مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (7) العدد(2) 2023
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (7) No. (2) 2023

تصميم وتنفيذ آلة حفر مبرمجة بثلاث محاور مقادة بواسطة الحاسب CNC

م. مرام علي ناصر *
م. فاطمه علي حبقه **

(تاريخ الإيداع 2022/5/22 . قُبِل للنشر في 2023/2/15)

□ ملخّص□

تم في هذا البحث تصميم وتنفيذ آلة حفر مبرمجة ثلاثية المحاور مقادة بواسطة الحاسب، وتم انجاز التصميم الميكانيكي لمحاور الآلة، ثم الانتقال إلى الجزء الكهربائي الذي يتضمن كافة الدارات المستخدمة لقيادة المحركات الخطوية بما فيها المتحكم الذي يولد نبضات القيادة التي توجه محرك كل محور لينفذ الحركة المطلوبة منه، بالتالي تحقيق حركة متكاملة للمحاور الثلاثة لتنفيذ العمل المطلوب، بالإضافة إلى دارة الملائمة التي تصل الحاسب مع دارة قيادة المحركات الخطوية، واستخدام برنامج (MACH3) لرسم صورة المشغولة التي يجب حفرها وتحديد إحداثيات نقطة بدء العمل.

نظراً لأهمية آلات الـ CNC في القطاع الصناعي أصبح قطع الأقواس سهلاً كقطع الخطوط المستقيمة، فالعمليات الصناعية المؤتمتة خفضت الجهد البشري، وقدمت تحسينات كبيرة في التنسيق والنوعية ووفرت المزيد من الوقت للمشغلين لإنجاز مهام إضافية.

تم اختبار النموذج المصمم، وحققت الآلة المطلوبة على كل المحاور، ونفذت الثقوب وفق الإحداثيات الصحيحة.

كلمات مفتاحية: كمبيوتر التحكم الرقمي، أنظمة التشغيل، المحرك الخطوي، الأتمتة الصناعية، آلات الـ CNC.

*عضو هيئة فنية بصفة قائم بالأعمال – قسم الأتمتة الصناعية – كلية الهندسة التقنية – جامعة طرطوس – طرطوس – سوريا.
** عضو هيئة فنية بصفة قائم بالأعمال – قسم الأتمتة الصناعية – كلية الهندسة التقنية – جامعة طرطوس – طرطوس – سوريا.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (7) العدد(2) 2023
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (7) No. (2) 2023

Design and implementation of a three-axis programmed drilling machine by computer CNC

(Received 22/5/2022 . Accepted 15/2/2023)

□ ABSTRACT

In this research, we designed and implemented a computer-driven three-axis programmed drilling machine, the mechanical design of the machine axes was completed, Then moving to the electrical part, which includes all the circuits used to drive the stepper motors, including the controller, which generates the driving impulses that direct the motor of each axis to carry out the movement required of it, thus achieving an integrated movement of the three axes to carry out the required work.

In addition to the appropriate circuit that connects the computer with the driving circuit of the stepper motors, we used the MACH3 program to draw an image of the work piece that must be drilled and to determine the coordinates of the starting point of the work..

Due to the importance of CNC machines in the industrial sector, cutting arcs has become as easy as cutting straight lines. Automated industrial processes reduce human effort, provide significant improvements in coordination and quality, and free up more time for operators to complete additional tasks.

The designed model was tested and the machine achieved precise movements on all axes and the required holes were executed according to the correct coordinates.

Keywords: Computer Numerical Control, Operating Systems, Stepper Motor, Industrial Automation, CNC machines.

1. مقدمة

لقد كان ظهور تقنية التحكم الرقمي بمثابة التحول الجذري في التحكم بالآلات، وذلك استجابة لوجود محدودية في إمكانياتها، ويعتبر مصطلح CNC اختصاراً لـ (Computer Numerical Control) أي كمبيوتر التحكم الرقمي، واستخدم هذا المصطلح بشكل واسع في المجال الصناعي وذلك لأنه مكن المشغل من التواصل مع الآلة من خلال سلسلة من الأرقام والرموز، وقد مكن الصناعيين من إنتاج كمية كبيرة من القطع وبدقة عالية، بحيث يمكن تصنيع نفس القطعة وبنفس الدقة في أي وقت إذا تم تحضير البرنامج والمتحكم الرقمي بشكل جيد، حيث تقوم تعليمات التشغيل بإنجاز العمل آلياً وبدقة وسرعة وفعالية وقابلية التكرار.

وفيما يلي بعض الدراسات المرجعية:

[1] قام مجموعة من الباحثين عام (2019)، بتصميم وتنفيذ آلة(CNC) ثلاثية المحاور تقوم بالرسم، وذلك بالاعتماد على نظام التشغيل المفتوح (CAD/CAM) لتوليد الـ (G-code)، حيث استخدم محركين خطويين ومحرك سيرفو على المحور Z لأنه أكثر دقة في الرسم، وتم تصميم دارات قيادة المحركات اعتماداً على المتحكم (Arduino uno) وبرنامج (Arduino IDE)، و تميزت هذه الآلة بكونها مرنة، و منخفضة التكاليف، وسهلة الصيانة .

[2] قام مجموعة من الباحثين عام (2016)، بتصميم آلة (CNC) صغيرة للرسم و الحفر اعتماداً على متحكم (ATmega328) ودارات (Easy Driver v4.4 Pins) لقيادة المحركات الخطوية لتحريك محاور الآلة الثلاثة.

[3] قام الباحثون (Quatrano و Rivera و Guida) عام (2017)، باستخدام مكونات رخيصة وتقنيات برمجية مفتوحة المصدر بإعادة تشغيل آلة CNC كانت معطلة ومتوقفة عن العمل نظراً لتكاليف صيانتها العالية بالاعتماد على نظام متحكم (Arduino Mega) لقيادة المحركات الخطوية، وقد نفذت الآلة العمل المطلوب بالحفر على الخشب وبدقة عالية.

2. مشكلة البحث:

كانت فكرة البحث دراسة إمكانية تنفيذ نموذج لآلات التحكم الرقمي لتصنيع قطع وأجزاء معينة يتم التحكم بتنفيذها عن طريق الكمبيوتر وذلك بإرسال التعليمات إلى المحركات الخطوية التي يقود كل منها محور من محاور الآلة في اتجاه معين لتنفيذ قطعة أو مشغولة معينة يتم تصميمها أو رسمها وتحديد إحداثياتها.

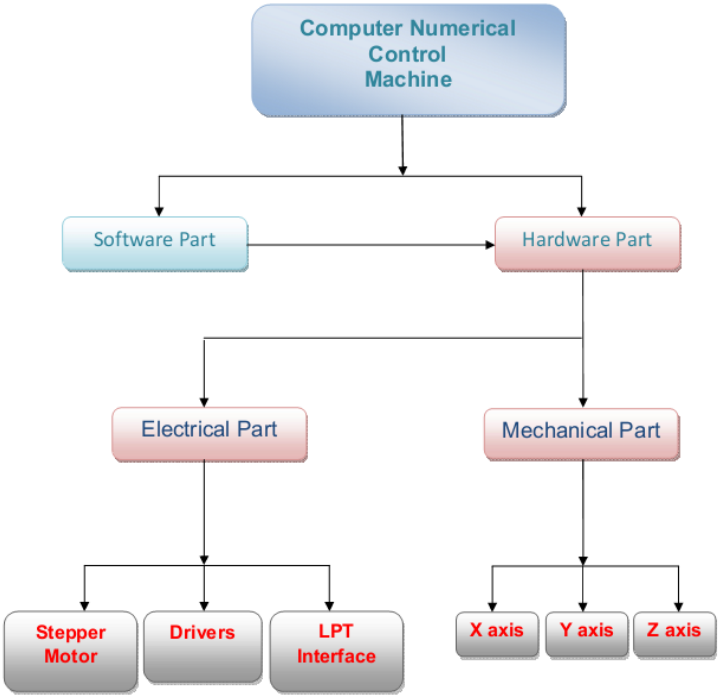
3. أهمية البحث و أهدافه:

إن تصميم آلة تعمل على تصنيع القطع وتشكيلها وحفرها هو تصميم بالغ الأهمية من حيث توفير الوقت والجهد اللازم للتصنيع وبعدد كبير من القطع وبدقة أفضل بكثير من تصميمها اليدوي ويهدف البحث إلى تصميم وتنفيذ آلة حفر مبرمجة بثلاث محاور مقادة بواسطة الحاسوب من أجل زيادة الإنتاج، وتطوير القطع المصنعة، وتحقيق استقرار في تكاليف الإنتاج، وإمكانية تصميم القطع المعقدة التي قد يستحيل صنعها باستخدام الطرق التقليدية.

4. مواد البحث و طرائقه:

1.4 المخطط العام لتصميم آلة الـ CNC:

يتألف المخطط العام من قسمين (Software و Hardware) ، كما يقسم الجزء الثاني إلى جزء ميكانيكي وآخر كهربائي، يشمل الجزء الميكانيكي تصميم الهيكل بما فيه محاور الآلة الثلاثة وتختلف المادة التي تصنع منها حسب الغرض المطلوب تنفيذه، أما الجزء الكهربائي فيشمل اختيار المحركات الخطوية، ودارات قيادة هذه المحركات، بالإضافة إلى دارة الملائمة لربط دارات القيادة مع الكمبيوتر لقيادة الآلة عن طريق برنامج (MACH3) الذي يرسل إشارات التحكم للمحركات عن طريق منفذ الطابعة (LPT) على شكل إشارات رقمية.



الشكل (1) المخطط العام لتصميم آلات الـ CNC.

2.4 تنفيذ التصميم الميكانيكي لمحاور الآلة:

تم استخدام معدن الكروم لما يتمتع به من خصائص مقاومة للتآكل والاحتكاك ونعومة السطح بالإضافة للمقاومة العالية للصدأ وهي مادة متوفرة بالأسواق ويبين الشكل (2) القضبان المستخدمة لصنع المحاور.

الشكل (2) قضبان الكروم.

قضبان محلزنة: أو ما تسمى بأسياخ الشرر، وتستخدم من أجل قيادة الحركة في اتجاه معين ويكون مثبت مع المحرك الخطوي بواسطة شريط مطاطي مسنن، وعند دوران القضبان المحلزنة تدور المتدحرجات فيحدث انزلاق للمحاور X,Y,Z وفق خطوات المحرك الخطوي.

الشكل (3) قضيب محلزن (سيخ الشرر).

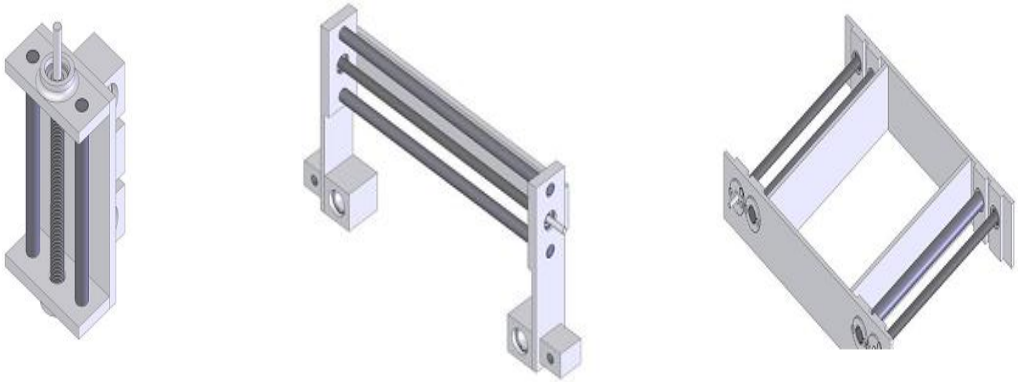
المتدحرجات الخطية: عبارة عن أسطوانات مفرغة تدخل فيها محاور الكروم وتحوي بداخلها حبيبات معدنية تؤمن سلاسة حركة المحاور X,Y,Z.

الشكل (4) المتدحرجات الخطية.

تجميع المحور X: ويتألف من سكتين من الكروم مثبتتين على قاعدة حديدية، سيخ الشرر على التوازي مع السكتين، أربعة متدحرجات خطية لتثبيت القوس عليها، حساس نهاية شوط للمحور X، عزقة حديدية تربط سيخ الشرر مع سكتي الكروم و قشاط يربط المحرك الخطوي بسيخ الشرر ويدوره عند دوران المحرك.

تجميع المحور Y: يتألف من سكتين من الكروم مثبتتين على قاعدة حديدية وتسمى القوس، سيخ الشرر على التوازي مع السكتين، متدحرجتان خطيتان لتثبيت المحور Z عليهما، حساس نهاية شوط للمحور Y، عزقة حديدية تربط سيخ الشرر مع سكتي الكروم، قشاط يربط المحرك الخطوي بسيخ الشرر ويدوره عند دوران المحرك.

تجميع المحور Z: يتألف من سكتين من الكروم مثبتتين على صفيحة حديدية، وسيخ الشرر على التوازي مع السكتين، متدحرجتان خطيتان لتثبيت صفيحة أخرى يربط معها رأس الحفر، حساس نهاية شوط للمحور Z، صفيحة حديدية تربط سيخ الشرر مع سكتي الكروم، قشاط يربط المحرك الخطوي بسيخ الشرر ويدوره عند دوران المحرك ورأس الحفر، ويمكن أن يكون رأس الحفر مثقباً أو قرصاً دواراً للقص، حيث يمكن تبديله حسب المشغولة المطلوب تنفيذها.



المحور Z **المحور Y** **المحور X**

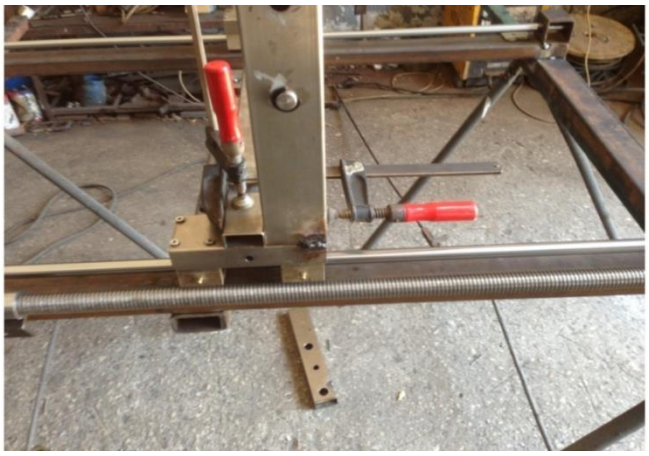
الشكل (5) المحاور الثلاثة لآلة الـCNC .

بعض مراحل تصنيع الهيكل :

تصميم سيخ الشرر بطول (1.5 m) وتحتاج الآلة لثلاثة قضبان محلزنة حيث يركب لكل محور قضيب واحد ويتم إدخال قضيب كل محور في المتدحرجات الخطية لتتحرك المحاور مع بعضها بسلاسة ونعومة يبين الشكل (6) تصميم القضيب المحلزن للمحور X.

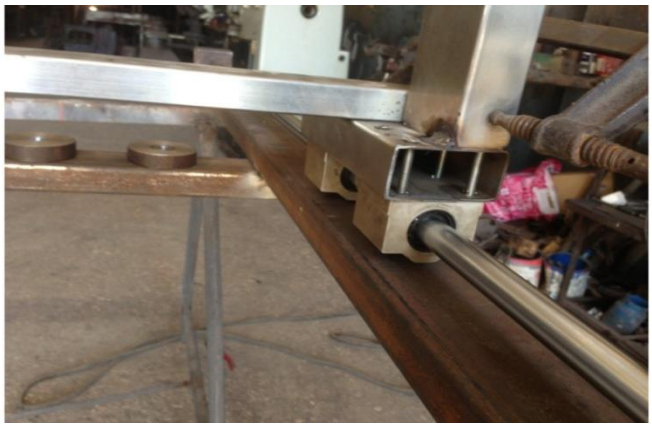
الشكل (6) تصميم القضيب المحلزن .

تركيب سيخ الشرر الذي يحرك للمحور X كما هو مبين في الشكل (7).



الشكل (7) تركيب سيخ الشرر الذي يحرك للمحور X.

ربط القوس (المحور Y) مع المتدحرجات الخطية كما هو مبين في الشكل (8) .



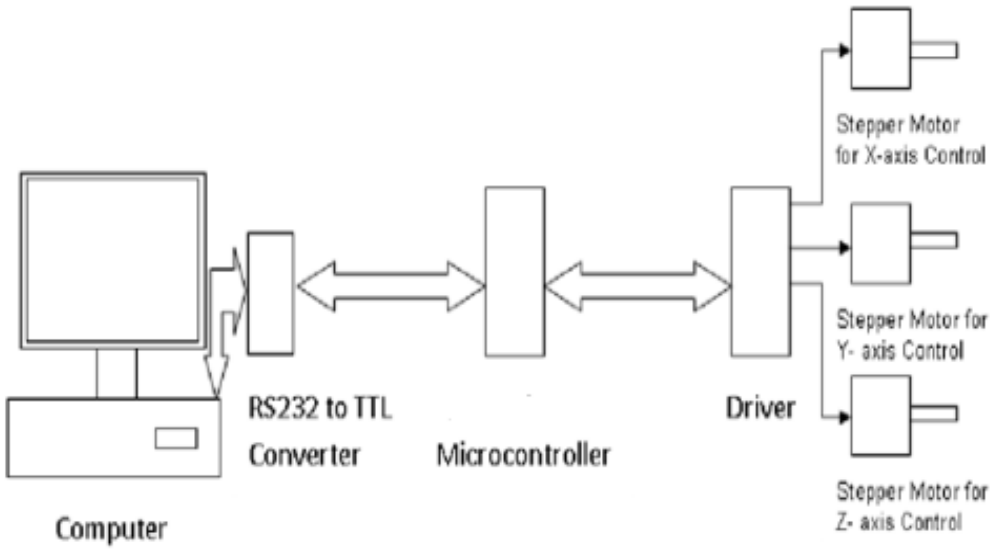
الشكل (8) تركيب المحور Y مع المحور X.

تصميم المحور Z بشكل متعامد مع المحورين السابقين وتثبيت المثقب مع قضبان المحور Z، الشكل (9).

الشكل (9) تركيب المحور Z.

3.4 تصميم الدارات الكهربائية:

تنتقل نبضات التحكم من الكمبيوتر عن طريق منفذ (LPT) على شكل إشارات رقمية يتم إرسالها عن طريق النص البرمجي الذي يولده برنامج (MACH3) وفق الصورة التي يتم تحميلها إلى البرنامج أو رسمها وتصميمها عليه و المطلوب تنفيذها على القطعة الخشبية عبر دارة الملائمة إلى دارات القيادة الخاصة بكل محرك لتحريك كل محور لتنفيذ النموذج المطلوب كما يوضح الشكل (10):



الشكل (10) مخطط عملية التحكم بآلة الـ CNC.

1.3.4 المحركات الخطوية Stepper Motors :

هي محركات تيار مستمر يتكون الثابت فيها من ملفات تمثل مغانط ثابتة على شكل أسنان، أما الجزء الدوار منها فهو عبارة عن مغناطيس دائم مسنن أو غير مسنن. والمحركات المستخدمة محركات خطوية ذات مغناطيس دائم أحادي القطبية بدقة (1.8) وتيار (2 A) لكل ملف وتغذية (24 Volt).

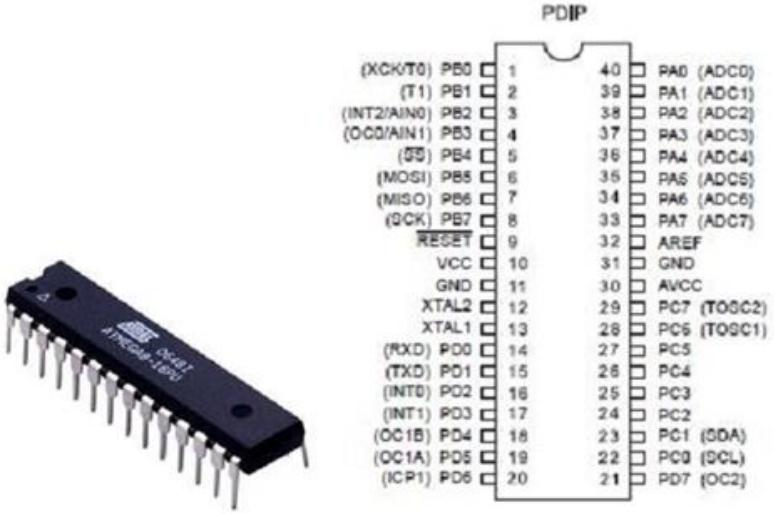
الشكل (11) المحركات الخطوية.

2.3.4 دارات قيادة المحركات الخطوية:

وهي الدارة التي تقوم بتوزيع الاشارة على ملفات المحرك الخطوي حسب الاتجاه المطلوب وبالمقدار المطلوب وتعتمد طريقة توصيل أقطاب المحرك عليها، كما أن هذه الدارة تقوم بحماية دارات التحكم من التيارات العالية والتي يحتاجها المحرك الخطوي فهي بمثابة عازل بين إشارات التحكم المقدمة من أجهزة القيادة وجهود التغذية العالية والتيارات العالية لتغذية المحركات الخطوية، وتتألف الدارة من العناصر التالية:

1- متحكم AVR من نوع ATMEGA8:

اخترنا هذا المتحكم نظراً لأنه يحوي على عدد كبير من المنافذ التي يمكن استخدامها كمادخل ومخارج حيث أنه يحوي على 40 pin موزعة إلى أربع مجموعات هي: A,B,C,D وكل مجموعة تحوي على ثمانية منافذ تعمل كدخل وخرج و هذا ما يعطينا 32 منفذيمكن الإستفادة منها في عملية التحكم.



الشكل (12) متحكم AVR من نوع ATMEGA8.

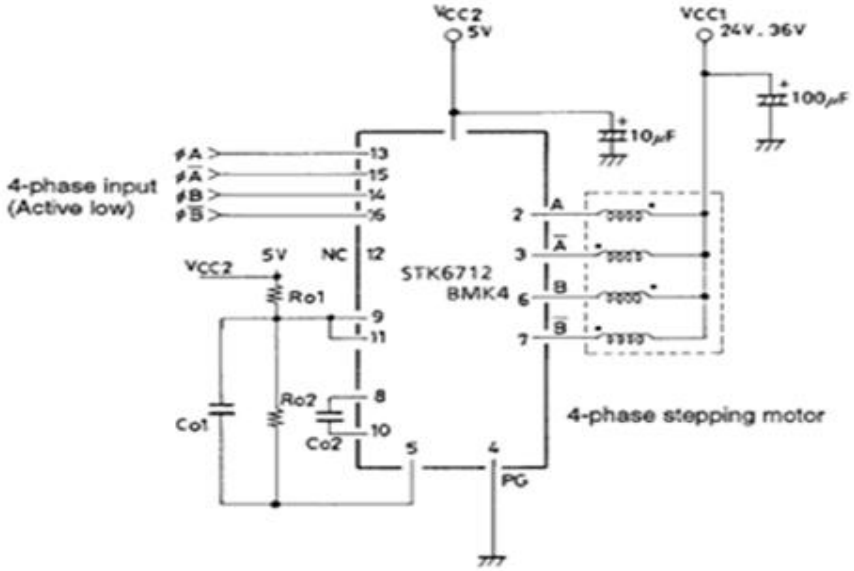
2- الدارة المتكاملة STK6712B MK4:

لقد تم استخدام الدارة المتكاملة (STK6712B-MK4) لقيادة المحركات الخطوية ذات المغناطيس الدائم الأحادية القطبية والثنائية القطبية، تعمل الدارة على جهد (5 Volt) والمحركات على جهد (24 Volt)، وظيفة هذه الدارة استقبال النبضات التي ترسل إلى الملفات وذلك من خلال متحكم (ATmega8) الموصول مع المنفذ التفرعي (LPT)، أما مخارج الدارة فهي خمسة مخارج تذهب للمحرك الخطوي من أجل تمرير التيار أو عدم تمريره للملفات.

تجدر الإشارة إلى أننا نحتاج لثلاث دارات تقوم كل دارة بقيادة محرك من المحركات الخطوية، ويبين الشكل التالي دارة القيادة مع بعض المكثفات الكيميائية والعدسية لتفادي التشويش والضجيج.

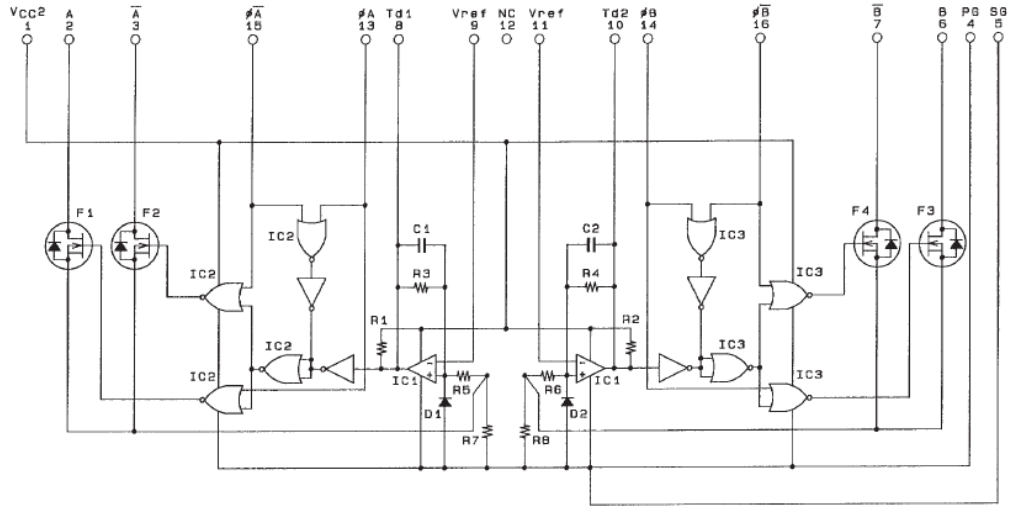
الشكل (13) دارة قيادة المحركات الخطوية STK6712B MK4.

أما أقطاب الدارة المتكاملة فتكون موزعة كما في الشكل التالي:



الشكل (14) توزيع أقطاب الدارة المتكاملة STK6712B MK4.

Internal Equivalent Circuit



الشكل (15) البنية الداخلية للدارة المتكاملة STK6712B MK4 .

3- دارة الملائمة Interface Circuit :

وهي الدارة المستخدمة في تطوير المشروع لقيادته بواسطة الحاسب، حيث تشكل الوسيط بين الحاسب ودارات قيادة المحركات الخطوية ووظيفتها الموائمة بين إشارات خرج المنفذ التفرعي LPT القادمة من الحاسب أي تحويلها إلى منطق (TTL)، ومعالجة الاشارات الدخل للعنصر المتكامل (LM297) وإعطاء الخرج المناسب الذي سيشكل دخلاً لدارات القيادة، هذه الإشارات تعطى بواسطة برنامج (MACH3) المخصص لقيادة آلات الـ CNC وهذه الإشارات هي:

1- إشارات تفعيل المحاور (enable): وهي الإشارات التي تحدد أي من المحاور سترسل له إشارات التحكم وذلك بإرسال الإشارات إلى دارة قيادة المحرك الخاص بكل محور.

2- إشارات التحكم بالاتجاه (direction):وتحدد الاتجاه الذي ستتحرك فيه المحاور سواء للأمام أو الخلف للأعلى أو الأسفل بالنسبة للمحور Z وذلك وفق الإحداثيات المحددة.

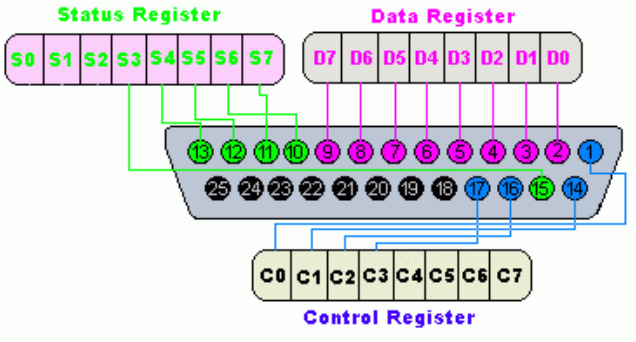
3- إشارات التحكم بالسرعة (step): تتحكم هذه الإشارات بسرعة حركة كل محور لتتوافق مع بعضها في الوصول إلى نقطة العمل المطلوبة.

4- اتصال دارة القيادة مع الحاسب:

المنفذ التفرعي (LPT) هو أداة بسيطة ورخيصة لبناء المشاريع التي يتم التحكم بها حاسوبياً والآلات البسيطة والمعقدة حيث أن برمجته السهلة جعلته مشهوراً في عالم التحكم ونقل المعطيات.

إن المنفذ التفرعي يستعمل للتحكم في الروبوتات وبرمجة المتحكمات الصغيرة وعمل المصافحة مع الأجهزة المحيطية وأتمتة الآلات الصناعية.

حيث يعتبر المنفذ التفرعي للحاسوب من المنافذ الشائعة الاستخدام في عمليات ربط التجهيزات الخارجية مع الحاسوب، وذلك بسبب سهولة الوصول إليه، كما تحتوي كافة المنافذ التفرعية على ثماني خطوط خرج هي خطوط المعطيات وعلى خمسة خطوط دخل وعلى أربعة خطوط تحكم، والشكل (16) يوضح المخطط العام للمنفذ التفرعي:



الشكل (16) المخطط العام للمنفذ التفرعي (LPT).

كما يتضح من الشكل فإن الخطوط في المنفذ مقسمة إلى ثلاث مجموعات هي خطوط البيانات التي تنقل البيانات، وخطوط التحكم التي تستعمل للسيطرة على الوحدة الملحقة المتصلة بالمنفذ، و خطوط الحالة التي تحدد إشارات الحالة، وهذه الخطوط متصلة داخلياً بمسجلات البيانات والتحكم والحالة على الترتيب.

4.4 القيادة الآلية باستخدام البرنامج MACH3:

يستخدم المصمم عموماً برامج التصميم باستخدام الحاسب، وخرج هذه البرامج يكون على الغالب بلغة G-cod، ويتم نقله إلى الآلة بواسطة الشبكة أو القرص المضغوط والتي سوف تقوم بترجمة النص البرمجي وتحويله إلى أوامر حركة لأجزاء الآلة على سطح العمل.

الشكل (17) برنامج (MACH3).

1.4.4 العناصر الرئيسية في الشاشة:

أزرار (Cycle Start, Feed Hold, Stop)، و مربع لعرض برنامج G-cod، و مربع لعرض الشكل المصمم، مجموعة ليدات حالة، و مجموعة أزرار تحكم (سرعة، اتجاه ..)، و مجموعة شاشات تدل على إحداثيات المحاور، وقسم خاص بعرض الأخطاء، ويحوي برنامج MACH3 على عدة شاشات عرض (Program MDI, Tool path Run,).

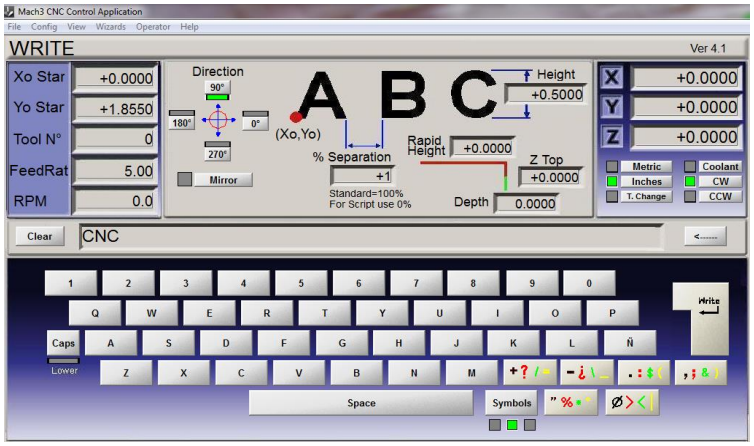
2.4.4 توليد النص البرمجي بطريقة Wizards :

بعد القيام بعملية التصميم المختارة يولد البرنامج النص البرمجي G-code للقيام بعمليات القطع المطلوبة، وبعض الأمثلة على العمليات التي يتضمنها Wizard (نشر تجويف، حفر مصفوفة من الثقوب، حفر نص...).

نقوم باختيار العملية المطلوبة من نافذة Wizards فتظهر من الشاشة الخاصة بالعملية كما يبين الشكل التالي:

الشكل(18) اختيار العملية المطلوبة من نافذة.

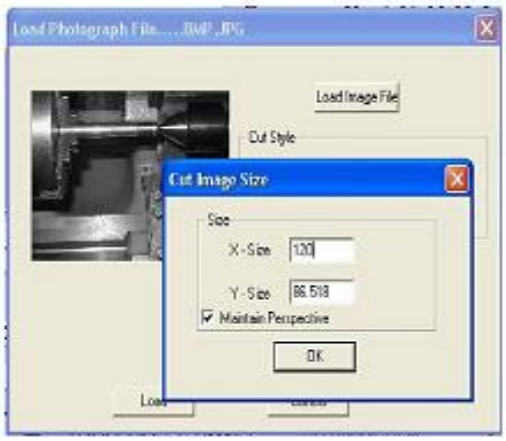
باختيار Write العمود Description يحتوي على وصف للعملية (Text Engraving V4) بعد الاختيار تظهر لدينا النافذة التالية:



الشكل(19) نافذة Write.

لطباعة نص معين – طباعة كلمة CNC في مثالنا– وتحديد الأبعاد المطلوبة (ارتفاع الأحرف، المسافة بين الأحرف..) كما تحوي على خصائص متنوعة مثل خاصية تحديد نوع الخط، وبعد كتابة النص نضغط على زر Write فيقوم البرنامج بتوليد النص البرمجي G-code والذي يعبر عن شكل الأحرف وبالخصائص المحددة مسبقاً وتحميل هذا البرنامج من نافذة برنامج G-code في النافذة الرئيسية.

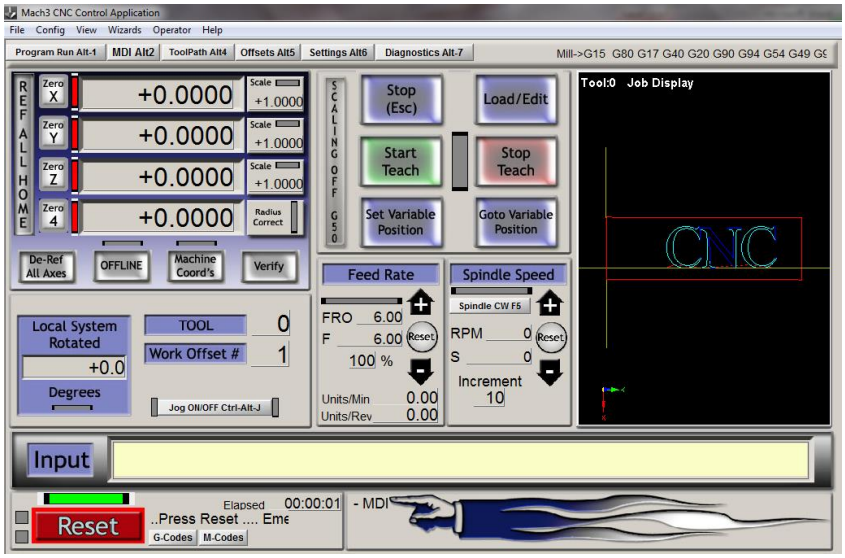
أما توليد الكود البرمجي لملفات (BMP & JPEG) فإن هذا الخيار يمكننا من توليد الكود البرمجي لصورة فوتوغرافية التي ستعالج وفق الخصائص الرمادية كما في الشكل (20).



الشكل(20) نافذة load photograph.

نختار (file>import HPGL/BMP/JBG) ثم نقوم بتحميل الصورة بالضغط على زر(Load Image File) يمكننا من تحديد واحدات القياس فيما إذا كانت (inch or metric) والذي يعتمد على التعليمتين (G20/21).

نقوم بإجراء تباين بين اللونين الأبيض و الأسود ثم نقوم بمعالجة الصورة لتوليد الملف البرمجي بلغة (G-code) والذي يحمل بالنافذة الخاصة بالكود في النافذة الرئيسية .

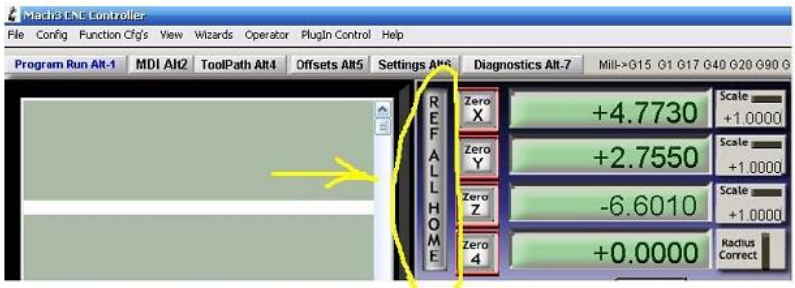


الشكل(21) طباعة كلمة CNC من أجل توليد الكود البرمجي لحفرها.

3.4.4 نقطة أصل الآلة:

هي النقطة الوحيدة على سطح طاولة الحفر التي يمكن للبرنامج التعرف عليها عند تشغيل الآلة وتشغيل البرنامج أو عند حدوث أية مشكلة نتيجة انقطاع الكهرباء أو غيرها، ولهذه النقطة إحداثياتها الثلاثة X ,Y ,Z .

ومن هذه النقطة نستطيع تحديد المكان الذي يجب أن يبدأ منه المثقب بالحفر، وتعرف من خلال مفاتيح Reference All Home. الموضح بالشكل:

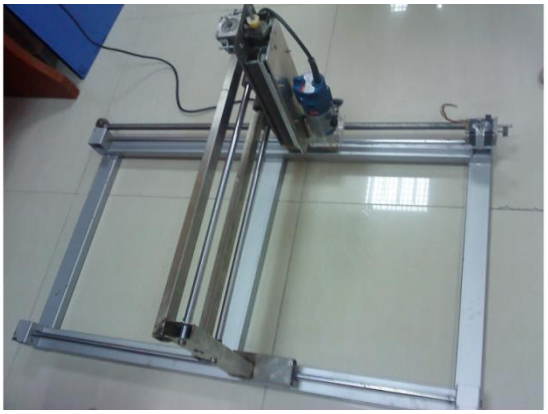


الشكل(22) مفاتيح Home Reference All.

مع التنويه أن كل محور من المحاور الثلاثة له مفتاح Home خاص به، وغالباً ما يثبت على الطرف، حيث أنه بالضغط على هذا الزر يبدأ المحور Z أولاً بالحركة نحو مفتاح Home الخاص به بالسرعة التي يتم ضبطها حتى يضغط على مفتاح Home في تلك اللحظة يرسل المفتاح إشارة إلى البرنامج فتتحرك محاور الآلة بالاتجاه العكسي لاتجاه سيره الأول، عندئذ يرسل المفتاح إشارة فيتوقف المحرك في نقطة بجوار مفتاح Home مباشرةً، وسنجد أن قراءة شاشة الإحداثيات أمام المحور Z قد أصبحت 0,000 وبنفس الطريقة بالنسبة للمحور Y و Z .

4.4.4 نقطة صفر المشغولة :

هي النقطة التي يبدأ عندها المثقب بعملية الحفر، وتختلف عن نقطة صفر الآلة التي تكون بجوار مفاتيح Home، أما الـ offset فهي المسافة التي تفصل نقطة صفر الآلة عن نقطة صفر المشغولة.



الشكل (23) آلة الـ CNC.

5. النتائج:

1. حقق التصميم النتيجة المتوقعة بحفر ثقب عند الإحداثيات المدخلة عن طريق الحاسب وبالعمق المطلوب من خلال حركة المحورين X و Y نحو النقطة المحددة على سطح القطعة، أما بالنسبة لعمق الثقب المحدث فيعتمد على حركة المحور Z الذي يحمل المثقب، ومن عيوب هذا التصميم أن الحركة بطيئة، نظراً لصغر استطاعة المحركات المستخدمة مقارنةً بضخامة الهيكل، وبذلك يحتاج إلى محركات ذات عزم أكبر واستخدام ناقل حركة يربط بين المحركات والقضبان المسننة للحصول على حركات أسرع للآلة.

2. إن الاعتماد على آلة الـ CNC جعل العمل أكثر فاعلية ودقة خلال وقت وجهد أقل مقارنة مع العمل اليدوي مع إمكانية تصميم قطع متماثلة بسهولة.

3. من عيوب استخدام الآلة ارتفاع تكاليف تصميمها وصيانتها وسرعة تعرضها للأعطال كما هو الحال في كل الآلات التي تحتوي على محركات.

المراجع:

[1] Hasan, M. M., Khan, M. R., Noman, A. T., Rashid, H., Ahmed, N. ,& Reza, S.T. (2019). Design and implementation of a microcontroller based low cost computer numerical control (CNC) plotter using motor driver. In 2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE) (pp. 1-5).IEEE.

[2] Madekar, K. J., Nanaware, K. R., Phadtare, P. R., & Mane, V. S. (2016). Automatic mini CNC machine for PCB drawing and drilling. International Research Jornal of Engineering and Tichnology (IRJET), 3(02), 1107-1108.

[3] Quatrano, A, De, S., Rivera, Z. B., & Guida, D. (2017). Development and implementation of a control system for a retrofitted CNC machine by using Arduino. FME Transactions, 45(4),565-571.