

الوحدة الثالثة : محركات التيار المستمر DC Motors

الجدارة: معرفة نظرية عمل المحرك الكهربائي وتركيبه ودراسة خواص الأنواع المختلفة وطرق بدء الحركة. أيضا معرفة طرق التحكم في السرعة وكذلك حساب المفقودات والكفاءة.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

١. معرفة نظرية عمل وتركيب المحرك الكهربائي.
٢. استنتاج القوة الدافعة الكهربائية العكسية ومعادلة العزم.
٣. معرفة أنواع المحركات من حيث طرق التغذية.
٤. دراسة منحنيات الخواص وتنظيم السرعة.
٥. دراسة طرق بدء الحركة وعكس اتجاه الدوران.
٦. حساب المفقودات والكفاءة.
٧. مجالات الاستخدام للأنواع المختلفة للمحركات.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٨٥٪

الوقت المتوقع للتدريب: ١٠ ساعات.

الوسائل المساعدة: جهاز عرض (بروجيكتور).

متطلبات الجدارة: الدوائر الكهربائية - ١ والوحدة الأولى والثانية من هذا المقرر.

محركات التيار المستمر DC Motors

تعتبر المحركات الكهربائية القوة المحركة لكثير من التطبيقات الصناعية. وتستهلك المحركات الكهربائية بأنواعها حوالي ٦٠٪ من الطاقة الكهربائية في العالم. لذلك من المهم دراسة أداء وخواص تلك المحركات حتى يمكن استخدامها أفضل استخدام حسب طبيعة الحمل. وتعد محركات التيار المستمر من أهم الأنواع حيث تستخدم بكثرة في الجر الكهربائي والروافع وصناعات الغزل والنسيج ودرفلة الحديد وكذلك صناعات الورق والأسمنت، وذلك لما تتميز به من سهولة التحكم في سرعتها وإعطائها عزم مرتفع خصوصا عند بدء الحركة. وسوف نتناول في هذه الوحدة بالتفصيل نظرية عمل محركات التيار المستمر والتعرف على أنواعها المختلفة. أيضا سوف نتناول دراسة أداء هذه المحركات والخواص الكهربائية لها. ومن المهم أيضا دراسة طرق التحكم في السرعة لهذه المحركات ووسائل بدء الحركة وذلك لتجنب التيار العالي عند البدء. وفي نهاية الوحدة نستطيع حساب المفقودات والكفاءة للمحركات ومعرفة تطبيق كل نوع ومميزاته وعيوبه.

٣-١ نظرية عمل المحرك الكهربائي

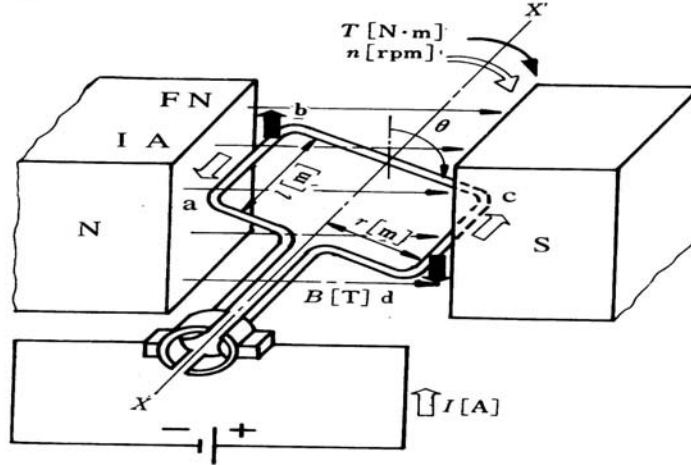
يمكن استخدام آلة التيار المستمر السابق ذكرها للعمل كمحرك وذلك بتغذية الآلة بجهد مستمر، حيث تقوم الآلة بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية (طاقة حركية على عمود الإدارة). حيث يتم تغذية ملفات المجال بالتيار اللازم لتوليد مجال مغناطيسي وفي نفس الوقت يتم تغذية ملفات عضو الاستنتاج (المنتج) بتيار مناسب وذلك من خلال الفرش، ويقوم هذا التيار بتوليد مجال مغناطيسي آخر ونتيجة لذلك ينشأ عزم دوران يعمل على دوران العضو الدائر.

تعتمد نظرية عمل محرك التيار المستمر على قانون فاراداي، فإذا وضع موصل يحمل تيار كهربائي في مجال مغناطيسي فإنه يولد قوة تتسبب في حركة الموصل. ويبين شكل ٣-١ ملف على شكل مربع موضوع مع عمود دوران XX' موجود في مجال مغناطيسي منتظم له كثافة فيض B وعند مرور تيار I من الدائرة الخارجية في ذلك الملف، فإنه يتولد قوة F تؤثر في اتجاه يتحدد بقاعدة فلمنج لليد اليسرى على الجانبين cd, ab بالترتيب في اتجاه محور دوران الملف. وإذا كان طول جانبي الملف هو L فإن القوة المؤثرة تعطي بالعلاقة:

$$F = BIL$$

3-1

والقوتان المؤثرتان على جانبي الملف ab , cd تعملان كزوج من القوة، وبالتالي ينشأ عزمًا مقداره T يمكنه إدارة الملف في اتجاه عقارب الساعة.



شكل ٣- ١ طريقة عمل المحرك الكهربائي

٣- ٢ القوة الدافعة الكهربائية العكسية

عند توصيل جهد على أطراف المحرك فإنه يتولد قوة دافعة كهربائية في ملفات المنتج ويطلق عليها بالقوة الدافعة العكسية أو المضادة (Back e.m.f) وتحسب هذه القوة كما في حالة المولد من المعادلة الآتية:

$$E_b = \frac{2P}{2a} \phi Z_a \frac{n}{60} \quad 3-2$$

ولمعرفة الاختلاف بين المحرك والمولد يمكن الرجوع إلى شكل ٣- ٢ ، حيث يوضح دائرتين لمولد توازي ومحرك توازي، من ناحية التركيب لا يوجد أي اختلاف، ولكن الفرق فقط هو في اتجاه التيارات. يلاحظ من شكل ٣- ٢ أن التيار داخل في القطب الموجب للآلة في حالة المحرك بينما خارج منه في حالة المولد (شكل ٣- ٢أ). ويلاحظ أيضا أن اتجاه كل من تيار المجال (التبويه) وسرعة الدوران لا يتأثر بتغيير الآلة لدورها من مولد إلى محرك وبالعكس. ويمكن مراجعة ذلك بتطبيق قاعدتي فلمنج لليد اليمنى بالنسبة للمولد واليد اليسرى بالنسبة للمحرك في نفس الوقت، فنجد أنه لكي يبقى اتجاه كل من تيار المجال (التبويه) وسرعة الدوران ثابتين يجب أن ينعكس اتجاه مرور التيار في ملفات المنتج بالنسبة للحالتين. ويجب مراعاة ذلك عند كتابة معادلات الجهد.

في حالة المولد : القوة الدافعة المتولدة = جهد الحمل + هبوط الجهد في ملفات المنتج

$$E_a = V_L + I_a R_a \quad 3-3$$

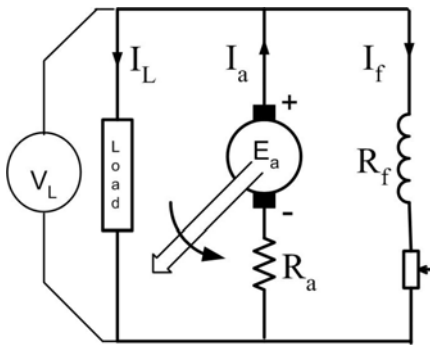
أما في حالة المحرك: القوة الدافعة المتولدة (العكسية) = جهد المصدر - هبوط الجهد في ملفات المنتج

$$E_a = V_L - I_a R_a \quad 3-4$$

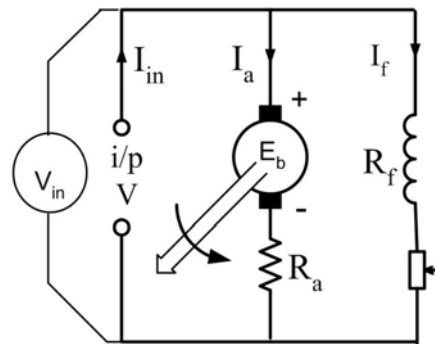
إن انعكاس اتجاه مرور تيار المنتج في ملفاته ينشأ فارقا جوهريا بين الحالتين وهذا الاختلاف ظهر في كتابة المعادلتين (3-3)، (3-4). فبينما نجد أنه في حالة المولد تدفع القوة الدافعة الكهربائية المتولدة التيار في الدائرة ضد هبوط الجهد في كل من مقاومة الحمل ومقاومة المنتج، نجد أنه في حالة المحرك يجب على جهد المنبع أن يدفع التيار في الاتجاه المضاد أي عكس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية، التي تصبح في حالة المحرك مكافئة في عملها لمقاومة يكون هبوط الجهد فيها مضادا لاتجاه الجهد الذي يسبب مرور التيار. لذلك يطلق عليها في هذه الحالة اسم القوة الدافعة الكهربائية العكسية (المضادة)، وتحسب قيمة تيار المنتج من المعادلة 3-4 وتعطى بالعلاقة:

$$I_a = \frac{V_L - E_b}{R_a} \quad 3-5$$

تتناسب القوة الدافعة العكسية مع سرعة الدوران كما هو واضح من المعادلة 3-2، وهذا معناه أنه عندما يدور المحرك بسرعه المقننة n فإنه يتولد E_b بقيمتها الكاملة عند هذه السرعة. أما إذا كان المنتج في حالة السكون ويراد إدارة المحرك بتوصيل جهد على أطرافه فإن القوة الدافعة العكسية E_b



(a) generator



(b) motor

شكل 3-2 مقارنة بين المولد والمحرك

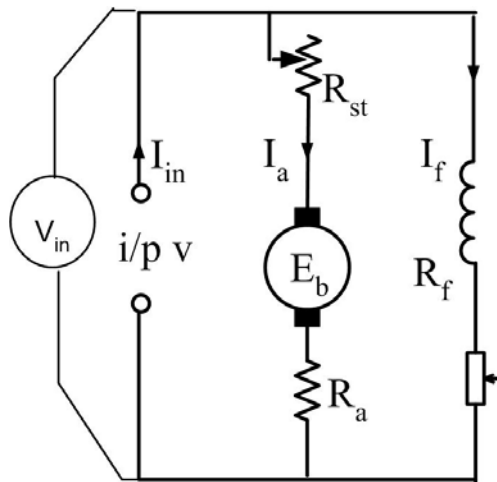
تكون مساوية للصفر في هذه الحالة ويكون التيار المار في المنتج في هذه الحالة هو تيار البدء (starting current) ويحسب من المعادلة ٣-٥ وذلك بوضع $E_b=0$ ويعطى بالعلاقة:

$$I_{a(st)} = \frac{V_L}{R_a} \quad 3-6$$

ونظرا لأن V_L تكون كبيرة (أكثر من مائة فولت) كما أن قيمة R_a تكون صغيرة (كسر من الأوم) فإننا نتوقع الحصول على تيار بدء كبير جدا، في جميع الأحوال تزيد قيمته عن عشرة أمثال تيار الحمل الكامل، مما قد يؤدي إلى تلف ملفات المنتج لو مر فيها زمنا لا يتجاوز بضع لحظات. وللمحد من تيار البدء وتلافي خطورة مروره بهذا الحجم في المنتج، يوضع مقاومة كبيرة على التوالي مع ملفات المنتج عند البدء يطلق عليها مقاومة بدء الحركة ويرمز لها بالرمز R_{st} كما في الشكل رقم ٣-٣ وبذلك تصبح معادلة التيار عند البدء :

$$I_{a(st)} = \frac{V_L}{R_a + R_{st}} \quad 3-7$$

ويمكن استخدام هذه المعادلة لتحديد قيمة تيار البدء بحيث يكون نسبة من تيار الحمل الكامل. وعندما يدور المحرك وتزداد سرعة الدوران تدريجيا تزداد معها قيمة القوة الدافعة العكسية بنفس القيمة. لهذا السبب يجب أن نعمل على تقليل قيمة مقاومة البدء بالتدريج كلما زادت سرعة دوران المحرك إلى أن نخرجها تماما من الدائرة عندما يصل المحرك إلى سرعته المقننة.



شكل ٣-٣ كيفية بدء الحركة

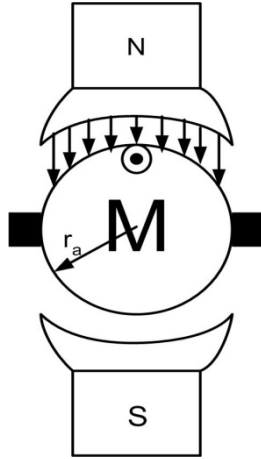
٣-٣ عزم الدوران المتولد Developed Torque

يمثل شكل ٣-٤ أحد الموصلات طوله L موضوع على منتج محرك تيار مستمر نصف قطره r_a ويدور بسرعة n في مجال مغناطيسي شدته B . إذا مر تيار كهربائي I_c في الموصل فإنه تظهر قوة F تؤثر على الموصل يمكن الحصول عليها من المعادلة:

$$F = BLI_c \quad 3-8$$

عند محور ارتكاز المنتج (مركز المنتج) ينتج عزم دوران يؤثر على الموصل قيمته:

$$\begin{aligned} T_c &= Fr_a \\ &= BLI_c r_a \\ &= \frac{B2\pi r_a L}{2\pi} I_c \end{aligned} \quad 3-9$$



شكل ٣-٤

نجد في شكل ٣-٤ أن المساحة التي تقطعها خطوط المجال المغناطيسي هي المساحة الأسطوانية $2\pi r_a L$ وبذلك يكون الفيض المغناطيسي للقطب الواحد:

$$\Phi = B(2\pi r_a L) \quad 3-10$$

بالتعويض عن B في المعادلة ٣-٩ نحصل على العزم المؤثر على الموصل:

$$T_c = \Phi \frac{I_c}{2\pi} \quad 3-11$$

فإذا كان عدد الأقطاب الكلية هو $2p$ والتيار المار في المحرك هو I_a وعدد الموصلات الكلية هو Z_a وعدد دوائر التوازي هو $2a$ فإنه يمكن إيجاد العزم الكلي المتولد في المحرك:

$$\begin{aligned} T &= T_c Z_a 2p \\ &= \Phi \frac{I_c}{2\pi} Z_a 2p \end{aligned} \quad 3-12$$

وحيث إن التيار المار في الموصل I_c يساوي التيار الكلي مقسوماً على عدد دوائر التوازي:

$$I_c = \frac{I_a}{2a} \quad 3-13$$

بالتعويض من المعادلة ٣-١٣ في المعادلة ٣-١٢ نحصل على العزم الكلي كدالة في تيار المنتج والفيض المغناطيسي:

$$T = \frac{2p}{2a} \frac{\Phi}{2\pi} Z_a I_a \quad 3-14$$

يمكن كتابة معادلة العزم في هذه الصورة:

$$T = K \Phi I_a \quad 3-15$$

حيث K ثابت يعرف بثابت العزم ويكون مساوياً $\frac{2p}{2a} \frac{Z_a}{2\pi}$

المعادلة ٣-١٥ تبين أن عزم الدوران الكلي في المحرك يتناسب طردياً مع كل من I_a ، Φ . بالتعويض في هذه المعادلة من المعادلة ٣-٢ للقيمة الدافعة العكسية E_b نجد أن:

$$T = \frac{E_b I_a}{\frac{2\pi n}{60}} \quad 3-16$$

ويمكن الحصول على هذه المعادلة مباشرة على النحو التالي:

$$T = \frac{P}{\omega} \quad 3-17$$

حيث P هي قدرة المنتج $E_b I_a$ (جهد المنتج \times تيار المنتج) و ω هي السرعة الزاوية ويمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

3-18

المعادلة ٣- ١٦ تبين أن عزم الدوران يتناسب عكسيا مع سرعة الدوران.

٣- ٤ أنواع المحركات Types of DC motors

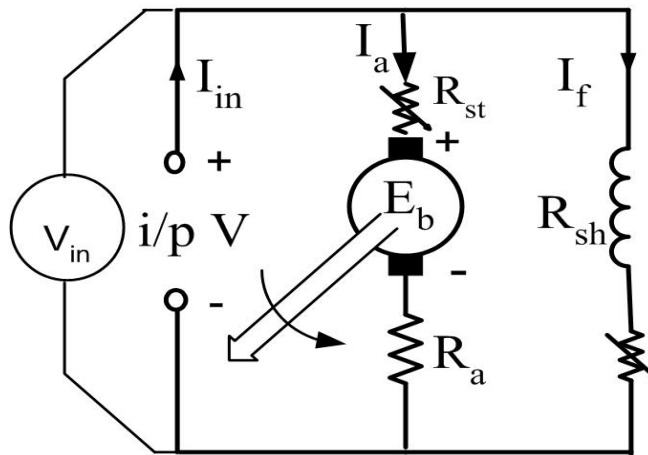
تتقسم محركات التيار المستمر إلى نوعين رئيسين حسب طريقة تغذية ملفات المجال (كما في المولدات):

- محركات التيار المستمر ذات التغذية المنفصلة (المستقلة)
- محركات التيار المستمر ذات التغذية الذاتية

ونظرا لأن المحركات ذات التغذية المنفصلة تشبه تماما محركات التوازي، لذا تعتبر حالة خاصة من المحركات ذاتية التغذية وبناء على ذلك سوف يتم التركيز على المحركات ذات التغذية الذاتية.

٣- ٤- ١ محرك التوازي DC shunt motor

يوضح شكل ٣- ٥ توصيل محرك التوازي ويلاحظ أن ملفات المجال (التبويه) R_{sh} تكون متصلة على التوازي مع المنتج ويوصل معها بالتوالي مقاومة تنظيم المجال. أما ملفات المنتج R_a فيوصل معها بالتوالي مقاومة بدء الحركة R_{st} . ويتميز هذا النوع من المحركات بأنه يمكن اعتباره ذو مجال ثابت تقريبا.



شكل ٣- ٥ محرك التوازي

يمكن كتابة معادلات الجهد والتيار لمحرك التوازي من شكل ٣- ٥ كالآتي:

$$E_b = V_{in} - I_a R_a$$

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

3-19

وحيث إن القوة الدافعة العكسية تعطى بالمعادلة:

$$E_b = K n \phi$$

3-20

بالتعويض من المعادلة ٣- ١٩ في المعادلة ٣- ٢٠ يمكن كتابة السرعة كالآتي:

$$n = \frac{E_b}{K \Phi_b} = \frac{V_{in} - I_a R_a}{K \Phi_b}$$

3-21

• منحنيات الخواص

تمثل منحنيات الخواص لمحرك التوازي العلاقات التالية:

$$n = f(I_a) \quad \text{- السرعة مع تيار المنتج}$$

$$T = f(I_a) \quad \text{- العزم مع تيار المنتج}$$

$$n = f(T) \quad \text{- السرعة مع العزم}$$

تعطي المعادلة ٣- ٢١ العلاقة بين السرعة وتيار المنتج (الحمل) ويلاحظ أن السرعة تقل كلما زاد تيار المنتج بدرجة طفيفة كما هو واضح في الشكل ٣- ٦ بالمنحنى I. أيضا يمكن رسم منحنى خواص العزم مع تيار المنتج وذلك باستخدام المعادلة ٣- ١٥ ، حيث يتناسب العزم طرديا مع تيار المنتج عند ثبوت الفيض المغناطيسي (تيار المجال) وثبوت الجهد الداخل للمحرك، ويلاحظ أن العزم يزداد مع زيادة تيار المنتج كما هو واضح في شكل ٣- ٦ بالمنحنى II.

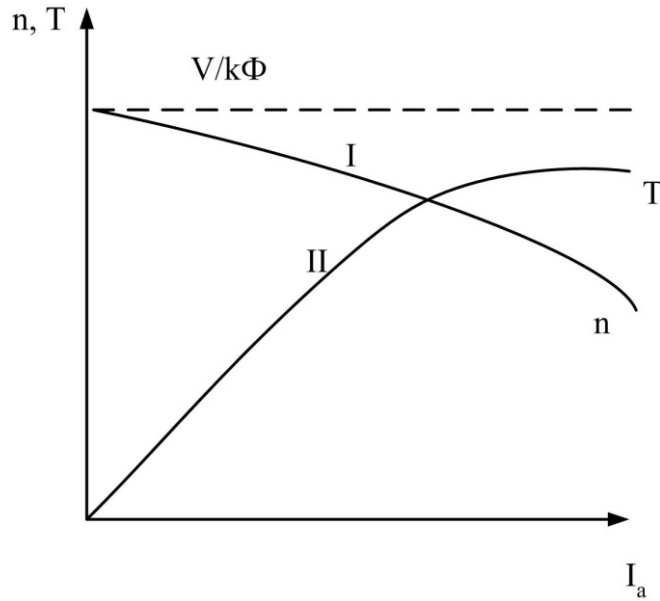
بالتعويض عن قيمة تيار المنتج من المعادلة ٣- ١٥ في المعادلة ٣- ٢١ نحصل على علاقة تغير السرعة مع العزم:

$$n = \frac{V_{in}}{K \Phi_b} - T \frac{R_a}{K^2 \Phi_b^2}$$

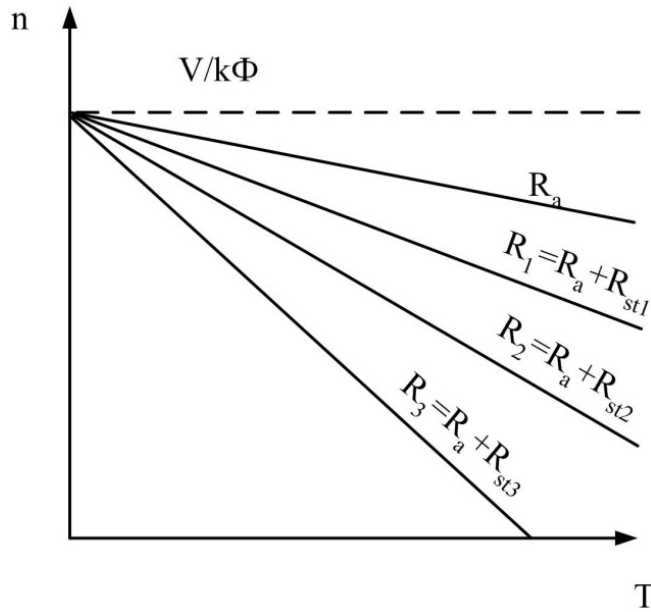
3-22

المعادلة ٣- ٢٢ تمثل منحنى خواص السرعة مع العزم لمحرك التوازي. وهي علاقة خط مستقيم حيث الفيض المغناطيسي ثابت القيمة. عند اللاحمل ($T=0$) تصبح $n = \frac{V_{in}}{K \Phi_b}$ السرعة وهي سرعة

اللاحمل (no load speed) وتمثل بالجزء الأول في المعادلة ٣- ٢٢ ، أما الجزء الثاني فيمثل الانخفاض في السرعة عند التحميل. ويوضح شكل ٣- ٧ منحنى خواص السرعة مع العزم لقيم مختلفة لمقاومة البدء. وهي مجموعة خطوط مستقيمة يختلف ميلها حسب قيمة مقاومة البدء.



شكل ٣- ٦ منحنى خواص محرك التوازي



شكل ٣- ٧ منحنى خواص السرعة مع العزم لمحرك التوازي

يستخدم محرك التوازي في الحالات التي تحتاج إلى سرعة ثابتة تقريبا والتي يمكن أن تهبط فيها السرعة هبوطا طفيفا مع ازدياد الحمل، مثل آلات الورش كالمخارط والمقاشط، كما أنه يمكن أن يناسب آلات الغزل والنسج حيث يستفاد بمنظم السرعة لضبط سرعة دوران المحرك عند قيم مختلفة عند اللاحمل، ثم تهبط هذه السرعات هبوطا طفيفا مع الحمل. أيضا يستخدم المحرك في ماكينات صناعة الورق والأخشاب والطللمبات والدرفلة.

مثال ٣- ١ محرك توازي موصل بمنبع جهد ٢٤٠ فولت ويدور بسرعة ٧٥٠ لفة/دقيقة وتيار المنتج قدره ٣٠ أمبير، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٠٥ أوم احسب عزم المحرك بالنيوتن.متر.

الحل

$$V_{in}=240 \text{ V} \quad n=750 \text{ rpm} \quad I_a=30 \text{ A} \quad R_a=0.05\Omega$$

$$E_b = V_{in} - I_a R_a = 240 - 30(0.05) = 238.5 \text{ volt}$$

$$T = E_b I_a / \omega$$

$$\omega = 2\pi n / 60 \text{ rad/sec}$$

$$T = 238.5 * 30 / (2 * \pi * 750 / 60) = 91.1 \text{ N.m}$$

مثال ٣- ٢ محرك توازي ذو أربعة أقطاب يعمل على منبع جهد ٥٠٠ فولت، عدد موصلات المنتج ٩٦٠ وملفوف لف تموجي. يسحب المحرك تيار قدره ٥٢ أمبير وكان الفيض المغناطيسي لكل قطب ٣ ميغاخط. فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج والمجال هي ٠,٠٤ أوم و ٢٠٠ أوم على الترتيب. احسب سرعة المحرك وكذلك العزم.

الحل

$$2p=4 \quad V_{in}=500 \text{ V} \quad Z_a=960 \quad I_{in}=52 \text{ A} \quad \Phi=3 \text{ megalines} \quad R_a=0.04 \Omega$$

$$R_{sh}=200 \Omega \quad 2a = 2 \text{ (wave winding)}$$

$$I_{sh} = V_{in} / R_{sh} = 500 / 200 = 2.5 \text{ A}$$

$$I_a = I_{in} - I_{sh} = 52 - 2.5 = 49.5 \text{ A}$$

$$E_b = V_{in} - I_a R_a$$

$$= 500 - 49.5(0.04) = 498.02 \text{ V}$$

$$E_b = \frac{2P}{2a} \phi Z_a \frac{n}{60}$$

$$498.02 = \frac{4}{2} * (3 * 10^6 * 10^{-8}) * 960 * \frac{n}{60}$$

$$n = 518.77 \text{ rpm}$$

$$\omega = 2\pi n / 60$$

$$\omega = 2\pi * 518.77 / 60 = 54.33 \text{ rad/sec}$$

$$T = E_b I_a / \omega$$

$$T = 498.02 * 49.5 / 54.33 = 453.75 \text{ N.m}$$

٣-٤-٢ محرك التوالي DC series motor

يوضح شكل ٣-٨ طريقة توصيل محرك التوالي، حيث توصل ملفات المجال بالتوالي مع المنتج كما في حالة المولد، وتكتب معادلات الجهد والتيار كالتالي:

$$E_b = V_{in} - I_a(R_a + R_{se}) \quad 3-23$$

$$I_a = I_{in} = I_{se} \quad 3-24$$

في هذه الحالة نجد أن الفيض المغناطيسي Φ يتناسب مع تيار المجال I_{se} ، أي مع تيار المنتج I_a :

$$\Phi = C I_{se} = C I_a \quad 3-25$$

حيث: C ثابت التناسب بين بين الفيض المغناطيسي وتيار المجال.
بالتعويض في المعادلة ٣-١٥ عن قيمة الفيض نحصل على معادلة العزم لمحرك التوالي:

$$T = K' I_a^2 \quad 3-26$$

حيث:

$$K' = KC$$

أي أن العزم يتناسب مع مربع تيار المنتج، أيضا يمكن حساب سرعة المحرك كدالة في تيار المنتج.

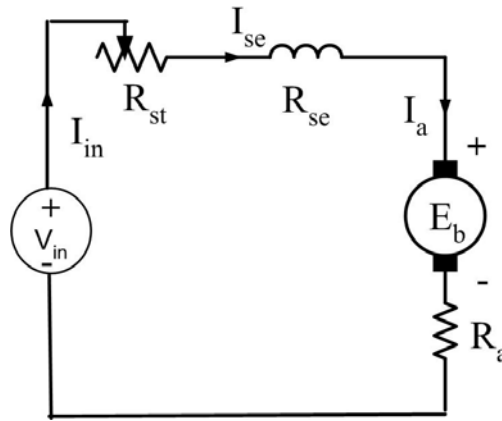
$$E_b = K_b n \Phi = K'_b n I_a \quad 3-27$$

حيث:

$$K'_b = K_b C$$

بالتعويض من المعادلة ٣- ٢٦ في المعادلة ٣- ٢٣ يمكن كتابة السرعة كالآتي:

$$n = \frac{E_b}{K'_b I_a} = \frac{V_{in} - I_a (R_a + R_{se})}{K'_b I_a} \quad 3-28$$



شكل ٣- ٨ محرك التوالي

• منحنيات الخواص

تبين المعادلة ٣- ٢٦ أن العزم يتناسب طردياً مع مربع تيار المنتج، لذلك نجد أن منحنى خواص العزم مع التيار عبارة عن منحنى قطع ناقص (parabola) كما هو موضح في شكل ٣- ٩. أيضاً المعادلة ٣- ٢٨ توضح العلاقة بين السرعة والتيار المنتج لمحرك التوالي وهي علاقة عكسية، أي مع زيادة تيار المنتج (الحمل) تقل السرعة وهي أقرب ما يكون إلى قطع زائد (hyperbola) كما يوضح منحنى خواص السرعة مع تيار المنتج في شكل ٣- ٩.

بالتعويض عن قيمة تيار المنتج من المعادلة ٣- ٢٦ في المعادلة ٣- ٢٨ نحصل على علاقة تغير السرعة

مع العزم:

$$n = \frac{V_{in}}{\alpha I_a} - T \frac{R_a + R_{se}}{\alpha^2 I_a^2} \quad 3-29$$

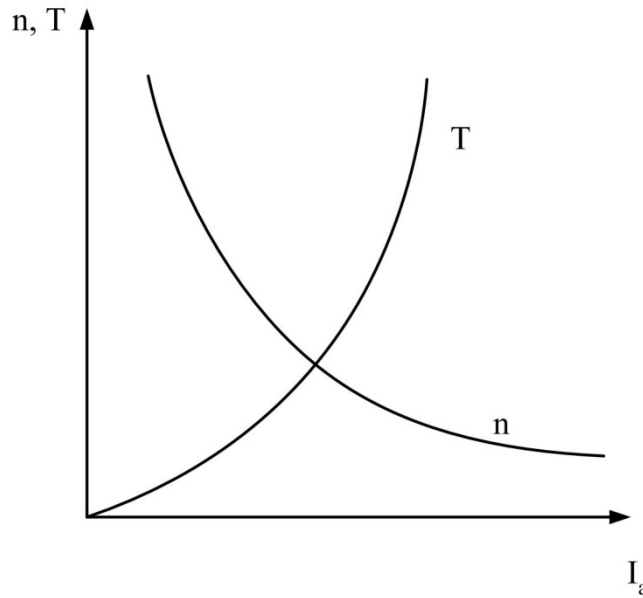
حيث:

$$\alpha = \frac{K'_b}{K'}$$

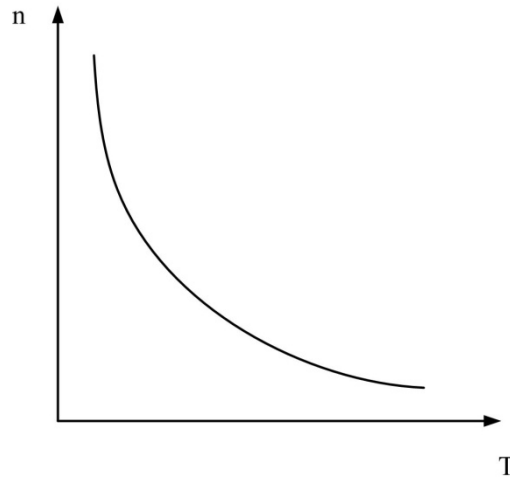
ثم بالتعويض من المعادلة ٣- ٢٦ في المعادلة ٣- ٢٩ نحصل على علاقة السرعة مع العزم:

$$n = \frac{V_{in}}{\sqrt{\alpha T}} - \frac{R_a + R_{se}}{\alpha} \quad 3-30$$

المعادلة ٣- ٣٠ تمثل منحنى خواص السرعة مع العزم لمحرك التوالي كما هو موضح في شكل ٣- ١٠. يلاحظ من منحنى الخواص أن السرعة تزداد بمقدار كبير جدا عند اللاحمل ($T=0$) لذلك لا يفضل استخدام محرك التوالي في عدم وجود حمل حتى لا يتسبب في وجود مشاكل ميكانيكية متعلقة بزيادة السرعة.



شكل ٣- ٩ منحنيات خواص العزم والسرعة مع تيار المنتج لمحرك التوالي



شكل ٣- ١٠ منحنى خواص السرعة مع العزم لمحرك التوالي

• استخدامات محرك التوالي

في حالة محرك التوالي نجد أن عزم الدوران يتناسب طرديا مع مربع تيار المنبع (وهو تيار المنتج) بينما تتناسب السرعة عكسيا مع تيار المنتج (الحمل) بحيث تظل القدرة متناسبة مع تيار المنبع باعتبار جهد المنبع ثابت. معنى ذلك أن هذا النوع من المحركات قادر على مواجهة أحمال كبيرة دون الحاجة إلى تعدي الحدود المقبولة في أخذ القدرة من المنبع، نظرا لأن هبوط سرعة الدوران مع الأحمال الثقيلة يعمل على الحد من القدرة المأخوذة من المنبع. وهذا يجعل محرك التوالي أكثر ملائمة في حالات الجر الكهربائي، وعلاوة على ذلك فإن استخدام محرك التوالي في أغراض الجر الكهربائي ينفي احتمال الزيادة الكبيرة في السرعة نظرا لوجود حمل دائم على المحرك يتمثل في وزن القاطرة والعربات التي تجرها عندما تكون خالية. أيضا يستخدم محرك التوالي مع الأوناش والروافع والمصاعد الكهربائية.

مثال ٣-٣ محرك تيار مستمر من نوع التوالي موصل على منبع جهده ٢٢٠ فولت يسحب تيار مقداره ٥٠ أمبير عند سرعة دوران ١٠٠٠ لفة/دقيقه، مقاومة ملفات المنتج ١٥ أوم ومقاومة ملفات المجال ١ أوم. فإذا انخفضت سرعة المحرك إلى ٨٠٪ من السرعة المقننة وأصبح تيار المنتج ٦٠ أمبير احسب العزم في الحالتين والقوة الدافعة العكسية في الحالة الثانية

الحل

$$V_{in}=220\text{ V} \quad I_{a1}=50\text{ A} \quad n_1=1000\text{ rpm} \quad R_a=0.15\ \Omega \quad R_{se}=0.1\ \Omega \quad n_2=0.8n_1$$

$$I_{a2}=60\text{ A}$$

$$E_{b1}=V_{in}-I_a(R_a+R_{se})$$

$$=220-50(0.15+0.1)=207.5\text{ V}$$

$$E_{b2}=V_{in}-I_{a2}(R_a+R_{se})$$

$$=220-60(0.15+0.1)=205\text{ V}$$

$$T_1=E_{b1}I_{a1}/\omega_1$$

$$=207.5*50/(2\pi*1000/60)=99.07\text{ N.m}$$

$$T_2=E_{b2}I_{a2}/\omega_2$$

$$=205*60/(2\pi*0.8*1000/60)=146.82\text{ N.m}$$

مثال ٣- ٤_ محرك تيار مستمر من نوع التوالي ذي أربعة أقطاب موصل على منبع جهده ٢٢٠ فولت ويسحب تيار مقداره ٥٢ أمبير عند الحمل الكامل. ملفوف لفا تموجيا وعدد موصلاته الكلية ٦٣٠ والفيض المغناطيسي لكل قطب ٠,٠١٨ ويبر ، ومقاومة ملفات المنتج والمجال على الترتيب هي ٢, أوم و١, أوم. احسب سرعة دوران المحرك وكذلك عزم الدوران. وإذا انخفض عزم الدوران المطلوب إلى ٦٠٪ من قيمته عند الحمل الكامل، أوجد سرعة الدوران الجديدة.

الحل

$$2p=4 \quad V_{in}=220V \quad I_a=52A \quad Z_a=630 \quad \Phi=0.018 \text{ wb} \quad R_a=0.2\Omega \quad R_{se}=0.1\Omega \quad T_2=0.6T_1$$

$$2a = 2 \text{ (wave winding)}$$

$$E_{b1} = V_{in} - I_{a1}(R_a + R_{se})$$

$$= 220 - 52(0.2 + 0.1) = 204.4V$$

$$E_{b1} = \frac{2p}{2a} \phi Z_a \frac{n_1}{60}$$

$$204.4 = \frac{4}{2} * 0.018 * 630 * \frac{n_1}{60}$$

$$n_1 = 541 \text{ rpm}$$

$$T_1 = E_{b1} I_{a1} / \omega_1 = 204.4 * 52 / (2\pi * 541 / 60) = 187.61 \text{ N.m}$$

$$T \propto I_a^2$$

$$\frac{T_2}{T_1} = 0.6 = \frac{I_{a2}^2}{I_{a1}^2} = \frac{I_{a2}^2}{(52)^2}$$

$$I_{a2} = \sqrt{0.6 * (52)^2} = 40.3A$$

$$E_{b2} = V_{in} - I_{a2}(R_a + R_{se})$$

$$= 220 - 40.3(0.2 + 0.1) = 208 \text{ V}$$

$$\frac{E_{b2}}{E_{b1}} = \frac{n_2 \Phi_2}{n_1 \Phi_1} = \frac{n_2 I_{a2}}{n_1 I_{a1}}$$

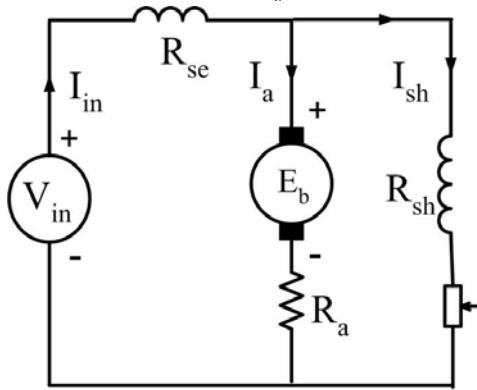
$$\frac{208}{204.4} = \frac{n_2 * 40.3}{541 * 52}$$

$$n_2 = \frac{208 * 541 * 52}{204.4 * 40.3}$$

$$n_2 = 710 \text{ rpm}$$

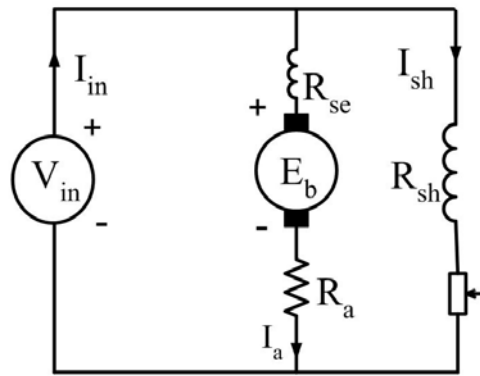
٣-٤-٣ المحرك المركب DC compound motor

المحرك المركب هو أساسا محرك توازي أضيفت إليه ملفات توالي يمر فيها تيار المنبع في المحرك القصير أو تيار المنتج في المحرك الطويل، في اتجاه معين بحيث يؤثر المجال المغناطيسي الذي تعطيه هذه الملفات على المجال المغناطيسي للملفات التوازي، وبذلك يكتسب المحرك خصائص معينة بالنسبة للسرعة والعزم. وهناك نوعان من المحركات المركبة حسب توصيل ملفات التوالي وملفات التوازي، محرك مركب طويل ومحرك مركب قصير، ويوضح شكل ٣-١١ رسم تخطيطي لكلا المحركين.



(a)

محرك قصير



(b)

محرك طويل

شكل ٣-١١ المحرك المركب

معادلات المحرك القصير:

$$E_b = V_{in} - I_a R_a - I_{in} R_{se} \quad 3-31$$

$$V_{sh} = I_{sh} R_{sh} = V_{in} - I_{in} R_{se} \quad 3-32$$

$$I_{in} = I_{se} = I_a + I_{sh} \quad 3-33$$

$$n = \frac{V_{in} - I_a R_a - I_{in} R_{se}}{K\Phi} \quad 3-34$$

معادلات المحرك الطويل:

$$E_b = V_{in} - I_a (R_a + R_{se}) \quad 3-35$$

$$V_{sh} = I_{sh} R_{sh} = V_{in} \quad 3-36$$

$$I_{in} = I_a + I_{sh} \quad 3-37$$

$$n = \frac{V_{in} - I_a (R_a + R_{se})}{K\Phi} \quad 3-38$$

بالنسبة لعزم الدوران يمكن استخدام المعادلة ٣-١٦ مع مراعاة أن Φ هي عدد خطوط المجال المغناطيسي المحصل من مجالات كل من ملفات التوالي وملفات التوازي معا. ويتحدد مقدار المجال المحصل بناء على طريقة توصيل ملفات التوالي (اتجاه التيار فيها)، فإما أن تعطي مجال يساعد مجال ملفات التوالي أو يعاكسها. وينقسم المحرك المركب بناء على ذلك إلى ثلاثة أنواع:

- محرك مركب تراكمي (Cumulative compound motor):

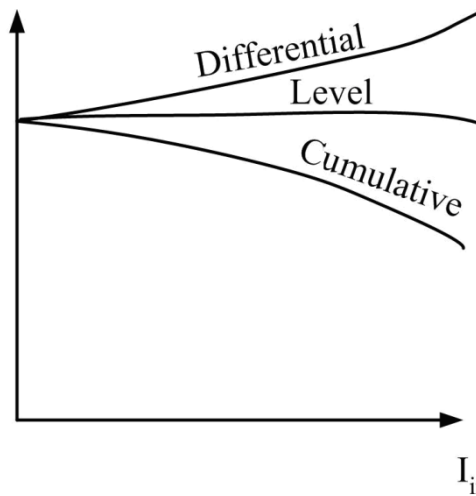
تزداد قيمة Φ في هذا النوع كلما ازداد الحمل فتتخفض السرعة بمقدار يتوقف على طريقة إعداد ملفات التوالي، ويوضح شكل ٣-١٢ منحنى خواص السرعة مع تيار الحمل.

- محرك مركب مستوي (Level compound motor):

تحافظ ملفات التوالي في هذه الحالة على قيمة Φ ثابتة على الرغم من تغير الحمل، فتظل سرعة المحرك تقريبا ثابتة عند الأحمال المختلفة، كما هو موضح في شكل ٣-١٢.

- محرك مركب تفاضلي (Differential compound motor):

تعطي ملفات التوالي في هذه الحالة مجالا مغناطيسيا يضاد اتجاه مجال ملفات التوازي وذلك عند مرور التيار فيها. وبذلك تقل قيمة Φ كلما ازداد الحمل على المحرك مما يؤدي إلى زيادة سرعة المحرك كما هو واضح في شكل ٣-١٢.



شكل ٣-١٢ منحنى الخواص للمحرك المركب

• استخدامات المحرك المركب:

يمكن استخدام المحرك المركب المستوي كبديل عن محرك التوازي، وذلك للأحمال التي تحتاج إلى سرعة ثابتة على الرغم من تغير الحمل. أما المحرك المركب التفاضلي فيستخدم 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.

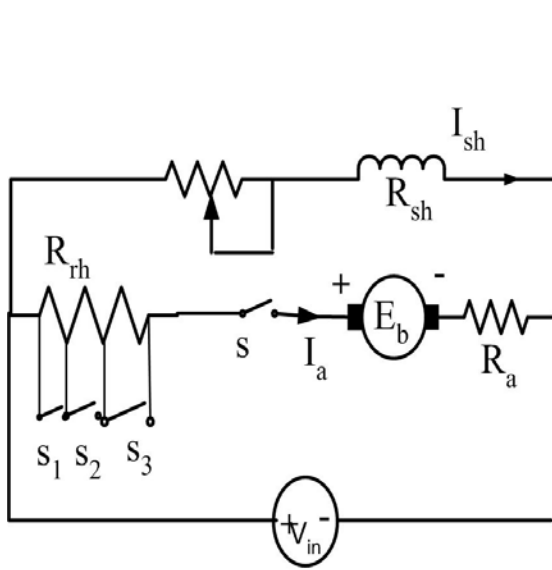
٣- ٥ تنظيم السرعة وطرق عكس الحركة Speed control and reversal

تبين معادلات السرعة لمحركات التيار المستمر، المعادلات (٣- ٢١، ٣- ٢٩، ٣- ٣٤)، أن السرعة تتغير إما عن طريق مقاومة متصلة مع المنتج أو عن طريق الجهد المسلط على أطراف المحرك وأما عن طريق تغير الفيض المغناطيسي عن طريق دائرة المجال. يتشابه كل من محرك التوازي والمحرك المركب في طرق تنظيم السرعة، لذلك سوف نركز على طرق تنظيم السرعة لمحرك التوازي.

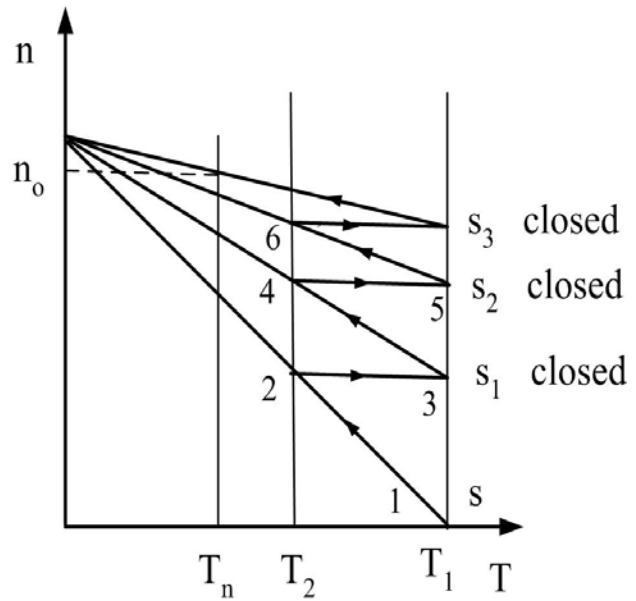
٣- ٥- ١ تنظيم السرعة لمحرك التوازي

- أولاً: استخدام مقاومة متغيرة

في هذه الطريقة لتنظيم السرعة تستخدم مقاومة متغيرة توصل بالتوالي مع دائرة المنتج، كما هو موضح في شكل ٢- ١٣. ويتم تنظيم السرعة عن طريق فتح أو غلق المفاتيح S_1 , S_2 , S_3 وبذلك يدخل جزء من المقاومة في الدائرة مما يغير من قيمة المقاومة المحصلة للمنتج. ويوضح شكل ٣- ١٣ ب منحنى العزم مع السرعة، فعند حمل معين نجد أن السرعة تتغير بتغيير المقاومة. تبعا لشكل ٣- ١٣ أ فإن المحرك يبدأ الحركة بغلق المفتاح S ثم بعد ذلك يتم غلق المفاتيح S_1 , S_2 , S_3 تباعا بحيث يكون بينهما فاصل زمني. ولكن من عيوب هذه الطريقة لتنظيم السرعة هو الفقد في مقاومة تنظيم السرعة مما يقلل من كفاءة المنظومة ككل.



١١٣ - ٣



١٣ - ٣ ب

شكل ٣ - ١٣ تنظيم السرعة لمحرك توازي باستخدام مقاومة مع المنتج

- ثانياً: تنظيم السرعة بالتحكم في الجهد المسلط

يمكن الحصول على مدى أوسع لتنظيم السرعة عن طريق الجهد المسلط على أطراف المحرك، ويمكن التحكم في هذا الجهد باستخدام طريقة "وورد ليونارد" كما هو موضح في شكل ٣ - ١٤، حيث يغذي المحرك المراد تنظيم سرعته M من مولد محكوم G ، وهذا المولد يدار بسرعة ثابتة من خلال محرك تيار مستمر آخر M' ، وعن طريق التحكم في مجال المولد يمكن تغيير الجهد المتولد على أطرافه وبالتالي الجهد المغذي للمحرك المراد تنظيم سرعته. ومن عيوب هذه الطريقة هي التكلفة الكلية لنظام التحكم. ولكن الآن تستخدم طرق إلكترونية للتحكم في الجهد المستمر المغذي للمحرك مباشرة.

- ثالثاً: تنظيم السرعة عن طريق المجال (flux control)

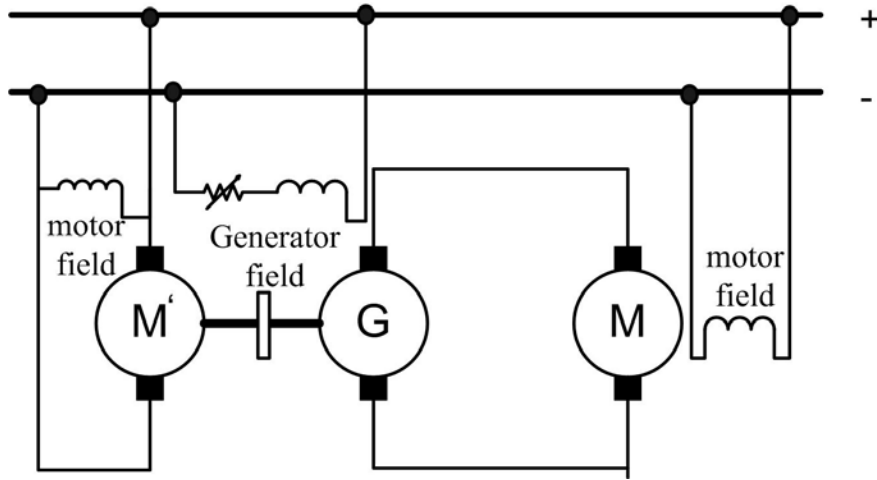
تعتبر طريقة التحكم عن طريق المجال من الطرق البسيطة قليلة التكلفة، حيث تستخدم مقاومة تنظيم المجال بقدرة منخفضة، وعن طريقها يتم التحكم في تيار المجال وبالتالي الفيض المغناطيسي وهذه الطريقة يمكن أن تعطي سرعات أعلى من السرعة المقننة للمحرك ولكن هذا يتسبب في زيادة الشرر الكهربائي في المحرك وحدوث مشاكل ميكانيكية نتيجة زيادة السرعة.

٣- ٥- ٢ تنظيم السرعة لمحرك التوالي

تتبع الطرق الآتية لتنظيم سرعة محرك التوالي:

أولا: توصيل مقاومة بالتوالي مع دائرة المحرك:

من المعادلة ٣- ٢٩ نجد أنه يمكن تغيير سرعة محرك التوالي بإضافة مقاومة بالتوالي مع دائرة المنتج، ويمكن في هذا المجال تكرار ما ذكرناه في حالة محرك التوازي عند استخدام هذه الطريقة لتنظيم السرعة.



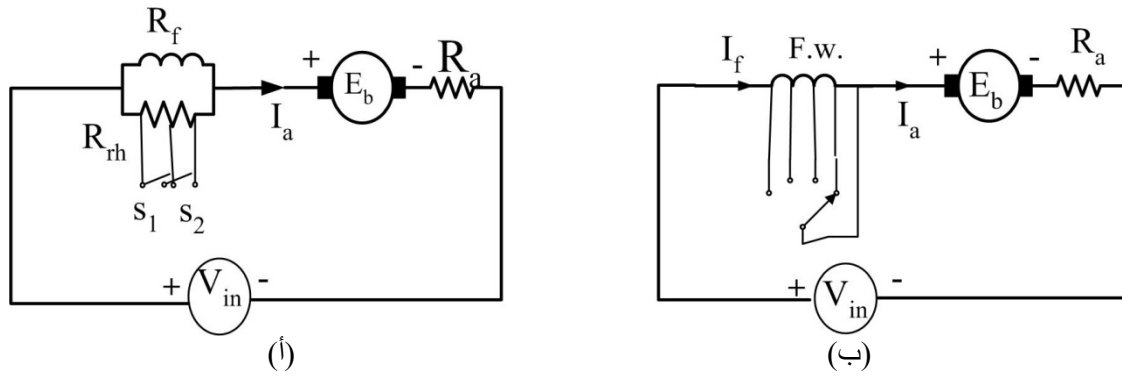
شكل ٣- ١٤ تنظيم السرعة لمحرك توازي باستخدام طريقة "وورد ليونارد"

ثانيا: توصيل مقاومة على التوازي مع ملفات المجال:

تتوقف سرعة المحرك على الفيض المغناطيسي Φ وبالتالي على تيار المجال الذي يساوي تيار الحمل I_{in} في هذه الحالة. ونظرا لأن I_{in} يتوقف على مقدار الحمل، فإن التحكم في قيمة تيار المجال لا يتأتى إلا عن طريق توصيل مقاومة على التوازي مع ملفات المجال، بحيث يمكن تغيير قيمة تيار المجال عن طريق تغيير المقاومة، بينما تظل قيمة تيار الحمل ثابتة. يوضح شكل ٣- ١٥ طريقة توصيل الدائرة

ثالثا: تقسيم ملفات المجال:

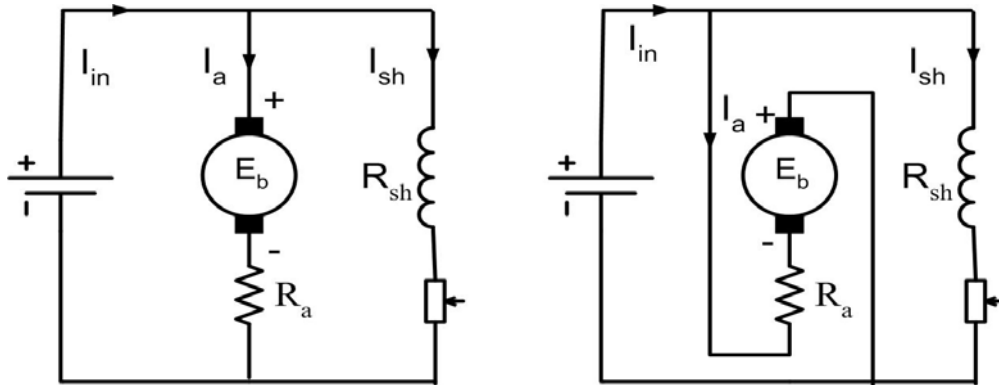
نستطيع في بعض الأحوال أن نتحكم في تيار المجال عن طريق تقسيم ملفات المجال على الأقطاب إلى قسمين أو أكثر وتوصيلهما على التوازي معا بدلا من توصيل الملفات على الأقطاب كلها على التوالي، كما هو واضح في شكل ٣- ١٥ ب. وبهذه الطريقة نستطيع التحكم في تيار المجال وبالتالي في سرعة المحرك.



شكل ٣- ١٥ تنظيم السرعة لمحرك التوالي

٣- ٥- ٣ عكس السرعة لمحركات التيار المستمر

تحتاج كثيراً من الأغراض إلى عكس اتجاه السرعة للمحرك مثل محركات الترام والأوناش وغير ذلك. ويتم عكس سرعة الدوران بعكس اتجاه التيار في ملفات المنتج أو في ملفات المجال. يراعى أن يتم عكس التيار في أحد الملفين فقط، فإذا تم عكس التيار في الملفين معاً في آن واحد يظل المحرك في نفس اتجاهه. ويتم عكس اتجاه التيار في إحدى الملفين عن طريق تغيير توصيل الأطراف ويوضح شكل ٣- ١٦ طريقة تغيير ملفات المنتج لمحرك توازي، بحيث تظل ملفات المجال كما هي دون تغيير.



شكل ٣- ١٦ عكس السرعة لمحرك توازي

٣- ٦ طرق بدء الحركة Starting Methods

الهدف من بدء الحركة لمحركات التيار المستمر هو تقنين التيار المسحوب لحظة البداية. حيث يكون هذا التيار مرتفع جداً ويتضح ذلك من معادلات التيار الموضحة:
بالنسبة لمحرك التوازي:

$$I_a = \frac{V_{in} - E_b}{R_a}$$

أما بالنسبة لمحرك التوالي:

$$I_a = \frac{V_{in} - E_b}{R_a + R_{se}} \quad 3-40$$

أثناء تشغيل المحرك يكون الفرق بين جهد المنبع والقوة الدافعة العكسية مقدار صغير وبالتالي تكون قيمة تيار المحرك هي القيمة التي يحددها الحمل. أما لحظة بدء الحركة تكون السرعة مساوية للصفر وبالتالي القوة الدافعة العكسية صفر أيضا (حيث تتناسب مع السرعة). وبالرجوع إلى المعادلات ٣-٣، ٣-٣٩، ٣-٤٠ نجد أن قيمة التيار عند البدء وهو عبارة عن الجهد المسلط مقسوما على مقاومة المنتج في حالة محرك التوازي ومقسوما على مقاومة المنتج ومقاومة ملفات التوالي في حالة محرك التوالي. وهذا التيار قيمته عالية جدا حسب المعادلات التالية:

بالنسبة لمحرك التوازي:

$$I_{starting} = \frac{V_{in}}{R_a} \quad 3-41$$

أما بالنسبة لمحرك التوالي:

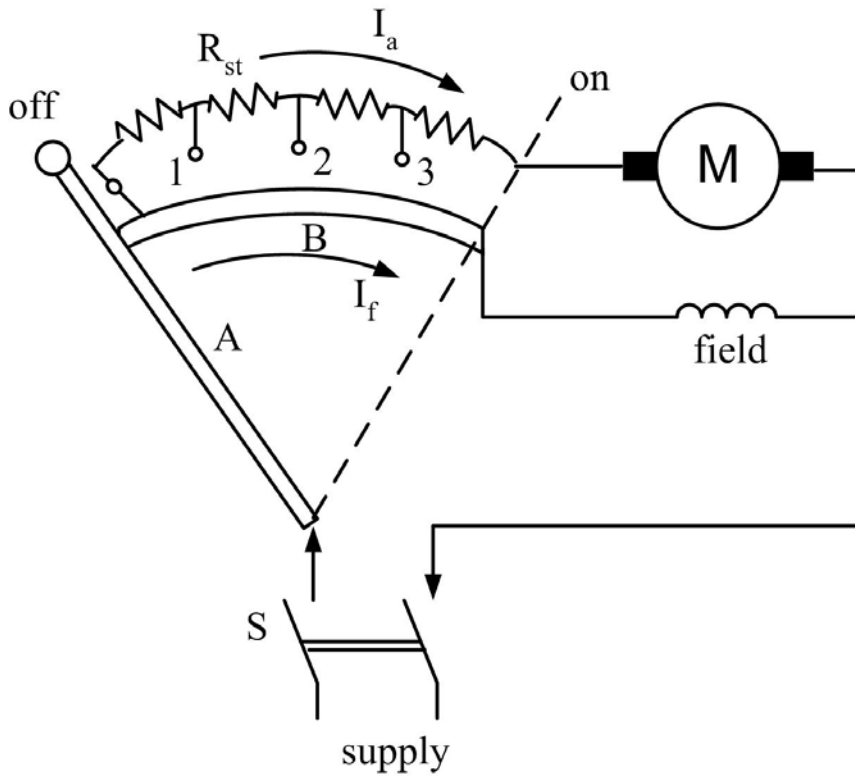
$$I_{starting} = \frac{V_{in}}{R_a + R_{se}} \quad 3-42$$

وتبعا للمعادلات ٣-٤١، ٣-٤٢، ولو فرضنا على سبيل المثال أن جهد المنبع ٢٠٠ فولت ومقاومة المنتج ١ أوم (عادة أقل من ١ أوم) تكون بذلك قيمة تيار المنتج لحظة بدء الحركة ٢٠٠٠ أمبير وهذا التيار مرتفع جدا بالنسبة لقدرة المحرك. ولذلك يجب استخدام وسيلة بدء حركة أو ما يسمى ببداي الحركة (starter) وهو عبارة عن مقاومة متغيرة توصل على التوالي مع المنتج وهذه المقاومة بدورها تحد من قيمة التيار إلى القيمة المسموح بها، فعندما يتحرك المنتج تتولد قوة دافعة عكسية (مضادة) تقلل من قيمة التيار المار وبالتالي تغير هذه المقاومة إلى قيمة أصغر حتى يصل المحرك إلى سرعته المقننة فتصل قيمة المقاومة إلى الصفر.

٣-٦ - ١ بادئ الحركة اليدوي

في المحركات الصغيرة يستعمل بادئ حركة يدوي وهو عبارة عن مقاومة من عدة أجزاء تكون على التوالي مع المنتج، وتخرج هذه المقاومة على مراحل حتى يصل المحرك إلى سرعته النهائية تكون هذه المقاومات قد أخرجت كليا من الدائرة، وعندئذ يكون المحرك موصل مباشرة بمنبع الجهد. يبين شكل

٣- ١٧ بادئ الحركة من هذا النوع لمحرك توازي، وفيه الذراع (A) يلامس نقطة التماس المتصلة بمقاومة بدء الحركة R_{st} وفي نفس الوقت يلامس القوس النحاس (B) الذي يغذي ملفات التوازي وبهذا الترتيب نجد أنه عند البداية تكون قيمة المقاومة الكلية مضافة إلى مقاومة المنتج وبذلك يقل تيار البدء، ثم بعد ذلك نبدأ في تحريك الذراع (A) ليصل إلى النقطة رقم ١ ثم ٢ ثم ٣ إلى أن يصل إلى الوضع on تكون المقاومة قد خرجت من الدائرة ويكون الجهد المسلط على المنتج هو جهد المنبع ويدور المحرك عند السرعة المقننة. ولكن من عيوب استخدام البادئ اليدوي أنه بعد فصل المفتاح الرئيس (S) أي بعد فصل منبع الجهد عن المحرك لإيقافه يبقى الذراع عند وضع التشغيل (on) ويترتب على ذلك أنه عند بدء الحركة مرة أخرى يكون المنتج موصل مباشرة بالمنبع ولذا يجب بعد إيقاف المحرك إرجاع الذراع إلى وضع عدم التشغيل (off).

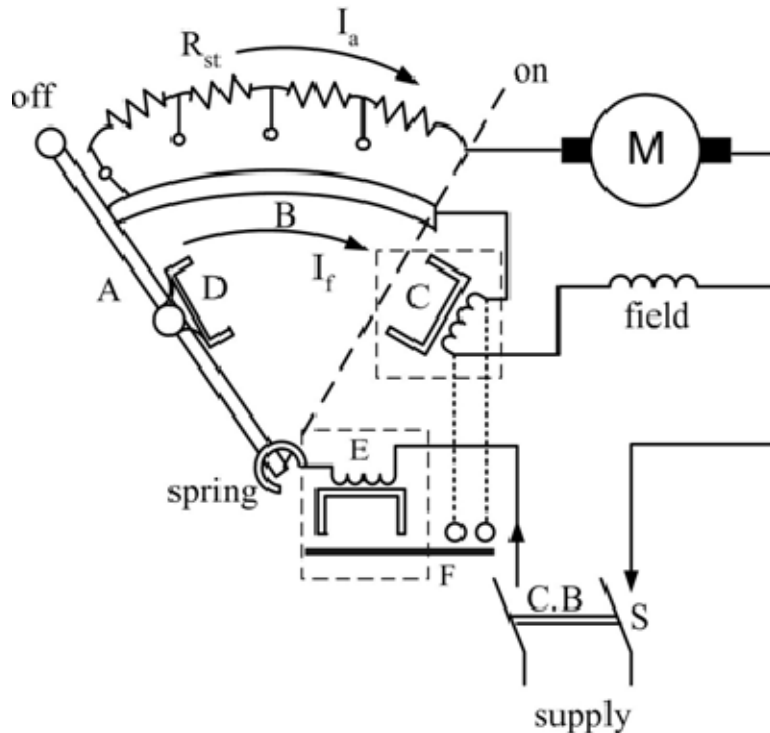


شكل ٣- ١٧ مخطط بادئ حركة يدوي

٣- ٦- ٢ بادئ الحركة اليدوي أوتوماتيكي لإعادة لوضع البدء عند الفصل

يستخدم في محركات التيار المستمر ذات قدرات أعلى من ٢٠ حصان وهو مزود بملف (متمم) فوق الحمل (overload) الذي يفصل المحرك عن المنبع عند زيادة الحمل كما يوجد أيضا قاطع أوتوماتيكي (circuit breaker) للقيام بعمل المفتاح الرئيس (S) عند حدوث قصر في الدائرة. الشكل ٣- ١٨ يبين مخطط لترتيب بدء حركة محركات التوازي والمركبة. في البداية يكون الذراع A عند الوضع off،

عند توصيل المفتاح S يتصل منبع الجهد بالقاطع الأوتوماتيكي ويمر تيار في ملف الممتل E ومنه إلى الذراع A ثم القوس النحاس B فملف الجاذب C وأخيرا ملفات المجال وملفات المنتج، وعند هذه اللحظة تكون مقاومة البادئ الكلية موصلة على التوالي مع المنتج وبالتالي يقل تيار البدء. عند مرور تيار في ملف الجاذب C يتولد مجال مغناطيسي يعمل على جذب الحافظة D إلى الجاذب C وبالتالي يبدأ الذراع A في الحركة متجها إلى الجاذب C . ويبدأ خروج أجزاء من مقاومة البادئ R_{st} تدريجيا إلى أن يصل الذراع A إلى الوضع on تكون مقاومة البادئ قد خرجت كليا من الدائرة وأصبح جهد المنبع مسلط على المنتج. عند فتح المفتاح الرئيس S لإيقاف المحرك فإن المجال الناشئ عن مرور التيار في ملف الجاذب C يزول وينتج عن ذلك أن يترك المغناطيس الكهربائي الحافظة D فيعود الذراع A من وضع التشغيل on إلى وضع عدم التشغيل off بواسطة زنبرك (spring) متصل بالذراع A وقاعدة البادئ. أيضا يوجد بالبادئ ممتل E يحتوى على ملف ومغناطيس كهربائي وحافظة F ، يمر بالملف تيار الخط فعند زيادة الحمل تتجذب الحافظة F للمغناطيس الكهربائي للمتمل E ، ومثبت بالحافظة قطعة من النحاس تعمل على قفل مسار توصيل فيحدث قصر على طرفي ملف الجاذب C ويترتب على ذلك أن يتلاشى المغناطيس الكهربائي فيترك الحافظة D وبالتالي يعود الذراع A بفعل الزنبرك إلى وضع عدم التشغيل ويقف المحرك.



شكل ٣- ١٨ مخطط بادئ حركة يدوي البدء أوتوماتيك الإعدادة

٣-٧ المفقودات والكفاءة Losses and Efficiency

تتقسم المفقودات في محركات التيار المستمر إلى ثلاثة أنواع كما في حالة مولدات التيار المستمر:

- الفقد الميكانيكي Mechanical loss

- الفقد النحاسي Copper loss

- الفقد الحديدي Iron loss

كل هذه المفقودات تظهر في صورة حرارة تؤدي إلى رفع حرارة المحرك وقد تسبب تلفه، لذلك يجب دراسة تأثيرها وكيفية الحد منها. وقد سبق ذكرها بالتفصيل في الوحدة الثانية (المولدات).

٣-٧-١ مراحل القدرة للمحرك

مما سبق نعلم بأن المحرك وسيلة لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية ولهذا يوصل المحرك على منبع تيار مستمر والذي يعطي المحرك قدرة أولية في صورة طاقة كهربائية سنطلق عليها دخل المحرك Input power كما هو موضح في شكل ٣-١٩ وهذه القدرة الداخلة تكون بالوات (W) جزء من هذه القدرة يضيع من تعويض الفقد النحاسي والباقي يتحول إلى قدرة كهرومغناطيسية P_g ، حيث إن P_g هي قدرة المنتج وتعطي بالعلاقة:

$$P_g = E_a I_a$$

$$P_g = P_{in} - P_{cu} \quad 3-43$$

عند انتقال القدرة إلى المنتج P_g يفقد من هذه القدرة جزء كفقد ميكانيكي P_{mech} وجزء كفقد حديدي P_{in} وتكون القدرة المتبقية هي القدرة المستفادة للحمل أو كما تسمى أحيانا خرج المحرك P_{out} . ويعطي شكل ٣-٢٠ مخطط انسياب القدرة في محركات التيار المستمر.

● الكفاءة:

بالرجوع إلى مراحل انتقال القدرة داخل محرك التيار المستمر، يمكن حساب الكفاءة وهي كالتالي:

- الكفاءة الكلية

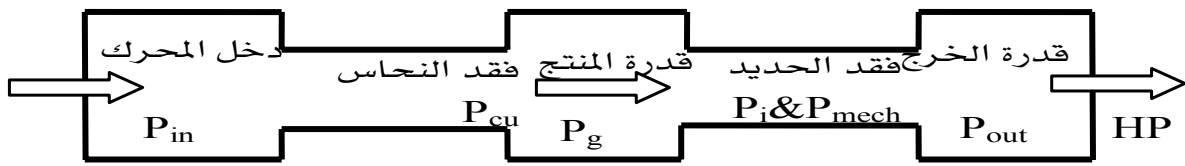
$$\eta = \frac{o/p}{i/p} = \frac{HP * 746}{V_{in} I_{in}}$$

3-44

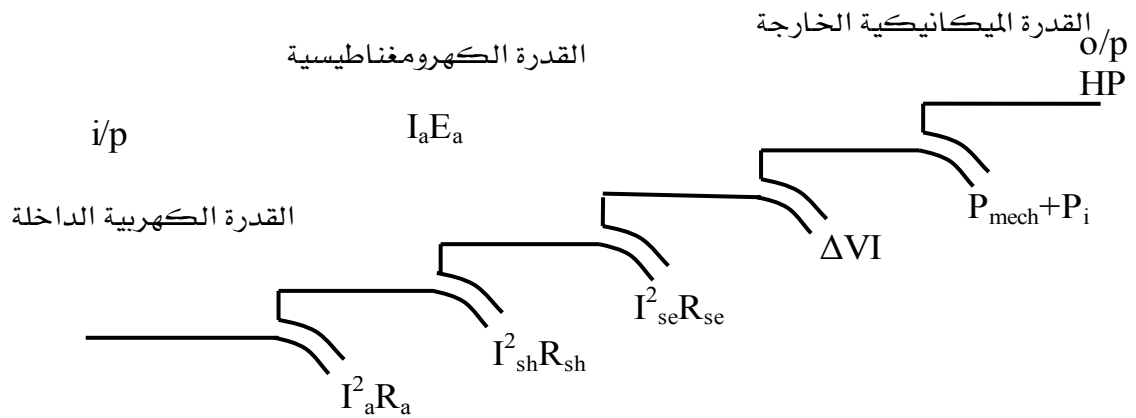
أيضا يمكن حساب الكفاءة الكلية من العلاقات

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + losses} \quad 3-45$$

$$\eta = \frac{P_{in} - losses}{P_{in}} \quad 3-46$$



شكل ٣- ١٩ مراحل انتقال القدرة لمحركات التيار المستمر



شكل ٣- ٢٠ مخطط انسياب القدرة لمحركات التيار المستمر

مثال ٣- ٥ محرك تيار مستمر من نوع التوازي يغذى حمل قدرته ١٥٠ حصان عند الحمل الكامل ويدور عند سرعة ٩٦٠ لفة/دقيقة، وموصل على منبع جهد ٥٥٠ فولت. وكانت الكفاءة ٩١٪ ومقاومة ملفات التوازي ٢٧٥ أوم ومقاومة ملفات المنتج ١ أوم. أوجد الآتي:

- المفقودات الحديدية والميكانيكية وكذلك عزم الدوران عند الحمل الكامل
- سرعة المحرك إذا خفض العزم إلى ٦٠٪ من العزم عند الحمل الكامل ووصلت مقاومة ٢ أوم على التوالي مع ملفات المنتج.

الحل

$$HP=150 \quad n=960 \text{ rpm} \quad V_{in}=550V \quad \eta=91\% \quad R_{sh}=275\Omega \quad R_a=0.1\Omega$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$0.91 = \frac{150 * 746}{P_{in}}$$

$$P_{in} = \frac{150 * 746}{0.91} = 122967 \text{ W}$$

$$P_{in} = V_{in} I_{in} \quad 122967 = 550 * I_{in} \quad I_{in} = 122967 / 550 = 223.6 \text{ A}$$

$$I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}} = \frac{V_{in}}{R_{sh}} = \frac{550}{275} = 2 \text{ A}$$

$$I_a = I_{in} - I_{sh} = 223.6 - 2 = 221.6 \text{ A}$$

$$P_{cu} = I_a^2 R_a + I_{sh}^2 R_{sh} = (221.6)^2 * 0.1 + (2)^2 * 275 = 6011 \text{ W}$$

$$P_{losses} = P_{in} - P_{out} = 122967 - 150 * 746 = 11067 \text{ W}$$

$$P_{losses} = P_{mech} + P_i + P_{cu}$$

$$P_{mech} + P_i = P_{losses} - P_{cu} = 11067 - 6011 = 5056 \text{ W}$$

$$E_b = V_{in} - I_a R_a = 550 - 221.6 * 0.1 = 527.84 \text{ V}$$

$$T = \frac{E_b I_a}{\omega} = \frac{E_b I_a}{\frac{2\pi n}{60}} = \frac{527.84 * 221.6 * 60}{2 * \pi * 960} = 1163.5 \text{ N.m}$$

$$T \propto \Phi I_a$$

حيث إن تيار المجال ثابت، يكون Φ ثابت

$$T \propto I_a$$

$$\frac{T_1}{T} = \frac{I_{a1}}{I_a} = 0.6$$

$$I_{a1} = 0.6 * I_a = 0.6 * 221.6 = 132.96 \text{ A}$$

$$E_{b1} = V_{in} - I_{a1} (R_a + R_{ad}) = 550 - 132.96 * (0.1 + 0.2) = 510.1 \text{ V}$$

$$T_1 = \frac{E_{b1} I_{a1}}{\omega_1} = \frac{E_{b1} I_{a1}}{\frac{2\pi n_1}{60}}$$

$$0.6 * 1163.5 = \frac{510.1 * 132.96 * 60}{2 * \pi * n_1}$$

$$n_1 = \frac{510.1 * 132.96 * 60}{2 * \pi * 0.6 * 1163.5} = 928 \text{ rpm}$$

أسئلة وتمارين على الوحدة الثالثة

- ١- اشرح نظرية عمل محرك التيار المستمر.
- ٢- ما هي أنواع محركات التيار المستمر؟ مع ذكر استخدامات كل نوع.
- ٣- اشرح منحنيات الخواص لمحرك التوالي والمحرك المركب.
- ٤- اشرح طرق تنظيم السرعة لمحركات التيار المستمر.
- ٥- هل يمكن توصيل محركات التيار المستمر مباشرة إلى منبع جهد ثابت؟ علل إجابتك.
- ٦- اشرح طرق بدء حركة محركات التيار المستمر، موضحا بالرسم استخدام المقاومة الأوتوماتيكية كوسيلة بدء للمحركات كبيرة القدرة.
- ٧- كيف يمكن عكس اتجاه الحركة لمحركات التيار المستمر؟
- ٨- في المحركات منفصلة التغذية، ماذا يحدث لو وصل المحرك إلى منبع الجهد بدون تغذية ملفات المجال؟
- ٩- اذكر أنواع المفقودات في المحركات. وبين كيف يمكن حساب الكفاءة؟
- ١٠- محرك تيار مستمر توازي ٤ أقطاب- ٢٢٠ فولت يحتوي المنتج على ٥٤٠ موصل ملفوف لف انطباق، يسحب تيار مقداره ٣٢ أمبير ويعطي قدرة خرج ٦ ك. وات، فإذا كان تيار المجال ١ أمبير ومقاومة ملفات المنتج ٩ أوم والفيض المغناطيسي لكل قطب ٠,٠٣ ويبر أوجد السرعة والعزم المستفاد.
- ١١- محرك تيار مستمر توازي ٢٢٠ فولت يدور بسرعة ٥٠٠ لفة/دقيقة عندما يأخذ المنتج ٥٠ أمبير. أوجد السرعة التي يدور بها المحرك إذا ازداد العزم إلى الضعف، علما بأن مقاومة المنتج ٢ أوم.
- ١٢- محرك تيار مستمر توالي ٢٥٠ فولت- ٤ أقطاب ملفوف لف تموجي ويحتوي المنتج على ٧٨٤ موصل. فإذا كانت مقاومة المنتج وملفات المجال على الترتيب هي ٥ أوم، ٢٥ أوم والفيض المغناطيسي لكل قطب ٢٥ ميللي ويبر، أوجد كل من السرعة والعزم الكلي للمحرك عندما يسحب تيار مقداره ٤٠ أمبير.
- ١٣- محرك توالي ٢٤٠ فولت يدور بسرعة ٨٥٠ لفة/دقيقة ويسحب تيار مقداره ١٠٠ أمبير، فإذا كانت مقاومة المنتج وملفات المجال على الترتيب هي ١٥ أوم، ١ أوم، أوجد السرعة التي يدور بها المحرك عندما يسحب تيار مقداره ٣٠ أمبير، مع العلم بأن الفيض المغناطيسي قد انخفض إلى النصف.

١٤- محرك توازي ٥٠٠ فولت يسحب عند الحمل الكامل تيارا قدره ٥٥ أمبير ليعطي خرجا قدره ٢١ حصان، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٨,٠ أوم ومقاومة ملفات المجال ٢٤٥ أوم. احسب المفقودات النحاسية والحديدية للمحرك عند الحمل الكامل.

١٥- محرك مركب طويل ملفوف لفا انطباقيا ذو ٤ أقطاب ويحتوي المنتج على ٨٢٠ موصل والفيض المغناطيسي لكل قطب ٢ ميغاخط، يدور عند اللاحمل بسرعة ١٢٠٠ لفة/دقيقة عندما يمر في المنتج تيارا قدره ٦ أمبير ، وعند الحمل الكامل يمر في المنتج ١٢٠ أمبير. فإذا كانت مقاومة المنتج وملفات التوالي وملفات التوازي على الترتيب هي ١٥,٠ أوم ، ٠,٠٥ أوم، ١٢٠ أوم، أوجد:

- قدرة المحرك عند الحمل الكامل بالحصان
- عزم وكفاءة المحرك عند الحمل الكامل.