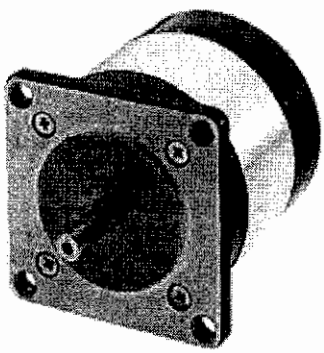
الفصل العاشر ١٠

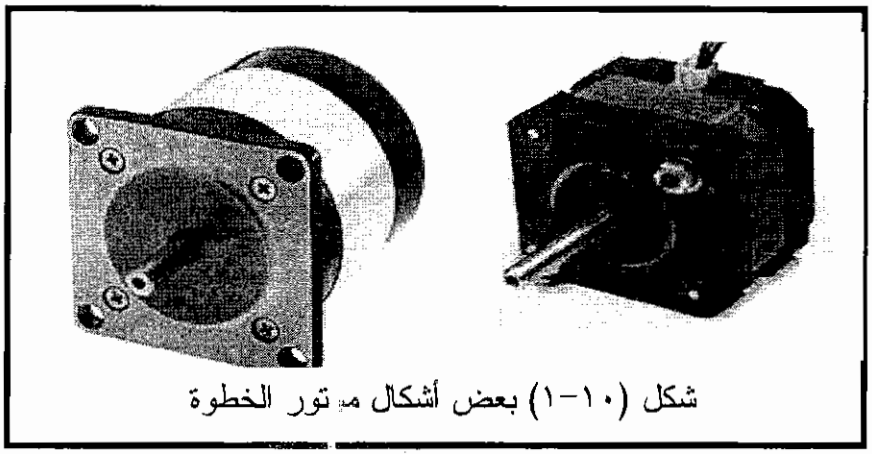
موتور الخطوة

Stepper Motor



١٠-١ مقدمة

يستخدم موتور الخطوة فى الكثير من التطبيقات التى تتطلب حساب عدد اللفات التى يلفها الموتور بدقة ، أو حتى التى تتطلب وضع الموتور عند كسور صغيرة من اللفة . من مميزات موتور الخطوة على باقى أنواع الموتورات أنه يمكن إدارته باستخدام إشارة رقمية ذات قدرة مناسبة . وعلى ذلك يمكن إدارته باستخدام معالج أو متحكم أو حاسب بسهولة من خلال برنامج ينفذ بأى لغة من لغات البرمجة . شكل (١٠-١) يبين شكلا عاما لبعض مواتير الخطوة المتاحة فى السوق . تستخدم مواتير الخطوة فى إدارة الطابعات ، والماسحات الضوئية ، والأحجام الصغيرة من الماكينات المحكومة بالحاسب CNC ، وفى الكثير من التطبيقات التى تحتاج للدقة فى وضع الموتور وعدد اللفات وسرعة اللف . هذه المواتير لا تحتوى فرش brushes لذلك فإنها لا تحتوى أى احتكاكات ميكانيكية قد تؤثر على أدائها أو الصيانة المستمرة لها . هذا بجانب أن مواتير التيار المستمر DC تحتاج لدوائر معقدة للتحكم فى سرعتها ومكان وقوفها ، وهذه الدوائر قد تفوق ثمن الموتور نفسة عند الحاجة للدقة العالية . لذلك فإنه يفضل دائما استخدام موتور الخطوة كلما كانت الأحمال تسمح بذلك .

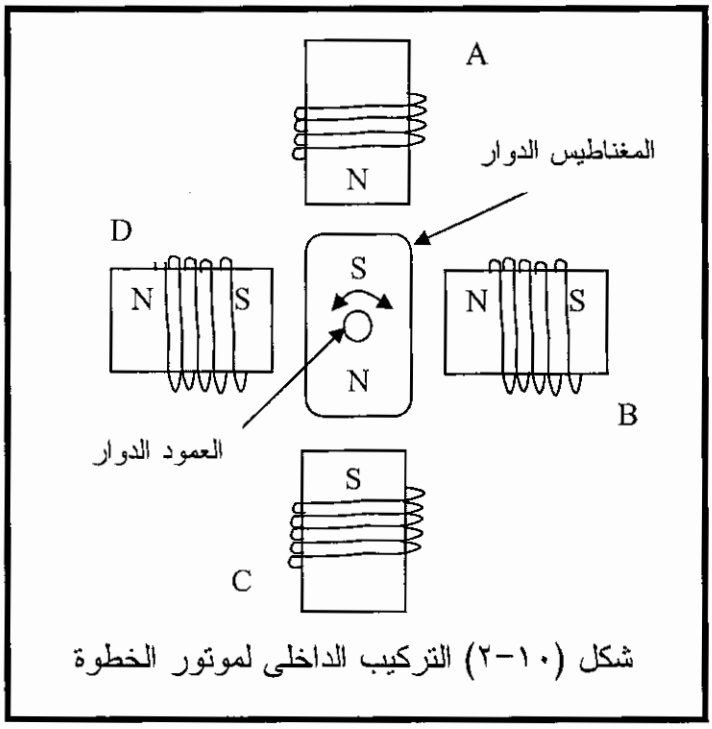


شكل (١٠-١) بعض أشكال موتور الخطوة

١٠-٢ التركيب الأساسى لموتور الخطوة وكيفية عمله

هناك أنواعا عديدة من مواتير الخطوة ، ولكن فكرة عملها كلها سهلة وبسيطة وسنقوم بتقديمها فى هذا الجزء . شكل (١٠-٢) يبين التركيب الأساسى لموتور الخطوة . نلاحظ من هذا الشكل أنه يتكون من ٤ مغناطيسات كهربية مثبتة stator وهى المغناطيسات A و B و C و D . بمرور التيار الكهربى فى الملف

المحيط بأى واحد من هذه المغناطيسات يمكن مغنطة هذا المغناطيس بحيث يكون أحد أطرافه هو القطب الشمالى والطرف الآخر هو القطب الجنوبى للمغناطيس .
يوجد فى مركز الموتور كما نرى فى شكل (١٠-٢) مغنطيس دائم حر الدوران حول مركزه الذى يمثل العمود الدوار للموتورrotor . أى أنه بدوران هذا المغنطيس يدور العمود وبالتالى يمكن إدارة الحمل الموصل على الموتور .
بمرور التيار الكهربى فى المغناطيسين A و C فى الاتجاه المناسب فإنه يمكن جعل A قطب شمالى و C قطب جنوبى . ونتيجة وجودهما بجانب المغناطيس الدوار فإن المغناطيس الدوار سيعدل من وضعه بحيث يكون قطبه الجنوبى ناحية A وقطبه الشمالى ناحية C كما فى شكل (١٠-٢) لأن الأقطاب المتشابهة تتنافر والمختلفة تتجاذب كما نعرف من قواعد المغناطيسية البسيطة . أى أن الجزء الدوار سيعدل من وضعه بحيث يكون رأسيا كما فى الشكل .



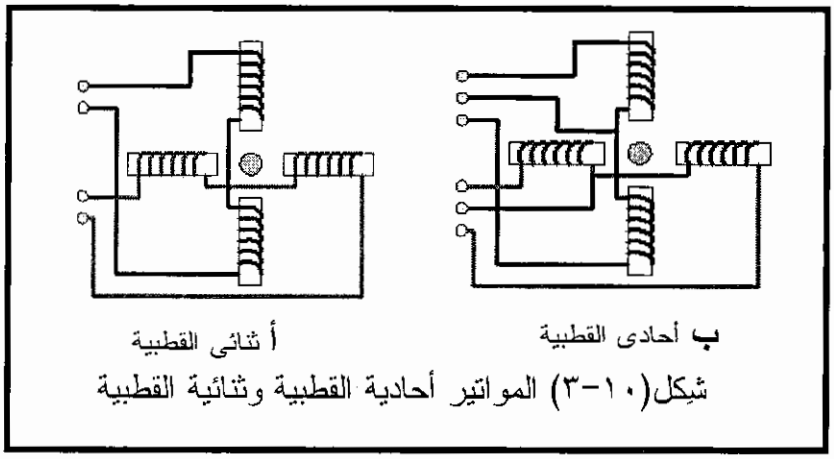
شكل (١٠-٢) التركيب الداخلى لموتور الخطوة

إذا فصلنا التيار عن كل من A و C ، ووصلناه على كل من B و D فإن نفس الشيء سيحدث أيضا بحيث سيدور المغناطيس الدوار ليأخذ الوضع الأفقى فى هذه المرة وسيكون اتجاه الدوران عكس أو مع عقارب الساعة على حسب اتجاه التيار فى كل من B و D . فإذا كان D قطب شمالى و B قطب جنوبى فإن اتجاه الدوران سيكون عكس عقارب الساعة . بتوالى مرور التيار فى الاتجاهات

المناسبة يمكن الاستمرار فى دوران المغناطيس الدوار فى الاتجاه المطلوب فى خطوات كل منها ٩٠ درجة .

١٠-٣ المواتير أحادية وثنائية القطبية

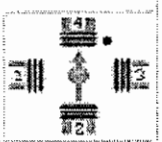
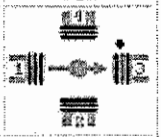
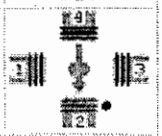
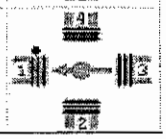
هذا النوع من التغذية لملفات الجزء الثابت من الموتور الذى شرحناه مسبقا يسمى التغذية ثنائية القطبية حيث يتم تغذية ملفين فى نفس الوقت كما فى شكل (١٠-٣أ). كما نرى من هذا الشكل فإن الموتور ثنائى القطبية يخرج منه ٤ أسلاك ، سلكان من كل ملفين حيث يتم تغذية الملفين مع بعضهما فى كل مرة . وتكون التغذية بحيث يكون أحد الملفين قطب شمالى والآخر جنوبى لتثبيت الجزء الدوار بينهما فى وضع معين .



شكل(١٠-٣) المواتير أحادية القطبية وثنائية القطبية

هناك التغذية الأحادية ، أو الموتور أحادى القطبية الذى يحتوى أيضا ٤ ملفات ولكن يتم تغذية كل ملف على حدة ولذلك يخرج منه ٦ أسلاك حيث يكون الطرف الآخر للتغذية هو الأرضى . أحيانا يتم توصيل طرفى الأرضى من داخل الموتور بحيث يخرج من الموتور ٥ أسلاك بدلا من ٦ . شكل (١٠-٣ب) يبين شكل توضيحى لملفات الموتور أحادى القطبية .
شكل (١٠-٤) يبين شكل توضيحى لطريقة دوران الموتور تبعا لتتابع تغذية الملفات حيث كما نرى فى هذا الشكل فإن مقدار الخطوة سيكون ربع لفة . شكل (١٠-٥) يبين طريقة أخرى لتغذية ملفات الموتور حيث يتم تغذية ملفين متجاورين فى نفس الوقت فينتج عن ذلك وقوف الدوار بين الملفين وسيكون مقدار الخطوة ربع لفة أيضا فى هذه الحالة . يمكن إدارة الموتور عن طريق تغذية ملف واحد حيث يقف الجزء الدوار فى مواجهته ، ثم تغذية نفس الملف

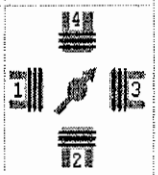
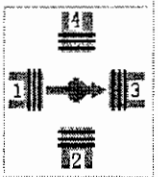
والمجاور له فيقف الجزء الدوار بينهما ، ثم تغذية الملف الأخير وحده فيقف الدوار فى مواجهته ، وهكذا حيث نرى أن خطوة الدوران فى هذه الحالة ستكون ثمن لفة . شكل (١٠-٦) يبين رسم توضيحى لذلك .

Step	Coil 4	Coil 3	Coil 2	Coil 1	
a.1	on	off	off	off	
a.2	off	on	off	off	
a.3	off	off	on	off	
a.4	off	off	off	on	

شكل (١٠-٤) تغذية موتور أحادى القطبية بحيث يكون مقدار الخطوة ربع لفة

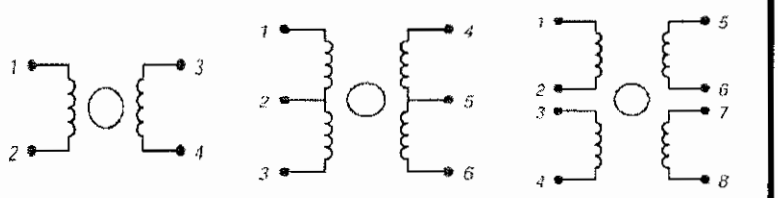
Step	Coil 4	Coil3	Coil2	Coil1	
b.1	on	on	off	off	
b.2	off	on	on	off	
b.3	off	off	on	on	
b.4	on	off	off	on	

شكل (١٠-٥) تغذية ملفين متجاورين فى نفس الوقت ، مقدار الخطوة ربع لفة أيضا فى هذه الحالة

Step	Coil 4	Coil 3	Coil 2	Coil 1	
a.1	on	off	off	off	
b.1	on	on	off	off	
a.2	off	on	off	off	

شكل (١٠-٦) تغذية ملف ، ثم ملفين ، ثم ملف ، وهكذا بحيث ينتج عن ذلك خطوة مقدارها ثمن لفة .

موتور الخطوة يمكن أن يوجد فى السوق وله ٤ أطراف (ثنائى القطبية) ، أو خمسة (أو ستة) أطراف (أحادى القطبية) ، أو ثمانية أطراف (عام ، Universal) حيث يمكن توصيله خارجيا فى أى من الحالتين السابقتين كما رأينا . شكل (١٠-٧) يبين هذه الملفات .

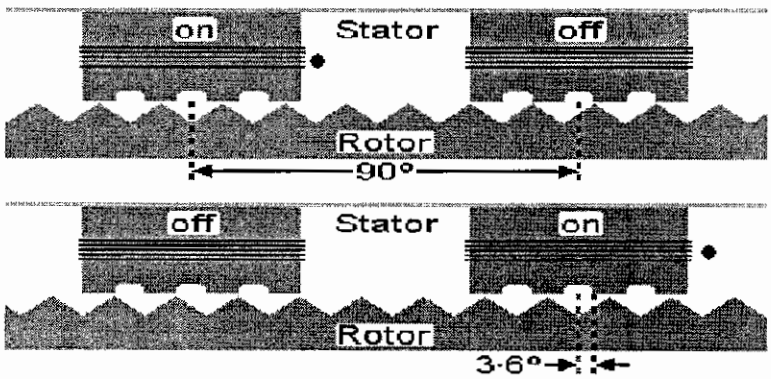


شكل (١٠-٧) طريقة لف ملفات موتور الخطوة

١٠-٤ مقدار خطوة الموتور

يمكن زيادة عدد الخطوات فى اللفة عن طريق عمل سنون فى كل من المغناطيس الدوار والثابت كما فى شكل (١٠-٨) . إذا كان عدد السنون فى الدوار ٢٥ سنة وكل مغناطيس من الأربعة المثبته به ٤ سنون ، فإنه عند تغذية

أحد الملفات الثابتة تكون أسنان الدوار فى منتصف أسنان الثابت ومقابلة لها تماما كما فى حالة المغناطيس العلوى الأيسر (on) والسفلى الأيمن (on) كما فى شكل (١٠-٨) . فى نفس الوقت تكون أسنان الدوار قريبة من أسنان الثابت الذى عليه الدور فى التغذية بمقدار ربع سنة من أسنان الجزء الثابت . عند تغذية الملف الذى عليه الدور تتحرك أسنان الدوار بحيث تتطابق مع أسنان هذا الثابت وستكون حركتها بمقدار ربع سنة من أسنان الجزء الثابت . وعلى ذلك فإن مقدار الزاوية التى يتحركها الدوار تكون ٣٦٠÷(٤×٢٥)=٣،٦ درجة . أى أنه سيكون هناك ١٠٠ خطوة فى كل لفة .



شكل (١٠-٨) عمل سنون فى كل من الجزء الثابت والدوار للحصول على خطوة صغيرة مقدارها ٣،٦ درجة

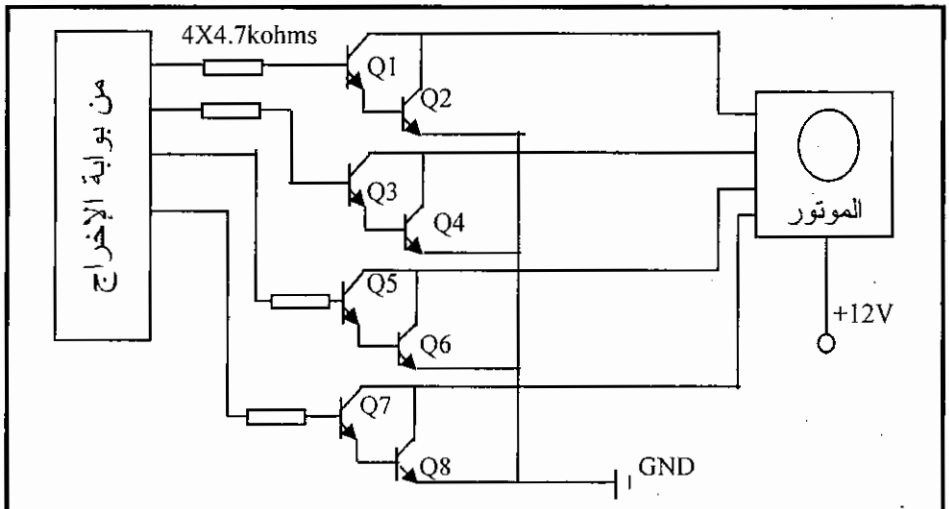
تتحدد سرعة الموتور بسرعة تغير تغذية هذه الملفات . كلما زادت هذه السرعة كلما كانت حركة الموتور أكثر استمرارا ومع تقليل هذه السرعة تكون حركة الموتور فى صورة خطوات . يجب ألا تزيد سرعة تغير تغذية الملفات الثابتة عن حد معين بحيث يستطيع الجزء الدوار ملاحقة هذه السرعة . إذا زادت السرعة عن هذا الحد ربما تسمع زنة للموتور وقد يدور بسرعة أبطأ بكثير جدا من المتوقعة نتيجة الخطوات المفقودة لأن الموتور غير قادر على ملاحقة تتابع تغذية الملفات نتيجة القصور الذاتى للأجزاء الدوارة .

١٠-٥ إدارة موتور الخطوة

شكل (١٠-٩) يبين دائرة مقترحة لإدارة موتور الخطوة . إن الخرج الرقمى القادم من بوابة الإخراج من أى متحكم أو معالج مباشرة لا يكون مناسبا لإدارة

الموتور لأن ملفات الموتور تحتاج لتيار أكثر مما يستطيع هذا الخرج توفيره . لذلك فإننا نقدم هذه الدائرة كمثال فقط لدائرة الموائمة لموتور الخطوة وهناك العديد من الدوائر الأخرى والشرائح التى يمكن استخدامها لهذا الغرض . فى الدائرة الموجودة فى شكل (١٠-٩) الترانزستورات Q1 و Q2 تمثل زوج دارلنجتون Darlington pair التى تتميز بتوفير التيارات العالية ، وبنفس الطريقة أزواج الترانزستورات الأخرى .

الترانزستورات Q1 و Q3 و Q5 و Q7 من النوع 2N5551 و الترانزستورات Q2 و Q4 و Q6 و Q8 من النوع TIP31 . يمكن استخدام شرائح دارلنجتون الجاهزة فى شريحة واحدة بدلا من تركيبها من ٢ ترانزستور كما فى الشكل السابق . فى الدائرة الموجودة فى شكل (١٠-٩) تم تغذية التتابع فى صورة ثنائية من بوابة إخراج . شكل (١٠-١٠) يبين دائرة تتحكم فى إدارة موتور من موجة واحدة مربعة يتم تحويلها إلى تتابعات من ٤ بت اللازمة لإدارة الموتور باستخدام عدادين ثنائيين .

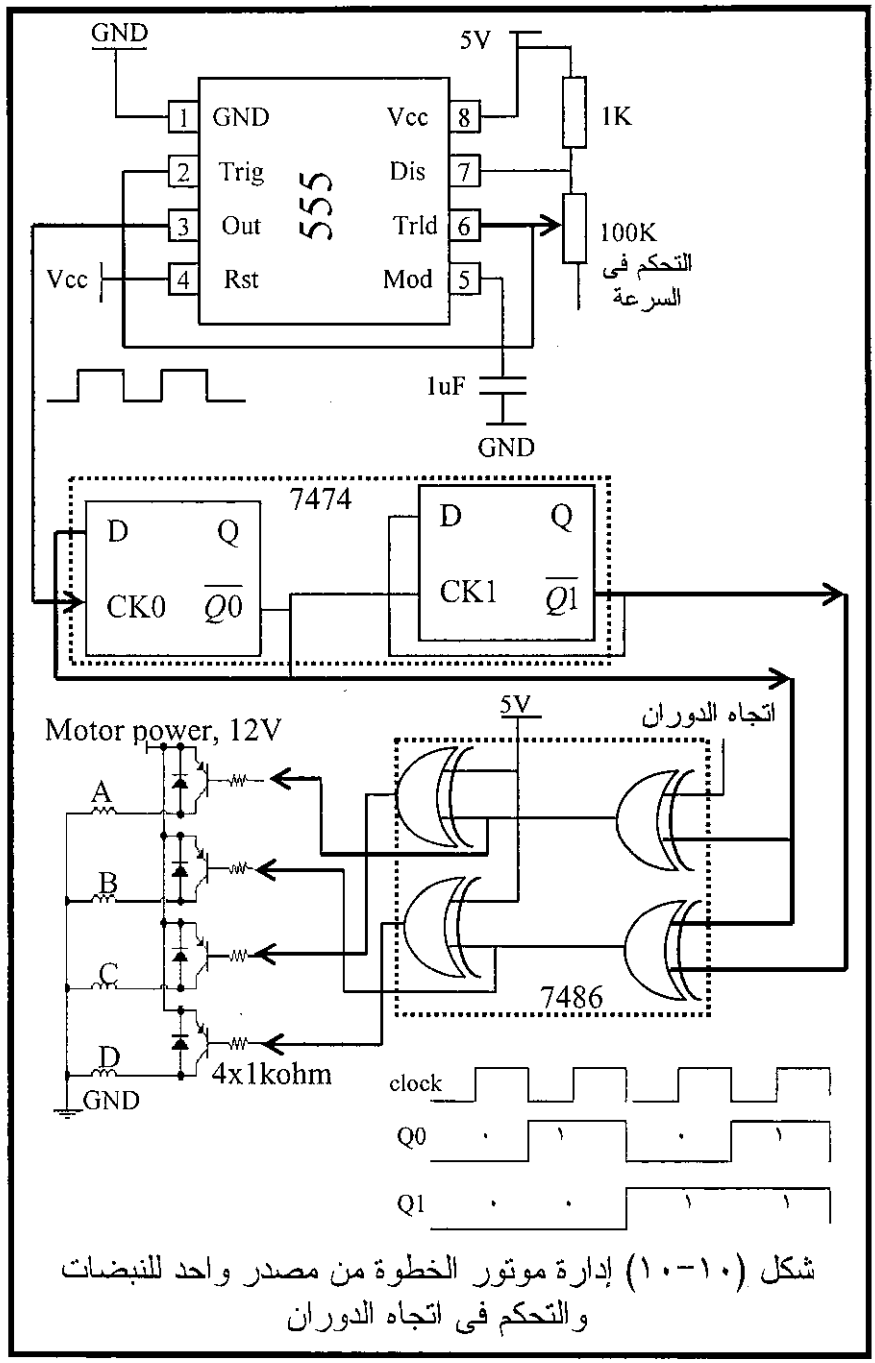


شكل (١٠-٩) دائرة مقترحة لإدارة موتور الخطوة

شكل (١٠-١٠) يبين أيضا التتابعات الناتجة حيث تم استخدام الشريحة 555 فى وضع عديم الاستقرار للحصول على موجة مربعة نتحكم فى ترددها وبالتالى فى سرعة الموتور عن طريق تغيير المقاومة ١٠٠ كيلوأوم المتغيرة . هذه النبضات تم إدخالها على عدادين ثنائيين كل منهما يقسم الدخل على ٢ . حيث كما نرى من شكل (١٠-١٠) سيكون التتابع الناتج على الخرج Q وبالتالى يمكن استنتاجه على $\overline{Q}$ لكل من القلابين هو :

Q1Q0=00, 01, 10, 11, 00, ...

بعد ذلك تم إدخال هذا التتابع على دوائر XOR لتحويله من شفرة ثنائية إلى شفرة رباعية بالتتابع التالى :



شكل (١٠-١٠) إدارة موتور الخطوة من مصدر واحد للنبضات والتحكم فى اتجاه الدوران

1100, 0110, 0011, 1001, 1100, ...

هذه الشفرة الناتجة هى اللازمة لإدارة الموتور . لاحظ وجود خط التحكم فى اتجاه الدوران الذى حينما يكون صفر يجعل الموتور يدور فى اتجاه معين ، وإذا كان واحد يجعل الموتور يدور فى الاتجاه الآخر .

مثال ١٠-١ :

برنامج إدارة موتور الخطوة عكس عقارب الساعة على أن يظل الموتور يدور إلى أن يتم ضرب أى زرار من لوحة المفاتيح ، بلغة C من الممكن أن يكون كما يلى :

جدول ٥-٣ التتابع الثنائى المطلوب للدوران مع عقارب الساعة

D	C	B	A
1	0	0	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
بداية تكرار التتابع			

جدول ٥-٢ التتابع الثنائى المطلوب للدوران عكس عقارب الساعة

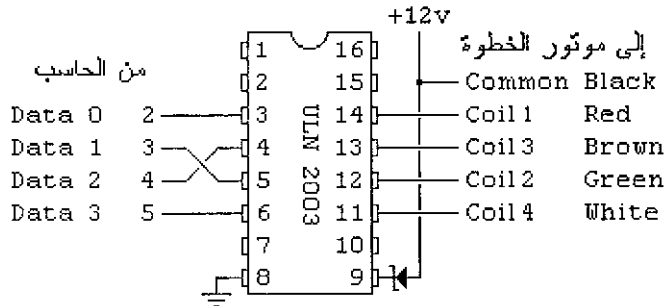
D	C	B	A
1	0	1	0
0	1	1	0
0	1	0	1
1	0	0	1
بداية تكرار التتابع			

```
#define delay 0.005
int main(void)
{  do{  outportb(0x300H,0AH);
        sleep(delay);
        outportb(0x300H,06H);
        sleep(delay);
        outportb(0x300H, 05H);
        sleep(delay);
        outportb(0x300H, 09);
     }while(!kbhit());
}
```

حاول تنفيذ هذا البرنامج مع استخدام أزمنة تأخير مختلفة قصيرة بشكل ملحوظ ، وطويلة بشكل ملحوظ أيضا لترى استجابة الموتور لسرعة تتابعات التغذية . يمكنك تجربة هذا البرنامج من المخرج المتوازى للحاسب .

شكل (١٠-١١) يبين استخدام الشريحة ULN2003 لإدارة الموتور تبعا للتابع السابق القادم من المخرج المتوازى للحاسب . نلاحظ من هذا الشكل أن الشريحة

لها أربع مداخل توصل على الأربع مخارج القادمة من المخرج التوازى ، وأربع أسلاك أخرى توصل على ملفات الموتور كما فى الشكل . يجب توصيل الدايود الموصل على الطرف ٩ فى الشريحة لحماية الشريحة من أى تيارات عكسية نتيجة تغير الجهد على ملفات الموتور .



شكل(١٠-١١) إدارة موتور الخطوة باستخدام الشريحة ULN2003

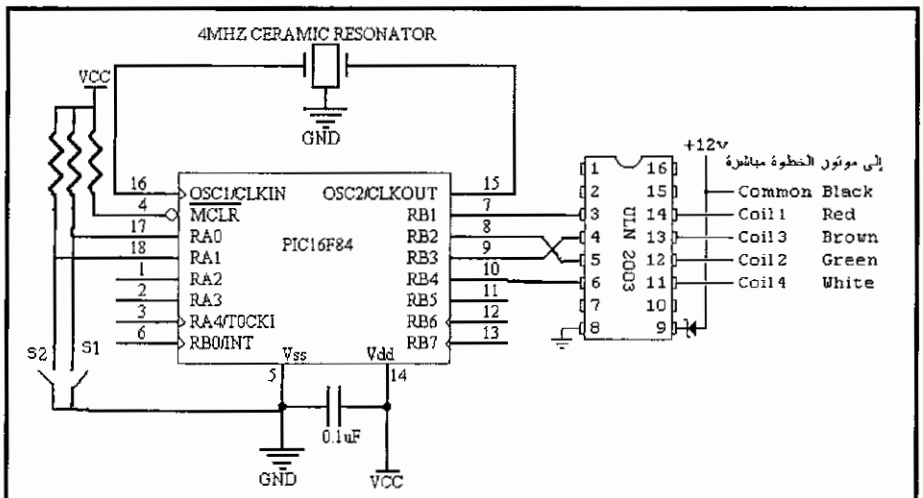
مثال ١٠-٢

برنامج إدارة موتور الخطوة باستخدام المتحكم PIC16F84 . سنستخدم البوابة B فى هذا المتحكم كبوابة إخراج نستخدم منها فقط ٤ أطراف نخرج عليهم الشفرات المطلوبة لإدارة الموتور . سنستخدم طرفان من البوابة A كأطراف دخل نوصل على الطرف الأول منهما مفتاح S1 عندما يكون مضغوط يتم تشغيل الموتور . المفتاح الثانى S2 موصل على الطرف A2 بحيث يتم اختيار اتجاه الدوران هل سيكون لليمين أم لليسار . شكل (١٠-١٢) يبين الدائرة المقترحة لذلك .

البرنامج فكرته بسيطة حيث سيكون عبارة عن حلقة لا نهائية تقرأ الطرف A0 فإذا كان واحد فإن ذلك يعنى أن المفتاح S1 مفتوح (غير مضغوط) وفى هذه الحالة لا تعمل شيء سوى قراءة نفس الطرف مرة أخرى مع جعل الموتور واقف عن طريق تصفير أطراف الموتور . إذا تم ضغط المفتاح S1 فإن الطرف A0 يصبح صفرا وفى هذه الحالة يتم الاستمرار فى البرنامج حيث يتم اختبار الطرف A1 لنرى هل المفتاح S1 بصفر أم واحد لكى نقرر هل سيكون الدوران لليمين أم لليسار ، حيث بعدها نخرج شفرات الدوران على حسب الاتجاه المطلوب وبين كل شفرة والثانية زمن تأخير مقداره ٢٥ ميللى ثانية .

البرنامج الذى يحقق ٢٥ ميللى ثانية ينادى على برنامج فرعى آخر يحقق ٢،٥ ميللى ثانية ١٠ مرات . البرنامج الفرعى الذى يحقق ١ ميللى ثانية يحتوى حلقتين يتم تنفيذ الداخلية فيهما ٢٤٩ مرة بحيث أن مجموع دورات الأمر فى هذا

البرنامج الفرعى هو ٢٥٠١ دورة أمر . بفرض أن المتحكم يعمل بنبضات تزامن مقدارها ٤ ميجاهرتز كما فى شكل (٥-٦) فإن زمن مجموع الأوامر فى هذا البرنامج الفرعى سيكون (2501x1usec=2.5msec) . قائمة أوامر البرنامج ستكون كما يلى :



شكل (١٠-١٢) إدارة موتور خطوة من خلال PIC16F84

```
;***************** Label Definition ********************
ra0             equ   00        ;PA0 bit
cnt500u         equ   0c        ;500usec counter Address
cnt25m          equ   0e        ;100msec counter Address
;***************** Program Start ************************
     org   0          ;Reset Vector
     goto  init
     org   4          ;Interrupt Vector
     goto  init
;***************** Initial Process **********************
     org   5
init
       bsf   STATUS,RP0    ;Change to Bank1
       movlw  h'ff'        ;Set input mode data
       movwf  TRISA        ;Set PORTA to Input mode
       clrf   TRISB        ;Set PORTB to Output mode
       bcf   STATUS,RP0    ;Change to Bank0
```

```
        movlw   h'00'          ; إخراج أصفار لوقف الموتورر
        movwf   PORTB          ;Output data.
keyscan
                btfss   PORTA,ra0       ;RA0 ON(Low lebel) ?
                goto    Drive
                goto keyscan
Drive
                btfss PORTA,ra1
                goto anticlockwise
Clockwise
                movlw h'0A'
                movwf  PORTB
                call     t25m
                movlw h'06'
                movwf  PORTB
                call     t25m
                movlw h'05'
                movwf  PORTB
                call     t25m
                movlw h'09'
                movwf  PORTB
                call     t25m
                goto keyscan
Anticlockwise
                movlw h'09'
                movwf  PORTB
                call     t25m
                movlw h'05'
                movwf  PORTB
                call     t25m
                movlw h'06'
                movwf  PORTB
                call     t25m
                movlw h'0A'
                movwf  PORTB
                call     t25m
                goto keyscan

;************* 25msec Timer Subroutine ***************
T25m            movlw   d'10'          ;Set loop counter
```

```
                movwf  cnt25m       ;Save loop counter
tm2lp           call   t1m          ;1msec subroutine
                decfsz cnt25m,f     ;cnt100m - 1 = 0 ?
                goto   tm2lp        ;No. Continue
                return              ;Yes. Count end
;************* 2.5msec Timer Subroutine *****************
t1m             movlw  d'2'         ;(1)      Set loop cnt1
                movwf  cnt1m        ;(1)      Save loop cnt1
tm1lp1          movlw  d'249'       ;(1)*2    Set loop cnt2
                movwf  cnt500u      ;(1)*2    Save loop cnt2
tm1lp2          nop                 ;(1)*249*2 Time adjust
                nop                 ;(1)*249*2 Time adjust
                decfsz cnt500u,f    ;(1)*249*2 cnt500u-1=0 ?
                goto   tm1lp2       ;(2)*248*2 No, continue
                decfsz cnt1m,f      ;(1)*2    cnt1m-1=0 ?
                goto   tm1lp1       ;(2)      No. Continue
                return              ;(2)      Yes. Cnt end
                                    ;Total 2501*1usec=2.5msec
                end
```

مثال ١٠-٣

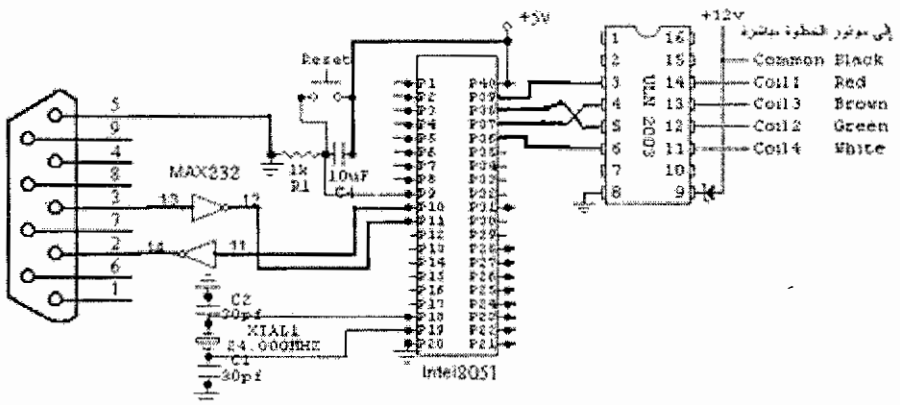
سنحاول فى هذا المثال التحكم فى سرعة موتور الخطوة واتجاه دورانه عن طريق تحديد هذه البيانات على شاشة فى الباسيك المرئى Visual Basic ثم إرسال هذه البيانات من خلال المخرج المتوالى للحاسب إلى المتحكم 8051 الذى يقوم بدوره بإدارة الموتور بالسرعة المطلوبة وفى الاتجاه المطلوب . هذا المثال يعتبر تدريبا جيدا على التعامل مع المخرج المتوالى للحاسب والمتحكم وموتور الخطوة . الدائرة التى سنستخدمها هنا هى نفس الدائرة التى استخدمناها من قبل فى الفصل التاسع فى شكل (٩-١٣) والتى تم إعادتها هنا مع بعض التعديل لتوصيل الموتور بدلا من لمبات البيان كما فى شكل (١٠-١٣) .

شكل (١٠-١٤) يبين محتويات شاشة التصميم فى الباسيك المرئى والتى من خلالها سيتم الاتصال بالمتحكم من خلال المخرج المتوالى . فى هذه الشاشة من المفروض أن يبدأ المستخدم بوضع زمن التأخير لكل خطوة من خطوات الموتور والتى بها يحدد سرعة الموتور فى مربع النص الموجود فى الشاشة بحيث أنه كلما زاد هذا الرقم كلما كان الموتور أبطأ . بعد ذلك يختار المستخدم الاتجاه المطلوب وذلك بتعليم مربع العلامة check box اليمين أو اليسار ثم يضرب الزرار RUN . فى الحال من المفروض أن يبدأ الموتور فى الدوران . يمكن

للمستخدم أن يوقف الموتور بالضرب على الزرار STOP . لا ننسى إضافة أداة التحكم فى الاتصالات Comm. Port كما فى الشكل .

يبدأ المستخدم باختيار اتجاه الدوران عن طريق النقر على أحد مربعـــى التعلـــيم والشفرة لكل منهما ستكون كالتالى :

```
Private Sub Option1_Click()
        Direction = 1    تعنى اختيار الاتجاه اليمين
End Sub
Private Sub Option2_Click()
        Direction = 0  تعنى اختيار الاتجاه لليسار
End Sub
```

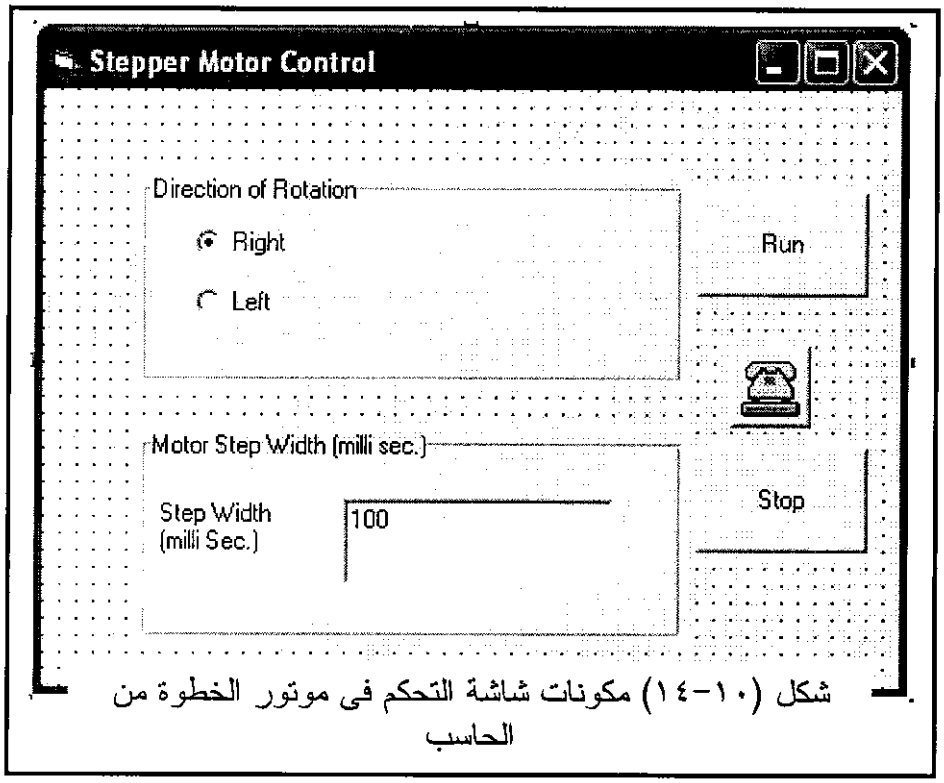


شكل (١٠-١٣) دائرة التحكم فى موتور الخطوة من المخرج المتتالى

بعد ذلك يحدد المستخدم زمن خطوة الموتور بوحدة الميللي ثانية في مربع النص الموضح . فمثلا عندما يكتب المستخدم الرقم ١٠٠ فـــذلك يعنـــي أن الموتـــور سيتحرك ١٠ خطوات في الثانية الواحدة . بذلك تكون كل المعلومات المطلوبـــة متاحة ، لذا عند ضغط المستخدم للمفتاح Run فإن الحاسب يرســـل الشـــفرة ٧٧ للمتحكم الدقيق والتي تعني تشغيل الموتور ، شفرة ذلك ستكون كالتالى كما فـــى شفرة الزرار RUN :

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
  If MSComm1.PortOpen = False Then
    MSComm1.PortOpen = True
  End If
   MSComm1.Output = Chr(77)
End Sub
```



شكل (١٠-١٤) مكونات شاشة التحكم فى موتور الخطوة من الحاسب

بعد ذلك يقوم المتحكم الدقيق بطلب كل من اتجاه الدوران وزمن الخطـــوة مـــن الحاسب ويتم ذلك من خلال حدث الاستقبال للمخرج المتوالي . الشفرة التالية هى شفرة أداة التحكم فى الاتصالات :

```
Private Sub MSComm1_OnComm()
MSComm1.InputLen = 1
MSComm1.RThreshold = 1
Dim command As Integer
Select Case MSComm1.CommEventa
   Case comEvReceive
      commdata = MSComm1.Input
      command = Asc(commdata)
      Select Case command
```

```
        Case 88  هذا الحرف يعنى سؤال عن الاتجاه
            MSComm1.Output = Direction
        Case 89  سؤال عن مقدار الخطوة
            MSComm1.Output = Char(Val(Text1.Text))
    End Select
End Select
End Sub
```

نلاحظ من هذه الشفرة أنه بمجرد أن يضرب المستخدم الزرار RUN فإن الحاسب يرسل الحرف 77 إلى المتحكم ، فيرد عليه المتحكم بالحرف 88 الذى يعنى طلب اتجاه الدوران فيرسله الحاسب (1 أو 0) ، بعدها يطلب المتحكم مقدار زمن التأخير فيرد الحاسب بإرسال الرقم الموجود فى مربع النص . بذلك يصبح المتحكم جاهزا لإدارة الموتور كما فى الشفرة التالية التى سيتم حرقها فى ذاكرة البرمجة للمتحكم :

```
;stepper motor Control
;CRYSTAL 11.05920 MHZ.
;*************************************************************
ORG 0000H
    LJMP MAINProg  للقفز عبر عناوين خدمة المقاطعة.
ORG 0080H
;*************************************************************
MAINProg:
```

الجزء التالي من الشفرة يهيئ البوابة المتوالية ويحدد معدل إخراج البتات (baud rate) . السطر الأول من الشفرة يحدد التعامل مع المؤقت T1 فقط ، السطر التالي يضع هذا المؤقت في وضع إعادة التحميل الأتوماتيكي . السطر الثالث يحمل المؤقت بالرقم FDH الذي يجعل معدل اخراج البيانات ٩٦٠٠ بت/ ثانية ، ولكن ذلك يحتاج أيضا كما علمنا إلي جعل البت smod صفرا وهو ما تم في السطر الرابع :

```
    ANL tmod, #0fh
    orl tmod, #20h
    MOV TH1,#FDH
    anl pcon,#7Fh
```

أما الشفرة التالية فتحدد شكل الإرسال المتوالي وهو بت للبداية ثم ٨ بتات بيانات ثم بت واحدة للنهاية كما تجعل المتحكم الدقيق جاهزا لاستقبال البيانات عن طريق تفعيل البت (REN = Receive Enable) . السطر الذي يليه يبدأ تشغيل المؤقت T1 لإخراج التردد المطلوب.

```
MOV SCON,#50H
SETB TR1
```

الجزء التالي من الشفرة يجعل المتحكم الدقيق في انتظار لاستقبال شفرة الأمر الأول من الحاسب . وعند وجود شفرة ذلك الأمر في المسجل SBUF فإنه يتم نقله إلي المركم لتحديد طبيعة الأمر.

```
here:
        JNB RI, here
Command: MOV A,SBUF
        CLR RI
```

السطر التالي يقارن البايت المستقبلة بالرقم ٧٧ فإن ساوته فإن البرنامج يقوم بالقفز إلي جزء آخر منه خاص بتشغيل الموتور . أما إذا كانت البايت المستقبلة غير ذلك فإن البرنامج يوقف المحرك ويتم ذلك عن طريق القفز إلي بداية البرنامج وانتظار أي أمر جديد دون فعل أي شئ . الشفرة التالية تحقق ذلك :

```
        CJNE A,#77,STOP
        LJMP run
Stop:
        LJMP here
```

الجزء التالي من البرنامج هو المسئول عن تشغيل الموتور . أولا يقوم البرنامج بارسال الرقم 88 للحاسب والذي يعني أن المطلوب هو ارسال اتجاه الدوران . بعد ذلك ينتظر البرنامج هذه المعلومة من الحاسب وعند استقبالها فإن البرنامج يخزنها في المسجل R0 . الشفرة التالية توضح ذلك :

```
run:
        MOV A,#88
        ACALL send
here2:
        JNB  RI,here2
        MOV  R0,SBUF
        CLR  RI
```

ثانيا يرسل البرنامج الرقم 89 إلي الحاسب والذي يعني أن المطلوب هو زمن الخطوة بالميللي ثانية . بعد ذلك ينتظر البرنامج هذه المعلومة أيضا وعند استقبالها فإن البرنامج يخزنها في المسجل R1 . الجزء التالي من الشفرة يوضح ذلك :

```
        MOV A,#89
        ACALL send
here3:
        JNB RI,here3
```

```
MOV R1,SBUF
CLR RI
```

بداية من هذه النقطة فإن البرنامج تكون لديه كل المعلومات المطلوبة . يقوم البرنامج أولا بالاعداد لعملية التشغيل عن طريق وضع الرقم 08H في المركم والذي يقابل 00001000 في النظام الثنائي . من المعروف أنه لتشغيل موتور الخطوة فإنه يتم أرسال الرقم 1000 له ثم ترحيل هذا الواحد جهة اليمين حتي النهاية ثم تكرار ذلك ، وعند عكس اتجاه الترحيل فأن الموتور يدور في الاتجاه المعاكس . البرنامج هنا يقوم بذلك عن طريق تكوين الرقم وترحيلاته في المركم تباعا مع ارسالها إلي البوابة P0 . الشفرة التالية تقوم أولا بتحميل المركم بالرقم 08H ثم تختبر المسجل R0 فإن كان لا يساوي الواحد فإن البرنامج يقوم بالقفز لجزء آخر يقوم بتشغيل الموتور جهة اليسار وإلا فإنه يقوم بتشغيله جهة اليمين :

```
MOV A,#08H
CJNE R0,#01H,TURN_LEFT
```

TURN_RIGHT:

الجزء التالي من البرنامج يوضح عملية تشغيل الموتور جهة اليمين حيث يقوم البرنامج باخراج الرقم 08H ثم استدعاء برنامج فرعي للتاخير بالميللي ثانية حيث يتحدد زمن التأخير فيه بمحتويات المسجل R1 . بعد ذلك يرحل البرنامج محتويات المركم جهة اليمين لتوليد الرقم التالي الذي سيرسل إلي البوابة P0 . نلاحظ أن البرنامج يقوم باختبار هذه المحتويات لانه بعد ٤ خطوات فإن محتويات المركم تصبح صفرا وبالتالي يجب أعادة وضع الرقم 08H في المركم مرة أخري . كما يجب أيضا تصفير علم الحمل . الجزء التالي من البرنامج يوضح ذلك :

```
MOV P1,A
LCALL DELAY
RRC A
CJNE A,#00H,NEXT
MOV A,#08H
CLR C
```

نظرا لأنه من الممكن طلب ايقاف الموتور من قبل الحاسب في أي لحظة لذا فإن البرنامج يختبر علم الاستقبال فإن كان صفرا، فإن البرنامج يولد الخطوة التالية للموتور أما إن كان واحدا فذلك يعني وجود أمر من الحاسب إما بسرعة أو اتجاه جديدين للدوران أو أمر بإيقاف الموتور لذا فإن البرنامج يقوم بالقفز إلي بداية البرنامج لقراءة البايت المستقبلة ووضعها في المركم وتكرار الجزء السابق شرحه :

```
NEXT: JNB RI,TURN_RIGHT
      LJMP COMMAND
```

الجزء التالي من البرنامج يقوم بتشغيل الموتور جهة اليسار وهو مشابه لدرجة كبيرة للجزء الخاص بدوران الموتور جهة اليمين :

```
TURN_LEFT:
        CLR C
        MOV P1,A
        LCALL DELAY
        RLC A
       CJNE A,#10H,NEXT2
      MOV A,#01H
NEXT2:
       JNB RI,TURN_LEFT
       LJMP COMMAND
```

البرنامج الفرعي التالي يقوم بإرسال البايت الموجودة بالمركم عبر المخرج المتوالي للمتحكم الدقيق وعند الانتهاء فإن علم نهاية الإرسال TI يصبح واحدا :

```
send:
      MOV SBUF,A
h:
     JNB TI,h
     CLR TI
RET
```

البرنامج الفرعي التالي يعطي زمن تأخير مساوى لمحتويات R1 بالميللي ثانية :

```
delay:
       MOV R2,#250
again: DJNZ R2,again
       DJNZ R1,delay
RET
END
```