

آلات التيار المتردد

المحركات الحثية

المحركات الحثية

المحركات الحثية

Induction Motors

الجدارة: معرفة أنواع وتركيب ونظرية عمل وخواص المحركات الحثية ثلاثية وأحادية الأوجه وطرق بدء حركتها واستخداماتها.

الأهداف: عندما يكمل المتدرب هذه الوحدة يكون قد تمكن بإذن الله من تحقيق الأهداف والمهارات التالية:

١. الإلمام بأنواع وتركيب واستخدامات المحركات الحثية
٢. الإلمام بكيفية توليد المجال المغناطيسي الدوار في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه.
٣. فهم نظرية عمل المحركات الحثية ثلاثية الأوجه.
٤. الإلمام بخواص المحركات الحثية ثلاثية الأوجه
٥. إجراء الاختبارات على المحركات الحثية ثلاثية الأوجه.
٦. حساب ثوابت الدائرة المكافئة للمحركات الحثية ثلاثية الأوجه.
٧. الإلمام بكيفية حساب القدرة والعزم والكفاءة.
٨. الإلمام بكيفية التحكم في سرعة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه.
٩. الإلمام بطرق بدء الحركة للمحركات الحثية ثلاثية الأوجه.
١٠. الإلمام بأنواع وخواص وتطبيقات المحركات الحثية أحادية الوجه.
١١. معرفة تركيب وكيفية عمل الأنواع المختلفة من المحركات الحثية أحادية الوجه.
١٢. فهم كيفية تحليل المجال المغناطيسي إلى مجالين دوارين كأساس لحساب العزم المتولد في المحركات الحثية أحادية الوجه.
١٣. معرفة استخدامات المحركات الحثية أحادية الوجه.
١٤. التمييز بين الطرق المختلفة لبدء حركة المحركات الحثية أحادية الوجه ومميزات كل منها.
١٥. معرفة منحنيات الخواص لأنواع المحركات الحثية أحادية الوجه.

الوقت المتوقع للتدريب: ٢٦ ساعة.

الوسائل المساعدة: التجارب العملية المتعلقة بهذه الوحدة في حقيبة مختبر الآلات الكهربائية

متطلبات الجدارة: يجب أن يكون المتدرب قد أتم دراسة حقيبة آلات التيار المستمر والمحولات لشعبة القوى الكهربائية، وحقيبة الدوائر الكهربائية - ٢.

المحركات الحثية

Induction Motors

Three Phase Induction Motors:

المحركات الحثية ثلاثية الأوجه :

تمهيد :

- يعتبر المحرك الحثي متعدد الأوجه الذي قام باختراعه نيقولا تسلا عام ١٨٨٦م الأكثر انتشاراً في عالم الصناعة حتى يومنا هذا ، جاء هذا الانتشار الواسع لهذا المحرك نتيجة لما يتمتع به من مزايا مثل:
- بساطة ومتانة التركيب.
 - انخفاض الثمن مقارنة بالمحركات الأخرى.
 - لا يحتاج لصيانة.
 - إمكانية تصميمه بقدرات تتراوح من جزء الحصان إلى أكثر من عشرة آلاف حصان.
 - لا يحتاج إلى تيار للمجال كما في المحركات الأخرى.

ومن عيوب هذا المحرك:

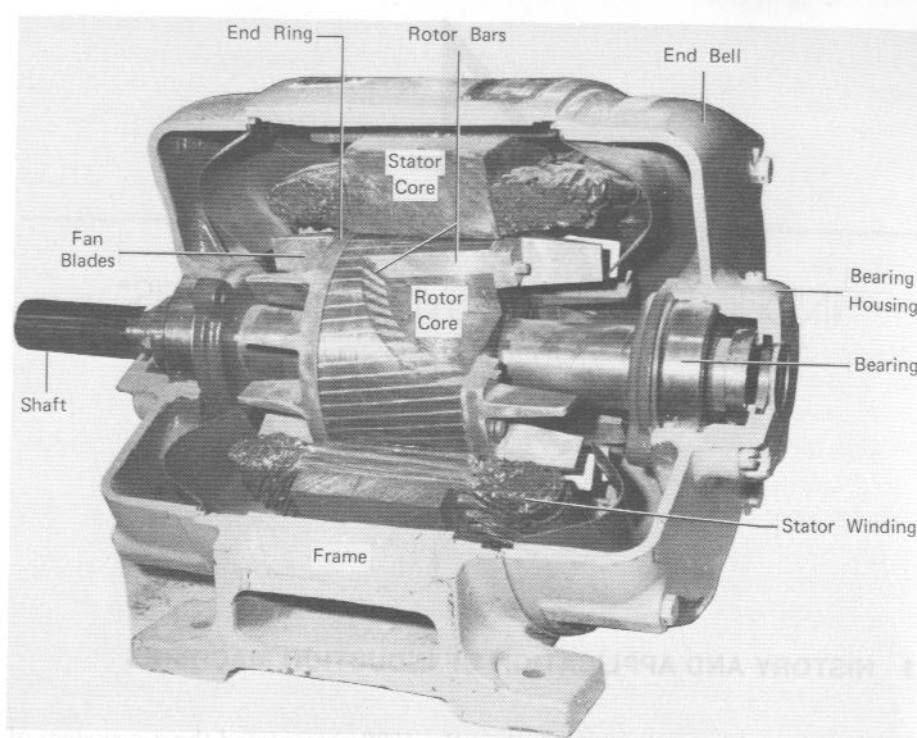
- صعوبة التحكم في سرعته.
- تيار البدء لهذا المحرك عالٍ (٥ - ٧) أضعاف تيار الحمل الكامل)
- معامل القدرة منخفض عند الأحمال الخفيفة.

لذا فإن مميزات هذه المحركات تفوق عيوبها في معظم التطبيقات الصناعية التي لا تتطلب تغييراً في السرعة كما أنه وجد حديثاً وسائل تحكم إلكترونية أدت إلى التغلب على هذه العيوب.

سميت المحركات الحثية بهذا الاسم لان الجهود والتيارات المتولدة في ملفات العضو الدائر تتولد بالحث (Induction) من تأثير التيارات المترددة بملفات العضو الثابت، تماماً كما يحدث في المحولات، لذلك يمكن اعتبار المحرك الحثي محولاً دواراً، ملفاته الابتدائية ثابتة و ملفاته الثانوية حرة للحركة الدورانية.

١- تركيب المحركات الحثية ثلاثية الأوجه :

المحرك الحثي ثلاثي الأوجه يتركب من عضوين رئيسيين هما العضو الثابت Stator والعضو الدائر Rotor، كما في الشكل (١- ١).



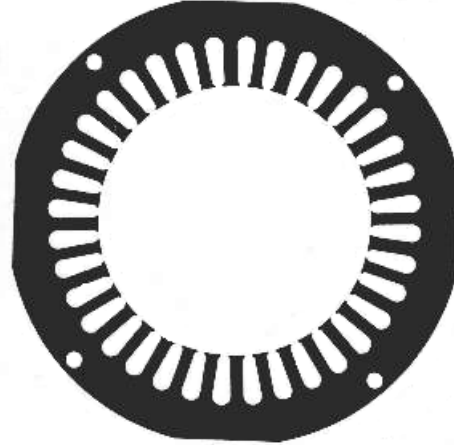
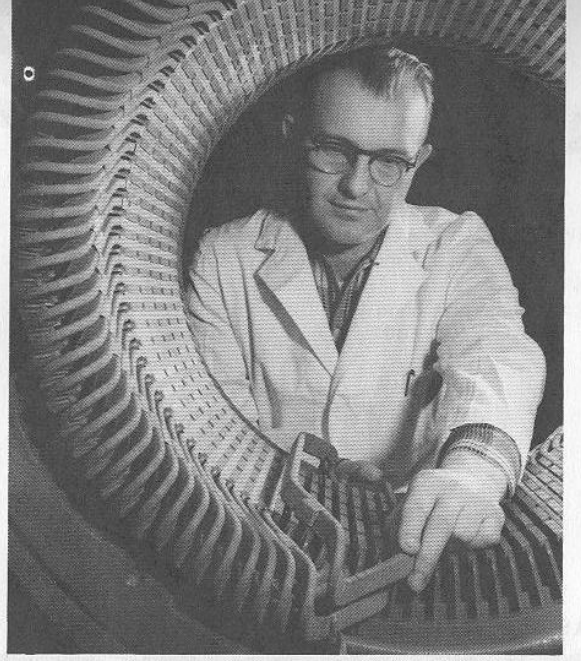
شكل ١- ١: مقطع في محرك حثي ثلاثي الأوجه

١- ١- ١ تكوين العضو الثابت:

العضو الثابت يتكون كما في الشكل (١- ٢)، من شرائح متراصة من الحديد المغناطيسي تتراوح سماكتها من ٠,٣ إلى ٠,٦ مم حسب حجم المحرك، هذه الشرائح معزولة عن بعضها البعض بعازل كهربائي بحيث تكون مع بعضها البعض جسماً أسطوانياً محفوراً بداخله عدد من المجاري لاحتواء الملفات الثلاثية، الشكل (١- ٢).

الهدف من تصنيع العضو الثابت من شرائح متراصة من الحديد المغناطيسي هو التقليل من القدرة المفقودة نتيجة للتيارات الدوامية وبالتالي من حرارة الحديد التي تتكون بسبب تعرض الحديد للمجال المغناطيسي المتغير داخل المحرك، وبعد اكتمال تصنيع العضو الثابت بهذه الطريقة يتم تقسيمه إلى العدد المطلوب من الأقطاب وتقسم المجاري التي تخص كل قطب على الأوجه الثلاثة، بعد ذلك يتم تركيب ملفات كل وجه في المجاري الخاصة به تحت كل قطب، بحيث يفصل بين كل وجه وآخر ١٢٠ درجة

كهربائية، في نهاية عملية اللف يكون قد تم تركيب ثلاثة ملفات في العضو الثابت لكل ملف طرفان، هذه الأطراف الستة يتم تغذية العضو الثابت من خلالها بعد توصيلها إما على شكل نجمة أو دلتا.



الشكل ١ - ٢: اليمين شريحة عضو ثابت
والى اليسار العضو الثابت لمحرك كبير أثناء
إدخال الملفات داخل المجاري

١ - ٢ تكوين العضو الدائر:

يوجد منه نوعان مختلفان في تكوينهما، وإن كانت خواصهما الكهربائية متقاربة جداً. يُسمَّى المحرك عادةً باسم عضوه الدائر، للتمييز بين نوعين من المحركات الحثية ثلاثية الأوجه، هما المحركات ذات الحلقات الانزلاقية (Slip-ring motors) وتسمى أيضاً المحركات ذات العضو الدائر الملفوف، (Wound rotor motors) والمحركات ذات القفص السنجابي (Squirrel cage motors).

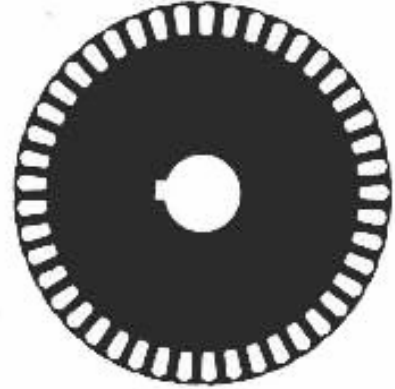
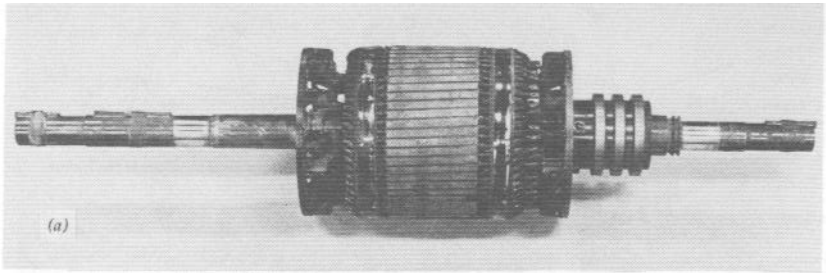
(Wound Rotor)

أ- العضو الدائر ذو حلقات الانزلاق:

يتكون العضو الدائر في المحركات ذات الحلقات الانزلاقية من جسم اسطواني من رقائق الحديد المغناطيسي المعزولة عن بعضها البعض، وبه مجاري على سطحه الخارجي تحتوي على ملفات ثلاثية الأوجه، يتم ترتيبها في المجاري على نحو مماثل لترتيب الملفات في العضو الثابت.

أي أن العضو الدائر يقسم إلى عدد من الأقطاب الذي يجب أن يكون مساوياً لأقطاب العضو الثابت الذي سيركب فيه وتقسم مجاري كل قطب إلى ثلاثة أقسام، كل قسم يركب فيه ملفات أحد الأوجه الثلاثة بحيث يكون بين كل وجه وآخر ١٢٠ درجة كهربائية. لذلك يطلق عليه اسم العضو الدائر الملفوف (Wound rotor). ويتم توصيل ملفات العضو الدائر الثلاثية على شكل نجمة أو دلتا، كما

توصل الأطراف في الحالتين إلى ثلاث حلقات انزلاقية (Slip Rings) مركبة على نفس عمود الإدارة للمحرك وتدور معه، الشكل (١ - ٣). يمكن توصيل ملفات العضو الدائر بناء على ذلك إلى أية دائرة خارجية ثلاثية الأوجه، مثل مقاومات ثلاثية الأوجه عن طريق فرش كربونية فوق الحلقات الانزلاقية، وذلك من أجل التحكم في بدء حركة المحرك أو في تنظيم سرعته، لذلك فإن هذا النوع من المحركات يتميز بإمكانية تغيير خواص تشغيله على نطاق واسع.



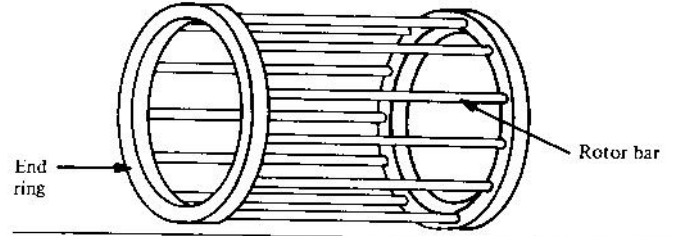
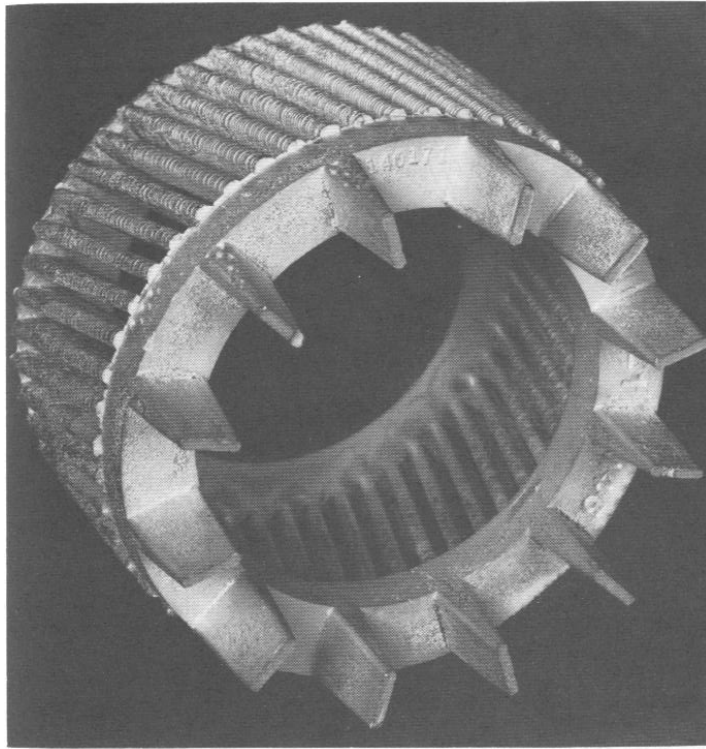
الشكل ١ - ٣: شريحة عضو دائر
والى اليمين (a): عضو دائر ملفوف
(b) عضو دائر ذو قفص سنجابي

(Squirrel-cage rotor)

ب- العضو الدائر ذو القفص السنجابي:

العضو الدائر ذو القفص السنجابي يتكون من جسم اسطواني من رقائق الحديد وبه مجارٍ على النحو السابق، ولكن بدلاً من الملفات ثلاثية الأوجه، التي توجد في النوع الأول، تصب داخل هذه المجاري قضبان من النحاس أو الألمنيوم وتتصل أطرافها من كل ناحية بحلقة متينة من نفس المعدن، بحيث تشبه القضبان والحلقتان في تكوينهما قفص السنجاب (Squirrel cage) كما في شكل (١ - ٣) و (٤ - ٤)، ومن ثم جاءت تسمية هذا النوع من المحركات بأنها ذات القفص السنجابي.

يكون تغيير خواص تشغيل هذا النوع من المحركات الحثية عن طريق العضو الثابت فقط، حيث إن القفص السنجابي للعضو الدائر ليس له أطراف يمكن الوصول إليها لتغيير خواص المحرك، كما أن قفص السنجاب يتواءم مع أي عدد من الأقطاب أو الأوجه للعضو الثابت الذي سيركب معه



الشكل ١ - ٤ : قضبان القفص السنجاوي ويظهر فيه قطبا النحاس أو الألمنيوم وحلقات القصر

٢ - ١ كيفية تكوين المجال المغناطيسي الدوار:

عند توصيل مصدر جهد كهربائي ثلاثي الأوجه، بين كل وجه وآخر ١٢٠ درجة كهربائية، إلى ملفات العضو الثابت والتي بين كل ملف وآخر منها زاوية فراغية قدرها ١٢٠ درجة، سيمر في هذه الملفات تيارات متزنة بين كل تيار وآخر ١٢٠ درجة، ونتيجة لمرور هذه التيارات بهذه الصفة في تلك الملفات سينشأ في الثغرة الهوائية مجال مغناطيسي دوار منتظم كما في الشكل (١ - ٥)، هذا المجال المغناطيسي يدور بسرعة تسمى السرعة التزامنية Synchronous speed وتحسب من المعادلة التالية:

$$n_s = \frac{120 \cdot f_s}{P} \quad \text{المعادلة (١ - ١)}$$

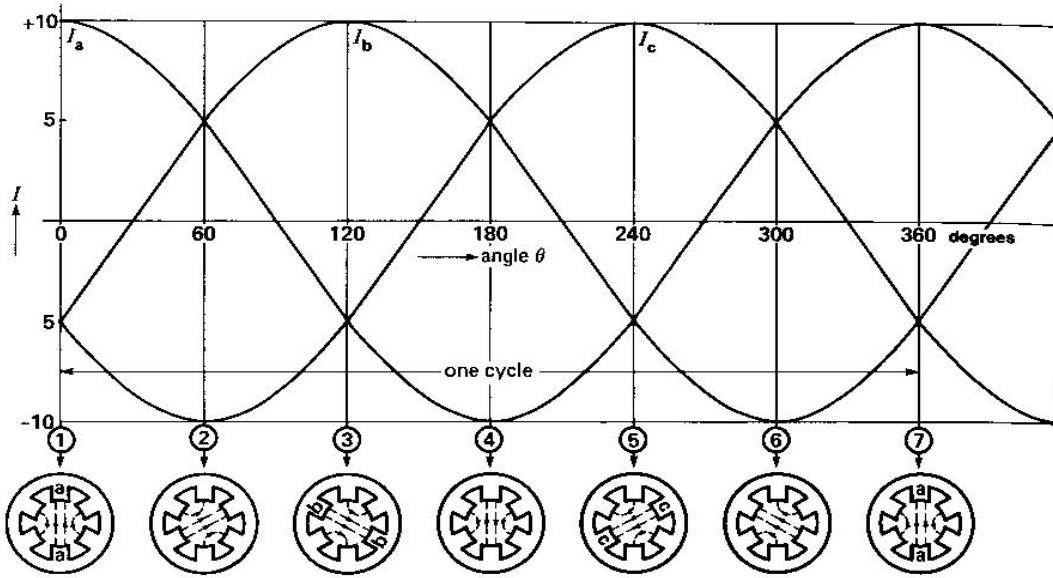
حيث:

n_s : السرعة التزامنية

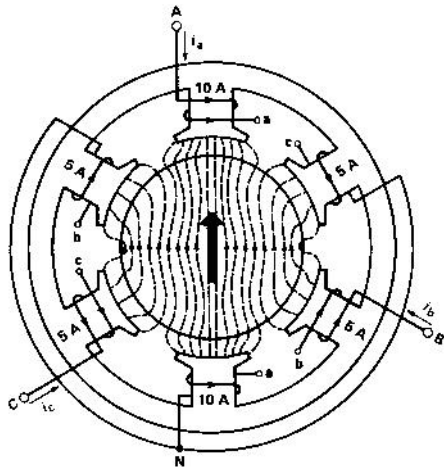
f_s : تردد تيار العضو الثابت

P : عدد أقطاب للآلة

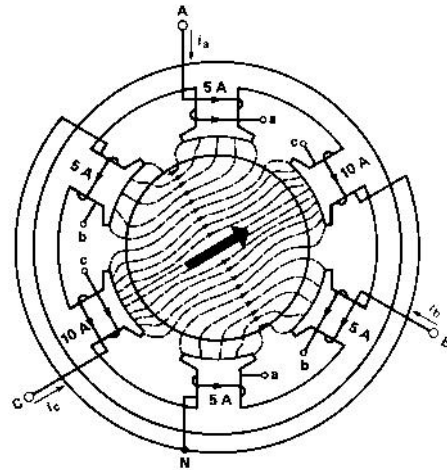
الشكل (١ - ٥) يوضح كيفية تكوين المجال المغناطيسي الدوار في محرك حثي ثلاثي الأوجه له قطبان لكل وجه، نتيجة لتغذية ملفات الثلاثية بتيار ثلاثي الأوجه.



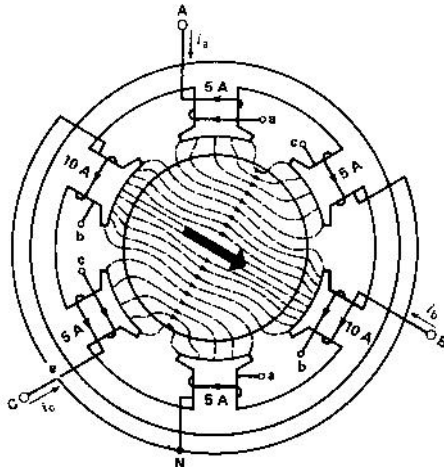
التيارات اللحظية في الأوجه الثلاثة لمحرك حثي ثلاثي الأوجه



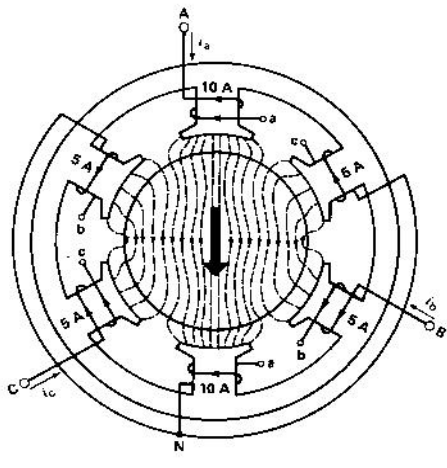
اللحظة الأولى عند الزاوية صفر



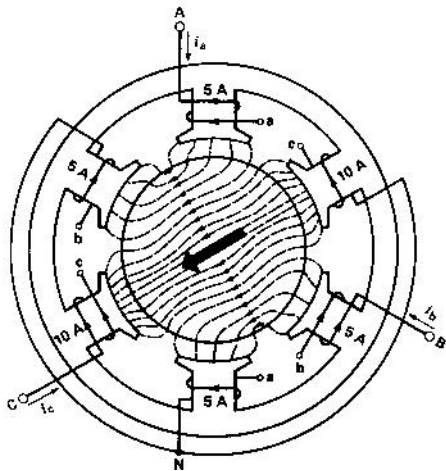
اللحظة الثانية عند الزاوية ٦٠ درجة



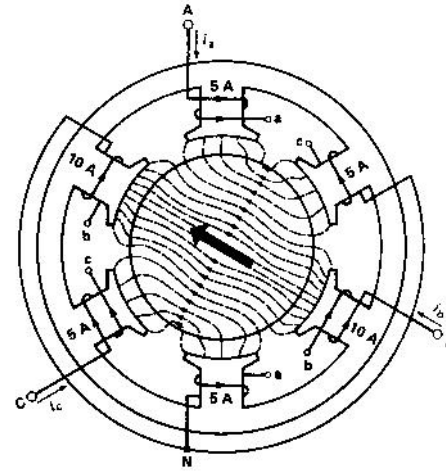
اللحظة الثالثة عند الزاوية ١٢٠ درجة



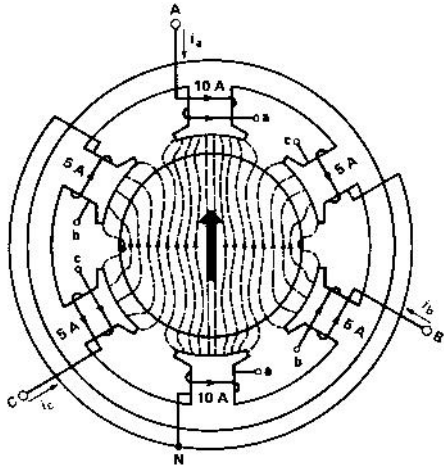
اللحظة الرابعة عند الزاوية ١٨٠ درجة



اللحظة الخامسة عند الزاوية ٢٤٠ درجة

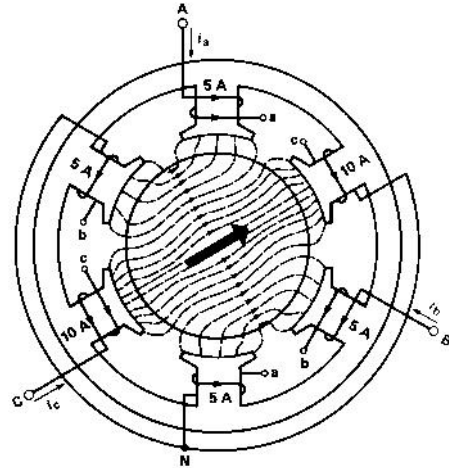


اللحظة السادسة عند الزاوية ٣٠٠ درجة



اللحظة السابعة عند الزاوية ٣٦٠ درجة

نفس اتجاه المجال عند اللحظة الأولى



اللحظة الثامنة عند الزاوية ٤٢٠ درجة

نفس اتجاه المجال عند اللحظة الثانية

الشكل (١ - ٥): كيفية تكوين المجال المغناطيسي الدوار لمحرك حثي ثلاثي الأوجه له قطبان لكل وجه

يتضح من تتبع اتجاه محصلة المجال الناتج عن الأوجه الثلاثة للمحرك، نتيجة لمرور التيارات اللحظية ثلاثية الأوجه بملفات تلك الأوجه، عند اللحظات المتتالية المبينة في الشكل (١ - ٥) أن المجال يدور ٦٠ درجة في الفراغ كلما مرت لحظة زمنية معينة، ويكتمل دوران المجال ٣٦٠ درجة كل ذبذبة كاملة للتيار، يتضح ذلك بمقارنة اتجاه المجال عند اللحظة السابعة باتجاه المجال عند اللحظة الأولى وكذلك بمقارنة اتجاه المجال عند اللحظة الثامنة باتجاه المجال عند اللحظة الثانية وهكذا.

١- ٣ كيفية عمل المحركات الحثية ثلاثية الأوجه :

عند توصيل أطراف العضو الثابت بمصدر الجهد فإنه سينشأ مجال مغناطيسي دوار، هذا المجال المغناطيسي الدوار سيولد قوة دافعة كهربائية في أي موصل كهربائي يقع ضمن نطاق تأثيره وذلك طبقاً لظاهرة الحث الكهرومغناطيسي، وحيث إن العضو الدائر يقع ضمن تأثير هذا المجال المغناطيسي الدوار فإنه سينشأ في موصلاته قوة دافعة كهربائية ثلاثية الأوجه، وبما إن موصلات العضو الدائر مقصورة من الطرفين فإنه سيمر فيها تيارات ثلاثية الأوجه بين كل وجهه وآخر ١٢٠ درجة ومن ثم سيتولد مجال مغناطيسي دوار آخر في الثغرة الهوائية نتيجةً لمرور تيارات ثلاثية الأوجه في موصلات العضو الدائر، إذا أصبح لدينا مجالان مغناطيسيان دواران الأول ناتج من العضو الثابت ويدور بالسرعة التزامنية (n_s) والثاني ناتج من العضو الدائر ويدور بسرعة ($n_s - n$) بالنسبة للعضو الدائر، حيث n هي سرعة العضو الدائر، ويدور بالسرعة التزامنية (n_s) بالنسبة للعضو الثابت. وحيث إن هذين المجالين المغناطيسيين يدوران بنفس السرعة والاتجاه فإنه سيتولد عزم فعال على العضو الدائر يؤدي إلى دورانه بنفس اتجاه دوران المجالين الشكل (١ - ٦)، هذا العزم يتناسب طردياً مع شدة المجالين وجيب الزاوية بينهما طبقاً للمعادلة (١ - ٢):

$$T \propto F_s \cdot F_r \cdot \sin(\delta_{sr}) \quad \text{المعادلة (١ - ٢)}$$

حيث:

T : العزم.

F_s : شدة المجال المغناطيسي في العضو الثابت.

F_r : شدة المجال المغناطيسي في العضو الدائر.

δ_{sr} : الزاوية بين مجال العضو الثابت ومجال العضو الدائر.

عندما يبدأ العضو الدائر بالتسارع، بدون حمل، فإن السرعة النسبية بين سرعة المجال المغناطيسي وسرعة العضو الدائر ستتناقص كلما زادت سرعة العضو الدائر طبقاً للمعادلة التالية:

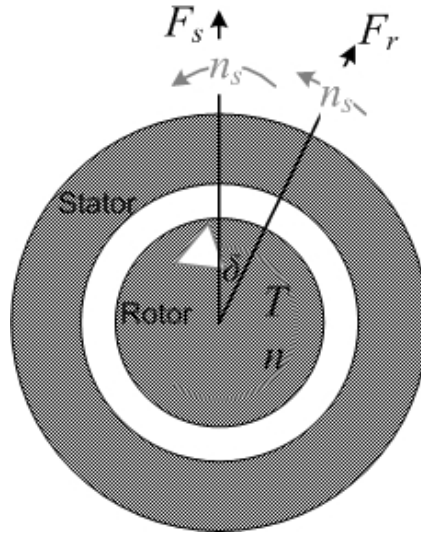
$$n_f = n_s - n \quad \text{المعادلة (١ - ٣)}$$

حيث:

n_f : سرعة قطع خطوط المجال المغناطيسي لموصلات العضو الدائر (أو السرعة النسبية).

بالتالي فإن القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بسبب الحث الكهرومغناطيسي في موصلات العضو الدائر ستتناقص مع ازدياد سرعة العضو الدائر، ذلك لأن هذه القوة المتولدة تتناسب طردياً مع السرعة النسبية بين الموصل والمجال الذي يتعرض له وبالتالي فإن قيمة التيارات المارة في موصلات العضو الدائر ستتناقص، وبالتالي ستتناقص أيضاً شدة المجال المغناطيسي الناشئ عنها، ومن ثم يقل العزم المتولد من العضو الدائر، وهكذا حتى تصل سرعة العضو الدائر إلى سرعة قريبة من السرعة التزامنية فتكون التيارات المتولدة في موصلات العضو الدائر صغيرة وبالتالي يضعف المجال المغناطيسي الناشئ عنها مما يؤدي إلى انخفاض العزم المؤثر على العضو الدائر، وعندما تستقر سرعة العضو الدائر عند اللاحمل فإن العزم المتولد من العضو الدائر يكون مساوياً لعزم الاحتكاك الذي يتعرض له العضو الدائر.

عند تحميل المحرك تقل سرعة العضو الدائر وينتج عن ذلك زيادة في سرعة قطع المجال المغناطيسي لموصلات العضو الدائر، مما يؤدي إلى زيادة قيم الجهود المتولدة والتيارات المارة في موصلاته وبالتالي زيادة شدة المجال المغناطيسي الناشئ عنها ومن ثم زيادة العزم المتولد من العضو الدائر، حتى تستقر سرعة العضو الدائر عند سرعة جديدة، عندها يكون العزم المتولد مساوياً لعزم الحمل.



شكل ١- ٦ المجالات المغناطيسية الدوارة في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه

١- الانزلاق؛

عندما يدور العضو الدائر بسرعة n لفة في الدقيقة، فإن السرعة النسبية بين المجال المغناطيسي الدائر بسرعة التزامن n_s وملفات العضو الدائر هي $(n_s - n)$ وتسمى سرعة الانزلاق (Slip speed)، هذه السرعة النسبية منسوبة إلى سرعة التزامن، تعطي ما يسمى بمعامل الانزلاق، أو الانزلاق (Slip) الذي يلعب دوراً كبيراً في تحديد خواص تشغيل المحركات الحثية، ويرمز للانزلاق بالرمز (s) وتتراوح قيمته

في المحركات الصغيرة ما بين ١٪ و ٢٪ وقد تصل إلى ٥٪ للمحركات الكبيرة في حالة عدم التحميل وعند التحميل يتراوح الانزلاق من ٣٪ إلى ٥٪، ويحسب من:

$$\text{Slip Speed} = n_{\text{slip}} = n_s - n$$

$$\text{Slip} = s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad \text{المعادلة (١ - ٤)}$$

$$\% \text{Slip} = s = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100\%$$

كما أن قيمة الانزلاق تساوي صفراً عندما يدور العضو الدائر بنفس السرعة التزامنية ($n=n_s$) وتساوي الواحد عندما يكون العضو الدائر في حالة السكون ($n=0$). ومن الممكن حساب سرعة العضو الدائر بدلالة السرعة التزامنية والانزلاق وذلك بعد إعادة ترتيب المعادلة (١ - ٤) كما يلي:

$$\text{Rotor speed} = n = n_s (1 - s) \quad \text{المعادلة (١ - ٥)}$$

١ - ٥ تردد الجهود والتيارات في العضو الدائر:

عندما يكون العضو الدائر في حالة سكون فإن السرعة النسبية بينه وبين المجال المغناطيسي الدوار هي n_s ، ولكن عندما يدور العضو الدائر بسرعة معينة n ، وهي تقابل انزلاقاً معيناً s طبقاً للمعادلة (١ - ٥) حيث تصبح سرعة المجال المغناطيسي الدائر بالنسبة لملفات العضو الدائر هي $(n_s - n)$ لفة في الدقيقة، بعد أن كانت n_s ، وبذلك تقل قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بالتأثير في ملفات العضو الدائر وكذلك يقل ترددها بنفس النسبة.

المحرك الحثي يعمل طبقاً لنظرية الحث الكهرومغناطيسي حيث يتولد الجهد والتيار في العضو الدائر طبقاً لهذا المبدأ كما هو الحال في المحول، لذلك فإنه أحياناً يسمى محولاً دواراً والابتدائي هو العضو الثابت والثانوي هو العضو الدائر ولكن لا يشابه المحول من حيث تردد الجهد والتيار في العضو الدائر (الثانوي). فعندما يكون العضو الدائر في حالة السكون فإن تردد التيارات المتولدة فيه هي نفسها تردد التيارات في العضو الثابت (كالمحول تماماً) بينما إذا كان العضو الدائر يدور بالسرعة التزامنية فإن تردد التيارات فيه يكون صفراً.

عندما يكون العضو الدائر ساكناً أي أن ($n=0$) فإن الانزلاق ($s=1$) ويكون تردد العضو الدائر مساوياً لتردد العضو الثابت ($f_r=f_s$).

عندما يدور العضو الدائر بالسرعة التزامنية أي أن $(n=n_s)$ فإن $(s=0)$ ويكون تردد العضو الدائر $(f_r=0)$.

عند أي سرعة للعضو الدائر بين الصفر والسرعة التزامنية فإن تردد التيار في العضو الدائر سيتناسب طردياً مع سرعة الانزلاق $(n_s - n)$ ، وبما أن الانزلاق هو سرعة الانزلاق منسوبة إلى السرعة التزامنية المعادلة (١ - ٤)، فإنه يمكن التعبير عن تردد التيارات في العضو الدائر بالمعادلة التالية:

$$f_r = s \cdot f_s \quad \text{المعادلة (١ - ٦)}$$

مثال (١ - ١):

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ستة أقطاب، يتغذى من مصدر جهده ٢٤٠ فولت وتردده ٦٠ هيرتز، فإذا كانت قيمة الانزلاق عند الحمل الكامل ٥٪ احسب ما يلي:

- السرعة التزامنية لهذا المحرك
 - سرعة العضو الدائر عند الحمل الكامل
 - تردد الجهد والتيار في العضو الدائر عند الحمل الكامل
- الحل:

$$\begin{aligned} n_s &= \frac{120 \cdot f_s}{P} = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 & \text{rpm} \\ n &= n_s (1 - s) = 1200 \times (1 - 0.05) = 1140 & \text{rpm} \\ f_r &= s \cdot f_s = 0.05 \times 60 = 3 & \text{Hz} \end{aligned}$$

مثال (١ - ٢):

محرك ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب يتغذى من مصدر تردده ٥٠ هيرتز، وسرعته عند الحمل الكامل ١٤٥٥ لفة في الدقيقة، احسب سرعة الانزلاق ومعامل الانزلاق عند الحمل الكامل.

الحل:

$$\begin{aligned} n_s &= \frac{120 \cdot f_s}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 & \text{rpm} \\ n_{slip} &= n_s - n = 1500 - 1455 = 45 & \text{rpm} \end{aligned}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1455}{1500} = 0.03 \quad \text{p.u.}$$

مثال (١ - ٣):

محرك حثي ذو ستة أقطاب يتغذى من مصدر تردده ٥٠ هيرتز، القوة الدافعة الكهربائية في العضو الدائر ترددها ٢,٥ هيرتز، احسب معامل الانزلاق وسرعة العضو الدائر.

الحل:

$$s = \frac{f_r}{f_s} = \frac{2.5}{50} = 0.05$$

$$n_s = \frac{120 \cdot f_s}{p} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \quad \text{rpm}$$

$$n = n_s \cdot (1 - s) = 1000 \times (1 - 0.05) = 950 \quad \text{rpm}$$

أسئلة وتمارين:

- ١- اذكر فائدتين للمحرك الحثي ذي العضو الدائر الملفوف على المحرك ذي القفص السنجابي.
- ٢- لماذا يصنع العضو الثابت والدائر من شرائح من الحديد؟
- ٣- الجهد والتردد المتولدان في العضو الدائر للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه ينخفضان كلما زادت سرعة المحرك. وضح السبب!
- ٤- اشرح كيفية توليد المجال المغناطيسي الدوار في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه.
- ٥- ماذا يحدث لسرعة وتيار العضو الدائر للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه عند زيادة الحمل الميكانيكي؟
- ٦- لماذا يدور العضو الدائر للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه، دائماً بسرعة أقل من سرعة المجال المغناطيسي الدوار؟
- ٧- ارسم رسماً يوضح كيفية دوران المجال المغناطيسي لمحرك حثي ثلاثي الأوجه يحتوي على ٤ أقطاب لكل وجه.
- ٨- ما الشروط اللازمة لتوليد مجال مغناطيسي دوار منتظم؟
- ٩- اشرح كيف يتولد عزم فعال يؤدي إلى دوران العضو الدائر.
- ١٠- هل يمكن أن تصل سرعة العضو الدائر إلى السرعة التزامنية؟
- ١١- عرف معامل الانزلاق.
- ١٢- يتركب المحرك الحثي ثلاثي الأوجه من جزئين رئيسيين هما.....
 - (أ) العضو الثابت والعضو الدائر.
 - (ب) العضو الثابت والمجال الدوار.
 - (ت) حلقات الانزلاق والفرش.
 - (ث) العضو الدائر وملفات المنتج.
- ١٣- في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه، السرعة النسبية بين المجال الدوار و..... تكون صفراً.
 - (أ) ملفات العضو الثابت
 - (ب) العضو الدائر.
 - (ت) مجال العضو الدائر.
 - (ث) الفراغ.
- ١٤- في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه، المجال المتولد عن العضو الدائر يدور بسرعة التزامن بالنسبة ل.....

- (أ) العضو الثابت.
- (ب) العضو الدائر.
- (ت) مجال العضو الثابت.
- (ث) لا شيء مما سبق.
- ١٥- أي الجمل الآتية غير صحيح فيما يختص بالمجال الدوار للعضو الثابت:
- (أ) قيمته ثابتة.
- (ب) يدور حول العضو الثابت بسرعة التزامن.
- (ت) يولد قوة دافعة كهربائية في ملفات العضو الدائر.
- (ث) قيمته تعتمد علي الحمل.
- ١٦- العضو الدائر للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه لا يمكنه أن يدور بسرعة التزامن، لأن:
- (أ) عزم الدوران سيصبح صفراً.
- (ب) قاعدة لنز لا تتحقق.
- (ت) المحرك الحثي سيتحول إلى محرك تزامني.
- (ث) مقاومة الهواء ستمنعه من الدوران.
- ١٧- أي من قيم الكميات الآتية للعضو الدائر لا تعتمد على الانزلاق:
- (أ) الممانعة.
- (ب) السرعة.
- (ت) القوة الدافعة الكهربائية المتولدة.
- (ث) التردد.
- (ج) المقاومة
- ١٨- املاً الفراغات بعبارة مناسبة، عند تحميل محرك حثي ثلاثي الأوجه، كان يدور أصلاً بدون حمل فإن:
- (أ) سرعته.....
- (ب) الانزلاق.....
- (ت) القوة الدافعة الكهربائية في العضو الدائر.....
- (ث) تيار العضو الدائر.....
- (ج) العزم المتولد.....

- (ح) العضو الدائر يستمر في الدوران بالانزلاق الذي يتساوي عنده العزم المتولد مع.....
- ١٩- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو قطبين يتغذى من مصدر تردده ٦٠ هيرتز، احسب سرعة العضو الدائر إذا كان تردد التيارات في العضو الدائر ٢ هيرتز.
- ٢٠- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ثمانية أقطاب يتغذى من مصدر تردده ٥ هيرتز، وسرعته عند الحمل الكامل ٧١٦ لفة في الدقيقة، احسب سرعة الانزلاق ومعامل الانزلاق عند الحمل الكامل.
- ٢١- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب يتغذى من مصدر تردده ٦٠ هيرتز، القوة الدافعة الكهربائية في العضو الدائر ترددها ٢,٧ هيرتز، احسب معامل الانزلاق وكذلك سرعة العضو الدائر.
- ٢٢- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو قطبين ملفاته موصلة على شكل نجمة يتغذى من مصدر جهده ٢٢٠ فولت وتردده ٦٠ هيرتز، فإذا كانت قيمة الانزلاق عند الحمل الكامل ٥٪ احسب ما يلي:
- (أ) السرعة التزامنية لهذا المحرك.
- (ب) سرعة العضو الدائر عند الحمل الكامل
- (ت) تردد الجهد والتيار في العضو الدائر عند الحمل الكامل
- ٢٣- محرك حثي ثلاثي الأوجه تردده ٦٠ هيرتز له ٨ أقطاب، ويعمل عند انزلاق ٠,٠٥ عند حمل معين. احسب ما يأتي بوحدة لفة في الدقيقة:
- (أ) سرعة دوران العضو الدائر بالنسبة للعضو الثابت.
- (ب) سرعة دوران العضو الدائر بالنسبة للمجال المغناطيسي للعضو الثابت.
- (ت) سرعة دوران المجال المغناطيسي للعضو الدائر بالنسبة لجسم العضو الدائر.
- (ث) سرعة المجال المغناطيسي للعضو الدائر بالنسبة للعضو الثابت.
- (ج) سرعة مجال العضو الدائر بالنسبة للمجال الناشئ عن العضو الثابت.

الإجابة:	(أ) ٨٥٥	(ب) ٤٥	(ت) ٤٥	(ث) ٩٠٠	(ج) صفر
----------	---------	--------	--------	---------	---------

- ٢٤- محرك حثي ثلاثي الأوجه له ٦ أقطاب يتغذى من مصدر تردده ٦٠ هيرتز ويدور (أ) عند اللاحمل بسرعة ١٦٠ لفة في الدقيقة (ب) عند الحمل الكامل بسرعة ١٠٩٢ لفة في الدقيقة. أوجد معامل الانزلاق وتردد تيار العضو الدائر عند حالتي اللاحمل والحمل الكامل.

الإجابة:	(أ) ٣,٤٪ ، ٢ هيرتز	(ب) ٩٪ ، ٥,٤ هيرتز.
----------	--------------------	---------------------

١- ٦ الدائرة المكافئة للمحركات الحثية ثلاثية الأوجه : The Equivalent Circuit

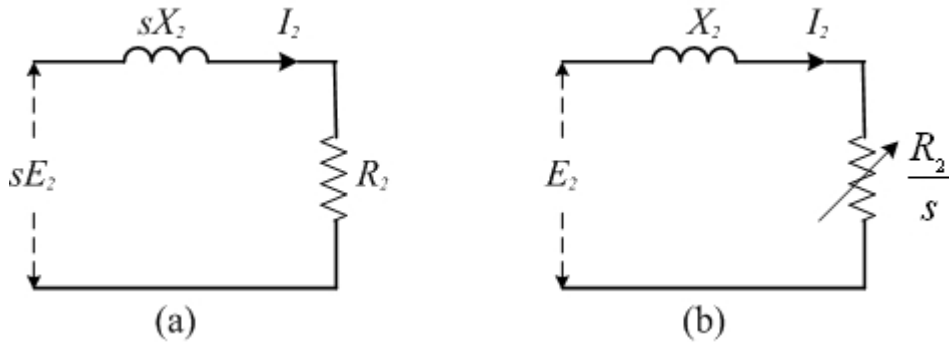
الدائرة المكافئة لوجه واحد من أوجه العضو الدوار يمكن رسمها كما هو مبين في الشكل (١-٧) - (٧) ومنها نحصل على تيار العضو الدائر I_2 من العلاقة:

$$I_2 = \frac{s \cdot E_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} \quad \text{المعادلة (١-٧)}$$

حيث تمثل E_2 القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في العضو الدائر عند السكون، X_2 تمثل ممانعة التسرب لكل وجه من العضو الدائر عند السكون، R_2 مقاومة العضو الدائر لكل وجه، (sE_2) تمثل القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في العضو الدائر عند انزلاق s ، (sX_2) تمثل ممانعة التسرب لكل وجه من العضو الدائر عند انزلاق s ، وبقسمة كل من بسط ومقام المعادلة (١-٧) على s نحصل على المعادلة (١-٨):

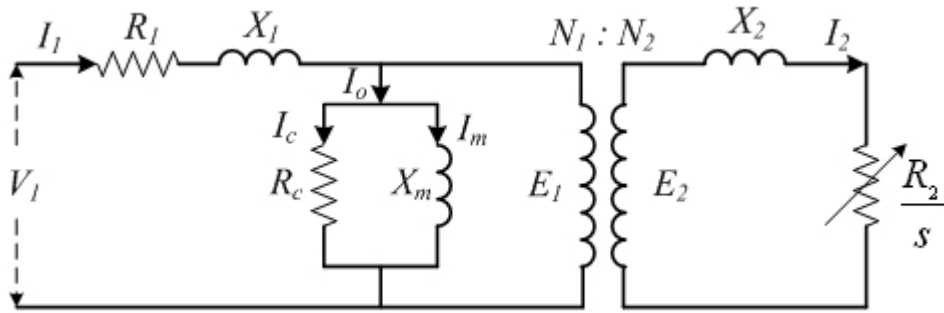
$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}} \quad \text{المعادلة (١-٨)}$$

وبإعادة رسم الدائرة المبينة في (١-٧) لتلاءم العلاقة (١-٨) تصبح كما في الشكل (١-٧) (٧)



الشكل ١-٧: الدائرة المكافئة لوجه واحد من العضو الدائر

وللحصول على دائرة مكافئة كاملة تتضمن أيضاً دائرة العضو الثابت، ننظر للمحرك الحثي كمحول يحتوي على ثغرة هوائية، وأيضاً على مقاومة متغيرة في دائرة الثانوي. وعلى ذلك فإن الجانب الابتدائي للمحول يناظر العضو الثابت للمحرك الحثي، بينما يناظر الثانوي العضو الدائر (على أساس الوجه الواحد). غير أنه بسبب الثغرة الهوائية نجد أن قيمة ممانعة التمغنط X_m للمحرك تميل إلى الانخفاض بالمقارنة بتلك التي تخص المحول. من الممكن أن نرسم الدائرة المكافئة لكل وجه من أوجه المحرك الحثي ثلاثي الأوجه، أسوة بالمحول، كما هو موضح في الشكل (١-٨):



الشكل (١ - ٨): الدائرة المكافئة لوجه واحد للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه

حيث:

R_1, R_2 : مقاومة ملفات العضو الثابت والعضو الدائر لكل وجه.

X_1, X_2 : ممانعة التسرب الحثية لملفات العضو الثابت والعضو الدائر لكل وجه.

R_c : مقاومة تمثل المفايد الحديدية، التيار المار بها يمثل تيار المفايد الحديدية.

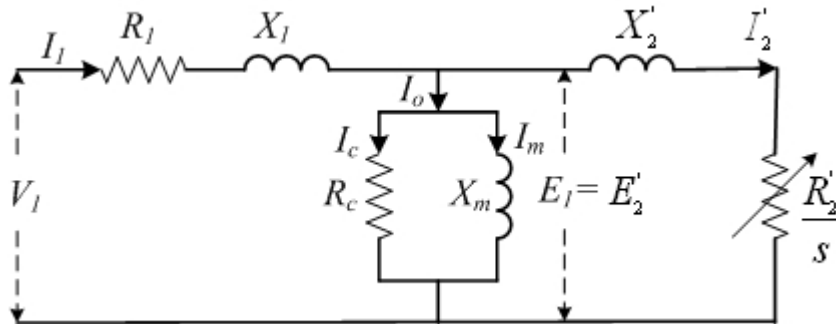
X_m : ممانعة التمرغظ، التيار المار بها هو تيار المغنطة.

N_1, N_2 : عدد اللفات للعضو الثابت والعضو الدائر.

وإذا أخذنا في الاعتبار أوجه التشابه بين المحرك الحثي والمحول، فيمكن أن ننسب كميات العضو

الدائر إلى العضو الثابت لنحصل على الدائرة المكافئة الدقيقة لكل وجه كما هو مبين في الشكل

(١ - ٩):



الشكل (١ - ٩): الدائرة المكافئة للمحرك الحثي منسوبة إلى الابتدائي (العضو الثابت)

حيث:

$$E'_2 = E_2 \cdot \left[\frac{N_1}{N_2} \right] = a \cdot E_2 \quad \text{المعادلة (١ - ٩):}$$

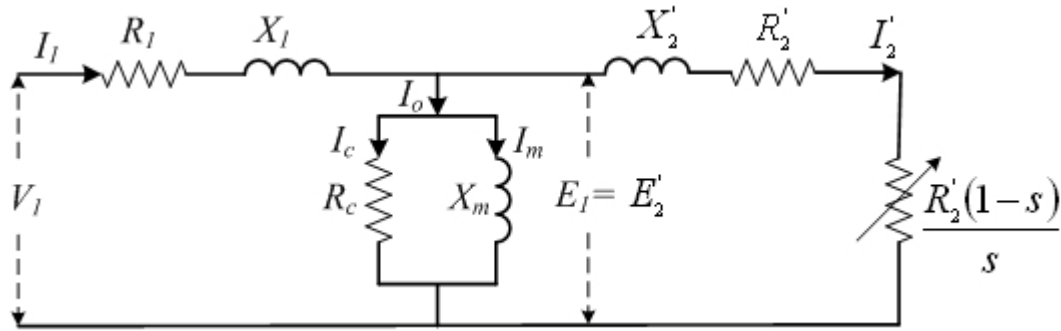
$$R'_2 = R_2 \cdot \left[\frac{N_1}{N_2} \right]^2 = a^2 \cdot R_2 \quad \text{المعادلة (١ - ١٠):}$$

$$X'_2 = X_2 \cdot \left[\frac{N_1}{N_2} \right]^2 = a^2 \cdot X_2 \quad \text{المعادلة (١) - (١١):}$$

$$I'_2 = I_2 \cdot \left[\frac{N_2}{N_1} \right] = I_2 / a \quad \text{المعادلة (١) - (١٢):}$$

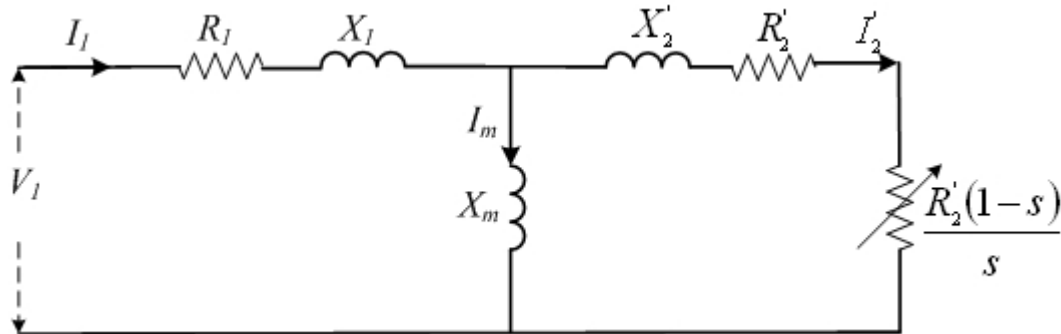
كما أن مقاومة ملفات العضو الدائر $\left\{ \frac{R'_2}{s} \right\}$ يمكن تجزئتها إلى مقاومتين كما في المعادلة (١) - (١٣)، حتى يتسنى لنا الحصول على الدائرة المبينة في الشكل (١) - (١٠):

$$\frac{R'_2}{s} = R'_2 + R'_2 \cdot \left[\frac{1-s}{s} \right] \quad \text{المعادلة (١) - (١٣):}$$



الشكل ١ - ١٠: الدائرة المكافئة للمحرك الحثي بعد تجزئة مقاومة العضو الدائر

إن قيمة R'_2 تعني المقاومة لكل وجه من أوجه العضو الدائر عند السكون منسوبة على العضو الثابت، بينما $\frac{R'_2 \cdot (1-s)}{s}$ تعبر عن المقاومة الديناميكية لكل وجه التي تعتمد على سرعة العضو الدائر والتي تناظر التحميل الفعلي على المحرك. يجب ملاحظة أن قيم الثوابت المشتقة في الشكل (١) - (١٠) هي لمحرك في حالة السكون.

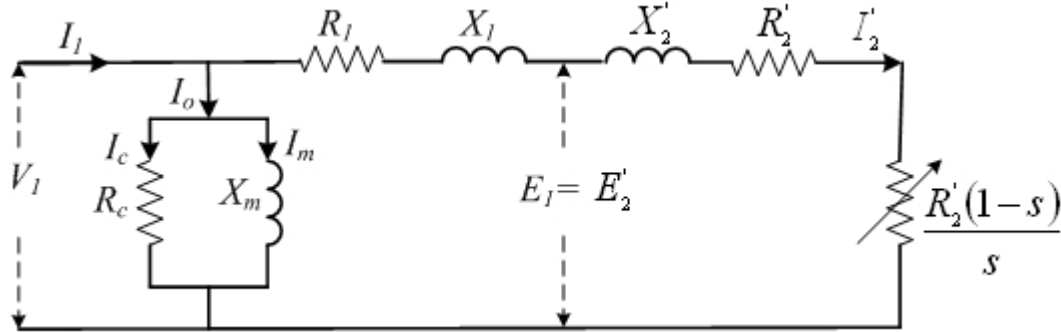


الشكل ١ - ١١: الدائرة المكافئة للمحرك الحثي بعد استبعاد R_c

الدائرة المكافئة التي في الشكل (١ - ١١) هي نفسها المبينة في الشكل (١ - ١٠) ولكن بعد استبعاد R_c (على أن يضاف الفقد في القلب الحديدي، الذي يتركز أغلبه في العضو الثابت، إلى بقية المفقودات أثناء حساب الكفاءة).

١ - ٦ - ١ تعيين ثوابت الدائرة المكافئة للمحركات الحثية ثلاثية الأوجه :

يمكن أيضاً الحصول على دائرة مكافئة تقريبية بنقل الفرع الممثل للدائرة المكافئة عند اللاحمل الشكل (١ - ١٠) إلى جهة مصدر جهد الابتدائي، وذلك لأن تيار اللاحمل (I_o) صغير جداً إذا ما قورن بتيار الحمل الكامل (I_l)، فنحصل على الدائرة المكافئة التقريبية المبينة في الشكل (١ - ١٢).



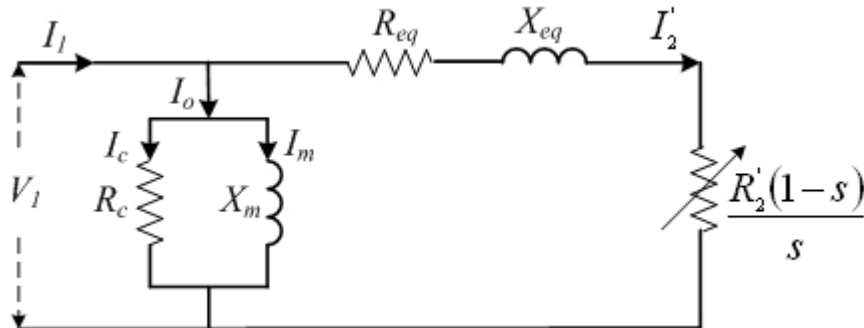
الشكل ١ - ١٢: الدائرة المكافئة التقريبية للمحرك الحثي

إذا اعتبرنا أن:

$$R_{eq} = R_1 + R_2' \quad ١٤ - ١$$

$$X_{eq} = X_1 + X_2' \quad ١٥ - ١$$

يمكن رسم الدائرة المكافئة كما في الشكل (١ - ١٣):



الشكل ١ - ١٣: الدائرة المكافئة التقريبية للمحرك الحثي

بهذا التبسيط تصبح الدائرة المكافئة التقريبية للمحرك الحثي مشابهة تماماً للدائرة المكافئة

التقريبية للمحول، حيث تعتبر المقاومة $\left[R_2' \cdot \left(\frac{1-s}{s} \right) \right]$ حملاً على المحرك، والقدرة المفقودة في هذه

المقاومة تمثل القدرة الميكانيكية المتولدة من المحرك. كما يجب أن نتذكر أن هذه الدائرة تعبر عن وجه واحد فقط من أوجه المحرك الثلاثة، فعند إجراء أي حسابات على هذه الدائرة يجب أن يؤخذ ذلك في الاعتبار.

الدائرة المكافئة للمحرك الحثي أداة مفيدة لمعرفة خواص تشغيل المحرك، فعند تطبيق الدائرة على آلة معينة، يجب معرفة قيم ثوابت الدائرة المكافئة $(R_1, R_2, X_1, X_2, R_c, X_m)$ ، ولكي يتم معرفة قيم تلك الثوابت، يتحتم القيام ببعض الاختبارات العملية، هذه الاختبارات مشابهة تماماً لاختبارات الدائرة المفتوحة والدائرة المقصورة التي تجرى على المحول.

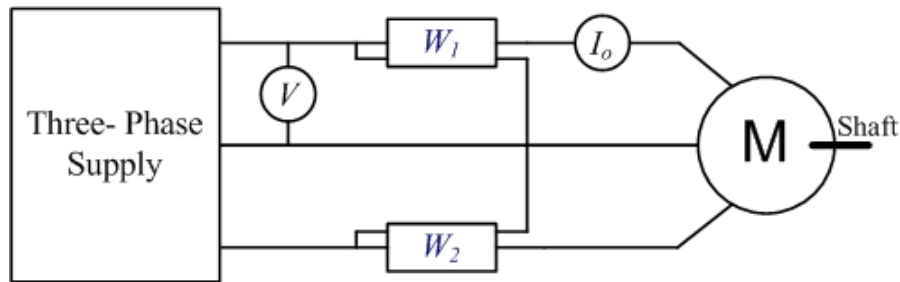
أ- اختبار اللاحمل (أو اختبار الدائرة المفتوحة): No Load Test or Open Circuit Test

لإجراء هذا الاختبار يوصل المحرك كما هو مبين في الشكل (١ - ١٤) حيث يستخدم جهاز واطميتر لقياس القدرة الكلية، ثم يسلط الجهد المقنن على أطراف المحرك و يترك العضو الدائر يدور بحرية تامة بدون أي حمل، ثم تسجل قراءات الأجهزة:

القدرة الكلية هي مجموع قراءتي الواطميتر

$$P = W_1 + W_2$$

مع ملاحظة أن قيم الجهد والتيار المقروءة هي للخط وأن القدرة المقروءة تمثل المفايد الحديدية (المفايد الثابتة) وهي مجموع قراءتي الواطميتر.



شكل ١ - ١٤: كيفية توصيل دائرة اختبار اللاحمل للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه

حيث إن العضو الدائر يدور بدون حمل فهذا يعني أن سرعة دورانه مساوية تقريباً للسرعة التزامنية مما يعني أن الانزلاق s صغير جد أي أنه يساوي صفراً تقريباً، عند التعويض عن قيمة الانزلاق في المقاومة التي تمثل الحمل في الدائرة المكافئة $\left[R_2' \cdot \left(\frac{1-s}{s} \right) \right]$ ، نجد أن قيمة هذه المقاومة كبيرة جداً تصل إلى ما لانهاية، هذا يعني أن الدائرة المكافئة أصبحت مفتوحة من جهة الثانوي، لذلك سمي هذا الاختبار باختبار الدائرة المفتوحة قياساً بالمحول.

بما أن جهة الملف الثانوي أصبحت مفتوحة فهذا يعني أن التيار سيمر من خلال R_c, X_m فقط، لذلك يمكن من نتائج هذه التجربة وبعد إجراء حسابات بسيطة تحديد قيم R_c, X_m ، بافتراض أن ملفات المحرك موصلة على شكل نجمة:

من الدائرة المكافئة الشكل (١ - ١١):

$$R_c = \frac{V_1}{I_c}$$

$$X_m = \frac{V_1}{I_m}$$

حيث V_1 هو جهد الوجه

من المخطط الاتجاهي في حالة اللاحمل الشكل (١ - ١٥) يمكننا إيجاد قيم I_m, I_c بدلالة I_o كما يلي:

$$I_c = I_o \cdot \cos \phi_o \quad I_m = I_o \cdot \sin \phi_o \quad \text{المعادلة (١ - ١٦)}$$

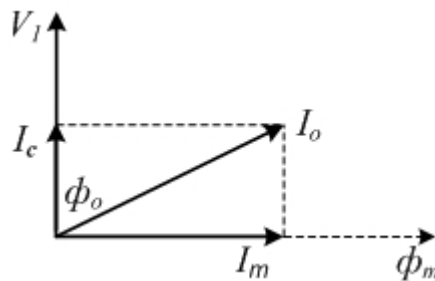
حيث:

$$\cos \phi_o = \frac{P}{3 \cdot V_1 \cdot I_o} \quad \text{المعادلة (١ - ١٧)}$$

$$\phi_o = \cos^{-1} \left(\frac{P}{3 \cdot V_1 \cdot I_o} \right) \quad \text{المعادلة (١ - ١٨)}$$

إذاً يمكن إيجاد قيم R_c, X_m من المعادلات الآتية:

$$R_c = \frac{V_1}{I_c} = \frac{V_1}{I_o \cdot \cos \phi_o} \quad X_m = \frac{V_1}{I_m} = \frac{V_1}{I_o \cdot \sin \phi_o} \quad \text{المعادلة (١ - ١٩)}$$



الشكل ١ - ١٥: المخطط الاتجاهي في حالة اللاحمل

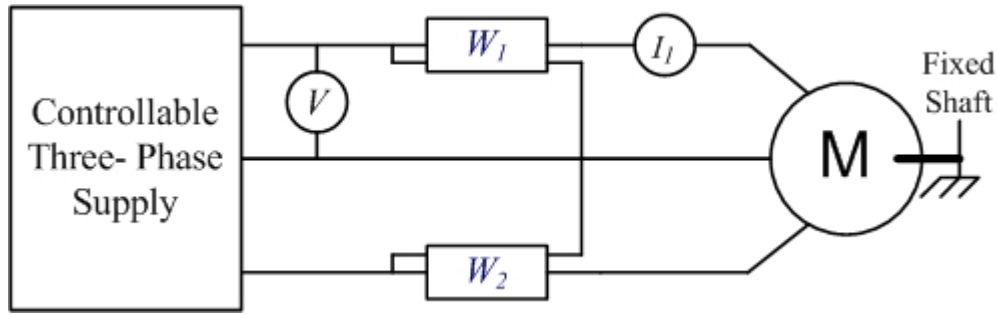
ب- اختبار عدم الحركة (أو اختبار دائرة القصر):

Locked Rotor Test (or Short Circuit Test):

لإجراء هذا الاختبار يوصل المحرك كما هو مبين في الشكل (١ - ١٦) ويمنع العضو الدائر من الدوران بوسيلة مناسبة، ثم يسقط جهد منخفض على أطراف المحرك يبدأ من الصفر ويزاد تدريجياً حتى يصل التيار المار في ملفات المحرك إلى القيمة المقننة عند الحمل الكامل، ذلك لأن توصيل الجهد المقنن سوف يتسبب في مرور تيار كبير جداً (تيار قصر) قد يتلف ملفات المحرك، ثم تسجل قراءات الأجهزة:

القدرة الكلية هي مجموع قراءتي الواطميتر $P = W_1 + W_2$

مع ملاحظة أن قيم الجهد والتيار المقروءة هي للخط وأن القدرة المقروءة تمثل المفاقيد النحاسية (المفاقيد المتغيرة) كما في حالة المحولات.



الشكل ١ - ١٦ : كيفية توصيل دائرة اختبار عدم الحركة (القصر) للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه

حيث إن العضو الدائر مثبت فإن ذلك يعني أن الانزلاق مساوي للواحد ($s=1$) وعند التعويض عن قيمته في المقاومة $\left[R_2' \cdot \left(\frac{1-s}{s} \right) \right]$ في الدائرة المكافئة نجد أن قيمتها $\left[R_2' \cdot \left(\frac{1-1}{1} \right) = 0 \right]$ أصبحت صفراً، هذا يعني أن الدائرة المكافئة أصبحت مقصورة من جهة الثانوي، لذلك فإن هذا الاختبار يسمى أحياناً اختبار الدائرة المقصورة.

بما أنه قد تم تسليط جهد منخفض على ملفات العضو الثابت فإن التيار (I_o) أصبح صغيراً جداً، وأن جهة الثانوي أصبحت مقصورة، فهذا يعني أن $I_1 \cong I_2'$ ، سيمر التيار خلال R_{eq}, X_{eq} فقط، لذلك يمكن من نتائج هذه التجربة وبعد إجراء حسابات بسيطة تحديد قيم R_{eq}, X_{eq} ، بافتراض أن ملفات الثابت موصلة على شكل نجمة ومن الدائرة المكافئة لشكل (١ - ١١) فإن:

$$R_{eq} = \frac{P}{3 \cdot I_1^2} \quad \text{المعادلة (٢٠ - ١)}$$

$$Z_{eq} = \frac{V_{sc}}{I_1} \quad \text{المعادلة (٢١ - ١)}$$

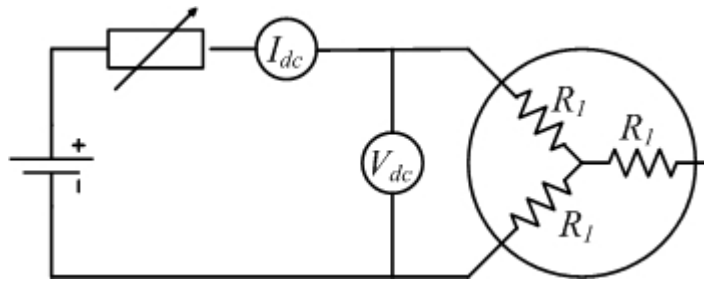
$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} \quad \text{المعادلة (٢٢ - ١)}$$

حيث V_{sc} هو جهد الوجه المخفض أثناء إجراء اختبار القصر.

Dc Test:

ج- اختبار التيار المستمر:

هذا الاختبار يجرى من أجل قياس مقاومة ملفات العضو الثابت R_l وذلك بتوصيل ملفات المحرك كما هو موضح في الشكل (١ - ١٧).



الشكل ١ - ١٧ : دائرة قياس مقاومة ملفات العضو الثابت

في هذا الاختبار يزداد الجهد (V_{dc}) تدريجياً حتى يصل التيار المار في ملفات المحرك إلى القيمة المقننة وذلك حتى ترتفع درجة حرارة الملفات كما هو الحال في وضع التشغيل الطبيعي، لأن المقاومة تتغير بتغير درجة الحرارة، ثم تسجل قيمة الجهد والتيار وتحسب المقاومة كما هو موضح من المعادلة (١ - ٢٣):

$$2 \cdot R_l = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} \quad \text{المعادلة (٢٣ - ١)}$$

$$R_l = \frac{V_{dc}}{2 \cdot I_{dc}}$$

تزداد قيمة المقاومة المقاسة بنسبة حوالي ١٠٪ للأخذ في الاعتبار تأثير الخاصية القشرية (skin effect) عند مرور التيار المتردد داخل المقاومات.

مثال (١- ٤):

نتائج تجربتي اللاحمل وعدم الحركة لمحرك حثي ثلاثي الأوجه ملفاته موصلة على شكل نجمة

كما يلي:

$V_L=220 \text{ V}$	$I_L=20 \text{ A}$	$P=600 \text{ W}$	تجربة اللاحمل
$V_L=30 \text{ V}$	$I_L=50 \text{ A}$	$P=1500 \text{ W}$	تجربة عدم الحركة

احسب مكونات الدائرة المكافئة التقريبية لهذا المحرك.

الحل:

من نتائج تجربة اللاحمل نستطيع حساب قيم R_c , X_m كما يلي:

بما أن ملفات المحرك موصلة على شكل نجمة، إذن:

$$V_1 = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = 127$$

V

$$I_o = I_L = 20$$

A

لحساب قيم R_c , X_m نتبع الخطوات التالية:

$$\cos \phi_o = \frac{P}{3 \cdot V_1 \cdot I_o} = \frac{600}{3 \times 127 \times 20} = 0.0787$$

$$\phi_o = \cos^{-1}(0.0787) = 85.48^\circ$$

$$R_c = \frac{V_1}{I_o \cdot \cos \phi_o} = \frac{127}{20 \times 0.0787} = 80.68$$

Ω

$$X_m = \frac{V_1}{I_o \cdot \sin \phi_o} = \frac{127}{20 \times \sin(85.48)} = 6.37$$

Ω

من نتائج تجربة عدم الحركة نستطيع حساب قيم R_{eq} , X_{eq} كما يلي:

بما أن ملفات المحرك موصلة على شكل نجمة، إذن:

$$V_1 = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{30}{\sqrt{3}} = 17.32$$

V

$$I_1 = I_L = 50$$

A

لحساب قيم R_{eq} , X_{eq} نتبع الخطوات التالية:

$$R_{eq} = \frac{P}{3 \cdot I_2^2} = \frac{1500}{3 \times 50^2} = 0.2 \quad \Omega$$

$$Z_{eq} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{17.32}{50} = 0.3464 \quad \Omega$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} = \sqrt{(0.3464)^2 - (0.2)^2} = 0.2828 \quad \Omega$$

مثال (١- ٥):

محرك حثي ثلاثي الأوجه ملفاته موصلة على شكل دلتا، أجريت له اختبارات تحديد عناصر

الدائرة المكافئة فأعطى النتائج التالية:

$V_L=127 \text{ V}$	$I_L=7.53 \text{ A}$	$P=179 \text{ W}$	اختبار الدائرة المفتوحة
$V_L=39.3 \text{ V}$	$I_L=34.64 \text{ A}$	$P=1265 \text{ W}$	اختبار الدائرة المقصورة
$V_{dc}=19 \text{ V}$	$I_{dc}=20 \text{ A}$		اختبار التيار المستمر

احسب مكونات الدائرة المكافئة إذا كان $X_1 = X_2'$

الحل:

من اختبار التيار المستمر تحسب قيمة R_I من المعادلة (١- ٢١) كما يلي:

$$R_1 = \frac{V_{dc}}{2 \cdot I_{dc}} = \frac{19}{3 \times 20} = 0.475 \quad \Omega$$

من نتائج اختبار الدائرة المفتوحة (اللاحمل) يمكننا حساب قيم R_c, X_m كما يلي:

وبما أن ملفات المحرك موصلة على شكل دلتا، إذن:

$$V_1 = V_L = 127 \quad \text{V}$$

$$I_o = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{7.53}{\sqrt{3}} = 4.347 \quad \text{A}$$

لحساب قيمة كلا من R_c و X_m نتبع الخطوات التالية:

$$\cos \phi_o = \frac{P}{3 \cdot V_1 \cdot I_o} = \frac{179}{3 \times 127 \times 4.347} = 0.108$$

$$\phi_o = \cos^{-1}(0.108) = 83.8^\circ$$

$$R_c = \frac{V_1}{I_o \cdot \cos \phi_o} = \frac{127}{4.347 \times 0.108} = 270.78 \quad \Omega$$

$$X_m = \frac{V_1}{I_o \cdot \sin \phi_o} = \frac{127}{4.347 \times \sin(83.8)} = 29.435 \quad \Omega$$

من نتائج اختبار الدائرة المقصورة (عدم الحركة) نستطيع حساب قيم R_{eq}, X_{eq} كما يلي:

بما أن ملفات المحرك موصلة على شكل دلتا، إذن:

$$V_1 = V_L = 39.3 \quad V$$

$$I_1 = I_2' = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{34.64}{\sqrt{3}} = 20 \quad A$$

لحساب قيمة كلا من (R_1, R_2, X_1, X_2) نتبع الخطوات التالية:

$$R_{eq} = \frac{P}{3 \cdot I_2'^2} = \frac{1265}{3 \times 20^2} = 1.054 \quad \Omega$$

$$Z_{eq} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{39.3}{20} = 1.965 \quad \Omega$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} = \sqrt{(1.965)^2 - (1.054)^2} = 1.658 \quad \Omega$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2' \quad \text{بما أن:}$$

$$R_1 = 0.475 \quad \Omega$$

إذن:

$$R_2' = R_{eq} - R_1 = 1.054 - 0.475 = 0.579 \quad \Omega$$

$$X_{eq} = X_1 + X_2' \quad \text{بما أن:}$$

$$X_1 = X_2'$$

إذن:

$$X_1 = X_2' = \frac{X_{eq}}{2} = \frac{1.658}{2} = 0.859 \quad \Omega$$

أسئلة وتمارين

- ١- لماذا سمي اختبار اللاحمل باختبار الدائرة المفتوحة؟
- ٢- لماذا سمي اختبار عدم الحركة باختبار الدائرة المقصورة؟
- ٣- لماذا يزداد الجهد تدريجياً على المحرك أثناء اختبار عدم الحركة؟
- ٤- أساس عمل المحرك الحثي ثلاثي الأوجه مشابه لعمل.....
 - أ) المحرك التزامني.
 - ب) محرك التيار المستمر الموصل على التوازي.
 - ت) المحول ذو الملف الثانوي المقصور.
 - ث) المحرك الحثي ثلاثي الوجه.
- ٥- إن تأثير زيادة طول الثغرة الهوائية في المحرك الحثي هو لزيادة.....
 - أ) معامل القدرة.
 - ب) السرعة.
 - ت) تيار المغنطة.
 - ث) مجال الثغرة الهوائية.
- ٦- أي من العبارات الآتية غير صحيح، اختبار الدائرة المفتوحة لمحرك حثي ثلاثي الأوجه يساعد على:
 - أ) إيجاد تيار اللاحمل.
 - ب) إيجاد معامل القدرة في حالة اللاحمل.
 - ت) إيجاد المفاقيد الثابتة.
 - ث) إيجاد مقاومة المحرك منسوبة إلى العضو الثابت.
- ٧- أي من العبارات الآتية غير صحيح، اختبار القصر لمحرك حثي ثلاثي الأوجه يساعد على:
 - أ) إيجاد تيار القصر بالجهد المقنن.
 - ب) إيجاد معامل القدرة في حالة القصر.
 - ت) إيجاد المفاقيد الثابتة.
 - ث) إيجاد مقاومة المحرك منسوبة إلى العضو الثابت.

٨- محرك حثي ثلاثي الأوجه ٥ حصان ذو أربعة أقطاب، عند إجراء تجربتي اللاحمل والقصر عليه أعطى النتائج التالية:

220 V	3.86 A	550 W	تجربة اللاحمل
35 V	12.9 A	490 W	تجربة عدم الحركة

فإذا كانت ملفات المحرك موصله على شكل دلتا، احسب مكونات الدائرة المكافئة لهذا المحرك

٩- محرك حثي ثلاثي الأوجه قدرته ٢٩,٨٤ كيلووات ملفات موصلة على شكل دلتا عند اختباره أعطى النتائج التالية:

415 V	21 A	1250 W	تجربة اللاحمل
100 V	45 A	2730 W	تجربة عدم الحركة

احسب مكونات الدائرة المكافئة التقريبية لهذا المحرك.

١٠- محرك حثي ثلاثي الأوجه قدرته ٢٠ حصان ملفات موصلة على شكل Y عند إجراء تجربتي اللاحمل والقصر له أعطى النتائج التالية:

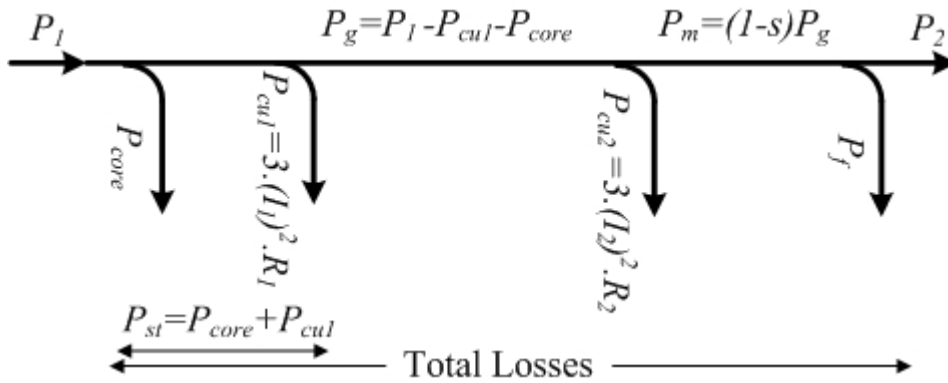
380 V	16.5 A	1050 W	تجربة اللاحمل
86 V	32 A	1854 W	تجربة القصر

احسب مكونات الدائرة المكافئة لهذا المحرك إذا كانت $X_1 = X_2'$ & $R_1 = R_2'$

١- ٧ القدرة والعزم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه :

١- ٧- ١ القدرة في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه :

عادةً ما يوصف المحرك الحثي ثلاثي الأوجه بأنه محول دوار والدخل قدرة كهربائية في شكل جهود وتيارات ثلاثية الأوجه والخرج هو قدرة كهربائية تؤخذ من ملفات الثانوي (في المحول)، بينما في المحرك الحثي تكون ملفات الثانوي (العضو الدائر) مقصورة و بالتالي لا تعطي قدره كهربائية وإنما تعطي قدره ميكانيكية تظهر على عمود الإدارة، شكل (١- ١٨) يعرض مخطط سريان القدرة داخل المحرك حيث P_1 تمثل القدرة الكهربائية المسحوبة من المصدر، و P_2 تمثل القدرة الميكانيكية الخارجة.



الشكل (١- ١٨): مخطط سريان القدرة داخل المحرك الحثي ثلاثي الأوجه

يأخذ المحرك من المصدر الثلاثي الأوجه القدرة الكلية P_1 وات، وهي تساوي:

$$P_1 = 3 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi \quad \text{المعادلة (١- ٢٤)}$$

حيث:

V_1 : جهد الوجه للعضو الثابت.

I_1 : تيار الوجه للعضو الثابت.

ϕ : الزاوية بين جهد الوجه وتيار الوجه وجيب تمامها هو معامل القدرة

تبدد ملفات العضو الثابت مفقوداتها النحاسية P_{cu1} في مقاومة العضو الثابت R_1 علي شكل حرارة، وتحسب من المعادلة (١- ٢٥)، كما تتبدد في نفس الوقت أيضا مفقودات الحديد الكلية للمحرك P_{core} وذلك بسبب وجود التيارات الدوامية وظاهرة التخلف المغناطيسي في العضو الثابت، ومفقودات حديد العضو الدائر تكون ضئيلة جداً بسبب انخفاض قيمة التردد فيه عندما يكون الانزلاق

صغيراً جداً عند الحمل الكامل، وبجمع P_{cu1} مع P_{core} ، نحصل علي ما يسمى بمفقودات العضو الثابت P_{st} المعادلة (١ - ٢١). هذه القدرة المفقودة تمثلها المقاومة R_c في الدائرة المكافئة

$$P_{cu1} = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1 \quad \text{المعادلة (١ - ٢٥):}$$

$$P_{st} = P_{cu1} + P_{core} \quad \text{المعادلة (١ - ٢٦)}$$

الجزء المتبقي من القدرة الداخلة P_1 بعد طرح P_{st} سينتقل عبر الثغرة الهوائية إلى العضو الدائر عبر المجال المغناطيسي، وتسمى قدرة الثغرة الهوائية (air gap power) ويرمز لها بالرمز P_g أو P_{12}

$$P_g = P_{12} = P_1 - P_{st} \quad \text{المعادلة (١ - ٢٧):}$$

ويمكن حسابها أيضا من المعادلة التالية:

$$P_g = 3 \cdot I_2'^2 \cdot \frac{R_2'}{s} \quad \text{المعادلة (١ - ٢٨):}$$

القدرة الداخلة إلى العضو الدائر P_g سيفقد جزء منها في مقاومة ملفات العضو الدائر على شكل حرارة و تسمى مفاقد نحاسية في العضو الدائر P_{cu2} وتحسب من المعادلة التالية:

$$P_{cu2} = 3 \cdot I_2'^2 \cdot R_2' \quad \text{المعادلة (١ - ٢٩):}$$

المتبقي من القدرة الداخلة إلى العضو الدائر يتحول من قدره كهربائية إلى قدره ميكانيكية ويسمى القدرة الميكانيكية المتولدة ويرمز لها بالرمز P_m وتحسب من المعادلة التالية:

$$P_m = P_g - P_{cu2} \quad \text{المعادلة (١ - ٣٠):}$$

المقاومة $\left[R_2' \cdot \left(\frac{1-s}{s} \right) \right]$ في الدائرة المكافئة هي التي تمثل القدرة الميكانيكية المتولدة وبالتالي

يمكن حساب القدرة الميكانيكية المتولدة أيضا من المعادلة (١ - ٣١):

$$P_m = 3 \cdot I_2'^2 \cdot R_2' \cdot \left(\frac{1-s}{s} \right) \quad \text{المعادلة (١ - ٣١):}$$

القدرة الميكانيكية المتولدة P_m سيتبدد جزء منها بسبب الاحتكاك الذي يتعرض له العضو الدائر مع الهواء ومحاور الدوران، مفاقد الاحتكاك هذه يرمز لها بالرمز P_f ، بالتالي فإن القدرة الميكانيكية الخارجة P_2 (القدرة الميكانيكية المفيدة useful mechanical power) هي الجزء المتبقي من القدرة الميكانيكية المتولدة بعد خصم القدرة المتبددة بسبب الاحتكاك كما يلي:

$$P_2 = P_m - P_f \quad \text{المعادلة (١- ٣٢):}$$

الشكل (١- ١٨) يلخص كيفية انتقال القدرة داخل المحرك الحثي ثلاثي الأوجه.

من المعادلات (١- ٢٨) و (١- ٢٩) و (١- ٣١) يمكن لنا إجراء المقارنة التالية:

P_g	P_m	P_{cu2}
$3 \cdot I_2'^2 \cdot R_2' \cdot \left(\frac{1}{s}\right)$	$3 \cdot I_2'^2 \cdot R_2' \cdot \left(\frac{1-s}{s}\right)$	$3 \cdot I_2'^2 \cdot R_2'$

نلاحظ من المقارنة أعلاه أنه عند ضرب P_g بالانزلاق s فإننا نحصل على P_{cu2}

وكذلك عند ضرب P_g بالمعامل $(1-s)$ فإننا نحصل على P_m ، إذن:

$$P_{cu2} = s \cdot P_g \quad \text{المعادلة (١- ٣٣):}$$

$$P_m = (1-s) \cdot P_g \quad \text{المعادلة (١- ٣٤):}$$

$$P_g : P_m : P_{cu2} = 1 : (1-s) : s \quad \text{وأن النسبة بينهما:}$$

يتضح من المقارنة أن قدرة الثغرة الهوائية P_g تنقسم بين القدرة الميكانيكية المتولدة P_m ، وبين المفقودات النحاسية للعضو الدائر P_{cu2} بنسبة $(1-s)$ إلى s . هذا يعني أن معامل الانزلاق s يلعب دوراً أساسياً في تحديد نسبة المفاقد النحاسية P_{cu2} في العضو الدائر، فعند زيادة الانزلاق تزداد المفاقد النحاسية في العضو الدائر وتقل كفاءة المحرك. لذلك يجب أن يكون الانزلاق صغيراً بقدر الإمكان عند الحمل الكامل لكي تقل المفاقد النحاسية في العضو الدائر وتزداد كفاءة المحرك، وهذه هي طبيعة المحرك كما أشير إليها من قبل.

مثال (١- ٦):

إذا كان العضو الدائر لمحرك حثي ثلاثي الأوجه ذي تردد ٦٠ هيرتز وأقطاب، يسحب قدرة تبلغ

١٢٠ كيلووات وات عند تردد ٣ هيرتز، أوجد:

(أ) سرعة العضو الدائر

(ب) المفقودات النحاسية في العضو الدائر.

(ت) القدرة الميكانيكية المتولدة.

الحل:

$$s = \frac{f_r}{f_s} = \frac{3}{60} = 0.05$$

$$n_s = \frac{120 \cdot f_s}{P} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \quad \text{rpm}$$

$$n = (1 - s) \cdot n_s = (1 - 0.05) \times 1800 = 1710 \quad \text{rpm}$$

$$P_{cu2} = s \cdot P_g = 0.05 \times 120 = 6 \quad \text{kw}$$

$$P_m = (1 - s) \cdot P_g = (1 - 0.05) \times 120 = 114 \quad \text{kw}$$

مثال (١ - ٧):

إذا كانت المفقودات النحاسية للعضو الثابت للمحرك المذكور في المثال السابق تبلغ ٣ كيلووات، والمفقودات الميكانيكية تبلغ ٢ كيلووات، والمفقودات الحديدية في العضو الثابت مقدارها ١,٧ كيلووات، أوجد:

(أ) خرج المحرك على عمود الإدارة بالحصان.

(ب) كفاءة المحرك.

الحل:

$$P_2 = P_g - P_{cu2} - P_f = 120 - 6 - 2 = 112 \quad \text{kw}$$

$$P_2 = \frac{112000}{746} = 150 \quad \text{hp}$$

$$P_1 = P_g + P_{cu1} + P_{core} = 120 + 3 + 1.7 = 124.7 \quad \text{kw}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 = \frac{112}{124.7} \times 100 = 89.7\%$$

مثال (١ - ٨):

محرك حثي ثلاثي الأوجه له ٦ أقطاب وتردده ٦٠ هيرتز، يسحب قدرة تبلغ ٤٨ كيلووات عندما يدور بسرعة ١١٤٠ لفة في الدقيقة، فإذا كان الفقد النحاسي في العضو الثابت ١,٤ كيلووات، والفقد في القلب ١,٦ كيلووات، والمفقودات الميكانيكية مقدارها ١ كيلووات، فأوجد كفاءة المحرك.

الحل:

$$n_s = \frac{120 \cdot f_s}{P} = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \quad \text{rpm}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1200 - 1140}{1200} = 0.05 \quad \text{p.u.}$$

$$P_g = P_1 - P_{st} = P_1 - (P_{cu1} + P_{corw})$$

$$P_g = 48 - (1.4 + 1.6) = 45 \quad \text{kw}$$

$$P_m = (1 - s) \cdot P_g = (1 - 0.05) \times 45 = 42.74 \quad \text{kw}$$

$$P_2 = P_m - P_f = 42.75 - 1 = 41.75 \quad \text{kw}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 = \frac{41.75}{48} \times 100 = 87\%$$

مثال (١ - ٩):

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ستة أقطاب يعمل على مصدر جهده ٤٤٠ فولت وتردده ٦٠ هيرتز فإذا كانت القدرة الداخلة إلى العضو الدائر ٨٠ كيلووات وتردد التيار في العضو الدائر ١,٦٧ هيرتز احسب ما يلي:

(أ) الانزلاق.

(ب) سرعة العضو الدائر

(ت) القدرة الميكانيكية المتولدة

(ث) القدرة المفقودة في العضو الدائر

(ج) مقاومة ملفات العضو الدائر لكل وجه إذا كان التيار المار في ملفات العضو الدائر ٦٥ أمبير.

الحل:

$$s = \frac{f_r}{f_s} = \frac{1.67}{50} = 0.0334$$

$$n_s = \frac{120 \cdot f_s}{P} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \quad \text{rpm}$$

$$n = (1 - s) \cdot n_s = (1 - 0.0334) \cdot 1000 = 966.6 \quad \text{rpm}$$

$$P_m = (1 - s) \cdot P_g = (1 - 0.0334) \times 80 = 77.33 \quad \text{kw}$$

$$P_{cu2} = s \cdot P_g = 0.0334 \times 80 = 2.67 \quad \text{kw}$$

$$R'_2 = \frac{P_{cu2}}{3 \cdot I_2'^2} = \frac{2670}{3 \times (65)^2} = 0.21 \quad \Omega$$

مثال (١- ١٠):

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ثمانية أقطاب يتغذى من مصدر تردد ٥٠ هيرتز ويدور بسرعة ٧٣٢ لفة في الدقيقة، فإذا كانت القدرة الداخلة إلى المحرك ٤٠ كيلووات و مفايد العضو الثابت ١ كيلووات و المفايد الميكانيكية بسبب الاحتكاك ٢ كيلووات احسب ما يلي:

(أ) معامل الانزلاق

(ب) القدرة الميكانيكية الخارجة (المستفاد منها) بالحصان

(ج) المفايد النحاسية في العضو الدائر

(د) كفاءة المحرك

الحل:

(أ) نوجد أولاً السرعة التزامنية:

$$n_s = \frac{120 f_s}{p} = \frac{120 \times 50}{8} = 750 \quad \text{rpm}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{750 - 732}{750} = 0.024$$

(ب) نستطيع إيجاد القدرة الميكانيكية الخارجة (المستفاد منها) P_2 كما يلي:

$$P_g = P_1 - P_{st} = 40 - 11 = 39$$

$$P_m = (1 - s) \cdot P_g = (1 - 0.024) \times 39 = 38.064 \quad \text{kw}$$

$$P_2 = P_m - P_f = 38.064 - 2 = 36.064 \quad \text{kw}$$

$$P_2 = \frac{36064}{746} = 48.343 \quad \text{hp}$$

(ج) المفايد النحاسية في العضو الدائر P_{cu2} :

$$P_{cu2} = s \cdot P_g = 0.024 \times 39 = 0.936 \quad \text{kw}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 = \frac{36.640}{40} \times 100 = 90.16\% \quad \text{(د) كفاءة المحرك:}$$

١- ٧- ٢ العزم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه :

يعرف العزم أو عزم الدوران (Torque) بأنه القوة المؤثرة تأثيراً التوائياً على جسم ما فينتج عنها دوران ذلك الجسم حول مركزه، ويقاس بوحدة نيوتن متر Nm.

يتولد عزم الدوران الكلي (total developed torque) في المحرك الحثي بواسطة المجال المغناطيسي الدوار بالسرعة التزامنية n_s ونحصل عليه بقسمة P_g على ω_s المعادلة (١- ٢٨). وينشأ نفس عزم الدوران الكلي على عمود الإدارة الذي يدور بالسرعة n بفعل القدرة الميكانيكية P_m ، ونحصل عليه بقسمة P_m على ω المعادلة (١- ٢٩).

$$T = \frac{P_g}{\omega_s} \quad \text{المعادلة (١- ٣٥)} \quad \text{Nm}$$

$$T = \frac{P_m}{\omega} \quad \text{المعادلة (١- ٣٦)} \quad \text{Nm}$$

حيث ω_s و ω هما السرعة الزاوية للمجال المغناطيسي الدوار، والسرعة الزاوية للعضو الدائر على التوالي، بالراديان في الثانية ويحسبان من المعادلة (١- ٣٧):

$$\omega_s = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_s}{60} \quad \text{المعادلة (١- ٣٧)} \quad \text{rad/sec.}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad \text{المعادلة (١- ٣٨)} \quad \text{rad/sec.}$$

بالتعويض بالمعادلة (١- ٢٦) والمعادلة (١- ٣٥) في المعادلة (١- ٣٣) يمكن أن نعبر عن العزم كما يلي:

$$T = \frac{P_g}{\omega_s} = \left(3 \cdot I_2'^2 \cdot \frac{R_2'}{s} \right) \div \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n_s}{60} \right) \quad \text{Nm}$$

$$T = K \cdot I_2'^2 \cdot \frac{R_2'}{s} \quad \text{المعادلة (١- ٣٩)} \quad \text{Nm}$$

حيث

$$K = \left(\frac{3 \times 60}{2 \cdot \pi \cdot n_s} \right) \quad \text{المعادلة (١- ٤٠)}$$

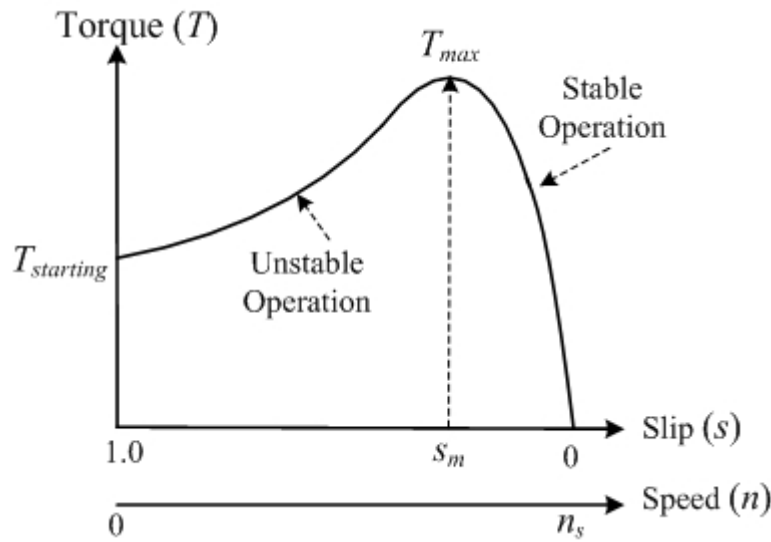
نوجد التيار I_2' بالرجوع إلى الدائرة المكافئة التقريبية في الشكل (١- ١٣) كما يلي:

$$I_2' = \frac{V_1}{Z_{eq}} = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{eq})^2}} \quad \text{المعادلة (١ - ٤١)}$$

بالتعويض عن قيمة التيار I_2' في المعادلة (١ - ٤١) يصبح العزم كما يلي:

$$T = K \cdot \frac{V_1^2}{(R_1 + R_2'/s)^2 + (X_{eq})^2} \cdot \frac{R_2'}{s} \quad \text{المعادلة (١ - ٤٢)}$$

المعادلة (١ - ٤٢) تمثل العلاقة بين العزم والانزلاق، ومنها يمكن حساب العزم عند أي قيمة للانزلاق وبالتالي عند أي قيمة للسرعة، عند رسم العلاقة بين العزم والانزلاق أو بين العزم والسرعة من المعادلة (١ - ٤٢) نحصل على المنحنى الموضح في الشكل (١ - ١٩):



الشكل (١ - ١٩): العلاقة بين (العزم/السرعة) و (العزم/الانزلاق)

ينقسم منحنى العلاقة بين العزم والانزلاق الموضح في الشكل (١ - ١٩) إلى جزأين مختلفين، فمن $s=0$ إلى $s=s_m$ يزداد عزم الدوران بزيادة قيمة الانزلاق بينما يقل عزم الدوران الذي يبذله المحرك من $s=s_m$ إلى $s=1$ فإن المحرك يمتلك خواص تشغيل متزنة في الجزء الأول، بينما تكون خواص تشغيله غير متزنة في الجزء الثاني. النتيجة الحتمية لوجود منطقتين مختلفتين في خواص المحرك، تتوفر في أحدهما خاصية الاتزان وتتعهد في الأخرى ولذا يجب أن نحرص على أن يظل تشغيل المحرك محصوراً في منطقة الاتزان، فلا ينتقل إلى المنطقة الأخرى إلا تحت ظروف خارجة عن الإرادة.

عادةً يكون عزم الحمل الكامل مساوياً تقريباً لنصف العزم الأقصى للمحرك بشرط أن لا يزيد عن عزم البدء، وفي حالة كون عزم الحمل أكبر من عزم البدء فإن المحرك لا يستطيع بدء الدوران، لذلك يجب بدء تشغيل المحرك بدون حمل وبعد أن يصل إلى منطقة التشغيل المتزن يضاف الحمل.

يتكون عزم الدوران الكلي T من عزم الدوران المفيد T_u (useful torque) وعزم دوران المفقودات الميكانيكية T_f . ويستفاد من عزم الدوران المفيد بأكمله في الحمل الميكانيكي، بينما تتبدد P_f هباء في المفقودات. يمكن الحصول على عزم الدوران المفيد بقسمة القدرة الخارجة P_2 على ω كما في المعادلة الآتية:

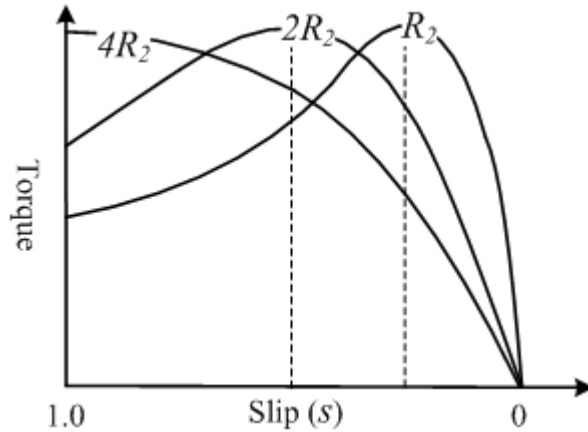
$$T_u = \frac{P_2}{\omega} = \frac{P_2}{2 \cdot \pi \cdot n / 60} \quad \text{Nm.} \quad \text{المعادلة (٤٣ - ١):}$$

١ - ٢ - ٧ - ١ التحكم في قيمة الانزلاق الذي يحدث عنده العزم الأقصى (s_m):

معادلة العزم (٤٢ - ١) تعتبر دالة رياضية بدلالة الانزلاق (s)، القيمة العظمى لها (T_{max}) يتغير موضعها بتغير ثوابت الدائرة المكافئة، وإذا أردنا إيجاد قيمة الانزلاق الذي تحدث عنده القيمة العظمى لهذه الدالة فإن ذلك ممكن، وذلك بعد إجراء عملية تفاضل للمعادلة ومساواتها بالصفر نحصل على قيمة الانزلاق الذي يحدث عنده العزم الأقصى للمحرك وهو:

$$s_m = \frac{R'_2}{X_2} = \frac{R_2}{X_2} \quad \text{المعادلة (٤٤ - ١):}$$

موضع العزم الأقصى (T_{max}) يمكن أن يتغير وذلك بتغير النسبة R'_2 / X_2 ، ويمكن تحقيق ذلك عملياً بإضافة مقاومة ثلاثية توصل على التوالي مع ملفات العضو الدائر الملفوف (ذو حلقات الانزلاق) وبالتالي يتغير موضع العزم الأقصى للمحرك بتغيير قيمة s_m كما هو موضح في الشكل (٢٠ - ١):



الشكل (٢٠ - ١): تأثير مقاومة العضو الدائر على الانزلاق الذي يتحقق عنده العزم الأقصى

ويمكن أيضا من المعادلة (٤٢ - ١) حساب قيمة العزم الأقصى للمحرك وذلك عندما ننقل موضع العزم الأقصى إلى لحظة بدء الحركة أي عندما $s_m = 1 \& R'_2 = X'_2$ فتصبح المعادلة:

$$T_{\max} = K \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot X'_2} \quad \text{المعادلة (٤٥ - ١)}$$

٧- ٢- ٢ حساب عزم البدء:

يلاحظ من الشكل (٢٠ - ١) أن عزم البدء يزداد كلما زادت مقاومة ملفات العضو الدائر، أي أنه يمكن التحكم بقيمة عزم البدء وذلك بتغيير قيمة مقاومة ملفات العضو الدائر R_2 وذلك بإضافة مقاومة ثلاثية توصل على التوالي مع ملفات العضو الدائر كما هو واضح من المنحنيات في الشكل (٢٠ - ١)، أما قيمة عزم البدء فيمكن إيجادها مباشرة من المعادلة (٤٢ - ١) عندما تكون $s = 1$ (كما يلي:

$$T_{\text{starting}} = K \cdot \frac{V_1^2}{(R_1 + R'_2)^2 + X_{eq}^2} \cdot R'_2 \quad \text{المعادلة (٤٦ - ١)}$$

مثال (١١ - ١):

محرك حثي ثلاثي الأوجه ملفاته موصلة على شكل دلتا يتغذى من مصدر جهده ٢٤٠ فولت عناصر الدائرة المكافئة له كما يلي:

$R_1 = 0.4\Omega$	$R'_2 = 0.6\Omega$	$X_1 = 1.0\Omega$	$X'_2 = 1.0\Omega$
-------------------	--------------------	-------------------	--------------------

فإذا كانت السرعة التزامنية لهذا المحرك ١٨٠٠ لفة في الدقيقة وسرعة العضو الدائر عند الحمل الكامل ١٧١٠ لفة في الدقيقة، احسب ما يلي:

- تيار الحمل الكامل.
- عزم الحمل الكامل.
- تيار البدء.
- عزم البدء.
- أقصى عزم للمحرك وعند أي انزلاق يحدث.

الحل:

بما أن ملفات المحرك موصلة على شكل دلتا فإن:

$$V_1 = V_L = 240$$

V

(أ) لحساب تيار الحمل الكامل أو عزم الحمل الكامل، يجب أولاً أن نحسب الانزلاق عند الحمل الكامل كما يلي:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1800 - 1710}{1800} = 0.05$$

يمكننا أن نعتبر أن $I_1 \approx I_2'$ في الدائرة المكافئة التقريبية وبالتالي يمكن حساب تيار الحمل الكامل كما يلي:

$$I_1 \approx I_2' = \frac{V_1}{Z_{eq}} = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2' / s)^2 + (X_{eq})^2}}$$

$$I_1 \approx I_2' = \frac{V_1}{Z_{eq}} = \frac{240}{\sqrt{(0.4 + 0.6 / 0.05)^2 + (1 + 1)^2}} = 19.11 \quad A$$

(ب) بعد إيجاد التيار يمكن حساب عزم الحمل الكامل كما يلي:

$$K = \frac{3 \times 50}{2 \cdot \pi \cdot n_s} = \frac{3 \times 60}{2 \times \pi \times 1800} = 0.0159$$

$$T = K \cdot I_2'^2 \cdot \frac{R_2'}{s}$$

$$T = 0.0159 \cdot (19.11)^2 \times \frac{0.6}{0.05} = 69.74 \quad Nm$$

(ت) لحساب تيار البدء I_1 نعوض عن $s=1$ كما يلي:

$$I_1 \approx I_2' = \frac{V_1}{Z_{eq}} = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2' / s)^2 + (X_{eq})^2}}$$

$$I_1 \approx I_2' = \frac{240}{\sqrt{(0.4 + 0.6 / 1)^2 + (1 + 1)^2}} = 107.33 \quad A$$

(ث) عزم البدء $T_{starting}$ يحسب بالتعويض عن قيمة تيار البدء من الفقرة (ت)، والتعويض عن الانزلاق بالواحد كما يلي:

$$T_{starting} = K \cdot I_2'^2 \cdot \frac{R_2'}{s}$$

$$T_{starting} = 0.0159 \times (107.33)^2 \times \frac{0.6}{1} = 109.9 \quad \text{Nm}$$

(ج) لحساب العزم الأقصى T_{max} والانزلاق الذي يحدث عنده العزم الأقصى s_{max} :

$$T_{max} = K \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot X_2'}$$

$$T_{max} = 0.0159 \times \frac{(240)^2}{2 \times 1} = 457.92 \quad \text{Nm}$$

$$s_{max} = \frac{R_2'}{X_2'} = \frac{0.6}{1} = 0.6$$

مثال (١- ١٢):

محرك حثي ثلاثي الأوجه سرعته التزامنية ٩٠٠ لفة في الدقيقة، عند إجراء تجربة الدائرة المقصورة كانت القدرة الداخلة ٤٥ كيلووات عند تيار ١٩٣,٦ أمبير. فإذا كانت مقاومة العضو الثابت ٠,٢ أوم لكل وجه ونسبة التحويل (٢)، احسب باعتبار أن كل من العضوين الثابت والدائر موصل على شكل نجمة:

(أ) قيمة مقاومة ملفات العضو الدائر لكل وجه.

(ب) عزم بدء الحركة.

الحل:

$$R_{eq} = R_1 + R_2' = R_1 + \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot R_2$$

$$R_{eq} = 0.2 + (2)^2 \times R_2 = 0.2 + 4 \times R_2$$

$$R_{eq} = \frac{P}{3 \cdot I_2'^2} = \frac{45 \times 10^3}{3 \times (193.6)^2} = 0.4 \quad \Omega$$

$$R_2 = 0.05 \quad \Omega$$

$$R_2' = R_{eq} - R_1 = 0.4 - 0.2 = 0.2 \quad \Omega$$

$$\omega_s = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_s}{60} = \frac{2 \times \pi \times 900}{60} = 94.25 \quad \text{rad/sec}$$

$$T_{st} = 3 \cdot I_1^2 \cdot \frac{R_2'}{\omega_s} = \frac{3 \times (193.6)^2 \times 0.2}{94.25} = 238.6 \quad \text{Nm}$$

مثال (١ - ١٣):

ثوابت الدائرة المكافئة المبينة في الشكل (١ - ١١) لكل وجه لمحرك حث جهده ٤٠٠ فولت وتردده ٦٠ هيرتز، وله ثلاثة أوجه موصلة على هيئة نجمة وأربعة أقطاب، هي كالآتي:

$R_1 = 2 \cdot R_2' = 0.2 \Omega$	$X_1 = 0.5 \Omega$	$X_2' = 0.2 \Omega$	$X_m = 20 \Omega$
-----------------------------------	--------------------	---------------------	-------------------

فإذا كان مجموع المفقودات الميكانيكية والحديدية عند سرعة ١٧٥٥ لفة في الدقيقة تبلغ ٨٠٠ واط

فاحسب عند هذه السرعة:

- (أ) التيار الداخل.
- (ب) القدرة الداخلة.
- (ت) القدرة الخارجة.
- (ث) العزم المستفاد منه.
- (ج) الكفاءة.

الحل:

$$n_s = \frac{120 \cdot f_s}{P} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \quad \text{rpm}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1800 - 1755}{1800} = 0.025$$

المعاوقة الكلية للدائرة المذكورة:

$$Z_e = (R_1 + jX_1) + \frac{[(R_2' / s) + jX_2'] \times (jX_m)}{[(R_2' / s) + jX_2'] + (jX_m)}$$

$$Z_e = (0.2 + j0.5) + \frac{[(0.1 / 0.025) + j0.2] \times (j20)}{[(0.1 / 0.025) + j0.2] + (j20)}$$

$$Z_e = (0.2 + j0.5) + \frac{[4 + j0.2] \times (j20)}{4 + j0.2 + j20}$$

$$Z_e = (0.2 + j0.5) + (3.77 + j0.944) = 3.97 + j1.444 \quad \Omega$$

$$Z_e = 4.223 \angle 20^\circ \quad \Omega$$

الجهد لكل وجه:

$$V_{ph} = V_L / \sqrt{3} = 400 / \sqrt{3} = 231$$

V

(أ) التيار الداخل:

$$I_{ph} = I_L = \frac{231}{4.223 \angle 20} = 54.65 \angle -20$$

A

(ب) القدرة الكلية الداخلة:

$$P_{inp} = P_1 = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \phi$$

$$P_{inp} = P_1 = \sqrt{3} \times 400 \times 54.65 \times \cos(-20) = 35.58$$

kw

القدرة الشغرة الهوائية يمكن حسابها بطريقتين:

الطريقة الأولى:

$$P_g = P_1 - P_{cu1} = P_1 - 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1$$

$$P_g = P_1 - P_{cu1} = 53580 - 3 \times (54.65)^2 \times (0.2) = 33.788$$

kw

الطريقة الثانية:

$$P_g = 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2' / s$$

$$P_g = 3 \times (54.65)^2 \times (3.77) = 33.789$$

kw

القدرة المتولدة:

$$P_m = (1 - s) \cdot P_g = (1 - 0.025) \times 33.79 = 32.94$$

kw

(ت) القدرة الخارجة:

$$P_2 = P_m - P_f = 32940 - 800 = 32.14$$

kw

(ث) عزم الدوران المستفاد منه:

$$T_u = \frac{P_2}{\omega_m}$$

$$\omega_m = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{2 \times \pi \times 1755}{60} = 183.8$$

rad/sec.

$$T_u = \frac{P_2}{\omega_m} = \frac{32140}{183.8} = 174.9$$

Nm

ج) لحساب الكفاءة:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{32.14}{35.58} = 90.3\%$$

أسئلة وتمارين:

- ١- هل تغيير معامل الانزلاق يؤثر على كفاءة المحرك؟ وضح ذلك؟
- ٢- لماذا تهمل المفاقيد الحديدية في العضو الدائر؟
- ٣- هل تؤثر زيادة المفاقيد النحاسية في العضو الدائر على سرعة المحرك؟ وضح ذلك؟
- ٤- ما المقصود بعزم الدوران؟
- ٥- ما بالسرعة الزاوية؟
- ٦- كيف يمكن تغيير الانزلاق الذي يحدث عنده أقصى عزم؟
- ٧- كيف يمكن التحكم في عزم البدء؟
- ٨- هل التحكم في موضع العزم الأقصى يؤثر على كفاءة المحرك؟ كيف ذلك؟
- ٩- أي من الجمل الآتية صحيح، يعرف الانزلاق في المحركات الحثية بأنه:
 - أ) النسبة بين فقد النحاس في العضو الدائر ودخل العضو الدائر.
 - ب) النسبة بين فقد النحاس في العضو الثابت ودخل العضو الثابت.
 - ت) النسبة بين فقد النحاس في العضو الدائر وخرج العضو الدائر.
 - ث) النسبة بين فقد النحاس في العضو الدائر وفقد النحاس في العضو الثابت.
- ١٠- العزم المتولد في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه يعتمد على العناصر الثلاثة الآتية:
 - أ) السرعة و التردد ، وعدد الأقطاب.
 - ب) الجهد و التيار، ومعاوقة العضو الثابت.
 - ت) سرعة التزامن و سرعة العضو الدائر، والتردد.
 - ث) القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في العضو الدائر و تيار العضو الدائر و معامل القدرة.
- ١١- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ٦ أقطاب يتغذى من مصدر تردده ٦٠ هيرتز، سرعته عند الحمل الكامل ٩٥٠ لفة في الدقيقة، فعند نصف الحمل تكون سرعته..... لفة في الدقيقة.
 - أ) ٤٧٥
 - ب) ٥٠٠
 - ج) ٩٧٥
 - د) ١٠٠٠
- ١٢- إذا كانت قدرة الشجرة الهوائية لمحرك حثي هي ١٠٠ كيلووات عند انزلاق مقداره ١٠ %، فإن القدرة الميكانيكية المتولدة تساويكيلووات.

(د) ٨٠

(ج) ٩٩

(ب) ٩٠

(أ) ١٠

١٣- العزم الأقصى للمحرك الحثي يحدث عند الانزلاق الذي يكون عنده معامل القدرة في العضو الدائر يساوي.....

(د) ٠,٥

(ج) ٠,٨٦٦

(ب) ٠,٧٠٧

(أ) واحد

١٤- عند تخفيض الجهد المسلط على المحرك الحثي إلى نصف الجهد المقنن، فإن عزم بدء الحركة ينخفض إلى..... عزم البدء المتولد بالجهد المقنن.

(د) $\sqrt{3}/2$ (ج) $1/\sqrt{2}$

(ب) ربع

(أ) نصف

١٥- إذا كان العزم الأقصى لمحرك حثي يساوي ١٠٠ نيوتن متر ويحدث عند انزلاق مقدارة ١٢٪، فإن قيمة العزم المتولد عند انزلاق ٦٪ تكون..... نيوتن متر.

(د) ٤٠

(ج) ٥٠

(ب) ١٦٠

(أ) ١٠٠

١٦- كفاءة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه ترتفع بالتناسب المباشر مع.....

(أ) السرعة.

(ب) الحمل الميكانيكي.

(ت) الجهد المصدر.

(ث) عزم العضو الدائر.

١٧- المحرك الحثي ثلاثي الأوجه يدور بسرعة ثابتة طالما أن.....

(أ) العزم المتولد فيه يظل ثابتاً.

(ب) جهد المصدر يظل ثابتاً.

(ت) العزم المتولد فيه يساوي عزم الحمل.

(ث) مجال العضو الثابت يظل ثابتاً.

١٨- محرك حثي ثلاثي الأوجه سرعته التزامنية ١٠٠٠ لفة في الدقيقة يعطي قدره ميكانيكية متولدة قدرها ٥ حصان عندما تكون سرعة العضو الدائر ٩٣٥ لفة في الدقيقة، احسب القدرة الداخلة إلى هذا المحرك إذا كانت مفقودات العضو الثابت ٤٠ واط

١٩- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ستة أقطاب يتغذى من مصدر جهده ٥٠٠ فولت وتردده ٦٠ هيرتز، يعطي قدرة ميكانيكية خارجة قدرها ٢٠ حصان عندما تكون سرعته ١٤٠ ألفة في الدقيقة، فإذا كانت مفاqid الاحتكاك ١ حصان، احسب:

(أ) معامل الانزلاق.

(ب) المفاqid النحاسية في العضو الدائر.

(ت) القدرة الداخلة إلى المحرك إذا كانت مفاqid العضو الثابت ١٥٠٠ واط.

(ث) تيار الخط الداخل إلى المحرك إذا كان معامل القدرة ٠,٨٦.

٢٠- محرك حثي ثلاثي الأوجه قدرته ٢٠ حصان موصل نجمة، له ٤ أقطاب يتغذي من مصدر جهده ٤٠٠ فولت، وتردده ٦٠ هيرتز، يعطي الحمل الكامل عند انزلاق ٥٪. فإذا كانت المفقودات الميكانيكية تبلغ ٤٠٠ واط فاحسب:

(أ) العزم المتولد (ب) العزم المستفاد منه (ج) فقد النحاس في العضو الدوار.

٢١- محرك حثي ثلاثي الأوجه قدرته ١٠ حصان موصل نجمة، له ٤ أقطاب يتغذي من مصدر جهده ١٥٠ فولت، وتردده ٤٠٠ هيرتز، يعطي القدرة المقننة عند انزلاق ٣٪. فإذا كان الفقد الميكانيكي ٢٠٠ واط عند السرعة المقننة فأوجد:

(أ) سرعة الدوران. (ب) تردد تيار العضو الدائر.. (ج) فقد النحاس في العضو الدائر.. (د) قدرة الثغرة.

(هـ) العزم المتولد. (و) العزم المستفاد منه.

٢٢- إذا كانت القدرة الكهربائية الداخلة إلى محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب هي ٢٠٠ كيلووات عندما تكون سرعته ١٧١٠ ألفة في الدقيقة ويتغذى على مصدر جهده ٤٥٠ فولت وتردده ٦٠ هيرتز فإذا كانت مفاqid العضو الثابت ٣ كيلووات والمفاqid الميكانيكية ٦ كيلووات، احسب:

أ- معامل الانزلاق.

ب- القدرة الميكانيكية المتولدة.

ت- المفاqid النحاسية في العضو الدائر.

ث- كفاءة المحرك

٢٣- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب يعمل على مصدر جهده ٢٢٠ فولت وتردده ٥٠ هيرتز، سرعة المحرك ١٤٤٠ الفة في الدقيقة عند معامل قدره ٠,٨ متأخر، القدرة الخارجة منه ١٠,٨ كيلووات، فإذا كانت مفاقيد العضو الثابت ١٠٦٠ وات و المفاقيد الميكانيكية ٣٩٠ وات، احسب ما يلي:

- (أ) المفاقيد النحاسية في العضو الدائر.
- (ب) تردد التيارات في العضو الدائر.
- (ت) تيار الخط.
- (ث) كفاءة المحرك.

٢٤- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب يعمل على مصدر جهده ٢٢٠ فولت وتردده ٦٠ هيرتز، وسرعته ١٧١٠ الفة في الدقيقة، القدرة الخارجة منه ١١ كيلووات، فإذا كانت مفاقيد العضو الثابت ١١٠ وات والمفاقيد الميكانيكية ٢٠ وات، احسب ما يلي إذا كان معامل القدرة ٠,٨٣ متأخراً:

- (أ) المفاقيد النحاسية في العضو الدائر.
- (ب) تردد التيارات في العضو الدائر.
- (ت) تيار الخط.

٢٥- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ثمانية أقطاب يعمل على مصدر جهده ٣٨٠ فولت وتردده ٦٠ هيرتز، فإذا كانت سرعة المحرك عند الحمل الكامل ٨٦٤ الفة في الدقيقة، القدرة الداخلة للمحرك ١٠ كيلووات، وكانت مفاقيد العضو الثابت ٦٠٠ وات والمفاقيد الميكانيكية ٣٥٠ وات احسب:

- (أ) المفاقيد النحاسية في العضو الدائر.
- (ب) كفاءة المحرك.
- (ت) عزم المحرك عند الحمل الكامل.

٢٦- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب يعمل على مصدر جهده ٣٨٠ فولت وتردده ٦٠ هيرتز، عناصر الدائرة المكافئة لهذا المحرك كما يلي:

$R_l = 0.12 \Omega$	$R_2' = 0.16 \Omega$	$X_l = 0.45 \Omega$	$X_2' = 0.52 \Omega$
---------------------	----------------------	---------------------	----------------------

فإذا كانت ملفات المحرك موصلة على شكل نجمة احسب:

(أ) تيار البدء.

(ب) عزم البدء.

(ت) العزم الأقصى للمحرك والانزلاق الذي يحدث عنده أقصى عزم.

(ث) قيمة عزم البدء عند إضافة مقاومة قيمتها 1Ω الى كل وجه من أوجه العضو الدائر.

٢٧- محرك حثي ثلاثي الأوجه ملفاته موصلة على شكل دلتا يتغذى من مصدر جهده ٢٢٠ فولت، عناصر الدائرة المكافئة له كما يلي:

$R_1 = 0.4 \Omega$	$R_2' = 0.6 \Omega$	$X_1 = 0.82 \Omega$	$X_2' = 0.86 \Omega$
--------------------	---------------------	---------------------	----------------------

فإذا كانت السرعة التزامنية لهذا المحرك ١٥٠٠ الفة في الدقيقة وسرعة العضو الدائر عند الحمل الكامل ٤٤٠ الفة في الدقيقة، احسب ما يلي:

(أ) عزم الحمل الكامل.

(ب) عزم البدء.

٢٨- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب يعمل على مصدر جهده ٣٨٠ فولت وتردده ٦٠ هيرتز، عناصر الدائرة المكافئة لهذا المحرك كما يلي:

$R_1 = 0.12 \Omega$	$R_2' = 0.16 \Omega$	$X_1 = 0.45 \Omega$	$X_2' = 0.52 \Omega$
---------------------	----------------------	---------------------	----------------------

فإذا كانت ملفات المحرك موصلة على شكل نجمة احسب ما يلي:

(أ) تيار البدء.

(ب) عزم البدء.

(ت) العزم الأقصى للمحرك والانزلاق الذي يحدث عنده العزم الأقصى.

٢٩- محرك حثي ثلاثي الأوجه موصل نجمة، له ٤ أقطاب يتغذى من مصدر جهده ٦٠٠ فولت، وتردده ٦٠ هيرتز، يمثل بالدائرة المكافئة المبينة بالشكل (١ - ١١). ثوابت الدائرة المكافئة هي كالآتي:

$R_1 = 0.75 \Omega$	$R_2' = 0.8 \Omega$	$X_1 = X_2' = 2 \Omega$	$X_m = 50 \Omega$
---------------------	---------------------	-------------------------	-------------------

فإذا كان مجموع المفقودات الميكانيكية والحديدية عند سرعة ١٧٢٨ الفة في الدقيقة تبلغ ٨٠٠ واط فاحسب عند هذه السرعة:

- أ) التيار الداخل. ب) القدرة الداخلة. ج) قدرة الشغرة الهوائية. د) القدرة الخارجة.
هـ) العزم المتولد.. و) العزم المستفاد منه.

٨ - ١ طرق بدء الحركة والتحكم في سرعة المحركات الحثية ثلاثية الأوجه :

٨ - ١ - ١ طرق بدء الحركة :

تيار البدء الذي يسحبه المحرك الحثي ثلاثي الأوجه، عند توصيله إلى المصدر توصيلاً مباشراً، لحظة بدء دورانه تتراوح قيمته ما بين ٥ إلى ٧ أضعاف تيار الحمل الكامل، ويولد المحرك ما بين ١,٥ إلى ٢,٥ ضعف عزم الحمل الكامل، ويعتبر المحرك في حالة قصر عند البدء، ذلك لأنه عند لحظة البدء $S=1$ وأن المقاومة $R_2 \left(\frac{1-s}{s} \right)$ في الدائرة المكافئة أصبحت صفراً، أي مقصورة، مما يعني زيادة كبيرة في تيار بدء الحركة. تيار البدء الذي يسحبه المحرك يتناسب طردياً مع جهد المصدر وعكسياً مع المعاوقة الكلية لدائرة المحرك، ويطلق على التيار الذي ينشأ عند استخدام التوصيل المباشر اسم تيار دائرة القصر للمحرك، وهو نفسه عبارة عن تيار البدء، (يمكن أيضاً تفسير الزيادة في تيار البدء عند البدء كونها تعود لعدم وجود قوة دافعة كهربائية عكسية متولدة في المحرك لتعاكس جهد المصدر). هذه الزيادة الكبيرة في تيار البدء غير مرغوب فيها لأنها تتسبب في بعض المشاكل مثل:

١ - سحب تيار كبير من الشبكة الكهربائية وما يصاحبه من هبوط في جهد الشبكة مما يؤثر سلباً على الأحمال الأخرى الموصلة مع نفس الشبكة.

٢ - تحميل خطوط النقل والقواطع وأجهزة الحماية بتيار أكبر من التيار المقنن. وقد يؤدي ذلك إلى تشغيل تلك الأجهزة وفصل التيار عن المكان.

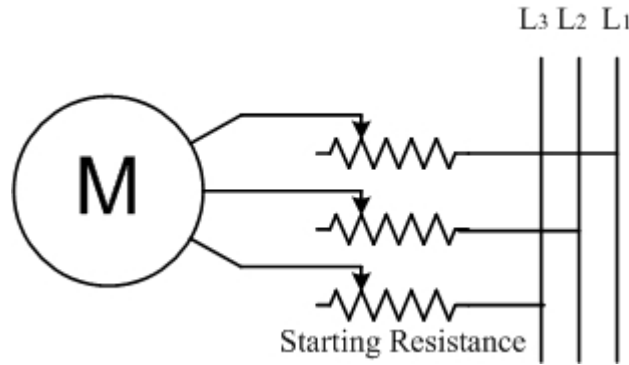
٣ - رفع درجة حرارة ملفات المحرك، خصوصاً في المحركات الكبيرة، حيث يستغرق المحرك وقتاً أطول لبدء الحركة، مما يؤدي مع التكرار إلى انهيار المواد العازلة.

لذلك لا ينصح ببدء حركة المحركات التي تزيد قدرتها عن ٢٥ كيلووات بالتوصيل المباشر، ولا بد من اتخاذ التدابير والاحتياطات اللازمة للحد من قيمة تيار بدء الحركة، خصوصاً في المحركات الكبيرة. وفيما يلي سنسرد باختصار عدة طرق للحد من تيار البدء، هذه الطرق تعتمد إما على خفض الجهد أو زيادة معاوقة المحرك أثناء فترة بدء الحركة.

٨ - ١ - ١ - ١ توصيل مقاومة ثلاثية على التوالي مع ملفات العضو الثابت:

إن توصيل مقاومة ثلاثية على التوالي مع ملفات العضو الثابت كما في الشكل (١ - ٢١)، يؤدي إلى خفض الجهد المسلط على العضو الثابت وبالتالي يقلل تيار البدء ويتم التخلص من هذه المقاومة تدريجياً أثناء فترة البدء حتى تلغي تماماً بوصول المحرك إلى سرعته المقننة لكن من عيوب هذه الطريقة

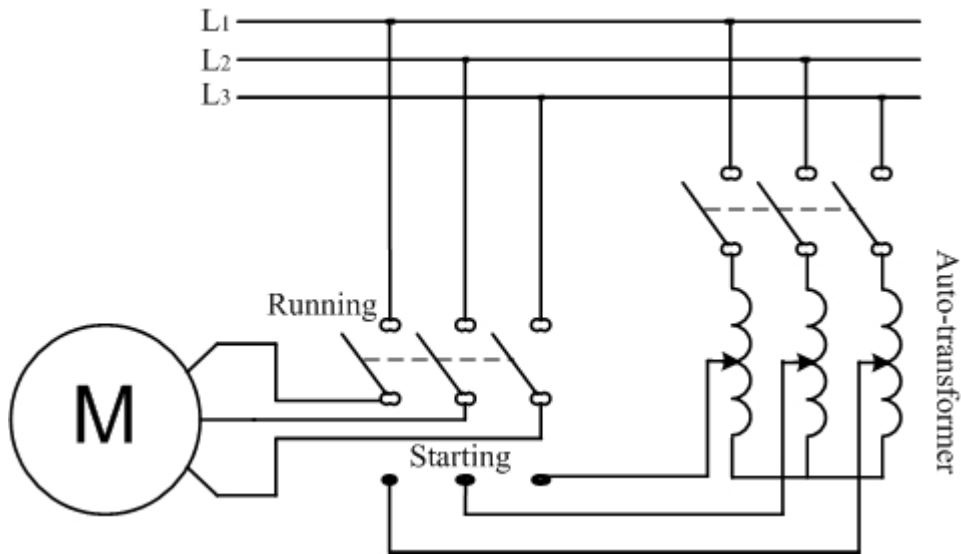
كبر المفايد النحاسية في المقاومة المضافة، بالإضافة إلى انخفاض كبير في قيمة عزم دوران البدء للمحرك، مما يجعل هذه الطريقة غير مناسبة للاستخدام خصوصاً مع المحركات الكبيرة.



الشكل ١ - ٢١: توصيلة بدء الحركة باستخدام مقاومات على التوالي مع ملفات العضو الثابت

(Auto-Transformer):

١ - ٨ - ١ - ٢ باستخدام محول ذاتي:



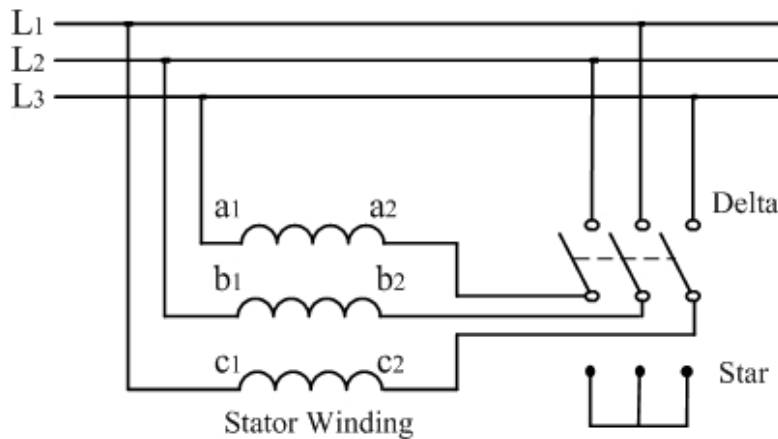
الشكل ١ - ٢٢: توصيلة بدء الحركة باستخدام محول ذاتي

في هذه الطريقة يتم توصيل أطراف العضو الثابت إلى محول ذاتي ثلاثي الأوجه الشكل (١ - ٢٢) بحيث يخفض الجهد المسلط على ملفات العضو الثابت للمحرك إلى حوالي $\frac{1}{2}$ أو إلى $(1/\sqrt{3})$ الجهد المقنن و يلاحظ من الشكل أن المحرك موصل إلى مفتاح ذي ناحيتين، حيث يتم وضعة خلال فترة البدء على الناحية الموصل عليها المحول الذاتي، وعندما تصل السرعة إلى أقصى مدى لها يحول المفتاح إلى الناحية الأخرى، حيث يصبح المحرك موصلاً توصيلاً مباشراً علي الشبكة الكهربائية. هذه الطريقة

مثالية حيث لا توجد قدرة مفقودة، كما أنها تعتبر الخيار الأفضل للمحركات التي توصل ملفاتها على شكل نجمة.

١ - ٨ - ١ باستخدام مفتاح نجمة/دلتا:

هذه الطريقة مناسبة للمحركات التي توصل ملفاتها الثلاثية على شكل دلتا أثناء التشغيل العادي، حيث توصل ملفات العضو الثابت عند بدء الحركة على شكل نجمة ونتيجةً لذلك فإن جهد الوجه سيقبل إلى $(1:\sqrt{3})$ أي بنسبة ٥٧٪ من جهد المصدر وينخفض تيار الخط إلى ثلث التيار المار في حالة التوصيل على شكل دلتا. يلاحظ من الشكل (١ - ٢٣) أن المحرك موصل إلى مفتاح ذي ناحيتين، حيث يتم وضعة خلال فترة البدء على الناحية التي تجعل ملفاته موصلة على شكل نجمة، وعندما تصل السرعة إلى أقصى مدى لها يحول المفتاح إلى الناحية الأخرى، حيث تصبح ملفات المحرك موصلة على شكل دلتا، ويستمر تشغيل المحرك بتوصيلة الدلتا.

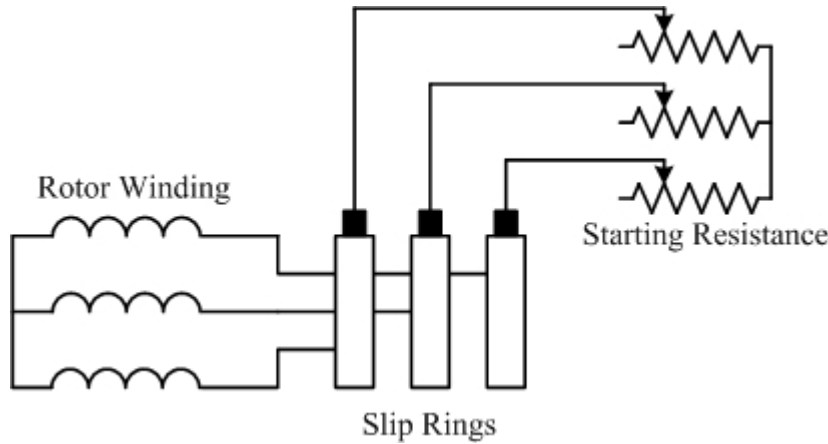


الشكل ١ - ٢٣: توصيلة بدء الحركة باستخدام مفتاح نجمة/دلتا

١ - ٨ - ١ إضافة مقاومة ثلاثية على التوالي مع ملفات العضو الدائر:

هذه الطريقة تصلح فقط للمحرك ذي حلقات الانزلاق حيث يمكن توصيل مقاومات على التوالي مع ملفات العضو الدائر الشكل (١ - ٢٤)، يؤدي توصيل مقاومة ثلاثية الأوجه على التوالي مع ملفات العضو الدائر إلى الحد من قيمة تيار البدء المسحوب من المصدر، نتيجة لزيادة معاوقة المحرك، وإلى جانب الحد من قيمة تيار البدء، فإن المقاومة المضافة ترفع من قيمة الانزلاق الذي يحدث عنده أقصى عزم مما يعني زيادة عزم دوران البدء، حيث تبين من المعادلة (١ - ٤٤) أننا نستطيع أن نحصل على قيمة العزم الأقصى (T_{max}) عند البدء بإضافة مقاومة ثلاثية إلى ملفات العضو الدائر بحيث تكون قيمة الانزلاق الذي يحدث

عنده أقصى عزم ($S_{max} = 1$). يتم التخلص من هذه المقاومة الثلاثية تدريجياً خلال فترة البدء. هذه الطريقة تعتبر الأفضل للمحركات ذات حلقات الانزلاق.



الشكل ١ - ٢٤: توصيلة بدء الحركة باستخدام مقاومات موصلة على التوالي مع ملفات العضو الدائر

١ - ٨ - ٢ - ٥ باستخدام أجهزة بدء إلكترونية:

ظهرت حديثاً أجهزة لبدء حركة المحركات الحثية تستخدم تقنية إلكترونيات القدرة، هذه الأجهزة تعتمد على مبدأ التحكم الدقيق والناعم في الجهد مع مراقبة التيار في نفس الوقت وبالتالي تجعل التيار ثابتاً طيلة فترة البدء مع عزم مستقر. هذه الطريقة تعتبر الأفضل وذلك لأنها توفر للمحرك تسارعاً ناعماً بدون قفزات مفاجئة أو إجهاد ميكانيكي كما هو الحال في الطرق التقليدية.

١ - ٨ - ٢ التحكم في السرعة:

يوصف المحرك الحثي ثلاثي الأوجه بأنه من الناحية الموضوعية يمتلك سرعة ثابتة تقريباً، فسرعة المحرك في حالة اللاحمل تختلف اختلافاً طفيفاً جداً عن سرعة التزامن، كما أن السرعة لا تتغير إلا بمقدار طفيف آخر عن هذه السرعة عندما يصبح المحرك محملاً بالحمل الكامل. إن هذا الانخفاض الطفيف في سرعة المحرك، بين حالتي اللاحمل والحمل الكامل هو الذي يؤدي إلى إعطاء صفة الاتزان لتشغيل المحرك. في منطقة التشغيل المتزن، لذلك يمكن اعتبار المحرك ذا سرعة ثابتة خلال فترة تشغيله مع تغير الحمل، وهي سرعة التزامن علي وجه التقريب.

بالإشارة إلى المعادلة (١ - ٥) نجد أن سرعة المحرك الحثي يمكن التحكم فيها إما بتغيير الانزلاق أو بتغيير السرعة التزامنية، والسرعة التزامنية يمكن أن تتغير إما بتغيير عدد الأقطاب أو بتغيير تردد المصدر. وبناءً عليه يمكن التحكم في سرعة المحرك الحثي ثلاثي الأوجه بإحدى ثلاث طرق: تغيير الانزلاق أو تغيير عدد الأقطاب أو تغيير تردد المصدر.

١- ٢- ٨- ١- تغيير الانزلاق باستخدام مقاومة ثلاثية على التوالي مع ملفات العضو الدائر:

من البديهي أن هذه الطريقة لا تستخدم إلا في المحركات ذات الحلقات الانزلاقية، حيث يمكن توصيل مقاومة متغيرة ثلاثية المراحل على التوالي مع ملفات العضو الدائر عن طريق الفرش. وبتغيير هذه المقاومة يمكن الحصول على تغيير في سرعة المحرك، ذلك لأن إضافة المقاومة لملفات العضو الدائر تؤدي إلى زيادة الانزلاق الذي يحدث عنده العزم الأقصى وبالتالي تتغير السرعة مع تغير الانزلاق. تستخدم هذه الطريقة في أضيق الحدود، عندما يراد تغيير سرعة المحرك بما لا يتجاوز حوالي ١٥٪ من السرعة التزامنية. وذلك لأن زيادة هذه المقاومة يؤدي إلى زيادة المفايد النحاسية في العضو الدائر وبالتالي نقص كفاءة المحرك.

١- ٢- ٨- ٢- تغيير عدد الأقطاب:

تعتمد هذه الطريقة على تغيير عدد أقطاب المحرك، مما يؤدي إلى تغيير قيمة سرعة التزامن للمحرك، وبالتالي سرعة دوران العضو الدائر، التي تتغير تغيراً طفيفاً جداً عنها، مابين حالتها اللاحمل والحمل الكامل. ويغلب استخدام هذه الطريقة في حالة المحرك ذي القفص السنجابي، نظراً لأن القفص السنجابي يمكن أن يتواءم مع المجال المغناطيسي مهما اختلف عدد أقطابه.

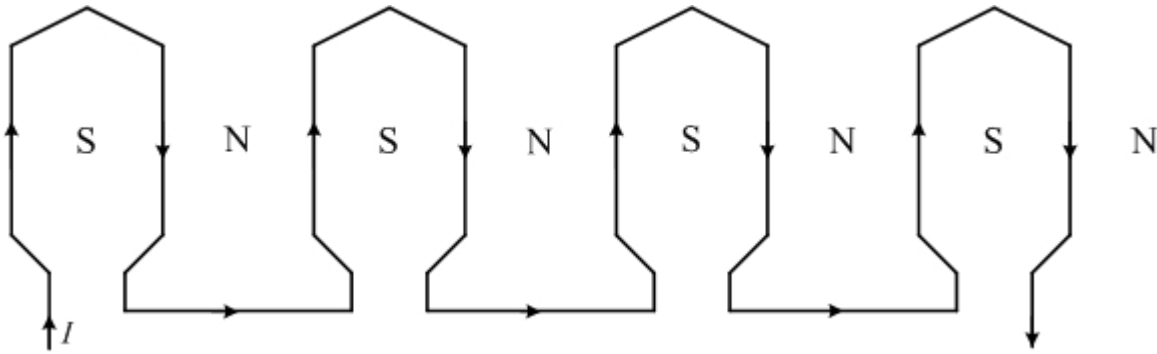
وهناك طريقتان لتغيير عدد الأقطاب، تتم إحداها بتزويد العضو الثابت للمحرك بمجموعات من الملفات المستقلة عن بعضها البعض تمام الاستقلال، بحيث تكون كل مجموعة خاصة بسرعة معينة، وتتم الثانية بإعادة توصيل الملفات بطريقة مختلفة بحيث نحصل على نصف عدد الأقطاب أو ضعفها، بهذه الطريقة يصبح لدينا سرعتان تزامنيتان إحداها ضعف الأخرى. فإذا كان عدد الأقطاب الأساسية ثمانية أقطاب كما هو موضح في الشكل (١- ٢٥). يمكن إعادة توصيل الملفات بحيث تصبح الآلة ذات أربعة أقطاب، كما هو موضح في الشكل (١- ٢٦). ويطلق على هذا الأسلوب في تغيير التوصيلات اسم

توصيلات دالندر (Dahlander connection)

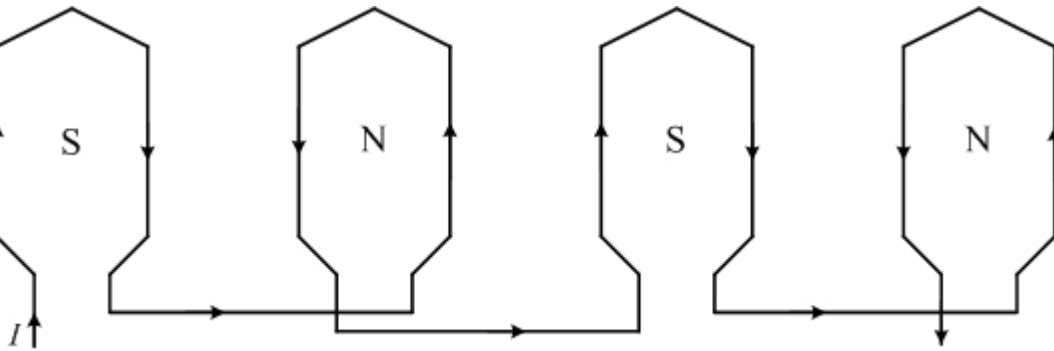
تزود المحركات التي تدير الآلات في الورش، التي تحتاج إلى سرعات متغيرة، بمجموعتين من الملفات في العضو الثابت، بحيث يمكن أن تعمل إحدى المجموعتين بأربعة أقطاب أو ثمانية، وتعمل المجموعة الأخرى بستة أقطاب أو اثنا عشر قطباً، وبذلك يمكن الحصول على السرعات ٦٠٠، ٩٠٠، ١٢٠٠، ١٨٠٠ لفة في الدقيقة عندما يتغذى المحرك من مصدر تردده ٦٠ هيرتز.

وتجدر الإشارة هنا إلى أنه عند تغيير عدد الأقطاب لملفات العضو الثابت، فإنه في حالة المحركات ذات القفص السنجابي يتواءم القفص السنجابي تلقائياً مع هذا التغيير، أما في حالة المحركات ذات الحلقات الانزلاقية يلزم تغيير توصيلات ملفات العضو الدائر للحصول على تغيير في عدد أقطابها مناظر

للتغيير الذي حدث في عدد أقطاب ملفات العضو الثابت. لذلك نجد أن هذه الطريقة في تغيير السرعة تستخدم عموماً مع المحركات ذات القفص السنجابي فقط. ومن عيوب هذه الطريقة أن تغيير السرعة يتم على درجات متفاوتة تفاوتاً كبيراً (نصف السرعة أو ضعفها مثلاً).



الشكل ١ - ٢٥ : توصيل الملفات لثمانية أقطاب



الشكل ١ - ٢٦ : توصيل الملفات بحيث تصبح الآلة ذات أربعة أقطاب

١ - ٨ - ٢ - ٣ تغيير تردد المصدر:

يمكن التحكم في السرعة التزامنية للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه عن طريق التحكم في تردد مصدر الجهد المغذي للمفات العضو الثابت. وهذا يتطلب مصدر جهد ثلاثي الأوجه ذا تردد قابل للتغيير، هذه المصادر هي عبارة عن دوائر تحكم إلكترونية ذات قدرات عالية تقوم بتحويل القدرة الداخلة ذات التردد الثابت إلى تيار مستمر ومن ثم يتم تحويل التيار المستمر إلى تيار متردد ثلاثي الأوجه بالتردد المطلوب.

كما أن الجهد الخارج يضبط بحيث يكون متناسباً مع التردد المطلوب وذلك للحفاظ على قيمة ثابتة للفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية. مثل هذه الأجهزة تكون عادةً مكلفة ولا يلجأ إليها إلا في التطبيقات التي تحتاج تحكماً دقيقاً في السرعة.

أسئلة وتمارين:

- ١- لماذا يكون تيار البدء عالياً في المحركات الحثية؟
- ٢- لماذا لا يحبذ توصيل مقاومات على التوالي مع ملفات العضو الثابت للمحركات الحثية لأجل تقليل تيار البدء؟
- ٣- ما مميزات استخدام المحول الذاتي في عملية بدء المحركات الحثية؟
- ٤- ما مواصفات المحرك الذي يمكنه البدء بطريقة (Δ / Y) ؟
- ٥- لماذا يؤدي إضافة مقاومة ثلاثية إلى ملفات العضو الدائر إلى تقليل تيار البدء؟
- ٦- اشرح كيف يمكن التحكم في سرعة المحرك الحثي ذي حلقات الانزلاق عن طريق إضافة مقاومة إلى دائرة العضو الدائر.
- ٧- كيف يمكن الحصول على محرك حثي ذي أربع سرعات؟
- ٨- فيما يلي اختر الإجابة الصحيحة:
 - أ) إذا زاد تحميل المحرك فإن الانزلاق (يقل / لا يتأثر).
 - ب) إذا زادت مقاومة العضو الدائر فإن تيار البدء (يزداد / يقل).
 - ت) إذا زادت مقاومة العضو الدائر فإن سرعة المحرك (تقل / تزداد).
 - ث) إذا قل الانزلاق فإن القدرة المفقودة في العضو الدائر (تزداد / تقل).
 - ج) إذا قل تردد المصدر فإن سرعة المجال المغناطيسي الدوار (تقل / تزداد).
 - ح) إذا زاد الانزلاق فإن تردد التيارات داخل ملفات العضو الدائر (يقل / يزداد).
 - خ) إذا زادت سرعة المحرك فإن قيم التيارات داخل ملفات العضو الدائر (تزداد / تقل).
 - د) إذا زاد عدد أقطاب العضو الثابت فإن سرعة المجال المغناطيسي الدوار (تقل / تزداد).
- ٩- بماذا تؤثر زيادة مقاومة العضو الدائر زيادة طفيفة على كل من:
 - أ) عزم البدء.
 - ب) تيار البدء.
 - ت) السرعة عند الحمل الكامل.
 - ث) الكفاءة.
 - ج) معامل القدرة.
 - ح) درجة حرارة المحرك عند الحمل الكامل.

الإجابة (أ) يزداد (ب) يقل (ت) تقل (ث) تقل (ج) يزداد (ح) تزداد

١٠- محرك حثي ثلاثي الأوجه، له ٦ أقطاب موصل بمصدر تردده ٦٠ هيرتز. الجهد المتولد في العضو الدائر عند عدم الحركة ٤ فولت. احسب الجهد المتولد في العضو الدائر إذا كان المحرك يدور في نفس اتجاه دوران المجال المغناطيسي الدوار بسرعة:

(أ) ٣٠٠ لفة في الدقيقة.

(ب) ١٠٠٠ لفة في الدقيقة.

(ت) ١٥٠٠ لفة في الدقيقة.

الإجابة (أ) ٣ فولت (ب) ٠,٦٧ فولت (ت) - ١ فولت

١١- محرك حثي ثلاثي الأوجه، له ٦ أقطاب موصل مع مصدر تردده ٦٠ هيرتز. الجهد المتولد في العضو الدائر عند عدم الحركة ٢٤٠ فولت. احسب الجهد المتولد والتردد في العضو الدائر إذا كان المحرك يدور بسرعة:

(أ) ٦٠٠ لفة في الدقيقة، في نفس اتجاه دوران المجال المغناطيسي الدوار.

(ب) ٩٠٠ لفة في الدقيقة، في نفس اتجاه دوران المجال المغناطيسي الدوار.

(ت) ٣٦٠٠ لفة في الدقيقة، في عكس اتجاه دوران المجال المغناطيسي الدوار.

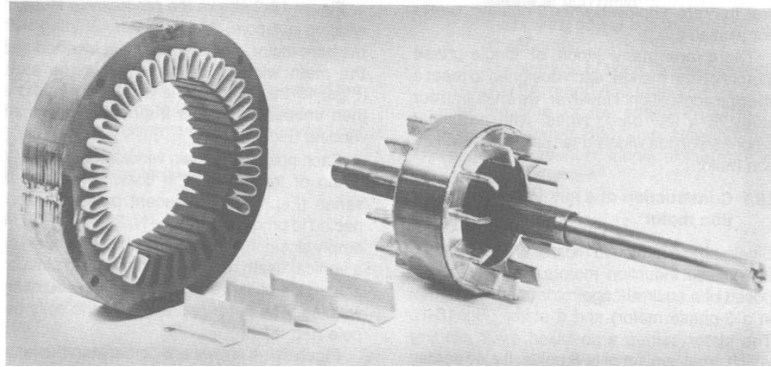
الإجابة (أ) ١٢٠ فولت، ٣٠ هيرتز (ب) ٦٠ فولت، ١٥ هيرتز (ت) ٩٦٠ فولت، ٢٤٠ هيرتز

Single Phase Induction Motors

١ - ٩ المحركات الحثية أحادية الوجه :

١ - ٩ - ١ التركيب :

تتركب المحركات الحثية أحادية الوجه، من ملفات أحادية الوجه على العضو الثابت، وعضو دوار ذي قفص سنجابي كما في الشكل (١ - ٢٧)، فتרכيها يشبه المحركات الحثية ثلاثية الأوجه ذات القفص السنجابي، عدا ما يختص بملفات العضو الثابت حيث تكون أحادية الوجه. الملفات أحادية الوجه موزعة في مجاري العضو الثابت بطريقة تجعلنا نحصل على قوة دافعة مغناطيسية موزعة توزيعاً جيبيّاً في الفراغ، وبالتالي نحصل على منحني جيبيّاً لكثافة الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية. ومن أهم سمات هذه المحركات أن ليس لها عزم لبدء الحركة، ولكن إذا بدأت حركتها بأي وسيلة مساعدة فسوف تستمر في الدوران في نفس اتجاه الدوران الذي بدأت فيه.



الشكل (١ - ٢٧) يبين العضو الثابت خالياً من الملفات والعضو الدوار لمحرك حثي أحادي الوجه

١ - ٩ - ٢ نظرية المجال المغناطيسي المزدوج الدوار :

عند تغذية ملف العضو الثابت بتيار متردد، ذي موجة جيبيه مع الزمن، فإن موجة القوة الدافعة المغناطيسية المتولدة، تكون موزعة توزيعاً جيبيّاً في الثغرة الهوائية، وأيضاً متناسبة جيبيّاً مع الزمن، ويمكن كتابتها كدالة جيبيه في الفراغ والزمن بالمعادلة (١ - ٤٧):

$$F_l = F_{l_{max}} \cos(\omega_s \cdot t) \cdot \cos(\theta) \quad \text{المعادلة (١ - ٤٧):}$$

القوة الدافعة المغناطيسية تولد مجالا مغناطيسيا، له نفس خواص التوزيع الجيبي في الثغرة الهوائية، وبالتناسب الجيبي مع الزمن، ويمكن تمثيله رياضيا بالمعادلة (١ - ٤٨):

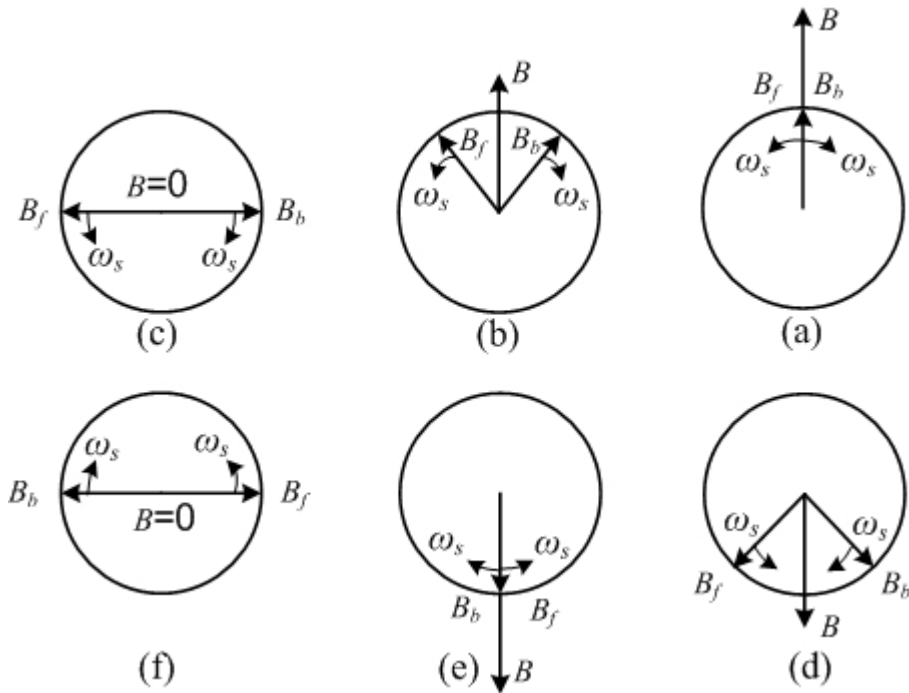
$$B_l = B_{l_{max}} \cos(\omega_s \cdot t) \cdot \cos(\theta) \quad \text{المعادلة (١ - ٤٨):}$$

يمكن تحليل هذا المجال المغناطيسي إلى مجالين مغناطيسيين دوارين، الأول يدور في الاتجاه الموجب ويسمى بالمجال المغناطيسي الدوار الأمامي، و عادة يكون اتجاه دورانه، عكس اتجاه دوران عقارب الساعة، والمجال الآخر يدور في الاتجاه المضاد ويسمى بالمجال المغناطيسي الدوار الخلفي، وهو الذي يدور مع عقارب الساعة (حسب العرف المتبع في الآلات الكهربائية)، المعادلة (١ - ٤٩) توضح هذا التحليل:

$$B_l = \frac{I}{2} B_{lmax} \cos(\theta - \omega_s \cdot t) + \frac{I}{2} B_{lmax} \cos(\theta + \omega_s \cdot t) \quad \text{المعادلة (١ - ٤٩):}$$

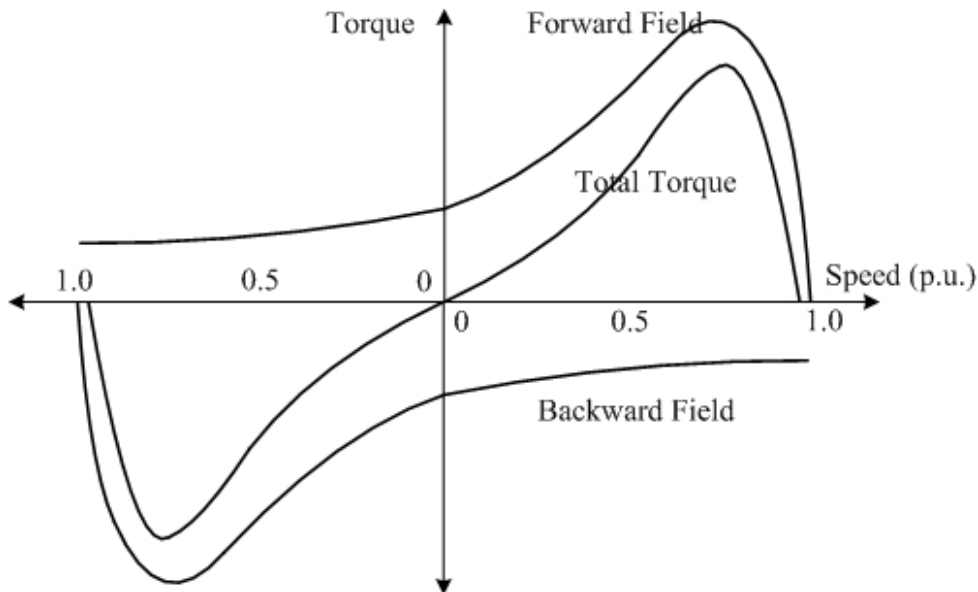
حيث يمثل الحد الأول مجالا مغناطيسياً جيبياً دائراً بالسرعة التزامنية وذو كثافة عظمى $\frac{1}{2}B_{lmax}$ ، كما يمثل الحد الثاني مجالا مغناطيسياً جيبياً دائراً آخر بنفس الكثافة العظمى، ويدور المجالين في اتجاهين متضادين بنفس السرعة التزامنية ω_s حول محيط الثغرة الهوائية. كل من هذين المجالات المغناطيسيين الدوارين يولد عزم دوران في الاتجاه الذي يدور فيه، كما في حالة المحركات الحثية الثلاثية المراحل. يمكن توضيح كيفية تحليل المجال المغناطيسي النابض الناشئ عن ملف أحادي إلى مجالين مغناطيسيين دوارين متساويين في القيمة، ويدور كل منهما عكس الآخر بنفس سرعة الدوران ω_s والقيمة العظمى لكل منهما تساوي نصف القيمة العظمى للمجال أحادي الوجه، باستخدام الرسم التوضيحي في الشكل (١ - ٢٨)، حيث المتجه الدوار B_f يمثل المجال الأمامي والمتجه B_b يمثل المجال الخلفي و يلاحظ أن مجموع هذين المتجهين B يكون دائماً في اتجاه رأسي وتغير قيمته مع دوران المتجهين B_b و B_f وهو يعادل المجال المغناطيسي النابض الناشئ عن ملف أحادي الوجه.

$$B = B_f + B_b \quad \text{المعادلة (١ - ٥٠):}$$



الشكل ٢٨ - ١ كيفية تحليل المجال النابض إلى مجالين دوارين

إذن يمكننا الحصول على خواص المحرك الحثي أحادي الوجه، بتطبيق قاعدة التراكب (Superposition) على خواص محركين متماثلين، كل منهما ثلاثي المراحل و يدور المحرك الأول في عكس اتجاه دوران المحرك الثاني. إذا قمنا برسم منحنى العلاقة بين العزم والسرعة، لكل من المجالين، نستطيع الحصول على منحنى خواص المحرك الحثي أحادي الوجه، كما هو مبين في الشكل (٢٩ - ١)



الشكل (٢٩ - ١) منحنى العزم مع السرعة للمجالين الأمامي والخلفي.

في حالة سكون العضو الدوار وعند بدء الحركة يكون عزم الدوران الناتج عن المجال الأمامي، مساوياً ومضاداً في الاتجاه للعزم الناتج عن المجال الخلفي، مما يجعل محصلة عزم الدوران المؤثر على العضو الدوار مساوية للصفر فلا يكون هناك عزم لبدء الحركة، وهي إحدى خصائص هذا النوع من المحركات. ولكن إذا بدأ المحرك حركته الدورانية بوسيلة مساعدة في اتجاه معين فسيستمر في الدوران في نفس ذلك الاتجاه (يمكن اعتبار عزم الدوران الناشئ عن المجال الخلفي كعزم دوران فرملي يعيق حركة دوران المحرك نتيجة للعزم الناشئ عن المجال الخلفي).

عندما يدور العضو الدوار للمحرك بسرعة دورانية مقدارها n في اتجاه دوران المجال الأمامي، والذي يدور بسرعة التزامن n_s ، فإن الانزلاق الأمامي يكون مساوياً $s_f = s = (n_s - n)/n_s$ ، بينما يكون المجال الخلفي دائراً في عكس الاتجاه بالسرعة n_s ، أي أنه يدور بالسرعة $(n_s + n)$ بالنسبة للعضو الدوار، فيكون معامل الانزلاق للمجال الخلفي s_b مساوياً:

$$s_b = \frac{n_s + n}{n_s} = 2 - s \quad \text{المعادلة (١- ٥١):}$$

عند ظروف التشغيل العادية بمعامل انزلاق في حدود ٥٪ ($s=0.05$) للمجال الأمامي، تكون قيمة معامل الانزلاق للمجال الخلفي كبيرة جداً مقارنة بقيمة معامل الانزلاق للمجال الأمامي.

مثال ١- ١٤:

محرك حثي أحادي الوجه، ٢٣٠ فولت، ٦٠ هيرتز، ذو أربعة أقطاب يعمل عند الحمل الكامل بانزلاق مقداره ٤٪ احسب:

i. الانزلاق للمجال الخلفي s_b

ii. السرعة التزامنية n_s

iii. سرعة المحرك عند الحمل الكامل.

الحل:

$$i - \text{Slip for the backward field} \equiv s_b = 2 - s = 2 - 0.04 = 1.96$$

$$ii - \text{The synchronous speed} \equiv n_s = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \quad \text{rpm}$$

$$iii - \text{The motor speed} \equiv n = (1 - s) n_s = 0.96 \times 1800 = 1728 \quad \text{rpm}$$

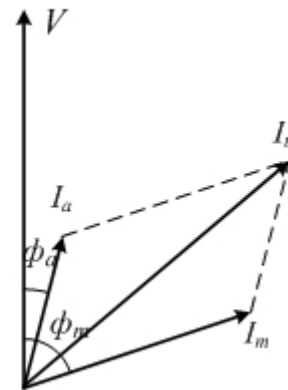
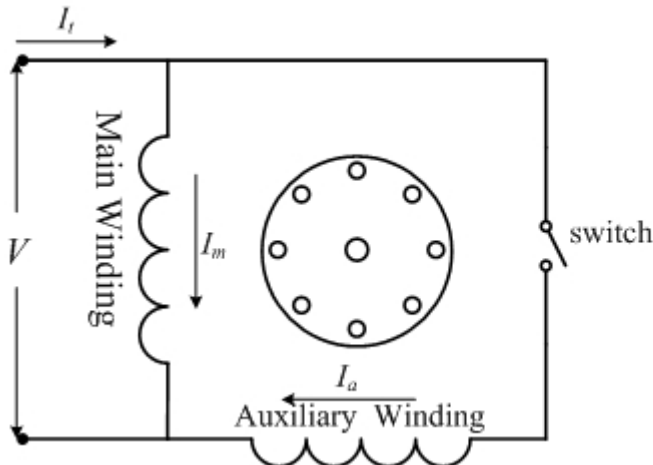
١- ٩- ٣ طرق البدء ومنحنيات الخواص للمحركات الحثية أحادية الوجه :

المحركات الحثية أحادية الوجه تصنف طبقاً للطريقة المستخدمة لبدء حركتها، كما يطلق عليها أسماء تصف الطريقة التي استخدمت لبدء حركتها، فيما يلي نتناول وصف لأنواع المحركات الحثية أحادية الوجه الشائعة الاستخدام:

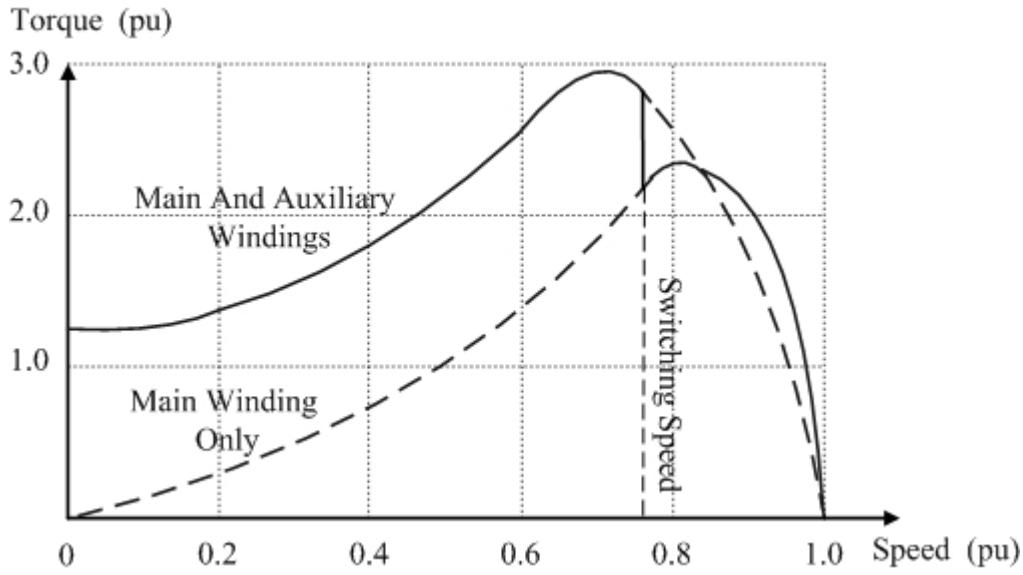
(Split-Phase Motor)

١- ٩- ٣ المحرك المشطور الوجه :

المحرك المشطور الوجه يحتوي على ملفين في العضو الثابت، الأول هو الملف الرئيس، والثاني هو الملف المساعد (أو ملف بدء الحركة)، كل من هذين الملفين موزع في مجاري العضو الثابت، بحيث تكون الزاوية بين محوري الملفين تسعون درجة كهربائية في الفراغ، وبطريقة تجعلنا نحصل على مجال مغناطيسي موزع توزيعاً جيبيّاً في الفراغ، من كل من الملفين على حدة، الشكل (١- ٣٠) يبين دائرة توصيل هذين الملفين. تستعمل أسلاك ذات مساحة مقطع صغيرة للملفات المساعدة، فتكون نسبة مقاومتها إلى ممانعتها الحثية كبيرة، في حين تكون نسبة المقاومة إلى الممانعة الحثية للملفات الرئيسة، أقل من ذلك، وحيث إن الملفين موصلان على التوازي مع نفس مصدر الجهد، فإن تيار الملف المساعد I_a يكون متأخراً بزاوية صغيرة عن جهد المصدر، بينما يكون تيار الملف الرئيسي، I_m متأخراً بزاوية أكبر من ذلك بصورة محسوسة، كما هو موضح بمخطط المتجهات عند بدء الحركة في الشكل (١- ٣٠). وبما أن تيار الملفات المساعدة متقدم عن تيار الملفات الرئيسة، فإن المجال الكلي للعضو الثابت يصل إلى قيمته العظمى على محور الملفات المساعدة أولاً، ثم بعد ذلك يصل إلى قيمته العظمى على محور الملفات الرئيسة. إذن تيار الملفين يمثل نظاماً ثنائي الوجه غير متزن، والمحرك يكافئ محركاً ذا وجهين غير متزن، فينشأ مجال مغناطيسي دوار، ينتج عنه عزم دوران يتسبب في بدء دوران المحرك.



الشكل (١- ٣٠) كيفية التوصيل ومخطط المتجهات عند بدء الحركة للمحرك المشطور الوجه.



الشكل (١ - ٣١): منحنى العزم/السرعة (المحرك المشطور الوجه).

بعد أن يبدأ المحرك حركته بالملفين معاً تفصل الملفات المساعدة، باستخدام مفتاح يعمل بقوة الطرد المركزي عندما تصل سرعة المحرك إلى حوالي خمسة وسبعين في المائة (٧٥٪) من سرعة التزامن، ويستمر المحرك بعد ذلك في الدوران بالملف الرئيس فقط. الشكل (١ - ٣١).

أبسط طريقة للحصول على نسبة كبيرة بين مقاومة الملفات المساعدة إلى ممانعتها الحثية، هي استخدام سلك ذي مساحة مقطع صغير للملفات المساعدة، مقارنة بمساحة مقطع الأسلاك المستخدمة للملفات الرئيسة، كما يمكن التقليل من الممانعة الحثية للملفات المساعدة، بوضعها في الجزء العلوي من مجاري العضو الثابت ولا يشكل استخدام أسلاك ذات مساحة مقطع صغير للملفات المساعدة أي خطر عليها، حيث إنها لا تستعمل إلا أثناء فترة بدء الحركة فقط.

من خصائص المحركات ذات الوجه المشطور، أن لها عزم بدء بحركة متوسط القيمة وتياراً منخفضاً أثناء بدء الحركة، وتستخدم في المراوح والشفافات ومضخات الطرد المركزي وفي الأجهزة المنزلية والمكتبية.

مثال ١ - ١٥:

محرك حثي أحادي الوجه، ١٠ فولت، ٥٠ هيرتز من النوع المشطور الوجه، له الثوابت الآتية عند بدء

الحركة:

$$Z_m = 1.2 + j 25 \quad \Omega$$

معاوقة الملف الرئيسي

$$Z_a = 12 + j 5 \quad \Omega$$

معاوقة الملف المساعد

احسب عند بدء الحركة: التيار في كل من الملف الرئيس والملف المساعد، التيار الكلي للمحرك،

معامل القدرة، الفرق الزمني بين تيار الملف الرئيس والملف المساعد.

الحل:

التيار في كل من الملف الرئيس والملف المساعد:

$$I_m = \frac{V_l}{Z_m} = \frac{110 \angle 0}{1.2 + j 25} = \frac{110 \angle 0}{25.03 \angle 87.252}$$

تيار الملف الرئيس

$$I_m = 4 \angle -87.252$$

A

$$I_a = \frac{V_l}{Z_a} = \frac{110 \angle 0}{12 + j 5} = \frac{110 \angle 0}{13 \angle 22.62}$$

تيار الملف المساعد

$$I_a = 8.46 \angle -22.62$$

A

التيار الكلي المسحوب من المصدر:

$$I_t = I_m + I_a$$

$$I_t = 4 \angle -87.25 + 8.46 \angle -22.62^\circ$$

$$I_t = (0.192 - j3.995) + (7.81 - j3.254)$$

$$I_t = 8.02 - j7.25 = 10.8 \angle -42.11^\circ$$

A

$$\cos(-42.11) = 0.742$$

معامل القدرة

الفرق الزمني بين تيار الملف الرئيس والملف المساعد:

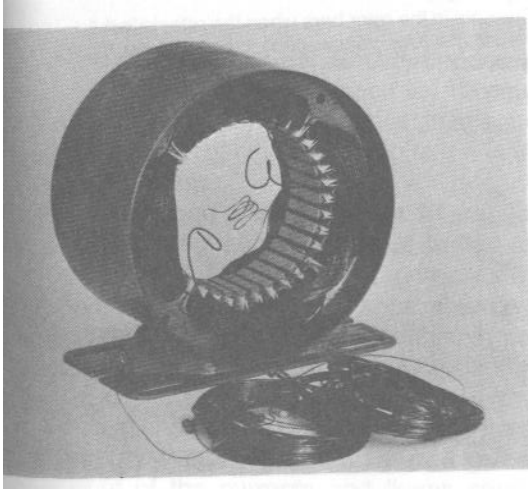
$$\theta = \phi_m - \phi_a = -87.25 - (-22.62) = -64.63^\circ$$

$$I_m \text{ lags } I_a \text{ by } 64.62^\circ$$

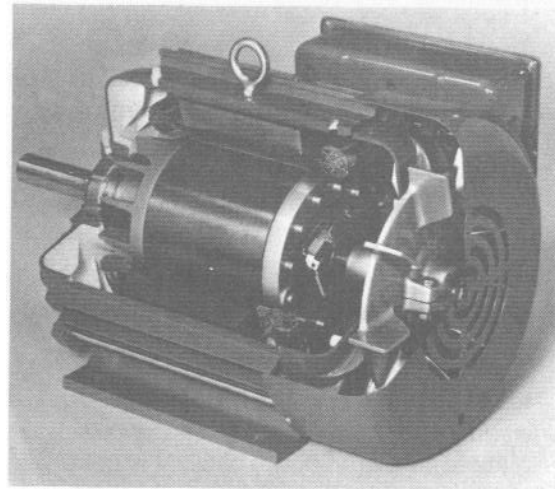
(Capacitor Motors)

١- ٢- ٣- ٩- ١٠- المحركات ذات المكثفات:

يمكن أن تستخدم المكثفات لتحسين خواص وأداء المحرك الحثي أحادي الوجه، أثناء بدء الحركة أو أثناء التشغيل، أو كليهما، اعتماداً على حجم ونوع المكثف المستخدم وطريقة توصيله.



العضو الثابت وبداخله الملفات

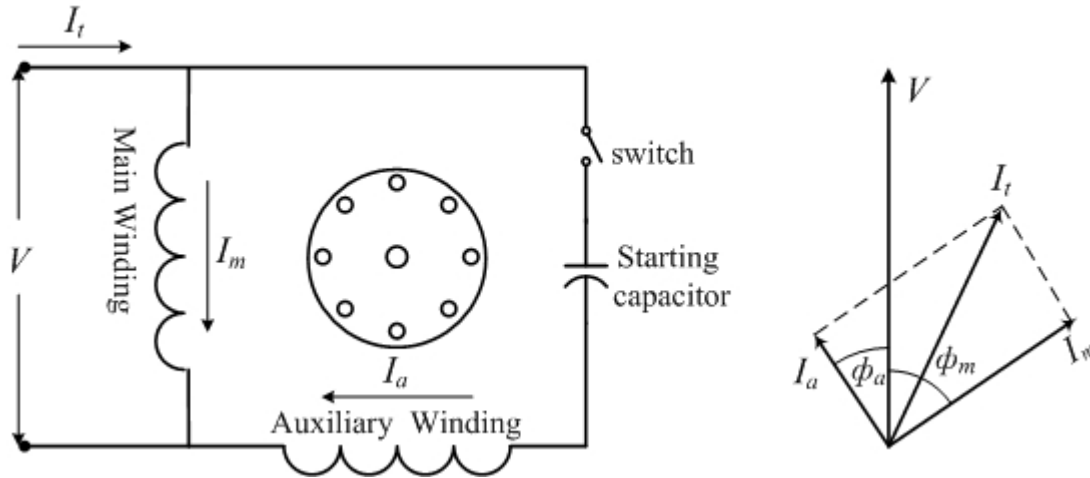


مقطع في المحرك ذي مكثف البدء

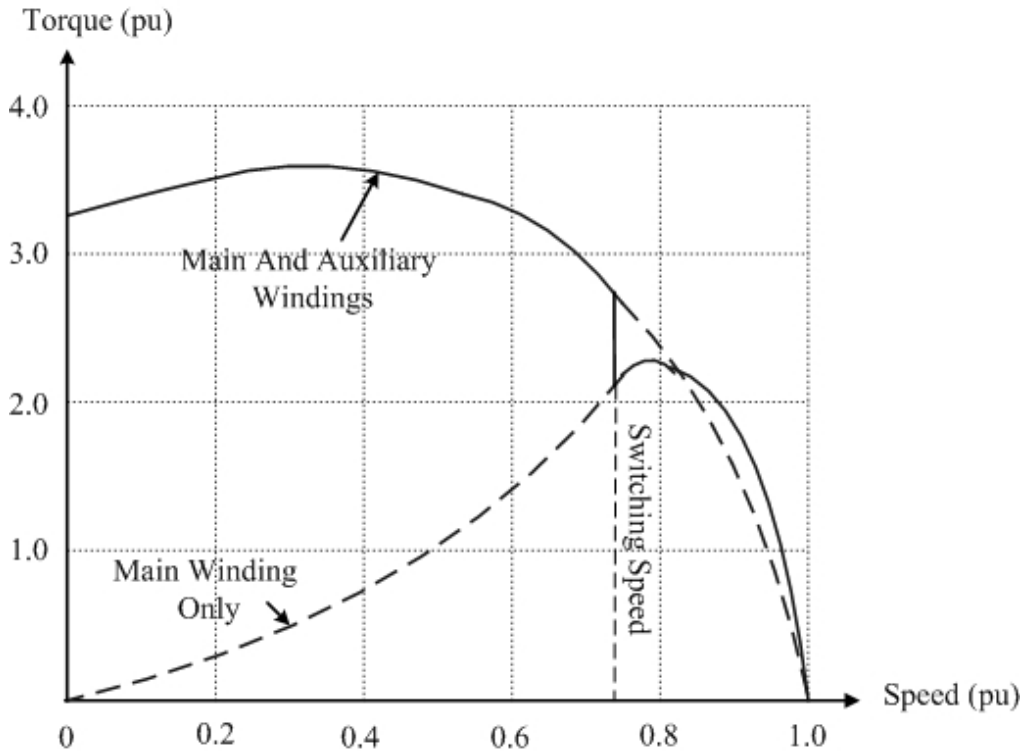
Capacitor –Start Motor

أ. المحرك ذو مكثف البدء:

يحتوي المحرك ذو مكثف بدء الحركة على ملفات رئيسة وملفات مساعدة على عضوه الثابت، الفرق الزمني بين زاوية تيارى الملفين، نحصل عليه بواسطة مكثف موصل على التوالي مع الملفات المساعدة، كما هو مبين في الشكل (١ - ٣٢)، يفصل الملف المساعد بعد بدء الحركة في هذه الحالة أيضاً، تماماً كما يحدث في النوع السابق، وبالتالي يمكن تصميم الملفات المساعدة والمكثف، بحيث يكون تشغيلهما تشغيلاً متقطعاً، مما يساعد على تقليل كلفة كل منهما ومن الممكن باستخدام مكثف بدء الحركة ذي القيمة المناسبة، التي تجعل تيار الملفات المساعدة I_a ، يتقدم عن تيار الملفات الرئيسية I_m (عند سكون العضو الدوار) بزاوية مقدارها تسعون درجة كهربائية الشكل (١ - ٣٣)، أن نحصل على خصائص محرك متزن ذي وجهين. عند بدء الحركة.



الشكل (١ - ٣٢). كيفية التوصيل ومخطط المتجهات للمحرك مكثف البدء



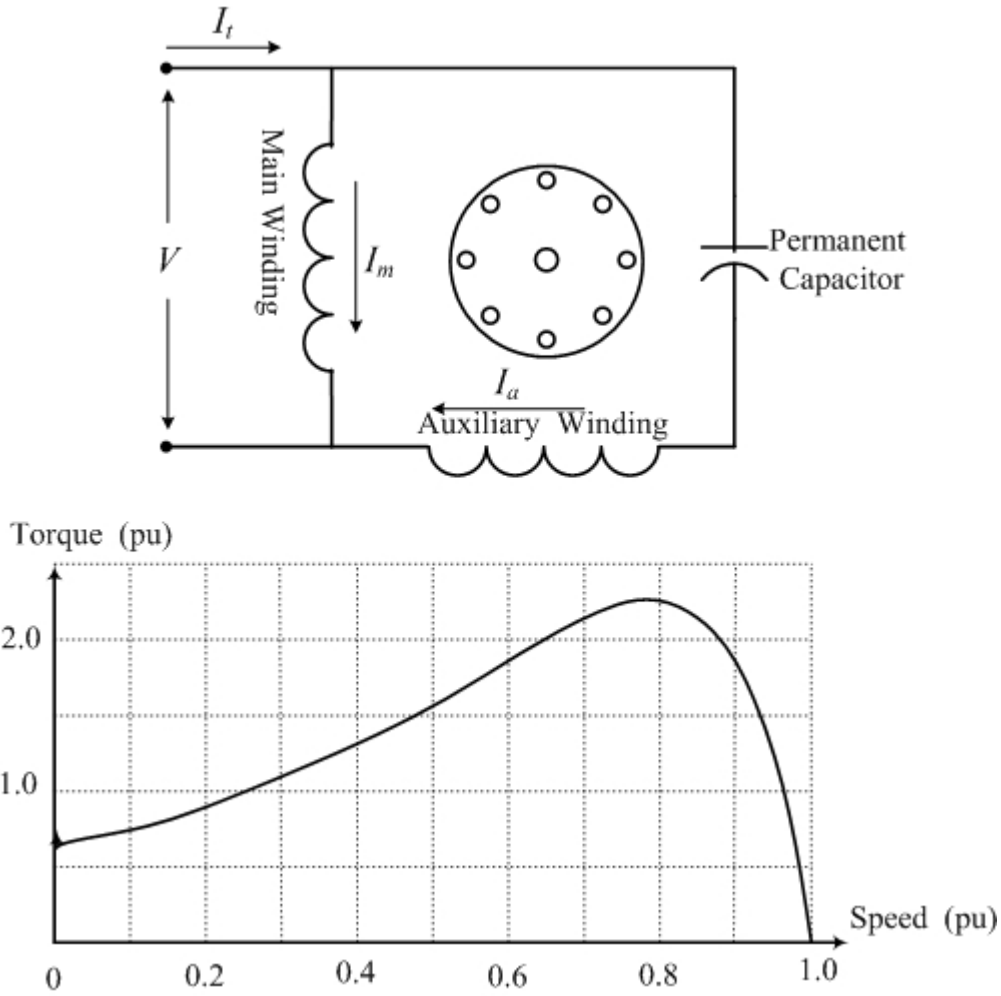
الشكل (١ - ٣٣). منحنى العزم/السرعة للمحرك ذي مكثف البدء

الشكل (١ - ٣٣). يبين منحنى الخواص للمحرك ذي مكثف بدء الحركة، ومن أهم خصائصه العزم الكبير المتولد عند بدء الحركة، يبدأ المحرك الدوران والملفين موصلين عند بدء الحركة مما يعطي عزم دوران كبير ثم تفصل الملفات المساعدة ويستمر المحرك في الدوران بالملف الرئيس أثناء التشغيل. يستخدم هذا النوع في الضواغط والمضخات والثلاجات، وأجهزة التبريد والتكييف وفي الأحمال التي تتطلب عزمًا كبيراً لبدء حركتها.

Permanent-Capacitor Motor

ب. المحرك ذو المكثف الدائم:

في المحرك ذي المكثف الدائم تظل الملفات المساعدة عاملة مع الملفات الرئيسية أثناء التشغيل المستمر للمحرك، فيمكن تبسيط تركيب المحرك، بالاستغناء عن مفتاح الطرد المركزي، المشار إليه في الحالتين السابقتين. الشكل (١ - ٣٤). يبين كيفية توصيل الملفات كما يبين أيضاً منحني خواص المحرك.

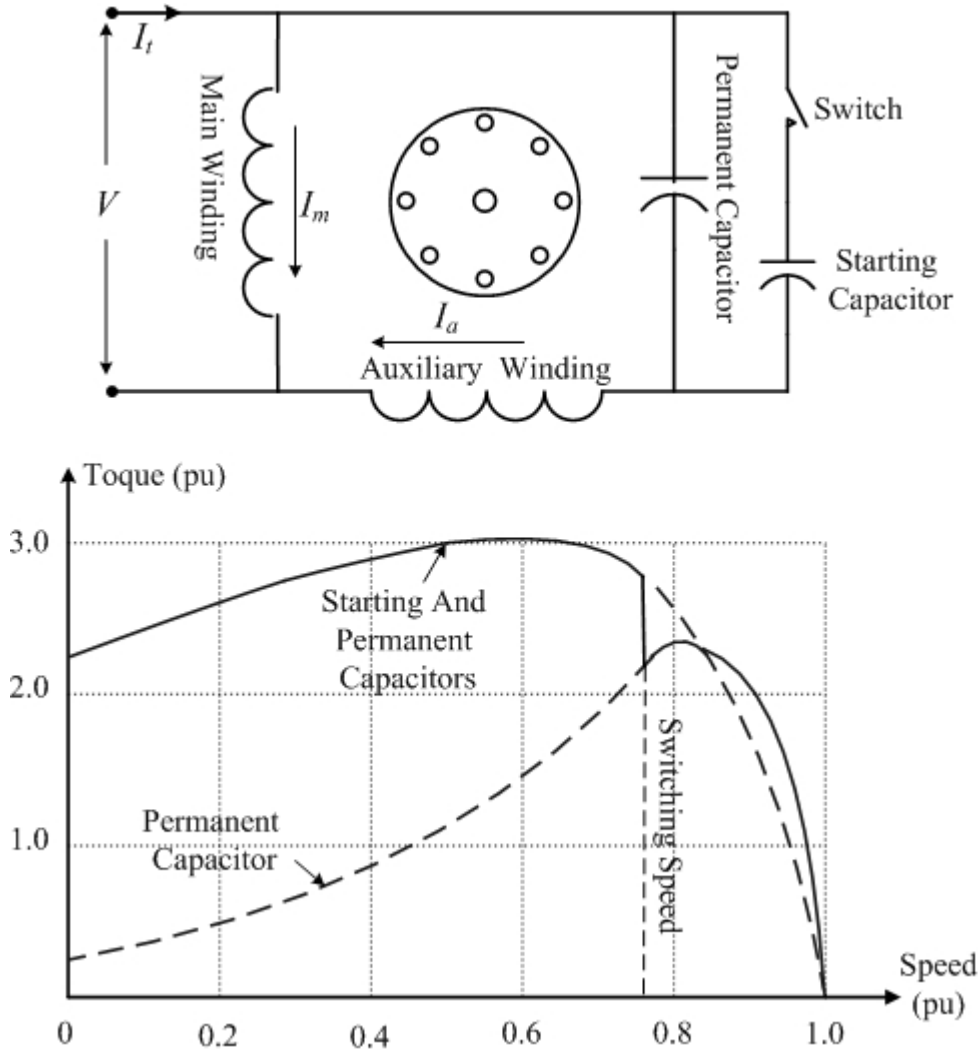


الشكل (١ - ٣٤) كيفية توصيل وخواص المحرك ذي المكثف الدائم

تصمم الملفات المساعدة والمكثف على أساس التشغيل المستمر، وبحيث يصبح المحرك مكافئاً لمحرك مثالي ذي وجهين عند حمل بعينه، فيختفي وجود المجال الخلفي مما يؤدي إلى تحسين الكفاءة، كما تختفي أيضاً الضجة التي كان يسببها المجال الخلفي، فتكون النتيجة محركاً هادئاً الصوت أثناء التشغيل، كما يؤدي استخدام المكثف الدائم إلى تحسين معامل القدرة أثناء التشغيل ويستخدم هذا النوع من المحركات في التطبيقات التي تتطلب هدوءاً في الصوت أثناء تشغيلها.

Two-Values Capacitor Motor

المحرك ذو المكثفين:



الشكل (١- ٣٥) كيفية توصيل وخواص المحرك ذي المكثفين

عند استخدام مكثفين أحدهما يستخدم أثناء فترة البدء فقط، والآخر يستمر عمله أثناء التشغيل المستمر للمحرك، يمكننا الحصول على أفضل خواص للمحرك، أثناء فترتي البدء والتشغيل معاً. الشكل (١- ٣٥) يبين طريقة توصيل هذين المكثفين، كما يبين منحنى خواص المحرك ويستخدم مكثف من النوع الورقي المشبع بالزيت موصل على التوالي بصفة مستديمة (ويسمى المكثف الدائم)، مع الملفات المساعدة لتحسين خواص التشغيل. كما يستخدم مكثف آخر لتحسين عزم بدء الحركة، من النوع ذي السائل الكهربائي (ويسمى مكثف بدء الحركة) موصلاً مع مفتاح طرد مركزي خاص به، على التوازي مع المكثف الدائم، ليعمل معاً أثناء فترة البدء فقط، ويعتبر هذا النوع من المحركات أكثر كلفة من الأنواع السابقة، ويستخدم في التطبيقات التي تتطلب تشغيلاً هادئاً مع عزم كبير لبدء الحركة.

مثال ١- ١٦ :

محرك حثي أحادي الوجه، من النوع ذي مكثف بدء الحركة، جهده ١٢٧ فولت وترددده ٦٠ هيرتز، ثوابت الملفات الرئيسية والمساعدة عند البدء:

$$Z_m = 4.2 + j3.8 \quad \Omega$$

$$Z_a = 8.8 + j3.3 \quad \Omega$$

عين قيمة مكثف البدء اللازمة للحصول على زاوية مقدارها تسعون درجة كهربائية بين تيارتي الملفات الرئيسية والمساعدة عند بدء الحركة.

الحل:

زاوية معاوقة الملفات الرئيسية:

$$\phi_m = \tan^{-1} \left(\frac{3.8}{4.2} \right) = 42.14^\circ$$

زاوية معاوقة الملفات المساعدة يجب أن تكون:

$$\phi_a = 90 - \phi_m = 47.86^\circ$$

ممانعة المكثف X_c يجب أن تحقق العلاقة:

$$\tan^{-1} \left(\frac{X_c - 3.2}{8.8} \right) = 47.86$$

$$\frac{X_c - 3.2}{8.8} = \tan (47.86) = 1.1$$

$$X_c = 1.1 \times (8.8) + 3.2 = 12.93 \quad \Omega$$

سعة المكثف يمكن حسابها من:

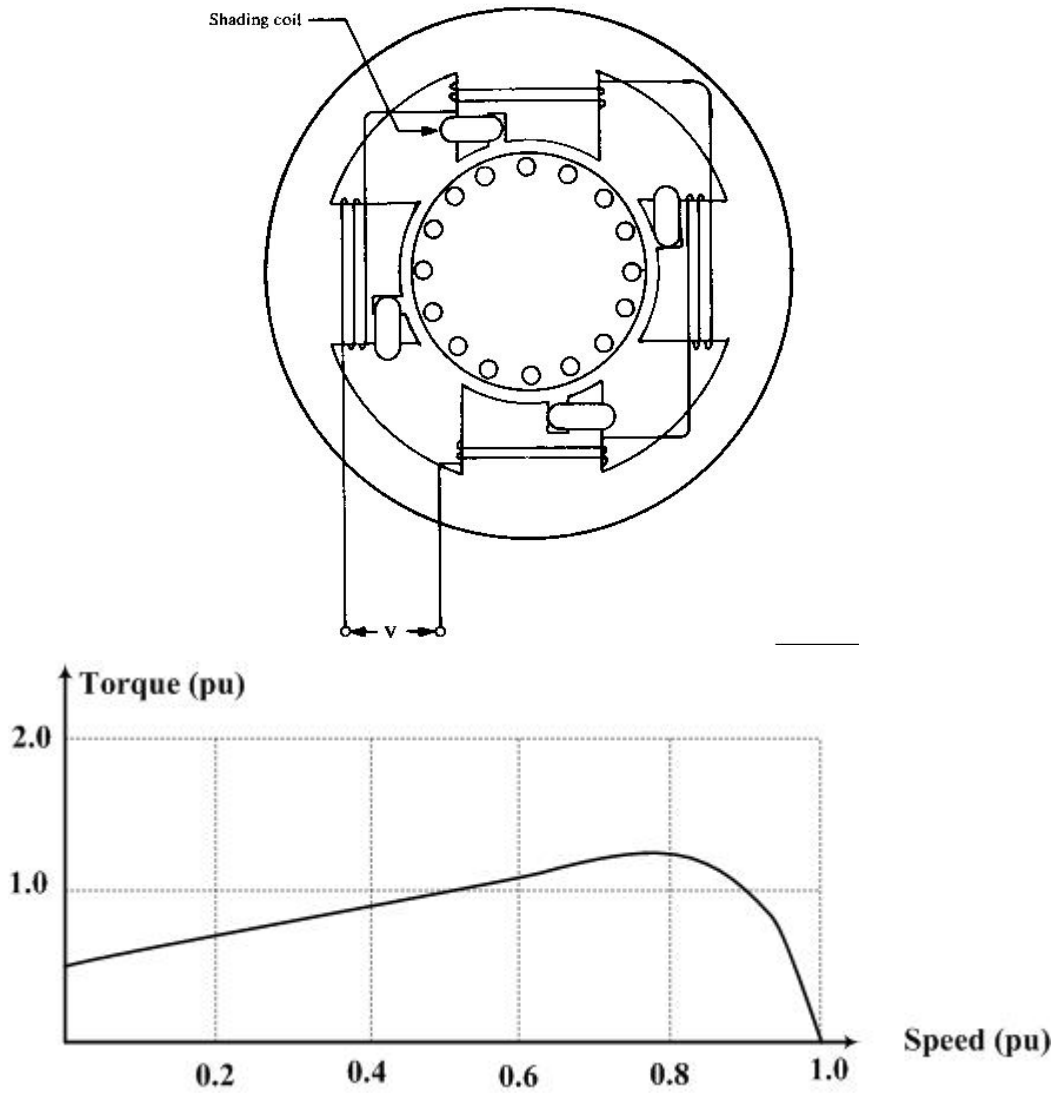
$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot c}$$

$$c = \frac{1}{\omega \cdot X_c} = \frac{1}{377 \times 12.93} = 205 \quad \mu F$$

Shaded-Pole motor

١ - ٩ - ٣ - ٣ المحرك ذو الوجه المظلل:

يتكون العضو الثابت لهذا المحرك من أقطاب بارزة ملفوف عليها ملفات الثابت، كل قطب مقسوم إلى جزأين بواسطة مجرى صغير، حيث يتم إحاطة (تطويق) جزء من كل قطب بلفة مقصورة من النحاس، تسمى الملف المظلل (Shading Coil)، كما هو موضح في الشكل (١ - ٣٦).



الشكل (١ - ٣٦) تركيب وخواص المحرك ذي الوجه المظلل

تتولد في الملف المظلل تيارات بفعل جزء المجال المغناطيسي المتشابه معه، تؤدي إلى تأخر محصلة المجال المغناطيسي لهذا الجزء من القطب (الجزء المظلل) زمنياً عن المجال المغناطيسي في الجزء الآخر، نتيجة لذلك يتكون مجال مغناطيسي دوار يتحرك من الجزء غير المظلل باتجاه الجزء المظلل من القطب، مما ينشأ عنه عزم دوران صغير يعمل على دوران المحرك. يبين الشكل (١ - ٣٦) تركيب المحرك، كما

يبين منحنى العلاقة بين العزم والسرعة. يتميز هذا المحرك برخص الثمن وبساطة التركيب، ويستخدم في المراوح الصغيرة ومضخات المياه المستخدمة في المكيفات الصحراوية وغسالات الملابس.

اختبار ذاتي؛

اختر الإجابة أو الإجابات الصحيحة:

- ١- ملف بدء الحركة (الملف المساعد) للمحرك أحادي الوجه ذي الوجه المشطور، موجود في
 - أ. الدوار
 - ب. الثابت
 - ج. المنتج
 - د. المجال
- ٢- من خواص المحركات أحادية الوجه أنها
 - أ. لا تحتاج لوسيلة بدء حركة.
 - ب. تحتاج لوسيلة بدء حركة.
 - ج. بها ملف واحد فقط.
 - د. تدور في اتجاه واحد فقط.
- ٣- بعد فصل ملفات بدء الحركة في المحركات أحادية الوجه من مصدر التغذية يستمر المحرك في الدوران بالملف فقط.
 - أ. الدوار
 - ب. المساعد
 - ج. الرئيس
 - د. التشغيل
- ٤- لو تُرك ملف بدء الحركة موصلاً أثناء تشغيل المحرك أحادي الوجه فسوف
 - أ. يسحب المحرك تياراً كبيراً من المصدر.
 - ب. يدور المحرك بسرعة كبيرة.
 - ج. يدور المحرك بسرعة بطيئة.
 - د. تحدث شرارة كهربائية.
- ٥- يمكن عكس اتجاه دوران المحركات الحثية أحادية الوجه ب.... .
 - أ. عكس أطراف ملفاته.

- ب. عكس أطراف الملف المساعد فقط.
- ج. عكس أطراف الملف الرئيس فقط.
- د. عكس أطراف مصدر التغذية.
- هـ. جميع ما سبق.
- ٦- في المحرك ذي مكثف بدء الحركة، يوصل المكثف على التوالي مع الملف
- أ. المساعد.
- ب. الرئيس.
- ج. الدوار.
- د. التشغيل.
- ٧- المحرك ذو المكثف الدائم لا يحتوي على
- أ. مفتاح الطرد المركزي.
- ب. ملف بدء الحركة.
- ج. القفص السنجابي.
- د. الملف الرئيس.
- ٨- المكثف المستخدم لبدء الحركة في المحرك ذي المكثفين، يكون من النوع
- أ. الورقي المشبع بالزيت.
- ب. ذي السائل الكهربائي.
- ج. الهوائي.
- د. السيراميك.
- ٩- جميع الجمل الآتية والتي تخص المحرك ذا الوجه المظلل صحيحة ما عدا.
- أ. يدور المحرك باتجاه من القطب غير المظلل إلى القطب المظلل.
- ب. كفاءة المحرك رديئة جداً.
- ج. معامل القدرة منخفض.
- د. له عزم كبير لبدء الحركة.

أسئلة وتمارين:

- ١- لماذا تحتاج المحركات أحادية الوجه لوسيلة مساعدة لبدء حركتها؟ وضح إجابتك بالرسم.
- ٢- عدّد الطرق المختلفة المستخدمة لبدء حركة المحركات أحادية الوجه.
- ٣- ما أهم مميزات المحرك ذي مكثف بدء الحركة مقارنة بالمحرك المشطور الوجه؟
- ٤- ما أهم مميزات المحرك ذي المكثف الدائم مقارنة بالمحرك المشطور الوجه؟
- ٥- ما أهم مميزات المحرك ذي المكثفين مقارنة بالمحرك ذي المكثف الدائم؟
- ٦- في أي التطبيقات تستخدم المحركات الحثية أحادية المرحلة؟ أعط أمثلة لاستخدام كل نوع من أنواع المحركات.
- ٧- محرك حثي أحادي الوجه ٢٣٠ فولت، ٥٠ هيرتز ذي ستة أقطاب ($2p = 6$) يعمل عند الحمل الكامل بانزلاق مقداره ٥٪ احسب:
 - i. الانزلاق للمجال الخلفي (s_b).
 - ii. سرعة التزامن n_s
 - iii. سرعة المحرك عند الحمل الكامل.
- ٨- محرك حثي أحادي الوجه من النوع ذي مكثف بدء الحركة، جهده ١٢٠ فولت وتردده ٦٠ هيرتز، ثوابت الملفات الرئيسية والمساعدة عند البدء:

$$Z_m = 4.2 + j3.6 \, \Omega$$

$$Z_a = 8.4 + j3.0 \, \Omega$$

احسب قيمة مكثف البدء اللازم للحصول على زاوية مقدارها ثمانون درجة كهربائية (80°) بين تيارتي الملفات الرئيسية والمساعدة عند بدء الحركة.