

---

## Document technique - TMC4671 et TMCL-IDE

---

Sous-équipe :  
**Damien Delpy**  
**Victor Rosada-Canesin**

# 1 Introduction

Ce document technique est destiné à détailler toutes les informations nécessaires pour faire l'initialisation et le bon usage de la puce Trinamic TMC4671 [1]. Les tests ont été faites sur l'IDE proposée par Analog Devices, la TMCL-IDE, dont le manuel d'installation écrit par l'équipe se trouve dans [2].

## 2 Fondaments

Avant de rentrer dans le détail de comment contrôler un moteur avec la TMC4671, il faut expliquer quelques aspects fondamentaux.

### 2.1 FOC - Field Oriented Control

La carte Trinamic implémente dans son matériel un algorithme de contrôle moteur qui s'appelle le FOC - Field Oriented Control. Il s'agit d'une manière de contrôle du moteur à partir de deux vecteurs de force, un radial et autre tangentiel, nomées  $I_D$  et  $I_Q$  respectivement. Ces vecteurs sont donc convertis en tensions pour les phases du moteur, et ils peuvent être vus aussi comme des courants qui sont envoyés au moteur. L'objectif du FOC est de maximiser la courant  $I_Q$  et mettre à zéro la courant  $I_D$  pour que toute la courant envoyée au moteur soit utilisée pour son mouvement, comme illustré dans la figure suivante.

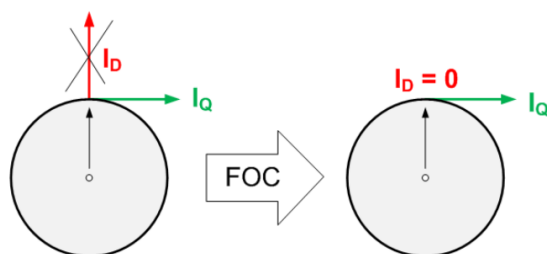


Figure 1: L'objectif du FOC

### 2.2 Angle électrique

Le moteur [3] utilisé possède 8 paires de pôles magnétiques. Ce que cela signifie en termes pratiques est que à chaque  $\frac{1}{8}$ ème de tour, le moteur se trouve dans une même configuration magnétique. Alors, en plus d'un angle mécanique, qui représente l'angle réel du rotor, c'est utile aussi de penser au concept d'un angle électrique. Ceci représente un angle qui varie de 0 à 360 degrés dans cet intervalle de  $\frac{1}{8}$ ème de tour. La figure suivante illustre la relation entre le nombre de paire de pôles d'un moteur et la différence entre une révolution électrique et mécanique/réelle.

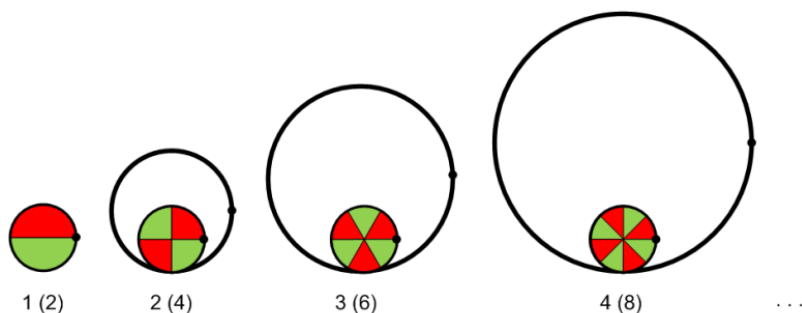


Figure 2: La roue interne représente la révolution électrique tandis que l'externe, la révolution mécanique

### 2.3 Encodeurs

Le robot utilise deux types d'encodeurs par moteur : un encodeur incrémental [4] (dit aussi encodeur ABN) et un encodeur absolu (dit aussi encodeur Hall), attaché au moteur [3]. Les encodeurs sont les capteurs qui fournissent l'information de l'angle électrique actuel du moteur à la TMC4671. Le ABN

est un encodeur de haute résolution (2000 pas par révolution) mais qui ne donne pas la position absolue du moteur; il n'envoie des pulses qu'après des incréments de mouvement et, pour ça, il s'appelle un encodeur incrémental. Dans l'autre côté, l'encodeur Hall est un encodeur absolu mais avec une baisse résolution de 60 degrés électriques.

## 2.4 Méthodes de contrôle et PID

Avec seulement la FOC, et sans prendre en compte les encodeurs, les capteurs de mouvement, on a déjà un mode de contrôle, qui s'appelle le *open loop* (à boucle ouverte). Par contre, cette méthode n'est pas responsive aux conditions externes du moteur (e.g. quand le moteur est bloqué) et c'est pour ça que la TMC4671 implémente aussi des contrôleurs PID [5]. Le mode de contrôle qui les utilisent est dit d'être à *boucle fermée* parce qu'il prend en compte l'information de position envoyée par les encodeurs.

Pour le mode *open loop*, il n'est possible de contrôler le moteur que par une vitesse donnée. Par contre, dans le mode à boucle fermée, il y a trois types de contrôle:

- Le contrôle en **courant**, qui peut être soit dans la direction  $I_Q$  (contrôle en torque), soit dans la direction  $I_D$  (contrôle en flux)
- Le contrôle en **vitesse**, qui a son tour dépend du contrôle en courant
- Le contrôle en **position**, qui a son tour dépend du contrôle en vitesse

Chacun des modes de contrôle est associé à un contrôleur PID, et les 3 contrôleurs sont enchaînés, comme montre la figure suivante, pour générer la tension finale que sera envoyée aux moteurs.

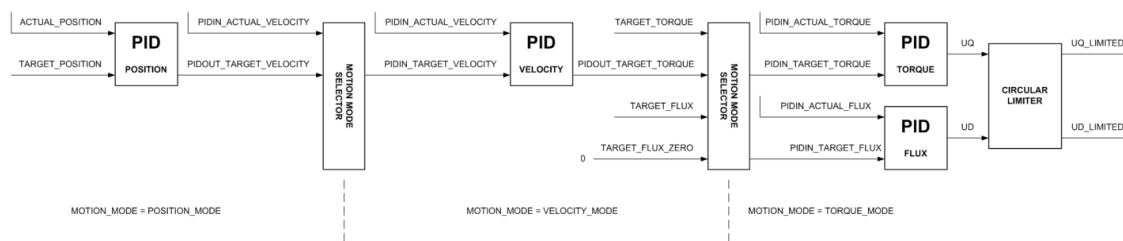


Figure 3: Les contrôleurs PID enchaînés

### 3 Paramétrage avec la TMCL-IDE

Après avoir connaissance de ces concepts, on peut rentrer maintenant dans la paramétrage initiale des registres de la TMC4671. C'est à partir registres de la TMC4671, définis dans la section 7 de la datasheet [1], qu'on peut l'envoyer des commandes et lire quelques valeurs importantes en temps réel (e.g. la vitesse actuelle du moteur). À cause de son interface graphique et la facilité d'usage, on recommande d'utiliser la TMCL-IDE pour cette partie (une fois qu'elle est installée à partir du guide proposé dans [2]). Pour aider à son utilisation, ce tutorial [6] proposé par Trinamic est un excellent point de départ.

### 3.1 Wizard Pool

L'IDE propose un outil de setup qui s'appelle le Wizard Pool qui fait presque la totalité de la configuration des registres. Par contre, il y a eu quelques registres qui doivent être définis à la main :

- **MOTOR\_TYPE\_N\_POLE\_PAIRS** : définir à 0x00030008 pour indiquer le type de moteur utilisé (BLDC, type 3) et son nombre de pair de pôles magnétiques (8).
- **ABN\_DECODER\_PPR** : définir à 0x000007D0 pour indiquer la résolution de l'encodeur incrémental ABN
- **Registres PID** pour le torque et flux moteur, ainsi que vitesse et position : à configurer. Les valeurs trouvés à partir des tests étaient 256 pour les registres P et I de torque, flux et vitesse e 64 pour les registres P et I de position.

En plus (et encore plus important), **les registres `ADC_Ix_SCALE_OFFSET` doivent être définis à 50** pour permettre la mesure de courant à la bonne unité (mA). Cela est fondamental pour respecter les limites de courant imposées par le moteur et garantir la sécurité de son utilisation. La courant est

mesurée à partir d'une tension de deux résistances en parallèle dans la carte de puissance, et la formule suivante indique tous les facteurs nécessaires pour le bon calcul de l'échelle:

$$i = \frac{V_{max}}{U16_{max}} \cdot \frac{\frac{V_M}{Amp}}{r} \cdot \frac{1}{Gain_{TMC}} [10^3 mA]$$

- $V_{max}$  : tension maximum accepté par la TMC4671 = 5V (datasheet)
- $U16_{max}$  : valeur maximum du registre de la TMC4671 = 65535 (datasheet)
- $V_M$  : tension mesurée (en V)
- $Amp$  : amplification (2 amplificateurs de 50V/V = 100V/V)
- $r$  : résistance (2 résistances de 7,8  $\Omega$  en parallèle = 3,9  $\Omega$ )
- $Gain_{TMC}$  : gain appliqué par la TMC4671 au signal = 256 (datasheet)

Après définir l'échelle, **c'est obligatoire d'établir une limite de courant au registre PID\_TORQUE\_FLUX\_LIMITS** pour respecter la spécification technique des moteurs. D'après son datasheet (disponible en [3]), on peut vérifier que la valeur maximum doit être 3120 (mA, courant nominale), mais les tests ont été faites avec une limite de 1000 (mA).

## 4 Comment contrôler un moteur?

Après avoir initialisé les registres de la TMC4671, les registres suivants sont nécessaires à configurer pour tourner le moteur à dépendre du mode désiré :

- Pour tourner le moteur en *open loop*, il faut mettre le registre MODE\_RAMP\_MODE\_MOTION à 8 (mode uq\_ud\_ext), configurer une vitesse en RPMe (Révolutions électriques Par Minute) dans le registre OPENLOOP\_VELOCITY\_TARGET et finalement donner une tension dans le registre UQ\_UD\_EXT suffisamment grande pour tourner le moteur (une valeur de 0x09130000 a été utilisé dans les tests pour envoyer une tension dans la direction Q)
- Pour tourner le moteur en boucle fermée, il faut choisir quel encodeur utiliser comme source de l'angle électrique dans PHI\_E\_SELECTION (3 pour l'ABN et 5 pour le Hall), configurer le mode de contrôle désiré dans le registre MODE\_RAMP\_MODE\_MOTION (1 pour torque, 2 pour vitesse et 3 pour position), mettre soit VELOCITY\_SELECTION soit POSITION\_SELECTION à 0 à dépendre du mode choisi pour avoir la bonne source de l'angle électrique et, finalement, mettre dans le registre PID\_XXX\_TARGET correspondant la valeur consigne désirée.

## 5 Références

- [1] Analog Devices, **TMC4671 Data Sheet**, Rev 1 : 02/2024. Disponible sur : <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/TMC4671.pdf>
- [2] DELPY Damien, **How to install TMCL-IDE**. Disponible sur : <https://github.com/damdami166/PFA-TMC-IDE>
- [3] Maxon Motor, **EC 45 Flat**. Disponible sur : [https://www.maxongroup.com/medias/sys\\_master/root/8833813184542/19-EN-264.pdf](https://www.maxongroup.com/medias/sys_master/root/8833813184542/19-EN-264.pdf)
- [4] ams OSRAM, **AS5047D: 14-Bit On-Axis Magnetic Rotary Position Sensor with 11-Bit Decimal and Binary Incremental Pulse Count**. Disponible sur : <https://www.mouser.com>
- [5] Wikipédia, **Régulateur PID**, 16 décembre 2024. Disponible sur : [https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9gulateur\\_PID](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9gulateur_PID)
- [6] Trinamic, **How to set up the TMC4671 FOC Servo Controller**, 10/2018. Disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=g2BHEdvW9bU>