

الفصل الثالث

النظام المقترح

1-3 مقدمة:

إن إشارة العضلات الكهربائية (EMG) هي من أكثر الطرق استخداما وانتشارا للتحكم في الأطراف الصناعية وذلك لسهولة اقتباس هذه الإشارة بواسطة الأقطاب الكهربائية , سعة إشارة العضلات السطحية صغيرة جدا في حدود 30 مايكرو فولت إلي 500 مايكرو فولت , لذلك يتم تكبيرها للاستفادة منها للتحكم في الطرف الصناعي عن طريق إدخالها للمتحكم الذي يتحكم في حركة محركات الطرف الصناعي.

2-3 وصف المكونات:

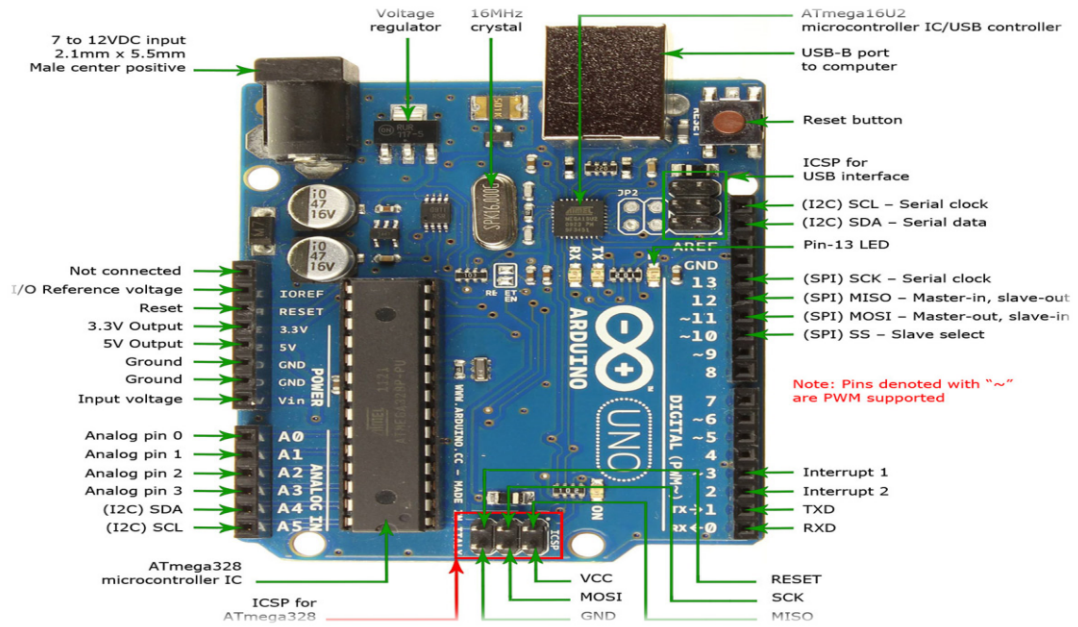
المكونات الأساسية المستخدمة في هذه الأطروحة هي المتحكم (Arduino), المحرك (Servo motor), والأقطاب الكهربائية (Electrodes).

1-2-3 المتحكم الدقيق Arduino :

الشكل 1-3 يوضح لوحة المتحكم وهي عبارة عن لوحة إلكترونية مفتوحة المصدر (open hardware) أي أنه يمكنك الإطلاع والتعديل علي التصميمات الهندسية والشفرات المصدرية بما يتناسب مع تصميم المشاريع الهندسية, وهي اللوحة المسئولة عن استقبال الأوامر البرمجية من الحاسب الآلي وكتابتها في ذاكرة المتحكم الدقيقة (ATmega328) الموضوعه بداخلها, ويمكنك أيضا تطوير لغة برمجة (Arduino c) بحرية تامة والإطلاع علي الشفرات المصدرية الخاصة بها.

يتم برمجة المتحكم الموجودة علي البورد باستخدام برنامج خاص يسمى (Arduino ide)

.integrated development environment



الشكل 1-3: المتحكم الدقيق Arduino

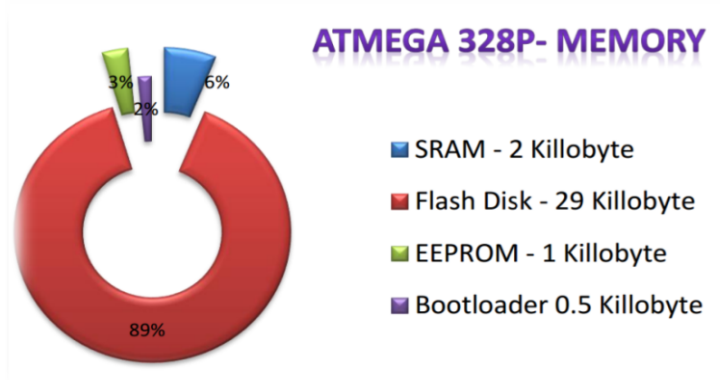
3-1-1-2 وصف أطراف المتحكم:

- أطراف التغذية: Vin جهد الدخل و GND الأرضي.
- الأطراف 5v و 3.3v: مصدر جهد منتظم يستخدم لتأمين الطاقة للعناصر المستخدمة, يأتي هذا الجهد من خلال Vin عبر منظم جهد داخلي أو تأمينه من خلال منفذ USB أو أي مصدر جهد منتظم بقيمة 5v.
- الأطراف A0.....A5: مداخل تماثلية.

- الأطراف D0....D13: مداخل ومخارج رقمية تتضمن المخارج D(3,5,6,9,10,11) وهي المخارج المسؤولة عن توليد خرج تماثلي وتدعم خاصية التعديل الرقمي المعتمد علي عرض النبضة (PWM) هذه الخاصية يمكنها إنتاج فرق جهد علي هيئة موجة قابلة للتغيير عن طريق إشارة رقمية, وبذلك تستطيع أن تحول الأوامر الرقمية إلي موجة تماثلية ويمكن استقلال تلك الخاصية في توليد جهد متغير قيمته بين 0 و 5v عن طريق استخدام قيم رقمية من 0 حتى 255v .

3-2-1-2 وحدات المعالج الدقيق والذاكرة:

- المعالج الدقيق أشبه بوحدة حاسب آلي صغير الحجم وتحتوي المتحكمة الدقيقة (ATmega328) علي معالج بسرعة 16MHZ وذاكرة كلية تساوي 32KB مقسمة لأربع وحدات كما بالشكل 2-3.



الشكل 2-3: مخطط سعة الذاكرة

- SRA M: تعتبر الذاكرة المستخدمة في تسجيل المتغيرات بصورة مؤقتة .
- Flash Disk: مساحة تخزينية تستخدم في تخزين البرنامج الذي سيكتب لتشغيل المتحكمة .

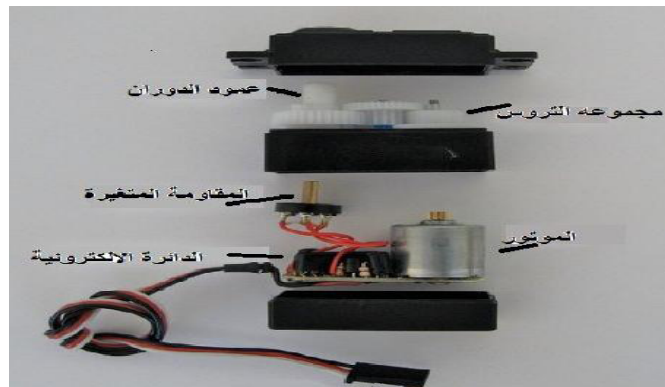
- EEPROM: الذاكرة المسئولة عن تسجيل بعض المتغيرات بصورة دائمة داخل المتحكم.
- Bootloader: السوفت وير المسئول عن كيفية فهم الدائرة للغة (Arduino c).

3-1-2-3 مميزات المتحكم:

- سهولة الاستخدام.
- بساطة اللغة البرمجية.
- لغة المتحكم مشتقة من لغة "processing" ولغة "C" والتي تعد أساس لغات البرمجة الحديثة
- مناسبة لجميع المستويات ابتداء من الهواة وانتهاء بالمشاريع المتطورة.

3-2-2-3 المحرك Servo Motor:

الشكل 3-3 يوضح تركيبية المحرك, وهو عبارة عن محرك تيار مستمر (DC motor), مجهز بصندوق تروس (Gear Box), ومجهز بدائرة إلكترونية للتحكم بدقة في اتجاه دوران و وضع عمود المحرك, والعامل الأساسي في تحديد وضع عمود المحرك هو (potentiometer) وهو عبارة عن مقاومة متغيرة حيث تؤدي إلي تغير الجهد الخارج منها وعن طريق قيمة الجهد الناتجة تحدد الدائرة الالكترونية وضع عمود الإدارة, ويصنف هذا المحرك من أنواع المحركات الخاصة (special motor) .



الشكل 3-3: محرك servo motor¹⁷

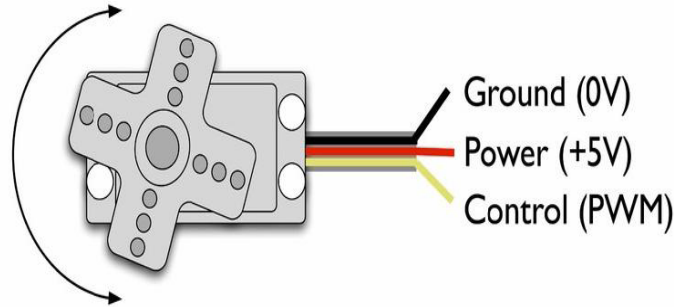
3-2-2-1 أنواع المحرك :

- STANDARD SERVO MOTOR وفيه يكون المحرك قادر علي الدوران من 0 إلي 180 درجة في الاتجاهين مع عقارب الساعة وعكس عقارب الساعة.
- CONTINUOUS SERVO MOTOR وفيه يكون المحرك قادر علي الدوران من 0 إلي 360 درجة في الاتجاهين مع عقارب الساعة وعكس عقارب الساعة.

3-2-2-2 أطراف المحرك:

الشكل 3-4 يوضح أطراف المحرك حيث توجد ثلاث أطراف في المحرك مميزة باللون الأسود والأحمر والأصفر.

- الطرف الأسود GROUND ويتصل بالأرضي 0V.
- الطرف الأحمر POWER ويتصل بـ +5V .
- الطرف الأصفر CONTROL وهو الخاص بإشارة التحكم وهي مجموعة من النبضات (PWM) بتردد 50HZ مع اختلاف عرض النبضة بحسب اتجاه الدوران المطلوب.



الشكل 3-4: أطراف محرك servo motor

3-2-2-3 مميزات المحرك:

- له عزم قوي .
- سهولة ودقة في التحكم .
- يتوفر بأحجام مختلفة لتلائم جميع التطبيقات .
- إمكانية العمل لفترات طويلة دون ارتفاع في الحرارة .

3-3 الأقطاب الكهربائية (Electrodes):

تخطيط كهربائية العضلات (EMG) ويشار إليها أيضا باسم (myoelectric), تقيس النبضات الكهربائية للعضلات في الانبساط وأثناء الانكماش, كما هو الحال في الإشارات الفسيولوجية الأخرى.

إن إشارة (EMG) صغيرة جدا يتم تضخيمها بمكبر صنع خصيصا لتضخيم الإشارات الفسيولوجية, يتم تسجيل هذه الإشارة أو قياسها من الأقطاب ثم يتم عرضها علي جهاز راسم الإشارة والتي من شأنها أن توفر بعد ذلك معلومات عن قدرة العضلات علي الاستجابة للمؤثرات العصبية علي أساس حجم وشكل الموجة.

أحيانا يتم إدخال القطب داخل العضلات ويسمي ب (needle electrodes), وأيضا هنالك أقطاب توضع علي سطح الجلد تسمي الأقطاب السطحية وهي النوع المفضل والأكثر استخداما.

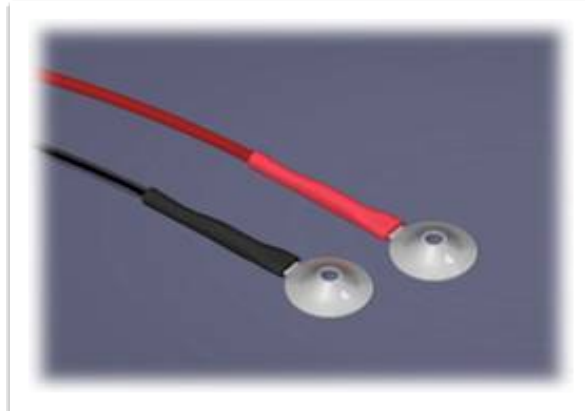
عند قياس (EMG) من الأقطاب تتكون إشارة كهربائية ناتجة من جميع العضلات الواقعة تحت القطب الكهربائي, هذه الإشارة يمكن أن تكون ايجابية أو سلبية الجهد, يتم التقاط

إشارة (EMG) أو لا بواسطة القطب ثم تضخيمها وهناك حاجة في كثير من الأحيان إلى أكثر من مرحلة تضخيم واحدة لأنه قبل عرض الإشارة أو تسجيلها يجب معالجتها لإزالة الضوضاء المنخفض أو عالي التردد أو أي عوامل أخرى قد تؤثر على نتائج البيانات, النقطة المهمة للإشارة هي السعة والتي تتراوح بين $30\mu\text{v}$ إلى $300\mu\text{v}$ (peak-to-peak) , تردد إشارة (EMG) يتراوح بين 10 إلى 500HZ ومع ذلك فان الطاقة القابلة لاستخدام إشارة (EMG) تتراوح بين 50 إلى 150HZ .

ويوجد عدة أنواع من أقطاب اقتباس اشارة العضلات (EMG) وهي:

3-3-1 الأقطاب السطحية :

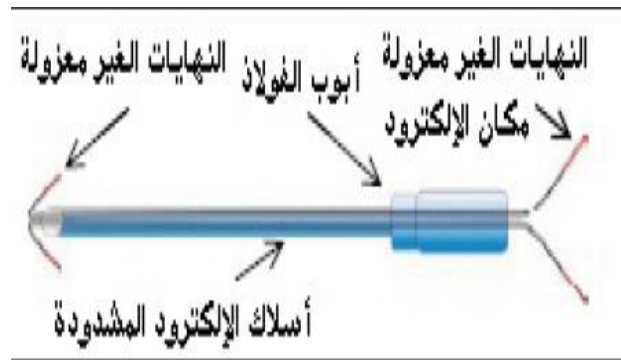
تتألف هذه الأقطاب من وسط ناقل حيث يتم توصيل الأقطاب التي قد تكون ذاتية اللصق أو غير لاصقة علي جلد المريض فوق العضلة المراد اقتباسها ويتم وضع جل ملحي تحت القطب ، ويتم استخدام الذهب أو الفضة بالإضافة إلي كلوريد الفضة عند صناعة هذه الأقطاب ويجب أن تحقق الأقطاب السطحية المستخدمة في اقتباس الإشارة ممانعة منخفضة وسهولة التركيب والإزالة بالإضافة إلي انخفاض تهيج الجلد والشكل 3-5 يوضح هذا النوع من الأقطاب.



الشكل 3-5: أقطاب سطحية

3-3-2 الأقطاب الإبرية:

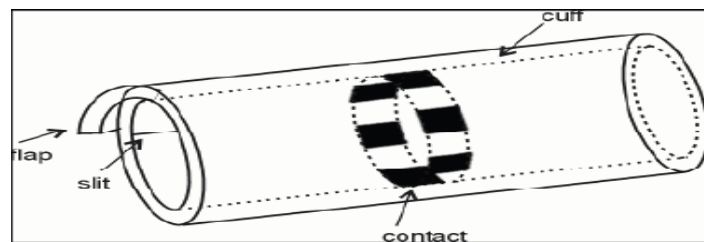
يتكون القطب الإبري من سلك رفيع جداً رقيق ومرن يغرس داخل العضلة، ويحتوي على معدن موصل للكهرباء ما عدا نهايته المكشوفة (داخل العضلة) وبما أننا نحتاج إلي قطبين فان الغلاف يمثل احد القطبين والطرف المكشوف يمثل القطب الآخر والشكل 3-6 يوضح هذه المكونات.



الشكل 3-6: أقطاب إبرية

3-3-3 الأقطاب المزروعة:

تم تصنيع هذه الأقطاب للتغلب علي مشاكل الأنواع السابقة، ولها أنواع مختلفة أهمها (Cuff Electrode) الموضح بالشكل 3-7 أدناه، ظهرت هذه الأقطاب في البداية علي شكل اسطوانة قياسية تحيط بالعصب، أما الآن فهي تصنع بأشكال مختلفة منها اللولبية والحلزونية والحلقية بحيث يقارب القطب قطر العصب الذي سيحيط به.



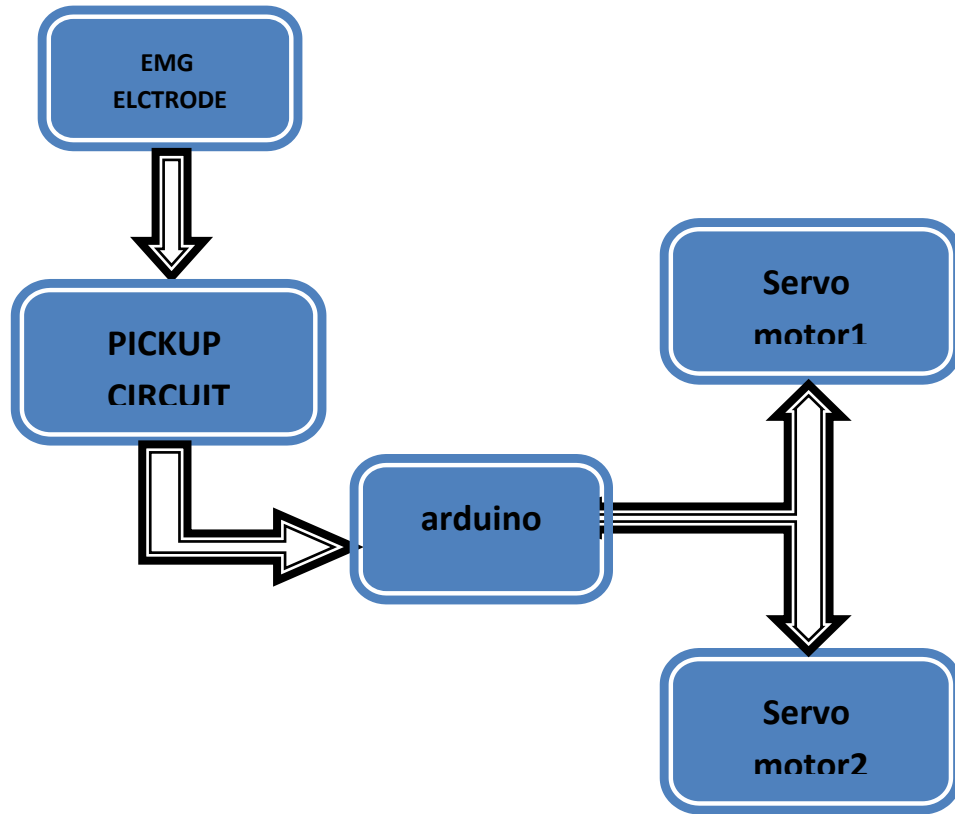
الشكل 3-7: أقطاب مزروعة

3-4 البرامج المستخدمة:

البرنامج الأساسي المستخدم في المشروع هو برنامج المحاكاة (Proteus V 8.5) والذي استخدمناه لرسم الدوائر ومحاكاة عمل الذراع عن طريق المتحكم الدقيق (Arduino) والذي أضفناه إلي مكتبة برنامج (Proteus) وبرمجته باستخدام برنامج خاص يسمى (Arduino ide) لإعطاء الخرج المطلوب.

3-5 تصميم النظام:

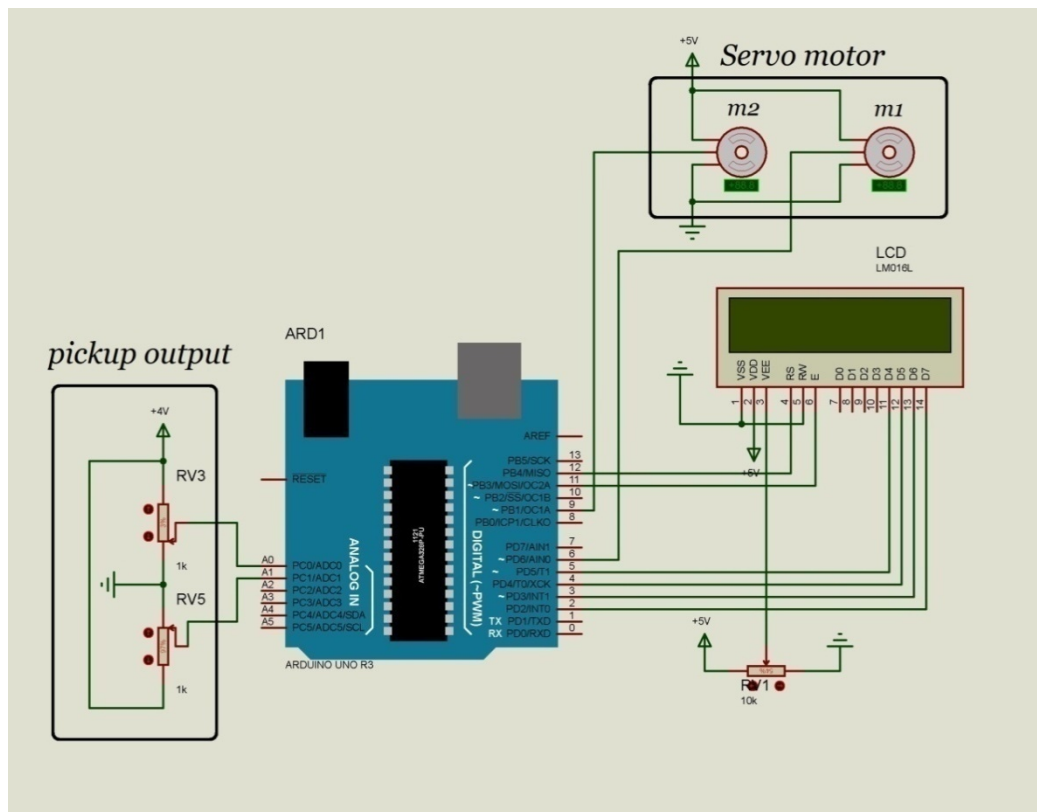
المخطط الصندوقي للنظام المتكامل الموضح بالشكل 3-8 التالي يحتوي علي العناصر الأساسية وهي (servo motors,arduino , pickup circuit و EMG signal).



الشكل 3-8: المخطط الصندوقي

الإشارات المقتبسة بواسطة الأقطاب (EMG electrodes) يتم تكبيرها ومعالجتها بدائرة تعديل الإشارة (pickup circuit) وإدخالها إلي المتحكم (arduino) وذلك لتشغيل المحركات (servo motors) بإشارة التحكم الخارجة من المتحكم علي ضوء برنامج خاص بالمتحكم يطلق عليه (arduino ide) integrated development environment.

مخطط التحكم الموضح في الشكل 3-9 يعرض توصيل الأردوينو مع أجزاء الطرف الصناعي الأخرى، ويمكن من وصف طريقة عمل دائرة النظام .



الشكل 3-9: مخطط توصيل المتحكم

في البدء تقوم الأقطاب باستخلاص الإشارة هذه الإشارة تعالج وترسل إلي المتحكمة والتي تتحكم فيها وترسلها إلي محركات الطرف الصناعي ليتم تحريك مرفق الطرف

الصناعي بحركتين لكل محرك, المحرك الأول أعلي/أسفل والمحرك الثاني مع/عكس عقارب الساعة.

المتحكممة في حركة الطرف الصناعي هي لوحة الأردوينو، هذه اللوحة لها قنوات دخل من A0..A5 وقنوات خرج من D0..D13 تتضمن 6 قنوات (3,5,6,9,10,11) D تدعم خاصية التعديل الرقمي المعتمد علي عرض النبضة (PWM), حيث تم استقلال هذه الخاصية في توليد جهد متغير قيمته بين 0 و 5V وإدخاله للمحركات لتأمين حركة المحرك الأول لأعلي/أسفل والمحرك الثاني مع/عكس عقارب الساعة.

3-6 حركات الطرف الصناعي:

تعتمد حركة الطرف الصناعي لأعلي وأسفل ومع عقارب الساعة وعكس عقارب الساعة علي إعطاء إشارة أكبر من 0 إلي المدخل التماثلي للمتحكم.

3-6-1 حركة المرفق لأعلي/أسفل:

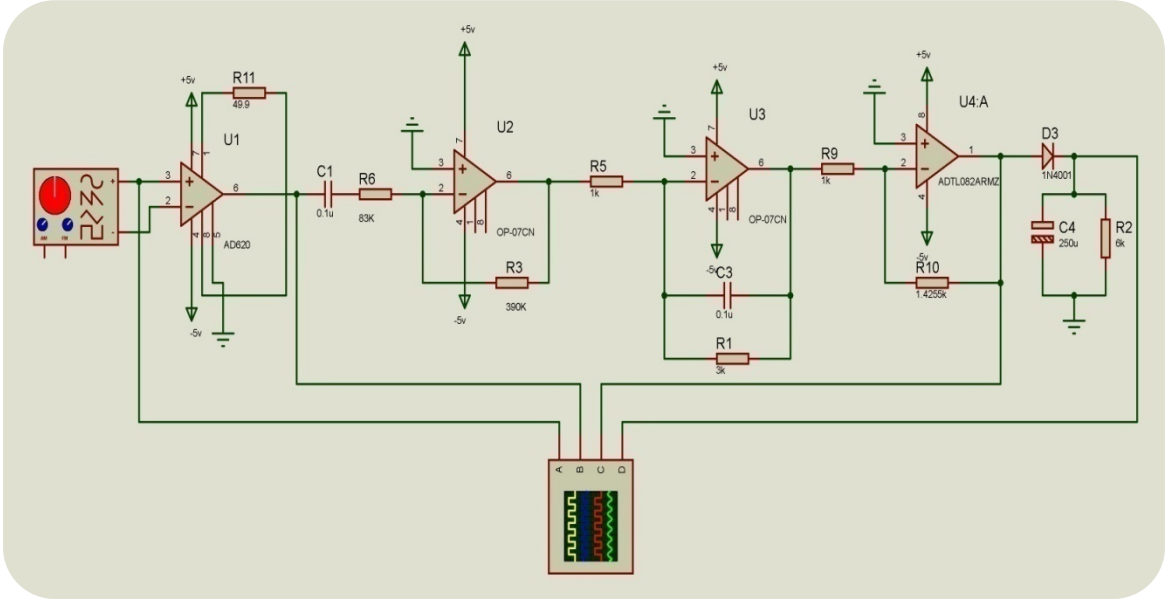
- تتم حركة المرفق لأعلي بزيادة الجهد تدريجيا من 0 إلي 4V, في هذه الحالة سوف يتحرك المرفق لأعلي حتى يصل إلي أقصى جهد وهو يقابل أقصى زاوية 145 درجة يمكن أن يتحركها المرفق.
- حركة المرفق لأسفل تعتمد علي نقصان الجهد وكلما نقص الجهد من 4V إلي 0V يتحرك المرفق لأسفل حتى يصل إلي الزاوية 0 وضع المرفق الطبيعي.

3-6-2 مع/عكس عقارب الساعة:

- إذا كانت الإشارة أكبر من 0V إلي 4V فإن المرفق سوف يتحرك مع عقارب الساعة .

- إذا كانت الإشارة اكبر من 4v إلي 0v فإن المرفق سوف يتحرك عكس عقارب الساعة.

7-3 دائرة اقتباس الإشارة EMG pickup circuit:

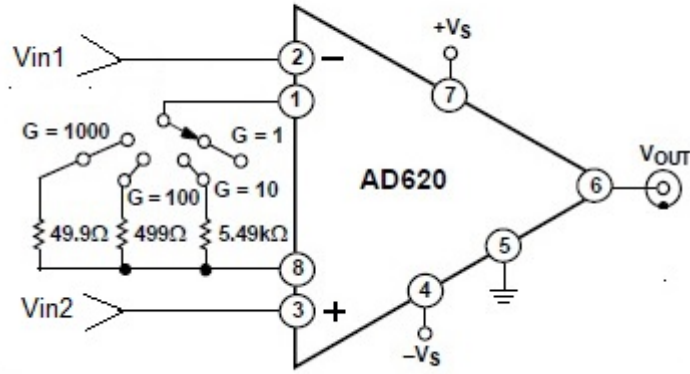


الشكل 3-10: مخطط دائرة اقتباس الإشارة

دائرة اقتباس الإشارة الموضحة في الشكل 3-10 أعلاه تقوم بتعديل الإشارة المقتبسة من العضلات باستخدام أقطاب كهربائية، هذه الإشارة صغيرة وغير صافية ومتراكب عليها إشارات ضجيج لذلك يجب ترشيح هذه الإشارة للتخلص من إشارات الضجيج والحصول على إشارة صافية قدر الإمكان من أجل استخلاص الإشارات المفيدة منها والتي تتراوح بين 100Hz إلى 500Hz، لا يمكن إجراء الترشيح على الإشارة المقتبسة مباشرة لأنها تكون صغيرة و إجراء الترشيح عليها يؤدي إلى ضياع هذه الإشارة لذلك يتم ترشيح الإشارة باستخدام مرشح ترددات منخفضة ومرشح ترددات عالية بعد إجراء التضخيم الأولي عليها.

3-7-1 التضميم الأولي :

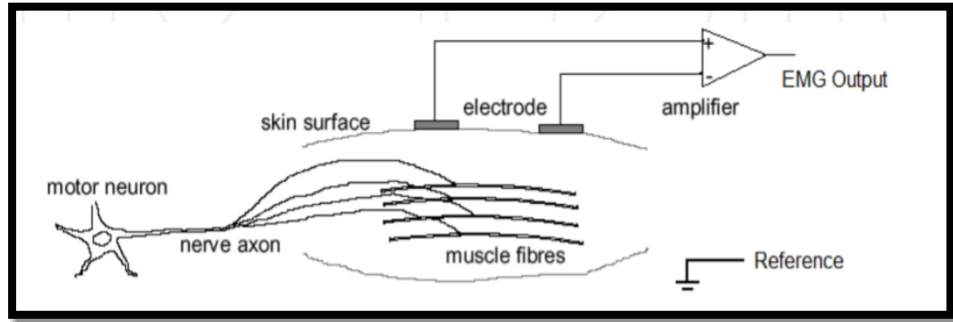
تعتبر هذه المرحلة من أهم مراحل تضميم وترشيح إشارة العضلات، يتم في هذه المرحلة استخدام مضخم تفاضلي (Instrument amplifier) كما بالشكل 3-11 , يتم اقتباس الإشارة من موقعين مختلفين من العضلة كما بالشكل 3-12 , يقوم المضخم التفاضلي بطرح هاتين الإشارتين من بعضهما وتضخيم الفرق بينهما وبذلك سوف يتم التخلص من أي إشارة مشتركة بين هذين الموقعين



الشكل 3-11: مضخم تفاضلي

يتم حساب التكبير لهذا المضخم بالمعادلة:

$$G = 1 + \frac{49.4}{R_G}$$

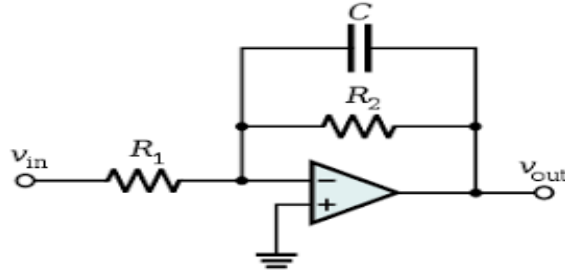


الشكل 3-12: اقتباس الإشارة

3-7-2 مرشح الترددات المنخفضة:

الشكل 3-13 يوضح مرشح الترددات المنخفضة (Low pass filter) يستخدم

هذا المرشح من أجل تمرير الترددات الأقل 500Hz وحذف الترددات الأعلى منها.

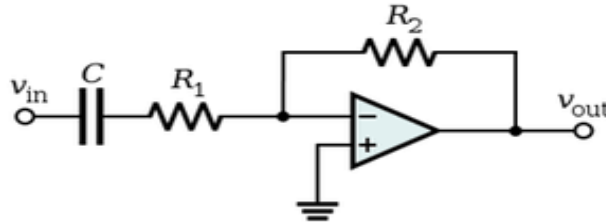


الشكل 3-13: مرشح الترددات المنخفضة

3-7-3 مرشح الترددات العالية:

الشكل 3-14 يبين مرشح الترددات العالية (High pass filter) يقوم هذا المرشح

بتمرير الترددات التي تكون أعلى من 50Hz وحذف الترددات التي تكون أقل منها.



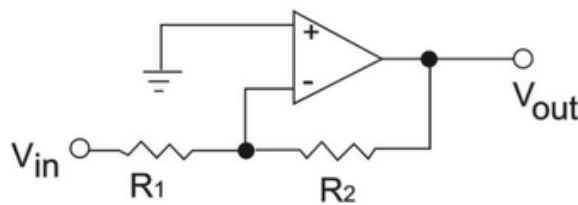
الشكل 3-14: مرشح الترددات العالية

3-7-4 التضخيم الثانوي:

بعد الحصول علي إشارة العضلات وترشيحها في المرحلة السابقة, قمنا بتضخيم هذه

الإشارة بمقدار ربح 100 وذلك للاستفادة منها في عمليات التحكم اللاحقة ويبين الشكل 3-

15 تصميم دائرة التضخيم الثانوي وهي عبارة عن مضخم عاكس , يتم حساب التكبير لهذا



المضخم بالمعادلة وبناء علي قيمة التكبير ومعرفة قيمة احدي المقاومات يتم حساب المقامة الأخرى.

$$G = \frac{R_2}{R_1}$$

الشكل 3-15: المضخم الثانوي

3-8 نتائج محاكاة دائرة اقتباس الإشارة:

الشكل 3-16 (A and B) يوضح قراءة الإشارات علي راسم الإشارة

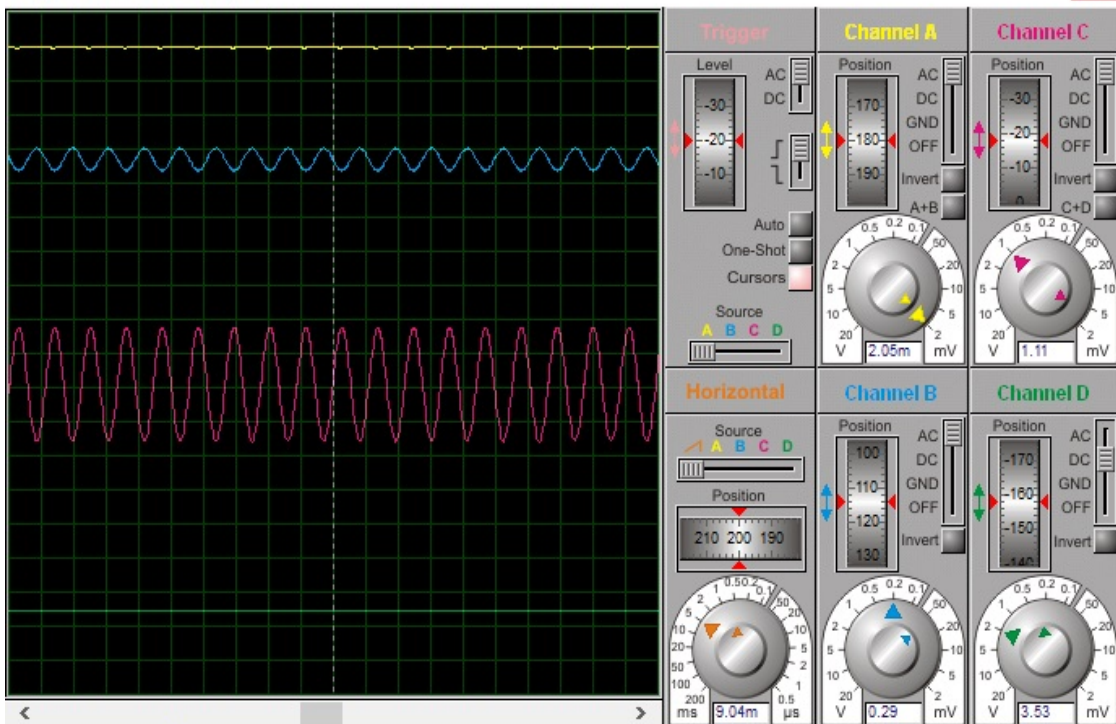
(oscilloscope) عند قيم مختلفة لجهد الدخل وتردد ثابت قيمته 100Hz ، القناة الأولى تبين

قيمة الإشارة المقتبسة من العضلات (EMG Signal) ، القناة الثانية تبين خرج جهد المضخم

الأولي (Instrument Amp) القناة الثالثة تبين خرج المضخم الثانوي والقناة الرابعة تبين جهد

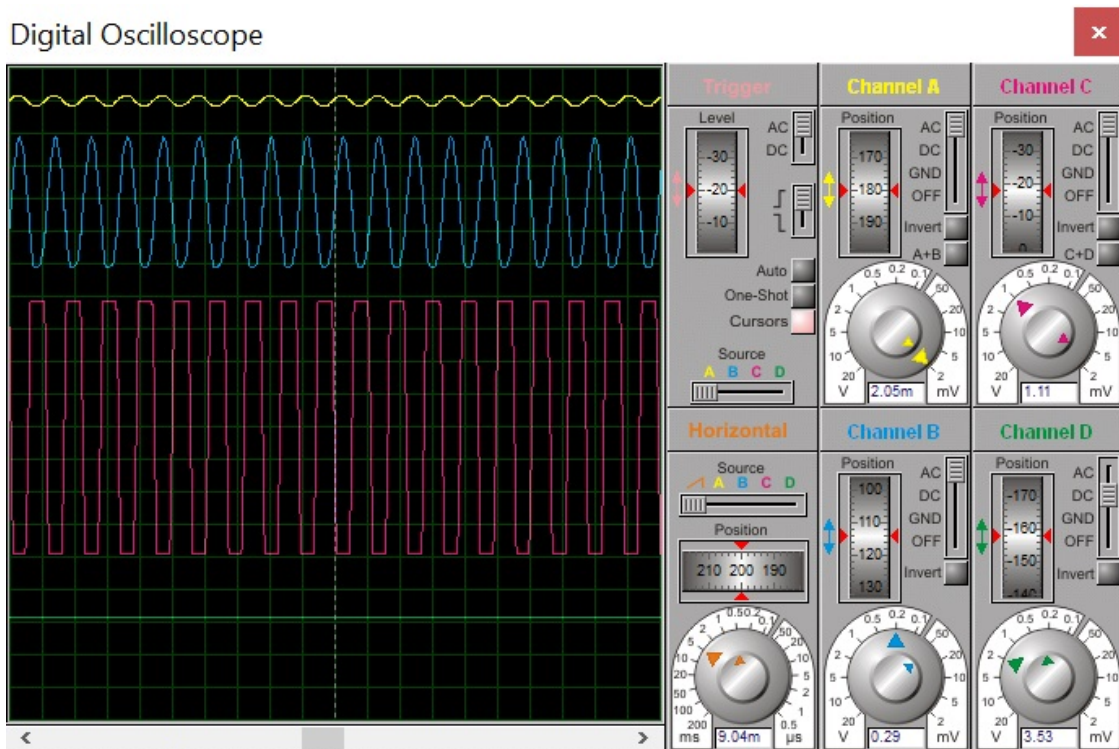
خرج دائرة الاقتباس وهو الذي سوف يستخدم في إشارة التحكم.

Digital Oscilloscope



الشكل 16-3 (A)

- في الشكل 16-3 (A) أعلاه، قيمة إشارة الدخل $100\mu\text{V}$ قيمة إشارة المكبر الأولي 87.5mV قيمة إشارة المضخم الثانوي 1.77V وقيمة إشارة خرج الدائرة 1.24V .



الشكل 16-3 (B)

- في الشكل 16-3 (B) أعلاه، قيمة إشارة الدخل $300\mu\text{V}$ قيمة إشارة المكبر الأولي 641.87mV قيمة إشارة المضخم الثانوي 4.16V وقيمة إشارة خرج الدائرة 3.71V .

9-3 نتائج محاكاة النظام:

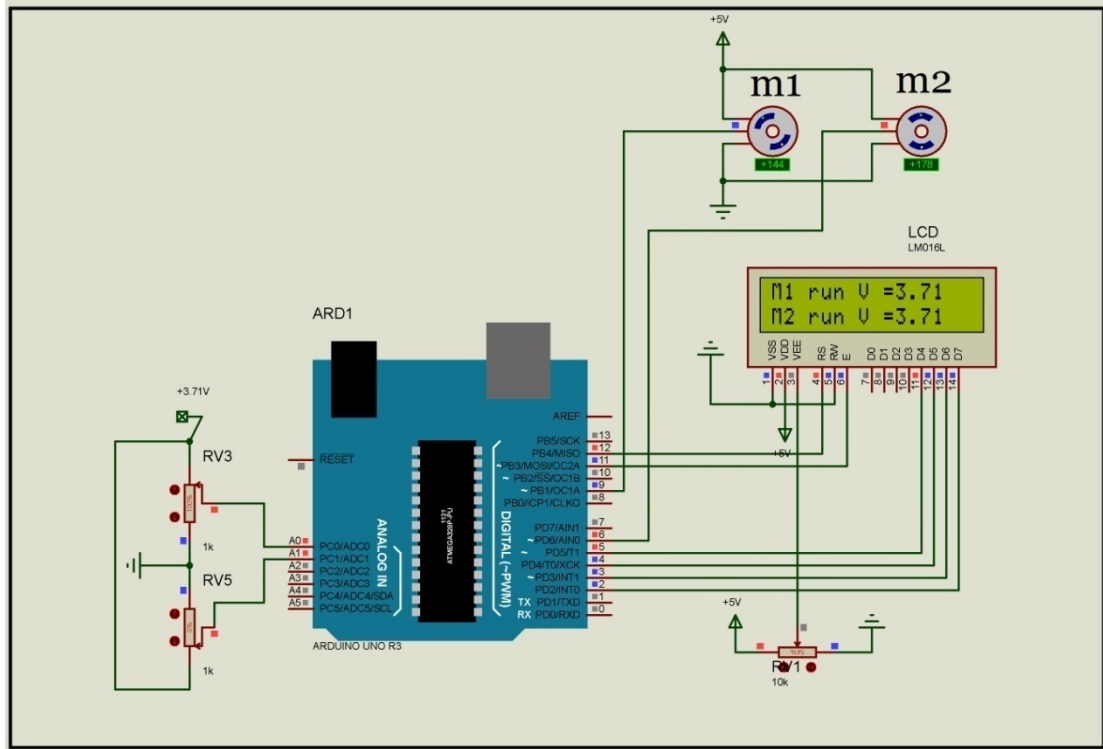
الشكل 3-17 (A,B,C and D) يوضح بعض حالات النظام عند دخلين مختلفين

لدائرة النظام.

المحرك M1 و M2 يستخدمان لحركة المرفق لأعلي/أسفل و مع/عكس عقارب

الساعة علي الترتيب.

▪ الحالة الأولي:



الشكل 3-17 (A) حركة المرفق لأقصى زاوية

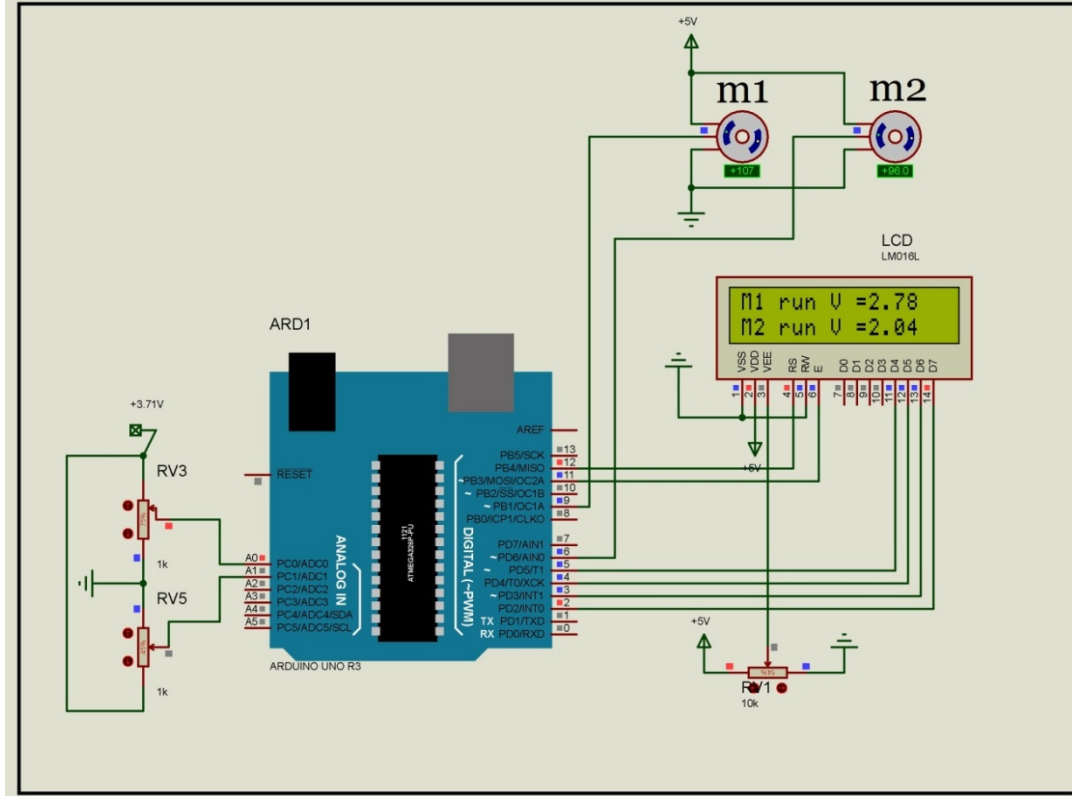
• في حالة الدخل الأول (A0) :

عند زيادة الجهد بالتدرج من 0v إلي 3.71v يتحرك المحرك M1 للأمام حتى يصل لأقصى زاوية وهي 144 درجة (المرفق يتحرك لأعلي).

• في حالة الدخل الثاني (A1) :

عند زيادة الجهد من 0v إلي 3.71v يتحرك المحرك M2 للأمام حتى يصل لأقصى زاوية وهي 178 درجة (المرفق يتحرك مع عقارب الساعة).

▪ الحالة الثانية:



الشكل 3-17 (B) حركة المرفق بزوايا مختلفة

في حالة الدخل الأول (A0):

عند نقصان الجهد بالتدرج من 3.71v إلي 2.78v يتحرك المحرك M1 للخلف حتى يصل

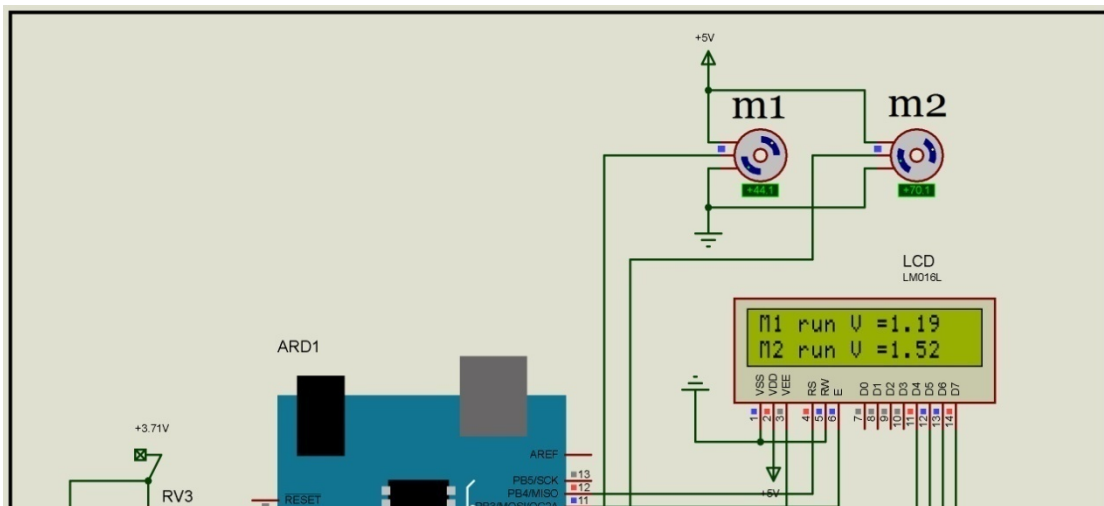
للزاوية 107 درجة (المرفق يتحرك لأسفل).

في حالة الدخل الثاني (A1):

عند نقصان الجهد بالتدرج 3.71v إلي 2.04v يتحرك المحرك M2 للخلف حتى يصل للزاوية

96 درجة (المرفق يتحرك عكس عقارب الساعة).

■ الحالة الثالثة:



الشكل 17-3 (C): حركة المرفق بزاوية أقل

في حالة الدخل الأول (A0):

عند نقصان الجهد بالتدرج من 2.78v إلي 1.19v يتحرك المحرك M1 للخلف حتى يصل

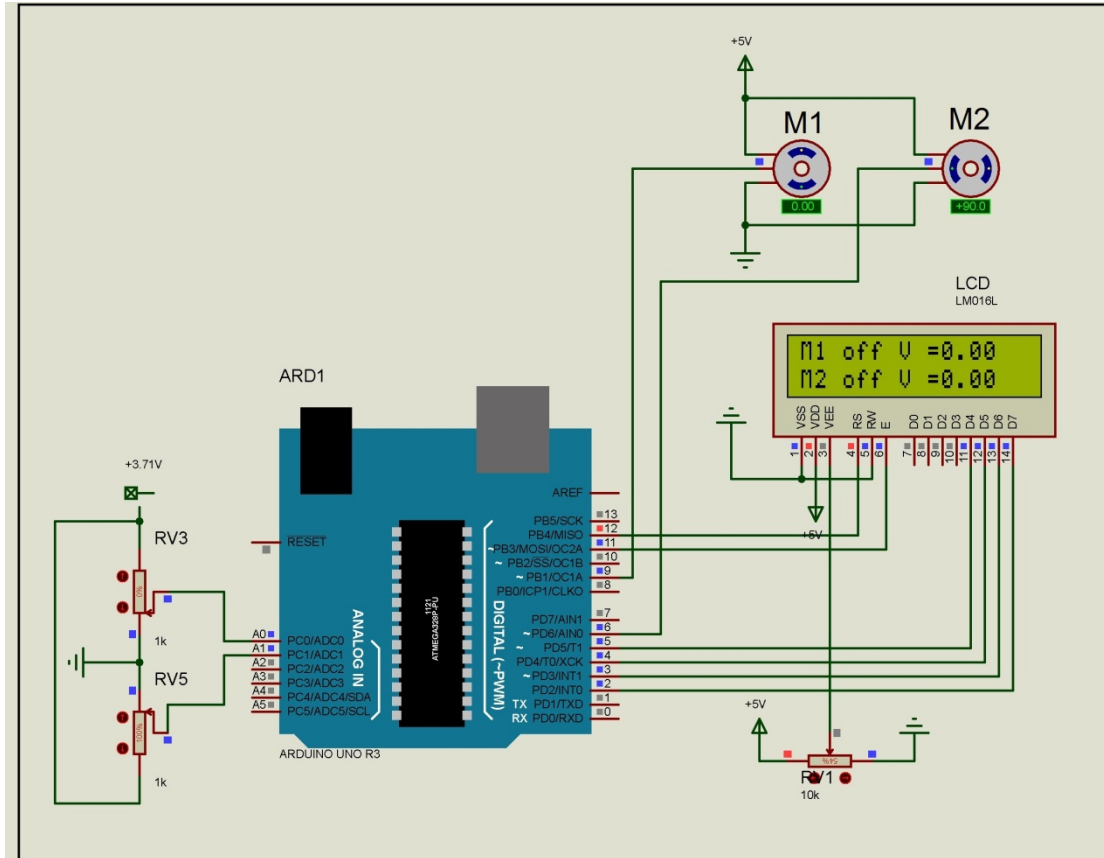
للزاوية 44.1 درجة (المرفق يتحرك لأسفل).

في حالة الدخل الثاني (A1):

عند نقصان الجهد بالتدرج 2.071v إلي 1.52v يتحرك المحرك M2 للخلف حتى يصل للزاوية

70.1 درجة (المرفق يتحرك عكس عقارب الساعة).

▪ الحالة الرابعة:



الشكل 3-17 (D): المرفق في حالة توقف الحركة

- في حالة وصول الجهد إلي 0V في المدخل الأول (A0) والمدخل الثاني (A1) فان المحركات M1 و M2 تتوقف عن الحركة .