

الباب الثانى عشر
المحركات الخطوية

Stepper Motors

المحركات الخطوية Stepper Motors

١ / ١٢ - مقدمة :

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

وتستخدم المحركات الخطوية في التحكم في الروبوتات Robots ، والمعدات العسكرية ، وطاولات الفرائز والمقاشط ، وطاولات التقسيم المستخدمة في ورش الإنتاج ، والآت الطباعة المستخدمة مع أجهزة الكمبيوتر إلخ .

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

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

ويمكن تقسيم المحركات الخطوية حسب نوع العضو الدوار إلى :

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

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

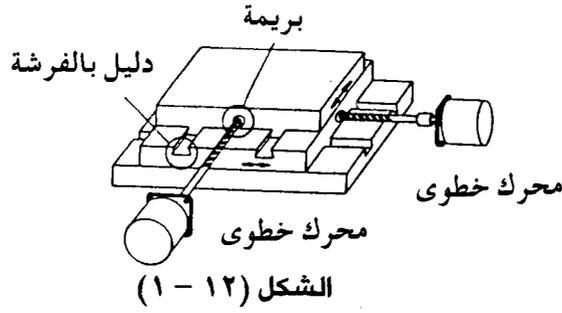
ويمكن تقسيم المحركات الخطوية حسب عدد الأوجه إلى :

- محركات خطوية بوجهين .

- محركات خطوية بثلاثة أوجه .

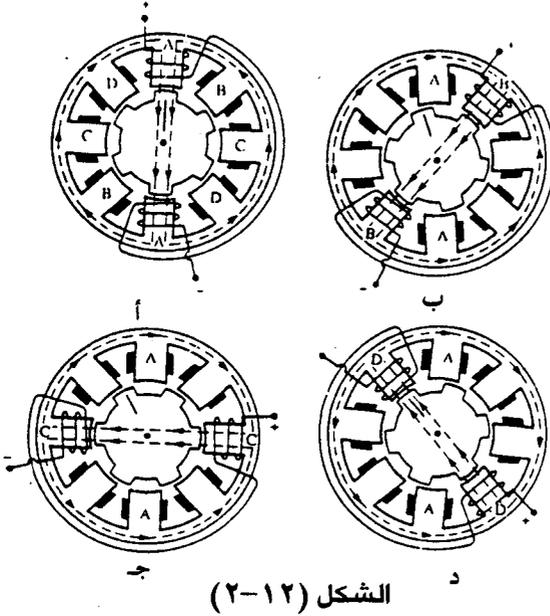
- محركات خطوية بأربعة أوجه .

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



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

وجهها، ويوصلان معاً بحيث

يكون أحد القطبين شمالياً N

تخرج منه خطوط الفيض

المغناطيسى والآخر جنوبياً S

تدخل إليه خطوط الفيض

المغناطيسى .

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 للدوران 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 :

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

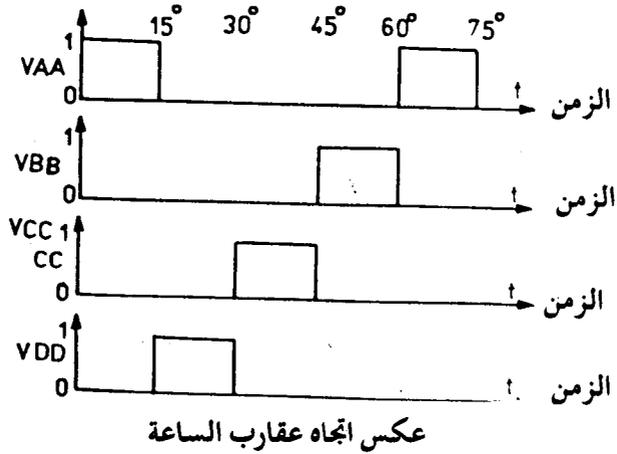
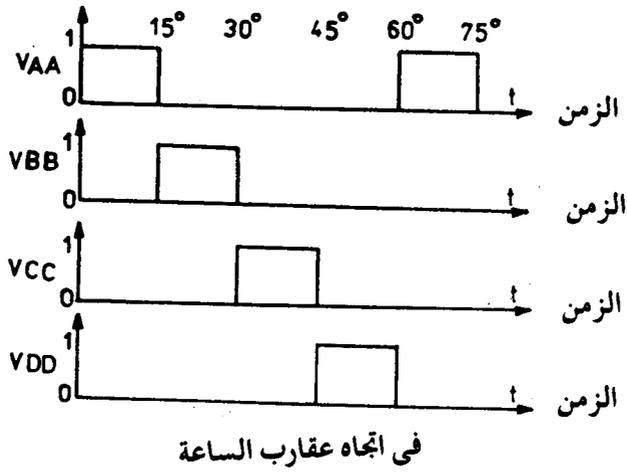
حيث إن :

- Θ زاوية الخطوة
- P عدد الأوجه أو الأقطاب
- n عدد أسنان العضو الدوار

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

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

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



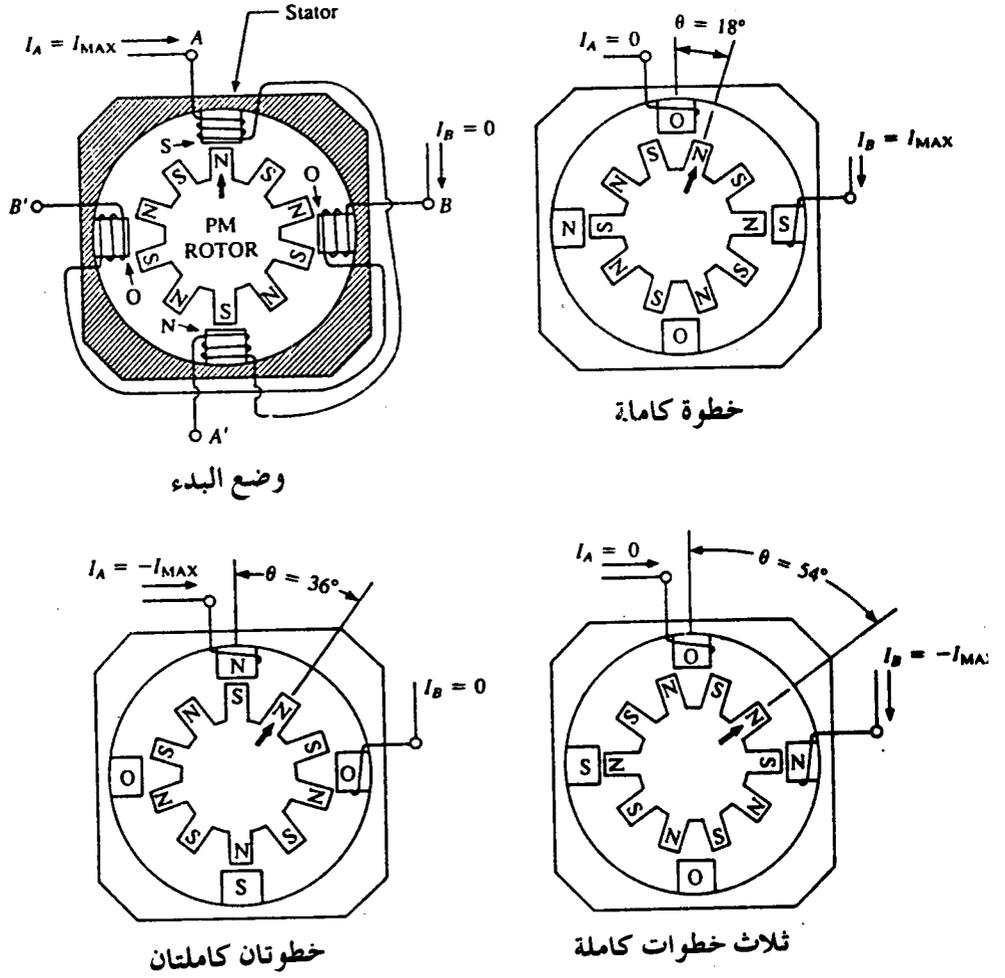
الشكل (١٢ - ٣)

٣ / ١٢ - تركيب ونظرية عمل الحركات 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 وبالتالي فإن زاوية

$$\Theta = \frac{360}{P_n} = \frac{360}{4 \times 6} = 180$$

الخطوة تساوى :



الشكل (١٢ - ٤)

والجدول (١٢ - ١) يبين تتابع التشغيل للدوران في اتجاه عقارب الساعة CW بخطوات

. كاملة Full Step

الجدول (١٢ - ١)

| الخطوة | الزاوية | I_A/I_{max} | I_B/I_{max} |
|--------|---------|---------------|---------------|
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 18 | 0 | 1 |
| 2 | 36 | -1 | 0 |
| 3 | 54 | 0 | -1 |

حيث إن :

I_A تيار الوجه A

I_B تيار الوجه B

I_{max} أقصى تيار للمحرك

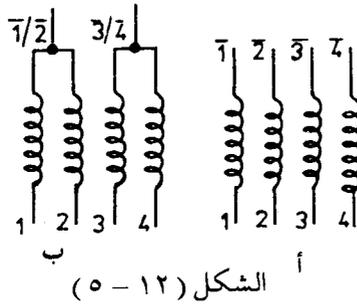
حيث يسمح بمرور تيار كهربي موجب في الملف AA' أى يكون اتجاه مرور التيار من A إلى A' وتكون قيمة هذا التيار مساوية التيار الأقصى للمحرك ، فيصبح القطب العلوى جنوبى S والقطب السفلى شمالى N فيتحرك العضو الدوار بحيث يكون القطب الجنوبى للعضو الثابت فى مواجهة أقرب الأقطاب الشمالية للعضو الدوار ، وبالمثل يصبح القطب الشمالى للعضو الثابت فى مواجهة أقرب الأقطاب الجنوبية للعضو الدوار، ويسمى هذا بوضع البدء ، وعند وصول تيار موجب للملف BB' قيمته تساوى التيار الأقصى للمحرك I_{max} يدور المحرك بزاوية 18° فى اتجاه عقارب الساعة ، وعند وصول تيار سالب للملف AA' أى يكون مرور التيار من A' إلى A بحيث يكون هذا التيار مساوياً التيار الأقصى I_{max} للمحرك، يتحرك المحرك بزاوية ثانية ، لتصبح زاوية الدوران الكلية من الوضع الابتدائى 36° وعند وصول تيار سالب للملف BB' يساوى التيار الأقصى I_{max} يدور المحرك خطوة ثالثة فى اتجاه عقارب الساعة ، وتكون بزاوية الدوران الكلية 54° 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 B, A, كما هو مبين بالجدول (١٢ - ٢) .

الجدول (١٢ - ٢)

| نصف خطوة | الزوايا | I_A / I_{max} | I_B / I_{max} |
|----------|---------|-----------------|-----------------|
| 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 :



الشكل (١٢ - ٥)

تشابه 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) .

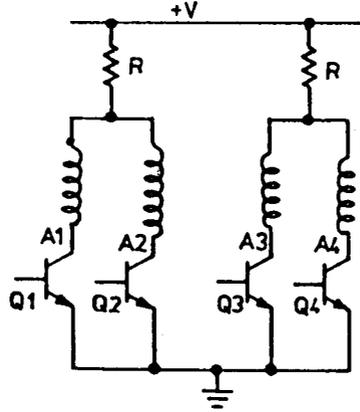
فى الشكل (أ) أربعة ملفات مستقلة، وفى الشكل (ب) أربعة ملفات كل ملفين لهما

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 باتتابع 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 باتتابع 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 باتتابع 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 |

٥ / ١٢ - المصطلحات الفنية المستخدمة مع المحركات الخطوية :

فيما يلي أهم متغيرات المحركات الخطوية :

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

٢ - المعدل الخطوى Stepping Rate وهو أقصى عدد من الخطوات التي يعملها المحرك في الثانية .

٣ - زاوية الخطوة Step angle وهى الزاوية التي 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 .

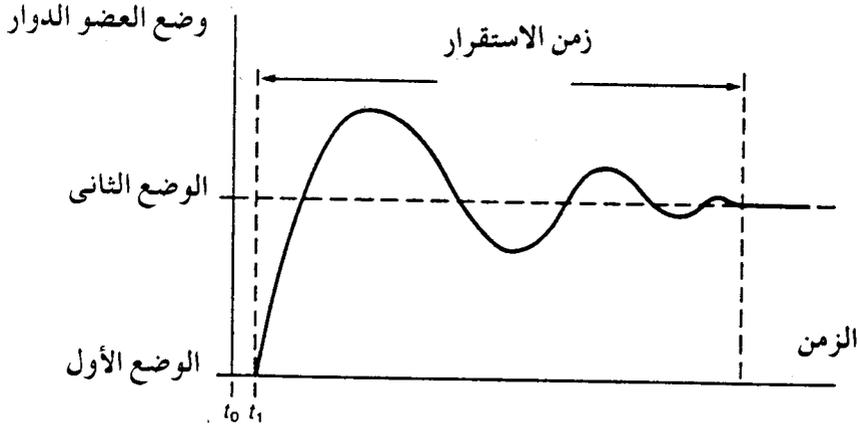
. عدد الأوجه أو الأقطاب P .

. عدد أسنان العضو الدوار n .

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

حيث إن :

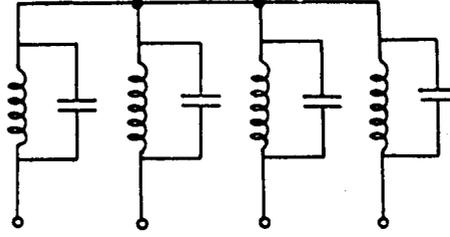
- . N عدد اللفات في الدقيقة
- . S / S عدد الخطوات في الثانية
- . Θ زاوية الخطوة



الشكل (١٢ - ٧)

والجدير بالذكر أنه يمكن زيادة سرعة المحرك الخطوى بزيادة تردد نبضات التشغيل ، ولكن هذه الزيادة قد تؤدي لحدوث تجاوز Overshoot كما هو مبين بالشكل (١٢ - ٧) .
فعند الزمن t_0 يكون المحرك فى الوضع الأول ، وعند الزمن t_1 تصل نبضة ملف 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 لخمّد 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)

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

هناك عدة حالات مختلفة لتشغيل المحركات الخطوية وهي كما يلي :

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 .

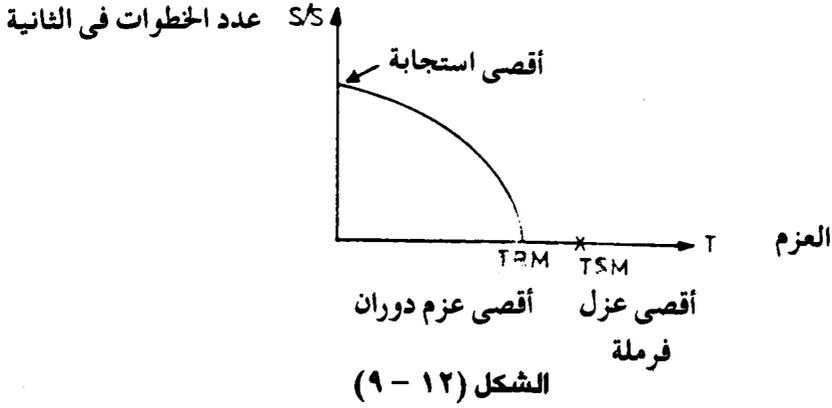
٣ - حالة الحركة فى الاتجاهين Bidirectional Mode ، فعادة تعمل المحركات الخطوية

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 .



٧ / ١٢ - مميزات وعيوب المحركات الخطوية :

أولاً : مميزات المحركات الخطوية :

- ١ - لا تحتاج لتغذية مرتجعة Feedback .
- ٢ - يمكن عمل تغذية مرتجعة تناظرية أو رقمية عند الحاجة للتحكم في الوضع أو السرعة أو الاثنين معاً .
- ٣ - الخطأ الحادث في كل خطوة لا يتراكم .
- ٤ - عند وصول المحرك الخطوي للموضع المطلوب واختفاء إشارات التشغيل يتوقف المحرك في الحال ، وإذا كان هناك عزم قصور ذاتي كبير للحمل ، فلا يحتاج لعمل خمد للاهتزازات .
- ٥ - يوجد مدى واسع لزوايا الخطوات المتاحة للمحركات الخطوية لمعظم الشركات المصنعة مثل : $1.8^\circ, 7.5^\circ, 15^\circ, 18^\circ, 47^\circ, 90^\circ$
- 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 الكمبيوتر .
- ٨ - لها تيار بدء صغير ، وعزم قصور ذاتي 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 يؤدي لتحرك المحرك فى أحد الاتجاهين بدون تحكم وتسمى هذه الظاهرة بالرنين Resonance .

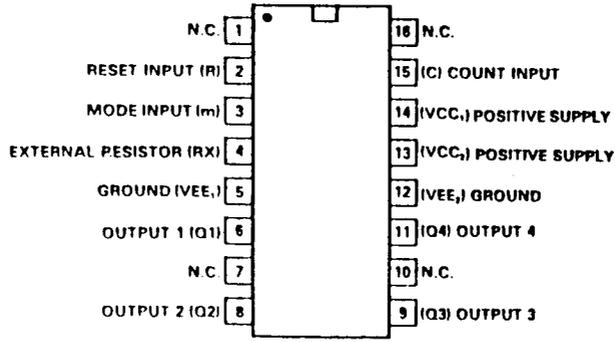
٨/١٢ - الدوائر المتكاملة المستخدمة فى تشغيل المحركات الخطوية :

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 18 V D.C : 9.5 ، 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 الابتدائي (فعالة عند الحالة المنخفضة) .
- 3 رجل حالة التشغيل فعندما تكون عند الحالة العالية يدور المحرك في عكس اتجاه عقارب الساعة ، والعكس بالعكس .
- 4 رجل مقاومة تحديد تيار المحرك حيث إن
- $$R_x = \frac{4E}{I} - 60$$
- 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 100Ω وبالأرضى من خلال مكثف 100 nf .
- 15 يوصل بمصدر نبضات الساعة .

والجدول (١٢ - ١٥ ، ب) يبين حالة الأرجل (6, 8, 9, 11) للدائرة المتكاملة SAA 1027 عند وصول نبضات ساعة مربعة للرجل 15 .

الجدول (١٢ - ٥)

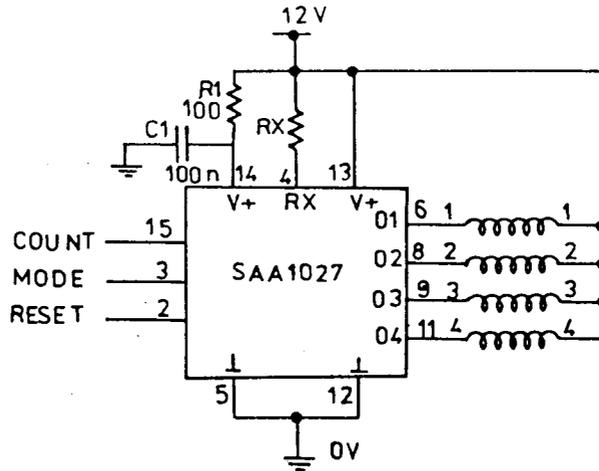
دوران في اتجاه عقارب الساعة (CW)

دوران عكس اتجاه عقارب الساعة (CCW)

| الرجل رقم الخطوة | 6 | 8 | 9 | 11 |
|---------------------|---|---|---|----|
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 3 | 1 | 0 | 0 | 1 |

| الرجل رقم الخطوة | 6 | 8 | 9 | 11 |
|---------------------|---|---|---|----|
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 3 | 0 | 1 | 1 | 0 |

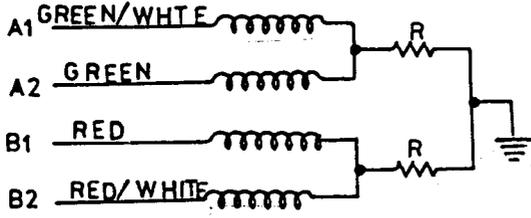
والشكل (١٢ - ١١) يبين طريقة استخدام الدائرة المتكاملة SAA 1027 .



الشكل (١٢ - ١١)

٩ / ١٢ - الدوائر العملية لتشغيل المحركات الخطوية :

الدائرة رقم 1 :



الشكل (١٢ - ١٢) يبين

دائرة القدرة لمحرك خطوي أربعة أوجه نوع MP .

والجدول (٦ - ١٢) يبين

النبضات اللازمة لتشغيل هذا

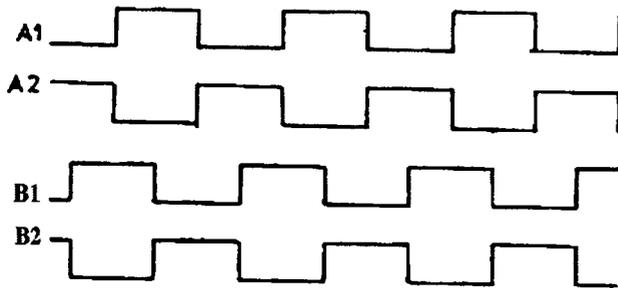
المحرك جهة عقارب الساعة CW

عند تحقيق التتابع التالي 1 ثم 2 ثم 3 ثم 4 .

ويدور في عكس اتجاه عقارب الساعة عند تحقق التتابع التالي 4 ثم 3 ثم 2 ، ثم 1 وهكذا

الجدول (٦ - ١٢)

| رقم الخطوة | A ₁ | A ₂ | B ₁ | B ₂ | المكافئ الثنائي |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 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 (١٣ - ١٢)

يبين شكل النبضات

المطلوبة لتشغيل هذا

المحرك .

الشكل (١٣ - ١٢)

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

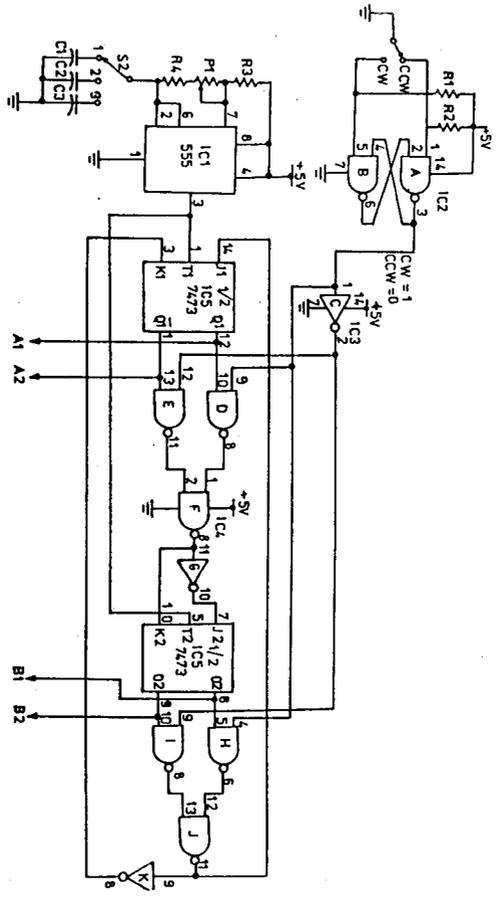
المدى الأول : (5 : 68 HZ) ، وذلك عند الوضع (1) للمفتاح S_2 ، ويتم ذلك بتغيير قيمة المقاومة P_1 .

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

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

عناصر الدائرة :

| | |
|---|---------------|
| مقاومات كربونية $1k \Omega$. | R_1, R_2 |
| مقاومة كربونية $2.7 k \Omega$. | R_3 |
| مقاومة كربونية $4.7 k \Omega$. | R_4 |
| مقاومة متغيرة $100 k \Omega$. | P_1 |
| مكثف كيميائي $1.5 \mu f$ وجهده 10V . | C_1 |
| مكثف كيميائي 150 nf وجهده 10V . | C_2 |
| مكثف كيميائي 15 nf وجهده 10V . | C_3 |
| مؤقت 555 . | IC_1 |
| دائرة متكاملة تحتوى على أربع بوابات NAND طراز SN 7400 . | IC_2 IC_3 |
| دائرة متكاملة تحتوى على ستة عواكس طراز SN 7404 . | IC_4 |
| دائرة متكاملة تحتوى على فلابين JK طراز SN 7473 . | IC_5 |

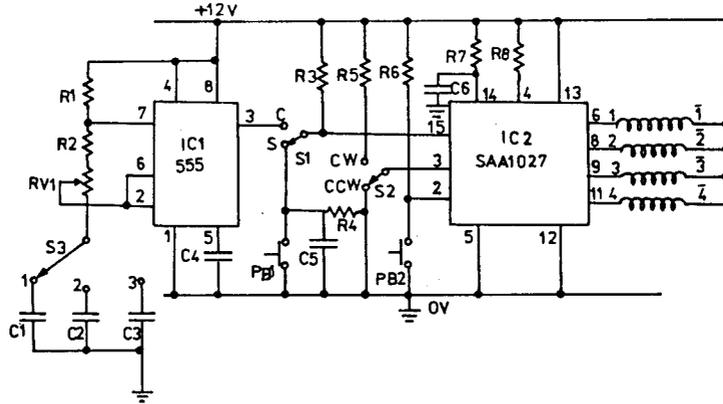


الشكل (١٣ - ١٢)

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 :

- | | |
|--|-------------------|
| . مقاومة كربونية $2.7 \text{ k } \Omega$ | R_1 |
| . مقاومة كربونية $4.7 \text{ k } \Omega$ | R_2 |
| . مقاومات كربونية $10 \text{ k } \Omega$ | R_3 , R_5 , R_6 |
| . مقاومة كربونية $440 \text{ k } \Omega$ | R_4 |
| . مقاومة كربونية 100Ω | R_7 |
| . مقاومة كربونية 120Ω | R_8 |
| . مقاومة متغيرة $100 \text{ k } \Omega$ | RV_1 |

| | |
|---|--------------|
| . مكثف سيراميك $1.5 \mu\text{f}$ | C_1 |
| . مكثف سيراميك 150 nf | C_2 |
| . مكثف سيراميك 15 nf | C_3 |
| . مكثف سيراميك 10 nf | C_4 |
| . مكثف سيراميك 100 nf | C_5, C_6 |
| . مؤقت زمنى طراز 555 | IC_1 |
| . دائرة متكاملة لمشغل محرك خطوى طراز SAA 1027 | IC_2 |
| . مفتاح قطب واحد سكتين | S_1, S_2 |
| . مفتاح قطب واحد بثلاث سلك | S_3 |
| . ضاغط بريشة مفتوحة | PB_1, PB_2 |

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 إذا كان المفتاح S_1 على الوضع CCW .

ويمكن تشغيل المحرك ليدير 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 آمام $Ranges$ 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 .

المدى الثاني : (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 : $48 = \frac{360}{7.5}$ ، ويمكن الحصول على سرعة المحرك من المعادلة التالية :

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

حيث إن :

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

فى المدى الاول 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 100Ω .

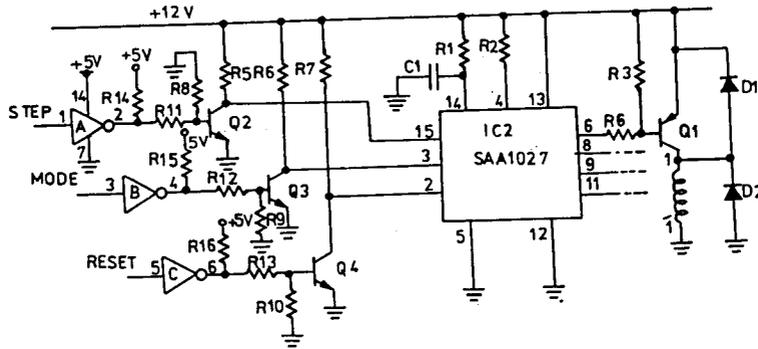
R_2 مقاومة كربونية 680Ω .

R_3 مقاومة كربونية 470Ω .

R_4 مقاومة كربونية 56Ω وقدرتها 3W .

R_5, R_6, R_7 مقاومات كربونية $2.7 k \Omega$.

- . مقاومات كربونية $10\text{ k}\Omega$ $R_8 - R_{13}$
- . مقاومات كربونية $1\text{ k}\Omega$ $R_{14} - R_{16}$
- . مكثف سيراميك 100 nf C_1
- . ثنائيات سليكونية طراز 1N 4001 D_1, D_2
- . ترانزستور PNP طراز MJE 2955 Q_1
- . ترانزستورات NPN طراز 2N 3904 $Q_2 - Q_4$
- . دائرة متكاملة تحتوي على ستة عواكس طراز 7404 IC_1
- . دائرة متكاملة طراز SAA 1027 IC_2



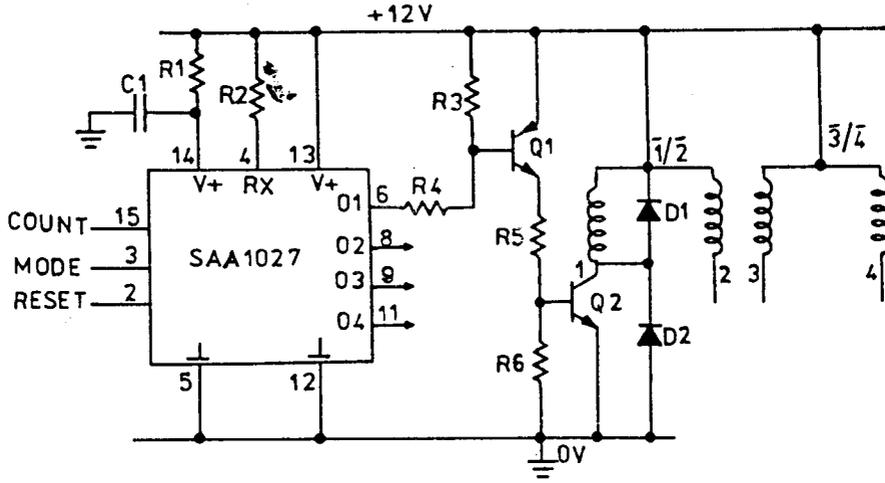
الشكل (١٢ - ١٦)

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 في اتجاه عكس عقارب الساعة ، إذا كانت حالة مدخل البوابة B منخفضة .

وعند وصول نبضة عالية لمدخل البوابة C يعود المحرك للوضع الابتدائي ، 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 :

- . مقاومة كربونية 100Ω R_1
- . مقاومة كربونية 680Ω R_2
- . مقاومة كربونية $1k \Omega$ R_3, R_4
- . مقاومة كربونية 56Ω وقدرتها 3W R_5
- . مقاومة كربونية 470Ω R_6
- . ثنائيات سليكونية طراز 1N 4001 D_1, D_2

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 .