جامعة المنارة
قسم هندسة الميكاترونكس

الآلات الكهربائية
Electrical Machines

3

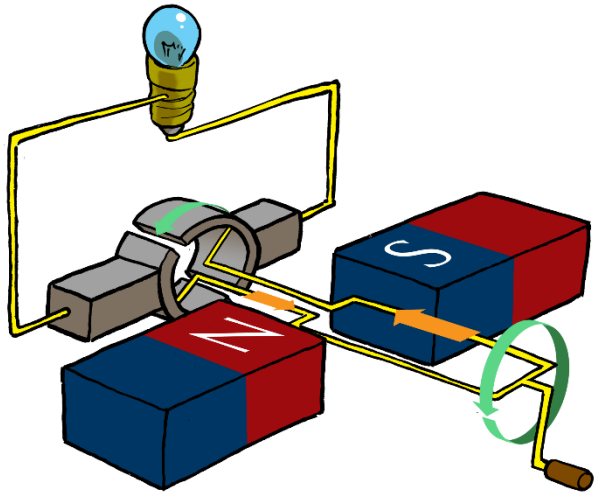
الدكتور المهندس
علاء الدين أحمد حسام الدين

مفردات المقرر

- مفاهيم عامة في الآلات الكهربائية.
- المحولات الكهربائية.
- آلات التيار المستمر.
- مبادئ عامة في آلات التيار المتناوب.
- الآلات التحريضية ثلاثية الأطوار.
- محركات الخطوة.
- محركات السيرفو.

آلات التيار المستمر

Direct Current Machines



تستعمل آلات التيار المستمر في أنظمة التحكم الآلي، والتحكم عن بعد، وفي منظومات المراقبة والملاحقة الآلية.

من أهم ما تتميز به هذه الآلات إمكانية التحكم المرن بسرعة الدوران ضمن مجال واسع لتنظيم السرعة، بالإضافة إلى إمكانية تأمين عزوم إقلاع كبيرة مما يجعلها صالحة للاستعمال في الآلات الرجاجة وفي آلات الحفروالقص.

تتميز هذه الآلات بمؤشرات فنية و اقتصادية عالية جداً مقارنة مع غيرها من الآلات. لهذه الأسباب وجدت آلات التيار المستمر انتشاراً واسعاً في مختلف المجالات ومن أجل مختلف الاستطاعات: من أجزاء الواط وحتى آلاف الكيلواط.

وقد وجدت بعض محركات التيار المستمر الخاصة، كمحركات التيار المستمر بمغناطيس دائم، أو محركات التيار المستمر بدون فحمات انتشاراً واسعاً في تقنيات المعلوماتية وفي تجهيزات القيادة والتحكم والأتمتة الحديثة.

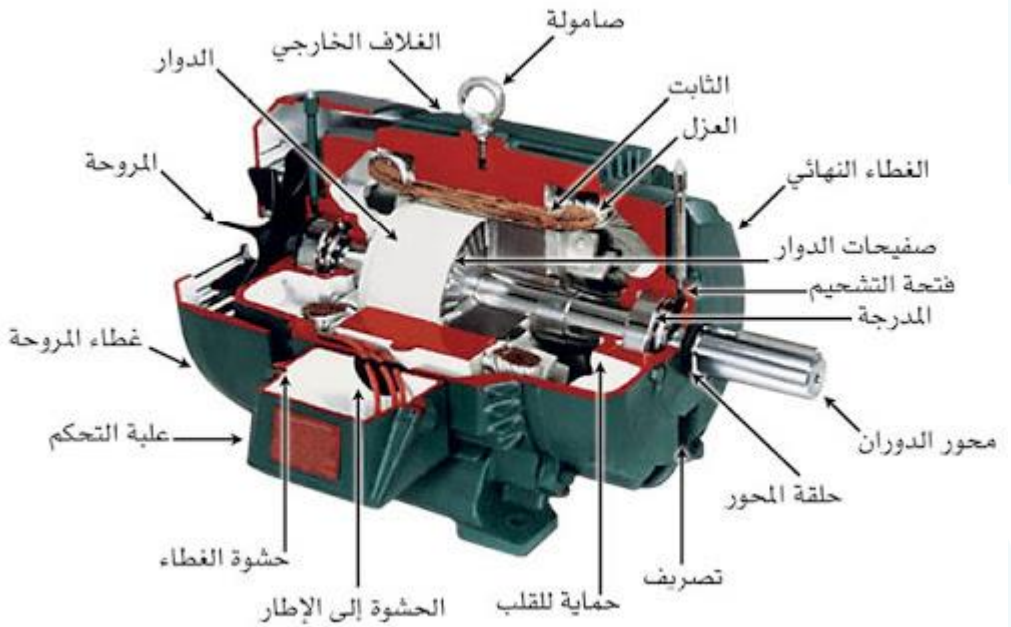
من أهم سلبيات آلات التيار المستمر مقارنة مع غيرها من الآلات الكهربائية:

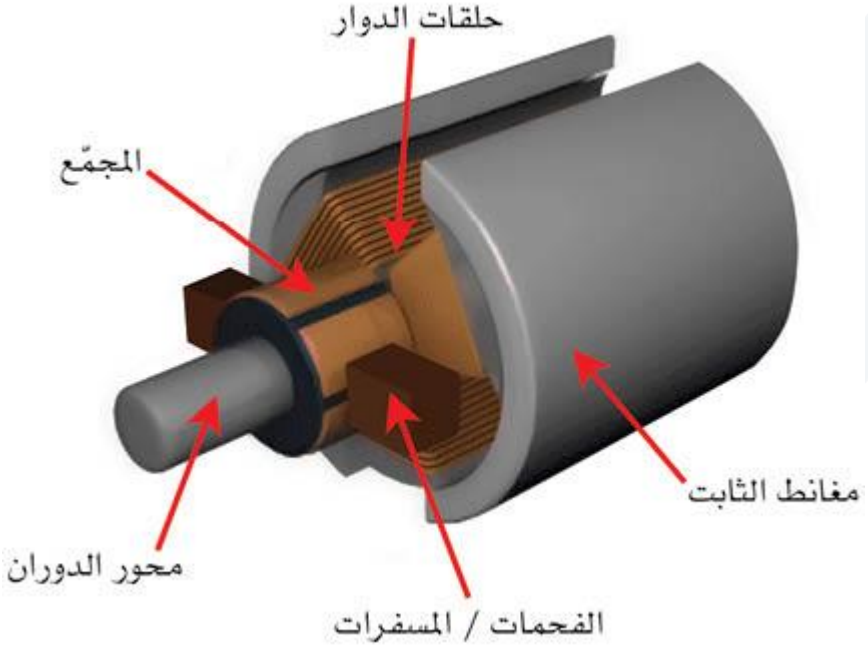
- بنية أكثر تعقيداً، وكلفة أعلى.
- وجود المجمع والفحمات، أي وجود نقاط تماس منزلقة في الآلة تتسبب في ظهور شرارات عالية تسيء إلى عمل الآلة وتقلل من ميزاتها التقنية.
- ضرورة إجراء صيانة دورية ومستمرة أثناء الاستثمار.
- وثوقية أدنى.

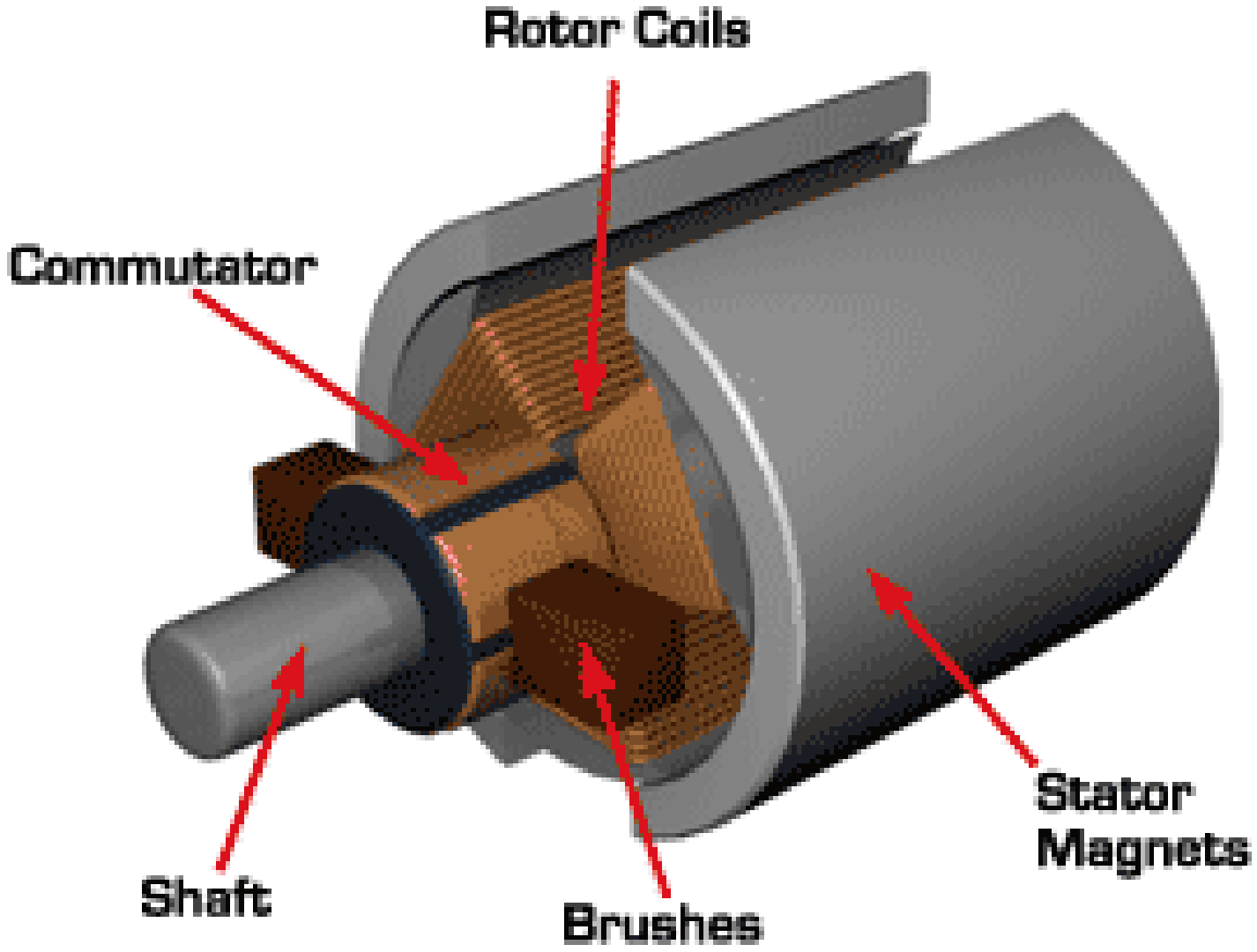
إلا أن الانتشار الواسع جداً لإلكترونيات القدرة الكهربائية، وإمكانية الحصول على جهد مستمر قابل للتنظيم من شبكة التيار المتناوب أدى إلى التوسع في استعمال محركات التيار المستمر المختلفة في مختلف مجالات الصناعة والقيادة والتحكم، ولطيف واسع من الاستطاعات.

بنية آلة التيار المستمر Construction of DC machine

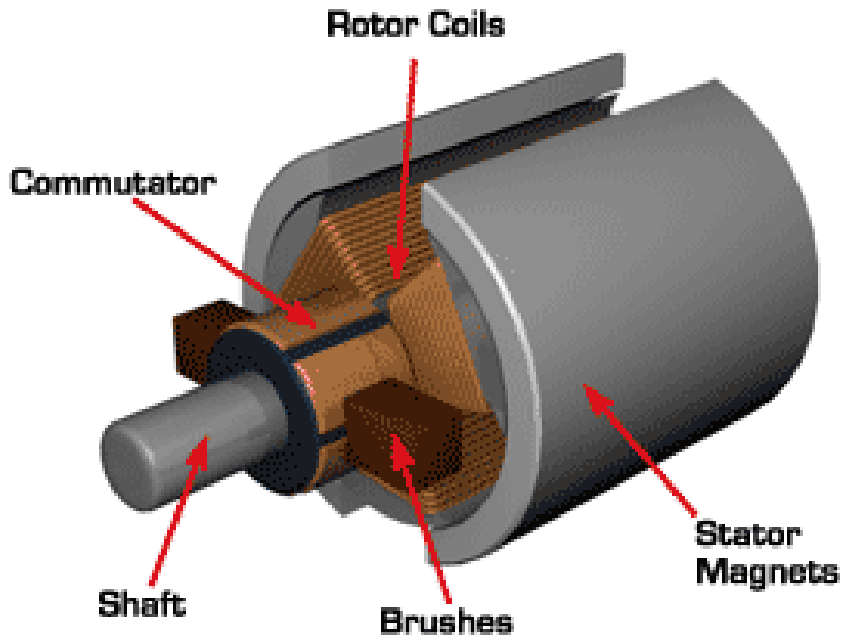
تستخدم آلة التيار المستمر إما كمولد (في هذه الحالة تقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية) أو كمحرك (في هذه الحالة تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية) ، ويبين الشكل التالي منظراً عاماً لآلة تيار مستمر تقليدية موضّح عليها أجزاء الآلة.



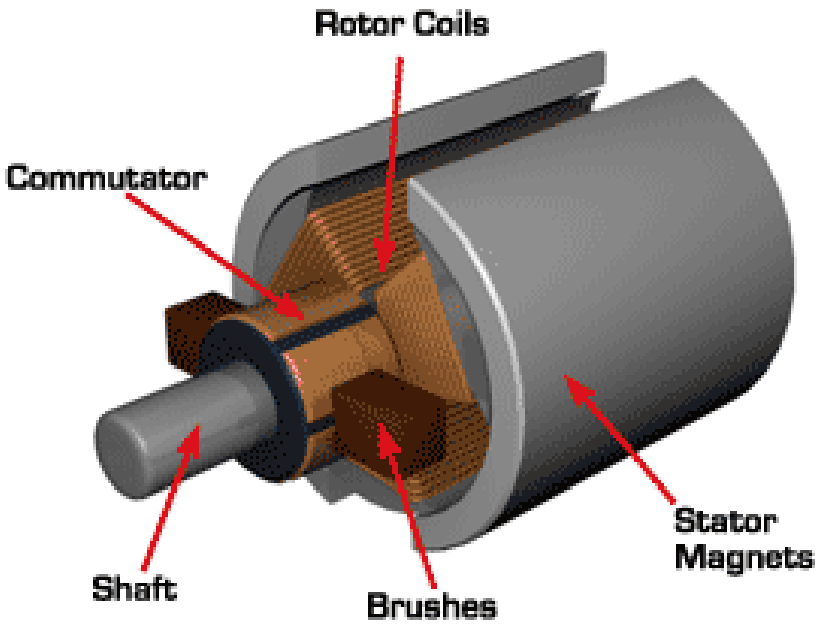



Rotor Coils
Commutator
Shaft
Brushes
Stator
Magnets

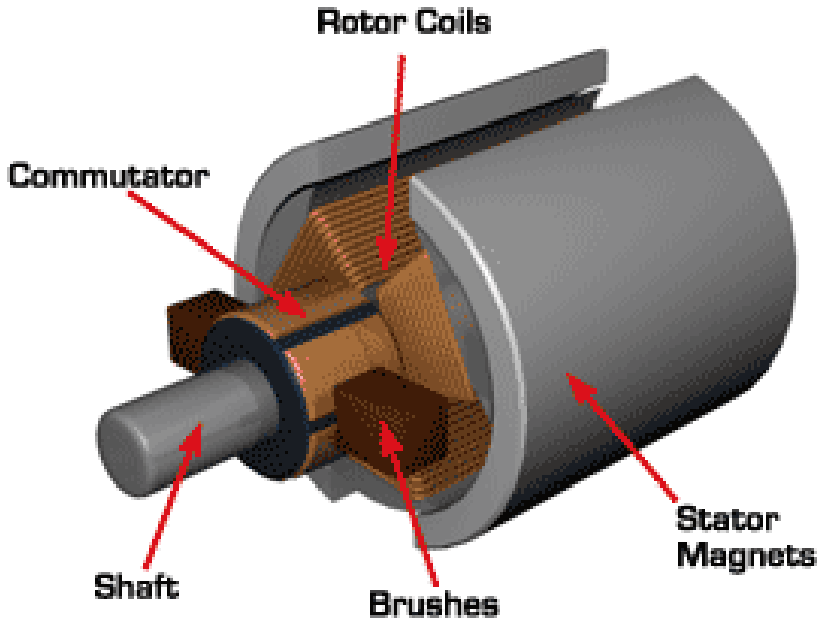
تتألف أبسط آلة تيار مستمر تقليدية من الأجزاء التالية:



1. جزء ثابت Stator هو المسؤول عن توليد المجال المغناطيسي ويتكون عادة من مغناطيس دائم Permanent Magnet أو من مغناطيس كهربائي Electromagnet مؤلف من مادة كهرومغناطيسية (الحديد المطاوع أو الفولاذ الكهربائي) يشكل أقطاب آلة التيار المستمر التي يلف حولها ملف التهييج Excitation Winding.

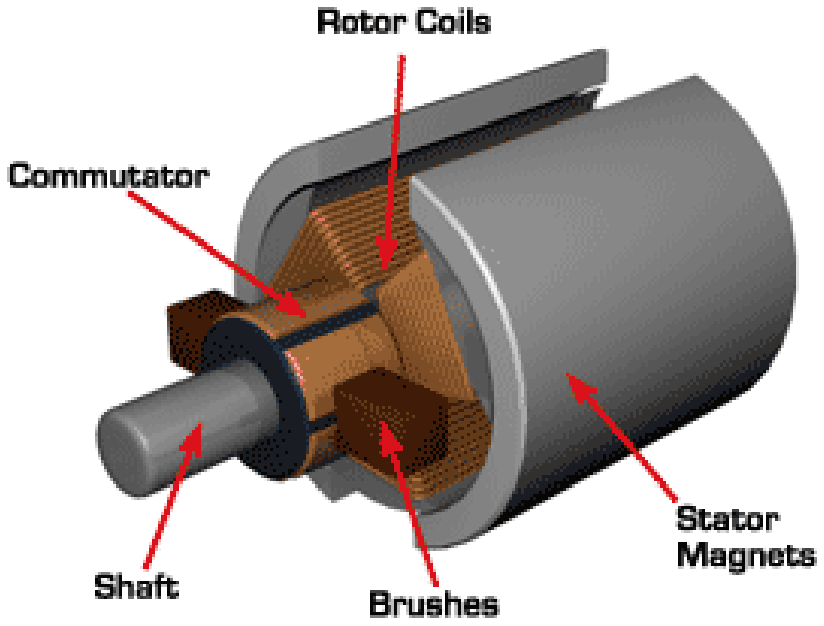


2. جزء دوار Rotor تتحول فيه الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، وتتولد به القوة الدافعة الكهربائية عندما تعمل الآلة كمولد، أو يتولد فيه العزم الكهرومغناطيسي عندما تعمل الآلة كمحرك. يفصل الدوار عن الثابت ثغرة هوائية. يتكون الدوار من نواة المتحرض (Armature Core) ذات الشكل الأسطواني والمصنوعة من صفائح معزولة من الحديد الكهرومغناطيسي المعزول تتراوح سماكتها من 0.3mm وحتى 1mm (الهدف من عزل الصفائح هو تخفيف الضياعات الإعصارية أو ضياعات فوكو ضمن القلب الكهربائي). ويوجد على نواة المتحرض مجاري (Slots) تتوضّع فيها ملفات المتحرض (Armature Winding).

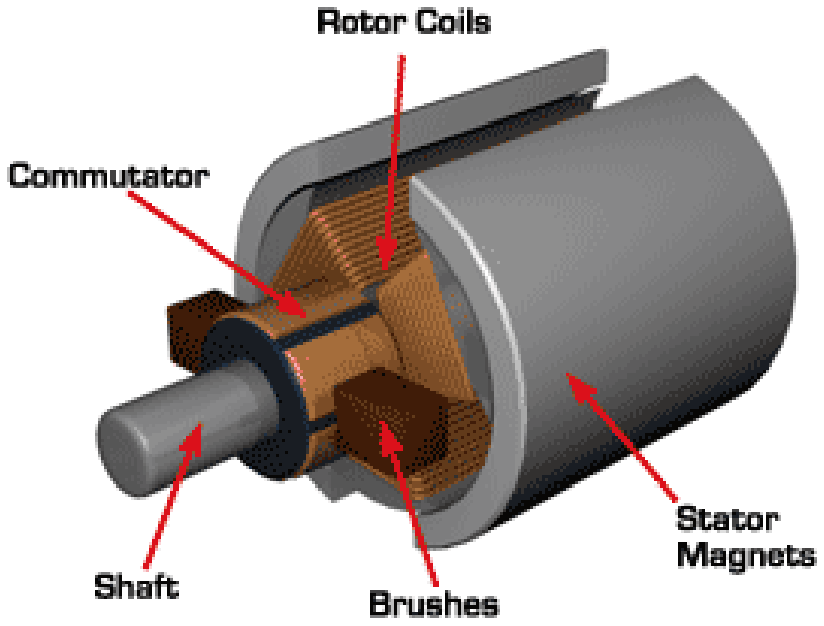


3. ملف المتحرض Armature Winding –

وهو عبارة عن عدد من الوشائع الموصولة فيما بينها بطرق مختلفة (تختلف باختلاف نوع الملف) والموجودة ضمن مجارٍ أو أخاديد في الجزء الدوار (على نواة أو قلب المتحرض).

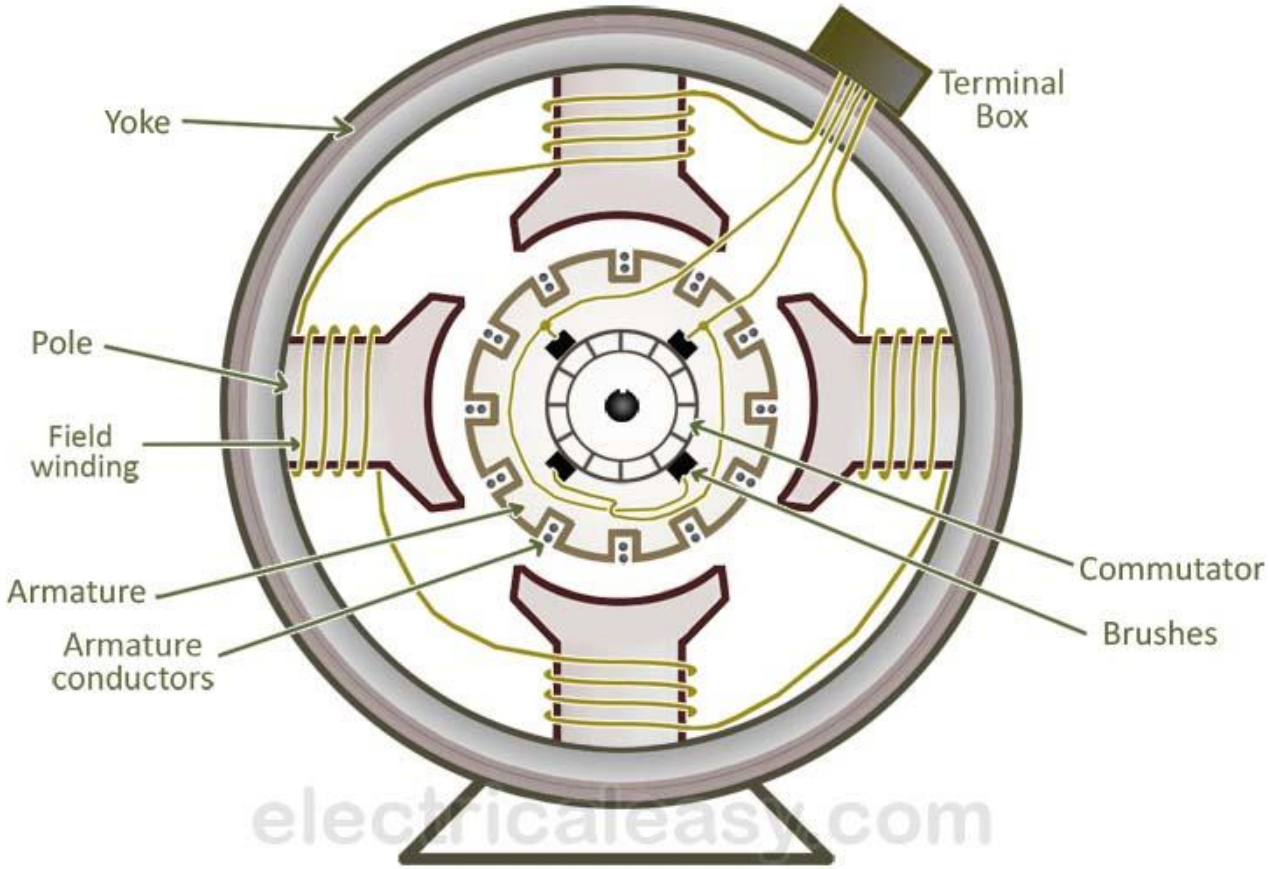


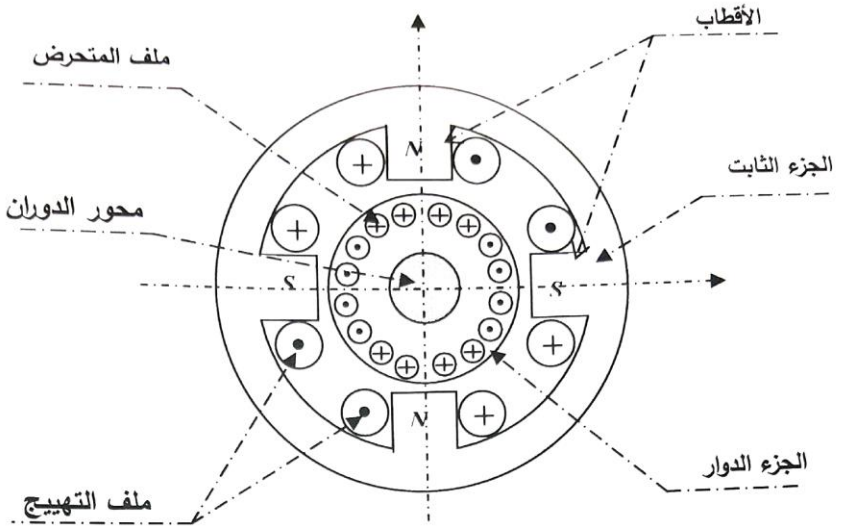
4. المجمع Commutator – مصنوع من صفائح نحاسية مجمعة على محور واحد مع الدوار، مفصولة عن بعضها بمادة عازلة من الورق العازل. تشكل الصفائح مع العوازل جسماً اسطوانياً منتظماً مثبتاً على محور واحد مع الدوار. تتصل أطراف وشائع المتحرض مع الصفائح النحاسية لنقل التيار من أو إلى الجزء الدوار، وذلك بحسب نظام العمل: مولد أو محرك.



5. فحمات (مسفرات) Brushes – تثبت فحمتان، على الأقل، على الجزء الثابت بواسطة ماسك الفحمات المؤلف من هيكل ونابض يضغط على الفحمات كي تكون دائما على تماس مستمر مع سطح المجمع أثناء دوران الدوار. مهمة الفحمات نقل التيار من ملف المتحرض عبر المجمع إلى الحمولة (في نظام التوليد) ومن منبع القدرة إلى ملف المتحرض (في نظام المحرك).

يبين الشكل مقطعاً عرضياً في آلة تيار مستمر رباعية الأقطاب 2P=4.





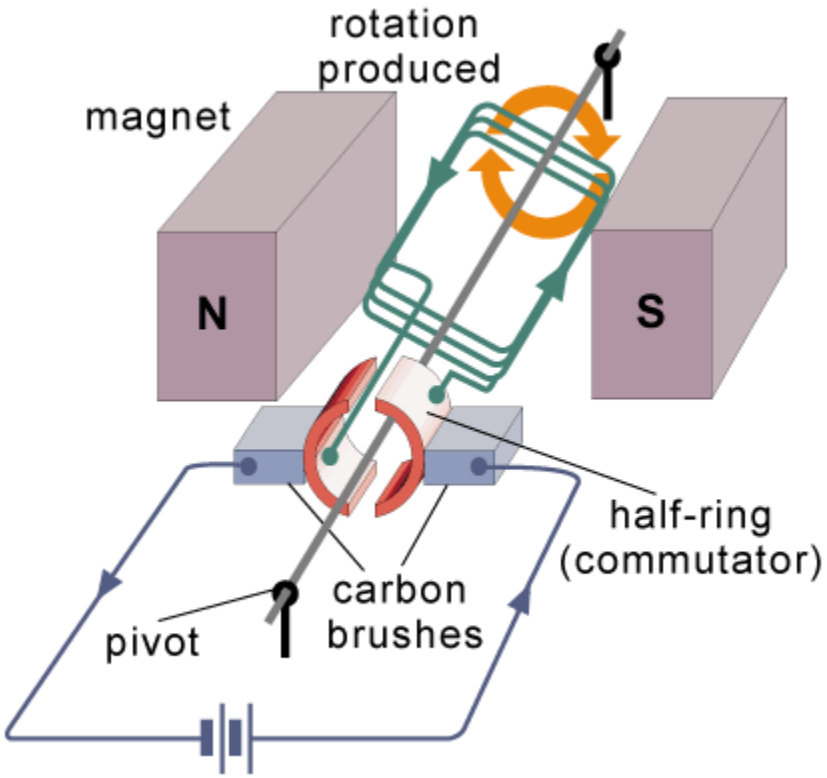
عمل آلة التيار المستمر كمحرك وكمولد

Operation of DC machine as a motor and as a generator

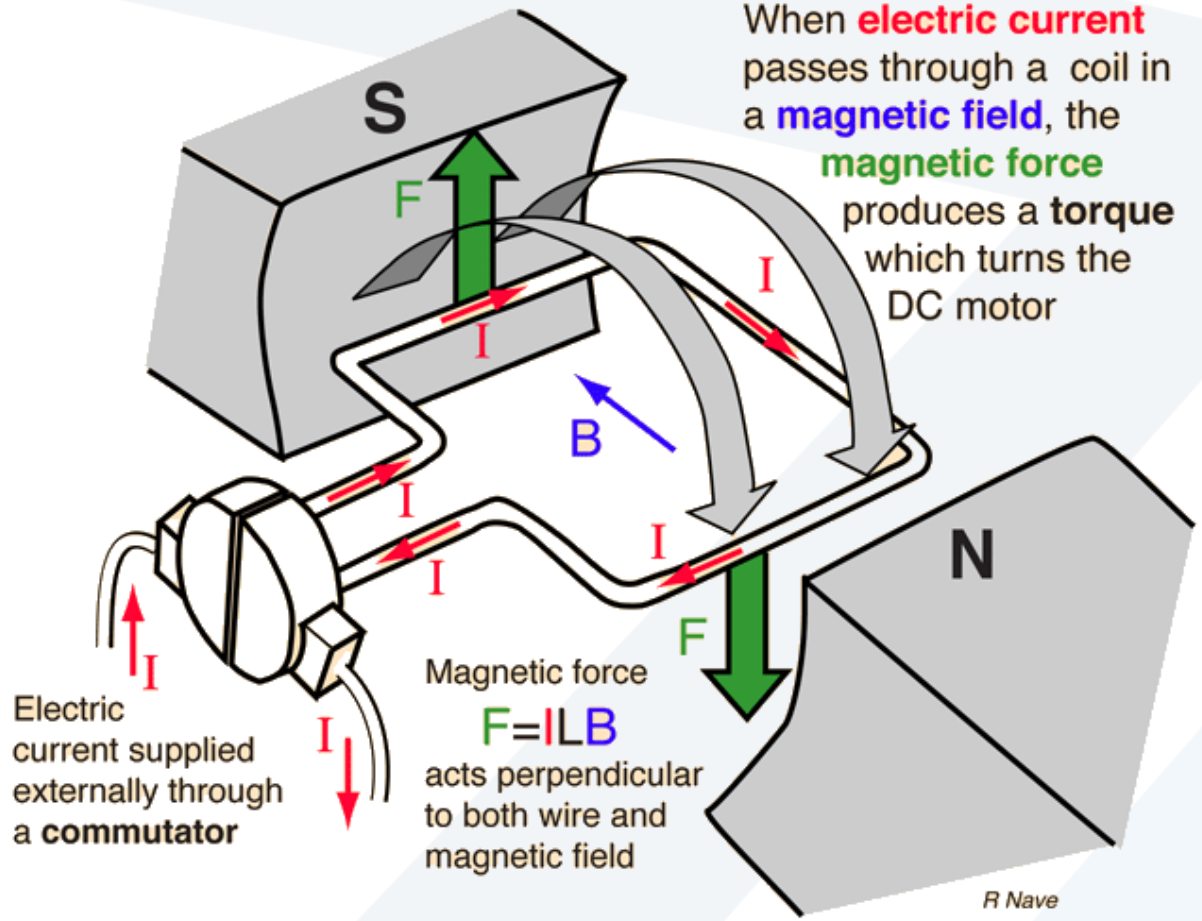
نظرية عمل المولد:

تحتاج مولدات التيار المستمر إلى مصدر قدرة ميكانيكية، ويعتمد عمل المولد على قانون فاراداي للتحريض المغناطيسي الذي ينص على توليد قوة دافعة كهربائية بين طرفي ناقل عندما يقطع هذا الناقل خطوط حقل مغناطيسي، أي تتولد قوة محركة كهربائية عندما توجد حركة نسبية بين الناقل وخطوط الفيض المغناطيسي، وتتناسب هذه القوة مع معدل اجتياز الناقل لخطوط الفيض المغناطيسي. يبين الشكل كيفية توليد جهد نتيجة حركة ناقل ضمن حقل مغناطيسي. فعندما يبدأ الملف بالدوران يتقاطع مع خطوط الحقل المغناطيسي، وتتولد قدرة محركة كهربائية بين أقطاب الملف الموصولة إلى المجمع، ويتم الحصول على القوة المحركة الكهربائية المتولدة في الملف بين المسفرات الفحمية.

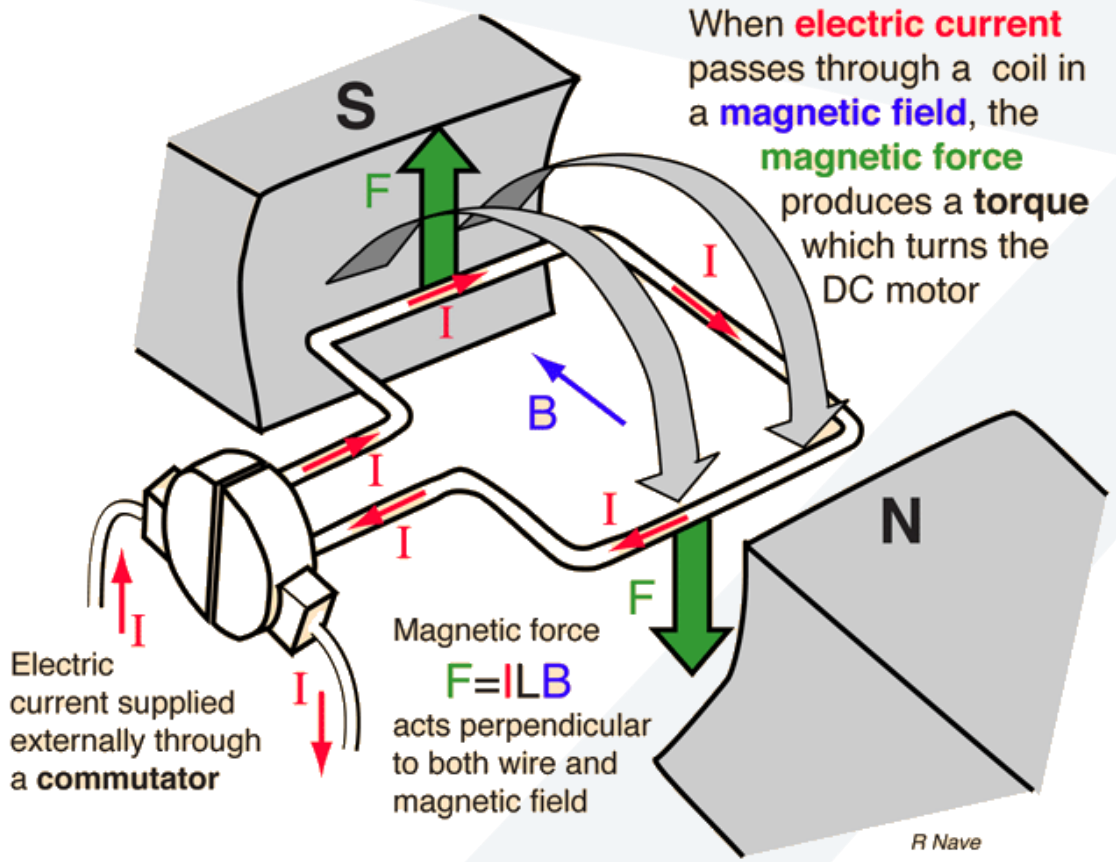
نظرية عمل المحرك:



تتحول آلة التيار المستمر للعمل كمحرك عندما نقوم بتغذيتها بجهد مستمر، حيث تقوم الآلة بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية (طاقة حركية على محور الآلة)، حيث يتم تغذية ملفات الثابت بالتيار اللازم لتوليد الحقل المغناطيسي، وفي نفس الوقت يتم تغذية ملفات المتحرض بتيار مناسب من خلال المسفرات الفحمية، ويقوم هذا التيار بتوليد حقل مغناطيسي آخر متعامد مع الحقل الناتج عن ملفات الثابت ، مما يسبب في نشوء عزم دوران يعمل على تدوير الدائر.



يبين الشكل مبدأ عمل محرك التيار المستمر، والأثر المتبادل بين التيار المارفي الوشيعة وبين الساحة المغناطيسية التي تتواجد فيها الوشيعة.



يتولد الحقل المغناطيسي B إما بواسطة أقطاب مغناطيسية دائمة، أو بواسطة ملف تهييج على أقطاب الآلة. يؤثر الحقل المغناطيسي على الناقل الذي يمر فيه التيار I بقوة F تعطى بالعلاقة:

$$F = I \cdot L \cdot B$$

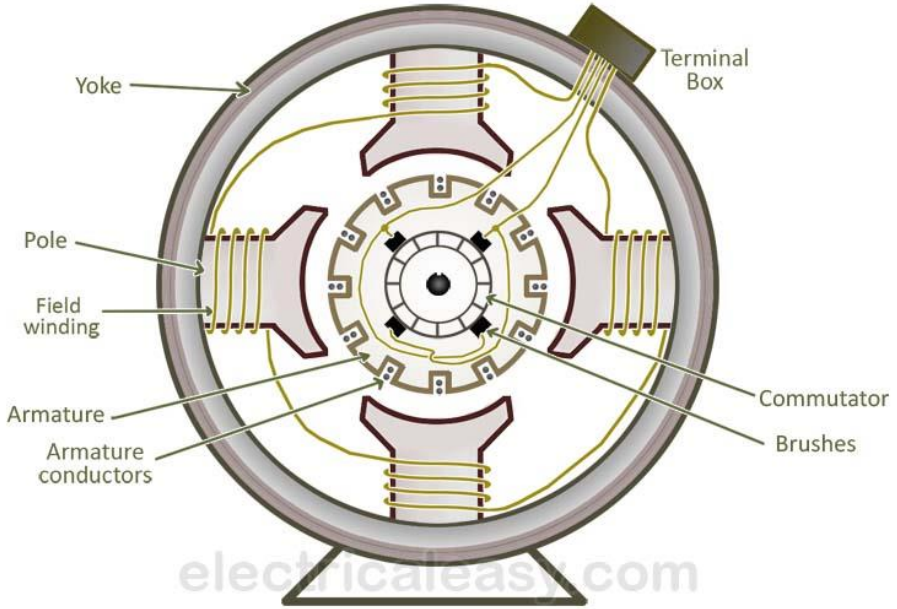
ملف المتحرض Armature Winding

الوشيعة Coil هي العنصر الأساس للملف. تتألف الوشيعة من لفة واحدة Turn أو من عدد من اللفات الموصولة فيما بينها على التسلسل. تتوضع الوشيعة في مجاري الجزء الدوار (المتحرض). يسمى جزء الملف الموجود ضمن المجرى والذي يتشابك مع الساحة المغناطيسية وتتحرّض فيه القوة المحركة الكهربائية بالجزء الفعال من اللفة. أما أجزاء الملف التي تصل بين الأجزاء الفعالة فتسمى بالأجزاء المعلقة أو الأجزاء الجبهوية. وحتى تجمع القوى المحركة الكهربائية لجزئي الملف الفعالين الموجودين في مجريين متباعدين جمعاً جبرياً يجب أن يتوضعا ضمن نفس الشروط في الساحة المغناطيسية، ويقعا تحت قطبين متغايرين. ولهذا يجب أن تكون خطوة اللف y (المسافة بين نصفي الوشيعة أو عرض الوشيعة) مساوية للخطوة القطبية τ تقريباً، أي:

$$y = \tau = \frac{\pi \cdot D}{2P}$$

$$y = \tau = \frac{\pi \cdot D}{2P}$$

τ - الخطوة القطبية Pole-Pitch، وتساوي طول القوس من محيط المتحرض المقابل للقطب. تقاس بـ [cm] أو بعدد مجاري المتحرض Z الواقعة تحت قطب واحد، أي:



$$\tau = \frac{Z}{2P}$$

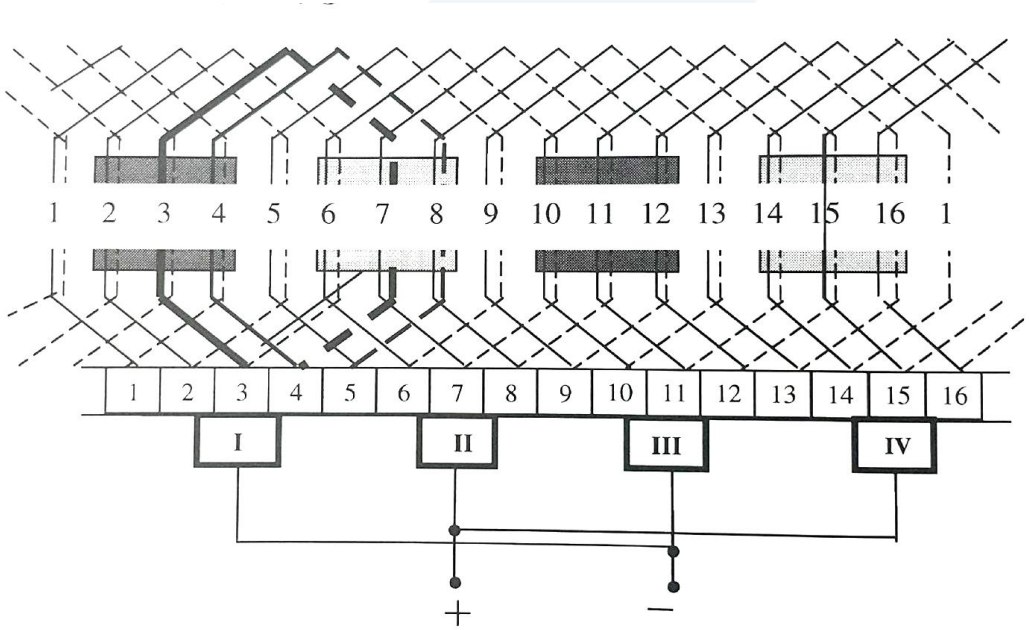
تختلف طريقة توصيل الوشائع فيما بينها باختلاف طريقة اللف ونوع الملف. لكن، وفي جميع الحالات، تتصل بدايات ونهايات الوشائع المتتالية مع صفائح المجمع، حيث تتصل مع الصفيحة رقم n نهاية الوشيعة رقم n-1 وبداية الوشيعة التالية رقم n. وبهذه الطريقة من التوصيل يشكل ملف المتحرض دارة مغلقة، وتكون القوة المحركة الكهربائية الكلية للمتحرض مساوية للصفر.

يعد اللف التطابقي البسيط Simple lap-winding واللف التموجي البسيط Simple wave-winding من أبسط أنواع اللف وأكثرها انتشاراً في آلات التيار المستمر الدقيقة والصغيرة والمتوسطة الاستطاعة.

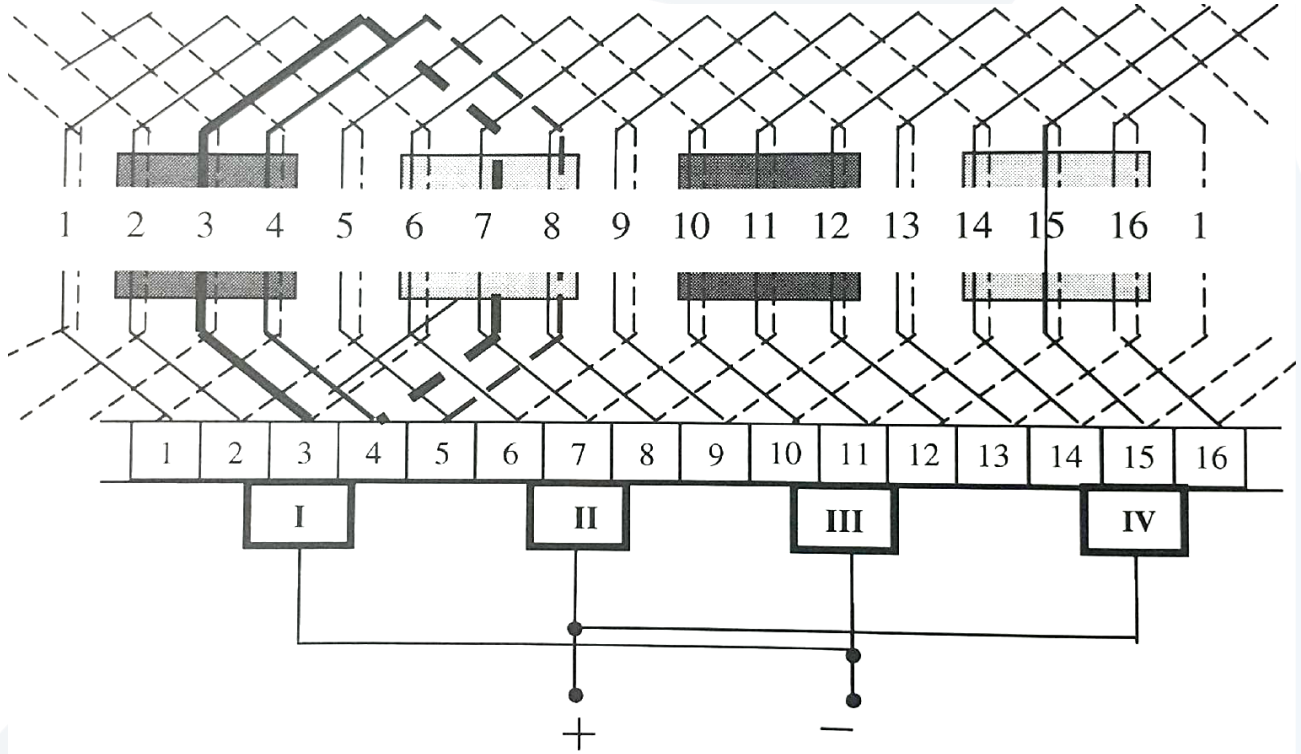
في اللف التطابقي البسيط توصل نهاية الوشيعة n-1 مع بداية الوشيعة التالية n، ويكون عدد المجاري Z مساوياً عدد الوشائع S ومساوياً عدد صفائح المجمع K:

$$Z = S = K$$

يبين الشكل التالي مخطط لف تطابقي لآلة تيار مستمر رباعية الأقطاب 2P=4. عدد المجاري Z=16، عدد صفائح المجمع K=16، عدد الوشائع S=16 .

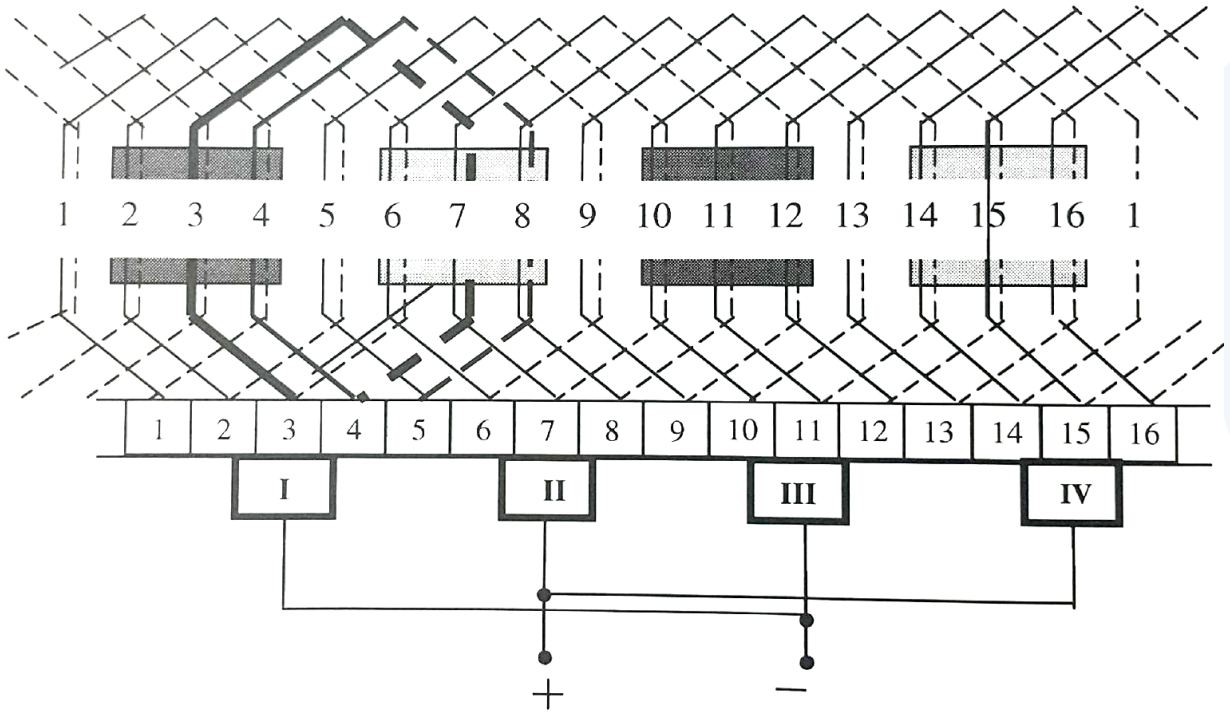


توصل بداية الوشيعة 1 مع الصفيحة رقم 1، يتوضع الطرف الأيسر للوشيعة في الطبقة العليا من المجرى رقم 1 بينما يتوضع الطرف الأيمن في الطبقة السفلى من المجرى رقم 5 (المسافة بين طرفي الوشيعة هي 1+τ).

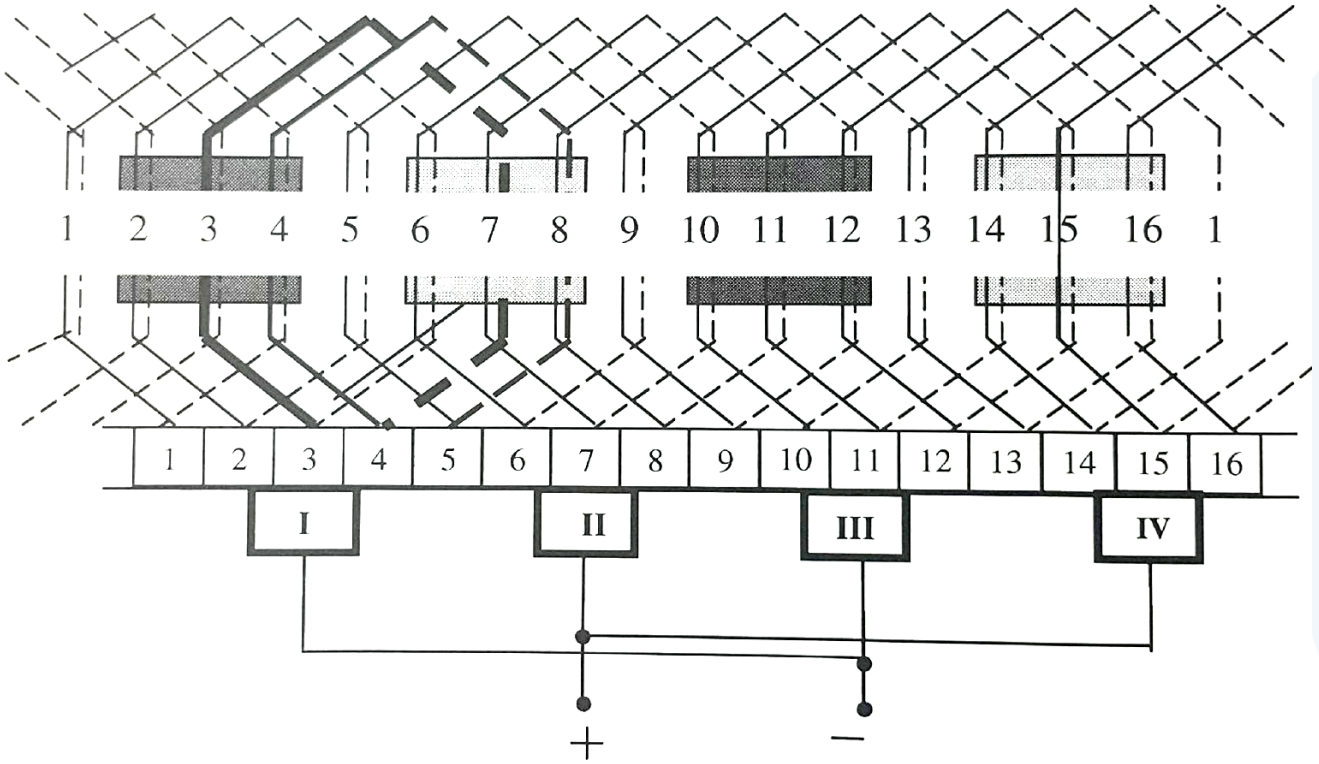


نسمي المسافة بين طرفي الوشيعة بخطوة اللف Winding pitch، وتساوي:

$$y = \tau = \frac{Z}{2P} = \frac{16}{4} = 4$$

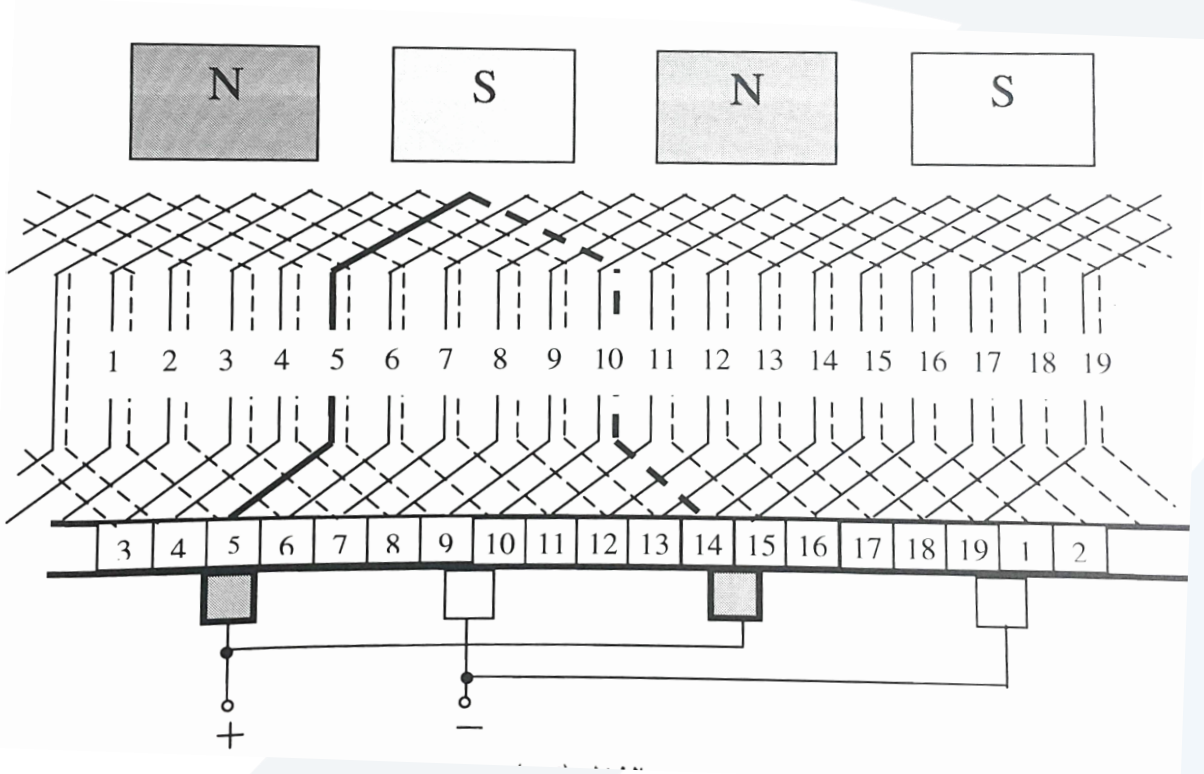


تتصل نهاية هذه الوشيعة مع الصفيحة رقم 2، ومع بداية الوشيعة المجاورة رقم 2 (المتوضعة في المجرين 2 و 6). وبشكل مشابه يتم توصيل جميع وشائع الملف. وتكون نهاية الوشيعة الأخيرة رقم 16 موصولة مع بداية الوشيعة الأولى، ومع الصفيحة رقم 1.



يكون عدد الدارات التفرعية في الملف التطابقي البسيط مساوياً لعدد الأقطاب (2P=2a)، تتوضع وشائع كل دارة تفرعية في الآلة تحت أقطاب متجاورة، ولهذا فعند أي تغير في تهييج الأقطاب سيؤدي لتغير في الساحة المغناطيسية تحت الأقطاب، وبالتالي تغير في القوى المحركة الكهربائية للوشائع الموصولة على التفرع، وهذا بدوره يؤدي لمرور تيارات داخلية ضمن الدارة التفرعية الواحدة مؤدياً إلى تسخينها وزيادة تحميلها وضياعاتها الداخلية. لهذا السبب تستعمل في الآلات الدقيقة والصغيرة الاستطاعة الملفات الموجية البسيطة.

في اللف التموجي البسيط تتصل الوشيعة الأولى مع وشيعة ثانية مناظرة لها و اقعة تحت القطب الآخر، أي مع الوشيعة التي تبعد عنها خطوتين قطبيتين تقريباً. يتم الانزياح بحيث تكون نهاية الوشيعة الأخرى موصولة مع صفيحة مجاورة لبداية الوشيعة الأولى.



مخطط ملف تموجي بسيط

Z=19 , 2P=4 , K=S=19

يكون عدد الدارات التفرعية في الملف التموجي البسيط يساويً دائماً (2a=2) مهما كان عدد الأقطاب. نظراً لكون عدد الوشائع الموصولة فيما بينها على التسلسل ضمن الدارة التفرعية الواحدة من اللف التموجي أكبر منه في اللف التطابقي، فإن القوة المحركة الكهربائية للملف التموجي أكبر من القوة المحركة الكهربائية للملف التطابقي.

معادلة القوة المحركة الكهربائية لآلة التيار المستمر:

يمكن الحصول على قوة محركة كهربائية بالتأثير الكهرومغناطيسي ديناميكياً وذلك بتحريك ناقل بالنسبة لمجال مغناطيسي او تحريك المجال المغناطيسي بالنسبة لناقل. فمثلاً عندما يتحرك موصل طوله [m] l في مجال مغناطيسي منتظم كثافة خطوطه [Tesla] B بسرعة مقدارها [m/sec] ν في اتجاه عمودي على خطوط المجال تتولد على طرفي الناقل قوة محركة كهربائية مقدارها [Volt] E حسب قانون فاراداي، بحيث يكون:

$$E = B \cdot l \cdot v$$

l – طول الناقل الموجود ضمن المجال المغناطيسي، [m].

B – كثافة الفيض المغناطيسي (التحريض المغناطيسي)، [T].

إذا اعتبرنا ان نصف قطر المتحرض هو r [m] تعطى السرعة الخطية للآلة v [m/sec] بدلالة سرعة الدوران n [r.p.m] بالعلاقة:

$$v = \omega \cdot r = 2\pi \cdot f \cdot r = 2\pi \cdot \frac{n}{60} \cdot r = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}$$

D=2r – قطر المتحرض، [m]. ω – السرعة الزاوية (المحيطية)، [rad/sec]

تعطى قيمة التحريض المغناطيسي تحت القطب بالعلاقة:

$$B = \frac{\emptyset}{S} = \frac{\emptyset}{\tau \cdot l} = \frac{\emptyset}{\frac{\pi \cdot D}{2P} \cdot l} = \frac{\emptyset \cdot 2P}{\pi \cdot D \cdot l} = \frac{\emptyset \cdot 2P}{2\pi \cdot r \cdot l} [T]$$

S – المساحة تحت القطب.

نعوض قيمة B و ν في علاقة القوة المحركة الكهربائية، نحصل على قيمة هذه القوة والمتولدة في ناقل موضوع تحت قطب كما يلي:

$$E = B \cdot l \cdot v$$

$$v = \omega \cdot r = 2\pi \cdot f \cdot r = 2\pi \cdot \frac{n}{60} \cdot r = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}$$

$$B = \frac{\emptyset}{S} = \frac{\emptyset}{\tau \cdot l} = \frac{\emptyset}{\frac{\pi \cdot D}{2P} \cdot l} = \frac{\emptyset \cdot 2P}{\pi \cdot D \cdot l} = \frac{\varphi \cdot 2P}{2\pi \cdot r \cdot l} [T]$$

$$E = \frac{\emptyset \cdot 2P}{2\pi \cdot r \cdot l} \cdot l \cdot \frac{2\pi \cdot r \cdot n}{60} = \frac{\emptyset \cdot 2P \cdot n}{60}$$

إذا فرضنا أن عدد النو اقل الفعالة التي تشارك في توليد القوة المحركة الكهربائية الكلية هو N وعدد الدارات التفرعية للملف يساوي 2a. في هذه الحالة يصبح عدد النو اقل المشاركة في توليد هذه القوة مساوياً N/2a. في هذه الحالة تكون القوة المحركة الكهربائية لملف المتحرض تساوي:

$$E = \frac{N}{2a} \cdot \frac{\emptyset \cdot 2P \cdot n}{60} = \frac{2P}{2a} \cdot \emptyset \cdot N \cdot \frac{n}{60} = \frac{P \cdot N}{a \cdot 60} \cdot \emptyset \cdot n[volt]$$

نلاحظ من العلاقة الأخيرة أن القوة المحركة الكهربائية للمتحرض تتناسب طرداً مع عدد الأقطاب، ومع الفيض المغناطيسي تحت القطب، ومع سرعة الدوران، ومع عدد النو اقل الكلية في المتحرض المشاركة في توليد القوة المحركة الكهربائية.

$$E = \frac{N}{2a} \cdot \frac{\emptyset \cdot 2P \cdot n}{60} = \frac{P \cdot N}{a \cdot 60} \cdot \emptyset \cdot n$$

نتعامل في آلات التيار المستمر عادة مع علاقة أكثر بساطة للقوة المحركة الكهربائية:

$$E = C_e \cdot \emptyset \cdot n$$

حيث:

C_e=P.N/a.60 – الثابت الكهربائي للآلة، ويتعلق بعدد النو اقل والأقطاب والدارات التفرعية.

n – سرعة الدوران، [r.p.m].

ϕ – الفيض المغناطيسي تحت قطب واحد.

$$E = C_e \cdot \emptyset \cdot n$$

يتضح من هذه العلاقة أن القوة المحركة الكهربائية للمتحرض تتناسب طرداً مع سرعة الدوران ومع الفيض المغناطيسي للآلة. أما عند سرعة دوران ثابتة للآلة فتتناسب القوة المحركة الكهربائية للمتحرض مع الفيض المغناطيسي تحت القطب فقط، أي مع تيار التهييج. فعند تهييج ثابت تتناسب القوة المحركة الكهربائية للآلة طرداً مع سرعة دورانها فقط.

عندما تعمل الآلة على فراغ (حالة اللاحمل، أو عندما يكون تيار المتحرض مساوياً الصفر) تكون الساحة المغناطيسية للآلة ناتجة عن مرور التيار في ملفات التهييج الموجودة على الأقطاب الرئيسية فقط.

عند تحميل الآلة سوف يمر تيار الحمولة في ملف المتحرض، وسوف ينتج عن هذا التيار ساحة مغناطيسية تتفاعل مع الساحة المغناطيسية الأساسية، وتؤثر عليها. نسمي هذا التأثير للساحة المغناطيسية للمتحرض على الساحة المغناطيسية الأساسية برد فعل المتحرض **Armature reaction**.

مثال1: مولد تيار مستمر عدد أقطابه 6، وعدد النواقل الكلية 250، تم اللف بشكل تموجي، ويدور بسرعة [r.p.m] 1200. فإذا كان الفيض لكل قطب هو 4M-line/pole. احسب قيمة القوة المحركة الكهربائية المتولدة.

$$E = \frac{2P}{2a} \cdot \emptyset \cdot N \cdot \frac{n}{60} [volt]$$

$$E = \frac{6}{2} \times \frac{4 \times 10^6}{10^8} \times 250 \times \frac{1200}{60} = 600[volt]$$

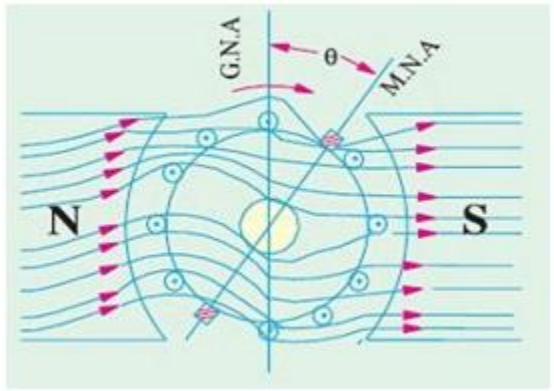
مثال2: مولد تيار مستمر عدد أقطابه 8، وعدد النواقل الكلية 960، تم اللف بشكل تطابقي، ويدور بسرعة [r.p.m] 600. فإذا كان القوة المحركة الكهربائية المتولدة تساوي [volt] 220 احسب قيمة الفيض المغناطيسي لكل قطب.

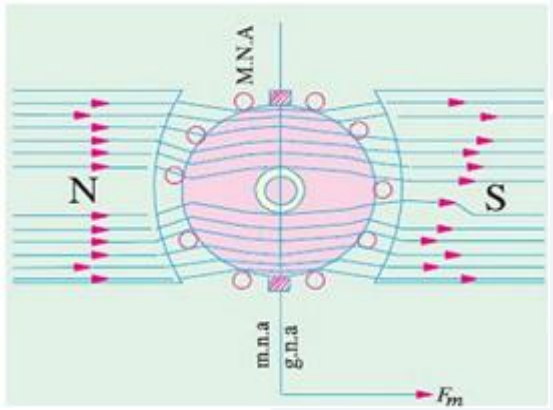
$$E = \frac{2P}{2a} \cdot \emptyset \cdot N \cdot \frac{n}{60} [volt]$$

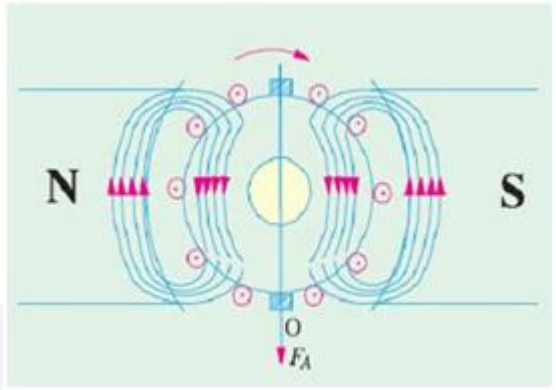
$$220 = \frac{8}{8} \times \emptyset \times 960 \times \frac{600}{60} = 9600 \times \emptyset$$

$$\Rightarrow \emptyset = \frac{220}{9600} = 0.023 [Wb/pole]$$

رد فعل المتحرض Armature Reaction







لرد فعل المتحرض تأثير سلبي على الآلة يشوّه الساحة المغناطيسية نتيجة التأثير المغنط على أحد طرفي القطب والمزيل للمغنطة تحت الطرف الآخر، ويخفف من الفيض المغناطيسي الكلي، وبالتالي يقلل من القوة المحركة المغناطيسية الكلية للآلة.

من أجل تعويض رد فعل المتحرض تزوّد بعض الآلات بأقطاب مساعدة تتوضع بين الأقطاب الرئيسية على الجزء الثابت، ليس الهدف منها توليد ساحة مغناطيسية رئيسية للآلة، وإنما توليد ساحة مغناطيسية معاكسة لرد فعل المتحرض لتعويض رد فعل المتحرض والتخفيف من أثره المشوّه.

عند مرور التيار في ملف المتحرض الموجود ضمن الساحة المغناطيسية الرئيسية للآلة تؤثر على النواقل قوة كهروديناميكية، ويتولد عزم نسميه العزم الكهرومغناطيسي Electromagnetic torque.

يعطى عزم الآلة الكلي بحاصل جداء عزم الناقل الواحد بعدد النواقل N، وباعتبار أن في كل ناقل يمر تيار قدره $I_a/2a$، تكتب علاقة العزم بالشكل التالي:

$$T = N \cdot B \cdot l \cdot r_a \cdot \frac{I_a}{2a}$$

r_a - نصف قطر المتحرض، ويعطى بالعلاقة:

$$r_a = \frac{P \cdot \tau}{\pi}$$

$$T = N \cdot B \cdot l \cdot r_a \cdot \frac{I_a}{2a}$$

شدة التحريض المغناطيسي تساوي :

$$B = \frac{\emptyset}{S} = \frac{\emptyset}{\tau \cdot l}[T]$$

وفقاً لذلك تصبح علاقة العزم كما يلي:

$$T = N \cdot \frac{\emptyset}{\tau \cdot l} \cdot l \cdot \frac{P \cdot \tau}{\pi} \cdot \frac{I_a}{2a} \Rightarrow \quad T = \frac{P \cdot N}{2\pi \cdot a} \cdot \emptyset \cdot I_a$$

$$T = \frac{P \cdot N}{2\pi \cdot a} \cdot \emptyset \cdot I_a$$

وباختصار: $T = C_m \cdot \emptyset \cdot I_a$

حيث:

$C_m = P.N/2\pi.a$ – الثابت الميكانيكي للآلة، ويتعلق بعدد النواقل والأقطاب والدارات التفرعية، ويساوي:

$$C_m = C_e \cdot \frac{60}{2\pi}$$

نلاحظ من علاقة العزم الكهرومغناطيسي أنه يتناسب طرداً مع الفيض المغناطيسي تحت الفيض، ومع تيار المتحرض. وبالتالي لتغيير اتجاه العزم الكهرومغناطيسي يكفي فقط عكس قطبية ملف التهييج.

نستنتج من العلاقة $T = C_m \cdot \emptyset \cdot I_a$ أن العزم المتولد في المتحرض يساوي جداء الفيض والتياروبقاس بـ [N.m].

يمكن أن يكون العزم الكهرومغناطيسي إما عزماً كابحاً معاكساً لاتجاه الدوران (نظام المولد)، وإما ان يكون عزماً دورانياً باتجاه سرعة الدوران (نظام المحرك).

وبالتالي يمكن كتابة علاقة القوة المحركة الكهربائية بالشكل التالي:

$$E = \frac{P \cdot N}{a \cdot 60} \cdot \emptyset \cdot n = C_e \cdot \emptyset \cdot n = C_m \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \emptyset \cdot n$$

$$\Rightarrow E = C_m \cdot \emptyset \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot n = C_m \cdot \emptyset \cdot \omega$$

$\omega = 2\pi.n/60$ - السرعة الزاوية للمتحرض

من علاقة القوة المحركة الكهربائية نجد: $E = C_m \cdot \emptyset \cdot \omega \Rightarrow C_m \cdot \emptyset = \frac{E}{\omega}$

نعوض في معادلة العزم:

$$T = C_m \cdot \emptyset \cdot I_a = \frac{E \cdot I_a}{\omega} = \frac{P_a}{\omega}$$

يظهر من العلاقة الأخيرة التناسب المهم والمعروف بين العزم المتولد وبين استطاعة الآلة.

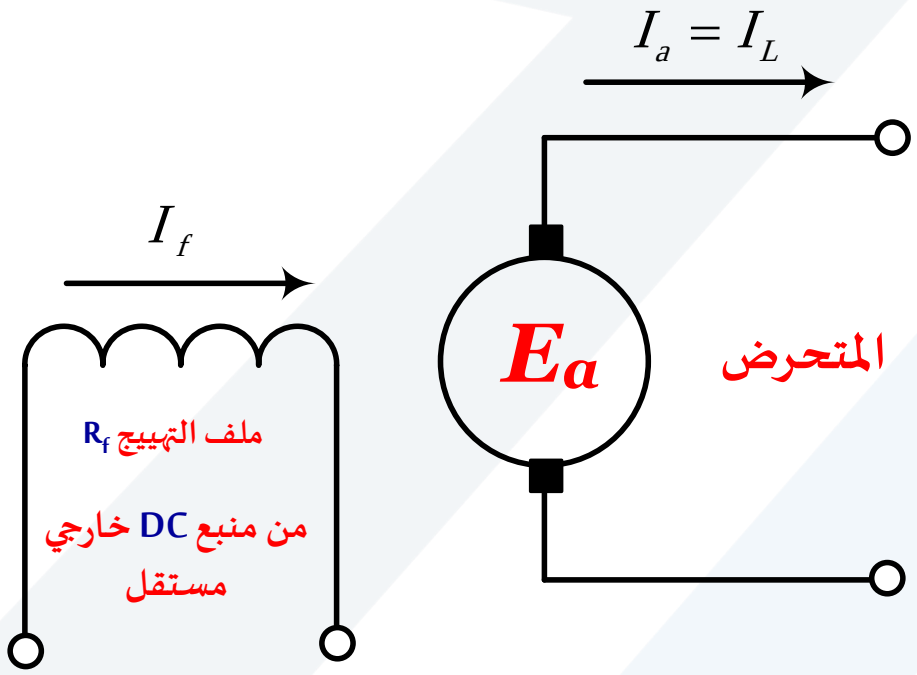
أنظمة تهييج آلات التيار المستمر Excitation of DC Machines

تختلف آلات التيار المستمر باختلاف طرق تهييجها، وترتبط مواصفات الآلة مباشرة بطريقة تهييجها، ومن هنا تأتي الايجابية الرئيسية لآلات التيار المستمر، حيث نستطيع اختيار المواصفة المطلوبة عن طريق اختيار نظام التهييج المناسب. ونميز في آلات التيار المستمر:

1. آلات التهييج المستقل.
2. آلات التهييج الذاتي،

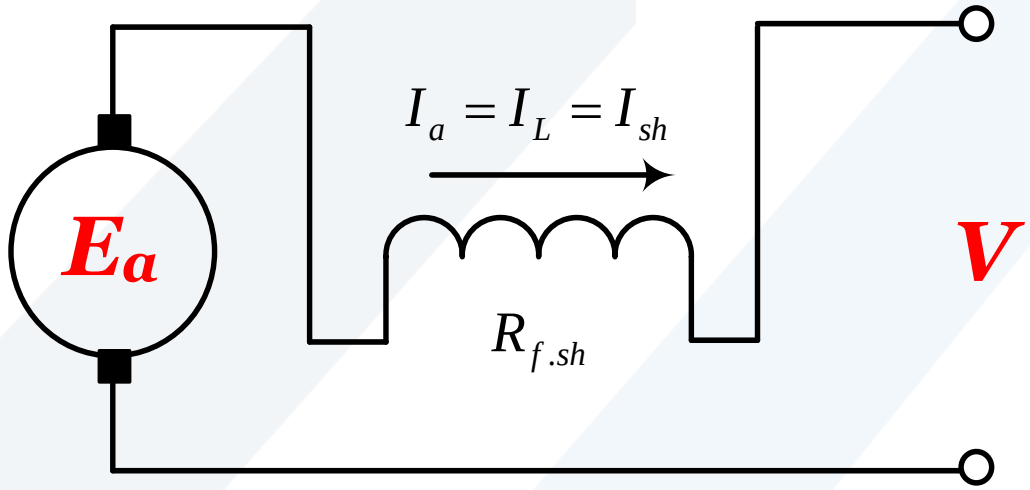
1. آلات التهييج المستقل Separately-Excited Machines.

حيث يتغذى ملف التهييج من منبع خارجي مستقل.

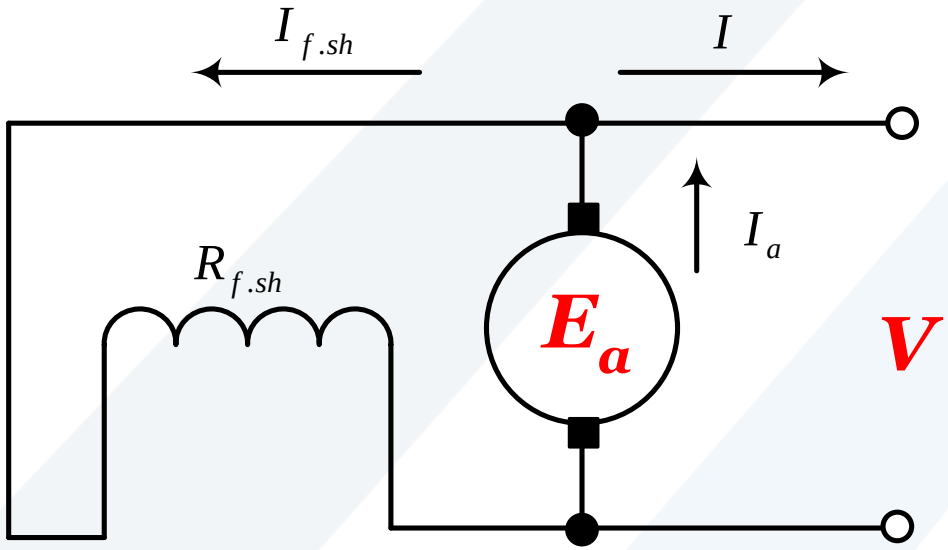


2. آلات التهييج الذاتي Self-Excited Machines، حيث يتغذى ملف التهييج من ملف المتحرض، ويكون له ثلاث حالات توصيل:

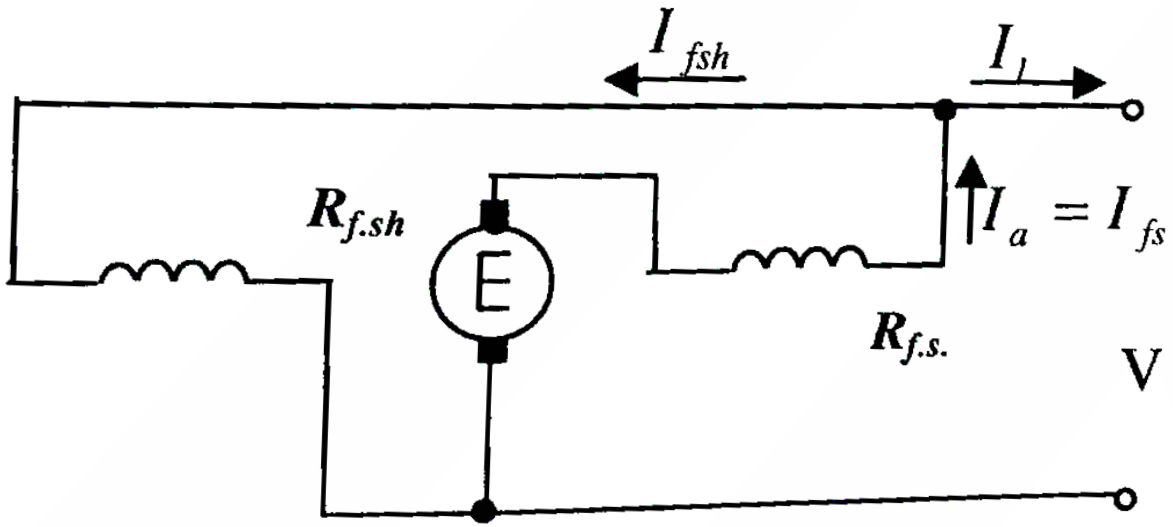
a – يكون ملف التهييج موصول على التسلسل مع ملف المتحرض.



b – يكون ملف التهييج موصول على التفرع مع ملف المتحرض.



c -1- الوصل المختلط بتوصيلة طويلة حيث يكون الملف التفرعي موصول على التفرع مع الملف التسلسلي وملف المتحرض.



c -2- الوصل المختلط بتوصيلة قصيرة حيث يكون الملف التفرعي موصول على التفرع مع ملف المتحرض فقط.