

## 1. Objectifs

Création d'un courant maîtrisé fourni par une source externe. Cette source est prévue pour être une batterie auto/moto, une dynamo ou un alternateur. La charge active est différente des nombreuses charges publiées, la plupart ayant pour but de charger une alimentation électronique et parfois d'en observer la réponse impulsionnelle, ce qui nécessite une certaine vitesse de réponse, la charge présentée ici fonctionne en régime quasi-statique.

Le courant max sera de 30A avec limitation à cette valeur.

Fonctionnement éventuel en Zener de puissance (=limitation de tension) dans la limite de 30A, ce mode permet à la charge de se substituer à la batterie, alors qu'on pense habituellement à remplacer seulement les charges (lampes surtout).

Un microcontrôleur assure les commandes et mesures, il effectuera les tâches suivantes :

- affichage courant
- affichage tension
- affichage puissance dissipée
- limitation de la tension (fonctionnement en diode Zener de grande puissance)
- sécurité de surcourant (programmable), de surtension (programmable), de surpuissance (programmable), de température excessive du transistor
- commande du courant par boutons
- mesure température du transistor de puissance
- commande du ventilateur de refroidissement en fonction de la température du transistor (PWM 8bits)
- contrôle à distance par port série/USB (implémentation ultérieure, hardware conçu en prévision)

## 2. Moyens

Structure :

- mesure du courant par résistance shunt
- amplificateur de mesure à sortie utilisable dans un voltmètre
- acquisition du courant par un microcontrôleur attiny13 (Atmel)
- commande linéaire du transistor de puissance
- contrôle et limitation du courant par le microcontrôleur

Le transistor devra préférentiellement dissiper la totalité de la puissance dans un seul élément, car la mise en parallèle de transistors discrets demande des résistances d'équilibrage et des commandes individuelles de chaque base, la mise en parallèle de transistors MOS (ou IGBT qui se comporte comme un bipolaire avec une entrée MOS) est plus difficile, la dispersion des tensions de grille est bien plus importante que la dispersion des  $V_{be}$  des bipolaires.

Le courant est ici dissipé dans un transistor IGBT « monstrueux » mais dans un seul transistor : SKM 500 GA123D pouvant travailler sous 1200V, 1000A, ou 3000W. Pourquoi ? Parce que j'en ai un sous la main, mais il y en a d'autres, s'ils sont moins puissants, ils n'offriront simplement pas autant de marge. Il ne devrait donc pas être le maillon faible du montage. On en voit sporadiquement en surplus sur le Net, quand on le trouve à 18\$, pas d'hésitation, on achète.

Il reste qu'il dissipera les 30A sous la tension dont est capable la source : batterie 12V en pleine charge = 14,4V donc 432W. Un radiateur est indispensable, son fonctionnement sera proportionnel à la température du transistor.

### 2.1. Shunt

Le courant est mesuré par une résistance shunt de faible valeur, pour ne pas y développer de chute de tension notable.

Le shunt est constitué d'une plaque de circuit imprimé double face (épaisseur totale de cuivre 70 $\mu$ ) de 140 x 34mm avec deux boulons de 6mm à 120mm d'écartement pour le passage de courant et le prélèvement de la mesure (résistance 4 points : boulons + fils, mesure Kelvin).

Le passage d'un courant de 3,7A (lampe auto) donne une chute de tension de 7,7mV soit une résistance de 2mΩ. Pas d'échauffement notable à cette valeur de courant. Le shunt peut aussi être fait par un circuit à effet Hall Pololu 2198 (puce Allegro ACS711) qui mesure 20 x 18mm. La résistance shunt interne fait 1,2mΩ et la sortie bénéficie déjà d'une amplification à 80mV/A, centrés sur  $V_{cc}/2$  (moitié de la tension d'alimentation du circuit). Ce circuit est limité à 25A.

Le shunt d'une faible valeur ( 2mΩ) permet une faible perte de tension à ce niveau, donnant plus de souplesse dans le choix du transistor dissipatif.

### 2.2. Mesure du courant

Le shunt sera placé coté entrée négative (masse d'un circuit moto standard, batterie de moto anglaise vintage). Un courant de 30A créera donc une tension de 60mV qui devra être amplifiée de 18 fois pour utiliser au mieux le convertisseur A/D du processeur (référence interne à 1,1V). C'est un amplificateur opérationnel LM324 qui le fera, puisqu'il est adapté au fonctionnement près de zéro volt de ses entrées. Un autre amplificateur (il y en a 4 dans la puce) donnera une sortie de 3V pour 30A, la mesure par un voltmètre sera simplifiée. Avec le Pololu, la sortie étant centrée sur  $V_{cc}/2$ , un amplificateur opérationnel (AOP) recalera cette tension sur 0V pour 0A, et 5V pour la tension max. Ceci permet une lecture plus facile (plus standard) par le moniteur de courant et une commande par une tension 0-5V facilement obtainable par un potentiomètre ou un PWM (pulse width modulation = modulation à largeur d'impulsion) d'un microcontrôleur. Le problème du capteur Pololu est son niveau de bruit assez important (8mV pour une tension de 55mV par ampère soit une erreur de 0,145A) qui limite son utilisation surtout à faible courant. Je choisis donc la résistance shunt. De plus le Pololu est aussi sensible à sa tension d'alimentation qu'au courant à mesurer, ce qui se résout assez facilement avec une régulation de tension (LM78L05 p ex). Le choix final se porte sur la résistance shunt avec un PCB cuivre.

### 2.3. Le transistor de puissance

Le choix de départ est de faire fonctionner l'IGBT en mode purement linéaire. C'est le mode qui le fait dissiper le plus, mais qui a le comportement le plus neutre, surtout s'il y a des inductances dans le circuit (stators et rotors de machines tournantes). Pour commander 30A, la grille de l'IGBT demande une tension de plus de 7V, une section du LM324 (alimenté en 12V) s'en chargera, elle supporte 20V. La capacité de grille est de l'ordre de 1nF (dans la zone intéressante), avec 40mA de sortie du LM324, la constante de temps sera de 10μs. Le fonctionnement de la charge active étant supposé quasi-statique, j'espère ne pas avoir besoin de buffer intermédiaire.

La commande dépend évidemment de la sensibilité de l'IGBT elle s'exprime en A/V puisqu'on envisage de commander l'IGBT par une tension. Tiens, on retrouve des notions de tube à vide ! Or cette caractéristique présente une pente très variable dans la zone 0 à 30A qui nous intéresse. Et c'est bien sûr dans cette région qu'on va le piloter.

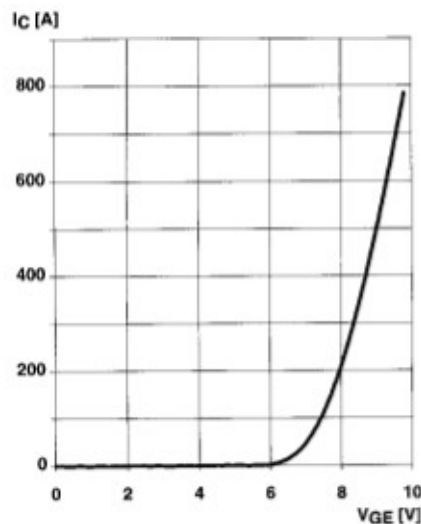


Fig. 12 Typ. transfer characteristic,  $t_b = 80 \mu s$ ;  $V_{CE} = 20 V$

## Charge active 35A

La pente passe de 0A/V à 70A/V même dans la zone utile. Une commande directe par PWM n'est pas possible : une résolution fine dans la zone utile imposerait une zone utile d'un demi-volt précédée d'une zone inutile de six volts ! Une commande en dix bits de la zone utile donne une résolution de 30mA/bit au plus fort mais 0mA/bit au plus faible de la sensibilité. Inexploitable, d'autant que c'est une courbe typique, susceptibles de variations importantes d'un transistor à un autre.

L'IGBT sera donc commandé par une section de l'AOP et la tension issue du shunt (mais amplifiée pour une valeur moins chatouilleuse, sera comparée à la tension issue du PWM de commande, filtrée. Un PWM 10bits donnera une résolution de 25mA/bit, un PWM 8 bits donnera une résolution de 100mA/bit.

Bien entendu le montage s'adapte tout seul, par son fonctionnement en contre-réaction, à tout transistor MOS ou IGBT dont la tension grille ne demande pas plus de 8V pour le courant max envisagé.

La tension de saturation à 30A est de l'ordre de 1,5V ce qui permet un fonctionnement correct sur des installations « 6V ». En fait , la saturation est rarement atteinte en fonctionnement normal, elle existe quand une charge est connectée entre cet appareil et la source de tension, ici l'usage nominal est la connection directe à la source, le courant étant commandé par l'appareil.

### 2.4. Affichage

L'affichage peut être un galvanomètre, un afficheur LED 7 segments, un afficheur LCD. Le galvanomètre à aiguille est rapide à lire et donne immédiatement le sens de variation, mais il a une résolution limitée ; l'afficheur LED est bien adapté en usage atelier, lumineux, chiffres de bonne taille, mais affichage des lettres limité et lecture d'une quantité d'informations limitée ; l'affichage LCD permet d'afficher de nombreux symboles, indications de petite taille, mais grand nombre d'informations disponibles simultanément.

Besoins d'affichage

- courant sur 3 digits
- tension sur 3 digits
- puissance sur 3 digits
- température du transistor (éventuel)

Ce sera donc un LCD, qui nécessite 7 fils de commande

### 2.5. Le processeur

Pour avoir un PWM de plus de 8 bits, il faut un ATtiny2313 ou un ATmega8, le 2313 n'a pas de convertisseur A/D, ce sera donc un ATmega8 cadencé à 8MHz, le PWM cycle alors à 7,8kHz.

Le mega8 n'a pas besoin d'horloge à quartz, il possède une horloge interne à 1,2,4 ou 8MHz (à +-10%).

Trois entrées analogiques sont utilisées : mesure du courant, de la tension et de la température du transistor de puissance. Le convertisseur A/D travaillera au plus près de sa fréquence max (200kHz) ce qui assurera une conversion en 65µs (15kHz).

### 2.6. alimentation

Le processeur nécessite une tension de 5V, obtenus par un LM78L05, qui n'assure pas un bon fonctionnement sur toute la plage utilisable d'une batterie 6V.

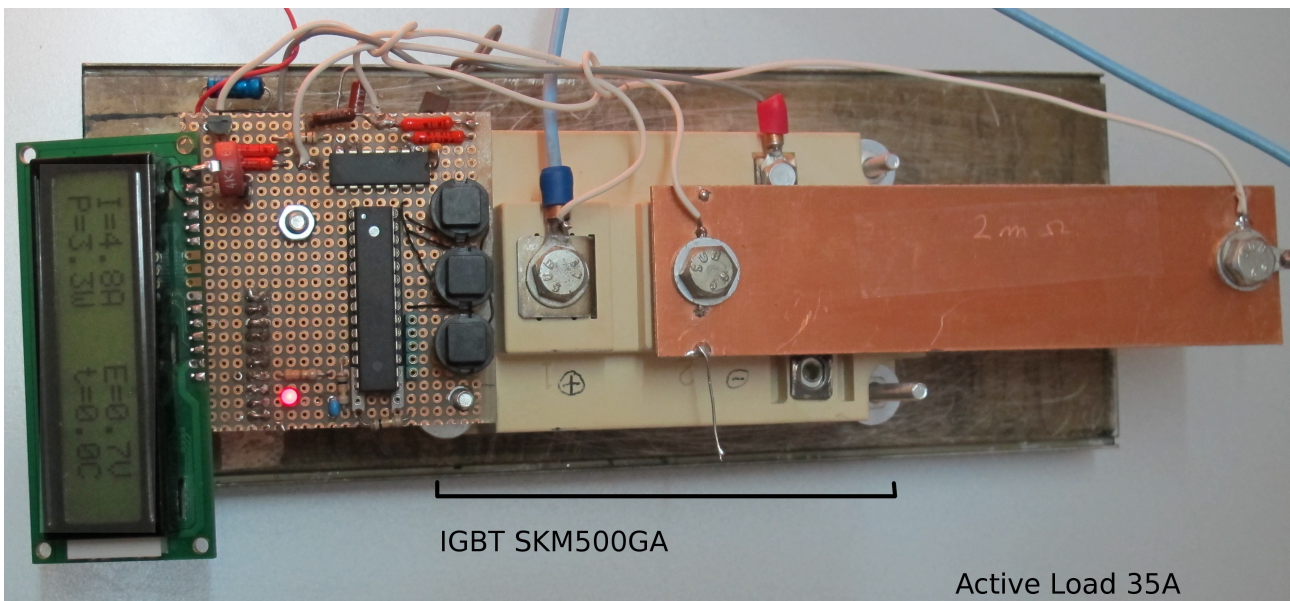
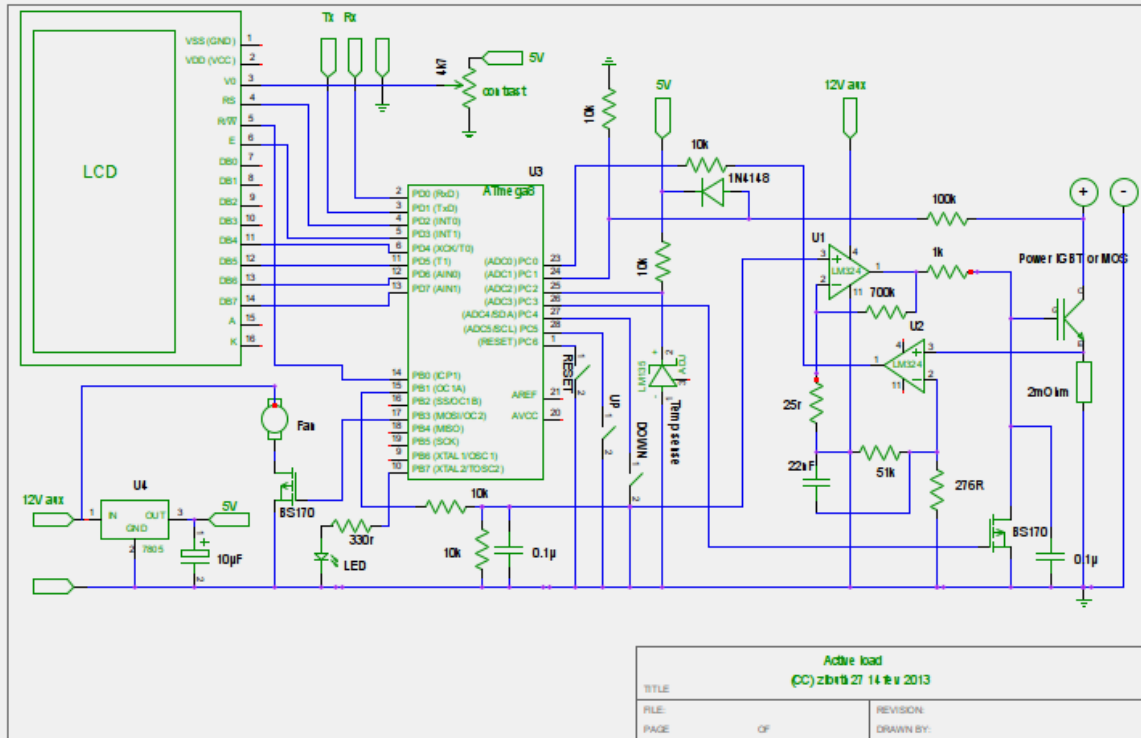
Le transistor nécessite une alimentation de grille d'au moins 7V. Le LM324 qui génère cette tension nécessite 9V pour la sortir

Une alimentation auxiliaire de 9 à 12V est donc nécessaire

## 3. Réalisation

### 3.1. Schéma

Voici le schéma de la charge active



Réalisation de la charge active sur son radiateur (avant la pose du ventilateur)

Affichages : Courant (I), Tension (E), Puissance dissipée (P), température (t) : ici avec une lampe en série, d'où le E=0,7V

## Charge active 35A

L'amplificateur U2 qui met en forme la tension provenant du shunt sort une tension entre 0 et 2,5V pour toute la gamme de courants utilisables. Ce qui permet la commande par un PWM 9 bits filtré, incluant un diviseur de tension en sortie; sa sortie OC1A (PB1) varie de 0 à 2,5V en fonction du rapport cyclique demandé. L'entrée du convertisseur A/D de mesure du courant accepte, lui, une tension de 0 à 2,56V. Cette tension est donc le meilleur choix pratique.

L'amplificateur U1 commande l'IGBT, son gain est de 1000.

### 3.2. Résultats

Avec les valeurs du schéma, un courant de 2,55A donne une tension sur le shunt de 0,181V. Le courant max sera donc de 35A.

## 4. Evolutions

L'étude est suspendue à ce stade pour des besoins d'utilisation immédiate : fonction charge active seule. Elle se poursuivra par l'ajout des fonctions :

- Ecrêteur (Zener de puissance) de 25V à 0 (limitation par le diviseur de tension de lecture, peut être repris par la suite)
- fonctionnement par paliers de courant, palier de courant et durée du palier programmables
- utilisation du port série(Tx, Rx) pour échanger les commandes et résultats avec un PC

Le changement de mode se fera par appui simultané des boutons + et -.