

ÉDITÉ PAR LA  
COMPAGNIE  
DES PRODUITS  
ÉLÉMENTAIRES  
POUR INDUSTRIES  
MODERNES



# BULLETIN

# Transco



## STABILISATION DE TENSION PAR RÉISTANCES V. D. R.

La caractéristique exponentielle d'une résistance «V.D.R.» fait immédiatement penser à l'utilisation de celle-ci pour la stabilisation de tension.

L'exposé ci-dessous montre qu'un quadripôle comprenant simplement en série une résistance linéaire et en parallèle une résistance «V.D.R.» permet déjà d'obtenir un taux de stabilisation intéressant. Un montage plus complexe en pont donne une stabilisation plus élevée. Toutefois, les résistances «V.D.R.» n'offrent pas toujours la même souplesse d'emploi et les mêmes possibilités d'utilisation que les stabilisateurs avec tubes électroniques perfectionnés. La dissipation maximum admissible en régime continu d'un disque «V.D.R.» de 40 mm de diamètre et de 5 mm d'épaisseur est de 3 W. Ce chiffre limite les possibilités des résistances «V.D.R.»; il permet de voir qu'un seul élément n'est pas suffisant pour stabiliser une grande puissance et que le branchement en série ou en parallèle de ces éléments est parfois nécessaire. Par contre, les résistances «V.D.R.» s'imposent chaque fois qu'il faut, avant tout, tenir compte des facteurs de sécurité de fonctionnement et de prix de revient faible.

Les calculs sont établis pour un montage simple et pour une tension continue, mais une discussion rapide est également donnée dans le cas d'un montage en pont et d'une tension alternative.

### I. — STABILISATION AVEC TENSION D'ALIMENTATION VARIABLE ET RÉISTANCE DE CHARGE INFINIE

Le schéma le plus simple est donné par la fig. 1. En admettant que la résistance «V.D.R.» suive la loi :

$$V = C I^{\beta}$$

et que la tension d'alimentation  $V$  soit une tension continue, nous voyons que cette dernière est la somme de  $V_1$  et de  $V_2$  (tension d'utilisation).

$$V_1 = R I$$

$$V_2 = C I^{\beta}$$

Si  $V$  varie d'une petite quantité  $\Delta V$ , le courant  $I$  varie de  $\Delta I$  de façon que :

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 = \Delta I R + \Delta I \frac{\beta V_2}{I}$$

Dans cette formule, on admet que la variation de tension  $\Delta V_2$  aux bornes de la «V.D.R.» est très faible, de sorte que l'on peut considérer sa caractéristique dans cette zone de variation comme un élément de droite. L'expression  $\frac{\beta V_2}{I}$  est la résistance différentielle ou dynamique  $R_{11}$  de la «V.D.R.» pour la tension  $V_2$ ; elle est obtenue par différentiation par rapport à  $I$  de l'équation caractéristique  $V_2 = C I^{\beta}$ .

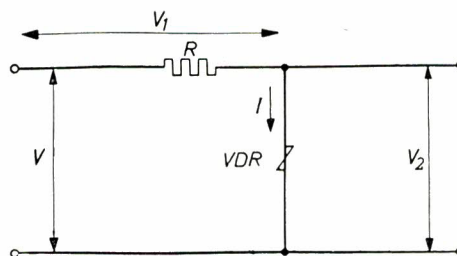


Fig. 1. — Schéma simple de stabilisation avec résistance de charge infinie.

L'expression  $\frac{V_2}{I}$  est ce que nous appellerons par la suite la résistance statique  $R_s$ .

Le facteur de stabilisation  $S$  sera défini comme étant le rapport de la variation relative de la tension d'alimentation et de la variation relative de la tension d'utilisation.

$$S = \frac{\frac{\Delta V}{V}}{\frac{\Delta V_2}{V_2}}$$

Mais :

$$\frac{\Delta V_2}{V_2} = \beta \frac{\Delta I}{I} = \frac{\beta \Delta V}{I R + \beta V_2} = \frac{\beta \Delta V}{V_1 + \beta V_2}$$

Donc :

$$S = \frac{V_1 + \beta V_2}{\beta V}$$

En posant  $x = \frac{V_2}{V}$  on obtient :

$$S = \frac{1}{\beta} - x \frac{1-\beta}{\beta} \quad (1)$$

La représentation graphique de la relation  $S(x)$  pour diverses valeurs usuelles de  $\beta$  choisies comme paramètres est donnée fig. 2. Exemple :  $V = 350$  V et  $V_2 = 100$  V. On a  $x = 0,286$ . Pour une « V.D.R. » ayant  $\beta = 0,2$  le facteur de stabilisation sera :  $S = 3,85$ . Ceci signifie qu'une variation de 10 % de la tension d'alimentation se traduit par une variation de  $\frac{10}{3,85} = 2,6$  % de la tension stabilisée.

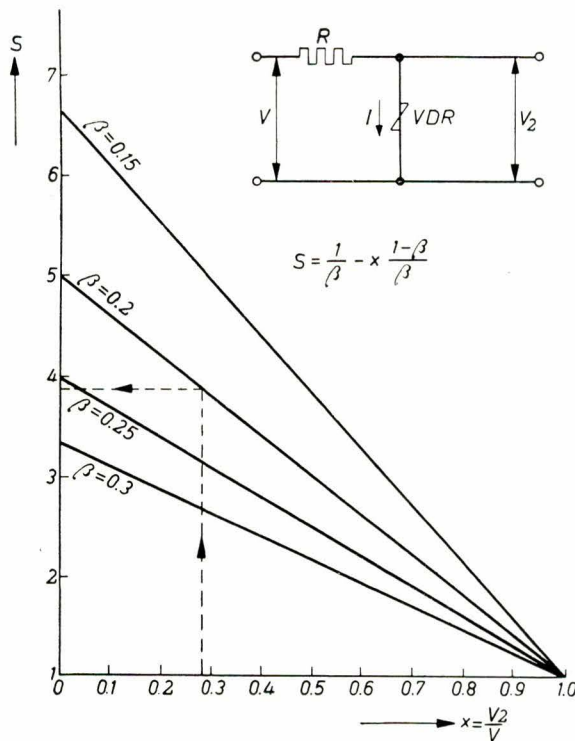


Fig. 2. — Graphique donnant le facteur de stabilisation  $S$  en fonction du rapport  $x = \frac{V_2}{V}$  avec  $\beta$  comme paramètre.

De la fig. 2, on déduit que, pour obtenir un facteur de stabilisation élevée, il faut :

- un exposant  $\beta$  faible;
- un rapport  $x$  faible.

D'après la relation (1) on voit qu'à la limite ce facteur de stabilisation ne peut pas dépasser  $1/\beta$ .

Avec un circuit non chargé, la puissance consommée sera naturellement faible pour que l'influence du circuit soit pratiquement négligeable. Il faudra donc que les valeurs de la résistance  $R$  et de la constante  $C$  de la « V.D.R. » soient élevées. Dans l'exemple ci-dessus, si l'on admet une dissipation totale de 0,5 W, le courant  $I$  pour la tension nominale d'alimentation sera de :

$$I = \frac{0,5 \cdot 10^3}{350} = 1,43 \text{ mA}$$

La « V.D.R. » sera alors déterminée en tenant compte d'une tension appliquée à ses bornes de 100 V et d'un courant de 1,43 mA; la valeur de  $C$  sera de 370 pour un exposant  $\beta = 0,2$  (voir bulletin Transco n° 1). La résistance  $R$  a donc pour valeur :

$$R = \frac{250}{1,43} = 175 \text{ K}\Omega$$

Normalement, il est préférable de choisir un type de « V.D.R. » standard dont la valeur se rapproche le plus de celle calculée. Ce type standard aura une valeur de  $C = 330$  environ et une valeur de  $\beta$  comprise entre 0,17 et 0,21 (en moyenne 0,19) : c'est le type VD 1050 P/330 B. Une tension de 100 V appliquée à un tel élément donne un courant de 1,7 mA, soit une puissance consommée totale de :  $350 \times 1,7 \cdot 10^{-3} = 0,6$  W environ. La résistance  $R$  aura une valeur de  $\frac{250}{1,7} = 147 \text{ K}\Omega$ .

Si l'on désire une tension nominale stabilisée de 100 V exactement, il est nécessaire de rendre une partie de la résistance  $R$  variable, de façon à tenir compte des tolérances de fabrication, sur les valeurs de  $C$  et de  $\beta$ , de la résistance « V.D.R. ».

Il y a lieu de remarquer que, précédemment, le facteur de stabilisation est calculé en supposant que la résistance « V.D.R. » fonctionne dans une gamme de tension où la relation caractéristique est applicable. Si cette tension est beaucoup plus petite que la valeur de  $C$ , la pente de la droite tension-courant tracée en coordonnées logarithmiques est plus grande que la valeur théorique donnée par la relation caractéristique; il en résulte que l'efficacité du circuit stabilisé est moindre que ne le laissent prévoir les calculs précédents.

## II. — STABILISATION AVEC RÉSISTANCE DE CHARGE

**1° Influence des variations de la tension d'alimentation.** — Un circuit simple stabilisé avec résistance « V.D.R. » et comprenant une résistance de charge  $R_L$ , correspond au schéma de la fig. 3. Le calcul du facteur de stabilisation fait intervenir, en plus de la notion de résistance dynamique  $R_d$ , la notion de résistance statique  $R_s$

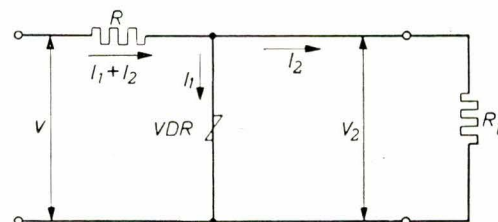


Fig. 3. — Schéma simple de stabilisation avec résistance de charge  $R_L$ .

de la « V.D.R. ». Nous avons déjà établi la relation entre ces deux résistances, à savoir :

$$R_{d1} = \beta \frac{V_2}{I_1} = \beta R_s$$

En posant  $x = V_2/V$ , le facteur de stabilisation sera :

$$S = \frac{\frac{\Delta V}{V}}{\frac{\Delta V_2}{V_2}} = \frac{V_2}{V} \frac{\Delta V}{\Delta V_2}$$

En remarquant que l'ensemble se comporte comme une résistance  $R$  en série avec deux résistances  $R_l$  et  $R_{d1}$  en parallèle, on en déduit que :

$$\frac{\Delta V}{\Delta V_2} = \frac{R + \frac{R_l \cdot R_{d1}}{R_l + R_{d1}}}{\frac{R_l \cdot R_{d1}}{R_l + R_{d1}}}$$

et en introduisant le facteur suivant :

$$y = \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_s}{R_l}$$

la relation donnant le facteur de stabilisation devient, tous calculs faits :

$$S = \frac{1}{\beta} - \frac{1-\beta}{\beta} \frac{x+y}{1+y} \quad (2)$$

Cette relation est à comparer avec la relation (1) donnant  $S$  dans le cas où  $R_l = 0$  et le courant  $I_2 = 0$ . Dans ce cas  $y = 0$  et l'on retrouve bien la relation (1).

La fig. 4 permet de déterminer rapidement le facteur de stabilisation lorsque  $\beta$ ,  $x$  et  $y$  sont donnés. L'exemple représenté par des traits interrompus sur la fig. 4 correspond au cas suivant :

$$V = 200 \text{ V} \quad V_2 = 60 \text{ V} \quad I_2 = 5 \text{ mA}$$

On a :  $x = 0,3$  et si l'on admet un courant de fuite de

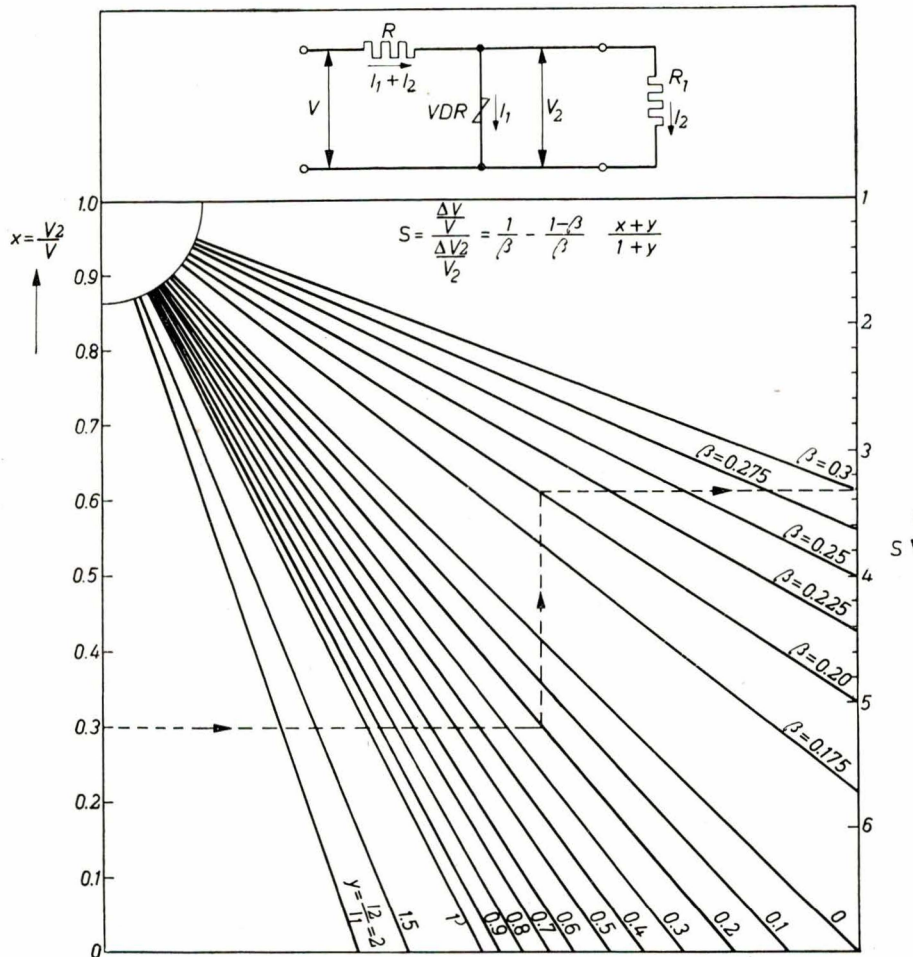


Fig. 4. — Graphique analogue à celui de la fig. 3, mais avec  $y = \frac{I_2}{I_1}$  et  $\beta$  comme paramètres.

et que :

$$S = x \left( \frac{R}{R_{d1}} + \frac{R}{R_l} + 1 \right)$$

La résistance  $R$  peut être exprimée par la relation suivante :

$$R = \frac{1-x}{x} \cdot \frac{R_l \cdot R_s}{R_l + R_s}$$

25mA pour la résistance « V.D.R. » choisie,  $y = \frac{5}{25} = 0,2$ .

Si l'exposant  $\beta$  correspond à 0,2, le facteur de stabilisation sera 3,3. Par exemple, si la tension d'alimentation varie de 10 %, la variation de la tension de sortie sera  $10/3,3 = 3 \%$ . Il reste à déterminer la valeur de  $C$  de la « V.D.R. ». Cette détermination se fait en remarquant que pour une tension aux bornes de 60 V, le courant est de 25 mA et

ceci avec un matériau « V.D.R. » ayant un  $\beta = 0,2$ . La puissance dissipée dans la « V.D.R. » est de 1,5 W. La résistance série aura une valeur :

$$R = \frac{140}{30} = 4,7 \text{ K } \Omega$$

Il est alors possible de choisir un type de « V.D.R. » standard se rapprochant le plus de la valeur de C et pouvant supporter un courant de fuite permanent de 25 mA.

D'après la fig. 4, on peut remarquer qu'un facteur de stabilisation élevé est obtenu pour des basses valeurs de  $\beta$ , x et y. En pratique, on ne peut pas choisir x à volonté puisqu'il est déjà fixé par les données. Il en est de même de  $\beta$  dont la valeur varie de 0,17 à 0,25. Il ne reste donc que y, de valeur faible, condition qui ne peut être obtenue qu'en admettant un courant de fuite permanent élevé dans la résistance « V.D.R. ».

Il y a cependant des cas où l'on peut choisir x et y et où l'on admet ainsi le rendement énergétique  $\tau_i$  du circuit. Ce calcul ne sera pas développé ici, seul le résultat est représenté fig. 5, ce graphique donnant les valeurs optima de x et de y en fonction du rapport de la puissance totale

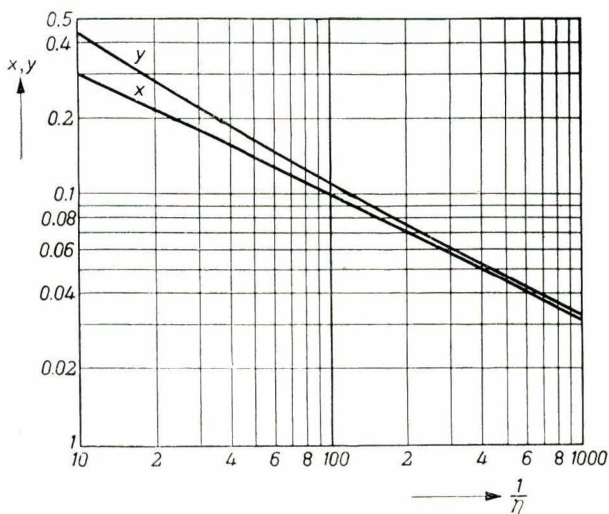


Fig. 5. — Valeur optimum de x et de y en fonction de l'inverse du rendement énergétique.

et de la puissance utile (puissance dissipée par effet Joule dans la résistance de charge), autrement dit l'inverse du rendement  $\tau_i$ .

Les relations (1) et (2) montrent qu'avec une résistance « V.D.R. » le coefficient de stabilisation ne dépasse jamais  $1/\beta$ , c'est-à-dire pratiquement 5, et que l'on peut s'approcher de cette valeur seulement si la tension d'alimentation est grande comparée à la tension de sortie stabilisée. Si le circuit est chargé, il faut aussi que le courant de fuite dans la « V.D.R. » soit plus grand que le courant dans la résistance de charge et le rendement  $\tau_i$  reste assez faible.

S'il est nécessaire d'augmenter le coefficient de stabilisation, en particulier si la tension d'alimentation est assez élevée comparativement à la tension de sortie, on utilisera un montage en cascade ainsi que le montre la fig. 6. Le facteur de stabilisation total ainsi obtenu est alors égal au produit des facteurs de stabilisation de chaque étage.

Pour un seul étage, nous avons vu qu'un facteur de stabilisation élevé est obtenu en donnant à x une faible valeur. Dans le cas d'un étage en cascade, il existe une valeur déter-

minée de x pour chaque étage donnant une stabilisation totale optimum. On peut montrer que, pour des valeurs identiques de y, la stabilisation optimum est obtenue si,

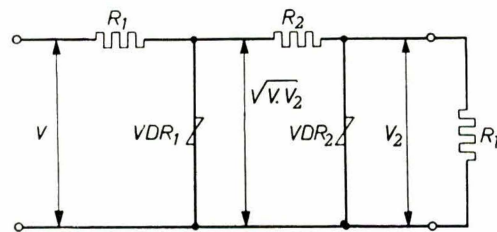


Fig. 6. — Schéma simple avec deux étages en cascade.

pour les divers étages successifs, la tension d'entrée du second étage est égale à la moyenne géométrique de la tension d'entrée du premier étage et de la tension de sortie du second étage. Par exemple, si la tension d'alimentation est de 250 V et la tension stabilisée de 40 V, dans le cas de deux étages en cascade, la tension de sortie du premier étage (entrée du second, voir fig. 6) sera  $\sqrt{250 \times 40} = 100$  V. Le rapport x de chaque étage est donc de 0,4. Avec un nombre plus élevé d'étages, la valeur de x augmente pour chaque étage. Pour des valeurs de x plus grandes que 0,6 le facteur de stabilisation individuelle devient tellement petit qu'il n'y a plus intérêt à utiliser des circuits en cascade. Par contre, pour des valeurs de x de chaque étage plus petites que 0,6, le facteur de stabilisation obtenu avec un circuit en cascade est plus élevé que celui d'un simple circuit.

Un exemple fera mieux comprendre les considérations précédentes. Calculons le facteur de stabilisation obtenu avec les deux circuits en cascade de la fig. 6. Supposons que la tension d'alimentation soit de 400 V, la tension de sortie stabilisée de 50 V et le courant dans la résistance de charge de 5 mA. La valeur de x pour chaque étage sera  $\sqrt{50/400} = 0,354$ . En admettant que le courant de fuite dans chaque « V.D.R. » est 5 fois plus élevé que le courant dans la résistance de charge ( $y = 0,2$ ) et que le  $\beta$  du matériau « V.D.R. » est de 0,2, le facteur de stabilisation de chaque étage est de 3,15 (voir fig. 4) et le facteur de stabilisation totale de  $3,15^2 \approx 10$ . Une variation de 10 % de la tension d'entrée se traduit par une variation de 1 % de la tension de sortie.

Cet exemple montre qu'un facteur de stabilisation appréciable peut être obtenu mais que le rendement énergétique demeure faible. La puissance d'utilisation est de 0,25 W, le courant d'entrée du second étage est de  $6 \times 5 = 30$  mA et par conséquent celui du premier est de  $6 \times 30 = 180$  mA, ce qui correspond à une puissance d'alimentation de 72 W. Pour cette raison, les circuits en cascade seront utilisés seulement dans le cas où la puissance utile est faible ou nulle, et dans ce dernier cas un facteur de stabilisation élevé peut être obtenu sans perte importante de puissance. Mais il faut alors observer que si une haute stabilité est demandée en même temps qu'une haute stabilisation, il convient alors de tenir compte de l'influence non négligeable du coefficient de température de la résistance « V.D.R. ».

**2° Influence des variations de charge.** — Dans un diviseur de tension normal à résistances fixes la tension de sortie varie beaucoup avec les fluctuations du courant de charge. Si l'on remplace la résistance fixe de sortie par une « V.D.R. » ayant la même résistance en continu pour la tension de sortie donnée, la variation sera beaucoup plus faible et l'on aura réalisé un diviseur de tension à tension stabilisée.

En effet, le schéma de la fig. 3 peut être remplacé par le schéma équivalent de la fig. 7. Si la résistance statique de la « V.D.R. » pour la tension  $V_2$  est  $R_s$ , la tension d'entrée du circuit équivalent est :

$$V' = V \frac{R_s}{R + R_s}$$

laquelle représente la tension de sortie à circuit ouvert du

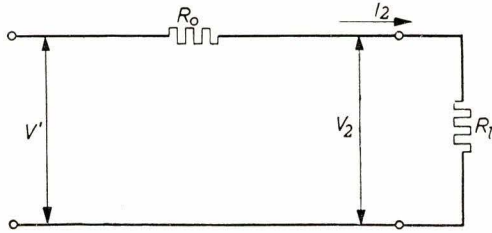


Fig. 7. — Schéma équivalent à celui de la fig. 3.

montage de la fig. 3. Si une résistance fixe  $R_s$  est utilisée, la résistance dynamique de sortie est :

$$R_o = \frac{R R_s}{R + R_s}$$

et dans le cas d'une « V.D.R. » ayant une résistance dynamique  $R_d = \beta R_s$ , la résistance dynamique de sortie devient :

$$R_o = \frac{\beta R R_s}{R + \beta R_s} \quad (3)$$

Puisque la variation de la tension de sortie pour une variation donnée du courant d'utilisation est proportionnelle à

la résistance dynamique de sortie, on peut voir aisément qu'une meilleure régularité du courant d'utilisation est obtenue en employant une « V.D.R. », le facteur  $\beta$  étant beaucoup plus petit que l'unité.

En reprenant l'exemple numérique précédemment cité, on a :

Tension d'alimentation .....	200 V
Tension stabilisée .....	60 V
Courant de sortie utile .....	5 mA
Courant de fuite dans la « V.D.R. » .....	25 mA
$\beta$ de la « V.D.R. » .....	0,2
Résistance série .....	4,7 K $\Omega$

La résistance statique de la « V.D.R. » est donc  $60/25 = 2,4 \text{ K}\Omega$  et sa résistance dynamique  $\beta R_s = 0,2 \times 2,4 = 0,48 \text{ K}\Omega$ . Si l'on utilisait une résistance fixe à la place de la « V.D.R. », la variation de la tension de sortie pour une variation de 1 mA du courant de sortie serait :

$$1 \times \frac{4,7 \times 2,4}{4,7 + 2,4} = 1,59 \text{ V.}$$

Avec une « V.D.R. » la même variation de courant de sortie donnerait une variation de la tension de sortie de :

$$1 \times \frac{4,7 \times 0,48}{4,7 + 0,48} = 0,44 \text{ V.}$$

L'amélioration obtenue par l'emploi d'une « V.D.R. » est représentée par le rapport  $1,59/0,44 = 3,6$ . Ce chiffre représente le rapport entre les résistances dynamiques obtenues avec une résistance fixe puis avec la « V.D.R. » correspondante placées entre les bornes de sortie. Il représente le

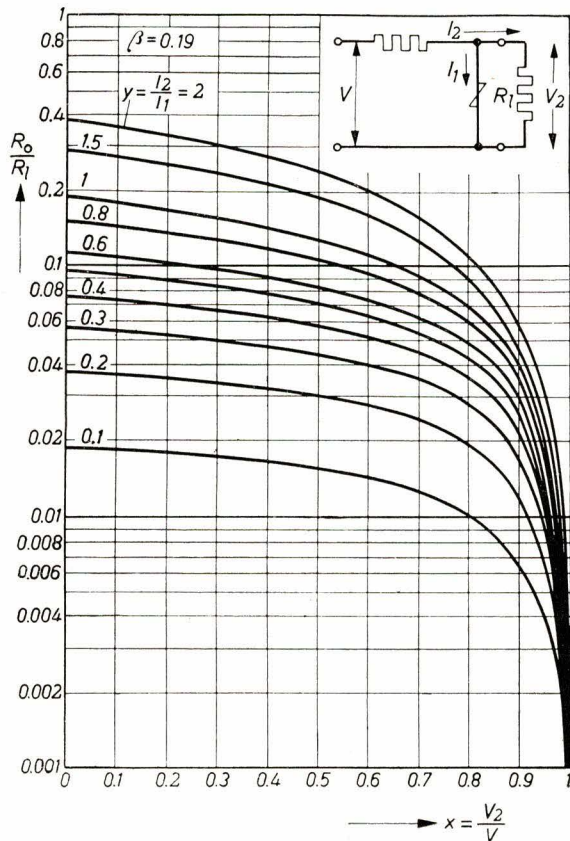


Fig. 8. — Rapport des résistances dynamiques et de charge en fonction du rapport  $x = \frac{V_2}{V}$ , avec  $y = \frac{I_2}{I_1}$  et  $\beta = 0,19$  comme paramètres.

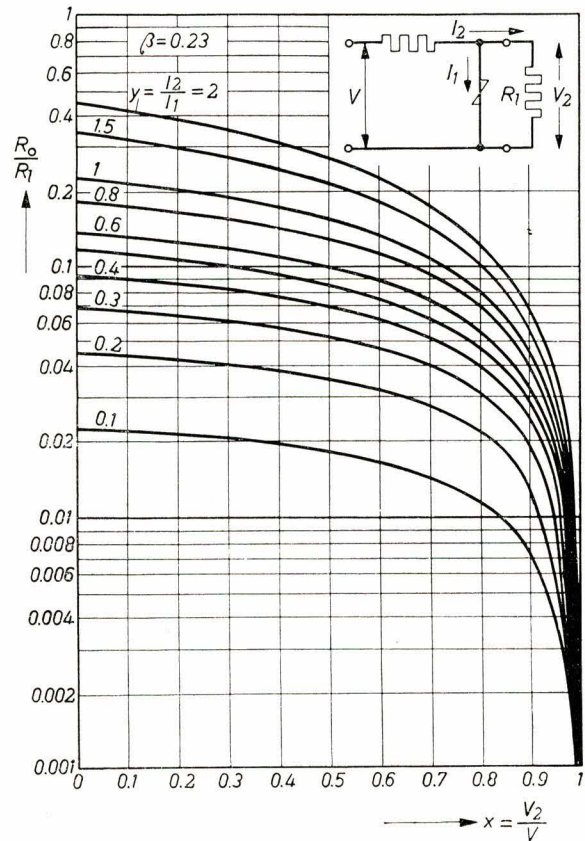


Fig. 9. — Analogie à fig. 8, mais avec  $\beta = 0,23$ .

facteur de stabilisation dans le cas de variation du courant de charge et il peut être exprimé par la relation :

$$S' = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{R + \beta R_s}{R + R_s} \quad (4)$$

Le terme  $\frac{R + \beta R_s}{R + R_s}$  est toujours plus petit que l'unité; il s'en approche lorsque R est grand comparativement à  $R_s$ , de sorte que le facteur de stabilisation le plus élevé tend encore vers  $1/\beta$ . Il est possible de remplacer R et  $R_s$  de la relation (4) par les expressions où figurent x et y représentant les rapports tensions et courants déjà définis. Les conclusions auxquelles on arrive sont les mêmes que celles déjà annoncées dans le cas où la tension d'alimentation était variable : pour obtenir un coefficient S' élevé il faut que les facteurs  $\beta$ , x et y soient faibles.

Pour étudier un montage correspondant à une variation maximum donnée de la tension de sortie pour une certaine variation du courant de charge, il est nécessaire d'établir une relation générale de la résistance de sortie. En pratique, on se donne la résistance nominale de charge et il est possible de définir avec la relation (3) le rapport de la résistance de sortie dynamique à la résistance de charge en fonction des facteurs  $\beta$ , x et y. Le résultat est donné par la relation suivante :

$$\frac{R_o}{R_l} = \frac{\beta y (1-x)}{1-x[1-\beta(1+y)]} \quad (5)$$

Dans le cas d'une résistance fixe, on a  $\beta = 1$  et la relation (5) devient :

$$\frac{R_o}{R_l} = \frac{y(1-x)}{1+xy} \quad (5a)$$

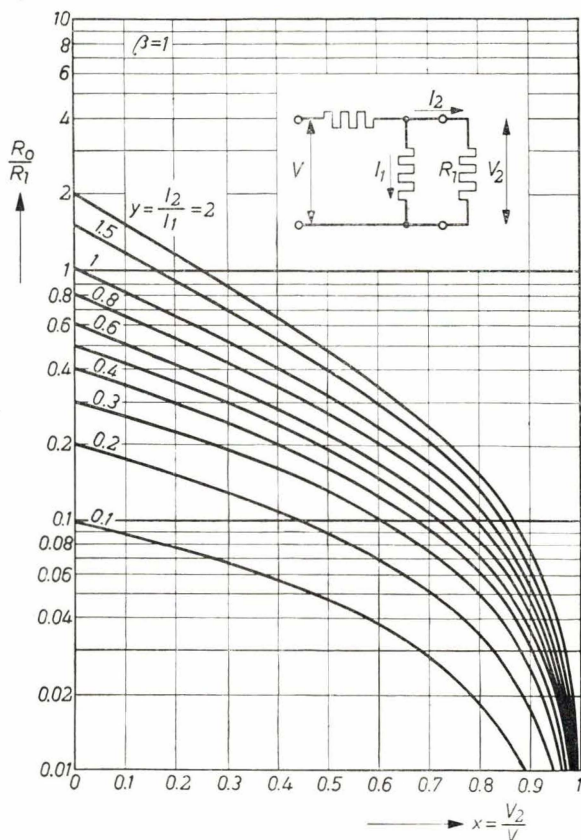


Fig. 10. — Analogue à la fig. 8, mais avec  $\beta = 1$  (résistance linéaire fixe à la place de la « V.D.R. »).

Les deux matériaux « V.D.R. » existant ont des valeurs moyennes de  $\beta$  égales à 0,19 et 0,23. Les courbes des fig. 8 et 9 donnent pour ces deux valeurs de  $\beta$  le rapport  $R_o/R_l$  en fonction de x pour diverses valeurs de y choisies comme paramètre. La fig. 10 donne des courbes analogues avec  $\beta = 1$ , ce qui correspond au cas où la résistance de fuite est une résistance normale linéaire. Les exemples suivants illustrent l'utilisation de ces courbes.

Le courant de grille-écran d'une pentode à pente variable est de 2,5 mA à 100 V. La tension d'alimentation est de 250 V et l'on désire, au moment où le C.A.V. agit sur le tube de façon à ce que son courant tende progressivement vers zéro, que la tension de la grille écran ne dépasse pas 105 V. Supposons que l'exposant  $\beta$  de la « V.D.R. » utilisée, soit de 0,19. La résistance nominale de charge est de  $100/2,5 = 40 \text{ K}\Omega$ , tandis que la résistance dynamique maximum de sortie admissible est de  $\Delta V_2/\Delta I_2 = 5/2,5 = 2 \text{ K}\Omega$ . Le rapport  $R_o/R_l$  est donc de  $2/40 = 0,05$  et le rapport des tensions x aux bornes du circuit de  $100/250 = 0,4$ . Dans la fig. 8 on voit que  $y = 0,3$  de sorte que le courant dans la « V.D.R. » sera  $2,5/0,3 = 8,3 \text{ mA}$ . Il est alors facile de déduire la valeur de la constante C; on trouve  $C = 260$ .

On peut aussi obtenir la même constante à l'aide d'un diviseur normal de tension à résistances fixes. Avec les mêmes valeurs de  $R_o/R_l$  et de x, on peut trouver y d'après la fig. 10. On a  $y = 0,1$  environ. Le courant de fuite est alors de 25 mA; ce résultat est à comparer au courant de fuite de 8,3 mA obtenu dans le cas où l'on utilise une « V.D.R. », le courant dans la résistance de charge étant de 2,5 mA. Un autre avantage avec l'utilisation d'une « V.D.R. » est la possibilité d'obtenir une stabilisation lorsque la tension d'alimentation varie.

Nous avons déjà vu qu'un montage en cascade réduit l'influence des fluctuations de la tension d'alimentation; par contre, il n'apporte pas d'amélioration en ce qui concerne les variations de charge puisque la résistance de sortie dynamique est augmentée lorsqu'il s'agit d'étages en cascade.

**3° Variante pour réduire l'influence des variations de charge.** — La résistance dynamique d'une « V.D.R. » est beaucoup plus petite que sa résistance statique car le rapport de ces deux résistances est  $\beta$ . Le montage simple de la fig. 11 assure donc une stabilisation des variations de charge. Dans ce cas, les variations de tension de sortie

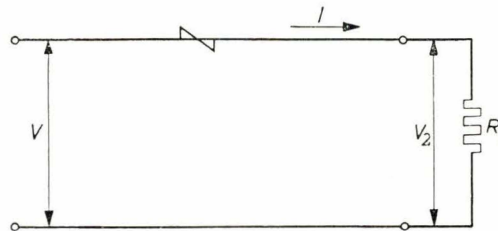


Fig. 11. — Schéma stabilisateur-série atténuant également les variations de charge.

pour des variations données du courant de charge seront  $\beta$  fois plus petites que dans le cas d'une résistance linéaire fixe en série avec la source d'alimentation, c'est-à-dire pour des « V.D.R. » courantes de l'ordre du 1/5.

Un avantage important de circuit de la fig. 11 est l'absence de courant de fuite. Mais le défaut essentiel vient du fait que la résistance dynamique de la « V.D.R. » est faible, les moindres variations de la tension d'alimentation se répercutant sur la charge. Ce montage ne peut convenir que si la tension d'alimentation est elle-même bien constante.

Un exemple est donné fig. 12. On utilise d'abord un tube stabilisateur de tension pour réduire l'influence des variations de tension de la source. Cependant, il ne faut pas oublier qu'un tube stabilisateur a une tension de fonctionnement définie comprise, suivant le type de tube, entre 80 et 170 V. Une tension plus faible sur la charge peut être exigée et si l'on utilisait alors une résistance fixe pour obtenir la chute de tension, la variation de tension de sortie lorsque la charge varie serait grande. Une amélioration fort importante est obtenue par l'emploi d'une « V.D.R. » en série pour réaliser cette chute de tension. Il y a lieu de noter que la tension d'amorçage d'un tube est notablement plus élevée que la tension de fonctionnement; la chute de tension dans la « V.D.R. » avec une augmentation de tension doit être prise en considération de façon à assurer l'amorçage.

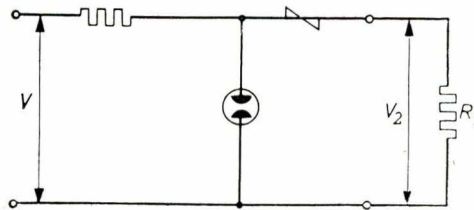


Fig. 12. — Analogue à la fig. 11, mais tension d'alimentation stabilisée par un tube.

Avec le montage de la fig. 12, si le courant dans la charge s'annule, la tension de sortie monte jusqu'à la tension de fonctionnement du tube stabilisateur. On peut éviter ceci en shuntant la charge par une résistance fixe, cette précaution n'étant pas nécessaire s'il s'agit d'un montage avec faibles variations du courant de charge.

### III. — MONTAGE EN PONT

Si l'on insère deux « V.D.R. » dans les branches d'un pont, fig. 13, la tension  $V_2$  dans la diagonale dépend de la tension d'alimentation  $V$  d'une manière qui diffère nettement du fonctionnement d'un pont composé uniquement de résistances linéaires fixes.

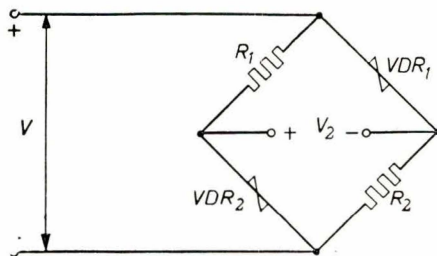


Fig. 13. — Schéma en pont avec deux « V.D.R. ».

Signalons pour mémoire le montage en pont avec une seule « V.D.R. » placée dans un bras du pont. Le principe de fonctionnement reste le même, mais son efficacité est moindre et nous n'insisterons pas sur ce schéma qui ne constitue qu'un cas particulier de la fig. 13.

Avec de faibles tensions d'alimentation, la résistance de chaque élément « V.D.R. » est élevée, donc on trouve sur la diagonale les polarités indiquées fig. 13. Si l'on augmente la tension d'alimentation, il y a augmentation de  $V_2$ , jus-

qu'au moment où l'on passe par un maximum (point A de la fig. 14) dû à la diminution simultanée des résistances des deux « V.D.R. ». Pour ce maximum  $V_2$  varie très peu en fonction de la tension  $V$  d'alimentation et l'on peut ainsi

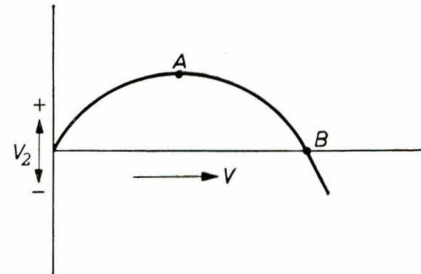


Fig. 14. — Tension de sortie d'un pont en fonction de la tension d'alimentation.

obtenir une stabilisation. Un accroissement de la tension d'alimentation se traduit par une diminution de  $V_2$  et au point B le pont est en équilibre. Ce point de fonctionnement peut servir pour la mise en évidence des variations de tension d'alimentation (système de contrôle sur les réseaux de distribution destiné à faire fonctionner les protections correspondantes). Selon la sensibilité demandée, il peut être nécessaire dans ce dernier cas de compenser les variations de température. Rappelons à ce sujet que le coefficient de température de  $C$  est négatif, l'accroissement relatif de courant à tension constante est d'environ 0,6 % par degré centigrade. On peut compenser cet effet par le branchement d'une résistance « C.T.N. » en série avec chaque résistance fixe du pont, afin d'avoir des coefficients de température identiques dans chaque bras.

a) **Pont non chargé.** — Seule l'allure de la courbe au point A nous intéresse. Un pont non chargé avec  $R_1 = R_2$  et  $V.D.R._1 = V.D.R._2$  donne une tension sur diagonale :

$$V_2 = V \left[ \frac{1-\beta}{1+\beta} - \frac{1-\beta^2}{8\beta} \left( \frac{\Delta V}{V} \right)^2 \right] \quad (6)$$

$V_2$  = Tension de sortie.

$V$  = Tension d'alimentation.

$\Delta V$  = Variation de la tension d'alimentation autour du point A.

Au point de stabilisation A on a :

$$V_2 = \frac{1-\beta}{1+\beta} V \quad (6a)$$

Avec  $\beta = 0,2$  la tension de sortie est alors :

$$V_2 = \frac{2}{3} V$$

Avec la même valeur de  $\beta$  et une variation relative de 10 % de la tension d'alimentation autour du point de stabilisation, on peut calculer, d'après la relation (6), que la baisse de tension de sortie à partir de sa valeur nominale est de 0,9 %. La tension de sortie diminue toujours pour des variations de tensions d'alimentation positives ou négatives autour de la valeur nominale qui correspond au point A.

Le facteur de stabilisation obtenu est donc élevé et particulièrement pour de petites variations de la tension d'alimentation. Ce montage est donc à préférer aux montages simples déjà décrits; cependant, il offre les inconvénients suivants : circuit plus complexe et aucune liaison directe avec la source d'alimentation, ce qui est parfois un désavantage dans certaines applications.

Pour calculer un circuit en pont correspondant à une tension de sortie donnée, nous supposons que les deux résistances fixes sont identiques,  $R_1 = R_2 = R$  et que les deux

« V.D.R. » ont aussi les mêmes caractéristiques. D'après la relation (6a), on peut déduire que la tension sur chaque résistance est :

$$V_{Rt} = \frac{\beta}{1 + \beta} V$$

et sur chaque « V.D.R. » :

$$V_{V.D.R.} = V - V_{Rt} = \frac{1}{1 + \beta} V$$

Ces tensions apparaissent lorsque le pont travaille au point de stabilisation A.

Pour les tensions calculées ci-dessus, la résistance statique de chaque « V.D.R. » est :

$$R_s = \frac{R}{\beta}$$

Cette relation montre que la résistance dynamique  $R_d$  de chaque « V.D.R. » au point de stabilisation est égale à la valeur des résistances fixes.

Prenons comme exemple le cas où l'on désire obtenir une tension stabilisée de 60 V. Supposons que l'exposant  $\beta$  des « V.D.R. » utilisées soit de 0,2. La tension d'alimentation sera :

$$V = \frac{1 + 0,2}{1 - 0,2} \times 60 = 90 \text{ V}$$

La tension aux bornes de chaque « V.D.R. » sera :

$$V_{V.D.R.} = \frac{1}{1 + 0,2} \times 90 = 75 \text{ V}$$

Si chaque résistance fixe a une valeur de 10 K $\Omega$ , la résistance statique de chaque « V.D.R. » sera 10/0,2 = 50 K $\Omega$  et le courant 75/50 = 1,5 mA. On peut en déduire la valeur de C des « V.D.R. », on trouve 275. La valeur de C du type standard le plus proche est 270, il est donc nécessaire d'apporter une petite correction à la valeur de R.

b) **Pont avec résistance de charge.** — En désignant toujours par  $R_l$  la résistance de charge, la relation entre les tensions de sortie et d'alimentation est la suivante :

$$V_2 = \frac{1 - \beta}{1 + \beta + \frac{2R}{R_l}} V \quad (7)$$

Comparée à la relation (6a) on voit apparaître dans cette dernière un troisième terme au dénominateur, de sorte que le rapport  $V_2/V$  se trouve diminué. Ce terme a une certaine importance si  $R_l$  est petit comparativement à R. On peut en déduire que la régulation avec schéma en pont est plutôt moins favorable que celle du simple schéma avec « V.D.R. » en série. Cependant, avec une charge constante, on peut avoir un facteur de stabilisation du même ordre de grandeur qu'avec un pont non chargé. Une analyse plus complète de ce montage dépasse le cadre de cet exposé à caractère général. En partant de la relation (7) il est cependant possible de calculer la tension de sortie lorsque  $\beta$ , R et  $R_l$  sont donnés. La fig. 15 facilite ce calcul; elle donne le rapport  $V_2/V$  en fonction de  $R/R_l$ , en prenant  $\beta$  comme paramètre. On précise bien, encore une fois, que les tensions ainsi trouvées se rapportent au point de stabilisation du pont chargé.

En pratique, la tension de sortie est donnée, et la courbe de la fig. 15 permet de trouver la tension d'entrée. On peut alors calculer C de chaque « V.D.R. » comme pour un pont non chargé.

Par exemple, admettons que les deux résistances fixes aient une valeur de 10 K $\Omega$ , et que la résistance de charge soit de 50 K $\Omega$ . D'après la fig. 15, on en déduit  $V_2 = \frac{V}{2}$  pour  $\beta = 0,2$ . Si l'on désire une tension stabilisée  $V_2$  de 50 V, il faut une tension d'entrée de  $V = 100$  V. La tension

aux bornes de chaque résistance R est  $(100 - 50)/2 = 25$  V. La tension sur chaque « V.D.R. » est donc 75 V. Le courant dans les résistances fixes R est  $25/10 = 2,5$  mA et dans la

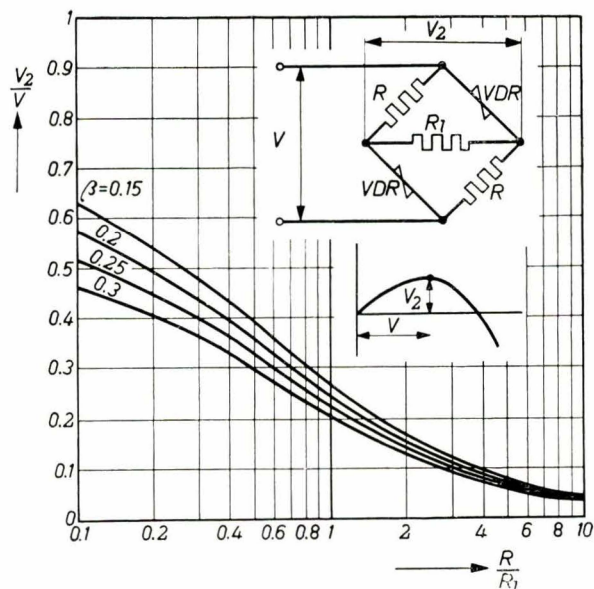


Fig. 15. — Rapport des tensions de sortie et d'alimentation d'un pont en fonction du rapport  $R/R_l$ , pour différentes valeurs de  $\beta$ .

résistance de charge 50/50 = 1 mA. Le courant dans les deux « V.D.R. » est la différence, soit 1,5 mA. On trouve alors pour chaque « V.D.R. »  $C = 275$  et l'on prend le type standard avec  $C = 270$ .

#### IV. — STABILISATION DES TENSIONS ALTERNATIVES

On peut également utiliser les « V.D.R. » pour stabiliser des tensions alternatives suivant le schéma simple que l'on trouve sur le côté de la fig. 16. L'analyse mathématique en est très compliquée; on utilisera pour cette étude la représentation graphique de la fig. 16, méthode assez précise et suffisante en pratique.

Supposons que la tension d'alimentation soit :  $V = 220$  V efficace.

La résistance fixe étant de 5K $\Omega$ , les données de la « V.D.R. » employée sont  $C = 100$  et  $\beta = 0,23$ . Fig. 16 on a représenté la relation courant-tension pour chaque élément de circuit. La somme des tensions, pour un courant donné, représente la relation entre la tension d'alimentation et le courant du circuit-série. Pour trouver facilement la tension, aux bornes de la « V.D.R. », on utilise la courbe de la tension d'entrée V et les courbes marquées « R + VDR », respectivement. Il suffit de suivre les droites en traits interrompus de la fig. 16.

Si l'on a une charge branchée aux bornes de sortie, la courbe de la « V.D.R. » doit être remplacée par la courbe représentant le courant total, somme du courant dans la charge et dans la « V.D.R. ».

Dans l'exemple que l'on vient de présenter, la tension de sortie est de 50 V (en amplitude). On pourrait calculer sa valeur efficace après avoir choisi un certain nombre de points sur la courbe. La tension de sortie est fortement déformée et, en raison de la symétrie de la caractéristique



de la « V.D.R. », elle ne contient que des harmoniques d'ordre impair. La distorsion est d'autant plus faible que l'on tolère une plus grande proportion de la tension d'alimentation aux bornes de sortie.

auparavant l'effet de la capacité parasite en shunt non négligeable pour des fréquences supérieures à 5 Kc/s, ou même à 0,5 Kc/s avec certains types de « V.D.R. ». De plus, le coefficient  $\beta$  du matériau augmente lorsque la tension

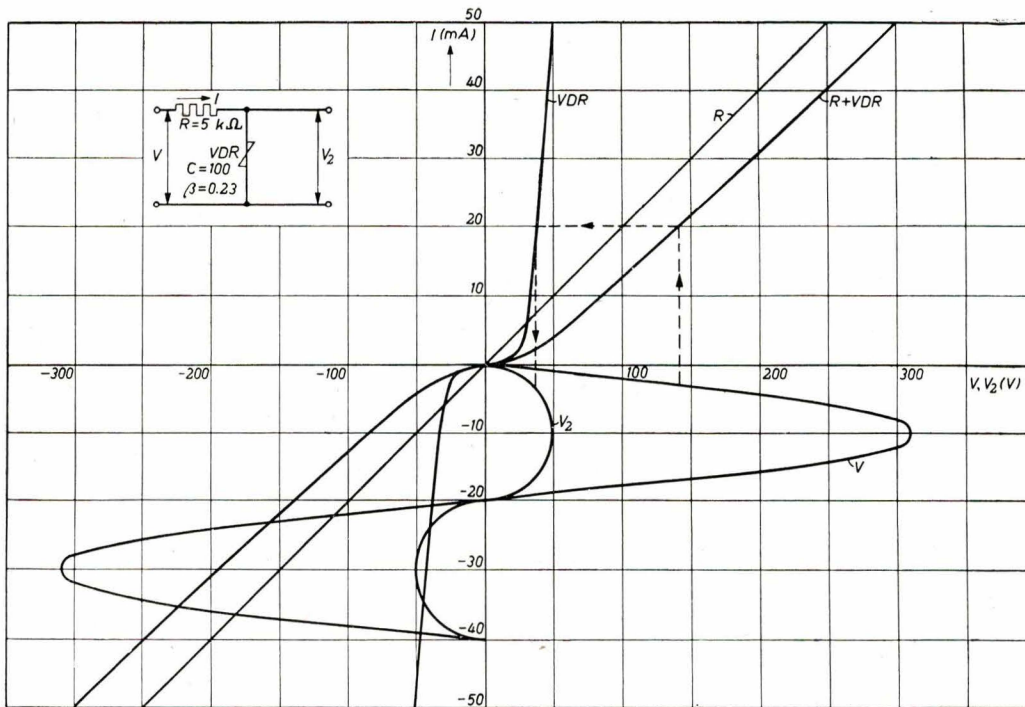


Fig. 16. — Exemple graphique de calcul de stabilisation en tensions alternatives.

On peut déterminer enfin la stabilisation obtenue en traçant une nouvelle courbe  $V_2$  pour une tension d'alimentation qui diffère, dans une proportion donnée, de la tension nominale.

On peut également employer ce montage pour limiter des impulsions. Pour cette application, il faut bien considérer

devenir beaucoup plus faible que la valeur  $C$  de la « V.D.R. », ce qui abaisse encore les performances calculées. On peut dire que pour des amplitudes plus grandes que 20 V environ et des fréquences peu élevées, les « V.D.R. » offrent des possibilités intéressantes dans le domaine de la limitation des impulsions.



## NOMENCLATURE STANDARD DES RÉSISTANCES V. D. R.

Désignation du Type	D mm	d mm	e mm	Fil de connexion mm	C	$\xi$	Dissipation pour $\Delta t =$		Observations
							50° C W	80° C W	
VD 1000 A/680 B ...	7,5	—	2,5	$\emptyset 5 \times 50$	680	0,17 — 0,21	0,25	0,5	(1)
VD 1050 P/120 A ...	12,5	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	120	0,21 — 0,25	0,4	0,8	(1)
/150 A ...	12,5	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	150	0,21 — 0,25	0,4	0,8	(1)
/180 A ...	12,5	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	180	0,21 — 0,25	0,4	0,8	(1)
/220 B ...	12,5	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	220	0,17 — 0,21	0,4	0,8	(1)
/270 B ...	12,5	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	270	0,17 — 0,21	0,4	0,8	(1)
/330 B ...	12,5	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	330	0,17 — 0,21	0,4	0,8	(1)
VD 1100 P/100 A ...	17,5	—	1,5	$\emptyset 8 \times 50$	100	0,21 — 0,25	0,5	1	(1)
/120 A ...	17,5	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	120	0,21 — 0,25	0,5	1	(1)
/150 A ...	17,5	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	150	0,21 — 0,25	0,5	1	(1)
/180 A ...	17,5	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	180	0,21 — 0,25	0,5	1	(1)
/220 B ...	17,5	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	220	0,17 — 0,21	0,5	1	(1)
/270 B ...	17,5	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	270	0,17 — 0,21	0,5	1	(1)
/330 B ...	17,5	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	330	0,17 — 0,21	0,5	1	(1)
VD 1150 P/68 F ...	25	—	2,5	$\emptyset 8 \times 50$	68	0,25 — 0,30	1	2	(1) et (2)
/82 A ...	25	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	82	0,21 — 0,25	1	2	(1) et (2)
/100 A ...	25	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	100	0,21 — 0,25	1	2	(1) et (2)
/120 A ...	25	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	120	0,21 — 0,25	1	2	(1) et (2)
/150 A ...	25	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	150	0,21 — 0,25	1	2	(1) et (2)
/180 B ...	25	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	180	0,17 — 0,21	1	2	(1) et (2)
/220 B ...	25	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	220	0,17 — 0,21	1	2	(1) et (2)
/270 B ...	25	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	270	0,17 — 0,21	1	2	(1) et (2)
/330 B ...	25	—	1,8	$\emptyset 8 \times 50$	330	0,17 — 0,21	1	2	(1) et (2)
/560 B ...	25	—	2,3	$\emptyset 8 \times 50$	560	0,17 — 0,21	1	2	(1) et (2)
/680 B ...	25	—	3,8	$\emptyset 8 \times 50$	680	0,17 — 0,21	1	2	(1) et (2)
/820 B ...	25	—	4,5	$\emptyset 8 \times 50$	820	0,17 — 0,21	1	2	(1) et (2)
VD 1225 P/68 A ...	40	6	1,8	—	68	0,21 — 0,25	1,5	3	(3) et (4)
/82 A ...	40	6	1,8	—	82	0,21 — 0,25	1,5	3	(3) et (4)
/100 A ...	40	6	1,8	—	100	0,21 — 0,25	1,5	3	(3) et (4)
/120 A ...	40	6	1,8	—	120	0,21 — 0,25	1,5	3	(3) et (4)
/150 B ...	40	6	1,8	—	150	0,17 — 0,21	1,5	3	(3) et (4)
/180 B ...	40	6	1,8	—	180	0,17 — 0,21	1,5	3	(3) et (4)
/220 B ...	40	6	1,8	—	220	0,17 — 0,21	1,5	3	(3) et (4)
/270 B ...	40	6	2	—	270	0,17 — 0,21	1,5	3	(3) et (4)
/330 B ...	40	6	2,5	—	330	0,17 — 0,21	1,5	3	(3) et (4)
/390 B ...	40	6	3	—	390	0,17 — 0,21	1,5	3	(3) et (4)
/470 B ...	40	6	3,5	—	470	0,17 — 0,21	1,5	3	(3) et (4)
/560 B ...	40	6	4	—	560	0,17 — 0,21	1,5	3	(3) et (4)
/680 B ...	40	6	4,5	—	680	0,17 — 0,21	1,5	3	(3) et (4)

### OBSERVATIONS :

D = Diamètre extérieur  
d = Diamètre du trou  
e = Épaisseur du disque

(1) - Imprégnée, avec fils de connexion.

(2) - Sans imprégnation et sans fils de connexion (sur commande spéciale d'une certaine importance).

(3) - Sans imprégnation et sans fils de connexion.

(4) - Imprégnée, avec fils de connexion (sur commande spéciale d'une certaine importance).

Les schémas publiés sont donnés sans garantie quant à leur protection éventuelle par des brevets.

Le Gérant : R. GONDRY.

## C<sup>IE</sup> DES PRODUITS ÉLÉMENTAIRES POUR INDUSTRIES MODERNES



Services Comm<sup>x</sup> et Magasins : 7, passage Charles Dallery - PARIS-XI<sup>e</sup>

Téléphone : VOLtaire 23-09

Usine à EVREUX

R. C. Evreux 55 B 74

