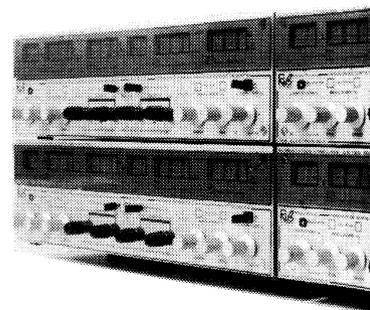


Alimentation de laboratoire à

par J.-C. BAUD (*)

En matière d'alimentation à découpage, diverses techniques sont concurremment utilisées. Parmi celles-ci, la technique dite de pré-régulation à découpage, associée à la classique régulation série, permet d'exploiter au mieux les possibilités caractérisant ces deux formules.

Développée par CNB Electronique, une nouvelle famille d'alimentation de laboratoire, à hautes performances, basée sur ce principe a récemment vu le jour. La présente étude est consacrée à l'analyse détaillée à l'une des alimentations de la série CN7.



Généralités

L'utilisation conjointe de la technique de pré-régulation à découpage, et de la régulation série sur laquelle repose la nouvelle famille des alimentations de laboratoire de la série CN7, est caractérisée par un certain nombre d'avantages non négligeables.

— Réduction du coût de fabrication — donc du prix d'achat — en raison de l'utilisation de transformateurs de volume réduit et de dissipateurs thermiques moins nombreux.

— Diminution corrélative du poids et de l'encombrement des alimentations réalisées selon cette techniques.

— Abaissement de la température, même en mode de fonctionnement intensif, grâce à la pré-régulation...

Dans ses grandes lignes, une alimentation avec pré-régulation, à découpage, comporte un certain nombre de circuits, schématisés sur le synoptique de la figure 1 :

1. Le pré-régulateur à découpage qui comprend ; un filtre à l'entrée du réseau, le circuit de commande de Triac, l'isolateur opto-électronique et le primaire du transformateur tr.

2. Les deux circuits de redressement et de filtrage — l'un étant destiné à l'alimentation du circuit de puissance, l'autre permet l'alimentation des divers circuits intégrés. Ces dernières tensions (+/- 15 V) doivent être indépendantes de l'alimentation principale. En

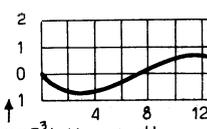
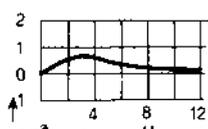
effet, les circuits de régulation en tension et en courant sont « flottants ».

3. La « référence », composée d'une diode zener compensée en température $< 0,002^\circ \lambda/^\circ C$, d'un circuit amplificateur opérationnel et d'un système de protection de la référence.

4. Le circuit de commande de l'étage de puissance pour la régulation de la

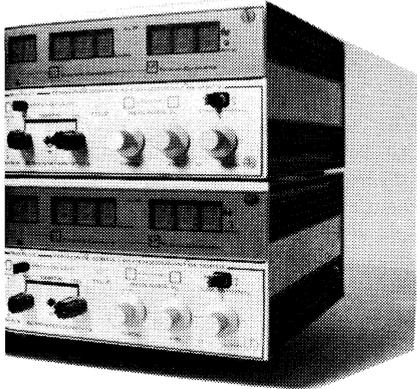
tension de sortie ; l'amplificateur opérationnel utilisé est du type BI.FET à très faible bruit.

5. Le circuit de commande de l'étage de puissance pour la régulation du courant de sortie (fonctionnement en courant constant) de même que pour le circuit précédent (l'amplificateur opérationnel utilisé est du type BI.FET à très faible bruit.

Caractéristiques	AVEC PRÉ-RÉGULATEUR	SANS PRÉ-RÉGULATEUR
Chute de tension de $I_S 0$ à $I_S \text{ max.}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$ de V_S	$< 1 \cdot 10^{-4}$ de V_S
Chute de tension en fonction d'une variation secteur de $\pm 10\%$. $I_S = 10 \text{ A.}$	$< 0,8 \cdot 10^{-4}$ de V_S	$1,1 \cdot 10^{-4}$ de V_S
Stabilité de la tension de sortie avec $I_S = 5 \text{ A}$ → préchauffage $1/4$ d'heure à $I_S = 5 \text{ A.}$		
Régulation en courant fonction de la charge → charge de 1 A à 10 A.	4,8 mA	2,1 mA
Régulation en courant fonction d'une variation secteur de $\pm 10\%$. → charge de 1 A à 10 A.	5,5 mA	2,8 mA
Protection en courant.	Double protection en courant limite.	Protection en courant limite unique.
Ondulation résiduelle à la sortie de l'alimentation.	à vide → Voir fig. 7 en charge 10 A → Voir fig. 9	Voir fig. 8 Voir fig. 10
Temps de réponse.	$\sim 110 \mu s$	$\sim 47 \mu s$
Coefficient de température.	$1,8 \cdot 10^{-4} / ^\circ C$	$1,2 \cdot 10^{-4} / ^\circ C$
Seuil minimal de fonctionnement à courant constant.	8,4 mA	6,2 mA

(*) Société CNB Electronique.

découpage



6. L'étage de puissance composé d'un ou plusieurs « drivers » et d'un nombre de transistors de puissance directement proportionnel à la puissance dissipable. Notons que, compte tenu du circuit pré-régulateur à découpage, le nombre de transistors de puissance est relativement limité.

7. Le circuit de lecture numérique de la tension de sortie.

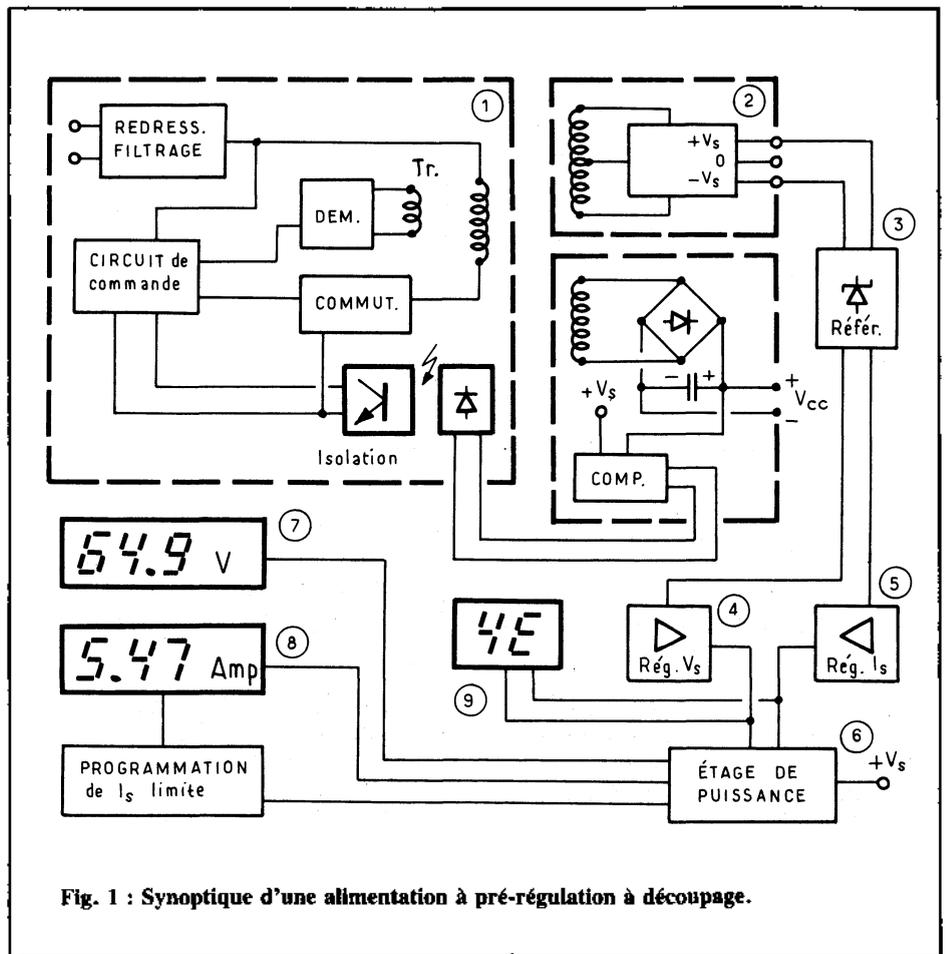


Fig. 1 : Synoptique d'une alimentation à pré-régulation à découpage.

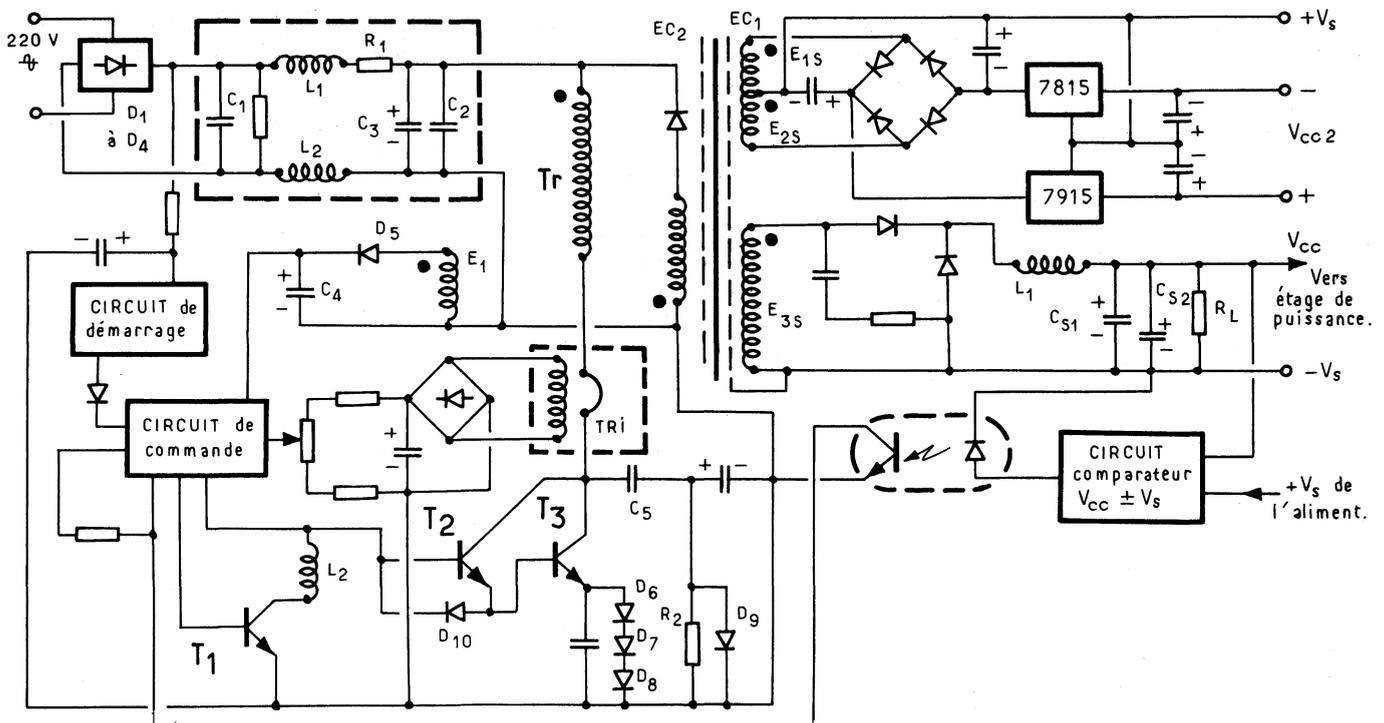


Fig. 2 : Schéma de principe du pré-régulateur à découpage.

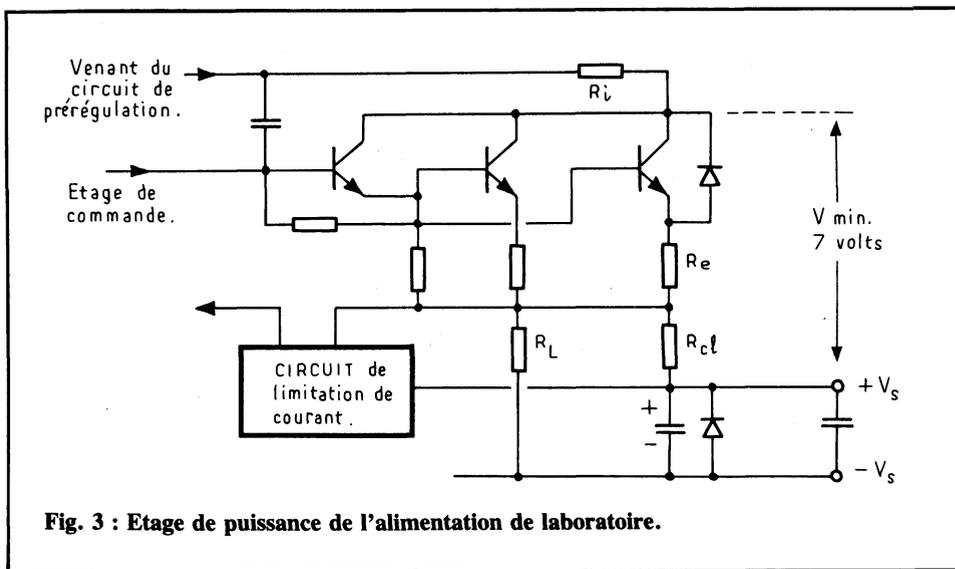


Fig. 3 : Etage de puissance de l'alimentation de laboratoire.

8. Le circuit de lecture numérique du courant de sortie.

9. Le circuit de pré-réglage du courant limite avec lecture de ce courant limite sur l'afficheur « courant ».

Notons que les trois derniers circuits cités, permettent une lecture très précise des données de sortie ± 1 digits ; ce qui, bien entendu, est beaucoup plus précis que l'affichage à galvanomètre le plus souvent utilisé.

Circuit de pré-régulation à découpage

Le circuit de pré-régulation à découpage est illustré figure 2. Après le pont de redressement (diodes D_1 à D_4) et le filtre composé des éléments L_1 , L_2 et C_1 C_2 le transformateur tr est alimenté par une tension continue de l'ordre de 330 V. A la mise sous tension, la résistance R_1 limite le courant dans le pont de diodes lorsque le condensateur C_3 (condensateur de filtrage) se charge.

Les deux éléments les plus importants contenus dans le circuit de la figure 2 sont : le circuit intégré de commande du transistor de commutation et le transformateur principal dont la réalisation doit être particulièrement soignée.

Le circuit dit de démarrage, non détaillé figure 2, a pour but à la mise sous tension de l'alimentation de générer une tension suffisante pour polariser un transistor monté en générateur de courant et de créer une tension d'alimentation du circuit de commande. Lequel délivre des impulsions de commande au transistor de commutation pendant un temps, suffisant pour générer une tension aux bornes de l'enroulement E_1 . Quand cette dernière est assez importante, le circuit de démarrage est inhibé et seul l'ensemble E_1 , D_5 et C_4 permet d'alimenter le circuit intégré de commande.

Le circuit de commande délivre à sa sortie des impulsions de commande qui sont appliquées à T_1 qui inverse et amplifie ces impulsions qui parviennent à la base de T_3 par l'intermédiaire de T_2 (montage en Darlington).

Le réseau d'aide à la commutation qui est composé de C_5 , R_2 et D_9 est très important puisqu'il évite de dépasser la S.O.A.R. du transistor de commutation et diminue les pertes durant le blocage de T_2 dont la diode D_{10} a pour but d'appliquer une polarisation négative à T_3 pendant le blocage de T_2 .

Quand le courant de sortie du pré-régulateur devient trop important il faut absolument le limiter au risque de détruire le transistor de commutation. Pour ce faire, le transformateur Tr délivre une information au circuit de commande, ce qui a pour effet de diminuer considérablement le rapport cyclique et la tension aux bornes de l'enroulement E_1 devient trop faible pour alimenter le circuit de commande qui ne délivre plus d'impulsion à et ainsi le protège.

La tension de sortie $+V_{cc}$ du pré-régulateur doit pouvoir varier entre 7 V et la tension maximale de sortie de l'alimentation de laboratoire $+$. En effet, comme le montre le schéma de la figure 3, la tension minimale nécessaire pour une bonne régulation de la tension de sortie est de 7 V. Ainsi, l'ensemble de l'étage de puissance travaille dans des conditions optimales.

Pour obtenir cette différence de potentiel constante, la tension de sortie (aux bornes de l'alimentation) et comparée à la tension de sortie du pré-régulateur à découpage par le circuit « comparateur $V_{cc} \pm V_s$; lequel, par l'intermédiaire d'un isolateur opto-électronique donne des instructions au circuit de commande afin que le pré-régulateur de délivre en V_{cc} que la tension de sortie sélectionnée par l'utilisateur ($+7$ V).

La sortie du pré-régulateur comprend 3 enroulements secondaires. Les enroulements E_{1S} et E_{2S} délivrent la tension nécessaire pour alimenter les circuits intégrés de la partie régulation série de l'alimentation (± 15 V) ceci après filtrage soigné et régulation. Comme nous l'avons vu, l'enroulement E_{3S} délivre la tension principale de l'alimentation après redressement lissage et filtrage.

Afin d'obtenir une ondulation à la sortie du pré-régulateur la plus faible possible, les valeurs de L_1 , C_{51} et C_{52} doivent être particulièrement bien adaptées et calculées en fonction des caractéristiques de sortie de l'ensemble de l'alimentation surtout en ce qui concerne les capacités de filtrage des impulsions résiduelles qui doivent posséder une très faible valeur de résistance équivalente série ainsi qu'une faible valeur d'inductance équivalente série. L'ondulation à la sortie du pré-régulateur est illustrée dans l'oscillogramme de la figure 4. Dans ce cas, le courant était de 10 A.

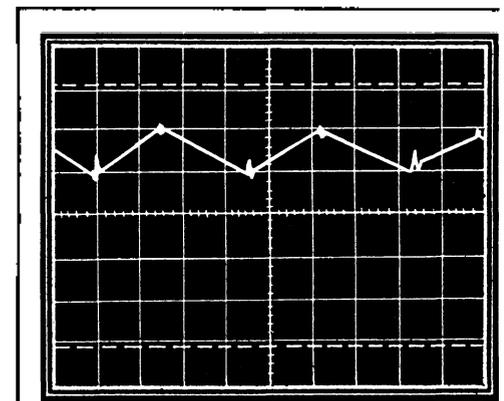


Fig. 4 : Oscillogramme montrant la tension d'ondulation à la sortie du pré-régulateur. $V_s = 27$ V. $I_s = 10$ A 20 mV/div. BdT 5 μ s.

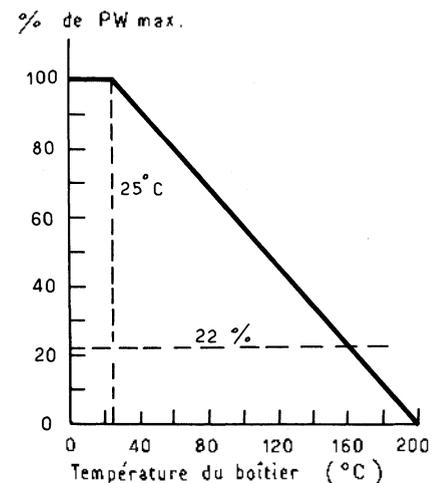


Fig. 6 : PW max en fonction de la température du boîtier du 2 N 3055.

Circuit de régulation « série » et affichage des données de sortie

L'ensemble de l'alimentation après l'étage de pré-régulation à découpage est illustré dans le schéma de principe de la figure 5. La tension principale V_{CC} issue du pré-régulateur est injectée en A et attaque directement l'étage de puissance via le fusible F_2 ; Cl_1 délivre une référence de précision à haute stabilité; Cl_2 est le circuit de commande de régulation en tension et Cl_3 est le circuit qui commande la régulation en courant. Notons les éléments T_1 , T_2 et Cl_4 qui permettent l'affichage numérique des modes de fonctionnement « Tension constante » et « Courant constant ».

Pour un meilleur confort d'utilisation et une grande précision de lecture des données I_S et V_S de la sortie de l'alimentation, on a choisi, malgré un prix de revient plus élevé, l'affichage numérique qui remplace le ou les galvanomètres à aiguille. En outre chaque alimentation est équipée de deux affi-

cheurs indépendants, l'un pour la lecture de la tension de sortie, l'autre pour la lecture du courant débité. Ces afficheurs ont une précision de ± 1 digit.

Afin de mettre en évidence l'avantage de la pré-régulation à découpage (notons que le rendement du pré-régulateur est d'environ 70 %) nous pouvons comparer au niveau de l'étage de puissance la différence de moyens à mettre en œuvre entre la technique de régulation série totale (transformateur d'entrée) et la pré-régulation à découpage.

Dans le cas de la dernière technique citée, nous avons vu (fig. 3) que la tension aux bornes de l'étage de puissance n'excède pas 7 V quelle que soit la valeur de la tension de sortie de l'alimentation de laboratoire. Si cette dernière a une caractéristique de sortie telle qu'elle puisse délivrer une tension de sortie variant de 0 à 20 V et qu'elle puisse délivrer un courant de sortie pouvant varier de 0 à 10 A.

Prenons les deux cas extrêmes :

- a) l'alimentation est en court-circuit avec débit maximal ;
- b) l'alimentation délivre 20 V avec un courant de 10 A.

Dans le cas a) avec pré-régulateur à découpage nous avons une tension aux bornes de l'étage de puissance de 7 V et un courant de 10 A soit une puissance de 70 W à dissiper. Si nous utilisons des transistors de puissance du type 2N3055, nous pouvons prendre en considération les paramètres suivants :

- Puissance maximale dissipable par un 2N3055 en fonction de la température de jonction (fig. 6).
- Résistance thermique de la jonction du boîtier du 2N3055 = 1,5 °C/W.
- Résistance thermique du boîtier dissipateur : celle-ci est de l'ordre de 0,4 °C/W compte tenu du type d'isolant et de la graisse utilisée.
- Résistance thermique dissipateur-Ambiente qui est de 1,8 °C/W pour une longueur de dissipateur (oxydation anodique noire) de 150 mm.

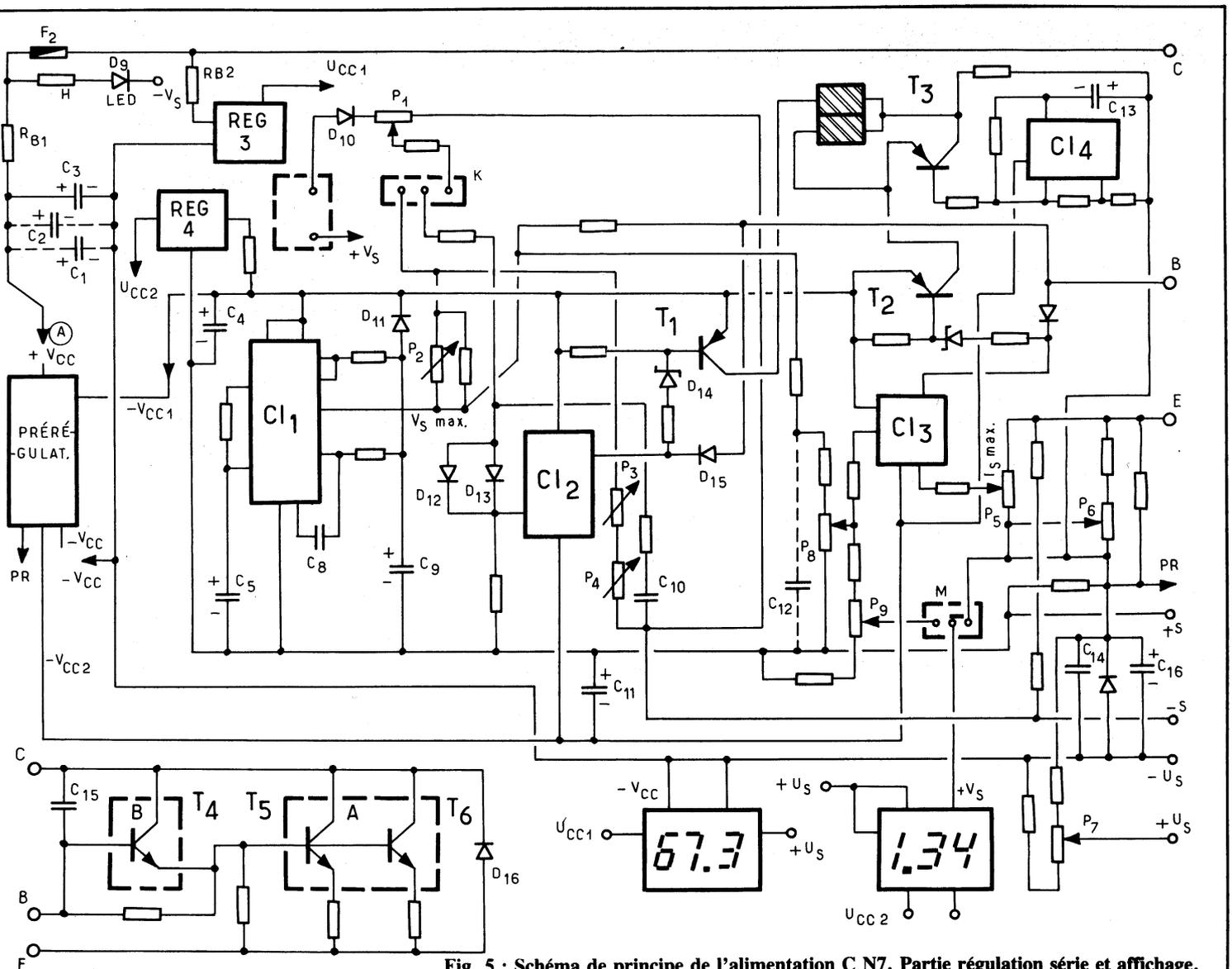


Fig. 5 : Schéma de principe de l'alimentation C N7. Partie régulation série et affichage.

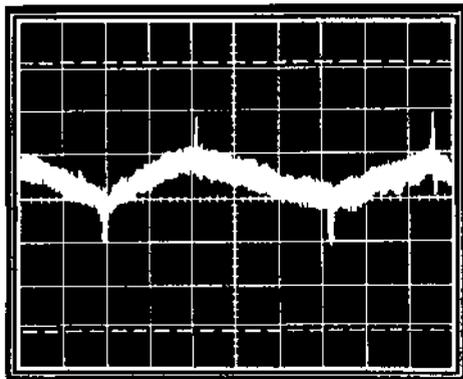


Fig. 7 : Ondulation résiduelle à vide. 1 mV/div. 5μ/div.

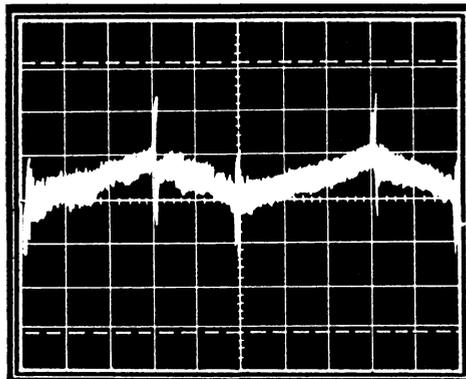


Fig. 9 : Ondulation résiduelle en charge ; $I_s = 10$ A. 5 mV/div. 5μ/div.

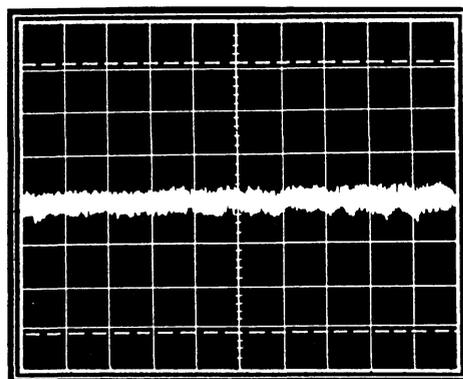


Fig. 8 : Ondulation résiduelle à vide 1 mV/div. 50μ/div.

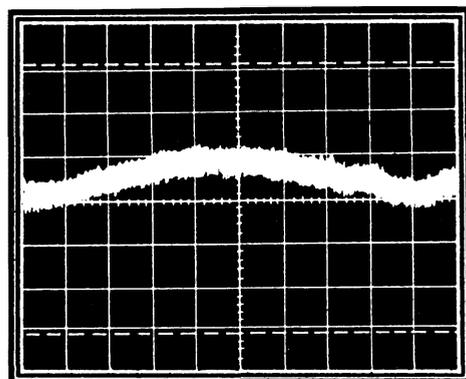


Fig. 10 : Ondulation résiduelle en charge $I_s = 10$ A. 1 mV/div. 10 ms/div.

Si nous considérons à température ambiante la température des dissipateurs thermiques ne doit pas excéder 80 °C nous pouvons admettre une élévation de température de : 80 °C - « ambiante » = 80 °C - 25 °C = 55 °C. Ainsi, la température de jonction du ou des 2N3055, pour une puissance de 25 W par transistor, sera de : 80 °C + (PW.1,5) + (0,4.PW) # 130 °C.

C'est donc 3 transistors, 2N3055 qui seront utilisés à 22 % de PW max autorisant une température de boîtier de l'ordre de 150 °C et de jonction d'environ 188 °C.

Notons que pour des températures ambiantes plus élevées (maximum 60 °C la puissance de sortie de l'alimentation doit être moins importante

afin que les données ci-dessus soient confirmées.

Dans le cas b) où l'alimentation délivre un courant de 10 A et une tension de 20 V, nous sommes exactement dans le même cas de figure que dans le cas a), puisque la puissance dissipée est identique. Nous voyons donc bien l'avantage de la pré-régulation à découpage qui, dans le cas des alimentations de la série CN7 DEC de *C.N.B. Electronique*, maintient une tension fixe d'environ 7 V aux bornes de l'étage de puissance.

Si à présent, nous examinons la technique de régulation série totale avec des caractéristiques de sortie de l'alimentation (sans pré-régulateur à dé-

coupage) identiques à celles du cas précédent, la puissance maximale dissipée est de $20 \text{ V} \times 1,4 \times 10 \text{ A} = 280 \text{ W}$; soit environ 4 fois plus que dans le cas de la pré-régulation à découpage secteur. C'est donc 12 transistors de puissance qu'il faut utiliser et un ensemble de dissipateurs thermiques beaucoup plus important pour obtenir les mêmes considérations thermiques que celles citées plus haut. Il s'en suit des dimensions plus importantes, un poids plus élevé et un rendement moins bon.

Principales caractéristiques techniques des alimentations équipées du circuit de pré-régulation à découpage

Les principaux paramètres caractérisant les alimentations de laboratoires peuvent se résumer comme suit :

- Chute de la tension de sortie en fonction de la charge et du réseau pouvant varier de $\pm 10 \%$;
- Ondulation résiduelle à la sortie avec et sans charge ;
- Stabilité de la tension de sortie ;
- Régulation en courant (en mode de fonctionnement courant constant ;
- Protection de la sortie de l'alimentation.

Le tableau ci-après permet d'établir la comparaison entre ces divers paramètres mesurés avec les deux techniques évoquées pour une alimentation 0...20 V 0...10 A.

La comparaison réalisée grâce au tableau nous montre qu'entre les deux techniques utilisées les différences de performances sont peu sensibles si ce n'est au niveau de l'ondulation résiduelle ou l'alimentation équipée du pré-régulateur à découpage est un peu plus « bruyante » du fait des « pointes » de commutation.

Bien entendu, le circuit de pré-régulation à découpage n'est rentable que pour des alimentations de forte puissance ou, comme cela est de plus en plus, la tendance, lorsque l'on souhaite disposer d'une alimentation de petites dimensions mais de puissance élevée.

J.-C. B