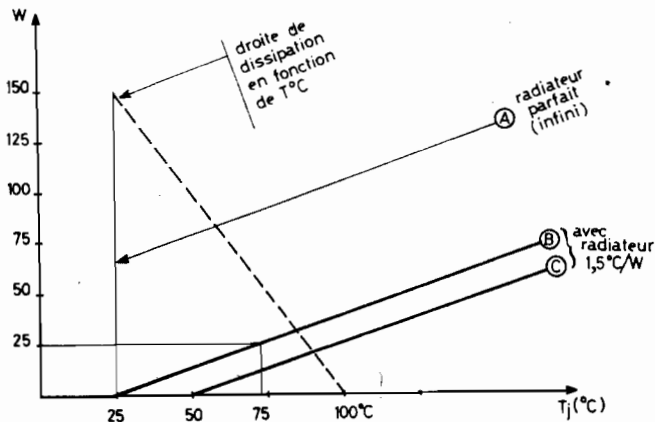


Fig. 9

D'autre part, la figure 9 indique qu'il supporte 150 W si le système de refroidissement est suffisamment parfait (radiateur infini), pour amener sa température de boîtier à 25 °C (A). En réalité, les refroidisseurs utilisés sont loin d'avoir une résistance thermique nulle. La droite (B) correspond à un radiateur de bonnes performances, dont la résistance thermique (soit l'inclinaison de la droite) est de 1,5 °C/W (en effet, celle-ci s'incline de  $75 - 25 = 50$  °C pour 25 W). On voit que la plupart du temps, sans recourir à des ventilations forcées ou autres procédés performants, on ne pourra dissiper avec le transistor pris en exemple, qu'un peu plus de 25 W. Nous sommes loin des 150 W annoncés par le fabricant. De plus, on a considéré que notre radiateur pouvait maintenir le boîtier du transistor à 25 °C (maxi). En réalité, ce serait considérer que la température ambiante est toujours inférieure à cette température. On aura conscience de la considérer à 50 °C. D'abord à cause des éléments proches (transformateur, redresseur, etc.) qui produisent de la chaleur, ensuite parce qu'on ne peut concevoir un montage qui ne pourrait fonctionner qu'à une saison.

Si nous traçons la droite du refroidisseur précédent, mais en partant de 50 °C (C), on voit qu'en fait, avec un bon refroidisseur, ce transistor de 150 W ne peut dissiper qu'une puissance assez inférieure à 25 W. La plupart du temps les fabricants de refroidisseurs, donnent la résistance thermique de leurs produits, ce qui évite un calcul des dimensions d'un radiateur artisanal. Elle n'est

valable que si ceux-ci sont aménagés de façon à avoir les ailettes verticales et si rien n'empêche l'aération naturelle. L'efficacité d'un refroidisseur est en partie due à sa surface de contact avec la température ambiante, ceux du commerce ont un profil souvent complexe qui permet de bonnes performances. Lorsqu'on réalise soi-même un refroidisseur, il convient d'utiliser une ou plusieurs plaques d'un matériau très bon conducteur de la chaleur et assez épais (surtout au centre) afin que la chaleur circule librement. On peut connaître approximativement sa surface par la formule suivante : Surface en  $\text{cm}^2 \approx 1000/1,5 R_{th}$ .

Pour des raisons de sécurité, il vaut mieux être généreux avec le résultat obtenu, car les calculs précédents n'ont pu nous conduire qu'à une  $R_{th}$  approximative pour le refroidisseur. De plus, on peut parfois attendre un quart d'heure pour que l'ensemble arrive à un équilibre thermique (capacité thermique non négligeable du radiateur).

Il faudra toujours tenir compte des capacités thermiques lorsqu'on fera dissiper des puissances importantes en un temps très faible. En effet, la jonction a une capacité (thermique) très faible et atteint très vite une température importante, alors que les autres capacités plus élevées mettent un temps plus important à se « charger ». En régime d'impulsions non répétitives ou séparées par un temps important, on devra pratiquement considérer que le radiateur est parfait. D'autre part, la capacité (thermique) de la jonction, même faible, permet, dans

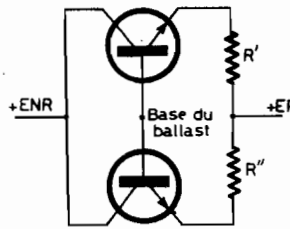


Fig. 10

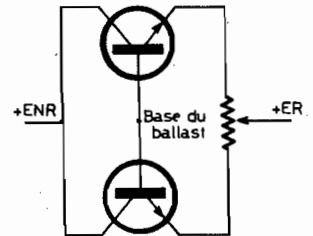


Fig. 11

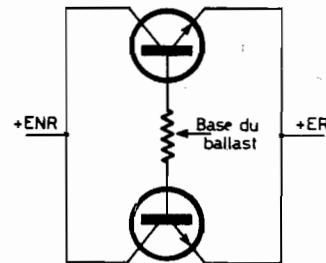


Fig. 12

ces conditions, des surcharges plusieurs fois supérieures à la dissipation maximale en régime de travail ininterrompu.

### MISE EN PARALLELE DE TRANSISTORS DE PUISSANCE

Lorsqu'il y a un problème de dissipation pour le ballast et qu'il n'existe pas de modèle supérieur, il est alors préférable d'en monter deux ou plus en parallèle. Cela permettra de multiplier par « n » transistors identiques, la dissipation primitive. Mais on ne peut le faire sans prendre certaines précautions. En effet, il existe entre deux transistors de même modèle, des différences inévitables de caractéristiques (surtout pour le silicium), ce qui pourrait entraîner une dissipation nettement différente dans chaque élément. On pourrait songer à trier les ballasts sur un grand nombre, mais ce système est très coûteux, ne permet pas la maintenance et de plus, d'après ce que l'on sait sur la stabilité à long terme des semi-conducteurs, il est très probable que les transistors appairés au départ, ne le soient plus après un certain temps d'utilisation. En fait, la meilleure solution consiste à équilibrer les courants. On peut penser à plusieurs solutions. Comme pour la mise en parallèle de diodes, on mettra une résistance, d'une fraction d'ohm en série dans l'émetteur de chaque transistor (figure 10).

Ce système peut augmenter la résistance interne de l'alimentation (on considère alors  $R'$  et  $R''$

en parallèle), mais a l'avantage d'être très simple et de permettre la fixation de plusieurs ballasts, directement sur le même radiateur (le collecteur étant relié au boîtier), ce qui permet un bon équilibre thermique de l'ensemble.

Théoriquement,  $A'$  et  $R''$  ne devraient pas être de même valeur, puisque la chute de tension à leurs bornes doit compenser les différences de caractéristiques ( $B$  et  $V_{be}$ ). La détermination exacte de ces résistances demanderait la connaissance des caractéristiques propres à chaque transistor (elles diffèrent notablement de celle du catalogue). De plus, en cas de maintenance, cette détermination serait à recommencer. Il est donc plus sage de prendre  $R'$  et  $R''$  identiques et la compensation sera valable pour tous les transistors en place. On pourrait penser, dans le cas de deux transistors seulement, à utiliser un potentiomètre comme l'indique la figure 11. Celui-ci devrait avoir une valeur si faible et une puissance si élevée, que l'on ne le trouverait pas dans le commerce. Une autre idée est celle de la figure 12. Cet assemblage n'est pas à conseiller car il compense mal les différences entre les deux transistors. De plus, à cause du gain des transistors, le potentiomètre devrait avoir une valeur assez importante, ce qui peut entraîner une chute de tension inutile à ses bornes. En fait, en équilibrant le courant émetteur on équilibre du même coup, les courants base et collecteurs ( $I_e = I_c = I_b$  en valeurs absolues).

G. MOURIER

(à suivre)