

# ALIMENTATIONS STABILISEES

# A TRANSISTOR

Le mois dernier, nous avons vu comment était constituée une alimentation secteur. Aujourd'hui, nous complétons cette alimentation en lui adjoignant une stabilisation de sa tension continue.

Si le courant demandé par le circuit d'utilisation est faible et constant, il suffit d'utiliser une régulation shunt à diode Zener, ne nécessitant, outre la diode, qu'une résistance.

Si le courant est plus élevé, on a intérêt à employer une régulation série avec un ou deux transistors « ballast » et également une diode Zener qui sert d'élément de référence.

Par une légère modification du schéma, la tension continue fournie peut être rendue réglable par un potentiomètre.

Cette étude sera suivie le mois prochain par des données pratiques pour la réalisation d'une alimentation stabilisée.

## Pourquoi une alimentation stabilisée ?

Le rôle d'une alimentation stabilisée continue est de fournir une tension constante quel que soit le courant demandé, et indépendante des variations du secteur.

Outre cet avantage d'avoir à sa disposition une tension toujours constante, une alimentation présente l'avantage de posséder une impédance interne excessivement faible. On connaît par expérience les méfaits

d'une impédance interne élevée qui, par exemple, occasionne des accrochages dans un amplificateur ou un récepteur radio.

Très schématiquement, une alimentation stabilisée se présente comme sur la figure 1. La tension d'entrée  $V_E$  est appliquée au circuit d'utilisation à travers un élément régulateur qui pourrait être une résistance variable  $R$  dont la valeur serait réglée en fonction des variations du courant  $I$  ou de la tension non stabilisée  $V_E$ . Si cette tension  $V_E$  vient à augmenter, la résistance  $R$  doit croître afin que

la chute  $RI$  soit plus grande, compensant exactement la hausse de  $V_E$ . Autrement dit, la formule est :

$$V_S = V_E - RI$$

## Régulation parallèle

Les systèmes de régulation se divisent en deux classes : la régulation parallèle (ou shunt) et la régulation série. Dans la première, l'élément régulateur est disposé en parallèle sur le circuit d'utilisation (fig. 2a).

Dans ce type de régulation, l'élément régulateur laisse passer un courant plus ou moins grand suivant les variations de  $V_E$ . Si cette tension d'entrée augmente, l'intensité fournie par la source croît, le courant supplémentaire passera dans le régulateur.

Sur la figure 2b, le circuit d'utilisation absorbe 0,9 A sous 10 V. La tension appliquée au circuit régulateur est de 30 V. Puisque la résistance  $R$  de régulation est de 15  $\Omega$  et que la tension à ses bornes est de 20 V (30 - 10), le courant le traversant est de 1,33 A (20 V / 15  $\Omega$ ). Il en résulte que le courant dans l'élément stabilisateur est de 0,43 A (1,33 - 0,9). Lorsque la tension  $V_E$  augmente, mettons qu'elle passe de 30 à 35 V (fig. 2c), la tension aux bornes de  $R$  passe à 25 V, d'où un courant dans  $R$  de 1,66 A et de 0,76 A dans le régulateur. Quant au circuit d'utilisation, il reste alimenté sous 10 V, tout en consommant toujours 0,9 A.

Si maintenant la tension  $V_E$  passe à 25 V (fig. 2d), le courant fourni

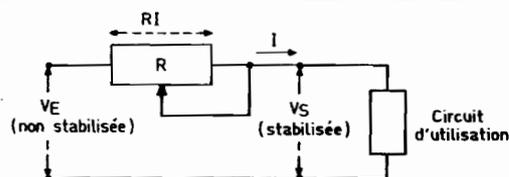


Fig. 1. — Représentation très schématique d'une alimentation stabilisée. La chute de tension  $RI$  compense la variation de  $V_E$ .

par la source  $V_E$  est de 1 A, il se divise en deux : 0,9 A dans le circuit d'utilisation et 0,1 A dans le régulateur.

On remarque qu'avec ce type de régulation on agit sur l'intensité.

Pendant longtemps (du temps des tubes à vide) on a utilisé comme régulateur un tube néon ou un tube régulateur à gaz tel que l'OA2 et l'OB2. Ces tubes, bien pratiques pourtant, avaient le fâcheux inconvénient de rentrer en oscillation si on ne prenait pas certaines précautions. Maintenant, c'est la diode Zener qui est employée universellement comme régulateur shunt.

On sait que la diode Zener est caractérisée par sa tension de référence  $V_Z$ , par son courant  $I_{Zmin}$  et  $I_{Zmax}$  délimitant une zone d'utilisation (fig. 3). En choisissant une diode Zener, on doit également penser à sa puissance maximale, qui

est égale au produit  $I_{Zmax} \times V_Z$ . Il est également intéressant de connaître sa résistance dynamique  $K_z$  qui est le rapport entre la tension appliquée à la zener et le courant Zener résultant

$$K_z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}$$

Ce rapport doit être le plus faible possible. Il est concrétisé sur la figure par la pente du courant  $I_Z$ . Plus cette pente sera proche de la verticale, meilleure sera la régulation. Enfin, le coefficient de température d'une diode zener est un élément intéressant à connaître pour certaines applications. Il est positif pour les diodes zener ayant un  $V_Z$  supérieur à 6 V, et négatif pour celles dont le  $V_Z$  se trouve au-dessous de cette valeur. En combinant deux diodes en série, on arrive à réduire considérablement le coefficient de température total.

Pour davantage de pré-

cisions, lire l'article « La diode zener et ses applications » dans le Haut-Parleur de janvier 1983.

### Régulation à diode Zener

Le schéma en est donné sur la figure 4. Prenons un exemple numérique pour le calcul d'un régulateur alimentant un circuit ne consommant pratiquement pas de courant. Nous disposons de 18 V ( $V_E$ ) pouvant varier de  $\pm 20\%$  (c'est-à-dire entre 14,4 et 21,6 V), et nous avons besoin d'une tension régulée de 5 V. Il faut donc calculer R et choisir la diode zener.

### Calcul des éléments

On trouve des diodes zener dont la gamme de tension  $V_Z$  peut aller de quelques volts (2,7 V) à

plusieurs dizaines de volts. Quant à leur puissance dissipée maximale, elle peut aller de 0,2 W à plusieurs watts, ou à plusieurs dizaines de watts à condition d'utiliser un radiateur.

Dans notre exemple, la puissance mise en jeu est faible, choisissons une diode de 0,5 W, comme la BZX55, ou plus exactement le type BZX55/C5V1 qui donne une tension zener garantie entre 4,8 et 5,4 V. Première constatation : la tension régulée ne sera pas 5 V pile (à moins d'en trier une bonne quantité) mais une tension pouvant tomber entre les valeurs données ci-dessus. Le courant  $I_{Zmax}$  de cette diode ne devra pas excéder

$$\frac{0,5 \text{ W}}{5 \text{ V}} = \frac{P_{max}}{V_Z}$$

soit 0,1 A. Pour plus de sûreté, prenons une marge de 20 %, le courant  $I_Z$  ne devra jamais dépasser

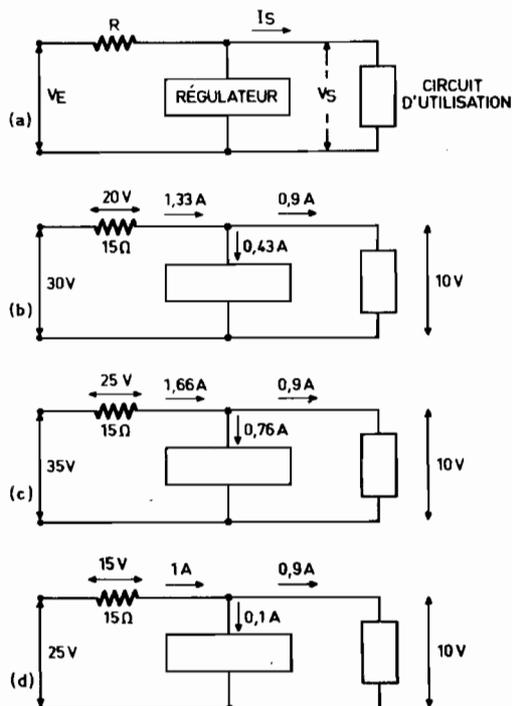


Fig. 2. — Principe de la régulation parallèle. Pour maintenir à ses bornes une tension toujours constante, le régulateur se laisse traverser par plus ou moins de courant.

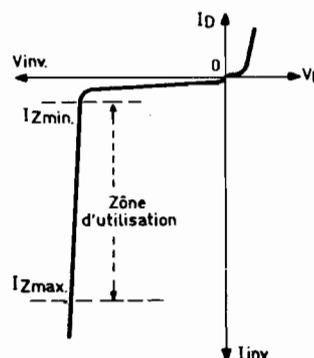


Fig. 3. — Caractéristique de la diode zener. Le courant  $I_Z$  ne doit pas être inférieur à  $I_{Zmin}$ . (Pour garder une bonne régulation), ni supérieur à  $I_{Zmax}$  (afin de ne pas échauffer ou détruire la diode).

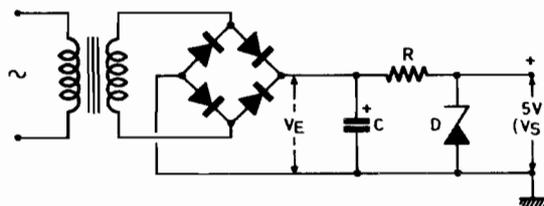


Fig. 4. — Schéma d'une alimentation stabilisée par une diode zener.

80 mA. Ainsi, lorsque la tension  $V_E$  atteindra son maximum (21,6 V), la tension aux bornes de R sera 21,6 - 5, soit 16,6 V, et le courant dans R sera égal à 80 mA (courant passant également dans la diode). Ceci donne une valeur de R égale à

$$\frac{16,6 \text{ V}}{0,08 \text{ A}} = 207,5 \Omega$$

Nous prendrons la valeur normalisée directement supérieure, soit 220  $\Omega$ . Il ne faut pas oublier le « wattage » de la résistance, et par précaution, au cas où le circuit d'utilisation serait en court-circuit, prévoyons que la tension de 21,6 V pourrait se trouver aux bornes de R, auquel cas la puissance dissipée dans R serait

$$\frac{(21,6 \text{ V})^2}{220} = 2,12 \text{ W}$$

(choix d'une résistance bobinée 3 W, 220  $\Omega$ ).

Passons maintenant au cas où la tension  $V_E$  est à son minimum (14,4 V). La tension aux bornes de R n'est plus que de 14,4 - 5 = 9,4 V, le courant dans R, et dans la zener passe à

$$\frac{9,4 \text{ V}}{220} = 42,7 \text{ mA}$$

Ce courant doit être supérieur au courant limite  $I_{Zmin}$  au-dessous duquel il n'y aurait pas régulation. Pour la BZX55,  $I_{Zmin}$  est d'environ 2 mA.

Deuxième exemple d'application. Le circuit d'utilisation réclame 200 mA sous - 5 V. La tension  $V_E$  est la même (fig. 5). La diode zener est alors inversée (polarité négative), et nous choisissons un modèle de 1,3 W (BZX 85/C5V1). Valeur du courant  $I_{Zmax}$  :

$$\frac{1,3 \text{ W}}{5 \text{ V}} = 260 \text{ mA}$$

En fait, nous prendrons 100 mA comme valeur maximale de  $I_Z$  (nous en

verrons plus loin la raison). La méthode de calcul est la même que pour l'exemple précédent, sauf que nous devons considérer le courant d'utilisation pour le calcul de R. Ainsi, lorsque  $V_E$  est à sa valeur maximale (21,6 V) la tension aux bornes de R est de 16,6 V et le courant traversant R est :  $I_R = 0,1 \text{ A} + 0,3 \text{ A}$ , soit 0,4 A. La résistance R est donc :

$$\frac{16,6 \text{ V}}{0,4 \text{ A}} = 41,5 \Omega$$

(valeur normalisée 43  $\Omega$ ). Lorsque  $V_E$  est à sa valeur minimale (14,4 V), nous devons nous assurer que le courant minimal  $I_{Zmin}$  n'est pas trop faible, c'est-à-dire pas inférieure à 2 mA, sinon la régulation ne se fait pas dans de bonnes conditions. Calculons  $I_R$  et  $I_Z$  pour  $V_{Emin}$  :

$$I_R = 9,4 \text{ V} / 43 \Omega$$

$$= 218,6 \text{ mA},$$

$$I_Z = 218,6 - 200$$

$$= 18,6 \text{ mA},$$

$I_Z$  est bien supérieur à la valeur  $I_{Zmin}$  du BZX 55.

### Courant d'utilisation variable

Le problème se complique encore si le courant d'utilisation est variable. Ce serait le cas d'une alimentation destinée à un amplificateur classe AB dont le courant continu est fonction de la puissance instan-

tanée demandée par l'étage de sortie. Pour le calcul de la résistance de régulation R, il est préférable de considérer les deux cas extrêmes ( $V_{Emax}$ ,  $I_{Smin}$  d'une part, et  $V_{Emin}$  et  $I_{Smax}$  d'autre part), de calculer la résistance R pour chacun de ces cas, puis de faire la moyenne des deux valeurs calculées, ce qui nous donnera la résistance optimale de régulation.

Jusqu'ici nous avons employé deux formules :

$$R = \frac{V_{Emax} - V_S}{I_{Zmax}}$$

(pour un courant d'utilisation  $I_S$  négligeable) et

$$R = \frac{V_{Emin} - V_S}{I_{Zmax} + I_S}$$

(lorsque le circuit d'utilisation consomme un certain courant  $I_S$ ).

Nous calculerons maintenant R d'après les deux formules suivantes.

Cas extrême où  $V_E$  est à son maximum et  $I_S$  est à son minimum :

$$R' = \frac{V_{Emax} - V_S}{I_{Zmax} + I_{Smin}}$$

Cas opposé où  $V_E$  est minimal et  $I_S$  maximal :

$$R'' = \frac{V_{Emin} - V_S}{I_{Zmin} + I_{Smax}}$$

La valeur finale de R est donnée par :

$$R = \frac{R' + R''}{2}$$

( $V_S$  étant bien sûr la tension zener).

Faisons rapidement une application numérique en reprenant le deuxième exemple, mais en supposant que

le courant d'utilisation peut varier de zéro à 200 mA. Les données du problème sont alors :

$$V_{Emax} = 21,6 \text{ V}$$

$$V_{Emin} = 14,4 \text{ V}$$

$$I_{Zmax} = 260 \text{ mA}$$

$$I_{Zmin} = 2 \text{ mA}$$

$$V_S = 5 \text{ V}$$

$$I_{Smin} = 0 \text{ mA}$$

$$I_{Smax} = 200 \text{ mA}$$

Calcul des deux valeurs de résistance :

$$R' = \frac{21,6 - 5}{0,26 + 0} = \frac{16,6}{0,26}$$

$$= 63,85 \Omega$$

$$R'' = \frac{14,4 - 5}{0,002 + 0,2}$$

$$= \frac{9,5}{0,202} = 47 \Omega$$

La valeur de R est donc :

$$\frac{47 + 63,85}{2} \approx 55 \Omega$$

(valeur normalisée 56  $\Omega$ ).

### Régulation d'un courant plus élevé

L'association d'une diode zener et d'un transistor (fig. 6) est équivalente à une diode zener de plus forte puissance. Une variation de tension en sortie se répercute aux bornes de  $R_1$ , elle-même branchée entre base et émetteur de T. Si la tension  $V_S$  augmente,  $V_R$  augmente, rendant la base plus négative par rapport à l'émetteur, le transistor (PNP) devient davantage passant, autrement dit son courant  $I_C$  croît, augmentant de ce fait la chute de tension aux bornes de  $R_2$  (résistance de régulation).

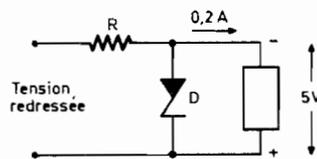


Fig. 5. - Régulation d'une tension négative. La diode zener doit être inversée.

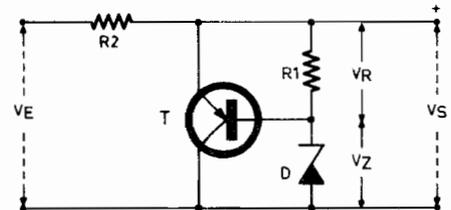


Fig. 6. - Un transistor est associé à la diode zener afin de réguler un courant plus élevé.

Le calcul des éléments peut se faire d'après ce qui a été dit plus haut. La résistance  $R_2$  est traversée par le courant d'utilisation  $I_S$  et le courant collecteur  $I_C$ . La variation de la chute de tension aux bornes de  $R_2$  rattrape la variation de tension  $V_S$ . On en déduit les valeurs  $I_{Cmax}$  et  $I_{Cmin}$ , ainsi que les valeurs correspondantes de  $I_B$  ( $= I_C / \text{gain}$  de courant du transistor). La résistance  $R_1$  est calculée pour laisser passer en permanence dans la diode D un courant  $I_{Zmin}$ . La tension de sortie  $V_S$  est égale à la tension zener  $V_Z$  plus la tension émetteur-base (0,6 V) du transistor.

**Régulation série**

La régulation parallèle a pour inconvénient son mauvais rendement énergeti-

que, la consommation de puissance dans la résistance  $R$  est assez importante et elle existe en permanence. On préfère remplacer cette résistance par un transistor qui fonctionne en résistance variable.

La régulation série utilise donc un transistor de puissance en série (pour la régulation) et une diode zener (comme élément de référence). Il en résulte une stabilisation meilleure et un rendement supérieur. En revanche, le circuit est plus complexe, et d'autre part on doit prévoir un circuit de protection contre les courts-circuits. La figure 7 représente un schéma simple de régulateur série. Les variations de tension de sortie se retrouvent entre base et émetteur du transistor T, souvent appelé « transistor ballast » (en

marine, le ballast est une charge équilibrant un navire. Ici, le ballast est une charge équilibrant une tension). Si  $V_S$  augmente, la tension  $V_Z$  étant fixe, la tension  $V_{BE}$  augmente (émetteur du NPN davantage positif), ce qui bloque légèrement le transistor ( $I_B$  diminue, ainsi que  $I_C$ , la résistance interne du transistor augmente et la tension  $V_S$  diminue et retrouve sa valeur normale).

On remarque que la tension de la zener est de l'ordre de celle de  $V_S$ , puisque la tension base-émetteur du transistor silicium n'est que 0,6 V. On remarque également que ce circuit est un montage collecteur commun (fig. 8), dont une des caractéristiques est sa faible impédance de sortie, ce qui est intéressant pour une alimentation. Si jamais l'utilisation se trouve en

court-circuit, toute la tension d'entrée apparaît aux bornes du transistor d'où la nécessité d'un circuit de protection.

La puissance dissipée dans le transistor en régime normal est :  $(U_E - U_S) I_C$ , avec  $U_S = U_Z - 0,6$  V.

Une variante du premier schéma utilise un montage Darlington (fig. 9). Le transistor ballast peut aussi être commandé par un ensemble « transistor-zener » comme nous l'avons utilisé dans le régulateur parallèle (fig. 10).

Dans le cas d'une augmentation de la tension  $V_S$ , la tension entre base et émetteur de  $T_2$  augmente, d'où une augmentation du courant  $I_C$  de ce transistor ; la chute aux bornes de  $R_1$  croît, diminuant la tension  $V_{BE}$ , et de ce fait le  $I_C$  du transistor  $T_1$ , il en résulte le retour de  $V_S$  à sa valeur normale.

**Réglage de la tension de sortie**

Nous pouvons modifier le schéma de telle sorte que la tension  $V_S$  soit réglable. Il suffirait d'avoir un commutateur et plusieurs diodes zener de différentes tensions. On préfère utiliser une diode zener et un potentiomètre dans le but d'obtenir un réglage continu de la tension  $V_S$  (fig. 11). Un schéma très usuel consiste à mettre la zener dans le circuit émetteur du transistor de commande  $T_2$  (fig. 12).

Ces montages nous amènent au circuit classique, souvent représenté, comportant un transistor ballast T, un circuit comparateur A, un circuit de référence (REF) et un pont de résistances ( $R_1$ ,  $R_2$ ) (fig. 13).

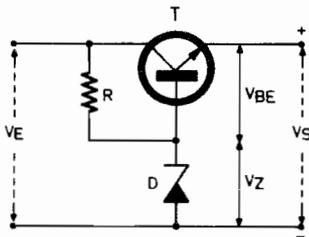


Fig. 7. - Régulation série.

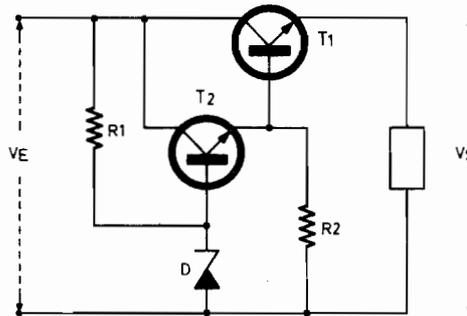


Fig. 9. - Régulation série pour courant fort. Un montage Darlington est utilisé.

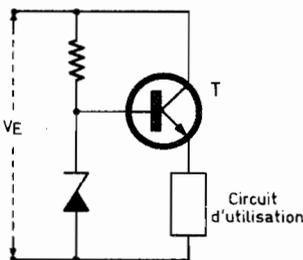


Fig. 8. - Autre représentation de la régulation série. Le transistor T est en collecteur commun.

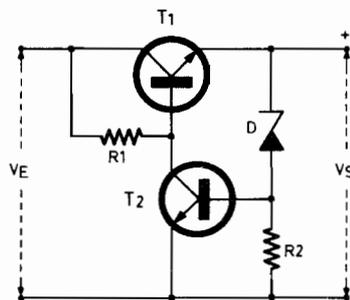


Fig. 10. - Autre forme d'une régulation série.

Le transistor  $T_2$  des précédents circuits est schématisé par l'amplificateur comparateur A qui reçoit d'une part une tension de référence (fournie par une zener) et une fraction de la tension à réguler :

$$(V_s \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}).$$

La différence des deux tensions est appelée « tension d'erreur ». A la sortie de ce comparateur, on trouve un courant  $I$  égal à cette tension d'erreur multipliée par la pente du transistor. Plus ce courant sera grand, moins élevé sera le courant allant vers la base de  $T$ , et

moins élevé sera aussi le courant  $I_c$  de  $T$ , donc le courant d'utilisation. Ce dernier devenant plus faible, la tension  $V_s$  retrouve sa valeur normale.

La figure 14 donne une explication sur la distribution des courants dans ce montage. Le courant  $I$  tra-

versant  $R$  est constant. Si le courant  $I_{c2}$  (du comparateur) vient à augmenter, cela entraîne nécessairement une diminution du courant  $I_{b1}$  (du transistor ballast).

### Un schéma pratique

Ce schéma (fig. 15) provient de l'alimentation d'un téléviseur du commerce. La tension fournie est de +9 V. Les deux transistors ballast ne sont nécessaires que si le courant demandé est vraiment élevé. Si  $I_s = 1$  A et si le gain  $B$  du transistor ballast est de 100,

$$I_b = \frac{1\,000\text{ mA}}{100} = 10\text{ mA},$$

il est alors nécessaire d'employer un Darlington ( $I_b$  ne doit pas dépasser 1 à 2 mA).

En ce qui concerne la résistance  $R_3$ , la tension à ses bornes est :

$$U_E - (U_s + U_{BE}),$$

elle est de l'ordre de 3 à 5 V. Nous avons vu que le courant la traversant est constant et égal à  $I_b$  du transistor ballast, plus le courant  $I_c$  de  $T_3$ . Ce courant  $I_c$  dépend de la pente du transistor ( $S = 40 I_c$  pour tous les transistors bipolaires,  $I_c$  étant en milliampères) et de la tension d'erreur appliquée (tension sur la base moins tension sur l'émetteur). La tension sur la base est une fraction de  $V_s$  et est réglable (potentiomètre P).

Souvent la résistance  $R_3$  est remplacée par un ensemble constituant un filtre passe-bas dont le rôle est de parfaire le filtrage du courant envoyé à la régulation.

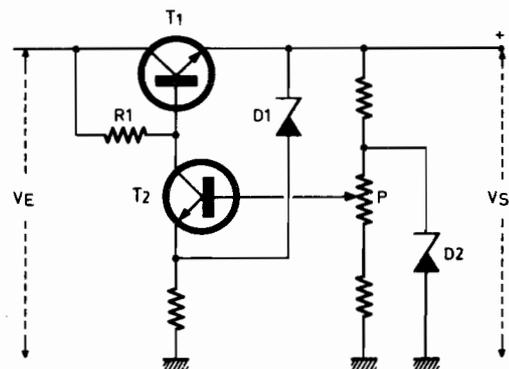


Fig. 11. - Régulation série avec possibilité de réglage de la tension de sortie.

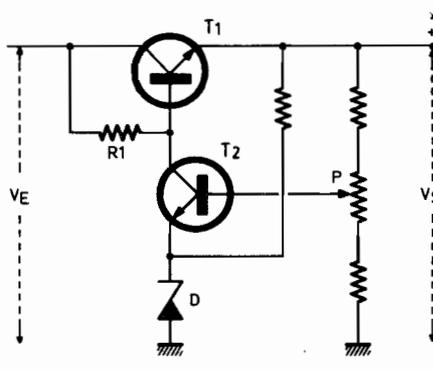


Fig. 12. - Variante du schéma de la figure 11.

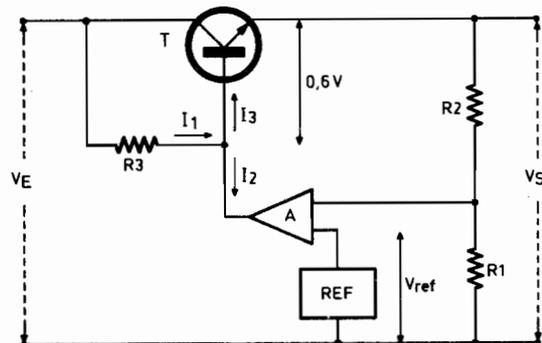


Fig. 13. - Représentation classique d'un circuit régulateur.

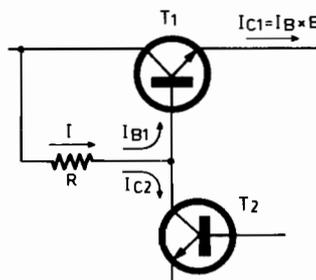


Fig. 14. - La résistance R fournit une intensité constante.

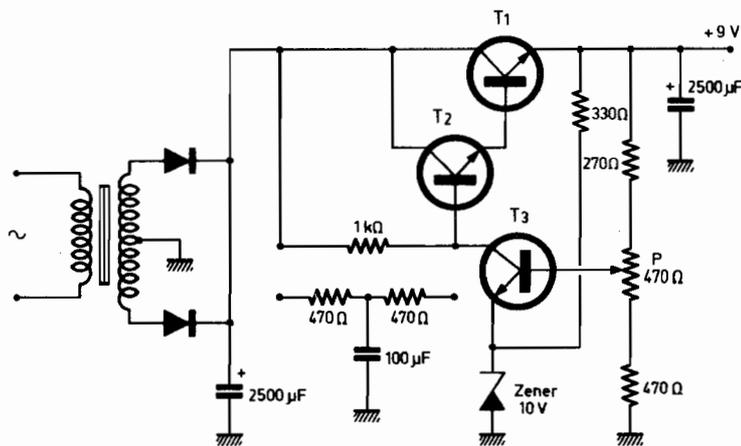


Fig. 15. - Schéma pratique d'une alimentation stabilisée à transistors.

J.-B. P.