

ELECTRONIQUE DE COMMANDE POUR MAIN ROBOTISEE

REGISTRES INTERNES

1. Modes de fonctionnement

La main robotisée est commandée depuis le PC. Elle peut fonctionner suivant 2 modes de distincts. Le choix du mode de fonctionnement s'effectue par l'écriture de valeurs spécifiques dans un registre nommé `MODE_CMD_MOTEUR`. Le mode de fonctionnement peut être configuré indépendamment d'une voie à l'autre.

Mode consigne de position

Dans ce mode, le PC écrit les consignes de positions dans le registre nommé `"CONSIGNE_TENSION_POSITION"` de chaque voie. Le microcontrôleur va alors placer et maintenir chaque moteur à la position indiquée à l'aide de l'algorithme suivant :

- Lecture de la position actuelle `"POSITION_CODEUR"`
- Calcul de l'écart actuel : (Consigne de position – Position actuelle)
$$ECART_POSITION = CONSIGNE_TENSION_POSITION - POSITION_CODEUR$$
- Calcul du cumul des écarts : (Cumul des Ecarts + Ecart Actuel)
$$SOMME_ECARTS = SOMME_ECARTS + ECART_POSITION$$
- Calcul de la variation de l'écart : (Ecart Actuel – Ecart Précédent)
$$DELTA_ECARTS = ECART_POSITION - MEMO_ECARTS$$
- Calcul de la tension à appliquer au moteur
($Ceéf_p * Ecart\ Actuel$) + ($Ceéf_I * Cumul\ des\ Ecarts$) + ($Ceéf_d * Variation\ de\ l'écart$)
$$SORTIE_PWM =$$
$$(ECART_POSITION * (COEF_P / 1000)) +$$
$$(POS_ERROR_SUM * (COEF_I / 10000)) +$$
$$(DELTA_ECARTS * (COEF_D / 100))$$
- Appliquer la nouvelle tension au moteur.

Les opérations ci-dessus sont répétées à raison d'une fois par ms pour chaque voie et à 166.6 microsecondes d'intervalle entre 2 voies consécutives.

Remarques :

La position d'origine est fixée à 0 lorsque le doigt est ouvert au maximum et augmente lorsque le doigt se ferme.

La tension effectivement appliquée au moteur est limitée en négatif à la valeur du paramètre `MIN_SORTIE_PWM` et en positif à celle de `MAX_SORTIE_PWM`. La valeur du registre `SORTIE_PWM` n'est pas modifiée lorsque ces limites sont appliquées.

La valeur de `SOMME_ECARTS` est limitée en négatif à la valeur du paramètre `MIN_SOMME_ECARTS` et en positif à celle de `MAX_SOMME_ECARTS`

Mode consigne de tension

Dans ce mode, le PC écrit les consignes de tension dans le registre nommé `"CONSIGNE_TENSION_POSITION"` de chaque voie.

Le microcontrôleur applique directement ces tensions aux moteurs. Une tension négative ouvre le doigt alors qu'une tension positive le ferme.

Aucun contrôle de position minimale ou maximale n'est effectué dans ce mode

2. Mémorisation des registres

Les registres de paramètres sont enregistrés en mémoire permanente de manière à ne pas être perdu lors de la mise hors tension de la main.

Les registres de consignes susceptibles d'être modifiés à des cadences élevées ne sont pas enregistrés en mémoire.

Ainsi à la mise sous tension :

- les registres `MODE_CMD_MOTEUR` et `CONSIGNE_TENSION_POSITION` sont initialisés à 0.
- Le registre `LIMITE_COURANT` est initialisé avec la valeur de `LIMITE_COURANT_DEFAULT`.

Les registres d'états ne sont pas non plus enregistrés en mémoire.

Pour info :

Les mémoires utilisées pour la main autorisent un nombre de cycles d'écriture relativement élevé (entre 1 et 10 millions selon les données constructeur).

Toutefois, ce nombre de cycle sera atteint rapidement si la cadence d'écriture est élevée.

Par exemple : A raison d'une écriture toute les 10 ms, les 1 million de cycles seront atteints en un peu moins de 28 heures.

LISTE DES REGISTRES DE CONSIGNES ET DE PARAMETRAGE

N° de registre	Type de variable	Accès	Mode	Mémorisation	NOM REGISTRE	Description succincte
0	UVAR_32	R/W	Tous modes	Non	MODE_CMD_MOTEUR	Mode de commande du moteur : (Arrêt, mode position, mode tension)
1	VAR_32	R/W	Tous modes	Non	CONSIGNE_TENSION_POSITION	Consigne moteur : Position (en mode position) / tension (en mode tension)
2	UVAR_32	R/W	Tous modes	Non	LIMITE_COURANT	Consigne de courant
3	UVAR_32	R/W	Tous modes	Oui	LIMITE_COURANT_DEFAULT	Consigne de courant par défaut à la mise sous tension
4	UVAR_32	R/W	Non utilisé	Oui	LIMITE_COURANT_START_MOT	Non utilisé
5	UVAR_32	R/W	Non utilisé	Oui	TEMPS_DEMARRAGE_MOT	Non utilisé
6	UVAR_32	R/W	Position	Oui	DELAI_MODE_PI	Consigne de temps pour passage en mode PI
7	VAR_32	R/W	Position	Oui	DELTA_MODE_PI	Consigne d'erreur pour passage en mode PI
8	UVAR_32	R/W	Position	Oui	COEF_P	Coefficient utilisé pour le calcul de la part de commande proportionnelle à l'écart
9	UVAR_32	R/W	Position	Oui	COEF_I	Coefficient utilisé pour le calcul de la part de commande proportionnelle au cumul des écarts
10	UVAR_32	R/W	Position	Oui	COEF_D	Coefficient utilisé pour le calcul de la part de commande proportionnelle à la différence entre l'écart actuel et l'écart précédent
11	VAR_32	R	Position	Oui	CONSIGNE_POSITION_MIN	Valeur minimum de la consigne de position
12	VAR_32	R	Position	Oui	CONSIGNE_POSITION_MAX	Valeur maximum de la consigne de position
13	VAR_32	R/W	Position	Oui	MIN_SORTIE_PWM	Butée négative de la commande moteur
14	VAR_32	R/W	Position	Oui	MAX_SORTIE_PWM	Butée positive de la commande moteur
15	VAR_33	R/W	Position	Oui	MIN_SOMME_ECARTS	Butée négative du cumul des erreurs
16	VAR_34	R/W	Position	Oui	MAX_SOMME_ECARTS	Butée positive du cumul des erreurs
17	UVAR_32	R/W	Non utilisé	Oui	TEMPS_DETECT_ROTATION	Non utilisé
18	UVAR_32	R/W	Non utilisé	Oui	POINTS_DETECT_ROTATION	Non utilisé
19	UVAR_32	R	Tous modes	Oui	DIR_MOTEUR_CODEUR	Sens de commande du moteur et sens de comptage des tops codeur
20	UVAR_32	R/W	Tous modes	Oui	TEMPS_CALCUL_VITESSE	Période de calcul de la moyenne de vitesse
21	UVAR_32	R	Non utilisé	Oui	RESERVE_RW2	Non utilisé
22	UVAR_32	R	Non utilisé	Oui	RESERVE_RW3	Non utilisé
23	UVAR_32	R	Non utilisé	Oui	RESERVE_RW4	Non utilisé
24	UVAR_32	R	Tous modes	Oui	ID_DROITE_GAUCHE	Identification main doit ou gauche
25	UVAR_32	R	Tous modes	Oui	EMPLACEMENT_DIR_MOT_COD	N° du registre contenant DIR_MOTEUR_CODEUR

LISTE DES REGISTRES D'ETATS

N° de registre	Type de variable	Accès	Mode	Mémorisation en EEPROM	NOM REGISTRE	Description succincte
26	VAR_32	R	Tous modes	Non	POSITION_CODEUR	Position codeur
27	UVAR_32	R	Tous modes	Non	VITESSE_MOTEUR	Vitesse de l'arbre moteur (après moto réducteur)
28	VAR_32	R	Tous modes	Non	MEMO_POSITION	Mémorisation de la dernière position (utilisé pour le calcul de vitesse)
29	VAR_32	R	Position	Non	ECART_POSITION	Ecart entre consigne de position et position
30	VAR_32	R	Position	Non	SOMME_ECARTS	Cumul des écarts entre consigne de position et position
31	VAR_32	R	Position	Non	DELTA_ECARTS	Différence entre l'écart actuel et l'écart précédent
32	VAR_32	R	Position	Non	MEMO_ECARTS	Mémorisation du dernier écart
33	VAR_32	R	Position	Non	SORTIE_PWM	Consigne de tension du moteur avant application de la butée $SORTIE_PWM = CALCUL_I + CALCUL_D + CALCUL_I$
34	UVAR_32	R	Position	Non	TEMPO_MODE_PI	Temporisation en cours pour passage en mode PI
35	VAR_32	R	Position	Non	CALCUL_P	Part de la commande moteur proportionnelle à l'écart $CALCUL_P = ECART_POSITION * (COEF_P / 1000)$
36	VAR_32	R	Position	Non	CALCUL_I	Part de la commande moteur proportionnelle au cumul des écarts $CALCUL_I = SOMME_ECARTS * (COEF_I / 10000)$
37	VAR_32	R	Position	Non	CALCUL_D	Part de commande moteur proportionnelle à la différence entre l'écart actuel et l'écart précédent. $CALCUL_D = DELTA_ECARTS * (COEF_D / 100)$
38	VAR_32	R	Position	Non	POSITION_MIN_ATTEINTE	Position minimale atteinte. Réinitialisé à chaque nouvelle consigne de position. Peut être utilisé pour calculer le dépassement de consigne
39	VAR_32	R	Position	Non	POSITION_MAX_ATTEINTE	Position maximale atteinte. Réinitialisé à chaque nouvelle consigne de position. Peut être utilisé pour calculer le dépassement de consigne
40	UVAR_32	R	Non utilisé	Non	ETAPE_INIT_DOIGT	Non utilisé
41	UVAR_32	R	Tous modes	Non	VERSION	Version logicielle du microcontrôleur et info main droite ou gauche

R : Lecture seule
 R/W : Lecture et écriture
 VAR_32 : Variable entière signée codée sur 32 bits
 UVAR_32 : Variable entière non signée codée sur 32 bits

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
0	MODE_CMD_MOTEUR	UVAR_32	R/W	TOUS MODE	NON

Ce registre permet de sélectionner le mode de fonctionnement de la voie. La valeur qu'il contient indique au microcontrôleur la manière de commander la voie.
Trois modes de fonctionnement sont possibles :

0 = Mode STOP. Aucune commande n'est appliquée au moteur

1 = Mode consigne de POSITION.
Le registre "CONSIGNE_TENSION_POSITION" contient la consigne de position

2 = Mode consigne de TENSION.
Le registre "CONSIGNE_TENSION_POSITION" contient la consigne de tension

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
1	CONSIGNE_TENSION_POSITION	VAR_32	R/W	TOUS MODE	NON

Ce registre contient la valeur de consigne de la voie. Le registre "MODE_CMD_MOTEUR" détermine le type de cette consigne

- "MODE_CMD_MOTEUR" = 1 (MODE CONSIGNE DE POSITION)
Le registre "CONSIGNE_TENSION_POSITION" contient la consigne de position à atteindre et maintenir.
La consigne est exprimée en points (codeur incrémental)
Valeur minimale = CONSIGNE_POSITION_MIN
Valeur maximale = CONSIGNE_POSITION_MAX
- "MODE_CMD_MOTEUR" = 2 (MODE CONSIGNE DE TENSION)
Le registre "CONSIGNE_TENSION_POSITION" contient la consigne de tension à appliquer
Une tension négative ouvre le doigt alors qu'une tension positive le ferme
La tension est exprimée 1/100 de volt. (Exemple 825 correspond à 8.25V)
La valeur minimale est de -1150 (-11.5V)
La valeur maximale est de 1150 (11.5V)

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
2	LIMITE_COURANT	UVAR_32	R/W	TOUS MODE	NON

Ce registre contient la consigne de limite de courant de la voie.

La valeur contenue dans ce registre représente la tension de consigne appliquée à l'entrée du comparateur du système de contrôle du courant

- La consigne est exprimée en points (Convertisseur de numérique en analogique)
- La tension obtenue à l'entrée du comparateur est égale à $(LIMITE_COURANT * 3.3) / 65535$
- Valeur minimale = 0
- Valeur maximale = 36000

A la mise sous tension, ce registre est initialisé avec la valeur du registre LIMITE_COURANT_DEFAULT.

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
3	LIMITE_COURANT_DEFAULT	UVAR_32	R/W	TOUS MODE	OUI

Ce registre est utilisé pour initialiser le registre LIMITE_COURANT à la mise sous tension de la main.
- Valeur minimale = 0
- Valeur maximale = 36000

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
4	LIMITE_COURANT_START_MOT	UVAR_32	R/W	NON UTILISE	OUI

Non utilisé

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
5	TEMPS_DEMARRAGE_MOT	UVAR_32	R/W	NON UTILISE	OUI

Non utilisé

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
6	DELAI_MODE_PI	UVAR_32	R/W	POSITION	OUI

Consigne de temps pour passage en mode PI
Ce paramètre permet d'améliorer la stabilité lorsque le capteur de position est de type analogique.

Sur la main robotisée il ne présente aucun avantage car le capteur de position est numérique.
Configuré à la valeur 100, il n'a quasiment aucun effet sur le fonctionnement de la main robotisée.

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
7	DELTA_MODE_PI	VAR_32	R/W	POSITION	OUI

Consigne d'écart pour passage en mode PI
Ce paramètre permet d'améliorer la stabilité lorsque le capteur de position est de type analogique.

Sur la main robotisée il ne présente aucun avantage car le capteur de position est numérique.
Configuré à la valeur 2, il n'a quasiment aucun effet sur le fonctionnement de la main robotisée.

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
8	COEF_P	UVAR_32	R/W	POSITION	OUI
Coefficient utilisé pour le calcul de la part de commande proportionnelle à l'écart entre la consigne et la position. $\text{CALCUL_P} = \text{ECART_POSITION} * (\text{COEF_P} / 1000)$					

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
9	COEF_I	UVAR_32	R/W	POSITION	OUI
Coefficient utilisé pour le calcul de la part de commande proportionnelle à la somme des écarts entre la consigne et la position. $\text{CALCUL_I} = \text{SOMME_ECARTS} * (\text{COEF_I} / 10\ 000)$					

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
10	COEF_D	UVAR_32	R/W	POSITION	OUI
Coefficient utilisé pour le calcul de la part de commande proportionnelle à la variation de l'écart entre la consigne et la position. $\text{CALCUL_D} = \text{DELTA_ECARTS} * (\text{COEF_D} / 100)$					

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
11	CONSIGNE_POSITION_MIN	VAR_32	R	POSITION	OUI
Limite négative de la consigne de position. (Registre CONSIGNE_TENSION_POSITION en mode consigne de position)					

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
12	CONSIGNE_POSITION_MAX	VAR_32	R	POSITION	OUI
Limite positive de la consigne de position. (Registre CONSIGNE_TENSION_POSITION en mode consigne de position)					

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
13	MIN_SORTIE_PWM	VAR_32	R/W	POSITION	OUI
Limite négative de la tension appliquée au moteur (SORTIE_PWM en mode consigne de position). La valeur est exprimée en points PWM. Tension en Volt = MIN_SORTIE_PWM *12 V / 4095					

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
14	MAX_SORTIE_PWM	VAR_32	R/W	POSITION	OUI
Limite positive de la tension appliquée au moteur (SORTIE_PWM en mode consigne de position). La valeur est exprimée en points PWM. Tension en Volt = MAX_SORTIE_PWM *12 V / 4095					

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
15	MIN_SOMME_ECARTS	VAR_32	R/W	POSITION	OUI
Limite négative du cumul des écarts (Registre SOMME_ECARTS)					

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
16	MAX_SOMME_ECARTS	VAR_32	R/W	POSITION	OUI
Limite positive du cumul des écarts (Registre SOMME_ECARTS)					

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
17	TEMPS_DETECT_ROTATION	UVAR_32	R/W	AUCUN	OUI
Non utilisé					

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
18	POINTS_DETECT_ROTATION	UVAR_32	R/W	AUCUN	OUI

Non utilisé

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
19	DIR_MOTEUR_CODEUR	UVAR_32	R	TOUS	OUI

Le bit 0 de ce registre indique si le sens de commande du moteur.
0 = les consignes de tension sont appliquées directement au moteur.
1 = les consignes de tension sont inversées avant d'être appliquées au moteur.

Le bit 1 de ce registre indique le sens de comptage des impulsions codeur.
0 = sens direct
1 = sens inverse

La valeur de ce registre dépend de la configuration matérielle et ne doit pas être modifiée.

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
20	TEMPS_CALCUL_VITESSE	UVAR_32	R/W	TOUS	OUI

Période de calcul de la vitesse de rotation exprimé en millisecondes. La vitesse de rotation est obtenue par la moyenne des mouvements enregistrés pendant une période définie par ce paramètre. La plage de réglage autorisée est comprise entre 1 et 200 ms.

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
21	RESERVE_RW2	UVAR_32	R	AUCUN	OUI

Non utilisé

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
22	RESERVE_RW3	UVAR_32	R	AUCUN	OUI

Non utilisé

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
23	RESERVE_RW4	UVAR_32	R	AUCUN	OUI

Non utilisé

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
24	ID_DROITE_GAUCHE	UVAR_32	R	TOUS	OUI

Identification de la main droite ou gauche
1 = Main droite
2 = Main gauche

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
25	EMPLACEMENT_DIR_MOT_COD	UVAR_32	R	TOUS	OUI

Ce registre est utilisé en interne. Il contient le numéro de registre de DIR_MOTEUR_CODEUR.

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
26	POSITION_CODEUR	UVAR_32	R	TOUS	NON

Position du codeur incrémental. Cette valeur est mise à jour une fois par millisecondes et exprimée en points

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
27	VITESSE_MOTEUR	UVAR_32	R	TOUS	NON

Valeur absolue de la vitesse rotation de l'arbre moteur (après moto réducteur) exprimée en centièmes de tour par minute. (Vitesse en tr/mn = VITESSE_MOTEUR / 100)

La vitesse de rotation est obtenue par la moyenne des mouvements enregistrés pendant une période définie par le paramètre TEMPS_CALCUL_VITESSE

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
28	MEMO_POSITION	VAR_32	R	TOUS	NON

Mémorisation de la position pour calcul de la vitesse

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
29	ECART_POSITION	VAR_32	R	POSITION	NON

Ecart entre la consigne de position et la position

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
30	POS_ERRORS_SUM	VAR_32	R	POSITION	NON

Cumul des écarts entre la consigne de position et la position

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
31	DELTA_ECARTS	VAR_32	R	POSITION	NON

Variation de l'écart : (Ecart Actuel – Ecart Précédent)
 $\text{DELTA_ECARTS} = \text{ECART_POSITION} - \text{MEMO_ECARTS}$

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
32	MEMO_ECARTS	VAR_32	R	POSITION	NON

Enregistrement de l'écart actuel pour calcul de la prochaine variation de l'écart

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
33	SORTIE_PWM	VAR_32	R	POSITION	NON

Tension de commande calculée à appliquer au moteur. La tension effectivement appliquée est limitée en négatif à MIN_SORTIE_PWM et en positif à MAX_SORTIE_PWM.
 La valeur est exprimée en points PWM.
 $\text{Tension en Volt} = \text{SORTIE_PWM} * 12 \text{ V} / 4095$

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
34	TEMPO_MODE_PI	UVAR_32	R	POSITION	NON

Temporisation (ms) : Temps restant avant de ne plus tenir compte de CALCUL_D pour le calcul de SORTIE_PWM

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
35	CALCUL_P	VAR_32	R	POSITION	NON

Part de la commande moteur (SORTIE_PWM) proportionnelle à l'écart entre la consigne et la position
 $\text{CALCUL_P} = \text{ECART_POSITION} * (\text{COEF_P} / 1000)$

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
36	CALCUL_I	VAR_32	R	POSITION	NON

Part de la commande moteur (SORTIE_PWM) proportionnelle au cumul des écarts entre la consigne et la position

$$\text{CALCUL_I} = \text{POS_ERRORS_SUM} * (\text{COEF_I} / 10000)$$

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
37	CALCUL_D	VAR_32	R	POSITION	NON

Part de la commande moteur (SORTIE_PWM) proportionnelle à la variation de l'écart entre la consigne et la position

$$\text{CALCUL_D} = \text{POS_ERRORS_DELTA} * (\text{COEF_D} / 100)$$

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
38	POSITION_MIN_ATTEINTE	VAR_32	R	POSITION	NON

Position minimale atteinte. Ce registre est réinitialisé à chaque nouvelle consigne de position. Il peut être utilisé pour calculer le dépassement lorsque la nouvelle consigne est inférieure à la position

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
39	POSITION_MAX_ATTEINTE	VAR_32	R	POSITION	NON

Position maximale atteinte. Ce registre est réinitialisé à chaque nouvelle consigne de position. Il peut être utilisé pour calculer le dépassement lorsque la nouvelle consigne est supérieure à la position

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
40	ETAPE_INIT_DOIGT	UVAR_32	R	AUCUN	NON

Non utilisé
N° de l'étape en cours dans la procédure d'initialisation.

N°	NOM	TYPE	ACCES	MODE	EEPROM
41	VERSION	UVAR_32	R	AUCUN	NON

Version logicielle du microcontrôleur. Ce registre contient aussi l'information main droite ou gauche.

Bits 7 à 0 – Indice de révision
 Bits 15 à 8 – Numéro de version
 Bits 31 à 30 – information main
 01 Main droite
 02 Main gauche