

المحركات الكهربائية Electric Motors

المحرك الكهربائي يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى حركة ميكانيكية و هو ما يشكل معكوس أداء المولد الكهربائي ففي كثير من التطبيقات يتشابه تكوين المحرك الكهربائي مع المولد الكهربائي.

ان معظم المحركات الكهربائية تعمل بواسطة الفيض المغناطيسي و لكن توجد بعض المحركات تعمل بوسائط أخرى مثل التأثير إلى Piezoelectric ان المبادئ الأساسية لعمل أي محرك كهربائي يعمل على أساس الفيض المغناطيسي هي في تولد قوة ميكانيكية على كل سلك عندما يقوم بالحث الكهربائي و موجود ضمن حقل مغناطيسي وتكون هذه القوة المتولدة ذات اتجاه عمودي على السلك و الحقل المغناطيسي ولذلك فإن المحركات الدوارة ترتب بشكل تؤدي فيه هذه القوة المتولدة عزمًا على محور الدوران للجزء الدوار من المحرك. ان معظم المحركات الكهربائية هي دورانية و لكن تتوفر بعض الأنواع التي توفر حركة خطية Linear type motor .

يتكون المحرك بصورة عامة من جزئين رئيسيين هما الجزء الساكن stator و الجزء المتحرك الدوار rotor. ويحتوي المحرك على مغناط كهربائية متألّفة من ملفات كهربائية (أسلاك كهربائية ملتفة حول إطار غالبا ما يسمى بـعضو الإنتاج Armature) و لذلك فإن إلى Armature هو ذلك الجزء من المحرك الذي يسلط عبره فرق الجهد للتيار الداخل إلى المحرك. ولذلك فإنه اعتمادا على نوع التصميم المعتمد للمحرك فإن Armature يمكن ان يكون الجزء الساكن Stator أو الجزء المتحرك الدوار Rotor. تاريخيا تم اختراع المحرك الكهربائي من قبل العالم مايكل فارادي في عام 1821.

أنواع المحركات الكهربائية

يمكن تقسيم أنواع المحركات الكهربائية إلى الأنواع التالية:

1- محركات التيار المتردد AC motors

ويمكن ان تكون على نوعين بشكل عام هي :

1. ذات الطور الواحد Single Phase.

2. ذات ثلاثة أطوار Three Phase.

أن محركات التيار المتردد تتوفر ضمن مدى واسع من القدرة يتراوح بين 100 (واط) و ميكرو (واط). توفر محركات التيار المتردد قدرة عالية و عزم دوران عالي و لذلك فإنها مناسبة عند التطبيقات التي تحتاج إلى قدرة كما أنها توفر كفاءة عالية و معولية جيدة (Reliability) إما أسلوب السيطرة عليها لتحقيق السرعة المختلفة فإنها و لغاية وقت قريب كانت تعتبر من الفعاليات المعقدة حيث تحتاج إلى السيطرة على التردد (Frequency) من خلال السيطرة على قيمة التردد المجهز فبصورة عامة يتم حساب السرعة الناتجة من محرك متردد كما يلي :

$$N_{Ac \text{ motor}} = 120 * \text{Frequency} / \text{Number of poles}$$

هنالك نوعان من محركات التيار المتردد. النوع الأول يسمى المحرك الحثي (Induction motor) وفي بعض الأحيان يسمى (محرك لا تزامن) لأن سرعة دورانه الناتجة اقل من سرعة المجال المغناطيسي للجزء الساكن و هذا النوع يكون ذو سرعة اقل من القيمة الناتجة في المعادلة أعلاه بقيمة تسمى الانزلاق (slip) والتي تزيد قيمتها مع زيادة العزم المتولد و لذلك فإن هذا النوع يكون ذو سرعة تقريبا مساوية لناتج المعادلة أنفة الذكر في حالة عدم وجود حمل Load (ممانعة) إلا ان سرعته

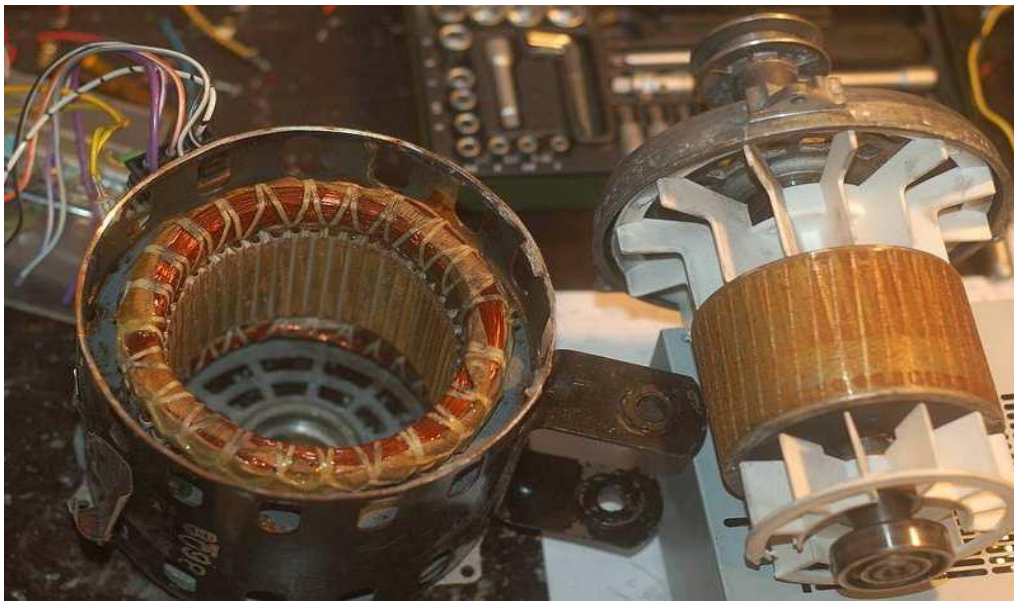
تنخفض للأنواع القياسية من هذا النوع بحدود 2-3% و لأنواع متخصصة منه قد تصل قيمة الانزلاق بحدود 7% من السرعة. كما يتوفر نوع متخصص من هذا النوع من المحركات يسمى محرك العزم يمكن تشغيله و تسليط حمل عالي عليه لغاية بلوغ قيمة الانزلاق slip حتى 100% أي ان سرعته في هذه الحالة تصل إلى الصفر (تذكر هنا بأن معادلة القدرة هي $P = F \cdot V$).

أن قيمة الانزلاق slip هي :

$$\text{Slip} = (N_{\text{According to the above eq.}} - N_{\text{Actual}}) / N_{\text{According to the above eq.}}$$

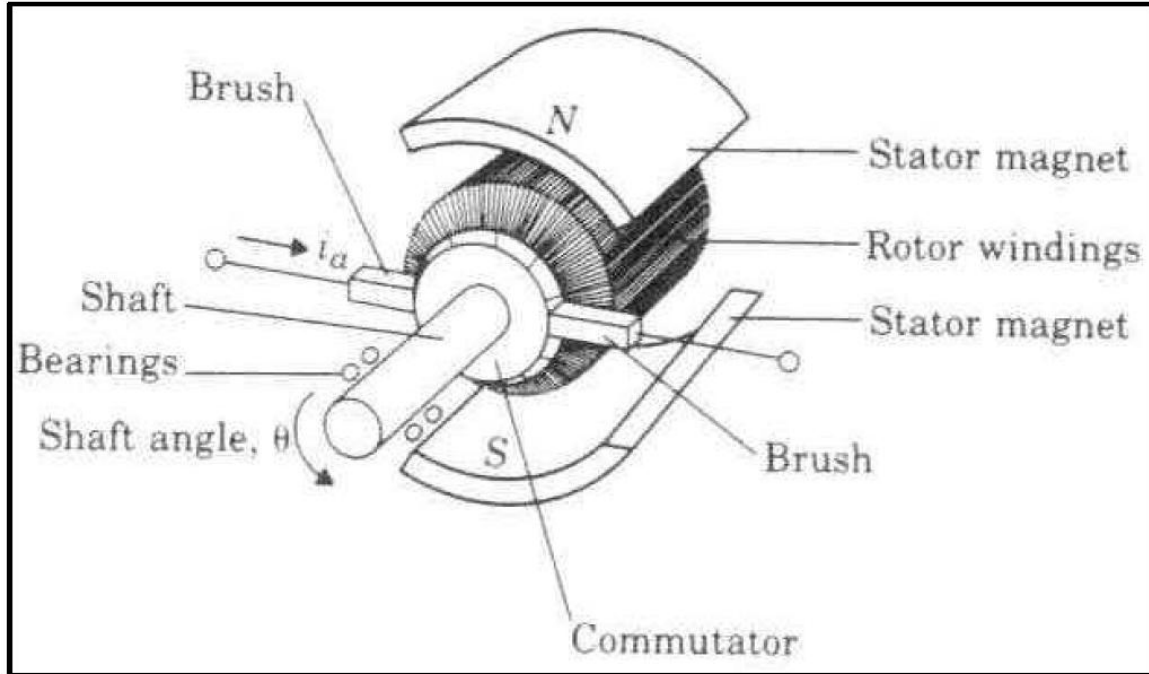
إما النوع الثاني من محركات التيار المتناوب فهي المحركات المتزامنة (Synchronous Motor) وتسمى كذلك لأنه سرعة دورانها تساوي سرعة دوران المجال المغناطيسي للجزء الساكن للمحرك (stator).

بصورة عامة تكون محركات التيار المتناوب ثقيلة الوزن وذات هيكل تصميمي معقد. ان المحركات ذات الثلاثة أطوار توفر إمكانية سيطرة أفضل وتكون ملفات الحث لها متعددة.



2- محركات التيار المستمر Dc motors

يعود اكتشافها إلى العالم زينوب كرام عام 1873م. النوع التقليدي من محركات التيار المستمر (DC Motors)، يضم المنتج أو المحرض (Armature) دوار نتيجة للفيض الناتج من مغناطيس كهربائي ذو وصليتي ربط Two Poles. ولكي يتم ضمان إجراء الدوران فإن هنالك مفتاح دوار يسمى المراكم (commutator) يعمل بواسطة عكس اتجاه التيار الكهربائي مرتين في كل دورة و بذلك فإن إلى Armature يستمر بالدوران كنتيجة لعملية الدفع والسحب التي يؤمنها أسلوب عكس اتجاه التيار الكهربائي. فعند وصول نقاط الربط (وصلة الربط) poles إلى Electromagnet Armature إلى وصلات الربط للمغناطيس الدائم فإن المراكم يعكس القطبية polarity للمغناطيس الكهربائي الخاص بالـ Armature و بالتالي يواصل المحرك دورانه حيث ان الزخم يضمن بقاء المحرك بالدوران خلال زمن تبديل اتجاه القطبية.



أن محركات التيار المستمر DC Motors تعتمد على مقداري الفولتية و التيار المجهز إلى ملفات المحرك و كذلك على الحمل المسلط على المحرك و عزم التوقف للمحرك ويمكن تثبيت حقيقة بأن :

• سرعة المحرك DC Motors تتناسب مع الفولتية

• عزم المحرك DC Motors يتناسب مع التيار.

ولذلك فإن السيطرة على المحركات من نوع التيار المستمر تتم من خلال السيطرة على فرق الجهد المسلط او التيار المجهز.

ان محركات التيار المستمر توفر إمكانية الحصول على سرع عالية تفوق 3000 دورة في الدقيقة مما يجعلها مناسبة لاستخدامات متعددة ولسهولة السيطرة عليها فإن محركات التيار المستمر تعتبر المفضلة عند الحاجة لاستخدامها في مواقع تحتاج إلى دقة سيطرة عالية على السرعة او الموقع و كذلك عند الحاجة إلى محركات ذات ضوضاء قليل وذات كفاءة عالية إلا أن محركات التيار المستمر هي أغلى سعرا من مثيلاتها ذات التيار المتناوب .

أمثلة استخدام محركات التيار المستمر (المكنائ المبرمجة CNC والروبوتات - الإنسان الآلي- المراوح و المثاقب وسواقات الطابعات والأقراص CD و Disks كذلك ماسحات الزجاج في السيارات الخ.

أن هذا النوع من المحركات يمكن أن يوفر عزم عالي جدا عند السرع الواطئة وهذه ميزة يضاهي فيها أنواع محركات التيار المتناوب ولكن يجب الانتباه بأن هنالك محدوديات لمحركات التيار المستمر ذات التصميم الكلاسيكي حيث ان تصميمها يتطلب وجود موصلات أو الفرشاة (Brushes تسمى بالمصطلح العامي في السوق بالـ فحمت) فائدتها توصيل التيار من الدائرة

الخارجية إلى المنتج (Armature) ولكن هذه الموصلات يؤدي احتكاكها إلى خسائر بالقدرة و كلما زادت سرعة دوران المحرك كانت هنالك حاجة إلى استخدام قوة أعلى على هذه الموصلات لضمان ملامتها مع الجزء الدوار للمحرك أن المساوي من وجود هذه الموصلات تتلخص بما يلي :

1- ضوضاء عند تشغيل المحرك (ضوضاء ميكانيكية و كهربائية).

2- محدوديات للسرع العالية.

3- يتطلب إبدال هذه الموصلات كلما تهرأت بفعل الاحتكاك.

لذلك فإن التصميمات الحديثة لهذه المحركات قد قلبت أجزاء المحرك فبدلاً من وضع المغناطيس الدائمة ضمن الجزء stator فإنها توضع ضمن الجزء الدوار Rotor ويكون الملف الكهربائي ضمن الجزء stator و لذلك فلا حاجة لوجود هذه الموصلات Brushes وتسمى هذه النوعية من المحركات بمحركات المستمرة " بدون الموصلات " Brushless DC Motors. أما في المحرك التقليدي المستمر DC فمن الواجب استخدام المبدل Commutator لعكس التيار المار عبر الملفات كل نصف دورة وذلك للمحافظة على دوران الملف في نفس الاتجاه. بينما يستخدم جملة من الدارات الإلكترونية لعكس التيار في المحرك ذي المغناطيس الدائم العامل بدون الموصلات.

على الرغم من المحركات المتناوبة AC أرخص وأكثر متانة ووثوقية من المحركات المستمرة إلا أن المحافظة على السرعة الثابتة والتحكم بتلك السرعة يعتبر عموماً أكثر تقيداً من المحركات المستمرة DC. وكنتيجه لذلك تستخدم المحركات المستمرة وخصوصاً محركات المغناطيس الدائمة العاملة بدون الموصلات (الفرشاة) بشكل أوسع للتحكم بالإغراض المتنوعة.

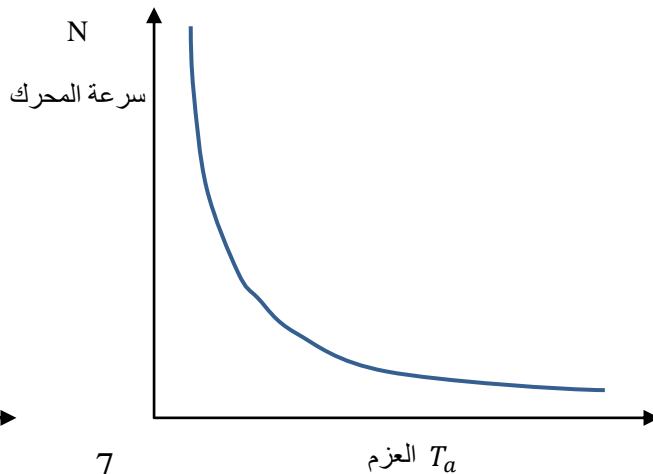
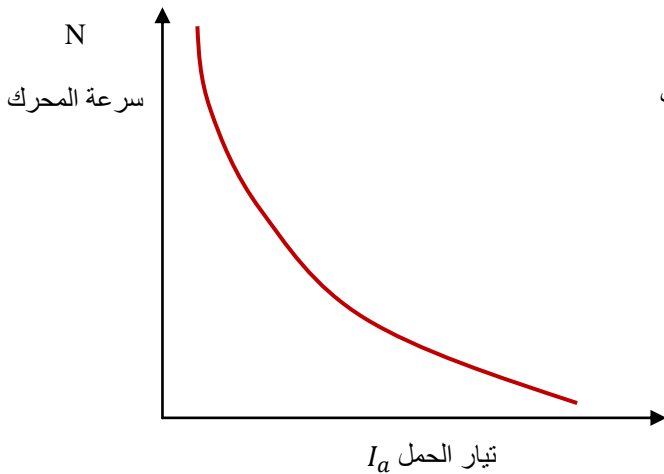
تمتاز محركات التيار المستمر بكونها محركات دورانية متوفرة ضمن مدى واسع من القدرات يتراوح بين أجزاء من (1) واط إلى عدة مئات من الكيلو واط وتمتاز بسهولة السيطرة على سرعتها. هنالك نوعين رئيسيين من محركات التيار المستمر هما:

1- ذو الملفات المربوطة على التوالي :- (ملفات الأقطاب ذات المقطع الكبير وعدد الملفات القليلة

للحافطة stator بالتوالي مع ملفات عضو الإنتاج Armature تكون مقاومته صغيرة جدا)

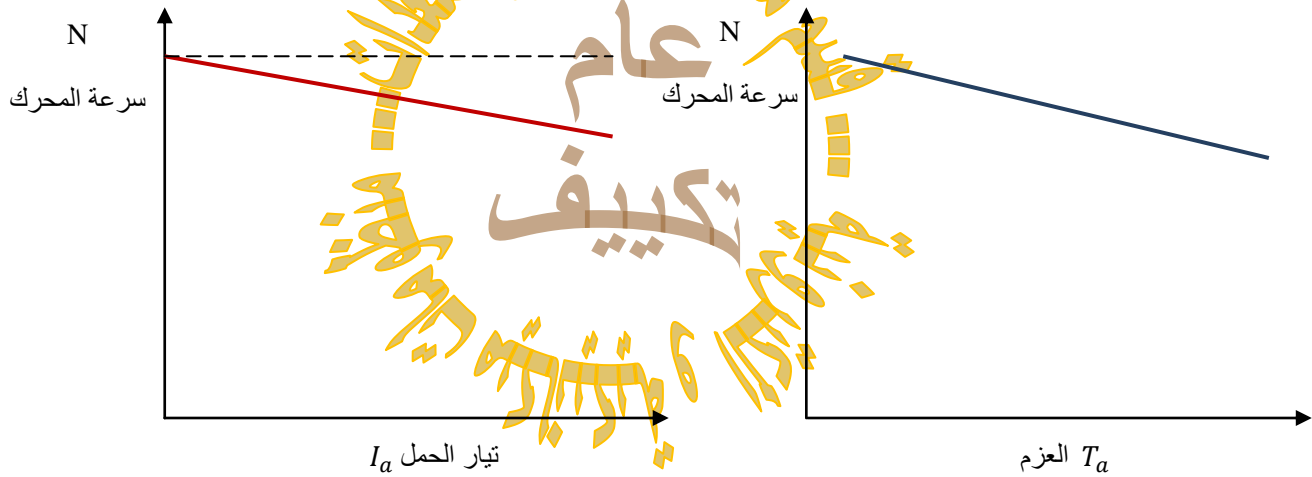
إذ يتم تنظيم السرعة للمحرك التوالي بالتحكم في جهد عضو الإنتاج (Armature) للحصول على المميزات الآتية:-

- عزم بدء دوران كبير عند السرعة الواطئة.
- وسرعة المحرك الكهربائي تقل كلما زاد الحمل وتزيد سرعته كلما قل الحمل
- تتخطى سرعته السرعة المسموح بها عند لا حمل (No Load) ولذلك يجب عدم تشغيله بدون حمل كي لا يتعرض إلى التلف كما لا يجوز دوران هذا المحرك وتحميله بواسطة السيور (Belt) خوفا من قطعها أو انزلاقها فتزيد السرعة وتسبب تلف المحرك.
- يستخدم في آلات السحب الكهربائي (المضخات، القطارات الكهربائية، الرافعات..... وفي الأعمال التي تتطلب الأحمال العالية).



2- ذو الملفات المربوطة على التوازي:- (ملفات الأقطاب ذات المقطع الصغير وعدد اللفات الكثيرة للحفاظة Stator بالتوازي مع ملفات عضو الإنتاج Armature تكون مقاومته كبيرة) إذ يتم تنظيم السرعة للمحرك التوازي بالتحكم في تيار الأقطاب (ملفات التوازي) للحصول على المميزات الآتية:-

- يمتاز المحرك بثبات سرعة دورانه تقريبا للأحمال المختلفة.
- يعطي عزم دوران مناسب مع تيار الحمل ولذلك لا يجب تحميله قبل الدوران.
- لا تتخطى سرعته السرعة المسموح بها عند لا حمل (No Load).
- ذو الملفات المربوطة على التوازي للحصول على سرع عالية وعزم قليل .



كما توجد أنواع توفر النوعين معا (توازي وتوالي) للحصول على موازنة بين السرعة والعزم تدعى بالمحركات المركبة. تكون ملفات الأقطاب التي تتكون من ملفات تتصل بالتوازي مع المنتج وملفات التوالي التي تتصل بالتوالي مع المنتج.

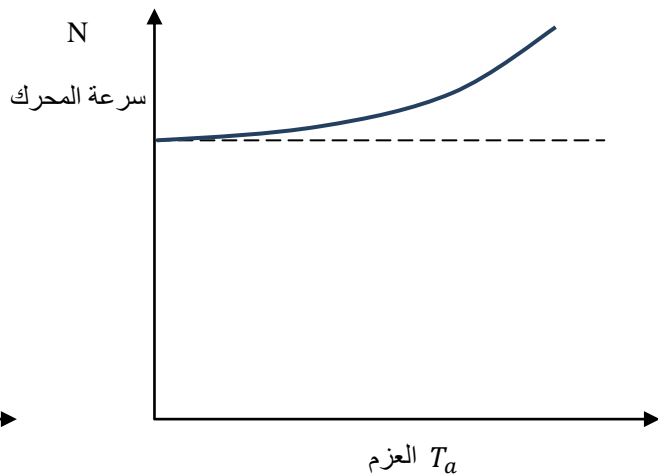
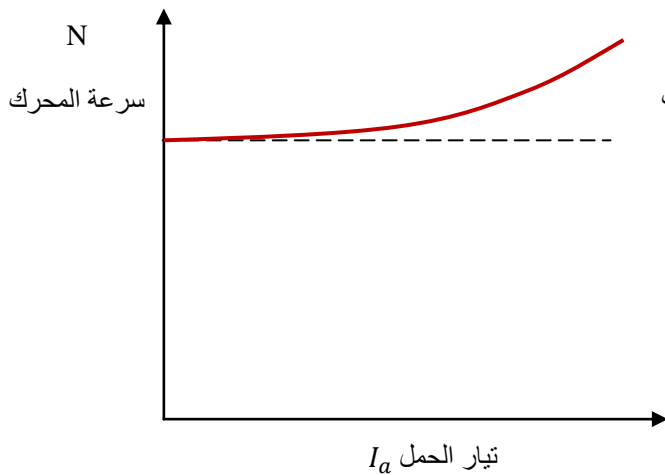
تنظيم سرعة المحرك:-

- التحكم في تيار ملفات التوالي.
- التحكم في جهد المنتج.

خواص هذا المحرك:-

- له عزم دوران قوي عند بدء الحركة
- سرعته ثابتة تقريبا مهما تغير الحمل
- يمكن تحميله فوق الحمل الكامل له

يستخدم في الحالات التي تتطلب سرعة ثابتة وعزم بدء قوي وذات أحمال فجائية مثل آلات التجليخ واللات الحفر والمصاعد.....الخ.



محركات الخطوة (Stepper Motors)

تعد محركات الخطوة واحدة من المحركات الخاصة التي تكون ذات طبيعة رقمية (أي أنها تعمل بالنبضات الرقمية) إذ يعتمد مبدأ عملها على أن كل نبضة تجهز إلى لفائف الساكن تؤدي إلى دوران الدوار خطوة واحدة وبسبب هذه الخاصية أصبحت محركات الخطوة الأكثر استخداماً في مجالات عديدة ومن أهمها مجال السيطرة الرقمية والحاسبات و الطابعات والأدوات الآلية. تؤمن محركات الخطوة Step motors حركة زاوية (دورانية لجزء من الدورة تتناسب مع عدد النبضات المجهزة للمحرك) و غالباً ما تقسم الدورة الكاملة إلى عدد من الخطوات كل منها بقيمة 2.5 درجة أو 7.5 أو 15 درجة. إذا أعطت إحدى نبضات الدخل دوراناً قدره 1.8° مثلاً فإن عشرين نبضة مثلاً سوف دوراناً قدره 36° ، وللحصول على دوران كامل قدره 360° فإنه يلزمنا 200 نبضة رقمية لتحقيق ذلك، وبالتالي يمكن استخدام محرك الخطوة للحصول على الوضع الزاوي الدقيق (Accurate Angular Positioning).

وبشكل عام توجد ثلاثة أنواع رئيسية لمحرك الخطوة هي:-

1- محرك الخطوة متغير المعاوقة Variable Reluctance Stepper Motor:

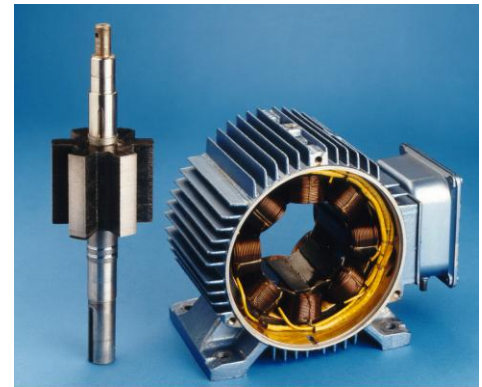
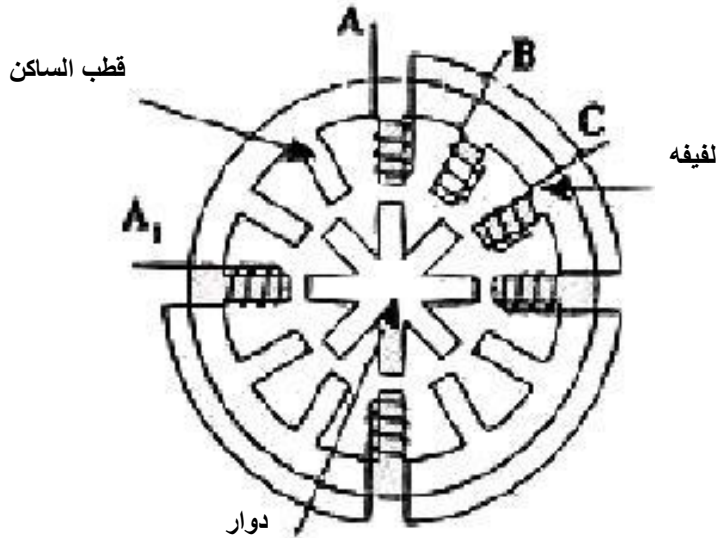
يتكون ساكنه من مجموعة واحدة ويحتوي على لفيته متعددة الأطوار توضع على أقطاب بارزة وتتغذى بالقدرة من نظام السيطرة أما دواره فيصنع من الحديد المطاوع ولا يحتوي على مغناطيس دائم. يعتمد مبدأ عمل محرك الخطوة متغير المعاوقة أحادي المجموعة على أن الدوار يتخذ الموقع الذي تكون فيه المعاوقة لمرور خطوط الفيض المغناطيسي هي الأدنى (وهو الموقع الذي يكون فيه أسنان الساكن والدوار متطابقة) أن تغير طور الإثارة يعمل على تغير الموقع ذي المعاوقة الأدنى لذلك فإن الدوار ينتقل خطوة واحدة إلى أقرب موقع تكون فيه المعاوقة بأدنى قيمة . عليه فإن تغير

تردد النبضات التي تجهز إلى لفائف الساكن سوف يسيطر على سرعة المحرك وان عدد هذه النبضات يحدد الإزاحة الزاوية للمحور ، ويحدد تسلسل تجهيز تلك النبضات إلى لفائف الساكن اتجاه الدوران ، يبين الشكل (1) محرك خطوة متغير المعاوقة حيث يتكون ساكنه من أربعة مجاميع أقطاب (A, B, C) وبزاوية خطوة مقدارها 15° .

إن مرور التيار في لفائف القطب (A) يسبب جذب مغناطيسي يعمل على مطابقة أسنان الدوار مع القطب A ، إما عند إثارة القطب B فان ذلك يؤدي إلى حركة الدوار بزاوية خطوة مقدارها 15° لمطابقة أسنانه مع القطب B وهكذا الحال عند إثارة القطب C ثم العودة إلى القطب A وبهذا التعاقب $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ يكون اتجاه دوران المحرك باتجاه عكس عقارب الساعة ويمكن عكس اتجاه الدوران عن طريق عكس تعاقب إثارة الأطوار $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$

جدول (1): يبين تتابع أسلوب خطوة الموجة

Step No.	A	B	C
1	ON	-	-
2	-	ON	-
3	-	-	ON



شكل (1) : يبين محرك خطوة متغير المعاوقة أحادي المجموعة

إن عدد الخطوات في الدورة الواحدة لمحرك الخطوة يتكون ساكنه من (S) من الأقطاب ودواره من (P) من الأقطاب تحدد من خلال المعادلة الآتية:

$$N = \frac{SP}{S - P} \quad \dots\dots\dots (1)$$

حيث يمثل N عدد الخطوات في دورة واحدة

إما زاوية خطوة المحرك التي تعد من المواصفات المهمة التي تحدد استخدام المحرك فتحسب باستخدام المعادلة:

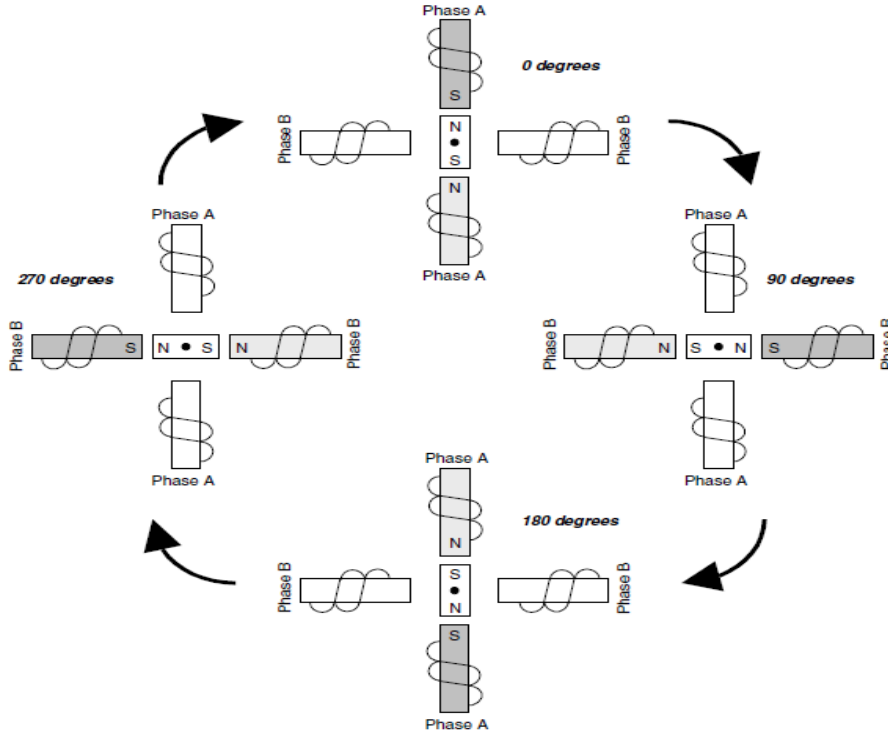
$$\varphi_s = \frac{360^\circ}{N} \quad \dots\dots\dots (2)$$

حيث تمثل: φ_s = زاوية الخطوة

2- محرك الخطوة بمغناطيس دائم (Permanent Magnet Stepper Motor)

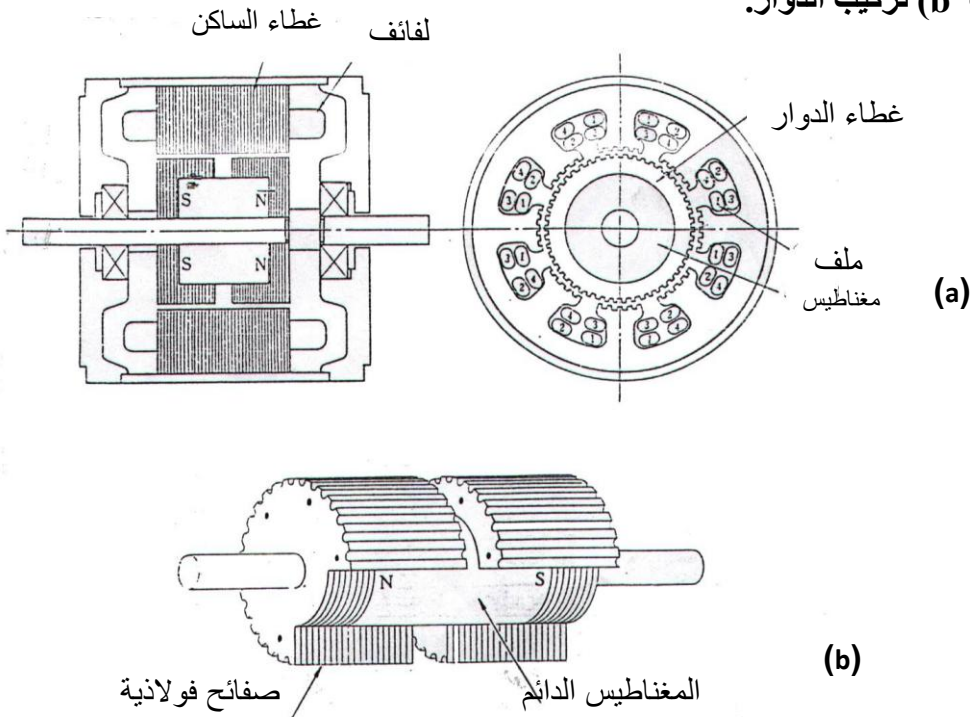
إن ساكن محرك الخطوة مغناطيس دائم يشبه ساكن محرك الخطوة ذو المعاوقة المتغيرة. أما دواره فيتكون من مادة مغناطيسية ولا يحتوي على أسنان. يبين الشكل (2) محرك خطوة ثنائي القطب ذو مغناطيس دائم أن أقطاب الدوار تتطابق مع قطبي الساكن حسب إثارة اللفائف حيث نلاحظ في الشكل تطابق أقطاب الدوار مع ألفيفه (A) عند إثارتها وتحرك أقطاب بزاوية 90° عند تغير الإثارة إلى ألفيفه (B). يعد اتجاه التيار في اللفائف من الأمور المهمة جداً في هذه المحركات لأنه يحدد اتجاه الخطوة التي سيخطوها الدوار. والشكل (2) يبين موقع الدوار عند التيار الموجب في الطور (A) وأن التغير إلى التيار الموجب في الطور (B) سيؤدي إلى خطوة باتجاه عقارب الساعة بينما تؤدي الإثارة السالبة للطور (B) خطوة باتجاه عكس عقارب الساعة.

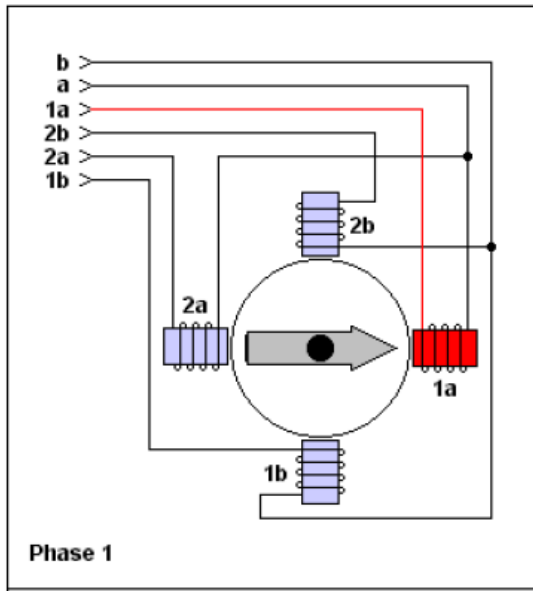
شكل (2) يبين محرك الخطوة بمغناطيس دائم



شكل (3) : يبين أنموذج لمحرك خطوة هجين

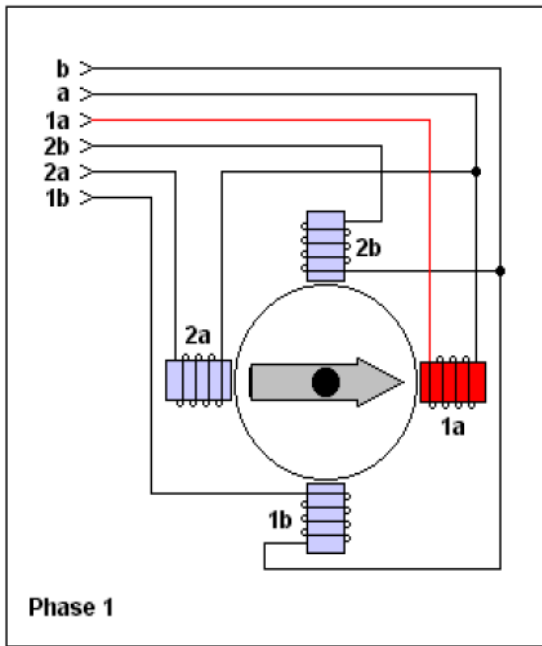
(a) مقطع في المحرك (b) تركيب الدوار.





Clockwise Rotation →

Step No.	1a	1b	2a	2b
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1
5	1	0	0	0
6	0	1	0	0
7	0	0	1	0
8	0	0	0	1



Clockwise Rotation →

Step No.	1a	1b	2a	2b
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1
9	1	0	0	0
10	1	1	0	0
11	0	1	0	0
12	0	1	1	0
13	0	0	1	0
14	0	0	1	1
15	0	0	0	1
16	1	0	0	1

3- محرك الخطوة الهجين (Hybrid Stepper Motor)

يجمع هذا المحرك بين خصائص محرك الخطوة متغير المعاوقة ومحرك الخطوة بمغناطيس دائم إذ يحتوي دواره على مغناطيس دائم ويكون متعدد الأسنان. وبالرغم من كلفته العالية إلا إنه يوفر أداء أفضل من حيث العزم والسرعة ومقارنة مع النوعين السابقين كما تتراوح زاوية الخطوة لهذه المحركات في الغالب بين $(0.9^\circ - 3.6^\circ)$ ، ولذلك فهي تستخدم بكثرة في التطبيقات الصناعية . والشكل (3) أعلاه يمثل أنموذجاً لهذا النوع من محركات الخطوة.

أساليب تنفيذ الخطوة (Types of Stepping Modes)

يوجد أسلوبان أساسيان لتنفيذ الخطوة في محرك الخطوة:

أ- أسلوب خطوة الموجة (Wave Step Mode)

يتم إنجازه من خلال إثارة طور واحد في الزمن لكل خطوة ويسمى أيضاً (One phase on) ومن أبرز عيوب هذا الأسلوب أن محرك الخطوة يستخدم 25% من لفائفه في أي وقت إذا كان أحادي القطبية ويستخدم 50% من لفائفه في أي وقت إذا كان ثنائي القطبية وهذا يعني أننا لا نستطيع الحصول على أقصى عزم خرج (Max Output Torque) من المحرك. يبين الجدول (2) تتابع أسلوب خطوة الموجة لمحرك خطوة أحادي القطبية رباعي الأطوار.

ب- أسلوب الخطوة الكاملة (Full Step Mode)

يسمى أيضاً (Two Phase ON) ويمكن إنجازه بإثارة طورين في الزمن لكل خطوة محرك. ويكون العزم الناتج في هذا النموذج أكثر بحوالي مرة ونصف من العزم الناتج في أسلوب خطوة الموجة لكن التيار المسحوب يكون الضعف، أما تتابع أسلوب الخطوة الكاملة فمبين في الجدول (3) لمحرك خطوة رباعي الأطوار.

جدول (2): يبين تتابع أسلوب خطوة الموجة

Step No.	A	B	C	D
1	ON	-	-	-
2	-	ON	-	-
3	-	-	ON	-
4	-	-	-	ON

جدول (3): يبين تتابع أسلوب الخطوة الكاملة

Step No.	A	B	C	D
1	ON	-	-	ON
2	ON	ON	-	-
3	-	ON	ON	-
4	-	-	ON	ON

تطبيقات محرك الخطوة (Application of Stepper Motor)

تجد محركات الخطوة مكاناً واسعاً في مختلف التطبيقات بسبب ميزاتها المتعددة التي من أهمها المتانة الميكانيكية ، الوثوقية العالية في الأداء ، الكلفة القليلة وإمكانية العمل في أنظمة السيطرة ذات الحلقة المفتوحة Open Loop. وتعد هذه المحركات الاختيار الأفضل في مجال السيطرة على الحركة ، ولهذا فهي تستخدم كمشغلات كهربائية للروبوت لتوفير الحركة اللازمة لتأدية المهام المختلفة إذ تستخدم معظم الروبوتات الصغيرة الحجم في مراكز البحوث محركات الخطوة لأدائها.

مميزات محركات الخطوة:-أ- المحاسن:-

- 1- أن إحدى مميزات محركات الخطوة هي في إمكانية استـخدامها في المنظومات الذاتية (التي تتطلب السيطرة على الموقع و السيطرة على السرعة) من خلال استخدام أسلوب السيطرة المفتوحة Open Loop Control.
- 2- أن المسيطرات على محركات الخطوة تكون بشكل سهل من خلال استخدام وحدات المعالجة الدقيقة Microprocessors والدوائر المنطقية Logic Circuits.
- 3- أن أخطاء الموقع تكون محدودة باستخدام السيطرة المفتوحة إذا كان الحمل المسلط على محرك الخطوة ضمن المدى المقبول.
- 4- كنتيجة لاستخدام السيطرة المفتوحة فإن المنظومة ستستغني عن استخدام المنحسسات وأجهزة القياس وبالتالي ستكون منظومة السيطرة أرخص سعراً من حالة استخدام محرك تيار مستمر DC motor وحدة تحسس السرعة Tachometer.

ب- المساوئ:-

- 1- توفرها ضمن قدرات محددة فقط وبالتالي عزوم قليلة بالمقارنة مع محركات التيار المستمر.
- 2- لديها محددات كبيرة في تحقيق السرعة العالية.
- 3- تحتوي على اهتزازات عالية كنتيجة لاستخدام النبضات.
- 4- تحدث أخطاء في السيطرة في حالة فقدان بعض النبضات أو زيادة الحمل على المحرك.