الباب الثانى عشر

المحـــــركات الخطويـــــــة

Stepper Motors

obeikandl.com

obeikandl.com

المحركات الخطوية Stepper Motors

١٢/ ١ – مقدمة :

المحرك الخطوى يتم التحكم فيه بواسطة إشارات رقمية ، ويدور هذا المحرك حركة زاوية فى اتجاه عقارب الساعة ، أو عكس عقارب الساعة عند وصول نبضات كهربية إلى ملفاته بتتابع معين ، ستتضح فيما بعد .

وتستخدم المحركات الخطوية فى التحكم فى الروبتات Robets ، والمعدات العسكرية ، وطاولات الفرائز والمقاشط ، وطاولات التقسيم المستخدمة فى ورش الإنتاج ، والآت الطباعة المستخدمة مع أجهزة الكومبيوتر .... إلخ .

وتمتاز المحركات الخطوية بأنها يمكن أن تعمل بدقة عالية بدون الحاجة إلى التغذية المرتجعة Feedback للموضع كما هو الحال فى باقى المحركات المعروفة .

والشكل (١٢ – ١) يبين طاولة تتحرك فى اتجاهين (محور X ومحور Y) تستخدم محركين خطويين ، والجدير بالذكر أن أكبر عدد للخطوات Steps التى يمكن الحصول عليها من المحركات الخطوية هو : 200 خطوة فى اللفة الواحدة ، ولا يمكن زيادة عدد الخطوات عن هذه القيمة لوجود قيود ميكانيكية تمنع هذا ، ولكن أمكن التغلب على ذلك الكترونيا وذلك بالتشغيل بخطوات كاملة ، وبانصاف خطوات ، وبأجزاء متناهية الصغر من الخطوة .

ويمكن تقسيم المحركات الخطوية حسب نوع العضو الدوار إلى :

١ – محركات بعضو دوار له ممانعة مغناطيسية متغيرة Variable Reluctance (VR) .

٢ – محركات لها عضو دوار بمغناطيس دائم Permanent magnet (PM) .

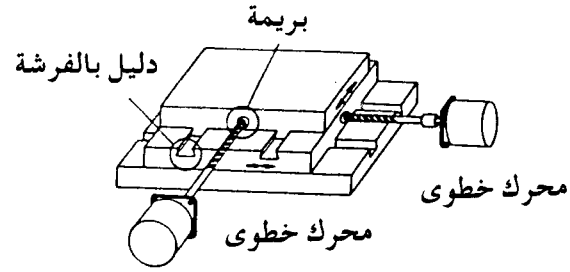
ويمكن تقسيم المحركات الخطوية حسب عدد الأوجه إلى :

– محركات خطوية بوجهين .

– محركات خطوية بثلاثة أوجه .

– محركات خطوية بأربعة أوجه .

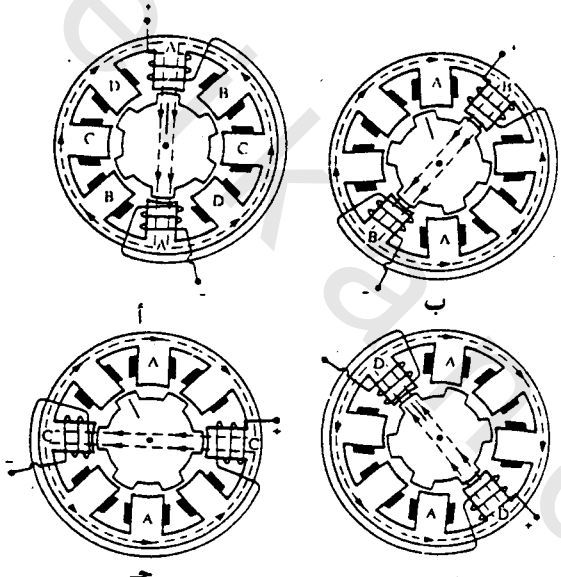
وتتوفر المحركات الخطوية بقدرات أقل من 1KW وبسرعات لا تزيد عن 3000 RPM .



الشكل (١٢ – ١)

٢/١٢ – تركيب ونظرية عمل المحركات الخطوية VR ذات الأربعة أوجه :

الشكل (١٢ – ٢) يبين تركيب ونظرية عمل محرك خطوى نوع VR بأربعة أوجه 4-Phase والعضو الثابت له ثمانية أقطاب بارزة فى حين أن العضو الدوار له ثمانية أسنان بارزة . فكل قطبين متقابلين من أقطاب العضو الثابت تمثل وجهاً، ويوصلان معاً بحيث يكون أحد القطبين شمالياً N تخرج منه خطوط الفيض المغناطيسى والآخر جنوبياً S تدخل إليه خطوط الفيض المغناطيسى .



الشكل (١٢–٢)

فعند وصول تيار كهربى للوجه AA يتدفق الفيض المغناطيسى من القطب الشمالى (العلوى) إلى القطب الجنوبى (السفلى) من خلال أقصر طريق ممكن ماراً بالعضو الدوار .

وحتى نحصل على أقصر مسار ممكن للفيض المغناطيسى يتحرك العضو الدوار ، بحيث يكون أقرب زوج من أسنان العضو الدوار فى مقابلة الوجه AA كما بالشكل (أ) ، وعند انقطاع التيار الكهربى عن الوجه AA ، ووصوله للوجه BB يدور العضو الدوار بحيث يكون

أقرب زوج من أسنان العضو الدوار فى مقابلة الوجه BB ، وهكذا . والشكل (١٢ – ٣) يبين طريقة الحصول على دوران مستمر فى اتجاه عقارب الساعة وعكس اتجاه عقارب الساعة لمحرك خطوى بأربعة أقطاب نوع VR .

فالشكل (أ) يبين تتابع وصول الإشارات الرقمية للأوجه AA, BB, CC, DD للدوران فى اتجاه عقارب الساعة فى حين أن الشكل (ب) يبين تتابع وصول الإشارات الرقمية للأوجه الأربعة للدور ان عكس اتجاه عقارب الساعة ؛ علماً بأن تتابع وصول الإشارات الرقمية تتكرر طوال فترة تشغيل المحرك الخطوى .

وتعتمد قيمة زاوية الخطوة الواحدة على عدد الأوجه وعدد أسنان العضو الدوار ، وهذا سيتضح من المعادلة التالية :

$$\Theta = \frac{360}{Pn} = 12.1$$

حيث إن :

زاوية الخطوة Θ .

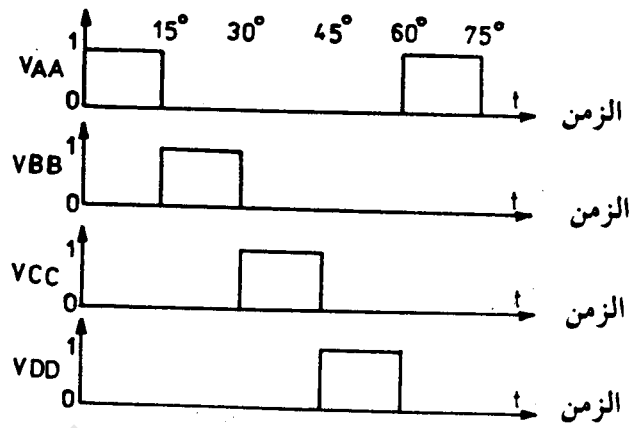
عدد الأوجه أو الأقطاب P .

عدد أسنان العضو الدوار n .

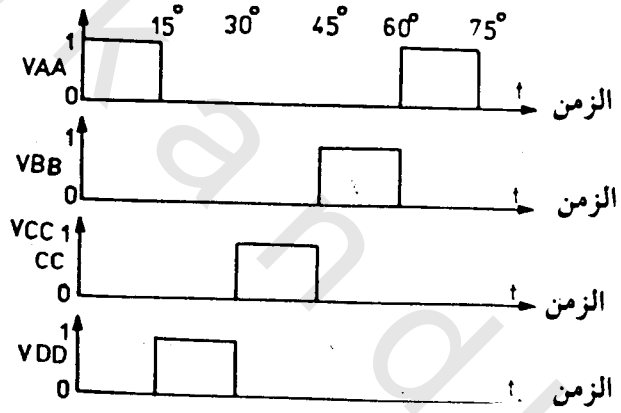
أى أن زاوية الخطوة للمحرك الخطوى VR المبين بالشكل (١٢ – ٢) تساوى :

$$\Theta = \frac{360}{4 \text{ X } 6} = 15^0$$

وكذلك فإن عدد الخطوات فى اللفة الكاملة يساوى Pn أى يساوى : 24 فى هذه الحالة .



فى اتجاه عقارب الساعة



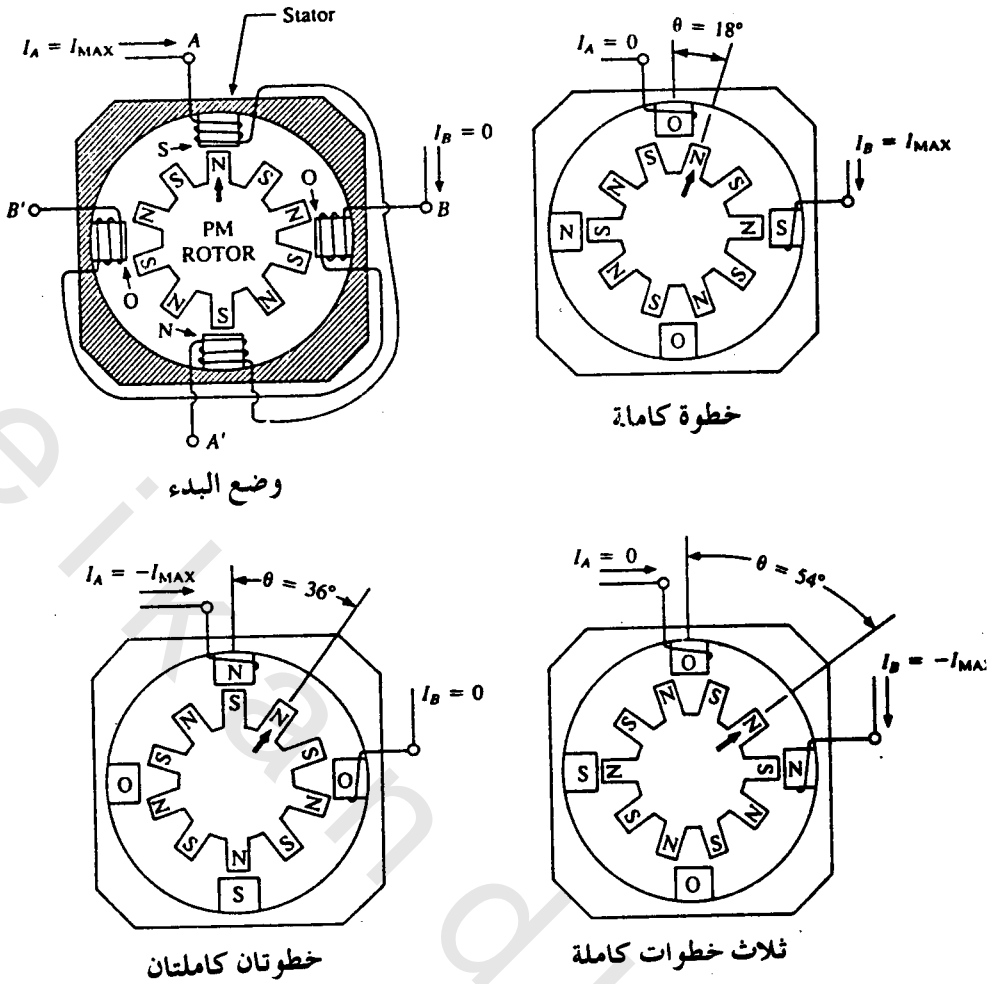
عكس اتجاه عقارب الساعة

الشكل (١٢ – ٣)

١٢/ ٣ – تركيب ونظرية عمل المحركات الخطوية PM ذات الوجهين :

الشكل (١٢ – ٤) يعرض طريقة تشغيل الخطوة الكاملة لمحرك خطوى له عضو دوار بمغناطيس دائم وبوجهين ، حيث يحتوى على أربعة أقطاب ملفوفة فى العضو الثابت ، ويوصل كل ملفين معاً ليشكلاً وجهاً ، وعدد أسنان العضو الدوار 10 وبالتالى فإن زاوية الخطوة تساوى :

$$\Theta = \frac{360}{Pn} = \frac{360}{4 X 6} = 18^0$$



الشكل (١٢ – ٤)

والجدول (١٢ – ١) يبين تتابع التشغيل للدوران فى اتجاه عقارب الساعة CW بخطوات كاملة Full Step .

الجدول (١٢ - ١)

الخطوة	الزاوية	I_A/ Imax	I_B/ Imax
0	0	1	0
1	18	0	1
2	36	-1	0
3	54	0	-1

حيث إن :

تيار الوجه A I_A

تيار الوجه B I_B

أقصى تيار للمحرك Imax

حيث يسمح بمرور تيار كهربى موجب فى الملف $\hat{AA}$ أى يكون اتجاه مرور التيار من A إلى $\hat{A}$ وتكون قيمة هذا التيار مساوية التيار الأقصى للمحرك ، فيصبح القطب العلوى جنوبى S والقطب السفلى شمالى N فيتحرك العضو الدوار بحيث يكون القطب الجنوبى للعضو الثابت فى مواجهة أقرب الأقطاب الشمالية للعضو الدوار ، وبالمثل يصبح القطب الشمالى للعضو الثابت فى مواجهة أقرب الأقطاب الجنوبية للعضو الدوار، ويسمى هذا بوضع البدء ، وعند وصول تيار موجب للملف $\hat{BB}$ قيمته تساوى التيار الأقصى للمحرك Imax يدور المحرك بزاوية 18^o فى اتجاه عقارب الساعة ، وعند وصول تيار سالب للملف $\hat{AA}$ أى يكون مرور التيار من $\hat{A}$ إلى A بحيث يكون هذا التيار مساوياً التيار الأقصى Imax للمحرك، يتحرك المحرك زاوية ثانية ، لتصبح زاوية الدوران الكلية من الوضع الابتدائى 36^o وعند وصول تيار سالب للملف BB يساوى التيار الأقصى Imax يدور المحرك خطوة ثالثة فى اتجاه عقارب الساعة ، وتكون زاوية الدوران الكلية 54^o من الوضع الابتدائى ويمكن استمرار دوران المحرك فى اتجاه عقارب الساعة بتكرار هذه الخطوات الأربع .

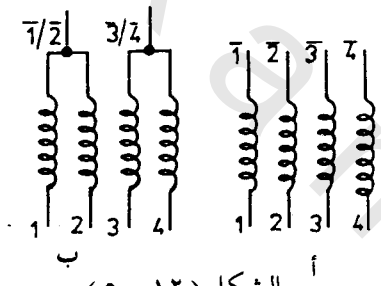
يمكن تشغيل المحرك الخطوى PM ذو الوجهين الذى استعرضناه فى الشكل (١٢ - ٤) تشغيلاً نصف خطوى Half Step بتحقيق تتابع وصول تيار الوجه A, B كما هو مبين بالجدول (١٢ - ٢) .

الجدول (١٢ – ٢)

نصف خطوة	الزواية	I_A/ Imax	I_B/ Imax
0	0	1	0
1	9	0.707	0.707
2	18	0	1
3	27	-0.707	0.707
4	36	-1	0
5	45	-0.707	-0.707
6	54	0	-1
7	63	0.707	-0.707

٤/١٢ – تركيب ونظرية عمل المحركات الخطوية PM ذات الأربعة أوجه :

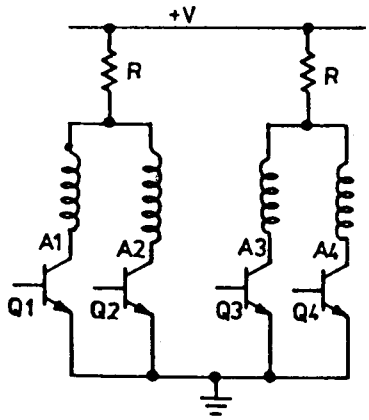
تتشابة المحركات الخطوية PM ذات الأربعة أوجه مع المحركات الخطوية PM ذات الوجهين فى التركيب عدا أنه فى حالة الأربعة أوجه يكون كل ملف من الملفات الأربعة مستقلاً بذاته . ويكون المحرك الخطوى PM ذو الأربعة أوجه بثمانية أطراف أو ستة أطراف ، كما هو مبين بالشكل (١٢ – ٥) .



الشكل (١٢ – ٥)

ففى الشكل (أ) أربعة ملفات مستقلة، وفى الشكل (ب) أربعة ملفات كل ملفين لهما نقطة مشتركة ، وهذا النوع يمكن استخدامه كمحرك بوجهين بدون استخدام نقطة المنتصف، وكمحرك بأربعة أوجه باستخدام نقطة المنتصف .

أما الشكل (١٢ – ٦) فيبين طريقة التحكم فى تشغيل محرك بأربعة أوجه وله ستة أطراف توصيل باستخدام أربعة ترانزستورات Q_1 - Q_4 .



الشكل (١٢-٦)

والجدول (١٢ – ٣) يبين تتابع تشغيل الترانزستورات للدوران بخطوات كاملة .

الجدول (١٢ – ٣)

رقم الخطوة	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
0	1	0	1	0
1	0	1	1	0
2	0	1	0	1
3	1	0	0	1

فيدور المحرك فى عكس اتجاه عقارب الساعة CCW عند اتباع التتابع التالى : 3 ثم 2 ثم 1 ثم 0 ثم 3 ثم 2 ، وهكذا . ويمكن استمرار الدوران فى اتجاه عقارب الساعة باتباع التتابع التالى : 0 ثم 1 ثم 2 ثم 3 ثم 0 وهكذا .

والجدول (١٢ – ٤) يبين تتابع تشغيل الترانزستورات لتشغيل المحرك تشغيلا نصف خطوى.

فيدور المحرك فى عكس اتجاه عقارب الساعة CCW باتباع التتابع التالى :

7 ثم 6 ثم 5 ثم 4 ثم 3 ثم 2 ثم 1 ثم 0 ثم 7 ، وهكذا . فى حين يدور المحرك فى اتجاه عقارب الساعة CW باتباع التتابع التالى : 0 ثم 1 ثم 2 ثم 3 ثم 4 ثم 5 ثم 6 ثم 7 ثم 0 ، وهكذا .

الجدول (١٢ – ٤)

رقم الخطوة	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
0	1	0	1	0
1	1	0	0	0
2	1	0	0	1
3	0	0	0	1
4	0	1	0	1
5	0	1	0	0
6	0	1	1	0
7	0	0	1	0

١٢/ ٥ – المصطلحات الفنية المستخدمة مع المحركات الخطوية :

فيما يلى أهم متغيرات المحركات الخطوية :

١ – استجابة الخطوة Step Response ، وهو الزمن المار من لحظة وصول إشارة التشغيل إلى لحظة دوران المحرك ، وتقاس عادة بالملى ثانية .

٢ – المعدل الخطوى Stepping Rate وهو أقصى عدد من الخطوات التى يعملها المحرك فى الثانية .

٣ – زاوية الخطوة Step angle وهى الزاوية التى يعملها المحرك فى الخطوة الواحدة ، وتعتمد زاوية الخطوة على عدد أقطاب كل من العضو الثابت والعضو الدوار ويمكن حسابها من المعادلة التالية :

$$\Theta = \frac{360}{Pn} \rightarrow 12.1$$

حيث إن :

زاوية الخطوة Θ .

عدد الأوجه أو الأقطاب P .

عدد أسنان العضو الدوار n .

obeikandl.com

٤ – سرعة العضو الدوار

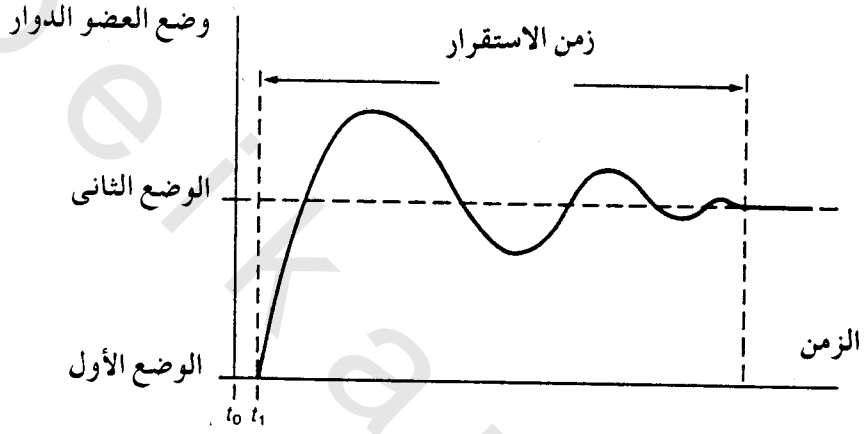
$$N = \frac{\Theta \cdot S / S}{6} \rightarrow 12.2$$

حيث إن :

عدد اللفات فى الدقيقة N .

عدد الخطوات فى الثانية S / S .

زاوية الخطوة Θ .



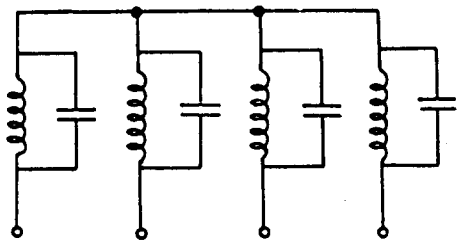
الشكل (١٢ – ٧)

والجدير بالذكر أنه يمكن زيادة سرعة المحرك الخطوى بزيادة تردد نبضات التشغيل ، ولكن هذه الزيادة قد تؤدى لحدوث تجاوز Overshoot كما هو مبين بالشكل (١٢ – ٧) .

فعند الزمن to يكون المحـــرك فى الوضع الأول ، وعند الزمن t_1 تصل نبضة لملف العضو الثابت المناسب لعمل خطوة للوضع الثانى 2 .

والجدير بالذكر أن المحرك لن يصل إلى الوضع الثانى لحظياً ، ولكن يصل للوضع الثانى بعد انتهاء زمن الاستقرار ، فخلال هذا الزمن يحدث تذبذب للمحرك حول الموضع الثانى .

ففى بعض التطبيقات يكون من الضرورى تقليل زمن الاستقرار ، وهناك عدة طرق لخمد حركة العضو الدوار للمحركات الخطوية أهمها : الخمد بالمكثف Capacitive damp حيث يوصل مكثف بالتوازى مع الملفات كما هو مبين بالشكل (١٢ – ٨) .



الشكل (١٢ – ٨)

١٢/ ٦ – حالات تشغيل المحركات الخطوية Modes of operation :

هناك عدة حالات مختلفة لتشغيل المحركات الخطوية وهى كما يلى :

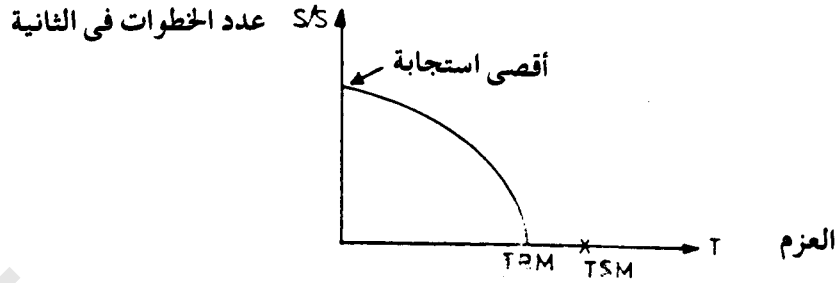
١ – حالة التحرير Reset Mode ، فعندما ينقطع التيار الكهربى عن ملفات العضو الثابت للمحرك الخطوى نوع PM يظل العضو الدوار فى مكانه نتيجة للتفاعل بين المجال المغناطيسى الدائم للعضو الدوار ، وملفات العضو الثابت وهذه الخاصية جيدة عند الحاجة لمعرفة الوضع الأخير عند انقطاع التيار الكهربى .

٢ – حالة التوقف بفرملة Stall Mode ، وتحدث عندما تصل إشارة لملفات العضو الثابت للمحرك الخطوى نوع PM أو AR ، ولا يحدث دوران .

٣ – حالة الحركة فى الاتجاهين Bidirectional Mode ، فعادة تعمل المحركات الخطوية بأقصى سرعة للمحرك فى الاتجاهين بدون فقد للخطوة .

٤ – حالة الإمالة Slewing ، وهى حالة الدوران المستمر للمحرك الخطوى فى اتجاه واحد .

والشكل (١٢ – ٩) يبين العلاقة بين عدد الخطوات فى الثانية ، وعزم المحرك الخطوى نوع PM ، ويلاحظ أنه كلما ازدادت عدد الخطوات فى الثانية قل العزم والعكس بالعكس .



الشكل (١٢ – ٩)

١٢/ ٧ – مميزات وعيوب المحركات الخطوية :

أولا : مميزات المحركات الخطوية :

١ – لا تحتاج لتغذية مرتجعة Feedback .

٢ – يمكن عمل تغذية مرتجعة تناظرية أو رقمية عند الحاجة للتحكم فى الوضع أو السرعة أو الاثنين معاً .

٣ – الخطأ الحادث فى كل خطوة لا يتراكم .

٤ – عند وصول المحرك الخطوى للموضع المطلوب واختفاء إشارات التشغيل يتوقف المحرك فى الحال ، وإذا كان هناك عزم قصور ذاتى كبير للحمل ، فلا يحتاج لعمل خمد للاهتزازات .

٥ – يوجد مدى واسع لزوايا الخطوات المتاحة للمحركات الخطوية لمعظم الشركات المصنعة مثل : 1.8^{o} , 7.5^{o} , 15^{o}, 18^{o}, 47^{o}, 90^{o}

٦ – السرعات المنخفضة ممكنة بدون الحاجة لصندوق تروس فمثلاً : يوجد محركات خطوية إذا تم تشغيلها بنبضات ترددها 500 HZ تدور بسرعة 150 RPM .

٧ – المحركات الخطوية تعمل بالإشارات الرقمية ، لذلك يمكن التحكم فيها مباشرة بأجهزة الكومبيوتر .

٨ – لها تيار بدء صغير ، وعزم قصور ذاتى صغير .

٩ – يمكن تشغيل مجموعة من المحركات الخطوية من مصدر واحد مع المحافظة على التزامن بينهم .

ثانياً : عيوب المحركات الخطوية :

١ – كفاءته منخفضة فمعظم الطاقة الداخلة تتحول لحرارة .

٢ – يجب دراسة الأحمال بعناية للحصول على الأداء الخطوى الأمثل ، كما أن مصدر النبضات والحاكم يجب أن يتوافق مع المحرك والحمل .

٣ – عند وصول إشارة تشغيل للمحركات AR أثناء حدوث اهتزاز حول الموضع السابق فإن ذلك قد يؤدى لتحرك المحرك فى أحد الاتجاهين بدون تحكم وتسمى هذه الظاهرة بالرنين Resonance .

٨/١٢ – الدوائر المتكاملة المستخدمة في تشغيل المحركات الخطوية :

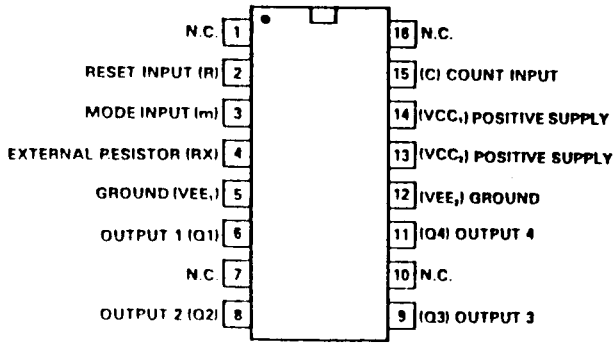
يوجد العديد من الدوائر المتكاملة المستخدمة فى تشغيل المحركات الخطوية الثنائية والرباعية الأوجه بخطوات كاملة Full step ، وبانصاف خطوات Half step وبأجزاء متناهية الصغر من الخطوة Micro step .

على سبيل المثال الدوائر المتكاملة التالية :

L293E, L298, SAA 1027, PBL 3771, PBL 3770A, UCN-58048 .

وسنكتفى فى هذا الكتاب بإلقاء الضوء على الدائرة المتكاملة SAA 1027 وهى تستخدم لتشغيل المحركات الخطوية PM الرباعية الأوجه بخطوات كاملة؛ وتغذى هذه الدائرة المتكاملة من مصدر جهد 9.5 : 18 V D.C ، وهى تغذى المحركات الخطوية بتيار يصل إلى 500 mA.

والشكل (١٢ – ١٠) يعرض المسقط الأفقى لهذه الدائرة المتكاملة.



الشكل (١٢ – ١٠)

التعريف بالأرجل :

1,7 , 10 أرجل غير مستخدمة .

2 رجل إعادة المحرك للوضع الابتدائى (فعالة عند الحالة المنخفضة) .

3 رجل حالة التشغيل فعندما تكون عند الحالة العالية يدور المحرك فى عكس اتجاه عقارب الساعة ، والعكس بالعكس .

4 رجل مقاومة تحديد تيار المحرك حيث إن

$$R_X = \frac{4\,E}{I} - 60$$

حيث إن :

E هو جهد المصدر ، I تيار المحرك .

5, 12 أرضى .

6, 8, 9, 11 مخارج الدائرة المتكاملة وتوصل بملفات المحرك .

13 يوصل مباشرة بجهد المصدر الموجب .

14 يوصل بجهد المصدر الموجب من خلال مقاومة 100 Ω وبالأرضى من خلال مكثف 100 nf .

15 يوصل بمصدر نبضات الساعة .

والجدول (١٢ – ٥ أ ، ب) يبين حالة الأرجل (6, 8, 9, 11) للدائرة المتكاملة SAA 1027 عند وصول نبضات ساعة مربعة للرجل 15 .

الجدول (١٢ – ٥)

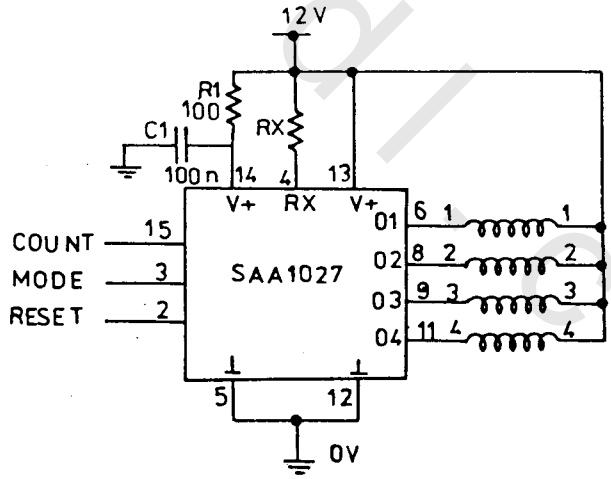
دوران عكس اتجاه عقارب الساعة (CCW)

رقم الخطوة \ الرجل	6	8	9	11
0	1	0	1	0
1	1	0	0	1
2	0	1	0	1
3	0	1	1	0

دوران فى اتجاه عقارب الساعة (CW)

رقم الخطوة \ الرجل	6	8	9	11
0	1	0	1	0
1	0	1	1	0
2	0	1	0	1
3	1	0	0	1

والشكل (١٢ – ١١) يبين طريقة استخدام الدائرة المتكاملة SAA 1027 .

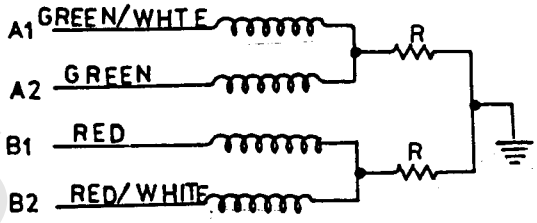


الشكل (١٢ – ١١)

١٢/ ٩ – الدوائر العملية لتشغيل المحركات الخطوية :

الدائرة رقم 1 :

الشكل (١٢ – ١٢) يبين دائرة القدرة لمحرك خطوى أربعة أوجه نوع MP .



الشكل (١٢ – ١٢)

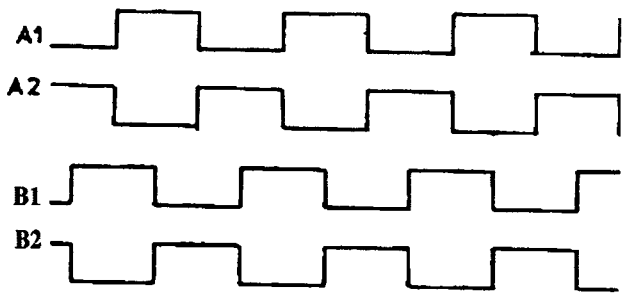
والجدول (١٢ – ٦) يبين النبضات اللازمة لتشغيل هذا المحرك جهة عقارب الساعة CW عند تحقيق التتابع التالى 1 ثم 2 ثم 3 ثم 4 .

ويدور فى عكس اتجاه عقارب الساعة عند تحقق التتابع التالى 4 ثم 3 ثم 2 ، ثم 1 وهكذا

الجدول (١٢ – ٦)

رقم الخطوة	A_1	A_2	B_1	B_2	المكافئ الثنائى
1	1	0	1	0	1010
2	1	0	0	1	1001
3	0	1	0	1	0101
4	0	1	1	0	0110

والشكل (١٢ – ١٣) يبين شكل النبضات المطلوبة لتشغيل هذا المحرك .



الشكل (١٢ – ١٣)

أما الشكل (١٢ – ١٤) فيبين دائرة التحكم الرقمية المستخدمة فى تشغيل هذا المحرك ، فعند وضع المفتاح S_1 على وضع CW يدور المحرك فى اتجاه عقارب الساعة ، وعند وضع المفتاح S_2 على وضع CCW يدور المحرك فى عكس اتجاه عقارب الساعة ، ويمكن التحكم فى سرعة المحرك بالتحكم فى تردد النبضات الخارجة من المذبذب اللامستقر المؤلف من المؤقت (IC_1) 555 ، ولهذا المذبذب ثلاثة آماد Ranges للترددات .

المدى الأول : (68 HZ : 5) ، وذلك عند الوضع (1) للمفتاح S_2 ، ويتم ذلك بتغيير قيمة المقاومة P_1 .

المدى الثانى : (680 HZ : 50) ، وذلك عند الوضع (2) للمفتاح S_2 ، ويتم ذلك بتغيير قيمة المقاومة P_1 .

المدى الثالث : (6800 HZ : 500) ، وذلك عند الوضع (3) للمفتاح S_2 ، ويتم ذلك بتغيير المقاومة P_1 .

عناصر الدائرة :

R_1, R_2 مقاومات كربونية 1k Ω .

R_3 مقاومة كربونية 2.7 k Ω .

R_4 مقاومة كربونية 4.7 k Ω .

P_1 مقاومة متغيرة 100 k Ω .

C_1 مكثف كيميائى 1.5 µf وجهده 10V .

C_2 مكثف كيميائى 150 nf وجهده 10V .

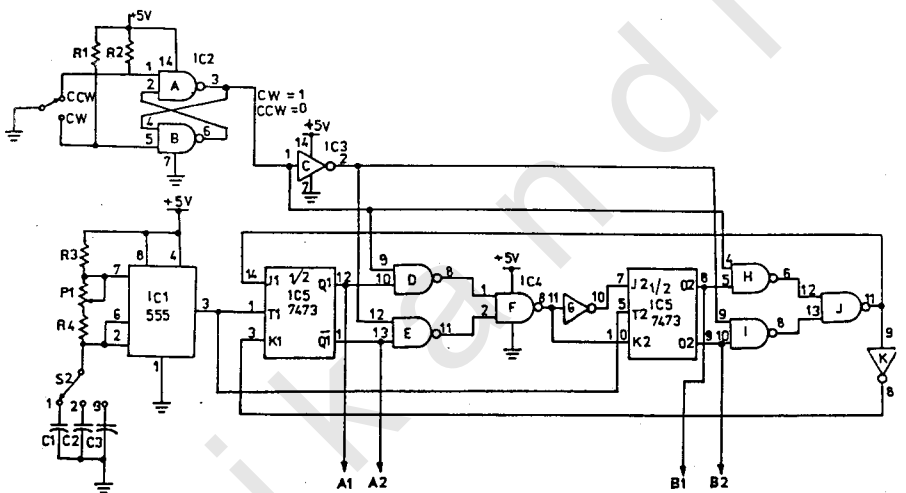
C_3 مكثف كيميائى 15 nf وجهده 10V .

IC_1 مؤقت 555 .

IC_2 IC_3 دائرة متكاملة تحتوى على أربع بوابات NAND طراز SN 7400 .

IC_4 دائرة متكاملة تحتوى على ستة عواكس طراز SN 7404 .

IC_5 دائرة متكاملة تحتوى على قلابين JK طراز SN 7473 .

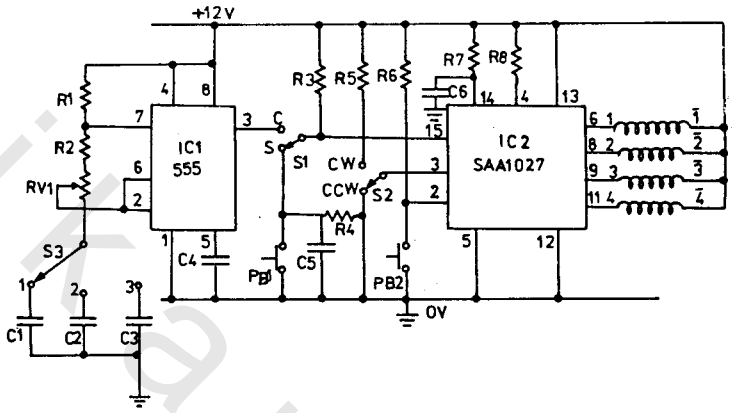


الشكل (١٢ – ١٤)

obeikandl.com

الدائرة رقم 2 :

الشكل (١٢ – ١٥) يعرض دائرة تحكم رقمية فى تشغيل محرك خطوى أربعة أوجه نوع PM ، وله تيار تشغيل يصل إلى 300 mA .



الشكل (١٢ – ١٥)

عناصر الدائرة :

R_1	مقاومة كربونية 2.7 k Ω .
R_2	مقاومة كربونية 4.7 k Ω .
R_3 , R_5, R_6	مقاومات كربونية 10 k Ω .
R_4	مقاومة كربونية 440 k Ω .
R_7	مقاومة كربونية 100 Ω .
R_8	مقاومة كربونية 120 Ω .
RV_1	مقاومة متغيرة 100 k Ω .

obeikandi.com

C_1 مكثف سيراميك 1.5 µf .

C_2 مكثف سيراميك 150 nf .

C_3 مكثف سيراميك 15 nf .

C_4 مكثف سيراميك 10 nf .

C_5 , C_6 مكثف سيراميك 100 nf .

IC_1 مؤقت زمنى طراز 555 .

IC_2 دائرة متكاملة لمشغل محرك خطوى طراز SAA 1027 .

S_1 , S_2 مفتاح قطب واحد سكتين .

S_3 مفتاح قطب واحد بثلاث سكك .

PB_1 , PB_2 ضاغط بريشة مفتوحة .

نظرية التشغيل :

يمكن تشغيل المحرك إما تشغيلاً مستمراً ، أو تشغيلاً خطوياً بواسطة المفتاح S_1 ، فعند وضع المفتاح S_1 على وضع S فإنه يمكن تشغيل المحرك تشغيلاً خطوياً ، فعند الضغط على الضاغط PB_1 تصل نبضة تشغيل لمدخل العد (15) للدائرة المتكاملة IC_2 ، فيتحرك المحرك خطوة جهة عقارب الساعة إذا كان المفتاح S_2 على الوضع CW ، وعكس عقارب الساعة إذاكان المفتاح S_1 على الوضع CCW .

ويمكن تشغيل المحرك ليدور دوراناً مستمراً ، وذلك بوضع المفتاح S_1 على وضع C ، ويدور المحرك جهة عقارب الساعة إذا كان المفتاح S_2 على الوضع CW ، وعكس عقارب الساعة إذا كان المفتاح S_2 على الوضع CCW ، ويمكن التحكم فى سرعة المحرك بالتحكم فى تردد النبضات الخارجة من المذبذب اللامستقر المؤلف من الدائرة المتكاملة IC_1 (المؤقت 555)، ولهذا المذبذب ثلاثة آماد Ranges للترددات وهى كما يلى :

المدى الأول : (5 : 68 HZ) ، وذلك عند وضع S_3 على وضع 1 ، ويمكن التحكم فى قيمة التردد الخارج بواسطة المقاومة المتغيرة RV_1 .

obeikandi.com

المدى الثانى : (50 : 680 HZ) ، وذلك عند وضع S_3 على الوضع 2 ، ويمكن التحكم فى قيمة التردد الخارج بواسطة المقاومة المتغيرة RV_1 .

المدى الثالث : (500 : 6800 HZ) ، وذلك عند وضع S_3 على الوضع 3 ، ويمكن التحكم فى قيمة التردد الخارج بواسطة المقاومة المتغيرة RV_1 .

فإذا كانت زاوية الخطوة للمحرك الخطوى 7.5° مثلاً ، فإن عدد الخطوات فى اللفة الكاملة تساوى : $\frac{360}{7.5} = 48$ ، ويمكن الحصول على سرعة المحرك من المعادلة التالية :

$$N = \frac{\theta \cdot S / S}{6} \quad (RPM)$$

حيث إن :

S / S عدد الخطوات فى الثانية ، وهى تكافئ تردد المذبذب .

ففى المدى الأول فإن سرعة المحرك تتراوح ما بين (6 : 85 RPM) .

وفى المدى الثانى فإن سرعة المحرك تتراوح ما بين (60 : 850 RPM) .

وفى المدى الثالث فإن سرعة المحرك تتراوح ما بين (6000 : 8500 RPM) .

الدائرة رقم 3 :

الشكل (١٢ – ١٦) يعرض دائرة تحكم فى سرعة محرك خطوى يسحب تياراً يساوى 5A، وله أربعة أوجه بثمانية أطراف منفصلة .

عناصر الدائرة :

R_1 مقاومة كربونية 100 Ω .

R_2 مقاومة كربونية 680 Ω .

R_3 مقاومة كربونية 470 Ω .

R_4 مقاومة كربونية 56 Ω وقدرتها 3W .

R_5, R_6, R_7 مقاومات كربونية 2.7 k Ω .

R_8- R_{13} مقاومات كربونية 10 k Ω .

R_{14} - R_{16} مقاومات كربونية 1 k Ω .

C_1 مكثف سيراميك 100 nf .

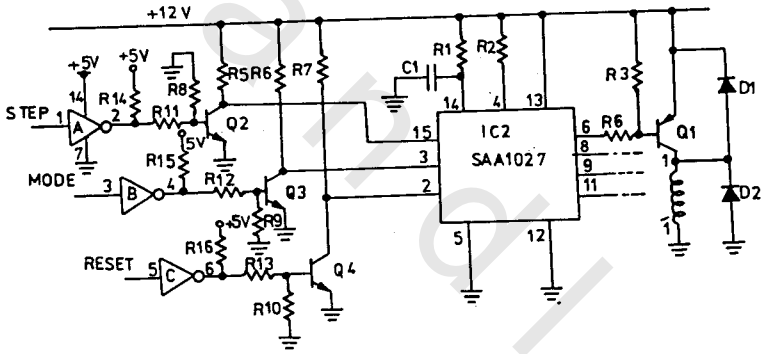
D_1 , D_2 ثنائيات سليكونية طراز 1N 4001 .

Q_1 ترانزستور PNP طراز MJE 2955 .

Q_2 - Q_4 ترانزستورات NPN طراز 2N 3904 .

IC_1 دائرة متكاملة تحتوى على ستة عواكس طراز 7404 .

IC_2 دائرة متكاملة طراز SAA 1027 .



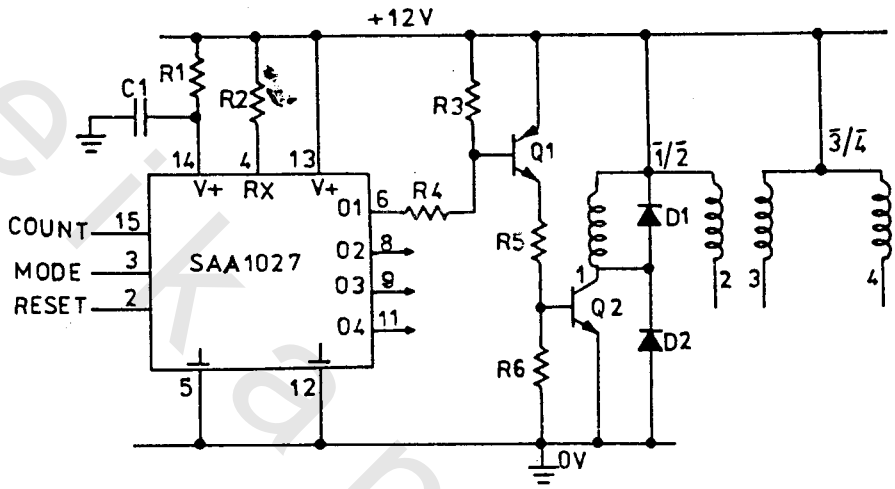
الشكل (١٢ – ١٦)

نظرية التشغيل :

عند انتقال حالة مدخل البوابة A من منخفض إلى عالٍ يتحرك المحرك خطوة جهة اتجاه عقارب الساعة إذا كانت حالة مدخل البوابة B عالية ، ويدور المحرك فى اتجاه عكس عقارب الساعة ، إذا كانت حالة مدخل البوابة B منخفضة .

وعند وصول نبضة عالية لمدخل البوابة C يعود المحرك للوضع الابتدائى ، والجدير بالذكر أن طريقة توصيل الأوجه الأخرى للمحرك لا تختلف عن طريقة توصيل الوجه المبين بالشكل (١٢ – ١٦) .

والشكل (١٢ – ١٧) يبين طريقة توصيل الدائرة المتكاملة SAA 1027 مع محرك خطوى نوع PM بأربعة أوجه وبخمسة أطراف يسحب تياراً 5A .



الشكل (١٢ – ١٧)

عناصر الدائرة :

R_1 مقاومة كربونية 100 Ω .

R_2 مقاومة كربونية 680 Ω .

R_3 , R_4 مقاومة كربونية 1k Ω .

R_5 مقاومة كربونية 56 Ω وقدرتها 3W .

R_6 مقاومة كربونية 470 Ω .

D_1 , D_2 ثنائيات سليكونية طراز 1N 4001 .

obeikandl.com

Q_1 ترانزستور PNP طراز 2 N 3906 .

Q_2 ترانزستور NPN طراز 2 N 3055 .

IC_1 دائرة متكاملة SAA 1027 .

محرك خطوى يعمل عند جهد 12V + ويسحب تياراً 5 A .

والجدير بالذكر أن طريقة توصيل باقى أوجه المحرك لا تختلف عن طريقة توصيل الوجه الأول.

obeikandl.com