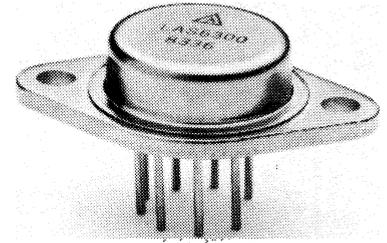


Régulateurs et alimentations à découpage

par J.-M. Bourdaraud (*)

Pour peu que l'on pense à associer la technique des régulateurs et des alimentations à découpage, il est possible de réaliser des montages particulièrement performants cumulant les avantages inhérents à ces deux procédés.

Ce qui est notamment le cas avec les régulateurs de la série LAS 6300 de Lambda Electronique.



Les alimentations linéaires

De nos jours on trouve des alimentations régulées dans pratiquement tous les systèmes. Le principe en est fort simple : une tension alternative redressée, puis filtrée, est appliquée à l'entrée d'un régulateur qui délivre une tension continue parfaitement régulée. Depuis plus de 10 ans existent des régulateurs intégrés qui sont pratiquement tous issus du célèbre 723. Par comparaison avec les régulateurs actuels, le 723 présente quelques inconvénients : faible courant de sortie et nécessité de monter des composants externes. Plus récemment la seconde génération de ces produits s'est vue caractérisée par des régulateurs à tension fixe et avec un courant de sortie de l'ordre de 1 A (LAS 1500).

Actuellement les fabricants proposent des régulateurs à 4 broches, permettant de programmer la tension de sortie et donc de s'affranchir des tensions fixes en nombre limité, et de disposer d'un courant de sortie de 5A (LAS 19U) et même de 8A (LAS 39U). Il est à noter que ces régulateurs offrent une complète sécurité d'utilisation dans pratiquement tous les cas : limitation du courant de court-circuit, protection de l'aire de sécurité, disjonction thermique.

Ce type de régulateur (fig. 3) qui représente une part importante du marché, due notamment à une mise en œuvre facile et à de grandes performances, souffre toutefois d'un inconvénient majeur : la puissance que doit dissiper le ballast.

Cette puissance dissipée qui limite sérieusement le rendement entre 30 et 50 % n'est pas acceptable lorsque les économies d'énergie sont un souci

constant. Par ailleurs une alimentation linéaire peut présenter rapidement un volume et un poids, principalement dus au dissipateur et au transformateur, qui rendent difficile son intégration dans un ensemble, des problèmes du niveau d'une ventilation efficace et fiable. Les fabricants qui offrent une large gamme de régulateurs linéaires ont donc développé parallèlement une nouvelle technique, La régulation à découpage, que nous allons examiner un peu plus en détail.

Caractéristiques des alimentations à découpage

Les alimentations à découpage ont acquis beaucoup de notoriété au cours de ces 10 dernières années grâce aux avantages qu'elles offrent. On les trouve aujourd'hui dans tous les secteurs d'activités : grand public (TV...), industrie, instrumentation, transport, et en informatique où elles représentent un marché dominant avec une sortie 5 V, et plusieurs kilowatts.

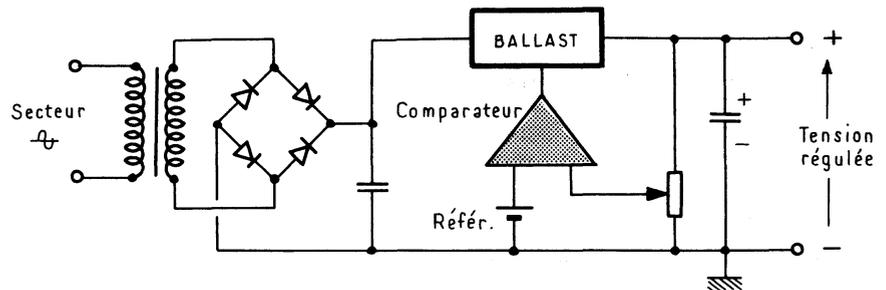


Fig. 1 : Principe d'une alimentation linéaire.

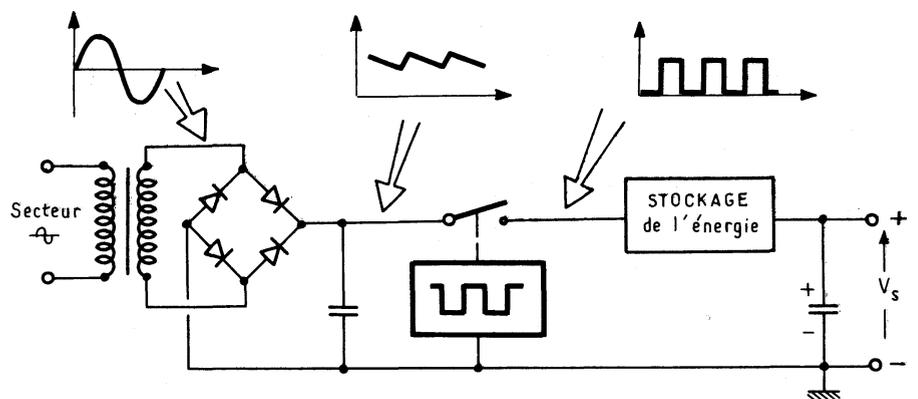


Fig. 2 : Principe d'une alimentation à découpage.

(*) Sté Lambda Electronique.

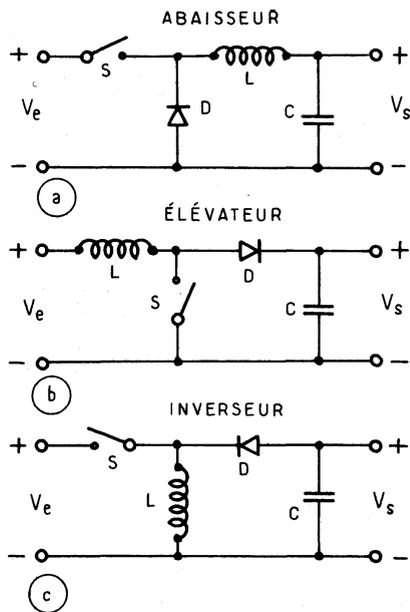


Fig. 3

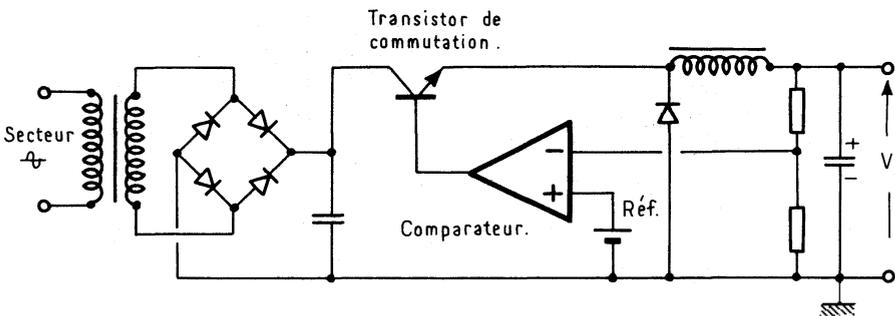


Fig. 4 : Schéma de principe d'une régulation à découpage.

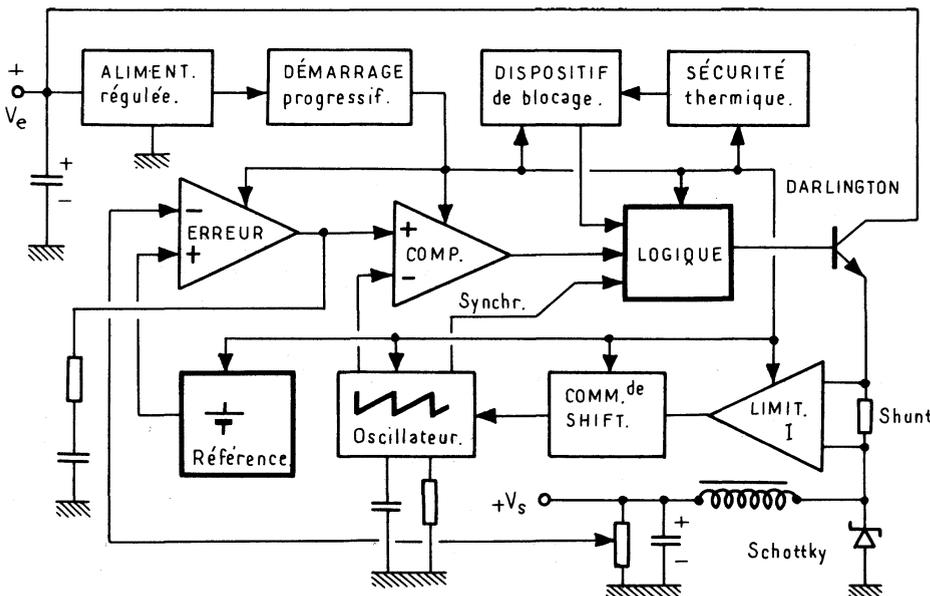


Fig. 5

Les avantages du découpage sont les suivants :

- excellent rendement, poids et dimensions faibles, coût intéressant, possibilité d'obtenir une tension de sortie inférieure, supérieure, ou inverse de celle d'entrée ;

- rendement de 80 % et plus, grâce à l'utilisation du transistor de puissance en commutation (tout ou rien) ;

- faible poids et dimensions grâce à un rendement important qui permet d'utiliser de plus petits dissipateurs et à une fréquence de découpage élevée qui contribue à la réduction du volume, donc du poids des éléments inductifs et capacitifs ;

- coût entre 1,5 et 2 fois plus faible, pour une même puissance disponible, qu'une alimentation série.

Les alimentations à découpage présentent toutefois quelques défauts vis-à-vis du « linéaire » :

- les circuits sont plus complexes et donc plus difficiles à mettre en œuvre,

- le fait de commuter des courants à fréquence élevée, génère des parasites qui sont réinjectés dans le secteur ;

- le temps de réponse, à une variation brutale de la charge, est plus long, comparé à celui de la régulation série ;

- le taux d'ondulation en sortie, ainsi que le bruit, sont plus élevés, ce qui oblige à réaliser un filtrage plus efficace. Pour ces mêmes raisons, le découpage ne convient pas à l'alimentation de circuits analogiques ;

- l'implantation et le câblage des divers éléments obligent à prendre quelques précautions.

Le découpage (fig. 2) consiste à hacher une tension d'entrée qui est redressée et filtrée, tout comme le faisaient les vibreurs mécaniques sur les premiers autoradios à tubes. La tension de sortie est égale à la tension d'entrée, que multiplie le rapport du temps de fermeture du commutateur sur le temps que dure un cycle

$$V_s = V_e \times \frac{(t_{on})}{T}$$

La puissance nécessaire en sortie est donc prélevée à l'entrée, pendant la fermeture du commutateur, puis transférée vers la sortie via l'élément de stockage de l'énergie.

La figure 3a représente le schéma de principe utilisé lorsque la tension de sortie doit être inférieure à la tension d'entrée (montage abaisseur).

Les figures 3b et 3c illustrent les deux autres montages de base : élévateur et inverseur.

La régulation à découpage

Le principe du découpage étant acquis, voyons la technique permettant d'obtenir une tension de sortie régulée. C'est-à-dire indépendante des fluctuations du réseau et des variations de la charge.

La solution à ce problème ressemble à celle utilisée dans les alimentations série : une fraction de la tension de sortie est comparée à une tension de référence, et le résultat qui représente l'écart entre la tension de sortie réelle et théorique, agit sur le rapport cyclique (t on) du transistor de commutation

Dans un sens tel, que la tension de sortie soit maintenue constante (fig. 4).

Pour fonctionner de façon satisfaisante une alimentation faisant appel à une régulation à découpage doit être conçue de façon à répondre aux impératifs suivants :

- limiter le courant de court-circuit ;
 - utiliser un dispositif de démarrage progressif lors de la mise sous tension.
- De cette façon le pic de courant sus-

ceptible de détruire le transistor de commutation, surtout dans une configuration où le transformateur secteur est absent, se trouve limité. Le surdimensionnement des dispositifs de protection placés en amont, qui sans cette précaution doivent supporter jusqu'à 20 fois I nominal, n'est plus nécessaire.

— Disposer d'une commande de blocage pouvant être utilisée pour toute action de protection.

— Prévoir un dispositif de sécurité thermique bloquant la sortie si une élévation anormale de la température avait lieu sur les composants de puissance.

Pour optimiser les caractéristiques générales il faut encore prévoir :

- une tension de référence compensée en température ;
- l'utilisation d'un amplificateur d'erreur séparé et à faible offset. La modulation de largeur d'impulsion (PWM) est alors obtenue par un étage (comparateur) qui compare le signal issu de l'amplificateur d'erreur avec un

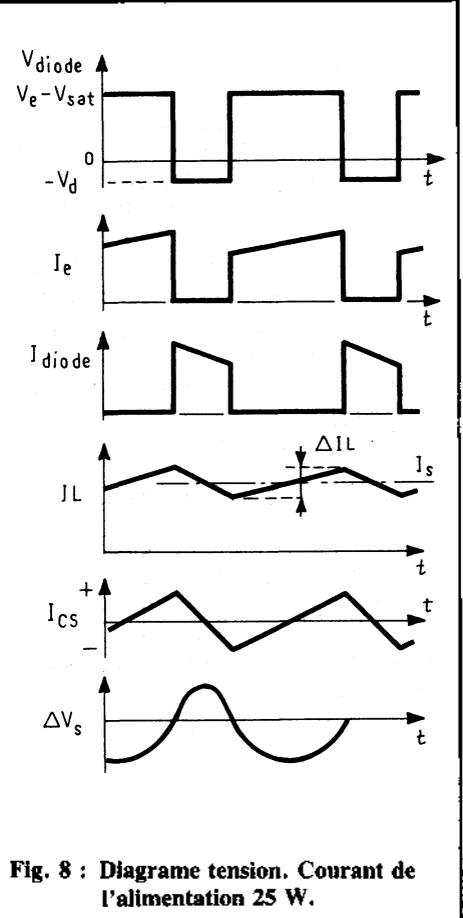


Fig. 8 : Diagramme tension. Courant de l'alimentation 25 W.

signal en dent de scie ;

- un signal en dent de scie linéaire, pour obtenir une modulation très précise de la largeur des impulsions ;
- une logique de commande qui élimine les éventuels déclenchements multiples lorsqu'il y a du « bruit » en sortie du comparateur, et qui permet de synchroniser la commutation avec le départ de chaque cycle. On peut aussi imaginer une synchronisation par une horloge externe ;
- un décalage de la fréquence d'oscillation (Shift) accompagné de la réduction de (t on), qui soit déclenché par la

limitation du courant de sortie dans le but d'éviter un échauffement excessif du transistor de commutation.

Ces différents points et recommandations permettent de tracer une architecture type (fig. 5) qui offre toute sécurité de fonctionnement.

La complexité d'un tel schéma est évidente. Bien que de telles alimentations aient été largement fabriquées en composants discrets, très encombrantes de surcroît, elles n'en restaient pas moins délicates à mettre au point, et donc réservées à des spécialistes. La maîtrise de l'intégration permet aujourd'hui aux fabricants de proposer des régulateurs à découpage monolithiques calqués sur ce schéma. Toujours plus performants et plus fiables, peu onéreux, ils permettent la réalisation d'alimentations avec quelques

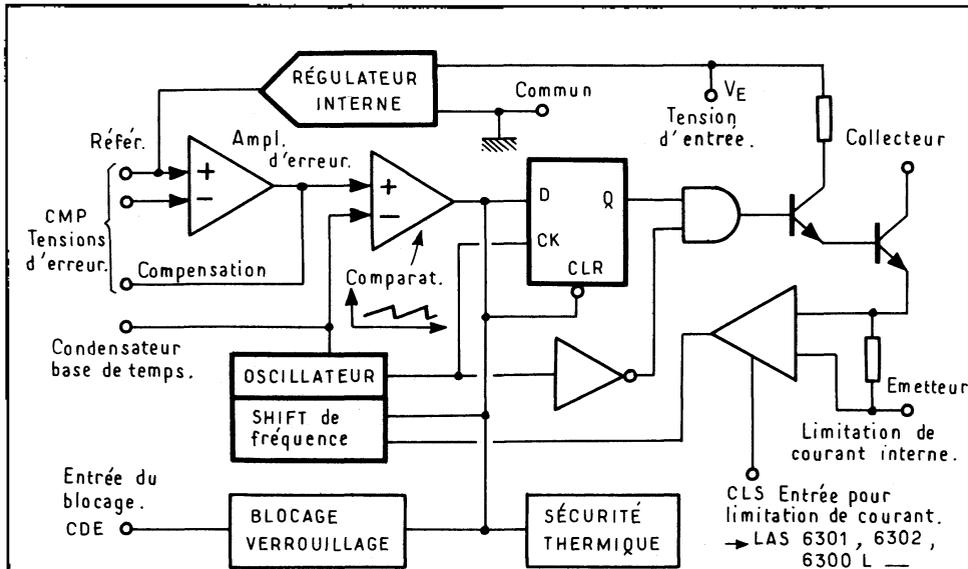


Fig. 6 : Schéma synoptique du LAS 6300.

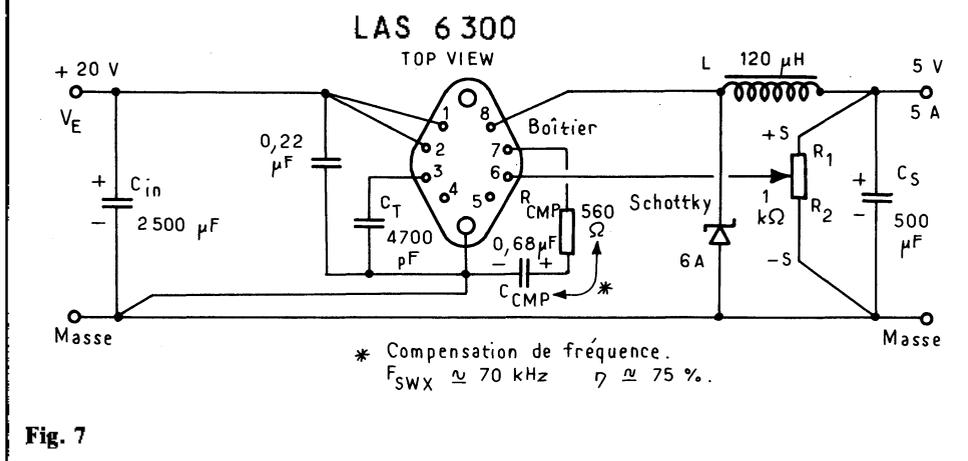


Fig. 7

composants externes seulement : d'où une très grande simplification dans la réalisation des alimentations à découpage. C'est ainsi que *Lambda* a été amenée à développer la série LAS 6300. Il s'agit d'un régulateur monolithique en boîtier TO3 qui peut débiter 5A, avec seulement 8 composants passifs, plus la bobine. De mise en œuvre aisée, il offre toutes les garanties de fonctionnement et de sécurité.

Le tableau ci-après donne les caractéristiques électriques de ce régulateur dont le synoptique interne est représenté figure 6.

Applications du LAS 6300

Parmi les applications possibles de ce circuit voyons tout d'abord un montage abaisseur 25 W (fig. 7), dans lequel V_d est la tension directe de la diode Schottky et V_{sat} , la tension de saturation du transistor.

Dans le but de simplifier les calculs, nous admettrons que V_s reste constante, l'erreur commise étant d'ailleurs négligeable.

En considérant l'instant où la tension de sortie devient inférieure à la tension de référence interne, il y a mise en conduction du transistor. La bobine est

donc parcourue par un courant qui croît linéairement et dont l'équation est :

$$+ \Delta I_L = \frac{(V_E - V_{sat} - V_s) \times t_{on}}{L}$$

Ce courant qui alimente la charge et le condensateur C_s , permet le blocage du transistor lorsque la tension de sortie devient supérieure à la tension de référence.

La bobine qui doit alors restituer l'énergie ($W = \frac{1}{2} \times L \times I^2$) emmagasi-

née, polarise la diode Schottky dans le sens direct. Le courant à décroissance linéaire, est alors de la forme :

$$- \Delta I_L = \frac{(V_s + V_d) \times t_{off}}{L}$$

En régime permanent $+ \Delta I_L = - \Delta I_L$ d'où :

$$V_s = \frac{t_{on}}{T \times (V_E - V_{sat} - V_d)} - V_d$$

Plaçons-nous maintenant d'un point de vue pratique, avec $V_s = 5V$, $I_s = 5A$ et $V_E = 20V \pm 15\%$,

— La fréquence de fonctionnement de 70 kHz, représente un bon compromis entre les pertes dans le LAS 6300, la diode et la bobine, qui croissent avec la fréquence, et la taille des éléments qui varient de manière inverse.

Pour CT on a :

$$CT = 6,7 \times 10^{-14} \times F,$$

d'où $CT = 4700 \text{ pF}$.

— ΔI_L est choisi à 0,5 A (10 % du courant de sortie), ce qui conduit à des pertes minimales dans le LAS 6300, la résistance série de C_s et la bobine, donne un self de taille raisonnable et un niveau de bruit en sortie acceptable.

1 crête =

$$I_S + \frac{\Delta I_L}{2} = 5 + \frac{0,05}{2} = 5,25 \text{ A}$$

valeur compatible avec le LAS 6300 : 5,5 A limite.

— La tension d'entrée minimale est donnée par : $V_{E \text{ min}} = 1,4 \times V_S + 3$, soit 10 V minimum.

La tension d'entrée maximale est de 35 V pour le LAS 6300, donc $20V \pm 15\%$ est compatible avec ces valeurs.

— La valeur de la bobine est déduite des équations donnant les valeurs de ΔI_L

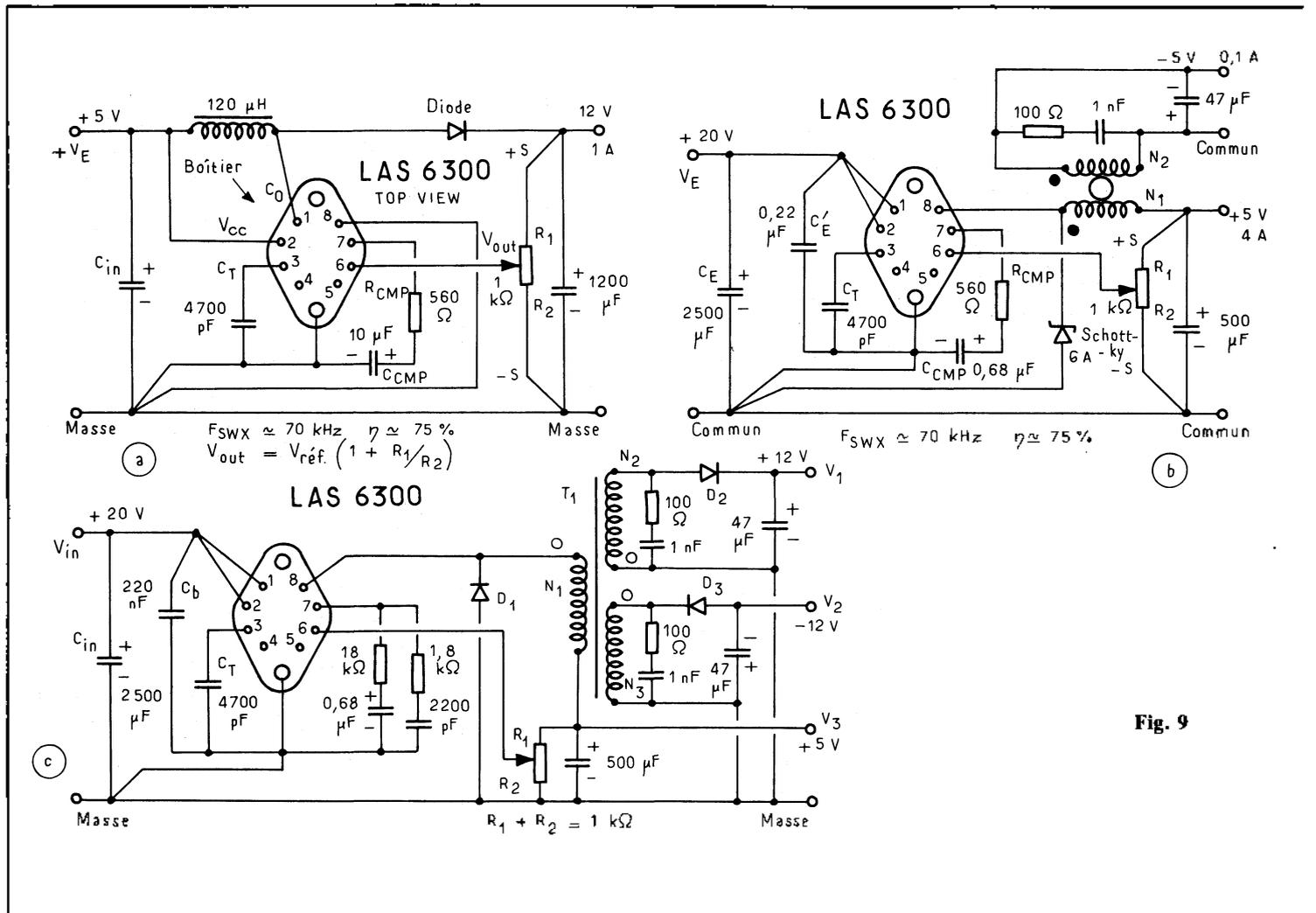


Fig. 9

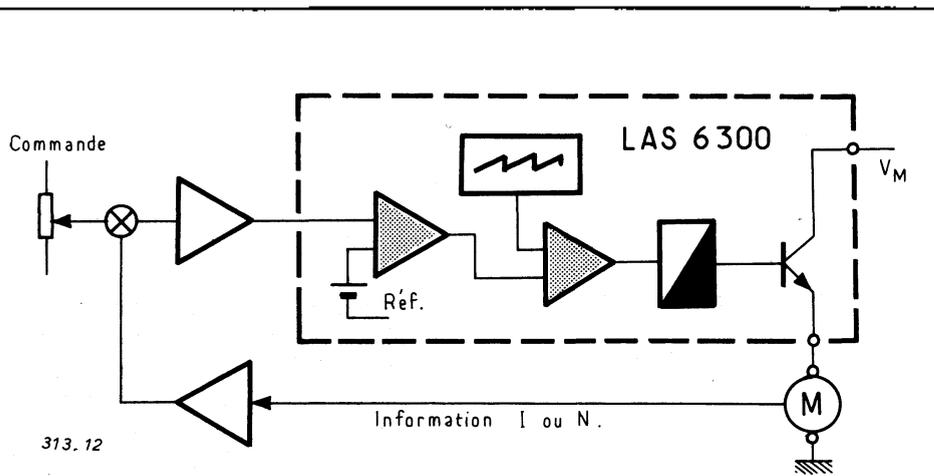


Fig. 12 : Principe de l'asservissement vitesse ou courant.

Tableau 1 : Caractéristiques électriques (sauf indications contraires $V_E = 12\text{ V}$, $f = 70\text{ kHz}$, $T_a = 25\text{ °C}$).

PARAMÈTRES	CONDITIONS D'ESSAI	VALEURS			UNITÉS
		MIN	TYP	MAX	
REFERENCES					
Tension de référence		2.04	2.15	2.27	V
Régulation ligne	$V_E = 6 \text{ à } 35\text{ V}$		0.06		%/V
Coefficient de température	$T_i = 0\text{ °C à } 125\text{ °C}$		0.005		%/°C
OSCILLATEUR					
Precision initiale de fréquence			± 10		%
Régulation ligne de la fréquence	$V_E = 6 \text{ à } 35\text{ V}$		0.06		%/V
Coefficient de température de la fréquence	$T_i = 0\text{ °C à } 125\text{ °C}$		0.05		%/°C
Fréquence maximale				200	kHz
Facteur de forme de la dent de scie			85		%
AMPLIFICATEUR D'ERREUR					
Offset de la tension d'entrée	$G_M = \Delta I_{-CMP} / \Delta V_{CMP}$		2.7	10	mV
Transconductance			2.7		mA/V
Courant de sortie absorbé ou fourni		1.5	0.2	3.0	mA
Plage d'entrée en mode commun	CMP en circuit ouvert		70		V
Gain en boucle ouverte					dB
SORTIE					
Tension collecteur-émetteur		5.5	8	35	V
Limitation du courant de sortie				10	A
Tension de saturation	$I_S = 2\text{ A E}$		1 V		V
Tension de saturation	$I_S = 5\text{ A E}$		2.5 V		V
Temps de montée	$I_S = 5\text{ A}$		100		ns
Temps de descente	$I_S = 5\text{ A}$		150		ns
Seuil de limitation de courant	$V_E = 5 \text{ à } 35\text{ V}$		1.7		V
Seuil de blocage			0.75		V
CONSUMMATION					
Courant de repos E_S en circuit ouvert	$V_E = 5 \text{ à } 35\text{ V}$		20		ma
Courant de repos E_S à la masse			100		ma

La figure 10 représente une commande moteur de 5 A avec une fonction marche-arrêt par l'entrée CNT.

Un débit plus important (30 A) est obtenu en faisant suivre le régulateur d'un Darlington. La figure 11 illustre un tel montage, auquel une commande de limitation du courant a été ajoutée.

Les deux autres cas évoqués ci-dessus doivent être considérés différemment dans la mesure où l'avertissement du paramètre considéré, est nécessaire. Les variations de la charge, la tension, la température, etc. en sont principalement la cause.

Cet asservissement rendu possible en agissant sur le rapport $\frac{t_{on}}{T}$ est issu

de la comparaison entre une référence et un signal qui est l'image de la vitesse moteur (FCEM - Dynamo...) ou du courant qui le traverse (chute RI - Schunt...). La figure 12 en donne le principe.

— En fait le LAS 6300 n'est qu'un composant parmi le vaste éventail que propose *Lambda* :

— Régulateur linéaire, régulateur à découpage, darlington de puissance, protection contre les surtensions, et bien d'autres.

Conclusion

La régulation à découpage qui occupe une place de choix dans les équipements, ne doit pas laisser penser que la régulation linéaire devient obsolète. Cette dernière bien au contraire, règne en maître dans les équipements de type analogique où le niveau du bruit et des interférences doivent rester négligeables.

S'il est possible aujourd'hui de réaliser simplement une alimentation régulée, grâce à ces composants qui sont proposés, il ne faut en aucun cas négliger tous les problèmes que seule l'expérience peut résoudre, dès qu'il s'agit de mettre en œuvre des puissances élevées.

J.M.B.