جامعة المنارة
قسم هندسة الميكاترونكس

الآلات الكهربائية
Electrical Machines

5

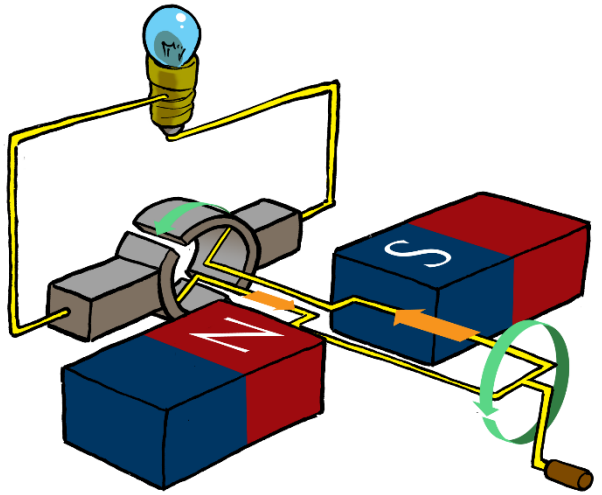
الدكتور المهندس
علاء الدين أحمد حسام الدين

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



مميزات مولدات التيار المستمر ذات التهييج المستقل والتفرعي والمختلط:

Characteristic of DC Generators – Separately Excited Self Excited And Compound Generator

يقصد بالمميزة المنحني البياني بين كميتين فيزيائيتين معتمدتين، وهي تظهر خصائص الحالة المستقرة لمولدات التيار المستمر، وتشرح العلاقات بين الأحمال، وبين التهييج والجهد على أقطاب المولد بشكل بياني. يوجد أربعة مميزات تمثل أهم مميزات مولدات التيار المستمر، وجميعها يمكن الحصول عليها مخبرياً بإجراء التجارب المناسبة، وهذه المميزات هي:

1. مميزة اللاحمل (مميزة العمل على فراغ) No-load characteristic : وهي تمثل العلاقة بين القوة المحركة الكهربائية المتولدة E_0 وبين تيار التهييج I_f وذلك عند ثبات السرعة n=const. . تعرف هذه المميزة أيضاً بمميزة التمغنط أو مميزة الدارة المفتوحة O.C.C.، ونعبر عنها بالتابع $E_0=f(I_f)$.

2. مميزة الحمل Load characteristic : وهي تمثل العلاقة بين الجهد على أطراف الحمل الموصول مع المولد V_L وبين تيار التهييج I_f وذلك عند ثبات السرعة، وثبات تيار الحمل I_L=constant , n=constant ،ونعبر عنها بالتابع $V_L=f(I_f)$.

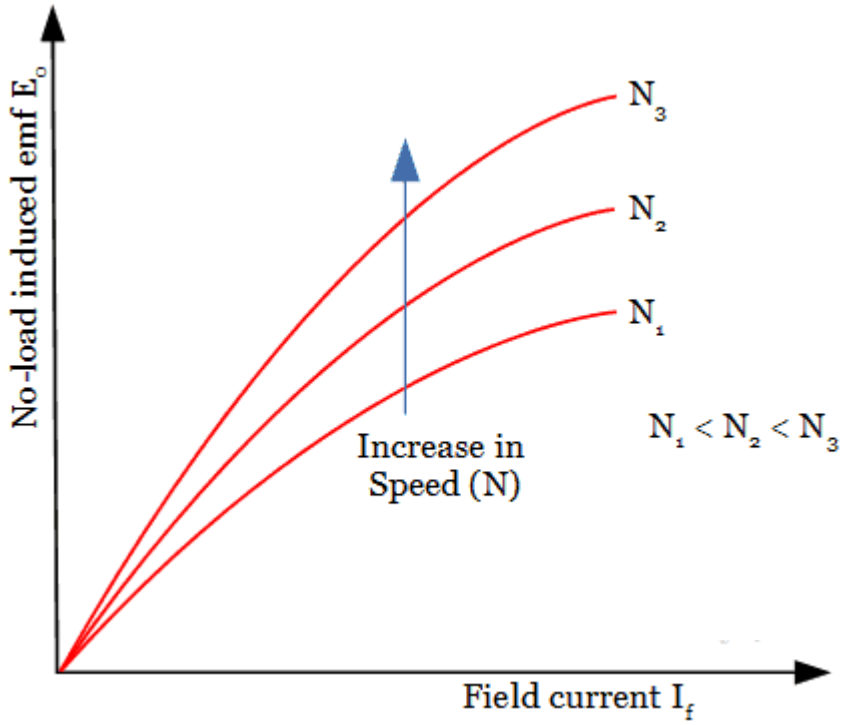
3. المميزة الداخلية Internal Characteristic : وهي تمثل العلاقة بين القوة المحركة الكهربائية المتولدة داخل المتحرض E_a وبين تيار المتحرض I_a وذلك عند وصل الحمولة مع المولد، وأخذ رد فعل المتحرض بالحسبان، أي عند ثبات السرعة، وتيار التهييج $n=constant$, $I_f=constant$ ،ونعبر عنها بالتابع $E_a=f(I_a)$.

4. المميزة الخارجية External Characteristic : وهي تمثل العلاقة بين الجهد على أطراف الحمل (توتر الخرج) V_L، وبين تيار الحمل I_L، وذلك عند ثبات السرعة، وتيار التهييج $n=constant$, $I_f=constant$ ،ونعبر عنها بالتابع $V_L=f(I_L)$.

مميزات مولدات التيار المستمر ذات التهييج المستقل:

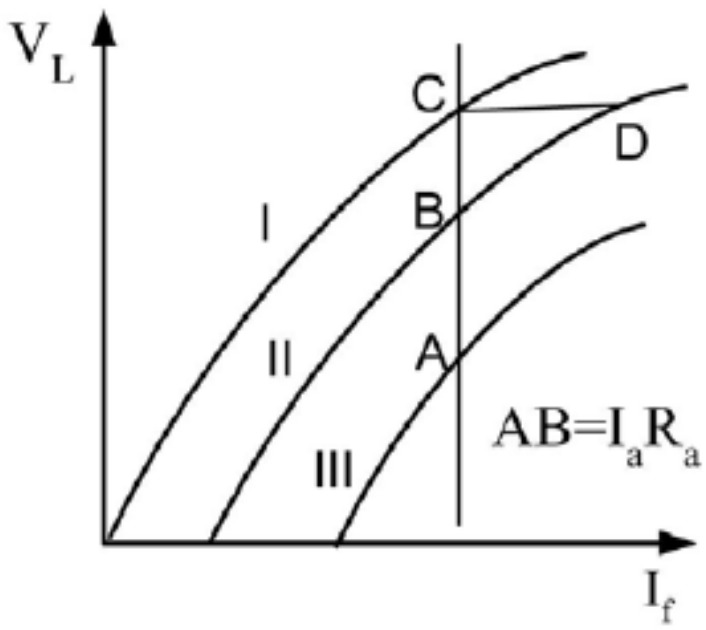
Characteristics of separately excited DC generators

1. مميزة اللاحمل (مميزة العمل على فراغ) : No-load characteristic $E_0=f(I_f)$.



عند كل سرعة ثابتة نحصل على منحني خاص، وبزيادة قيمة السرعة نحصل على منحنيات أعلى من المنحني ذي السرع الأخفض كما هو مبين بالشكل، الذي يُظهر أن القوة المحركة الكهربائية المتولدة في المولد تزداد بزيادة تيار التهييج، أو بزيادة سرعة دوران المولد.

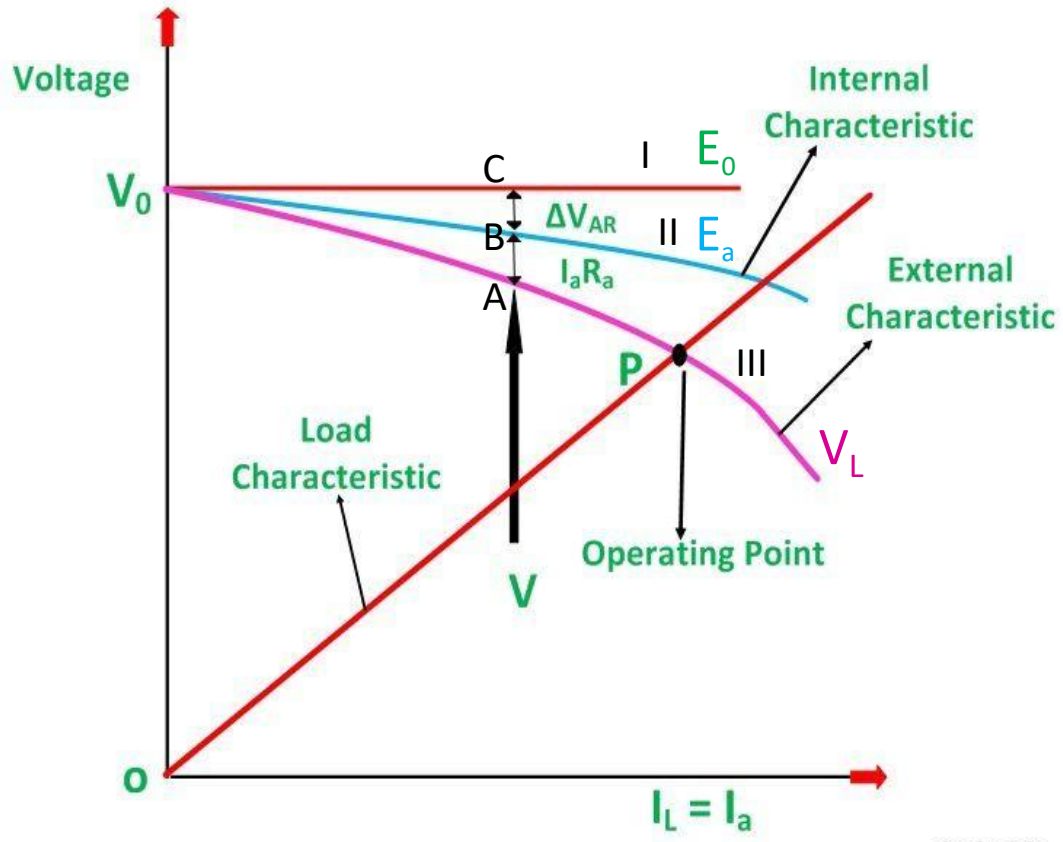
2. مميزة الحمل load characteristic : $V_L=f(I_f)$.



يبين الشكل منحني الحمل، حيث يمثل المنحني III منحني مميزة الحمل، بينما يمثل المنحني I المميزة في حالة اللاحمل لنفس الآلة، وإذا أضيفت المسافة AB التي تمثل هبوط الجهد على مقاومة المتحرض ($I_a.R_a$) إلى المنحني III، فسينتج لدينا المنحني II الذي يمثل القوة المحركة المتولدة في المتحرض نتيجة محصلة الفيض في الآلة. وتمثل المسافة CB هبوط الجهد نتيجة رد فعل المتحرض، وللمحافظة على الجهد على أطراف الآلة V_L مساوياً الجهد في حالة اللاحمل (E_0) لا بد من زيادة تيار التهييج بمقدار CD للتعويض عن هبوط الجهد نتيجة رد فعل المتحرض.

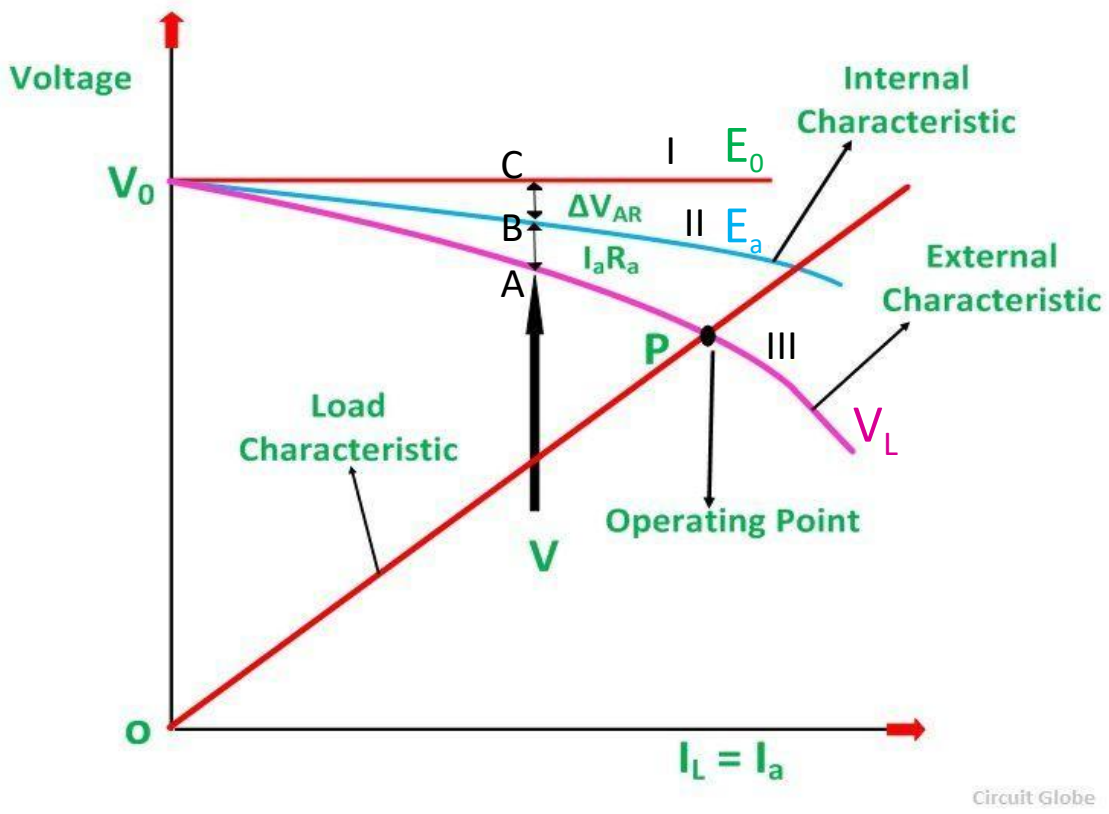
3. المميزة الخارجية External Characteristic $V_L=f(I_L)$:

يبين الشكل المميزة الخارجية للمولد (باللون الوردي)، حيث يمكن حساب قيمة هبوط الجهد ($I_a.R_a$)، المناظر لكل قراءة من قراءات التيار، ويمكن من خلال معرفة هبوط الجهد على مقاومة المتحرض استنتاج المنحني (باللون السماوي) الممثل لقيمة E_a عند تيارات الحمل المختلفة (هو ما يمثل المميزة الداخلية). ويمكن استنتاج أن الفرق ما بين الخط الافقي (I) الممثل لقيمة القوة المحركة الكهربائية التي تعطيها الآلة E_0، وبين منحني E_a عند أي تيار حمل محدد هو هبوط الجهد المكافئ لرد فعل المتحرض عند هذا الحمل ΔV_{AR}. فإذا طرحنا منه هبوط الجهد على مقاومة المتحرض، نحصل على منحني المميزة الخارجية (المنحني III) الذي يمثل العلاقة بين الجهد على أطراف الحمل V_L وبين تيار الحمل I_L وذلك عند سرعة ثابتة وتيار تهييج ثابت.



تسمى نقطة التقاطع P بين مميزة الحمل والمميزة الخارجية بنقطة التشغيل، حيث تعطي هذه النقطة قيم التشغيل لجهد الخرج وتيار الحمل $V_L=I_L.R_L$.

4. المميزة الداخلية External Characteristic $E_a=f(I_a)$:

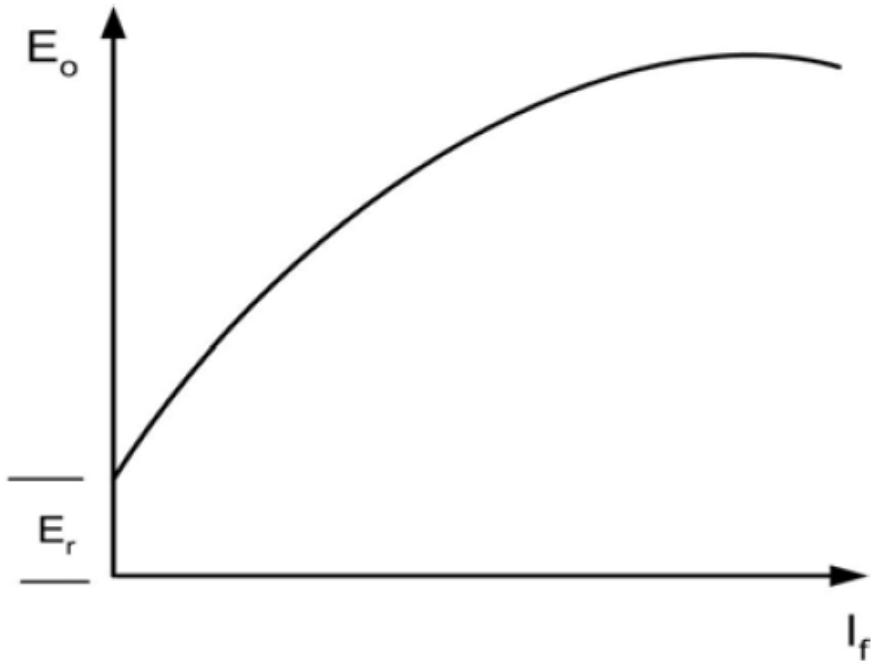


يمثل المنحني II المميزة الداخلية $E_a=f(I_a)$، حيث يعطي العلاقة بين القوة المحركة المتولدة في الآلة (E_a) في حالة التحميل، وبين تيار المتحرض (I_a) والذي يساوي تيار الحمل (I_L) للآلة ذات التغذية المستقلة، وذلك عند ثبات السرعة وتيار التهييج. ويتم الحصول على هذا المنحني بإضافة هبوط الجهد AB ($I_a.R_a$) إلى منحني المميزة الخارجية، ويمثل E_a القوة المحركة الكهربائية المتولدة في المتحرض نتيجة محصلة الفيض في الثغرة الهوائية.

بالاستعانة بمنحني المميزة الخارجية للآلة يمكن حساب عامل تنظيم الجهد ε للآلة من العلاقة:

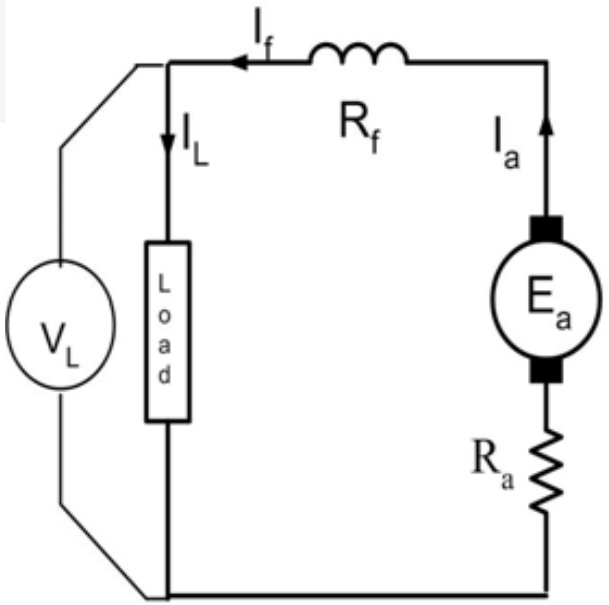
$$\varepsilon\% = \frac{E_0 - V_L}{V_L} \cdot 100$$

مميزات مولدات التيار المستمر ذاتية التغذية (التفرعي، والتسلسلي):



تعمل جميع المولدات ذات التغذية الذاتية على المغناطيسية المتبقية (Residual magnetism) لتوليد القوة المحركة الكهربائية، فكيف نحصل على هذه المغناطيسية؟

عند تشغيل الآلة لأول مرة بعد تصنيعها، يتم تهييجها من منبع خارجي مستقل، فيمر التيار في ملفات التهييج لتوليد الحقل المغناطيسي، وعند فصل هذا التيار عن ملفات التهييج، يترك وراءه مغناطيسية متبقية في أقطاب الآلة، وهي التي يعتمد عليها في عملية بناء الحقل المغناطيسي في الآلة. يبين الشكل منحني المغنطة للآلة الذي يربط بين قيمة تيار التهييج I_f وبين قيمة القوة المحركة الكهربائية التي تعطيها الآلة E_0 التي تتناسب مع قيمة الفيض المغناطيسي لكل قطب عند سرعة دوران ثابتة للآلة.

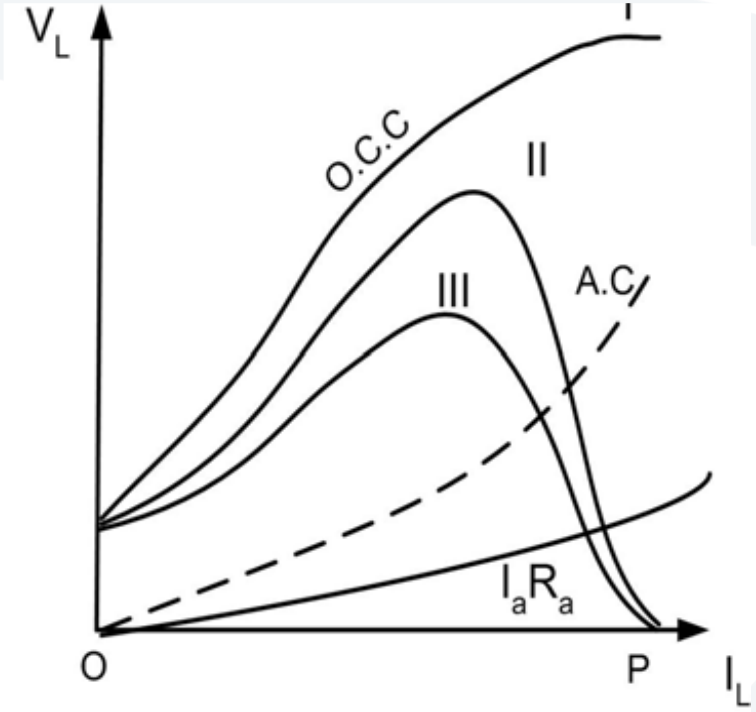


1. مميزات المولدات ذات التهييج التسلسلي:

أهم ما يميز مولد التيار المستمر ذي التهييج التسلسلي عن باقي الأنواع هي المميزة الخارجية. يبين الشكل دارة مولد تسلسلي التهييج المستخدمة للحصول على المميزة الخارجية.

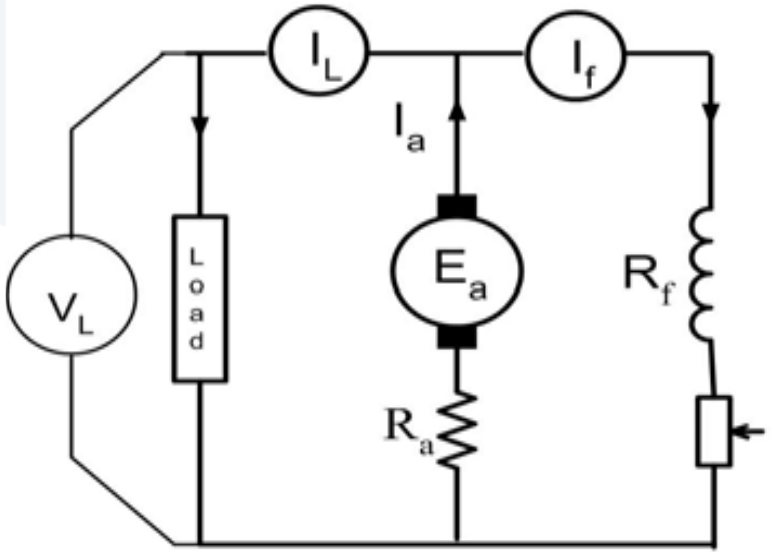
يتم تغيير تيار الحمل عن طريق مقاومة حمل متغيرة (R_L). في هذه المولدات يكون ملف التهييج موصول على التسلسل مع ملف المتحرض، وبالتالي $I_L=I_f=I_a$. وبناء على ذلك فإن زيادة تيار المتحرض سيزيد من التهييج، وبالتالي تزداد القوة المحركة الكهربائية المتولدة، وكذلك يزداد جهد الحمل (V_L).

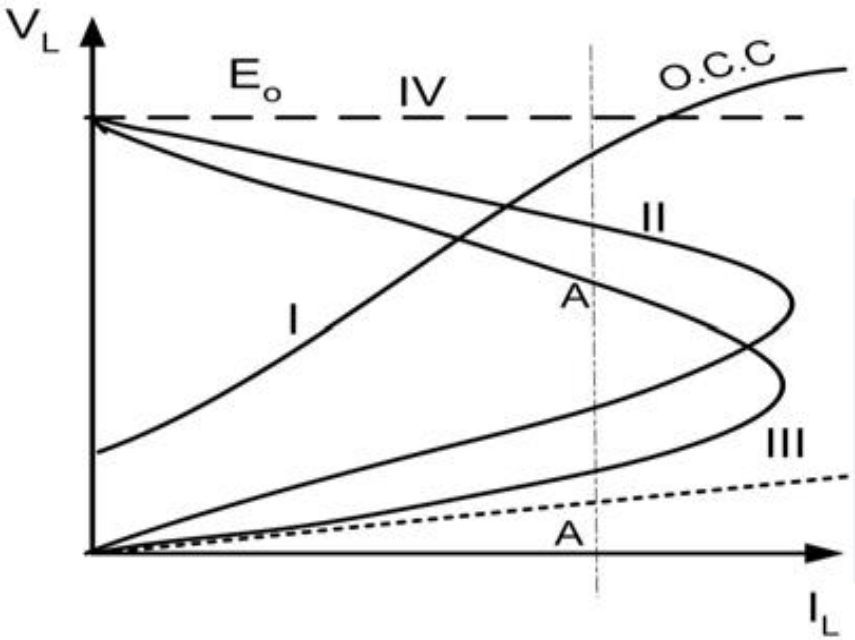
1. مميزات المولدات ذات التهييج التسلسلي:



يبين الشكل منحنيات مميزات المولد التسلسلي، حيث يمثل المنحني I مميزة الدارة المفتوحة للآلة، أما المنحني III فيمثل المميزة الخارجية، ونحصل على هذا المنحني من خلال الفرق بين المنحني I والمنحني A.C. يلاحظ من المميزة الخارجية أن الجهد يزداد مع زيادة تيار الحمل، ولكن عند زيادة الحمل عن حد معين، فإن الجهد يبدأ بالنقصان نتيجة زيادة رد فعل المتحرض، والذي يتناسب مع تيار الحمل I_L. وعند تيارحمل O ، P فإن الجهد على اطراف الحمل يساوي صفر.

إذا تم إضافة منحني هبوط الجهد $I_a.R_a$ إلى المميزة الخارجية (منحني III) فإننا نحصل على منحني المميزة الداخلية (منحني II)، الذي يمثل العلاقة بين القوة المحركة الكهربائية وتيار التهييج (الحمل في هذه الحالة)، والفرق بين منحني الدارة المفتوحة I، ومنحني المميزة الداخلية II يمثل هبوط الجهد نتيجة رد فعل المتحرض.





2. مميزات المولدات ذات التهييج التفرعي:

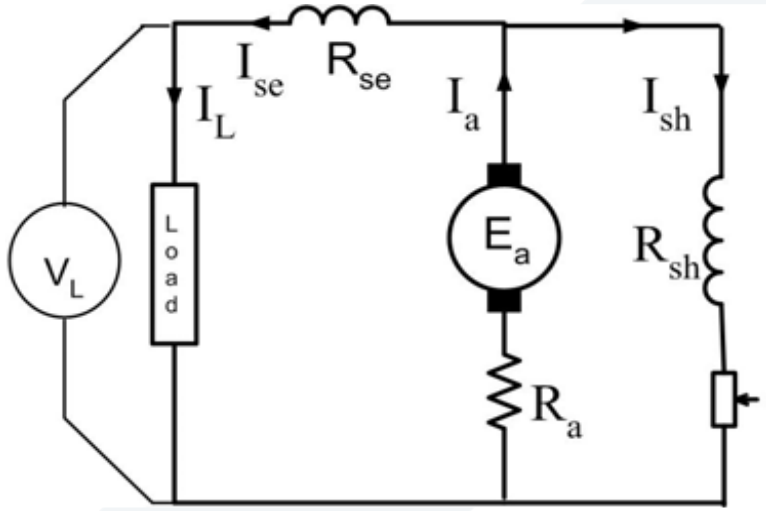
يبين الشكل جانباً الدارة المستخدمة في الحصول على مميزات المولد ذي التهييج التفرعي. يمثل المنحني I مميزة المولد التفرعي في حالة اللاحمل، ويمثل المنحني II المميزة الداخلية، أما المنحني III فيمثل المميزة الخارجية. نلاحظ من الرسم أنه عند قيمة محددة لتيار الحمل تسمى القيمة الحرجة، فإن منحني المميزة الخارجية يرتد مرة أخرى ويقل جهد الحمل حتى يصل إلى الصفر. أيضاً يمثل المنحني IV القوة المحركة الكهربائية المتولدة في حالة اللاحمل E_0 للآلة.

3. مميزات المولدات ذات التهييج المختلط:

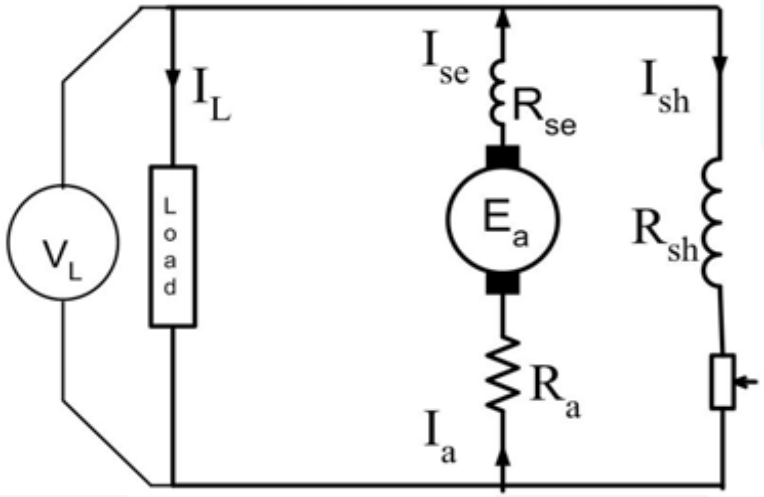
تحتوي هذه المولدات على ملف تسلسلي وملف تفرعي، ويوصل الملف التسلسلي مع المتحرض بحيث يعطي إما قوة دافعة مغناطيسية في نفس اتجاه القوة الدافعة المغناطيسية المتولدة من الملف التفرعي، وتسمى طريقة التوصيل في هذه الحالة بالتوصيل التراكمي (Cumulative compound)، أو بحيث تعطي قوة دافعة مغناطيسية معاكسة للقوة المتولدة من الملف التفرعي، وتسمى طريقة التوصيل في هذه الحالة بالتوصيل التفاضلي (Differential compound).

في هذه الآلات، يوصل الملف التفرعي إما مباشرة مع أطراف المتحرض، وتسمى طريقة الوصل هذه وصلة قصيرة (Short-shunt)، أو يوصل عبر أقطاب الدارة الخارجية (المتحرض مع الملف التسلسلي)، وتسمى طريقة الوصل عندها وصلة طويلة (Long-shunt).

وصلة طويلة



وصلة قصيرة



3. مميزات المولدات ذات التهييج المختلط:

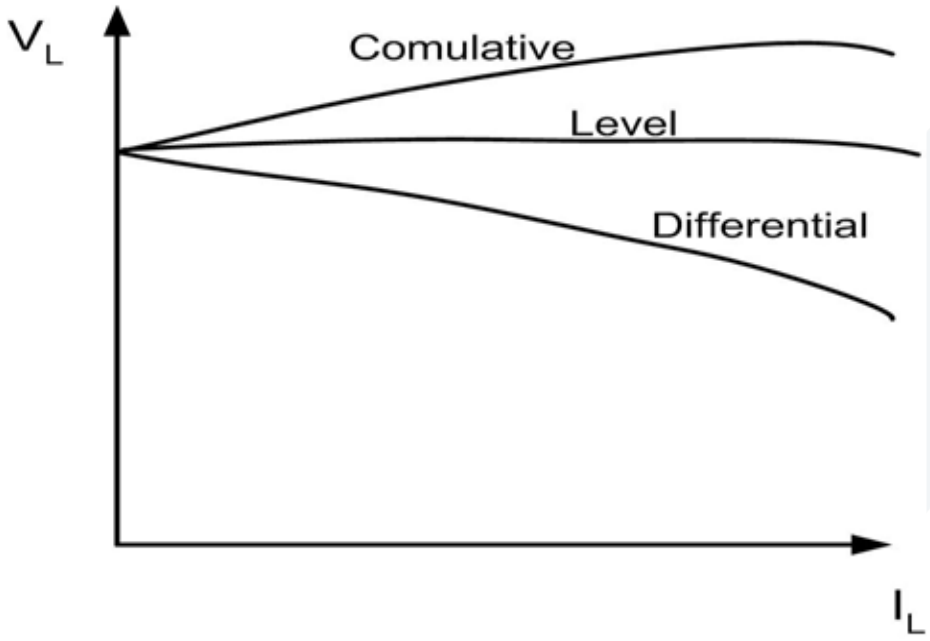
لا يوجد فرق جوهري بين الوصلتين، فالاختلاف لا يتعدى أنه في الحالة الأولى يتم وصل أحد طرفي ملفات التفرع مباشرة مع الحمل، بينما يوصل في الحالة الثانية مع طرف المتحرض، وهذا يؤثر تأثيراً طفيفاً على قيم الجهد والتيار.

يختلف منحني المميزة الخارجية للمولد ذي التهييج المختلط (سواء كان بوصلة قصيرة أم طويلة) على حسب تأثير الملف التسلسلي بالنسبة للملف التفرعي، ويوجد من هذا الناحية ثلاثة أنواع من المولدات:

مختلط تراكمي Cumulative: يعطي الملف التسلسلي حقلاً مغناطيسياً في نفس اتجاه الحقل المغناطيسي للملف التفرعي، فتؤدي الزيادة في تيار الحمل إلى زيادة ملحوظة في عدد خطوط القوى المغناطيسية لمحصلة الحقل المغناطيسي في الثغرة، مما يعمل على زيادة قيمة الجهد الطرفي على الحمل V_L كلما زاد تيار الحمل.

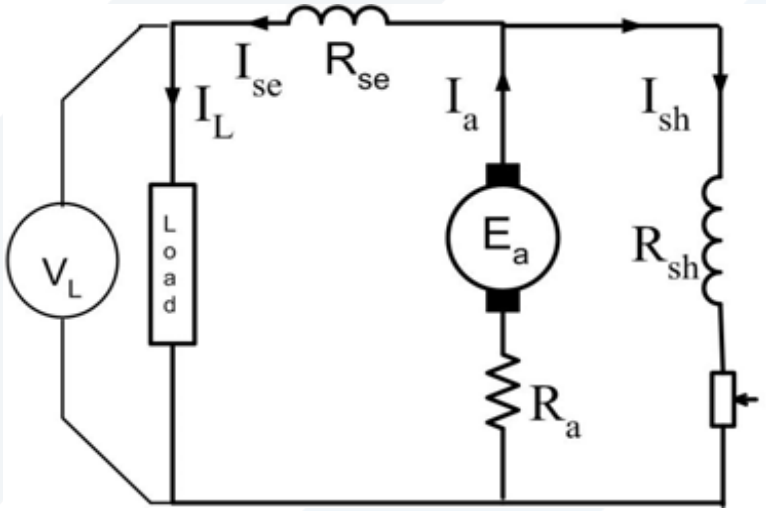
3. مميزات المولدات ذات التهييج المختلط:

مختلط مستوى Level: يعطي الملف التسلسلي حقلاً مغناطيسياً يعمل على تعويض أي نقص في خطوط القوى المغناطيسية لمحصلة الحقل المغناطيسي في الثغرة الهوائية نتيجة المؤثرات المختلفة، مثل رد فعل المتحرض، مما يؤدي إلى ثبات قيمة الجهد الطرفي على الحمل V_L مهما تغيرت قيمة تيار الحمل.



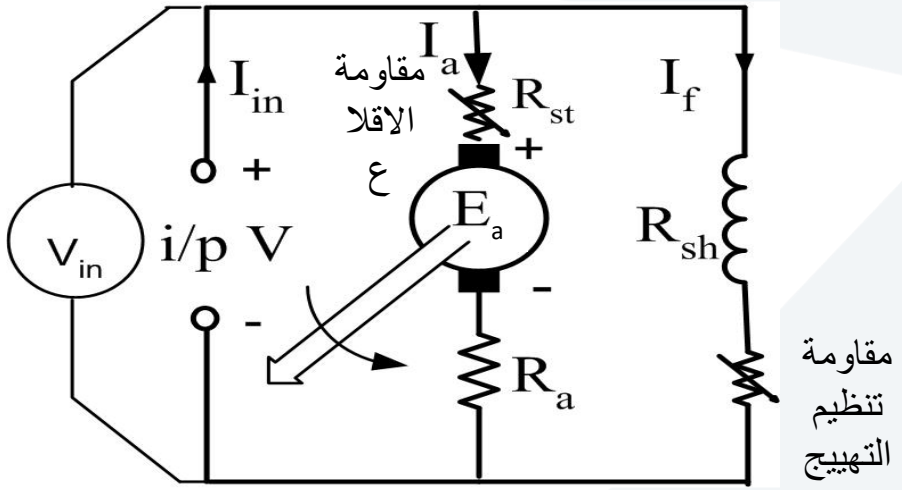
مختلط تفاضلي Differential: يعمل الملف التسلسلي على إضعاف الحقل المغناطيسي الناتج عن الملف التفرعي، مما يؤدي إلى نقص كبير في عدد خطوط القوى المغناطيسية لمحصلة الحقل المغناطيسي في الثغرة الهوائية كلما زاد تيار الحمل، فينخفض الجهد انخفاضاً ملحوظاً.

مولد تيار مستمر بتهييج مختلط (وصلة طويلة) يدور بسرعة 1000 r.p.m ويغذي حمل استطاعته 45 [KW] عند جهد 240 [V] . فإذا كانت مقاومة المتحرض تساوي 0.05 [Ω] ومقاومة الملف التسلسلي تساوي 0.02 [Ω] ومقاومة الملف التفرعي 65 [Ω] ، وبفرض أن الضياعات الحديدية والميكانيكية تساوي 3500 [W]، احسب مردود المولد.



مميزات محركات التيار المستمر ذات التهييج التفرعي :

تعطى علاقة السرعة للمحرك التفرعي المستمر بالعلاقة:



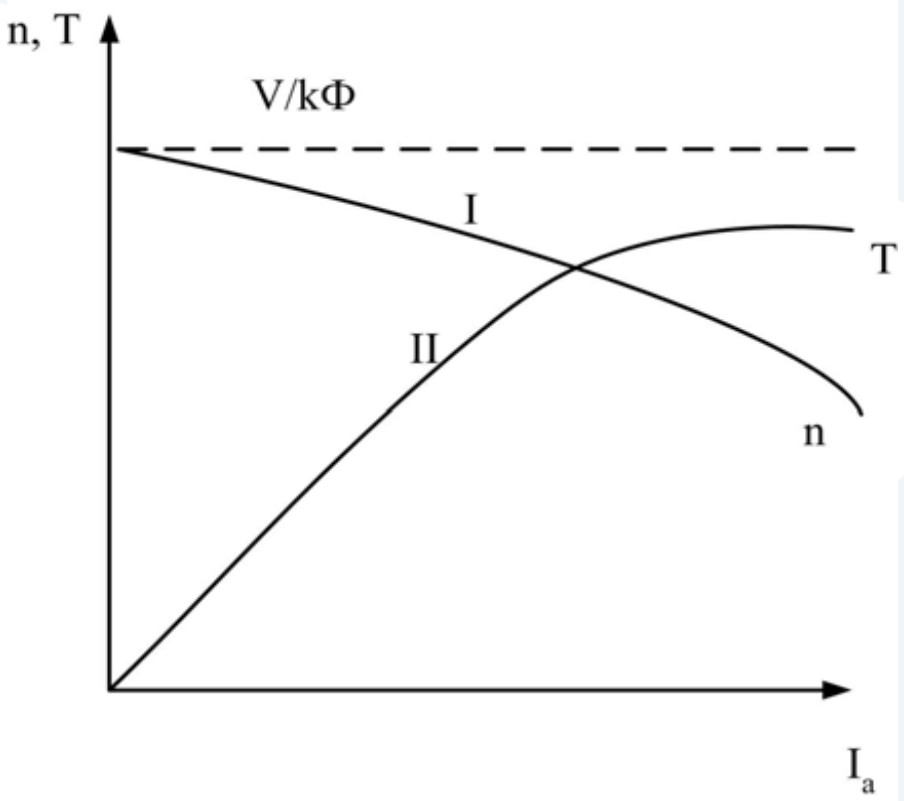
$$V_{in} = E_a + I_a \cdot R_a, E_a = C_e \cdot \Phi \cdot n,$$
$$I_{in} = I_a + I_f$$
$$\Rightarrow V_{in} = C_e \cdot \Phi \cdot n + I_a \cdot R_a$$
$$\Rightarrow n = \frac{V_{in} - I_a \cdot R_a}{C_e \cdot \Phi}$$

وفقاً لهذه العلاقة نجد أن مميزات المحرك التفرعي هي:

1. مميزة السرعة مع تيار المتحرض: $n=f(I_a)$
2. مميزة العزم مع تيار المتحرض: $T=f(I_a)$
3. مميزة السرعة مع العزم: $n=f(T)$

من معادلة السرعة:

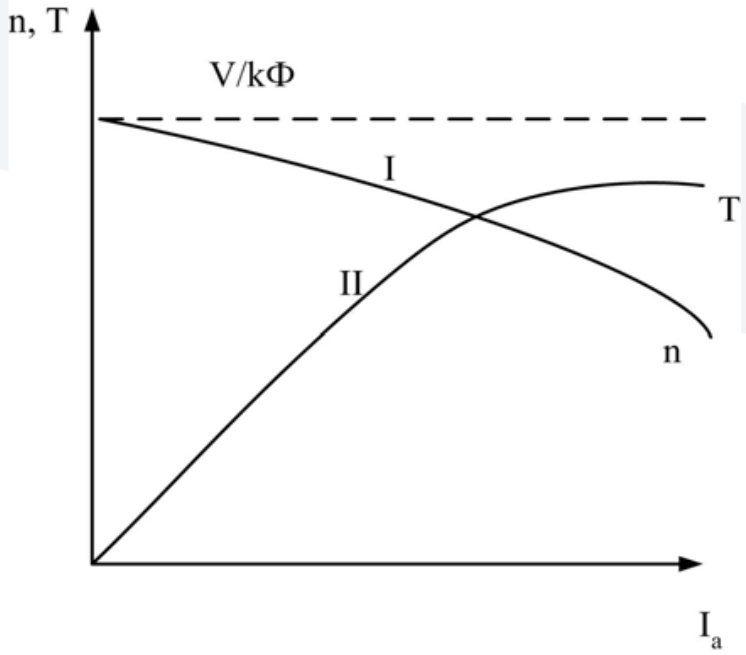
$$n = \frac{V_{in} - I_a \cdot R_a}{C_e \cdot \Phi}$$



هذه المعادلة تعطي العلاقة بين السرعة وتيار 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)).



نعوض قيمة تيار المتحرض من العلاقة $I_a = \frac{T}{C_m \cdot \Phi}$

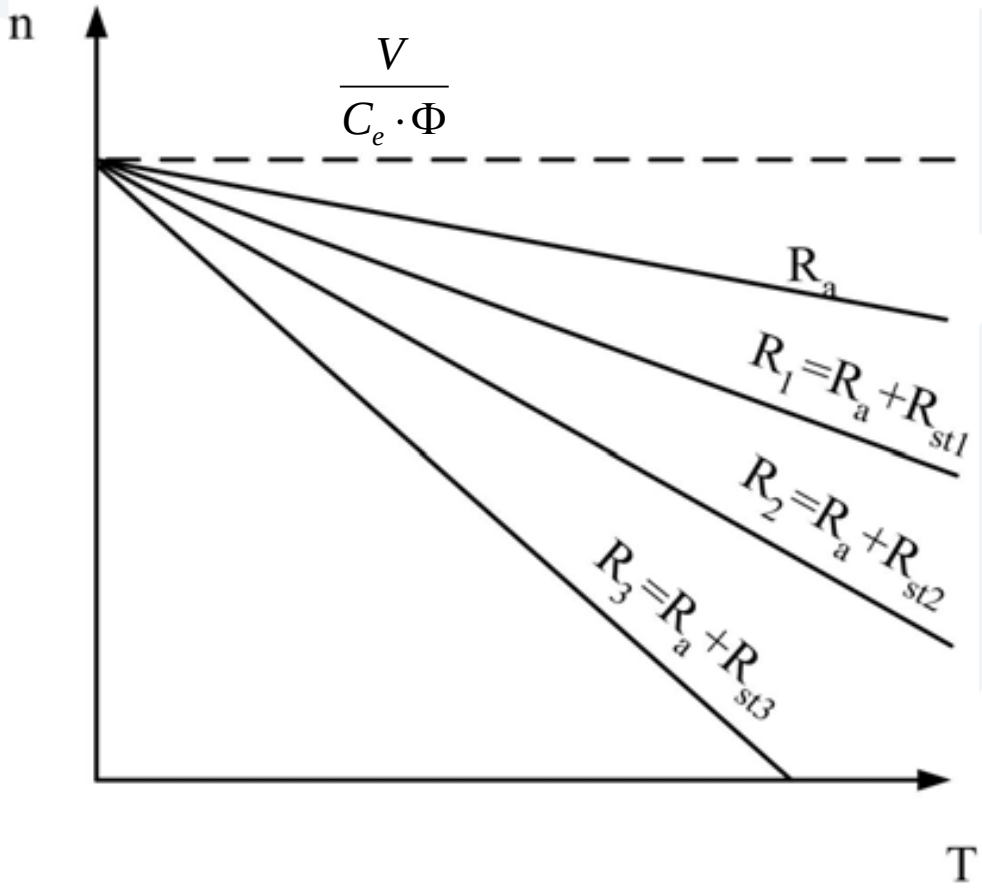
في العلاقة: $n = \frac{V_{in} - I_a \cdot R_a}{C_e \cdot \Phi}$

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

تمثل هذه العلاقة مميزة السرعة مع العزم لمحرك التيار المستمر ذو التهييج 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.



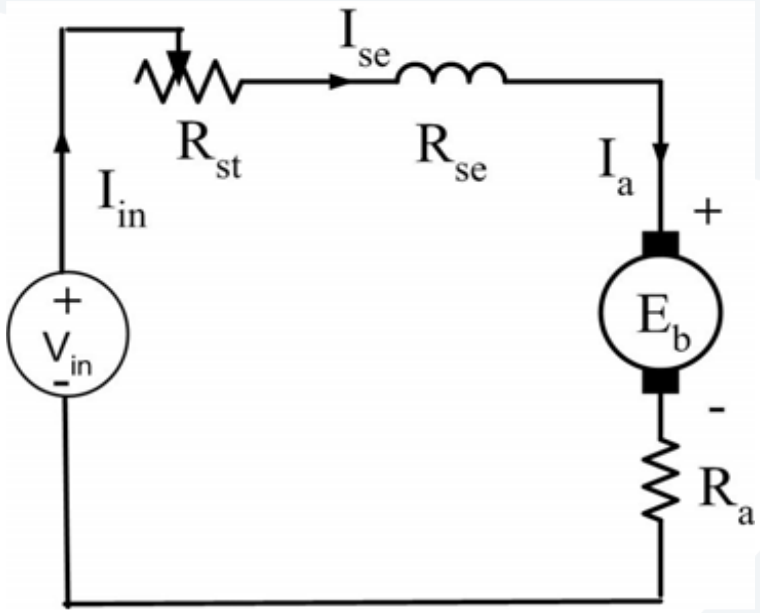
يبين الشكل مميزة السرعة مع العزم من أجل قيم مختلفة لمقاومة الإقلاع، وهي مجموعة خطوط مستقيمة يختلف ميلها حسب قيمة مقاومة الإقلاع.

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 بواحدة [N.m].

مميزات محركات التيار المستمر ذات التهييج التسلسلي:



تعطى علاقة السرعة للمحرك التفرعي المستمر بالعلاقة:

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

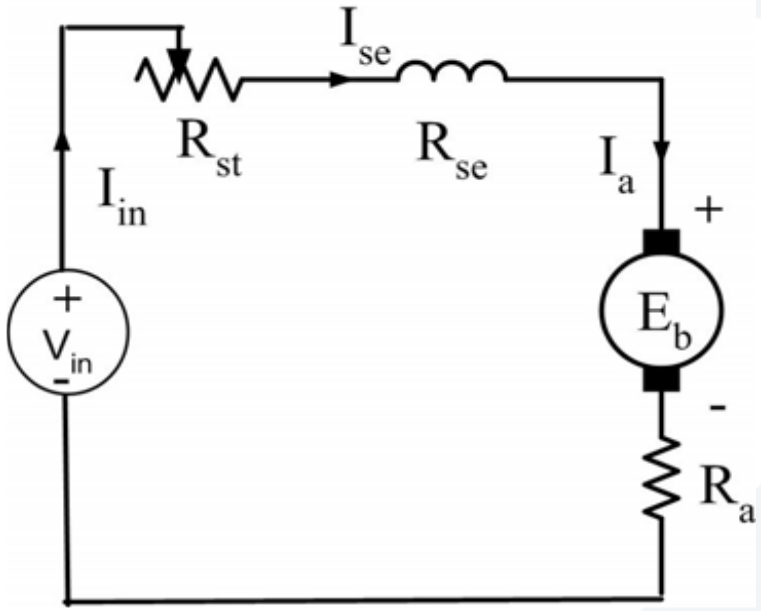
بما أن التيارات متساوية نتيجة الوصل التسلسلي، فإن الفيض يتناسب مع تيار التهييج I_{se}، أي مع تيار المتحرض I_a:

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

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 طرداً مع مربع تيار المتحرض، وبالتالي يمكن حساب سرعة المحرك كتابه لتيار المتحرض.



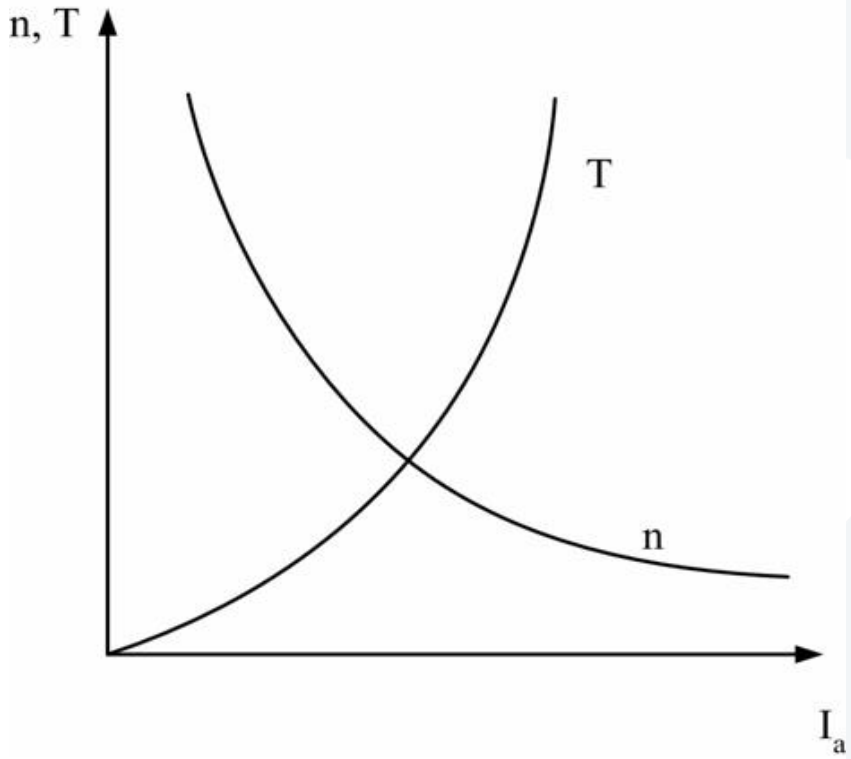
وفقاً لذلك تعطى القوة المحركة الكهربائية المتولدة في المتحرض بالعلاقة:

$$E_a = C_e \cdot \emptyset \cdot n = C_e \cdot C \cdot I_a \cdot n \Rightarrow E_a = K' \cdot I_a \cdot n$$

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

بتعويض قيمة القوة المحركة الكهربائية في علاقة السرعة يكون:

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

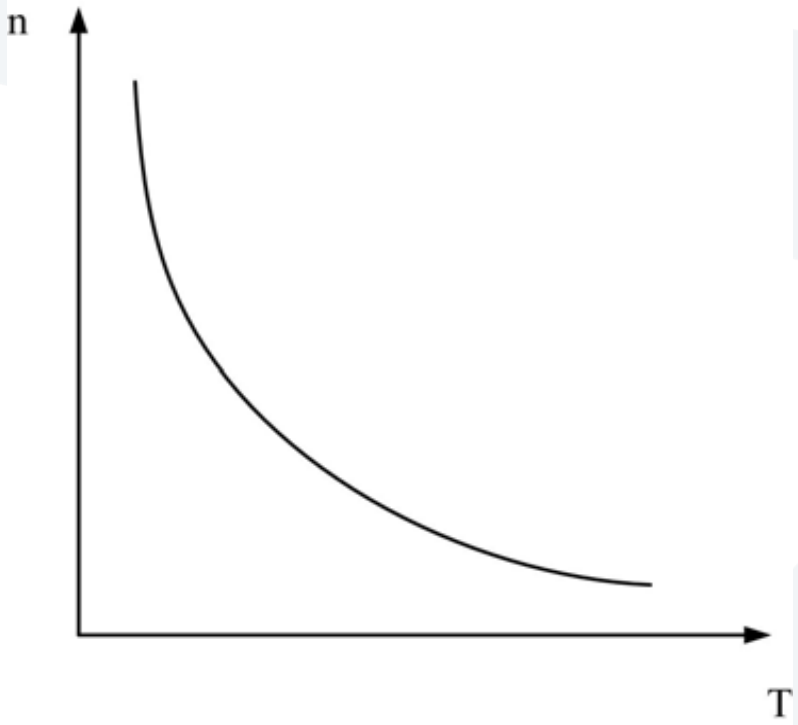


تبين معادلة العزم أنه يتناسب طرداً مع مربع تيار المتحرض، وبالتالي ستكون مميزة العزم مع التيار عبارة عن قطع ناقص (Parabola).

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

أما معادلة السرعة فتبين أن العلاقة بين السرعة وتيار المتحرض للمحرك التسلسلي هي علاقة عكسية، أي مع زيادة تيار المتحرض (تيار الحمل) تقل السرعة، وهذه المميزة 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 عدم وجود حمل، حتى لا يتسبب في وجود مشاكل ميكانيكية متعلقة بزيادة السرعة.

استخدامات المحرك التسلسلي:

وجدنا فيما سبق أن عزم المحرك التسلسلي يتناسب طرداً 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 حالت 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.

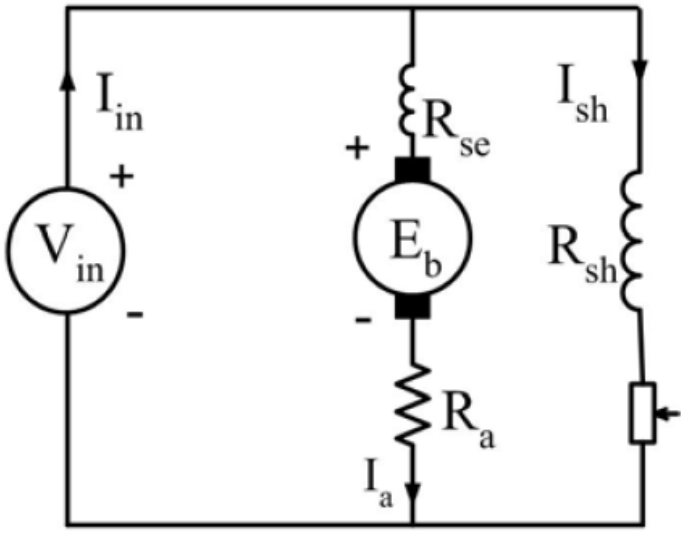
يستخدم المحرك التسلسلي أيضاً في الرو افع بأنواعها المختلفة، وفي المصاعد الكهربائية.

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

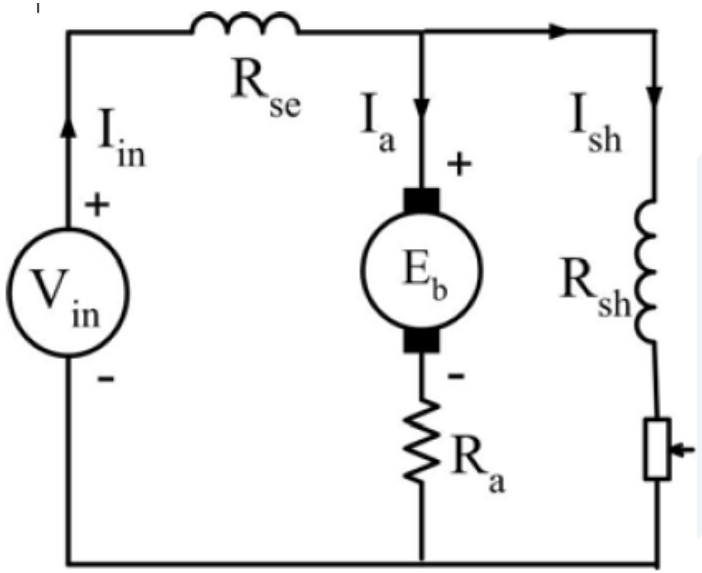
محرك تيار مستمر ذي تهييج تسلسلي، له أربعة أقطاب، يغذى من منبع جهد 220V، ويستجر تيار مقداره 52A عند الحمل الكامل. المحرك ملفوف لفاً تموجياً، وعدد نواقله الكلية 630 ناقلاً، الفيض المغناطيسي لكل قطب 0.018Wb، مقاومة ملف المتحرض 0.2Ω، ومقاومة ملف التهييج 0.1 Ω: احسب سرعة دوران المحرك وعزمه. إذا انخفض عزم 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.

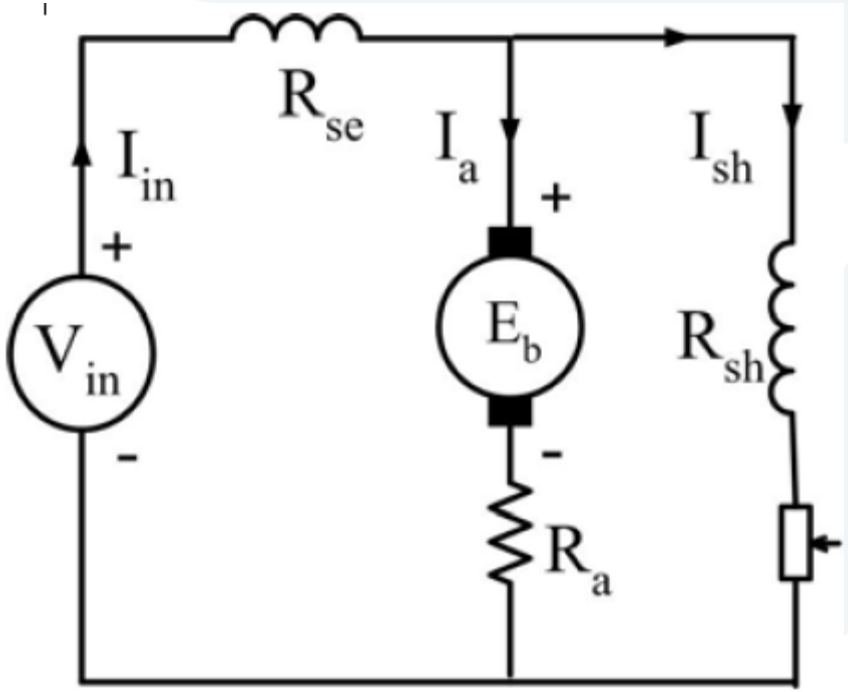


وصلة قصيرة



وصلة طويلة

معادلات المحرك ذي الوصلة الطويلة :



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

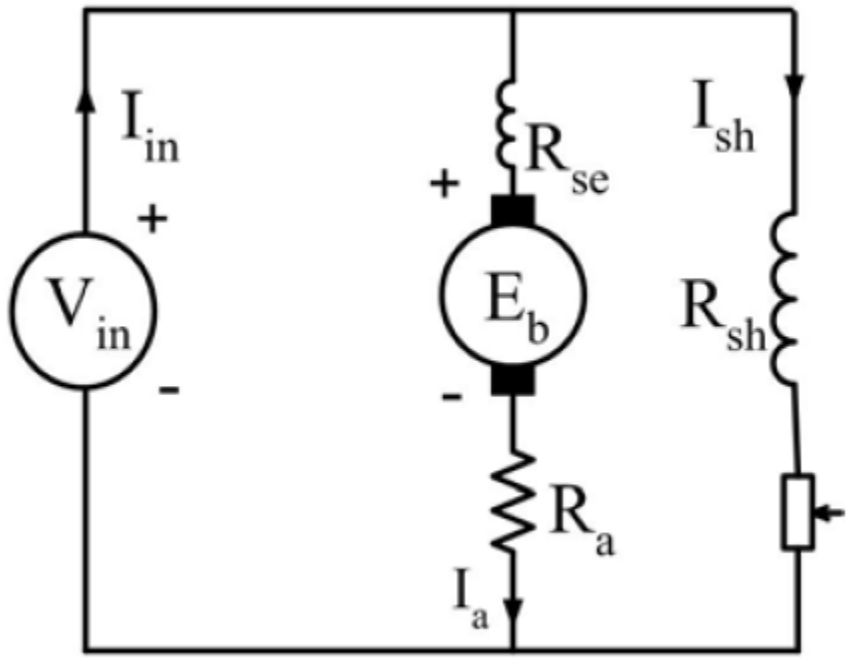
$$V_{sh} = I_{sh} \cdot R_{sh}$$

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

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

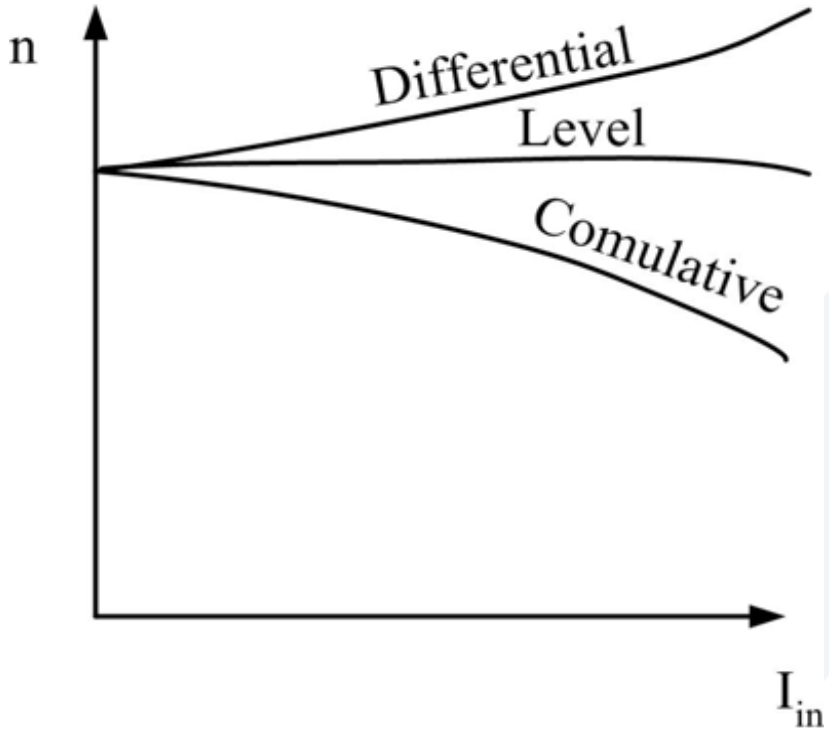
$$n = \frac{V_{in} - I_a \cdot R_a - I_{in} \cdot R_{se}}{C_e \cdot \emptyset}$$

معادلات المحرك ذي الوصلة القصيرة :



$$E_a = V_{in} - I_a \cdot (R_a + R_{se})$$
$$V_{sh} = I_{sh} \cdot R_{sh} = V_{in}$$
$$I_{in} = I_a + I_{sh}$$
$$n = \frac{V_{in} - I_a \cdot (R_a + R_{se})}{C_e \cdot \emptyset}$$

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



محرك مختلط تراكمي (Cumulative Compound motor): تزداد قيمة الفيض ϕ في هذا النوع كلما ازداد الحمل، فتنخفض 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.

الضياعات والمردود Losses and Efficiency

تقسم الضياعات في محركات التيار المستمر إلى ثلاثة أنواع، كما في المولدات، وهي:

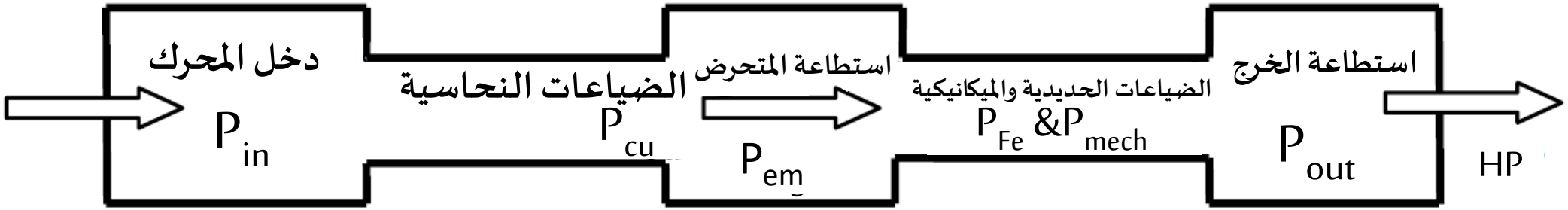
- الضياعات الميكانيكية Mechanical loss.
- الضياعات الكهربائية (النحاسية) Copper loss .
- الضياعات الحديدية Iron loss.

تتجلى هذه الضياعات بشكل حرارة وسخونة تؤدي إلى رفع حرارة المحرك، وقد تتسبب في تلفه، لذلك يجب دراسة تأثيرها وكيفية الحد منها... وهذه الضياعات هي نفسها الواردة في المولدات.

سريان الاستطاعة للمحرك:

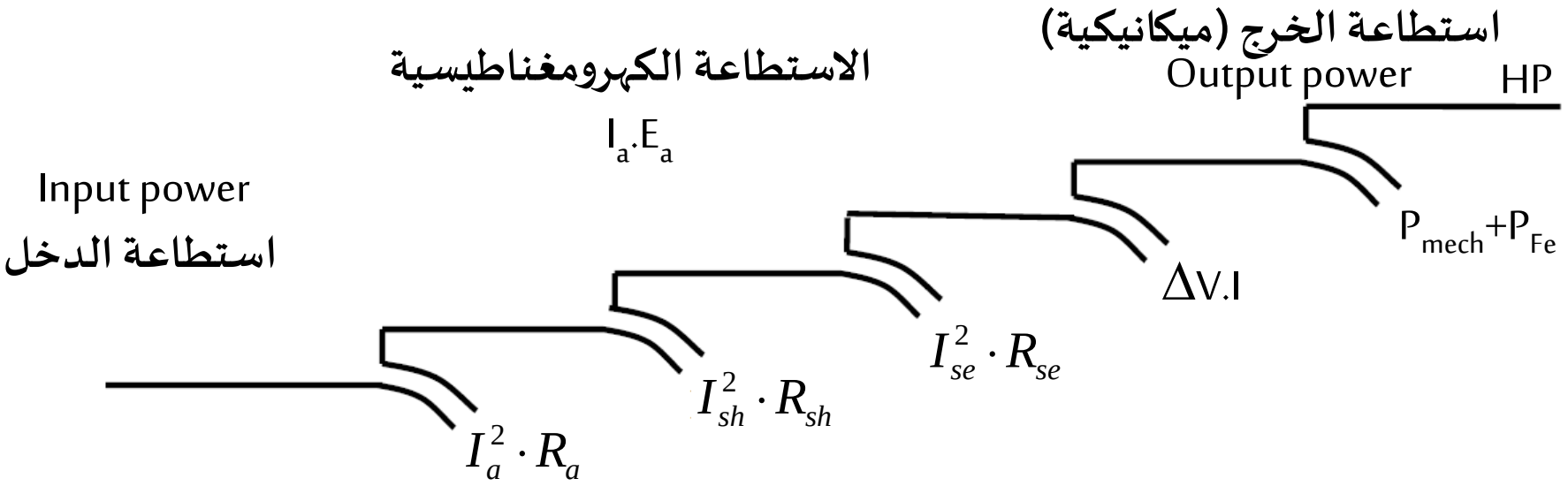
مما سبق نجد أن المحرك هو وسيلة لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية، ولذلك يتم توصيله إلى منبع تيار مستمر يقدم للمحرك استطاعة أولية بشكل طاقة كهربائية هي استطاعة الدخل [Watt] Input Power كما في الشكل. يضيع جزء من هذه الاستطاعة في الوشائع (ضياعات نحاسية)، ويتحول الباقي إلى استطاعة كهرومغناطيسية P_{em} وهي استطاعة المتحرض، وتعطى بالعلاقة:

$$P_{em} = E_a \cdot I_a = P_{in} - P_{cu}$$



عند انتقال الاستطاعة إلى المتحرض P_{em} يضيع جزء منها بشكل ميكانيكي P_{mech}، وجزء أخر بشكل ضياعات حديدية P_{Fe}، وتكون الاستطاعة المتبقية هي الاستطاعة المفيدة للحمل، أو كما تسمى أحياناً خرج المحرك P_{out}.

يبين الشكل التالي مخطط سريان الاستطاعة في محركات التيار المستمر.



1. محرك تيار مستمر بتهييج تفرعي له المواصفات التالية:

P_n=25 [Kw] , V=440 [V] , ν=1500 [r.p.m] , η=0.85

R_f=88 [Ω] , R_a=0.15 [Ω]

هبوط التوتر بسبب تلامس المسفرات ΔV_{br}=2 [V]. احسب:

1. التيار الذي يستهلكه المحرك في نظام الحمولة الاسمية.
2. عزم الإقلاع، إذا علمت أن تيار الإقلاع في حالة البدء لا يتجاوز I_a 2.5 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.

2. محرك تيار مستمر ذي تهييج تفرعي يغذي حمل استطاعته 150 HP عند الحمل الكامل ويدور عند سرعة 960rpm، ويغذى من منبع جهد 550V، فإذا علمت ان مردود المحرك 91% ومقاومة ملف المتحرض 0.1 Ω، ومقاومة ملف التهييج 275Ω ، المطلوب:

1. حساب استطاعة الدخل للمحرك.
2. حساب تيار الدخل، تيار التهييج، تيار المتحرض.
3. حساب الضياعات النحاسية، ومجموع الضياعات الحديدية والميكانيكية.
4. حساب عزم الدوران عند الحمل الكامل.
5. حساب سرعة المحرك إذا خفضنا العزم بمقدار 60% من العزم الكامل، ووصلت مقاومة مقدارها 0.2 Ω على التسلسل مع ملفات المتحرض.

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

$V_n=230V$, $\Phi=4.8\times10^{-2}$ Wb , n=1500 r.p.m , N=100 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.

4. مولد تيار مستمر بتهييج تفرعي، له المعطيات الفنية التالية:

P_2=100 KW , V=230 V , R_a=0.05 Ω , R_f=57.5 Ω

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 الخرج مقدرة بالحصان للمحرك الميكانيكي الأساسي اللازم لتدوير المولد عند هذا الحمل.
4. عند أي حمل للمولد نحصل على أكبر مردود.