

Chargeur de batterie

Alimentation stabilisée

Alain Bertout

L'idée de départ

Notre adhérent Marc a apporté récemment un ancien chargeur conçu pour recharger les batteries des caddies de golf. L'équipement de fabrication anglaise était en panne, nous avons immédiatement mis en cause le transistor de puissance MOS en sortie du chargeur, mais celui-ci était toujours en bon état. Le montage de la commande du transistor MOS nous a semblé assez complexe pour un simple chargeur : 4 amplificateurs opérationnels, 5 transistors, 4 diodes Zener, etc...

Après les tentatives pour retrouver le schéma électrique sur internet et quelques efforts pour suivre les pistes du circuit, il nous est venu à l'idée de changer tout le circuit de commande.

Le principe de choisir une solution à découpage est venu pour offrir une plus grande gamme de puissance sans nécessiter pour autant de prévoir l'emploi d'un plus gros radiateur.

Le montage initial utilisant un transformateur 220V / 12V, la tension disponible après le pont de redressement à diodes et filtrage était de 16V. Pour charger à 10A une batterie de 100Ah, il aurait fallu prévoir de dissiper 40 à 60 W dans le radiateur de transistor travaillant en mode linéaire.

La solution retenue

L'approche de l'alimentation à découpage de type Buck va permettre d'abaisser la tension de 16V à 12V.

Pour commander le découpage l'idée fut de rechercher une solution numérique à base d'Arduino.

Nous avons choisi d'utiliser un transistor MOS canal N (le plus performant et le plus fiable). Un composant de type P75NF75 fut récupéré sur un vieux circuit d'alimentation d'une trottinette électrique.

Les performances de ce transistor sont intéressantes :

- Intensité max = 70A à 100°C
- $R_{DS(on)} = 0.01\Omega$ (résistance Drain / Source en conduction pour un V_{GS} de 10V)
- Tension max = 75V
- Seuil de V_{GS} à 3V



STB75NF75
STP75NF75 - STP75NF75FP

N-channel 75V - 0.0095Ω - 80A - TO-220 - TO-220FP - D²PAK
 STripFET™ II Power MOSFET

General features

Type	V _{DSS}	R _{DS(on)}	I _D
STB75NF75	75V	<0.011Ω	80A ⁽¹⁾
STP75NF75	75V	<0.011Ω	80A ⁽¹⁾
STP75NF75FP	75V	<0.011Ω	80A ⁽¹⁾

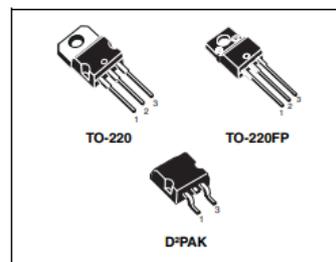
1. Current limited by package
- Exceptional dv/dt capability
 - 100% avalanche tested

Description

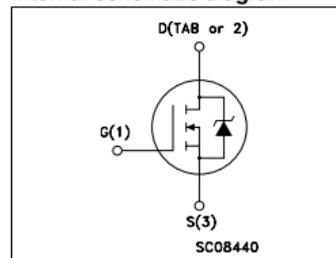
This Power MOSFET series realized with STMicroelectronics unique STripFET™ process has specifically been designed to minimize input capacitance and gate charge. It is therefore suitable as primary switch in advanced high-efficiency, high-frequency isolated DC-DC converters for Telecom and Computer applications. It is also intended for any applications with low gate drive requirements.

Applications

- Switching application



Internal schematic diagram



Specification du transistor MOS FET

La diode D est une diode Schottky 1N5820 qui a été récupérée sur une carte d'alimentation de PC en panne. Il importe de choisir une diode Schottky adaptée à la tension, au courant moyen et la grande rapidité de retournement entre conduction et blocage (10V en 1 ns). Le courant moyen de cette diode est de 3A, mais en mode de découpage PWM avec un rapport cycle « delta = 3/4 » nous pouvons monter jusqu'à 3.5A. Une diode plus performante en courant devra être utilisée pour monter à des courants de charge de 5A voire 10A.

LOW DROP POWER SCHOTTKY RECTIFIER
MAIN PRODUCTS CHARACTERISTICS

$I_{F(AV)}$	3 A
V_{RRM}	40 V
T_j	150°C
$V_f(\text{max})$	0.475 V

FEATURES AND BENEFITS

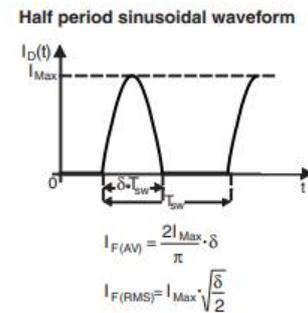
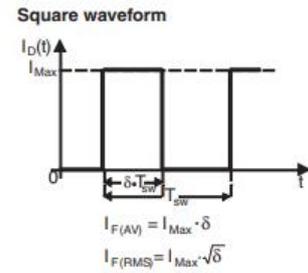
- VERY SMALL CONDUCTION LOSSES
- NEGLIGIBLE SWITCHING LOSSES
- EXTREMELY FAST SWITCHING
- LOW FORWARD VOLTAGE DROP
- AVALANCHE CAPABILITY SPECIFIED

DESCRIPTION

Axial Power Schottky rectifier suited for Switch Mode Power Supplies and high frequency DC to DC converters. Packaged in DO-201AD these devices are intended for use in low voltage, high frequency inverters, free wheeling, polarity protection and small battery chargers.

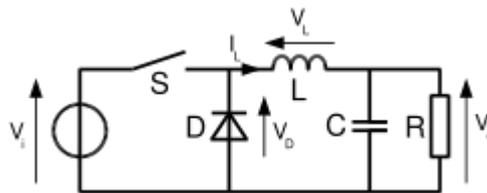
ABSOLUTE RATINGS (limiting values)

Symbol	Parameter	Value			Unit
		1N5820	1N5821	1N5822	
V_{RRM}	Repetitive peak reverse voltage	20	30	40	V
$I_{F(RMS)}$	RMS forward current	10			A
$I_{F(AV)}$	Average forward current	$T_L = 100^\circ\text{C} \quad \delta = 0.5$		3	A
		$T_L = 110^\circ\text{C} \quad \delta = 0.5$	3	3	A
I_{FSM}	Surge non repetitive forward current tp = 10 ms Sinusoidal	80			A
P_{ARM}	Repetitive peak avalanche power tp = 1µs $T_j = 25^\circ\text{C}$	1700			W
T_{stg}	Storage temperature range	- 65 to + 150			°C
T_j	Maximum operating junction temperature *	150			°C
dV/dt	Critical rate of rise of reverse voltage	10000			V/µs


Figure 4. Average and rms currents

Spécification de la diode Schottky

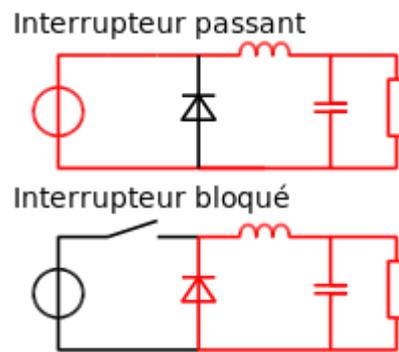
Explication du montage

Le principe du convertisseur à découpage Buck est bien expliqué dans Wikipedia https://fr.wikipedia.org/wiki/Convertisseur_Buck

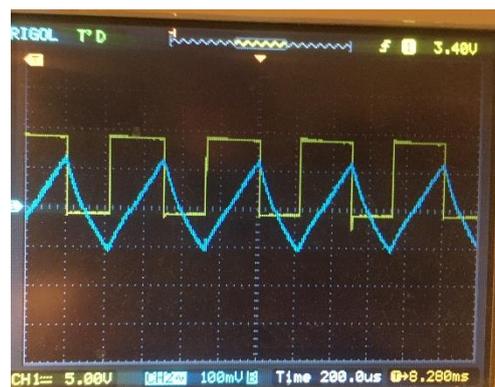

Principe du convertisseur Buck

Le transistor MOS joue le rôle du commutateur S.

Un tore bobiné, récupéré sur un filtre de gradateur 220V, joue le rôle de la self L (2mH). Cette valeur d'inductance est élevée, mais ne semble pas saturer pour des courant de l'ordre de 3A. (660W pour un gradateur).



A l'état passant le transistor MOS fait monter le courant dans la self L, à l'état bloqué le MOS ouvre le circuit et la diode se met en conduction et prend le relais pour que la self L charge le condensateur C et alimente la charge R. L'évolution du courant de charge dans le temps en régime permanent est représenté dans l'oscillogramme suivant :



Solution 2kHz : le courant en bleu, la tension sur la diode en jaune

La tension de sortie V_o dépend de la tension d'entrée V_e suivant le rapport entre la durée de conduction et la durée de blocage du transistor MOS. On parle d'un principe d'une modulation de largeur d'impulsion. (en anglais Pulse Width Modulation = PWM).

Pour commander le découpage, un Arduino Nano est utilisé. Ce microcontrôleur offre un système intégré de commande PWM disponible sur plusieurs broches de sortie. Cette solution est la seule prévue pour effectuer des sorties analogiques (pas de fonction de conversion numérique analogique DAC intégrée).

La fréquence de la PWM est prédéterminée sur l'Arduino. Il est possible de la changer comme nous le verrons plus loin. La fréquence n'est pas la même selon les broches. Sur le Nano, la fréquence est de 490Hz sur les broches 3, 9, 10 et 11

et de 980Hz sur les broches 5 et 6. Cette fréquence est très faible, pour réaliser un convertisseur Buck, on recherche souvent des fréquences de l'ordre de 20kHz qui ont le mérite de ne pas être audibles et de faciliter la construction de petites selfs ne saturant pas trop vite.

En effet, si la fréquence est trop basse, la durée de conduction est élevée par exemple de l'ordre de la milliseconde. Le courant monte dans une self suivant la loi $U = L \frac{di}{dt}$ ce qui donne $I = U \times T / L$

Application numérique : pour une tension de 10V appliqué sur une self de 0.1 mH pendant une durée de 1 ms (fréquence = 1 kHz) on atteint un courant de 100A ! Pendant une durée de 50 μ s (fréquence = 20 kHz), dans la même self, on limite la montée du courant à 5 A et on évite la saturation du circuit magnétique (tore).

Il est possible de faire travailler l'Arduino sur une modulation PWM à 20 kHz en utilisant une librairie particulière : pwm.h, celle-ci autorise sur la seule broche D9 de sortir le signal PWM à haute fréquence. (note : un timer interne à l'Arduino est mobilisé pour cela et bloque d'autres fonctions de l'Arduino).

La commande du transistor MOS

Le problème principal est la commande d'un MOS canal N à partir de l'Arduino.

En effet l'Arduino a sa sortie PWM qui fonctionne entre 0 et 5V alors que le MOS attend une tension de source V_S flottant entre 0 et V_e . Un montage astucieux permet de translater la commande PWM de l'Arduino pour commander la tension V_{GS} du MOS. Nous allons mettre en oeuvre un couplage optoélectronique grâce à un composant de type MOC5008. Ce composant va permettre d'isoler électriquement la commande de l'Arduino par rapport au transistor MOS. Le photocoupleur MOC5008 offre aussi l'avantage d'être assez rapide pour transmettre la commande à 20kHz. La sortie du MOC5008 est à collecteur ouvert, une résistance de tirage R_2 de 470 Ω est nécessaire. La résistance R_1 limite le courant dans la diode d'entrée de l'optocoupleur et dans la sortie de l'Arduino.



6-Pin DIP Optoisolators Logic Output

The MOC5007, MOC5008 and MOC5009 have a gallium arsenide IRED optically coupled to a high-speed integrated detector with Schmitt trigger output. Ideal for applications requiring electrical isolation, fast response time, noise immunity and digital logic compatibility.

- Guaranteed Switching Times — t_{on} , t_{off} 4 < μ s
- Built-In ON/OFF Threshold Hysteresis
- High Data Rate, 1 MHz Typical (NRZ)
- Wide Supply Voltage Capability
- Microprocessor Compatible Drive
- To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.

Applications

- Interfacing Computer Terminals to Peripheral Equipment
- Digital Control of Power Supplies
- Line Receiver — Eliminates Noise
- Digital Control of Motors and Other Servo Machine Applications
- Logic to Logic Isolator
- Logic Level Shifter — Couples TTL to CMOS

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
INPUT LED			
Reverse Voltage	V_R	8	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	80	mA
Peak		1.2	Amp
Pulse Width = 300 μ s, 2% Duty Cycle			
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	P_D	120	mW
Derate above 25°C		1.41	mW/ $^\circ\text{C}$
OUTPUT DETECTOR			
Output Voltage Range	V_O	0–16	Volts
Supply Voltage Range	V_{CC}	3–16	Volts
Output Current	I_O	50	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	P_D	150	mW
Derate above 25°C		1.78	mW/ $^\circ\text{C}$

MOC5007*
[$I_F(\text{on}) = 1.8 \text{ mA Max}$]
MOC5008
[$I_F(\text{on}) = 4 \text{ mA Max}$]
MOC5009
[$I_F(\text{on}) = 10 \text{ mA Max}$]

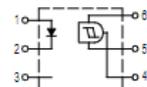
*Motorola Preferred Device

STYLE 5 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

SCHEMATIC



PIN 1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. OPEN COLLECTOR
OUTPUT
5. GROUND
6. VCC

Pour ce faire, lors du découpage de la tension d'entrée V_e , une diode va charger une capacité $C1$. La tension au borne de la capacité $C1$ va alimenter le coupleur optoélectronique. Cette tension flotte avec la tension de source du MOS.

Un condensateur C_e est placé sur l'entrée V_e pour éviter les transitoires sur l'alimentation et répondre aux appels rapides de courant par le MOS. Le condensateur C_s est placé sur la sortie V_s pour filtrer la tension de sortie et maintenir la tension constante suite aux charges de courant provenant de la self L . Une charge résistive R_s de 56Ω assure un courant minimum pour que le système démarre. La résistance $R5$ est utile pour alimenter le coupleur optoélectronique pendant le reset de l'Arduino à la mise sous tension ou pendant la programmation. Elle permet de forcer un VGS à 0V.

Un pont diviseur 1/3 est monté à la sortie V_s pour permettre à l'Arduino de mesurer la tension de sortie V_s et ainsi pouvoir adapter la tension de charge V_s au type de batterie. Cette tension est mesurée sur l'entrée analogique A1 de l'Arduino.

Pour réguler le courant de charge de la batterie, un capteur de courant a été conçu en utilisant un petit tore magnétique coupé pour y placer un capteur magnétique à effet Hall.

Le bobinage de 10 tours de fil téléphonique 8/10 mm est traversé par le courant de charge de la batterie et provoque un flux magnétique dans l'entrefer du tore.

(note : l'inductance de cette bobine est faible = $6 \mu\text{H}$). Le capteur Hall analogique traduit ce flux en tension entre 1.5V et 3.5V directement mesurable par l'Arduino. Un composant S549E a été choisi pour sa faible taille (de la taille d'un petit transistor). Celui-ci a été collé à la cyanolite dans la fente effectuée dans le tore grâce un outil rotatif de type DREMEL.

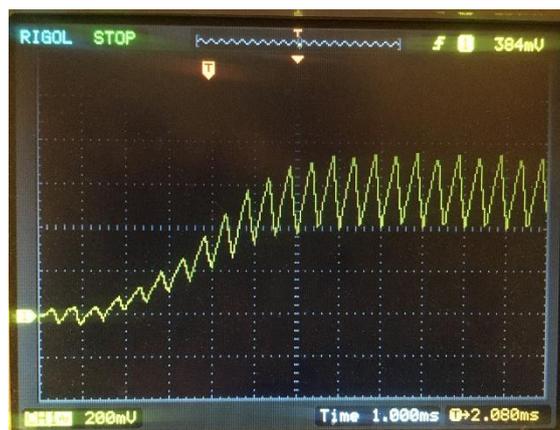
L'usage d'un régulateur 7805 permet d'alimenter directement l'Arduino en 5V à partir de V_e (16V).

Un potentiomètre de $10\text{k}\Omega$ est alimenté sur la tension V_{cc} de l'Arduino pour piloter le rapport cyclique PWM. La tension présentée sur l'entrée analogique A2 est réglable entre 0 et 5V et produit dans l'Arduino des données numériques entre 0 et 1023. Ces données sont traduites en des données numériques de rapport cyclique entre 255 et 0.

Le réglage par ce potentiomètre va déterminer la tension de sortie V_s de la batterie et aussi le courant de charge. Après avoir atteint la tension de la batterie, il suffira de monter encore le rapport cyclique pour régler le courant de charge compatible avec la batterie. (en général 1/10 de la capacité en A/h).

Performance dynamique

La vitesse de réaction à un échelon de courant (ici 1A) dépend uniquement de la valeur de l'inductance L de la self (mesurée sur le capteur Hall) : La fréquence de la modulation PWM n'influe pas.



Solution 2kHz (rampe de 5ms déterminée par la valeur de la self)

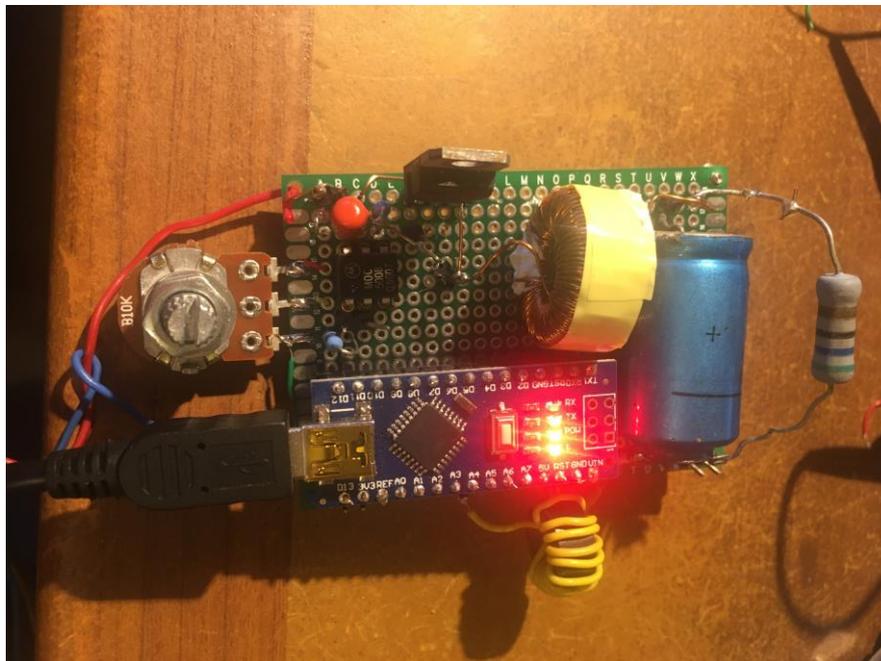


Solution 20kHz (rampe de 5ms déterminée par la valeur de la self)

Dans le cas de la charge d'une batterie, il n'est pas nécessaire de répondre rapidement à un appel de courant, mais dans le cas d'une alimentation stabilisée il importera d'utiliser une inductance au moins 10 fois plus faible ($200\mu\text{H}$) ceci pour réagir 10 fois plus vite avant que le condensateur C_s ne se décharge de trop.

Note : pour obtenir une inductance 10 fois plus faible il faut bobiner $\sqrt{10}$ le nombre de spires.

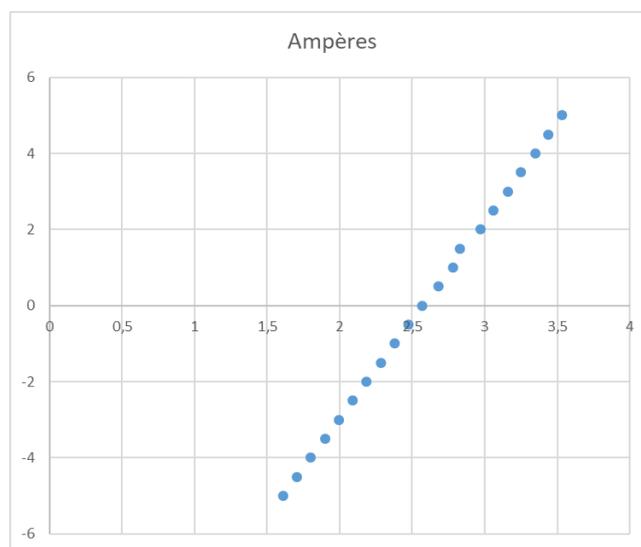
Réalisation



*Le prototype équipé de ses composants
(en bas la capteur à effet Hall et son tore)*



Tore fendu bobiné avec 10 spires.

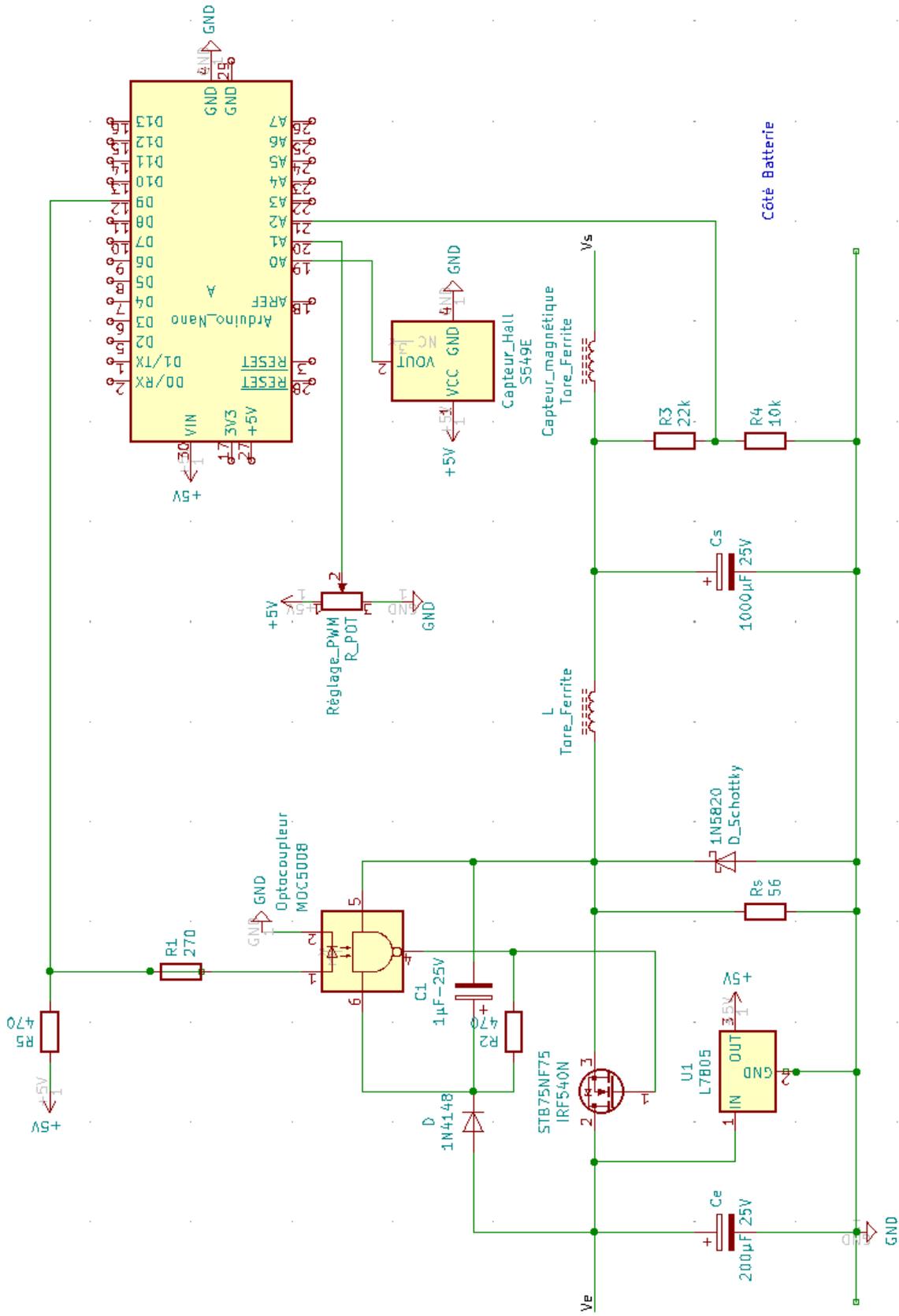


La correspondance courant/tension du capteur à effet Hall

Note :

Le même montage fonctionne aussi bien à partir d'une tension de 16V pour constituer un chargeur de batterie 12V qu'à partir d'une tension de 5.2 V pour constituer un chargeur de batterie au lithium de 3.6V.

Schéma électrique



Code Arduino

```
// Développement par Alain Bertout Club scientifique F6KFA
#include <PWM.h>
int32_t frequency = 20000; // fréquence en Hertz
int pwmratio;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  InitTimersSafe();
  bool success = SetPinFrequencySafe(9, frequency);
  if (success) {
    pinMode (13, OUTPUT);
    digitalWrite(13, HIGH);
    Serial.println (" ok ");}
}

void loop() {
  // Lire la valeur du potentiomètre
  float Hall = analogRead(A0);
  float Pot = analogRead(A1);
  float volt= Hall *5/1023; // echelle ADC 0 à 5V
  float sortie = analogRead(A2);
  float ampere = (volt-2.5)*5/(3.53-2.5); // echelle capteur Hall 5A pour ecart entre 2.5v et 3.53v
  pwmratio= map ( Pot, 0,1023, 255,0);
  Serial.print ( " mA= ");
  Serial.print ( 1000*ampere,0);
  Serial.print ( " Tension= ");
  Serial.print ( sortie*5/1023*30/10); //mesure de tension de sortie ( pont diviseur 10k/20k)
  Serial.print ( " pwmratio= ");
  Serial.println ( pwmratio);
  pwmWrite (9, pwmratio); // port D9 seul port à 20 kHz
  delay (500);
}
```