

alimentation réglable

de 0 à 24V, 1 ou 2A

le « cheval de trait » dont rêve tout hobbyiste



Si l'on nous faisait, il y a un lustre ou deux, le reproche de publier nombre d'alimentations à intervalle trop rapproché, c'est le reproche que l'on nous fait (à raison ?) aujourd'hui. À la suite d'une demande répétée de la part de plusieurs de nos lecteurs, nous vous proposons une alimentation de laboratoire capable, en raison de la large plage de tension et de la limitation de courant ajustable qu'elle connaît, devrait être en mesure de faire face à la grande majorité des tâches dans ledit domaine.

Tout comme le fer à souder et le multimètre, une alimentation de laboratoire se doit de faire partie de l'équipement de base de tout amateur d'électronique digne de ce nom. Sans elle, il est très improbable que l'on réalise quoi que ce soit de personnel. Il se veut cependant qu'une alimentation ajustable robuste à limitation de courant réglable ne peut pas se targuer d'être bon marché. Ce souhait de réaliser sa propre alimentation de laboratoire se traduit par une demande répétée de recettes de réalisation fiables. L'alimentation ajustable présentée ici a été conçue spécifiquement dans cette intention. Notre alimentation dispose de suffisamment d'organes de réglage, peut prétendre être relativement simple et est prévue dès l'origine pour la connexion (optionnelle) de modu-

les VN (Voltmètre Numérique) indiquant la tension et le courant de sortie. Autre caractéristique intéressante de cette alimentation : exception faite d'une paire de FET de puissance, le reste des composants utilisés sont des composants courants. Il est, de plus, possible, d'opter pour une version 1 A ou 2 A de courant de sortie.

LE CONCEPT

Comme le prouve un simple coup d'oeil au schéma de la **figure 1**, la recette de base n'a rien de bien compliqué. La tension fournie par un transformateur 24 V subit un redressement classique (tension ++) pour ensuite être ajustée en niveau par le biais d'une paire de FET montés en parallèle, T1 et T2, pris entre la borne de sortie négative et la masse. Ces FET sont, à leur tour, pilotés par 2 circuits de réglage basés chacun sur un amplificateur opérationnel qui ne cessent de comparer la tension (ou le courant) de sortie à la valeur de consigne. Ceci résume en fait de quoi il retourne dans le cas présent.

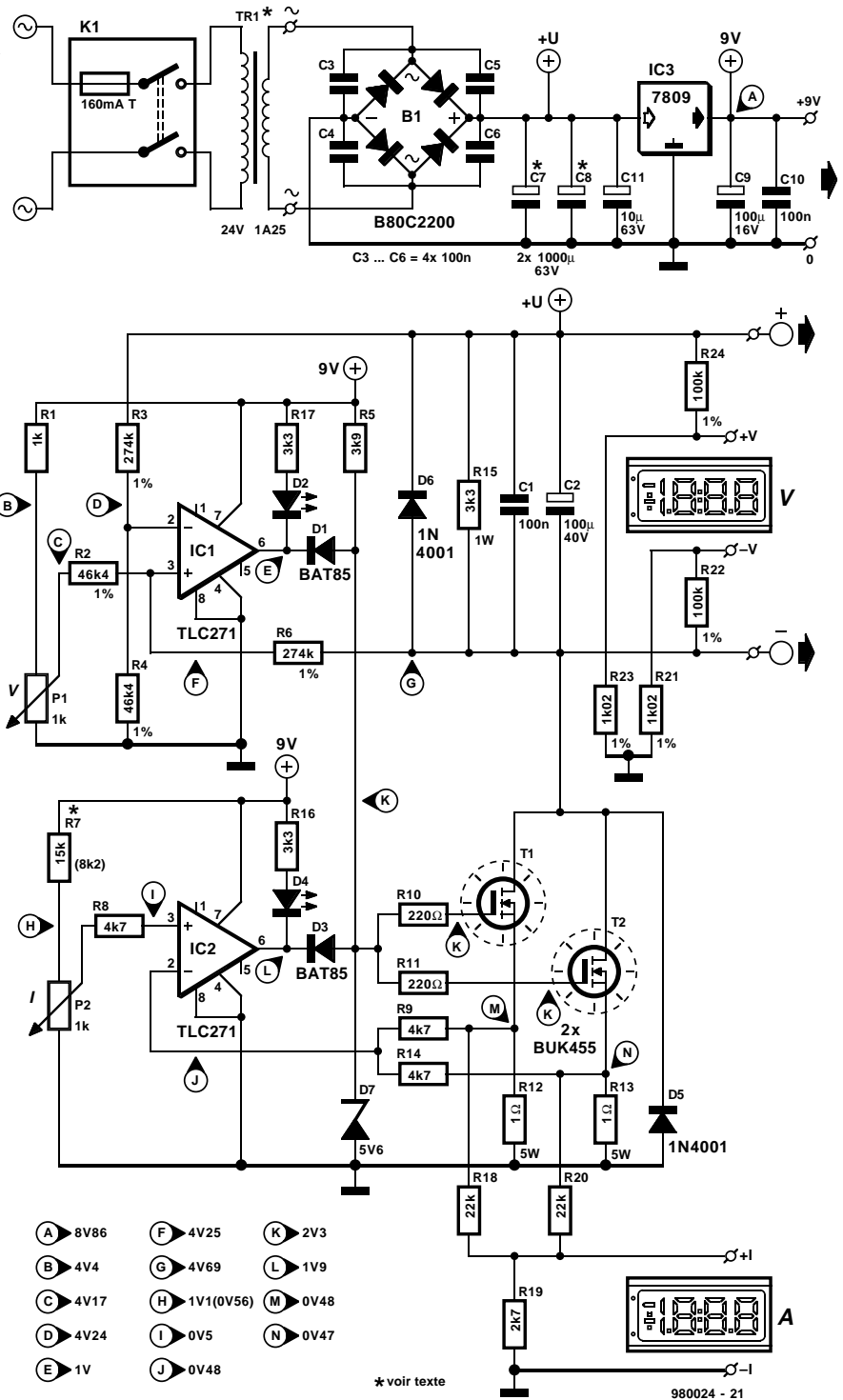
La mise en pratique de ce concept s'est cependant traduit par l'une ou l'autre solution intéressante. Contrairement à ce qui est le cas normalement, les FET de régulation ne sont pas, ici, montés en source-suiweuse. Ce choix a été fait à dessein pour éviter d'avoir à disposer d'une tension d'alimentation additionnelle. En effet, la tension présente sur la grille ne doit pas dépasser le potentiel présenté par la source de plus de 6 V, au maximum; l'approche choisie ici répond à cette exigence sachant que l'on peut piloter la grille par rapport à la masse interne de l'alimentation (et non pas par rapport au pôle positif de la tension de sortie).

Que raconter de plus sur ce montage ? Hé bien que l'on produit à l'aide d'un 7809, IC3, une tension auxiliaire destinée à la régulation, tension faisant également office de tension de référence. P1 et P2 servent respectivement à fixer les valeurs de consigne des régulations de tension et de courant. Les amplificateurs opérationnels eux aussi sont alimentés en +9 V régulés.

LA RÉGULATION DE TENSION

On voit sur le schéma que de par le concept adopté la tension de sortie présente aux bornes de C2 « flotte »; ce que l'on veut dire par là c'est que l'une des bornes dudit condensateur se trouve relié à la tension d'alimentation non régulée (!). Le zéro de la sortie est relié aux drains des FET de puissance T1 et T2. La tension de référence est elle référencée par rapport au zéro, raison pour laquelle les entrées de l'amplificateur opérationnel IC1 sont attaquées par R3/R4 et

Figure 1. Le schéma de l'alimentation. P1 permet de jouer sur la tension, P2 sur la limitation de courant. On pourra, si l'on veut, connecter des instruments de mesure (numériques) aux points +V/V et +I/I pour une indication de la tension et du courant.

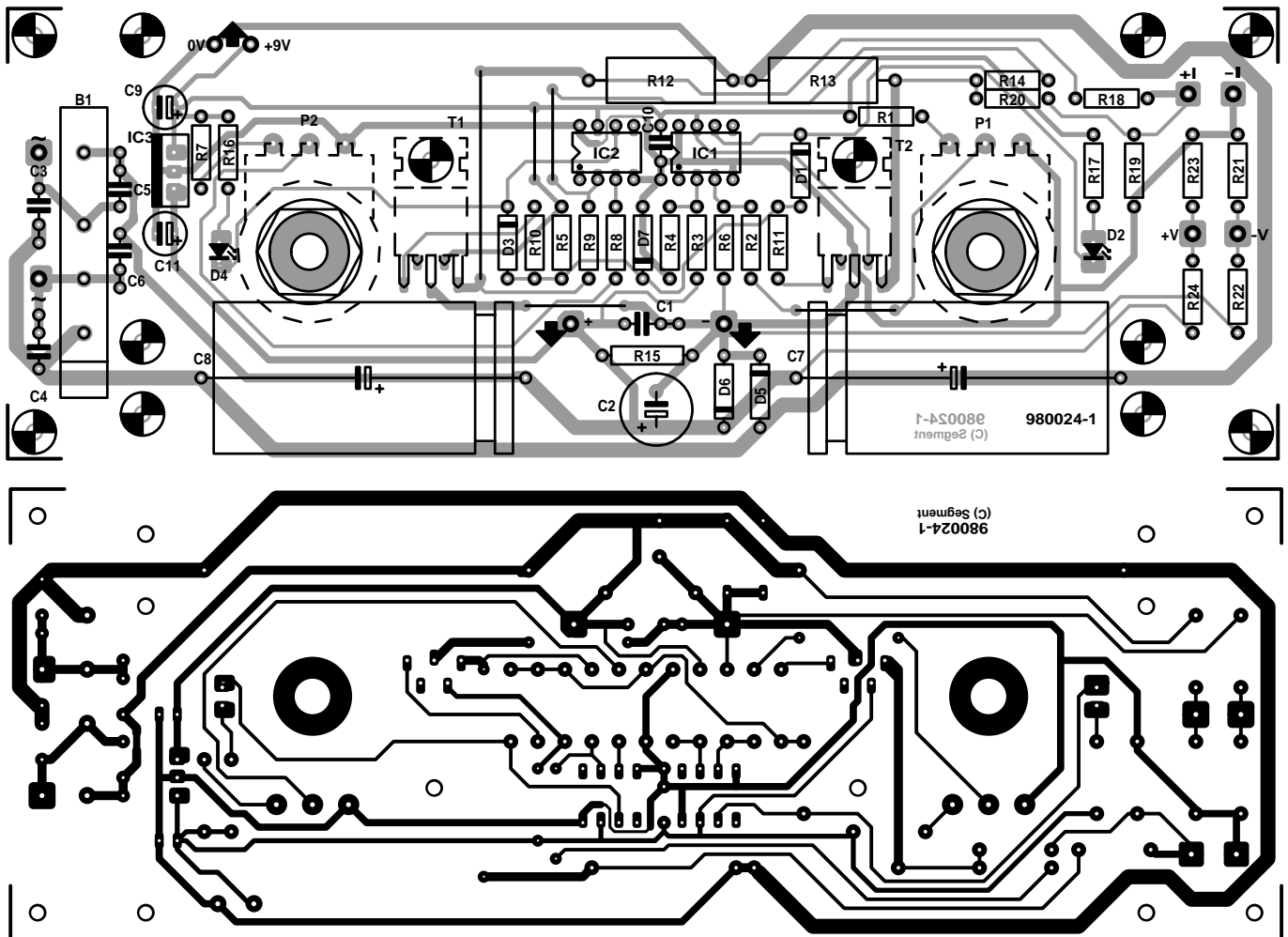


R6/R2 respectivement. Lesdits diviseurs de tension entraînent une comparaison entre la tension de sortie et la valeur de consigne présente sur le curseur de P1. Ce principe répond à ce que l'on en attend, à condition que les rapports R3/R4 et R6/R2 soient parfaitement identiques. Il faudra donc utiliser, pour lesdites résistances, de composants à tolérance de 1%. La ten-

sion de différence à la sortie de IC1 commande, par le biais de D1, la tension régnant sur les grilles des FET. Normalement, R5 force ces 2 FET à être toujours totalement passants. Leur fermeture est le fait soit de la régulation de tension soit de celle de courant. La diode D7 a pour fonction de limiter la tension sur les grilles de T1 et T2; ceci réduit le temps de réac-

2

Figure 2. Le dessin de la platine est tel que celle-ci pourra être disposée directement derrière la face avant du boîtier.



3



tion des FET lorsque ceux-ci sont passants. Les résistances R10 et R11 servent à éviter les oscillations HF.

LA RÉGULATION DE COURANT

Le suivi du courant de sortie se fait de façon classique, c'est-à-dire par la mesure de la chute de tension se produisant aux bornes d'une résistance de shunt. Ce sont les résistances de source des FET, R12 et R13, qui font ici office de shunt. Comme les FET peuvent, d'un exemplaire à l'autre, présenter des différences de caractéristiques importantes, ils se sont vus dotés d'une résistance de source relativement élevée de 1 Ω . Dans le cas d'un courant de sortie de 2 A, c'est-à-dire de 1 A par chacun des FET, on aura chute de tension d'1 V sur chacune des 2 résistances. Les résistances R9 et R14 moyennent ces tensions (on a donc,

Figure 3. L'un de nos prototypes terminés. La hauteur du coffret dépend du format du transformateur.

Liste des composants

Résistances :

R1 = 1 k Ω
R2, R4 = 46 k Ω /1%
R3, R6 = 274 k Ω /1%
R5 = 3 k Ω
R7 = 15 k Ω (2 A: 8 k Ω)
R8, R9, R14 = 4 k Ω
R10, R11 = 220 Ω
R12, R13 = 1 Ω /5 W
R15 = 3 k Ω /1 W
R16, R17 = 3 k Ω
R18, R20 = 22 k Ω
R19 = 2 k Ω
R21, R23 = 1 k Ω /2/1%
R22, R24 = 100 k/1%
P1, P2 = 1 k Ω linéaire

Condensateurs :

C1, C3 à C6, C10 = 100 nF
C2 = 100 μ F/40 V radial
C7, C8 = 1 000 μ F/63 V (2 A:
2 200 μ F/63 V)
C9 = 100 μ F/16 V radial
C11 = 10 μ F/63 V

Semi-conducteurs :

B1 = B80C3300/2200
D1, D3 = BAT85
D2, D4 = LED rouge (haut rendement)
D5, D6 = 1N4001
D7 = diode zener 5V6/400 mW
T1, T2 = BUK455-100A ou BUK106-50S* (Philips)
IC1, IC2 = TLC271CP (Texas Instruments)

IC3 = 7809

Divers :

K1 = entrée secteur avec interrupteur et fusible 0,16 AT
Tr1 = transformateur secteur avec 24 V/1,25 A ou 24 V/2,5 A au secondaire*
radiateur pour T1/T2: SK85/75SA (1,2 K/W)
2 embases banane femelles
boîtier = Telet LC850 (80 x 200 x 180mm) ou LC950 (100 x 200 x 180mm)*
option : instruments de mesure pour indications de courant et de tension*
* cf. texte

même au cas où la répartition entre les FET n'est pas idéale, mesure du courant total) et IC2 procède à leur comparaison à la valeur de consigne fixée à l'aide de P2. Si le courant est trop important on aura diminution de la tension de sortie de l'amplificateur opérationnel et fermeture partielle des FET par le biais de D3.

D1 et D3 sont des diodes Schottky de manière à garantir une fermeture suffisante des FET. Les LED D2 et D4 signalent l'activation, respectivement, des régulations de tension et de courant. On pourrait penser à prendre ces LED en série avec D1 et D3, mais cette solution empêcherait une fermeture suffisante des FET. On aurait pu résoudre ce problème en dotant les amplificateurs opérationnels d'une tension négative, mais il est plus simple et plus économique de tout simplement prendre les LED en parallèle. Cette façon de faire se paie, il est vrai, par une consommation de courant supérieure de 2 mA, mais cela ne pose pas de problème dans le cas d'une alimentation.

Le reste des composants remplissent des fonctions classiques : D5 et D6 protègent le montage à l'encontre d'une inversion de polarité de la tension d'alimentation, R15 est chargé d'éliminer la fuite de courant par R6 et un éventuel courant de fuite des FET. Cette résistance définit en fait la tension de sortie minimale. C1 et C2 servent, pour finir, à améliorer le comportement de l'électronique face à des variations brutales de charge en sortie.

CONNEXION DES MODULES DE TENSION ET DE COURANT

La platine comporte un certain nombre de diviseurs de tension offrant la possibilité de connecter des instruments de mesure (numériques). On retrouve les dites résistances sur le schéma sous les dénominations de R18 à R24.

Le réseau R18 à R20 sert à l'indication de courant : il est pris en parallèle sur

la résistance de source R12/R13 (points « I1 » et « I2 »); le module numérique destiné à la mesure de courant est connecté aux points « I+ » et « I- ». La plupart des modules numériques possèdent une sensibilité de 0,2 V. La chute de tension aux bornes des résistances de courant R12 et R13 est de 1 V à un courant de 2 A, raison pour laquelle le réseau R18/R19 introduit une atténuation de 5 x.

L'atténuateur de tension prend la forme de 4 résistances, R21 à R24, en raison du « flottement » de la tension évoqué plus haut. Si l'on suppose que le module à brancher aux points « +V » et « -V » possède une sensibilité identique (0,2 V), l'atténuation se devra d'être de 20 V/0,2 V, soit 100 x cette fois. La majorité des modules à 3 chiffres 1/2 « ordinaires » ne peuvent mesurer que jusqu'à 1.999, la tension maximale affichable est de 20 volts (19,99 V en fait). Il existe 2 solutions à cette limitation : « sacrifier » un chiffre et multiplier l'atténuation par 10 (en prenant pour R21 et R23 des résistances de 100 Ω). Mais vous pouvez également tenter de mettre la main sur un module 3 chiffres 3/4 capable, lui, de compter jusqu'à 3.999.

L'alimentation des modules de mesure pourra être dérivée des 9 V régulés fournis par IC3; c'est là la raison des points « 0V » et « +9V » présents sur la platine. Attention, nombre de modules de mesure n'acceptent pas d'être alimentés par une telle tension 9 V embarquée. Les modèles les moins chers exigent souvent d'être alimentés par une pile ou une tension auxiliaire additionnelle. On ne pourra utiliser le 9 V embarqué qu'avec les modules acceptant que la tension d'alimentation et la tension de mesure soient identiques; en d'autres termes : la plage de mode commun doit se trouver à l'intérieur de plage de la tension d'alimentation. Aucun module basé sur un circuit intégré de la famille 7106 ne répond à ce critère; il faudra donc alimenter ces derniers séparément. Il existe cependant des modules numé-

riques pouvant, dotés qu'ils sont d'un petit convertisseur de tension embarqué, contourner ce problème. Comment savoir de quel type il s'agit ? Tout simplement par lecture de la fiche de caractéristiques vu que les fabricants de modules ne nécessitant pas de tension auxiliaire n'hésitent pas à le mentionner très expressément. En l'absence d'une telle mention on peut déduire sans trop de risque qu'il faudra une tension auxiliaire.

LA RÉALISATION

La figure 2 vous propose la platine dessinée à l'intention de cette alimentation. L'implantation des composants ne devrait pas poser de problème si l'on respecte la sérigraphie. On voit que les potentiomètres P1 et P2 sont eux aussi montés directement sur la platine. Cela est dû au type de boîtier utilisé, un LC850 ou LC950 de Telet. Le but de l'opération est en effet de monter la platine en sandwich (à l'aide d'entretoises) sur la face avant du coffret. Le radiateur nécessaire aux FET sera, lui, vissé derrière la platine. Pour peu que l'on ait un peu de chance, les orifices de fixation tombent juste entre 2 ailettes du radiateur; si tel n'est pas le cas il faudra percer quelques orifices additionnels. Cette approche se traduit par un montage compact dont le radiateur est inaccessible qui, aux puissances élevées peut atteindre une température très sensible (c'est le cas de le dire).

Les FET sous soudés sur le dessous de la platine puis vissés sur le radiateur. La technique est en fait inverse : on commence par donner aux connexions la forme souhaitée, on monte ensuite la platine sur le radiateur, visse les FET à leur place et on les soude en glissant prudemment la pointe du fer à souder entre la platine et le radiateur.

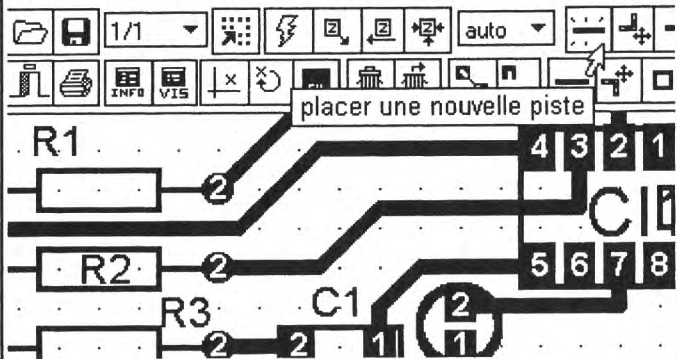
Il n'est pas impératif d'isoler les FET; du point de vue thermique il est même préférable de ne pas le faire. Il faudra dans ce cas s'assurer que le radiateur est parfaitement isolé de son environnement et qu'il ne peut pas toucher quoi que ce soit de conduc-

la simplicité retrouvée

WINTYPON

Logiciel de conception de circuits, sous Windows™. Convivial et très simple d'emploi.

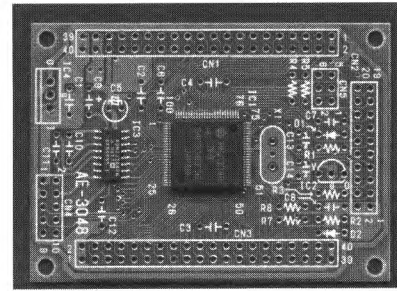
Fichier Edition Optimisation Fenêtre Outils



- 100 % Français. Versions 16 et 32 bits. MDI.
 - Aucune contrainte imposée, liberté totale de création.
 - Impression à l'échelle 1 automatique.
 - Module de création de nouveaux composants.
 - Fichier d'aide détaillé, manuels et exemples.
 - **Version de démonstration gratuite.**
- Licence 1 poste 500 Frs TTC / illimité 1500 Frs TTC.

Micrelec 4 place Abel Leblanc 77120 Coulommiers
Tel 01 64 65 04 50 Fax 01 64 03 41 47

CARTE A MICRO CONTROLEUR 32 BITS



- Micro contrôleur Hitachi H8-3048 F - 16 MHZ
- 128 Ko de mémoire Flash
- 4 Ko de mémoire SRAM
- convertisseur 10 bits 8 canaux A/N
- convertisseur 8 bits 2 canaux N/A
- 70 ports entrées / sorties configurables pin par pin
- 8 ports en entrées
- 2 ports séries RS 232
- WDT
- 7 interruptions externes: NMI, IRQ 0 à IRQ 5
- 30 interruptions internes
- 3 niveaux de priorité d'interruption configurables
- bus data sur 16 bits
- format 5 x 7 cm
- très faible consommation (3 modes)

PRIX UNITAIRE AVEC KIT DE DEVELOPEMENT
990.00 FRS HT

carte AE 3048 + kit flash hardware + GNU C + assembleur + debug. + logiciel de prog de la flash + docs

Option carte mémoire DRAM 512 Ko 490.00 FRS HT

IES 3 Rue des Longues Raies 25220 THISE
tél 03.81.53.75.75 fax 03.81.50.52.22 Email: IES25@aol.com

Digimétrie et les standards

Depuis plus de dix ans Digimétrie développe une gamme complète de produits industriels en tenant compte des différents standards du marché

Interface PC- ISA



AT-LAB12B/R/D : ADC 12 ou 16 bits, 16 Voies, 100 ou 800K (/R) éch/S +FIFO.Gains.DMA et IRQ prog. +E/S TTL+Timer+2 voies DAC (/D).
PC-ADC12B8V /D : ADC 12bits, 8Voies+E/S TTL+Timer+2Voies DAC (/D).

Port parallèle / série



NanoLogger /S : Clé d'acquisition 8S/4D voies d'entrée A/N 12 bits, 1 voie de sortie N/A 12 bits. 4 Kéch./Sec.

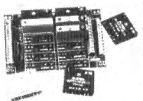
Bus série USB

USB-LAB12 : Carte d'acquisition multifonction 12 bits A/N, N/A et TOR à 100 KHz sur un port USB (spéc. 1.0).

Interface PCI

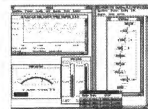
PCI-LAB16 : Carte d'acquisition multifonction 16 bits A/N, N/A et TOR.

OPTO-22 : Entrée/sortie industrielle



PC-TOR-24 (-48) et (-120) : 24 ou 48 ou 120 lignes E/S logique TTL + différentes sortances disponibles.
EX-OPTO-24V : Externe 24 voies d'entrées opto-isolées.
EX-RELAIS 8/16 : Externe 8/16 relais 1T magnétiques.
EX-RELAIS-STAT : Externe 1 à 12 voies E/S de relais statiques.

Windows l'interface logicielle



DigiView I/O : Logiciel d'acquisition de données.
DigiView Icône : Logiciel pour la régulation et le contrôle.
DigiTools : Bibliothèques d'interface et DLL pour C, Visual Basic, Delphi, Win 3.1, 95 et NT.

Station déportée



MicroLogger-DOS : CPU X86-DOS-Interface PC/104 A/N.
Micro-PC : CPU X86-512K SRAM-DOS-RS232-RS485-FDD.
MicroLogger-acq12 : CPU + acquisition 16 voies A/N 12 bits 100KHz.

Réseau de terrain

WorldFIP sur PC, PC/104 et station.
CAN sur PC/104 et station.

WorldFIP

Module d'acquisition de données



TransDAC-RS485-AD8 : 8 voies A/N isolées sur bus série RS485.
TransDAC-RS485-104 : 4 voies E/S TOR isolées sur bus série RS485.
TransDAC-µFIP-310 : 3 voies E/S TOR isolées sur bus WorldFIP.

PC/104 : Bus mézzanine ISA

AT-104LAB1XB /D PC-104AD PC-104-1048 :
Cartes d'acquisitions A/N, N/A et TOR au format PC/104.



Digimétrie concepteur / fabricant => Etudes et réalisations spécifiques sur produits dérivés de sa gamme

 **Digimétrie**

30 A, Rue Ernest RENAN - F66000 PERPIGNAN
Tél : (33) 04 68 66 54 48 Fax : (33) 04 68 50 27 85
E-mail: info@digimetrie.com http://www.digimetrie.com

Je désire recevoir le catalogue d'acquisition de données

EK 03/98

Nom _____ Etablissement _____
Adresse _____
Code postal _____ VILLE _____
TEL _____ FAX _____

teur. Il est plus sûr d'utiliser des plaquettes d'isolation qui seront alors de bonne qualité (c-à-d à faible résistance thermique). OK pour l'alumine, non au mica. Utiliser dans tous les cas de figure de la pâte thermoconductrice. On dote le boîtier de quelques orifices supplémentaires à l'aplomb du radiateur pour une bonne circulation d'air. On peut envisager d'utiliser un petit ventilateur pour PC, sachant que l'ensemble peut, en fonction de la tension de transformateur, atteindre des températures « intéressantes » vu la taille du coffret.

Les ventilateurs pour PC prévus pour fonctionner à 12 V tournent encore fort honnêtement à 9 V et n'en sont

de nos prototypes. On y voit que les organes de commande se limitent aux 2 potentiomètres, aux LED de signalisation D2 et D4 et à une paire d'embase banane aux bornes desquelles se trouve la tension de sortie.

1 A ou 2 A

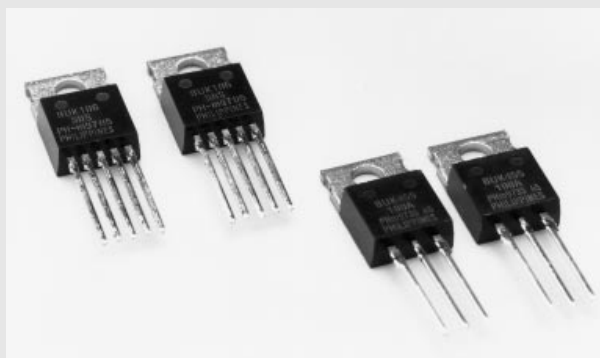
On utilisera, pour la version 24 V/1 A, un transformateur de 2 x 12 V sous 1,25 A. Avec un rien d'habileté il doit être possible de mettre le tout dans un coffret Telet de 8 cm de haut. La version 2 A exige un transformateur de sortie fournissant un courant 2 fois plus important et pourra trouver place dans un coffret Telet de 10 cm de haut. Le dimensionnement du schéma cor-

ainsi que celles indiquées à proximité des FET, ont été relevées à des tensions de 28, 20 V et une charge de 1 A respectivement.

Ce montage ne nécessite pas de réglage à proprement parler. La seule chose à vérifier, après avoir procédé à la vérification des tensions du schéma, est que la tension de sortie atteinte une valeur suffisamment élevée (24 V) et que le courant de sortie correspond bien à la valeur maximal prévue (1 ou 2 A, en fonction du transformateur utilisé).

Il faudra également vérifier qu'il est possible, par action sur P1, d'amener la tension de sortie à (pratiquement) 0 V. Il ne faut pas s'offusquer d'un mini-

Les FET



Si les dénominations BUZ et les IRF sont devenues courantes dans les montages publiés dans Elektor, nous n'avons pas encore, jusqu'à présent, utilisés de FET de la série BUK. Cette famille comporte plusieurs membres capables de travailler à des courants et des tensions de plus en plus élevés. Le BUK455-100A mis en oeuvre ici peut s'accommoder de tensions allant jusqu'à 100 V. La caractéristique spécifique de ce FET est sa résistance thermique faible de 1,2 K/W. Ceci lui permet, dans un boîtier TO220, de dissiper une puissance supérieure (125 W) à

celle d'un archi-connu 2N3055 en boîtier SO3 (115 W). Il s'agit en fait là de valeurs purement théoriques (le refroidissement devant alors être infiniment bon), mais doté d'un radiateur de 1,2 K/W (SK85, 75 mm) il est en mesure, dans le cas d'un Δt de 150°C, de dissiper quelque 62,5 W, valeur fort respectable. Pour ne pas prendre de risques inutiles et ne pas nous retrouver confrontés à la valeur théorique évoquée plus haut, nous avons réparti la dite dissipation sur 2 FET.

On peut également utiliser le BUK106-50S de la même famille. Il s'agit d'un « TOPFET », composant plus coûteux, mais doté de caractéristiques très spécifiques. Il dispose de 2 connexions supplémentaires : une entrée de protection d'alimentation (protection supply input) et une sortie d'indication (flag output). En cas d'application à l'entrée de protection le composant se protégera contre des tensions supérieures à 50 V (il devient partiellement passant; caractéristique pouvant être gênante dans le cas d'une alimentation). La sortie d'indication visualise l'activité d'une protection. Il suffit, pour désactiver la protection, de couper momentanément la tension d'alimentation.

Notre platine peut recevoir les 2 types de FET. L'entrée de protection d'alimentation du BUK106-50S pentabroches est alors automatiquement reliée au +9 V fourni par IC3. La sortie d'indication reste inutilisée dans la présente application

que plus silencieux. Rien n'interdit cependant de prévoir un régulateur 7812 additionnel si l'on veut faire tourner le ventilateur à plein régime.

Le transformateur sera à monter verticalement vu la faible profondeur du boîtier proposé. On utilisera de préférence un transformateur torique de chez Amplimo; leur sécurité électrique répond aux exigences de la présente application.

Puisque nous en sommes à évoquer l'aspect sécurité, nous recommandons instamment l'utilisation d'une entrée secteur dotée d'un porteur-fusible et d'un interrupteur marche/arrêt intégrés montée sur l'arrière du boîtier. La tension létale de 230 V n'apparaît ni sur la platine ni au niveau de la sortie tension de sortie accessible de l'extérieur. Une dernière astuce : il faudra prévoir, en cas d'utilisation de modules numériques à rétroéclairage, un petit radiateur (de l'ordre de 20K/W) vu qu'ils drainent aisément quelques dizaines de mA. La **figure 3** vous permet de jeter un coup d'oeil à l'intérieur de l'un

respond à la version 1 A. Si l'on veut passer à la version 2A il ne faudra, outre un autre transformateur, que peu de modifications. Les condensateurs de lissage C7 et C8 verront leur capacité passer à 2 200 μ F, R7 sa valeur réduire de moitié pour passer à 8k Ω 2 de manière à ce qu'une rotation en butée de P2 corresponde à 2 A.

MISE À L'ÉPREUVE

Une fois la platine terminée et sa réalisation vérifiée avec soin il sera temps de connecter le transformateur et d'appliquer la tension du secteur. Ceci fait, on s'assurera, à l'aide d'un multimètre, de trouver, aux points de mesure mentionnés sur le schéma, les valeurs de tension indiquées. Attention : les valeurs indiquées au niveau de la régulation de tension, c'est-à-dire aux alentours de IC1, ont été mesurées avec une tension d'entrée de 28 V, une tension de sortie de 24 V et ceci hors-charge. Les tensions au niveau de la partie courant, autour de IC2 donc,

mum à 0,2 ou 0,3 V, mais s'il est impossible de descendre en-dessous de 1 V, cela tient au fait que les rapports R3/R4 et R6/R2 ne sont pas identiques. Si cela vous paraît ennuyeux, vous pourrez placer une résistance de l'ordre de 1 M Ω (valeur à déterminer expérimentalement), en parallèle sur R2 ou R4 jusqu'à ce que la tension de sortie soit descendue au minimum requis.

Cette remarque vaut également pour l'indication de tension prise entre les points « +V » et « -V ». À ce niveau également l'erreur tient souvent au fait que le module indique une tension inexistante. L'une des possibles raisons de ce comportement est un déséquilibre entre les rapports R22/R21 et R24/R23, situation que l'on peut rencontrer même en cas d'utilisation de résistances à tolérance de 1%. On pourra redresser la situation par la prise en parallèle sur R21 ou R23 d'une résistance de 100 k Ω dont il faudra déterminer expérimentalement la valeur exacte.

(980024)