مقرر الآلات المتناوبة
السنة الثالثة تغذية
المحاضرة الثانية

إقلاع المحركات التحريضية

المميزات الاصطناعية للمحركات التحريضية ثلاثية الطور :

بالعودة إلى المميزة الطبيعية 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.

$$T_{st} = \frac{2.T_{max}}{\frac{1}{s_{cr}} + s_{cr}}$$

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، أما عندما يكون (s >1) فإن المحرك يعمل كمولدة (يقدم استطاعة إلى الشبكة الكهربائية).

نحصل على المميزات الاصطناعية لمحركات التيار المتناوبة التحريضية ذات الدائر الملفوف عند إضافة مقاومة خارجية إلى ملفات الدائر. إن العزم الأعظمي في المحركات التحريضية، 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:

$$s_{cr,L} = \frac{R_2' + R_L}{X_1 + X_2'}$$

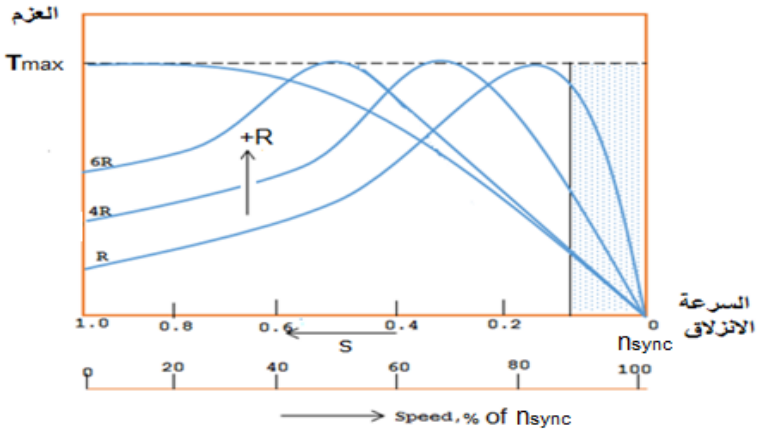
حيث $\boldsymbol{R_L}$ هي قيمة مقاومة الحمل الخارجية المضافة إلى ملف الدائر.

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 :

$$T_{ind} = \frac{2.T_{max}}{\frac{s}{s_{cr,L}} + \frac{s_{cr,L}}{s}}$$

١- أثر تغيير مقاومة الدائر

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



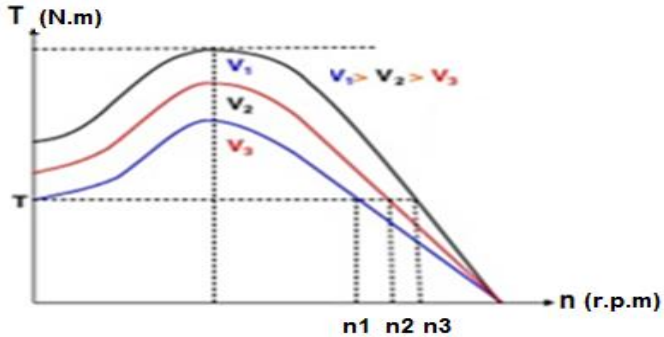
المميزات الاصطناعية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور ذو الدائر الملفوف

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 اللاحمل من النقطة الموافقة للسرعة التزامنية (n_{sync}). أما عزم الإقلاع فإنه يزداد مع زيادة المقاومة المضافة، ويمكن أن يصل عند قيمة محددة لمقاومة الدائر إلى قيمة العزم الأعظمي وذلك عندما (s =1).

٢- 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 أثر تغيير جهد التغذية على المميزة الميكانيكية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور.

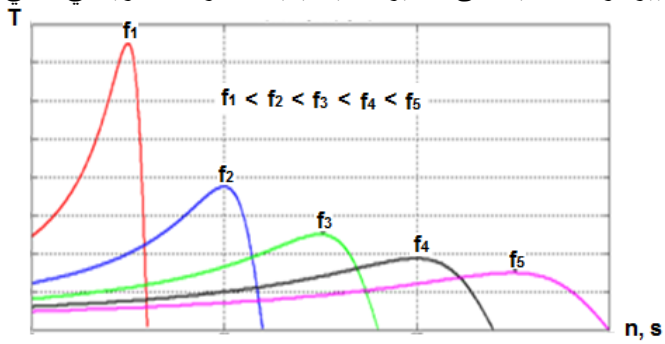


أثر تغيير جهد التغذية على المميزة الميكانيكية للمحرك التحريضي

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.

٣- 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 توضح المعادلة (٦-١٤). كما أن زيادة سرعة دوران المحرك مع التردد سيقابلها تناقص في انزلاق المحرك. يبين الشكل أثر تغيير تردد التغذية على المميزة الميكانيكية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور.



أثر تغيير تردد التغذية على المميزة الميكانيكية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور

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 ألا 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.

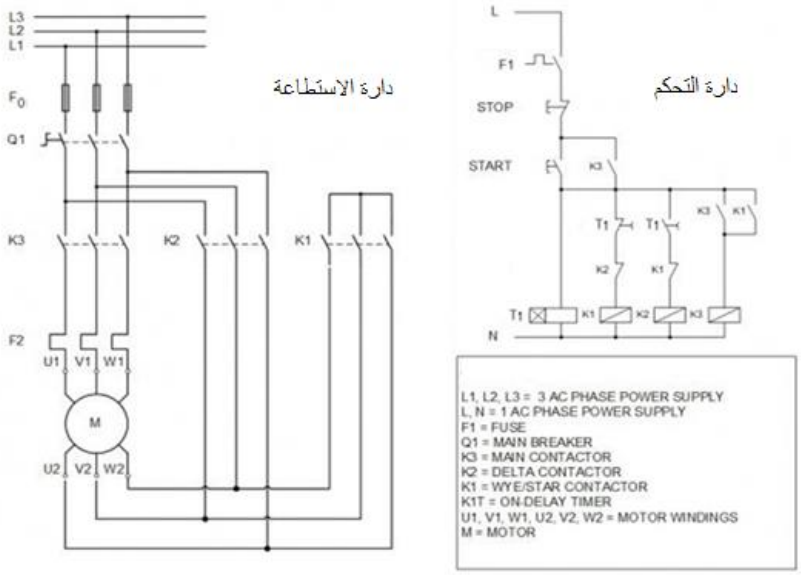
طرق إقلاع المحركات التحريضية :

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.

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

الوصل النجمي لحظة الإقلاع يساعد على إنقاص تيار الثابت لحظة الإقلاع 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 النسبة بين جهد الطور وجهد الخط.

يبين الشكل دارة القدرة والتحكم بإقلاع محرك تحريضي ثلاثي الطور بشكل نجمي مثلثي.

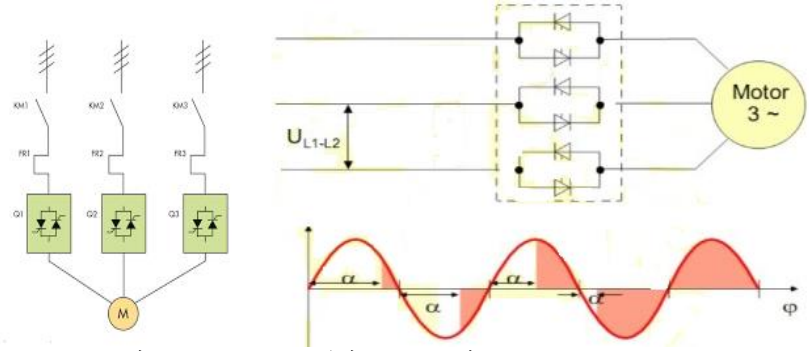


دارة القدرة والتحكم بإقلاع محرك تحريضي ثلاثي الطور بشكل نجمي مثلثي

٢- الإقلاع الناعم للمحركات التحريضية (Soft Starter) :

نتيجة للتطور الهائل في مجال إلكترونيات 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، ويمكن استخدامها أيضاً في حالات الكبح. يتكون جهاز الإقلاع الناعم بشكل رئيسي من ثايرستورات استطاعة (ثايرستورين في كل طور لضمان تمرير الإشارة في الاتجاهين)، ويكون جهد خرج هذه الثايرستورات منظماً بوساطة دارة إلكترونية تراقب مراحل تطور إقلاع المحرك.

الثايرستورات المستخدمة تعطي في خرجها جهداً متغيراً وذلك حسب قيمة زاوية اشعال البوابة كما يوضح الشكل.



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.

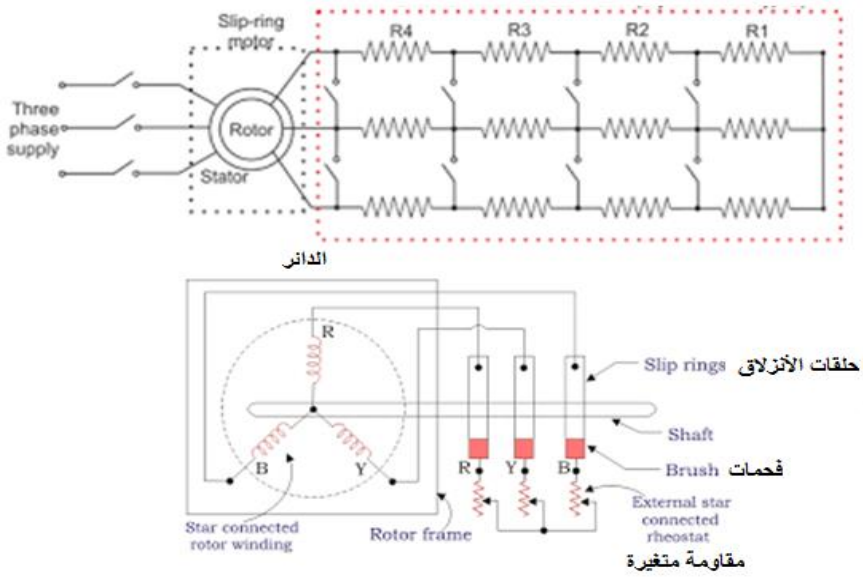
من مزايا هذه الطريقة هي إلغاء الاهتزازات الفجائية المزعجة أثناء الإقلاع، فالجهد والعزم يزدادان بشكل تدريجي وتتسارع الآلة بشكل ناعم وسلس حتى الوصول إلى السرعة الإسمية. ومن المزايا الأخرى أيضاً هي امكانية ضبط العزم عند القيمة الدقيقة وذلك في جميع حالات عمل المحرك (محملاً أم غير محمل).

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 الإقلاع 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 إلكتروني للحماية من التيارات الزائدة Electronic Over Load(EOL).

- الإقلاع بإضافة مقاومات إلى ملفات الدائر :

تبين المعادلة 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. 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.



إقلاع المحرك التحريضي ذو الدائر الملفوف باستخدام مقاومات إقلاع

٢- مميزات وإقلاع المحركات المتواقتة :

Characteristics and Starting of Synchronous Motor

- مميزات المحركات المتواقتة :

ما يميز المحركات المتواقتة هو دورانها بسرعة ثابتة ندعوها بسرعة التواقت، هذه السرعة الميكانيكية تساوي سرعة الساحة المغناطيسية التي تولدها تيارات الثابت ($\mathbf{n_{sync} = n_m}$). 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 تصميم هذه المحركات كي تعمل عند استطاعات كبيرة تزيد عن 2000 KWفتصبح 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.

طرق إقلاع المحركات المتواقتة :

في المحركات المتواقتة يتم تغذية ملفات الدائر من مصدر تيار مستمر، تيار التهييج هذا سينتج حقلاً مغناطيسياً ثابتاً ($\mathbf{B_r}$)، بينما تيارات الجزء الثابت المتناوبة ستنتج حقلاً مغناطيسياً دواراً ($\mathbf{B_s}$) يدور بسرعة التواقت ($\mathbf{n_1}$). 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.

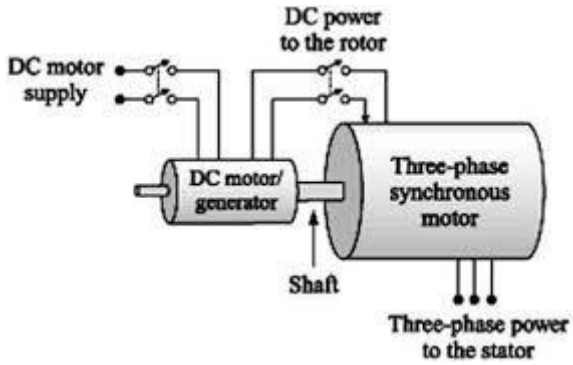
من الطرق المتبعة لإقلاع المحرك المتواقت نذكر :

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.

- إقلاع المحرك المتواقت باستخدام محرك خارجي :

في هذه الطريقة يتم إقلاع المحرك المتواقت عن طريق ربط محوره بمحرك خارجي مساعد، 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 إلاّ أن يتغلب على عزم عطالة الآلة المتواقتة من دون حمولة.



إقلاع المحرك المتواقت باستخدام محرك خارجي

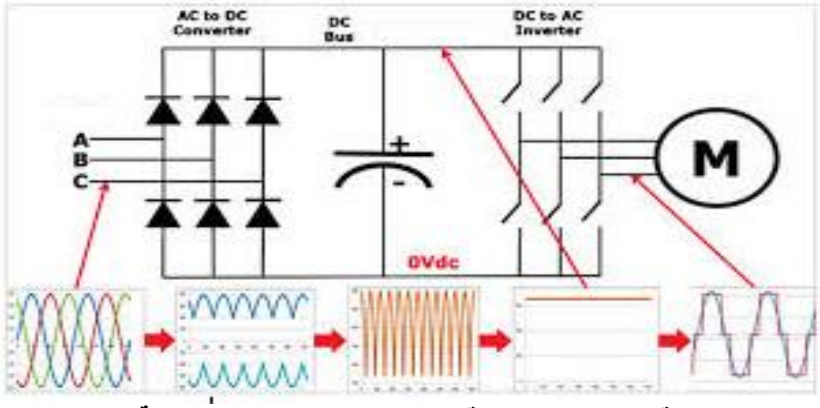
إقلاع المحرك المتواقت باستخدام ملفات مساعدة :

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. 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.

_ 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، كما يبين الشكل، حديثة قادرة على تزويد المحرك بترددات متغيرة من أجزاء الهرتز إلى قيمة أكبر من تردد التغذية.



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 الإلكترونية الحديثة.