

HEIG-VD

Institut d’automatisation industrielle

Route de Cheseaux 1

1401 Yverdon-les-Bains

|  |
| --- |
| Travail de Bachelor - Spécification |
| **Contrôleur Brushless Ultra Compact** |

Rédigé par  
 HEIG-VD :  
 ***Joan Bommottet***

Distribution  
 HEIG-VD :  
 ***Yves Chevalier***

**Historique du document**

|  |  |
| --- | --- |
| **Date** | **Changements** |
| 2021-03-02 | Version initiale |
| 2021-03-09 | Première mise en forme du document  Capteur SIN/COS & Hall analogiques rendus optionnels  Protocole CANopen simplifié en CAN sans application de la norme CiA402  Ajout d'un protocole UART  Ajout d'un interface PC  Ajout des contraintes de performances |
| 2021-03-16 | Deuxième mise en forme du document  Protocole CAN rendu optionnel pour le côté software  Révision des exigences sur l'alimentation du contrôleur  Révision des exigences sur les mesures de tension et de courant |
| 2021-03-23 | Révision de la performance de température de fonctionnement.  Deuxième révision des exigences sur l'alimentation du contrôleur  Ajout d'une mesure de température des moteurs |

Table des matières

[2 Références des tableaux 3](#_Toc67500144)

[1. Introduction 4](#_Toc67500145)

[1.1. Abréviations 4](#_Toc67500146)

[1.2. Contexte 4](#_Toc67500147)

[1.3. But du projet 4](#_Toc67500148)

[1.4. Approche suivie 4](#_Toc67500149)

[1.5. Structure du document 4](#_Toc67500150)

[2. Fonctionnalités 5](#_Toc67500151)

[2.1. Matériel compatible 5](#_Toc67500152)

[2.1.1. Moteur brushless 5](#_Toc67500153)

[2.1.2. Capteurs 6](#_Toc67500154)

[2.1.3. Alimentations 6](#_Toc67500155)

[2.2. Mesures internes 7](#_Toc67500156)

[2.2.1. Mesure de courant 7](#_Toc67500157)

[2.2.2. Mesure de tension 7](#_Toc67500158)

[1.1.1. Mesure de température 7](#_Toc67500159)

[1.2. Communications externes 8](#_Toc67500160)

[1.2.1. Messages transmis 8](#_Toc67500161)

[1.2.2. Protocoles de communications 8](#_Toc67500162)

[1.3. Interface PC 9](#_Toc67500163)

[Contraintes 9](#_Toc67500164)

[1.4. Contraintes Hardware 9](#_Toc67500165)

[1.5. Contraintes Software 9](#_Toc67500166)

[Performances 10](#_Toc67500167)

[1.6. Performances générales 10](#_Toc67500168)

[Annexes 11](#_Toc67500169)

[1.6.1. Table des paramètres 11](#_Toc67500170)

[1.6.2. Table des informations live 12](#_Toc67500171)

# Références des tableaux

[Tableau 1: Moteur brushless triphasé 5](#_Toc67500129)

[Tableau 2: Types d'asservissement moteur 5](#_Toc67500130)

[Tableau 3: Types de capteurs supportés 6](#_Toc67500131)

[Tableau 4: Gestion de l'alimentation 6](#_Toc67500132)

[Tableau 5: Mesures de courant 7](#_Toc67500133)

[Tableau 6: Mesures de tension 7](#_Toc67500134)

[Tableau 7: Mesures de température 7](#_Toc67500135)

[Tableau 8: Messages transmis lors de communications avec le contrôleur 8](#_Toc67500136)

[Tableau 9: Liste des protocoles de communication supportés par le contrôleur 8](#_Toc67500137)

[Tableau 10: Exigences de l'interface PC 9](#_Toc67500138)

[Tableau 11: Contraintes hardware 9](#_Toc67500139)

[Tableau 12: Contraintes software 9](#_Toc67500140)

[Tableau 13: Performances souhaitées 10](#_Toc67500141)

[Tableau A 1: Liste des paramètres modifiables du contrôleur 11](#_Toc67500142)

[Tableau A 2: Liste des informations pouvant être lues en live sur le contrôleur 12](#_Toc67500143)

# Introduction

## Abréviations

|  |  |
| --- | --- |
| Abréviation | Description |
| Tab. | Tableau (pour les références d'exigences) |

## Contexte

Ce projet est réalisé dans le cadre du travail de Bachelor de la HEIG-VD.

Le développement qui en découle se base sur un produit déjà existant appartenant à l’institut IAI de la HEIG-VD.

## But du projet

Ce projet a pour but de développer un contrôleur pour moteurs brushless qui soit à la fois compact et performant. Le but ultérieur est de pouvoir utiliser ce système dans des robots afin qu’ils puissent effectuer diverses tâches motorisées.

De plus, l’entièreté du développement sera déposée sur GitHub, afin qu’il devienne Open Source, dans le but de rendre cette technologie accessible.

## Approche suivie

Pour préparer cette spécification, un processus de dialogue avec mon professeur répondant est mis en place, de manière à s’assurer de la bonne compréhension mutuelle des exigences formulées. Le document de spécification s’insère par ailleurs dans ledit processus.

## Structure du document

Le chapitre 2 décrit les fonctionnalités du système dans sa globalité. Il peut s’agir d’une fonctionnalité déjà existante sur la carte électronique actuelle qu’il faut maintenir, d’une amélioration ou encore d’une nouvelle fonctionnalité.

Le chapitre 3 présente les contraintes liées aux fonctionnalités.

Le chapitre 4 détaille les exigences de performances.

# Fonctionnalités

Ce chapitre décrit les fonctionnalités du système dans sa globalité. Il peut s’agir d’une fonctionnalité déjà existante sur la carte électronique actuelle qu’il faut maintenir, d’une amélioration ou encore d’une nouvelle fonctionnalité.

## Matériel compatible

Cette section décrit les éléments extérieurs au système et leurs interactions.

### Moteur brushless

Tableau 1: Moteur brushless triphasé

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ID | Exigence | Min | Nom | Max | Unité |
| 1 | Nombre d'axes motorisés pouvant être piloté par le contrôleur | 1 | - | 2 | - |
| 2 | Puissance du moteur | 20 | - | 150 | W |
| 3 | Tension d'alimentation du moteur | 10 | 24 | 48 | V |
| 4.0 | Courant nominal du moteur | - | 6 | - | A |
| 4.1 | Amplitude du pic de courant d'un moteur supporté par le contrôleur | - | - | 15 | A |
| 4.2 | Durée du pic de courant | - | - | 5 | s |

#### Asservissement

Tableau 2: Types d'asservissement moteur

|  |  |
| --- | --- |
| ID | Exigence |
| 1 | Le contrôleur doit permettre d’asservir le moteur avec une commande de couple. |
| 2 | Le contrôleur doit permettre d’asservir le moteur avec une commande en vitesse. |
| 3.0 | Le contrôleur doit permettre d’asservir le moteur avec une commande de position. |
| 3.1 | Le capteur utilisé doit être en mesure d'atteindre la précision souhaitée dans le cas d'une commande de position. |
| 4.0 | Il doit être possible de choisir le type d’asservissement du moteur. |
| 4.1 | Il devrait être possible de pouvoir changer de type d’asservissement en cours de mouvement du moteur. Cette exigence ne s’applique que pour l’asservissement de couple et de vitesse. |

### Capteurs

Tableau 3: Types de capteurs supportés

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ID | Exigence | Hardware | Software |
| 1 | Le contrôleur doit être conçu de telle manière à pouvoir gérer l’acquisition de la position du rotor du moteur via différentes technologies de capteurs. | | |
| 2 | Aucun capteur (technologie "Sensorless") | x | Optionnel |
| 3 | 3 sondes de Hall digitales | x | x |
| 4 | 3 sondes de Hall analogiques | x | Optionnel |
| 5 | Codeur incrémental digital (Quadrature) | x | x |
| 6 | Codeur incrémental analogique (SIN/COS) | x | Optionnel |
| 7 | Codeur incrémental (TTL) | x | x |
| 8 | Codeur absolu analogique avec sortie 4 à 20mA | x | Optionnel |

(x = implémenté)

### Alimentations

Tableau 4: Gestion de l'alimentation

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ID | Exigence | Min | Nom | Max | Unité |
| 1 | Tension d'alimentation logique du contrôleur | - | 5 | - | V |
| 2 | L'alimentation logique du contrôleur doit être faite par une source externe. | | | | |
| 3 | Si il est impossible de fournir la tension logique par une source d'alimentation externe (p.ex : montage embarqué sur batterie), celle-ci doit être générée à partir de la tension d'alimentation du moteur. | | | | |
| 4 | Augmentation de la tension d'alimentation du moteur (Tab. 1 - ID3) autorisant de restituer l'énergie en cas de freinage. | 0% | - | +20% | V |
| 5.0 | Si le seul de l'exigence Tab. 4 – ID4 est franchi, alors le contrôleur doit dissiper cette énergie par une résistance de freinage. | | | | |
| 5.1 | La résistance de freinage doit être placée sur un PCB séparé du contrôleur. | | | | |
| 6 | Si l'alimentation est faite par une batterie, alors le contrôleur peut directement restituer l'énergie sans passer par la résistance de freinage. | | | | |
| 7.0 | La valeur de seuil de l'exigence Tab. 4 – ID4 doit être fixée par l'utilisateur. | | | | |
| 7.1 | Il doit être possible de paramétrer la valeur de seuil de l'exigence Tab. 4 – ID4 sans avoir à reprogrammer le contrôleur. | | | | |
| 8 | Il doit être possible d'indiquer le type d'alimentation du contrôleur sans avoir à le reprogrammer. | | | | |

## Mesures internes

Cette section décrit les différentes mesures internes à la carte électronique du contrôleur.

### Mesure de courant

Tableau 5: Mesures de courant

|  |  |
| --- | --- |
| ID | Exigence |
| 1 | Le contrôleur doit mesurer le courant circulant dans au moins deux des trois phases du moteur. |

### Mesure de tension

Tableau 6: Mesures de tension

|  |  |
| --- | --- |
| ID | Exigence |
| 1 | Le contrôleur doit mesurer la tension d’alimentation d'au moins une des trois phases du moteur. |
| 2 | Le contrôleur doit mesurer sa propre tension d'alimentation. |

### Mesure de température

Tableau : Mesures de température

|  |  |
| --- | --- |
| ID | Exigence |
| 1 | Le contrôleur doit pouvoir mesurer la température du moteur. |

## Communications externes

### Messages transmis

Tableau 8: Messages transmis lors de communications avec le contrôleur

|  |  |
| --- | --- |
| ID | Exigence |
| 1 | Il doit être possible de lire la valeur d'un paramètre du contrôleur. (Voir Tab. A1) |
| 2 | Il doit être possible d'écrire la valeur d'un paramètre du contrôleur. (Voir Tab. A1) |
| 3 | Il doit être possible de lire des informations en live au contrôleur. (Voir Tab. A2) |
| 4.0 | Quel que soit le protocole de communication utilisé, il doit être possible de définir une valeur de consigne pour le moteur. |
| 4.1 | La valeur de la consigne doit être traitée en fonction du type d'asservissement souhaité du moteur. |

### Protocoles de communications

Tableau 9: Liste des protocoles de communication supportés par le contrôleur

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ID | Exigence | Hardware | Software |
| 1 | Plusieurs protocoles de communication doivent être mis en place. | | |
| 2 | Controller Area Network (CAN) | x | Optionnel |
| 3 | Inter-Integrated Circuit (I2C) | x | x |
| 4 | Serial Peripheral Interface (SPI) | x | Optionnel |
| 5 | Serial Communications Interface (SCI / UART) | x | x |
| 6 | Quel que soit le protocole utilisé, l'ensemble des exigences du Tab. 7 doivent être remplies. | | |

(x = implémenté)

## Interface PC

Tableau 10: Exigences de l'interface PC

|  |  |
| --- | --- |
| ID | Exigence |
| 1 | Un logiciel PC permettant d'interagir avec le contrôleur doit être programmé. |
| 2 | Ce programme doit communiquer avec le contrôleur par le biais d'un port série RS232 (UART pour le contrôleur). |
| 3 | Le logiciel doit pouvoir envoyer une commande de consigne au contrôleur. |
| 4 | Le logiciel doit permettre à l'utilisateur de paramétrer le contrôleur. (Voir Tab. A1) |
| 5 | Il doit être possible de lire les paramètres du contrôleur (Voir Tab. A1) et de les afficher à l'écran. |
| 6 | L'ensemble des informations en live (Voir Tab. A2) doit pouvoir être visualisé en direct sur des graphiques adaptés. |

# Contraintes

## Contraintes Hardware

Tableau 11: Contraintes hardware

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ID | Exigence | Min | Nom | Max | Unité |
| 1 | Fréquence de découpage du pont triphasé | 20 | - | 100 | kHz |
| 2 | Longueur de la carte électronique | - | - | 100 | mm |
| 3 | Largeur de la carte électronique | - | - | 80 | mm |
| 4 | Le processeur du contrôleur doit être un DSP de la marque Texas Instrument et de la famille TMS320F28x. | | | | |

## Contraintes Software

Tableau 12: Contraintes software

|  |  |
| --- | --- |
| ID | Exigence |
| 1 | Le programme du contrôleur doit être écrit dans le langage C++. |

# Performances

## Performances générales

Tableau 13: Performances souhaitées

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ID | Exigence | Min | Nom | Max | Unité |
| 1 | Fréquence d'échantillonnage de la boucle de régulation. | 1 | - | - | kHz |
| 2.0 | Rendement global du contrôleur à la valeur Min de la contrainte Tab. 12 - ID1. | 95 | - | - | % |
| 2.1 | Rendement global du contrôleur à la valeur Max de la contrainte Tab. 12 - ID1. | 85 | - | - | % |
| 3 | Température de fonctionnement | -40 | - | 100 | °C |
| 4 | Le contrôleur doit être conforme aux directives CEM. | | | | |

# Annexes

### Table des paramètres

La table des paramètres modifiables du contrôleur n'est pas exhaustive. Elle correspond aux paramètres à pouvoir lire ou écrire au minimum via un protocole de communication ou l'interface PC. Cette liste peut donc grandir au fur et à mesure du projet en fonction du temps restant.

Tableau A 1: Liste des paramètres modifiables du contrôleur

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ID | Type de donnée | Description | Unité |
| Paramètres pour chaque axe moteur | | | |
| 1 | Booléen | Axe moteur utilisé | - |
| 2 | Double | Puissance du moteur | W |
| 3 | Double | Tension d'alimentation du moteur | V |
| 4 | Double | Courant nominal du moteur | A |
| 5 | Integer | Nombre de paires de pôles | - |
| Paramètres pour le capteur de chaque axe moteur | | | |
| 6 | Integer | Type de capteur (correspond à ceux présentés au Tab. 3) | - |
| Paramètres du contrôleur pour chaque axe moteur | | | |
| 7 | Integer | Type d'asservissement | - |
| Paramètres du contrôleur globaux | | | |
| 8 | Booléen | Type d'alimentation (1 = sur batterie) | - |

### Table des informations live

1. La table des informations live du contrôleur n'est pas exhaustive. Elle correspond aux diverses informations pouvant être lues en direct par le biais d'un protocole de communication ou l'interface PC. Cette liste peut donc grandir au fur et à mesure du projet en fonction du temps restant.

Tableau A 2: Liste des informations pouvant être lues en live sur le contrôleur

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ID | Type de donnée | Description | Unité |
| Informations live pour chaque axe moteur | | | |
| 1 | Booléen | Est-ce que le moteur tourne ? (oui = 1, non = 0) | - |
| 2 | Double | La position instantanée. | rad |
| 3 | Double | La vitesse instantanée | rad/s |
| 4 | Double | Le couple instantané | Nm |
| 5 | Double | Le courant dans chaque phase | A |