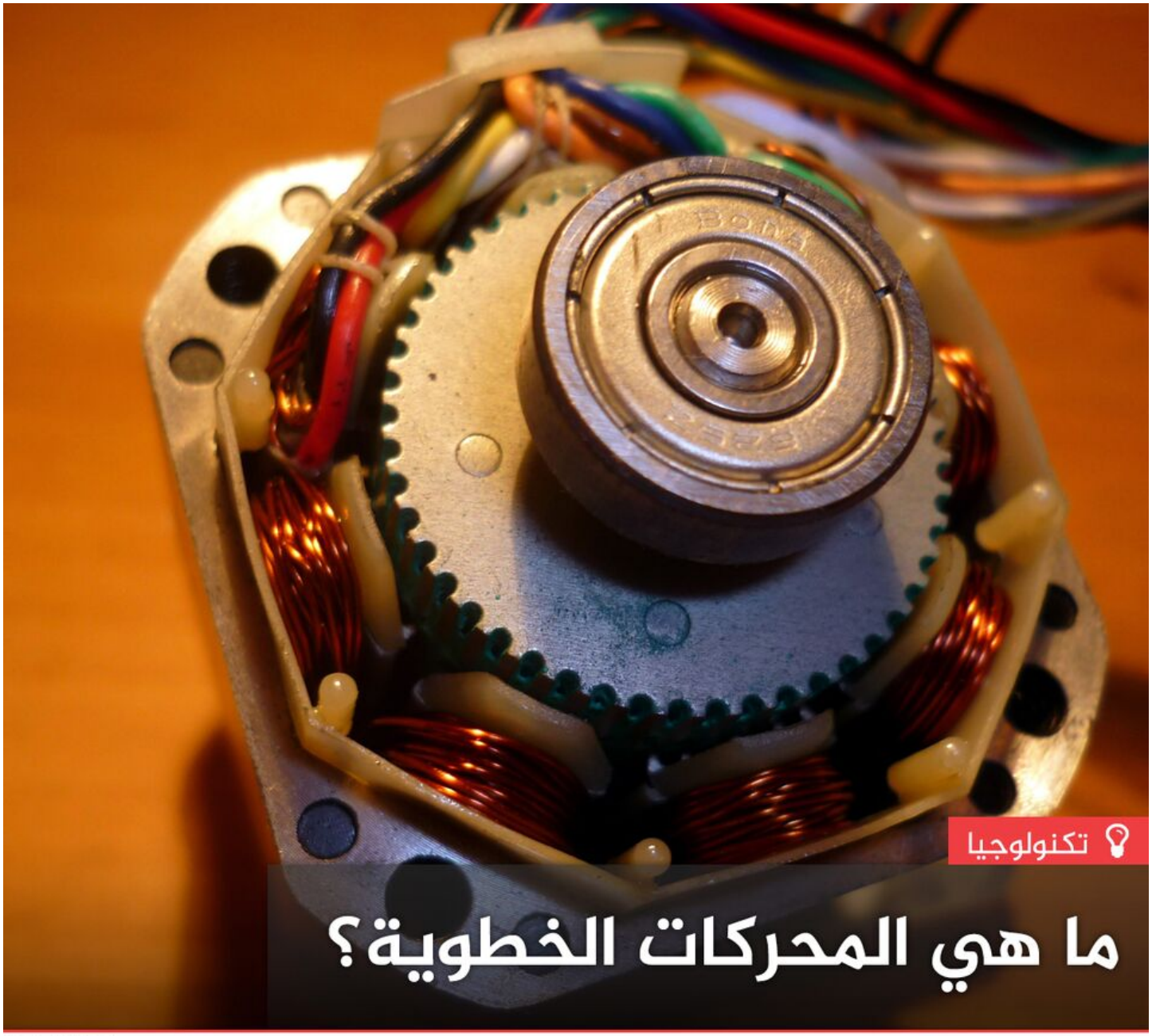
# المحركات الخطوية




**مقدمة عن المحركات الخطوية:**

المحرّك الخطوي **stepper motor** هو محرك كهربائي عديم المسفرات **brushless** ومتزامن **synchronous** يحوّل النبضات الرقميّة إلى دوران ميكانيكي للدوّار في المحرّك. تُقسّم كل دورة في المحرك الخطوي إلى عدد صحيح من الخطوات (200 خطوة في العديد من الحالات)، ويجب أن يتلقّى المحرّك نبضة مستقلّة لكل خطوة سيقوم بها. يستطيع المحرّك الخطوي القيام بخطوة واحدة فقط في الوقت الواحد، ولكل خطوة الحجم ذاته. وبما أنّ كل نبضة تسبّب دوران المحرك زاويةً محدّدة (عادة تكون 1.8 درجة) وبالتالي، يمكن التحكّم بموضع المحرك دون الحاجة لوجود أي نظام تغذية عكسيّة. ومع زيادة تردّد النبضات، تتحول الحركة الخطويّة بالتدريج إلى حركة دوران مستمر، حيث تكون سرعة الدوران متناسبة خطيّاً مع تردد النبضات. تُستخدَم المحرّكات الخطويّة يوميّاً في التطبيقات

الصناعيّة والتجاريّة، وذلك بسبب أسعارها المنخفضة، ووثوقيتها العالية، وعزومها المرتفعة عند السرعات المنخفضة، والتصميم البسيط والقوي أيضًا، ما يسمح لها بالعمل في معظم الأوساط.

**مزايا المحركات الخطويّة:**

---

تقوم بتحويل إشارات الدخل اللاخطيّة إلى إشارات خرج خطيّة. وهو أمر شائع بالنسبة لإشارات المزدوجة الحراريّة.

- تتناسب زاوية الدوران للمحرك مع نبضة الدخل.
- يتمتّع المحرك بالعزم الأعظمي عند الثبات (في حالة تم تغذية الملفات).
- يتميّز التموضع بالتكراريّة والدقّة الكبيرة، وذلك لأنّ المحركات الخطوية الجيدة تتحرك بدقة 3% حتى 5% من قيمة الخطوة الواحدة، وهذا الخطأ ليس تراكميّاً مع تتالي الخطوات.
- تملك استجابة ممتازة عند بدء الحركة، أو توقفها، أو عكس جهتها.
- ذات وثوقيّة مرتفعة جداً، وذلك لأنّها لا تحتوي على مسفرات. أي أن دورة عمل المحرك تعتمد على دورة عمل المدحرجات.
- استجابة المحركات الخطويّة لنبضات دخل رقمية تؤمّن إمكانيّة تشغيلها ضمن حلقة تحكم مفتوحة، ما يجعل التحكم بالمحرك أبسط وأقل كلفة بالمقارنة مع غيره.
- يمكن للمحركات الخطويّة أن تحقّق دوراناً متزامناً عند سرعات منخفضة جداً، ومع تعليق الحمل بشكل مباشر على محور الدوّار.
- ذو مجال واسع من السرعات الدورانية، وذلك لأنّها تتناسب مع تردد النبضات على الدخل.

**أنواع المحركات الخطوية:**

---

هناك ثلاثة أنواع رئيسيّة من المحركات الخطويّة: المُمانعة المتغيّرة، والمغانط الدائمة، والمختلطة (الهجينة). سنركّز في هذا المقال على المحركات الخطويّة المُختلطة، وذلك لأنّها تجمع بين أفضل المميزات الموجودة في المحركات ذات الممانعة المتغيّرة والمحركات ذات المغانط الدائمة. وتتكوّن من قسم ثابت له أقطاب بنتوءات (أسنان) متعدّدة، بالإضافة إلى قسم دوار عبارة عن مغناطيس دائم. في المحركات المختلطة النموذجيّة يتواجد 200 نتوء، ويدور بزاوية 1.8 درجة في كل خطوة. بما أنّ المحركات المختلطة تقدّم عزومًا كبيرة عند الحركة والثبات، وتعمل عند معدّل خطوات عالٍ جدًا، فهي تُستخدم في مجال واسع من التطبيقات التجاريّة بما فيها محركات أقراص الحواسيب، والطابعات أو الراسمات، ومشغلات الأقراص المضغوطة. كما يتم استخدام المحركات الخطويّة في بعض التطبيقات الصناعيّة والعلميّة بما فيها التطبيقات الروبوتيّة، وأدوات الآلات، وآلات الالتقاط والوضع، وفي آلات القطع والربط المؤتمتة للأسلاك، وحتّى في أجهزة التحكم الدقيق بالسوائل.

**أنماط الخطوات:**

---

تتضمّن أنماط الخطوات في المحركات الخطويّة: الخطوة الكاملة، ونصف الخطوة، والخطوة المُصغّرة. ويتعلّق نوع الخطوة التي يقوم بها المحرك الخطوي بتصميم دارة القيادة.

**الخطوة الكاملة Full Step:**

---

تمتلك المحركات الخطويّة المختلطة النموذجيّة 200 سن على الدوّار، أو 200 خطوة كاملة لكل دورة لمحور المحرك. وبتقسيم 360 درجة دورانيّة على 200 خطوة، نحصل على 1.8 درجة لكل خطوة. يمكن الحصول على الخطوة الكاملة عن طريق تشغيل كلا الملفين في المحرك ومن ثم عكس التيار فيهما بالتناوب. وبشكل أساسي، تُنتج نبضة رقمية واحدة من دارة القيادة خطوة واحدة في المحرك.

**نصف خطوة Half Step:**

وهي تعني ببساطة أن المحرك الخطوي يدور بـ400 خطوة لكل دورة (بالنسبة للمحركات النموذجيّة). وفي هذا النمط، يتم أولاً تغذية ملف واحد، ومن ثم تغذية ملفين بالتناوب، مما يؤدي إلى تحريك الدوار إلى منتصف المسافة بين الملفين، أي 0.9 درجة. نلاحظ أنّ نمط نصف الخطوة يقدّم حركة أنعم من نمط الخطوة الكاملة، ولكنها ذات عزم أقل بـ 30%.

**الخطوة المصغرة Microstep:**

وهي تقنية جديدة نسبيّاً، تقوم بالتحكم بالتيار ضمن ملفات المحرك بحيث تقسّم الوضعيات بين أقطاب المحرك أكثر مما يتم في نمط نصف الخطوة. ((قسم ترويجي تمت ترجمته بتصرف)) تستطيع بعض دارات القيادة تقسيم الخطوة الكاملة (1.8 درجة) إلى 256 خطوة مصغّرة، وينتج عن ذلك 51,200 خطوة في كل دورة (أي 0.007 درجة لكل خطوة). وتُستخدَم محركات الخطوات الصغريّة في التطبيقات التي تحتاج إلى تموضع دقيق وحركة أنعم ضمن مجال واسع من السرعات. وكما في نمط نصف الخطوة، يقدّم نمط الخطوة المصغّرة عزمًا أقل بـ 30% منه في نمط الخطوة الكاملة.

**التحكم بالحركة الخطيّة:**

يمكن تحويل الحركة الدورانيّة للمحرك الخطوي إلى حركة خطيّة باستخدام نظام قيادة مكوّن من محور ذو شرار (أو مسار) **lead screw**، أو ناقل حركة دوديّ **worm gear**. خطوة اللولب هي المسافة الخطيّة التي يتم قطعها مع كل دورة للولب. فإذا كانت خطوة اللولب مساوية لإنشٍ واحدٍ لكل دورة، ولدينا 200 خطوة محرّك كاملة في كل دورة، فستكون أصغر مسافة يمكن إنجازها للمحور مساوية لـ 0.005 إنش لكل خطوة محرّك. ويمكن الحصول على أقل من ذلك باستخدام المحرك الخطوي في نمط الخطوة المصغّرة وذلك بمساعدة دارة القيادة.

**الوصل التسلسلي والوصل التفرعي:**

هناك طريقتان لتوصيل المحرك الخطوي، وهما الوصل التسلسلي أو الوصل التفرعي. في الوصل التسلسلي يمكن الحصول على محارضة عالية (المحارضة من خصائص الملفات المكوّنة للمحرك)، وبالتالي الحصول على عزم أكبر عند سرعات منخفضة. في الوصل التفرعي ستنخفض المُحارضة مما يؤدي إلى تقديم عزم أكبر عند السرعات الكبيرة.

**نظرة عامة على تقنية دارة القيادة:**

تتلقى دارة قيادة المحرك الخطوي إشارة الخطوة واتجاه الدوران من المُفهرس**indexer** أو نظام التحكّم وتحوّلها إلى إشارات كهربائيّة لتشغيل المحرك الخطوي. تلزم نبضة واحدة لتحريك محور المحرك بمقدار خطوة واحدة. في نمط الخطوة الكاملة، وفي المحركات القياسيّة التي تعمل بـ200 خطوة، يجب تقديم 200 نبضة ليُتم المحرك دورة واحدة كاملة. وتتعلق سرعة الدوران طرداً مع تردد النبضات. تحتوي بعض دارات القيادة على هزّازات مدمجة تسمح باستخدام إشارات تشابهية خارجيّة أو عصى تحكم لتحديد سرعة المحرك.

يعتمد أداء المحرك الخطوي من حيث السرعة والعزم على تدفق التيار القادم من دارة القيادة إلى ملفات المحرك. المحارضة هي المعامل الذي يكبح من ذلك التدفق، أو يحدّد الزمن اللازم ليتم شحن الملفات. تؤدي هذه المحارضة إلى تصنيع دارات قيادة قادرة على إعطاء

جهود على خرجها أكبر من الجهد الاسمي للمحرك. حيث كلما كان جهد خرج دارة القيادة أكبر كلما زاد مستوى العزم مع السرعة. وبشكل عام، يجب أن يكون جهد خرج دارة القيادة الاسمي أكبر من جهد المحرك الاسمي من 5 إلى 20 مرّة. ولحماية المحرك من التضرّر، يجب أن تكون دارة القيادة ذات تيار محدود ولا تمرر أكثر من التيار الاسمي للمحرك الخطوي.

**نظرة عامة على المفهرس Indexer**

---

يزوّد المفهرس (أو المتحكّم) دارة القيادة بإشارات الخطوات واتجاه الدوران. وتتطلّب معظم التطبيقات من المفهرس أن يقوم بإدارة إشارات التحكّم الأخرى أيضا بما فيها التسارع، والتباطؤ، ومعدّل الخطوات في الثانية والمسافة. كما أنّ المفهرس قادر على استقبال العديد من الإشارات الخارجية والتحكم بها.

التواصل مع المفهرس يتم عن طريق المنفذ التسلسلي **RS-232** وأحيانًا عن طريق المنفذ **RS485**، وفي كلتا الحالتين يكون المفهرس قادرًا على تلقّي أوامر عالية المستوى من الحاسب المضيف وتوليد نبضات الخطوة والاتجاه الضروريّة لعمل دارة القيادة.

يحتوي المفهرس على أدوات دخل/ خرج **(I/O)** مساعدة لمراقبة إشارات الدخل من مصادر خارجيّة ومنها مفاتيح الانطلاق Go، والعَدو **Jog**، والعودة إلى البداية **Home**، والنهاية **Limit**. كما أنّه (المفهرس) قادر على توليد وظائف أخرى في الآلة عن طريق منافذ الدخل/ الخرج **I/O output**.

**العمل بشكل مستقل:**

---

في نمط العمل المستقل يمكن للمفهرس العمل بشكل مستقل عن الحاسب المضيف. بمجرد أن يتم تنزيل برامج الحركة إلى الذاكرة الدائمة، سيكون من الممكن بدء هذه البرامج من خلال عدّة أنواع من واجهات التشغيل مثل لوحة المفاتيح، أو شاشة اللمس، أو من خلال مفتاح متصل عبر منافذ الدخل/ الخرج **I/O inputs** المساعِدة. عادة ما يكون نظام التحكم بالعمل المستقل للمحرك الخطوي مضمّناً مع دارة القيادة وعلبة التغذية إضافة إلى إمكانية توصيل التغذية العكسية من مُشفّر موضع من أجل تطبيقات "حلقة التحكّم المغلقة" والتي تتطلب إمكانيّة الكشف عن حالة توقف المحرك (غير المرغوب فيه بسبب إعاقة في الحمل على سبيل المثال)، ومعرفة التعويض الدقيق لتموضع المحرك.

**التحكم متعدد المحاور**

---

تملك معظم تطبيقات الحركة أكثر من محرك خطوي واحد بحاجة إلى تحكّم. في هذه الحالة، يمكننا اختيار نظام تحكم متعدد المحاور.

ففي بعض أجهزة الشبكات كـ **Hubs** (حيث الـ**Hub**: هو أحد أجهزة الشبكة المُستخدمة لربط الأجهزة ببعضها، يتلقّى هذا الجهاز الإشارة من أحد المنافذ وينقلها إلى جميع المنافذ الأخرى) في بعض أجهزة **Hubs** يمكن أن يتصل بها حتّى أربعة دارات قيادة لمحركات خطويّة، مع وصل كل دارة قيادة بمحرك خطوي منفصل. حيث يقدّم موزّع الشبكة **Hub** إحداثيّات الحركة للتطبيقات التي تحتاج درجة عالية من التزامن، كعمليّات القطع الخطيّة أو الدائريّة.

**اختيار المحرك الخطوي ودارة القيادة:**

---

يعتمد اختيار المحرك الخطوي على متطلبات التطبيق المرغوب من العزم والسرعة. ويمكن استخدام منحنى العزم-سرعة الخاص بكل

محرك لمعرفة فيما إذا كان قادراً على أداء المهمة. كما أن بعض دارات القيادة تكون أيضاً مزوّدة بتلك المخططات الخاصة بالمحركات. وفي حالة كان هناك أكثر من محرك واحد ودارة قيادة يحقّقان متطلّبات العزم والسرعة، فيمكن تقليص الخيارات بالاعتماد على متطلبات النظام الحركي من حيث الخطوة وجهة الدوران، وإمكانيّة البرمجة للعمل بالنمط المستقل، ووجود مداخل تشابهيّة، ونمط الخطوة المصغرة، ومن ثم اختر أحد المحركات المُوصى بها والمناسبة لدارة القيادة تلك، حيث أنّ قائمة المحركات الموصى بها تعتمد على اختبارات مكثفة أجراها المصنعون لضمان الأداء الأمثل للمحرك الخطوي مع دارة القيادة الخاصة به.

- التاريخ: 2016-05-26
- التصنيف: تكنولوجيا

#motors# #stepper #محرك #خطوي

## المصادر

- omega

## المساهمون

- ترجمة
  - رامي قباني
- مُراجعة
  - محمد اسماعيل باشا
- تحرير
  - أنس الهود
  - بنان محمود جوابره
- تصميم
  - Tareq Halaby
- نشر
  - أنس شامي