



Groupe de Recherche En Informatique, Image,
automatique et instrumentation de Caen (UMR6072).
CNRS-ENSICAEN-Université de Caen Basse Normandie



Vélo électrique "Hope and Bike"

Un exemple de médiation culturelle et scientifique autour
de la mécatronique

Matthieu Debar et Jean-Marc Routoure



MAISON DU VÉLO

Une vidéo pour
commencer !

<https://www.youtube.com/watch?v=FcytYq6eksk>

Que nous dit wikipédia ?

Le vélo à assistance électrique ou VAE est une bicyclette équipée d'un moteur électrique auxiliaire et d'une batterie rechargeable.

Les VAE existent depuis les années 1930 avec le premier modèle de série : le EMI/Philips de 1936/38. Ils sont réapparus vers la fin des années 1970 pour connaître depuis l'an 2000 un regain d'intérêt avec l'évolution des performances suivant celles des batteries

...

En 2007, 250 000 VAE auraient été vendus en Europe et 20 millions en Chine ; en 2010, la Chine seule compte 120 millions de VAE

Que nous dit wikipédia ? Législation

Le vélo à assistance électrique est considéré légalement comme une bicyclette classique, entrant dans la catégorie cycle si, et seulement si, il répond à la directive ci-dessous.

La Directive européenne 92/61/EEC indique qu'un VAE doit notamment respecter les caractéristiques suivantes :

- assistance uniquement au pédalage ;
- l'assistance se coupe au-dessus de 25 km/h ;
- moteur d'une puissance inférieure à 250 W (puissance nominale continue).

Dans ce cas, nul besoin de permis, ni BSR, ni d'assurance (la responsabilité civile suffit, comme avec n'importe quelle bicyclette), ni d'un casque (bien que recommandé), pour la circulation sur la voie publique.

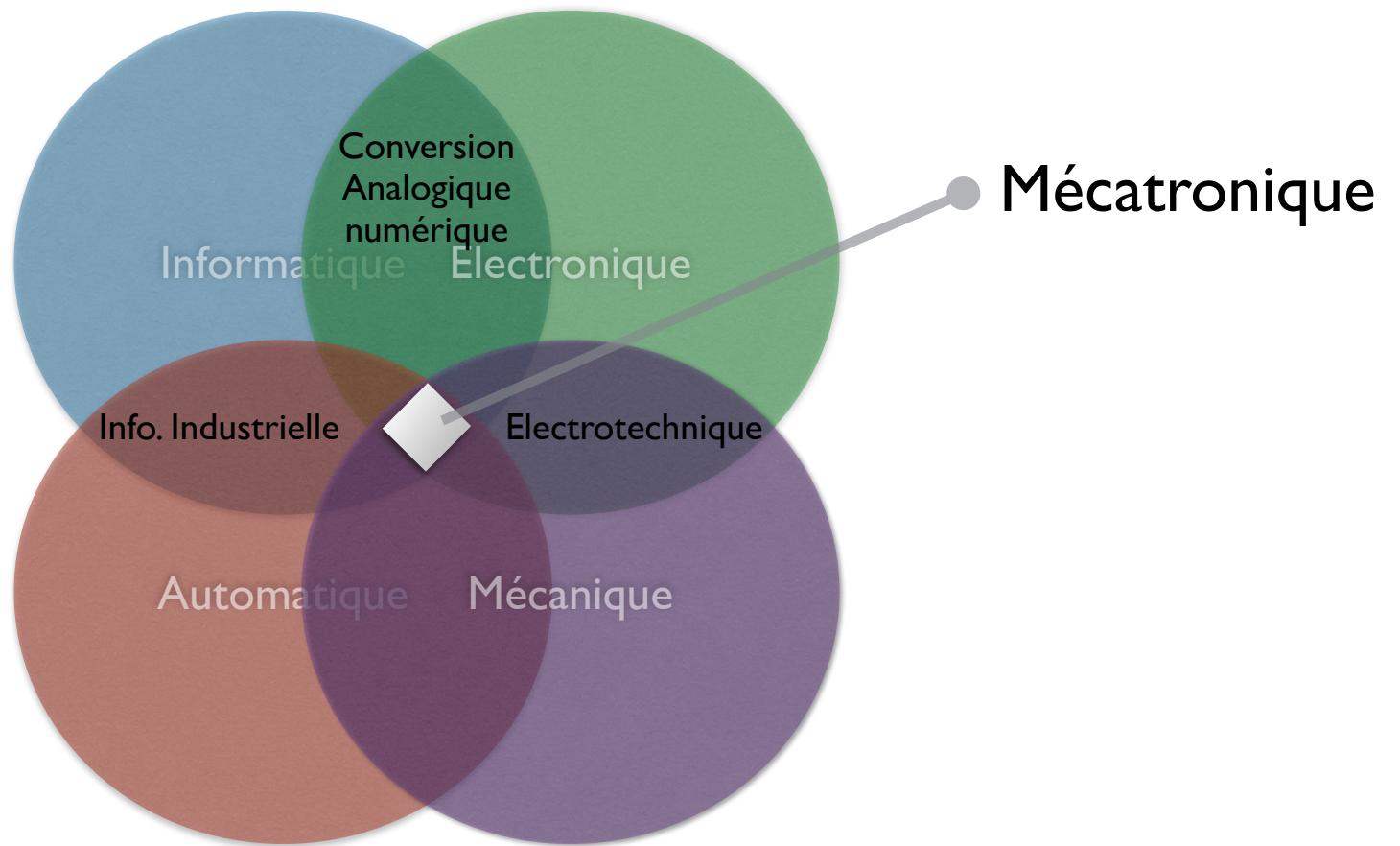
Hall of fame

Trocque François	Software embarqué, hardware
Renault Paul	Software
CAZIN Samuel	Application (électronique et petite programmation) Café
EUPHRASIE Auguste	Electronique hardware et petite programmation (mecatronique)
GRUSON Theo	Intégration du système sur le vélo
MILHAU Michel	Informatique, Software, Architecture services, sécurité données
Arnaud Boulay	Développement soft, Open Source, Architecture logicielle
BENECHET Luc	Electronique hardware et petite programmation (Mécatronique)
FRYDLENDER Jean-Christophe	l'apport du candide, bricoleur, pensée systémique, pas de formation technique mais assez conscient de ce qui est faisable et ne l'est pas tout en anticipant les usages :)
BEAUX Cyril	Cascadeur, béta testeur et couteau suisse
DEBAR Matthieu	Développement culturel
DUPUY Guillaume	Communication
LEFEVRE Franck	
Blanchard Cédric	design,graphique
FLEURY Hervé	Soft embarqué Micro electronique www.fil-developpement.fr
ROUTOURE Jean-Marc	Commande moteur, programmation, capteur
GARNAVAULT Sylvain	programmation arduino
LAGUESTE Fabienne	développement commercial de HnB
SCHER Damien	Montage des kits
Moussaoui Christopher	Montage des kits

Sommaire

- Un peu de technologie
- Un peu de culture

Mécatronique



La norme NF E 01-010 (2008) définit la mécatronique comme une « démarche visant l'intégration en synergie de la mécanique, l'électronique, l'automatique et l'informatique dans la conception et la fabrication d'un produit en vue d'augmenter et/ou d'optimiser sa fonctionnalité »

Le vélo électrique, un bel exemple de mécatronique

De l'informatique

De l'automatique



De la mécanique

De l'électronique

Et même de la chimie...

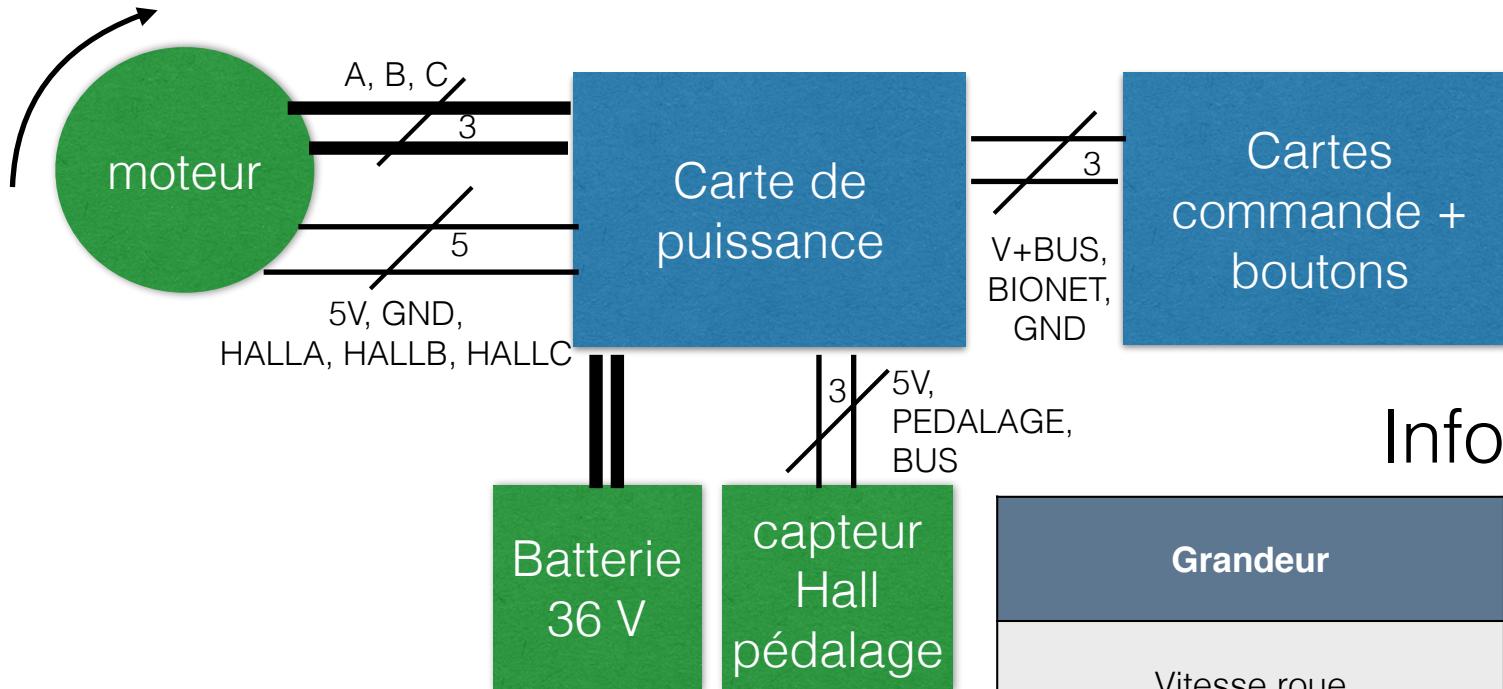
Hope and bike, c'est quoi ?

- Une roue arrière avec un moteur synchrone dans le moyeu (36 V, 200 W)
 - une batterie Li-Ion à la place du porte-bidon
 - un capteur de pédalage
 - une carte de puissance et une carte de commande développés par des utilisateurs du FABLAB de Caen
 - + développement d'un bus de communication entre les différents modules du système : « Bike Internal Open NETwork » BIONET
- 
- Achetés dans le commerce

Les contraintes du développement

- « Open source »
- le moins couteux possible
- diffusable dans le réseau des FABLAB
- Adaptable à autre chose qu'un vélo

Architecture

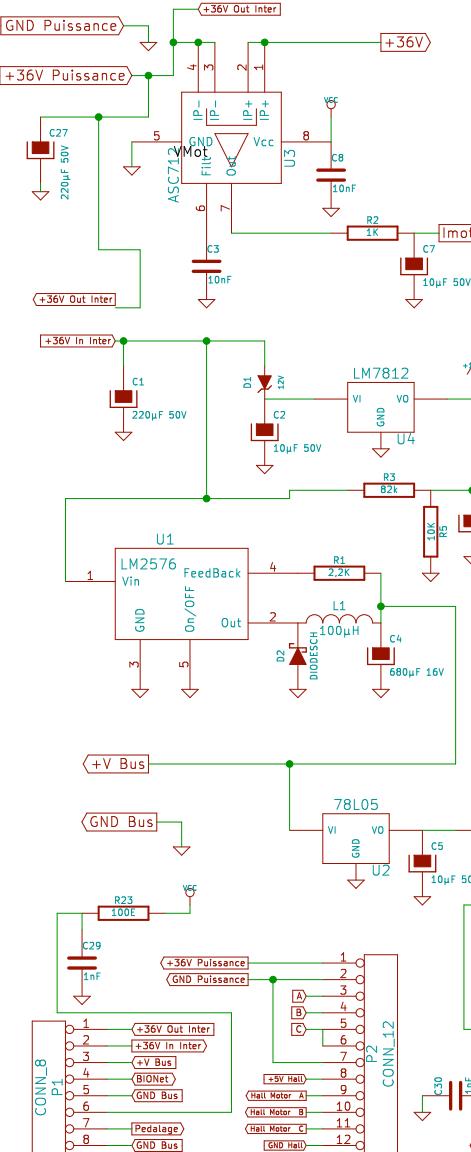


Info BIONET

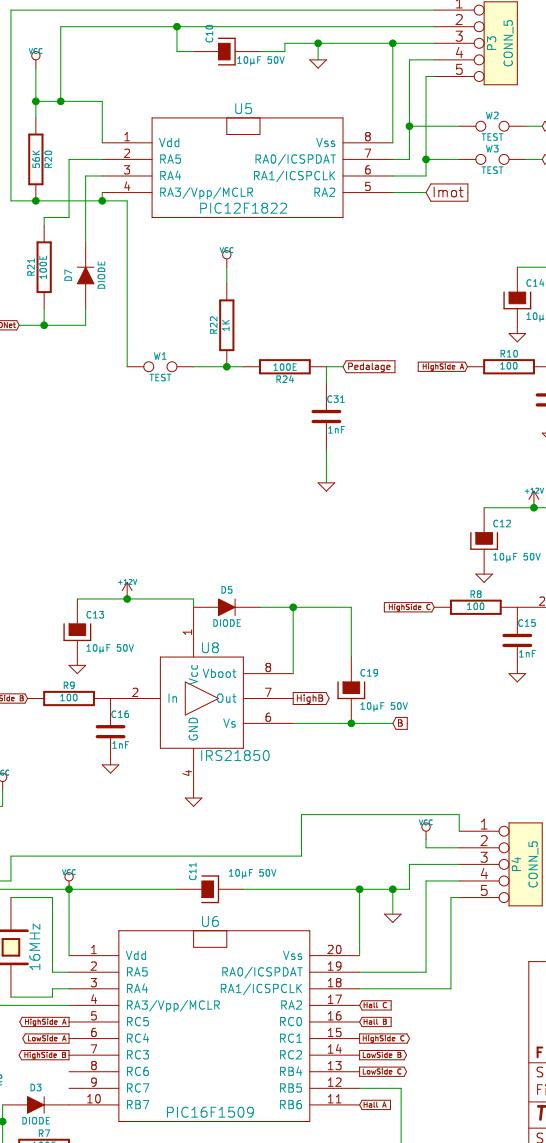
Grandeur	Mesure	Sens	Nbre bit
Vitesse roue	Nombre de front HALLA pdt 500 ms	P->C	8
Vitesse pédale	Nombre de front capteur hall pdt 500 ms	P->C	8
Niveau Batterie	CAN 10 bits uP	P->C	10
Courant Batterie	Capteur courant + CAN 10 bits uP	P->C	10
Commande puissance moteur (%PWM)	Calculée par la carte commande	C->P	8

Schéma de la carte de puissance

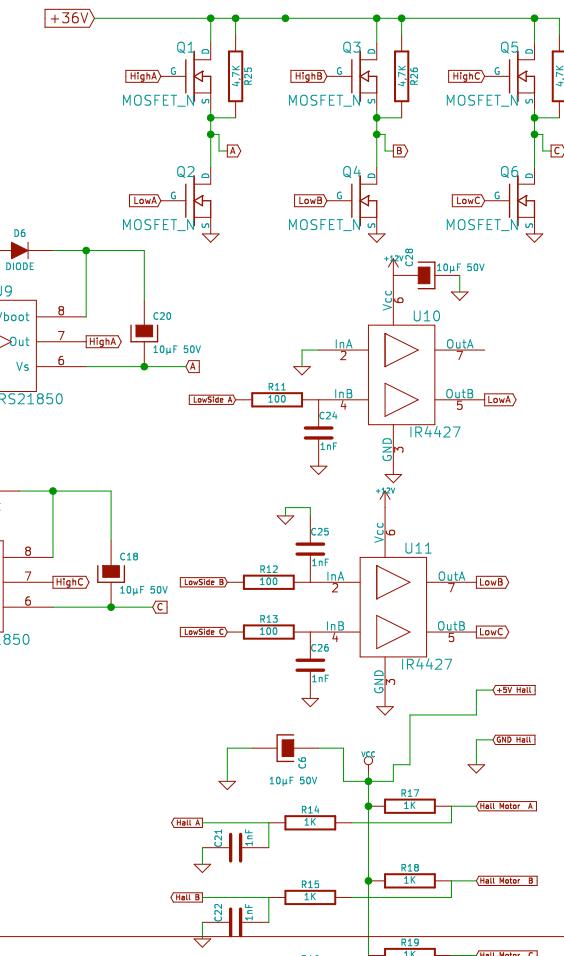
Mesure courant batterie



uP 8 bits mesure



Mos en pont et « drivers »



Alimentations

uP 8 bits commande transistors

F Troque Hope&Bike

Sheet: /

File: DC22-PCB1.sch

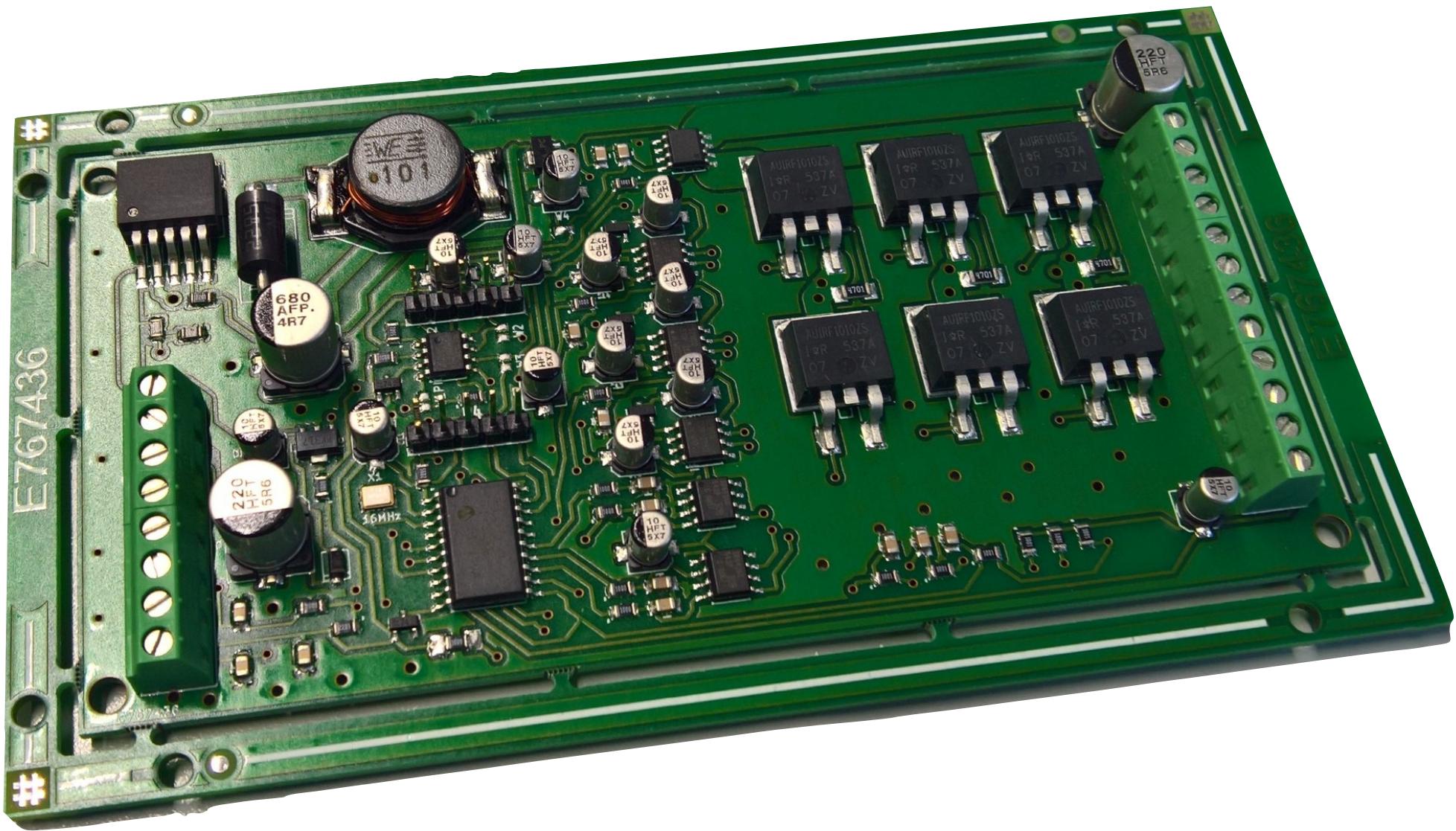
Title: DC22 Variateur

Size: A4 Date: 15 oct 2015

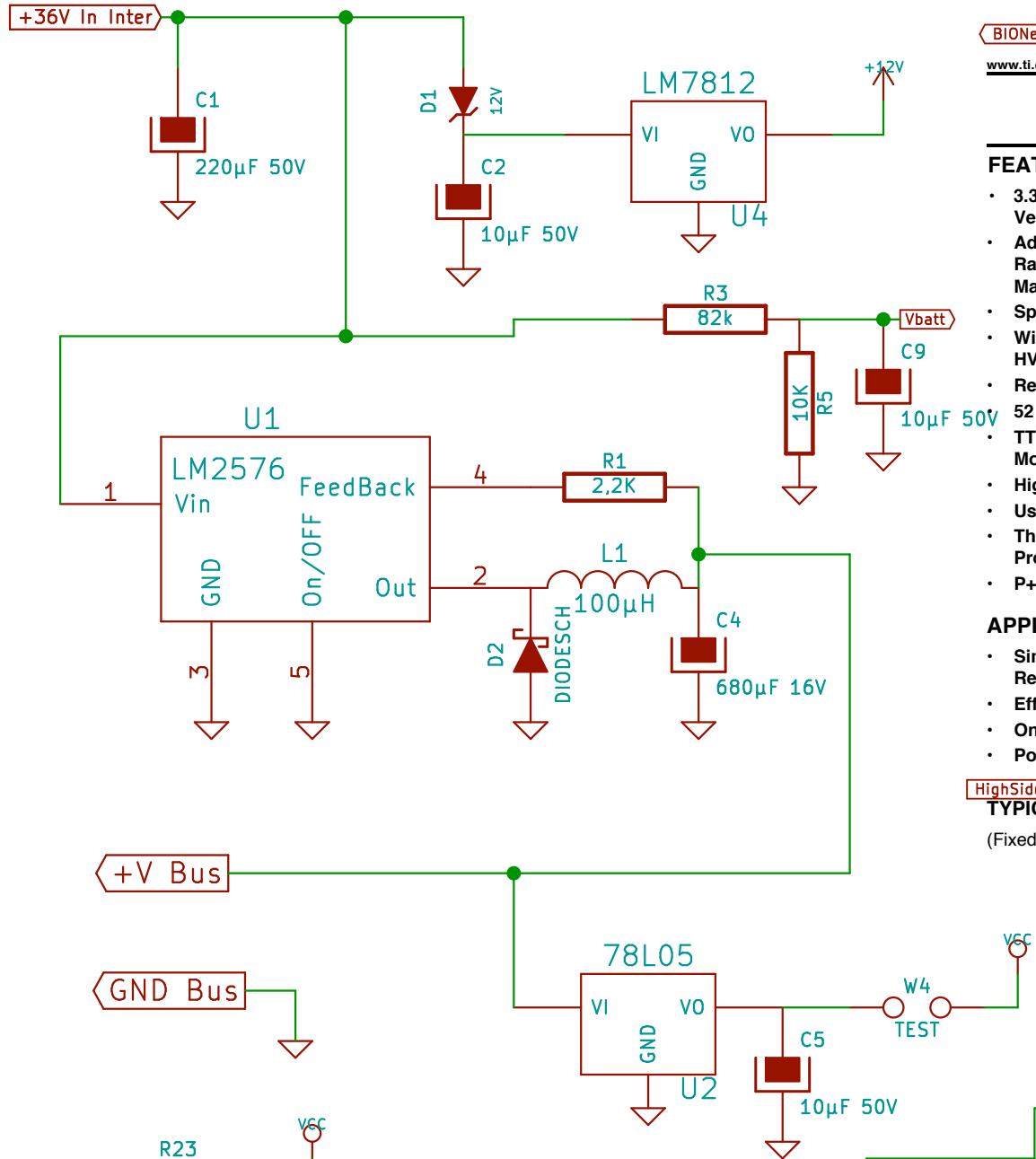
KiCad F.D.A. kicad 4.0.2-stable

Rev: 1

Id: 1/1



Alimentations



BIONe

www.ti.com

SNVS107C –JUNE 1999–REVISED APRIL 2013

LM2576/LM2576HV Series SIMPLE SWITCHER® 3A Step-Down Voltage Regulator

Check for Samples: [LM2576](#), [LM2576HV](#)

FEATURES

- 3.3V, 5V, 12V, 15V, and Adjustable Output Versions
- Adjustable Version Output Voltage Range, 1.23V to 37V (57V for HV Version) $\pm 4\%$ Max Over Line and Load Conditions
- Specified 3A Output Current
- Wide Input Voltage Range, 40V Up to 60V for HV Version
- Requires Only 4 External Components
- 52 kHz Fixed Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability, Low Power Standby Mode
- High Efficiency
- Uses Readily Available Standard Inductors
- Thermal Shutdown and Current Limit Protection
- P+ Product Enhancement Tested

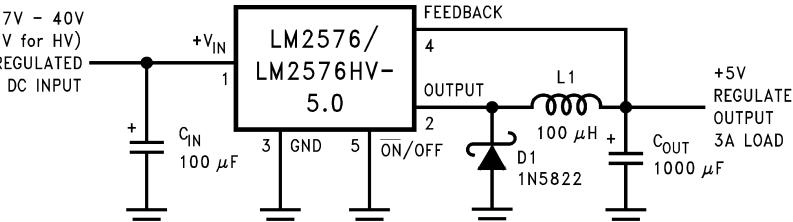
APPLICATIONS

- Simple High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulator
- Efficient Pre-Regulator for Linear Regulators
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter (Buck-Boost)

HighSide

TYPICAL APPLICATION

(Fixed Output Voltage Versions)



+V Bus, 3 amperes dispo (lampe, chargeur smartphone, ...)

DESCRIPTION

The LM2576 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, 15V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation and a fixed-frequency oscillator.

The LM2576 series offers a high-efficiency replacement for popular three-terminal linear regulators. It substantially reduces the size of the heat sink, and in some cases no heat sink is required.

A standard series of inductors optimized for use with the LM2576 are available from several different manufacturers. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

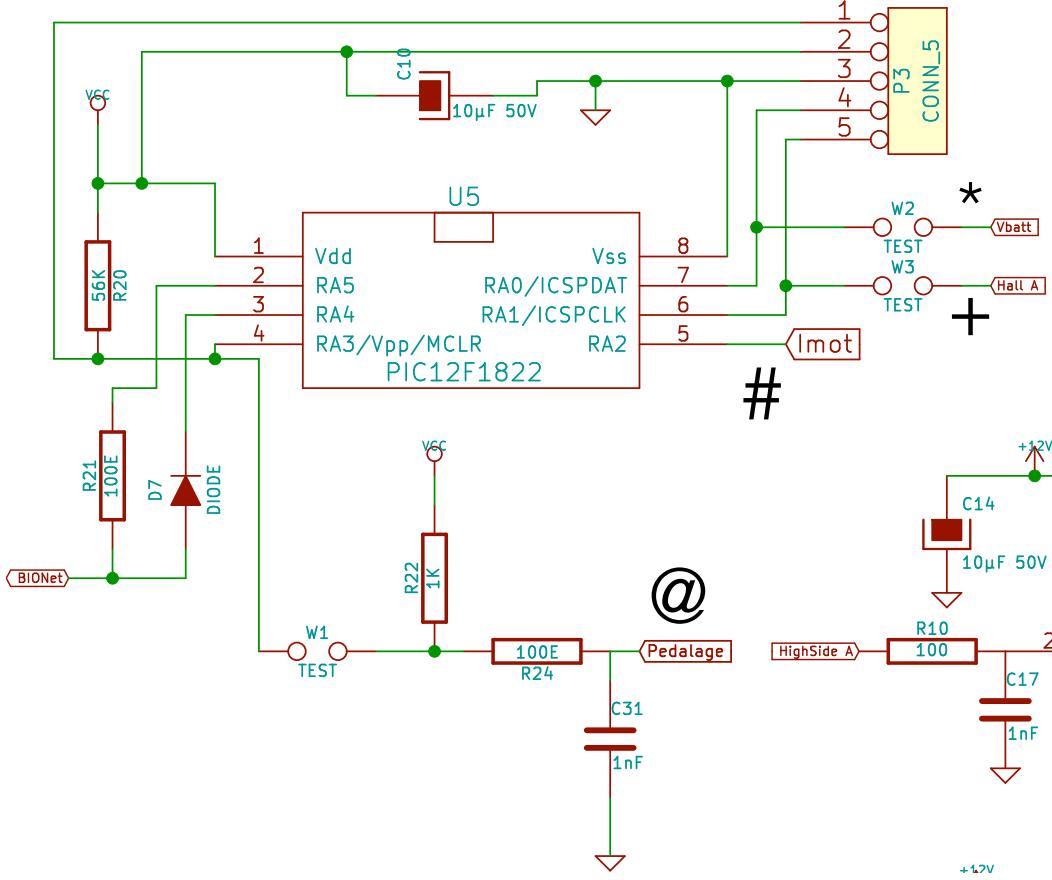
Other features include a specified $\pm 4\%$ tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and $\pm 10\%$ on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 50 µA (typical) standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.

uP 8 bits mesure



MICROCHIP

PIC12(L)F1822/PIC16(L)F1823



Tension batterie *

HallA +

Courant moteur #

Pedalage @

8/14-Pin Flash Microcontrollers with XLP Technology

High-Performance RISC CPU:

- Only 49 Instructions to Learn:
 - All single-cycle instructions except branches
- Operating Speed:
 - DC – 32 MHz oscillator/clock input
 - DC – 125 ns instruction cycle
- Interrupt Capability with Automatic Context Saving
- 16-Level Deep Hardware Stack with Optional Overflow/Underflow Reset
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes:
 - Two full 16-bit File Select Registers (FSRs)
 - FSRs can read program and data memory

Flexible Oscillator Structure:

- Precision 32 MHz internal Oscillator Block:
 - Factory calibrated to $\pm 1\%$, typical
 - Software selectable frequencies range of 31 kHz to 32 MHz
- 31 kHz Low-Power Internal Oscillator
- Four Crystal modes up to 32 MHz
- Three External Clock modes up to 32 MHz
- 4X Phase Lock Loop (PLL)
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if peripheral clock stops
- Two-Speed Oscillator Start-up
- Reference Clock module:
 - Programmable clock output frequency and duty-cycle

Special Microcontroller Features:

- Full 5.5V Operation – PIC12F1822/16F1823
- 1.8V-3.6V Operation – PIC12LF1822/16LF1823
- Self-Reprogrammable under Software Control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Programmable Brown-out Reset (BOR)
- Extended Watchdog Timer (WDT)
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via Two Pins
- Enhanced Low-Voltage Programming (LVP)
- Operating Voltage Range:
 - 1.8V-5.5V (PIC12F1822/16F1823)
 - 1.8V-3.6V (PIC12LF1822/16LF1823)
- Programmable Code Protection
- Self-Programmable under Software Control

Extreme Low-Power Management PIC12LF1822/PIC16LF1823 with XLP:

- Sleep mode: 20 nA @ 1.8V, typical
- Watchdog Timer: 300 nA @ 1.8V, typical
- Timer1 Oscillator: 650 nA @ 32 kHz, typical
- Operating Current: 30 μ A/MHz @ 1.8V, typical

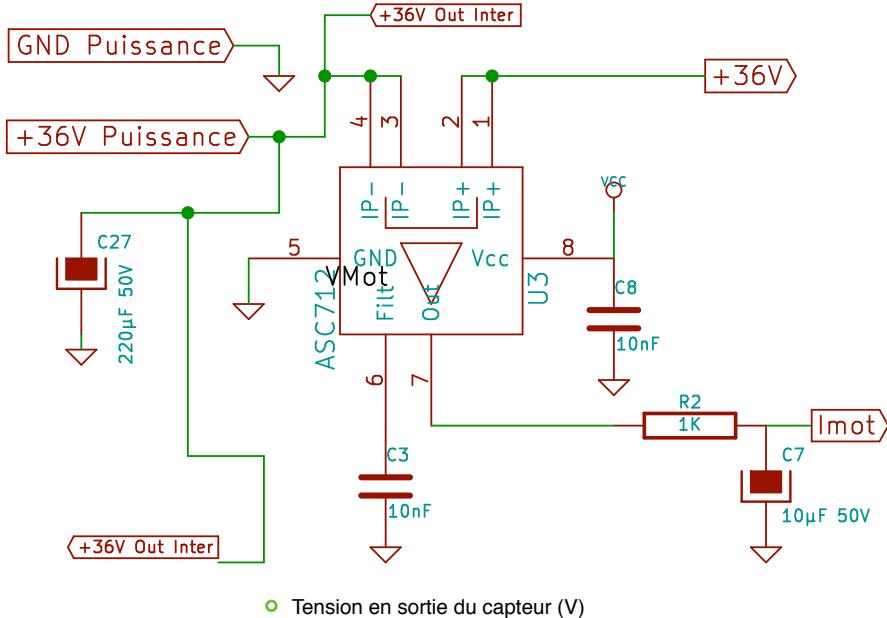
Analog Features:

- Analog-to-Digital Converter (ADC) module:
 - 10-bit resolution, up to 8 channels
 - Conversion available during Sleep
- Analog Comparator module:
 - Up to two rail-to-rail analog comparators
 - Power mode control
 - Software controllable hysteresis
- Voltage Reference module:
 - Fixed Voltage Reference (FVR) with 1.024V, 2.048V and 4.096V output levels
 - 5-bit rail-to-rail resistive DAC with positive and negative reference selection

Peripheral Highlights:

- Up to 11 I/O Pins and 1 Input-Only Pin:
 - High current sink/source 25 mA/25 mA
 - Programmable weak pull-ups
 - Programmable interrupt-on-change pins
- Timer0: 8-Bit Timer/Counter with 8-Bit Prescaler
- Enhanced Timer1:
 - 16-bit timer/counter with prescaler
 - External Gate Input mode
 - Dedicated, low-power 32 kHz oscillator driver
- Timer2: 8-Bit Timer/Counter with 8-Bit Period Register, Prescaler and Postscaler
- Enhanced CCP (ECCP) modules:
 - Software selectable time bases
 - Auto-shutdown and auto-restart
 - PWM steering
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) with SPI and I²C™ with:
 - 7-bit address masking
 - SMBus/PMBus™ compatibility
- Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (EUSART) module:
 - RS-232, RS-485 and LIN compatible
 - Auto-Baud Detect
- Capacitive Sensing (CPS) module (mTouch™):
 - Up to 8 input channels

Mesure courant batterie



ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 µs output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 mΩ internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage

Description

The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

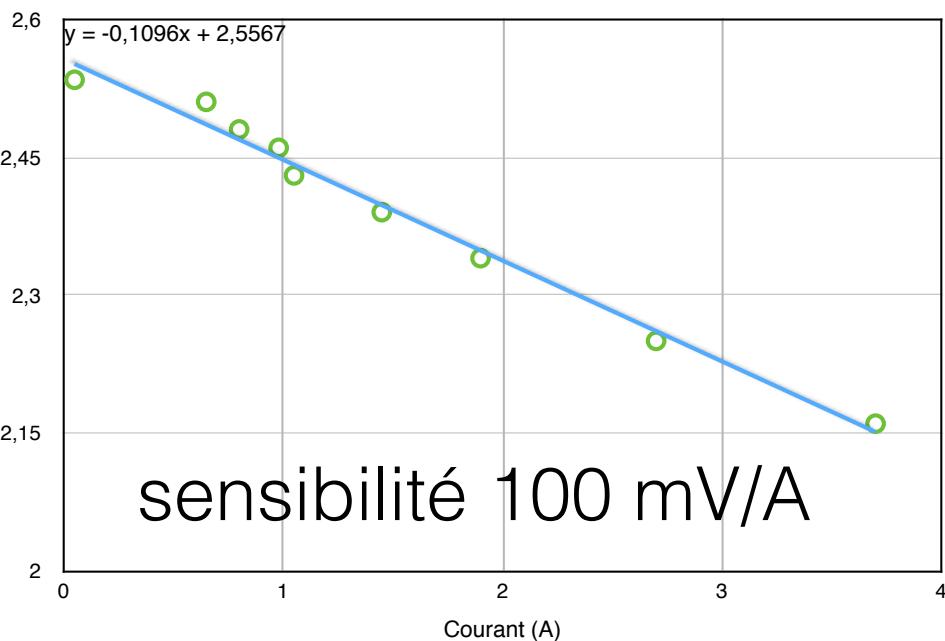
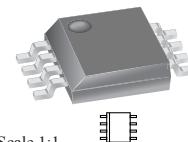
The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 mΩ typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

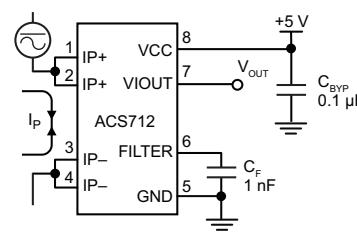
Continued on the next page...



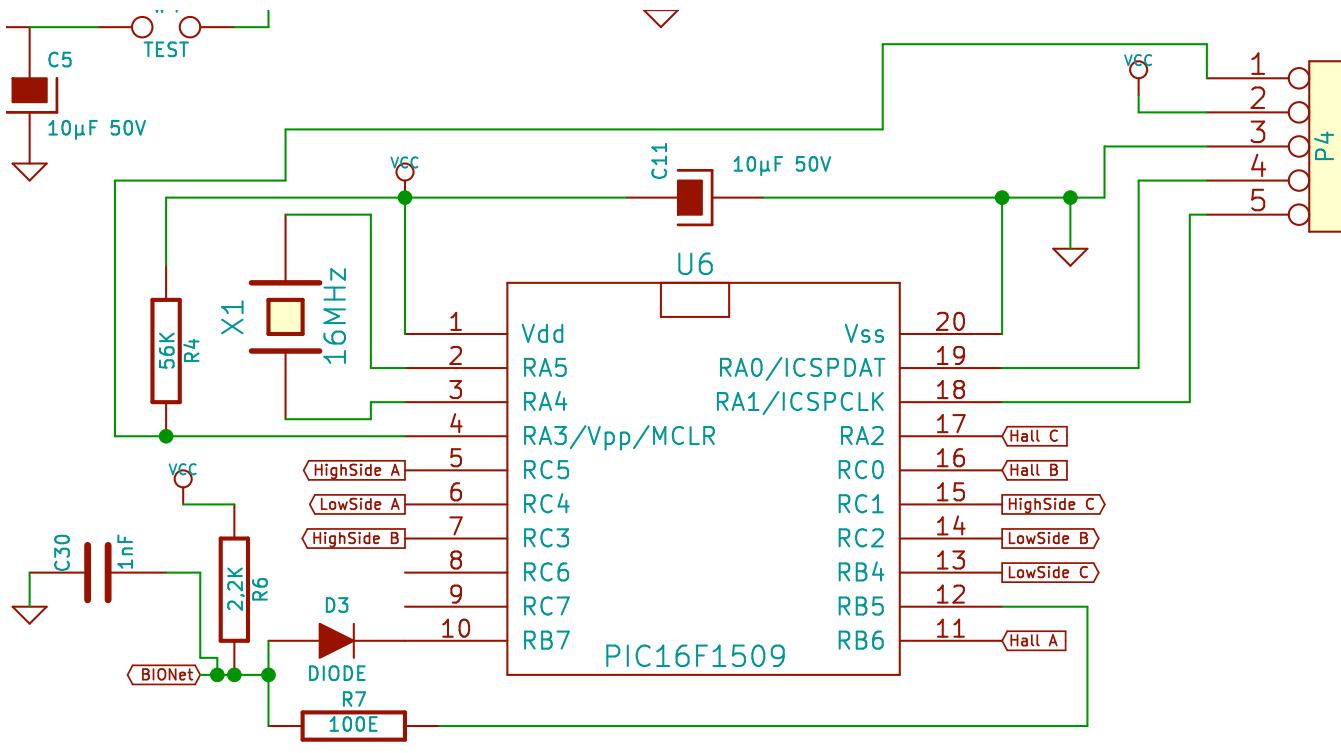
Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Typical Application



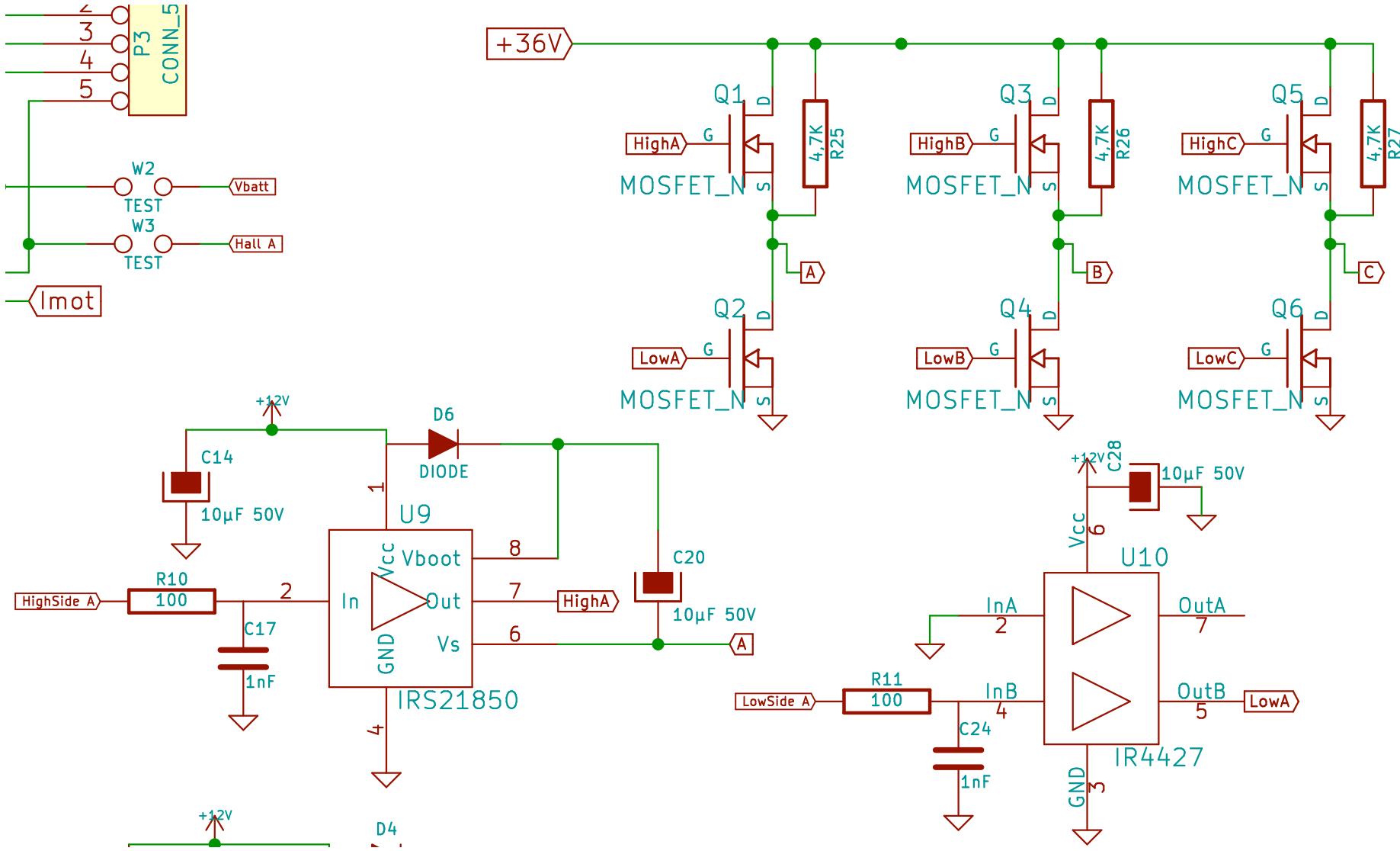
uP 8 bits commande transistors



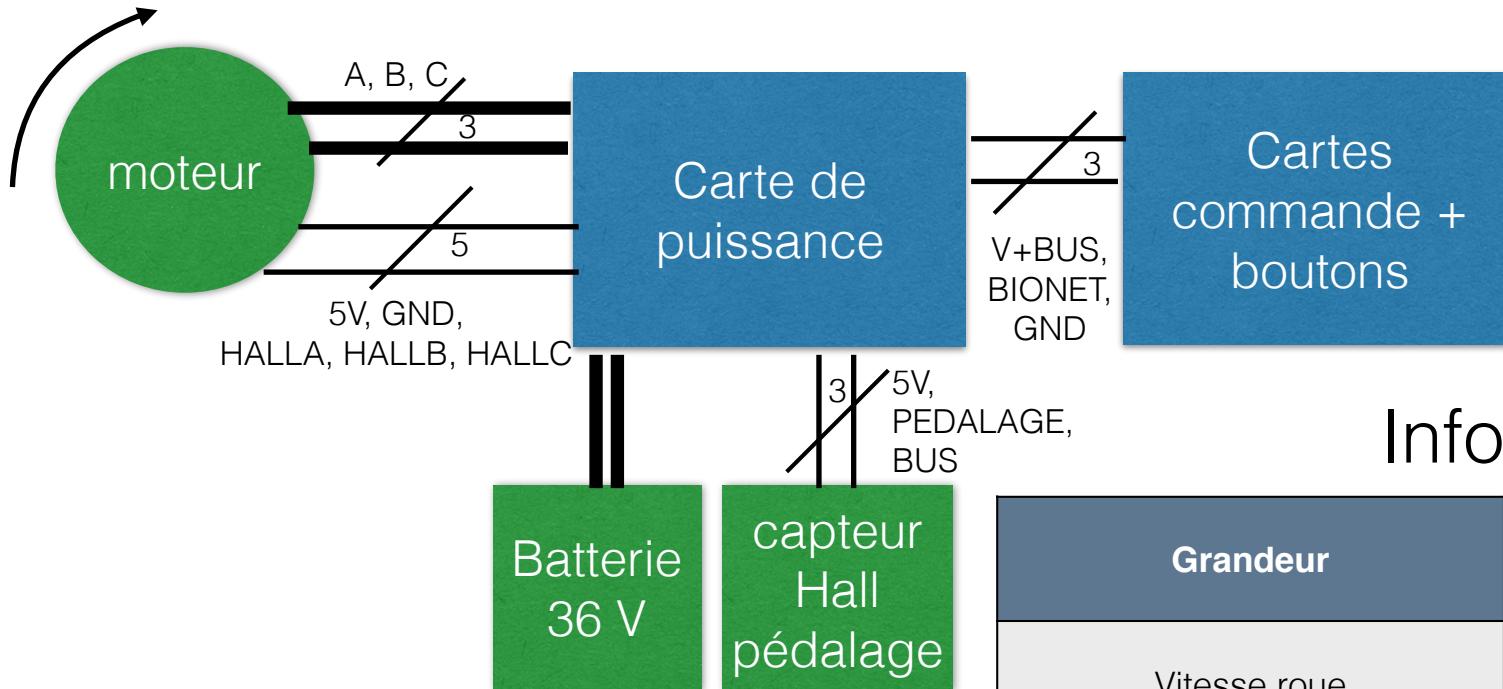
Lecture des niveaux HALLx (x=A, B ou C)

Génération des commandes des grilles des transistors MOS
(LowSidex, HighSidex avec x=A, B ou C)

Mos en pont et < drivers >



Architecture

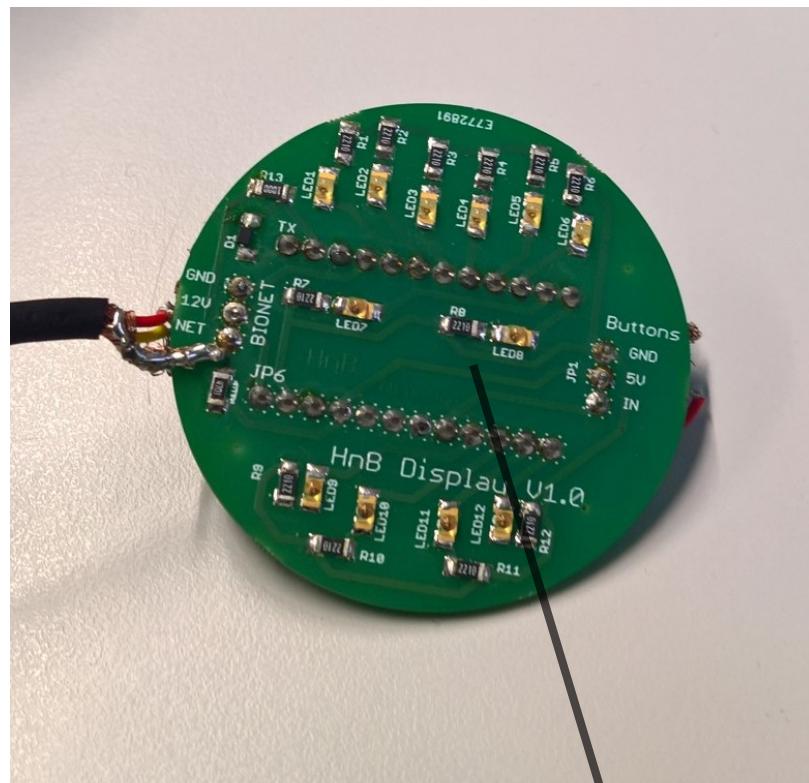
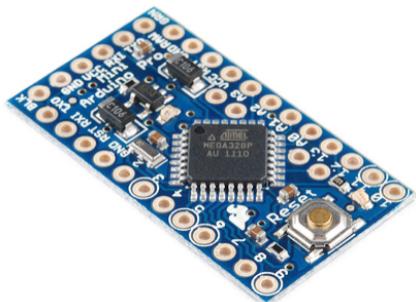


Info BIONET

Grandeur	Mesure	Sens	Nbre bit
Vitesse roue	Nombre de front HALLA pdt 500 ms	P->C	8
Vitesse pédale	Nombre de front capteur hall pdt 500 ms	P->C	8
Niveau Batterie	CAN 10 bits uP	P->C	10
Courant Batterie	Capteur courant + CAN 10 bits uP	P->C	10
Commande puissance moteur (%PWM)	Calculée par la carte commande	C-P	8

Carte commande et boutons

<- BIONET->



<-Boutons (+0-)

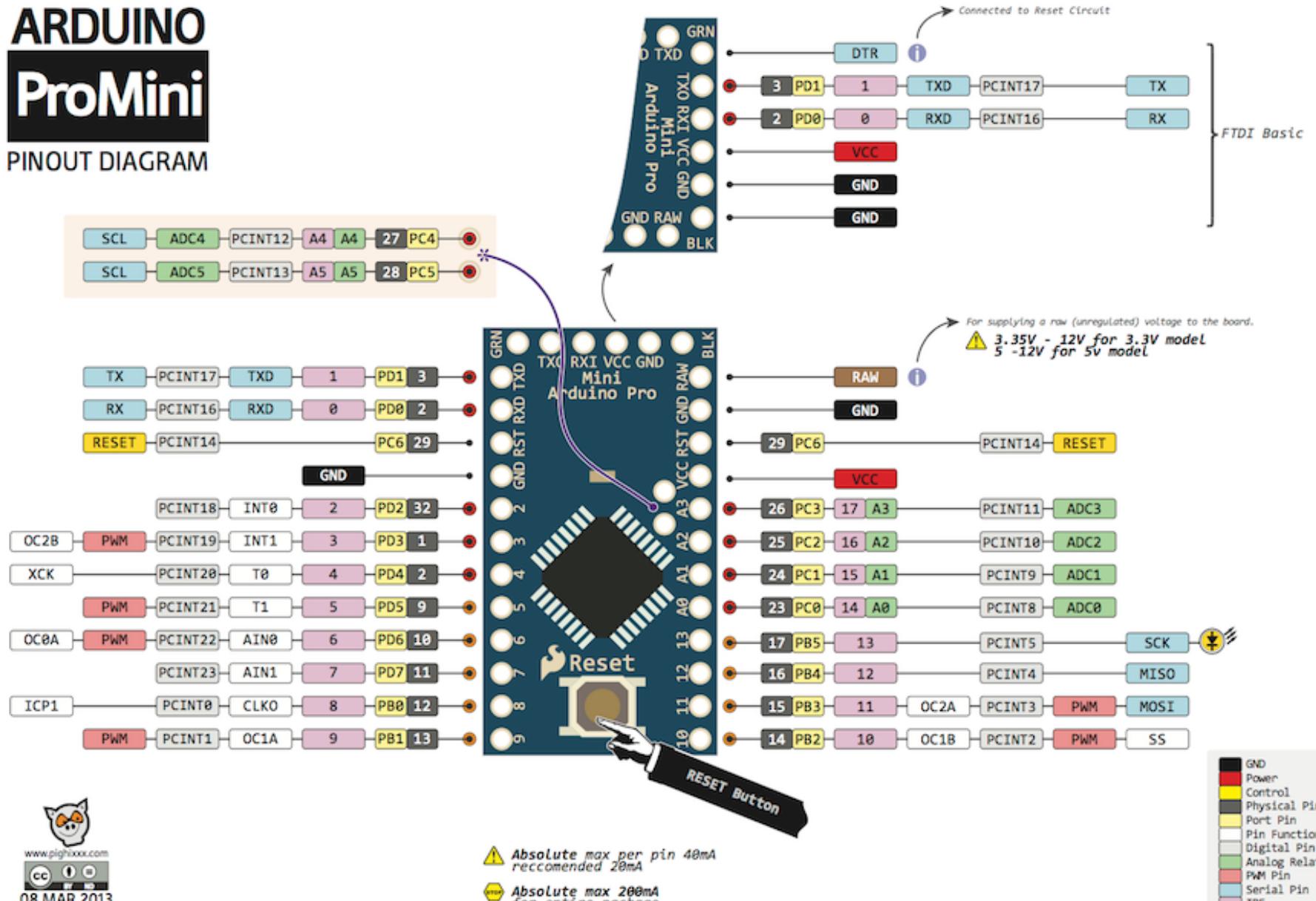
Carte arduino Pro

Arduino pro

THE
UNOFFICIAL

ARDUINO
ProMini

PINOUT DIAGRAM



Arduino pro

The screenshot shows a web browser window with the title "Arduino – ArduinoBoardPro". The address bar displays "https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardPro". The page header includes the Arduino logo and navigation links: Buy, Download, Products, Learning, Forum, Support, and Blog. On the right, there are "LOG IN" and "SIGN UP" buttons. The main content area features a large orange heading "Overview".

Overview

The Arduino Pro is a microcontroller board based on the ATmega328 [datasheet](#). The Pro comes in both 3.3V/8MHz and 5V/16MHz versions. It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a battery power jack, a power switch, a reset button, and holes for mounting a power jack, an ICSP header, and pin headers. A six pin header can be connected to an FTDI cable or Sparkfun breakout board to provide USB power and communication to the board. The Arduino Pro is intended for semi-permanent installation in objects or exhibitions. The board comes without pre-mounted headers, allowing the use of various types of connectors or direct soldering of wires. The pin layout is compatible with Arduino shields. The 3.3V versions of the Pro can be powered with a battery. The Arduino Pro was designed and manufactured by SparkFun Electronics.

You can find [here](#) your board warranty informations.

« Gestion » du vélo = machine d'état

P : pédalage

I : courant moteur en dizième d'ampere

V : vitesse du vélo

Arret (PWM=0)

P	I	V	consigne	Etat futur	action à effectuer au changement d'état
<PEDALE_LIMITE	x	x	x	Arret	
>=PEDALE_LIMITE	x	x	>0	Démarrage	arret chronometre
>=PEDALE_LIMITE	x	x	=0	Arret	

Demarrage (PWM=PWM_DEMARRAGE)

P	I	V	Etat futur	action à effectuer au changement d'état
<PEDALE_LIMITE	x	x	Arret	demarrage chronometre
>=PEDALE_LIMITE	>= COURANT_DEMARRAGE_LIMITE	<VITESSE_DEMARRAGE_LIMITE	Arret (*)	
>=PEDALE_LIMITE	< COURANT_DEMARRAGE_LIMITE	<VITESSE_DEMARRAGE_LIMITE	Démarrage	//
>=PEDALE_LIMITE	x	>=VITESSE_DEMARRAGE_LIMITE	augmentation PWM	
>=PEDALE_LIMITE	> COURANT_MOTEUR_MAX	x	Arret	Mise à zero de la consigne lorsque le moteur est à un feu rouge et retro-pedale

augmentation PWM (PWM=PWM+1)

P	I	V	Etat futur	action à effectuer au changement d'état
<PEDALE_LIMITE	x	x	Arret	demarrage chronometre
>=PEDALE_LIMITE	< COURANT_MOTEUR_LIMITE	<consigne-VITESSE_REGULATION_SEUIL	augmentation PWM	//
>=PEDALE_LIMITE	< COURANT_MOTEUR_LIMITE	>=consigne-VITESSE_REGULATION_SEUIL	Regulation	PWMTemp=PWM
>=PEDALE_LIMITE	>= COURANT_MOTEUR_LIMITE	x	diminution PWM	
x	> COURANT_MOTEUR_MAX	x	Arret	Mise à zero de la consigne

« Gestion » du vélo = machine d'état

P : pédalage

I : courant moteur en dizième d'ampere

V : vitesse du vélo

augmentation PWM (PWM=PWM+1)

P	I	V	Etat futur	action à effectuer au changement d'état
<PEDALE_LIMITE	x	x	Arret	démarrage chronomètre
\geq PEDALE_LIMITE	< COURANT_MOTEUR_LIMITE	<consigne-VITESSE_REGULATION_SEUIL	augmentation PWM	//
\geq PEDALE_LIMITE	< COURANT_MOTEUR_LIMITE	\geq consigne-VITESSE_REGULATION_SEUIL	Regulation	PWMTemp=PWM
\geq PEDALE_LIMITE	\geq COURANT_MOTEUR_LIMITE	x	diminution PWM	
x	> COURANT_MOTEUR_MAX	x	Arret	Mise à zéro de la consigne

diminution PWM (PWM=PWM-1)

P	I	V	Etat futur	action à effectuer au changement d'état
<PEDALE_LIMITE	x	x	Arret	démarrage chronomètre
\geq PEDALE_LIMITE	< COURANT_MOTEUR_LIMITE	<consigne-VITESSE_REGULATION_SEUIL	augmentation PWM	
\geq PEDALE_LIMITE	< COURANT_MOTEUR_LIMITE	\geq consigne-VITESSE_REGULATION_SEUIL	Regulation	PWMTemp=PWM
\geq PEDALE_LIMITE	\geq COURANT_MOTEUR_LIMITE	x	diminution PWM	//
x	> COURANT_MOTEUR_MAX	x	Arret	Mise à zéro de la consigne

Regulation (*)

P	I	V	Etat futur	action à effectuer au changement d'état
<PEDALE_LIMITE	x	x	Arret	démarrage chronomètre
\geq PEDALE_LIMITE	< COURANT_MOTEUR_LIMITE	<consigne-VITESSE_REGULATION_SEUIL	augmentation PWM	
\geq PEDALE_LIMITE	< COURANT_MOTEUR_LIMITE	\geq consigne-VITESSE_REGULATION_SEUIL	Regulation	//
\geq PEDALE_LIMITE	\geq COURANT_MOTEUR_LIMITE	x	diminution PWM	
x	> COURANT_MOTEUR_MAX	x	Arret	Mise à zéro de la consigne

si $K^*(\text{consigne-vitesse}) \leq -5$ PWM=PWMTemp+K(consigne-vitesse)

si $K^*(\text{consigne-vitesse}) > 5$ PWM=PWMTEMP+5

si $K^*(\text{consigne-vitesse}) \geq -5$ PWM=PWMTemp+K(consigne-vitesse)

si $K^*(\text{consigne-vitesse}) < -5$ PWM=PWMTEMP-5

hnb_drive_0.99 – hnb_power.ino | Arduino 1.6.7

hnb_drive_0.99 hnb_keyboard hnb_leds hnb_power the_bionet the_serial_debug

```
case ETAT_DEMARRAGE:
if (u8VitessePedale<PEDALE_LIMITE) {
    u8Etat=ETAT_ARRET;
    bChronoArretPedalage      = true;
    u32ChronoArrretDebut     = millis();
}
else if ((u8VitessePedale>=PEDALE_LIMITE) && (s16CourantMotUnitAmp>=COURANT_DEMARRAGE_LIMITE) && (u8RotationRoue<VITESSE_DEMARRAGE_LIMITE))
    u8Etat=ETAT_ARRET; // cas du retropedalage
else if ((u8VitessePedale>=PEDALE_LIMITE) && (s16CourantMotUnitAmp<COURANT_DEMARRAGE_LIMITE) && (u8RotationRoue<VITESSE_DEMARRAGE_LIMITE))
    u8Etat=ETAT_DEMARRAGE;
else if ((u8VitessePedale>=PEDALE_LIMITE) && (u8RotationRoue>=VITESSE_DEMARRAGE_LIMITE))
    u8Etat=ETAT_AUGMENTE_PWM ;
if (s16CourantMotUnitAmp>COURANT_MOTEUR_MAX) u8Etat=ETAT_BUG;
break;

case ETAT_AUGMENTE_PWM:
if (u8VitessePedale<PEDALE_LIMITE) {
    u8Etat=ETAT_ARRET;
    bChronoArretPedalage      = true;
    u32ChronoArrretDebut     = millis();
}
else if ((u8VitessePedale>=PEDALE_LIMITE) && (s16CourantMotUnitAmp<s16courantLimit) && (u8RotationRoue<ConsigneDesiree-VITESSE_REGULATION_SEUIL))
    u8Etat=ETAT_AUGMENTE_PWM;
else if ((u8VitessePedale>=PEDALE_LIMITE) && (s16CourantMotUnitAmp<s16courantLimit) && (u8RotationRoue>=ConsigneDesiree-VITESSE_REGULATION_SEUIL))
    u8Etat=ETAT_REGULATION ;
    i8PWMTemp=i8PWM;
}
else if ((u8VitessePedale>=PEDALE_LIMITE) && (s16CourantMotUnitAmp>=s16courantLimit) )
```

Et que dit « Henry » ?

« Le vélo électrique, c'est pour les fainéants qui ne veulent pas pédaler »

Type de véhicule	g CO2/passager/km
Vélo	21
VAE	22
Bus	101
Voiture	271

Résultat d'une étude commandée par L'European Cyclists' Federation (la phase de production, la phase de fonctionnement et la maintenance. Les infrastructures ainsi que le traitement en fin de vie n'ont pas été pris en compte)

Et que dit « Henry » ?

« Les batteries, cela ne tient pas la charge et cela pollue »

Tableau comparatif des différentes technologies [2],[3]

Type	Densité massique en Wh/kg	Densité volumique en Wh/L	Tension d'un élément	puissance en pointe(massique) en W/kg	Durée de vie (nombre de recharges)	auto-décharge par mois
Plomb/acide	30-50	75-120	2 V	700	400-1200	5 %
Ni-Cd	45-80	80-150	1,2 V	?	2000	> 20 %
Ni-MH	60-110	220-330	1,2 V	900	1500	> 30 %
Ni-Zn	70-80	120-140	1,65 V	1000	> 1 000	> 20 %
Na-NiCl ₂ (ZEBRA)	120	180	2,6 V	200	800	->100% (12%/jour)
Pile alcaline	80-160	?	1,5-1,65 V ^[4]	?	25 à 500	< 0,3 %
Li-ion	150-190	220-330	3,6 V	1500	500-1000	10 %
Li-Po	100-130	?	3,7 V	250	200-300	10 %
Li-PO ₄ (lithium phosphate)	120-140	190-220	3,2V	800	2000	5%
LMP (lithium metal polymer)	110	110	2,6V	320	?	?
Li-Air	1500-2500	?	3,4 V	200	?	?

Perspectives techniques

- Développement d'une version 2. Projet de seconde année des étudiants ESIX
 - Cahier des charges,
 - Banc de démonstration et de tests
- Amélioration de la loi de commande. Projet de troisième année ESIX encadré par Tomas Ménard
 - Identification du système, modélisation, ...