

charge électronique

en CC et CA

Jusqu'à 400 V et 10 A (crête)



Rainer Schuster (Allemagne)

Concevoir et essayer une alimentation ainsi qu'en mesurer les caractéristiques nécessite une charge. Une résistance (de puissance) suffit, mais l'essai de l'alimentation à différents niveaux de puissance devient fastidieux si différentes résistances doivent être connectées en série et/ou en parallèle pour adapter la charge. La charge électronique ou *e-charge* (*e-Load*) est une solution : elle peut être contrôlée sans interventions répétées sur le circuit d'essai.

Outre les modes résistance constante et courant constant, notre *e-charge* peut adopter un mode dynamique pour étudier le comportement de la source à des courants de sortie variant rapidement. Cette dernière option nécessite une connexion USB (galvaniquement isolée) à un PC équipé d'une application de commande qui peut afficher les valeurs efficaces vraies (*true RMS*) de tension et de courant mesurées et calculées par l'*e-charge*. Contrairement à beaucoup d'autres *e-charges*, ce circuit est aussi adapté aux essais de sources de *courant alternatif*.

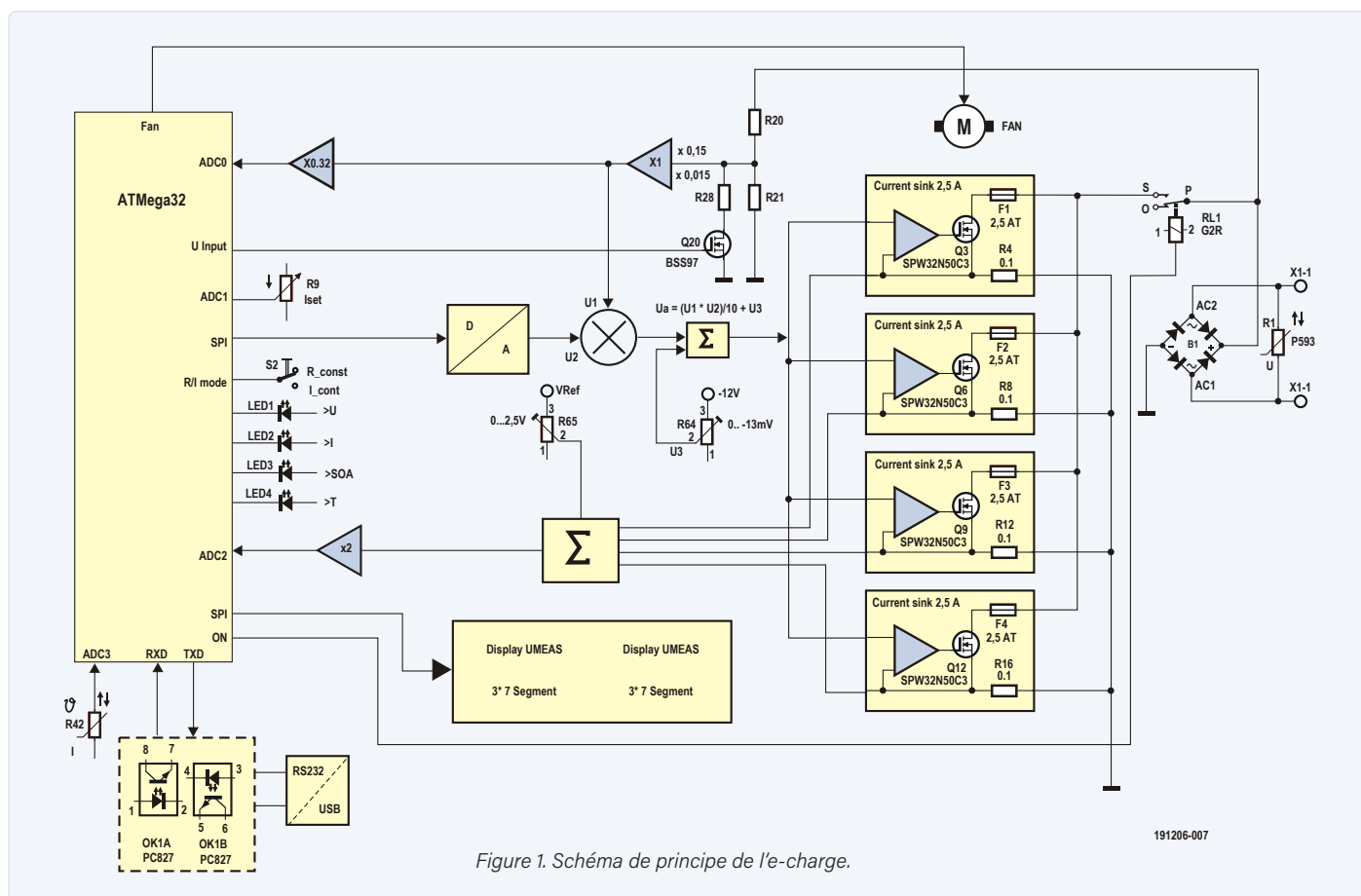
Le matériel

La **figure 1** montre le schéma fonctionnel de l'*e-charge*. Le principe et le fonctionnement seront discutés plus en détail ci-après. Quatre MOSFET (Q3, Q6, Q9 et Q12) en parallèle forment une charge capable d'absorber un courant de 10 A max. (voir **fig. 2**). La tension de commande est appliquée aux entrées non-inverseuses des ampli-op IC1 et IC2. Le courant de charge résultant pour chaque étage est égal à cette tension de commande divisée par la résistance de drain (R4, R8, R12, R16). Le courant maximal à travers chaque

unité est donc de 2,5 A.

Le radiateur des transistors de charge est un LK75 de *ELV Elektronik* secondé par un ventilateur de 12 V. La résistance thermique résultante du dissipateur vaut 0,44 K/W. Il faut ajouter la résistance thermique de la rondelle isolante (1,25 K/W) et de la jonction au boîtier du transistor (également 0,44 K/W). La résistance thermique totale est donc de 2,13 K/W. Pour chaque transistor, la puissance max. dissipée qui en résulte (à une température de jonction max. de 150 °C et une ambiante de 25 °C) est $P_v = (T_j - T_a) / R_{th}$

AVERTISSEMENT. Les hautes tensions présentent un risque léthal. Le circuit décrit ici n'est pas destiné aux débutants. Vous ne devez pas le construire ni l'utiliser si vous n'êtes pas expérimenté en haute tension.



= 58 W, ou 232 W pour quatre unités. Pour des raisons de sécurité, nous avons limité la puissance maximale dissipée à 200 W.

Génération de la tension de commande

Dans le cahier des charges de cette charge électronique, nous avons inclus la gestion du courant alternatif. La tension de commande doit avoir la même forme d'onde que la tension d'entrée. Pour ce faire, la tension d'entrée (préalablement mise à une échelle convenable par Q2/IC3) est appliquée à l'entrée X1 du multiplicateur analogique IC5. La tension de commande est appliquée à Y1 du multiplicateur. La sortie W du multiplicateur est directement connectée à l'entrée des quatre étages de sortie MOSFET. Le multiplicateur utilisé est un AD633, les entrées X2 et Y2 sont mises à la masse et Z est connectée à une tension négative de 0 à 100 mV. La tension de sortie W est :

$$W = ((X1 * Y1)/10) + Z$$

La tension Z est réglée (R64) pour compenser l'offset (décalage) de courant. La tension de contrôle Y1 est calculée par le microcontrôleur et envoyée au convertisseur N/A à 12 bits

MCP4921 (IC6) dont VR1 fixe la tension de référence à 2,5 V. C'est également sa tension de sortie maximale.

Mesure de la tension

La tension d'entrée de la charge est mesurée par le microcontrôleur. Pour couvrir la gamme de 0 à 400 V avec une résolution suffisante, le microcontrôleur se charge de la diviser en deux sous-gammes. Si Q20 est activé, la tension d'entrée est divisée par 66 (R20, R28||R21). Cette tension est appliquée au multiplicateur et la forme d'onde du courant peut suivre la tension d'entrée. Cette valeur est ensuite divisée par 10 (par R22 et R23) puis multipliée par 3,26 par IC3B. Si la tension d'entrée est inférieure à 50 V, Q20 est coupé et la tension d'entrée est divisée par 6,7 (R20/R21). À une tension d'entrée de 50 V, la tension de sortie d'IC3B est de 2,77 V (valeur binaire 567 sur le CA/N à 10 bits), la résolution est de 100 mV. À une tension d'entrée de 400 V, la tension de sortie d'IC3B est de 1,956 V (valeur binaire 400), la résolution est de 1 V. Selon que l'entrée est en CA ou en CC, on mesure respectivement la tension CA redressée ou la tension CC. Le logiciel se charge de calculer la tension efficace vraie.

Mesure de courant

R31 à R34 et IC7A + IC7B effectuent la somme des courants des quatre MOSFET et à 2,5 A_{eff} chacun, l'amplitude de sortie est de 1 V_{eff}/10 A_{eff}. IC7D multiplie cette valeur par 4,3, on a donc une sortie de 0,43 V/A. Selon que l'entrée est en CA ou en CC, on mesure respectivement le courant CA ou le courant CC redressé. Le logiciel se charge de calculer le courant efficace vrai. Note : à 10 A_{CC}, il y a 4,3 V à l'entrée du CA/N. En CA, la valeur efficace ne doit donc pas dépasser 7 A.

Microcontrôleur

Un microcontrôleur ATmega32 commande la charge électronique. Ce contrôleur se programme via SV1 sur l'interface ISP (par ex. à l'aide d'un AVRISP MKII). Pendant la programmation, le contrôleur doit être alimenté par l'alimentation interne.

Note de sécurité importante : quand la charge électronique est reliée au programmeur, il n'y a pas d'isolation galvanique des entrées. Toujours déconnecter le programmeur avant de brancher les bornes d'entrée au secteur

Figure 2. Partie principale du schéma.

ET avant de déconnecter la terre de la borne d'entrée négative.

Afficheur

L'affichage de la tension et du courant est confié à des afficheurs LED à sept segments commandés par un MAX7219 SPI. Les schémas proviennent d'un ancien projet *Elektor* [2] dont l'agencement du circuit imprimé est légèrement modifié, voir la page du projet [1].

Interface USB

M2 gère la communication avec un PC (fig. 2). La carte reçoit un module provenant de *Conrad*, mais tout circuit USB-UART alimenté par USB peut être utilisé. Les optocoupleurs OK3 et OK4 assurent l'isolation galvanique de la connexion au microcontrôleur.

Alimentation électrique

Pour le microcontrôleur, la charge électronique a besoin de +5 V et pour la partie analogique, de +12 V et -12 V. Deux transformateurs montés sur le circuit imprimé y pourvoient. La régulation des tensions d'alimentation est confiée à des régulateurs standard (78XX et 79XX) (fig. 3).

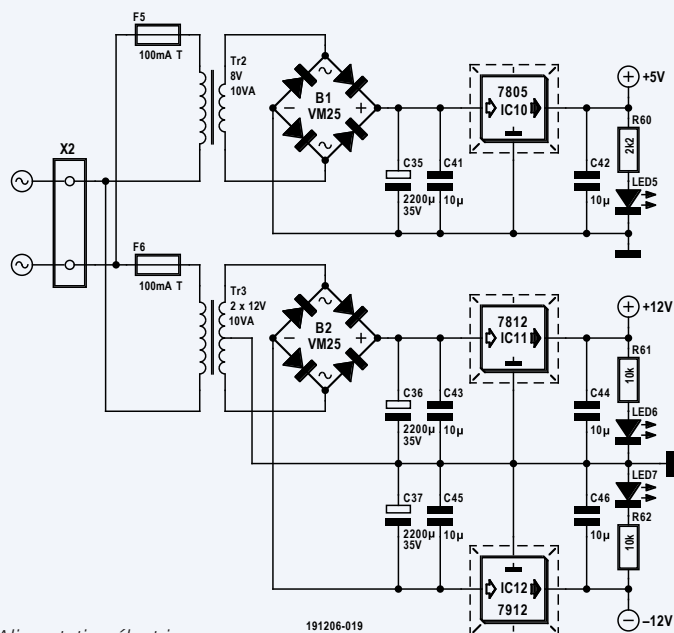
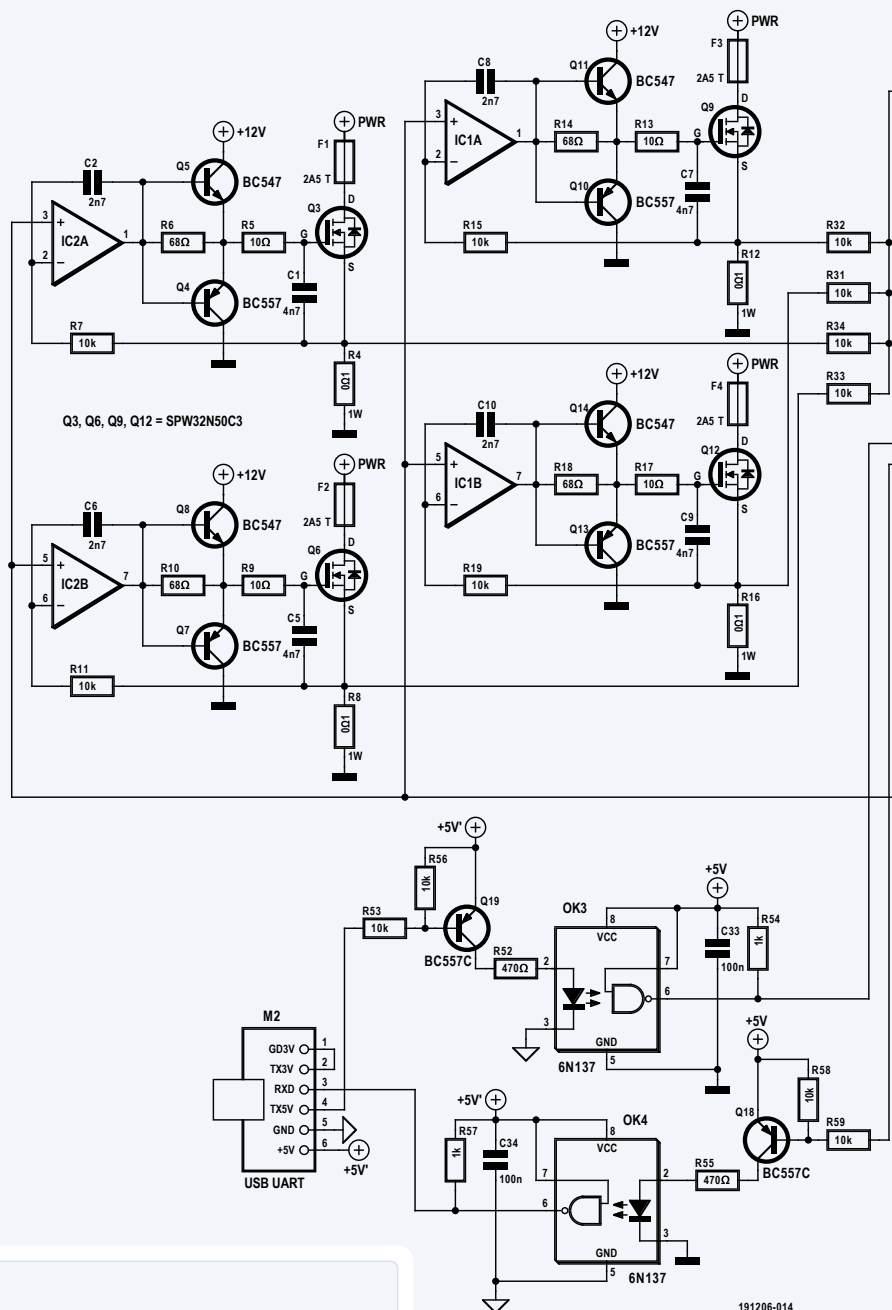


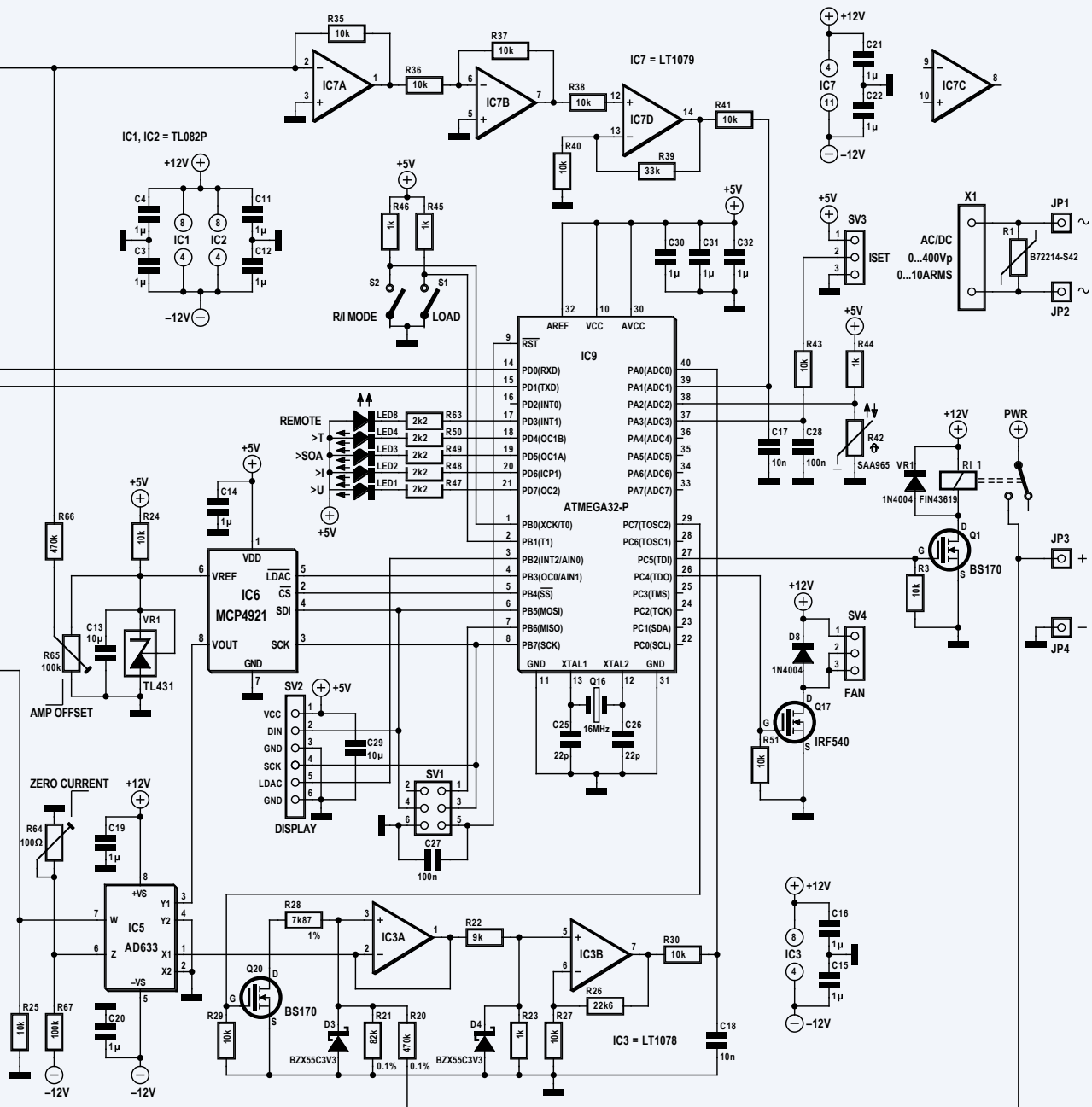
Figure 3. Alimentation électrique.

Micrologiciel

Le micrologiciel de l'Atmega32 a été développé avec *BASCOM AVR*. Si vous souhaitez le modifier, vous devrez acquérir une version sous licence. Le code source et le fichier HEX sont téléchargeables à l'adresse [1].

Tension et courant efficaces vrais sont calculés toutes les 20 ms. La bande passante de mesure atteint 100 Hz. Pour « lisser » les mesures, on calcule la moyenne sur dix mesures consécutives, de sorte qu'une mesure complète prend 200 ms.

Le micrologiciel calcule le courant cible selon le réglage du commutateur R-const/I-const. En mode courant constant (I-const), le courant



doit être fixe. En mode résistance constante, celle-ci est simulée en faisant varier le courant I tel que $I = V_{\text{input}}/R\text{-const}$. Pour que le courant soit constant, la valeur du CN/A doit être calculée d'après la consigne de courant et la tension efficace instantanée.

En raison des tolérances des composants, le courant réel peut différer de la consigne. Pour y remédier, la fonction *Set_dest_current* corrige d'après la courbe caractéristique de I . Si le courant obtenu est supérieur à la consigne, la commande augmente de 5 mA. Si le courant obtenu est inférieur à la consigne, la commande diminue de 5 mA.

La boucle du programme principal vérifie d'abord les conditions d'erreur :

- Tension > 400 V : allume la LED >U et coupe le relais de charge. Quand la tension < 400 V, la LED s'éteint et le relais est réactivé.
- Courant : 1 s après la modification de la consigne, vérifie si le courant obtenu est < consigne + 100 mA. Si ce n'est pas le cas : allume la LED >I, désactive le relais de charge. Pour la réactiver, il faut couper puis rallumer l'e-charge.
- Alimentation : une condition tension * courant > 200 W allume la LED > SOA et désactive le relais de charge. Pour la réactiver, il faut couper puis rallumer l'e-charge.
- Température : si la température du radiateur (mesurée avec une CTN connectée au CA/N2) atteint 40 °C, le venti-

lateur démarre. C'est aussi le cas si la puissance dépasse 100 W. Si la température descend à moins de 35 °C et que la puissance est < 100 W pendant >10 s, le ventilateur s'éteint. Si la température du radiateur dépasse 80 °C, la LED > T s'allume et le relais de charge est désactivé. Si elle redescend à moins de 75 °C, le relais de charge est réactivé.

Ces conditions sont contrôlées toutes les 500 ms. L'affichage des mesures tension/courant est aussi rafraîchi toutes les 500 ms. Hors commande à distance, les interrupteurs *Load On/Off* et *I-const/R-const* sont lus ainsi que la valeur du potentiomètre de réglage du courant.

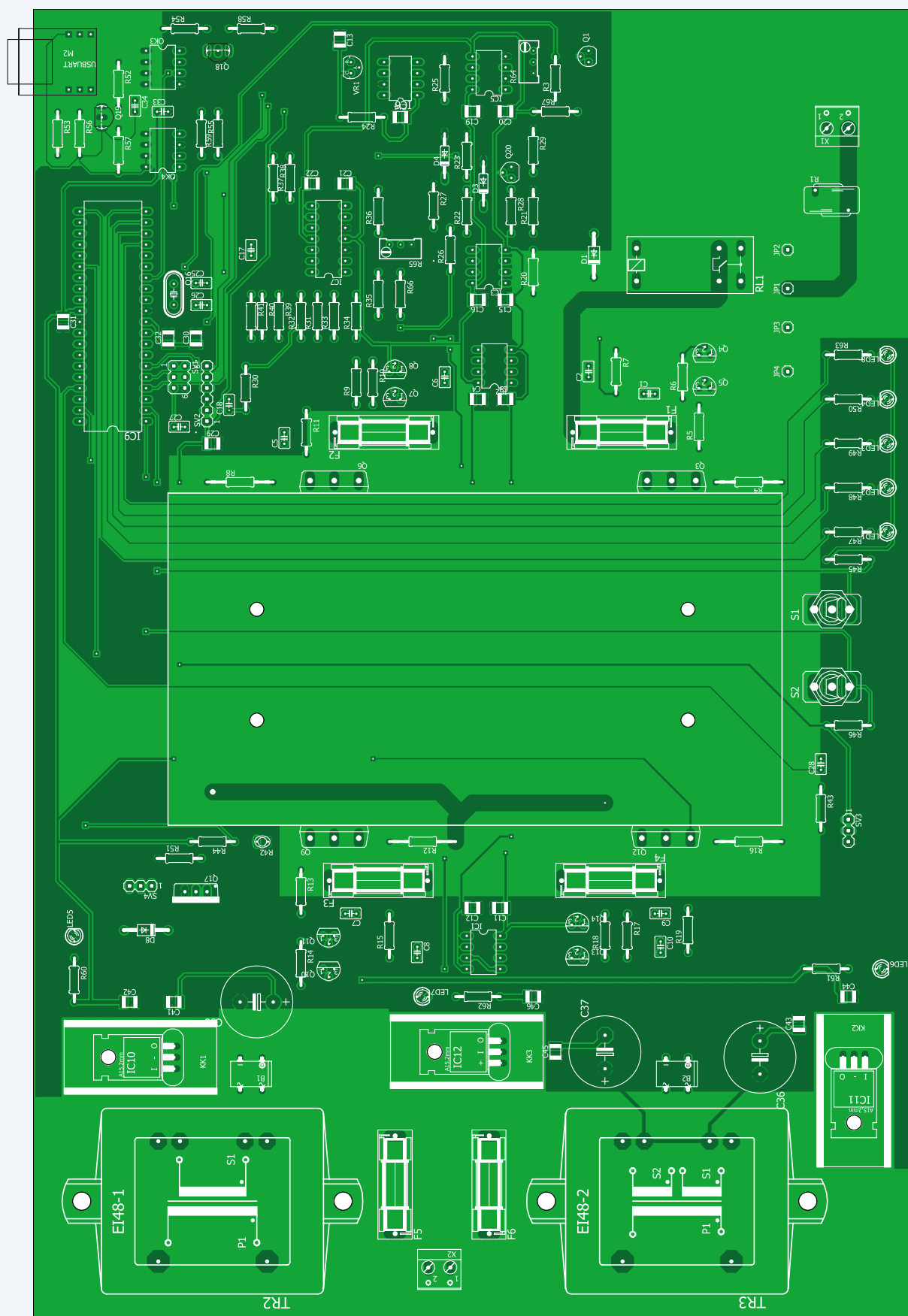


Figure 4. Vue du circuit imprimé de la carte principale. (reproduction à 85% de la taille réelle)

Réglage courant/résistance

Si la charge est en mode *I-const* puis mise sur *On*, la plage de courant est de 1 A. Si le commutateur de charge est mis sur *Off*, la plage de courant est définie par la tension d'entrée. Cette plage est de 10 A si la tension d'entrée est inférieure à 20 V ; sinon, la plage de courant vaut 200 W/tension réelle.

En mode *R-const*, la résistance minimale est elle aussi calculée quand le commutateur de charge est sur *Off* et vaut $U/I =$ tension d'entrée/consigne de courant. Le réglage max. de résistance vaut cent fois la résistance minimale.

Note : en mode *I-const*, les butées antihoraire et horaire du potentiomètre correspondent respectivement au courant minimal et maximal. Pour éviter une surintensité au passage du mode *I-const* au mode *R-const*, la butée antihoraire du potentiomètre correspond à la valeur maximale de la résistance.

Réalisation matérielle

Munis des fichiers CAO *Eagle* et *Gerber* (téléchargeables depuis [1]), vous pourrez commander les cartes imprimées chez votre fournisseur préféré. La **figure 4** montre l'aspect de la carte principale. Pour la carte d'affichage, consultez la page Elektor Labs, vous y trouverez aussi les listes de composants des deux cartes. Un boîtier accueille les cartes. La **figure 5**

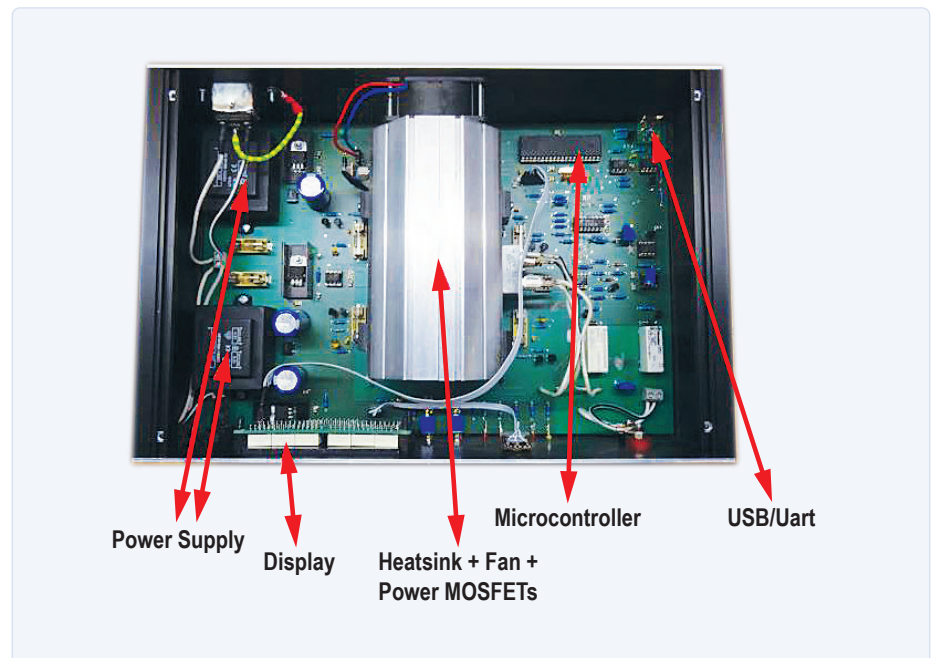


Figure 5. Vue de dessus de l'e-charge à l'intérieur du boîtier.

propose une vue de dessus. Les MOSFET de puissance sont montés sur le radiateur avec des rondelles thermiques TOP3 et de la pâte thermique. Le pont de diodes des mesures CA est également monté sur ce dissipateur et relié à JP1-JP4 sur le circuit imprimé principal. Le dissipateur lui-même est fixé au circuit imprimé avec des entretoises en plastique de 2 mm.

Logiciel de commande

Une application de commande de l'e-charge par USB, a été écrite en Visual Basic pour Visual Studio 2015. L'exécutable s'appelle *Electronic_ACDC_Load.exe*. La **figure 6** illustre l'écran principal. Un fichier zip des codes source + exécutable de l'application est téléchargeable depuis [1]. Sur cette page web, on trouve également la documentation

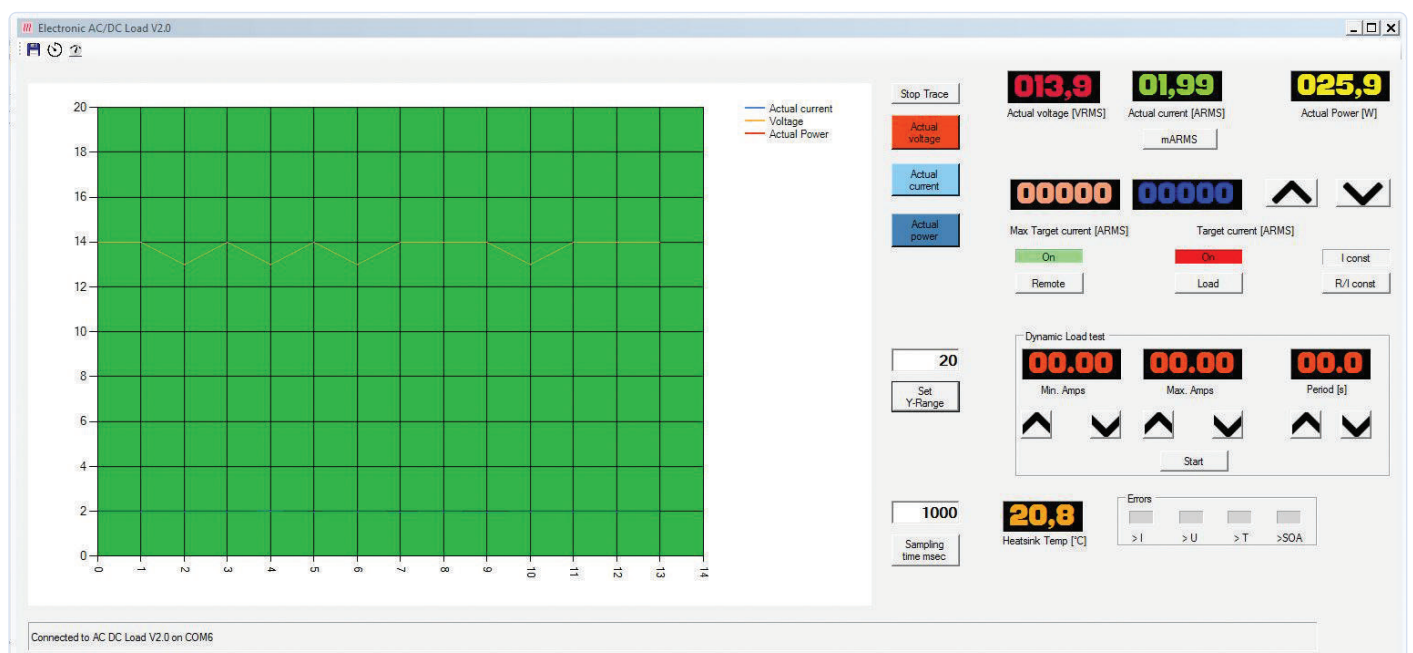


Figure 6. Écran principal de l'application PC.

complète du projet (*Description.PDF*). Elle comporte un tableau des commandes disponibles pour communiquer avec l'e-charge par l'interface USB. Ces informations seront utiles si vous souhaitez modifier le logiciel du PC.

Pour se connecter à la charge, le logiciel scrute les ports COM disponibles en demandant trois fois (au plus) à intervalle d'1 s la chaîne d'identification. Quand le programme reçoit la chaîne d'ID, celle-ci et le port COM s'affichent dans la ligne d'état. Puis les données (tension, courant, puissance et température du radiateur) sont scrutées et affichées à intervalle d'1 s. Pour envoyer les consignes de courant/résistance, le bouton *Remote* doit être sur *On*. Dès lors, le relais de charge (*Load On/Off*) et le mode *R-const/I-const* sont sous contrôle du logiciel. En mode *I-const*, le bouton *mARM* permet de faire passer l'affichage de *A* à *mA* et vice versa. Les boutons *Up/Down* permettent d'augmenter/diminuer le courant. Le pas du courant est de 10 mA jusqu'à 100 mA, puis 100 mA jusqu'à 1 A et enfin 1 A. Un fois les touches relâchées, le pas revient à 10 mA (uniquement en mode *I-const*).

En mode *R-const*, la consigne de résistance peut être augmentée (sans limitation) ou diminuée. La limite basse correspond à la résistance minimale calculée (v. ci-dessus). Le pas de résistance est de 1 Ω jusqu'à 10 Ω, puis 10 Ω jusqu'à 100 Ω et enfin 100 Ω. Une fois les touches relâchées, le pas revient à 1 Ω.

Essai de charge dynamique

Deux courants (mode *I-const*) ou deux résistances (mode *R-const*) peuvent être pré-réglés, par ex. pour tester des alimentations. Bien que l'application affiche la forme d'onde de la source d'alimentation, il faut connecter un oscilloscope aux bornes de sortie de l'alimentation pour bien observer sa réponse dynamique. *Period* permet de définir un intervalle en secondes. *Start* répète en boucle successivement les deux consignes (courant ou résistance) avec cet intervalle. *Stop* met fin à ce processus. La consigne passe alors à 0 en mode *I-const* ou à la résistance max. en mode *R-const*.

Affichage des courbes de tension, de courant et de puissance

La touche *Start Trace* affiche les courbes *Actual Current*, *Actual Voltage* et *Actual Power* précédemment activées. La touche *Sampling time msec* permet de régler la vitesse d'enregistrement. Lorsque le

nombre de points affichés atteint 60 ou qu'une consigne est modifiée, les traces sont effacées et l'enregistrement recommence. *Set Y-Range* permet de modifier la résolution de l'axe vertical.

Journal

Le symbole de disquette permet d'ouvrir un journal d'enregistrement à long terme des données. Les données sont enregistrées au format *.CSV*, ce qui permet de les traiter dans un tableur standard. Le symbole de minuterie permet de définir la durée de collecte du journal. En cliquant à nouveau sur le symbole de la disquette le journal ouvert se referme.

Étalonnage

Le symbole d'instrument donne accès à l'étalonnage de la charge électronique. Cela implique de se munir d'instruments déjà étalonnés pour mesurer tensions et courants. En modifiant les valeurs d'étalonnage de l'affichage du courant *Current display*

calibration value et de la tension *Voltage display calibration value*, vous pouvez caler les valeurs affichées sur celles des instruments étalonnés. Les valeurs sont stockées dans l'EEPROM du microcontrôleur.

Pour les ingénieurs, l'usage d'une charge électronique est moins fréquent que l'usage d'autres instruments. Elle sera cependant très utile pour construire, essayer ou réparer une alimentation. Des e-charges sont disponibles dans le commerce spécialisé, mais il est possible d'en construire une soi-même et la présente réalisation mérite que l'on s'y arrête.

Cet article est basé sur les informations présentées sur la page d'un projet Elektor Labs [1]. Cette page complète cet article. Vous y trouverez en téléchargement les logiciels, les fichiers de CAO des cartes et leur liste de composants. Une vidéo de présentation de cette e-charge [3] est proposée.

(191206-04)

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (rainerschuster@mnet-mail.de) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

Contributeurs

Idée, conception, texte et illustrations :

Rainer Schuster

Rédaction : **Luc Lemmens**

Schémas :

Patrick Wielders, Kurt Diedrich

Mise en page : **Giel Dols**

Traduction : **Yves Georges**



PRODUITS

> JOY-IT JT-HD35, résistance de charge USB (35 W)

www.elektor.fr/joy-it-hd35-usb-load-resistor-35-w

> Siglent SDL1020X-E, charge électronique CC programmable (200 W)

www.elektor.fr/siglent-sdl1020x-e-programmable-dc-electronic-load-200-w

LIENS

- [1] Page Elektor Labs de ce projet : www.elektormagazine.fr/labs/electronic-load-for-dc-and-ac
- [2] Afficheurs à six chiffres avec port SPI : www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-200907/11294
- [3] Vidéo : www.electronics-lab.com/ac-dc-200w-electronic-load/