الفصل الثامن 8

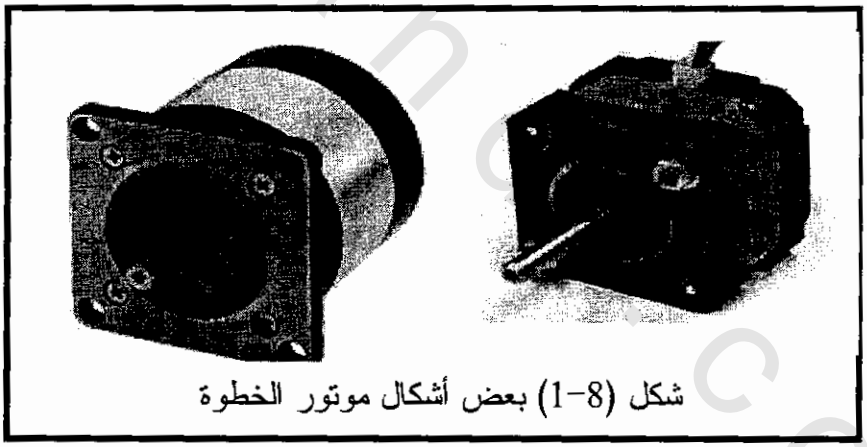
موتور الخطوة

Stepper Motor

obeikandl.com

8-1 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 حاسب بسهولة من خلال برنامج ينفذ بأى لغة من لغات البرمجة . شكل (8-1) 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 .

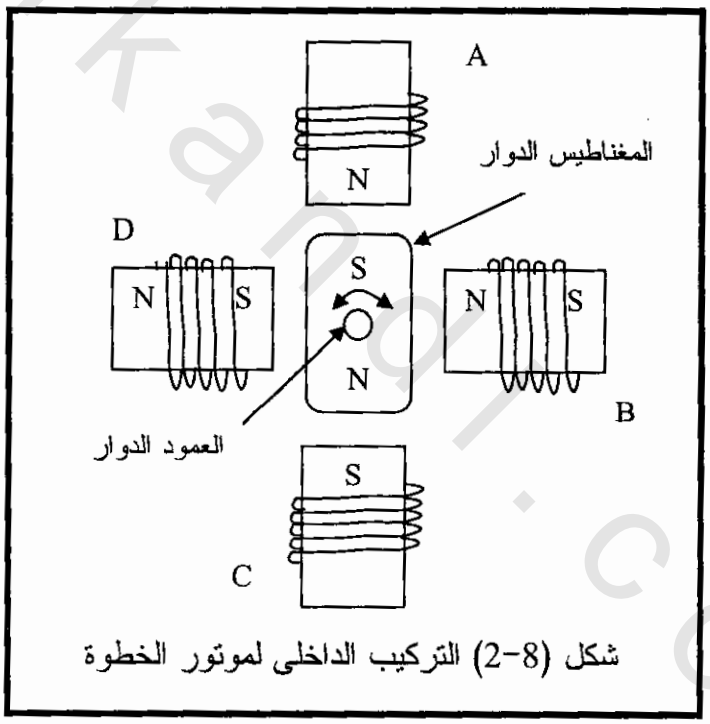


شكل (8-1) بعض أشكال موتور الخطوة

8-2 التركيب الأساسى لموتور الخطوة وكيفية عمله

هناك أنواعا عديدة من موتورات الخطوة ، ولكن فكرة عملها كلها سهلة وبسيطة وسنقوم بتقديمها فى هذا الجزء . شكل (8-2) يبين التركيب الأساسى لموتور الخطوة . نلاحظ من هذا الشكل أنه يتكون من 4 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 (8-2) 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 (8-2) 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 .



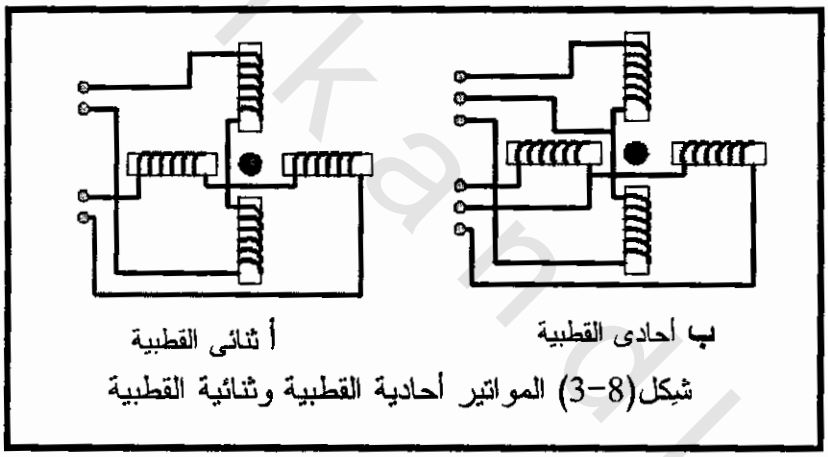
شكل (8-2) التركيب الداخلى لموتور الخطوة

إذا فصلنا التيار عن كل من A و C ، ووصلناه على كل من B و D فإن نفس الشىء 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 90 درجة .

3-8 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 (8-3أ). كما نرى من هذا الشكل فإن الموتور ثنائى القطبية يخرج منه 4 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 .

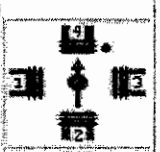
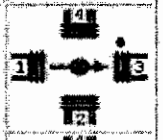
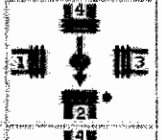
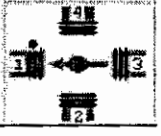


شكل(8-3) المواتير أحادية القطبية وثنائية القطبية

هناك التغذية الأحادية ، أو الموتور أحادى القطبية الذى يحتوى أيضا 4 ملفات ولكن يتم تغذية كل ملف على حدة ولذلك يخرج منه 6 أسلاك حيث يكون الطرف الآخر للتغذية هو الأرضى . أحيانا يتم توصيل طرفى الأرضى من داخل الموتور بحيث يخرج من الموتور 5 أسلاك بدلا من 6 . شكل (8-3ب) يبين شكل توضيحى لملفات الموتور أحادى القطبية .

شكل (8-4) يبين شكل توضيحى لطريقة دوران الموتور تبعا لتتابع تغذية الملفات حيث كما نرى فى هذا الشكل فإن مقدار الخطوة سيكون ربع لفة . شكل (8-5) 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

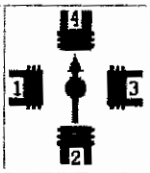
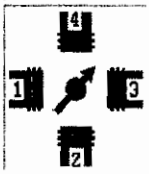
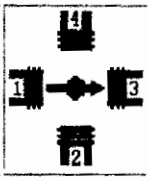
الجزء الدوار بينهما ، ثم تغذية الملف الأخير وحده فيقف الدوار فى مواجهته ، وهكذا حيث نرى أن خطوة الدوران فى هذه الحالة ستكون ثمن لفة . شكل (8-6) يبين رسم توضيحى لذلك .

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 (8-4) تغذية موتور أحادى القطبية بحيث يكون مقدار الخطوة ربع لفة

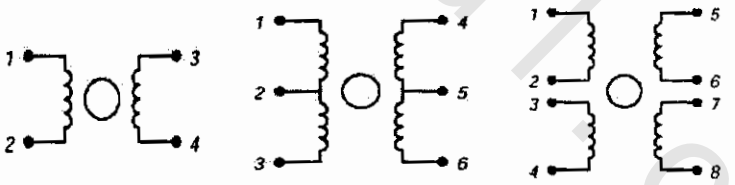
Step	Coil 4	Coil3	Coil2	Coil1	
b.1	on	on	off	off	
b.2	off	on	on	off	
b.3	off	off	on	on	
b.4	on	off	off	on	

شكل (8-5) 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 (8-6) تغذية ملف ، ثم ملفين ، ثم ملف ، وهكذا بحيث ينتج عن ذلك خطوة مقدارها ثمن لفة .

موتور الخطوة يمكن أن يوجد فى السوق وله 4 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 (8-7) يبين هذه الملفات .

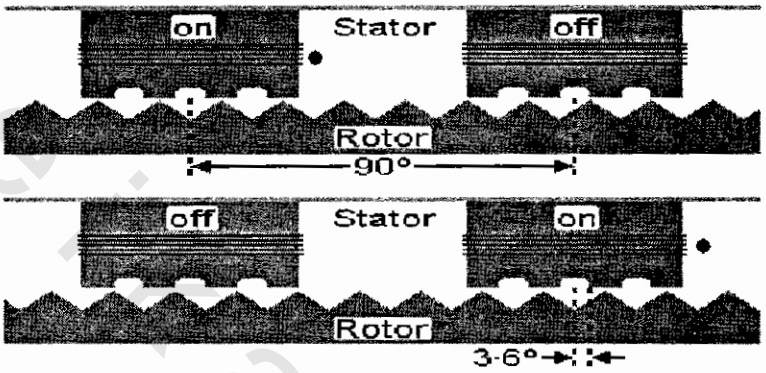


شكل (8-7) طريقة لف ملفات موتور الخطوة

8-4 مقدار خطوة الموتور

يمكن زيادة عدد الخطوات فى اللفة عن طريق عمل سنون فى كل من المغناطيس الدوار والثابت كما فى شكل (8-8) . إذا كان عدد السنون فى الدوار 25 سنة وكل مغناطيس من الأربعة المثبته به 4 سنون ، فإنه عند تغذية أحد الملفات الثابتة تكون أسنان الدوار فى منتصف أسنان الثابت ومقابلة لها . 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 360÷(4×25)=3,6 درجة . أى أنه سيكون هناك 100 خطوة فى كل لفة .



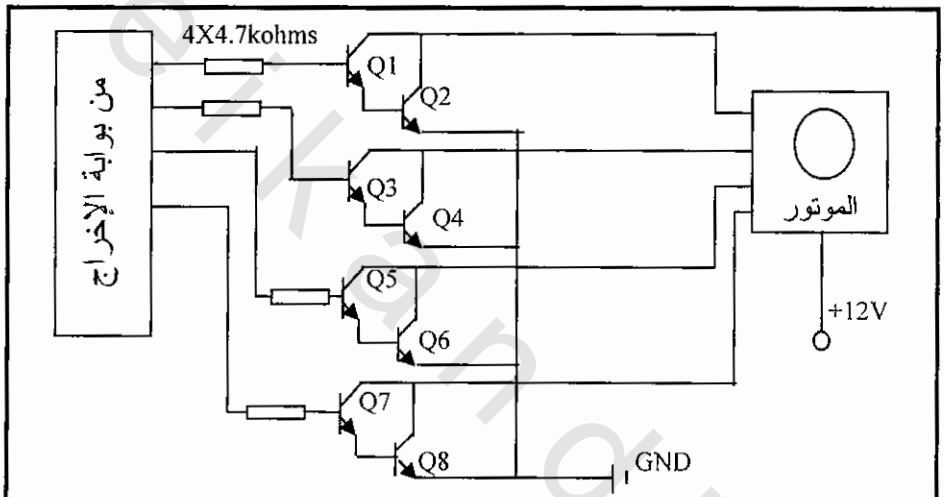
شكل (8-8) عمل سنون فى كل من الجزء الثابت والدوار للحصول على خطوة صغيرة مقدارها 3،6 درجة

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 أيضا . 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 .

8-5 إدارة موتور الخطوة

شكل (8-9) يبين دائرة مقترحة لإدارة موتور الخطوة . إن الخرج الرقمى القادم من بوابة الإخراج 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

(8-9) 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 2 ترانزستور كما فى الشكل السابق . فى الدائرة الموجودة فى شكل (8-9) تم تغذية التتابع فى صورة ثنائية من بوابة إخراج . شكل (8-10) يبين دائرة تتحكم فى إدارة موتور من موجة واحدة مربعة يتم تحويلها إلى تتابعات من 4 بت اللازمة لإدارة الموتور باستخدام عدادين ثنائيين .



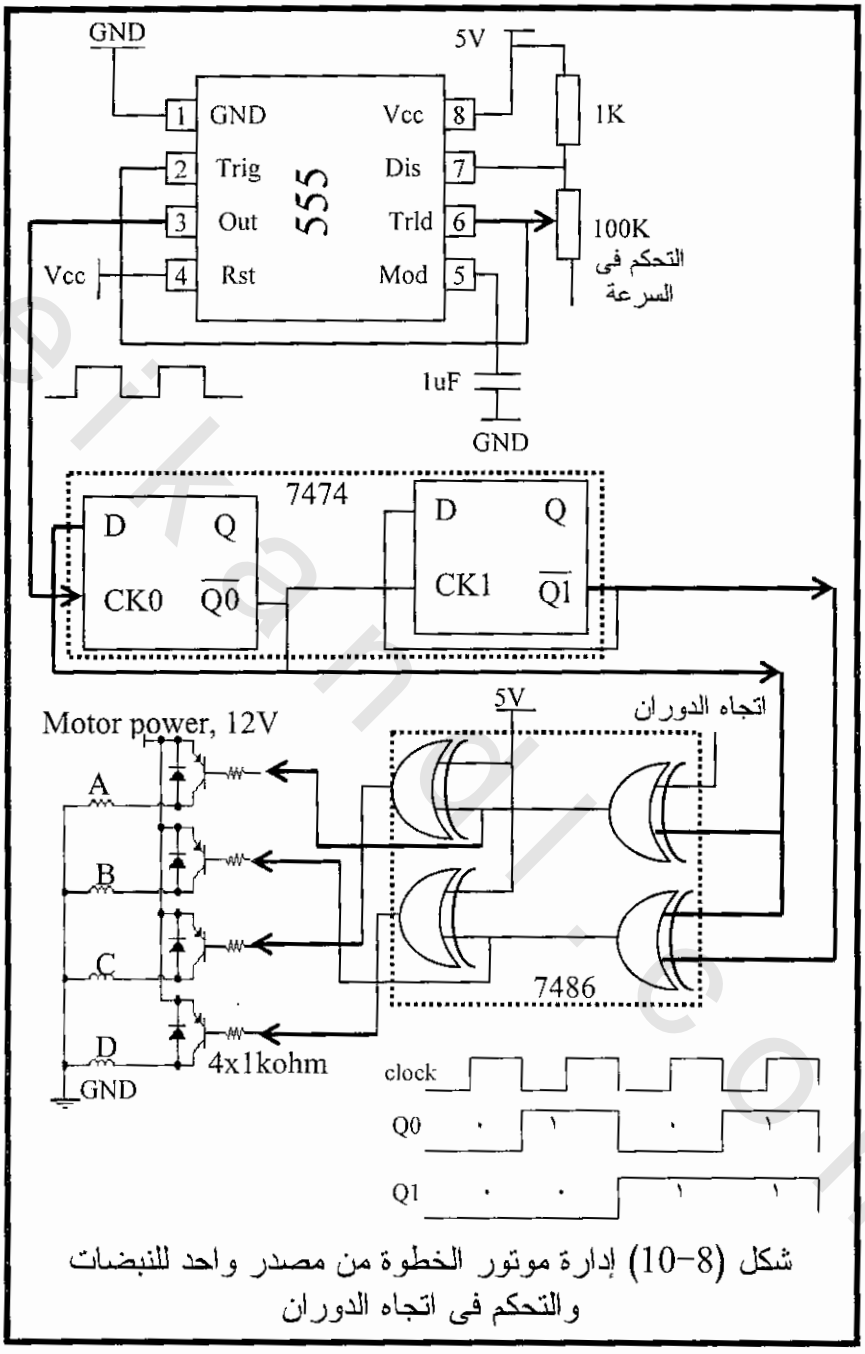
شكل (8-9) دائرة مقترحة لإدارة موتور الخطوة

شكل (8-10) يبين أيضا التتابعات الناتجة حيث تم استخدام الشريحة 555 فى وضع عدم الاستقرار للحصول على موجة مربعة نتحكم فى ترددها وبالتالى فى سرعة الموتور عن طريق تغيير المقاومة 100 كيلوأوم المتغيرة . هذه النبضات تم إدخالها على عدادين ثنائيين كل منهما يقسم الدخل على 2 . حيث كما نرى من شكل (8-10) 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 :... 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 .



شكل (8-10) إدارة موتور الخطوة من مصدر واحد للنبضات والتحكم فى اتجاه الدوران

obeikandl.com

برنامج إدارة موتور الخطوة السابق 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 8-7 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 8-1 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 .

obeikandl.com