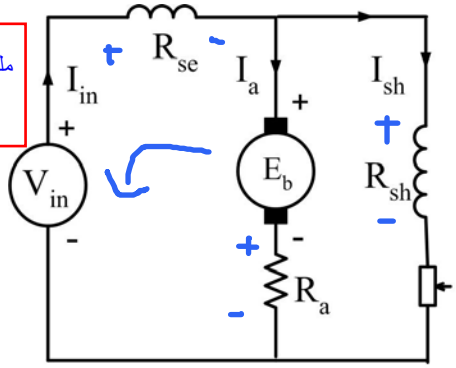
٣ -٤ -٣ المحرك المركب DC compound motor

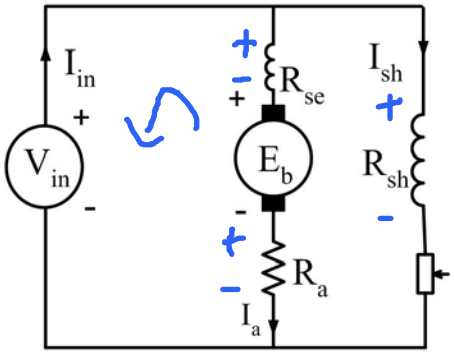
المحرك المركب هو أساسا محرك توازي أضيفت إليه ملفات توالي يمر فيها تيار المنبع في المحرك القصير أو تيار المنتج في المحرك الطويل، في اتجاه معين بحيث يؤدي تأثير المجال المغناطيسي الذي تعطيه هذه الملفات على المجال المغناطيسي لملفات التوازي، وبذلك يكتسب المحرك خصائص معينة بالنسبة للسرعة والعزم. وهناك نوعان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

محرك مركب قصير
ملفات التوازي على التوازي مع المنتج



(a)

محرك مركب طويل
ملفات التوازي على التوازي
على كل من المنتج وملفات التوالي



(b)

شكل ٣ -١١ المحرك المركب أ -محرك قصير ب -محرك طويل

معادلات المحرك القصير:

مهم حفظ

$$E_b = V_{in} - I_a R_a - I_{in} R_{se} \quad (٣-٣١)$$

$$V_{sh} = I_{sh} R_{sh} = V_{in} - I_{in} R_{se} \quad (٣-٣٢)$$

$$I_{in} = I_{se} = I_a + I_{sh} \quad (٣-٣٣)$$

$$n = \frac{V_{in} - I_a R_a - I_{in} R_{se}}{K\Phi} \quad (٣-٣٤)$$

$E_b = K\Phi n$

$n = \frac{E_b}{K\Phi}$

معادلات المحرك الطويل:

مهم حفظ

$$E_b = V_{in} - I_a (R_a + R_{se}) \quad (٣-٣٥)$$

$$V_{sh} = I_{sh} R_{sh} = V_{in} \quad (٣-٣٦)$$

$$I_{in} = I_a + I_{sh} \quad (٣-٣٧)$$

$$n = \frac{V_{in} - I_a (R_a + R_{se})}{K\Phi} \quad (٣-٣٨)$$

$$T = \frac{E_b I_a}{\frac{2\pi n}{60}}$$

بالنسبه 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 بناءا على طريقة توصيل ملفات التوالي(اتجاه التيار فيها)، فإما أن تعطي مجال يساعد مجال ملفات التوالي أو يعاكسها. وينقسم المحرك المركب بناءا على ذلك إلى ثلاثة أنواع:

- **محرك مركب تراكمي (Comulative compound motor):**

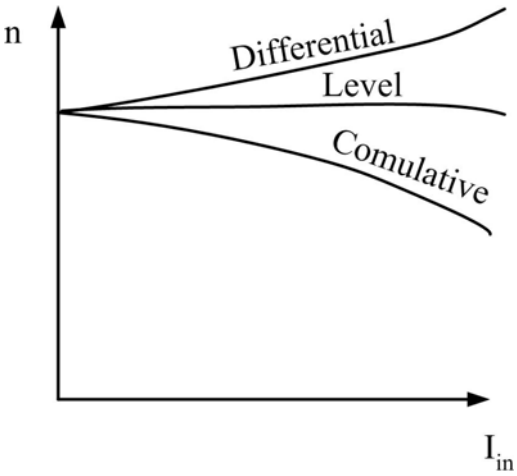
تزداد قيمة Φ في هذا النوع كلما ازداد الحمل فتنخفض السرعة بمقدار يتوقف على طريقة إعداد ملفات التوالي ، ويوضح شكل ٣ -١٢ منحنى خواص السرعة مع تيار الحمل .

- **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 فرقي (Differential compound motor) :**

تعطى 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 الفرقي 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

la control

-أولا: استخدام مقاومة متغيرة

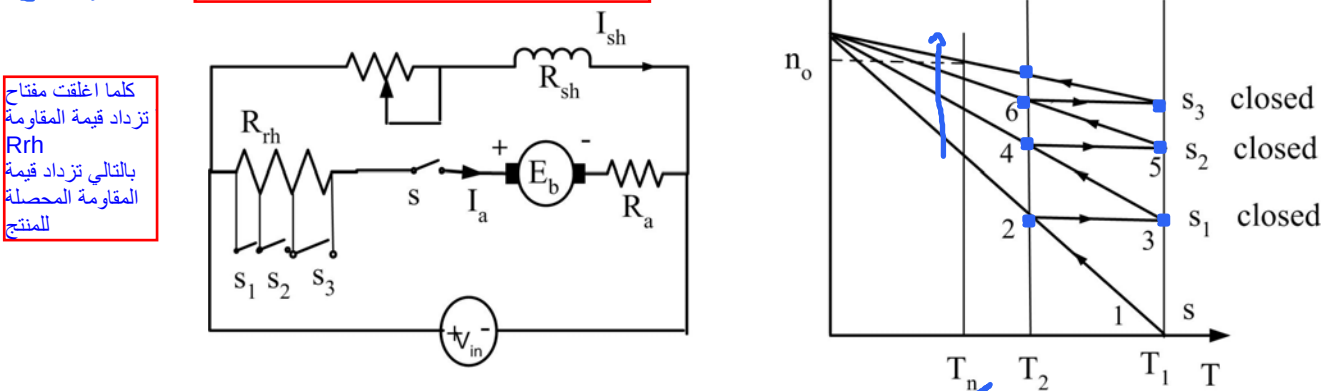
في هذه الطريقة لتنظيم السرعة تستخدم مقاومة متغيرة توصل بالتوالي مع دائرة المنتج، كما هو موضح في شكل ٢ -١٣. ويتم تنظيم السرعة عن طريق فتح أو غلق المفاتيح S١, S٢, S٣ وبذلك يدخل جزء من المقاومة في الدائرة مما يغير من قيمة المقاومة المحصلة للمنتج. ويوضح شكل ٣ -١٣ب منحنى العزم مع السرعة، فعند حمل معين نجد أن السرعة تتغير بتغيير المقاومة. تبعا لشكل ٣ -١٣أ فإن المحرك يبدأ الحركة بغلق المفتاح S ثم بعد ذلك يتم غلق المفاتيح S١, S٢, S٣ تباعا بحيث يكون بينهما فاصل زمني.

عيوب هذه الطريقة

ولكن من عيوب هذه الطريقة لتنظيم السرعة هو الفقد في مقاومة تنظيم السرعة مما يقلل من كفاءة المنظومة ككل.

كلما زاد قيمة المقاومة المحصلة للمنتج يقل تيار المنتج
بالتالي يقل العزم علاقة طردية
كلما قل العزم تزداد السرعة علاقة عكسية

كلما اغلقت مفتاح تزداد قيمة المقاومة Rrh
بالتالي تزداد قيمة المقاومة المحصلة للمنتج



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

Vin control

-ثانيا: 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 يغذى 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.

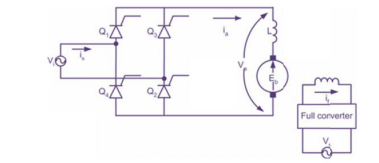
عيوب هذه الطريقة

من خلال دوائر controlled H bridge rectifiers and PWM

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

تعتبر طريقة التحكم عن طريق المجال من الطرق البسيطة قليلة التكلفة، حيث تستخدم مقاومة لتنظيم 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 الكهربي في المحرك وحدوث مشاكل ميكانيكية نتيجة زيادة السرعة.

عيوب هذه الطريقة



شكل ٣- ١٦ تنظيم السرعة لمحرك تغذية منفصلة باستخدام موحد محكوم في دائرة المنتج

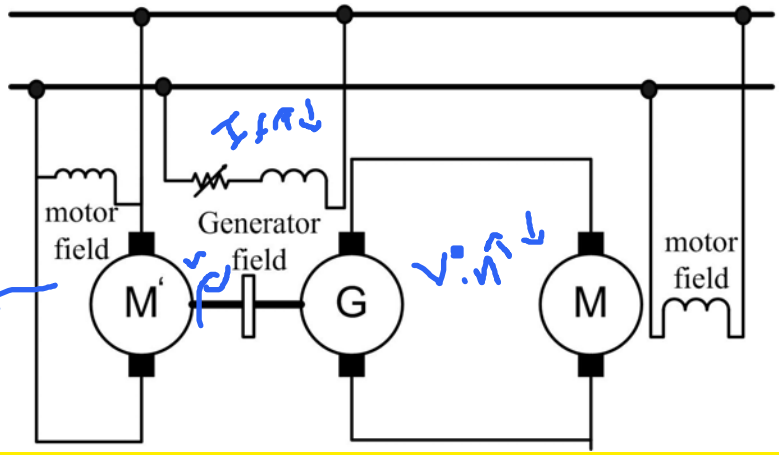
٣ -٥ -٢ تنظيم السرعة لمحرك التوالي

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 نفس الكلام الذي ذكرناه في حالة محرك التوازي عند استخدام هذه الطريقة لتنظيم السرعة.

كلما زاد قيمة المقاومة المحصلة للمنتج يقل تيار المنتج
بالتالي يقل العزم علاقة طردية
كلما قل العزم تزداد السرعة علاقة عكسية



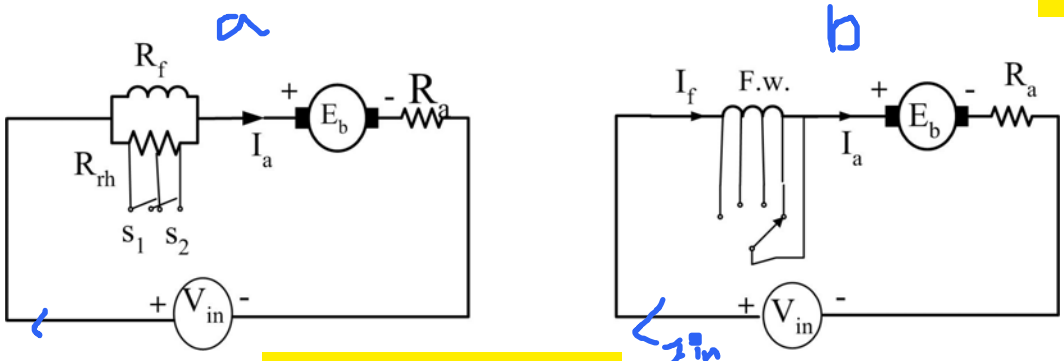
شكل ٣ -١٤ تنظيم السرعة لمحرك توازي باستخدام طريقة "وورد ليونارد"

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 يتأت 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 -١٥أ 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 -١٥ب . وبهذه الطريقة نستطيع التحكم في تيار المجال وبالتالي في سرعة المحرك.

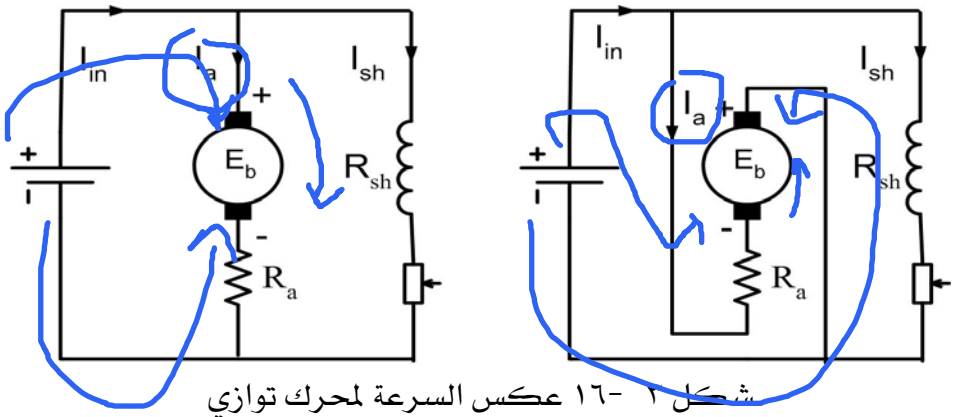


شكل ٣ -١٥ تنظيم السرعة لمحرك التوالي

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 إحدى الملفين فقط، فإذا تم عكس التيار في الملفين معا 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.

طريقة عكس اتجاه الدوران يكون بعكس الأقطاب للمصدر على المنتج بالتالي ينعكس اتجاه تيار المنتج



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 جدا ويتضح ذلك من معادلات التيار الموضحة:

بالنسبة لمحرك التوازي:

$$I_a = \frac{V_{in} - E_b}{R_a} \qquad ٣\square٣٩$$

أما بالنسبة لمحرك التوالي:

$$I_a = \frac{V_{in} - E_b}{R_a + R_{se}} \qquad ٣\square٤٠$$

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:

$$I_{starting} = \frac{V_{in}}{R_a} \qquad ٣\square٤١$$

أما بالنسبة لمحرك التوالي:

$$I_{starting} = \frac{V_{in}}{R_a + R_{se}} \qquad ٣\square٤٢$$