

Les moteurs

Julien VILLEMEJANE



Paris-Saclay

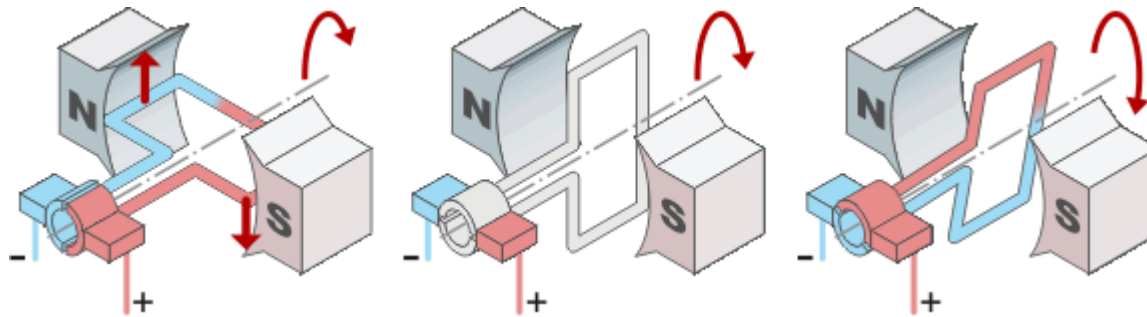


Saint-Étienne



Bordeaux

- **Moteur** = élément de **conversion** d'une puissance **électrique** vers une puissance **mécanique**



- Aspect électrique : $P_{em} = E \cdot I$
- Aspect mécanique : $P_{em} = T_{em} \cdot \Omega$

où :

- E : la force contre-électromotrice [volt]
- I : le courant dans l'induit [ampère]
- T_{em} : le couple du moteur [N.m]
- Ω : vitesse angulaire de l'induit [rad/s]

- Couple souvent lié au courant
- **Éléments de puissance indispensables**
- **Transistor / Pont en H / Drivers**

<https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11530#c7327+c7323>



Paris-Saclay



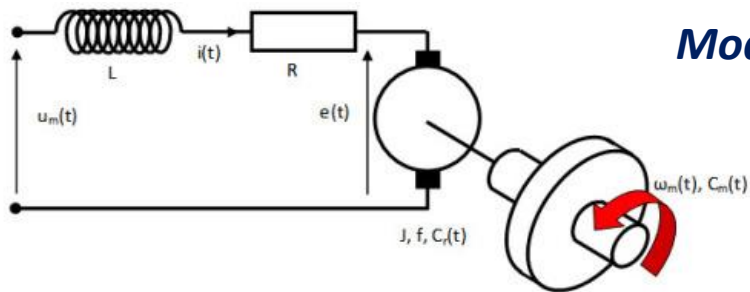
Saint-Étienne



Bordeaux

Moteur à courant continu

- Vitesse proportionnelle à fem
- Quasiment proportionnelle à U



Les équations qui modélisent le comportement du moteur sont les suivantes :

Loi d'Ohm dans le circuit d'induit :	$u_m(t) = e(t) + R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt}$	(1)
Équations de l'électromagnétisme dans le moteur :	$e(t) = K_e \cdot \omega(t)$	(2)
	$c_m(t) = K_c \cdot i(t)$	(3)
Équation de la dynamique de l'arbre moteur :	$c_m(t) - c_r(t) - f \cdot \omega(t) = J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt}$	(4)

Avec :

- $u_m(t)$ est la tension d'alimentation (V)
- $i(t)$ est le courant consommé (A)
- $e(t)$ est la tension contre-électromotrice (V)
- R est la valeur de la résistance (Ω)
- L est la valeur de l'inductance (H)
- K_e est le coefficient de fem (V/(rad/s))
- $\omega(t)$ est la vitesse de rotation de l'arbre moteur (rad/s)
- f est le paramètre de frottement "fluide" total (N.m/(rad/s))
- J est l'inertie totale ramenée sur l'axe moteur ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)
- K_c est la constante de couple (N.m/A)
- $c_m(t)$ est le couple moteur. (N.m)
C'est « l'effort tournant » qu'est capable de fournir le moteur. Plus ce couple est important et plus le moteur aura la capacité à faire tourner une lourde charge.
- $c_r(t)$ est le couple résistant sur l'axe moteur. (N.m)
C'est un effort qui s'oppose au mouvement de rotation du moteur et qui a tendance à le freiner. Par exemple, des herbes hautes et épaisses vont générer un couple résistant au niveau des lames fixées sur l'axe de sortie du moteur électrique que l'on trouve dans une tondeuse.

- Facile à mettre en œuvre
- Peu de couple
- Asservissement de position nécessitant un encodeur externe
- Usure mécanique (balais)

http://stephane.genouel.free.fr/FT/Dossier_Multimedia/Moteurelectrique/co/Moteur_electrique_3.html



Paris-Saclay



Saint-Étienne

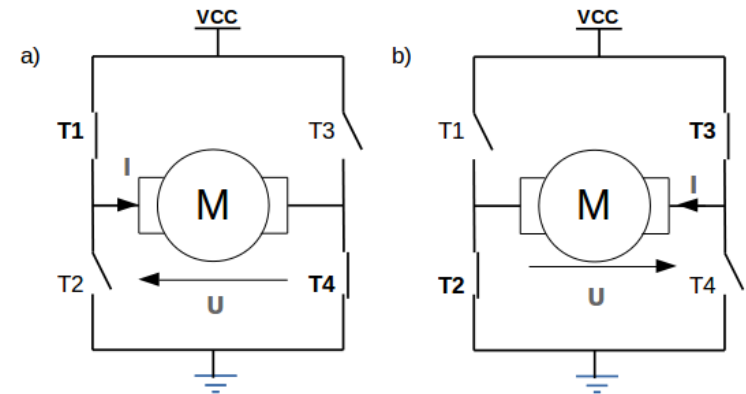
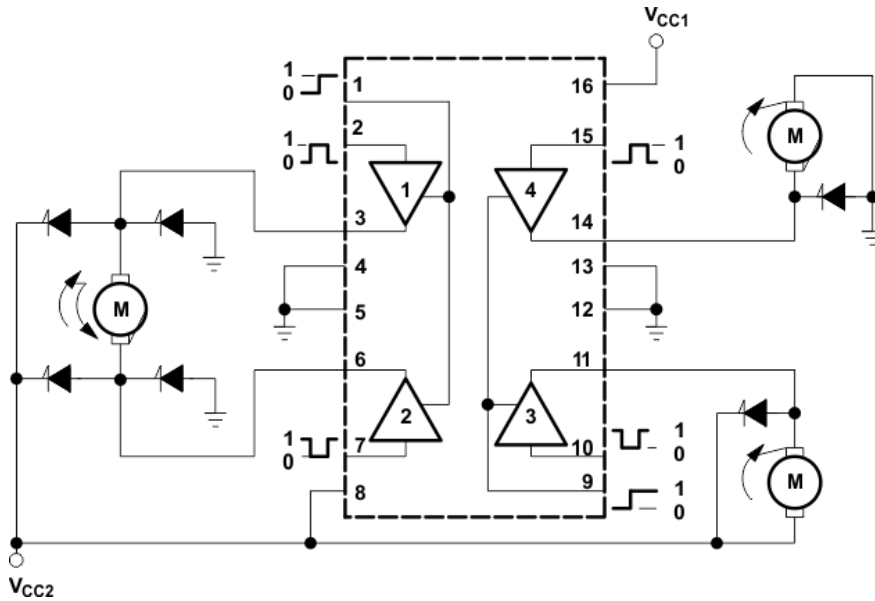


Bordeaux

Moteur à courant continu

Pilotage

- Courant élevé



Pont en H – L293D (avec diode roue libre – 0.6A)
ou **L298** (sans diode roue libre – 1.5A)



- Facile à mettre en œuvre
- Peu de couple
- Asservissement de position nécessitant un encodeur externe
- Usure mécanique (balais)



Paris-Saclay



Saint-Étienne

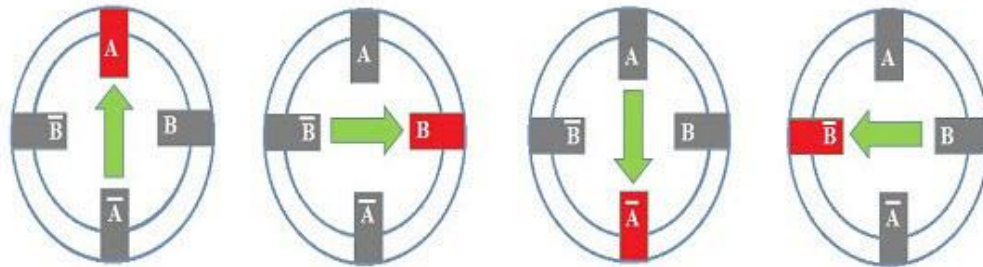


Bordeaux

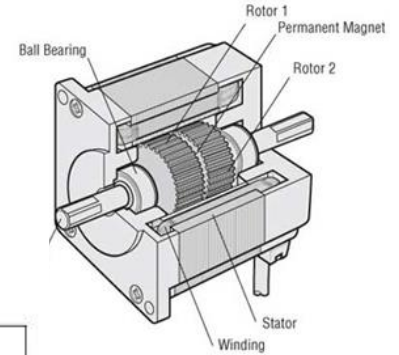
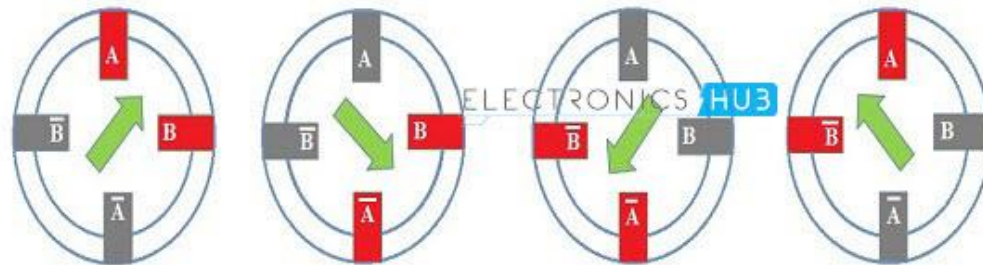
Moteur pas à pas

- Avancement pas par pas

Full Step - One Phase ON



Full Step - Two Phase ON



Structural Diagram: Cross-Section Parallel to Shaft

Step	Phase			
	A	B	\bar{A}	\bar{B}
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

Step	Phase			
	A	B	\bar{A}	\bar{B}
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

<https://www.electronicshub.org/stepper-motor-control-using-arduino/>

<https://www.orientalmotor.com/stepper-motors/technology/stepper-motor-overview.html>



Paris-Saclay



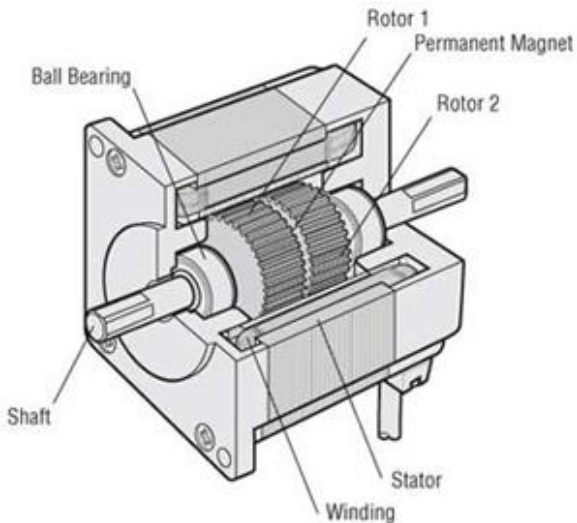
Saint-Étienne



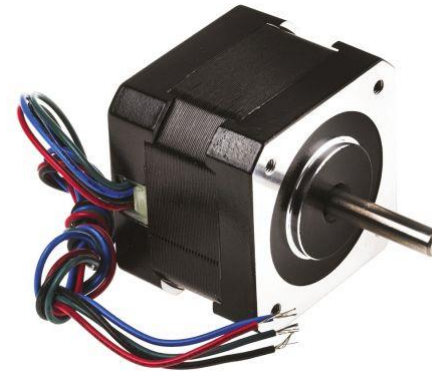
Bordeaux

Moteur pas à pas

- Avancement pas par pas



Motor Structural Diagram: Cross-Section Parallel to Shaft



- Asservissement de position « inclus »
- Couple intéressant
- *Pilotage à maîtriser*
- *Vitesse réduite*

<https://www.orientalmotor.com/stepper-motors/technology/stepper-motor-overview.html>



Paris-Saclay



Saint-Étienne

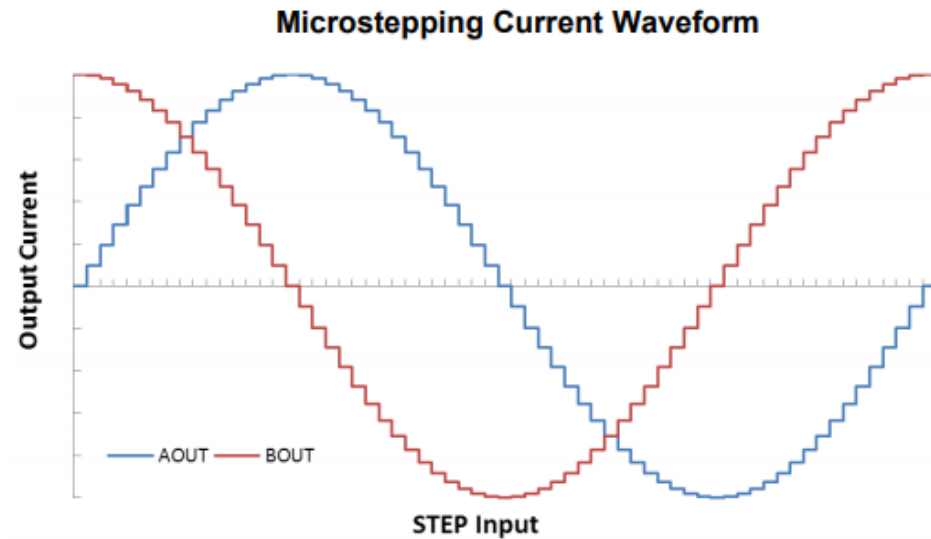
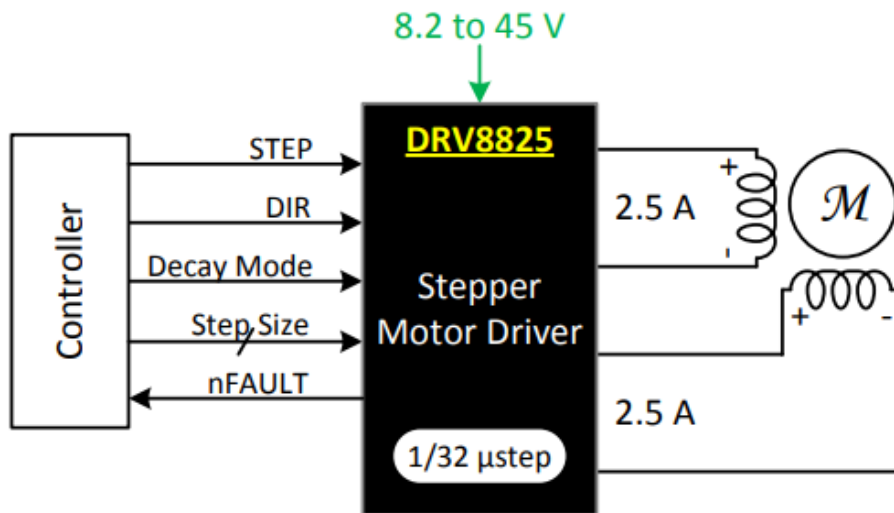


Bordeaux

Moteur pas à pas

Pilotage

- Utilisation d'un pont en H triphasé
- Commande avec **DRV8825**



Paris-Saclay



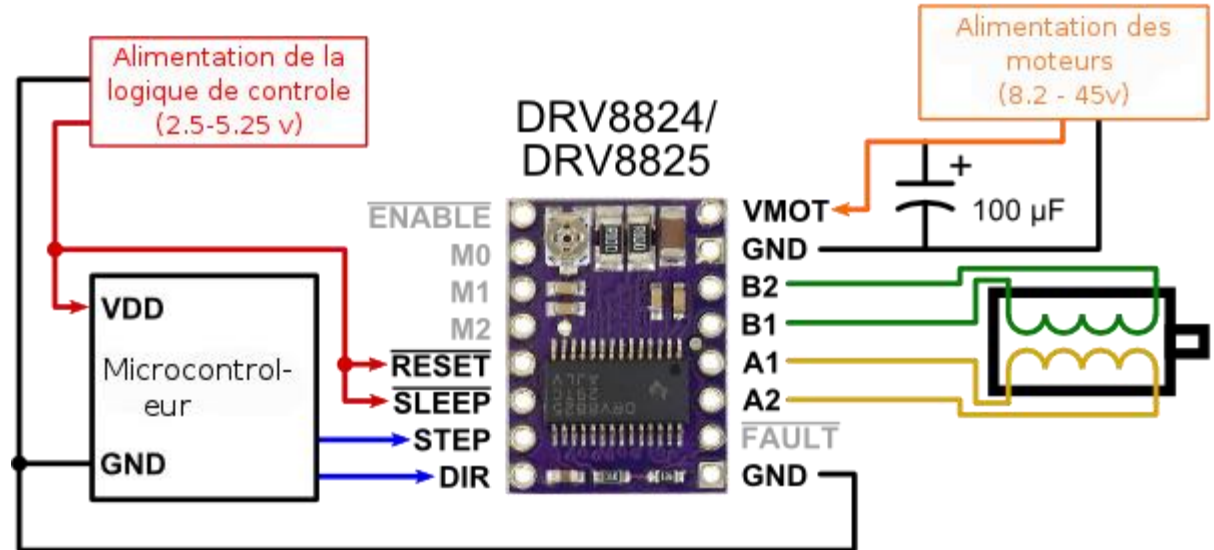
Saint-Étienne



Bordeaux

- Utilisation d'un pont en H triphasé
- Commande avec **DRV8825**

<https://wiki.mchobby.be/index.php?title=DRV8825>



Paris-Saclay



Saint-Étienne



Bordeaux

Moteur *brushless*

- BLDC : BrushLess Direct Current
machine synchrone auto-pilotée à aimants permanents
- Avancement pas par pas
- Sans contact entre rotor et stator



- Asservissement de position
« inclus »
- Couple intéressant
- *Pilotage à maîtriser*

<https://www.electricaltechnology.org/2016/05/bldc-brushless-dc-motor-construction-working-principle.html>



Paris-Saclay



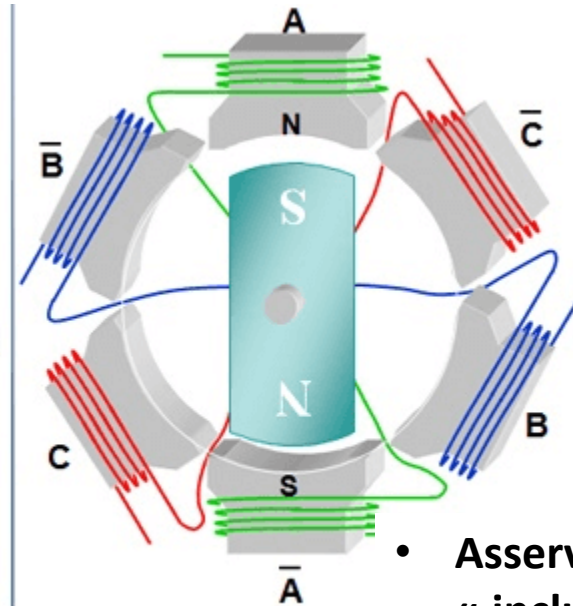
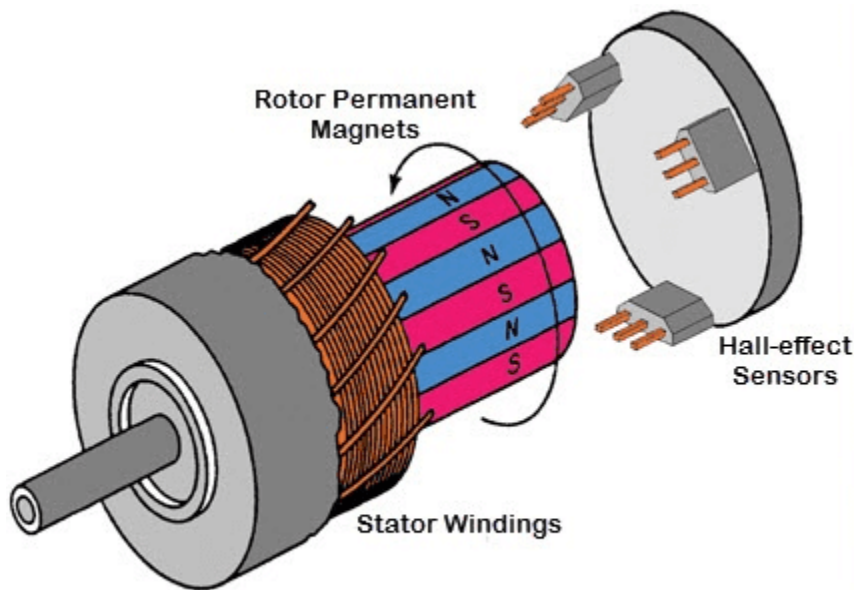
Saint-Étienne



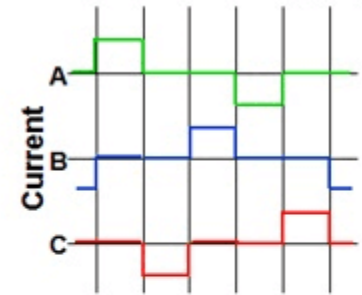
Bordeaux

Moteur *brushless*

- BLDC : BrushLess Direct Current
machine synchrone auto-pilotée à aimants permanents



www.electricaltechnology.org



- Asservissement de position « inclus »
- Couple intéressant
- *Pilotage à maîtriser*

Construction, Working Principle & Operation of BLDC Motor

<https://www.electricaltechnology.org/2016/05/bldc-brushless-dc-motor-construction-working-principle.html>



Paris-Saclay



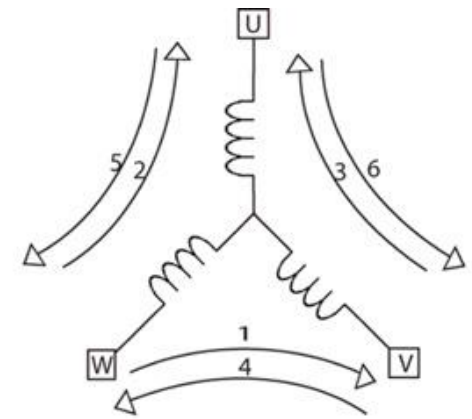
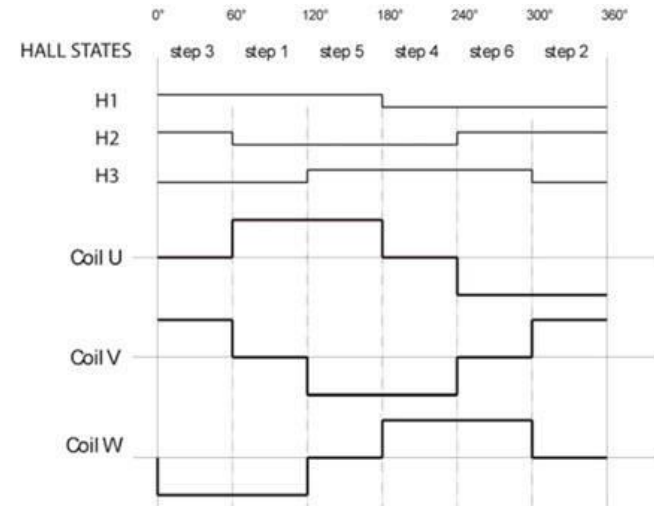
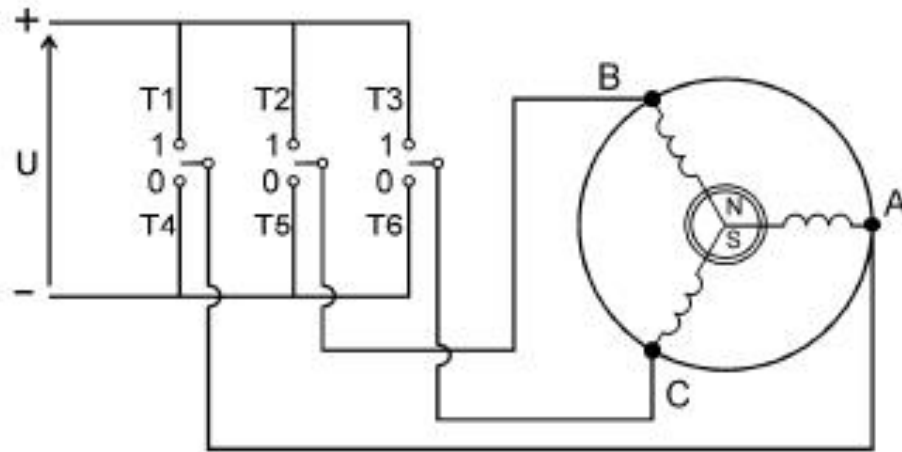
Saint-Étienne



Bordeaux

Moteur *brushless*

- Transistors



<http://www.energoelektronika.pl/do/ShowNews?id=1599>

<https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2013/mar/an-introduction-to-brushless-dc-motor-control>



Paris-Saclay

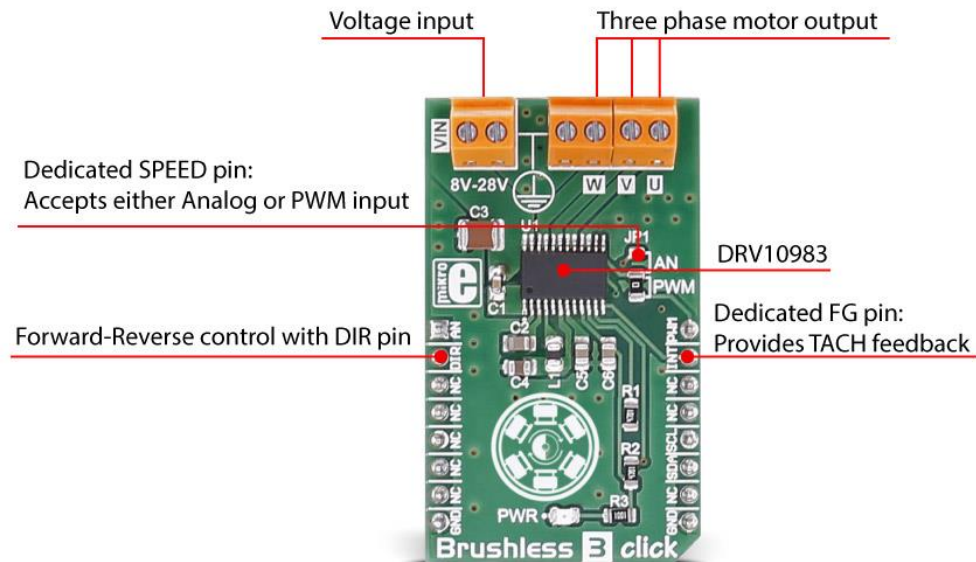


Saint-Étienne



Bordeaux

- Utilisation d'un pont en H triphasé
- Commande en I2C / **DRV10983**



<https://download.mikroe.com/documents/add-on-boards/click/brushless-3/brushless-3-click-schematic.pdf>



Paris-Saclay



Saint-Étienne

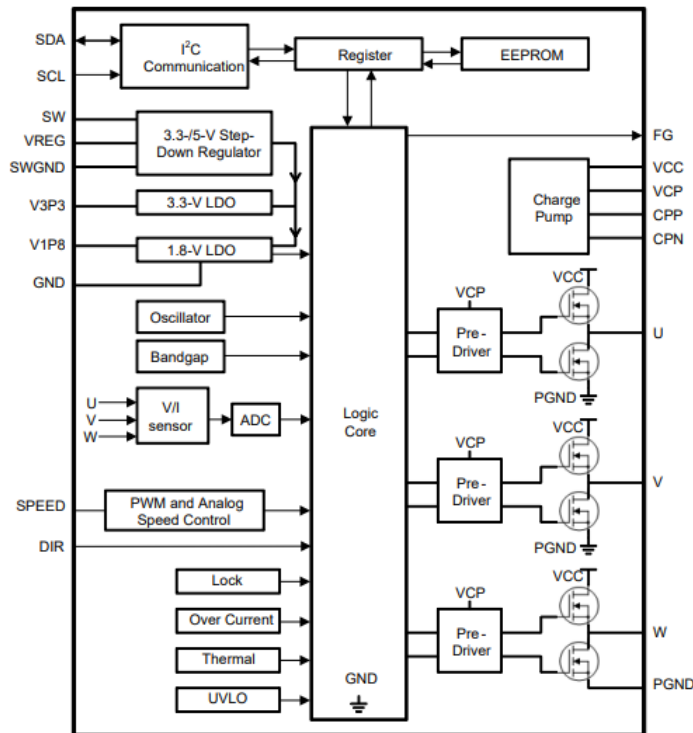
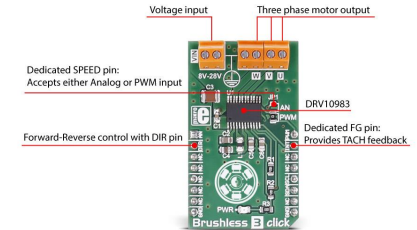


Bordeaux

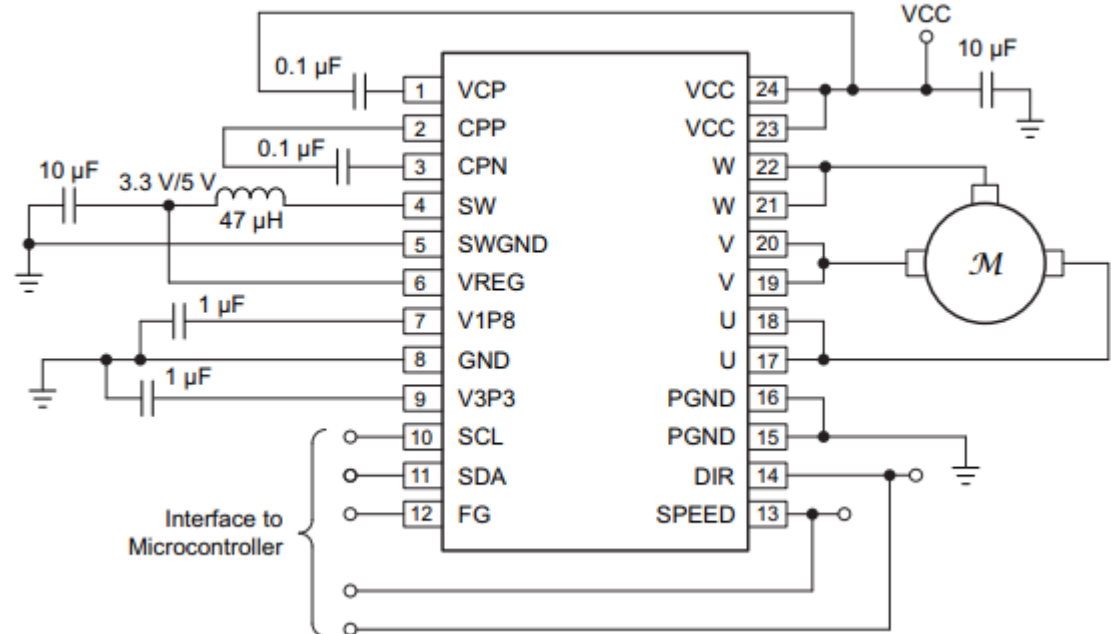
Moteur *brushless*

Pilotage

- Utilisation d'un pont en H triphasé
- Commande en I2C / **DRV10983**



Application Schematic



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

<https://www.mikroe.com/brushless-3-click>



Paris-Saclay



Saint-Étienne



Bordeaux

Pilotage

- Utilisation d'un pont en H triphasé
- Commande en I2C / **DRV10983**

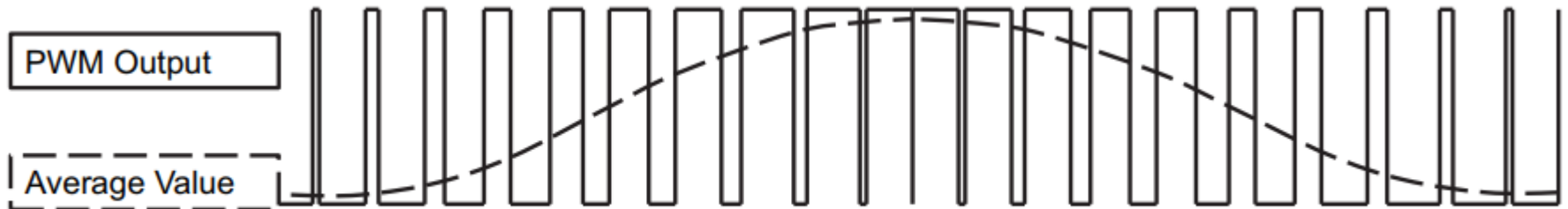
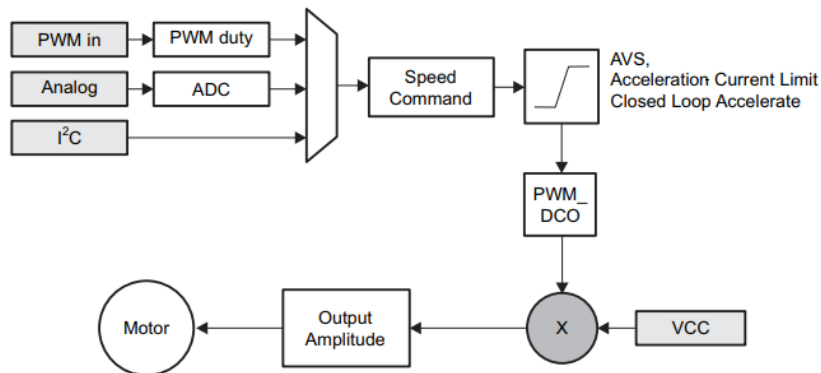
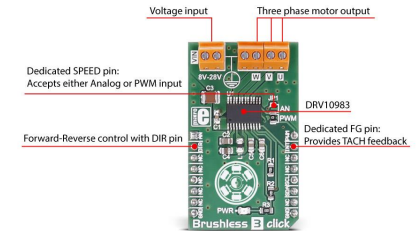


Figure 6. PWM Output and the Average Value



Paris-Saclay



Saint-Étienne



Bordeaux

8.5.1 I²C Serial Interface

The DRV10983 provides an I²C slave interface with slave address 101 0010. TI recommends a pullup resistor 4.7 k Ω to 3.3 V for I²C interface port SCL and SDA.

Four read/write registers (0x00:0x03) are used to set motor speed and control device registers and EEPROM. Device operation status can be read back through 12 read-only registers (0x10:0x1E). Another 12 EEPROM registers (0x20:0x2B) can be accessed to program motor parameters and optimize the spin-up profile for the application.

8.5.2 Register Map

Register Name	Address	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
SpeedCtrl1 ⁽¹⁾	0x00	SpdCtrl[7:0]							
SpeedCtrl2 ⁽¹⁾	0x01	OverRide							SpdCtrl[8]
DevCtrl ⁽¹⁾	0x02	enProgKey[7:0]							
EECtrl ⁽¹⁾	0x03	sleepDis	Sldata	eeRefresh	eeWrite				
Status ⁽²⁾	0x10	OverTemp	Slp_Stdby	OverCurr	MtrLck				
MotorSpeed1 ⁽²⁾	0x11	MotorSpeed[15:8]							
MotorSpeed2 ⁽²⁾	0x12	MotorSpeed[7:0]							
MotorPeriod1 ⁽²⁾	0x13	MotorPeriod[15:8]							
MotorPeriod2 ⁽²⁾	0x14	MotorPeriod[7:0]							
MotorKt1 ⁽²⁾	0x15	MotorKt[15:8]							
MotorKt2 ⁽²⁾	0x16	MotorKt[7:0]							
IPDPosition ⁽²⁾	0x19	IPDPosition[7:0]							
SupplyVoltage ⁽²⁾	0x1A	SupplyVoltage [7:0]							
SpeedCmd ⁽²⁾	0x1B	SpeedCmd [7:0]							
spdCmdBuffer ⁽²⁾	0x1C	spdCmdBuffer[7:0]							
FaultCode ⁽²⁾	0x1E			Lock5	Lock4	Fault3	Lock2	Lock1	Lock0



Paris-Saclay



Saint-Étienne



Bordeaux

Moteur *brushless*

Pilotage

Table 9. Register Description

Register			Data	Description
Name	Address	Bits		
SpeedCtrl1 ⁽¹⁾	0x00	7:0	SpdCtrl[7:0]	8 LSB of a 9-bit value used for the motor speed. If OverRide = 1, the user can directly control the motor speed by writing to the register through I ² C.
SpeedCtrl2 ⁽¹⁾	0x01	7	OverRide	Use to control the SpdCtrl [8:0] bits. If OverRide = 1, the user can write the speed command through I ² C.
		6:1	N/A	N/A
		0	SpdCtrl [8]	MSB of a 9-bit value used for the motor speed. If OverRide = 1, user can directly control the motor speed by writing to the register through I ² C. The MSB should be written first. Digital takes a snapshot of the MSB when LSB is written.
DevCtrl ⁽¹⁾	0x02	7:0	enProgKey[7:0]	8-bit byte use to enable programming in the EEPROM. To program the EEPROM, enProgKey = 1011 0110 (0xB6), followed immediately by eeWrite = 1. Otherwise, enProgKey value is reset.
EECtrl ⁽¹⁾	0x03	7	sleepDis	Set to 1 to disable entering into sleep or standby mode.
		6	Slldata	Set to 1 to enable the writing to the configuration registers.
		5	eeRefresh	Copy EEPROM data to register.
		4	eeWrite	Bit used to program (write) to the EEPROM.
		3:0	N/A	N/A
Status ⁽²⁾	0x10	7	OverTemp	Bit to indicate device temperature is over its limits.
		6	Slp_Stdby	Bit to indicate that device went into sleep or standby mode.
		5	OverCurr	Bit to indicate that a phase to phase overcurrent event happened. This is a sticky bit, once written, it stays high even if overcurrent signal goes low. This bit is cleared on Read.
		4	MtrLck	Bit to indicate that the motor is locked.



Paris-Saclay



Saint-Étienne



Bordeaux