الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمـي

جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي

كلية : العلوم و التكنولوجيا

قسم : الهندسة الكهربائية

مذكرة مقدمة لاستكمال متطلبات شهادة ماستر اكاديمي

ميدان علوم و تكنولوجيا

الشعبة : اتصالات سلكية ولا سلكية

التخصص: أنظمة اتصالات

تحت عنوان

تصميم و انجاز نموذج الة تحكم رقمي بواسطة الحاسوب CNC مصغرة على أساس اردوينو اينو Arduino Uno

من اعداد الطلبة :

زنقي يوسف

بالهادي خالد

اشراف الاستاذ :

هيمة عبد القادر

لجنة المناقشة

د.حتيري مسعود	رئيس قسم الهندسة الكهربائية – بجامعة الوادي	رئيسا
د. هيمة عبد القادر	استاذ محاضر – بجامعة الوادي	مشرفا و مقررا
د. تجاني امينة	استاذة محاضرات – بجامعة الوادي	مناقشا

السنة الجامعية 2022/2023

الشكر

قال الله ﷻ في القران الكريم:

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

ٱقْرَأْ بِٱسْمِ رَبِّكَ ٱلَّذِى خَلَقَ ۝١ خَلَقَ ٱلْإِنسَٰنَ مِنْ عَلَقٍ ۝٢
ٱقْرَأْ وَرَبُّكَ ٱلْأَكْرَمُ ۝٣ ٱلَّذِى عَلَّمَ بِٱلْقَلَمِ ۝٤ عَلَّمَ ٱلْإِنسَٰنَ
مَا لَمْ يَعْلَمْ ۝٥

فالحمد لله الذي بنعمه تتم الصالحات و الحمد لله الذي منحنا قوة العزم في الوصول الى ختام هذا المشوار الاكاديمي في الماستر

كما نتقدم بالشكر الخاص الى الدكتور عبد القادر هيمة مشرفنا و الذي كان له تاثير لامع في مبادرته الطيبة اتجاهنا و منحنا عنوان مشروع هذه المذكرة

شكرا شكرا شكرا

و كل الشكر الى الطاقم الاداري و الدكاترة في كلية العلوم و التكنولوجيا خاصة و في جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي عامة

شكرا

الإهداء

الى والدى العزيز....

الى والدتى العزيزة....

و الى اخوتي الاعزاء....

و الى زملائي في الدراسة....

و الى كافة من سخروا حياتهم في التعليم في شتى المجالات و كل المسارات جزاءهم الله عنا خيرا

و رحم الله من سبقونا الى دار الحق منهم و غفر لهم.

و الى كل من ساهم فى نشر المعرفه

الملخص :

في ايطار تصميم و انجاز الة التحكم الرقمي بواسطة الحاسوب CNC مصغرة على اساس اردوينو اينو Arduino Uno تم تنظيم العمل على النحو التالي:

سيكون الفصل الأول موضوع عرض نظرة عامة عن آلاتCNCو مختلف انواعها و وصف محركات خطوة بخطوة بطريقة تسمح بالحصول على الفكرة و المعلومات و تنوع الحلول التي يمكن تقديمها، لاستخدام هذا المحرك

أما الفصل الثاني فقد خصص لوصف المكونات الإلكترونية المتحكم في المحركات الخطوية المعتمدة على بطاقة Arduino Uno والدوائر المتكاملة (Easy Driver 298 297.step (driver A4988.CNC Shield V3…

وتم التعامل مع مثال للتحكم في محرك متدرج لبيان تطبيق هذا الأمر من خلال اضافة مخططات توضح ذالك في حالتنا

اضافة الى جزء البرمجة

حيث تناول هذا الفصل ايضا دراسة البرمجة والواجهة الرسومية وتطبيقها على ماكينة CNC كنظرة عامة على البرامج مثل Inkscape هو برنامج رسم متجه يوفر واجهة رسومية لإدارة الصور المتجهة برنامج Arduino IDE ….الخ

في الفصل الأخير. قدمنا منصة الاختبار التجريبي او العمل التنفيذي التطبيقي لمشروعنا المستخدم للاختبار في الوقت الحقيقي لخوارزميات التحكم التي تم تطويرها في الأجزاء السابقة يتم عرض النتائج التي تم الحصول عليها بطريقة يمكن مقارنتها مع نتائج المحاكاة وكذلك للتحقق مما إذا كانت التحسينات التي تم إجراؤها في عمليات المحاكاة سيتم الاحتفاظ بها في التجربة.

يتضمن الجزء الأخير من هذه الأطروحة خلاصة عامة..

الكلمات المفتاحية

محرك خطوة بخطوة. الة التحكم الرقمي CNC . الاردوينو ، الدوائر المتكاملة .

grbl . Step Driver A4988 . CNC Shield V3

الفهرس

الشكر 1

الإهداء 2

الملخص : 3

الكلمات المفتاحية 3

الاختصارات 8

الفصل الأول الوصف العام لآلة CNC 9

الفصل الثاني الجزء الالكتروني و جزء البرمجة 9

الفصل الثالث التنفيذ العمل و التطبيقي 11

مقدمة عامة 12

الفصل الاول 13

الوصف العام لآلة CNC 13

الوصف العام لآلة CNC: 14

1. مقدمة: 14

2-تاريخ CNC: 14

3/ محرك خطوة بخطوة 16

1/ تاريخي: 16

2/ عام: 16

3/ أنواع مختلفة من المحركات خطوة بخطوة: 16

4/ محركات ذات ممانعة متغيرة 17

1 / 1- أمبدأ التشغيل بسيط جدا: 17

2/ محرك المغناطيس الدائم: 18

2/ 1 - محرك مغناطيسي دائم ثنائي القطنية: 18

2/ 1- ا - عملية خطوة كاملة: 18

2/ 1- ب - التشغيل بأقصى عزم دوران: 19

2/ 1 - ت - عملية نصف خطوة: 19

2/ 2- محرك مغناطيسي دائم أحادي القطب: 20

.2/2-ا- تشغيل محرك خطوة بخطوة أحادي القطب: 20

2/2 -ب - :الحالات المتعافية للأطوار الحركية أحادية القطب: 21

2/2 – ت - :تشغيل المحرك أحادي القطب في وضع نصف الخطوة: 21

2/ 3 - محرك متدرج هجين:MH 22

3/2 -ا- تكنولوجيا المحركات خطوة بخطوة الهجينة: 23
4/ مقارنة بين الأنواع المختلفة المحركات الخطوية : 23
5- مبدأ تشغيل آلة CNC 23
6 - تصنيف ماكينات CNC 24
7- تصنيف الـ CNC حسب طريقة التشغيل 24
أ) عملية الحلقة المفتوحة 25
ب) عملية الحلقة المغلقة 25
ج) التشغيل مع التحكم التكيفي 25
8- أنواعCNCومجالات الاستخدام: 26
8. 1. جهاز التوجيه: 26
8. 2. البلازما: 27
8. 3-الليزر: 27
8. 4. طابعة ثلاثية الأبعاد : 28
8. 5. الانتقاء والمكان: 28
9 / الخاتمة : 29
الفصل الثاني 30
الجزء الالكتروني و جزء البرمجة 30
1/ جزء المعدات الإلكترونية: 31
1 – مقدمة 31
2/ لوحة اردوينو: 31
1/ لوحة Arduino: 31
2/ تقديم بطاقة اردوينونو: 32
3/ ملخص الخصائص: 33
4/ ارجلMSP430G2553: 33
أ. إمدادات الطاقة: 33
ب. ارجل البرمجة: 34
ت . ارجل الإدخال والإخراج: 34
5/ مجلس تطوير MSP430 LaunchPad: 34
6/التحكم في محرك خطوة بخطوة 35
1/ مصدر الطاقة: 35
2/ التحكم المباشر بمضخم L298: 35
دائرة L298: 35

الدائرة L297 36
3/ الرسم التخطيطي النظري للتجمع 37
7/ بطاقة EasyDriver: 37
8 /الدائرة الكهربائية :CNC Shield V3 39
2/ جزء البرمجة : 40
1/ برنامج :Arduino (IDE) 40
2/ برنامج:GRBL 42
3/ تنصيب برنامجGRBL: 43
4/ تهيئةGRBL: 45
5/ لغة وحدات التحكم الرقمية :G-code 46
1/5- الوصف: 46
2/5- برنامج :G-code 46
3/5- تنسيق سطر واحد: 47
6/ محرر النص أو الصورة المترجم للغة :CNC 47
1/6- تعريف :Inkscape 47
7/ متحكّم GRBL: 48
1/7- كيفيّة استخدام المرسل Univarsal G-code sender : 49
8/ برنامج :X Loader 54
9/ الخاتمة: 56
الفصل الثالث 57
التنفيذ العملي و التطبيقي 57
1/ مقدمة: 58
2/ تصنيع الة : CNC 58
الخطوة 01: المواد اللازمة لصنع الة :CNC 58
الخطوة 02: تفكيك محركات اقراص DVD: 60
الخطوة 03 : اعداد محركات خطوة بخطوة ذات المحاور X و Y و Z: 60
الخطوة 04 : تصنيع هيكل الالة : 61
الخطوة 05 : توصيل الدارة : 61
الخطوة 06 : تجميع المحاور الثلاث X و Y و Z و الة :CNC 61
الخطوة 07 : اختبار المحاور الثلاث X و Y و Z: 63
الخطوة 08 : اعداد جهاج الحاسوب لارسال ملفات :G code 64
الخطوة 09 : الكابة بواسطة الة CNC: 65

الخاتمة: 66
الخلاصة العامة **67**
المراجع **69**
المرفق (الملحق) **72**
اعدادات و تكوين :grbl..... 72
اوامر و تعليمات grbl الافتراضية : 78
اوامر و تعليمات التكوين لآلة CNC ثلاثية المحاور: 79
مخطط سلسلة للتحكم في ماكينة CNC ثلاثية المحاور: 80
مخطط خطوات تجربة صنع النموذج:..... 81

الاختصارات

- CNC Commande Numérique par Calculateur التحكم الرقمي عن طريق الكمبيوتر
- **Xm** abscisse outil machine الاحداثيات الالية
- **Ym** ordonnée outil machine تنسيق اداة الالة
- **Zm** hauteur outil machine ارتفاع اداة الالة
- **UGS** Universal Gcode sender مرسلGcode العالمي
- **CN** Commande Numerique التحكم الرقمي
- **IDE** Espace de developpement integre مساحة التطوير المتكاملة
- **MH** Hybrid motor المحرك الهجين
- **ROM** Mémoire morte (Read Only Memory) ذاكرة القراءة فقط
- **EEPROM** Mémoire morte effaçable électriquement et programmable (Electrically Erasable Read Only Memory) ذاكرة القراءة فقط القابلة للمسح كهربائيا
- **STEP** Standard pour l'échange de données de produit (STandard for the Exchange of Product model data en anglais) معيار تبادل بيانات نموذج المنتج
- **GRBL** Gcode Reader Based on an Arduino Libraryنظام التحكم في الحركة

قائمة الاشكال

الفصل الأول الوصف العام لآلة CNC

الشكل ا:اتجاه حركة ماكينة CNC 14

الشكل 1 :محرك ذو ممانعة متغيرة 17

الشكل : 2 تمثيل تخطيطي لمحركثنائي القطب 18

الشكل : 3 عملية كاملة الخطوة 18

الشكل : 4 التشغيل بأقصى عزم دوران 19

الشكل 5 :العملية نصف خطوة 19

الشكل 6 :تمثيل تخطيطي لمحرك أحادي القطب 20

الشكل 7 :تشغيل محرك متدرج أحادي القطب..... 21

الشكل 8 :المحرك الهجين (MH) 22

الشكل9 : تحل لآلة رقمية [1]. 24

الشكل10 : عملية الحلقة المفتوحة [3]..... 25

الشكل 11 : عملية الحلقة المغلقة [3]. 25

الشكل12 : التشغيلمعالتحكمالتكيفي [3]. 26

الشكل 13: جهاز توجيه CNC ثلاثي المحاور 26

الشكل 14 : قواطع البلازما CNC من ماركة سامسون. 27

الشكل 15 : ماكينة نقش CNC 3018 5500 ميجاوات ليزر 27

الشكل 16 : طابعة Zortrax M200 ثلاثية الأبعاد 28

الشكل 17 : آلات الانتقاء والوضع باستخدام الحاسب الآلي 28

الفصل الثاني الجزء الالكتروني و جزء البرمجة

الشكل 1:مجالات استخدام لوحة Arduino. 32

الشكل 2: صورةحقيقية للوحة اردوينو 32

الشكل3:MSP430G2553 Pinouts..... 33

الشكل4: لوحة تطوير LaunchPad MSP430G2553..... 34

الشكل5 : التحكم في المحرك بواسطة الدائرةL298 36

الشكل 6 :التحكم في المحرك بواسطة زوجين اردوينوL297وL298. 37

الشكل7:دائرة EasyDriver 38
الشكل 8 : صورة توضح CNC Shield 39
الشكل 9 :صورة توضح 4 من step driver A4988 40
الشكل 10 :مخطط تركيب step driver A4988 40
الشكل 11 :المخطط الكهربائي الرئيسي 40
الشكل 12 :صورة توضح خلفية برنامج Arduino IDE 40
الشكل 13 :صورة توضح واجهة برنامج Arduino IDE 41
الشكل 14 :صورة توضح مختلف الايقونا ت منشريطال اوامرالسريعة 41
الشكل 15 :نظرة شاملة على ماكينة CNC ومكوّناتها (مصدرالصورة:
موقعhowtomechatronics) 42
الشكل 16 :كيفية ربط المكونات المادية وتوصيلِها (مصدرالصورة:
موقعhowtomechatronics) 43
الشكل 17 :واجهة موقع GITHUB وتحميل البرنامج من خلاله (مصدرالصورة:
موقعhowtomechatronics) 43
الشكل 18 :إضافةGRBLكمكتبةإلىArduino IDE (مصدرالصورة:
موقعhowtomechatronics) 44
الشكل 19 :مجلد "grbl" (مصدرالصورة: موقع howtomechatronics) 45
الشكل 20 :الواجهة الرئيسية لبرنامج Inkscape 48
الشكل 21 :المرسل Univarsal G-code sender (مصدرالصورة:
موقعhowtomechatronics) 48
الشكل: 22 واجهة التحقق من الاتصال CONNECTION (مصدرالصورة:
موقعhowtomechatronics 49
الشكل 23 : واجهة التحقق من اتجاهات الحركة للمحرّك Motor Wiring
(مصدرالصورة: موقع howtomechatronics) 50
الشكل 24 :خطوة المعايرة (الخاصّة بالتحريك) (مصدرالصورة:
موقعhowtomechatronics) 50
الشكل 25 :استخدام المسطرة لمعرفة المسافة التي تحركت إليها الماكينة
(مصدرالصورة: موقعhowtomechatronics) 51
الشكل 26 : واجهة step calibration التي تعرض بارامترات DIY CNC
(مصدرالصورة: موقع howtomechatronics) 51
الشكل 27 :منصة UGS (مصدرالصورة: موقع howtomechatronics) 52

الشكل 28 :واجهة مفاتيح limit switches (مصدرالصورة: موقعhowtomechatronics) 52
الشكل 29 :كيفية تعديل مِلف config.h (مصدرالصورة: موقعhowtomechatronics) 53
الشكل 30 :واجه ةHoming (مصدرالصورة: موقع howtomechatronics) 53
الشكل 31 :واجهةsoft limits (مصدرالصورة: موقعhowtomechatronics) ... 54
الشكل 32 :صور توضح برنامج XLoader وعملية تحميل الملف 55
الشكل 33 :صورة توضح عملية تحميل الملف من برنامج XLoader 55

الفصل الثالث التنفيذ العمل و التطبيقي

الشكل 1 –نظام الازاحة الخطية المستعاد من مشغلDVD 60
الشكل 2- تلحيم الاسلاك في المحرك 61
الشكل 3- صورةت وضح توصيل ربطا لدارة بواسطة لوحةالاختبار 61
الشكل 4- الة CNC المصنعة 62
الشكل 5- صورة توضح تثبيت دارة CNC 63
الشكل 6- اختبارالمحاور الثلاث X و Yو Z 63
الشكل 07-صورة توضح ارسال G Code 64
الشكل 08-صورة توضح التحكم في برنامج grbl control 64
الشكل 09-صورة توضح قراءة G Code في برنامج Candle 65
الشكل 10-صورة توضح الكتابة بواسطةالة CNC 65

مقدمة عامة

اصبحت اليوم، تتيح آلات التحكم العددي بالكمبيوتر (CNC) إنتاجا اقتصاديًا ومريحاً، غير انها تضل مراقبة التكاليف مصدر قلق مهم يتطلب الانخفاض في الكميات المتسلسلة وتقصير عمر خدمة المنتجات النهائية وعمليات إنتاج مرنة بشكل متزايد في السنوات الأخيرة شهدت السيطرة على الآلات الكهربائية تقدما كبيرا. ويعود هذا التقدم بشكل أساسي إلى الثورة التكنولوجية في الحوسبة الصناعية، والتي أتاحت تطوير حلول رقمية فعالة مع إمكانية تنفيذ خوارزميات متعددة

إن تفاصيل هذا العمل في إطار مشروع نهاية الدراسة سمح لنا بتعميق معرفتنا النظرية في مجال الإلكترونيات واكتساب خبرة جيدة على مستوى التطبيق العملي.

في هذا المجال ، جرت محاولة لتوفير التحكم الآلي لثلاثة محركات متدرجة وينطبق على آلة CNC يتكون مشروع نهاية الدراسة الخاص بنا من تفاصيل وإنتاج لوحة تحكم إلكترونية لثلاثة محركات متدرجة أعطانا هذا المشروع فكرة أفضل عن التكامل بين الجزء النظري والجزء العملي.

في الجزء الأول بدأنا أولاً بالمرحلة الأولى التي تعتمد على عرض آلة CNC والمرحلة الثانية تتكون من محركات خطوة بخطوة التي قمنا بدراستها بالتفصيل. هذا الجزء ضروري لتشغيل ماكينات CNCكونه يعتبر من الاجزاء الاكثر تعقيدا.

تعتمد هذه الأوامر في الغالب على المعالجات الدقيقة DSP (معالجات الإشارة الرقمية) ووحدات التحكم الدقيقة PIC وقد تم تجهيز هذه المعالجات بوحدة حسابية ومنطقية (LUAL) مخصصة لإجراء العمليات الحسابية. كما انها تدمج الأجهزة مثل المحولات التناظرية الرقمية والمؤقتات المناسبة تماماً لاحتياجات التحكم في الآلات الكهربائية يعد المحرك المتدرج بمثابة الواجهة المثالية بين الإلكترونيات الرقمية والميكانيكية، فهو يسمح بالتحويل المباشر للإشارة الكهربائية إلى موضع زاوية ذي طبيعة تدريجية. لهذا، تستخدم منقذ 58 الجهاز الكمبيوتر من نوع PC الذي تتحكم فيه

باستخدام بطاقة Arduino Uno و الدوائر المتكاملة.

الفصل الاول

الوصف العام لآلة CNC

الوصف العام لآلة CNC:

1. مقدمة:

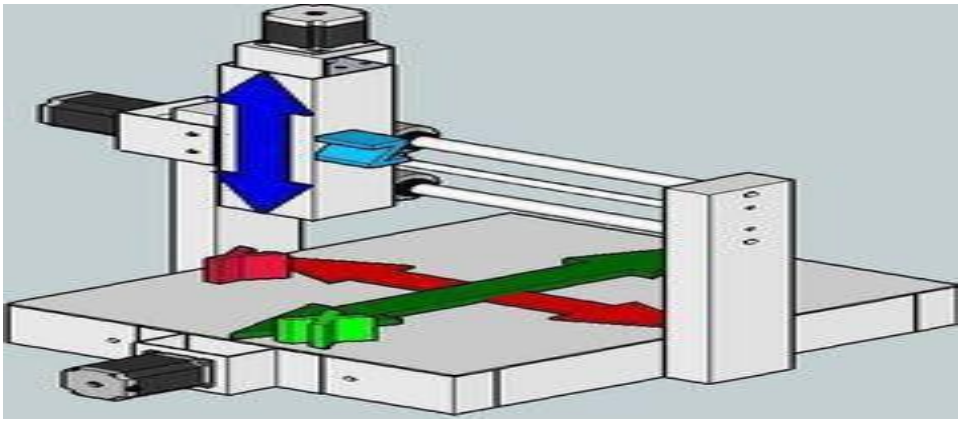
آلة CNC (التحكم العددي بالكمبيوتر) أو آلة CNC هي آلة يتم التحكم فيها بواسطة الكمبيوتر ويمكن استخدامها لتصنيع أجزاء دقيقة للغاية .تقوم الآلة بإزالة المواد من الجزء باستخدام أداة القطع الدوارة.

للقيام بذلك ، تقوم الآلة بتوجيه الأداة في الاتجاهات الثلاثة لنظام الإحداثيات الديكارتية ، أي على طول المحاور X و Y و Z.توضح الأسهم في الشكل أدناه الاتجاهات الثلاثة التي يمكن أن تتحرك فيها آلة الطحن CNC.

باللون الأزرق الاتجاه على المحور X.

باللون الأحمر الاتجاه على المحور .Y

باللون الأخضر الاتجاه على المحور Z.



الشكل ا :اتجاه حركة ماكينة CNC.

يمكن لآلة التفريز CNC معالجة العديد من المواد المختلفة ، مثل الفولاذ والألمنيوم والنحاس و النحاس والبلاستيك. المطحنة ليست مصممة لقطع الأخشاب ولا يجب استخدامها لهذا الغرض.
من الأمثلة على العمليات التي يمكن إجراؤها في آلة الطحن CNC قطع شكل جانبي ، ونقش النص ، وحفر ثقوب ، وإنشاء دمامل محمل.

2-تاريخ CNC:

تم بناء أول ماكينات CNC التجارية في الخمسينيات وتطورت عبر عدة مراحل:

1950 - طور معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا آلة طحن CNC

1952 - بارسونز براءات اختراع "جهاز تحديد المواقع بأداة آلية مدفوعة بمحرك". كان التاريخ 5 مايو 1952

195- باستخدام نظام تشغيل شريط مغناطيسي ، تم تطوير نظام تحكم رقمي يسمى Numericord في أبريل 1953 من خلال الجهود المشتركة لـ G&L و MIT و General Electric Co. (Cuttingtoolengineering 2005)

1956- سنة البرمجة الأوتوماتيكية للتصنيع باستخدام الحاسب الآلي.

1960- إدخال أول جهاز تحكم بتقنية الترانزستور.

1960 - يزيل التحكم الرقمي المباشر (DNC) برامج تثقيب الشريط الورقي ويسمح للمبرمجين بإرسال الملفات مباشرة من الكمبيوتر إلى جهاز التحكم في أداة الآلة.

1968- أول مركز تصنيع تم تسويقه بواسطة Kearney and Trecker (بناة الأدوات الآلية).

تم تطوير آلة CNC في السبعينيات.

الثمانينيات - تم تطوير تطبيق كمبيوتر يعتمد على الرسومات.

1997- إدخال أنظمة Open Modular Architecture Control (OMAC) القائمة على أجهزة الكمبيوتر الشخصية لتحل محل وحدات التحكم في "البرامج الثابتة".

في الآونة الأخيرة ، جعلت المعالجات الدقيقة أدوات التحكم CNC أرخص ، وبلغت ذروتها في توفر CNC للهواية المنزلية وسوق CNC. كان مشروع Enhanced Machine Controller ، أو EMC2 ، عبارة عن مشروع لتنفيذ وحدة تحكم مفتوحة المصدر يتم التحكم فيها رقميًا بدأها NIST ، المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا ، كإيضاح. في وقت ما من عام 2000 ، دخل المشروع إلى المجال العام والمصدر المفتوح ، وظهر EMC2 لاحقًا في عام 2003.

قام مؤسس شركة Arts Finnerty ، مؤسس Art soft ، بتطوير Mach3 كمشتق من الإصدارات المبكرة من EMC ، والتي تعمل على Windows بدلاً من Linux ، مما يجعلها أكثر سهولة في سوق الضوابط الرقمية الشخصية. تأسست شركة Art Soft في عام 2001. برنامجي EMC2 و Mach3 كلاهما حي ومزدهر ، وكذلك العديد من تقنيات CNC الأخرى.

3/ محرك خطوة بخطوة

يمكن ملاحظة أن هناك أنواعا مختلفة من محركات خطوة بخطوة. لكن المشكلة التي تطرح الآن في كيفية التحكم في هذه المحركات، بمعنى آخر كيف يمكن تغيير اتجاه دوران المحرك وزاوية الدوران وغيرها، وهي دوائر متكاملة متخصصة في التحكم في المحركات الخطوية . هذه الدوائر عديدة وستختار واحدة من أكثرها فعالية

يمكن حل هذه المشكلة بسهولة بالاستخدام

1/ تاريخي:

اخترع ماريوس لافيت محرك خطوة بخطوة في عام 1936 وهو محرك كهربائي يحول دفعة كهربائية إلى حركة زاوية تحتوي على عنصر متحرك يتحرك بقفزات متتالية. ثم تطويره لتصنيع الساعات

وهو موجود في جميع نماذج الكوارتز تقريبا. وهي مكونة من عدة عناصر وتستقبل نبضات تسبب حركة متشنجة للكتلة المتأرجحة. يستخدم المحرك السائر أيضا في قطاع الكمبيوتر وخاصة في

الطابعات المتصلة بالكمبيوتر ومشغل DVD

2/ عام:

محركات خطوة بخطوة هي محركات خاصة تتكون ببساطة من عضو ثابت متصل ببعضه البعض مع قطع قطبية ولعائف، وتستخدم التحكم في حركة وموضع الجسم بدقة كبيرة.

وكما يوحي اسمها، فإن هذه المحركات تدور بزيادات منفصلة، كل زيادة في الدوران ناتجة عن نبضة تيار يتم إمدادها إلى أحد ملفات الجزء الثابت

المحرك هو جهاز تحديد المواقع والسرعة الذي يعمل بشكل عام في حلقة مفتوحة

ولذلك فإن المبدأ الأساسي هو دائما إنشاء مجال دوار كما هو الحال في المحركات الصناعية ثلاثية الطور أو في المحركات الصغيرة المجهزة للمبرمجين الميكانيكيين: أقطاب الدوران المغناطيسية

التي تحمل نفس الاسم تنافر والأقطاب ذات الأسماء المتقابلة تتجاذب بعضها البعض، سيقود المجال المغناطيسي الدوار الذي يعمل بالطاقة في نفس الاتجاه.

وهذا يعكس حقيقة أن الكمية الرقمية تتحول إلى كمية تناظرية وبالتالي يتم التحكم في تردد الدوران أو السرعة عن طريق نبضات (تعليمات (الدوران) يتم التحكم بها عن طريق جهاز الكتروني

في تقنية سلكية مبرمجة

3/ أنواع مختلفة من المحركات خطوة بخطوة:

تستخدم محركات خطوة بخطوة على نطاق واسع في جميع التطبيقات الميكانيكية حيث تحتاج ببساطة إلى التحكم في موضع أو سرعة نظام الحلقة المفتوحة تستخدم هذه المحركات. على سبيل

المثال في الطابعات النافلة للخبر أو الطابعات الليزرية، لوضع رؤوس الطباعة أو لدفع الورق.

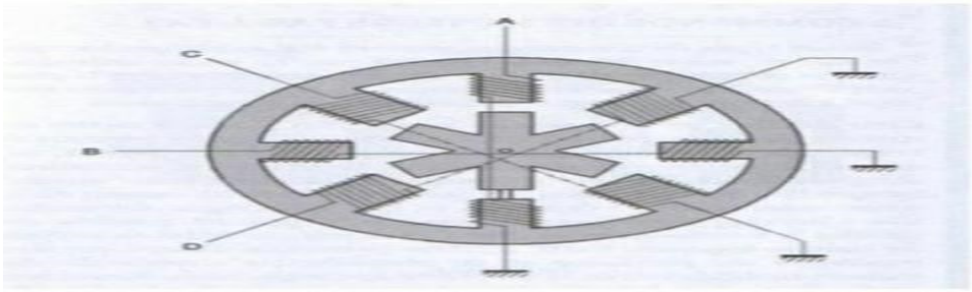
بعد التحكم في المحركات أمرًا بسيطا نسبيا لأنك لا تحتاج إلى ملحقات مثل أجهزة التشفير لمعرفة الموضع فكل نبضة من نظام التحكم تجعلها تتحرك للأمام خطوة واحدة. هناك 3 أنواع

من محركات خطوة بخطوة المغناطيس الدائم الممانعة المتغيرة أو الهجين

4/ محركات ذات ممانعة متغيرة

العمل المحركات ذات الممانعة المتغيرة بمبدأ مختلف عن المحركات ذات المغناطيس الدائم من الواضح أن لديهم الجزء الثابت، ولكن الأخير مصنوع من الفولاذ الطري غير المغناطيسي..

وهو ليس أملس وله عدة أسنان، ويمثل هذا النوع من المحركات في (الشكل 4.1 يمكننا أن نرى في هذا المثال أن الجزء الثابت يتكون من المنصات يتم لف اللغات عليها، مما يعطي 4أطوار، في حين أن الجزء الدوار لديه 6 اسنان فقط (3)



الشكل 1 :محرك ذو ممانعة متغيرة

1 / 1- أمبدأ التشغيل بسيط جدا:

ميداً التشغيل بسيط للغاية: يتم تمرير إحدى المراحل التي تغذي اثنين من المسامير المتقابلة للجزء الثابت بواسطة تيار من أجل محاذاة اثنين من أسنان الجزء المتحرك مع هذه المسامير.

يمكن أن يكون وضع التحكم في هذه الحالة بنفس الطريقة كما هو الحال بالنسبة للمحركات الأخرى، أحادي الطور أو مرحلتين أو نصف خطوة يتم عرض تسلسل الأوامر في الجدول التالي:

Mode monophasé	Mode biphasé	Mode demi-pas
A	AC	A
B	CB	AC
C	BD	C
D	DA	BD
		D
		DA

الجدول 1 : الوضع احادي الطور ثنائي الطور او نصف الخطوة

2/ محرك المغناطيس الدائم:

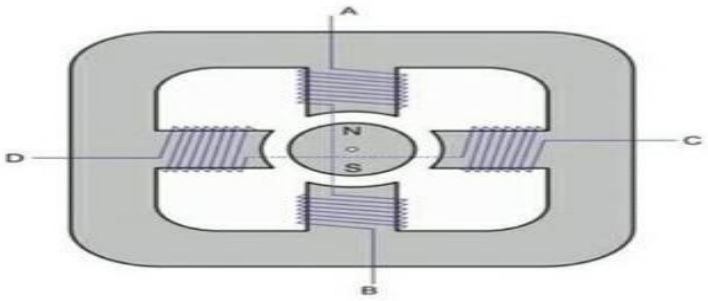
تشبه المحركات ذات المغناطيس الدائم المحركات ذات الممانعة المتغيرة، باستثناء أن الجزء المتحرك له قطبين شمالي وجنوبي، وبسبب المغناطيس الدائم. يظل الجزء المتحرك مكبلاً في موضعه الأخير عندما يتوقف مصدر الطاقة عن إمداد النبضات، إحدى الطرق البسيطة لرؤية النظام في وضع بوصلة بين مغناطيسين اعتمادًا على الملف الذي يتم تغذيته واتجاه التيار.

سوف يتماشى المغناطيس مع المجال.

2/ 1 - محرك مغناطيسي دائم ثنائي القطنية:

تبار التحكم ثنائي الاتجاه ويتقدم خطوة واحدة

يتم تنفيذه من خلال تسلسل تبديل اللغات الجزء الثابت (4)



الشكل : 2 تمثيل تخطيطي لمحرك ثنائي القطب

بالنسبة لهذا النوع من المحركات لدينا ثلاثة إمكانيات للتحكم

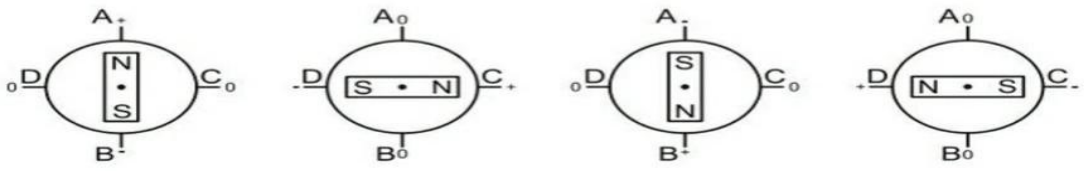
2/ 1- ا - عملية خطوة كاملة:

الأول هو تشغيل اللغات باتباع التسلسل A إلى B/C إلى DB إلى A/D إلى CBA

هي نفس اللغات مثل AB ولكنها مدعومة بالتيار

(عكس القطبية). بعد ذلك سنقوم بتبسيط الترميز من أجل توافق أفضل مع الكرونوغرامات الخاصة بالأطوار من خلال الإشارة فقط إلى المرحلة التي يتم تغذيتها بواسطة "إيجابي" حالي وهو

.ABC D



الشكل : 3 عملية كاملة الخطوة

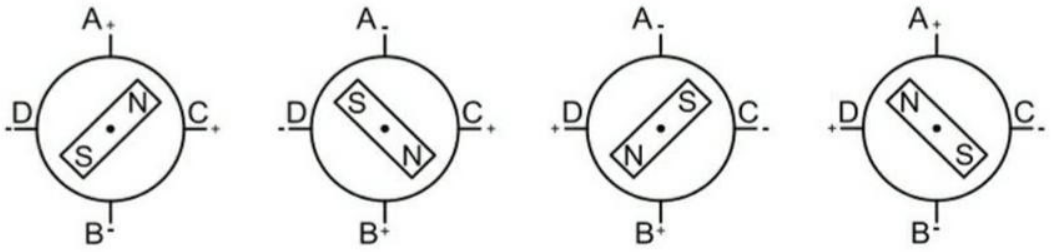
2/ 1- ب - التشغيل بأقصى عزم دوران:

والاحتمال الثاني هو توفير زوج طور في نفس الوقت بحيث يتم وضع الجزء المتحرك بين قطبين

يُطلق على وضع التحكم هذا اسم "الخطوة الكاملة على مرحلتين" (مرحلتان في المرة الواحدة وهو الوضع الذي يوقر أعلى عزم دوران

وبالتالي فإن التسلسل سيكون

AC/CB/BD/DA

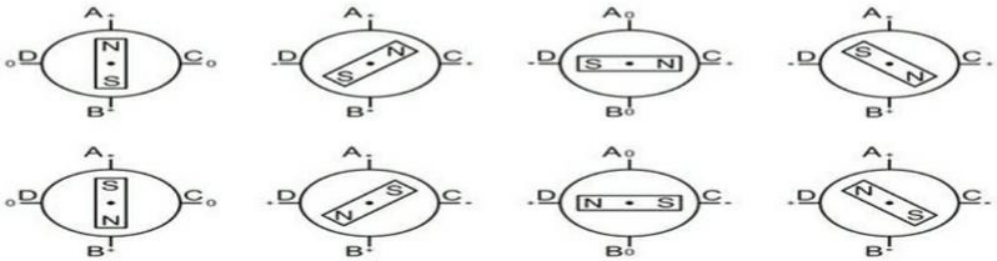


الشكل : 4 التشغيل بأقصى عزم دوران

2/ 1 - ت - عملية نصف خطوة:

الخيار الثالث هو مزيج من الخيارين الأولين حيث يتم تغذية المحرك بدوره على مرحلة واحدة ثم مرحلتين ثم واحدة... هذا التسلسل المعروف باسم وضع نصف الخطوة يوفر بشكل فعال تقسيما بمقدار الزاوية التقدم للخطوة، ولكن أيضا زوجين أقل انتظاما.

التسلسل الناتج هو : A/AC/C/CB/B/BD/D/DA



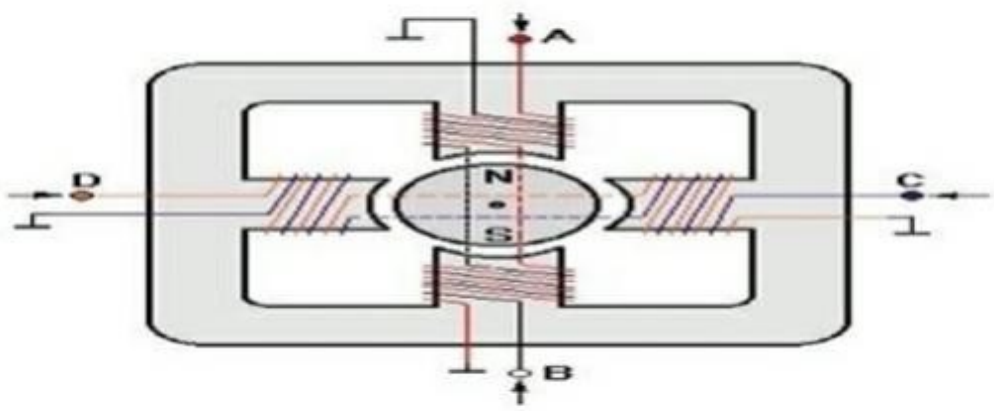
الشكل 5 :العملية نصف خطوة

للحصول على دوران في الاتجاه المعاكس يتم استخدام نفس التسلسلات عن طريق عكس ترتيب التمرير. كما نرى في الرسوم البيانية، يتم تمثيل المحركات بتقدم خطوة بمقدار 90 درجة. في المحركات الحقيقية، تم مضاعفة عدد الأقطاب لتقليل زاوية تقدم خطوة واحدة إلى بضع درجات فقط. يقي عدد اللغات وتسلسل التحكم دون تغيير.

2/ 2- محرك مغناطيسي دائم أحادي القطب:

تختلف المحركات أحادية القطب من حيث أنها ذات مخرج مزدوج. يتم استخدام الملف المزدوج لعكس تدفق الجزء الثابت ويتم التحكم في المحرك بنفس طريقة ثنائي القطب باستثناء

أن ترانزستور واحد لكل ملف يكفي في مرحلة الطاقة (أي أربعة منافذ لمحرك أو شبكة من الترانزستورات انظر ULN 20758)



الشكل 6:تمثيل تخطيطي لمحرك أحادي القطب

ببساطة، المحركات أحادية القطب أكثر تكلفة لأن تصنيعها يتطلب ملفا مزدوجا، بالإضافة إلى ذلك بالنسبة لحجم معين، فإن هذا النوع من المحركات لديه عزم دوران أقل بسبب اللغات التي

تكون ارق

كان هناك وقت كانت فيه المحركات أحادية القطب جذابة للمصممين لأنها قامت بتبسيط مرحلة التحكم الإلكتروني الآن يفضل دوائر التحكم الدفع والسحب المتجانسة) من النوع 8922. أصبحت المحركات ثنائية القطب شائعة وشائعة الاستخدام

تعاني جميع المحركات ذات المغناطيس الدائم من الذبذبات (والتوافقيات اللاحقة) الناتجة عن الدوار والتي تحد من سرعة الدوران.

عندما تكون هناك حاجة إلى تسارعات وسرعات أعلى، يفضل استخدام المحركات ذات الممانعة المتغيرة .(4)

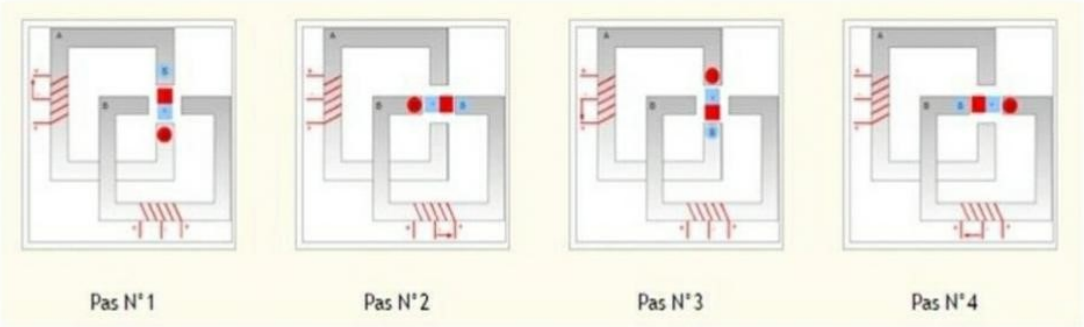
2/2.-ا- تشغيل محرك خطوة بخطوة أحادي القطب:

ستيداً من المبدأ القائل بأن دوران المحرك خطوة بخطوة يتم في خطوات في الواقع، يتكون المحرك من سلسلة من الأقطاب المتناوبة وبالتالي، فإن محور النموذج الذي لدينا في تحقيقنا

يجعل دورة كاملة في 18 خطوة (وبالتالي فإن خطوة واحدة تقابل 360 درجة 7.5 = 48 درجة).
في المخططات، يمثل السهم الأسود إبرة البوصلة التي سيتم وضعها بدلاً من الدوارة فهو يشير

إلى اتجاه المجال المغناطيسي (يشير نحو الشمال، والذي يجذب بالتالي القطب الجنوبي للدوار)
ثم ينزاح بمقدار ربع دورة عند كل منهما

المراحل (3)



الشكل 7:تشغيل محرك متدرج أحادي القطب

2/2 -ب - :الحالات المتعافية للأطوار الحركية أحادية القطب:

يلخص جدول الحقيقة 8.2.2.1 الحالات المتعاقبة المراحل المختلفة: الحالة المنطقية

يشير إلى ما إذا كانت المرحلة مدعومة (1) أم (0)

Numéro de l'étape :	1	2	3	4
Bobinage 1, phase 1	0	1	1	0
Bobinage 1, phase 2	1	0	0	1
Bobinage 2, phase 1	1	1	0	0
Bobinage 2, phase 2	0	0	1	1

الجدول 2 جدول الحالات المتعاقبة للمراحل

2/2 – ت - :تشغيل المحرك أحادي القطب في وضع نصف الخطوة:

يدور المحرك الموضح في الرسم البياني لدينا في أربع خطوات، ويتميز بعملية تسمى "بالخطوة وهناك أيضا طريقة التشغيل "بنصف خطوة تتمثل في الإدخال بين خطوتين، وهي الفترة التي يتم خلالها قطع التيار الكهربائي عن ملف الجزء الثابت الذي يكون إمداده على وشك تغيير اتجاهه (وبالتالي يمر عبر الصفر): خلال هذه المرحلة الجديدة، يدور الجزء المتحرك بمقدار نصف خطوة (45) درجة بينما يتم تمثيل جدول حقيقة الطور في الجدول التالي:

Numéro de l'étape :	1	2	3	4	5	6	7	8
Bobinage 1, phase 1	0	0	1	1	1	0	0	0
Bobinage 1, phase 2	1	0	0	0	0	0	1	1
Bobinage 2, phase 1	1	1	1	0	0	0	0	0
Bobinage 2, phase 2	0	0	0	0	1	1	1	0

الجدول 3 :الحالات المتعاقبة للأطوار عند استخدام أنصاف الخطوات

تتم الحركة بعد انقلاب المجال المغناطيسي من خلال توفير واحدة أو أخرى من مراحل لف النقطة الوسطى نصف اللف فقط وبالتالي يتم استخدامه في لحظة معينة، نوع آخر من المحركات.

إن المحرك المذكور ثنائي الطور يجعل من الممكن الحصول على عزم دوران أكبر: مبدأه يتمثل في استخدام ملف بدون نقطة منتصف. وفي تعميم التيار في اتجاه أو آخر.

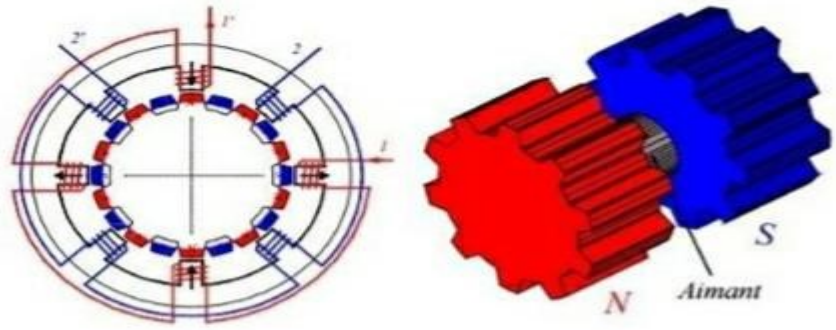
2/ 3 - محرك متدرج هجين:MH

من خلال الجمع بين بنيات المحركين السابقين، أي عن طريق وضع مغناطيس محرك المغناطيس الدائم في دائرة مغناطيسية حديدية. يتم إنشاء نوع جديد من المحركات يسمى المحرك

المتردد المستقطب أو المحرك الهجين (Hybrid motor: HB)

في هذه الحالة، هناك عزم دوران متردد ناتج عن اختلاف النفاذية المناسبة المرتبطة بكل مغناطيس

ومع كل ملف (3)



الشكل 8 : المحرك الهجين (MH)

3/2 -ا- تكنولوجيا المحركات خطوة بخطوة الهجينة:

تجمع محركات خطوة بخطوة الهجينة جزئيا على الأقل، بين مزايا الممانعة المتغيرة ومحركات ذات المغناطيس الدائم، وهي:

- عدد كبير من الخطوات لكل دورة .
- تردد طبيعي ميكانيكي عالي.
- عزم دوران كتلة عالية
- التخميد الداخلي الكبير.
- ذاكرة الموقف

في تكوينه الأساسي، يتكون محرك خطوة بخطوة الهجين من عضو ساكن من الحديد الرقائقي مزود بمسامير بارزة وتاجين دوارين مسننتين مصنوعين من مادة مغناطيسية حديدية.

متطابقة هندسيا ومتصلة بمغناطيس دائم أسطواني ممغنط محوريًا تغلق خطوط المجال المغناطيسي من خلال أسنان الدوار، من خلال النظر إلى الجزء الثابت. يحتوي الجزء المتحرك على عدد من الأقطاب المغناطيسية النشطة بقدر عدد أسنانه. يتم إزاحة الأسنان الموجودة على أحد التيجان عن الأسنان الموجودة على الأخرى بمقدار نصف درجة سن

1/2xdr

4/ مقارنة بين الأنواع المختلفة المحركات الخطوية :

ويمكن تلخيص هذه المقارنة وفق الجدول التالي:

Critère de comparaison	Moteur pas à pas aiment permanent	Moteur pas à pas reluctance variable
Couple de travail	Elevé	faible
Vitesse de fonctionnement	faible	faible
Pas exécuté	faible	Elevé
Inertie propre	Elevé	faible
Couple de maintien	Non négligeable	négligeable
Amortissement des oscillations	Plus important	Moins important

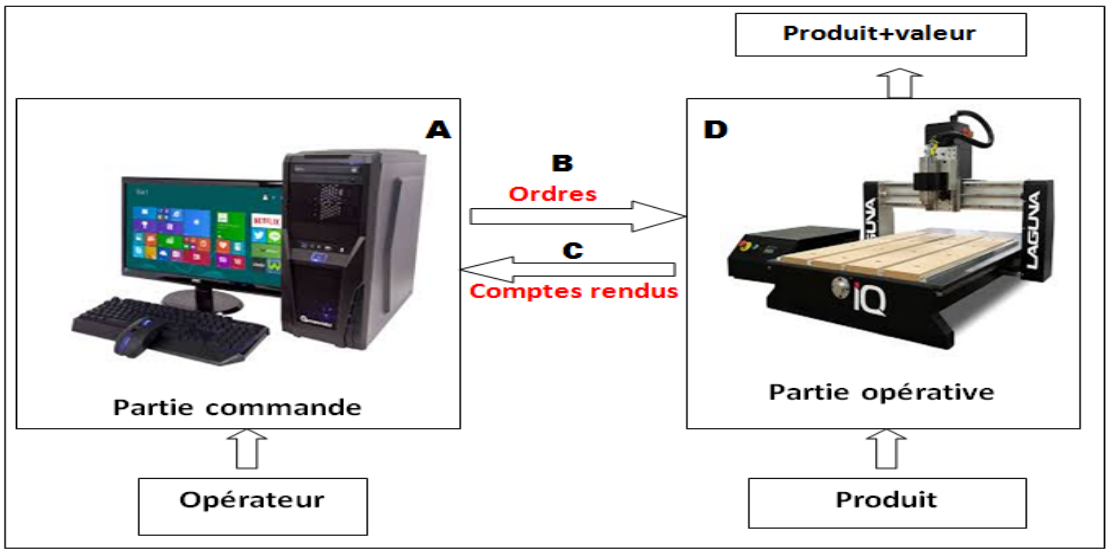
الجدول 4 :مقارنة بين الأنواع المختلفة لمحركات خطوة بخطوة

5- مبدأ تشغيل آلة CNC

تتكون آلات CNC من جزأين مكملين (الشكل) [2]:

- الجزء التشغيلي.

- جزء التحكم



الشكل9 : تحليل آلة رقمية

يتكون جزء التحكم من آلة حاسبة أو كمبيوتر وعناصر إلكترونيات قادرة على التحكم في المحركات ، هذا الجزء يجعل من الممكن التحكم في الجزء المنطوق.

يتضمن الجزء المنطوق محاور الحركة ورأس الأداة والمشغلات (المحركات).يتم إنشاء الأوامر للتحكم من خلال رمز الجهاز أو عن طريق الإجراء دليل المشغل. سيقوم الأمر بمعالجة هذه المعلومات وإنشاء التعليمات

من أجل الحصول على الحركات المرغوبة عبر محركات المحور. ضوابط سيتم بعد ذلك تنفيذ السرعة والموضع بشكل مستمر بواسطة الجهاز.

6 - تصنيف ماكينات CNC

تصنف ماكينات CNC حسب:

- طريقة تشغيل الجهاز.
- وضع التشغيل الآلي

7- تصنيف الـ CNC حسب طريقة التشغيل

وفقًا لطريقة التشغيل ، يتم تصنيف آلات CNC إلى ثلاث فئات

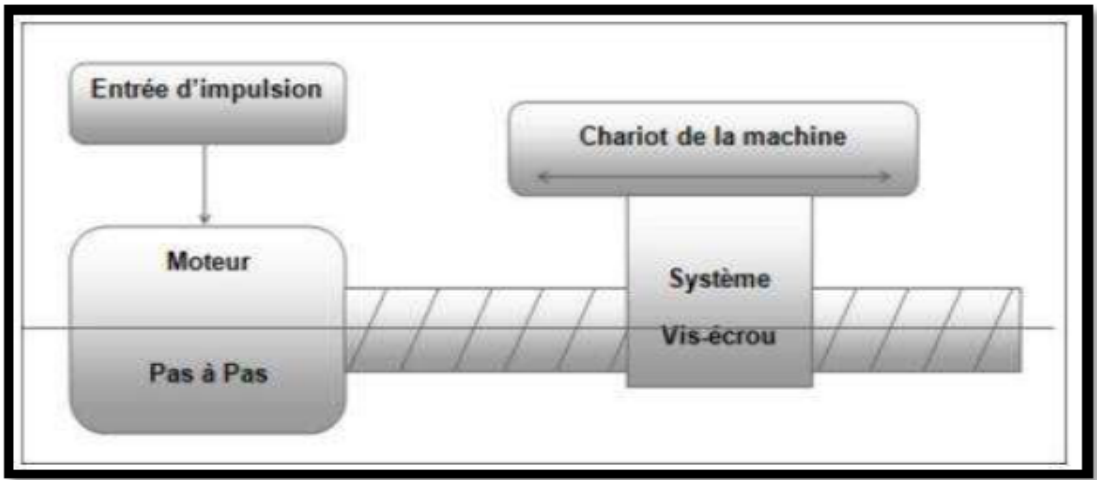
أ-عملية حلقة مفتوحة

ب-عملية حلقة مغلقة

ج-عملية مع التحكم التكيفي

أ) عملية الحلقة المفتوحة

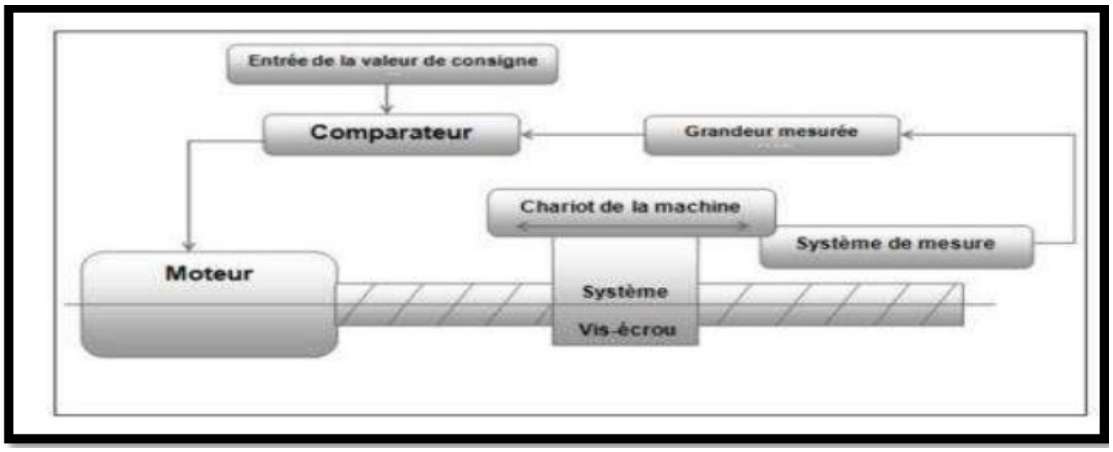
في الحلقة المفتوحة (الشكل 2) ، يضمن النظام حركة العربة لكنه لا يتحكم فيها .



الشكل10 : عملية الحلقة المفتوحة

ب) عملية الحلقة المغلقة

في حلقة مغلقة (الشكل 3) ، يتحكم النظام في الإزاحة أو الموضع حتى تتساوى كميات الإدخال المطلوبة (E) والكمية المقاسة (Gm).

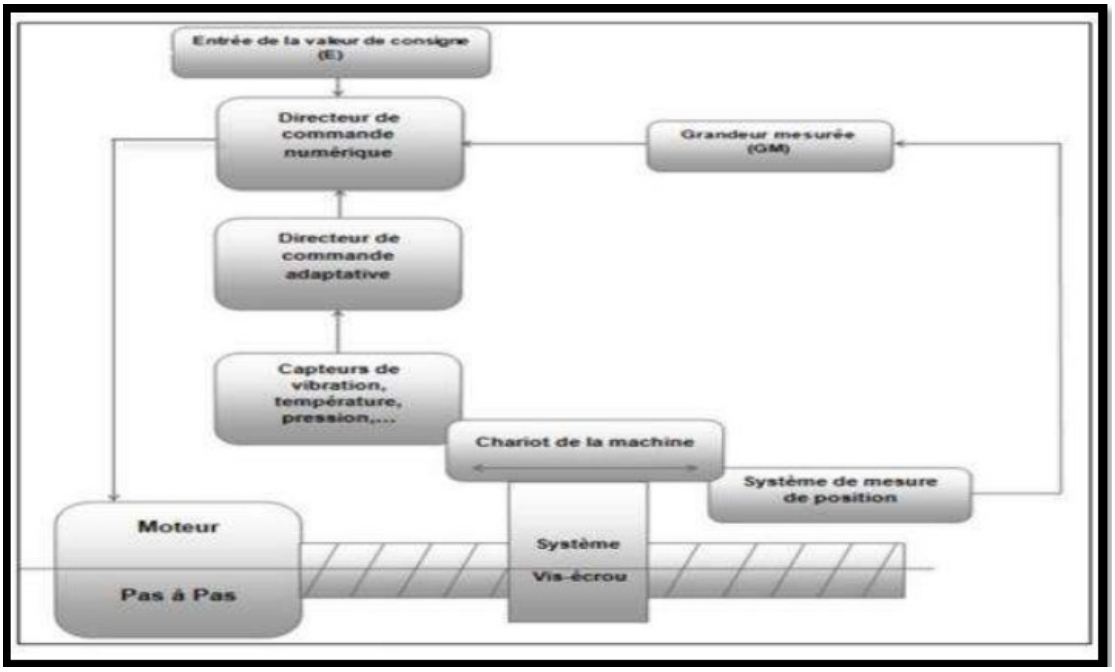


الشكل 11: عملية الحلقة المغلقة

ج) التشغيل مع التحكم التكيفي

يعمل التحكم التكيفي (الشكل 4) على تكييف ظروف القطع بشكل مستمر وتلقائي. تسجل المستشعرات قيم عزم الدوران ، السعة اهتزاز المغزل ، درجة الحرارة عند نقطة القطع. يتم

إرسال هذه المعلومات إلى وحدة خاصة ترسلها إلى مدير التحكم العددي الذي يعمل وفقًا لتحليل المعلومات الخاصة بظروف القطع للسماح بجودة عمل أفضل وإنتاجية أفضل وأمان أكبر.



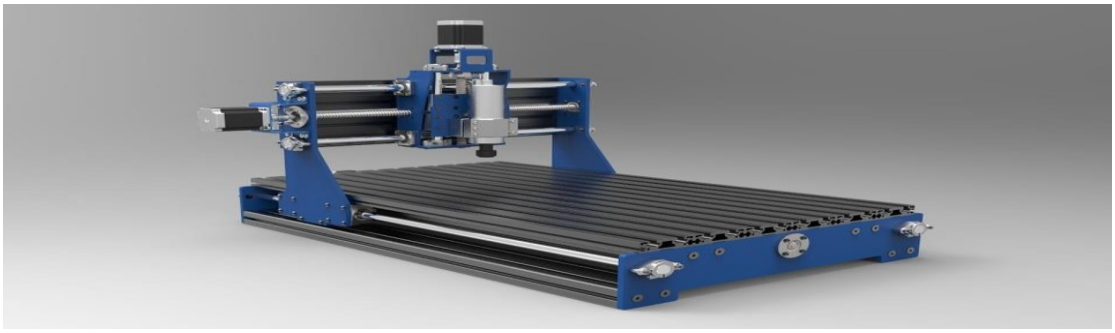
الشكل12 : التشغيل مع التحكم التكيفي

8- أنواعCNCومجالات الاستخدام:

عندما تم اختراع CNC ،تم تكييف هذه التكنولوجيا مع الآلات الموجودة. اليوم ،لاتزال تقنية CNC يتم تكييفها مع أدوات الماكينة المختلفة ،ولكن يتم إنشاء العديد من الآلات لغرض وحيد هو أن تصبح آلات CNC. هناك عدة أنواع:

8. 1. جهاز التوجيه:

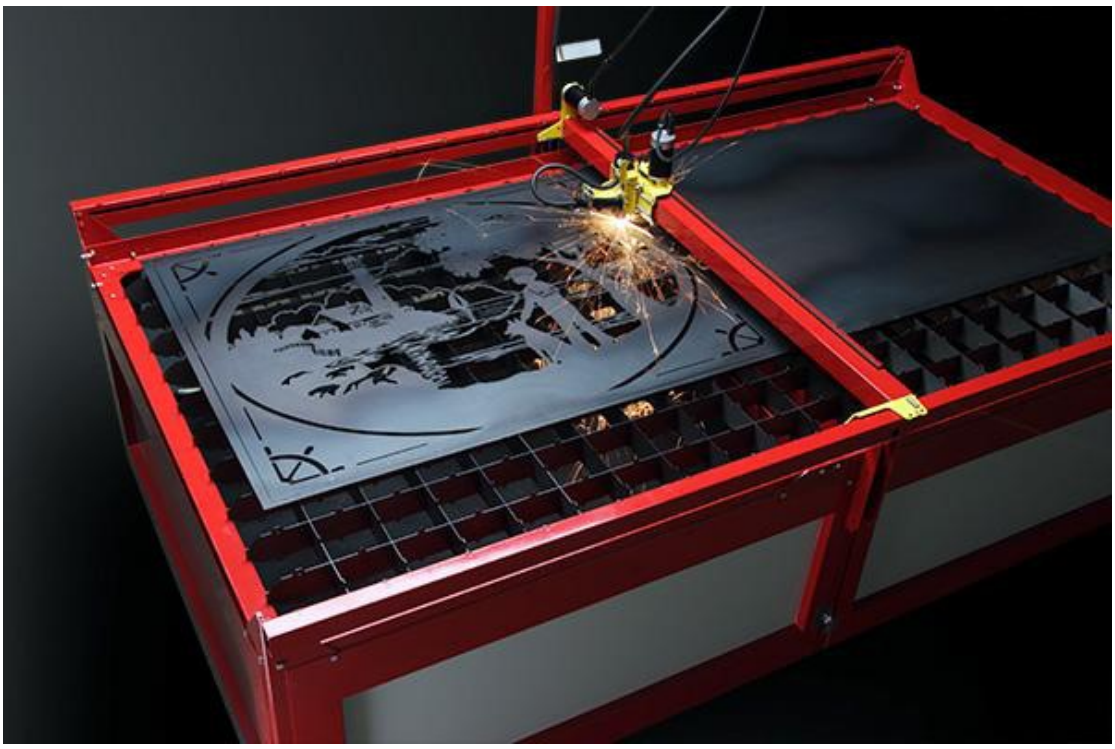
يمكن لجهاز التوجيه CNC أن ينقش الخشب أو المعدن أو البلاستيك. هذا نوع شائع جدًا من آلات CNC. لا يتعامل المستخدم مع جهاز التوجيه ، بل يقوم فقط بإدخال المعلومات في الكمبيوتر.



الشكل13: جهاز توجيه CNC ثلاثي المحاور

8. 2. البلازما:

تستخدم قواطع البلازما CNC لقطع المعادن والخشب (بعدين) ولا تتطلب قدرًا كبيرًا من الطاقة مثل جهاز التوجيه CNC. تستخدم هذه الآلات شعلة بلازما لاختراق الخشب أو الصفائح المعدنية.



الشكل 14 : قواطع البلازما CNC من ماركة سامسون.

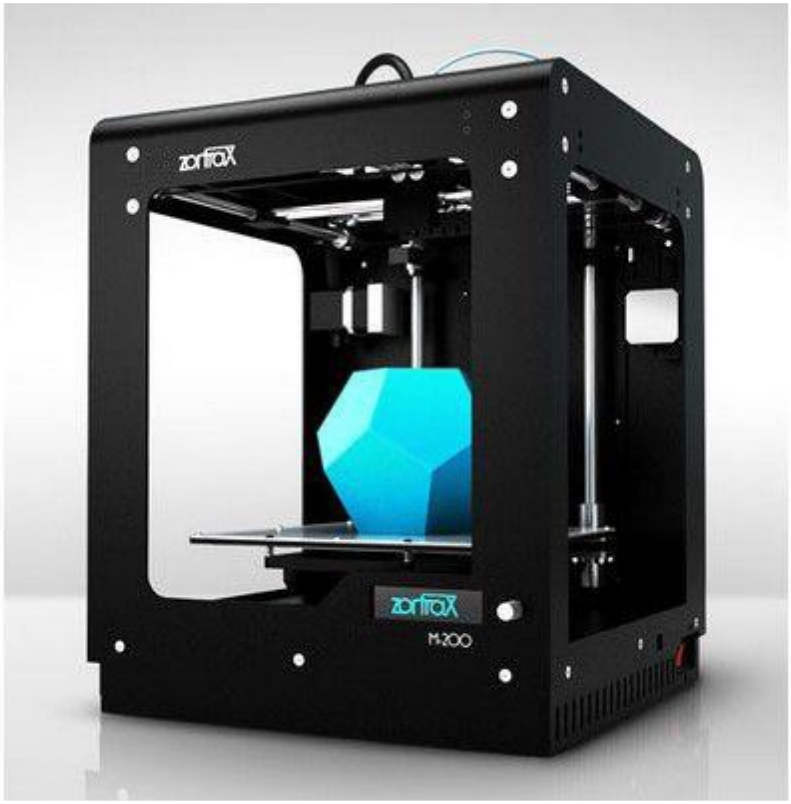
8. 3-الليزر:

- تعمل قواطع الليزر CNC مثل قواطع البلازما CNC ، ولكن بدلاً من ذلك يتم استخدام الليزر لقطع الخشب أو المعدن. يمكن أيضًا استخدام الليزر لقطع البلاستيك.

الشكل15 : ماكينة نقش CNC 3018 5500 ميجاوات ليزر

8. 4. طابعة ثلاثية الأبعاد :

- تستخدم الطابعات ثلاثية الأبعاد تقنية CNC وتستخدم تقنية مشابهة لطابعات الليزر CNC ، ولكنها تستخدم الطارد لإيداع البلاستيك ببطء في حركة متسقة حتى يكتمل المنتج المطلوب.



الشكل 16: طابعة Zortrax M200 ثلاثية الأبعاد

8. 5. الانتقاء والمكان:

- تتكون آلات Pick and Place CNC من فوهات متعددة تلتقط المكونات الكهربائية من المعدات الإلكترونية وتضعها في المكان المطلوب. يتم استخدامها بشكل شائع في صناعة الهواتف المحمولة وأجهزة الكمبيوتر والأجهزة اللوحية وما إلى ذلك.

الشكل17 : آلات الانتقاء والوضع باستخدام الحاسب الآلي

9 / الخاتمة :

يعتمد هذا الفصل الأول بشكل أساسي على بعض مفاهيم الآلة الرقمية والمحركات خطوة بخطوة والتحكم الرقمي، ومن الضروري أن تأخذ في الاعتبار القيود التي تتعلق بأي تحقيق لهذه الدراسات

والتي ينبغي أن تكون

يمكن ملاحظة أن هناك أنواعاً مختلفة من محركات خطوة بخطوة لكن المشكلة التي تطرح الآن في كيفية التحكم في هذه المحركات، بمعنى آخر كيف يمكن تغيير اتجاه دوران المحرك وزاوية

الدوران وغيرها.

يمكن للمستخدم اختيار المحرك الذي يناسبه لتطبيقه، مع مصدر الطاقة والوضع

بالنسبة لمشروعنا اخترنا ثلاثة محركات خطوة بخطوة ثنائية القطب

كما تطرقنا في هذا الفصل ، لتقديم نظرة عامة شاملة إلى حد ما على آلة CNC ، مثل المراحل التاريخية لتطورها ، وطريقة تشغيل أداة الماكينة ، بالإضافة إلى الأنواع المختلفة لهذه الآلة وبعض منتجاتها.

الفصل الثاني

الجزء الالكتروني و جزء البرمجة

1/ جزء المعدات الإلكترونية:

1 – مقدمة

يمكن تقسيم آلة CNC إلى ثلاثة أجزاء. النظام الميكانيكي الذي يستقبل إشارات التحكم الضرورية من النظام الإلكتروني الذي يتيح في النهاية التشغيل المطلوب للمحركات. تحصل الأنظمة الإلكترونية على أمر أو مجموعة أوامر من نظام البرنامج وتقوم بإنشاء أوامر للنظام الميكانيكي. تم وصف المبادئ والمعلومات العامة حول آلات CNC والمحركات خطوة بخطوة في الفصل السابق. في هذا الفصل سنشرح بالتفصيل النظام الإلكتروني المسؤول عن توليد إشارة الأوامر للمحركات التي توجه حركة مسار الأداة في كل اتجاه أو محور.

يتكون النظام الإلكتروني من:

- التغذية
- لوحة متحكم
- لوحة التحكم في محركات خطوة بخطوة

سنصف المكونات الإلكترونية المستخدمة في مشروعنا ، وهي متحكم MSP430G2553 وسائق A4988 للتحكم في المحرك ، وسنعرض كيفية توصيل هذه المكونات معًا حتى نتمكن من تنفيذ التحكم في الماكينة.

2/ لوحة اردوينو:

1/ لوحة Arduino:

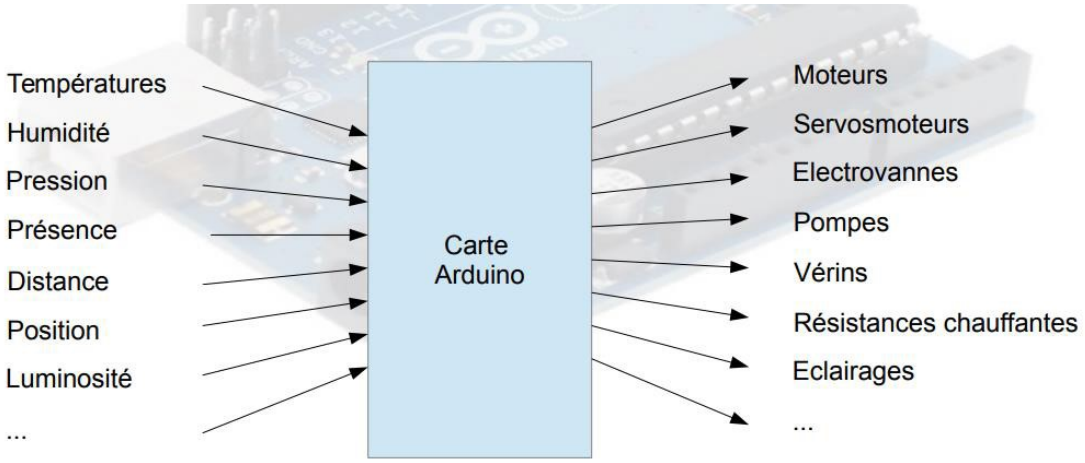
Arduino ، ومرادفها Genuino2 ، هي علامة تجارية تغطي اللوحات الإلكترونية الخالية من الأجهزة والتي يوجد عليها متحكم دقيق هناك العديد من لوحات Arduino ذات الخصائص الغنية أكثر أو أقل ، نذكرها Arduino Uno board و Arduino Nano

و Arduino Mega… .. إلخ.

الميزة الرئيسية للوحة Arduino هي نوع MCU أو متحكم دقيق. حاليًا ، ربما لفترة طويلة ، يتم استخدام مجموعتين من وحدات التحكم الدقيقة: أذرع 8 ATMEL بت وأذرع 32 Cortex-M بت ، تم تصميمها بواسطة Advanced RISC Machines وتم تصنيعها بواسطة جهات تصنيع مختلفة ، ولوحات ATMEL ، ولكن أيضًا متوافقة مع Freescale أو STMicro. حول مجرة الأردوينو.

للتلخيص السريع ، تعد اللوحات القائمة على AVR من Arduino أبسط ولديها ذاكرة أقل من اللوحات المستندة إلى ARM. قدرتها على الحوسبة منخفضة ولكنها أقل تكلفة بشكل عام.

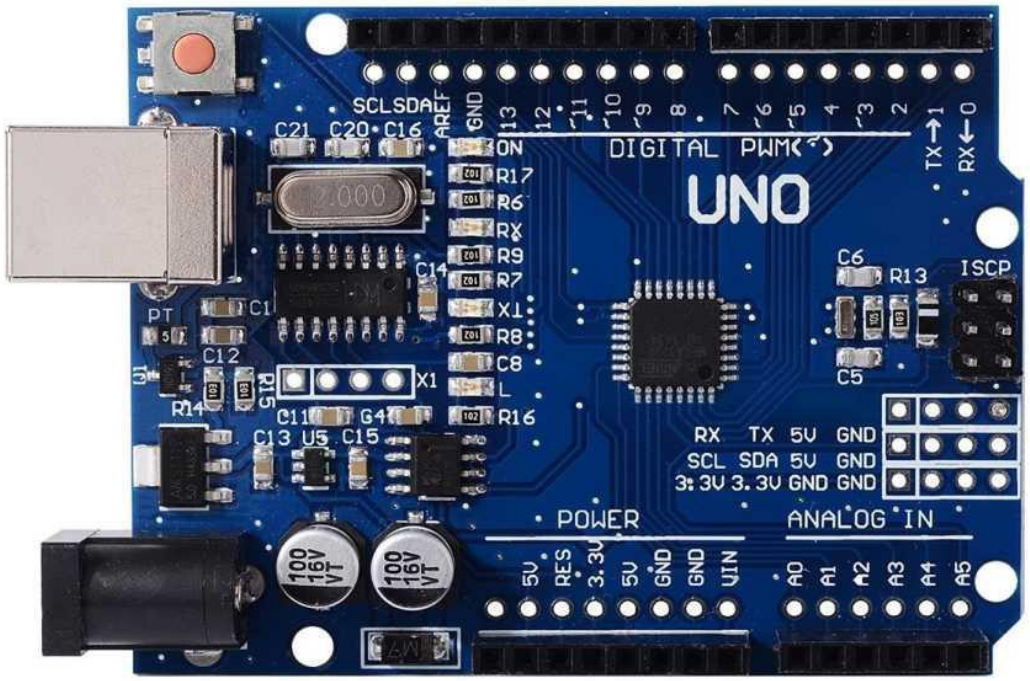
اللوحة الأكثر استخدامًا هي ArduinoUno. إنها بطاقة مزودة بجهاز تحكم AVR صغير 8 بت: ATMega328.



الشكل 1: مجالات استخدام لوحة Arduino.

2/ تقديم بطاقة اردوينونو:

لوحة ArduinoUno عبارة عن لوحة متحكم لتتمكن من استخدامها ، ما عليك سوى توصيلها بجهاز كمبيوتر باستخدام كابل USB ، والطاقة التي يتم توفيرها من خلال منفذ USB (يمكن أيضًا تزويدها بمحول تيار متردد أو مجموعة من البطاريات عبر موصل جاك).



الشكل 2: صورة حقيقية للوحة اردوينو

تم تسجيل المعالجات الدقيقة بسرعة 16 ميجا هرتز

ذاكرة فلاش ⇔قرص صلب

ذاكرة الوصول العشوائي ، ذاكرة الوصول العشوائي (رام)

ذاكرة EEPROM⇔ذاكرة للقراءة فقط (ROM)

دبابيس الإدخال / الإخراج ، منافذ الاتصال

3/ ملخص الخصائص:

Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Consommation maxi admise sur port USB (5V)	500 mA avant déclenchement d'un fusible
Broches E/S numériques	14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM pour commander les moteurs)
Broches d'entrées analogiques	6 (utilisables aussi en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)	40 mA par sortie, mais ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
Mémoire Programme Flash	32 Ko
Mémoire RAM (mémoire volatile)	2 Ko
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	1 Ko
Vitesse d'horloge	16 MHz

الجدول 1: ملخص لخصائص لوحة اردوينو أونو.

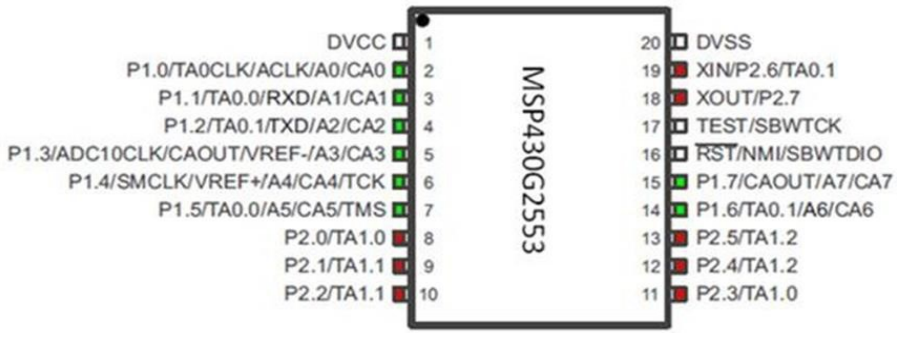
4/ ارجلMSP430G2553:

يشار إلى كل رجل باسم واحد أو أكثر (الشكل 14). تم تحديد ثلاث مجموعات من المسامير لتحقيق التجميع الوظيفي للمتحكم الدقيق:

- مزودات الطاقة: Gnd و +3 فولت.
- ارجل البرمجة: Rst و TESTl.
- ارجل الإدخال والإخراج للتطبيق نفسه ، أي جميع المسامير الأخرى.

أ. إمدادات الطاقة:

غالبًا ما يتم تصنيع المتحكمات الدقيقة بتقنية CMOS وتتطلب مصدر طاقة واحد. غالبًا ما يشار إلى الطرف السالب لمصدر الطاقة باسم Gnd (الأرض: الكتلة). هذا هو رجل 20 من MSP430G2553. يسمى الطرف الموجب DVCC وهو رجل 1 [12].



الشكل3: MSP430G2553 Pinouts

ب. ارجل البرمجة:

يتم توصيل وظيفة Rst أو إعادة الضبط برقم 16. يعتبر Rst مدخلًا إلى الدائرة. لاحظ الشريط الموجود على اسمه: هذا يعني أن هذا الإدخال نشط عند 0. كما يُلاحظ أحيانًا بعلامة الشريط المائل (أو الشرطة المائلة) / التي تسبق الاسم: / Rst (الشكل 2.1). من الجيد وضع وحدة التحكم الدقيقة في وضع التشغيل العادي. يلعب المقاوم المتصل بـ +3 فولت هذا الدور. نتحدث عن مقاومة الانسحاب. قيمة حوالي 47 كيلو أوم مناسبة في هذه الحالة. يمكن إجراء برمجة MSP430 عبر إشارتين: RST وإشارة تسمى TEST (رجل 17)

ت . ارجل الإدخال والإخراج:

أي ، جميع المسامير الأخرى باستثناء ارجل الطاقة والبرمجة. يتم تجميعها في منفذين: P1 و P2. هذان المنفذان مكتملان: يحتوي كل منهما على 8 ارجل

5/ مجلس تطوير MSP430 LaunchPad:

لتتمكن من برمجة MSP430 ، استخدمنا LaunchPad MSP-EXP430G2. إنها أداة سهلة الاستخدام لتصحيح أخطاء الفلاش وبرمجة تزود المستخدم بجميع العناصر التي يحتاجها للمضي قدمًا في تطوير الأجهزة من عائلة MSP430G2XX. إنه يتميز بلوحة هدف ذات مقبس DIP مع مضاهاة مدمجة لبرمجة وتصحيح أخطاء MSP430s بسرعة داخل النظام باستخدام بروتوكول Spy Bi-Wire (2-wire JTAG).يتضمن LaunchPad MSP430:

1 × 20 رجل مقبس معالج DIP.

2 مضاهاة فلاش متكاملة للبرمجة وتصحيح الأخطاء.

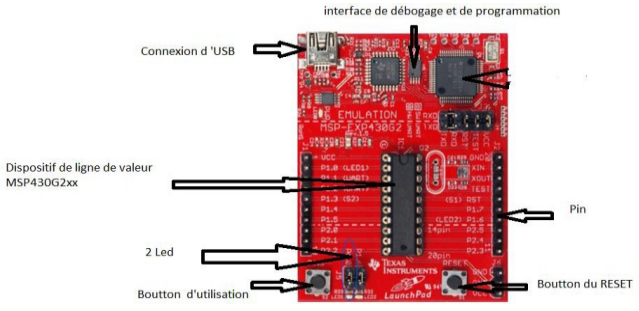
3 مصباحان للمستخدم.

4 مصابيح LED للطاقة

5 زر المستخدم.

6 زر إعادة الضبط.

7 رأس ذو 10 سنون للتوصيل بدائرة خارجية.



الشكل4: لوحة تطوير LaunchPad MSP430G2553

6/التحكم في محرك خطوة بخطوة

يمكن النظر في عدة أنواع من أدوات التحكم عندما يتعلق الأمر بمحرك متدرج. ومن هذه الأوامر نذكر:

تحكم مباشر مع مضخم صوت من عائلة L298.

□ الأمر dir / step مع الزوج L297 و L298 أو EASY DRIVER.

لتحقيق تحكم رقمي لثلاثة محركات متدرجة ، ندرس كيفية التحكم في محرك واحد.

لقد قسمنا هذا المشروع إلى وحدات مختلفة:

□ طاقة.

□ وحدة رئيسية.

□ واجهة بين الوحدة الرئيسية وجزء التشغيل للمحرك.

1/ مصدر الطاقة:

لضمان تشغيل البطاقات الإلكترونية الخاصة بنا ، نحتاج إلى مصدر طاقة مستمر VDC5 و VDC12:

- مزود الطاقة لجزء التحكم : 5V DC 200Ma

* مزود الطاقة لجزء الطاقة : 12V DC 2A.

2/ التحكم المباشر بمضخم L298:

بالنسبة لهذا التحكم ، يتم استخدام دائرة تحكم تعطي وضع تحكم مباشر في محرك خطوة بخطوة (وضع الخطوة الكاملة).

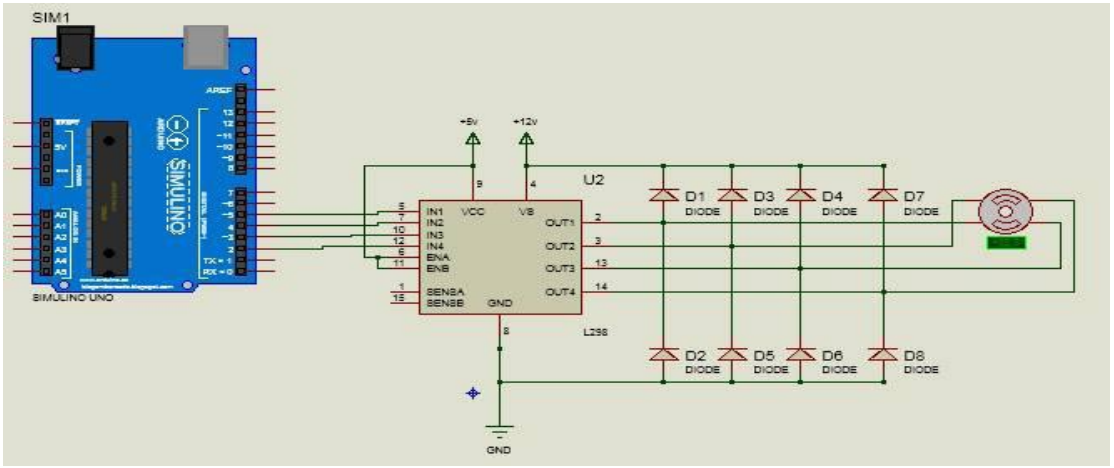
وضع الخطوة الكاملة ، يتم تنشيط مرحلتين في نفس الوقت (Two Phase ON، Full Step): 1010/0110/0101/1001.

دائرة L298:

الدائرة المتكاملة L298 هي الدائرة التكميلية للدائرة L297. إنه يسمح بالتبسيط الشديد لبناء لوحة التحكم في محرك متدرج. دائرة L298 هي عبارة عن جسر مزدوج للتحكم في الطاقة ، فهي تسمح باستخدام ارتفاع. يمكن استخدامه أيضًا للتحكم في محركي DC. يحتوي المخطط الداخلي لـ L298 على جسرين من 4 ترانزستورات طاقة يتم التحكم فيها بواسطة بوابات منطقية ، بالإضافة إلى توصيل المقاومات لقياس التيار المستهلك بواسطة الحمل المتصل ببواعث كل زوج من الترانزستورات. [11]

تعتمد تقنية التحكم في هذه البطاقة على اردوينو من خلال تكوين أربعة ارجل إخراج لكل محرك من أجل إرسال تسلسلات النبضات التي تم إنشاؤها بواسطة ARDUINO إلى أطراف محرك

السائر (الشكل II.3). يتلقى كل محرك تسلسلًا بشكل مستقل عن الآخر من خلال مضخم L298 يمكنه توفير تيار خرج قدره A0.5.



الشكل5 : التحكم في المحرك بواسطة الدائرة L298.

الامر dir / step

يعتمد الأمر dir / step على دائرة تحصل على أمر مباشر إما في وضع الخطوة الكاملة ، أو مرحلة واحدة يتم تنشيطها في كل مرة (One Phase ON، Full Step) أو وضع مرحلتين (Two Phase ON، Full Step)) تتحكم هذه الدائرة بنوعين متقاربين:

- الخطوة: وهي ساعة السرعة. عند كل حافة هبوط ، سوف يتخذ المحرك خطوة
- Dir: (ClockWise أو Counter ClockWise) الذي سيقرر اتجاه دوران المحرك

لتحقيق هذا التحكم العددي ، يجب دراسة دائرتين تحكم.

- الزوجان L297 و l298.
- دائرة السائق السهل.

الدائرة L297

دائرة L297 عبارة عن وحدة تحكم في محرك متدرج ، وهي تعمل مع دائرة طاقة مزدوجة الجسر. يحتاج فقط إلى تزويده بإشارات الساعة (CLOCK: لتقدم الخطوات) والاتجاه والوضع من أجل قيادة محرك خطوة بخطوة. ثم ينشئ L297 تسلسل أوامر مرحلة الطاقة. [11] دارة L297 لها مرحلتان رئيسيتان:

- مترجم (منظم التسلسل) الذي يولد تسلسلات الأوامر المختلفة.
- مفرمة مزدوجة PWM (نبض مع تعديل) تنظم التيار المتدفق عبر لفات المحرك.

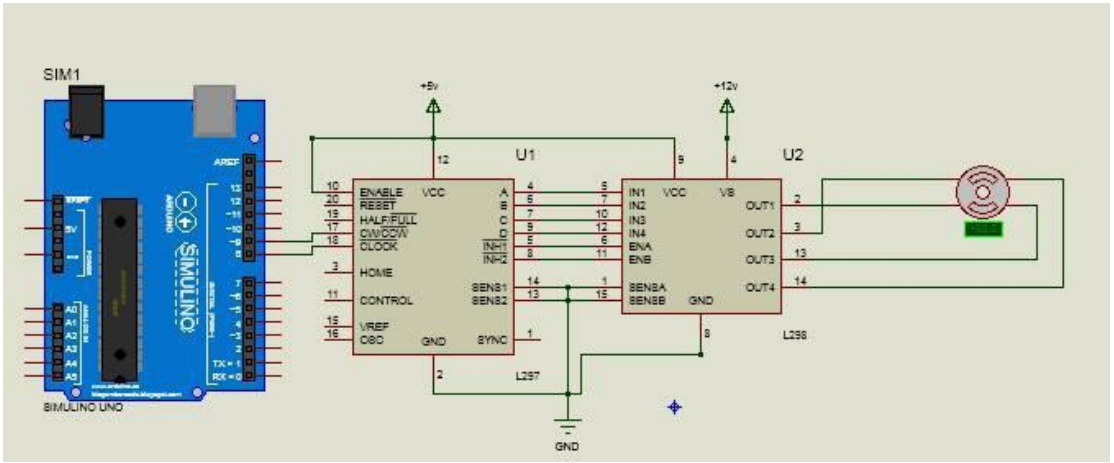
يولد المترجم ثلاثة متواليات مختلفة. يتم تحديد هذه التسلسلات المختلفة من خلال المستوى المنطقي المطبق على إدخال HALF / FULL: التحكم في وضع أحادي الطور: يتم توفير مرحلة واحدة فقط.

□التحكم في وضع مرحلتين: يتم توفير مرحلتين

□ نصف خطوة التحكم: بالتناوب مرحلة واحدة ثم مرحلتين. يولد L297 إشارتين مثبطتين (INH1 و INH2) في أوضاع أحادية الطور ونصف الخطوة. هذه الإشارات ، التي يتم تطبيقها مباشرة على مدخلات التحقق من L298 ، تجعل من الممكن تسريع الانخفاض في التيار في ملفات المحرك عندما لا يتم توفيرها. عندما يتم استخدام L297 للتحكم في محرك أحادي القطب ، تعمل المروحيات على هذه الخطوط. يحدد إدخال "CONTROL" متى يجب أن تعمل المروحية على المخرجات A و B و C و D أو المدخلات INH1 و INH2. يحتوي L297 على مذبذب داخلي يتحكم في المروحيات. عندما يصل التيار المتدفق عبر إحدى لفات المحرك إلى الجهد الذي يتم ضبطه بواسطة المقاومات المتصلة بمدخلات SENS1 SENS2 ، يقوم المقارن المقابل بمقاطعة مصدر طاقة المحرك حتى نبض المذبذب التالي.

3/ الرسم التخطيطي النظري للتجمع

L297 عبارة عن دائرة تحتوي على جميع دوائر القيادة والتحكم أحادية القطب وثنائية القطب. تُستخدم هذه الدائرة جنبًا إلى جنب مع سائق جسر مزدوج مثل L298 (الشكل I.4). يشكل الكل واجهة مثالية للتحكم في محرك متدرج بواسطة اردوينو.



الشكل 6 : التحكم في المحرك بواسطة زوجين اردوينو L297 و L298.

7/ بطاقة EasyDriver:

تسمح بطاقة التحكم هذه بالتحكم السهل في محرك متدرج ثنائي القطب حتى 750 مللي أمبير لكل مرحلة. يعمل بشكل افتراضي مع 8 خطوات دقيقة.

يعتمد على دائرة Allegro A3967 ويسمح بالتحكم في محرك متدرج (على سبيل المثال: ITC-VNC-2) بسهولة بالغة من متحكم دقيق (ارجل للوضع ، ورجل واحد للاتجاه والآخر للسرعة).

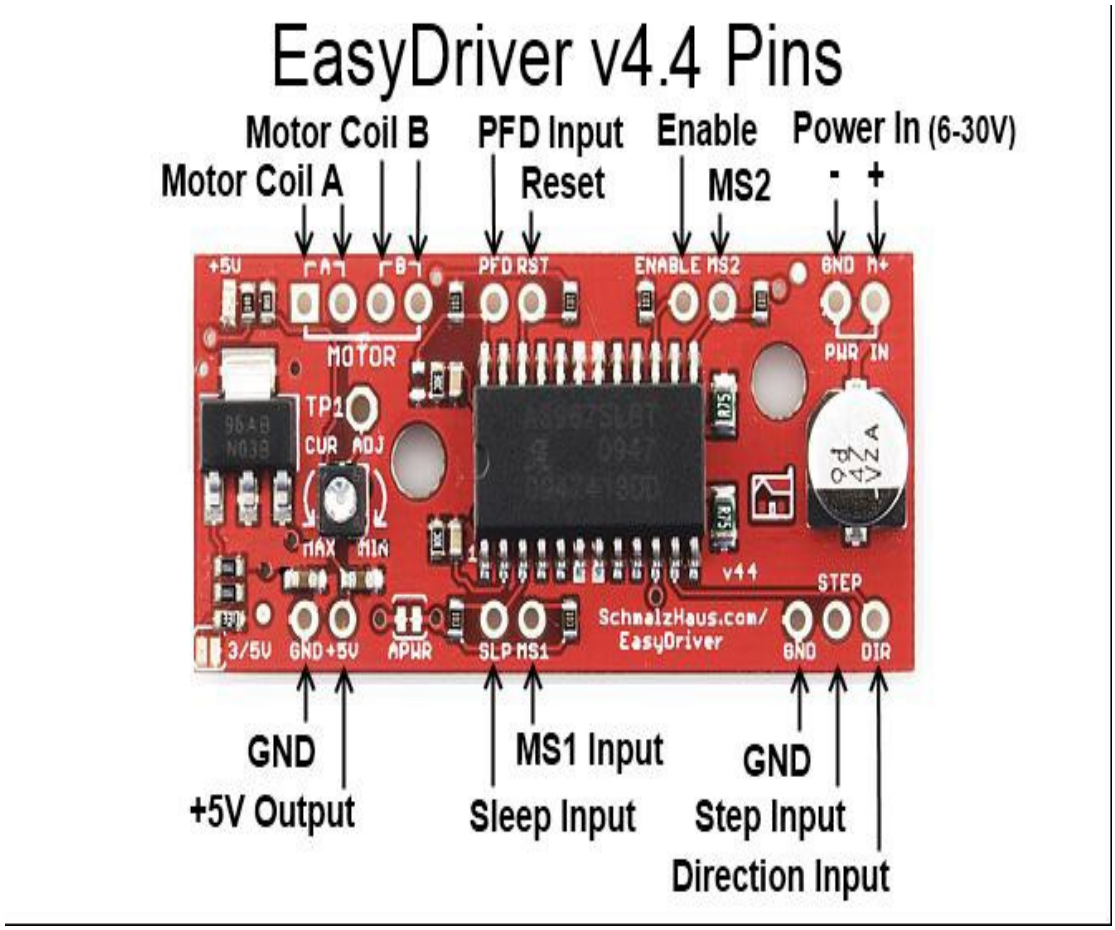
تسمح الوحدة بالتشغيل في وضع الخطوة الكاملة أو نصف الخطوة أو ربع الخطوة أو وضع 8/1 خطوة (الوضع الافتراضي).

لتبسيط الاتصال ، يمكن تثبيته على بطاقة mini Shield.

- مصدر الطاقة: 7 إلى 30 فولت تيار مستمر كحد أقصى

التحكم: عن طريق متحكم 0-5 فولت تيار مستمر (الوضع والاتجاه والسرعة)

- الإخراج: 150 إلى 750 مللي أمبير كحد أقصى لكل مرحلة
- الأبعاد: 48 × 21 × 18 ملم
- المخطط:: EasyDriver v4.4
- ورقة البيانات: EasyDriver Stepper Motor Driver
- الموزع: GOTRONIC



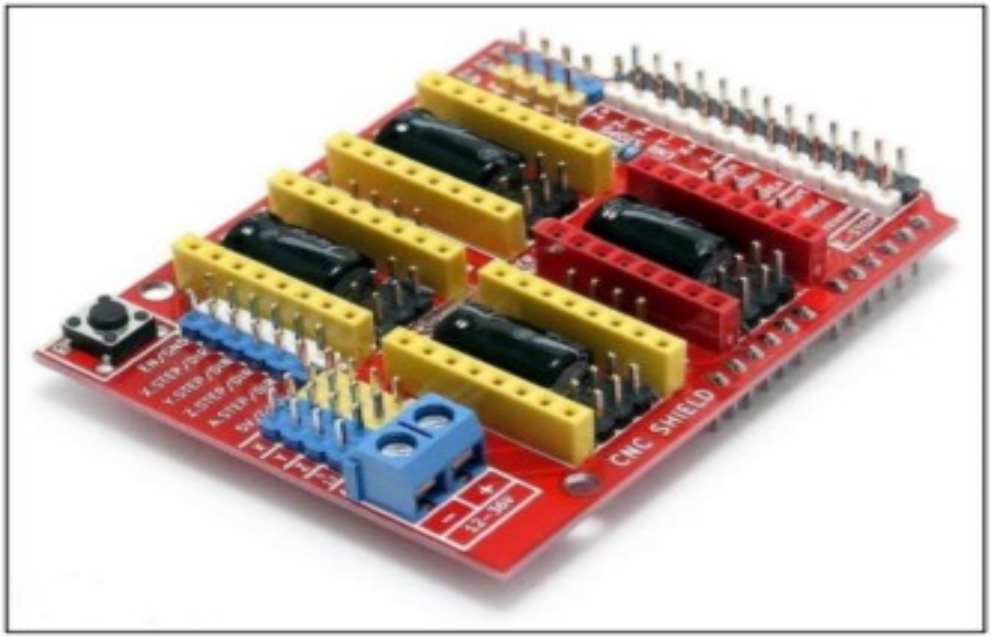
الشكل7: دائرة EasyDriver

8 /الدائرة الكهربائية :CNC Shield V3

ان CNC Shield V3 عبارة عن لوحة صغيرة تتيح لك التحكم بسهولة فيما يصل الى 4 محركات خطوة بخطوة مع Arduino الخاص بك بفضل تنسيق الدرع الخاصة بها

و هو يدعم 4 وحدات التحكم بالطاقة step driver A4988 او step driver8825 و تحتوي على كل الاتصالات اللازمة لتوصيل مفاتيح الحد و مخرجات التحكم

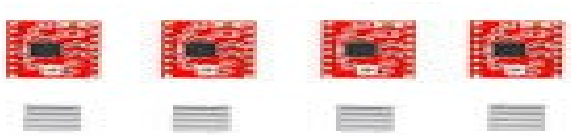
و هو متوافق تماما مع البرامج الثابة للتحكم في GRBL و يمكن استخدامه مع أي نموذج من الاردوينو على الرغم من انه يوصي باستخدامه مع نموذج Arduino Uno او Arduino Leonardo



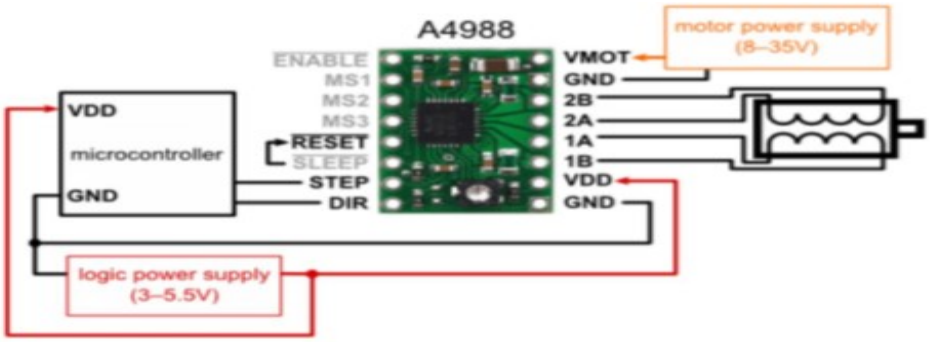
الشكل 8 : صورة توضح CNC Shield

وحدة التحكم في المحرك خطوة بحطوة من step driver A4988 هي لوحة فرعية ل Allegro من السهل استخدام سائق محرك متدرج ثنائي القطب

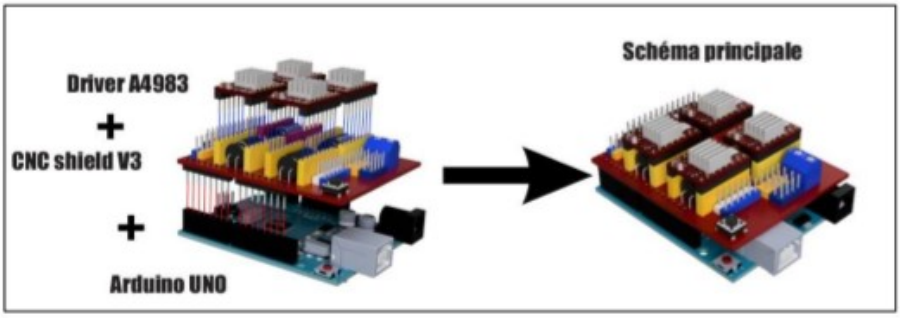
A4988 السائق يتميز بحد تيار قابل للتعديل و دقة مختلفة للخطوات الدقيقة كما يسمح بواسطة برنامج تشغيل المحرك المتدرج هذا بالتحكم في محرك متدرج ثنائي القطب بحد اقصى بتيار يخرج من الملف 2امبير يعمل من 8 الى 35 فولط و يمكنه توفير ما يصل الى 2 امبير لكل ملف في محركات خطوة بخطوة لتوفير التحكم الدقيق و الدقة و غالبا ما تستعمل في مشاريع النماذج الاولية بسرعة مثل الطابعات ثلاثية الابعاد



الشكل 9 :صورة توضح 4 من step driver A4988



الشكل 10 :مخطط تركيب step driver A4988



الشكل 11 :المخطط الكهربائي الرئيسي

2/ جزء البرمجة :

1/ برنامج :Arduino (IDE)

الشكل 12 : صورة توضح خلفية برنامج Arduino IDE

تعتبر بيئة التطوير Arduino IDE الأداة المستخدمة في كتابة الاكواد البرمجية بلغة Arduino C و تحويلها بعد ذالك الى صيغه تنفيذية يمكن وضعها على المتحكمة الدقيقة الموجودة على البوردة

و هو ايضا يعرف ببيئة التطوير المتكاملة بحيث تتميز هذه البيئة بالبساطة و السهولة في التعامل فهي تكاد تخلو من أي تعقيدات في المظهر العام و تحتوي فقط على ما يحتاجه المبرمج ليبدا تطوير برامج بلغة اردوينو Arduino cnc كما انها تستخدم في نفس الوقت لرفع البرنامج مباشرة الى المتحكمة الدقيقة و بذالك لن تحتاج الى برنامج اخر مخصص لرفع الصيغه التنفيذية للبوردة.

الشكل 13 : صورة توضح واجهة برنامج Arduino IDE

تتكون بيئة التطوير من واجهة بسيطة و تنقسم الى اربعة اقسام :

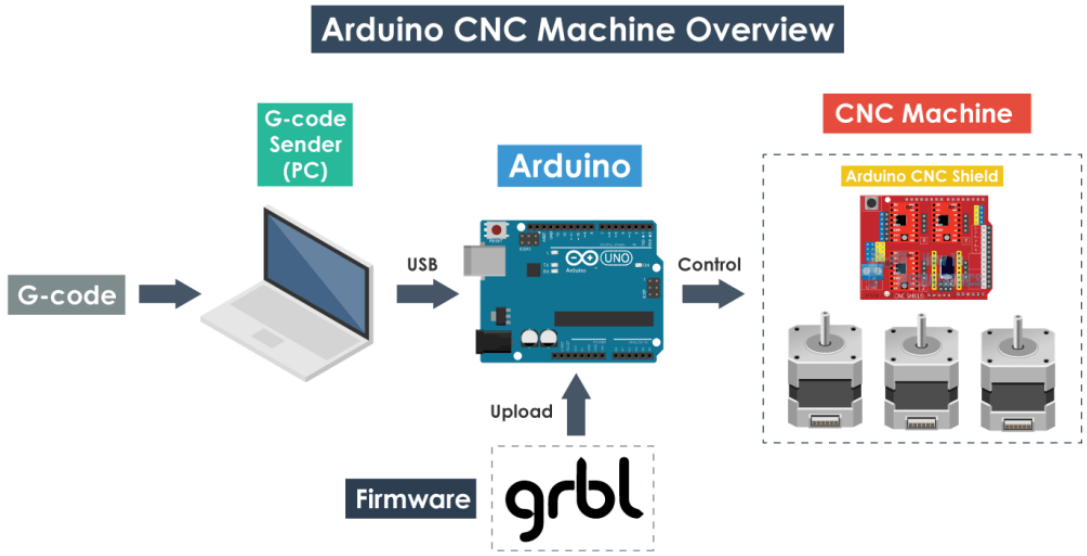
1- شريط القوائم
2- شريط الاوامر السريعة
3- منطقة كتابة الاكواد البرمجية
4- الجزء الخاص بعرض التنبيهات و الاخطاء البرمجية في بيئة التطوير.

الشكل 14 :صورة توضح مختلف الايقونات من شريط الاوامر السريع

2/ برنامج:GRBL

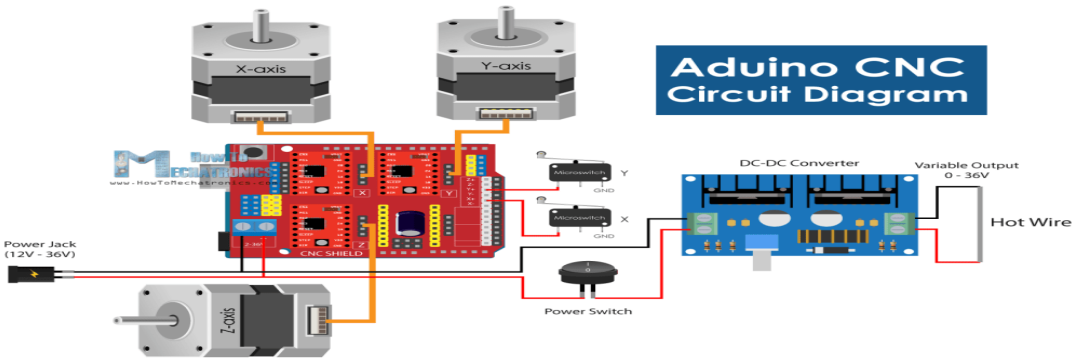
هو عبارة عن أحدِ البرمجيّات المفتوحة المصدرِ تُستخدم للتّحكم بحركة ماكينة CNC، حيثُ بالإمكان حقنُ برمجية GRBL بسهولة في الأردوينو، فمِن ثمَّ نحصل على متحكّم بسعر مناسب وأداءٍ مرتفع، كما يستخدِم GRBL الـ G-code كدخل له بحيثُ يكون الخرجُ عبارةً عن أوامر التحكّم بالحركة.

لنلقِي نظرةً على الشّكل أدناه لتعزيزِ فهمنا:



الشكل 15 :نظرة شاملة على ماكينة CNC ومكوّناتها (مصدرالصورة: موقع howtomechatronics)

يمكّننا الرسمُ التخطيطي في الشكل أعلاه من معرفةِ مكان توضع الـ GRBL ضمنَ مخطط مبدأ عمل ماكينة CNC، فهو برنامجُ التّثبيت الّذي نحتاج إلى تنصيبهِ أو رفعهِ إلى الأردوينو لنتمكّن من التّحكم بالمحركات الخطويّة Stepper Motors للماكينة، وبمفهومٍ آخرَ يعمل برنامج GRBL على ترجمة الـ G-code وتحويلِهِ بهيئة حركة للمحرّكات.



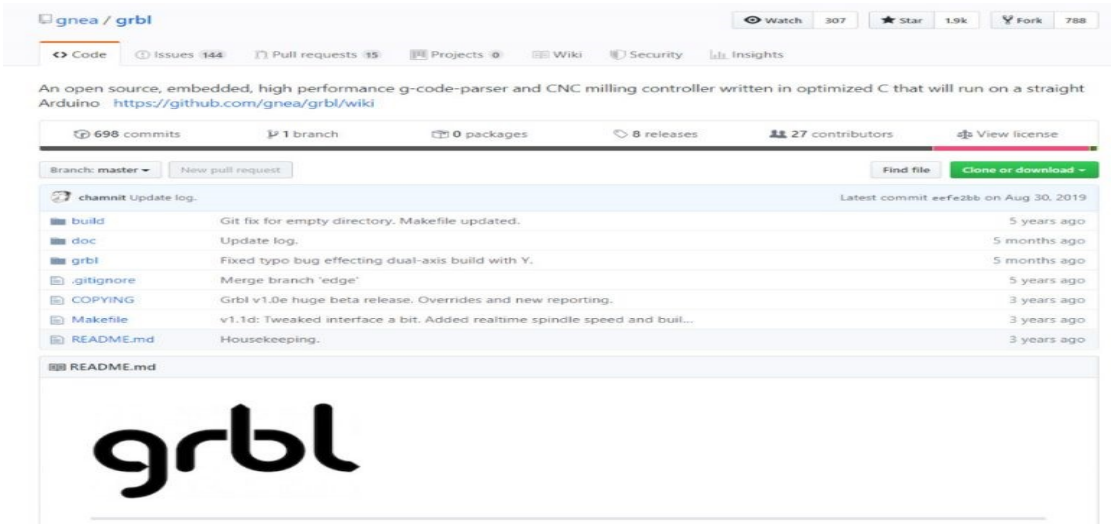
الشكل 16 :كيفية ربط المكونات المادية وتوصيلِها (مصدرالصورة: موقعhowtomechatronics)

تمثل أداة القطع (ويمكن أن تكون أداةً للرسم) الأداة الرئيسة لماكينة CNC التي يُمكنها أن تذيبَ (أو تُصهر) أو تقطع بسهولة من خلال استخدام مادة Styrofoam وبالنتيجة صنعُ أيّ شكل تريده.

ومع ذلك سنستخدم هذه الماكينةَ كمثال حيث يُطبّق مبدأ العمل ذاته على أيّ ماكينة CNC إن كانت ليزريّة أو يدويّة.

3/ تنصيب برنامجGRBL:

أوّلاً، نحتاج إلى بيئة التّطوير البرمجيّة Arduino IDE لنكونَ قادرين على تنصيب برنامج GRBL أو رفعِه إلى الأردوينو، بعدَها يمكننا تحميلُ برنامج التّثبيت GRBL من موقع . firmware from github.com

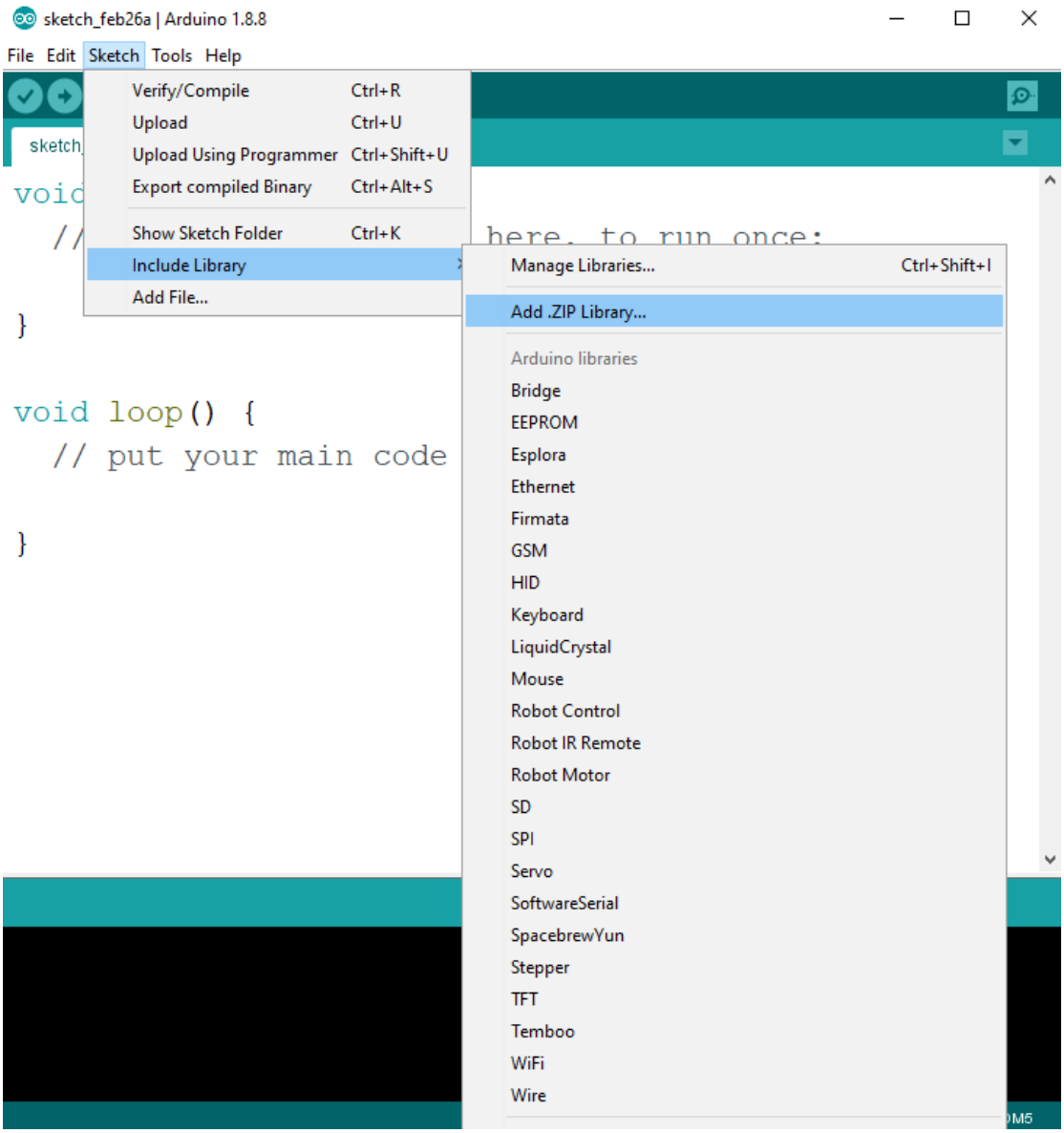


الشكل 17 : واجهة موقع GITHUB وتحميل البرنامج من خلاله
(مصدر الصورة: موقع howtomechatronics)

حمّلهُ بصيغة مِلف .ZIP ثُمّ اتبعِ الخطواتِ التّالية:

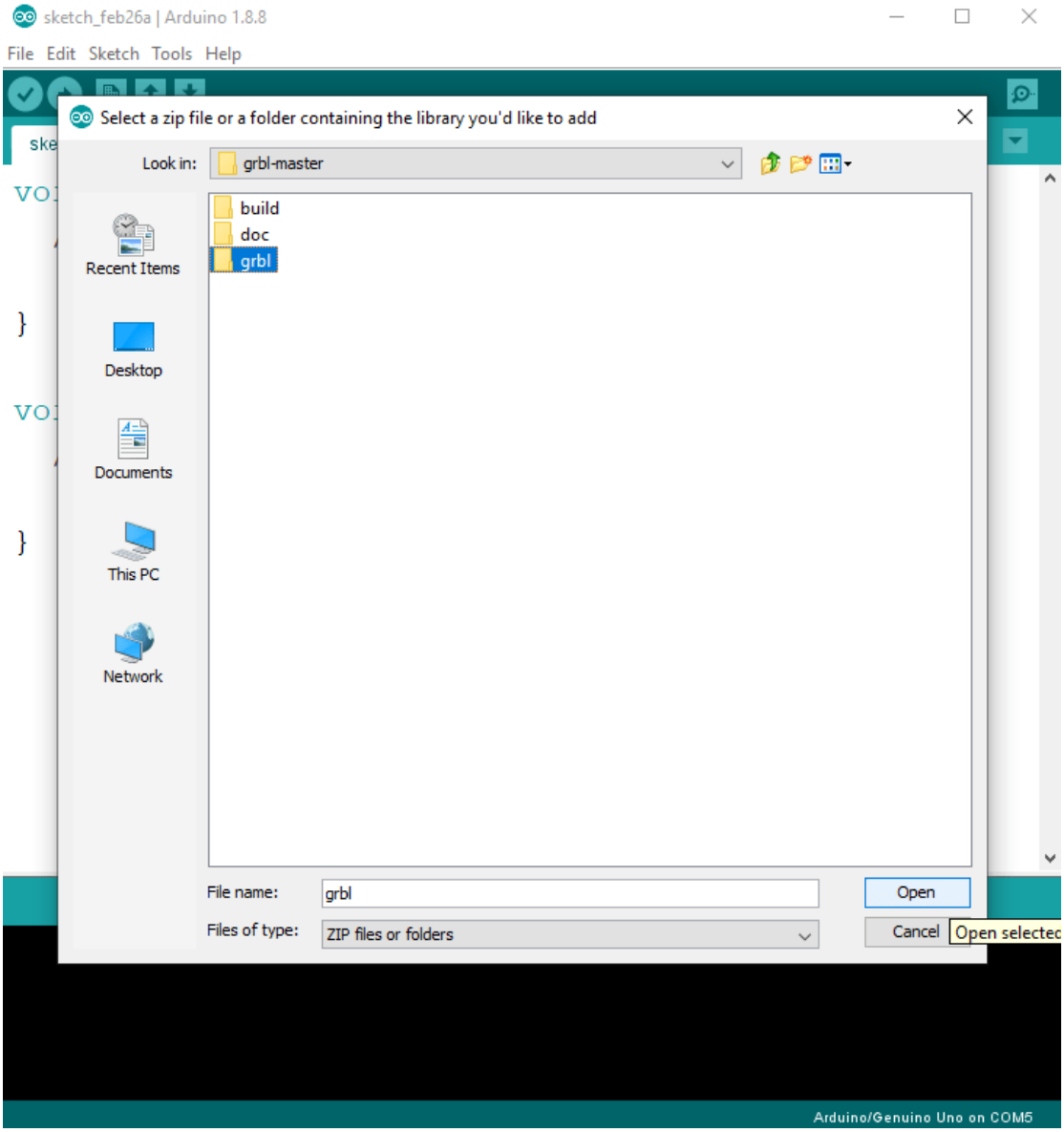
افتح مِلف grbl-master.zip واستخرج الملفات.

افتح بيئةَ التَّطوير البرمجيَّة Arduino IDE وانتقل إلى المسارِ التالي: Sketch > Include Library > Add .ZIP Library



الشكل 18 : إضافة GRBL كمكتبة إلى Arduino IDE
(مصدر الصورة: موقع howtomechatronics)

انتقل إلى مجلدِ الاستخراج "grbl-master"، واختر من ضمنِه مجلدَ "grbl" ثم انقر عليه ليفتحَ المِلف، والآن أصبح لدينا الـ GRBL كمكتبة من مكتبات Arduino.



الشكل 19 : مجلد "grbl" (مصدرالصورة: موقعhowtomechatronics)

انتقل بعد ذلك إلى: File > Examples > grbl > grblUpload، عندَئذٍ ستُفتَح واجهة رسومية برمجية جديدة، التي يجب رفعُها إلى الأردوينو، كما قد يبدو الرَّمز البرمجي غريباً ومريباً لمجرّد أنَّه سطرٌ واحد، لكن عملياً تحدث الأشياء جميعُها في المكتبة لذا كل ما علينا فعلُهُ هو اختيارُ لوح الأردوينو ومنفذ COM ثم ضغط زر الرّفع.

4/ تهيئةGRBL:

يجب علينا في هذه المرحلة تهيئةُ أو ضبط برنامج GRBL على الماكينة الخاصَّة بنا، حيثُ تمكّننا نافذةُ السّيريال في بيئة التَّطوير Arduino IDE من القيام بذلك، مع العلم أنّه عندَ فتح النافذة سنتلقى

رسالةً تحمل العبارة "Grbl 1.1h ['$' for help]" وفي حال عدم تلقي هذه الرّسالة تأكد عندها تغييرَ معدل الباودر baudrate إلى 115200.

نحصل على قائمة من الأوامر أو الإعدادات الحاليَّة إذا كتبنا "$$"، وتظهر بشكلٍ يشبه ما يلي:

$100=250.000 (x, step/mm)

$101=250.000 (y, step/mm)

$102=3200.000 (z, step/mm)

$110=500.000 (x max rate, mm/min)

$111=500.000 (y max rate, mm/min)

$112=500.000 (z max rate, mm/min)

$120=10.000 (x accel, mm/sec^2)

$121=10.000 (y accel, mm/sec^2)

$122=10.000 (z accel, mm/sec^2)

تُضبَط هذه الأوامر كافةً على وَفق ماكينة CNC الخاصَّة بنا، مثلاً يمكّنُنا الأمرُ الأوّلُ $100=250.000 (x, step/mm) من ضبط عددِ الخطوات في كلِّ ميليمتر mm للماكينة أو يمكننا تحديدُ عدد خطوات المحرك على المحور X اللّازمة للتحرّك بمقدار 1 ميليمتر.

ومع ذلك، يُقترَح تركُ هذه الإعدادات كما هي واتّباع طريقة أسهلَ للضبط والتهيئة وفقاً للماكينة عن طريق برمجة المتحكّم والذي سيُشرح في القسم التّالي.

5/ لغة وحدات التحكم الرقمية :G-code

1/5- الوصف:

CodeG هي لغة برمجة للأجهزة الرقمية تعتمد على سطور من التعليمات البرمجية.

يمكن أن يتضمن كل سطر (يُسمى أيضًا كتلة) أوامر لجعل الجهاز يقوم بإجراءات مختلفة.
يمكن تجميع أسطر متعددة من التعليمات البرمجية في ملف واحد الإنشاء

2/5- برنامج :G-code

يبدأ السطر النموذجي من التعليمات البرمجية برقم سطر اختياري متبوعا بكلمة واحدة أو أكثر. تبدأ الكلمة بحرف متبوعا برقم أو شيء يقيم الرقم). يمكن للكلمة أن تعطي أمرًا أو تقدم وسيطة للأمر. على سبيل المثال، G13عبارة عن سطر صالح من التعليمات البرمجية يتكون من كلمتين

G1هو أمر يعني التحرك في خط مستقيم بالسرعة المبرمجة ويوفر X3قيمة الوسيطة (يجب أن تكون قيمة 3 Xفي نهاية الحركة).

تبدأ معظم أوامر G-code بالحرف G و G M General SIM للمتنوعة (مساعدة)). مصطلحات هذه الأوامر هي M Gcodes-(13) codes

لا تحتوي لغة G-code على مؤشر بداية ونهاية البرنامج. لكن المترجم يعالج الملفات، يمكن أن يكون البرنامج البسيط في ملف واحد، ولكن يمكن أيضا تقسيمه عبر ملفات متعددة. يمكن تحديد الملف بعلامة النسبة المئوية بالطريقة التالية يمكن أن يحتوي السطر الأول غير الفارغ من الملف على علامة 6 واحدة، وربما تكون محاطة بمسافات بيضاء، ثم في نهاية الملف، يجب أن يكون هناك سطر مماثل بعد تحديد ملف بـ أمرًا اختباريًا إذا كان الملف يحتوي على M2 أوM30

ولكن يشترط خلاف ذلك سيتم الإبلاغ عن خطأ إذا كان الملف يحتوي على سطر النسبة المئوية في البداية. ولكن ليس في النهاية. يتوقف المحتوى المفيد للملف المحدد بنسبة مئوية بعد سطر النسبة المئوية الثانية يتم تجاهل كل شيء آخر

توفر لغة G codeأمرين (M2) أو (M30 لإنهاء البرنامج. قد ينتهي البرنامج قبل نهاية الملف. لن يتم تنفيذ الأسطر الموضوعة بعد نهاية البرنامج المترجم لا يقرأهم (13)

3/5- تنسيق سطر واحد:

يتم إنشاء سطر نموذجي من رمز على النحو التالي بالترتيب مع تقييد 256 حرفا كحد أقصى على نفس السطر

- حرف مسح الكتلة الاختياري
- رقم السطر الاختياري
- أي عدد من الكلمات وقيم المعلمات والتعليقات
- احرف نهاية السطر(سطر الإرجاع أو تغذية السطر أو كليهما)

6/ محرر النص أو الصورة المترجم للغة :CNC

محرر النصوص عبارة عن واجهة رسومية على الكمبيوتر حيث يمكن للمشغل معالجة كود كليتم تنفيذه والذي يسمى ."Inkscape " ثم يجب تجميع هذا النص. إذا كان هناك أي أخطاء ومن المتوقع أن يقوم المشغل بتصحيحها بمجرد تجميع الكود. يصبح جاهزاً لإرساله إلى لوحة Arduino Uno أو لمحاكاته على الكمبيوتر

1/6- تعريف :Inkscape

يعد Inkscape برنامجا قويًا للرسم المتجه ذو طابع "فني"، حيث يتم حفظ الرسم هناك في شكل معادلات منحنيات مسارات وليس بالبكسلات مثل الصور النقطية. هذا البرنامج واسع النطاق (ولكنه جيد جدًا)، والوظائف التي تهمنا في سياق هذا البرنامج التعليمي هي أنه يسمح لك بفتح

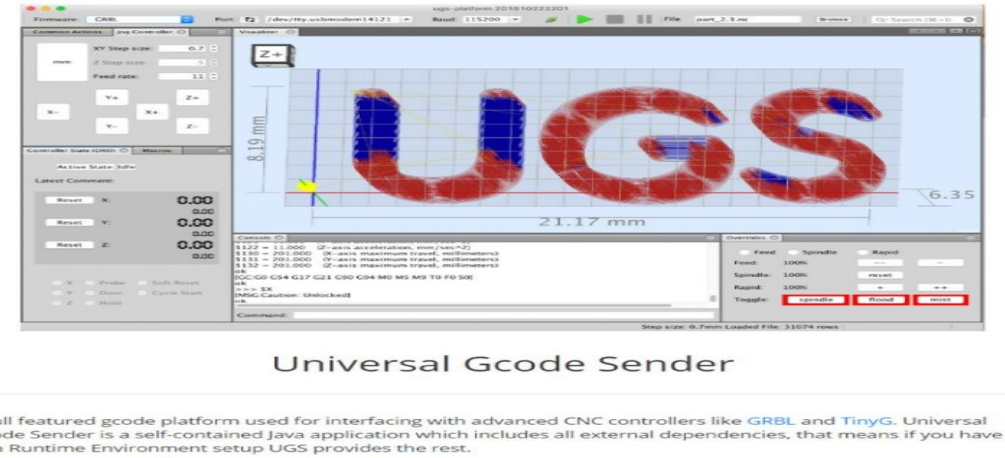
عدد كبير جدا من أنواع الصور .... XCE. (P. DXF, PDF, G. PNG. JPG, BMP) وانه قادر على تحويل الصور النقطية إلى صور متجهة (14)

الشكل 20 :الواجهة الرئيسية لبرنامج Inkscape

"أدوات G-code" هي امتداد Inkscape يسمح (من بين أمور أخرى) بإنشاء G-code من "مسارات الصور المتجهة.

7/ متحكّم GRBL:

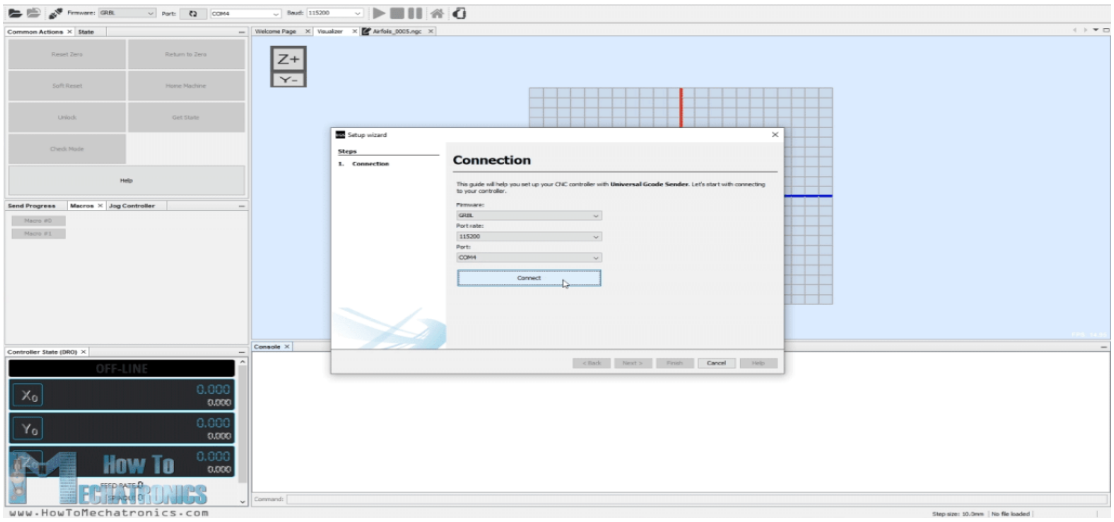
يعلم الأردوينو كيفيّةَ قراءة G-code والتّحكم بماكينة CNC من خلاله، وذلك بعد تنصيبَ برنامج GRBL، ولكن نحتاج إلى بعضِ أنواع الواجهات أو برمجة المتحكَّمات لإرسال الـ G-code الذي يخبر الأردوينو عمَّا يجب فعلُه، وفي الحقيقة، يُوجد كثيرٌ من المصادر المفتوحة والبرامج التِّجارية لتحقيق هذا الهدف، وبالطّبع سنختار برنامجًا مفتوحَ المصدر، مثلَ: مرسل Univarsal G-code sender



الشكل 21 : المرسلUnivarsal G-code sender (مصدر الصورة: موقع howtomechatronics)

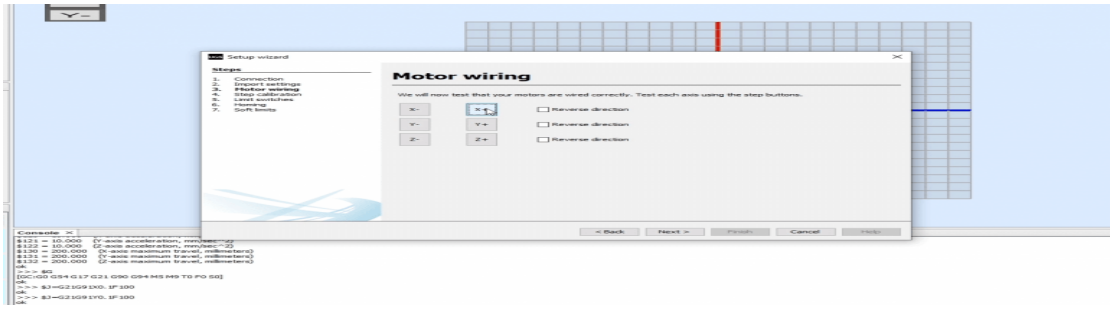
1/7- كيفيّة استخدام المرسل Univarsal G-code sender :

سنستخدم في هذا المثال الإصدارَ Platform 2.0 وعند تحميلِه نحتاج إلى استخراج مِلف zip ثمّ الانتقال إلى مجلّد "bin" وفتح ملفات "ugsplatfrom" التّنفيذيّة، مع العلم أنّ هذا البرنامج هو برنامجٌ يعتمد على لُغة جافا JAVA لذلك وحتَّى نكون قادرين على تشغيلِ البرنامج يجب علينا أوّلاً تنصيبُ البيئة البرمجيّة JAVA Runtime Environment بعد ذلك وعندَ فتح مرسل Universal G-code sender فإنّ أوّل ما نحتاج إليه هو تهيئةُ الماكينة أو تهيئة بارامترات GRBL المذكورة سابقاً، ولتحقيق هذه الخطوة نستخدم برنامج UGS Setup Wizard الذي يعتبر أكثرَ ملاءمة، وثم بعد ذلك يمكننا كتابةُ الأوامر البرمجية يدويّاً عبر نافذة السّيريال لبيئة التطوير Arduino IDE.



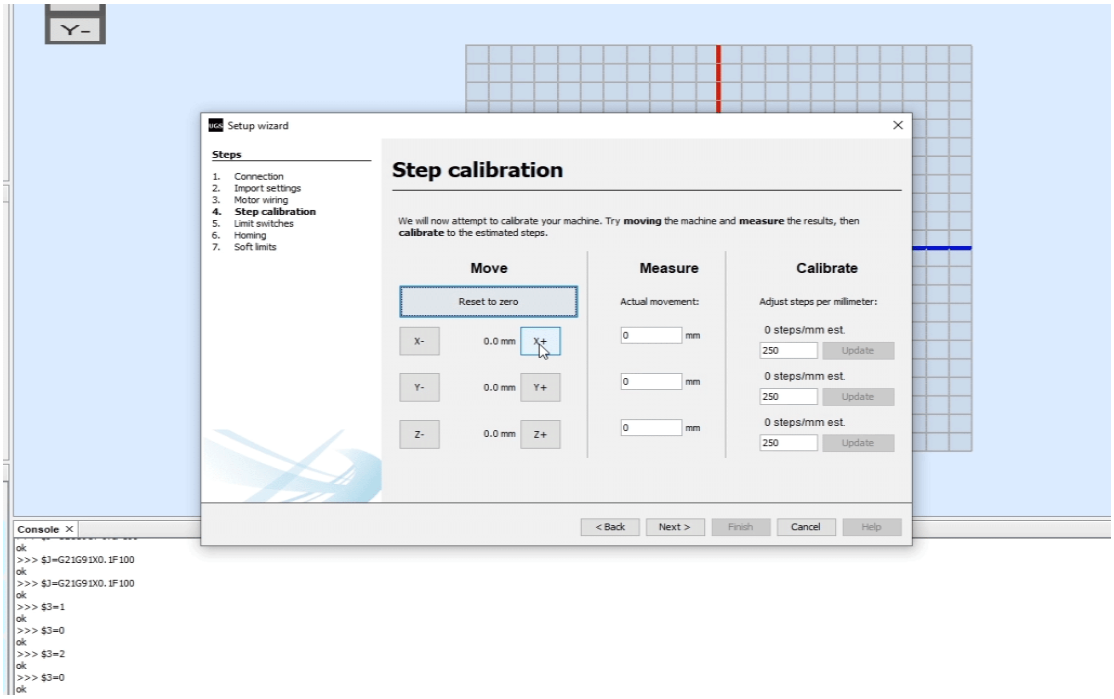
الشكل: 22 واجهة التحقق من الاتصال CONNECTION (مصدر الصورة: موقع howtomechatronics

تتمثل الخطوةُ الأولى كما هو موضَّح في الشكل (8) باختيار معدل الباود baudrate الذي يجب أن يكون 115200 وبالتحقق من أن منفذ الأردوينو متّصل، وبعد اتِّصال المرسل بالأردوينو يمكننا تأكّدُ اتجاهات الحركة للمحركات في الخطوة التي تليها



الشكل 23: واجهة التحقق من اتجاهات الحركة للمحرّك Motor Wiring (مصدر الصورة: موقع howtomechatronics)

نستطيع عكسَ الاتجاهات من خلال البرنامج إذا أُضطرّ الأمر، أو يدويّاً عن طريق قلب وصلات المحرّك على شيلد الأردوينو، أمّا في الخطوة التالية، فنستطيعُ ضبطَ بارامتر الخطوة steps/mm وهنا يكون فهمُ كيفيّة الضّبط أسهلَ؛ لأنَّ إعدادات البرنامج تحسبُ ثم تخبرنا بالقيم اللّازمة لتحديث البارامترات.



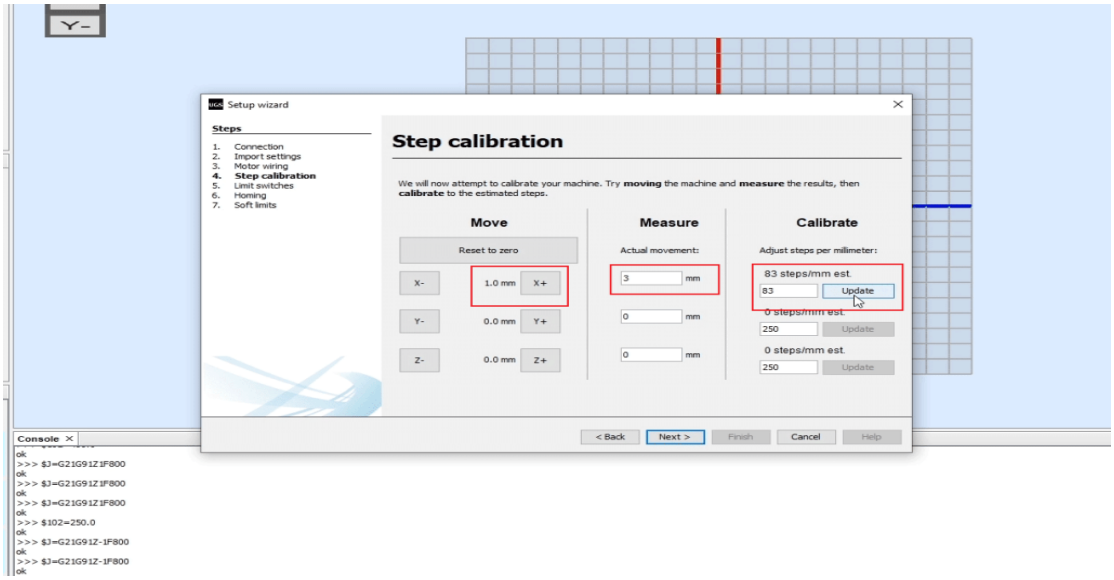
الشكل 24: خطوة المعايرة (الخاصّة بالتحريك) (مصدر الصورة: موقع howtomechatronics)

تكون القيمةُ الافتراضية للخطوات هي 250 steps/mm التي تعني أنه إذا نقرنا على زر "+x" فإنَّ المحرّكَ سيخطو 250 خطوةً، حيث ستتحرّك الماكينة مسافة معينة معتمدةً في ذلك على عدد الخطوات الخاصة بالمحرّك ودقّة الخطوات المختارة ونوع الإرسال، كما نستطيع قياس الحركة

الفعلية والمسافة التي قطعتها الماكينة وذلك باستخدام المسطرة؛ ثم ندخل هذه القيمة في حقل "Actual movement" وبالاعتماد على هذه القيمة يخبرنا البرنامج عن القيم الجديدة والمحدّثة لبارامتر الخطوة steps/mm.

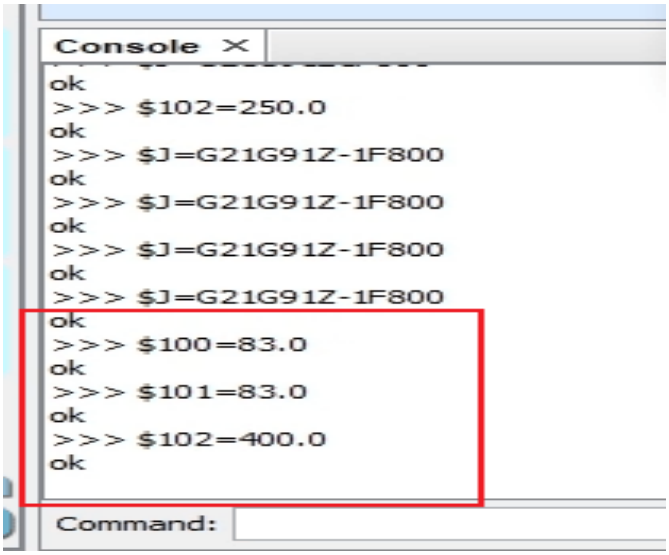
الشكل 25: استخدام المسطرة لمعرفة المسافة التي تحركت إليها الماكينة (مصدر الصورة: موقع howtomechatronics)

نلاحظ في حالة الماكينة DIY CNC التي اعتمدناها أنها تحركت بمقدار 3سم ووفقاً لتلك القيمة يقترح البرنامج تحديثَ بارامتر الخطوة steps/mm إلى القيمة 83.



الشكل 26: واجهة step calibration التي تعرض بارامترات DIY CNC (مصدر الصورة: موقع howtomechatronics)

ومع هذه القيمة الجديدة ستتحرك الماكينة بشكل صحيح، حيث أصبح كل 1 ميليمتر في البرنامج تعني 1 ميليمتر واقعياً لماكينة CNC.

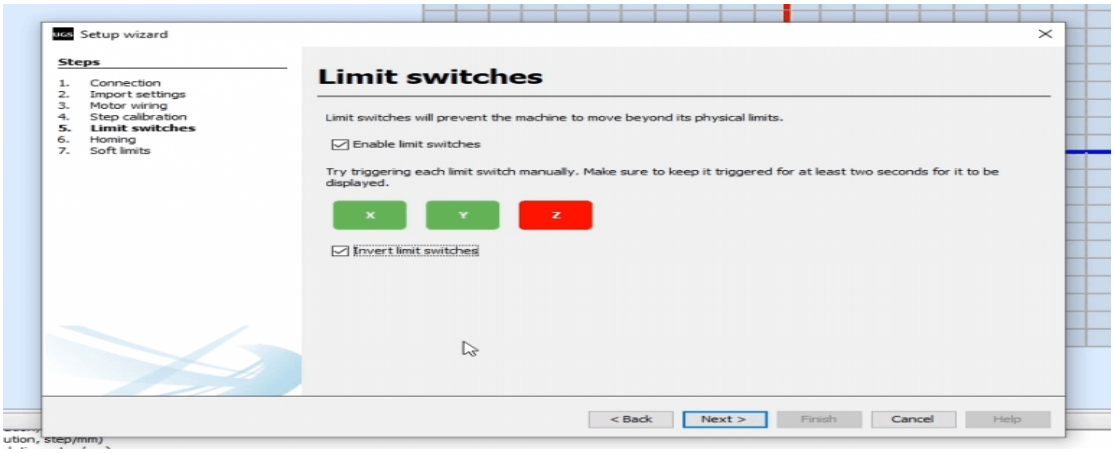


الشكل 27:منصة UGS (مصدر الصورة : موقع howtomechatronics)

نستطيع رؤيةَ الأوامر المنفذة من خلال مِنصة UGS، كما ونلاحظ أنّ برنامج UGS أُرسِل إلى الأردوينو فورَ تحديث قيمة بارامتر steps/mm أو يرسل برنامج GRBL الأوامر التي استعرضناها آنفاً.

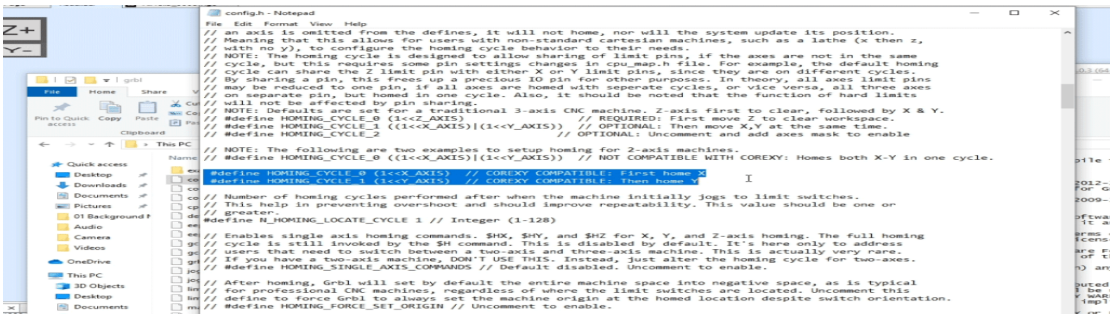
كانتِ القيمة الافتراضية: $100=250.000 (x, step/mm)، أما القيمة المحدّثة فهي 83 خطوةً في الميليمتر الواحد $100=83.

نستطيع في الخطوة التالية تفعيلَ مفاتيح limit switches واختبارها إن كانت تعمل أو لا.



الشكل 28: واجهة مفاتيح limit switches (مصدر الصورة: موقع howtomechatronics)

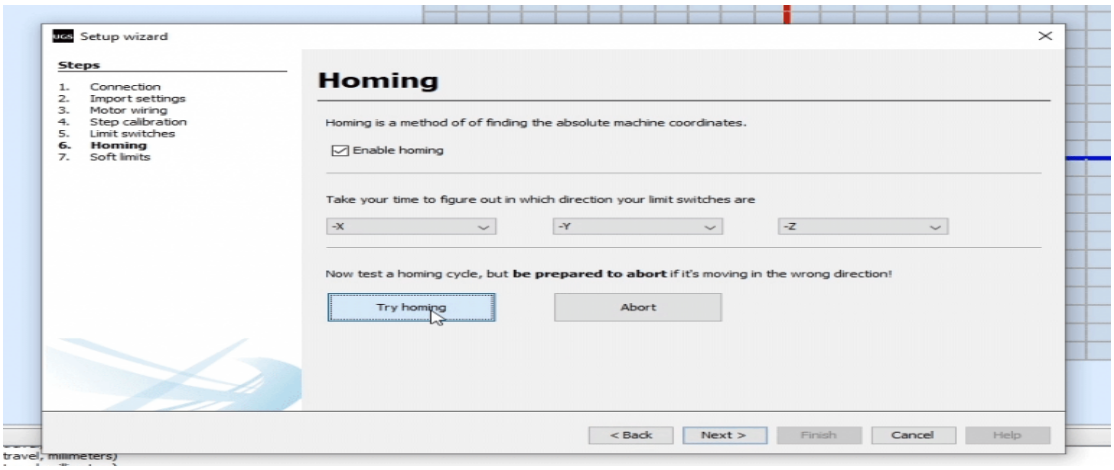
بإمكاننا أيضاً تبديلُ المفاتيح من هنا، وذلك بالاعتماد على طبيعة المفاتيح إن كانت في حالة الاتِّصال Normally Open أو حالة الاتّصال Normally Closed، كما يجدر بنا ملاحظة أنه في بعض الأحيان لا نكون بحاجة إلى تفعيل المِفتاح Z axis limit switch كما هو الحال بالنسبة إلى الماكينة التي اعتمدناها DIY CNC Foam Cutting حيث لم نفعّله لتعمل الماكينة بشكل صحيح، لذا نحتاج إلى تعديل مِلف config.h للقيام بذلك المتواجد ضمنَ مجلد مكتبة الأردوينو Arduino Library أو من خلال المسار Documents\Arduino\libraries.



الشكل 29: كيفية تعديل مِلف config.h (مصدر الصورة: موقع howtomechatronics)

نحتاج هنا إلى إيجاد السَّطر البرمجي الخاصّ بـ homing cycle وتحويل الماكينة من الوضع الافتراضي الذي يستخدم المحاور الثلاثة إلى تعليق comment، وإلغاء حالة التعليق عن الوضع الذي يسمح باستخدام محورين فقط، بعد ذلك نحفظ المِلف ريثما يستجيب البرنامجُ للتغييرات ثم نعيد رفعَ المقطع البرمجي grblUpload إلى الأردوينو.

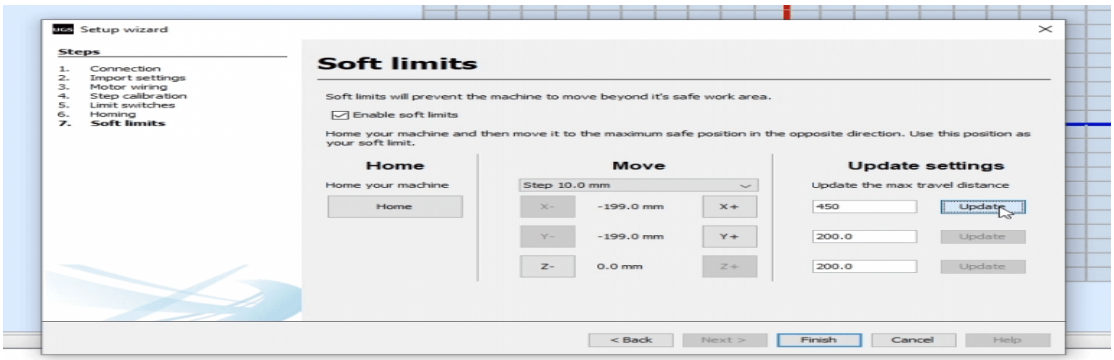
ومع ذلك، فإننا نستطيع في الخطوة التالية من تفعيل أو عدم تفعيل الـ homing لماكينة CNC



الشكل 30: واجهة Homing (مصدر الصورة: موقع howtomechatronics)

حيثُ ستبدأ الماكينة التّحرّك باتّجاه النهاية المحددة عندَ استخدام زر "Try homing"،وفي حال تحرّكت في الاتّجاه المعاكس فيمكننا عندَئذٍ تغييرُ الاتّجاهات بسهولة.

وفي النهاية تمكننا الخطوة الأخيرة من إعدادات البرنامج من تفعيلsoft limits للماكينة والتي تمنع الماكينة من التحرك خارج منطقة العمل.



الشكل 31: واجهة soft limits (مصدر الصورة: موقع howtomechatronics)

كما يُوجد بالطبع عديدٌ من الإعدادات والخصائص المتاحة، مثل GRBL برنامجًا فاعلًا للتحكم بـ CNC كما تشرح مستنداتGRBL التفاصيل كافةً، فمِن ثَمَّ يمكنك دائماً التحققُ منها من خلال الموقع: wiki page on github.com.

أيضاً هنالك عددٌ من برامج التَّحكم GRBL المفتوحة المصدر كـG-Code وبعض الأمثلة عليها هي:

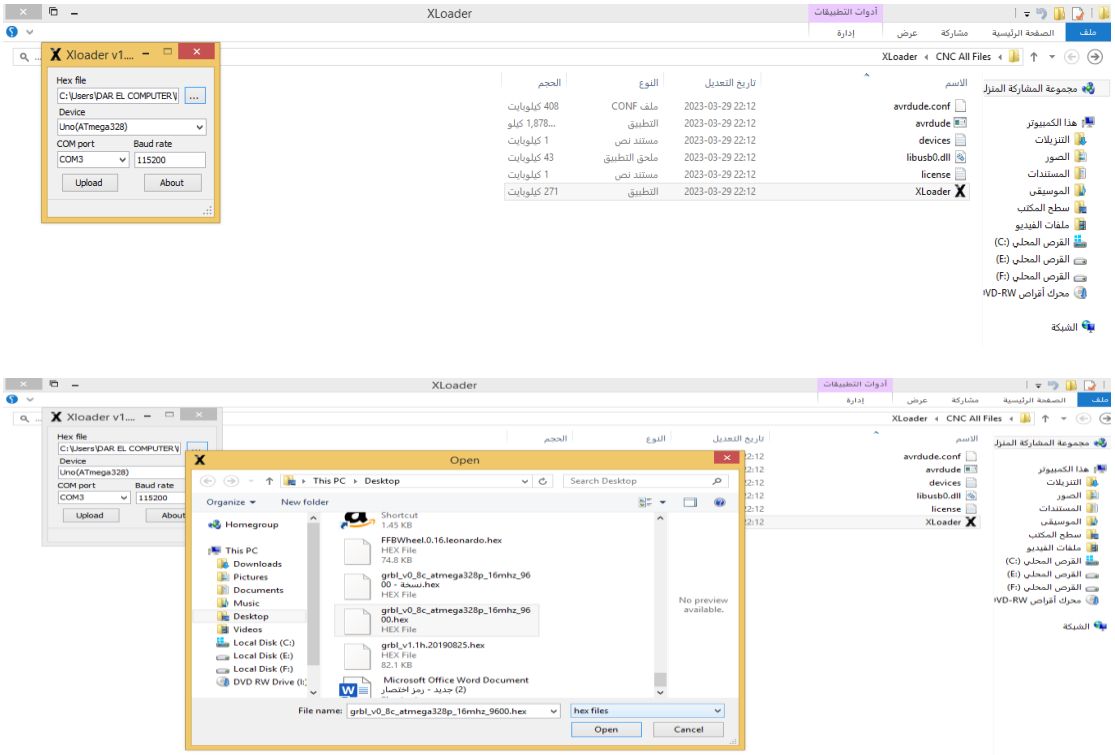
GRBL web (Web Browser), Grbl Panel (Windows GUI), grbl Control (Windows/Linux GUI), Easel (Browser based)

8/ برنامج X Loader:

يعتبر هذا البرنامج بمثابة اداة لنقل التفاصيل المعدلة الموجودة في محركات Arduino الى لوحة GRBL لالة CNC التحكم الرقمي بواسطة الحاسوب

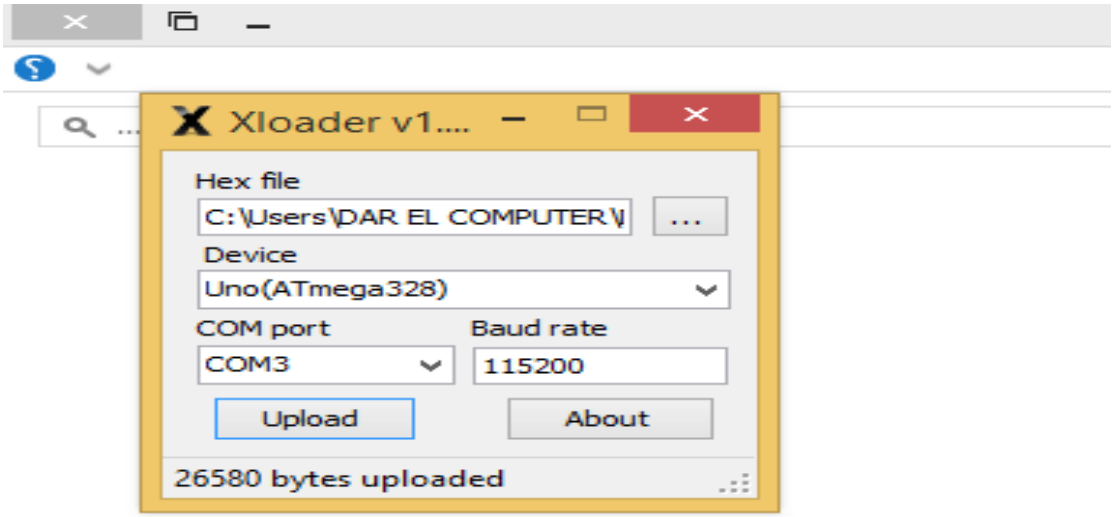
كما انه يوفر واجهة سهلة و بسيطة حيث يتم تحميل هذه التفاصيل كما يلي :

- تحميل الملف بعد تحديده hex
- اختيار لوحة Arduino المستخدمة في المشروع
- اختيار المنفذ COM 11
- الضغط على زر التحميل



الشكل 32: صور توضح برنامج X Loader وعملية تحميل الملف

بمجرد تحميل الملف في وحدة التحكم ستظهر لقطة الشاشة على اليمين تشير الى حجم الملف الذي تم تحميله او ظهور رسالة خطا في حالة فشل التحميل.



الشكل 33: صورة توضح عملية تحميل الملف من برنامج X Loader

9/ الخاتمة:

هذا الفصل هو بوابة لإدراكنا وتصميم المواد. سمح لنا هذا العمل بإتقان خيارات لوحة Arduino Uno الخاصة بنا بدائرة التحكم وخصائصها من أجل استغلالها بطريقة صحيحة. لقد قدمنا أيضًا مبادئ ووظائف برمجة مختلفة مخصصة للوحة Arduino Uno ، الأكثر شهرة وشهرة في النطاق. وصف موجز ، بالإضافة إلى شكل يوضح الترابط بين المكونات الأخرى التي تسمح لك بإجراء ومعرفة المزيد حول التعامل مع تقنيات وأجهزة الإدخال الرقمي والتناظري المتعددة. اخترنا لوحة Arduino Uno نظرًا لاقتصادها وشعبيتها وقوتها في المعالجة. ثم قدمنا أيضًا دراسة عن الدوائر المتكاملة للتحكم في محركات خطوة بخطوة المستخدمة في بطاقتنا الإلكترونية.

وهكذا يكشف هذا الفصل عن فائدة كبيرة لما يلي لأنه يشرح بالتفصيل المفاهيم المستخدمة في جزء الإنجاز من مشروعنا.

الفصل الثالث

التنفيذ العملي و التطبيقي

1/ مقدمة:

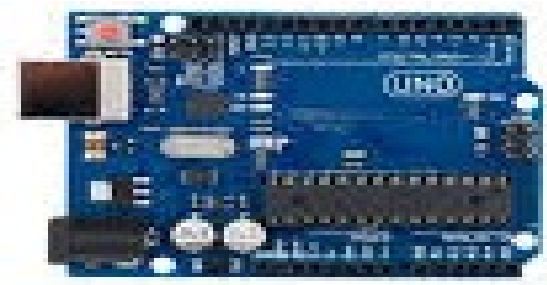
خصصنا هذا الفصل لتصنبع و تطبيق الة CNC و لهذا السبب تم اخذ عدة خطوات بعين الاعتبار

كما حاولنا استخدام المواد المتوفرة بسهولة و ارخص المكونات لتصنيع الالة لقيادة محركات خطوة بخطوة ذات المحاور الثلاث X و Y و Z بالاضافة لاستخدام لوحة Arduino Uno و اجراء الاختبار التطبيقي للآلة في ايطار الكتابة....

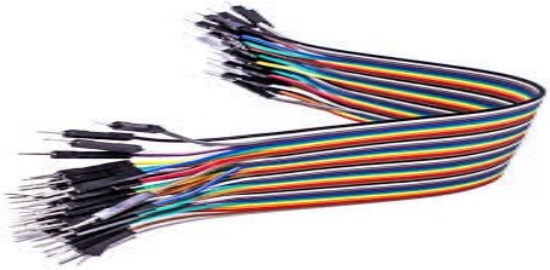
2/ تصنيع الة : CNC

الخطوة 01: المواد اللازمة لصنع الة :CNC

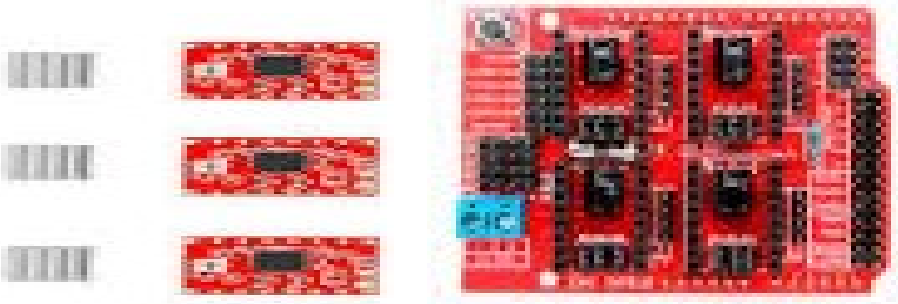
- **Arduino Uno:**



- **اسلاك التوصيل الكهربائي :**



- **Shield CNC V3 + 3 Step Driver A4988:**



- **سلك التوصيل (USP) بين الحاسوب و الاردوينو:**

- **شاحن مزود الطاقة 12 V:**

- **3 محرك سائر DVD:**

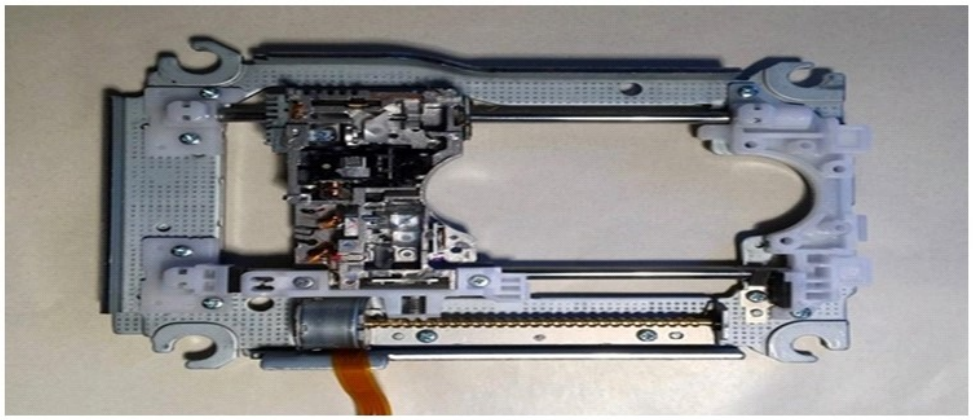
- **بالاظافة الى لوحة البلاستيك المستعملة كقاعدة للكتابة في المحور Y و قلم الكتابة و هيكل الالة ...الخ**

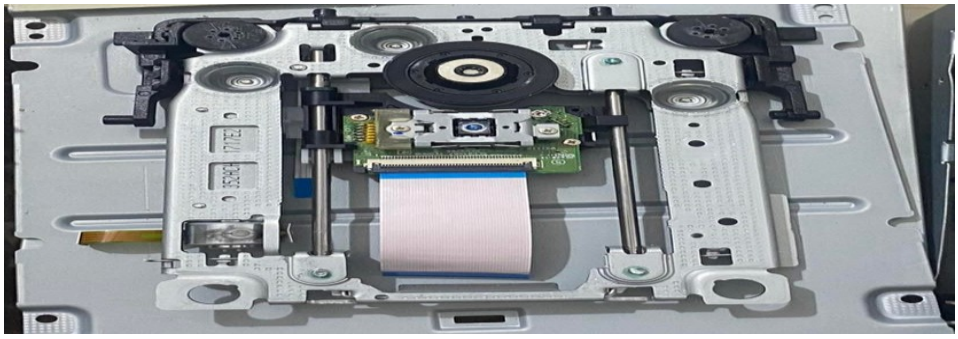
الخطوة 02: تفكيك محركات اقراص DVD:

لقد قمنا بازالة جميع الاجهزة الالكنرونية من الشاحنة لكي نحصل على سطح مستوي من اجل لصق لوحة الرسم على المحور Y و حامل القلم على المحور Z بشكل صحيح.

كما قمنا بتفكيك مشغل DVD للاحتفاظ فقط بالية تحريك راس القراءة .

الانظمة التى تم الحصول عليها عبارة عن نظام الازاحة الخطي الذي تم استرداده من مشغل DVD الذي يقدم حاملا لمحور الة CNC.





الشكل 1 -نظام الازاحة الخطية المستعاد من مشغل DVD

الخطوة 03 : اعداد محركات خطوة بخطوة ذات المحاور X و Y و Z:

في هذه الخطوة سنقوم بتلحيم محركات خطوة بخطوة للمحاور X و Y و Z و تلحيم الاسلاك مباشرة بالمحركات في بعض المحركات مثل هذا يكون الامر سهلا للغاية لان المسارات الاربعة متميزة تماما.

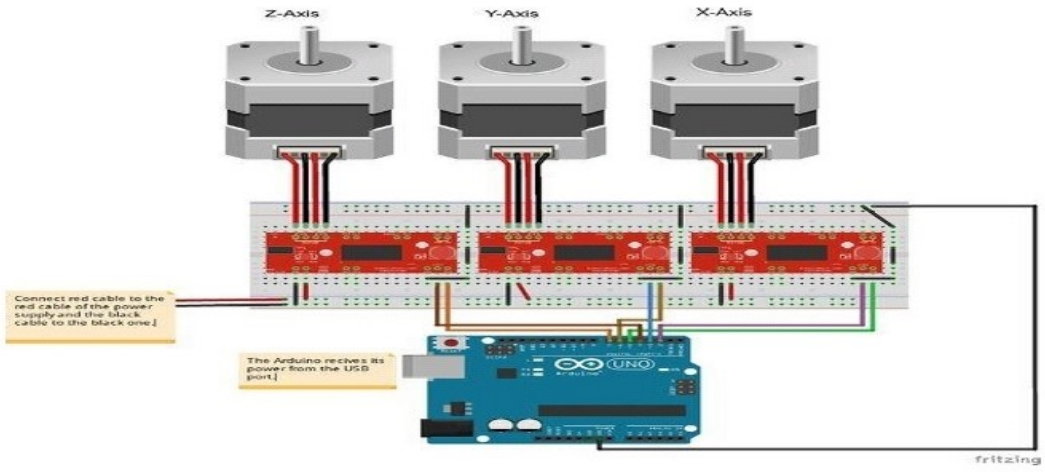
الشكل 2- تلحيم الاسلاك في المحرك

الخطوة 04 : تصنيع هيكل الالة :

لتقليل نكلفة المشروع قمنا باستقلال بعض القطع من هيكل DVD في صناعة الهيكل الخاص بالالة CNC اخترنا قطعتان و قمنا بتثبتها جيدا وفق الهيكل المتوافق مع المحاور الثلاث للالة.

الخطوة 05 : توصيل الدارة :

ان الاسلاك الخاصة بالة CNC بسيطة للغاية وهي تتالف من 3 Step Driev و 3 محرك و اردوينو و لوحة اختبار...

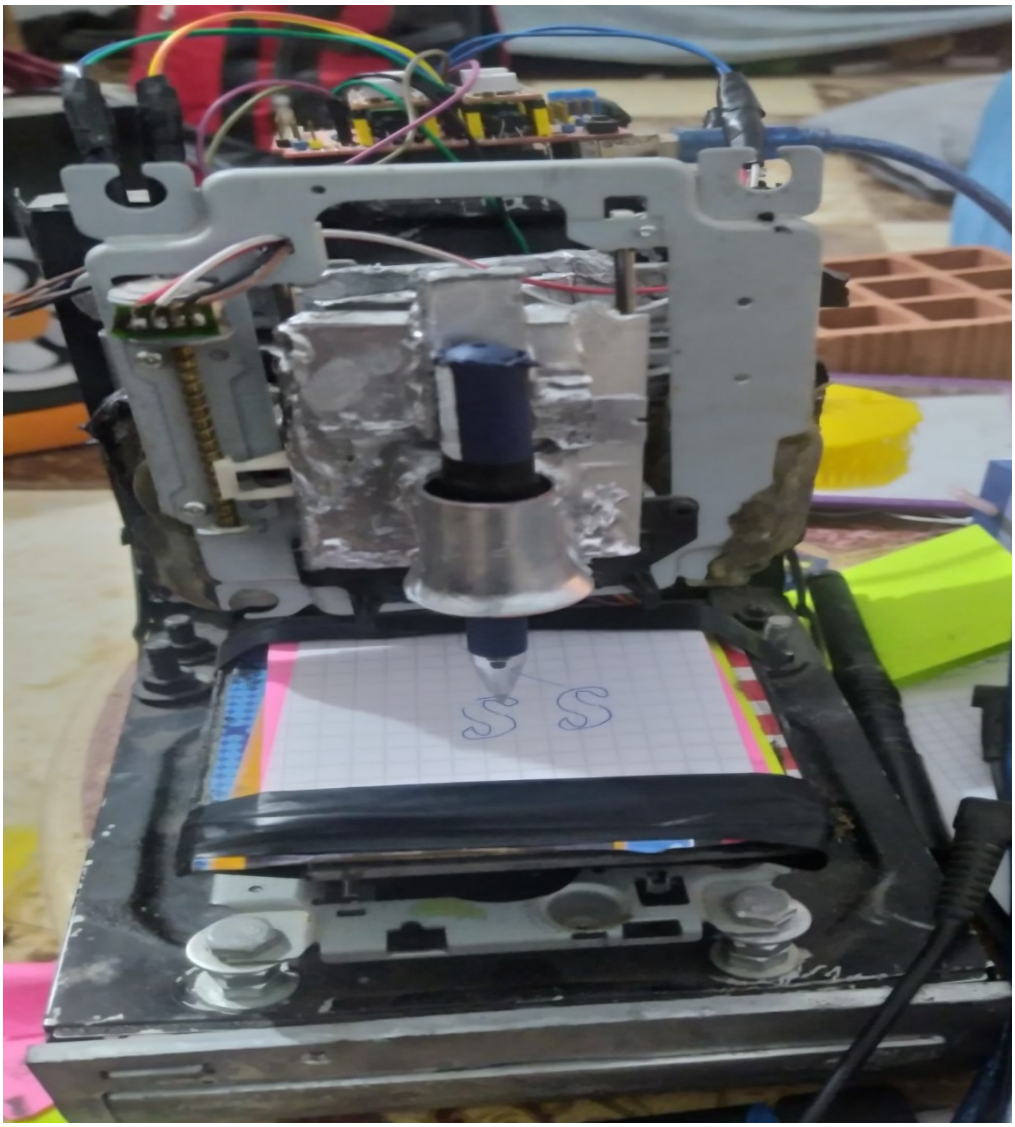


الشكل 3- صورة توضح توصيل ربط الدارة بواسطة لوحة الاختبار

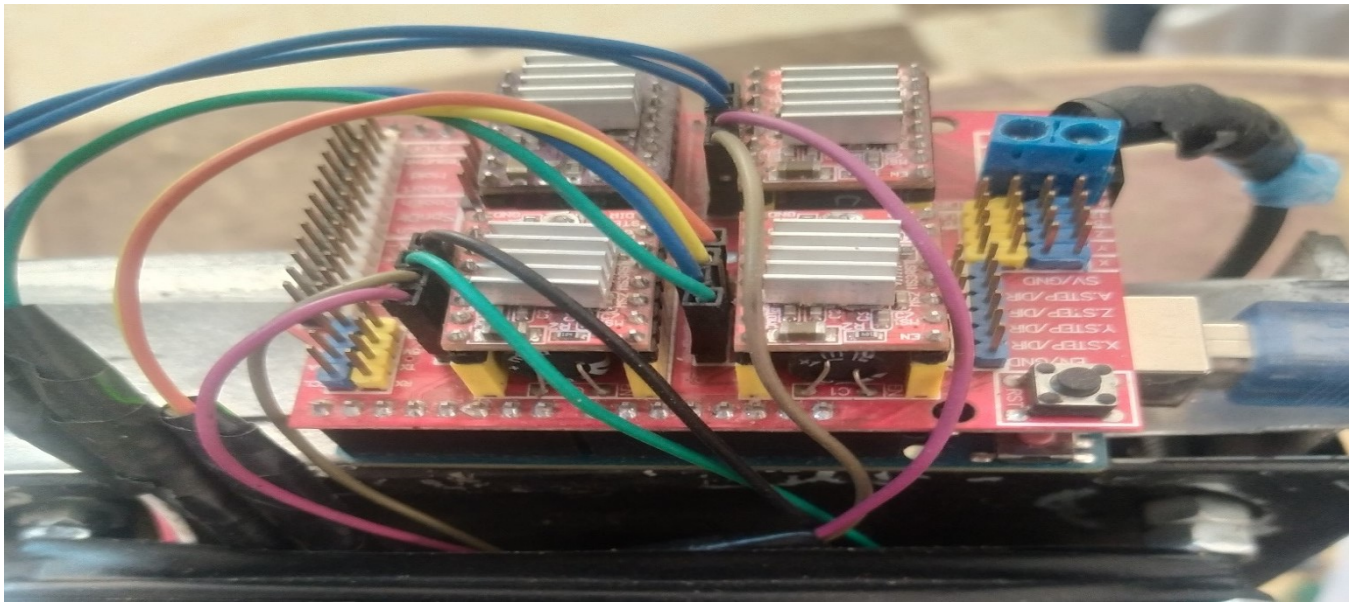
الخطوة 06 : تجميع المحاور الثلاث X و Y و Z و الة :CNC

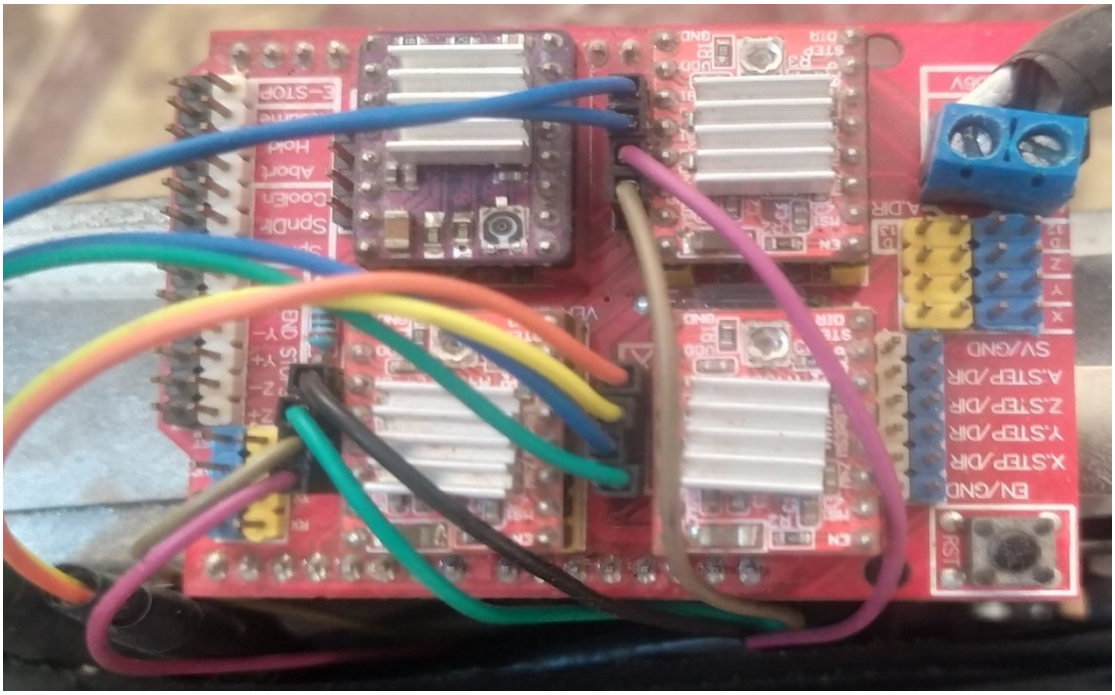
لنبدا بتثبت المحو X و المحور Y بقطع التثبيت الخاصة مع مرعاة المقاييس و الارتفاع المطلوب لكلا منهما كما نشرع في تثبيت لوحة بلاستيكية على المحور X لتثبيت المحور Z على مستواها الحامل لقلم الكتابة

بعد الانتهاء من تثبيت المحاور نقوم بتثبت القلم في موضعه على مستوى المحور X و نثبت ايضا لوحة البلاستيك ذات الشكل المطلوب وفق المقاييس المناسبة على مستوى المحور Y كما نثبت الدارة الخاصة بها على الجزء الخلفي من هيكل CNC



الشكل 4- الة CNC المصنعة



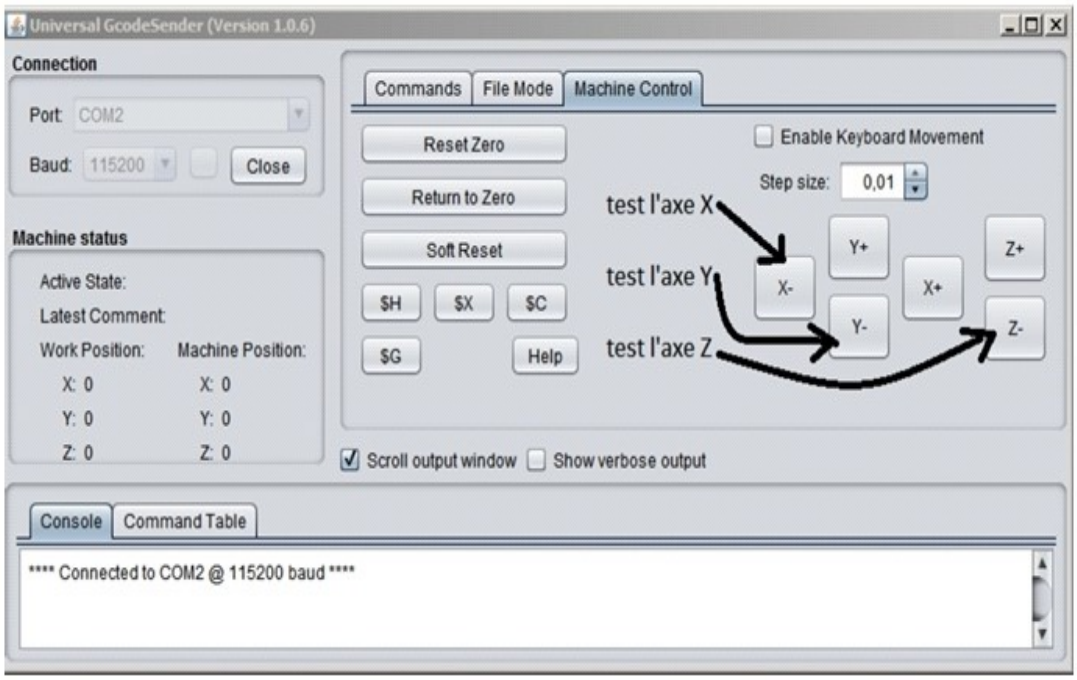


الشكل 5- صورة توضح تثبيت دارة CNC

الخطوة 07 : اختبار المحاور الثلاث X و Y و Z:

بعد الانتهاء من توصيل الاسلاك و التجميع

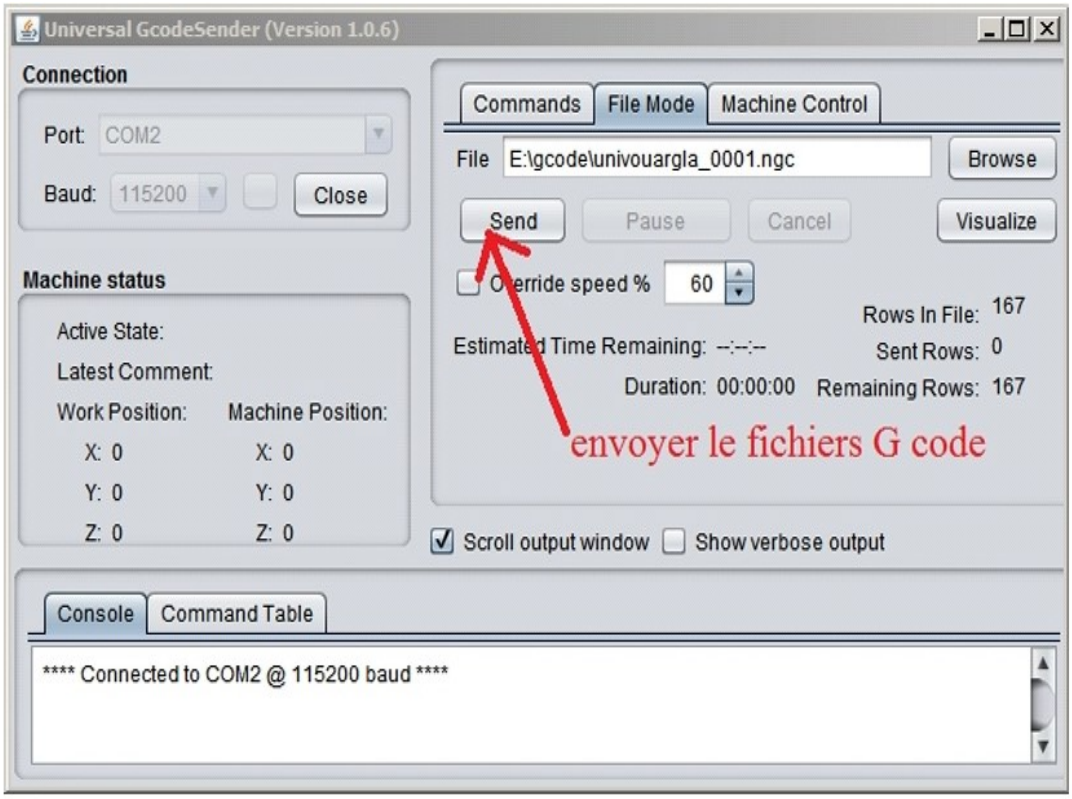
سنتطرق الى اختبار الاداء السليم لحركات المحاور X و Y و Z



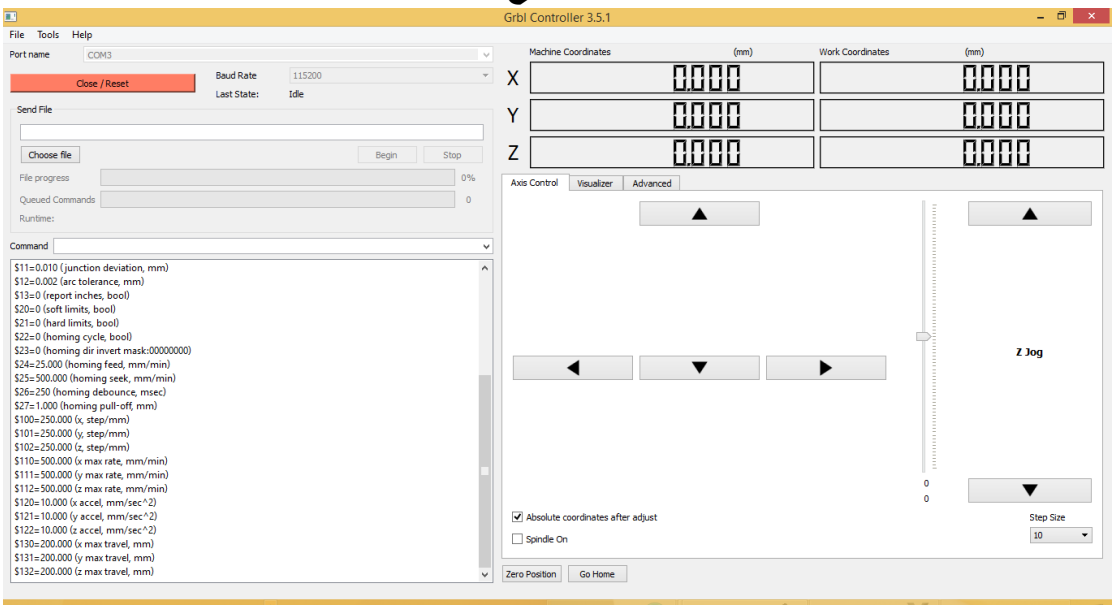
الشكل 6- اختبار المحاور الثلاث X و Y و Z

الخطوة 08 : اعداد جهاز الحاسوب لارسال ملفات :G code

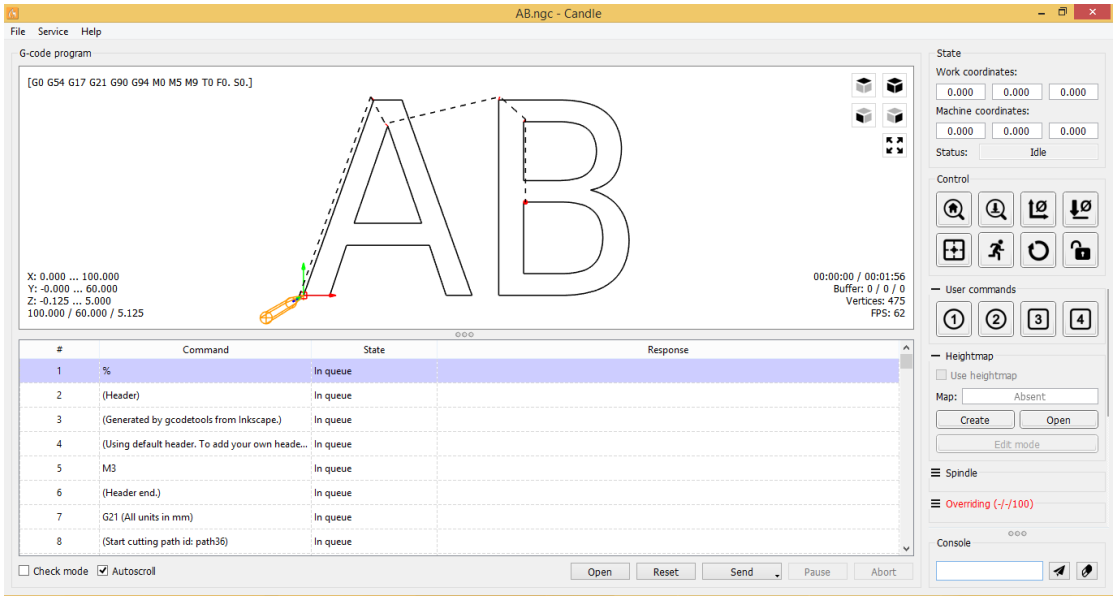
بعد التاكد من جاهزية الالة و ذالك من خلال عمل جميع المحاور و اتمام المعايرة بشكل سليم و تحميل برنامج الاردوينو على CNC كل ما تبقى هو اعداد الحاسوب لارسال ملفات G Code الى الة CNC الخاصة بنا



الشكل 07-صورة توضح ارسال G Code



الشكل 08-صورة توضح التحكم في برنامج grbl control

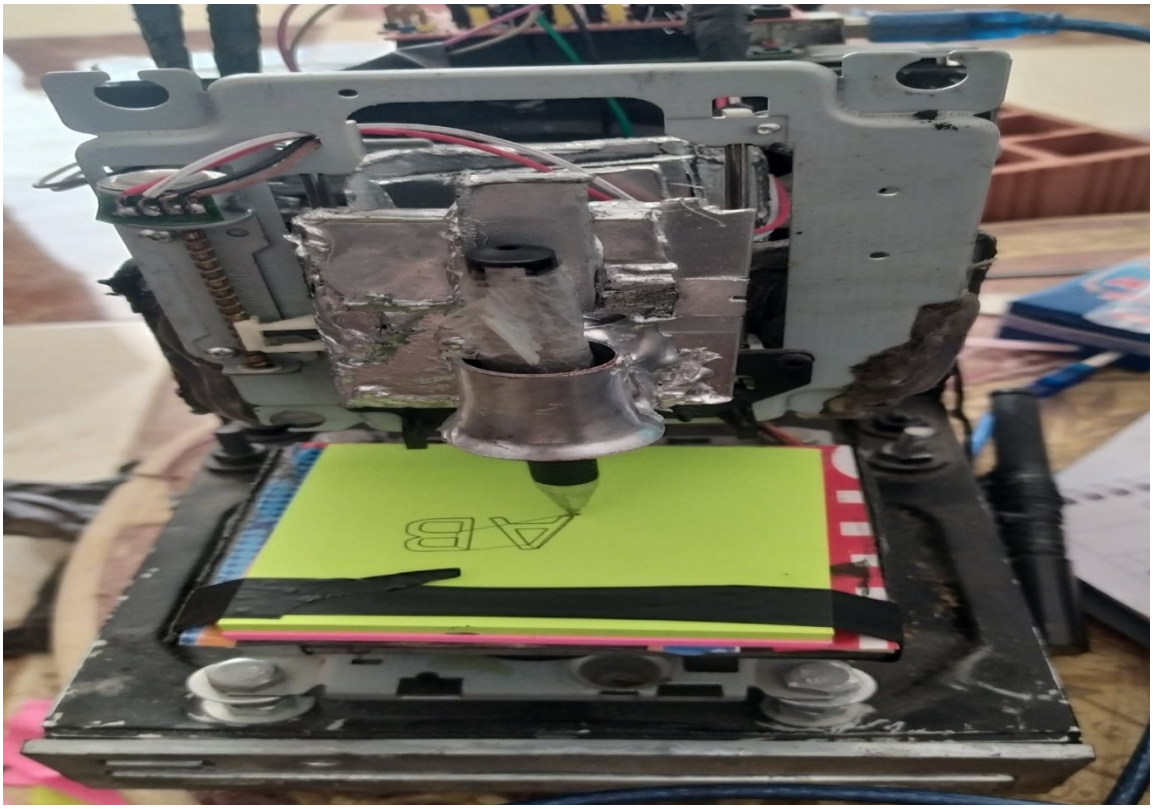


الشكل 09-صورة توضح قراءة G Code في برنامج Candle

الخطوة 09 : الكابة بواسطة الة CNC:

قبل اجراء عملية رفع امر الكتابة :

- نتاكد من موضع المحاور الثلاث و عدم وجود أي شيء يعيق حركتهم
- وضع ورق للكتابة عليه على لوحة البلاستيك المثبتة على المحور Y



الشكل 10-صورة توضح الكتابة بواسطة الة CNC

الخاتمة:

كما تطرقنا في هذا الفصل تم انجاز الكثير من العمل على الة CNC و قد قدمنا العديد من البرامج المستخدمة للمحاكات و التحكم في الة CNC و لتنفيذ هذا الامر تم استخدام لوحة التحكم الدقيقة Arduino Uno و التي تحتوي على مساحة برمجة واضحة و بسيطة للغاية و الدوائر المتكاملة cnc shield + step drive A4988 تستخدم هذه اللوحة للتحكم في محركات خطوة بخطوة ثنائية القطب

باستخدام برنامج Inskape قمنا بتخزين رموز G Code في لوحة Arduino Uno اخيرا

نقوم بتوصيل محركات خطوة بخطوة و نختبر لوحة التشغيل تعمل الة CNC بشكل صحيح و تستجيب للاوامر المختلفة.

الخلاصة العامة

يتكون مشروع نهاية الدراسة الخاص بنا من التنفيذ العملي لآلة CNC بناء على لوحة اردوينو وتوظيف الخبرة الأكاديمية والدراية المهنية في هذا المجال .

في البداية، وقبل الخوض في هذه الدراسة، بدأنا بالعرض التقديمي

حالة العرض لمشروعنا، التحكم العددي لآلة CNCوالاستشهاد بالعائلات والتصنيفات من مختلف الآلات مع التحكم العددي وكذلك مجال استخدامها، و في نهاية هذا الجزء اقترحنا الآلة التحكم العددي ثلاثي المحاور كخيار مشروعنا مع التصميم و التصنيع بمساعدة الحاسوب ومن ثم وقبل تحقيق الآلة مباشرة، قدمنا دراسة عامة عنها

آلات CNC ثلاثية المحاور" ذكرت في المقام جميع مكونات الآلة ثم آلية العمل وكذلك النمذجة الهندسية والميكانيكية وأخيراً الخواص الميكانيكية، ودراسة طريقة البرمجة للآلة

الجزء الأخير مخصص لمحاكاة وتنفيذ مشروعنا، أولاً قد نقلت العديد من الإخطيارات التفصيلية والهامة حول 3محاورمن آلات CNC ثم أدركنا الآلة على أساس نتائج دراسة الفصل الثاني.

ثم اقتربنا من محاكاتها والتحقق من النتائج. وأخيرا، قمنا بالتحقق من صحة المحاكاة العددية للنظام من خلال تطبيق اختبار حقيقي للآلة وكانت النتائج مرضية للغاية. أي حسب تحليلات نتائج المحاكاة تم الحصول عليها والتنفيذ العملي لمشروعنا، نلاحظ أننا حققنا جزء كبير من الأهداف المحددة بواسطة الة CNC المصنعة و تجريبها مباشرة بالكتابة على ورق.

ركز العمل الذي تم تطويره في إطار هذه الأطروحة على دراسة محركات خطوة بخطوة المختلفة المقترحة في المشروع من أجل التحكم في آلةCNC و هذا يعني :

- محاكاة التحكم بثلاثة محركات خطوية ببرنامج التحكم كما استخدمنا لوحة Arduino Uno ودائرة الدرع CNC Shield v3و 3 محركات خطوة بخطوة و step driver A4988....

قمنا باستغلال برنامج التحكم الخاص بآلة CNC لقراءة الصور لتتبعها وإنشاء ملف G Code ثم اخترنا برنامج G code Sender لنقل الملف G-code إلى لوحة Arduino Uno

استخدمنا لوحة Arduino Uno و .CNC Shield V3. Step Driver A4988 في التنفيذ العملي وفي الجزء الأخير من الذاكرة نعرض صناعة ماكينة CNC واختبارات تشغيل هذا الجهاز

كما واجهنا العديد من المشاكل أثناء تصميم عنصر التحكم والتنفيذ العملي والمشاكل الميكانيكية والكهربائية والكمبيوتر. ولكن بفضل توفيق الله وما تعلمناه خلال دراستنا الأكاديمية والمطالعة الجيدة تمكنا من جمع اكبر عدد ممكن من المعلومات التي ساعدتنا في مشروعنا..

غير ان الجزء الأكثر أهمية منها هو التحكم في برامج محركات خطوة بخطوة الثلاثة والواجهة والبرامج ... إلخ.

وفي الختام نأمل أن يكون هذا العمل المتواضع مرجعاً للمشاريع المستقبلية للترقيات القادمة وتشجيعهم على الاهتمام أكثر بجانبالممارسة التلقائية....

المراجع

- منصة الذكاء الاصطناعي و الاردوينو PictoBlox
- موقع عالم الكتب في مجال ماكينات التحكم الرقمي
- تطبيق الهاتف الجوال Pinterest

1. (SINUTRAIN 828D ShopMill) Rapport de Projet de Fin d'Étude
2. Build Your Own CNC Machine(livre)
3. Fundamentals of CNC Machining livre
4. James Floyd Kelly, Patrick Hood-Daniel - Build Your Own CNC Machine (Technology in Action)-Apress (2009)
5. Make-Design for CNC - Furniture Projects and Fabrication Technique(livre).
6. Mr. MAHDJOUBI Abdelfettah (Etude et réalisation d'une machine outil à commande
7. numérique (fraiseuse 3 axes)). Rapport de Projet de Fin d'Études
8. www.technologuepro.com
9. http://www.evxonline.com
10. https://forum.pololu.com
11. www.robotshop.com

12. https://www.dfrobot.com

13. https://www.amazon.fr

14. http://www.arduino.cc

15. http://arduino.blaisepascal.fr

16. https://fr.wikipedia.org

17. https://docplayer.fr

18. https://wiki.md129.net

19. https://zestedesavoir.com

20. https://github.com

21. https://docplayer.fr

22. http://www.qhunt.com

23. https://www.quora.com

24. Bentalebmokhtargasmielhadi (Réalisation et commande d'une machine cnc à base

25. des moteurs pas à pas) Rapport de Projet de Fin d'Études
26. BOUANIK FOUAD (Simulation de l'usinage d'un guidage longitudinal sous le

logiciel

27. MOUZAOUI Melissa. TAZAMOUCHT Yanis.(Réalisation et automatisation d'une machine à comma Rapport de Projet de Fin d'Études IMA5nde numérique) Rapport de Projet de Fin d'Études

مواقع الترجمة

https://www.onlinedoctranslator.com/ar/translationform

https://doctranslator.com/ar/

https://products.groupdocs.app/translation/ar/total

https://openai.com/

https://chat.openai.com/

المرفق (الملحق)

اعدادات و تكوين :grbl

REMARQUE : La numérotation des réglages a changé depuis	
$0	**Step Pulse Length (µsec) :** Ceci définit la longueur de l'impulsion de pas délivrée aux moteurs pas à pas. Ceci définit la longueur de l'impulsion de pas délivrée aux moteurs pas à pas. L'objectif est d'avoir l'impulsion de pas la plus courte que vos moteurs puissent reconnaître de manière fiable. Les données sont disponibles sur certaines fiches techniques des moteurs pas à pas, sinon 10 est un bon défaut.
$1	**Step Idle Delay (msec) :** Définit le délai en millisecondes pendant lequel GRBL alimentera les moteurs pas à pas une fois qu'une commande de mouvement est terminée. Un réglage de 255 indique aux moteurs de rester sous tension pour maintenir la position.
$2	**Step port invert mask: (binary)** Ce paramètre inverse le signal d'impulsions de pas. Par défaut, un signal de pas commence à normalement BAS et va vers le niveau HAUT lors d'un événement d'impulsions de pas. Après un temps d'impulsions de pas fixé par $0, la broche se remet à un niveau BAS, jusqu'à l'impulsion du pas suivant. Quand inversé, le comportement de l'impulsion de pas passe de normalement HAUT à BAS et le retour à HAUT. La plupart des utilisateurs n'auront pas besoin de ce paramètre mais cela peut être utile pour certains pilotes de CNC à moteurs pas à pas qui ont des exigences particulières. Par exemple, un retard artificiel entre la broche de direction et l'impulsion de pas peut être créé en inversant la pin de pas. Ce paramètre de masque est une valeur qui stocke les axes à inverser avec des données binaires. Vous n'avez vraiment pas besoin de comprendre complètement comment cela fonctionne. Il vous suffit de saisir la valeur des paramètres pour les axes que vous souhaitez inverser.

Setting Value	Mask	Invert X	Invert Y	Invert Z
0	00000000	N	N	N
1	00000001	Y	N	N
2	00000010	N	Y	N
3	00000011	Y	Y	N
4	00000100	N	N	Y
5	00000101	Y	N	Y
6	00000110	N	Y	Y
7	00000111	Y	Y	Y

Axis Config

	Par exemple, si vous voulez inverser les axes X et Z, vous enverriez $ = 5 à Grbl et maintenant devriez lire $ = 5 (valeur masque step : 00000101).
$3	**Direction port invert mask: (binary)** Change la direction du mouvement de l'axe sans changer le câblage (Figure)
$4	**Step enable invert: (bool)** Par défaut, la broche d'activation est HAUT pour désactiver et BAS pour valider. Si votre installation a besoin du contraire, inverser simplement la broche d'activation en tapant $4 = 1. Désactiver avec $4 = 0. (Peut nécessiter redémarrage pour charger le changement).
$5	**Limit pins invert: (bool)** Par défaut, les repères de la course sont normalement HAUT avec la résistance de pull-up interne de l'Arduino. Quand une limite est atteinte le niveau de la broche est BAS, Grbl interprète cela comme déclenchée. Pour le comportement opposé, juste inverser les repères de la limite en tapant $5 = 1. Désactiver avec $5 = 0. Vous aurez peut-être besoin d'un redémarrage pour charger la modification. NOTE : Si vous inversez les détections de vos limites, vous aurez besoin d'une résistance pull-down externe pour tous les repères de la course pour éviter de surcharger les broches avec le courant et les détruire.
$6	**Probe pin invert: (bool)** Par défaut, la pin probe est maintenue normalement HAUT par la résistance de pull-up interne de l' Arduino. Lorsque le capteur fourni le niveau BAS à la broche, Grbl interprète cela comme déclenchée. Pour le comportement opposé, juste inverser la broche de la sonde en tapant $6 = 1. Désactiver avec $6 = 0. Vous aurez peut-être besoin d'un redémarrage pour valider le changement. NOTE : Si vous inversez le signal de votre tige de palpage, vous aurez besoin d'une résistance pull-down externe câblée sur la broche de la sonde pour éviter la surcharge et éviter des dommages.
$10	**Status report mask: (binary)** Définit les données en temps réel envoyées à l'utilisateur. Par défaut, GRBL signale l'état de fonctionnement qui ne peut pas être désactivé, la position de la machine et la position de travail. Le tableau de droite détaille les paramètres. Remarque pour envoyer une combinaison de rapports d'état, il suffit d'ajouter les valeurs des types

	de rapports souhaités et d'envoyer cette valeur à GRBL. Par exemple, disons que je veux un poste de travail (2) et des limites (16), j'enverrais 10 $ = 18. *Status Report*
$11	**Junction Deviation: (mm)** Considérez cela comme une vitesse de virage. Une valeur élevée permet un mouvement rapide dans les virages, mais augmente le risque de pas manqués entraînant une diminution de la précision. À l'inverse, des valeurs plus faibles réduisent la vitesse dans un virage, ce qui diminue le risque de manquer des étapes tout en améliorant potentiellement la précision.
$12	**Arc Tolerance: (mm)** GRBL traite les courbes comme une collection de petites lignes droites. Ce paramètre définit la douceur des courbes. La valeur par défaut est 0,002 mm et n'aura probablement pas besoin d'être modifiée car cette valeur est inférieure à la précision de la plupart des machines.
$13	**Feedback Unitsbool** Définit les unités de retour de position de mm à pouces. 13 $ = 1 pour les pouces ou 13 $ = 0 pour mm.
$20	**Soft Limits (Enable/Disable)** Nécessite que "Homing" soit activé et vérifie si les commandes gCode dépasseront les limites de déplacement de la machine. 20 $ = 1 Activer 20 $ = 0 Désactiver
$21	**Hard Limits (Enable/Disable)** Nécessite l'installation d'interrupteurs de fin de course et recherche l'un des interrupteurs de fin de course à activer qui déclenche le mode «Alarme». Dans ce mode, tous les mouvements de la machine, la broche et le liquide de refroidissement sont arrêtés.
$22	**Homing Cycle (Enable/Disable)** Nécessite l'installation d'interrupteurs de fin de course. L'activation de cette option verrouille toutes les commandes gCode jusqu'à ce qu'un cycle "Homing" soit exécuté.

Report Type	Value
Machine Position	1
Work Position	2
Planner Buffer	4
RX Buffer	8
Limit Pins	16

$23	**Homing Cycle Direction** Permet à l'utilisateur de changer la direction du cycle de référencement en utilisant les valeurs de la configuration de l'axe (Figure)
$24	**Homing Feed (mm/min)** Vitesse d'avance utilisée dans le cycle "Homing" une fois que les fins de course sont localisés. Plus la valeur est basse, plus la position zéro est répétable.
$25	**Homing Seek (mm/min)** Vitesse d'avance utilisée dans le cycle "Homing" pour localiser les fins de course. Réglez-le sur la valeur la plus élevée qui n'entraîne pas le crash de la machine dans les interrupteurs de fin de course.
$26	**Homing Debounce (msec)** Durée du retard logiciel en millisecondes qui minimise le bruit du commutateur. Une valeur entre 5 et 25 est typique.
$27	**Homing Pull-off (mm)** Indique à la machine à quelle distance s'éloigner des interrupteurs de fin de course après avoir trouvé la position «Home» pour ne pas déclencher les limites strictes.
$100 **$101** **$102**	**[X,Y,Z] (steps/mm)** Indique à GRBL le nombre de pas nécessaires pour déplacer la machine sur une distance donnée. Pas / mm = (Pas par révolution) * (Micros pas) / (mm par révolution) 1) Pas par révolution = 200 typique : C'est le nombre de pas requis pour que votre moteur pas à pas fasse 1 tour complet. 2) Microsteps -1,2,4,8,16 : Est un paramètre sur votre pilote de moteur pas à pas. Une valeur plus élevée signifie un couple plus faible mais une précision plus élevée. 3) mm par révolution : Déterminé par la configuration de votre machine. (pas de la vis mère)
$110 **$111** **$112**	**[X,Y,Z] Max rate (mm/min)** Définit la vitesse maximale pour un axe donné. Cela se trouve expérimentalement pour chaque axe en augmentant progressivement la valeur, puis en envoyant une commande de test gCode pour déplacer l'axe. Assurez-vous que la commande permet à l'axe de se déplacer suffisamment pour atteindre la vitesse maximale.

	Vous connaîtrez la vitesse maximale lorsque les moteurs pas à pas caleront. Réduisez la valeur de 10 à 20%. Ces valeurs peuvent être différentes pour chaque axe.
$120 **$121** **$122**	**[X,Y,Z] Accélération (mm/sec^2)** Définit l'accélération maximale pour un axe donné. Cela se trouve expérimentalement pour chaque axe en augmentant progressivement la valeur, puis en envoyant une commande de test gCode pour déplacer l'axe. Assurez-vous que la commande permet à l'axe de bouger suffisamment pour atteindre la constante mouvement. Si vous décidez d'utiliser une commande jog, assurez-vous que l'incrément jog est de plusieurs pouces. Vous connaîtrez la valeur maximale lorsque les moteurs pas à pas caleront. Réduisez la valeur de 10 à 20%. Ces valeurs peuvent être différentes pour chaque axe.
$130 **$131** **$132**	**[X,Y,Z] Max Travel (mm)** Utilisé lorsque les limites souples sont activées pour indiquer à GRBL la course maximale pour chaque axe. Cela nécessite également l'utilisation d'un homing cycle.
GRBL Commands	
$$	**View Settings** Affiche les paramètres GRBL actuels stockés dans l'EEPROM (mémoire) de l'Arduino
$#	**View gCode Parameter** Répertorie les décalages de coordonnées de travail (G54-G59), les positions prédéfinies (G28 et G30), le décalage de coordonnées (G92), le décalage de longueur d'outil (TLO) et le cycle de palpage (PRB).
$G	**View Parser State** Affiche les modes gCode actifs dans l'analyseur GRBL. Exemple - [G0 G54 G17 G21 G90 G94 M0 M5 M9 T0 S0.0 F500.0]
$I	**View Build Info** Affiche la version GRBL et la date de création du code source.
$N	**View Startup Blocks** Affiche les blocs de démarrage exécutés à chaque fois que GRBL est mis sous tension ou réinitialisé.
$N0 **$N1**	**Save Startup Block** Commande utilisée pour enregistrer les blocs de démarrage. Remplacez la partie

	«ligne» par des commandes gCode valides et elles seront exécutées à chaque fois que GRBL est mis sous tension ou réinitialisé.
$x	**Save GRBL Setting** Commande utilisée pour enregistrer un paramètre GRBL. Remplacez le «X» par un nombre de la liste ci-dessus et la «valeur» par le paramètre correspondant.
$C	**Check gCode Mode** Traite toutes les commandes gCode entrantes mais ne déplace pas l'axe, la broche ou le liquide de refroidissement afin que l'utilisateur puisse vérifier un programme gCode.
$X	**Kill Alarm Lock** Remplace le verrouillage d'alarme pour permettre le mouvement de l'axe.
$H	**Run Homing Cycle** Exécute le cycle de référencement.
Real Time GRBL Commands	
~	**Cycle Start** Démarre les commandes gCode en mémoire tampon. Utilisé pour reprendre la coupe après un "Feed Hold".
!	**Feed Hold** Arrête le cycle actif par une décélération contrôlée empêchant la perte de position en cas de pas manqués
?	**Current Status** Renvoie l'état GRBL actif, la machine actuelle et les positions de travail.
ctrl-x	**Reset GRBL** Soft reset command retains machine position without powering down the Arduino.

اوامر و تعليمات grbl الافتراضية :

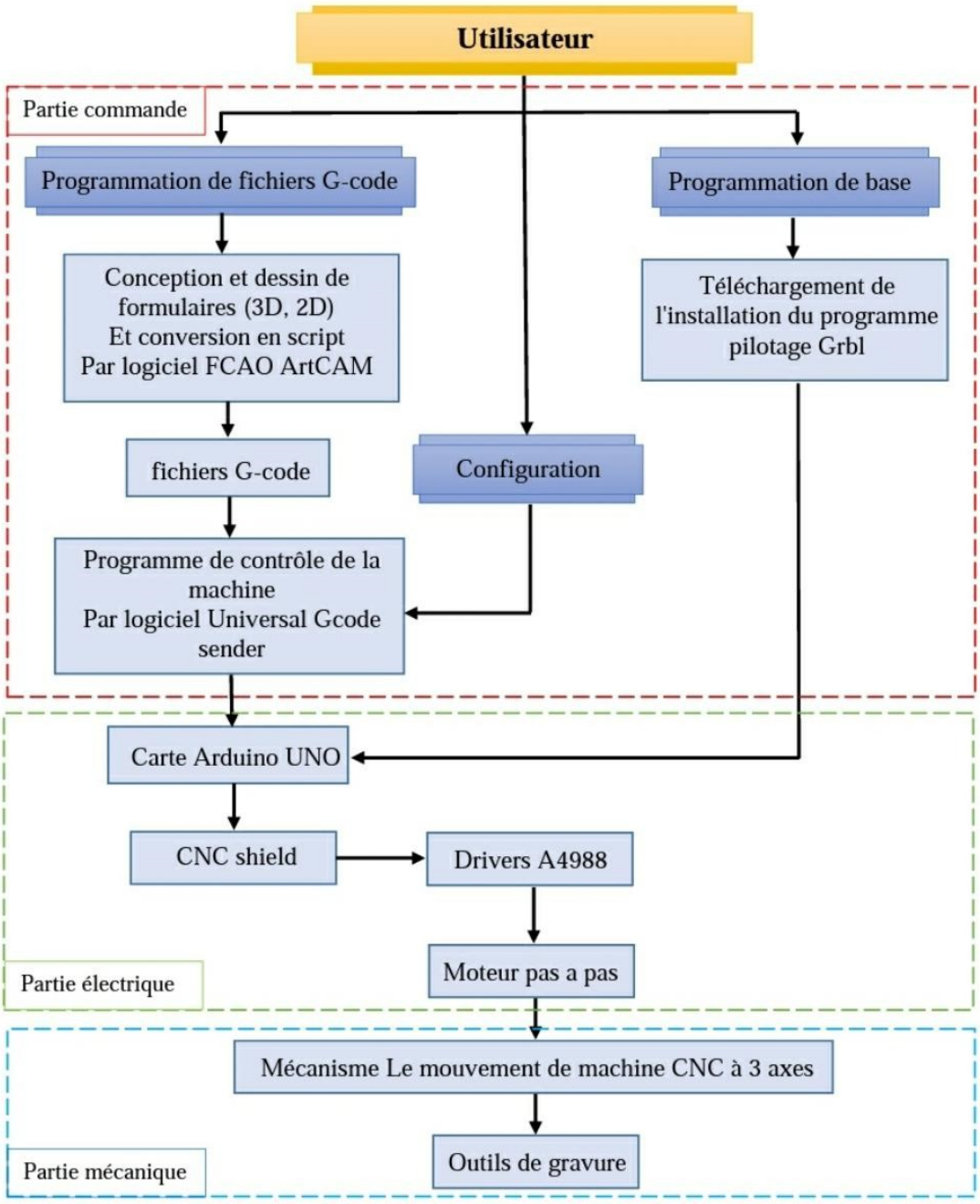
[HLP:$$ $# $G $I $N $x=val $Nx=line $J=line $SLP $C $X $H ~ ! ? ctrl-x]

$0=12 (step pulse, usec) (augmenter encore si besoin)
$2=7 (step port invert mask:00000111)
$3=1 (dir port invert mask:00000000) (directions à préciser devant la machine)
$5=0 (limit pins invert, bool) (à 0 avec le shield patché par Marc)
$12=0.010 (arc tolerance, mm) (résolution minimale 0.010 sur Z)
$20=1 (soft limits, bool) (mettre à 0 pendant les tests si ça pose problème)
$21=1 (hard limits, bool) (mettre à 0 pendant les tests si ça pose problème)
$22=1 (homing cycle, bool) (mettre à 0 pendant les tests si ça pose problème)
$23=0 (homing dir invert mask:00000000) (directions à préciser devant la machine)
$100=10.000 (x, step/mm) (résolution X : 0.2mm, à ajuster finement si besoin)
$101=10.000 (y, step/mm) (résolution Y : 0.2mm, à ajuster finement si besoin)
$102=100.000 (z, step/mm) (résolution Z : 0.01mm, à ajuster finement si besoin)
$110=10000.000 (x max rate, mm/min)
$111=10000.000 (y max rate, mm/min)
$112=10000.000 (z max rate, mm/min)
$120=250.000 (x accel, mm/sec^2)
$121=250.000 (y accel, mm/sec^2)
$122=100.000 (z accel, mm/sec^2)
$130=495.000 (x max travel, mm) (course utile X, à ajuster finement si besoin)
$131=397.000 (y max travel, mm) (course utile Y, à ajuster finement si besoin)
$132=46.000 (z max travel, mm) (course utile Z, à ajuster finement si besoin)

اوامر و تعليمات التكوين لآلة CNC ثلاثية المحاور:

```
[HLP:$$ $# $G $I $N $x=val $Nx=line $J=line $SLP $C $X $H ~ ! ? ctrl-x]
ok
$0=10 (step pulse, usec)                ==> ok
$1=25 (step idle delay, msec)           ==> ok
$2=0 (step port invert mask:00000000)       ==> Inverser les steps
$3=1 (dir port invert mask:00000001)        ==> definit la direction des axes
$4=0 (step enable invert, bool)             ==> active les moteur (enable step)
$5=1 (limit pins invert, bool)              ==> Inverse la logique de detection des endstop
$6=0 (probe pin invert, bool)
$10=19 (status report mask:00010011)        ==> permet de definir le niveau de debug
$11=0.010 (junction deviation, mm)
$12=0.002 (arc tolerance, mm)
$13=0 (report inches, bool)
$20=0 (soft limits, bool)
$21=0 (hard limits, bool)
$22=1 (homing cycle, bool)
$23=7 (homing dir invert mask:00000111)
$24=25.000 (homing feed, mm/min)
$25=500.000 (homing seek, mm/min)           ==> definit la vitesse de deplacement pour
                                                tourver le homing
$26=250 (homing debounce, msec)
$27=50.000 (homing pull-off, mm)            ==> definit la distance de retour du chariot après
detection end_stop
$100=48.600 (x, step/mm)                ==> Nb de pas /mm axe x
$101=48.600 (y, step/mm)                ==> Nb de pas /mm axe y
$102=48.600 (z, step/mm)                ==> Nb de pas /mm axe z
$110=1000.000 (x max rate, mm/min)          ==> Vitesse max axe x
$111=1000.000 (y max rate, mm/min)          ==> Vitesse max axe y
$112=1000.000 (z max rate, mm/min)          ==> Vitesse max axe z
$120=10.000 (x accel, mm/sec^2)             ==> Acceleration max axe x
$121=10.000 (y accel, mm/sec^2)             ==> Acceleration max axe y
$122=10.000 (z accel, mm/sec^2)             ==> Acceleration max axe z
$130=400.000 (x max travel, mm)             ==> deplacement max x
$131=460.000 (y max travel, mm)             ==> deplacement max y
$132=40.000 (z max travel, mm)              ==> deplacement max z
```

مخطط سلسلة للتحكم في ماكينة CNC ثلاثية المحاور:



مخطط خطوات تجربة صنع النموذج: