

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : ELECTROTECHNIQUE

Spécialité : COMMANDES ELECTRIQUES

Par: LALLAM MOHAMMED SADJID et ZENNAKI HADJ AHMED

Sujet

Étude, câblage et contrôle d'un CNC 100x100

Soutenu publiquement, le 05/06/2024 , devant le jury composé de :

Mr AEK MECHERNENE	MCA	Université de Tlemcen	Président
Mr Y. DRIS	MCB	Université de Tlemcen	Examinateur
Mr S. M. MELIANI	Pr	Université de Tlemcen	Encadreur
Mr M. C. BENHABIB	Pr	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année universitaire : 2023 /2024

Dedicaces 1

Avec l'aide de Dieu tout puissant, nous avons achevé ce modeste travail que je dédie :

- à mes très chers parents, pour leur soutien matériel et moral, en espérant que je puisse leur rendre le minimum de bonheur qu'ils m'ont offert ;
- à mon très cher frère Amine ;
- à toute la famille Zennaki, Attar et tous mes proches ;

- Enfin à toute la promotion Electrotechnique, Spécialité Commandes Electriques de l'année 2023-2024 .

Hadj Ahmed Zennaki

Dedicaces 2

Avec l'aide de Dieu tout puissant, nous avons achevé ce modeste travail que je dédie :

- à mes très chers parents, pour leur soutien matériel et moral, en espérant que je puisse leur rendre le minimum de bonheur qu'ils m'ont offert ;
- à mes très chers frères Mehdi et Yassine ;
- à toute la famille Lallam, Attar et tous mes proches ;

- Enfin à toute la promotion Electrotechnique, Spécialité Commandes Electriques de l'année 2023-2024 .

Med Sadjid Lallam

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu mes encadreurs Mr MELIANI Sidi Mohammed et Mr BENHABIB Mohamed Choukri, qui se sont montrés disponibles pour nous guider avec des conseils et des commentaires rigoureux.

Je remercie vivement les membres du jury Mr MECHERNENE Abdelkader et Mr DRIS Younes qui ont eu l'amabilité de porter une appréciation sur ce travail et de participer au jury de soutenance.

Un hommage éternel à tous les enseignants qui m'ont encadré depuis mes premières années d'études jusqu'à aujourd'hui. Merci également à tous mes amis et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.

Je tiens à remercier et adresser ma gratitude à ma famille.

ZENNAKI Hadj Ahmed

*LALLAM Med Sadjid
Tlemcen, 26 Mai 2024*

TABLE DES MATIÈRES

DEDICACES 1	i
DEDICACES 2	ii
REMERCIEMENTS	iii
NOMENCLATURE	viii
GLOSSAIRE	ix
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
I GÉNÉRALITÉ SUR LE CNC	2
I.1 INTRODUCTION	3
I.2 ÉTAT D'ART	3
I.3 QUELQUE DÉFINITION	4
I.3.1 Définition de la commande numérique	4
I.3.2 Définition d'une machine CNC	4
I.4 UTILISATION D'UNE MACHINE CNC	5
I.5 MÉTHODOLOGIE	6
I.5.1 Partie commande	7
I.5.1-a IHM	7
I.5.1-b Carte microcontrôleur	7
I.5.1-c Carte de pilotage du moteur pas à pas	7
I.5.1-d Carte de pilotage du moteur de Perforation	8
I.5.2 Partie mécanique	8
I.5.2-a Moteur pas à pas	9
I.5.3 Logiciel de commande	10
I.6 CONCLUSION	10
II DESCRIPTION, MODÉLISATION ET SIMULATION DU MOTEUR PAS À PAS	11
II.1 INTRODUCTION	12
II.2 DESCRIPTION	12
II.3 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES MOTEURS PAS À PAS	12
II.4 TYPES DE MOTEUR PAS À PAS	13
II.4.1 Moteur pas à pas à réductance variable (MRV)	13
II.4.2 Moteur pas à pas à aimant permanent (MPPAP)	13
II.4.3 Moteur pas à pas hybride (MPPH)	14

II.4.4	Moteur unipolaire	14
II.4.5	Moteur bipolaire	15
II.4.6	Commande du moteur pas à pas	16
II.4.7	Modélisation du moteur pas à pas bipolaire	17
II.5	SIMULATION SOUS MATLAB DU MOTEUR PAS À PAS	19
II.6	CONCLUSION	21
III	PRÉSENTATION DE LA PARTIE MÉCANIQUE ET ÉLECTRIQUE DE NOTRE CNC	22
III.1	INTRODUCTION	23
III.2	DESCRIPTION DES DIFFÉRENTS ACTIONNEURS AVEC LEUR CARTE DE PILOTAGE	23
III.2.1	Moteur brushless	23
III.2.1-a	Description	23
III.2.1-b	Contrôleur du moteur BLDC : WS55-220	24
III.2.1-c	Paramètres électriques	25
III.2.1-d	Securité d'utilisation	25
III.2.1-e	Mode opératoire	25
III.2.2	Moteur pas à pas	26
III.2.2-a	Description et Caractéristique du moteur	26
III.2.2-b	Méthode de détermination du couple	26
III.2.2-c	Carte de pilotage du moteur pas à pas	27
III.3	CARTE DE CONTRÔLE DE LA MACHINE CNC : NVUM V2	30
III.3.1	Description	30
III.3.2	Fonctionnalités	30
III.3.3	Domaine d'utilisation	30
III.3.4	Configuration des entrées et sortie de la carte	31
III.4	MONTAGE ET CÂBLAGE DE NOTRE CNC	32
III.4.1	Test de câblage	34
III.5	LOGICIEL DE CONTRÔLE ET DE PILOTAGE	34
III.5.1	Fonctionnalités	34
III.5.2	Description de la fenêtre logiciel derufel	35
III.5.3	Configuration des paramètres	36
III.6	MODE OPÉRATOIRE POUR LA DE CRÉATION DU MOTIF.	36
III.7	CONCLUSION	38
	CONCLUSION GÉNÉRALE	39
	BIBLIOGRAPHIE	41
	ANNEXE A	42
	ANNEXE B	43

TABLE DES FIGURES

I.1	Exemple de pupitre d'une machine à Commande Numérique. [16]	4
I.2	Exemple de machine CNC à 03 axes. [16]	5
I.3	Type de CNC. [19]	6
I.4	Diagramme de la machine CNC.	6
I.5	Carte de contrôle du CNC. [2]	7
I.6	Carte de pilotage du moteur pas à pas. [15]	8
I.7	Carte de pilotage du moteur de perforation. [3]	8
I.8	Exemple de 03 moteurs pas à pas de puissance différente. [7]	9
I.9	Composant de la machine CNC. [16]	9
I.10	Fenêtre principale du logiciel Mech3. [6]	10
II.1	Moteur pas à pas. [13]	12
II.2	Moteur pas à pas à réluctance variable (MRV). [11]	13
II.3	Moteur pas à pas à aimant permanent (MPPAP). [11, 20]	14
II.4	Moteur pas à pas hybride (MPPH). [11]	14
II.5	Moteur pas à pas unipolaire. [20]	15
II.6	Moteur pas à pas bipolaire. [20]	15
II.7	Commande du moteur pas à pas par le biais du pont en H. [18]	16
II.8	Mode pas et demi-pas. [18]	17
II.9	Simulation sous Matlab.	19
II.10	Sous-système de commande.	19
II.11	Paramètre du générateur d'impulsion.	20
II.12	Représentation de résultat de simulation pour t=0.06s.	20
III.1	Notre CNC assemblé.	23
III.2	Moteur brushless.[1]	24
III.3	Carte WS55-220. [5]	25
III.4	Moteur pas à pas. [13]	26
III.5	Tige en metal pour détermination du couple de système.	27
III.6	Tige avec masse négligeable pour la détermination du couple du système.	27
III.7	Carte DM556.	28
III.8	Carte NVUM V2.	31
III.9	Branchement du fin de course avec la carte NVUM.	32
III.10	Branchement de la carte DM556 avec NVUM V2.	32
III.11	Carte de pilotage de chaque axe.	33
III.12	Connecteur circulaire.	33
III.13	Coffret électrique.	34

III.14	Interface de Drufel.	35
III.15	Fenêtre de paramétrage.	36
III.16	Diagramme pour la création du motif.	37
III.17	Création et dimensionnement du motif.	37
III.18	Résultat du motif sur le logiciel de commande.	38

Nomenclature

Les principales notations et abréviations utilisées dans cette thèse sont explicitées ci-dessous, sous leur forme la plus couramment employée dans le domaine du génie électrique.

Indices et exposants

Symbole	Signification
R	Résistance du circuit d'excitation [Ω].
L	Inductance du circuit d'excitation[H].
Km	Constante mécanique du moteur.
em	Force contre-électromotrice [V].
θ	Angle de rotation du moteur [rad].
N	Nombre de paires de pôles du rotor.
ω	Vitesse angulaire du moteur [$\frac{rad}{s}$].
φ	Déphasage.[°]
J	Moment d'inertie [kg.m ²]
f_v	Coefficient de frottement [$\frac{N.s}{rad}$]

Glossaire

Acronyme	Signification
CNC	Computer Numerical Control
CN	Commande Numérique
APT	Automated Programmed Tool
IHM	Interface Homme Machine
MPP	Moteur pas a pas
MPPAP	Moteur pas à pas à aimant permanent
MPPH	Moteur pas a pas hybride
MRV	Moteur pas à pas à réluctance variable
BLDC	BrushLess Direct Courant

Introduction générale

Avant l'avènement de la technologie CNC, les machines-outils étaient contrôlées manuellement, ce qui entraînait des erreurs et des incohérences dans la production. Les opérateurs devaient ajuster manuellement les machines pour obtenir les résultats souhaités, ce qui était un processus lent et sujet à des erreurs. Avec l'avènement de la technologie CNC, les machines-outils peuvent être contrôlées par ordinateur, ce qui permet une précision et une répétabilité sans précédent. Les ordinateurs peuvent stocker des programmes de travail complexes et les exécuter avec une grande précision, ce qui élimine les erreurs humaines et améliore la qualité des pièces produites. La technologie CNC a également permis l'automatisation de nombreux processus de production, ce qui a augmenté la productivité et réduit les coûts. Les machines CNC peuvent fonctionner 24 heures sur 24, sept jours sur sept, sans pause, ce qui permet une production continue et efficace. Parmi les actionneurs couramment utilisés dans les CNC, on trouve les moteurs pas à pas qui fournissent une grande précision en vitesse et en position. Ils sont utilisés dans des applications telles que les fraiseuses, les robots et les systèmes de positionnement précis. Les moteurs pas à pas peuvent être utilisés pour des déplacements précis et répétés.

Objectif et méthodologie

L'objectif principal de notre PFE est d'obtenir une connaissance approfondie sur les différents composants du CNC et leurs principes de fonctionnement. Ainsi, nous donnerons une définition du CNC et leur composant, puis nous entamerons une description des moteurs pas à pas en présentant leur type et leur commande, puis nous terminerons par une présentation du câblage et montage de notre CNC.

SOMMAIRE

I.1	INTRODUCTION	3
I.2	ÉTAT D'ART	3
I.3	QUELQUE DÉFINITION	4
I.3.1	Définition de la commande numérique	4
I.3.2	Définition d'une machine CNC	4
I.4	UTILISATION D'UNE MACHINE CNC	5
I.5	MÉTHODOLOGIE	6
I.5.1	Partie commande	7
I.5.2	Partie mécanique	8
I.5.3	Logiciel de commande	10
I.6	CONCLUSION	10

I.1 Introduction

L'évolution de la fabrication de précision contemporaine met en évidence l'importance d'une précision dimensionnelle extrême et d'une finition de surface impeccable. De manière manuelle, il est difficile voire impossible d'atteindre cette performance, même avec des opérateurs expérimentés. Non seulement cela nécessiterait une durée beaucoup plus longue en raison des mesures dimensionnelles fréquentes requises pour éviter les erreurs, mais il est clair que le contrôle automatisé du mouvement serait un avantage de la fabrication moderne.

Dans ce chapitre, nous aborderons l'évolution du système à commande numérique, puis nous décrirons les différentes composantes de la commande numérique par calculateur (CNC).

I.2 État d'art

L'avènement de la commande numérique par ordinateur (CNC) a révolutionné cette automatisation, permettant la gestion flexible de la production de petites et moyennes séries de pièces d'usinage. L'année charnière de cette révolution fut 1947, lorsque John C. Parsons de la Parsons Corporation à Traverse City, Michigan, cherchant à accélérer la production de pales de rotor d'hélicoptère, inventa un système couplant l'équipement informatique à une pyrale de gabarit.

Les années 1940 ont vu naître la première machine à commande numérique (CN), précurseur de l'usinage à commande numérique. Les machines à commande numérique utilisaient des commandes qui étaient saisies manuellement sur des cartes perforées et introduites dans les machines pour leur faire accomplir des tâches de production spécifiques. En utilisant des servomécanismes pour détecter la position de l'outil dans l'espace, les machines à commande numérique étaient capables de produire des biens avec plus de précision. Les besoins militaires de la Seconde Guerre mondiale ont poussé les entreprises fournissant l'armée de l'air américaine à rechercher des méthodes de CN de plus en plus efficaces pour produire des avions et des armes standardisés avec une précision inégalée. Jusqu'au milieu des années 1950, la technologie CN a été adoptée par plusieurs entreprises industrielles autres que les fournisseurs militaires. En raison des avantages économiques perçus de l'automatisation des machines-outils, la CN a rapidement été saluée comme l'innovation de la décennie dans le secteur manufacturier, permettant aux entreprises de réduire les coûts de main-d'oeuvre et d'améliorer la qualité. [4] La programmation manuelle était plus performante que la programmation totale, mais elle demandait toujours une expertise très fine pour la machine à programmer. Les ingénieurs et les industriels ont cherché un langage de programmation standardisé en raison de l'utilisation répandue de l'usinage à commande numérique. En 1956, l'armée de l'air américaine a demandé la création du premier plan du langage APT (Automated Programmed Tool). Dès lors, l'usinage a été réalisé à l'aide d'ordinateurs en langage de programmation standardisé. Grâce aux progrès technologiques des années 1960 et 1970, le prix des ordinateurs a considérablement diminué, ce qui a rendu l'usinage CNC plus accessible pour les installations industrielles à petite échelle. [4] Dans les années 1920, la marine de guerre britannique a employé les premiers moteurs pas à pas afin de déplacer les indicateurs de direction des lance-torpilles et des canons. Dans les années 1930, l'ingénieur Marius Lavet [8] a fait la découverte d'un modèle particulier de

moteur pas à pas à aimant, appelé maintenant le moteur Lavet. La réalisation de cette découverte a encouragé la miniaturisation et la diminution des dépenses, ce qui a permis son utilisation dans le secteur de l'horlogerie. De nos jours, il est à l'origine de la plupart des montres à aiguilles. L'apparition du moteur pas à pas traditionnel remonte aux années 40, mais c'est l'émergence de l'électronique numérique dans les années 1960 qui a réellement favorisé son évolution. Généralement, plusieurs questions se posent pour décrire un concept ou un matériel. Dans ce chapitre, nous allons répondre sur ses questions suivantes : -C'est quoi un CNC ? - Comment peut-on le commander ? - Quelles sont les composants principaux de cette machine ? -C'est quoi le moteur pas à pas ?

I.3 Quelques définitions

I.3.1 Définition de la commande numérique

Au cours des dernières années, la technologie de la commande numérique CN s'impose dans le domaine de l'usinage. Spécialement conçue pour gérer le fonctionnement d'une machine en utilisant les instructions d'un programme sans nécessiter l'intervention directe de l'opérateur pendant son exécution, elle a d'abord réalisé un pas majeur dans l'automatisation des machines-outils traditionnelles telles que les fraiseuses, perceuses, aléseuses...etc., ce qui leur permet de garantir une production à la fois de qualité et de quantité, à peine imaginable auparavant. De nos jours, les machines à commande numérique sont étroitement liées aux avancées technologiques comme le développement de la micro électronique et de l'informatique. De cette manière, la CN enregistre une augmentation régulière de ses performances alors que son prix et son encombrement ne cessent de baisser. Grâce à cette baisse des prix, la CN peut bénéficier d'une économie de s'introduire dans les PME et de devenir accessible à tous. Les CN actuelles ont la capacité de réaliser des mouvements simultanément en combinant les positions sur plusieurs axes en même temps.



FIGURE I.1 – Exemple de pupitre d'une machine à Commande Numérique. [16]

I.3.2 Définition d'une machine CNC

La machine à commande numérique CNC (en anglais : Computer Numerical Control) est une machine dont la commande est assurée par un ordinateur. Il s'agit d'une machine

entièrement ou partiellement automatique à laquelle les instructions sont transmises par des codes qui sont transmis sur un support matériel. L'objectif principal d'une machine CNC est de produire des mouvements qui acquiert des valeurs de positionnement, de vitesse et d'accélération, puis produit des consignes numériques après un traitement. [17]

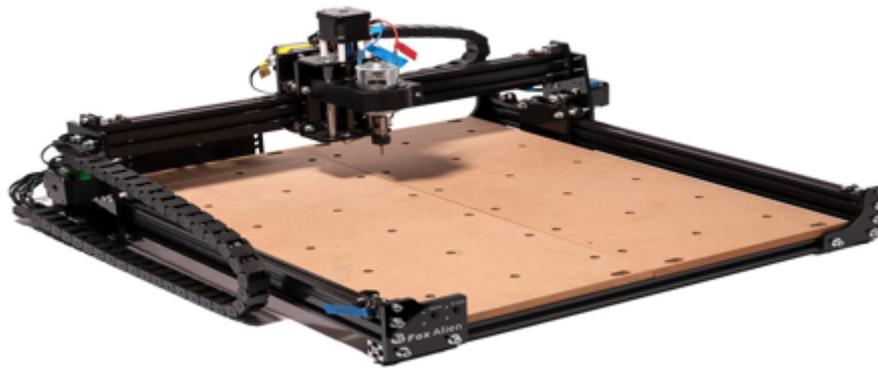


FIGURE I.2 – Exemple de machine CNC à 03 axes. [16]

I.4 Utilisation d'une machine CNC

L'utilisation de la commande numérique ne se cantonne pas uniquement aux machines-outils effectuant des opérations de découpe de matière avec des outils tranchants. Elle s'étend également à une multitude d'applications telles que la découpe au laser, l'électroérosion par défonçage ou par découpe au fil, le poinçonnage ou le pliage de matériaux en feuille, ainsi que dans le positionnement des composants et les opérations d'assemblage. De plus, elle est essentielle pour piloter des équipements tels que des tables traçantes, des machines de mesure tridimensionnelle et des robots. Les machines-outils à commande numérique constituent un pilier majeur de la production de pièces mécaniques. Elles sont capables d'effectuer une multitude d'opérations précises et/ou répétitives telles que le perçage, la découpe, le fraisage, le pliage, la gravure, le taraudage, la soudure, le vissage ou encore le dépôt de matériaux. La diversité des matériaux usinables est vaste, mais leur principale caractéristique distinctive réside dans leur dureté. Ainsi, plus un matériau est dur, plus la CNC et les outils doivent être de qualité et de puissance suffisantes pour l'usiner. Par conséquent, de nombreux dispositifs CNC se distinguent principalement par les types d'outils qu'ils utilisent. [9]



FIGURE I.3 – Type de CNC. [19]

I.5 Méthodologie

Le système CNC peut être divisé en quatre modules. Comme le montre la figure I.4, le système mécanique reçoit les signaux de contrôle nécessaires du système électronique, ce qui se traduit finalement par l'actionnement souhaité des moteurs. Le système électronique reçoit des commandes ou un ensemble de commandes du système logiciel et génère des contrôles pour le système mécanique.

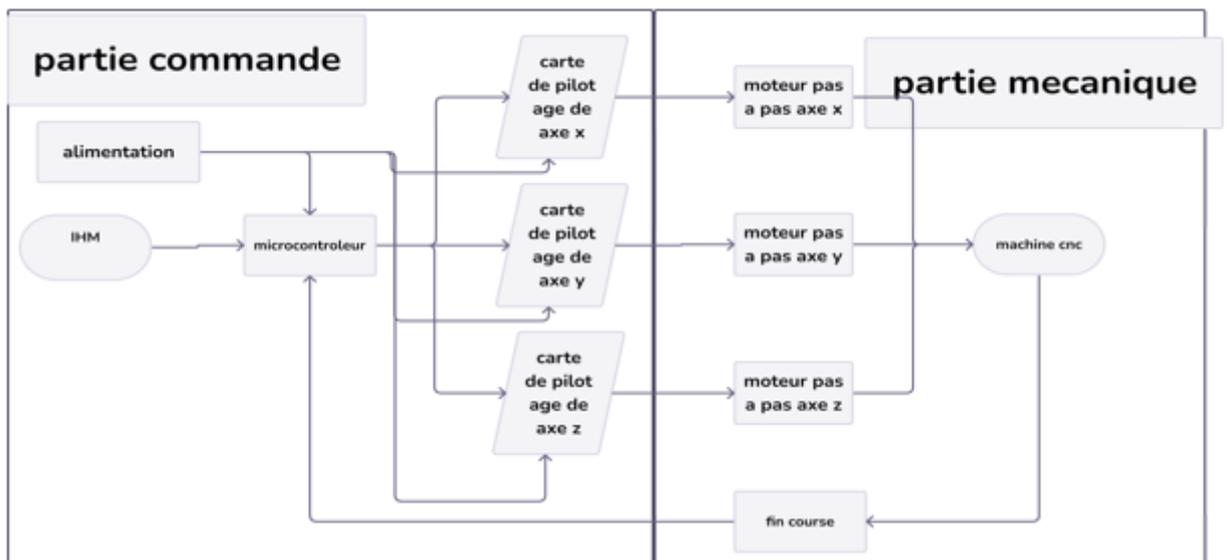


FIGURE I.4 – Diagramme de la machine CNC.

D'après ce diagramme, nous voyons que la CNC fonctionne en deux parties avec plusieurs étapes et chaque étape est composée par plusieurs composants. Mais, quel est le rôle de ces composants ? [9]

I.5.1 Partie commande

La plupart des systèmes assistés par ordinateur comporte essentiellement un coffret comportant les composants principaux utilisés pour interagir avec les parties mécaniques et aussi avec une interface destinée à superviser le système par l'opérateur appelée IHM.

I.5.1-a IHM

IHM est dont son nom complet est Interface Homme Machine est une interface où l'opérateur contrôle la machine CNC en introduisant les ordres à la carte contrôleur pour faire fonctionner le CNC d'après le dessin de l'objet à créer, et suivre les consignes de maintenance s'il y a un problème dans le fonctionnement. L'ensemble IHM-carte contrôleur est relié avec un câble spécial. Le reste de la partie commande est câblée dans un coffre électrique pour que tous les composants soient protégés et proches s'il y a lieu d'intervenir.

I.5.1-b Carte microcontrôleur

Une carte microcontrôleur CNC est un composant électronique utilisé pour contrôler les mouvements et les opérations d'une machine à commande numérique par ordinateur (CNC). Elle interprète les commandes de code G envoyées par un ordinateur et les traduit en signaux électriques qui contrôlent les moteurs pas à pas ou les servomoteurs de la CNC. En outre, il peut gérer d'autres aspects du fonctionnement de la CNC, tels que la vitesse, l'accélération et parfois même la communication avec d'autres appareils. Cette carte de microcontrôleur sert essentiellement comme cerveau au CNC, coordonnant tous les mouvements et opérations selon les instructions fournies par le logiciel de commande de la CNC. Elle peut être intégrée à la CNC elle-même ou connectée à un ordinateur via des interfaces telles que USB, Ethernet ou Wi-Fi, en fonction du modèle et de la configuration spécifique de la CNC. [14]

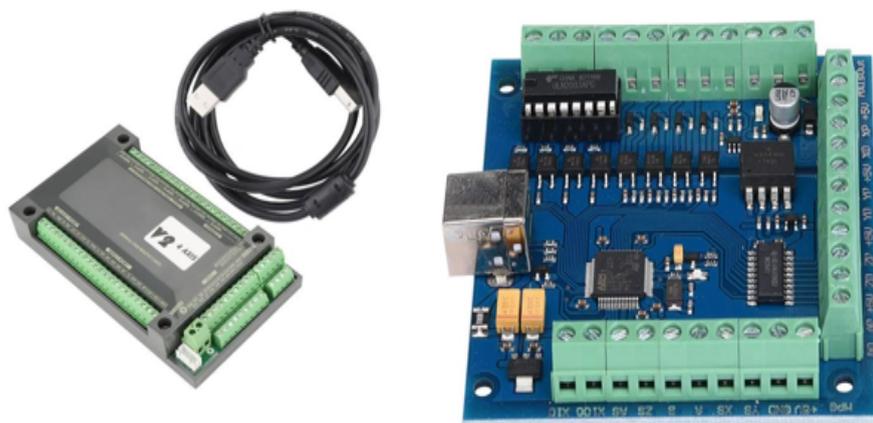


FIGURE I.5 – Carte de contrôle du CNC. [2]

I.5.1-c Carte de pilotage du moteur pas à pas

Un pilote de moteur pas-à-pas est un dispositif électronique qui contrôle le mouvement d'un moteur pas-à-pas en envoyant des impulsions électriques aux enroulements du moteur.

Le pilote convertit les signaux numériques d'un microcontrôleur ou d'un ordinateur en courants électriques qui alimentent le moteur. Parmi les types de pilotes du moteur pas-à-pas, il existe :

1. Pilote de moteur pas-à-pas unipolaire : Ce type de pilote est utilisé pour les moteurs pas-à-pas unipolaires, qui ont un seul enroulement par phase. Le pilote commute le flux de courant à travers les enroulements pour créer un champ magnétique rotatif.
2. Pilote de moteur pas-à-pas bipolaire : Ce type de pilote est utilisé pour les moteurs pas-à-pas bipolaires, qui ont deux enroulements par phase. Le pilote commute le flux de courant à travers les enroulements pour créer un champ magnétique rotatif.
3. Pilote de moteur pas-à-pas micro-pas : Ce type de pilote permet le micro-pas, qui est une technique qui divise le pas complet du moteur en petits pas, ce qui résulte en un mouvement plus fluide et une résolution plus élevée. [11]

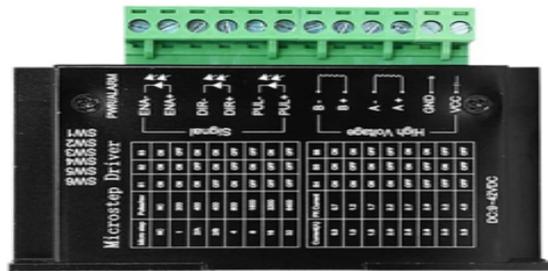


FIGURE I.6 – Carte de pilotage du moteur pas à pas. [15]

I.5.1-d Carte de pilotage du moteur de Perforation

C'est une carte supplémentaire utilisée dans un CNC pour commander le moteur qui fait tourner une mèche de perçage. Cette carte peut être commandée par le microcontrôleur du CNC. Si on utilise un CNC avec un laser, on n'a pas besoin de cette carte sauf si le microcontrôleur ne supporte pas le laser.



FIGURE I.7 – Carte de pilotage du moteur de perforation. [3]

Pour tous ces différents composants du coffre électrique de notre CNC, nous allons les expliquer en détail dans le chapitre 3.

I.5.2 Partie mécanique

C'est la partie visible du CNC qui fait le travail mécanique (percer, couper).

I.5.2-a Moteur pas à pas

Un moteur pas à pas est un moteur électrique synchrone sans balais qui convertit les impulsions numériques en rotation mécanique de l'arbre en un certain nombre de pas égaux. La position du moteur peut alors être commandée pour se déplacer et se maintenir à l'un de ces pas sans aucun capteur de rétroaction (un contrôleur en boucle ouverte). Un moteur pas à pas NEMA 23 est choisi pour entraîner le mouvement des axes, avec une taille de 2,3 x 2,3 pouces. Ce moteur a un couple élevé d'environ 19 kg-cm de couple de maintien et aussi un angle de pas de 1,8 degré avec un courant nominal de 2,5A. La vitesse de rotation est directement proportionnelle à la fréquence des impulsions. Plus la tension de sortie du pilote est élevée, plus le niveau de couple de commande est élevé. Il existe deux types de moteur pas à pas : bipolaire et unipolaire. Le bipolaire a 4 fils et 6 fils pour l'unipolaire. [11]

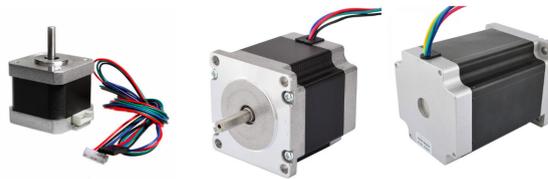


FIGURE I.8 – Exemple de 03 moteurs pas à pas de puissance différente. [7]

La photo de la figure I.9 montre les différentes parties mécaniques de la machine CNC.

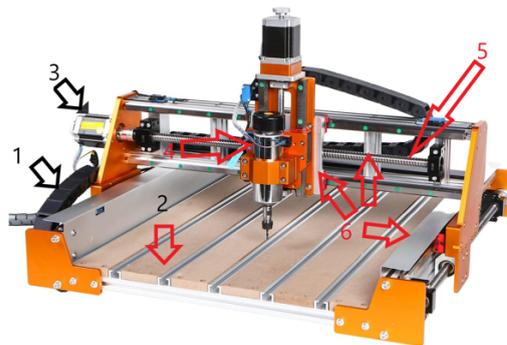


FIGURE I.9 – Composant de la machine CNC. [16]

1. Chaîne portes câbles(Drag-chaine) est un support pour protéger les câbles et ainsi faciliter le mouvement des axes.
2. Table de travail servant à fixer la pièce à usiner ou à découper.
3. Moteur pas à pas pour chaque axe.
4. Moteur de broche ou moteur de perçage.
5. Tige sans fin utilisée pour convertir une rotation à un déplacement d'axe sans frottement et sans problème.
6. Axe de mouvement X Y Z.

Pour protéger les opérateurs et aussi pour ne pas détériorer le matériel, nous ajoutons des fins de course au début et à la fin de chaque axe.

I.5.3 Logiciel de commande

Ce sont des logiciels qui transforment des photos ou plans souhaités en "G-Code" pour que le microcontrôleur entame le travail. Il lui permet aussi de régler les positions des axes et teste le bon fonctionnement de la machine, etc... Parmi ces logiciels, il existe "Mech3" (ayant une bonne compatibilité uniquement avec Windows Xp), Drufel, Mech4, etc...

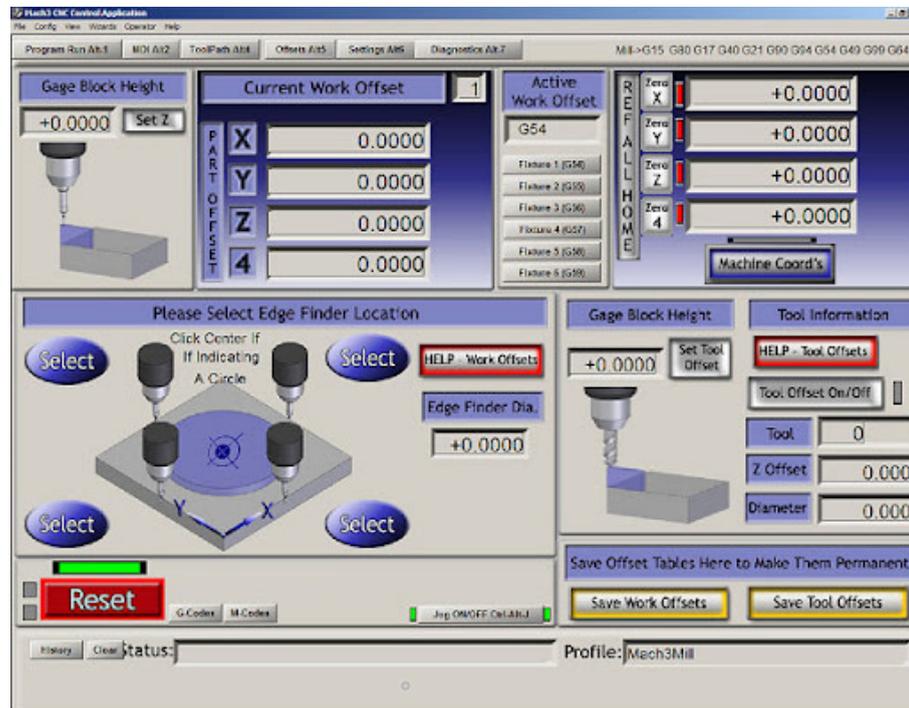


FIGURE I.10 – Fenêtre principale du logiciel Mech3. [6]

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné de manière générale une machine à commande numérique en soulignant l'intérêt de chaque élément qui la compose. Les types de commandes les plus couramment utilisés ont été mentionnés et leur méthodologie, ainsi que la classification des machines CNC. Il est maintenant possible de passer à la prochaine étape qui consiste à exposer la phase technique du moteur pas à pas.

Chapitre II

Description, modélisation et simulation du Moteur pas à pas

SOMMAIRE

II.1 INTRODUCTION	12
II.2 DESCRIPTION	12
II.3 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES MOTEURS PAS À PAS	12
II.4 TYPES DE MOTEUR PAS À PAS	13
II.4.1 Moteur pas à pas à réluctance variable (MRV)	13
II.4.2 Moteur pas à pas à aimant permanent (MPPAP)	13
II.4.3 Moteur pas à pas hybride (MPPH)	14
II.4.4 Moteur unipolaire	14
II.4.5 Moteur bipolaire	15
II.4.6 Commande du moteur pas à pas	16
II.4.7 Modélisation du moteur pas à pas bipolaire	17
II.5 SIMULATION SOUS MATLAB DU MOTEUR PAS À PAS	19
II.6 CONCLUSION	21

II.1 Introduction

Pour connaître le principe de fonctionnement, la construction, la modélisation mathématique ainsi que la commande d'un moteur pas à pas et en fin pour choisir les caractéristiques du moteur suivant leur domaine d'application, nous allons répondre dans ce chapitre aux différentes questions suivantes :

- C'est quoi le moteur pas à pas ?
- Comment fonctionne le moteurs pas à pas ?
- Quelles sont les types et les avantages /inconvénients du moteur pas à pas ?
- Quelle est la différence entre un moteur pas à pas unipolaire et bipolaire ?
- Pourquoi avons-nous choisi le moteur pas à pas ?

II.2 Description

Le moteur pas à pas est constitué d'un rotor et d'un stator, avec un rotor composé d'aimants permanents ou de matériaux ferromagnétiques sans bobines. Il ne nécessite pas de collecteur ni de balais, ce qui en fait une alternative plus fiable. Quant au stator, il renferme des électroaimants chargés de produire le champ magnétique requis pour le déplacement du rotor. À la différence d'autres modèles de moteurs, le moteur pas à pas subdivise un tour complet de rotation en plusieurs étapes subtiles, ce qui lui permet de tourner selon des angles de pas précis en réponse à des signaux d'entraînement externes. [8]

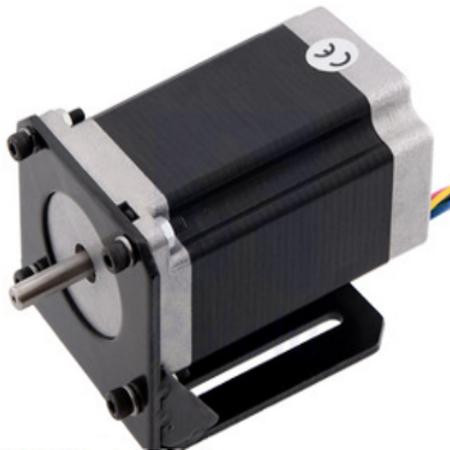


FIGURE II.1 – Moteur pas à pas. [13]

II.3 Principe de fonctionnement des moteurs pas à pas

Quand on applique les impulsions rectangulaires aux bornes du moteur pas à pas, il commence à tourner de manière constante. Cependant, lorsque le moteur est en marche ralentie, il réalise une opération particulière en convertissant les impulsions rectangulaires reçues en une position préétablie de l'arbre d'entraînement. Chaque fois que l'arbre est poussé, il tourne d'un angle constant. En disposant plusieurs électroaimants dentés autour de la pièce principale en fer denté, le mécanisme devient extrêmement performant. Lorsque

l'électroaimant attire les dents de la roue dentée, en position alignée avec l'électroaimant, les dents se déplacent légèrement vers la pièce magnétique qui suit. Afin de mettre en marche l'engrenage et d'aligner la prochaine dent, on désactive l'électroaimant initial et on active le suivant. Il y a plusieurs répétitions de ce processus, ce qui entraîne une rotation pas par pas. En étudiant le nombre de pas requis pour une rotation complète du moteur, il est possible de déterminer sa vitesse de rotation. [11]

II.4 Types de Moteur pas à pas

II.4.1 Moteur pas à pas à réluctance variable (MRV)

Le stator et le rotor ferromagnétique sans aimant, ainsi que les rotors dentés en fer doux, font la distinction des moteurs à réluctance variable. En comparaison avec les moteurs à aimant permanent, ils proposent habituellement une puissance moindre mais une vitesse plus élevée. [8, 20]

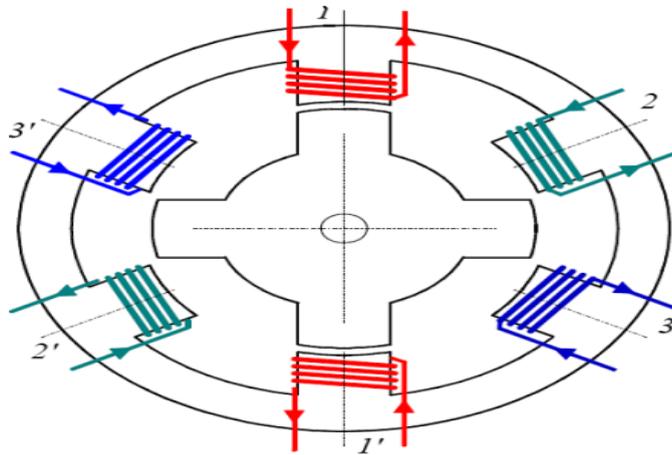


FIGURE II.2 – Moteur pas à pas à réluctance variable (MRV). [11]

II.4.2 Moteur pas à pas à aimant permanent (MPPAP)

La particularité des moteurs à aimants permanents réside dans la présence d'un rotor magnétisé, habituellement muni d'aimants permanents. Quant au stator, il est composé de plusieurs bobines. Ces moteurs proposent un prix de revient assez abordable et une résolution moyenne pouvant atteindre 100 pas par tour. [8, 20]

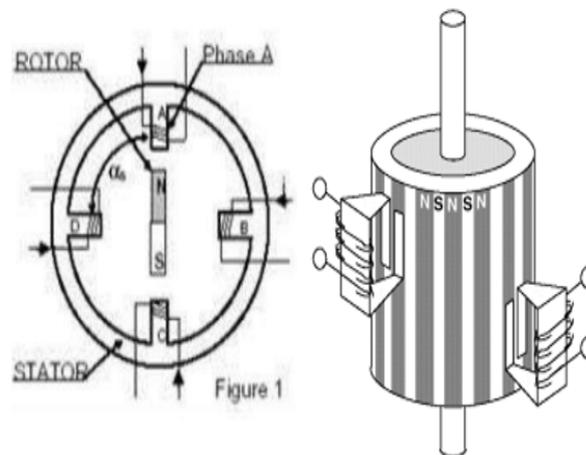


FIGURE II.3 – Moteur pas à pas à aimant permanent (MPPAP). [11, 20]

II.4.3 Moteur pas à pas hybride (MPPH)

Les moteurs hybrides pas à pas combinent les propriétés des moteurs à aimants permanents et des moteurs à réluctance variable. Ils exploitent les caractéristiques magnétiques de l'aimant et de la réluctance afin de créer un couple. Ces moteurs proposent un couple amélioré, une vitesse accrue et une résolution allant de 100 à 400 pas par tour. Toutefois, leur prix est habituellement plus élevé que celui des autres types de moteurs pas à pas. [8, 20]

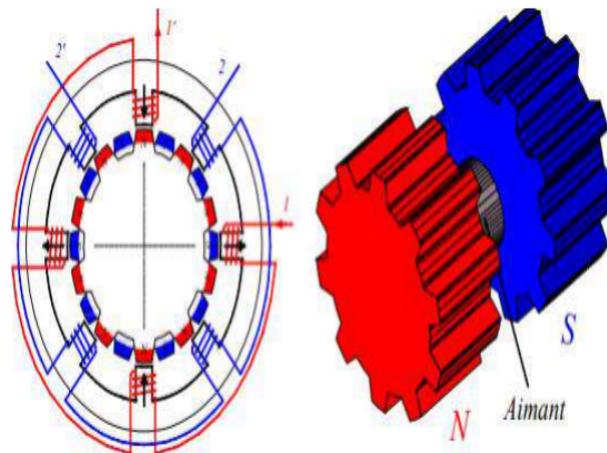


FIGURE II.4 – Moteur pas à pas hybride (MPPH). [11]

II.4.4 Moteur unipolaire

Les moteurs unipolaires alimentent les phases dans un seul sens et sont dotés de 4 phases.

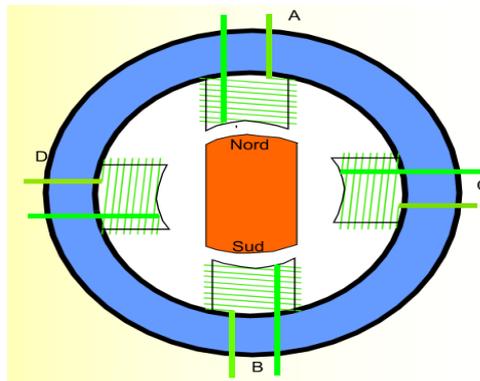


FIGURE II.5 – Moteur pas à pas unipolaire. [20]

Le moteur unipolaire pas à pas est muni d'un rotor à aimant permanent et son stator est généralement composé de deux phases, appelées A et B. Il y a deux bobines dans chaque phase, à l'origine une seule bobine avec un point central, et chaque bobine peut être contrôlée de manière autonome. Une bobine peut être soit excitée, soit non excitée, et son courant n'a jamais de sens particulier (bobine unipolaire), d'où le terme de moteur unipolaire. L'enroulement du schéma de la figure II.5 comporte 6 fils, dont deux sont des fils communs. Souvent, ces derniers sont reliés entre eux en interne afin que le moteur ne dispose que de cinq fils en sortie (A+, A-, B+, B- et commun). [8]

II.4.5 Moteur bipolaire

Le fonctionnement des moteurs bipolaires consiste à alimenter les phases dans un sens puis dans l'autre. De cette manière, ils produisent un pôle nord une fois et un pôle sud une autre fois, ce qui explique leur nom de bipolaire. Ces moteurs sont munis de quatre fils, avec deux bobines distinctes (figure II.6), ce qui est fréquemment appelé "deux phases". Le mode pas complet et le mode demi-pas sont les modes de contrôle les plus couramment employés pour les moteurs pas à pas. [20, 11]

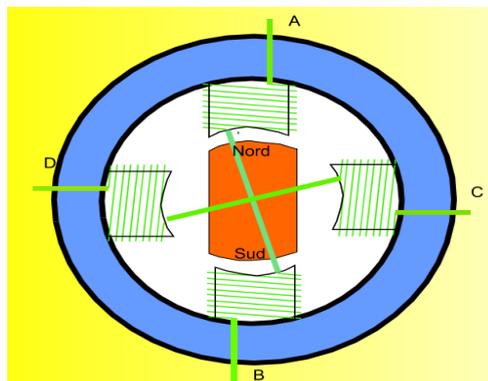


FIGURE II.6 – Moteur pas à pas bipolaire. [20]

Les moteurs pas à pas bipolaires sont constitués de deux enroulements et sont équipés de quatre fils. À la différence des moteurs unipolaires, les moteurs bipolaires ne disposent pas d'un point central. Les points milieux ne sont pas nécessaires car cela permet au courant de

traverser un enroulement complet à la fois au lieu de seulement la moitié de l'enroulement. L'intensité du champ magnétique des enroulements du stator est liée au couple du moteur pas à pas bipolaire, on peut accroître le couple du moteur en ajoutant davantage de spires ou en augmentant le courant électrique. Le fonctionnement optimal repose essentiellement sur le circuit de commande et principalement sur le modèle mathématique pour améliorer le rendement de notre moteur. [20, 11]

II.4.6 Commande du moteur pas à pas

Il est essentiel de s'assurer que la tension change de polarité pour permettre au courant de bobine de circuler dans les deux directions lors du contrôle bipolaire. Un pont en H peut être utilisé pour modifier la polarité de la tension.

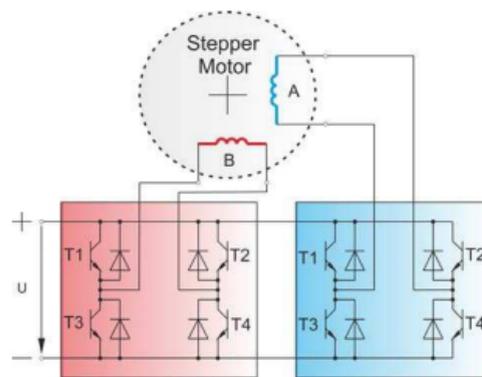


FIGURE II.7 – Commande du moteur pas à pas par le biais du pont en H. [18]

En modifiant les bases des transistors T1, T2, T3 et T4 de manière adéquate, le moteur pas à pas peut réaliser un mouvement de rotation. Comme illustré sur la Figure II.7, il est nécessaire de construire deux ponts en forme de H. Le mode onde, le mode pas complet, le mode demi-pas et le mode micro-pas sont les différentes techniques couramment utilisées pour contrôler les moteurs pas à pas. Dans l'idéal, le moteur pas à pas est régulé par un courant alternatif. En optant pour le mode pas complet, le moteur peut émettre des vibrations, ce qui peut être très désagréable dans certaines applications. En revanche, en optant pour le mode pas complet, le moteur a la possibilité d'atteindre un couple accru. Cela varie en fonction de l'application spécifique de ce qui est plus crucial. Cette approche de contrôle est extrêmement simple et accessible à toute unité de contrôle. Toutefois, il peut y avoir des problèmes dans la zone de résonance et le moteur peut ralentir. Ce problème peut être résolu en répartissant les pas du moteur en micro-pas. Cette approche favorise un positionnement plus précis et réduit la pulsation de la vitesse angulaire du rotor dans la zone des fréquences de pas basses. [18]

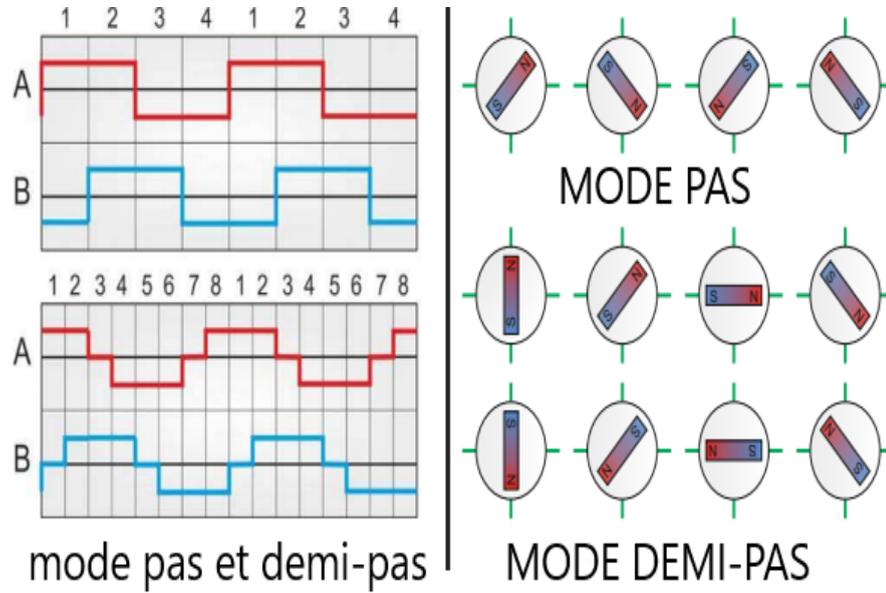


FIGURE II.8 – Mode pas et demi-pas. [18]

La Figure II.8 illustre le mode pas complet et le mode demi-pas. Cette Figure présente des lignes épaisses qui témoignent d'une disparité de polarité de tension. On peut observer le contrôle du moteur pas à pas comme suit : La commutation des bases des transistors T1 et T4 est représentée par le signal au-dessus de la ligne épaisse, tandis que T2 et T3 sont à la masse. Quand le signal est inférieur à la ligne épaisse, les bases des transistors T2 et T3 sont activées, tandis que T1 et T3 sont à la masse.

II.4.7 Modélisation du moteur pas à pas bipolaire

Les deux phases du moteur pas à pas hybride, A et B, sont réparties sur quatre des huit pôles du stator. Chaque étape peut être mise en marche grâce à un courant positif ou neutre. En utilisant des impulsions électriques pour exciter successivement les phases, une force électromagnétique est produite, ce qui entraîne le réaligement des dents du rotor. Ces dents tournent alors à une vitesse constante. De cette manière, on obtient une rotation continue du moteur en activant successivement les enroulements de phase. On représente le modèle du moteur par les équations suivantes :

$$V_{eq} = RI_{eq} + L \frac{dI_{eq}}{dt} - e_m \quad (\text{II.1})$$

$$e_m = K_m \omega \sin(N\theta + \varphi) \quad (\text{II.2})$$

avec :

R : Résistance du circuit d'excitation[ohm].

L : Inductance du circuit d'excitation[H].

K_m : Constante de moteur.

e_m : Force électromotrice [V].

θ : Angle de rotation du moteur [rad].

N : Nombre de paires de pôles du rotor.

ω : vitesse angulaire du moteur ($\frac{rad}{s}$).

φ : phase.

Étant donné que le circuit d'excitation est constitué de deux phases A et B, nous pouvons l'illustrer par les équations suivant :

$$V_a = RI_a + L \frac{dI_a}{dt} - K_m \omega \sin(N\theta + \phi) \quad (\text{II.3})$$

$$V_b = RI_b + L \frac{dI_b}{dt} - K_m \omega \cos(N\theta + \phi) \quad (\text{II.4})$$

Une fois que les équations des composants électriques ont été établies, il est possible de déterminer les équations du couple mécanique. Nous pouvons considérer le couple mécanique comme la somme de deux composantes en supposant que le circuit magnétique est linéaire et que l'inductance mutuelle entre les phases est négligeable.

$$C_m = C_a + C_b \quad (\text{II.5})$$

De cette manière, on calcule le couple mécanique produit par les deux phases .

$$C_a = -\frac{e_a I_a}{\omega} = -K_m I_a \sin(N\theta) \quad (\text{II.6})$$

$$C_b = -\frac{e_b I_b}{\omega} = K_m I_b \cos(N\theta) \quad (\text{II.7})$$

Ce qui conduit à l'expression finale suivante.

$$C_m = -K_m I_a \sin(N\theta) + K_m I_b \cos(N\theta) \quad (\text{II.8})$$

En ayant une connaissance du couple mécanique, on peut donc déterminer l'équation mathématique du moteur pas à pas. Elle est réalisée à partir d'un simple équilibre dynamique entre le côté moteur et le côté charge, en supposant que ce dernier est relié par une articulation rigide.

$$J_m \left(\frac{d\omega}{dt} \right) + f \left(\frac{d\theta}{dt} \right) = C_m - C_r \quad (\text{II.9})$$

Le concept de $f \left(\frac{d\theta}{dt} \right)$ désigne une perte d'énergie due à la friction visqueuse inhérente au moteur. En outre, le paramètre f est généralement très faible en raison de la qualité de fabrication du moteur et ainsi la durée de fonctionnement de ce type de moteur f . Le système non linéaire suivant illustre le modèle mathématique qui explique le fonctionnement d'un moteur pas à pas hybride bipolaire. On obtient le système d'équation suivant :

$$\begin{aligned} \frac{dI_a}{dt} &= \frac{[V_a - RI_a + K_m \omega \sin(N\theta)]}{L} \\ \frac{dI_b}{dt} &= \frac{[V_b - RI_b + K_m \omega \cos(N\theta)]}{L} \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{[-K_m I_a \sin(N\theta) + K_m I_b \cos(N\theta) - D\omega - C_r]}{J} \\ \frac{d\theta}{dt} &= \omega \end{aligned} \quad (\text{II.10})$$

Le couple des dents, connu sous le nom de Cd, est souvent négligé car il représente généralement une contribution minimale. Une fois que l'on connaît toutes les équations, on peut réaliser des analyses dynamiques afin de comprendre le comportement du moteur, par exemple en effectuant une réponse à l'échelon. C'est pourquoi il faut passer du domaine temporel au domaine de Laplace pour obtenir une fonction de transfert. [10]

II.5 Simulation sous Matlab du moteur pas à pas

Nous avons fait la simulation du moteur pas à pas avec le logiciel Matlab II.9.représente le modèle de moteur pas à pas hybride.

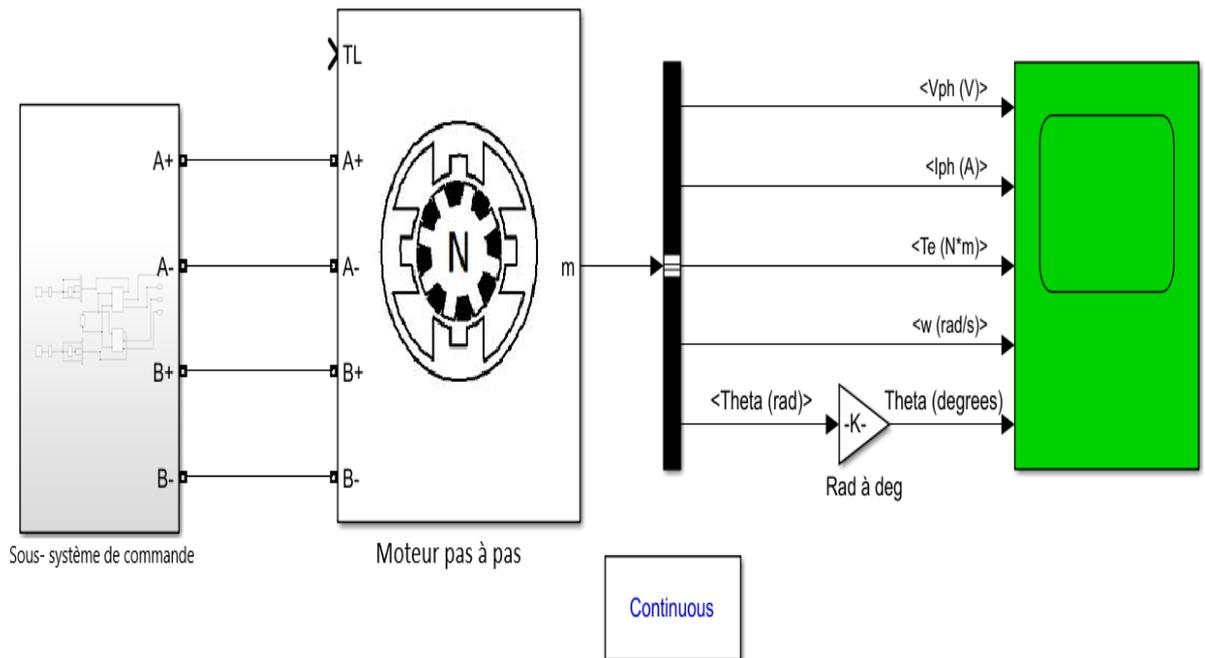


FIGURE II.9 – Simulation sous Matlab.

Pour contrôler le moteur pas à pas, nous avons utilisé le pont en H avec IGBT contrôlé avec le générateur d'impulsion de la Figure II.10.

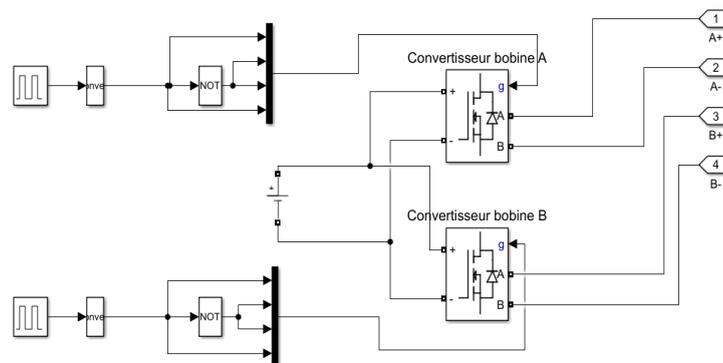


FIGURE II.10 – Sous-système de commande.

Pour le bon fonctionnement du moteur pas à pas, nous devons créer des impulsions déphasées pour commander la bobine A et la bobine B de $(1/4)$ de la période de la Figure II.11. Dans notre simulation, nous avons pris une période $T = 4\text{ms}$.

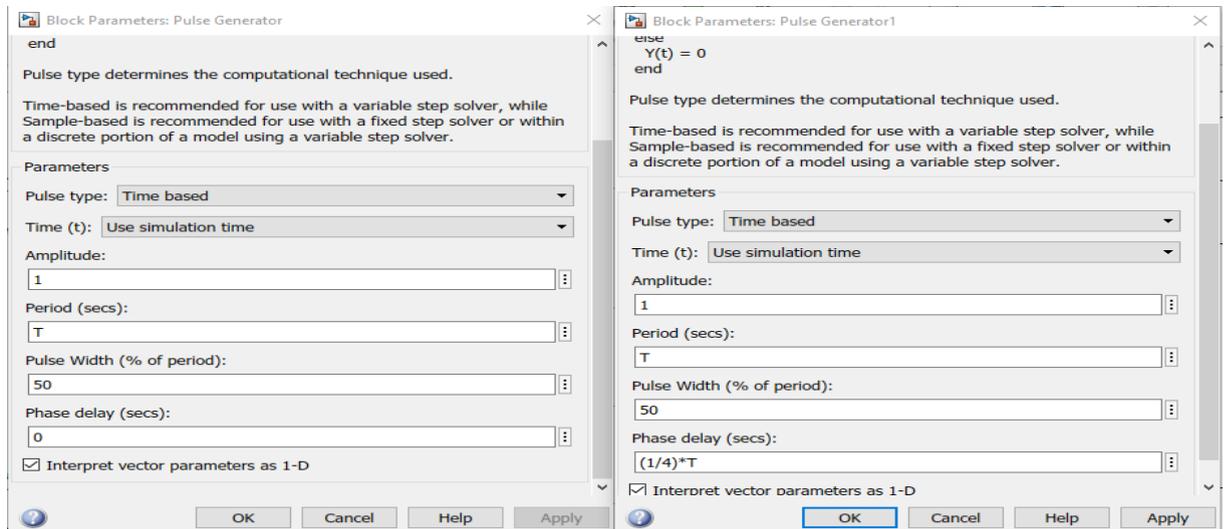
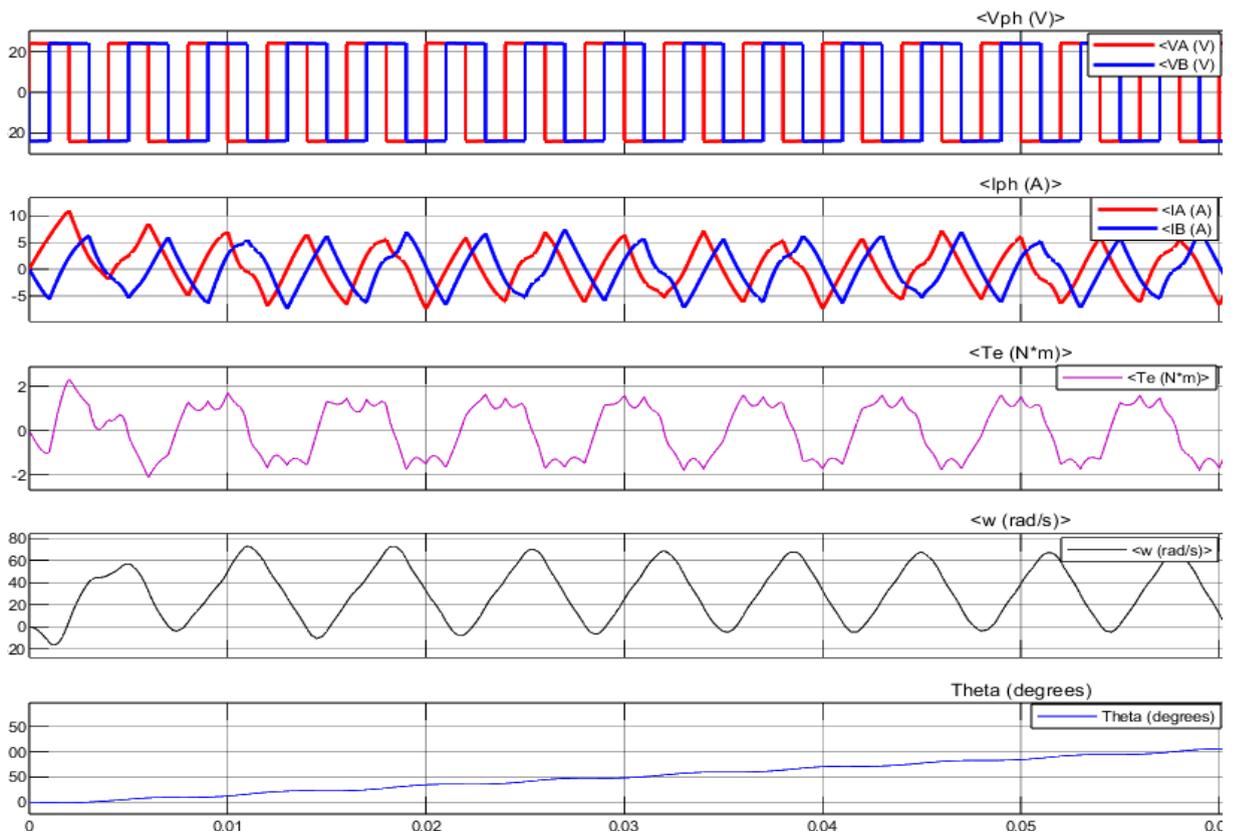


FIGURE II.11 – Paramètre du générateur d'impulsion.

FIGURE II.12 – Représentation de résultat de simulation pour $t=0.06s$.

Pour la tension, nous voyons que la tension de chaque bobine varie de 24V à -24V car nous devons alimenter la bobine A de la borne A+ à la borne A- et puis de la borne A- à la borne A+ respectivement et la même pour la bobine B. Sachant qu'on adopte une commande demi-pas, nous remarquons toujours que deux bobines sont excitées en même temps. Pour le courant, nous avons un signal sinusoïdal avec une amplitude de 5A et une

période de 4 ms avec un déphasage entre la phase A et B de 1 ms. Le couple suit le comportement du courant, pareil pour la vitesse de rotation qui suit le couple engendré. On voit aussi que l'angle de rotation augmente en fur et à mesure, donc le moteur est en train de tourner comme on le souhaite.

II.6 Conclusion

Pour terminer, grâce à ses caractéristiques de rotation, le moteur pas à pas est responsable du déplacement des axes de la machine CNC en fonction d'impulsion électrique simple. De plus, il nous permet la possibilité de réguler la vitesse. Cette particularité rend l'utilisation du moteur pas à pas comme un choix parfait pour des applications de contrôle dans des domaines tels que la robotique, l'informatique et l'astronomie.

Chapitre III

Présentation de la partie mécanique et électrique de notre CNC

SOMMAIRE

III.1 INTRODUCTION	23
III.2 DESCRIPTION DES DIFFÉRENTS ACTIONNEURS AVEC LEUR CARTE DE PILOTAGE	23
III.2.1 Moteur brushless	23
III.2.2 Moteur pas à pas	26
III.3 CARTE DE CONTRÔLE DE LA MACHINE CNC : NVUM V2	30
III.3.1 Description	30
III.3.2 Fonctionnalités	30
III.3.3 Domaine d'utilisation	30
III.3.4 Configuration des entrées et sortie de la carte	31
III.4 MONTAGE ET CÂBLAGE DE NOTRE CNC	32
III.4.1 Test de câblage	34
III.5 LOGICIEL DE CONTRÔLE ET DE PILOTAGE	34
III.5.1 Fonctionnalités	34
III.5.2 Description de la fenêtre logiciel derufel	35
III.5.3 Configuration des paramètres	36
III.6 MODE OPÉRATOIRE POUR LA DE CRÉATION DU MOTIF.	36
III.7 CONCLUSION	38

III.1 Introduction

Le but de notre projet est d'assembler et de commander le CNC qu'était en pièce au niveau du laboratoire de recherche en productique (MELT) à la faculté de Technologie de l'Université de Tlemcen. Notre valeur ajoutée sera d'introduire une méthode de détermination du couple de notre système pour vérifier si nous avons fait le bon choix des moteurs pas à pas ou non.

Dans ce chapitre, nous allons montrer en détail la partie qui nous intéresse qui est la partie électrique en décrivant en détail les différents composants et leurs caractéristiques de notre machine CNC. Pour l'assemblage nous avons commencé avec la partie mécanique comme montré sur la Figure III.1 .

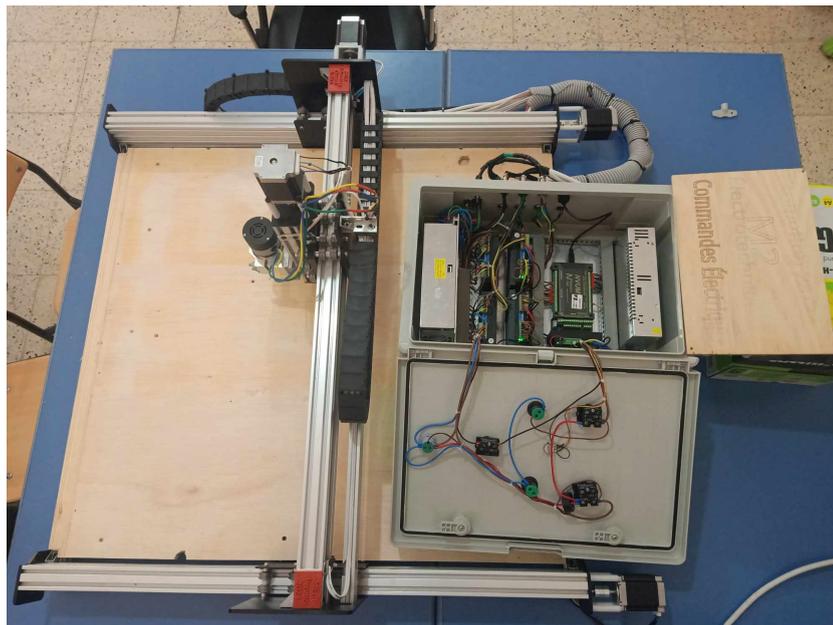


FIGURE III.1 – Notre CNC assemblé.

Dans ce qui va suivre, nous allons répondre à la question suivante :
-Comment choisir les caractéristiques de : l'alimentation, du couple et des différentes cartes du pilotage des moteurs pas à pas utilisés ?

III.2 Description des différents actionneurs avec leur carte de pilotage

III.2.1 Moteur brushless

III.2.1-a Description

Les moteurs BLDC sont un des types des moteurs synchrones, ce qui signifie que le champ magnétique du stator et du rotor tournent à la même fréquence.



FIGURE III.2 – Moteur brushless.[1]

Les moteurs BLDC, également connus sous le nom de "brushless direct courant", sont des moteurs synchrones où le champ magnétique du stator et celui du rotor sont synchrones. Les bobines d'excitation du stator sont généralement connectées en étoile ou en triangle, tandis que les aimants permanents du rotor sont constitués de 2 à 8 pôles alternant entre le Nord et le Sud. En outre, la majorité des moteurs BLDC incluent trois capteurs à effet Hall placés à des intervalles de 60 degré ou 120 degré afin de repérer la position du rotor. Un circuit électronique auxiliaire utilise ces informations pour réaliser les commutations de l'alimentation. [12].

Dans notre projet, le moteur BLDC est utilisé pour percer le motif, ayant une vitesse contrôlée.

III.2.1-b Contrôleur du moteur BLDC : WS55-220

Le WS55-220 est un contrôleur du moteur BLDC triphasé haute performance. La plage de tension va de 20VDC à 50VDC. Le travail du contrôleur est de piloter le moteur BLDC avec ou sans capteurs à effet Hall. La technologie utilisée dans le pilote est sophistiquée et comprend une protection contre les surintensités, les surcharges, les courts-circuits de phase et de ligne, une sortie d'alarme, une sortie de signal de vitesse et un contrôle de rotation positif/négatif. Ce dispositif peut être employé dans des appareils de petite taille, des outils électriques, des ventilateurs d'échappement, des meules en jade, des moteurs vibrants, et bien d'autres encore.



FIGURE III.3 – Carte WS55-220. [5]

III.2.1-c Paramètres électriques

Le tableau III.1 donne les valeurs des grandeurs électriques maximales à ne pas dépasser.

TABLE III.1 – Paramètre de la carte WS55-220

Parameter	Définition
tension nominal	20-50VDC
courant nominal	10A
Courant max	12A
La Vitesse max	Plus que 20000 tr/min

La description des autres broches se trouve dans le datasheet de l'annexe B. L'essentiel, il faut noter que le contrôle de la vitesse se fait manuellement en actionnant un potentiomètre comme montré sur la Figure III.3 .

III.2.1-d Sécurité d'utilisation

Pour que le contrôleur reste en bon état, il faut éviter tout contact direct avec la poussière, les vapeurs et les gaz corrosifs. Il faut aussi qu'il fonctionne dans une plage de température comprise entre 0 à 45°C.

III.2.1-e Mode opératoire

Essayez d'abord de mettre le moteur en marche à une vitesse faible, puis augmentez progressivement la vitesse et la charge une fois qu'il n'y a aucun problème rencontré. Dans le cas où le moteur chauffe rapidement et devient extrêmement chaud en quelques secondes, il est recommandé d'arrêter le moteur et de vérifier la cause du problème.

III.2.2 Moteur pas à pas

III.2.2-a Description et Caractéristique du moteur

Dans notre projet, nous avons choisi le moteur pas à pas bipolaire avec la référence :57HD Stepper Motor NEMA 23 1.8° ; 57HD6013-03 CNC Router Kit Bipolaire 76mm Ha1. C'est un moteur robuste utilisé dans les grands CNC comme le notre.



FIGURE III.4 – Moteur pas à pas. [13]

Le tableau III.2 représente les caractéristiques essentielles de notre moteur utilisé.

TABLE III.2 – Paramètre du moteur pas à pas.

Paramètres	Valeurs
Moment d'inertie de moteur	0.048 G.m ²
Poids	1.05 KG
Couple	1.8 n*M
Nombre de pas	1.8deg
Inductance du phase	3. 5mH*20%(1kHz 1V rms)
Tension nominal	2.7V DC
Courant nominal	3 A
Resistance phase	0.9Ω ± 10%(20C)
Nombre de phase	2
Longueur du moteur	76mm
Résistance d'isolement	100MΩMin.(DC500V)
Classe d'isolement	B (130° C)

La valeur ajoutée de notre PFE consiste à vérifier si les actionneurs fournis sont suffisants pour faire fonctionner notre CNC.

III.2.2-b Méthode de détermination du couple

Pour connaître le couple nécessaire du moteur, nous avons placé une tige de fer avec la tête de visseuse sur la vis de la tige trapézoïdale (Figure III.5). Il s'est avéré que la tige fournit un couple important que celui demandé. Nous avons dû la remplacer par une tige de

plastique d'une masse négligeable Figure III.6. Nous avons trouvé que la masse suspendue nécessaire pour l'entraînement de l'axe ne dépassait pas 51g. Connaissant la longueur de tige qui est de 30 cm, le couple qui doit être fourni par le moteur doit dépasser de peu le couple résistant $C_r = 0.051 \times 9.81 \times 0.3 = 0.15 \text{ Nm}$.



FIGURE III.5 – Tige en metal pour détermination du couple de système.



FIGURE III.6 – Tige avec masse négligeable pour la détermination du couple du système.

III.2.2-c Carte de pilotage du moteur pas à pas

Le DM556 est un pilote de moteur pas-à-pas numérique polyvalent basé sur un DSP avec un algorithme de contrôle avancé. Le DM556 est la nouvelle génération de contrôles de moteur pas-à-pas numériques. Il apporte un niveau unique de douceur de fonctionnement du système, fournissant un couple optimal et éliminant l'instabilité à mi-plage. La technologie de test automatique du moteur et de configuration des paramètres offre des réponses optimales avec différents moteurs et est facile à utiliser. Les moteurs entraînés peuvent fonctionner avec un bruit beaucoup plus faible, une température plus faible, un mouvement plus fluide que la plupart des pilotes du marché. Ses caractéristiques uniques font du DM556 une solution idéale pour les applications qui nécessitent une douceur de fonctionnement à basse vitesse. Technologie de test automatique du moteur et de configuration des paramètres : - Le DM556 dispose d'une technologie de test automatique du moteur et de configuration des paramètres, qui permet d'ajuster automatiquement les paramètres du moteur et d'optimiser les performances. - Cette fonctionnalité facilite l'utilisation et

élimine la nécessité de configuration manuelle. Vous trouverez les paramètres importants dans le tableau III.3.

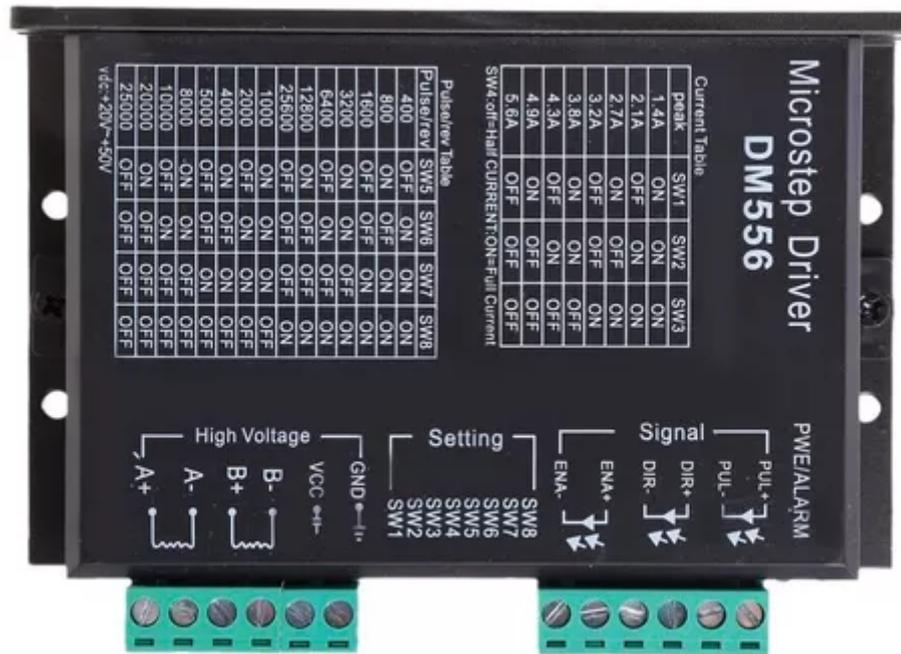


FIGURE III.7 – Carte DM556.

TABLE III.3 – Caractéristique du DM556.

Parameters	Minimum	Typique	Maximum	Unité
Courant de sortie	0.5	-	5.6 (4.0RMS)	A
Tension dentrée	+20	+36	+45	VDC
Courant du signal logique	7	10	16	mA
Fréquence d'entrée d'impulsion	0	-	200	kHz
Résistance d'isolement	500			MΩ

Description des ports de la carte DM556 : Les ports A+, A-, B+ et B- sont utilisés pour brancher les deux bobines de notre moteur pas à pas bipolaire. V+, GND sont des bornes d'alimentation de la carte. Le reste sont des ports de commande reliée avec le microcontrôleur (non utilisé dans notre CNC).

Principale Fonctionnalité :

Le DM556 est conçu pour fonctionner avec :

- Un algorithme de contrôle avancé et la technologie de test automatique du moteur travaillent ensemble pour minimiser les pertes d'énergie et réduisant la chaleur.
- Un mouvement fluide et précis, ce qui en fait une solution idéale pour les applications qui nécessitent une douceur de fonctionnement à basse vitesse.
- L'algorithme de contrôle avancé et la technologie de test automatique du moteur

travaillent ensemble pour assurer un fonctionnement du moteur doux et efficace et bruit faible.

- Une antirésonance fournissant un couple optimal et élimine l’instabilité à mi-plage.
- Technologie de test automatique du moteur et de configuration des paramètres : offre des réponses optimales avec différents moteurs.
- Multi-Étapes permettant une entrée de pas à faible résolution pour produire une sortie de micro-pas à haute résolution pour une performance système fluide.
- Des résolutions de micro-pas programmables, de pas complet à 102 400 pas/tour.
- Une tension d’alimentation jusqu’à +45 VCC.
- Un courant de sortie programmable, de 0,5 A à 5,6 A.
- Une fréquence d’entrée de pulse jusqu’à 200 kHz.
- Une entrée compatible TTL et isolée optiquement.
- Une réduction automatique du courant d’inactivité.
- Une adaptation pour les moteurs 2-phases et 4-phases.
- Les modes PUL/DIR et CW/CCW.
- Une protections contre la surtension, le surcoulant, l’erreur de phase.

Avantages clés : Voici quelques-unes des caractéristiques communes des commandes de moteurs pas à pas

1. La commandes de moteur pas à pas acceptent généralement des signaux de pas et de direction provenant d’un contrôleur, tel qu’un microcontrôleur ou un ordinateur, afin de déterminer la direction et la taille du pas du mouvement du moteur.
2. Contrôle du courant : Offre un contrôle du courant réglable afin d’optimiser les performances et l’efficacité du moteur. Cela permet aux utilisateurs d’ajuster le courant du moteur en fonction de facteurs tels que la taille du moteur, la charge et la vitesse souhaitée.
3. Les entraînements de moteurs pas à pas avancés prennent souvent en charge le micro pas, qui subdivise chaque pas complet du moteur en incréments plus petits. Le micro pas peut améliorer la fluidité du moteur, réduire les vibrations et augmenter la précision du positionnement.
4. Certains variateurs de vitesse comprennent des fonctions telles que la protection contre les surintensités, la protection contre les surchauffes et la détection de décrochage pour éviter d’endommager le moteur et l’électronique du variateur en cas de défaut ou de surcharge.

Application idéales : Le DM556 est particulièrement adapté aux applications qui nécessitent une douceur de fonctionnement à basse vitesse, telles que :

- Imprimantes 3D et machines CNC.
- Appareils médicaux et équipements de laboratoire.
- Systèmes de robotique et d’automatisation.
- Machines de précision et instruments.

Cependant, lorsque le pilote n’est pas en mode de configuration logicielle, il utilise un commutateur DIP 8 bits pour définir la résolution de micro-pas et le courant de fonctionnement du moteur. Vous trouverez une explication détaillée sur le fonctionnement dans le tableau global trouvé dans l’annex A.

Remarque

Les paramètres de configuration peuvent varier en fonction de la version du pilote et des spécifications du fabricant. Il est important de consulter le manuel d'instructions du pilote pour obtenir les informations de configuration spécifiques.

III.3 Carte de contrôle de la machine CNC : NVUM V2

III.3.1 Description

Le système de contrôle numérique par ordre (CNC) NVUM V2 3 axes est employé dans diverses machines-outils, comme les machines à meuler, les tourneuses et les fraiseuses. Voici un aperçu des éléments :

- "NVUM" : NVUM représente le Module de Navigation, de Vision et d'Utilité. Dans cette situation, il s'agit sans doute d'une technologie inédite développée par le constructeur, offrant des capacités de contrôle et de surveillance sophistiquées.
- "V2" : le terme "V2" désigne la deuxième génération de la technologie NVUM, ce qui signifie des améliorations et des mises à jour par rapport à la version précédente.
- "3 axes" : Le terme "3 axes" désigne le mécanisme de contrôle CNC utilisé. Il s'agit ici d'un contrôle CNC à trois axes, ce qui signifie qu'il a la capacité de gérer le déplacement de la machine-outil sur trois axes : Le mouvement latéral de l'axe X. Le mouvement longitudinal de l'axe Y3. Axe Z (rotation horizontale).

En général, un système de contrôle CNC à 3 axes utilise une combinaison de capteurs et de moteurs afin de réguler le déplacement de la machine-outil. Les commandes "G-code" sont données par un ordinateur ou un autre dispositif de contrôle au contrôleur qui les exécute pour déplacer la machine le long des chemins indiqués.

III.3.2 Fonctionnalités

le NVUM V2 3 axe est équipé de fonctionnalités avancées, comme :

- Précision de positionnement et de contrôle de mouvement.
- Algorithmes de contrôle de mouvement avancés pour un mouvement fluide et précis.
- Surveillance en temps réel et retour d'information sur l'état et les performances de la machine.
- L'intégration avec différents capteurs et périphériques, comme des encodeurs, des capteurs de proximité et des limites, est possible.
- Compatibilité avec différents langages de programmation CNC et protocoles, tels que G-code, M-code, FANUC.

– 3.3 Domaine d'utilisation

- Production (comme l'industrie aéronautique, automobile, appareils médicaux).
- Matériel et fraisage (comme le fraisage, le tournage, le fraisage).
- Automation et robotique.
- Études et recherche (comme le prototypage, le test et la validation).

III.3.4 Configuration des entrées et sortie de la carte .

Pour câbler cette carte dans notre système, il faut connaître le rôle de chaque pin avec sa configuration. Pour cela, nous allons résumer ces rôles et leur configuration en s'appuyant sur la Figure III.8.

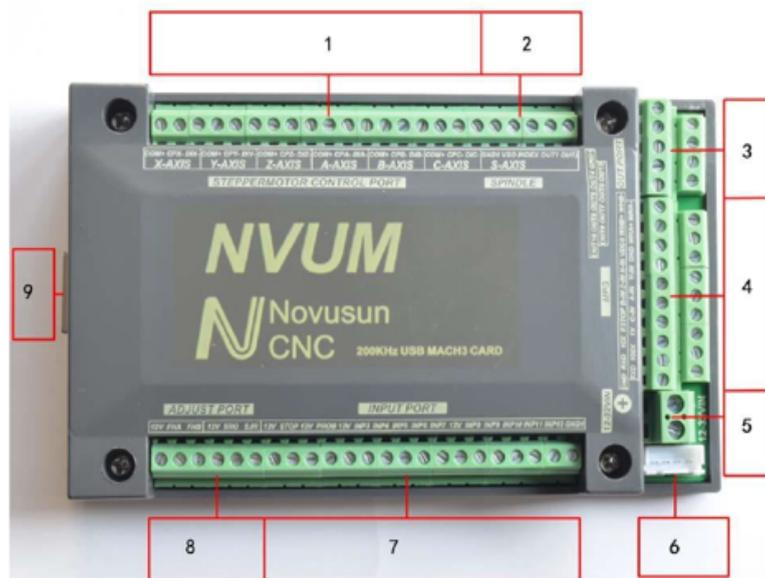


FIGURE III.8 – Carte NVUM V2.

1. Ports de commande des axes (X Y Z) de la machine CNC et aussi des 3 axes A,B,C si notre CNC est doté d'un mécanisme pour faire bouger le motif automatiquement, ce qui n'est pas le cas pour notre CNC.
2. Ports pour contrôler la vitesse de la broche ou moteur de perçage. On trouve aussi un port GND.
3. Ports supplémentaires pour ajouter des option à notre machine. Dans notre cas, nous n'avons pas utilisé ces ports.
4. Ports supplémentaires (non utilisés).
5. Ports d'alimentation de notre carte qui support du 12v jusqu'à 32v.
6. Pour connecter à une interface extérieure.
7. Ports pour placer les entrées comme les fins de course et leur alimentation de 12v, un bouton pour arrêt d'urgence. Le port "prob" est un port pour placer un capteur détectant le niveau la mèche de percer touche la table.
8. Ports supplémentaires (non utilisés).
9. Port USB pour connecter la carte avec le PC.

Nous allons résumer ce paragraphe dans quelques figures.

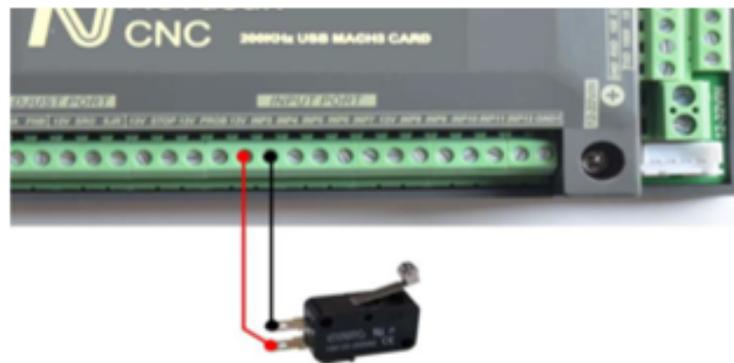


FIGURE III.9 – Branchement du fin de course avec la carte NVUM.

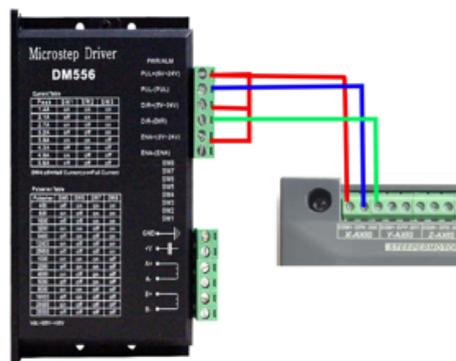


FIGURE III.10 – Branchement de la carte DM556 avec NVUM V2.

Pour résumer et montrer l'avancement de notre projet, la figure III.11 du paragraphe suivant donne un aperçu sur l'emplacement complet des différents composants dans le coffret électrique.

III.4 Montage et câblage de notre CNC

Pour notre cas, nous avons placé les 04 cartes de pilotage des moteurs à pas, 01 carte de pilotage du moteur brushless, la carte de contrôle et aussi 02 alimentations dans le coffret électrique, comme illustré sur la figure III.11. Sachant que notre CNC est grand, nous avons utilisé deux moteurs pour l'axe Y donc utilisation de 2 cartes de pilotage.

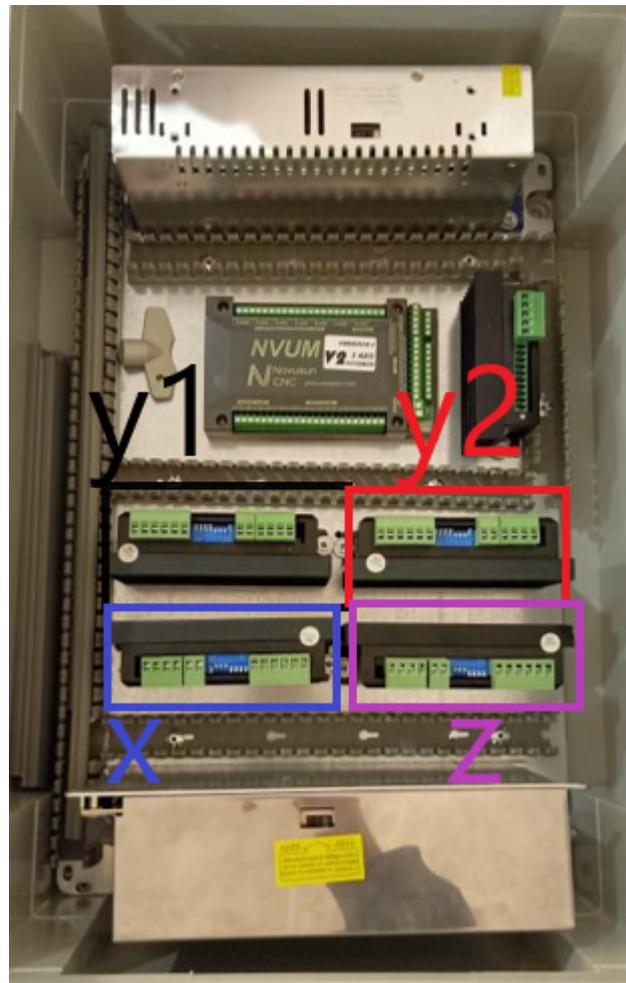


FIGURE III.11 – Carte de pilotage de chaque axe.

La liaison électrique entre le coffret électrique et la partie mécanique est assurée par des connecteurs circulaires montrés dans la Figure III.12.



FIGURE III.12 – Connecteur circulaire.

Nous avons au total utilisé 06 connecteurs pour relier : les 04 moteurs pas à pas, le moteur brushless et les 06 fins de course figure III.13. Le couvercle du coffret électrique (figure III.13) intègre :

- Un afficheur pour mesurer la tension et le courant d'alimentation.
- Deux lampes témoins "verts" pour signaler l'état de fonctionnement de notre CNC.

- Un potentiomètre pour varier la vitesse du moteur BLDC (broche de perçage).
- Deux contacteurs pour la marche/arrêt des deux l'alimentations.
- Un bouton d'arrêt d'urgence.



FIGURE III.13 – Coffret électrique.

III.4.1 Test de câblage

Après avoir terminé le câblage, nous avons testé la continuité avec un métrix pour vérifier s'il n'y a pas d'erreurs dans le circuit de branchement du moteur jusqu'au coffret électrique et particulièrement les court-circuits et pour éviter d'éventuelles électrocutions.

Après cette étape, nous allons passer à la partie logicielle nécessaire à la commande de notre CNC .

III.5 Logiciel de contrôle et de pilotage

Drufel CNC s'agit d'une version standard du logiciel de commande pour les machines-outils CNC. Son design vise à faciliter l'utilisation et à offrir une grande souplesse aux utilisateurs.

III.5.1 Fonctionnalités

les fonctionnalités principales de ce logiciel sont :

- Commande de la machine CNC.
- Vérification de la précision.
- Gestion des erreurs.
- Gestion des données de production.
- Interface utilisateur intuitive.

Les logiciels de commande Drufel CNC sont compatibles avec les systèmes d'exploitation Windows et Linux, et peuvent être utilisés avec les machines-outils Drufel CNC les plus récents. Il est important de noter que les logiciels de commande Drufel CNC peuvent varier en fonction de la machine-outil et de la version du logiciel. Il est donc recommandé de vérifier la compatibilité du logiciel avec la machine-outil avant de l'acheter ou de l'utiliser.

III.5.2 Description de la fenêtre logiciel derufel

La figure III.14 montre les différents menus de la fenêtre principale.

1. Représentation du "G-code" de notre motif.
2. Icône d'ouverture de notre fichier et paramétrage .
3. Affichage numérique dans l'espace des axes X Y Z par rapport à l'origine.
4. Initialisation du point de départ suivant l'emplacement du plan de travail prés-défini en appuyant sur le bouton "ALL zéro".
5. Déplacement manuel des trois axes (X,Y,Z).
6. Lancement / Arrêt d'exécution de la machine CNC.
7. Représentation du motif sur le plan de travail.

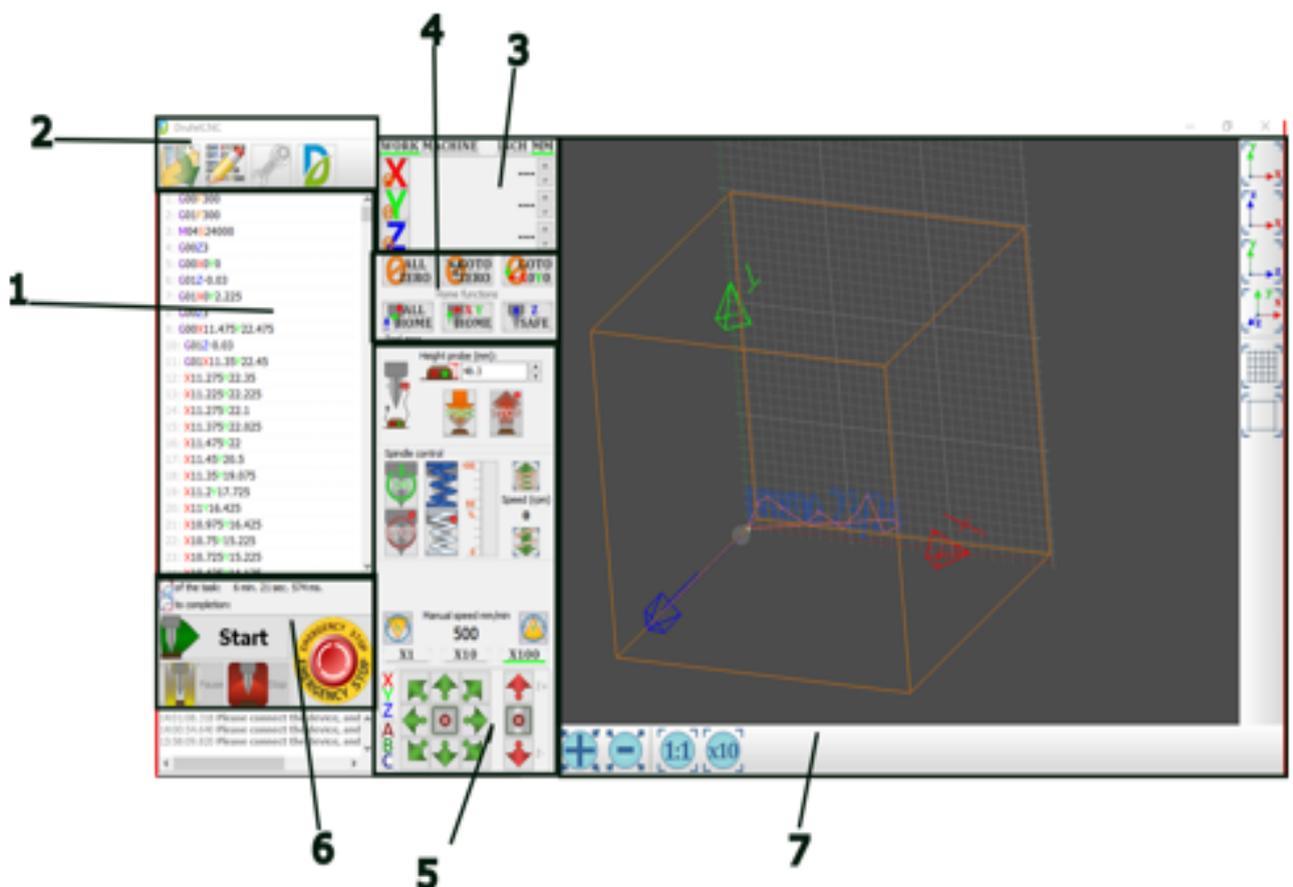


FIGURE III.14 – Interface de Drufel.

III.5.3 Configuration des paramètres

Cette interface est utile pour introduire les paramètres du logiciel par rapport à la dimension à notre machine.

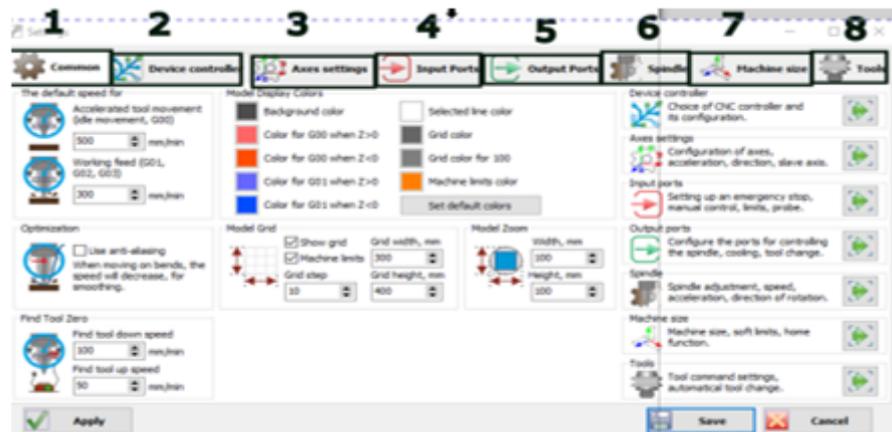


FIGURE III.15 – Fenêtre de paramétrage.

1. Menu "Common" qui sert à la sélection de la couleur de fond du logiciel et change-ment de thème.
2. Menu "Device Controller" sélectionne la carte contrôleur utilisé.
3. Menu "Axe setting" configure le nombre d'impulsion qui est en majorité égale à 1600. Il sert aussi à choisir la vitesse de déplacement de l'axe, avec une adaptation de l'accélération (10mm/s^2 est recommandé), .
Important : Il faut toujours cocher sur la case à cocher " dir invert " pour que le moteur puisse tourner dans les deux sens.
4. Menu "Input port" configure les ports d'entre de fin cours et les boutons.
5. Menu "Output port" configurer les ports de sortie.
6. Menu "Spindle" contrôle la marche/arrêt, la vitesse ainsi que le sens de rotation du moteur de broche à partir de la carte microcontrôleur.
7. Menu " Machine size" sert à définir la taille de nos axes et configurer la position initiale de chaque axe ainsi que la vitesse de retour.
8. Menu "Tools" configure la taille de la mèche de broche.

III.6 Mode opératoire pour la de création du motif.

Pour la création du motif, nous passons par plusieurs étapes qui sont résumées dans la photo de la Figure III.16.

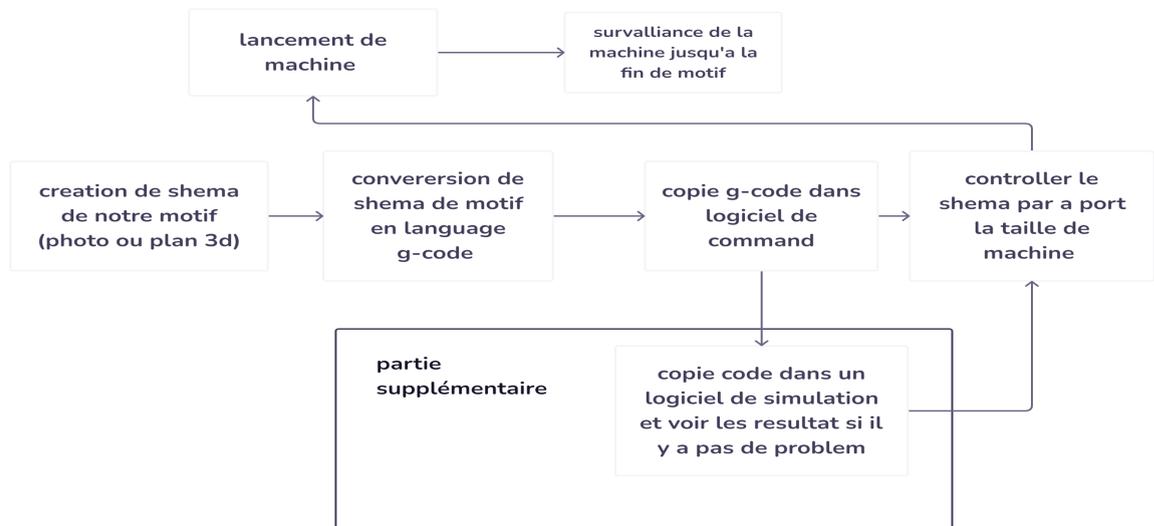


FIGURE III.16 – Diagramme pour la création du motif.

Pour notre cas, nous avons créé notre motif à l'aide dinkscape comme le montre la Figure III.17, puis enregistré sous forme "hpgl". Après, nous avons sélectionné les dimensions de notre motif (III.17). L'étape suivante sera la représentation du motif dans notre logiciel de commande. La Figure III.18 montre le résultat. Si ce dernier satisfait nos attentes, on lance la fabrication de notre motif en démarrant notre CNC.

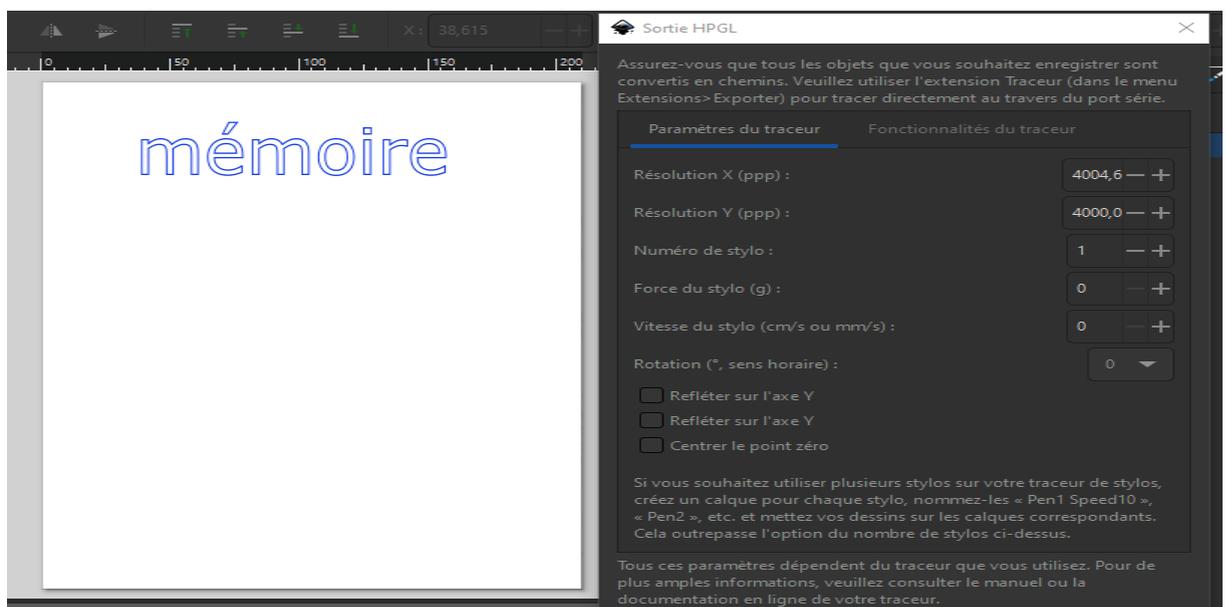


FIGURE III.17 – Création et dimensionnement du motif.

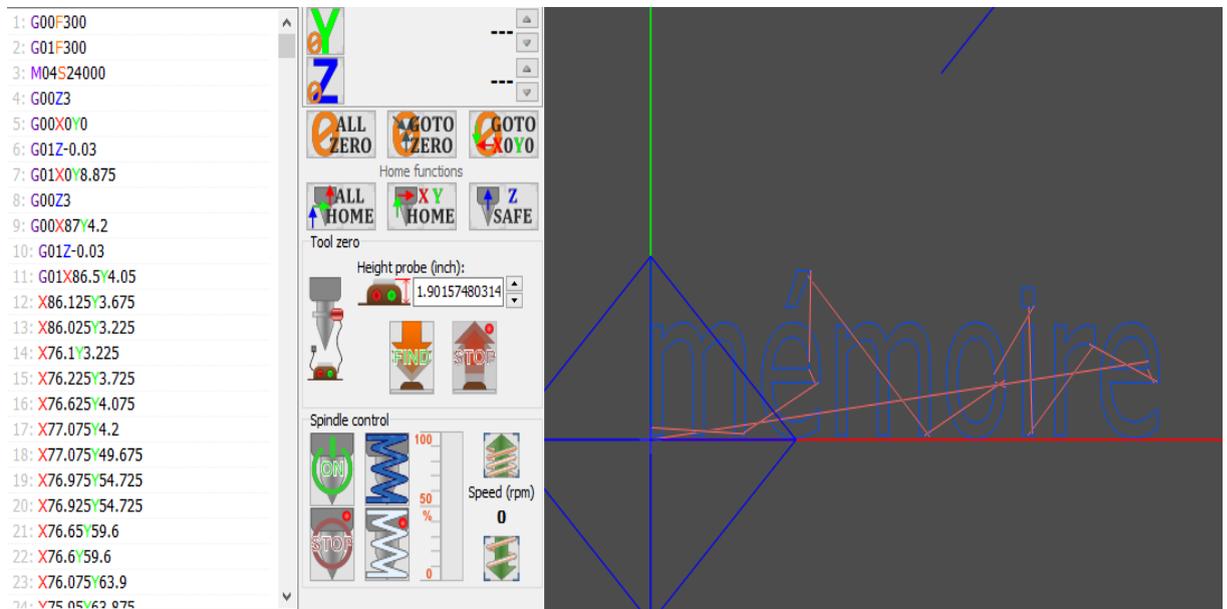


FIGURE III.18 – Résultat du motif sur le logiciel de commande.

III.7 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons eu l'occasion de décrire les divers éléments qui composent la machine CNC, ainsi comment injecter le programme dans la carte NVUM V2 afin de commander les axes de la machine et de voir comment elle fonctionne lorsqu'elle accomplit sa tâche, avec la maîtrise de la conception électrique et mécanique d'une machine CNC. La carte de contrôle NVUM V2 a été spécialement développée pour les machines CNC et d'autres systèmes de contrôle du mouvement. Ce dispositif USB est compatible avec différents pilotes, comme le DM556, afin de contrôler jusqu'à 4 moteurs pas à pas. La carte est incluse dans un ensemble comprenant la carte de contrôle, les pilotes des moteurs pas à pas et d'autres éléments indispensables pour la fabrication d'une machine CNC. En bref, un pilote de moteur pas à pas joue un rôle crucial dans tout système qui utilise un moteur pas à pas. Il assure la gestion du déplacement du moteur, contrôle le courant et la tension, et protège contre les surintensités, les surtensions et la surchauffe.

Conclusion générale

Le but de notre projet de fin d'étude était d'étudier en détail les machines CNC qui se trouvent dans la littérature afin d'assembler notre CNC qui se trouve au niveau du laboratoire de productique de Tlemcen (MELT), faculté de Technologie, Université de Tlemcen. La commande numérique (CNC) est faite par la carte NVUMV2. Cette machine peut effectuer des mouvements dans trois directions, X, Y et Z. La réalisation de notre projet nous a permis d'avoir des connaissances et une maîtrise des divers composants et documentations, à savoir :

- Une compréhension du fonctionnement et de la gestion des moteurs de manière progressive.
- Une maîtrise de la conception mécanique d'une machine CNC en s'appuyant sur divers livres et sources se trouvant dans la littérature.
- Modélisation et simulation à l'aide des logiciels Matlab et Porteus d la commande du moteur pas à pas.
- Regroupement des différents aspects mécaniques et électromécaniques (hardware et software) pour assembler et commander différentes parties de la machine.

Pendant la conception et la mise en oeuvre de la commande, nous avons fait face à divers problèmes, tels que des problèmes mécaniques, électriques et informatiques. Cependant, grâce à nos connaissances acquises pendant nos études académiques et à l'aide de nos superviseurs, nous avons pu lier les différents éléments, y compris la commande des moteurs, ainsi que les interfaces, les programmes, etc.

Ce projet nous a permis de découvrir et d'acquérir des connaissances dans divers domaines d'études tels que la programmation des NVUMV2, la construction de diverses parties mécaniques, la programmation et le contrôle de la vitesse des moteurs pas à pas et moteurs BLDC, ainsi que la conception et l'assemblage de diverses pièces mécaniques.

A la fin, nous souhaitons que ce petit travail puisse servir de point de référence pour les futurs projets des prochaines promotions.

Bibliographie

- [1] 128.13 |Moteur sans balais CNC 500W moteur de broche de refroidissement par Air sans balais PCB fraisage 48VDC tension Kit de broche CC pour Machine de routeur CNC | AliExpress.
- [2] 4 Axes USB CNC Motion Controller Carte pour Gravure Algeria Ubuy.
- [3] 5V-12V DC Brushless Motor Driver 3/4 Wire.
- [4] Brève histoire de l'usinage CNC | Numériser, optimiser et automatiser votre approvisionnement.
- [5] DC 48V 500W Brushless Spindle moteur pilote Algeria Ubuy.
- [6] Mach3 CNC Controller | Cau Cau.
- [7] MOTEURS PAS a PAS MOVITECNIC.
- [8] Saida ABDAERRAOUF, Esmâ KASMI, Djillali ABDI *et al.* : *Commande d'un moteur pas à pas*. Thèse de doctorat, 2022.
- [9] Guerrouabi CHANEZ et Ait Rahmane ROZA : *Etude et conception d'une machine CNC (Découpeuse laser)*. Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri, 2018.
- [10] GIUSEPPE GODINO : Experimental investigation of an adaptive sensorless openloop strategy of mechanical systems with stepper motors. 2017.
- [11] MOHAMMED LEHZIEL, MOHAMMED DAOUDI *et al.* : *onception et réalisation d'une machine CNC*. Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [12] V LELEUX et Ir N GILLIEAUX-VETCOUR : Circuit de commande d'un moteur brushless dc par onduleur triphasé commandé en modulation de largeur d'impulsion par microcontrôleur, 2005.
- [13] Vallder LTD : NEMA23 Motor Holder - Vallder SHOP, 9 2023.
- [14] ABDEMEZIANE MOHAMMED RAÏD et BENABIED DJAMAL : *Conception et réalisation d'une machine CNC*. Thèse de doctorat, Abdelhafid boussouf university Centre mila, 2020.
- [15] PEREK : Stepper Motor Driver - Perek, 3 2023.
- [16] Logovia s.n.c. Servizi Internet per il TURISMO HTTP ://WWW.LOGOVIA.IT : MACHINE-OUTIL a COMMANDE NUMERIQUE (MOCN).

-
- [17] Mohsen SOORI, Behrooz AREZOO et Roza DASTRES : Machine learning and artificial intelligence in cnc machine tools, a review. *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, 2:100009, 2023.
- [18] Ivan VIRGALA, Michal KELEMEN, Alexander GMITERKO et Tomáš LIPTÁK : Control of stepper motor by microcontroller. *Journal of Automation and Control*, 3(3):131–134, 2015.
- [19] YOHAN : 3 Raisons de Choisir un Atelier d'Usinage Doté d'une Aléseuse CNC, 10 2020.
- [20] Gerard YVRAUT : Les moteurs pas à pas. *Séminaire Bellegarde Novembre*, 1999.

Annexe A : Carte DM556

Configuration manuelle du pas dans DM556

Micro pas	pas/rev.(pour 1.8°moteur)	SW5	SW6	SW7	SWS
1 to 512	Default/Software configuration	ON	ON	ON	ON
2	400	OFF	ON	ON	ON
4	800	ON	OFF	ON	ON
8	1600	OFF	OFF	ON	ON
16	3200	ON	ON	OFF	ON
32	6400	OFF	ON	OFF	ON
64	12800	ON	OFF	OFF	ON
128	25600	OFF	OFF	OFF	ON
5	1000	ON	ON	ON	OFF
10	2000	OFF	ON	ON	OFF
20	4000	ON	OFF	ON	OFF
25	5000	OFF	OFF	ON	OFF
40	8000	ON	ON	OFF	OFF
50	10000	OFF	ON	OFF	OFF

Configuration du courant manuellement dans DM556

Courant de pointe	Courant RMS	SW1	SW2	SW3
Default/Software	configuré (0.5 to 5.6A)	OFF	OFF	OFF
2.1A	1.5A	ON	OFF	OFF
2.7A	1.9A	OFF	ON	OFF
3.2A	2.3A	ON	ON	OFF
3.8A	2.7A	OFF	OFF	ON
4.3A	3.1A	ON	OFF	ON
4.9A	3.5A	OFF	ON	ON
5.6A	4.0A	ON	ON	ON

Annexe B : carte Carte WS55-220

Configuration du port du carte Carte WS55-220

Pin EN : marche arrêt de driver

Type de contrôle de vitesse

Contrôle par potentiomètre. -

Contrôle par connexion externe de 10V.

Pour les autre pin voir annex Témoin d'alimentation : LED verte - La LED est allumée une fois l'alimentation mise sous tension LED rouge - La LED clignote une fois de manière continue lorsque l'appareil est en mode veille.

HALL HU, HV, HW, V+ : Signal HALL et alimentation HALL ; l est important de noter que si le contrôleur correspondant et le terminal de la ligne du moteur ne sont pas correctement connectés, cela peut entraîner un fonctionnement anormal du moteur, une connexion erronée ou même des dommages au contrôleur d'alimentation et au moteur. Il est impossible d'utiliser V+ à d'autres fins.

ملخص

لجمع مكينه CNC الموجودة في مخبر البحث الإنتاجية بجامعة تلمسان استعملنا مجموعه من العناصر و البرمجيات. استخدمنا بطاقه NVUMV2 لتحريك وتشغيل المكينه بدقه عاليه والتي تضمن لنا سلامه كامله لجهازنا. استعملنا المحرك خطوه خطوه NEMA23 الذي يضمن لنا حركه بدقه جد عاليه وثابته واستخدمنا محرك الحفر Brushless الذي يتمتع بسرعه دوران عاليه. للتحكم في هذه المحركين استخدمنا بطاقه DM556 للتحكم في المحرك الخطوي وطاقه التحكم WS55-220 لمحرك الحفر. تشمل الماكينه ايضا عناصر مثل سلاسل السحب لحماية الكابلات وطاوله العمل. يسمح لنا برنامج Druel CNC بتحويل المخطط الى G-Code والتحكم واداره معلومات المكينه. الكلمات المفتاحية: CNC، محرك خطوة بخطوة، G-Code، بطاقات التحكم، BLDC،

Résumé

Pour assembler et piloter une CNC au laboratoire de recherche en productique de l'Université de Tlemcen, nous avons utilisé divers composants et logiciels. La carte de contrôle (NVUM V2) permet de contrôler les 3-axes de mouvement avec une grande précision et toute sécurité pour notre machine. Les moteurs pas à pas, notamment les NEMA 23, assurent la précision des mouvements grâce à leur contrôle en boucle ouverte. La machine inclut des éléments tels que des drag-châînes pour la protection des câbles, des tables de travail, et des moteurs de broche. Le contrôle des composants se fait via des cartes comme le DM556 pour les moteurs pas à pas et le WS55-220 pour les moteurs BLDC. Le logiciel Drufel CNC permet la transformation des plans en G-Code, le contrôle de la machine, et la gestion des paramètres de la CNC. L'intégration et le câblage des composants, ainsi que les tests de continuité, garantissent le bon fonctionnement de l'ensemble.

mot clés: CNC ,moteurs pas à pas,G-Code,BLDC cartes de control

Abstract

To assemble and control a CNC at the manufacturing research laboratory at the University of Tlemcen, we used various components and software. The control card (NVUM V2) allows you to control the 3-axes of movement with great precision and complete safety for our machine. Stepper motors, particularly NEMA 23, ensure movement precision thanks to their open loop control. The machine includes items such as drag chains for cable protection, work tables, and spindle motors. Component configuration is done via driver like the DM556 for stepper motors and the WS55-220 for BLDC motors. The Drufel CNC software allows the transformation of plans into G-Code, the control of the machine, and the management of CNC parameters. The integration and cabling of the components, as well as continuity tests, guarantee the proper functioning of the whole.

keywords: CNC, stepper motors, G-Code, BLDC driver