المحاضرات ١-٢-٣-٤-٥-٦-٧-٨

محركات التيار المتناوب

A.C. Motors Starting

٦-١- مقدمة : Introduction

تستخدم المحركات التحريضية اليوم بشكل واسع جداً وخاصة في المجالات الصناعية لما تتمتع به مميزات مقارنة مع الآلات المستمرة من حيث بساطة التركيب، سهولة الصيانة و سهولة إقلاعها. في كثير من الحالات يمكننا إقلاع المحركات التحريضية عن طريق الوصل المباشر مع الشبكة الكهربائية، كما يمكن إقلاعها بطريقة غير مباشرة عندما نريد تخفيف تيار الإقلاع، هذا التيار الذي يمكن أن يسبب تلف في ملفات المحرك بالإضافة إلى هبوط في جهد التغذية. سنقوم في هذا الفصل باستعراض أهم الطرق المتبعة في إقلاع المحركات التحريضية مع دارات القدرة والتحكم اللازمة.

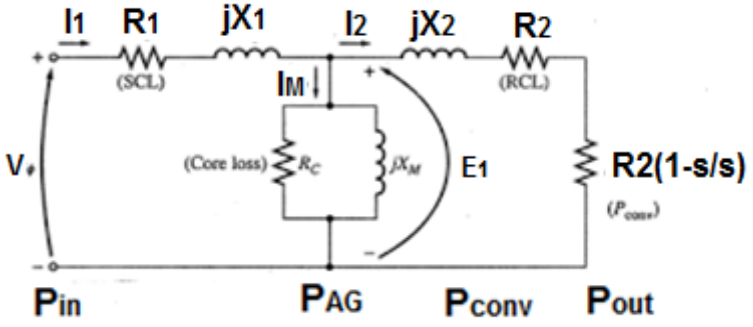
٦-٢- مميزات المحركات التحريضية ثلاثية الطور :

Three Phase Induction Motor Characteristics

للمحركات التحريضية ثلاثية الطور أيضاً مميزات طبيعية و أخرى اصطناعية، وسنقوم بدراسة كل منها على حدة.

٦-٢-١- المميزات الطبيعية للمحركات التحريضية ثلاثية الطور :

يبين الشكل (٦-١) الدارة المكافئة لأحد أطوار محرك تحريضي ثلاثي الطور.



الشكل (٦-١): الدارة المكافئة لأحد أطوار المحرك التحريضي ثلاثي الطور

حيث :

V_{ϕ} : جهد الطور للثابت (V).

I_1 : تيار الثابت (A).

I_2 : تيار الدوار المنسوب للثابت (A).

X_1, R_1 : مقاومة ومفاعلة الثابت على التوالي (Ω).

X'_2, R'_2: مقاومة ومفاعلة الدوار المنسوبتين إلى الثابت على التوالي (Ω).

X_M : مفاعلة التمغنط (Ω).

s: الانزلاق، والذي يعطى بالعلاقة الآتية :

$$s = \frac{n_{1-} n_m}{n_1} \qquad (١ - ٦)$$

n_1 سرعة الساحة المغناطيسية في الجزء الثابت أو سرعة التواقت ($n_1 = n_{sync}$) و n_m سرعة دوران الدائر، تعطى n_1 بالعلاقة الآتية :

$$n_1 = \frac{120.f}{p} \qquad (٢ - ٦)$$

حيث p عدد أقطاب المحرك و f تردد التغذية.

يمكن وبالاعتماد على الدارة المكافئة حساب قيمة تيار الدوار المنسوب إلى الثابت من العلاقة التالية :

$$I'_2 = \frac{V_{\phi}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R'_2}{s})^2 + (X_1 + X'_2)^2}} \qquad (٣ - ٦)$$

تعطى معادلة الاستطاعة في الفجوة الهوائية بالعلاقة الآتية :

$$P_{AG} = 3.I'^2_2.\frac{R'_2}{s} \qquad (٤ - ٦)$$

أما الضياعات في الدوار :

$$\Delta P_2 = 3.I'^2_2.R'_2 \qquad (٥ - ٦)$$

من المعادلتين (٦-٤) و (٦-٥) يمكننا أن نستنتج :

$$\Delta P_2 = s.P_{AG} \qquad (٦ - ٦)$$

بناءً على المعادلة (٦-٦) نجد أنه كلما كان الانزلاق أصغر كلما كانت الضياعات النحاسية في الدوار أصغر، فمن أجل (s = 0) فإن استطاعة المحرك المسحوبة ستتحول كلها إلى ضياعات حرارية.

يعرف العزم المتحرض T_{ind} في المحرك التحريضي بأنه العزم الناتج عن الاستطاعة المتحولة داخلياً P_{conv} من كهربائية إلى ميكانيكية، هذا العزم يختلف عن العزم الميكانيكي الذي يقدمه المحرك على محوره. يعطى العزم المتحرض بالعلاقة الآتية :

$$T_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_m} \qquad (٦-٧)$$

أو :

$$T_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_{sync}} \qquad (٦-٨)$$

حيث ω_m و ω_{sync} السرعة الزاوية الميكانيكية والمتواقتة على التوالي ($\omega = \frac{2.\pi.n}{60}$).

$$T_{ind} = \frac{3V^2.\frac{R_2'}{s}}{\omega_{sync}[(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2]} \qquad (٦-٩)$$

نعرف الانزلاق الحرج بأنه الانزلاق المقابل للعزم الأعظمي، ويعطى بالعلاقة الآتية :

$$s_{cr} = \mp \frac{R_2'}{\sqrt{(R_1)^2 + (X_1 + X_2')^2}} \qquad (٦-١٠)$$

الاشارة الموجبة توافق حالة العمل كمحرك بينما الاشارة السالبة توافق حالة العمل كمولدة. أما العزم الأعظمي فيكون :

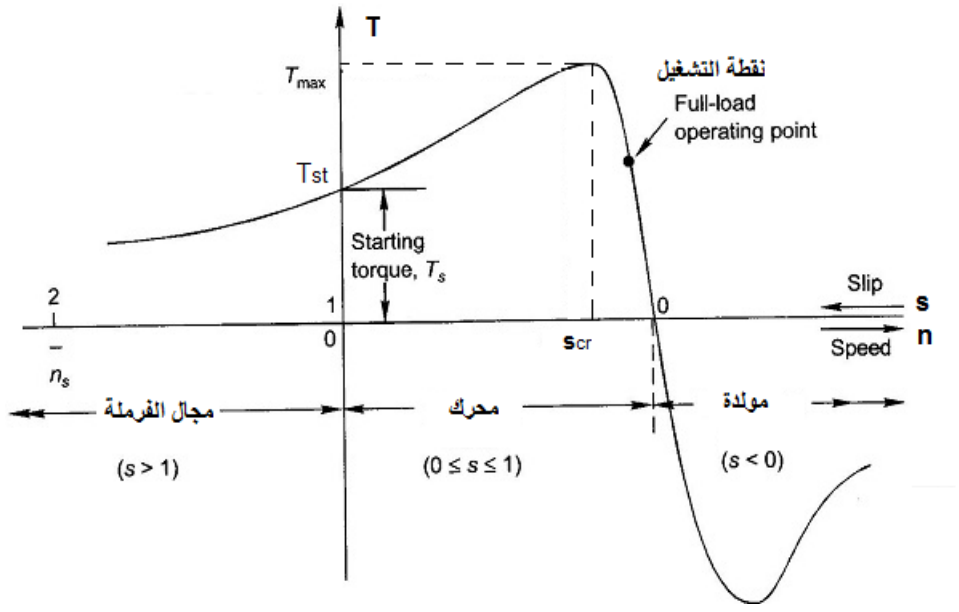
$$T_{max} = \frac{3V^2}{2\omega_{sync}[R_1 + \sqrt{(R_1)^2 + (X_1 + X_2')^2}]} \qquad (٦-١١)$$

بإهمال مقاومة ومفاعلة الثابت R_1 و X_1، يمكننا كتابة معادلة العزم المتحرض في العلاقة (٦-٩) بالشكل المبسط الآتي :

$$T_{ind} = K\frac{V^2.R_2'.s}{(R_2^2 + (s.X_2')^2} \qquad (٦-١٢)$$

يبين الشكل (٦-٢) المميزة الميكانيكية الطبيعية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور. عند الإقلاع تكون قيمة s أعظمية (≈ 1) وبالتالي ($R_2' < sX_2'$)، لذلك يمكننا إهمال $R_2'^2$ أمام $(sX_2')^2$، وبالتالي سيتناسب العزم أثناء الاقلاع عكساً مع الانزلاق ($T \backsim \frac{1}{s}$).

عند الحمل الكامل ينقص تردد تيار الدوار، أي ينقص الانزلاق ويصبح sX_2' أصغر من R_2'، في هذه الحالة سيتناسب العزم طرداً مع الانزلاق ($T \backsim s$)، أي عكساً مع السرعة.



الشكل (٦-٢): المميزة الميكانيكية الطبيعية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور

في كثير من الأحيان يمكننا إهمال المقاومة (R_1) كونها صغيرة نسبياً بالمقارنة مع ($X_1 + X_2'$) وبخاصة في المحركات ذات الاستطاعة المتوسطة والكبيرة. يمكننا إذاً إعادة كتابة المعادلات السابقة بالشكل التالي:

$$s_{cr} = \frac{R_2'}{X_1 + X_2'} \qquad (١٣ - ٦)$$

$$T_{max} = \frac{3V^2}{2\omega_{sync}(X_1 + X_2')} \qquad (١٤ - ٦)$$

$$T_{ind} = \frac{2.T_{max}}{\frac{s}{s_{cr}} + \frac{s_{cr}}{s}} \qquad (١٥ - ٦)$$

نلاحظ من العلاقات السابقة أن العزم الاعظمي للمحرك لا يتعلق بالمقاومة (R_2)، في حين أن هذه المقاومة تؤثر في الانزلاق الحرج. كما نلاحظ أيضاً أن العزم يتناسب مع مربع جهد التغذية، أي أن المحرك التحريضي حساس جداً لتغيرات التوتر على ملفاته.

بالعودة إلى الشكل (٦-٢) والذي يعبر عن العلاقة بين العزم والانزلاق نلاحظ أن :

١- عندما $s = 0$ فإن $T = 0$، أي أن المحرك التحريضي لا يطور أي عزم عندما تتساوى سرعة دوران الدائر مع سرعة الساحة المغناطيسية في الثابت.

٢- عندما $s = s_n$ فإن $T = T_n$، هذه الحالة توافق الحالة الاسمية للمحرك.

٣- عندما $s = s_{cr}$ فإن $T = T_{max}$، هذه الحالة توافق العزم الأعظمي للمحرك.

٤- عندما $s = 1$ فإن $T = T_{st}$، هذه الحالة توافق عزم الإقلاع للمحرك.

$$T_{st} = \frac{2.T_{max}}{\frac{1}{s_{cr}} + s_{cr}} \qquad (١٦ - ٦)$$

٥- عندما $s = -s_{cr}$ فإن $T = T_{max}$، هذه الحالة توافق العزم الأعظمي للمحرك في نظام العمل كمولدة موصولة على التفرع مع شبكة التغذية الكهربائية.

٦- من أجل ($s < 1$) فإن المحرك يعمل في حالة الكبح بالتوصيل على التضاد، ومن أجل ($s > 1$) فإن المحرك يعمل كمولدة (يقدم استطاعة إلى الشبكة الكهربائية).

٦-٢-٢- المميزات الاصطناعية للمحركات التحريضية ثلاثية الطور :

نحصل على المميزات الاصطناعية لمحركات التيار المتناوبة التحريضية ذات الدائر الملفوف عند إضافة مقاومة خارجية إلى ملفات الدائر. إن العزم الأعظمي في المحركات التحريضية، كما هو موضح من العلاقة (٦-١٤)، لا يتعلق بقيمة المقاومة الفعلية للدائر ($\boldsymbol{R_2}$)، بينما يزداد عزم الإقلاع مع زيادة هذه المقاومة. أما الانزلاق الحرج، حسب العلاقة (٦-١٣)، فإنه يزداد بزيادة قيمة مقاومة الدائر. يمكن كتابة معادلة الانزلاق الحرج في المميزة الاصطناعية على الشكل الآتي :

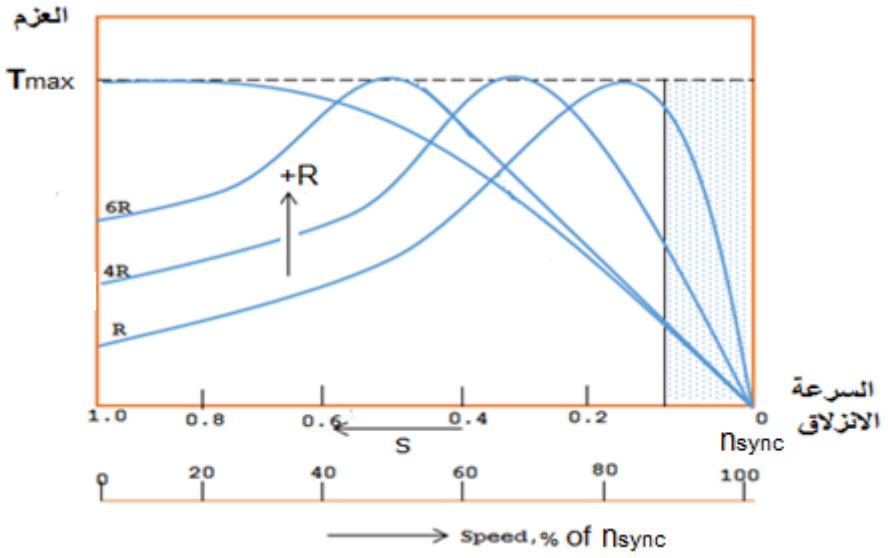
$$s_{cr,L} = \frac{R_2' + R_L}{X_1 + X_2'} \qquad (١٧ - ٦)$$

حيث R_L هي قيمة مقاومة الحمل الخارجية المضافة إلى ملف الدائر.

نستنتج أن قيمة الانزلاق الحرج تزداد بازدياد مقاومة الحمل، وبالتالي تصبح المميزات الميكانيكية للمحرك التحريضي أكثر ليونة من المميزات الطبيعية. يصبح العزم المتحرض في هذه الحالة :

$$T_{ind} = \frac{2.T_{max}}{\frac{s}{s_{cr,L}} + \frac{s_{cr,L}}{s}} \qquad (٦-١٨)$$

يبين الشكل (٦-٣) المميزات الاصطناعية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور ذي الدائر الملفوف، وذلك من أجل عدة قيم للمقاومة المضافة إلى ملفات الدائر.



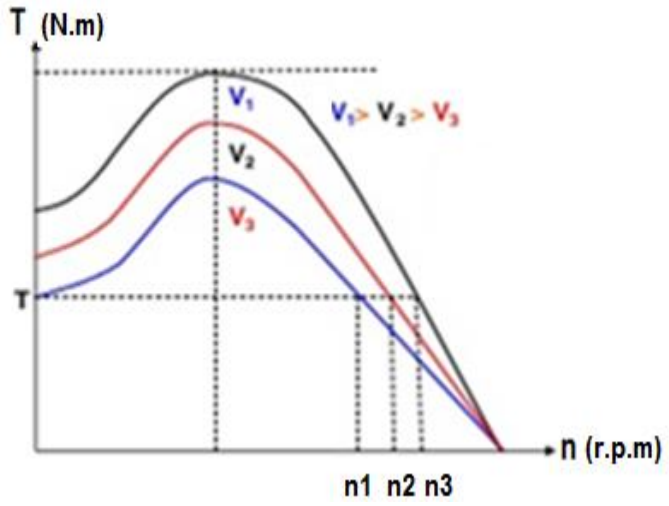
الشكل (٦-٣): المميزات الاصطناعية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور ذو الدائر الملفوف

وبنتيجة ذلك فإن المحركات التحريضية ذات الدائر الملفوف عند إضافة مقاومة إلى دارة الدائر فإن القيمة العظمى لمنحني العزم ستنزاح نحو جهة القيم الكبيرة للانزلاق، أي أن العزم الأعظمي يبقى ثابتاً وما يتغير فقط هو الانزلاق الحرج وعزم الإقلاع. نلاحظ أيضاً من المميزات السابقة أن مجموعة المميزات الاصطناعية تمر في حالة اللا حمل من النقطة الموافقة للسرعة التزامنية (n_{sync}). أما عزم الاقلاع فإنه يزداد مع زيادة المقاومة المضافة، ويمكن أن يصل عند قيمة محددة لمقاومة الدائر الكلية إلى قيمة العزم الأعظمي وذلك عندما ($s = 1$).

٦-٢-٣- أثر تغيير جهد التغذية في المميزة الميكانيكية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور :

بالعودة إلى المعادلة (٦-١٤) نلاحظ أنه عند تغيير قيمة توتر الشبكة المغذية للمحرك التحريضي ستتغير قيمة العزم الأعظمي، وكذلك عزم الإقلاع وسرعة دوران المحرك، بينما لا يؤثر ذلك في الانزلاق

الحرج للمحرك. يبين الشكل (٦-٤) أثر تغيير جهد التغذية على المميزة الميكانيكية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور.

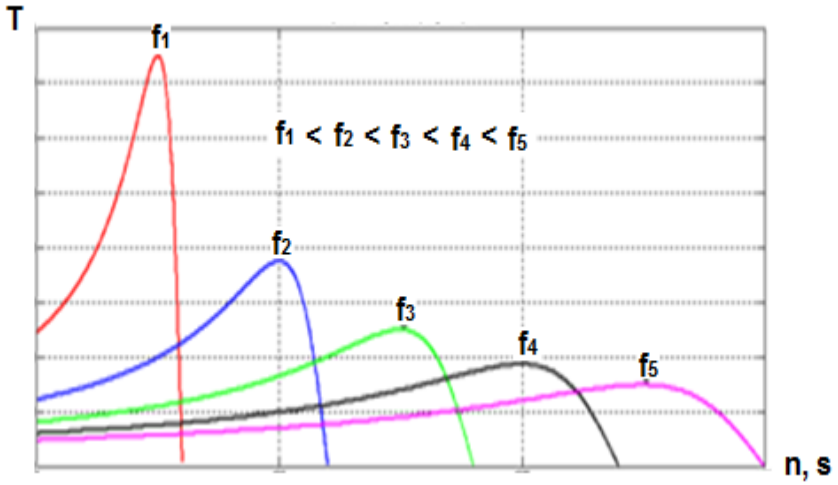


الشكل (٦-٤): أثر تغيير جهد التغذية على المميزة الميكانيكية للمحرك التحريضي

إن تأثير تغيرات التوتر على خصائص التحميل للمحرك كبيرة، فمثلاً عند انخفاض قيمة توتر الشبكة في حدود (10-15 %) سينخفض العزم الأعظمي بمقدار (13-28 %)، بينما الزيادة في الجهد وبالمقدار نفسه ستسبب زيادة في العزم بمقدار (21-32 %). يجب التنويه بأن زيادة الجهد يجب أن لا تتجاوز قيمة التوتر الاسمي للمحرك، فالتوترات الزائدة قد تسبب أذى و انهيار لعازلية المحرك وكذلك انقاص في عمره الفني.

٦-٢-٤- أثر تغيير التردد الكهربائي في المميزة الميكانيكية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور :

عند تغير تردد التغذية ستتغير جميع المقادير المميزة لعمل المحرك التحريضي كالعزم والسرعة والانزلاق، فعزم المحرك الأعظمي وعزم الإقلاع يتناقصان مع زيادة السرعة كما تبين المعادلة (٦-١٤). كما أن زيادة سرعة دوران المحرك مع التردد سيقابلها تناقص في انزلاق المحرك. يبين الشكل (٦-٥) أثر تغيير تردد التغذية على المميزة الميكانيكية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور.



الشكل (٦-٥): أثر تغيير تردد التغذية على المميزة الميكانيكية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور

٦-٣- إقلاع المحركات التحريضية : A.C. Motors Starting

من أجل المحركات التحريضية ذات الدائر الملفوف يمكن إقلاع المحرك بإضافة مقاومة خارجية إلى دارة الدوار وذلك بهدف الحصول على تيارات إقلاع منخفضة، هذه المقاومة المضافة ستزيد أيضاً عزم اقلاع المحرك. أما من أجل المحركات التحريضية ذات القفص السنجابي يمكن أن يختلف تيار الإقلاع بشكل واسع تبعاً للاستطاعة الاسمية للمحرك ولمقاومة الدوار الفعالة عند شروط الإقلاع.

بشكل عام عند إقلاع المحركات التحريضية لابد أن تتحقق الشروط الآتية :

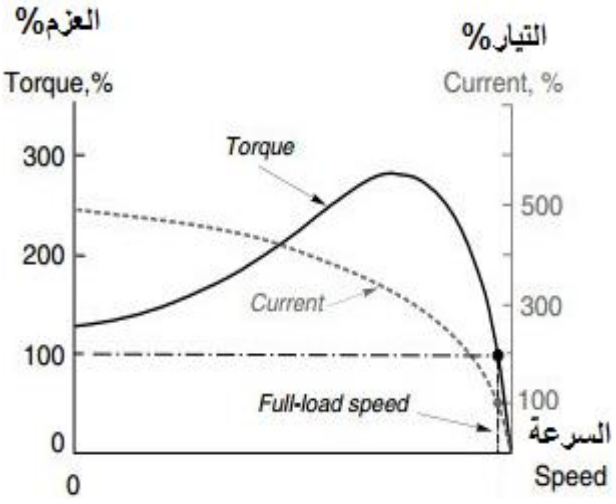
١- يجب أن يطور المحرك عزم إقلاع كافي وذلك للتغلب على عزم العطالة وعزم الاحتكاك وكذلك عزم الحمل، حيث تتم عملية الإقلاع ضمن فترة زمنية محددة.

٢- يجب ألاّ يسبب تيار الإقلاع ارتفاع في درجة حرارة المحرك، وألا يسبب أيضاً هبوطاً في جهد الشبكة الكهربائية المغذية عن الحد المسموح به .بشكل عام يكون تيار الإقلاع أكبر من التيار الاسمي للمحرك بحوالي (5-7) مرات.

في الحالة التي يكون فيها عزم الحمولة وعطالة (المحرك- حمولة) عند الإقلاع غير كبيرة فإن عملية الإقلاع لا تستغرق وقتاً طويلاً، في هذه الحالة يمكن أن يتم إقلاع المحرك مباشرة من الشبكة الكهربائية، أما عندما يكون عزم الإقلاع وتيار الإقلاع عاليين سيكون من الضروري اجراء بعض الترتيبات لتخفيض تيار الاقلاع وبالتالي حماية ملفات المحرك من التلف. كما أن ارتفاع درجة الحرارة سيؤثر على كابلات التغذية والقواطع وأجهزة الحماية، بالإضافة إلى هبوط الجهد على الشبكة نتيجة مرور تيار ذي قيمة عالية.

٦-٣-١- طرق إقلاع المحركات التحريضية :

إن المحركات التحريضية بشكل عام، والمحركات ذات القفص السنجابي بصورة خاصة تمتلك أثناء الإقلاع اختلافاً واضحاً بالقيم الواحدية لعزم الإقلاع (T_{st}) عن قيمة تيار الإقلاع (I_{st})، حيث تقع نسبة عزم الإقلاع إلى العزم الاسمي ضمن المجال (1-1,7) بينما تكون تلك النسبة عالية بالنسبة لتيار الإقلاع (5-7)، وهذا ما يوضحه الشكل (٦-٦).



الشكل (٦-٦): نسبة عزم وتيار الاقلاع للمحرك التحريضي ذو القفص السنجابي

إن عدم التناسب بين عزم الإقلاع وتيار الإقلاع يمكن تفسيره بالاستناد إلى العلاقة (٦ − ١٩) :

$$T = C_m . \phi . I_2 . cos\varphi_2 \qquad (١٩ - ٦)$$

حيث :

C_m : الثابت التصميمي للمحرك التحريضي.

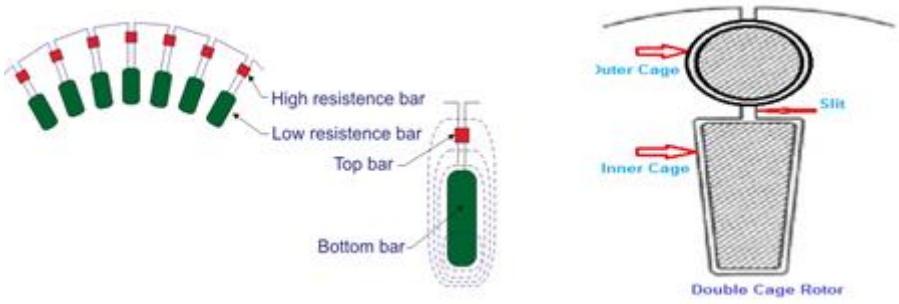
φ_2 : زاوية فرق الصفحة بين القوة المحركة الكهربائية E_2 وبين التيار I_2.

إن عامل استطاعة المحرك التحريضي عند الإقلاع يكون منخفض، و السبب في ذلك يعود إلى أن قيمة انزلاق المحرك تكون في تلك اللحظة عالية (مساوية للواحد)، وكذلك قيمة مفاعلة الدائر X_2 بالنسبة للمقاومة R_2 تكون عالية كونها مرتبطة بالسرعة (أو بالتردد f_2)، وهذا ما توضحه العلاقة (٦ − ٢٠) :

$$cos\varphi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + s^2 X_2^2}} \qquad (٢٠ - ٦)$$

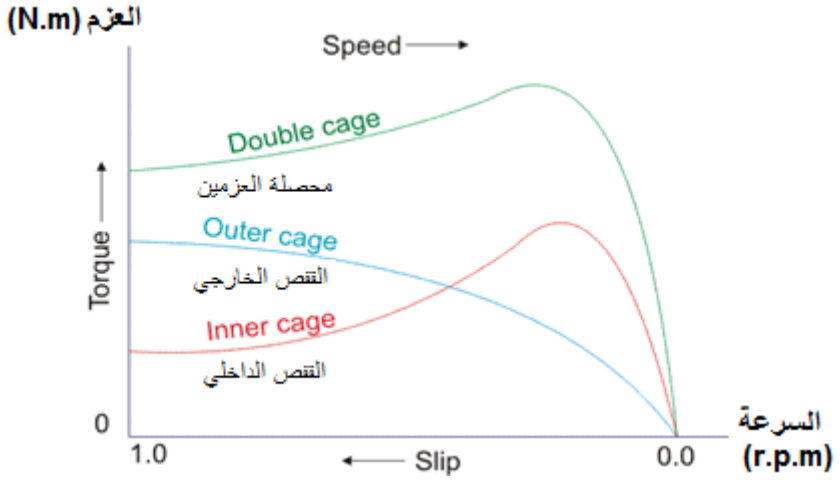
كما أن فيض المحرك التحريضي ϕ في المحرك ليس ثابتاً، بل تنخفض قيمته عندما تزداد قيمة التيار و ذلك بسبب هبوط التوتر على مقاومات الثابت. هذه التغيرات تفسر عدم وجود التناسب بين التيار و العزم في المحرك أثناء إقلاعه.

من الطرق المتبعة لتحسين عزم الإقلاع في المحرك التحريضي ذو القفص السنجابي استخدام محرك بقفصين سنجابيين في الدوار، الشكل (٦-٧). حيث يضم الدوار قفصين سنجابيين مستقلين بعضهم عن بعض، يتميز القفص الخارجي بقضبان معدنية ذات مقاومة عالية ومحارضة صغيرة، بينما القفص الداخلي يتكون من قضبان نحاسية ذات مقاومة منخفضة ومحارضة عالية.



الشكل (٦-٧): مجاري الدوار ذو القفصين السنجابيين

عند الإقلاع، تكون المفاعلة التحريضية للقفص السنجابي الداخلي (السفلي) عالية جداً و السبب أن تردد تيار الدوار عند الإقلاع يكون نفسه تردد التغذية (تردد الثابت)، في هذه الحالة سيتركز تيار الدوار في القفص السنجابي الخارجي ذي المقاومة الكبيرة، وهذا سيؤدي إلى انتاج عزم إقلاع عال وذلك حسب المعادلة (٦-١٢). بعد ذلك وعند دوران المحرك بسرعته الطبيعية سينخفض تردد تيار الدوار وتنخفض معه المفاعلة التحريضية للقفص السنجابي الداخلي، و هذا سيؤدي إلى انزياح تيار الدوار إلى نواقل القفص الداخلي ذي المقاومة الأصغر. الشكل (٦-٨) يوضح تغيرات عزم المحرك ذي القفصين السنجابيين مع السرعة. وبالأسلوب ذاته يمكن شرح طريقة إقلاع المحرك التحريضي ذي القفص السنجابي الواحد والحاوي على مجارٍ عميقة.

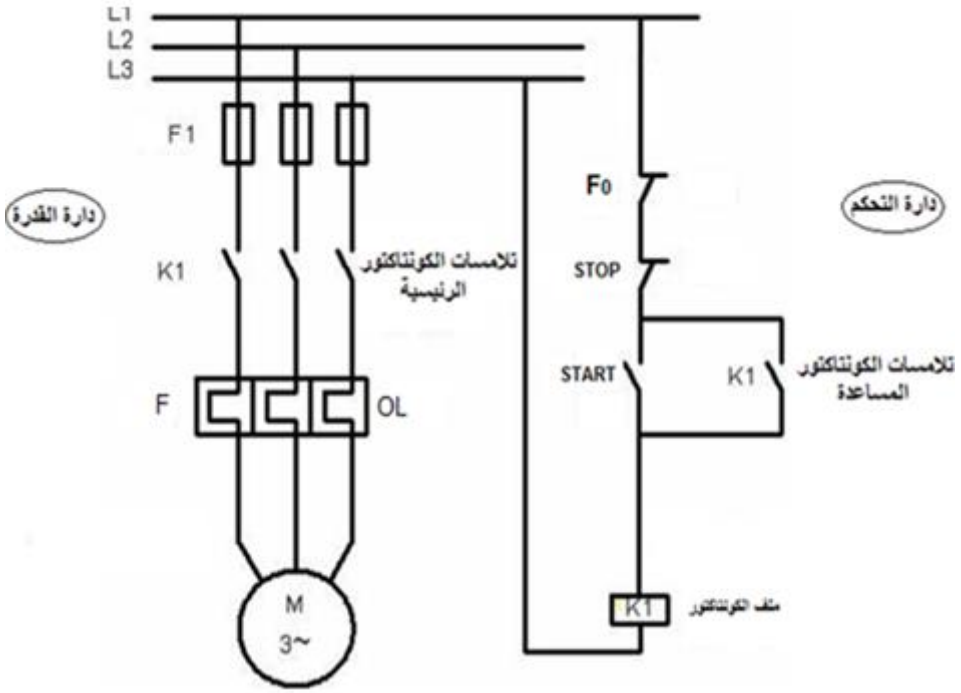


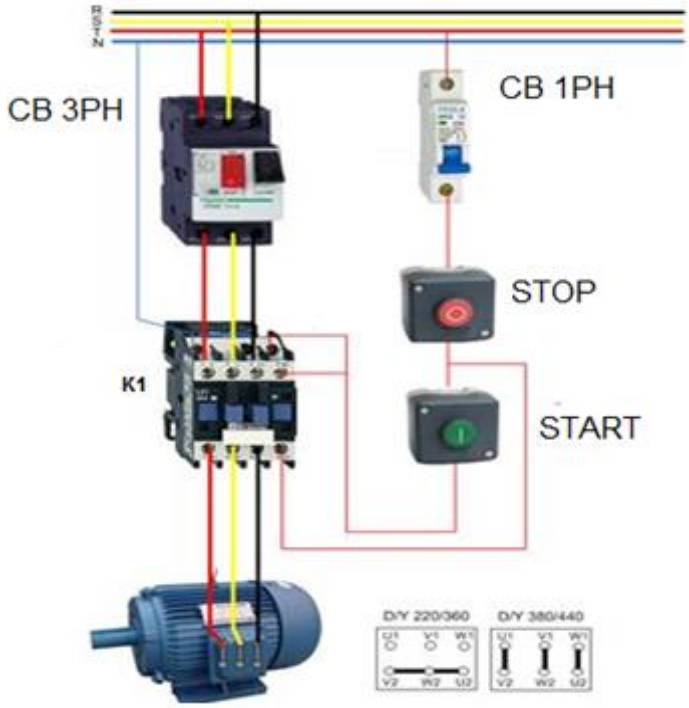
الشكل (٦-٨): تغيرات عزم المحرك ذو القفصين السنجابيين مع السرعة

هذه الطريقة بالإقلاع تكافئ إضافة مقاومة تسلسلية متغيرة على التسلسل مع ملفات الدائر، تتناسب مع قيمة الانزلاق وسرعة الدوران، تتغير قيمة هذه المقاومة بشكل آلي ومن دون الحاجة لتجهيزات خاصة بانقاص قيمة تلك المقاومة تدريجياً.

من أجل المحركات الصغيرة (< 10 Hp) والتي لا نحتاج فيها إلى تغيير سرعة المحرك، يمكن استخدام طريقة الإقلاع المباشر للمحرك، وذلك بتغذية ملفات الثابت مباشرة من الشبكة الكهربائية.

يبين الشكل (٦-٩) دارة إقلاع مباشرة لمحرك تحريضي ثلاثي الطور باستخدام كونتاكتور واحد (K1).





الشكل (٦-٩): دارة القدرة والتحكم بإقلاع محرك تحريضي ثلاثي الطور مباشرة من الشبكة الكهربائية

تضم دارة القدرة بشكل رئيسي قاطع ثلاثي الطور(CB3PH) مع كونتاكتور التغذية الرئيسي K1 الذي يضم الحماية الحرارية أو (Overload). بينما تضم دارة التحكم قاطع أحادي الطور(CB1PH) وضواغط التشغيل و الايقاف (Start,Stop)، بالإضافة لملف وتماسات الكونتاكتور K1 المساعدة. عند الضغط على زر التشغيل (Start) ستصل التغذية مباشرة إلى ملف الكونتاكتور K1، سيغلق تماس الكونتاكتور المساعد K1 المربوط على التفرع مع الضاغطة (Stop) وهذا سيؤمن استمرارية التغذية لملف الكونتاكتور.

عند تغذية ملف الكونتاكتور ستغلق التماسات الرئيسية (K1) وستصل التغذية إلى ملفات ثابت المحرك ويبدأ المحرك بالدوران.

إذا أردنا إيقاف المحرك يكفي أن نضغط على ضاغط الإيقاف (Stop) لقطع التغذية عن ملف الكونتاكور وبالتالي فتح التامسات الرئيسية والمساعدة، وهذا بدوره سيقطع التغذية عن المحرك.

ومن أجل إنقاص تيار الإقلاع دون إنقاص العزم، هناك طرق عدة لإقلاع تسمح بذلك، من أهم هذه الطرق نذكر :

١- الإقلاع النجمي- المثلثي.

٢- الإقلاع باستخدام محولة ذاتية.

٣- الإقلاع باستخدام مقاومات تسلسلية في دارة الثابت.

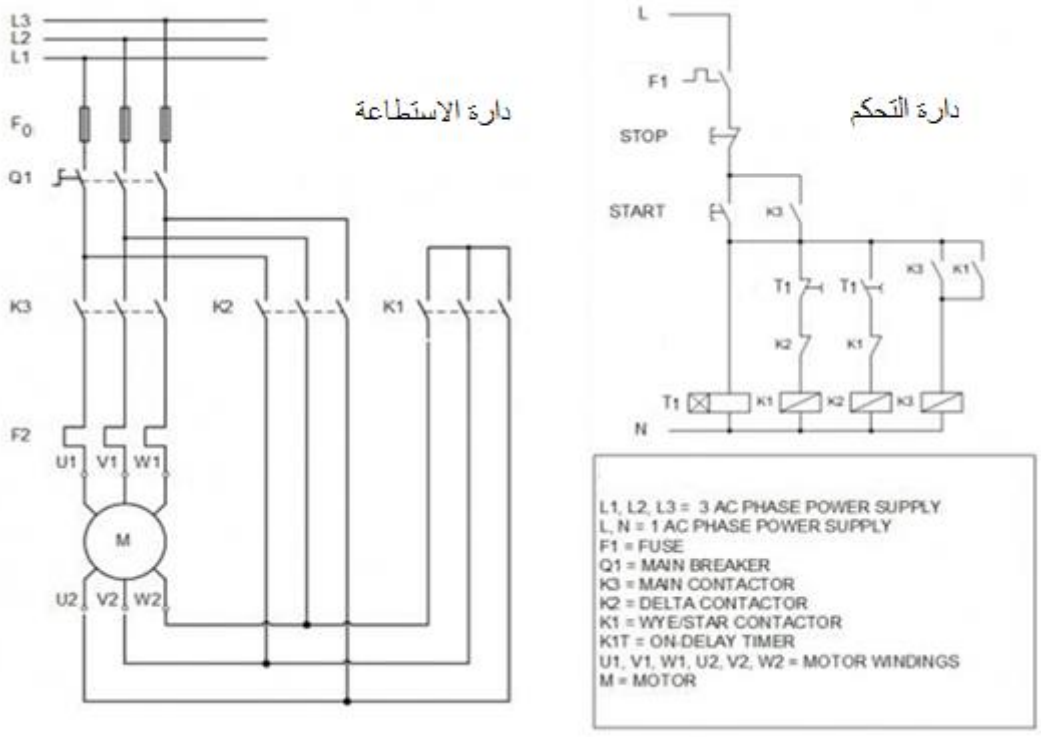
٤- الإقلاع بتجزئة الملف.

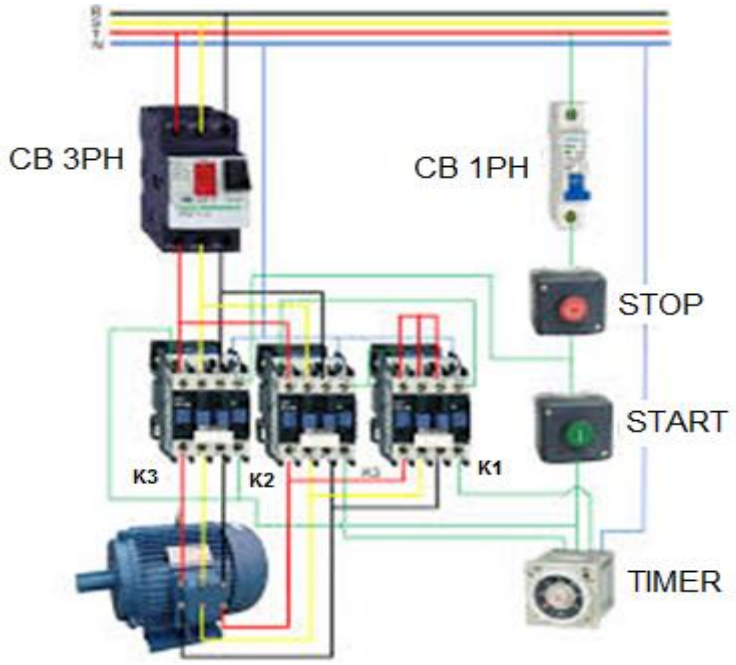
٥- الإقلاع الناعم بوساطة مبدلات الجهد.

٦- الإقلاع بوساطة مقاومات توصل مع ملفات الدائر، وذلك من أجل المحركات التحريضية ذات الدائر المفوف.

٦-٣-١-١- الإقلاع النجمي- المثلثي للمحركات التحريضية ذات القفص السنجابي :

الوصل النجمي لحظة الإقلاع يساعد على إنقاص تيار الثابت لحظة الاقلاع إلى ثلث قيمته فيما لو تم الاقلاع بشكل مثلثي، ويعود سبب ذلك إلى انخفاض الجهد المطبق على ملفات الثابت بمقدار $(\frac{1}{\sqrt{3}})$ والذي يمثل نسبة جهد الطور إلى جهد الخط. يبين الشكل (٦-١٠) دارة القدرة والتحكم بإقلاع محرك تحريضي ثلاثي الطور بشكل نجمي مثلثي.





الشكل (٦-١٠): دارة القدرة والتحكم بإقلاع محرك تحريضي ثلاثي الطور بشكل نجمي مثلثي

تضم دارة القدرة المنصهرة F_0 والحماية الحرارية F_2 مع القاطع الرئيسي Q_1 , وثلاث كونتاكتورات K_1 و K_2 و K_3، حيث يمثل الكونتاكتور K_3 الكونتاكتور الرئيسي بينما K_1 و K_2 يمثلان الكونتاكتورين المسؤولين عن الوصل النجمي و المثلثي على التوالي. بينما تضم دارة التحكم ضواغط التشغيل والايقاف (Start,Stop) والحماية الحرارية F_1 وملفات وتماسات الكونتاكتورات K_1 و K_2 و K_3، المساعدة، كما تضم ملف الريليه الزمني T_1 مع تماساته.

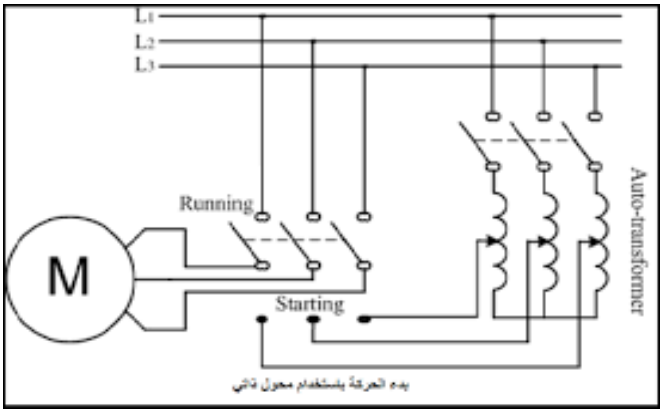
عند الضغط على زر التشغيل (Start) ستصل التغذية مباشرة إلى ملف الريليه الزمني T_1 وملف الكونتاكتور K1، سيغلق تماس الكونتاكتور المساعد K1 وهذا سيؤمن تغذية ملف الكونتاكتور K3.

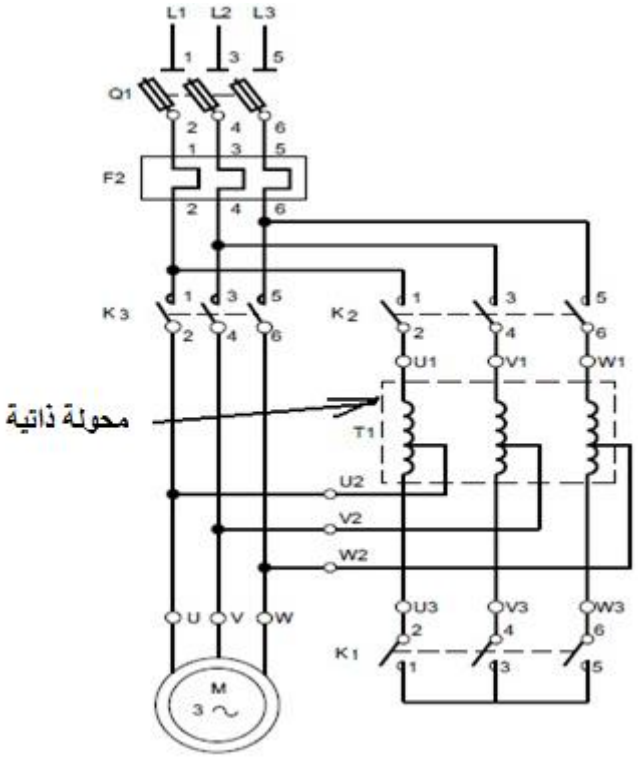
تستمر التغذية بفضل التماس المساعد K3 المربوط على التفرع مع الضاغطة (Stop). ستغلق التماسات الرئيسية للكونتاكتورين K1 و K3 ويقلع المحرك التحريضي بالتوصيلة النجمية لملفات الثابت.

بعد مرور فترة زمنية محددة(يتم ضبط المؤقت الزمني عليها) سيغير المؤقت الزمني من وضع تماساته (المغلق طبيعياً سيفتح والمفتوح طبيعياً سيغلق) وذلك بعد وصول سرعة المحرك إلى قيمتها الاسمية، وهذا من شأنه أن يفصل التغذية عن الكونتاكتور K1 ويغذي الكونتاكتور K2 وبالتالي تغيير توصيلات ملفات الثابت من نجمي إلى مثلثي. بينما يبقى الكونتاكتور الرئيسي K3 مغذى من الشبكة الكهربائية. إذا أردنا إيقاف المحرك يكفي الضغط على كباس الإيقاف (Stop) لقطع التغذية عن ملفات الكونتاكورات وبالتالي فتح التامسات الرئيسية لها وقطع التغذية عن المحرك.

٦-٣-١-٢- إقلاع المحركات التحريضية بوساطة محولة ذاتية :

باستخدام محولة خاصة يمكننا تخفيض قيمة الجهد المطبق على ملفات الثابت للمحرك، وهذا بدوره سيخفض من قيمة تيار إقلاع المحرك. بما أن العزم يتناسب مع مربع جهد التغذية المطبق إذا سيتناقص عزم الإقلاع باتباع هذه الطريقة. بعد تسارع المحرك ووصوله إلى قرب سرعته الاسمية سيتم تطبيق كامل جهد التغذية على المحرك التحريضي. يبين الشكل (٦-١١) دارة القدرة لإقلاع محرك تحريضي ثلاثي الطور ذو قفص سنجابي باستخدام محولة ذات خرج كهربائي متغير.





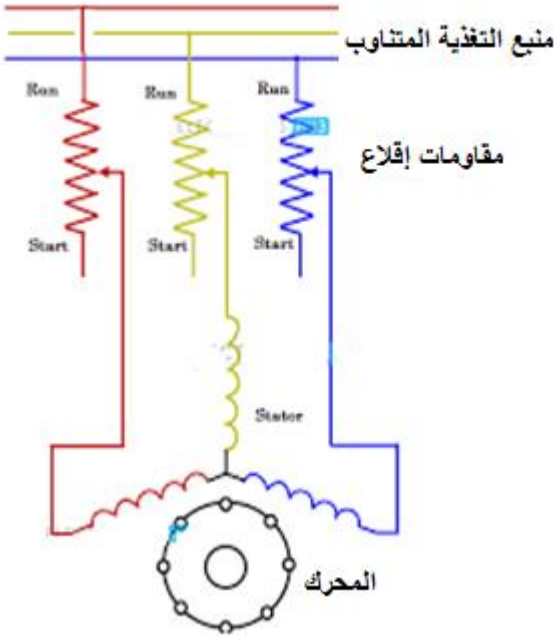
الشكل (٦-١١): إقلاع محرك تحريضي باستخدام محولة بمراحل

عند الإقلاع سيغلق الكونتاكتورين K1 و K2 وسيطبق على المحرك جهد منخفض ويتم إقلاع المحرك بشكل تدريجي وسلس، بعد ذلك يتم فتح الكونتاكتور K1 ونبدأ بزيادة الجهد المطبق على ملفات المحرك. عند وصول سرعة المحرك إلى السرعة الأسمية يتم فصل الكونتاكتور K2 ووصل الكونتاكتور K3, عندها سيطبق كامل الجهد الاسمي على المحرك. يتم التحكم بفصل ووصل الكونتاكتورات إما عن طريق مؤقتات زمنية أو بوساطة حساسات سرعة.

هذه الطريقة لا تناسب المحركات التي تحتاج أحمالها إلى عزوم إقلاع عالية، كما أنها لا تؤمن طريقة إقلاع ناعمة وسلسلة مقارنة مع طريقة الإقلاع باستخدام المبدلات الإلكترونية الحديثة (Inverters)، كما سنرى لاحقاً.

٦-٣-١-٣- إقلاع المحركات التحريضية بوساطة مقاومات تسلسلية في الجزء الثابت :

بالعودة إلى المعادلة (٦ – ٣) نجد أن تيار الإقلاع يتناقص بزيادة المقاومة R_1 ، لذلك يتم إضافة مقاومة متغيرة أو مجموعة مقاومات على التسلسل مع ملفات الجزء الثابت للمحرك كما هو موضح بالشكل (٦-١٢). وبزيادة السرعة تدريجياً نقوم بعملية الفصل الجزئي للمقاومات، بانتهاء فترة الإقلاع نكون قد فصلنا كافة المقاومات المضافة، فوجود هذه المقاومات سيزيد من ضياعات المحرك وبالتالي سينخفض المردود.



الشكل (٦-١٢): إقلاع المحرك التحريضي بإضافة مقاومات تسلسلية

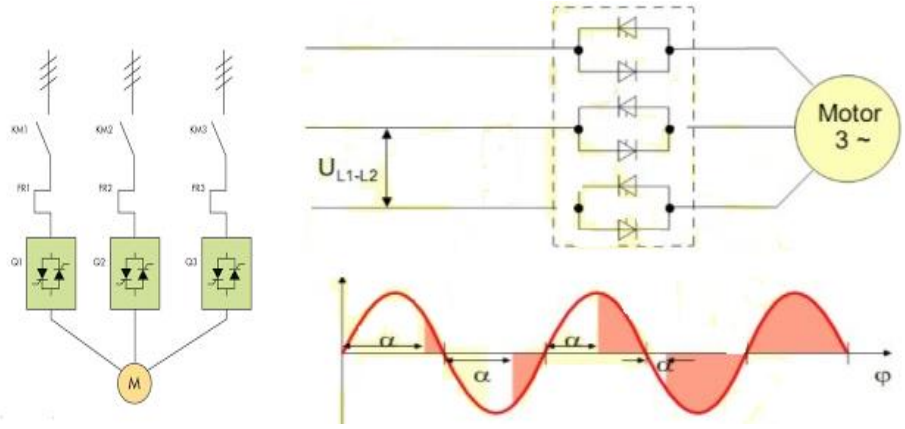
٦-٣-١-٤- إقلاع المحركات التحريضية بطريقة تجزئة الملف :

بعض المحركات التحريضية تملك ملفين للإقلاع أو أكثر بحيث توصل هذه الملفات على التفرع عند التشغيل الطبيعي. يعمل فقط ملف واحد عند الإقلاع وهذا من شأنه أن يزيد ممانعة دارة الثابت وبالتالي ينقص من تيار الاقلاع.

٦-٣-١-٥- الإقلاع الناعم للمحركات التحريضية (Soft Starter) :

نتيجة للتطور الهائل في مجال الكترونيات القدرة فقد تم تطوير طريقة تتم فيها عملية الإقلاع بصورة سلسة وآمنة، هذه الطريقة تدعى بطريقة الإقلاع الناعم للمحركات التحريضية. نحصل في هذه الطريقة على تحكم دقيق وناعم لجهد التغذية طيلة فترة الإقلاع، كما أنها توفر كافة أنواع الحماية للمحرك، و يمكن استخدامها أيضاً في حالات الكبح. يتكون جهاز الاقلاع الناعم بشكل رئيسي من ثايرستورات استطاعة (ثايرستورين في كل طور لضمان تمرير الإشارة في الاتجاهين)، ويكون جهد خرج هذه الثايرستورات منظماً بوساطة دارة الكترونية تراقب مراحل تطور إقلاع المحرك.

الثايرستورات المستخدمة تعطي في خرجها جهداً متغيراً وذلك حسب قيمة زاوية اشعال البوابة كما يوضح الشكل (٦-١٣).



الشكل (٦-١٣): ثايرستورات الاستطاعة المستخدمة في المقلعات الناعمة

فعند الإقلاع يكون جهد المحرك منخفضاً وبالتالي يكون تيار وعزم الإقلاع منخفضاً أيضاً، وبازدياد سرعة المحرك تنقص وبشكل اوتوماتيكي زاوية اشعال الثايرستورات، وهذا من شأنه أن يزيد قيمة جهد التغذية الفعلية المطبقة على ملفات ثابت المحرك وبالتالي ازدياد العزم، وهكذا حتى يصل المحرك إلى سرعته الاسمية حيث توصل تماسات الكونتاكتور الرئيسي ويستمر المحرك بالدوران عند قيمة توتره الاسمي.

من مزايا هذه الطريقة هي إلغاء الاهتزازات الفجائية المزعجة أثناء الاقلاع، فالجهد والعزم يزدادان بشكل تدريجي وتتسارع الآلة بشكل ناعم وسلس حتى الوصول إلى السرعة الإسمية. ومن المزايا الأخرى أيضاً هي امكانية ضبط العزم عند القيمة الدقيقة وذلك في جميع حالات عمل المحرك (محملاً أم غير محمل).

كما يمكن استخدام نفس الجهاز لتأمين إيقاف ناعم للمحرك، فالإيقاف الناعم للمحرك في بعض التطبيقات يقلل من احتمال تضرر القطع الميكانيكية للمحرك.

يتم اختيار جهاز الإقلاع الناعم بحسب استطاعة المحرك، وفي بعض الاحيان يكون من الضروري اختيار جهاز الاقلاع الناعم ليكون أكبر من استطاعة المحرك الاسمية وذلك حسب شروط إقلاع المحرك.

إن استطاعة جهاز الاقلاع الناعم تعتمد على استطاعة الثايرستورات المستخدمة وطريقة تبديدها للحرارة. كما يمكن أن يزود جهاز الإقلاع الناعم بريليه الكتروني للحماية من التيارات الزائدة Electronic Over Load(EOL).

من البارامترات المهمة المستخدمة في جهاز الإقلاع الناعم :

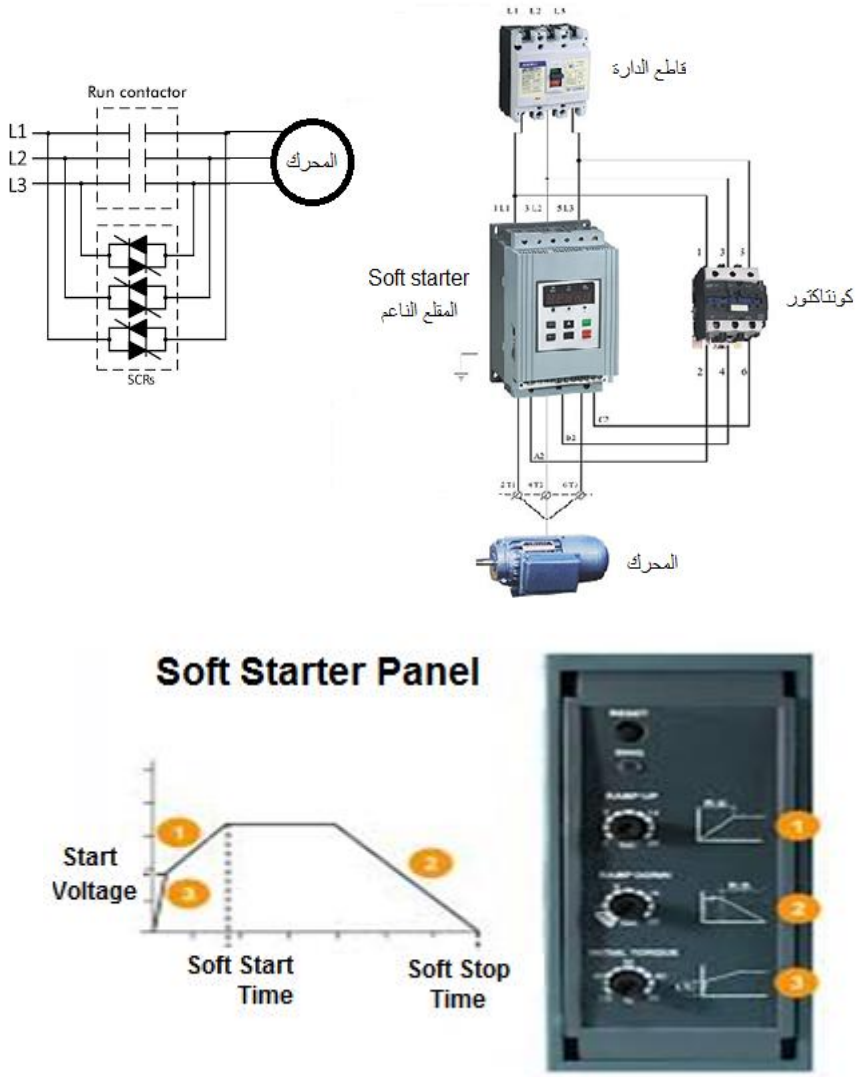
١- زمن الإقلاع (Start Time): وهو الزمن الذي يحتاجه الجهاز إلى زيادة جهده من القيمة الابتدائية(لحظة الاقلاع) إلى القيمة الاسمية لجهد التغذية، ويجب أن لا تكون هذه الفترة طويلة جداً لأن ذلك سوف ينشأ عنه سخونة زائدة ومخاطر تحميل زائد.

٢- زمن التوقف (Stop Time): وهو الزمن الذي يؤمن إيقاف ناعم وسلس للمحرك، نذكر على سبيل المثال: المضخات والسيور الناقلة، فزمن التوقف يعني لها الفترة الزمنية بين الجهد الاسمي المطبق إلى جهد الوقوف، فإذا تم ضبط تلك القيمة على الصفر فإننا سنحصل على حالة توقف فجائية قد تضر بالمحرك وبالتجهيزات المرفقة معه وبالحمولة.

٣- الجهد الأولي (Initial Voltage): وهي القيمة الابتدائية للجهد والتي سيبدأ عندها المحرك بالإقلاع.

٤- حدود مجال التيار (Current Limit): يستخدم هذا البارامتر في التطبيقات التي تحتاج إلى تيار محدد عند الاقلاع وعند الفرملة وعكس التوصيلات.

يوضح الشكل (٦-١٤) طريقة توصيل المقلع الناعم (Soft Starter) مع دارة المحرك الكهربائي وكذلك أهم البارامترات المستخدمة فيه.



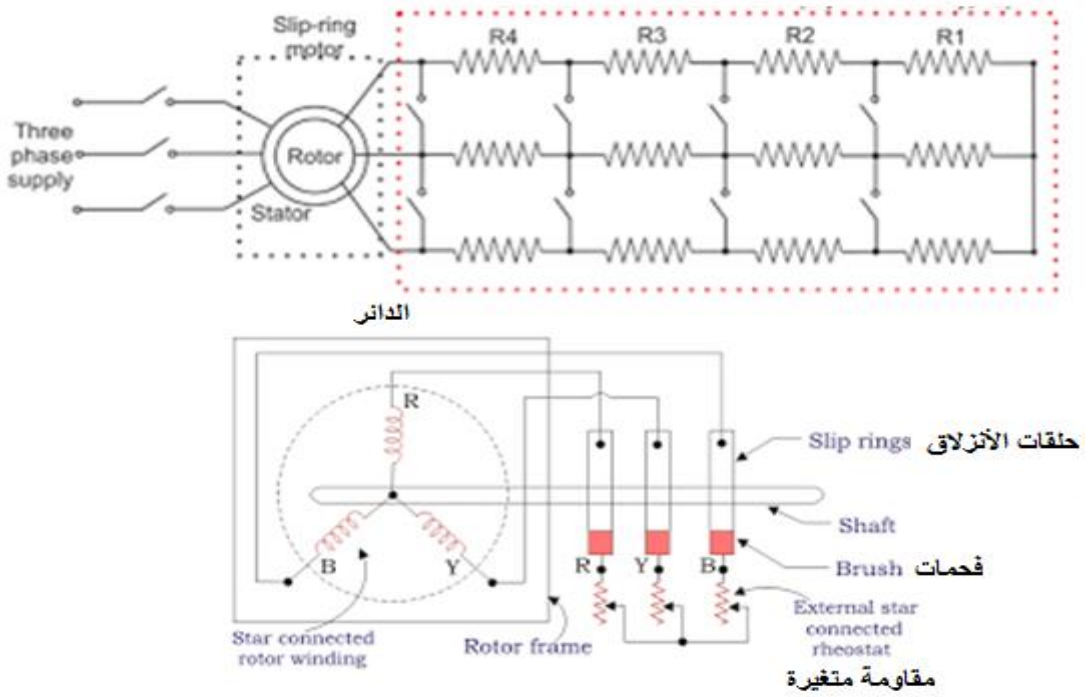
الشكل (٦-١٤): توصيل المقلع الناعم (Soft Starter) مع دارة المحرك الكهربائي

لإقلاع محركات عدة معاً وعلى التوازي من الضروري الأخذ بعين الاعتبار عاملين مهمين: الأول أن يكون جهاز الإقلاع الناعم قادراً على تحمل التيارات الاسمية لهذه المحركات معاً، والثاني أن يكون قادراً على تحمل تيارات إقلاع هذه المحركات من دون أن يصيبه أي تلف. أما في حالة الإقلاع المتتالي لمجموعة محركات في هذه الحالة على الجهاز أن يكون قادراً على تحمل تيار الإقلاع لكل محرك على حدة بما في ذلك التيارات المارة أثناء عكس اتجاه الحركة.

٦-٣-١-٦- الإقلاع بإضافة مقاومات إلى ملفات الدائر :

تبين المعادلة (٦-١٢) أن عزم الإقلاع يتناسب طرداً مع مقاومة دوار المحرك، وبالتالي ولزيادة عزم اقلاع المحرك التحريضي ذي الدائر الملفوف نقوم بإضافة مجموعة مقاومات أو مقاومة متغيرة إلى ملفات الدائر عبر حلقات الانزلاق، كما يوضح الشكل (٦-١٥).

لحظة الإقلاع تكون مجموعة المقاومات متصلة كلياً مع الدائر ثم يتم قصرها تباعاً مع ازدياد سرعة المحرك. عملية الفصل تتم بالاعتماد على مؤقتات زمنية أو باستخدام حساسات سرعة، بحيث يتم فصل كل مجموعة عند لحظة زمنية محددة أو عند سرعة دوران محددة. عند وصول سرعة المحرك إلى قيمتها الاسمية تكون جميع المقاومات المضافة قد قصرت.



الشكل (٦-١٥): إقلاع المحرك التحريضي ذو الدائر الملفوف باستخدام مقاومات إقلاع

٦-٤- مميزات و إقلاع المحركات المتواقتة :

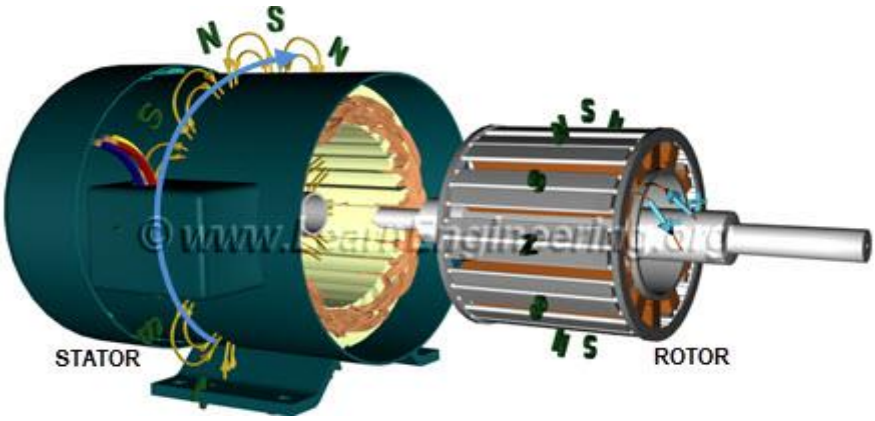
Characteristics and Starting of Synchronous Motor

٦-٤-١- مميزات المحركات المتواقتة :

ما يميز المحركات المتواقتة أو التزامنية هو دورانها بسرعة ثابتة ندعوها بسرعة التواقت، هذه السرعة الميكانيكية تساوي سرعة الساحة المغناطيسية التي تولدها تيارات الثابت الجيبية ($n_{sync} = n_m$). الانزلاق إذاً معدوم في الآلات المتواقتة. لذلك يمكننا استخدام هذه المحركات في التطبيقات التي لا يتطلب عملها تغيير السرعة، كما في الضواغط وآلات التبريد وكسارات الحجارة والمضخات. وتكمن الميزة الاقتصادية للمحرك المتواقت بقدرته على العمل عند عامل استطاعة عال بالمقارنة مع المحرك

التحريضي، كما يمكن تصميمها للعمل عند استطاعات كبيرة تزيد عن 2000 Kw فتصبح كلفتها أقل من كلفة تصميم المحركات التحريضية.

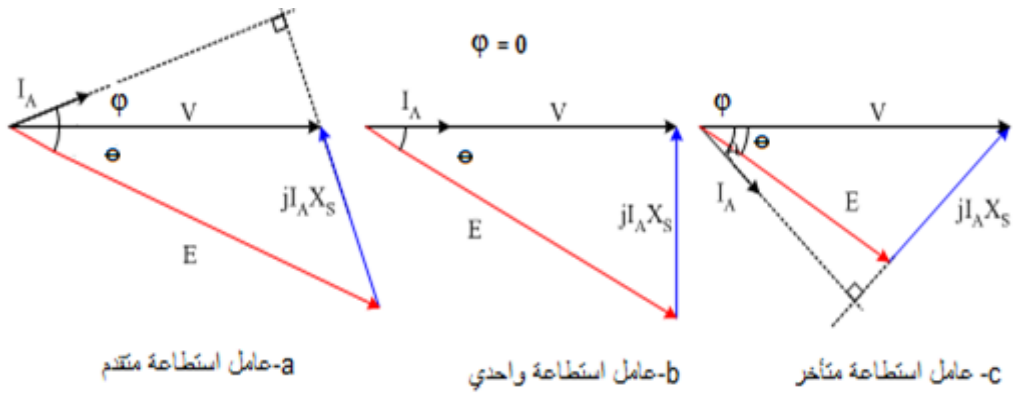
الجزء الثابت في المحركات المتواقتة لا يختلف عن الجزء الثابت في المحركات التحريضية، أما الاختلاف فيكون في الجزء الدائر، حيث يضم المحرك المتواقت دوار بتركيبة مختلفة، هذا الدوار يحتوي ملفات تهييج يتم تغذيتها بالتيار المستمر كما يوضح الشكل (٦-١٧).



الشكل (٦-١٧): أجزاء المحرك المتواقت الرئيسية

سرعة المحرك المتواقت قد تتعرض لبعض الانحراف عن سرعة التواقت عند ازدياد الحمولة بشكل مفاجئ، وسيتأخر الدائر عن ملاحقته الآنية للحقل المغناطيسي الدوار في الثابت، حيث تزداد زاوية انزياح الطور بين القوة المحركة الكهربائية في الثابت وجهد التغذية كما هو واضح في الشكل(٦-١٨) وذلك عند اهمال مقاومة ملف الثابت R_s.

لتحليل عمل الآلة المتواقتة لابد من إيجاد العلاقة التي تربط عزم المحرك T مع زاوية العزم θ (الزاوية بين القوة المحركة الكهربائية في الثابت E وجهد التغذيةV)، وهذا ما نسميه بالمميزات الزاوية للآلة التزامنية $T=f(\theta)$ حيث تتعلق زاوية العزم أو زاوية الحمولة بتيار الحمولة وتزداد قيمتها بازدياده.



الشكل(٦-١٨): المخطط الشعاعي للمحرك المتواقت

من المخططات الشعاعية السابقة نعرف المقادير الآتية :

I : تيار الطور في الثابت (A).

V : توتر الطور في الثابت (V).

E : القوة المحركة الكهربائية لطور من أطوار الثابت (V).

X_S : الممانعة التحريضية لطور من أطوار الثابت (Ω).

φ : الزاوية بين تيار وجهد الطور في الثابت (زاوية فرق الطور).

θ : الزاوية بين شعاع القوة المحركة الكهربائية E والجهد V .

بإهمال المقاومة R_s فإن الاستطاعة الفعالة المقدمة إلى ثابت المحرك والتي تنتقل إلى الدائر تساوي :

$$P = 3.V.I.cos\varphi \qquad (٢١ - ٦)$$

أما العزم فيساوي :

$$T = \frac{P}{\omega_1} = \frac{3.V.I.cos\varphi}{\omega_1} \qquad (٢٢ - ٦)$$

حيث $\omega_1 = \omega_{sync}$ سرعة التواقت للمحرك.

ومن المخططات الشعاعية السابقة نجد :

$$V.cos\varphi = E.\cos(\varphi - \theta) \qquad (٢٣ - ٦)$$

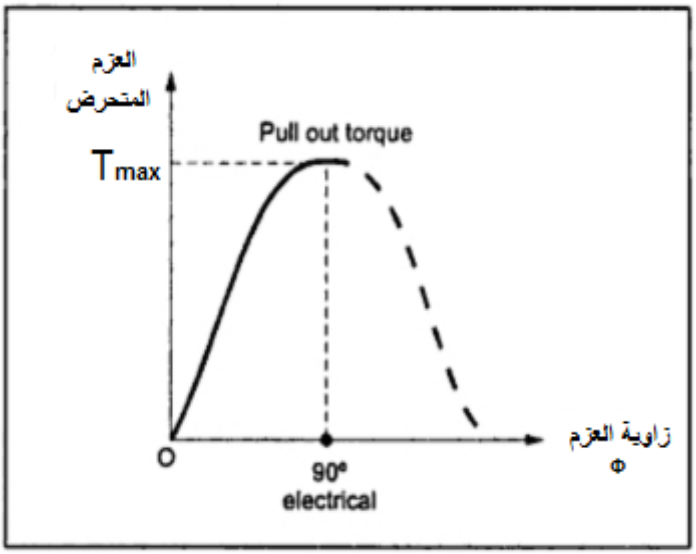
$$\cos(\varphi - \theta) = \frac{V.sin\theta}{I.X_s} \qquad (٢٤ - ٦)$$

$$V.cos\varphi = \frac{E.V.sin\theta}{I.X_s} \qquad (٢٥ - ٦)$$

ومنه نستنتج معادلة عزم المحرك بدلالة زاوية العزم كما يأتي :

$$T = \frac{3.E.V}{X_s.X_s}.sin\theta = T_{max}.sin\theta \qquad (٢٦ - ٦)$$

وهي معادلة العزم–زاوية للآلة المتواقتة والتي تبين أن قيمة العزم تزداد بازدياد الزاوية θ حتى تبلغ قيمته العظمى عند $\theta = 90^o$ وهو مجال استقرار الآلة، وعندما تزيد الزاوية عن 90^o ستخرج الآلة عن حالة العمل المستقر وتخرج عن التزامن. يبين الشكل (٦–١٩) العلاقة بين العزم وزاوية التحميل أو العزم. هذا المنحني يعبر عن حالة استقرار الآلة ويبين أيضاً قيمة الزاوية التي تقابل قيمة العزم الأعظمي T_{max}.



الشكل (٦-١٩): العلاقة بين العزم وزاوية التحميل في الآلة المتواقتة

٦-٤-٢- طرق إقلاع المحركات المتواقتة :

في المحركات المتواقتة يتم تغذية ملفات الدائر من مصدر تيار مستمر، تيار التهييج هذا سينتج حقلاً مغناطيسياً ثابتاً (B_r)، بينما تيارات الجزء الثابت المتناوبة ستنتج حقلاً مغناطيسياً دواراً (B_s) يدور بسرعة التواقت (n_1). مبدأ عمل المحرك المتواقت يعتمد على ملاحقة فيض الدائر الثابت لفيض الثابت الدوار، عند الإقلاع لن يتمكن فيض الدائر من اللحاق بالساحة المغناطيسية الدوارة وهذا ما يفسر عدم قدرة المحرك المتواقت على الإقلاع ذاتياً.

من الطرق المتبعة لإقلاع المحرك المتواقت نذكر :

١- إقلاع المحرك المتواقت باستخدام محرك خارجي.

٢- إقلاع المحرك المتواقت باستخدام ملفات الاخماد(قضبان مساعدة مقصورة في الدوار).

٣- إقلاع المحرك المتواقت عن طريق تخفيض سرعة الساحة المغناطيسية في الثابت.

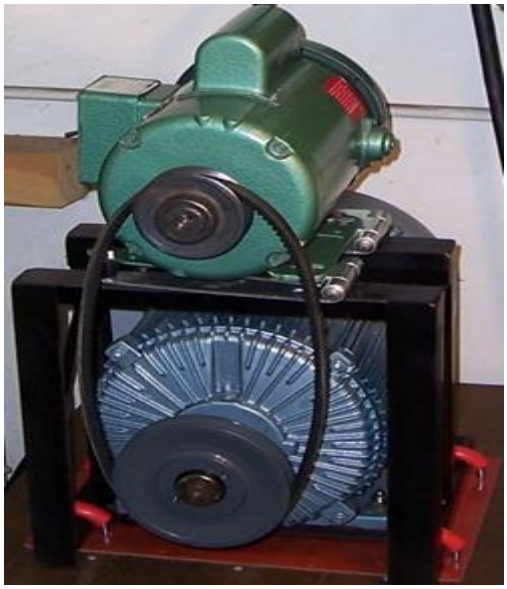
٤- الإقلاع اليدوي للمحرك المتوقت.

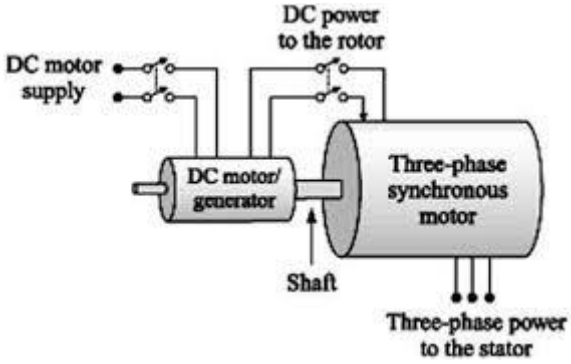
٦-٤-٢-١- إقلاع المحرك المتواقت باستخدام محرك خارجي :

في هذه الطريقة يتم إقلاع المحرك المتواقت عن طريق ربط محوره بمحرك خارجي مساعد كما يوضح الشكل (٦-٢٠)، حيث يقوم هذا المحرك برفع سرعة الآلة حتى سرعة التواقت، عندها تعمل الآلة

المتواقتة كمولدة متواقتة، وعند سرعة التواقت يتم فصل المحرك الخارجي وتغذية ملفات الدائر بالتيار المستمر وتحميل المحرك بحمولته النظامية.

ما يبسط استخدام هذه الطريقة هو أن كثيراً من المحركات المتواقتة تكون جزءاً من مجموعة محرك–مولد، وبالتالي يمكن دائماً إقلاعه باستخدام الآلة الأخرى. في هذه الطريقة لا يحتاج المحرك الخارجي إلاَ أن يتغلب على عزم عطالة الآلة المتواقتة من دون حمولة، حيث لا توصل أي حمولة حتى يتم بلوغ سرعة التواقت وفصل المحرك الخارجي. باعتبار أن واجب المحرك الخارجي هو تدوير دوار الآلة المتواقتة والتغلب فقط على عطالتها لذلك يمكن أن تكون استطاعته أقل بكثير من استطاعة المحرك المتواقت. كما يمكن للمحرك الخارجي أن يكون متناوباً أو مستمراً.



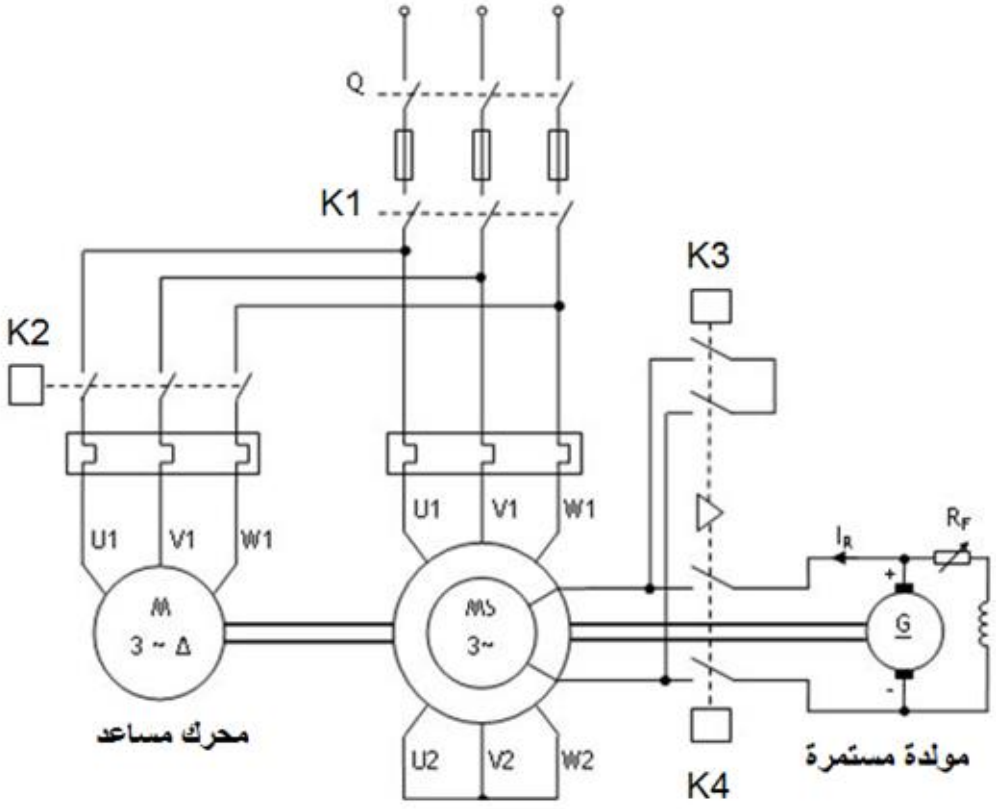


الشكل (٦–٢٠): إقلاع المحرك المتواقت باستخدام محرك خارجي

يوضح الشكل (٦–٢١) دارة القدرة لإقلاع محرك متواقت ثلاثي الطور عن طريق محرك خارجي، بحيث يتم تهييج الآلة بعد اقلاعها عن طريق مولدة تيار مستمر مرتبطة ميكانيكياً بالمحرك المتواقت. يقلع

المحرك المتواقت بعد اغلاق القاطع الحراري (Q) والكونتاكتوات K1، K2 و K3. تصل التغذية الكهربائية إلى المحرك المتواقت عن طريق الكونتاكتور K1 بينما يبدأ المحرك الخارجي المساعد بالدوران بعد اغلاق الكونتاكتورين K2 وK1.

بالبداية تكون تغذية ملف الدائر للمحرك المتواقت خارجية عن طريق بطارية أو أي منبع تيار مستمر (تهييج خارجي)، ويتم تأمين تلك التغذية بعد اغلاق الكونتاكتور K3 . عند اقتراب سرعة المحرك المتواقت من السرعة التزامنية سيفتح الكونتاكتورين K2 وK3 بينما يغلق الكونتاكتور K4 ليتم تهييج المحرك عن طريق المولدة المستمر (تهييج ذاتي).



الشكل (٦-٢١): دارة الاستطاعة لإقلاع محرك متواقت عن طريق محرك خارجي

٦-٤-٢-٢- إقلاع المحرك المتواقت باستخدام ملفات مساعدة(ملفات اخماد) :

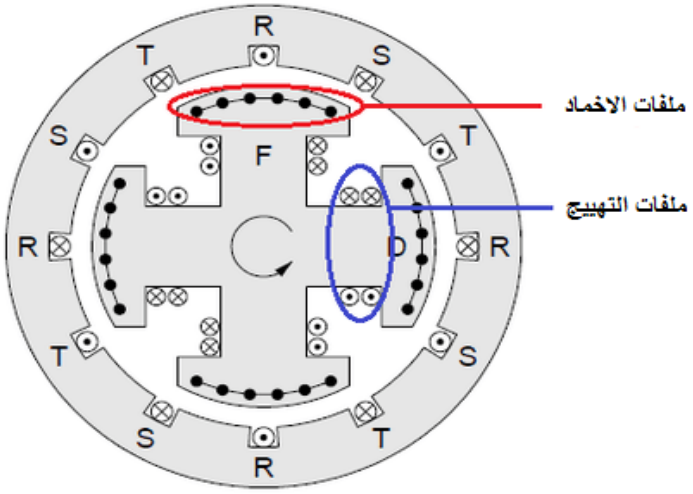
من أكثر الطرق استخداماً لإقلاع المحرك المتواقت هي استخدام ملفات مساعدة، هذه الملفات عبارة عن قضبان متوضعة ضمن أخاديد محفورة على سطح الدوار، مقصورة في نهايتها بحلقات كما يبين الشكل (٦-٢٢). هذه الحلقات مشابهة للقفص السنجابي الموجود بالمحركات التحريضية. يتم إقلاع

المحرك المتواقت ودارة التهييج مفتوحة، أي يتم إقلاعه كمحرك تحريضي ذي قفص سنجابي، وعند وصول سرعته إلى قرب سرعة التواقت يتم إغلاق دارة التهييج ومن ثم تسارعه حتى سرعة التواقت، علماً بأنه لن يتحرض بهذه القضبان المساعدة أي قوى محركة كهربائية عند وصول سرعة المحرك إلى سرعة التواقت.

يمكن تلخيص طريقة الإقلاع هذه بالخطوات الآتية :

١- تغذية ملفات الثابت بجهد ثلاثي الطور وتترك ملفات التهييج مفتوحة حتى يتسارع المحرك إلى قرب سرعة التواقت. يجب أن يتم الإقلاع على فراغ حتى يتمكن المحرك من التسارع بأقصر زمن ممكن.

٢- يوصل منبع التيار المستمر إلى دارة التهييج عند سرعة قريبة من سرعة التواقت، وعندها تعمل الآلة كمحرك متواقت، بعدها تتم إضافة الحمولة المحرك.



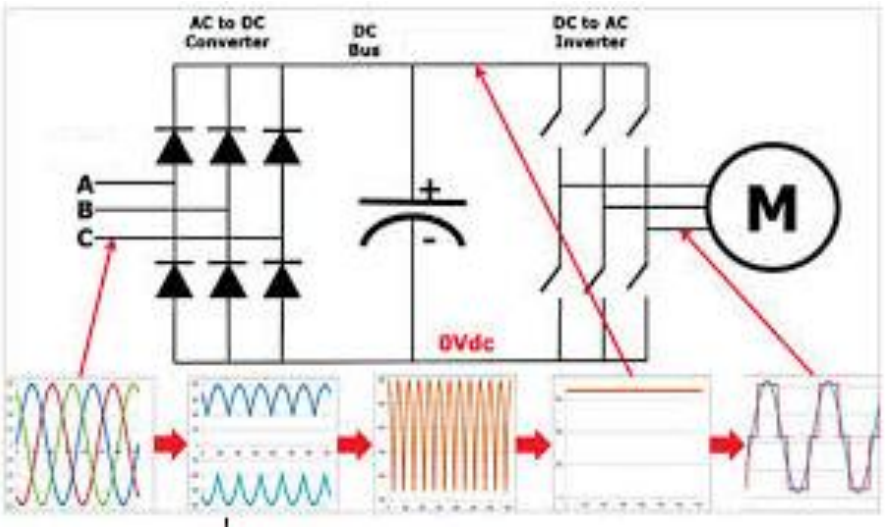
الشكل (٦-٢٢): بنية محرك متواقت مع ملفات اخماد في الجزء الدائر

٦-٤-٢-٣- إقلاع المحرك المتواقت بتخفيض التردد الكهربائي :

لن يتمكن فيض الدائر من ملاحقة الفيوض المغناطيسية في الثابت إلا عندما يتم تخفيض سرعة الساحة المغناطيسية في الثابت، وهذا يتم عن طريق تخفيض تردد التغذية الكهربائي، في هذه الحالة سيبدأ المحرك بالدوران بسرعة منخفضة نسبياً، ثم يتم زيادة التردد بالتدريج وتزداد معها سرعة الدوران الميكانيكية حتى الوصول إلى سرعة التواقت والتي تقابل تردد التغذية الأساسي.

في السابق لم تكن هذه الطريقة مستخدمة إلا نادراً وذلك بسبب صعوبة توفر منبع تغذية ذي تردد متغير، أما في الوقت الحاضر ومع التطور الكبير في مجال المبدلات الإلكترونية فقد أصبح بالإمكان

إقلاع المحرك المتواقت بسهولة، وذلك باستعمال مبدلات إلكترونية حديثة قادرة على تزويد المحرك بترددات متغيرة من أجزاء الهرتز إلى قيمة أكبر من تردد التغذية كما يبين الشكل (٦-٢٣).

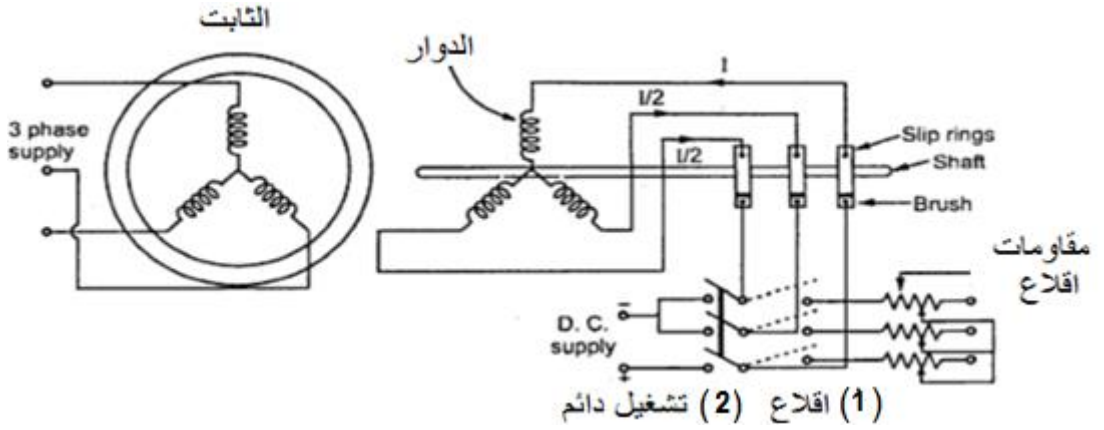


الشكل (٦-٢٣): إقلاع المحرك المتواقت باستخدام المبدلات الالكترونية

عند تغذية المحرك بتردد منخفض ستنخفض أيضاً القوة المحرك الكهربائية E وإذا كان توتر التغذية ثابت فإن تيار الثابت سيزداد ويتجاوز قيمه المسموحة، كما أن التغذية بترددات منخفضة ستنقص من قيمة المفاعلات التحريضية للمحرك **X** وبالتالي زيادة التيار المسحوب. لذلك ولحماية المحرك من التيارات العالية ولتجنب حالة الإشباع المغناطيسي للآلة لابد من تخفيض جهد التغذية عند تخفيض التردد الكهربائي، ويتم ذلك بالحفاظ على النسبة $\frac{V}{f}$ ثابتة، وهذا ما تحققه المبدلات الالكترونية الحديثة.

٦-٤-٢-٤- الإقلاع اليدوي للمحرك المتواقت :

باعتبار أن الجزء الثابت في المحركات المتواقتة هو نفسه في المحركات التحريضية لذلك يمكننا إقلاع المحرك المتواقت كمحرك تحريضي وذلك بقصر ملفات الدائر وتغذية ملفات الثابت. عند وصول سرعة الدوار إلى سرعة قريبة من سرعة التواقت عندها نوصل دارة التهييج(ملفات الدائر) إلى منبع التيار المستمر. يبين الشكل (٦-٢٤) دارة الإقلاع اليدوي المستخدمة مع المحركات المتواقتة.



الشكل (٦-٢٤): دارة إقلاع محرك متواقت يدوياً

باستخدام قاطع ذي وضعيتين للفتح والإغلاق يمكننا في مرحلة الإقلاع وضع المفتاح على الوضعية رقم (1) (وضعية الإقلاع) بحيث يقلع المحرك المتواقت كمحرك تحريضي بوجود مقاومات إقلاع مساعدة. عند اقتراب سرعة المحرك من السرعة المتواقتة يتم تبديل وضعية القاطع إلى الوضع رقم (2) (وضعية العمل المستمر)، في هذه الحالة يتم فتح دائرة الدائر ووصلها إلى منبع التيار المستمر ليتابع المحرك عمله كمحرك متواقت وتزاد سرعته حتى السرعة المتواقتة للمحرك. كما يمكن استخدام كونتاكتورين مساعدين مع ريليه زمني، بحيث يعمل الكونتاكتور الأول عند الإقلاع (يقصر ملفات الدائر) والثاني بعد فترة زمنية محددة من الإقلاع (وصل ملفات الدائر إلى منبع مستمر).

٦-٥- المحركات أحادية الطور : Single - Phase Motors

يمكن القول بأن أغلب محركات التيار المتناوب ذات الاستطاعات الصغيرة هي محركات أحادية الطور، كما أن هناك العديد من التطبيقات الصناعية والتجارية و كذلك المنزلية لا تصلها إلا تغذية أحادية الطور، هذه التطبيقات تحتاج غالباً لمحركات صغيرة (باستطاعة أقل من 1hp)، وهذا ينطبق بشكل عام على المحركات أحادية الطور. المشكلة الأساسية بالمحركات أحادية الطور أنه حين تغذيتها من منبع أحادي الطور سيتولد في ملفات الثابت مجال مغناطيسي متردد، هذا المجال يمكن تحليله إلى مجالين لهما المطال نفسه و يدوران بالسرعة نفسها (سرعة التواقت) ولكن في اتجاهين متعاكسين. سيقوم هذان المجالان بتحريض تيارات تحريضية في الجزء الدائر وتوليد عزوم دورانية تحريضية، هذه العزوم متعاكسة بالاتجاه وبالتالي لن يدور المحرك. يمكن القول باختصار أن المنبع أحادي الطور لا ينتج فيضاً مغناطيسياً دواراً في العضو الدائر، وبالتالي فإنه لا يستطيع أن يقلع ذاتياً. في هذه الحالة لابد من اضافة ترتيبات فنية خاصة لتوليد حقل مغناطيسي دوراني في الثغرة الهوائية لحظة تغذية المحرك، وهذا سيمكن المحرك من

الإقلاع. هذه الاجراءات تجعل من المحرك أحادي الطور أكبر بالحجم من المحرك ثلاثي الطور بمقدار 30% من أجل الاستطاعة نفسها. من أهم المحركات أحادية الطور المستخدمة نذكر :

١- المحرك العام.

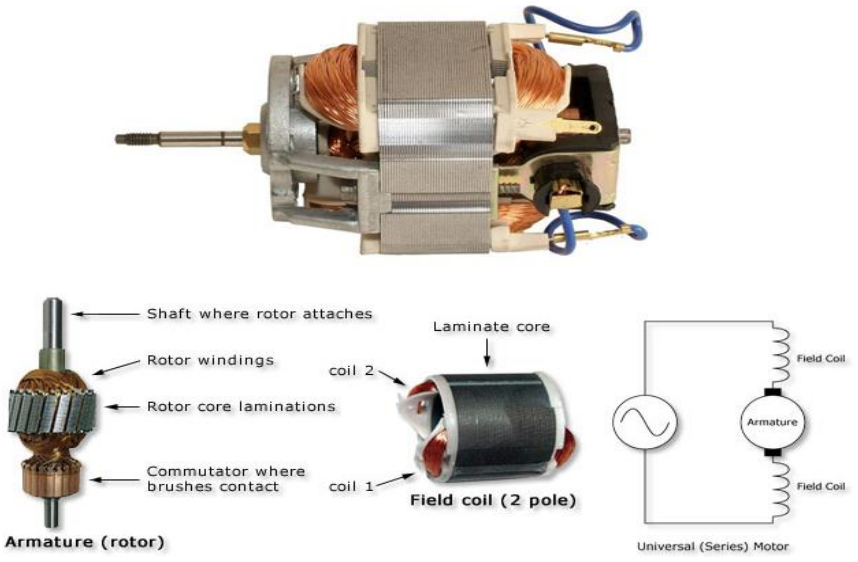
٢- المحرك ذو الطور المشطور أو ذو ملف الإقلاع.

٣- المحرك ذو مكثفة الإقلاع المؤقتة أو الدائمة.

٤- المحرك ذو الأقطاب المظللة.

٦-٥-١- المحرك العام :

سبب تسمية المحرك بهذا الاسم لأنه يمكن أن يعمل بالتيار المستمر و بالتيار المتناوب وبالسرعة نفسها تقريباً (وان كانت سرعته أعلى في حالة تشغيله بالتيار المستمر). يستخدم المحرك العام في التطبيقات المنزلية ذات الاستطاعة الأقل من1Kw, مثل خلاطات الطعام وماكينات الخياطة والمكانس الكهربائية والغسالات الآلية. المحركات العامة هي محركات تسلسلية حيث تضم ملف متحرض وآخر تهييج موصولين على التسلسل، بالإضافة إلى المجمع والفحمات ولها عزم دوران ابتدائي عال. هذه المحركات قادرة على الدوران بسرعة عالية (حتى 3000 r.p.m)، وتبلغ في ارتفاعها درجة الخطورة عندما لا تكون محملة(كما في حالة المحركات المستمرة التسلسلية)، ولذلك من الأفضل أن تعمل تحت الحمولة. يبين الشكل (٦-٢٥) أحد أشكال المحركات العامة المستخدمة في التطبيقات المنزلية وأجزائه المختلفة.



الشكل (٦-٢٥): المحرك العام وأجزائه المختلفة

عند تغذية المحرك العام بمصدر تيار مستمر سيقلع ويدور كمحرك تيار مستمر تسلسلي، وعند تغذيتها بمصدر تيار متناوب سينتج عزم دوراني وحيد الاتجاه يعمل على تدوير المحرك.

من سلبيات هذه المحركات أنها :

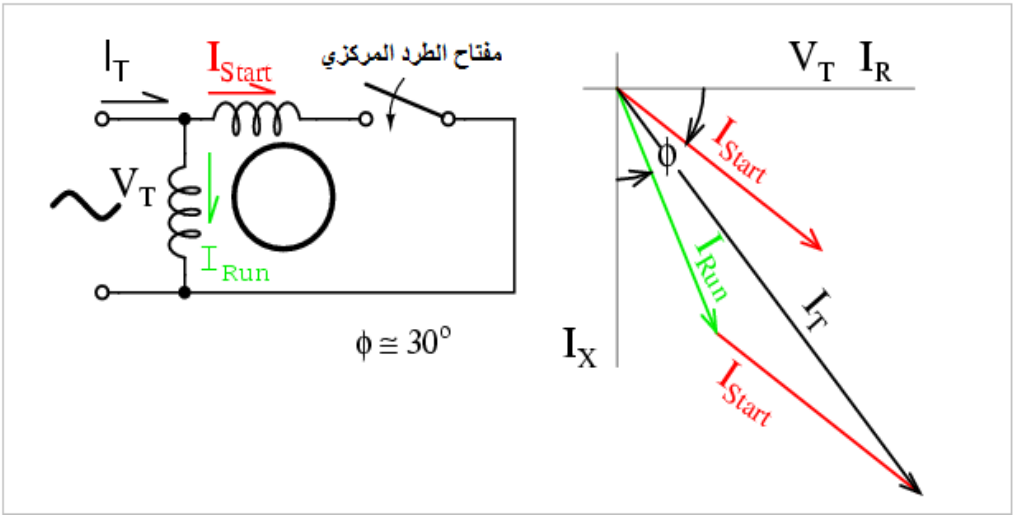
١- ذات كفاءة بسيطة نسبياً و ذلك بسبب الضياعات المغناطيسية (ضياعات البطاء المغناطيسي وضياعات تيارات فوكو التحريضية).

٢- عامل استطاعة منخفض وذلك بسبب ممانعة الملفات العالية.

٣- تحتاج إلى صيانة دورية بسبب وجود الفحمات والمجمع، كما أن الشرارات الكهربائية الناتجة من احتكاك الفحمات بصفائح المجمع يمكن أن تسبب خطراً في بعض الاماكن (وجود مواد قابلة للاشتعال أو الانفجار)، و لهذا ينصح بعدم استخدامها في أماكن خطرة.

٦-٥-٢- المحرك ذو الطور المشطور أو ذو ملف الإقلاع :

محرك ذو استطاعة صغيرة (<1hp) يستخدم غالباً لتشغيل بعض الأجهزة المنزلية مثل الغسالات والمضخات الصغيرة والمراوح ... وغيرها من التجهيزات التي لا تحتاج إلى عزوم إقلاع عالية. لا يستطيع هذا المحرك الإقلاع ذاتياً عند تغذية ملفه الأساسي من مصدر جهد احادي الطور لذلك فقد تم شطر ملفه الأساسي إلى ملفين: الأول يدعى بالملف الرئيسي أو ملف التشغيل والثاني هو ملف البدء أو الملف المساعد، كما يوضح الشكل (٦-٢٦)، بحيث يكون محوراهما مزاحاً أحدهما عن الآخر فراغياً، ويمر فيهما تياران مزاح أحدهما عن الآخر بزاوية قدرها ϕ ومتصلان تفرعياً مع الشبكة الكهربائية. لخلق فرق صفحة بين الملفين فقد تم تصميم ملف البدء أو الملف المساعد ليكون ذي مقاومة أومية كبيرة بالنسبة إلى الملفات الرئيسية (إضافة ممانعة أومية أو استخدام ملفات بمقطع صغير)، وهذا يؤدي الى خلق فرق طور بين الفيضين، وبالتالي انتاج عزم دوراني. نحصل على أفضل حالة عند زاوية ٩٠ درجة.

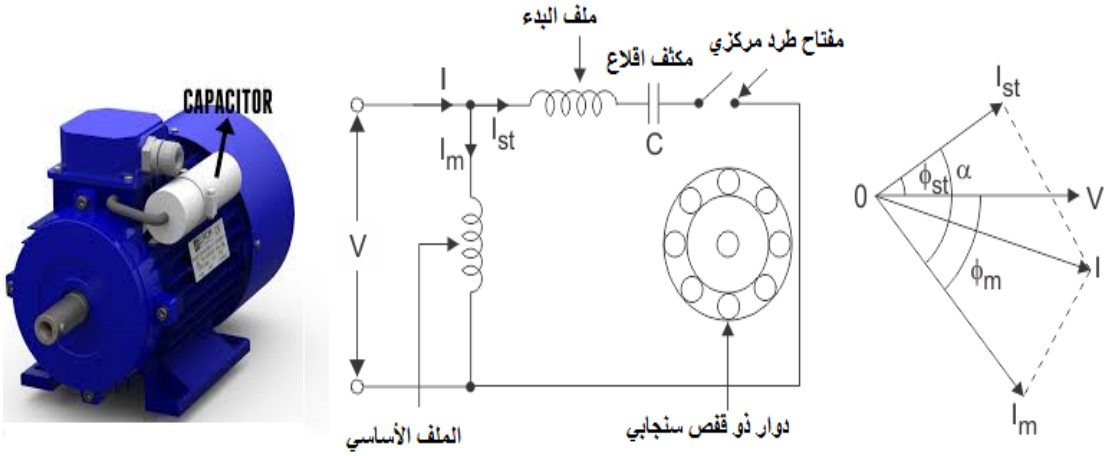


الشكل(٦-٢٦): الدارة الكهربائية للمحرك ذو الطور المشطور

الدارة الكهربائية توضح أن ملفات البدء تكون في داخل الدارة عند بدء التشغيل للمساعدة على توليد المجال المغناطيسي وتزول بعدها الحاجة لملفات البدء وتنفصل عن الدارة بوساطة مفتاح الطرد المركزي، وذلك عندما تصل سرعة المحرك الى (75 %) من سرعته الاسمية تقريباً. وظيفة مفتاح الطرد المركزي هو فصل ملفات البدء وبالتالي منع المحرك من سحب المزيد من التيار، وحماية ملفات البدء من التلف نتيجة لارتفاع درجة الحرارة. يمكن عكس اتجاه الدوران بعكس قطبية أحد الملفين (ملف التشغيل أو ملف البدء) بالنسبة للملف الآخر.

٦-٥-٣- المحرك ذو مكثف الإقلاع :

يعد المحرك ذو المكثفة أو المحرك السعوي من أهم المحركات التحريضية أحادية الطور، بشكل مشابه للمحرك ذي ملف الإقلاع فإنه يحوي ملف رئيسي وآخر مساعد (بدء). تم تصميمه بحيث يحتل الملف الرئيسي ثلثي المساحة القطبية للمحرك، في حين الثلث المتبقي يتم تعبأته بالملف المساعد. يتم خلق فرق طور بين تياري الملف الرئيسي والمساعد عن طريق وصل ممانعة سعوية على التسلسل مع ملف البدء كما يوضح الشكل (٦-٢٧)، في هذه الحالة سنحصل على فرق صفحة أكبر من فرق الصفحة في حالة المحرك ذي الملف المشطور، وبالتالي الحصول على عزم إقلاع أعلى.



الشكل (٦-٢٧): الدارة المكافئة للمحرك أحادي الطور ذو مكثفة الاقلاع

يمكننا ولزيادة قيمة عامل الاستطاعة ابقاء المكثف موصولاً مع الشبكة الكهربائية، إلا أن السعة المطلوبة في هذه الحالة ستكون كبيرة، لذلك يفضل تصميم دارات كهربائية بحيث يتم فصل الملف المساعد عن التغذية بعد إتمام عملية الاقلاع وذلك بوساطة حاكمة تعمل على القوة النابذة وتفصل دارة الملف المساعد عند وصول السرعة إلى (75%) من قيمتها الاسمية. يتم اختيار المكثف المناسب بحيث تكون استطاعته مساوية لاستطاعة المحرك الكلية، وبالتالي فإن استطاعة المحرك المطلوب ذات قيمة كبيرة. يبين الجدول (٦-١) قيم سعة المكثفة المناسبة لبعض أنواع المحركات وذلك حسب استطاعتها وسرعتها.

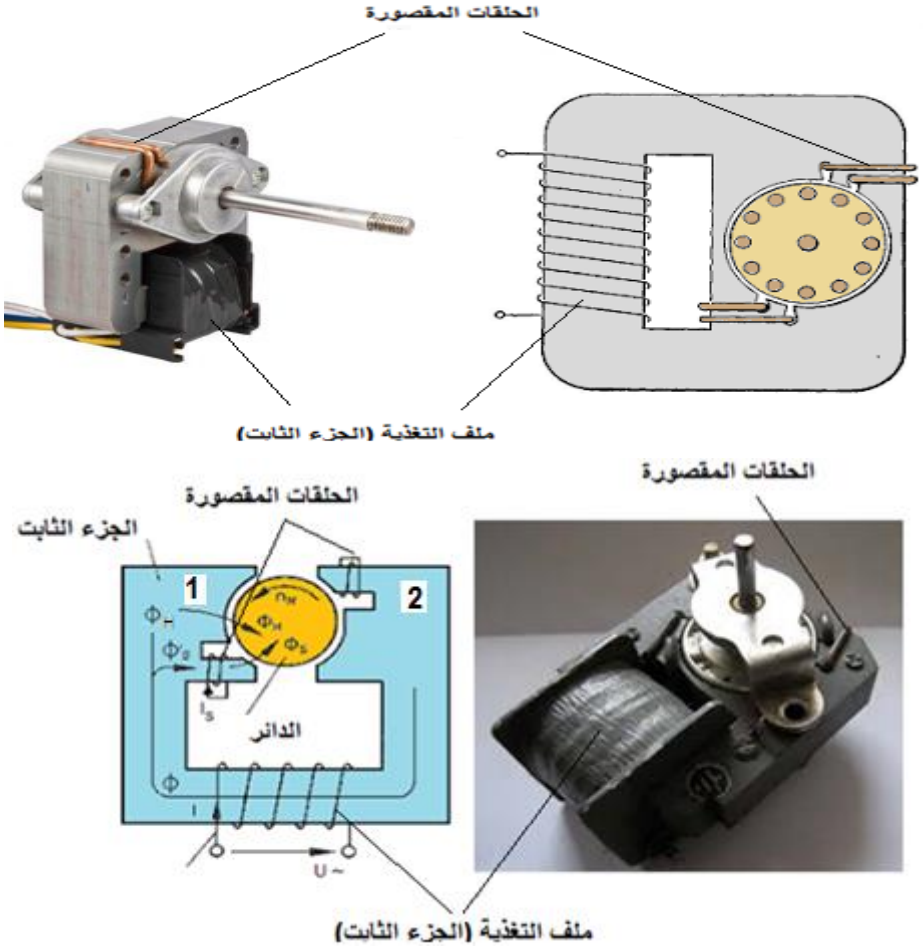
	2 pole/3000 r.p.m. Type EK with running capacitor			4 pole/1500 r.p.m. TType EK with running capacitor		
Motor Type (model size)	P [kW]	I [A]	C_B [μF]	P [kW]	I [A]	C_B [μF]
EK56a	0.09	0.72	3	0.06	0.62	4
EK56b	0.12	1.0	5	0.09	0.85	5
EK63a	0.18	1.5	5	0.12	1.05	6
EK63b	0.25	1.7	10	0.18	1.45	8
EK71b	0.37	2.4	12	0.25	1.8	12
EK71c	0.55	3.6	16	0.37	2.65	16
EK80b	0.75	5.0	25	0.55	3.9	20
EK80e	1.1	7.0	30	0.75	5.2	25
EK90Sb	1.5	9.5	40	1.1	7.4	40
EK90Lb	2.2	12.9	50	1.5	9.6	50

الجدول (٦-١): سعة المكثفة المطلوبة لبعض المحركات حسب استطاعتها

تصمم هذه المحركات لتناسب التطبيقات التي تحتاج إلى عزوم إقلاع كبيرة نسبياً كالضواغط والبرادات ذات درجات التبريد العالية وبعض المضخات ومنظمات الرطوبة وبعض الأجهزة الطبية.

٦-٥-٤- المحرك أحادي الطور ذو القطب المظلل :

يبين الشكل (٦-٢٨) الدائرة الكهربائية و الأقسام الرئيسية لمحرك ذي قطب مظلل، المحرك ذو القطب المظلل هو محرك كهربائي أحادي الطور ذو استطاعة صغيرة نسبياً (<250 W)، هذا المحرك يقلع ذاتياً وبالتالي لا يحتاج إلى أي ترتيبات إضافية (كمكثف الإقلاع مثلاً). ويعود سبب ذلك إلى امكانية توليد عزم دوراني نتيجة وجود ملفات إضافية أو حلقات مقصورة في الجزء الثابت بالإضافة إلى ملفات الثابت الرئيسية.



الشكل (٦-٢٨): الدائرة الكهربائية والأقسام الرئيسية لمحرك ذي قطب مظلل

يتم تصنيع العضو الثابت بحيث يكون فيها قطبان ثانويان بالإضافة إلى القطبين الرئيسين البارزين. يسمى القطبان الثانويان بالقضبان المشقوقة، بحيث يلتف حول هذين القطبين ملفين صغيرين أو حلقتين نحاسيتين مقصورتين. يتكون العضو الدوار، والذي يتوسط القطبين الرئيسين و المشقوقين، من دوار قفص سنجابي. يسبب التيار المار في ملف العضو الثابت توليد فيض مغناطيسي Φ، هذا الفيض سينقسم إلى قسمين : فيض القطب الرئيسي Φ_H وفيض القطب المشقوق Φ'_S، فيض القطب

المشقوق سيحرض قوة محركة كهربائية متأخرة بالصفحة عنه بمقدار 90^{o}، هذه القوة تسبب مرور تيار في الحلقة المقصورة ينتج عنه فيضاً إضافياً يضاف أو ينطرح من الفيض Φ'_S ندعوه بالفيض Φ_S. فيض القطب الرئيسي Φ_H والفيض Φ_S غير متساويين ومزاحين عن بعضهما فراغياً بزاوية أقل من 90^{o}، هذا الانزياح سينشأ عنه حقل مغناطيسي دوراني غير متناظر وإنما اهليلجي ولكن قادر على توليد عزم اقلاع يعادل ($20\%-50\%\ T_n$). استطاعة خرج هذه المحركات صغيرة نسبياً بسبب الضياعات الناتجة في الحلقات المقصورة وبالتالي مردودها صغير ($25\%-40\%$)، لذلك يتم استثمار هذه المحركات في التطبيقات ذات الاستطاعات الصغيرة و التي لا تحتاج إلى عزوم اقلاع عالية كالمراوح ومجففات الشعر وألعاب الأطفال وآلات الحلاقة وغيرها.

تتابع المجالات المغناطيسية بسبب انزياح طور التيارات الكهربائية على أقطاب العضو الثابت كالآتي: من القطب الرئيسي (1) إلى القطب المشقوق (1)، ومن القطب الرئيسي (2) إلى القطب المشقوق (2). بالتالي يكون اتجاه الدوران من القطب الرئيسي إلى القطب المشقوق.

لعكس اتجاه دوران هذا محرك لابد من تصميمه بطريقة خاصة، يتضمن ذلك التصميم تشكيل أربعة أقطاب مشقوقة حول العضو الدوار (على يمينه اثنان وعلى يساره اثنان) أو تجهيز المحرك بمجرى إضافي في الجهة المقابلة للجهة التي بها الحلقة المقصورة، ويتم نقل الحلقة التي تمثل لفة مقصورة على نفسها إلى هذه المجرى، وفي حالة عدم وجود هذه المجرى أو صعوبة نقل الحلقة فيمكن تبديل وضع العضو الدائر بالنسبة إلى العضو الثابت، ولكن يشترط لذلك أن يبقى الجزء الحديدي للعضو الدائر أمام الجزء الحديدي للعضو الثابت تماماً من دون أي إزاحة.

٦-٦- عكس اتجاه وتغيير سرعة المحركات المتناوبة أحادية الطور :

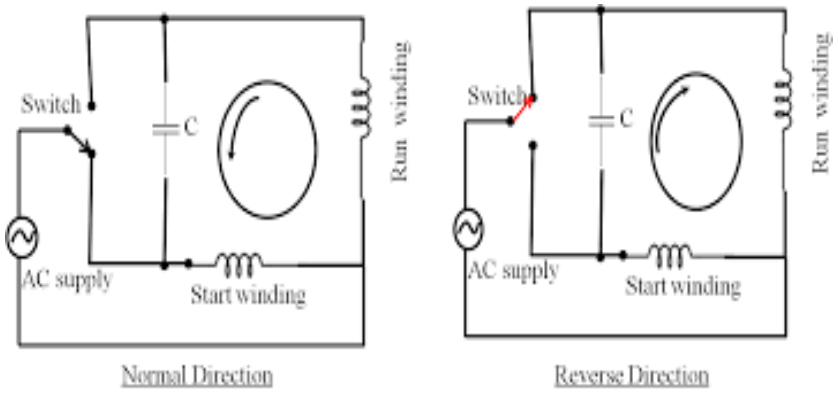
Direction Reverse And Speed Varying Of Single Phase Motors

٦-٦-١- عكس اتجاه المحركات المتناوبة أحادية الطور :

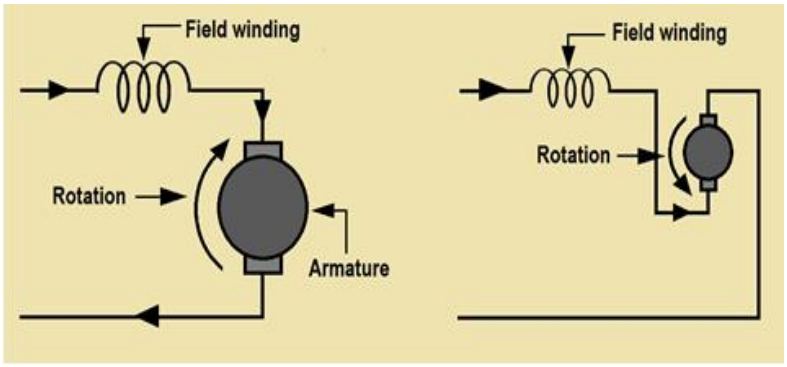
إن محركات التيار المتناوب أحادية الطور تصمم بشكل عام لتعمل باتجاه واحد، ومع ذلك يمكن وباستخدام تقنية معينة جعلها تدور بالاتجاه المعاكس لاتجاه دورانها الأصلي. يمكن عكس اتجاه دوران المحركات ذات الطور المشطور وذات مكثفة الاقلاع بتبديل قطبية أحد الملفين (الملف الرئيسي أو الملف المساعد) بالنسبة إلى الآخر كما يوضح الشكل (٦-٢٩)، يتم تحقيق ذلك عن طريق تبديل التوصيلات

في علبة المرابط للمحرك، و يجب أن يتباطأ المحرك قبل عكس اتجاه دورانه خاصة في المحركات التي تحتوي على مفتاح أو تماس يعمل بالقوة النابذة حتى يتمكن التماس من الإغلاق.

المحركات أحادية الطور ذات الاقطاب المظللة يمكن عكس اتجاه دورانها كما رأينا بعكس وضع وشيعة التظليل بالنسبة إلى القطب، أما المحركات العامة ذات التيار المتناوب فيتم عكس اتجاه دورانها بالطريقة المستخدمة ذاتها في محركات التيار المستمر (عكس التوصيلات)، كما يبين الشكل (٦-٣٠).



الشكل (٦-٢٩): عكس اتجاه دوران المحركات أحادية الطور ذات المكثف



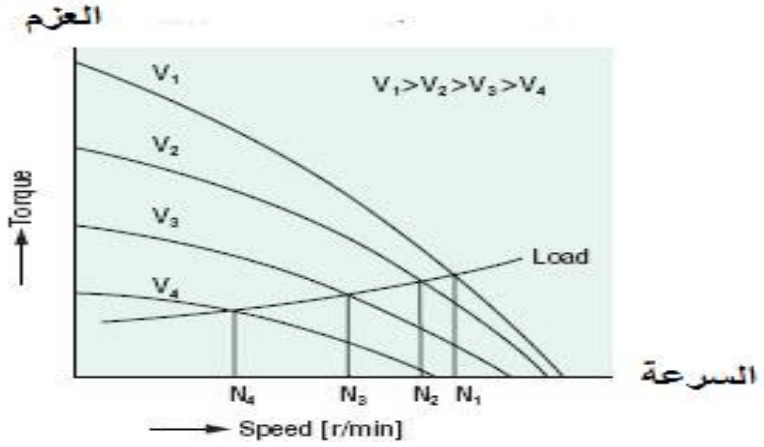
الشكل (٦-٣٠): عكس اتجاه دوران المحركات العامة أحادية الطور (التسلسلية)

٦-٦-٢- تغيير سرعة المحركات المتناوبة أحادية الطور :

إن أبسط طريقة لتغيير سرعة ومميزات العزم-سرعة للمحركات التحريضية أحادية الطور هي طريقة تغيير جهد التغذية. هذه الطريقة تتضمن تخفيض الجهد المطبق على ملف الثابت (في المحركات التحريضية التقليدية) أو على ملف المتحرض في حالة المحركات العامة أو التسلسلية. في المحركات التحريضية ينتج عن تخفيض الجهد تخفيض في العزم و ازدياد في انزلاق المحرك. في المحركات العامة أو التسلسلية تعد هذه الطريقة مناسبة للتحكم بالسرعة عن طريق التحكم بجهد المتحرض أو التحكم بالفيض المغناطيسي.

بما أن عزم المحرك المتناوب أحادي الطور ينشأ عن فيضين دوارين متعاكسين لذلك فإن انزلاق المحرك أحادي الطور سيكون أكثر حساسية لتغيرات جهد التهييج من المحركات ثلاثية الطور.

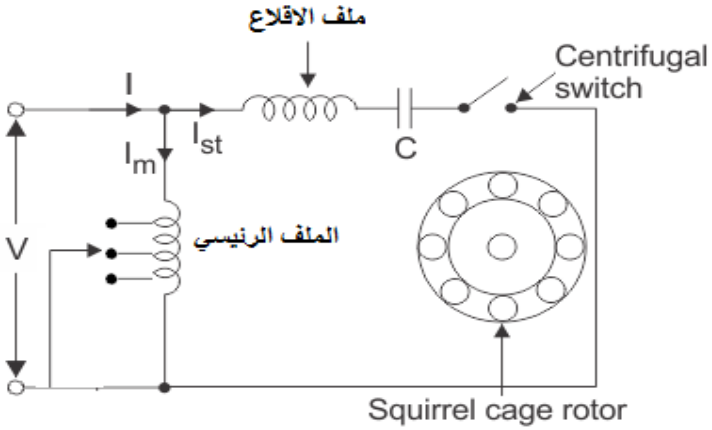
يبين الشكل (٦-٣١) تأثير تغيير جهد التغذية على مميزات المحرك أحادي الطور، فمن أجل أي قيمة للحمولة فإن تخفيض جهد الثابت سيؤدي إلى تخفيض موافق في السرعة (زيادة في الانزلاق). بما أن العزم يتعلق بمربع الجهد لذلك فإن منحني العزم-سرعة عند 50% من الجهد الاسمي يساوي 25% من منحني العزم عند الجهد الاسمي.



الشكل (٦-٣١): تغير مميزات المحرك أحادي الطور مع جهد التغذية

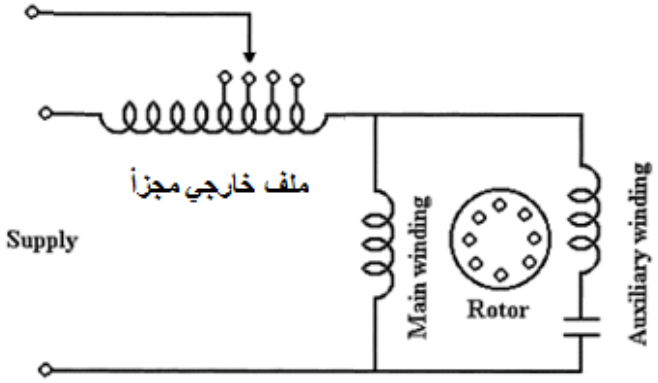
لتغيير سرعة المحرك أحادي الطور بتغيير جهد الجزء الثابت هناك ثلاث طرق رئيسية :

الطريقة الأولى : هي طريقة تجزئة ملف المحرك الأساسي(ملف الدوران)، في هذه الطريقة يتم تجزئة ملف الثابت إلى أقسام عدة كما يوضح الشكل (٦-٣٢). أعلى سرعة يمكن الحصول عليها عند تطبيق جهد التغذية على أصغر جزء من الملف الرئيسي، وأخفض سرعة يمكن الحصول عليها عند تطبيق جهد التغذية على كامل الملف. إن التدفق المغناطيسي للآلة يعتمد على النسبة (E/N) حيث N عدد لفات الملف الرئيسي، بتخفيض عدد لفات الثابت من أجل قيمة الجهد نفسها المطبقة فإن تدفق المحرك سيزداد، وكذلك تيار وعزم الدوار، وهذا بدوره سيزيد من سرعة المحرك نظراً لزيادة نسبة الفولت- لفة. كما يجب الانتباه إلى ضرورة تحمل أجزاء الملف لجهد التغذية.



الشكل (٦-٣٢): تجزئة ملف المحرك الرئيسي لتغيير سرعته

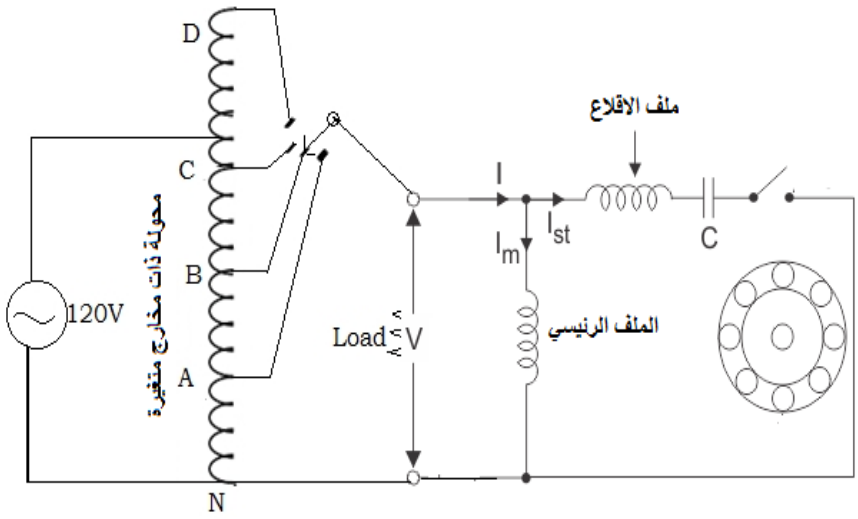
الطريقة الثانية : تعتمد على استخدام ملف تسلسلي خارجي مجزأ أو مقاومة كما يبين الشكل(٦-٣٣). هذا الملف يكون بمنزلة مقسم جهد، وجود هذا الملف على التسلسل مع ملف ثابت المحرك سيؤمن هبوطاً في جهد التغذية، فاستخدامه بشكل كامل سينتج عنه أكبر هبوط جهد وبالتالي أقل جهد مطبق على ملف المحرك الأساسي.



الشكل (٦-٣٣): طريقة الملف الخارجي المجزأ لتغيير السرعة

كما أن هبوط الجهد على الملف الخارجي يرتبط أيضاً بتيار الحمولة، فكلما زاد تيار الحمولة كلما زاد هبوط الجهد على الملف و انخفض جهد المحرك ونقصت بالنتيجة السرعة. هذه الطريقة يمكن استخدامها في أي محرك أحادي الطور إلا أن سيئتها تكمن في التنظيم الضعيف للسرعة.

الطريقة الثالثة : تعتمد هذه الطريقة على استخدام محولة تغذية ذات مخارج متعددة كما هو موضح بالشكل (٦-٣٤) ، بحيث كل مخرج يقابل قيمة معينة للجهد الذي سيطبق على المحرك. هذه الطريقة تؤمن تنظيماً أفضل للسرعة من طريقة الملف الخارجي المجزأ وخاصة عند السرعات المنخفضة و المتوسطة.



الشكل (٦-٣٤): استخدام محولة خارجية متغيرة لتغير جهد تغذية المحرك أحادي الطور