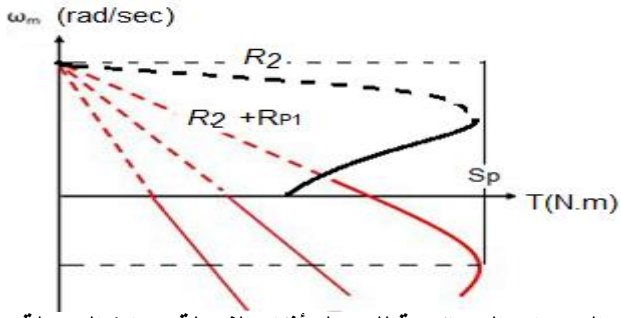
فرملة المحركات المتناوبة

١- الفرملة بالتوصيل على التضاد (الكبح بعكس التيار).
٢- الفرملة الديناميكية.

١- الفرملة بالتوصيل على التضاد (عكس التيار) :

يتم تحقيق هذا النوع من الفرملة عند دوران الحقل المغناطيسي للمحرك في الثغرة الهوائية بعكس اتجاه دوران الدائر (أي بزيادة الحمولة على محوره)، وبالتالي سينتقل المحرك للعمل على امتداد مميزاته في الربع الرابع. هذا النوع من الفرملة يمكن تحقيقه عن طريق الحمولة نفسها والتي تمثل قوى خارجية معاكسة لاتجاه دوران المحرك، أي انزال حمولة بالاتجاه المعاكس لاتجاه الدوران.. لجعل المحرك يعمل ضمن مجاله الخطي لابد من إضافة مقاومة إلى ملفات الدائر والتي نسميها مقاومة الفرملة على التضاد (R_P).يبين الشكل المميزات الميكانيكية الموافقة لحالة الفرملة هذه وذلك بعد إضافة مقاومة أومية خارجية إلى الدائر.



المميزات الميكانيكية للمحرك أثناء الفرملة بزيادة الحمولة

يمكن حساب مقاومة الفرملة على التضاد من التحليل الآتي: من أجل العزم الاسمي للمحرك (T_n) فإن نسبة الانزلاق على المميزة الاصطناعية (s_P) إلى الانزلاق على المميزة الطبيعية (s_{nat}) تساوي نسبة المقاومتين $(R_2 + R_P)$ الموافقة للمميزة الاصطناعية للمحرك إلى مقاومة الدائر R_2 الموافقة للمميزة الطبيعية، أي :

$$\frac{s_P}{s_{nat}} = \frac{(R_2 + R_P)}{R_2} \qquad (١-٧)$$

ومنه :

$$R_P = R_2.\frac{s_P - s_{nat}}{s_{nat}} \qquad (٢-٧)$$

(s_P) يمثل الانزلاق على المميزة الاصطناعية في حالة الفرملة على التضاد، والمقابل للسرعة $(-\omega_1)$.

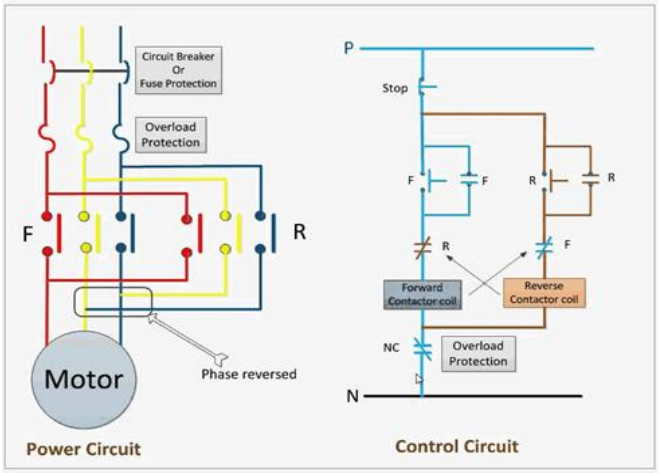
كما أن هناك طريقة أخرى لفرملة المحرك التحريضي ثلاثي الطور في حالة الفرملة على التضاد وهي عبارة عن عكس اتجاه طورين من أطوار الثابت، هذه الحالة تقابل حالة عكس اتجاه حركة المحرك. ستنشأ ساحة مغناطيسية تدور بعكس اتجاه دوران دوار المحرك، وسيتولد عزم مضاد لعزم دورانه السابق. سينتقل المحرك مباشرة ليعمل على امتداد مميزاته في الربع الثاني، ثم تبدأ سرعته بالانخفاض باتجاه الربع الثالث، ولكن عند وصولها للصفر سيتم تدخل الكوابح الميكانيكية أو الكهرطيسية.

باعتبار أن عكس الأطوار سيؤدي إلى عكس اتجاه الفيض المغناطيسي للدوار سيأخذ الانزلاق قيمة جديدة لحظية تساوي :

$$s_P = \frac{-n_1 - n_m}{-n_1} \qquad (٣-٧)$$

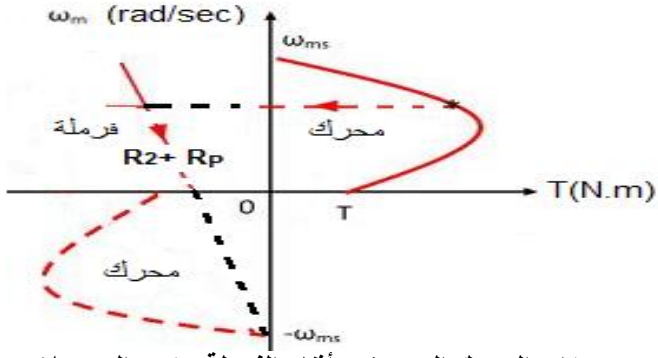
في اللحظة الأولى للفرملة بعكس التوصيلات قد يصل الانزلاق إلى القيمة 2، والجهد المتولد في الدوار سيتضاعف مرتين عن قيمته عند السرعة صفر، ويزداد التيار بشكل كبير على الرغم من انخفاض العزم.

يوضح الشكل دارة القدرة والتحكم المستخدمة لعكس اتجاه دوران محرك تحريضي ثلاثي الطور عن طريق تبديل طورين من أطوار الثابت، حيث نحتاج إلى كونتاكتورين: الأول (F) لحركة المحرك بالاتجاه الأمامي والثاني (R) لعكس اتجاه سرعة الدوران.



دارة القدرة والتحكم المستخدمة لعكس اتجاه سرعة المحرك التحريضي

هذه الطريقة في الفرملة تتميز بالسرعة، إلا أن تيار المحرك أثناء الفرملة سيزداد بشكل كبير (أكبر من قيمة تيار الإقلاع)، وهذا ما يستدعي إضافة مقاومة ندعوها بمقاومة الفرملة على التضاد R_P وذلك للحد من قيمة تيار الكبح إلى قيمة قريبة من قيمة التيار الاسمي، كما أنها تزيد من عزم المحرك. بطريقة عكس التوصيلات هذه إذا لم يتم إيقاف المحرك عند السرعة صفر سيدور المحرك بالاتجاه المعاكس كما يوضح الشكل، وينتقل للعمل في الربع الثالث وتزداد سرعته وخاصة بعد فصل مقاومة الفرملة.



مميزات المحرك التحريضي أثناء الفرملة بعكس التوصيلات

مثال ٧-٢- يراد فرملة المحرك التحريضي في المثال السابق بطريقة عكس التوصيلات عند الحمولة الكاملة وعند سرعة 950 r.p.m، نسبة لفات الثابت إلى الدوار 2/3. أحسب ما يأتي :
١- تيار الفرملة الاولي والعزم وذلك كنسبة من قيمة التيار الاسمي.
٢- المقاومة الواجب وصلها إلى الدوار لانقاص تيار الفرملة الأعظمي إلى 1,5 مرة من التيار الاسمي، وماهي قيمة عزم الفرملة الابتدائي ؟

الحل :

١-

- نحسب الانزلاق عند الحمل الاسمي :

$$s = \frac{1000 - 950}{1000} = 0{,}05$$

- فيكون تيار الحمل الكلي عند هذا الانزلاق :

$$I'_{2full} = \frac{400/\sqrt{3}}{\sqrt{(1 + \frac{1}{0{,}05})^2 + (4)^2}} = 10{,}8\ A$$

- والعزم عند الحمل الكامل :

$$T_{full} = \frac{3.(10{,}8)^2.(1)}{0{,}05.(104{,}72)} = 66{,}83\ \text{N.m}$$

عند عكس اتجاه التغذية الكهربائية ستنعكس جهة الساحة المغناطيسية مباشرة وتصبح اصطلاحياً سالبة، نحسب الانزلاق عند لحظة الفرملة :

$$s = \frac{-1000 - 950}{-1000} = 1{,}95$$

- نحسب تيار الفرملة الأولي :

$$I'_{2r} = \frac{400/\sqrt{3}}{\sqrt{(1 + \frac{1}{1.95})^2 + (4)^2}} = 54\ A$$

فتكون النسبة بين تيار الفرملة والتيار الاسمي :

$$\frac{I'_{2r}}{I'_{2full}} = \frac{54}{10{,}8} = 5$$

- عزم الفرملة لحظة عكس التوصيلات :

$$T_r = \frac{3.(54)^2.1}{(1{,}95).(104{,}72)} = 42{,}84\ \text{N.m}$$

فتكون نسبة العزمين :

$$\frac{T_r}{T_{full}} = \frac{42{,}84}{66{,}83} = 0{,}64$$

نلاحظ نقصان عزم الفرملة على الرغم من ازدياد التيار.

٢-

عند وصل مقاومة خارجية إلى الدوار لانقاص تيار الفرملة إلى 1,5 من قيمة التيار الاسمي تصبح علاقة التيار :

$$1{,}5.\,(10{,}8) = \frac{400/\sqrt{3}}{\sqrt{(1+\frac{1+R_b}{1.95})^2 + (4)^2}} = 54$$

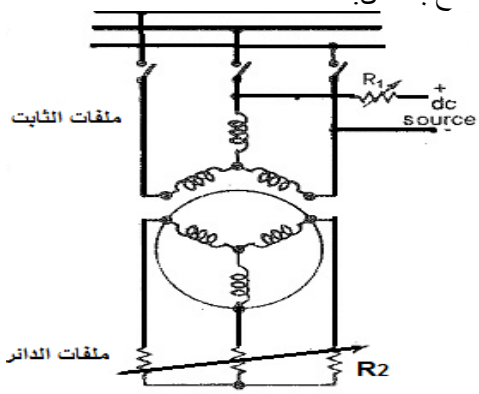
ومنه :

$$R_b = 23{,}73\ \Omega$$

نلاحظ أنه بإدخال مقاومة خارجية إلى دارة الدوار فإن تيار الفرملة قد انخفض إلى 1,5 مرة من قيمة التيار الاسمي، بينما ازداد العزم إلى 1,43 مرة تقريباً عن عزم الحمولة الاسمية.

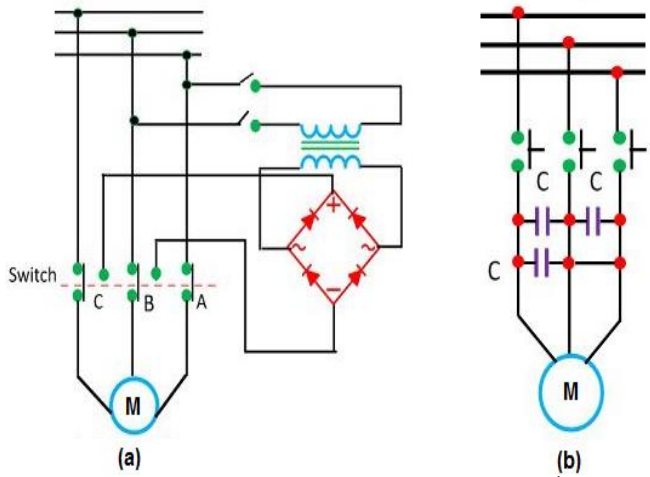
٢- الفرملة الديناميكية :

يتحقق هذا النوع من الفرملة عن طريق فصل التغذية الكهربائية عن ملفات الثابت ووصل طورين منه إلى منبع تغذية مستمر، أما ملف الدائر فيتم قصره عبر مقاومة خارجية (إذا كان المحرك ذو دائر ملفوف) ،كما هو موضح بالشكل.



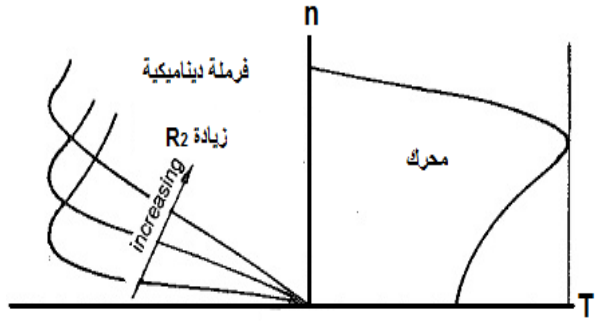
الفرملة الديناميكية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور

ويعود سبب تغذية ملفي الثابت بالتيار المستمر إلى أنه عند قطع التغذية الكهربائية عن ملفات الثابت ستبقى سيالة مغناطيسية صغيرة في حديد الآلة، هذه السيالة ستولد قوة محركة كهربائية صغيرة في ملفات الدائر، وسيكون التفاعل بين فيض الدائر المتحرض والفيض المتولد في الثغرة الهوائية للآلة غير كاف لإنتاج عزم كهرطيسي قادر على إيقاف المحرك مباشرة، وهذا يعني أن المحرك سيأخذ وقتاً طويلاً نسبياً ليتوقف و ذلك بسبب القدرة الحركية الكامنة للكتلة الدوارة. تغذية ملفي الثابت بالتيار المستمر سيكون من شأنه أن يزيد سيالة الآلة المغناطيسية وبالتالي إنتاج عزم فرملة كاف لإيقاف المحرك بأسرع وقت ممكن. يمكن للتغذية المستمرة أن تأتي من الشبكة الكهربائية أو عن طريق وصل مكثفات مناسبة إلى ملفات الدائر كما يوضح الشكل. تسمى الحالة الأولى بالفرملة الديناميكية ذات التهييج المستقل، بينما تدعى الحالة الثانية بالفرملة الديناميكية ذات التهييج الذاتي.



الفرملة الديناميكية للمحرك التحريضي (a): تهييج المستقل، (b) تهييج الذاتي.

في لحظة الفرملة ينعكس العزم مباشرة بينما تبقى السرعة بالاتجاه الأمامي، ثم تبدأ بالهبوط نتيجة وجود عزم فرملة مطبق على المحور حتى وصولها للقيمة صفر، يمكن عندها إدخال المكابح الميكانيكية أو الكهرطيسية. تختلف المميزات في الربع الثاني أثناء الفرملة حسب قيمة المقاومة المضافة إلى ملفات الدائر، وهذا ما يوضحه الشكل.



المميزات الميكانيكية للمحرك التحريضي أثناء الفرملة الديناميكية

التحكم بسرعة محركات التيار المتناوب

من الطرق المتبعة :

١- تغيير عدد الأقطاب في كل من الثابت والدائر.
٢- تغيير الجهد المطبق على ملفات الثابت.
٣- التحكم بانزلاق الدوار بإضافة مقاومة متغيرة إلى دارته.
٤- تغيير التردد المطبق على ملفات الثابت.

أما المحرك المتواقت فيملك بطبيعته سرعة ثابتة ولكن مع عزم متغير،كما يمكن اعتبارها أيضاً آلة ذات تهييج مزدوج حيث يهيج القسم الثابت بتيار متناوب (بشكل مشابه للآلة التحريضية) بينما تتم تغذية ملف الدائر بالتيار المستمر.

سرعة الفيض المغناطيسي الدوار المولدة في الثابت تابعة مباشرة لعدد الأقطاب(p) وتردد منبع التغذية المتناوب (f) وتساوي :

$$n_1 = \frac{120.f}{p} \qquad (١-٨)$$

الطريقتان الرئيسيتان لتغيير سرعة المحرك المتواقت هما :
١- تغيير عدد الأقطاب في الجزء الثابت و الدائر.
٢- تغيير تردد الجهد المطبق على ثابته.

التحكم بسرعة المحركات التحريضية ثلاثية الطور :

١- تغيير سرعة المحركات التحريضية ثلاثية الطور بتغيير عدد الأقطاب :

تعد هذه الطريقة لتغيير سرعة المحركات المتناوبة طريقة قديمة، حيث تعتمد على حقيقة أن عدد أقطاب ملفات الثابت يمكن تغييرها بنسبة 2 إلى 1، ويمكن إجراء ذلك بتغييرات بسيطة في توصيلات ملفات الجزء الثابت، كما يمكن أن يكون كل ملف من الملفات الثلاثة مكون من قسمين متماثلين موصولين على التسلسل. تغيير التوصيلات بين الملفات سيسبب انعكاس اتجاه التيار، وهذا من شأنه أن يغير اتجاه الفيوض المتجاورة، مما يسبب خلق أو إلغاء لقطب مغناطيسي، وبالتالي الحصول على عدد أكثر أو أقل من الأقطاب (بنسبة 2 إلى 1 والعكس). إنقاص عدد الأقطاب سيسبب زيادة سرعة المحرك بينما زيادتها ستسبب إنقاص سرعة المحرك. كما هو معروف فإن الانتقال من السرعة العالية إلى الأقل سيجعل من المحرك يعمل كمولدة قادرة على إرجاع قدرة كهربائية إلى الشبكة، إلا أن عدم تزويد المحرك بدارة تغذية قادرة على إرجاع القدرة إلى الشبكة يجعل من إنقاص السرعة إجراءً غير مرغوب به.

إن تغيير عدد أقطاب الجزء الثابت في المحركات التحريضية ثلاثية الطور ذات القفص السنجابي سيغير وبشكل آلي عدد أقطاب الجزء الدائر. إن المحركات التي تصمم بحيث يتم تغيير عدد أقطابها بتغيير التوصيلات الخارجية تسمى بالمحركات متعددة السرعات، والمحركات متعددة السرعات تصنع ثلاثية الطور وكذلك أحادية الطور و تكون بسرعتين أو بأربع سرع. وبسبب التعقيدات في تصميم الجزء الثابت فقد تم تحديد انتاج المحركات ذات القفص السنجابي إلى أربع سرعات على الأكثر. أما بالنسبة للمحركات ذات الدائر الملفوف أو المحركات المتواقتة فإن التحكم بالسرعة عن طريق تغيير عدد الأقطاب لا يعد طريقة عملية، ويعود سبب ذلك إلى كون عدد أقطاب الثابت والدائر تلف بشكل مستقل عن بعضها البعض. من أجل تغيير عدد الأقطاب في حالة المحركات المتواقتة فإن ذلك يتطلب تغيير عدد الأقطاب في الجزء الثابت والجزء الدائر، وهذا الإجراء يتطلب حلقات انزلاق اضافية وملفات تهييج أكثر تعقيداً. وفي حالة المحرك ذي الدائر الملفوف فإن عدد الأقطاب في ملف الدائر يعتمد على

تصميم معين يستخدم في ملف الدائر، ويكون تغيير عدد الأقطاب في الثابت بوساطة طرق توصيل خاصة، هذه الطرق تتضمن توصيلاً متكافئاً لملفات الدائر لتغيير عدد الأقطاب في كل من الثابت والدائر بالوقت نفسه. لذلك فإن تغيير سرعة المحرك المتناوب بتغيير عدد الأقطاب يقتصر فقط على المحركات التحريضية ذات القفص السنجابي (ثلاثية الطور وأحادية الطور).

إن طريقة تغيير عدد الأقطاب للتحكم بالسرعة تتضمن الميزات التالية :

١- مردود عال عند أي سرعة محددة.

٢- بساطة التحكم في الحصول على سرعة معينة بتوصيلات آلية أو يدوية.

تستخدم هذه الطريقة بشكل أساسي عندما يكون المطلوب سرعتين أو أربع سرعات ثابتة نسبياً، كما هو الحال في محركات المثاقب الكهربائية. إلا أن هذه الطريقة لها سيئتان أساسيتان هما :

١- لا يمكن الحصول على تدرج سلس وناعم في السرعة.

٢- تتطلب محركاً ذا تصميم خاص بحيث أن أطراف ملفاته تكون مسحوبة إلى الخارج لتغيير عدد الأقطاب.