

جَامِعَة
الْمَنَارَة
MANARA UNIVERSITY

جامعة المنارة
قسم هندسة الميكاترونكس

الآلات الكهربائية

Electrical Machines

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.

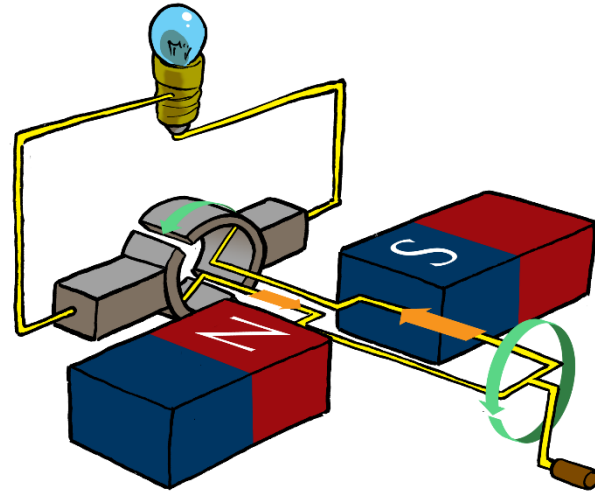
❖ محركات الخطوة.

❖ محركات السيرفو.



آلات التيار المستمر

Direct Current Machines

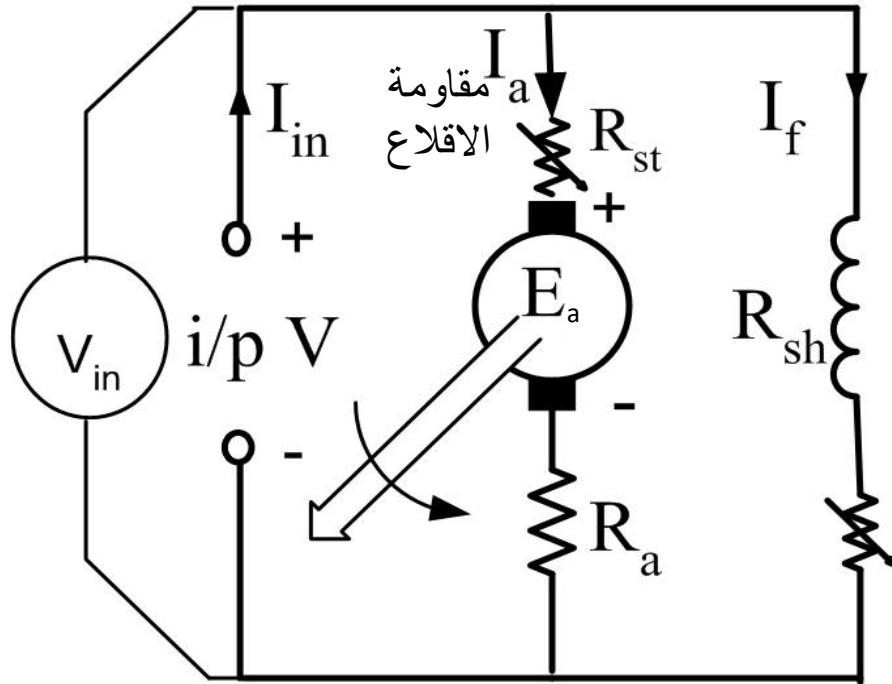


محركات التيار المستمر DC motors:

تعد المحركات الكهربائية القوة المحركة لكثير من التطبيقات الصناعية، وتستهلك بأنواعها المختلفة حوالي 60% من الطاقة الكهربائية في العالم. لذلك من المهم دراسة أداء ومميزات هذه المحركات ليتم استخدامها بأفضل ما يمكن حسب طبيعة الاحمال. وتعد محركات التيار المستمر من أهم الأنواع، حيث تستخدم بكثرة في الجر الكهربائي والروافع وصناعات الغزل والنسيج ودرفلة الحديد وصناعات الورق والاسمنت،... وغيرها، وذلك لما تتميز به من سهولة التحكم في سرعتها وإعطائها عزم مرتفع، وخاصة عند بدء الحركة.

مميزات محركات التيار المستمر ذات التهيج التفرعي :

تعطى علاقة السرعة للمحرك التفرعي المستمر بالعلاقة:



$$V_{in} = E_a + I_a \cdot R_a , E_a = C_e \cdot \Phi \cdot n ,$$

$$I_{in} = I_a + I_f$$

$$\Rightarrow V_{in} = C_e \cdot \Phi \cdot n + I_a \cdot R_a$$

$$\Rightarrow n = \frac{V_{in} - I_a \cdot R_a}{C_e \cdot \Phi}$$

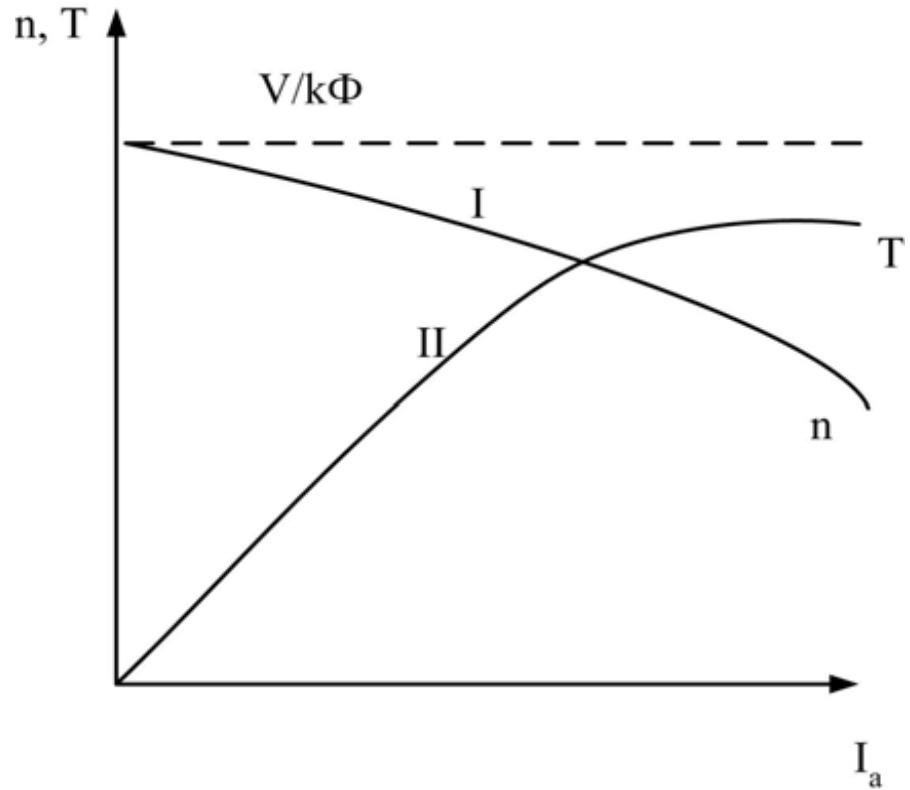
1. مميزات السرعة مع تيار المتحرض: $n=f(I_a)$ وفقاً لهذه العلاقة نجد أن مميزات المحرك التفرعي هي:

2. مميزات العزم مع تيار المتحرض: $T=f(I_a)$

3. مميزات السرعة مع العزم: $n=f(T)$

من معادلة السرعة:

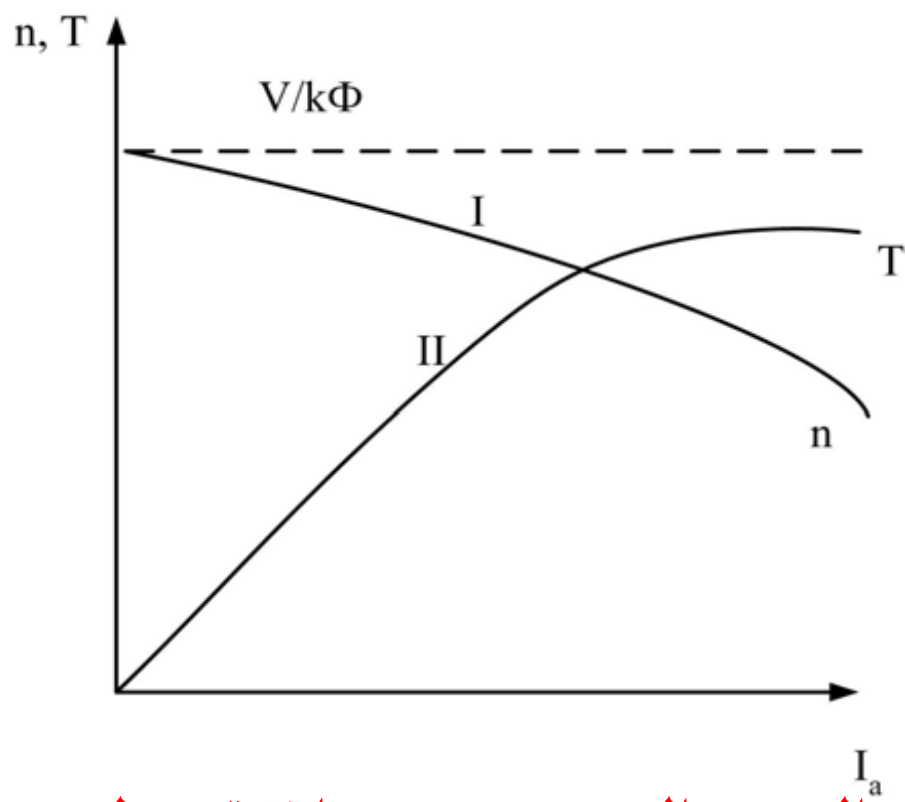
$$n = \frac{V_{in} - I_a \cdot R_a}{C_e \cdot \Phi}$$



هذه المعادلة تعطي العلاقة بين السرعة والتيار المتحرض (الحمل)، حيث نلاحظ ان السرعة تقل كلما زاد تيار المتحرض بدرجة طفيفة (المنحني (I)). ويمكن رسم مميزة العزم مع تيار المتحرض باستخدام علاقة العزم:

$$T = C_m \cdot \phi \cdot I_a \Rightarrow I_a = \frac{T}{C_m \cdot \phi}$$

نلاحظ من هذه العلاقة أن العزم يتناسب طردياً مع تيار المتحرض عند ثبات الفيض المغناطيسي (تيار التهييج)، وثبات الدخل للمحرك. نلاحظ ان العزم يزداد مع زيادة تيار المتحرض كما هو واضح من الشكل (المنحني (II)).



$$I_a = \frac{T}{C_m \cdot \phi}$$

نعوض قيمة تيار المتحرض من العلاقة

$$n = \frac{V_{in} - I_a \cdot R_a}{C_e \cdot \Phi}$$

في العلاقة:

$$n = \frac{V_{in}}{C_e \cdot \Phi} - T \cdot \frac{R_a}{C_m \cdot C_e \cdot \Phi^2}$$

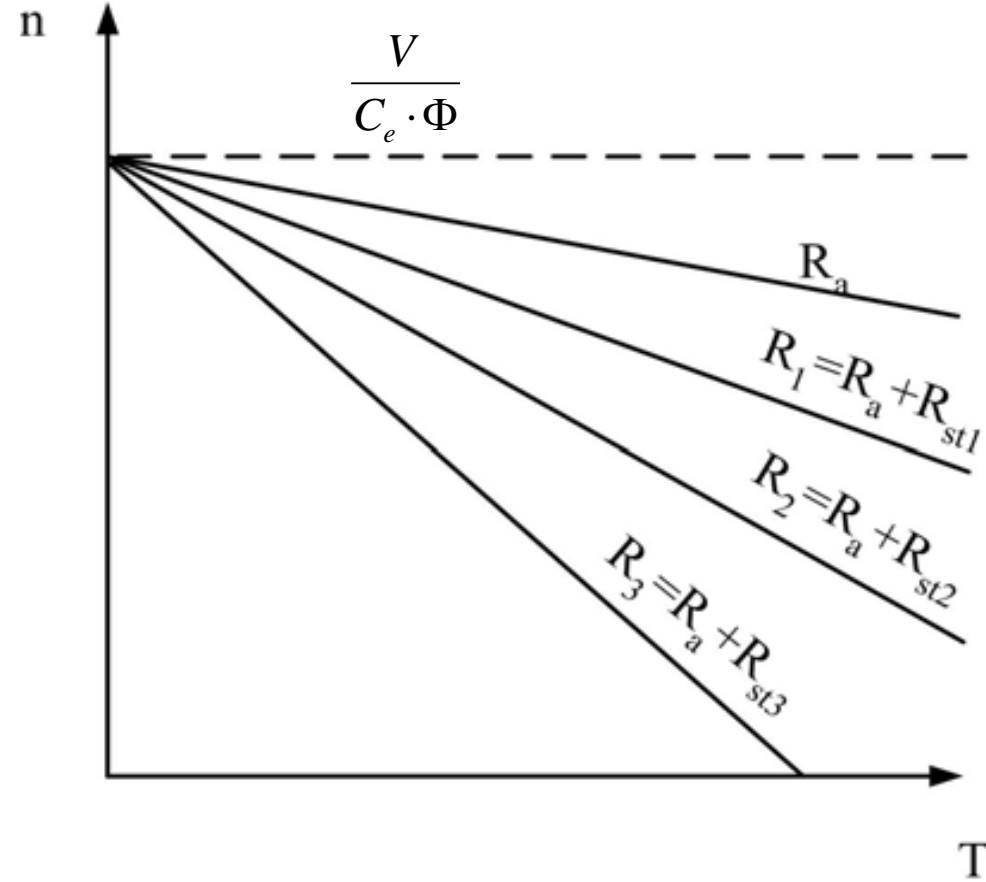
نجد:

تمثل هذه العلاقة مميزة السرعة مع العزم لمحرك التيار المستمر ذو التهبيج التفرعي، وهي علاقة خط مستقيم حيث أن الفيض ثابت القيمة. وعند حالة اللاحمل (العمل على فراغ) يكون العزم معدوماً (T=0) عندها تصبح السرعة مساوية:

$$n = \frac{V_{in}}{C_e \cdot \Phi}$$

وهي سرعة اللاحمل، وتمثل بالجزء الأول من المعادلة. أما الجزء الثاني فيمثل الانخفاض في السرعة عند التحميل.

يبين الشكل مميزة السرعة مع العزم من أجل قيم مختلفة لمقاومة الإقلاع، وهي مجموعة خطوط مستقيمة يختلف ميلها حسب قيمة مقاومة الإقلاع.



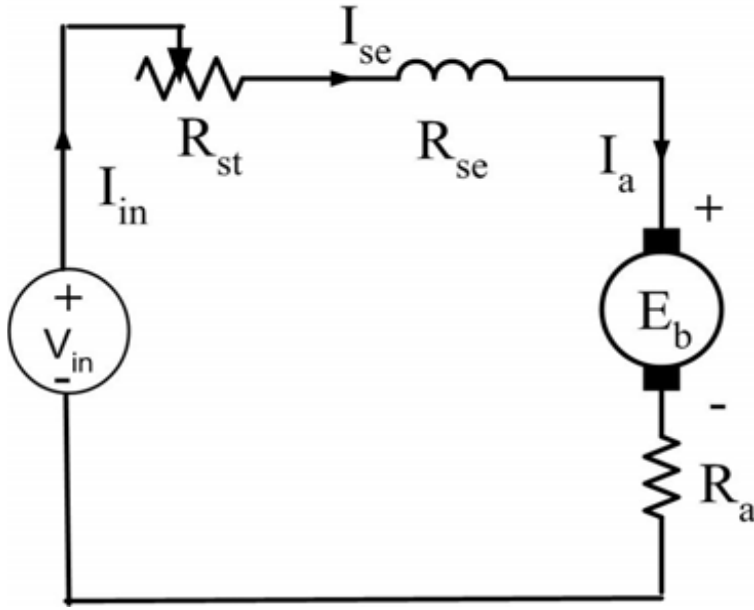
استخدامات المحرك التفرعي:

يستخدم المحرك التفرعي في الحالات التي تحتاج إلى سرعة ثابتة تقريباً، والتي يمكن أن تهبط فيها السرعة هبوطاً طفيفاً مع ازدياد الحمل، مثل آلات الورش كالمخارط والمقاشط، كما أنه يمكن أن يناسب آلات الغزل والنسيج، حيث يستفاد من منظم السرعة في ضبط سرعة دوران المحرك عند قيم مختلفة عند العمل على فراغ، ثم تهبط هذه السرعات هبوطاً طفيفاً مع الحمل. أيضاً يستخدم المحرك في آلات صناعة الورق والأخشاب والمضخات والدرفلة.

محرك تفرعي يغذى من منبع جهد 240V ويدور بسرعة 750rpm، وتيار المتحرض 30A فإذا كانت مقاومة ملف المتحرض 0.05Ω احسب عزم المحرك بوحدة [N.m].

مميزات محركات التيار المستمر ذات التهيج التسلسلي:

تعطى علاقة السرعة للمحرك التفرعي المستمر بالعلاقة:



$$V_{in} = E_a + I_a \cdot (R_a + R_{se})$$

$$I_{in} = I_a = I_{se}$$

بما أن التيارات متساوية نتيجة الوصل التسلسلي، فإن الفيض يتناسب مع تيار التهيج I_{se} ، أي مع تيار المتحرض I_a :

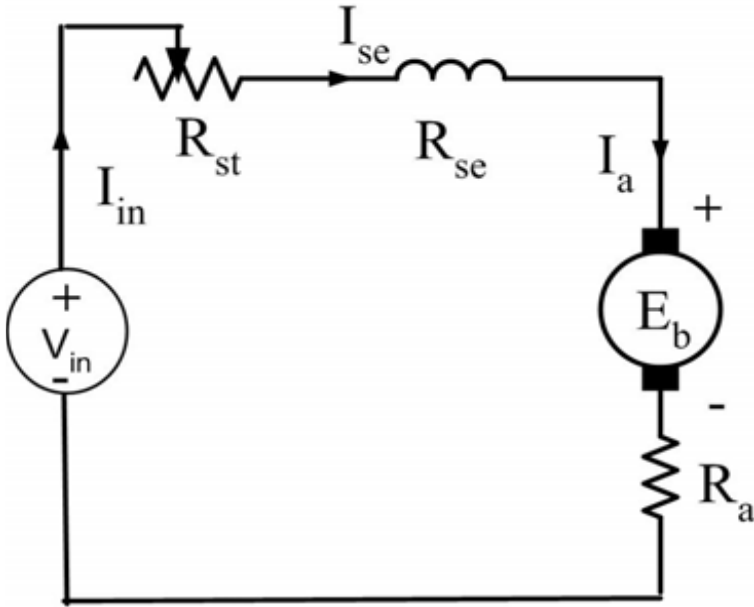
$$\phi = C \cdot I_a = C \cdot I_{se}$$

بالتعويض في علاقة العزم:

$$T = C_m \cdot \phi \cdot I_a = C_m \cdot C \cdot I_a \cdot I_a \Rightarrow T = K \cdot I_a^2$$

أي أن العزم يتناسب طردياً مع مربع تيار المتحرض، وبالتالي يمكن حساب سرعة المحرك كتابه لتيار المتحرض.

وفقاً لذلك تعطى القوة المحركة الكهربائية المتولدة في المتحرض بالعلاقة:

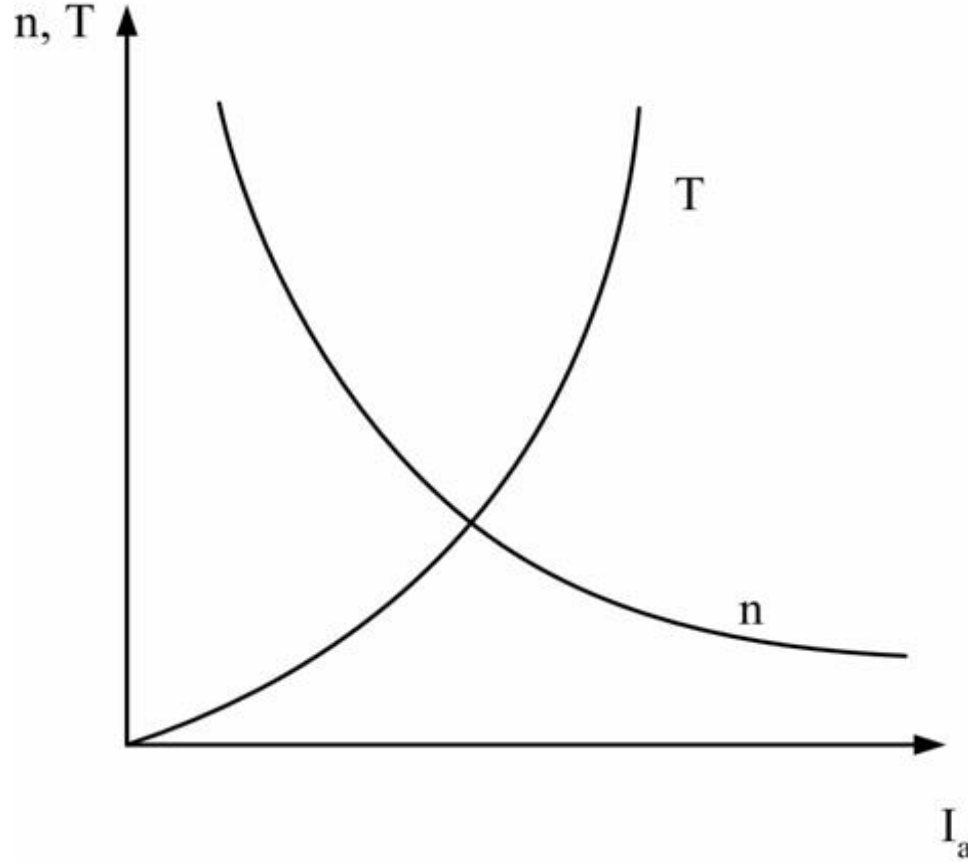


$$E_a = C_e \cdot \phi \cdot n = C_e \cdot C \cdot I_a \cdot n \Rightarrow E_a = K' \cdot I_a \cdot n$$
$$\Rightarrow n = \frac{E_a}{K' \cdot I_a}$$

بتعويض قيمة القوة المحركة الكهربائية في علاقة السرعة يكون:

$$n = \frac{E_a}{K' \cdot I_a} = \frac{V_{in} - I_a \cdot (R_a + R_{se})}{K' \cdot I_a}$$

تبين معادلة العزم أنه يتناسب طردياً مع مربع تيار المتحرض، وبالتالي ستكون مميزة العزم مع التيار عبارة عن قطع ناقص (Parabola).



$$T = K \cdot I_a^2$$

أما معادلة السرعة فتبين أن العلاقة بين السرعة والتيار المتحرض للمحرك التسلسلي هي علاقة عكسية، أي مع زيادة تيار المتحرض (تيار الحمل) تقل السرعة، وهذه الميزة هي أقرب ما يكون إلى قطع زائد (Hyperbola).

$$n = \frac{E_a}{K' \cdot I_a} = \frac{V_{in} - I_a \cdot (R_a + R_{se})}{K' \cdot I_a}$$

للحصول على العلاقة بين السرعة والعزم نجد:

$$T = K \cdot I_a^2$$

نعوض في علاقة السرعة فيكون:

$$n = \frac{V_{in}}{\alpha \cdot I_a} - T \cdot \frac{(R_a + R_{se})}{\alpha^2 \cdot I_a^2}$$

$$n = \frac{V_{in}}{\sqrt{\alpha \cdot T}} - \frac{(R_a + R_{se})}{\alpha}$$

تمثل هذه المعادلة مميزة السرعة مع العزم للمحرك التسلسلي، حيث نلاحظ أن السرعة تزداد بمقدار كبير عند العمل على فراغ (حالة اللاحمل) ($T=0$)، لذلك لا يفضل استخدام هذا المحرك عند عمده وجود حمل، حتى لا يتسبب في وجود مشاكل ميكانيكية متعلقة بزيادة السرعة.

استخدامات المحرك التسلسلي:

وجدنا فيما سبق أن عزم المحرك التسلسلي يتناسب طردياً مع مربع تيار المنبع (تيار المتحرض)، بينما تتناسب السرعة عكسياً مع تيار المتحرض (تيار الحمل)، بحيث تبقى القدرة متناسبة مع تيار المنبع باعتبار جهد المنبع ثابت. وفقاً لذلك فإن هذا النوع من المحركات قادر على مواجهة احمال كبيرة دون الحاجة إلى تعدي الحدود المقبولة في استجرار القدرة من المنبع، وذلك نظراً لأن هبوط سرعة الدوران مع الاحمال الكبيرة يعمل على الحد من استهلاك القدرة من المنبع، وهذا يجعل محرك التهييج التسلسلي أكثر ملاءمة في حالات الجر الكهربائي، حيث ينتفي احتمال الزيادة الكبيرة في السرعة نظراً لوجود حمل دائم على المحرك يتمثل في وزن القاطرة والعربات التي تجرها عندما تكون خالية.

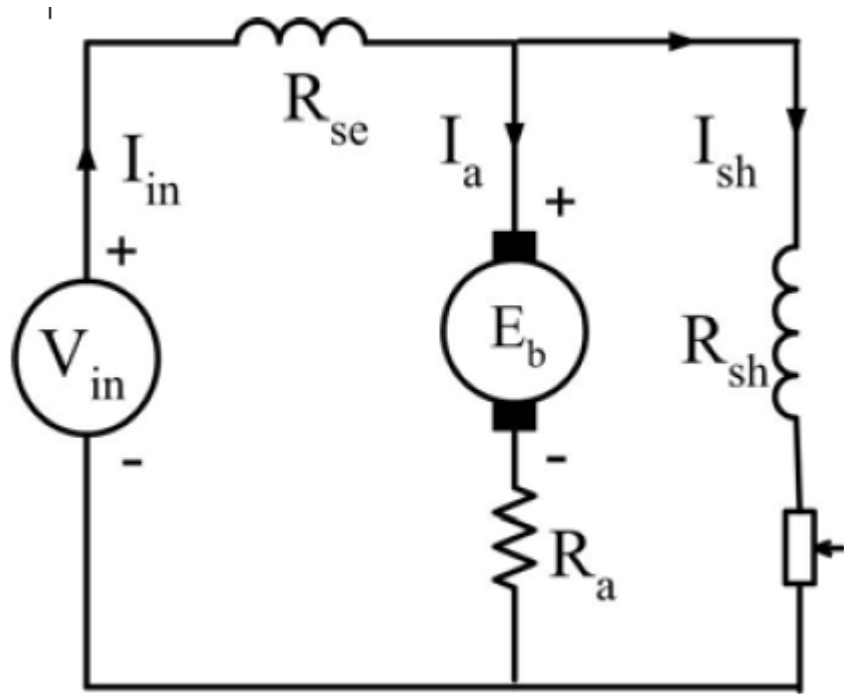
يستخدم المحرك التسلسلي أيضاً في الروافع بأنواعها المختلفة، وفي المصاعد الكهربائية.

محرك تيار مستمر ذي تهبيج تسلسلي يغذى من منبع جهد $220V$ ، ويستجر تيار مقداره $50A$ عند سرعة دوران $1000rpm$ ، مقاومة ملف المتحرض 0.15Ω ، ومقاومة ملف التهبيج 0.1Ω ، فإذا انخفضت سرعة المحرك إلى 80% من سرعته الإسمية، وأصبح تيار المتحرض $60A$: احسب عزم المحرك، والقوة المحركة الكهربائية في الحالتين.

محرك تيار مستمر ذي تهبيج تسلسلي، له أربعة أقطاب، يغذى من منبع جهد $220V$ ، ويستجر تيار مقداره $52A$ عند الحمل الكامل. المحرك ملفوف لفاً تموجياً، وعد نواقله الكلية 630 ناقلاً، الفيض المغناطيسي لكل قطب $0.18Wb$ ، مقاومة ملف المتحرض 0.2Ω ، ومقاومة ملف التهبيج 0.1Ω : احسب سرعة دوران المحرك وعزمه. إذا انخفض عزم الدوران إلى 60% من قيمته عند الحمل الكامل: أوجد سرعة الدوران الجديدة.

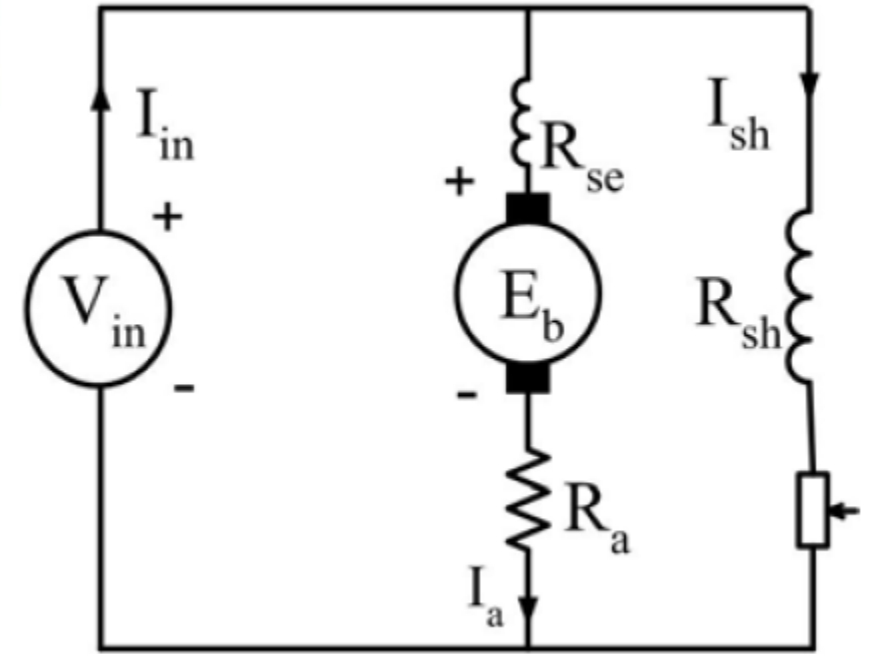
مميزات محركات التيار المستمر ذات التهييج المختلط:

المحرك ذي التهييج المختلط هو بالأساس محرك تفرعي أضيف إليه ملف تسلسلي يمر فيه تيار المنبع في المحرك ذي الوصلة القصيرة، أو تيار المتحرض في المحرك ذي الوصلة الطويلة، وذلك في اتجاه معين بحيث يؤدي تأثير المجال المغناطيسي الذي تعطيه هذه الملفات على المجال المغناطيسي للمف التفرعي، وبذلك يكتسب المحرك خصائص معينة بالنسبة للسرعة والعزم. يبين الشكل نموذجي المحرك المختلط.



وصلة قصيرة

د.علاء الدين حسام الدين

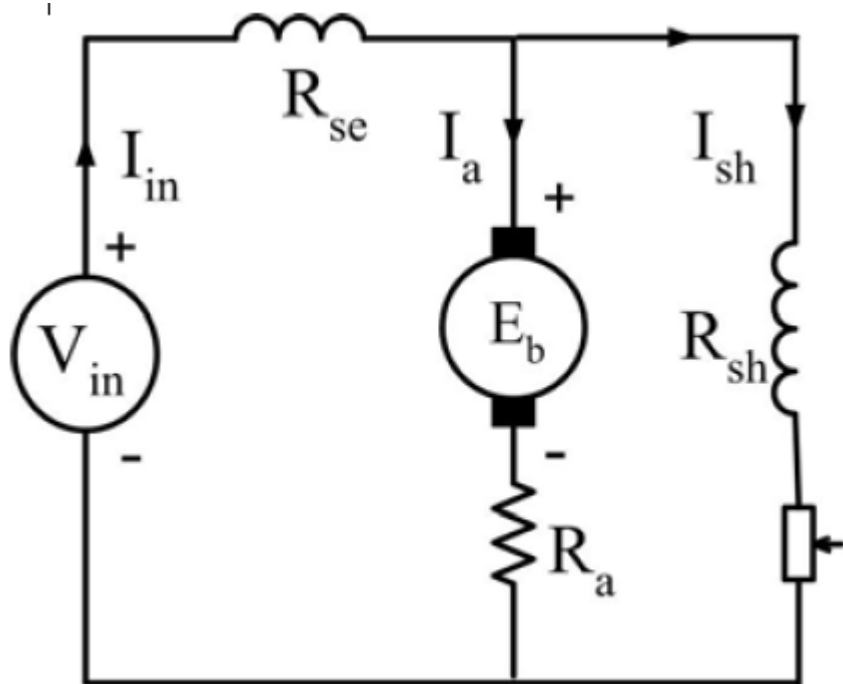


وصلة طويلة

الألات الكهربائية

CEMC505

معادلات المحرك ذي الوصلة القصيرة :



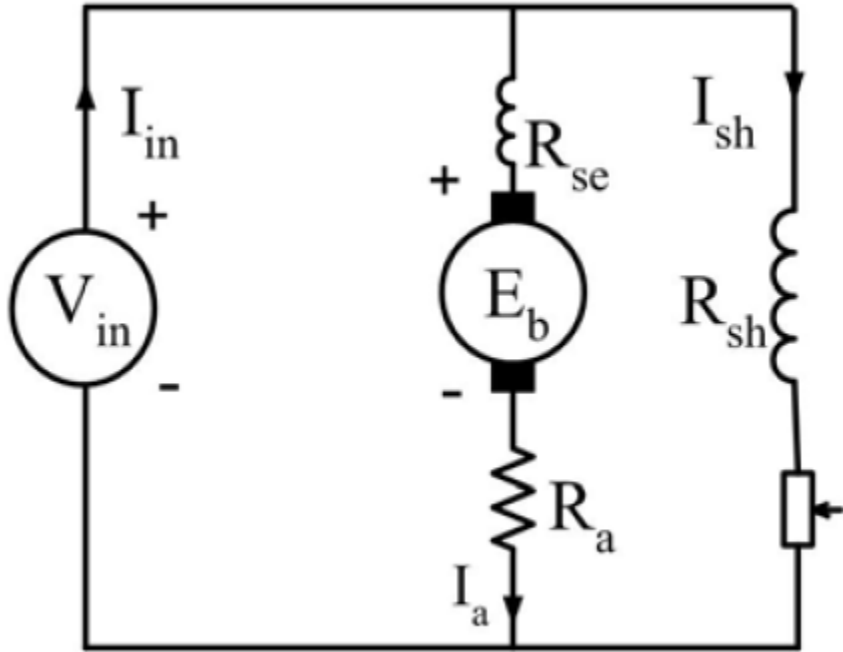
$$E_a = V_{in} - I_a \cdot R_a - I_{in} \cdot R_{se}$$

$$V_{sh} = I_{sh} \cdot R_{sh} = V_{in} - I_{in} \cdot R_{se}$$

$$I_{in} = I_{se} = I_a + I_{sh}$$

$$n = \frac{V_{in} - I_a \cdot R_a - I_{in} \cdot R_{se}}{C_e \cdot \phi}$$

معادلات المحرك ذي الوصلة الطويلة :



$$E_a = V_{in} - I_a \cdot (R_a + R_{se})$$

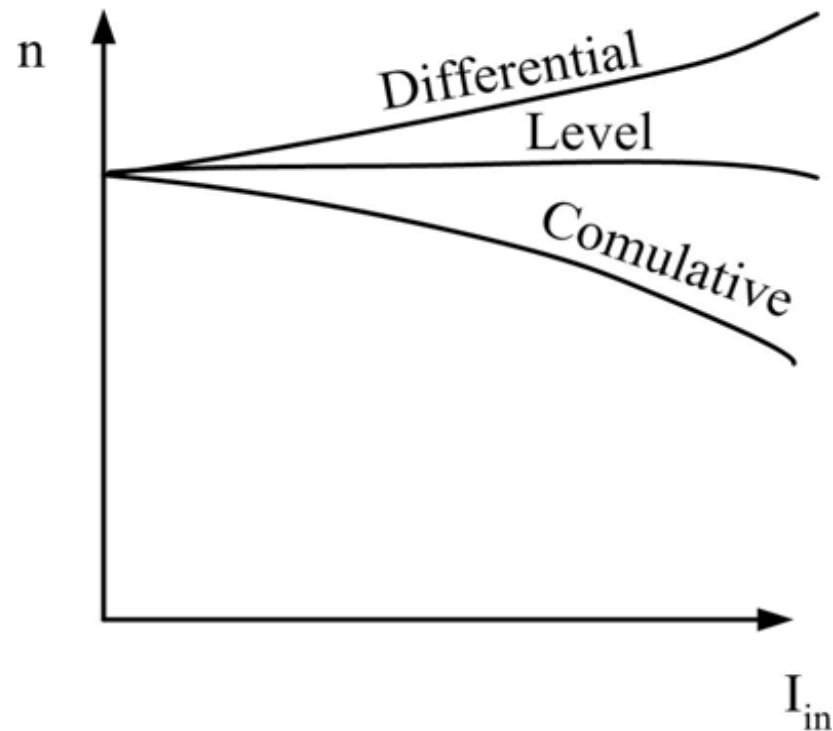
$$V_{sh} = I_{sh} \cdot R_{sh} = V_{in}$$

$$I_{in} = I_a + I_{sh}$$

$$n = \frac{V_{in} - I_a \cdot (R_a + R_{se})}{C_e \cdot \phi}$$

يتحدد مقدار محصلة الفيض المغناطيسي في المحرك المختلط بناءً على طريقة توصيل ملف التهييج التسلسلي (اتجاه التيار فيها)، فإما أن يعطي حقلاً (فيضاً) يساعد فيض الملف التفرعي، أو يعاكسه. ويتم تقسيم المحرك المختلط بناءً على ذلك إلى ثلاثة أنواع:

محرك مختلط تراكمي (Cumulative Compound motor): تزداد قيمة الفيض ϕ في هذا النوع كلما ازداد الحمل، فتتخفض السرعة بمقدار يتوقف على طريقة لف الملف التسلسلي.



محرك مختلط مستوى (Level Compound motor): يحافظ الملف التسلسلي في هذه الحالة على قيمة ϕ ثابتة على الرغم من تغير الحمل، فتبقى سرعة المحرك ثابتة تقريباً.

محرك مختلط تفاضلي (فرقي) (Differential Compound motor): يعطي الملف التسلسلي في هذه الحالة حقلاً مغناطيسياً معاكساً لحقل الملف التفرعي، وذلك عند مرور التيار فيه، وبذلك تقل قيمة ϕ كلما ازداد الحمل على المحرك، مما يؤدي إلى زيادة سرعة المحرك.

استخدامات المحرك المختلط:

يمكن استخدام المحرك المختلط المستوي كبديل عن المحرك التفرعي، وذلك للأحمال التي تحتاج إلى سرعة ثابتة بالرغم من تغير الحمل، ويستخدم المحرك المختلط التفاضلي (الفرقي) في درفلة الحديد (Rolling mills)، فعند دخول لوح الحديد بين الدرفيلين يزداد الحمل على المحرك، وبالتالي تميل السرعة إلى الانخفاض، فيتم تعويضها بفعل عمل المحرك، وبالتالي تظل السرعة ثابتة على الرغم من الزيادة المفاجئة في الحمل.

محرك تيار مستمر بتهييج تفرعي له المواصفات التالية:

$$P_n=25 \text{ [Kw]} , V=440 \text{ [V]} , v=1500 \text{ [r.p.m]} , \eta=0.85$$

$$R_f=88 \text{ [\Omega]} , R_a=0.15 \text{ [\Omega]}$$

هبوط التوتر بسبب تلامس المسفرات $\Delta V_{br}=2 \text{ [V]}$. احسب:

1. التيار الذي يستهلكه المحرك في نظام الحمولة الاسمية.
2. عزم الإقلاع، إذا علمت أن تيار الإقلاع في حالة البدء لا يتجاوز $2.5 I_a$ من حالة الحمولة الاسمية.
3. العزم على محور المحرك عند الحمولة الاسمية.
4. العزم الكهرومغناطيسي عند الحمولة الاسمية.
5. العزم في حالة اللاحمل.
6. تيار المتحرض في حالة اللاحمل.
7. القوة المحركة الكهربائية في حالة اللاحمل بإهمال هبوط الجهد على المسفرات.
8. سرعة الدوران على فراغ n_0 .
9. تغير سرعة دوران المحرك في حالة إفراغ الحمولة.

مولد تيار مستمر بتهييج مستقل. المتحرض فيه ملفوف لف تموجي، له المعطيات التالية:

$$V_n=230V, \Phi=4.8 \times 10^{-2} \text{ Wb}, n=1500 \text{ r.p.m}, N=100 \text{ turns}, R_a=0.175 \Omega,$$

$$\Delta V_{br}=2V, 2P=4$$

المطلوب:

1. حساب القوة المحركة الكهربائية عند سرعة الدوران الاسمية E_a .
2. تيار المتحرض في نظام الحمولة الاسمية I_a . وذلك بإهمال تأثير إزالة التمغنط لرد فعل المتحرض).
3. الاستطاعة الاسمية للمولد (المفيدة) P_n .
4. الاستطاعة الكهرومغناطيسية P_{em} .
5. العزم الكهرومغناطيسي في النظام الاسمي T .

مولد تيار مستمر بتهييج تفرعي، له المعطيات الفنية التالية:

$$P_2=100 \text{ KW}, V=230 \text{ V}, R_a=0.05 \Omega, R_f=57.5 \Omega$$

المطلوب:

1. حساب القوة المحركة الكهربائية المتولدة، وذلك في حالتين: عند الحمل الكامل، وعند نصف الحمل.

2. إذا كان $2P=4$ والمتحرض ملفوف لف تطابقي، وفيه 326 ناقل، ويدور بسرعة 650 r.p.m في حالة الحمل الكامل، وإذا كان القطر الداخلي للآلة يساوي 42 cm وطول محورها 28 cm ، والمساحة السطحية للقلب 0.0616 m^2 . احسب كثافة الفيض في الثغرة الهوائية.

3. إذا كان إجمالي الضياع الميكانيكي والحديدي هو 1.8 ، أوجد:

a. مردود المولد عند الحمل الكامل.

b. استطاعة الفرج مقدرة بالحصان للمحرك الميكانيكي الأساسي اللازم لتدوير المولد عند هذا الحمل.

4. عند أي حمل للمولد نحصل على أكبر مردود.

