التحريك الكهربائي

فرملة المحركات الكهربائية

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

الجدارة: معرفة أنواع الكوابح (الفرامل) الكهربائية وكيفية تطبيقها على المحركات الكهربائية.

الأهداف:

عندما تكمل التدرب على هذه الوحدة يكون لديك القدرة بإذن الله علي:

١- معرفة الفرملة بإعادة التوليد وكيفية تطبيقها على محركات التيار المستمر والمتردد.

٢- معرفة الفرملة الديناميكية وكيفية تطبيقها على محركات التيار المستمر والمتردد.

٣- معرفة الفرملة بالتيار المعكوس أو التبديل وكيفية تطبيقها على محركات التيار المستمر والمتردد.

٤- مميزات وعيوب الطرق المختلفة لأنواع الفرامل الكهربائية.

الوقت المتوقع للتدريب: ٦ ساعات

متطلبات الجدارة:

اجتياز مقررات آلات التيار المستمر والمتردد.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

الوحدة السادسة : فرملة المحركات الكهربائية

أنواع الفرامل الكهربائية

في كثير من التطبيقات الصناعية لابد من تواجد وسيلة لإيقاف وفرملة الكتل المتحركة، ممثلة في المحرك والحمل الميكانيكي المتصل به، لأسباب اقتصادية ولتحقيق السلامة الصناعية، ولا بد أيضا من تواجد وسيلة للحد من السرعة الزائدة، في حالة الأحمال الهابطة تحت تأثير الجاذبية الأرضية، كما في الروافع والأوناش والمصاعد الكهربائية أو الكتل المنحدرة على مستوى مائل كما يحدث في المركبات الكهربائية. حيث تمتلك هذه الكتل كميات كبيرة من الطاقة الكامنة (Potential Energy) التي تتحول إلى طاقة حركة (Kinetic Energy) فتكتسب هذه الكتل المتحركة سرعات كبيرة، لذا فإنه يلزم في مثل هذه الحالات بذل عزم مضاد لاتجاه حركة الدوران، للتأثير على الكتل المتحركة لكي يمنع زيادة سرعتها عن الحد المسموح به، وقد يعمل أيضاً على تباطؤ سرعتها حتى تتوقف تماماً. هذا العزم المضاد يمكن توليده والحصول عليه بواسطة النوع المناسب من الكوابح (الفرامل)، لذلك فإنه يجب اختيار نوع الفرملة المناسب حسب نوع نظام التحريك، وبصفة عامة فهناك نوعان من الكوابح (الفرامل) :

- **الكوابح (الفرامل) الميكانيكية.**
- **الكوابح (الفرامل) الكهربائية.**

تمتاز الكوابح (الفرامل) الكهربائية عن نظيرتها الميكانيكية بما يلي:

- تحتاج إلى جهد وتكلفة أقل للصيانة وللعناية بالأجهزة المستخدمة.
- النظافة لعدم وجود المخلفات الناتجة عن الاحتكاك كما في الفرامل الميكانيكية.
- يمكن السيطرة على كميات الحرارة الكبيرة الناتجة عن عملية تحويل طاقة الحركة، ففي معظم الأحيان يمكن تجهيز الوسائل المناسبة للاستفادة من الحرارة المتولدة أثناء الفرامل، باستعمالها للتدفئة (مثلاً) أثناء فصل الشتاء، أو لإعادة تحويل طاقة الحركة إلى طاقة كهربائية، وإعادة تغذيتها إلى الشبكة الكهربائية.
- يمكن الحصول على تباطؤ أقل بكثير في حالة الفرامل الكهربائية، عن نظيرتها الميكانيكية، بحيث يتم الإيقاف بنعومة تامة، حفاظاً على راحة الركاب على ظهر المصعد أو الحافلة الكهربائية.

في حالة الأحمال الميكانيكية الثقيلة، فإن الفرامل الكهربائية والميكانيكية يستخدمان معاً للتحكم الجيد في فرملة الأجزاء المتحركة.

يمكن تقسيم الفرامل الكهربائية إلى نوعين:

- الفرامل بواسطة المحرك الكهربائي نفسه المستخدم للتحريك بعد إجراء التعديلات اللازمة لدائرته الكهربائية.
- الفرامل بواسطة وحدة فرامل كهربائية مستقلة بذاتها مثل وحدة الفرامل باستخدام التيارات الإعصارية.

وفيما يلي سوف نستعرض أنواع الفرامل بواسطة المحرك الكهربائي المستخدم للتحريك وطرقها المختلفة الشائعة الاستعمال في الحياة العملية وكيفية تطبيقها:

أ. الفرملة بإعادة التوليد.

ب. الفرملة الديناميكية أو باستخدام المقاومة المتغيرة.

ت. الفرملة بالتيار المعكوس أو التبديل.

يمكن تطبيق هذه الطرق الثلاث على أنواع آلات التيار المستمر والمتردد الشائعة الاستخدام في الصناعة.

أولا: فرملة محركات التيار المستمر.

١. الفرملة بإعادة التوليد: Regenerative Braking

عند تطبيق هذه الطريقة، يعمل المحرك الكهربائي كمولد للطاقة الكهربائية بينما يظل موصلاً بمصدر الجهد، وعندها يقوم بتحويل طاقة الحركة المخزونة في الكتل المتحركة إلى طاقة كهربائية، ويعيدها إلى الشبكة. يجب أن تكون قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة، أكبر من جهد المصدر المتصل به المحرك وهذا يتحقق إما بخفض جهد المصدر حتى يصبح أقل من القوة الدافعة الكهربائية للمحرك، أو بزيادة القوة الدافعة الكهربائية للمحرك بزيادة تيار المجال.

ففي حالة محركات التيار المستمر سواء أكان من النوع ذي التغذية المستقلة أم من النوع ذي التغذية الذاتية (توصيله التوازي)، فإن قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة يتم زيادتها عن طريق زيادة قيمة تيار المجال، أو عندما تزداد سرعة المحرك عن سرعة اللاحمل (كما يحدث في حالة الأحمال الهابطة تحت تأثير الجاذبية الأرضية).

يجب أن يكون واضحاً للمتدرب أن الفرملة باعادة التوليد تخفض من سرعة المحرك فقط ولا تسبب إيقافه كلياً عن الدوران. ومن أهم مميزاتها التوفير في الطاقة المستخدمة، وإعادة طاقة الحركة المخزونة في الكتل المتحركة إلى مصدر للجهد.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

مثال ٦- ١: محرك تيار مستمر توصيلة توازي، 220-V، القوة الدافعة الكهربائية المتولدة 215-V، عندما كانت سرعة المحرك 1150-rpm.، مقاومة المنتج 0.04 Ω، الحمل عبارة عن عزم دوران مقداره (19 $Kg.m^2$). أوجد أقل سرعة فرملية للمحرك، إذا كان المطلوب استخدام الفرملة بطريقة التوليد المرتجع مع الاحتفاظ بثبات تيار المجال.

أقل سرعة فرملية للمحرك، هي تلك السرعة التي تصل إليها الآلة ويصبح عندها عزم الدوران المضاد للمولد مساوياً لعزم دوران الحمل (19 $Kg.m^2$).

$$\frac{E_1}{E_2}=\frac{N_1}{N_2} \quad \text{where} \quad 1 \text{ for the motor case , 2 for the generator case}$$

$$T = \frac{E_1 . I_{a1}}{\omega_1} = \frac{E_2 . I_{a2}}{\omega_2} \qquad \text{N.m.}$$

$$I_{a2} = T \times \frac{\omega_2}{E_2} = T \times \frac{\omega_1}{E_1} = 19 \times 9.81 \times \frac{2\pi N_1}{60} \times \frac{1}{E_1} \qquad \text{Amp.}$$

$$I_{a2} = 19 \times 9.81 \times \frac{2\pi \times 1150}{60} \times \frac{1}{215} = 104.4 \qquad \text{Amp.}$$

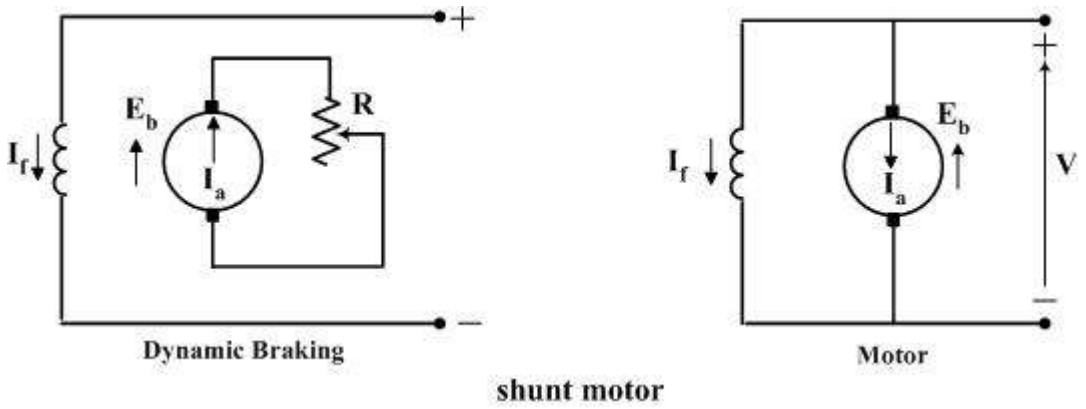
$$E_2 = V + I_{a2} R_a = 220 + 104.4 \times 0.04 = 224.17 \qquad \text{Volt}$$

$$N_2 = N_1 \frac{E_2}{E_1} = 1150 \times \frac{224.17}{215} = 1200 \qquad \text{rpm}$$

٢. الفرملة الديناميكية: Dynamic Braking

في هذه الطريقة يعمل المحرك الكهربائي أيضاً كمولد للطاقة الكهربائية، وبدلاً من إعادة الطاقة المتولدة إلى مصدر الجهد، فإنها تُستهلك على شكل حرارة في مقاومة إضافية خصصت لهذا الغرض مضافة بدائرة المحرك، فيتم توصيل المحرك بها بعد فصله من المصدر مباشرة، فيؤدي ذلك إلى تباطؤ الآلة تدريجياً. يفضل في هذه الحالة، الاحتفاظ بقيمة ثابتة للتيار المار في المقاومة الإضافية، وذلك إما بخفض قيمة المقاومة بما يتناسب مع الخفض المستمر في السرعة، أو بزيادة تيار المجال تدريجياً لزيادة الجهد المتولد وتعويض النقص المستمر الناتج عن تباطؤ السرعة، وهذا ما يحدث في محركات التيار المستمر ذات التغذية المستقلة أو الموصلة على التوازي. الشكل(٦- ١) يبين كيفية توصيل محرك التوازي أثناء الفرملة الديناميكية.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل (٦- ١)

كيفية توصيل محرك التوازي أثناء الفرملة الديناميكية

مثال ٦- ٢: محرك تيار مستمر، توالي، قدرته 15 حصان، 230-V، مقاومة المنتج 0.38 Ω، وتيار حمله الكامل 54 Amp.، المطلوب فرملته ديناميكياً . احسب قيمة المقاومة الإضافية، التي يجب أن توصل مع المنتج لاستهلاك القدرة المتولدة أثناء الفرملة، بفرض أن القوة الدافعة المتولدة عند لحظة الفرملة، تساوي 0.9 من قيمة جهد المصدر، وأن أقصى قيمة للتيار أثناء الفرملة ينبغي ألا تتعدى 1.75 من قيمة تيار الحمل الكامل.

$$\text{The back e.m.f.} = 0.9 \times 230 = 207 \quad \text{Volt}$$

$$\text{The maximum braking current} = 1.75 \times 54 = 94.5 \quad \text{Amp.}$$

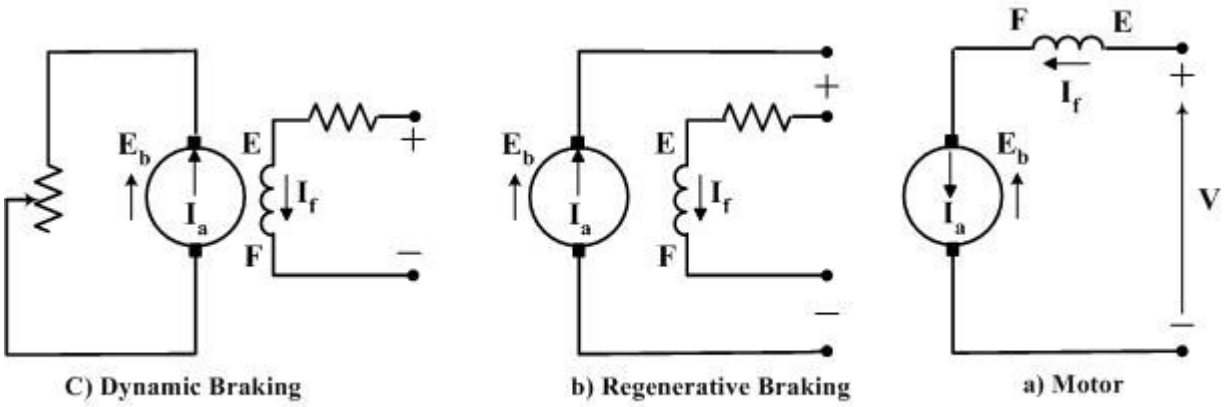
$$\text{The total resistance} = R_a + R = \frac{207}{94.5} = 2.19 \quad \Omega$$

$$\text{The additional resistance} = 2.19 - 0.38 = 1.81 \quad \Omega$$

عند استخدام الطريقتين السابقتين، في حالة محركات التيار المستمر ذات تغذية التوالي، لابد من فصل ملفات المجال عن ملفات المنتج، وتغذيتها تغذية مستقلة أثناء استخدام الفرامل، حتى يتسني زيادة تيار المجال للحصول على قيمة القوة الدافعة الكهربائية اللازمة لتحويل الآلة إلى مولد . الشكل(٦- ٢)يبين كيفية توصيل محرك التيار المستمر ذي تغذية التوالي، أثناء التشغيل العادي (a)، وأثناء استعمال الفرامل بطريقة إعادة التوليد (b)، وأثناء تطبيق الفرملة الديناميكية (C)

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ومما يجدر بالذكر هنا أن جميع أنواع الآلات الكهربائية تتحول في نعومة تامة من محرك إلى مولد إذا ما انعكس اتجاه تيار المنتج بها.



series motor

الشكل (٦- ٢)

توصيل محرك التوالي أثناء الفرامل الكهربائية.

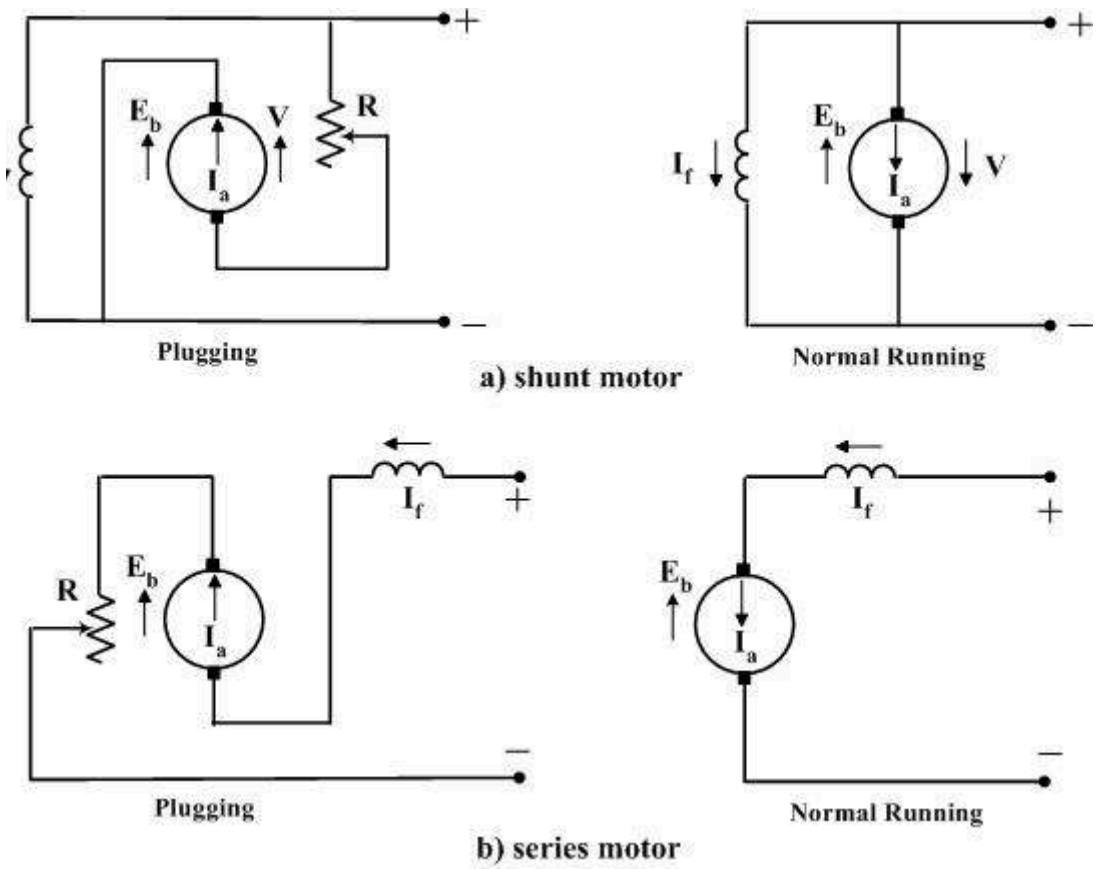
٣. الفرملة بالتيار المعكوس أو التبديل : Reverse Current Braking or Plugging

في هذه الطريقة يتم عكس اتجاه عزم دوران المحرك، بحيث يحاول عكس اتجاه دورانه، وذلك بعكس اتجاه التيار إما في ملف المنتج أو في ملف المجال (ولكن ليس في الاثنين معا)، والأنسب هو عكس اتجاه التيار في ملف المنتج، فتتباطأ سرعة المحرك والآلة العاملة حتى تصل إلى الصفر، ثم يبدأ المحرك حركته في الاتجاه المضاد، لذلك فإنه يلزم استخدام جهاز خاص لفصل التيار عن المحرك، عندما تصل سرعته إلى الصفر.

يلاحظ أنه عند تبديل طرفي المنتج أثناء دوران المحرك، تصبح قطبية القوة الدافعة الكهربائية المتولدة مضافة لجهد المصدر بعد أن كانت تضاده، وهذا يعني أن ضعف جهد المصدر أصبح مسلطاً على طرفي المنتج، مما يستدعي ضرورة اتخاذ الاحتياطات اللازمة لحماية ملفات المنتج من التيار الابتدائي للفرملة، وذلك بتوصيل مقاومة خارجية على التوالي مع مقاومة المنتج، تماماً كما يحدث عند بدء الحركة، ومن عيوب هذه الطريقة، الطاقة المهدرة من المصدر، بالإضافة إلى الطاقة المطلوب تبديدها من الكتل المتحركة، واحتمال عدم الدقة في فصل المصدر الكهربائي عند وصول السرعة إلى الصفر، إلا أنها طريقة فعالة لفرملة المحرك.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الشكل(٦- ٣) يبين كيفية توصيل محركات التيار المستمر أثناء التشغيل العادي، والتوصيل أثناء استعمال الفرامل بالتبديل، لمحرك التوازي (أ) ومحرك التوالي (ب)



الشكل (٦- ٣) توصيل محركات التيار المستمر أثناء الفرملة بالتبديل

مثال٦- ٣: محرك للتيار المستمر توصيلة التوازي، 220 فولت، 18.4 كيلو وات، سرعته عند الحمل الكامل 600 لفة في الدقيقة، مطلوب فرملته بالتيار المعكوس (التبديل)، إذا كان تيار الحمل الكامل 95 أمبير، ومقاومة المنتج 0.1 أوم. أوجد:

أ. قيمة المقاومة الإضافية التي يجب توصيلها على التوالي مع ملف المنتج، إذا كانت قيمة التيار الابتدائي أثناء الفرملة ينبغي ألا تتعدى 130 أمبير.

ب. القيمة الابتدائية لعزم الفرملة.

ج. قيمة عزم الفرملة عندما تهبط سرعة الدوران إلى نصف قيمتها عند الحمل الكامل.

$$T \propto I$$

$$\frac{\text{Full load torque}}{\text{Initial braking Torque}} = \frac{\text{Full load current}}{\text{Initial braking current}}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} = \frac{2\pi \times 600}{60} = 62.8 \quad \text{rad/sec.}$$

$$\text{The full load torque} = \frac{P}{\omega} = \frac{18.4 \times 1000}{62.8} = 293 \quad \text{N.m.}$$

$$\text{The initial braking torque} = 293 \times \frac{130}{95} = 401$$

$$E_b = V - I_a . R_a = 220 - 95 \times 0.1 = 210.5 \quad \text{Volt}$$

The voltage across the armature at the instant of braking $= V + E_b$

$$= 220 + 210.5 = 430.5 \quad \text{Volt}$$

The resistance required in the armature circuit to limit the current to 130 ampere $= \frac{430.5}{130} = 3.312$ Ω

عندما تهبط سرعة الدوران إلى نصف قيمتها عند الحمل الكامل، تهبط أيضا قيمة القوة الدافعة الكهربائية العكسية إلى نصف قيمتها عند الحمل الكامل.

When the speed has fallen to its full load value, the back e.m.f. also Falls to half of its original value i.e. $= \frac{210.5}{2} = 105.25$ Volt

$$\text{The Current} = \frac{220 + 105.25}{3.3123} = 98.2 \quad \text{Amp.}$$

The electric braking Torque at half full speed

$$= 293 \times \frac{98.2}{95} = 302 \quad \text{N.m} \quad \text{N.m.}$$

مثال ٦- ٤: محرك للتيار المستمر توصيلة التوازي، 400 فولت، تيار الحمل الكامل 200 أمبير، ومقاومة المنتج 0.1 أوم، سرعته عند الحمل الكامل 600 لفة في الدقيقة، مطلوب فرملته بالتيار المعكوس (التبديل) احسب:

أ. قيمة المقاومة التي يجب توصيلها على التوالي مع دائرة المنتج، لتمنع زيادة التيار الابتدائي أثناء الفرملة الكهربائية عن 300 أمبير.

ب. القيمة الابتدائية لعزم الفرملة.

ج. قيمة عزم الفرملة عندما تهبط سرعة الدوران إلى نصف قيمتها عند الحمل الكامل.

The full load current $= I_a = 200$ Amp.

The terminal Voltage $= V = 220$ Volt

$E_b = V - I_a . R_a = 400 - 200 \times 0.1 = 380$ Volt

The volage across the armatrue at the instant of braking $= V + E_b = 400 + 380 = 780$ Volt

The rasistance required in the armature to limit the current to 300 ampere $= \frac{780}{300} = 2.6$ Ω

The external resistance required in the armature circuit $= 2.6 - 0.1 = 2.5$ Ω

$$T \propto I_a$$

$$\frac{\text{Full load torque}}{\text{Initial braking Torque}} = \frac{\text{Full load current}}{\text{Initial braking current}}$$

$\omega = \frac{2\pi N}{60} = 62.8$ rad/sec.

The full load torque $= \frac{P}{\omega} = \frac{E_b . I_a}{\omega} = \frac{380 \times 200}{62.8} = 1209.2$ N.m.

The initial braking torque $= 1209.2 \times \frac{300}{200} = 1815.3$ N.m.

When the speed has fallen to half of its initial value, the back e.m.f. also falls to half of its original value i.e. $= \frac{380}{2} = 190$ Volt

The current $= \frac{400 + 190}{2.6} = 226.92$ Amp.

The electric braking torque at half full load speed $= 1209.2 \times \frac{226.92}{200} = 1371.96$ N.m.

ثانيا : فرملة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه.

- **الفرملة بإعادة التوليد : Regenerative Braking**

يمكن تطبيق هذه الطريقة على المحركات الحثية ثلاثية الأوجه، عندما تصبح سرعة المحرك أكبر من سرعة التزامن ويصبح الانزلاق سالباً، فيتحول المحرك الحثي إلى مولد حثي، يحدث هذا غالباً في حالة الأحمال الهابطة تحت تأثير الجاذبية الأرضية كما في المصاعد والروافع والأوناش. يمكن التحكم في سرعة التزامن باستخدام مصدر متغير التردد لتغذية المحرك، فكلما قلت سرعة المحرك نُنقص من قيمة التردد، بحيث تتم عملية الفرامل بعزم فرملي ثابت، وبالتالي تيار ثابت القيمة بملفات العضو الثابت.

يمكن أيضاً في حالة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه، ذات العضو الدائر ذي القفص السنجابي، إنقاص سرعة التزامن، بزيادة عدد الأقطاب في العضو الثابت (بواسطة توصيلات خاصة)، فتقل سرعة التزامن عن سرعة المحرك وتبدأ عملية الفرامل.

- **الفرملة الديناميكية باستخدام التيار المستمر: Rheostatic or DC Dynamic Braking**

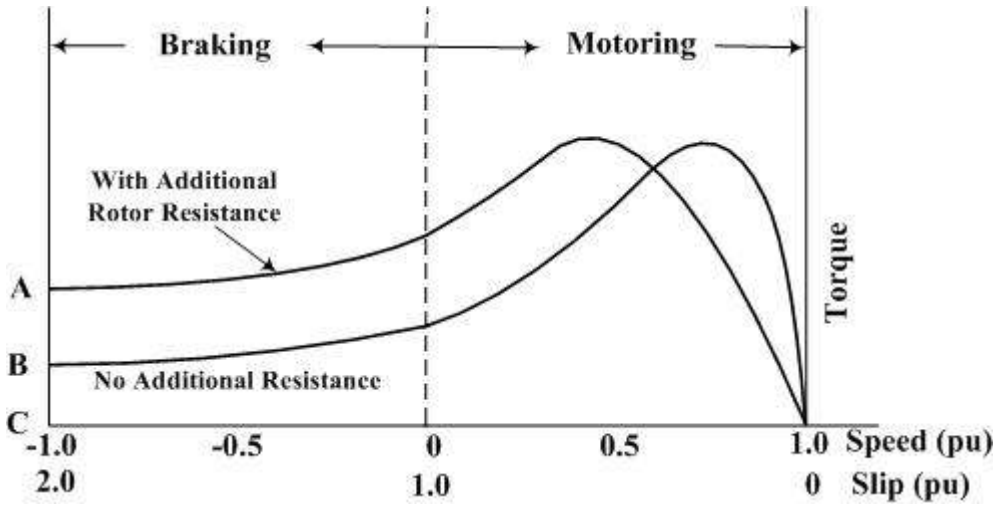
يتم تطبيق هذه الطريقة على المحركات الحثية ثلاثية الأوجه، بفصل ملفات العضو الثابت الثلاثية، من مصدر التيار المتردد، وتغذيتها من مصدر تيار مستمر، بين طرفين أو ثلاثة أطراف، لتوليد مجال مغناطيسي ثابت. تتولد قوة دافعة كهربائية في ملفات الدوار المقصورة نتيجة لدورانها في المجال المغناطيسي الناتج عن تغذية ملفات العضو الثابت بالتيار المستمر، لذلك سوف يسري تيار في ملفات الدوار نتيجة للقوة الدافعة الكهربائية المتولدة مسبباً عزماً فرملياً . يمكن التحكم في قيمة العزم الفرملي المتولد، بإضافة مقاومات خارجية للدوار في حالة المحرك ذي العضو الدائر الملفوف، وقد تُستعمل هذه المقاومات نفسها كمقاومات لبدء الحركة، أما في حالة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه ذات العضو الدائر ذي القفص السنجابي، فإنه يكتفى بالمقاومات الداخلية للقفص السنجابي لتبديد الطاقة الكهربائية المتولدة فيها.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الفرملة بالتيار المعكوس أو التبديل: Reverse Current Braking or Plugging

يمكن تطبيق هذه الطريقة في حالة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه، وذلك بتبديل أي طرفين من أطراف تغذية المحرك، فينعكس اتجاه دوران المجال المغناطيسي الدوار، وينعكس تبعاً لذلك اتجاه العزم المتولد، فتتباطأ سرعة المحرك حتى تصل إلى الصفر في فترة زمنية وجيزة جداً، حيث يستوجب لحظتها فصل المحرك عن مصدر الجهد، وإلا فسوف يبدأ المحرك حركته في الاتجاه المضاد.

الشكل(٦- ٤) يبين العلاقة بين العزم والسرعة خلال فترة الفرامل. عند اللحظة الأولى، بعد تبديل طرفي المحرك، يكون الدوار دائراً بالسرعة N ضد اتجاه المجال المغناطيسي، فتكون سرعته بالنسبة للمجال هي ($N_s + N \approx 2N_s$)، ويكون الانزلاق مساوياً (2 p.u.) . العزم BC المبين بالشكل، يمثل عزم الدوران الفرملي عند اللحظة الأولى للتبديل، يتزايد هذا العزم كلما تباطأ المحرك واقتربت سرعته من الصفر . المحركات الحثية ذات العضو الدائر الملفوف أكثر ملائمة لتطبيق هذه الطريقة، حيث يمكن إضافة مقاومة خارجية مع مقاومة الدوار، فيزداد عزم الفرامل إلى القيمة AC كما هو مبين في الشكل(٦- ٤)



شكل ٦- ٤

علاقة العزم مع السرعة للمحركات الحثية أثناء الفرملة بالتبديل

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أسئلة وتمارين متنوعة :

س ٦- ١: اذكر مميزات استخدام الكوابح (الفرامل) الكهربائية عن نظيرتها الميكانيكية.

س ٦- ٢: وضح كيف يمكن استخدام الفرامل بكل من الطرق الآتية لمحركات التيار المستمر: التيار المعكوس والفرامل الديناميكية والفرامل بإعادة التوليد.

س ٦- ٣: وضح كيف يمكن استخدام الفرامل بكل من الطرق الآتية للمحركات الحثية ثلاثية الأوجه: التيار المعكوس والفرامل الديناميكية والفرامل بإعادة التوليد.

س ٦- ٤: لماذا يجب أن تكون المقاومة المضافة لدائرة المنتج، أثناء استعمال الفرامل الديناميكية في محركات التوالي للتيار المستمر، أقل من المقاومة الحرجة؟

س ٦- ٥: ما فائدة إضافة مقاومة خارجية لدوار المحركات الحثية ثلاثية الأوجه ذات العضو الدوار الملفوف أثناء فترة الفرامل باستخدام التيار المعكوس؟ وضح إجابتك بالرسم.

تمرين ٦- ١: محرك تيار مستمر، توالي، قدرته 25 حصان، 240-V، مقاومة المنتج 0.38 Ω، وتيار حمله الكامل 90 amp.، المطلوب فرملته ديناميكياً . احسب قيمة المقاومة الإضافية التي يجب أن توصل مع المنتج لاستهلاك القدرة المتولدة أثناء الفرملة، بفرض أن القوة الدافعة المتولدة عند لحظة الفرملة تساوي 0.95 من قيمة جهد المصدر، وإن أقصى قيمة للتيار أثناء الفرملة ينبغي ألا تتعدى 1.6 من قيمة تيار الحمل الكامل . (Ans. $R_{ad} = 1.2\ \Omega$)

س ٦- ٢: محرك للتيار المستمر توصيلة التوازي، 25 حصان، 400 فولت، ومقاومة المنتج 0.2 أوم، سرعته عند الحمل الكامل 450 لفة في الدقيقة، كفاءته عند الحمل الكامل 74.6%، مطلوب فرملته بالتيار المعكوس (التبديل) احسب:

i) قيمة المقاومة التي يجب توصيلها على التوالي مع دائرة المنتج، إذا كان أقصى تيار أثناء الفرملة ينبغي ألا يتعدي ضعف تيار الحمل الكامل. (Ans. 6.1Ω)

ii) أقصى عزم فرملي. (Ans. 1028 N.m.)

iii) قيمة العزم عندما يتوقف المحرك. (Ans. 522 N.m.)

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

س ٦- ٣: محرك تيار مستمر، توازي، 250-V، القوة الدافعة الكهربائية المتولدة 245-V، عندما كانت سرعة المحرك 1200-rpm.، مقاومة المنتج 0.05 Ω، وكان الحمل ذا عزم دوران مقداره 200 N.m. احسب أقل سرعة فرملية للمحرك، إذا كان المطلوب استخدام الفرملة بطريقة التوليد المرتجع، مع الاحتفاظ بثبات تيار المجال. (Ans. N_b= 1250 r.p.m.)

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM