

جامعة
المنارة
MANARA UNIVERSITY

جامعة المنارة
قسم هندسة الميكاترونكس

الآلات الكهربائية

Electrical Machines

الدكتور المهندس

علاء الدين أحمد حسام الدين

4

مفردات المقرر

❖ مفاهيم عامة في الآلات الكهربائية.

❖ المحولات الكهربائية.

❖ آلات التيار المستمر.

❖ مبادئ عامة في آلات التيار المتناوب.

❖ الآلات التحريضية ثلاثية الأطوار.

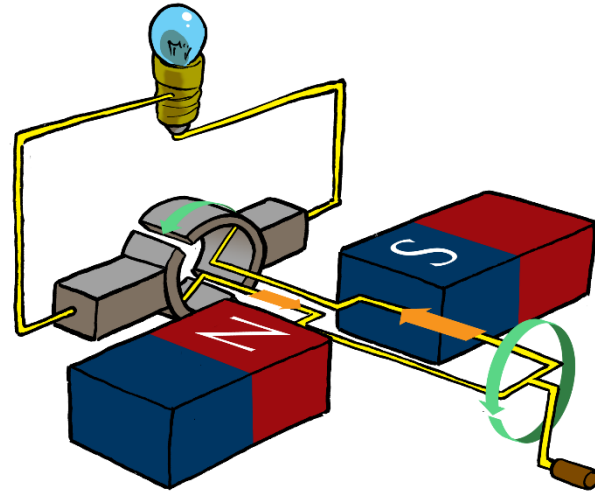
❖ محركات الخطوة.

❖ محركات السيرفو.



آلات التيار المستمر

Direct Current Machines



معادلة القوة المحركة الكهربائية لآلة التيار المستمر:

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

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

- l – طول الناقل الموجود ضمن المجال المغناطيسية، [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:

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

S – المساحة تحت القطب.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$E = C_e \cdot \phi \cdot n$$

حيث:

$C_e = P \cdot N / a \cdot 60$ – الثابت الكهربائي للآلة، ويتعلق بعدد النواقل والأقطاب والدارات التفرعية.

n – سرعة الدوران، [r.p.m].

ϕ – الفيض المغناطيسي تحت قطب واحد.

$$E = C_e \cdot \phi \cdot n$$

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

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

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

مثال 1: مولد تيار مستمر عدد أقطابه 6، وعدد النواقل الكلية 250، تم لف بشكل تموجي، ويدور بسرعة [r.p.m] 1200. فإذا كان الفيض لكل قطب هو 4M-line/pole. احسب قيمة القوة المحركة الكهربائية المتولدة.

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

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

مثال 2: مولد تيار مستمر عدد أقطابه 8، وعدد النواقل الكلية 960، تم لف بشكل تطابقي، ويدور بسرعة [r.p.m] 600. فإذا كان القوة المحركة الكهربائية المتولدة تساوي [volt] 220 احسب قيمة الفيض المغناطيسي لكل قطب.

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

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

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

رد فعل المتحرض Armature Reaction

لرد فعل المتحرض تأثير سلبي على الآلة يشوّه الساحة المغناطيسية نتيجة التأثير الممغنط 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:

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

$$r_a = \frac{P \cdot \tau}{\pi} \quad \text{- نصف قطر المتحرض، ويعطى بالعلاقة:}$$

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

$$B = \frac{\phi}{S} = \frac{\phi}{\tau \cdot l} [T] \quad \text{شدة التحريض المغناطيسي تساوي :}$$

وفقاً لذلك تصبح علاقة العزم كما يلي:

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

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

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

$$T = C_m \cdot \phi \cdot I_a \quad \text{وباختصار:}$$

حيث:

$C_m = P \cdot N / 2\pi \cdot a$ – 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 طردياً مع الفيض المغناطيسي تحت الفيض، ومع تيار المتحرض. وبالتالي لتغيير اتجاه العزم الكهرومغناطيسي يكفي فقط عكس قطبية ملف التهييج.

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

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

وبالتالي يمكن كتابة علاقة القوة المحركة الكهربائية بالشكل التالي:

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

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

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

من علاقة القوة المحركة الكهربائية نجد:

$$E = C_m \cdot \phi \cdot \omega \Rightarrow C_m \cdot \phi = \frac{E}{\omega}$$

نعوض في معادلة العزم:

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

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

Excitation of DC Machines أنظمة تهيج آلات التيار المستمر

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

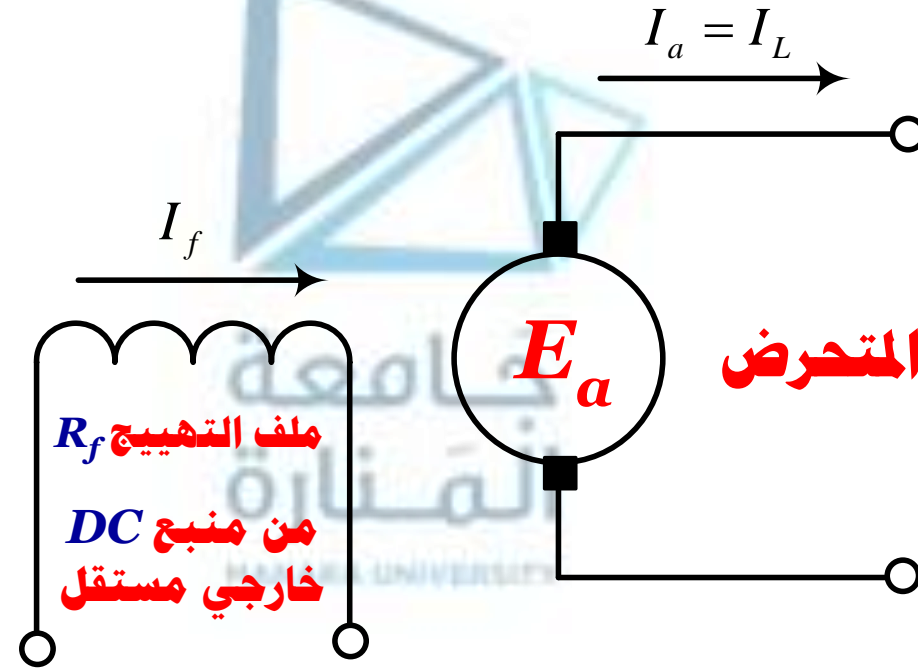


1. آلات التهيج المستقل.

2. آلات التهيج الذاتي،

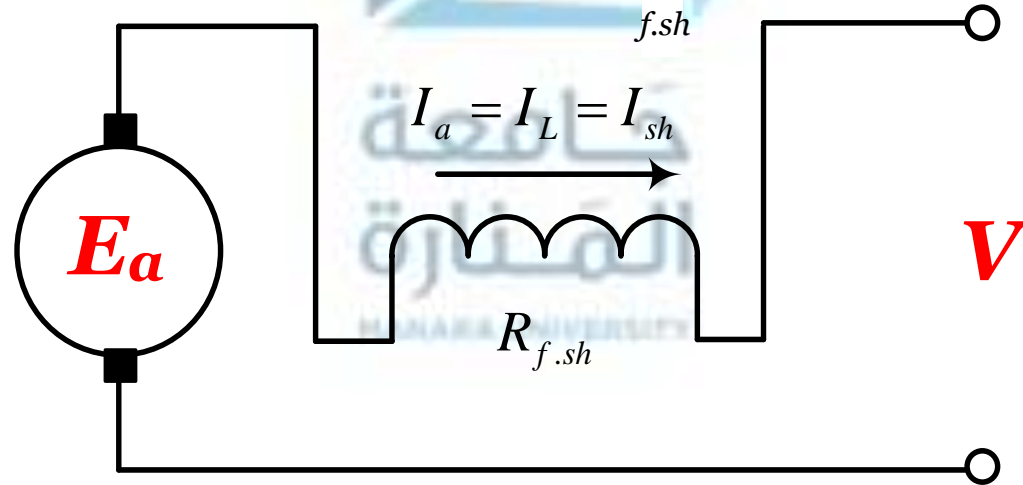
1. آلات التهبيج المستقل Separately-Excited Machines

حيث يتغذى ملف التهبيج من منبع خارجي مستقل.

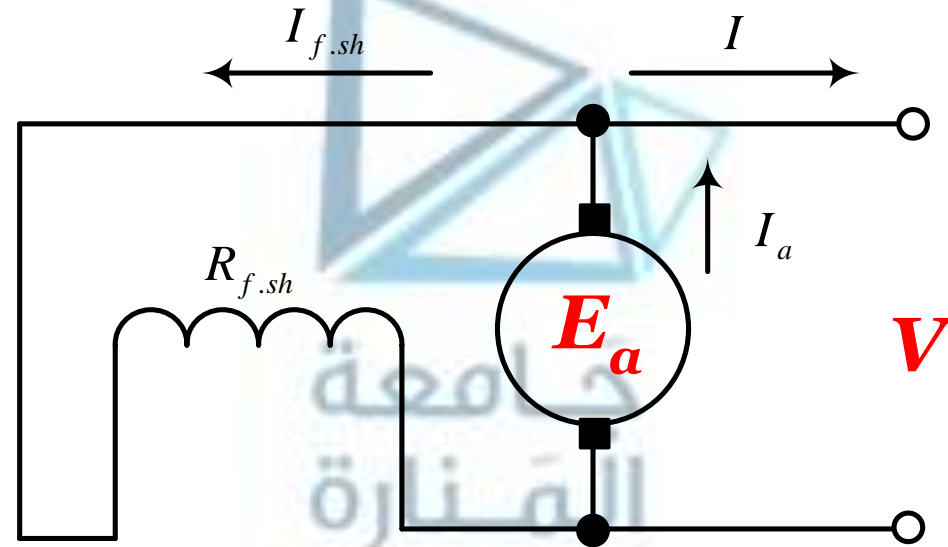


2. آلات التهييج الذاتي **Self-Excited Machines**، حيث يتغذى ملف التهييج من ملف المتحرض، ويكون له ثلاث حالات توصيل:

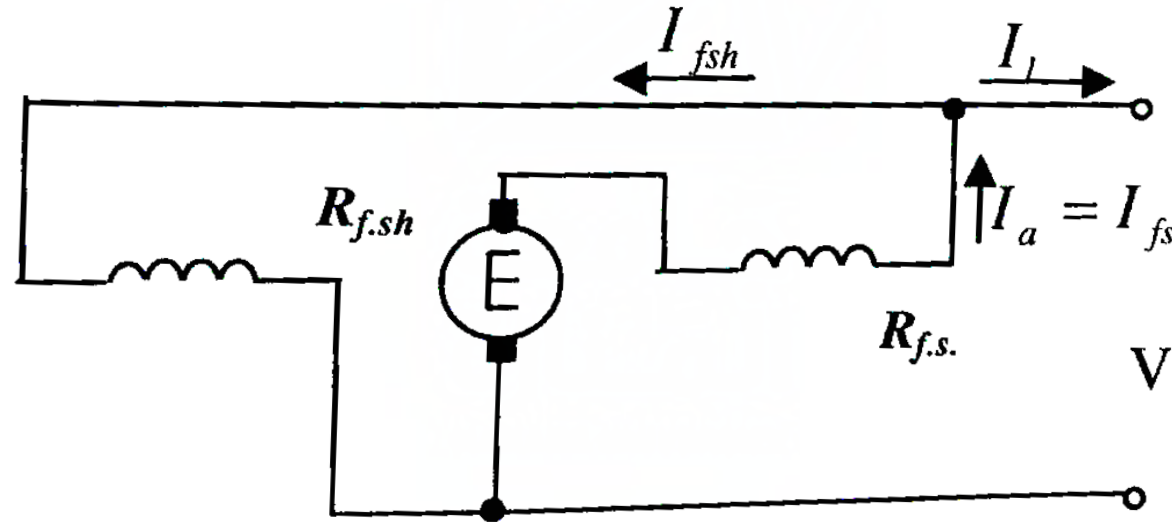
a – يكون ملف التهييج موصول على التسلسل مع ملف المتحرض.



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 موصل على التفرع مع ملف المتحرض فقط.

