آلات التيار المتردد

المحركات الحثية

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الوقت المتوقع للتدريب: ٢٦ ساعة.

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

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

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

المحركات الحثية
Induction Motors

المحركات الحثية ثلاثية الأوجه : Three Phase Indution Motors:

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 نتيجةً 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.

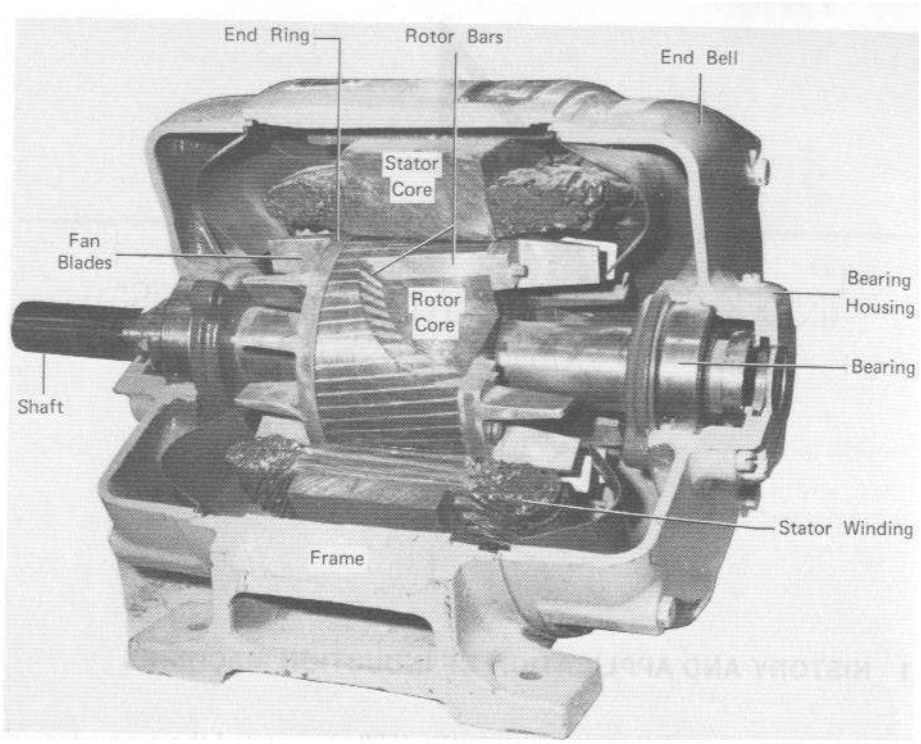
لذا فإن مميزات هذه المحركات تفوق عيوبها في معظم التطبيقات الصناعية التي لا تتطلب تغيراً في السرعة كما أنه وجد حديثاً وسائل تحكم إلكترونية أدت إلى التغلب على هذه العيوب.

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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١- ١ تركيب المحركات الحثية ثلاثية الأوجه :

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



شكل ١- ١ : مقطع في محرك حثي ثلاثي الأوجه

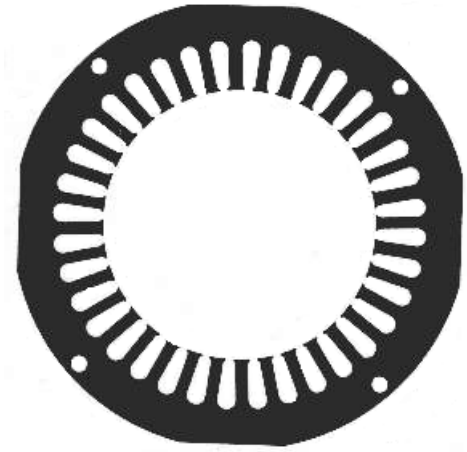
١- ١- ١ تكوين العضو الثابت:

العضو الثابت يتكون كما في الشكل (١- ٢)، من شرائح متراصة من الحديد المغناطيسي تتراوح سماكتها من ٠,٣ إلى ٠,٦مم 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).

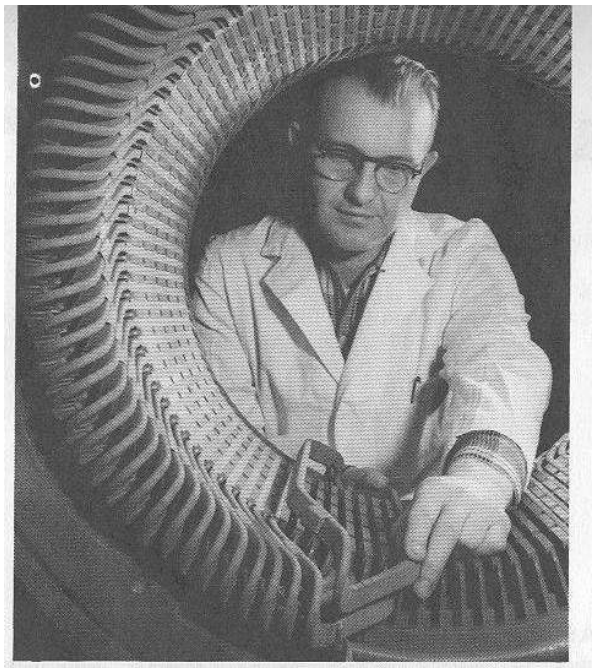
الهدف من تصنيع العضو الثابت من شرائح متراصة من الحديد المغناطيسي هو التقليل من القدرة المفقودة نتيجة للتيارات الدوامية وبالتالي من حرارة الحديد التي تتكون بسبب تعرض الحديد للمجال المغناطيسي المتغير داخل المحرك، وبعد اكتمال تصنيع العضو الثابت بهذه الطريقة يتم تقسيمه إلى العدد المطلوب من الأقطاب وتقسم 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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

كهربائية، في نهاية عملية اللف يكون قد تم تركيب ثلاثة ملفات في العضو الثابت لكل ملف طرفان، هذه الأطرف 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- ١- ٢ تكوين العضو الدائر:

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

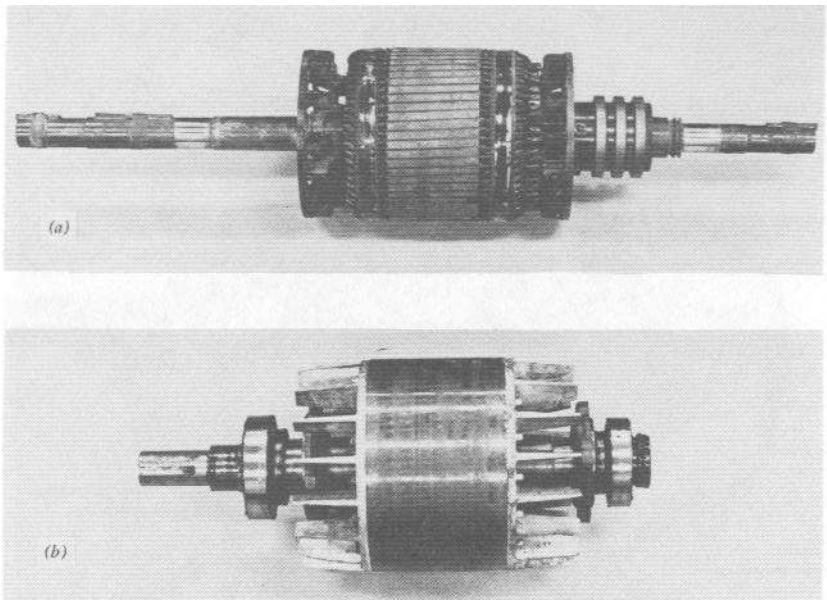
أ- العضو الدائر ذو حلقات الانزلاق: (Wound Rotor)

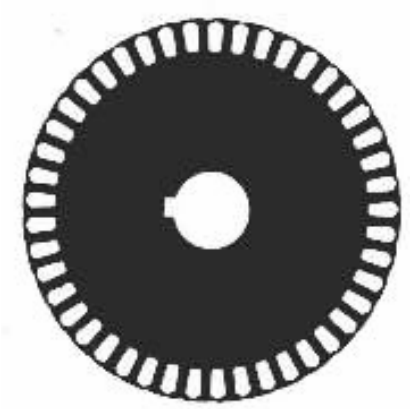
يتكون العضو الدائر في المحركات ذات الحلقات الانزلاقية من جسم اسطواني من رقائق الحديد المغناطيسي المعزولة عن بعضها البعض، وبه مجارٍ على سطحه الخارجي تحتوي علي ملفات ثلاثية الأوجه، يتم ترتيبها في المجاري على نحو مماثل لترتيب الملفات في العضو الثابت.

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 درجه كهربائية. لذلك يطلق عليه اسم العضو الدائر الملفوف (Wound rotor). ويتم توصيل ملفات العضو الدائر الثلاثية على شكل نجمة أو دلتا، كما

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

توصل الأطراف في الحالتين إلى ثلاث حلقات انزلاقية (Slip Rings) مركبة على نفس عمود الادارة للمحرك وتدور معه، الشكل (١- ٣أ). 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.





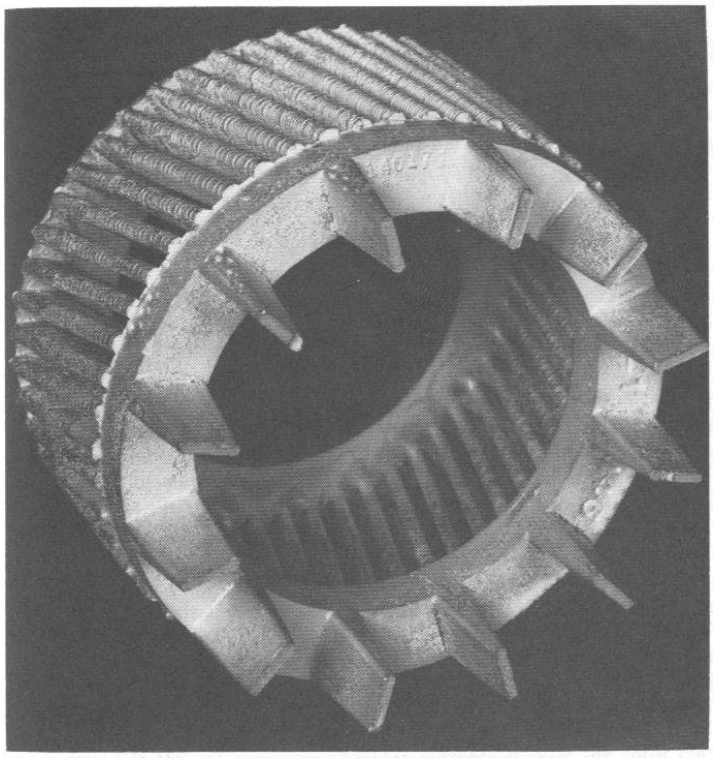
الشكل ١- ٣: شريحة عضو دائر
والى اليمين(a):عضو دائر ملفوف
(b)عضو دائر ذو قفص سنجابي

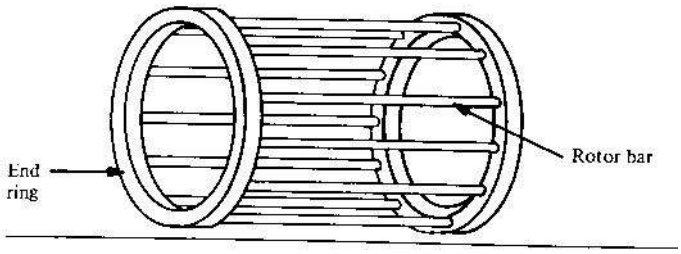
ب- العضو الدائر ذو القفص السنجابي: (Squirrel-cage rotor)

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(١- 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 لتغير خواص المحرك، كما أن قفص السنجاب يتواءم مع أي عدد من الأقطاب أو الأوجه للعضو الثابت الذي سيركب معه

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر





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

١- ٢ 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:

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

حيث:

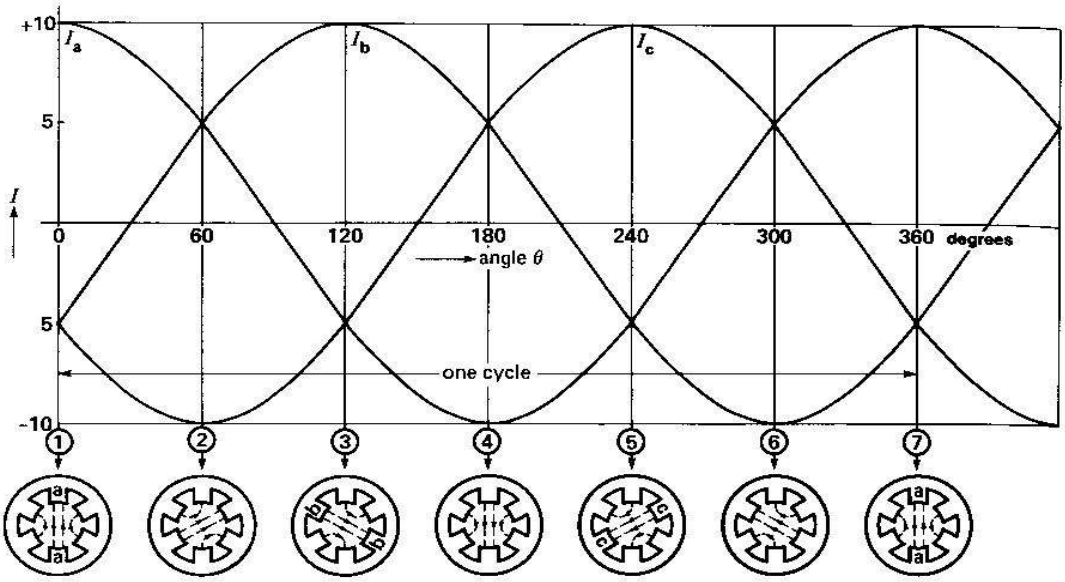
n_s: السرعة التزامنية

f_s: تردد تيار العضو الثابت

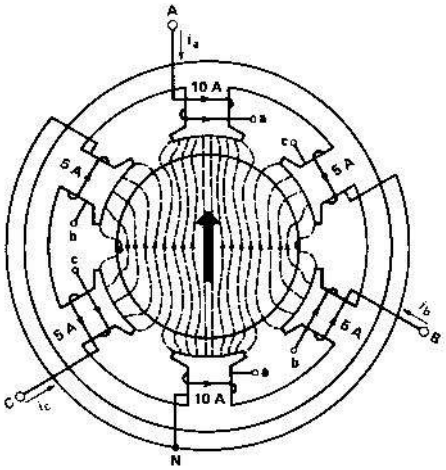
P: عدد أقطاب للآلة

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

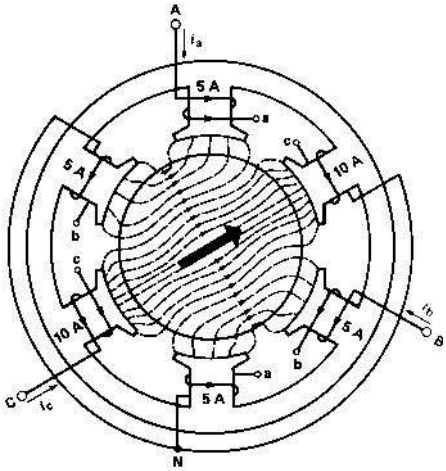
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



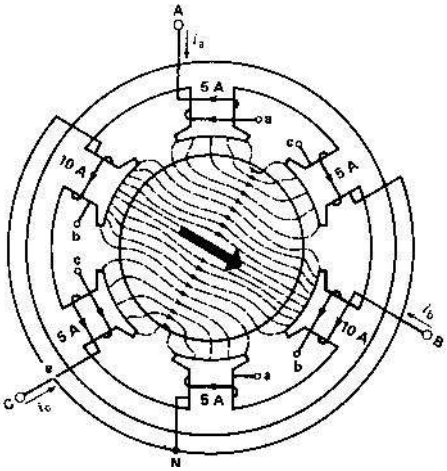
التيارات اللحظية في الأوجه الثلاثة لمحرك حثي ثلاثي الأوجه



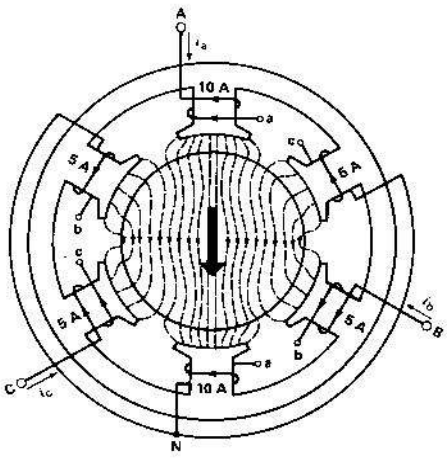
اللحظة الأولي عند الزاوية صفر



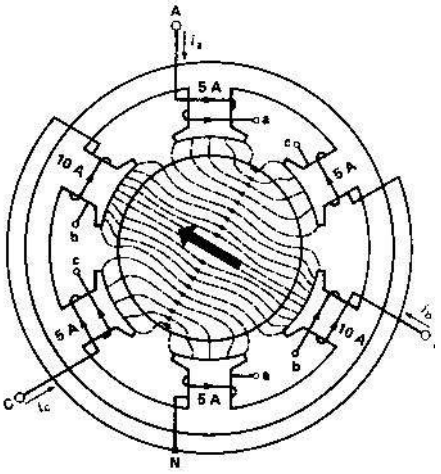
اللحظة الثانية عند الزاوية ٦٠ درجة



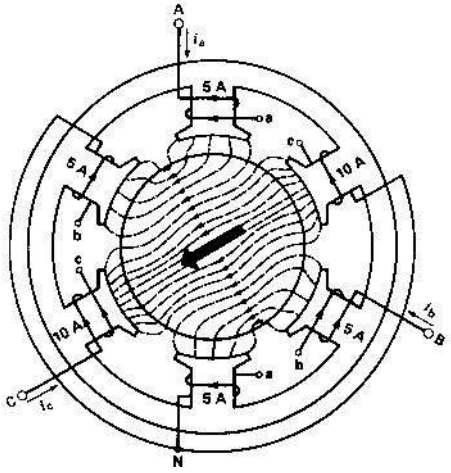
اللحظة الثالثة عند الزاوية درجة١٢٠



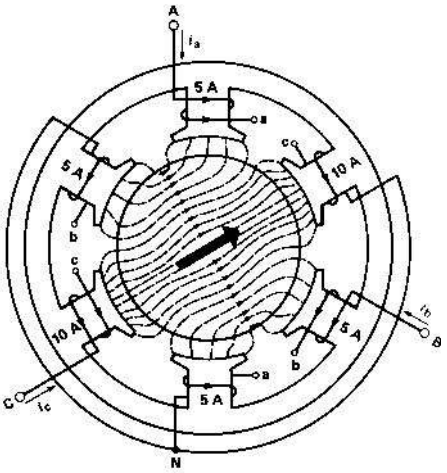
اللحظة الرابعة عند الزاوية ١٨٠ درجة



اللحظة السادسة عند الزاوية ٣٠٠ درجة

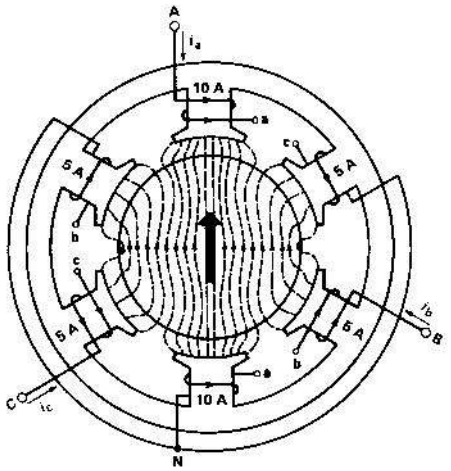


اللحظة الخامسة عند الزاوية ٢٤٠ درجة



اللحظة الثامنة عند الزاوية ٤٢٠ درجة

نفس اتجاه المجال عند اللحظة الثانية



اللحظة السابعة عند الزاوية ٣٦٠ درجة

نفس اتجاه المجال عند اللحظة الأولي

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 ٦٠درجة في الفراغ كلما مرت لحظة زمنية معينة، ويكتمل دوران المجال ٣٦٠درجة كل ذبذبة كاملة للتيار، يتضح ذلك بمقارنة اتجاه المجال عند اللحظة السابعة باتجاه المجال عند اللحظة الأولي وكذلك بمقارنة اتجاه المجال عند اللحظة الثامنة باتجاه المجال عند اللحظة الثانية وهكذا.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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):

$$T \propto F_s \cdot F_r \cdot Sin(\delta_{sr})$$ 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:

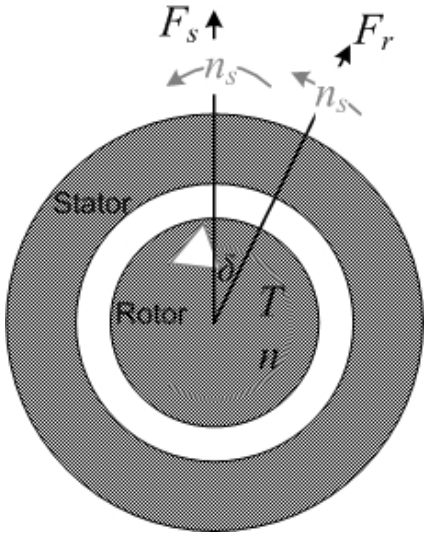
$$n_f = n_s - n$$ المعادلة(١- ٣)

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 أيضا 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- ٤ 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 $(n_s\text{-}n)$ وتسمى سرعة الانزلاق (Slip speed)، هذه السرعة النسبية منسوبة إلى سرعة التزامن، تعطي ما يسمي 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 ٠,٥٪ للمحركات الكبيرة في حالة عدم التحميل وعند التحميل يتراوح الانزلاق من ٣٪ إلى ٥٪ ، ويحسب من:

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

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

المعادلة(١- ٤)

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

كما أن قيمة الانزلاق تساوي صفراً عندما يدور العضو الدائر بنفس السرعة التزامنية $(n=ns)$ 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:

$$\text{Rotor speed} = n = n_s(1-s)$$

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 طبقا للمعادلة(١- ٥)حيث تصبح سرعة المجال المغناطيسي الدائر بالنسبة لملفات العضو الدائر هي $(n_s\text{-}n)$ لفة في الدقيقة ، بعد أن كانت n_s ، وبذلك تقل قيمة القوة الدافعة الكهربية 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 مساويا لتردد العضو الثابت $(f_r=f_s)$.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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:

المعادلة(١- ٦) $$f_r = s \cdot f_s$$

مثال (١- ١):

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ستة أقطاب، يتغذى من مصدر جهده ٢٤٠ فولت وتردده ٦٠هيرتز، 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

الحـل:

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

$$n = n_s(1-s) = 1200 \times (1-0.05) = 1140 \quad \text{rpm}$$

$$f_r = s \cdot f_s = 0.05 \times 60 = 3 \quad \text{Hz}$$

مثال (١- ٢):

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

الحـل:

$$n_s = \frac{120 \cdot f_s}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \quad \text{rpm}$$

$$n_{slip} = n_s - n = 1500 - 1455 = 45 \quad \text{rpm}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

مثال(١- ٣):

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

الحـل:

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

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

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أسـئلة و تمارِيــن:

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، دائما بسرعة أقل من سرعة المجال المغناطيسي الدوار؟

٧- ارسم رسماً يوضح كيفيه دوران المجال المغناطيسي لمحرك حثي ثلاثي الأوجه يحتوي على ٤أقطاب 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 رئيسين 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.....

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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- املأ الفراغات بعبارة مناسبة، عند تحميل محرك حثي ثلاثي الأوجه، كان يدور أصلا بدون حمل فإن:

أ) سرعته.....

ب) الانزلاق.....

ت) القوة الدافعة الكهربائية في العضو الدائر.....

ث) تيار العضو الدائر.....

ج) العزم المتولد.....

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ح) العضو الدائر يستمر في الدوران بالانزلاق الذي يتساوي عنده العزم المتولد مع.....

١٩- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو قطبين يتغذى من مصدر تردده ٦٠هيرتز، احسب سرعة العضو الدائر إذا كان تردد التيارات في العضو الدائر ٢هيرتز.

٢٠- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ثمانية أقطاب يتغذي من مصدر تردده ٥هيرتز، وسرعته عند الحمل الكامل ٧١٦ لفة في الدقيقة، احسب سرعة الانزلاق ومعامل الانزلاق عند الحمل الكامل.

٢١- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب يتغذي من مصدر تردده ٦٠هيرتز، القوة الدافعة الكهربائية في العضو الدائر ترددها ٢,٧هيرتز، احسب معامل الانزلاق وكذلك سرعة العضو الدائر.

٢٢- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو قطبين ملفاته موصلة على شكل نجمة يتغذى من مصدر جهده ٢٢٠فولت وتردده ٦٠هيرتز، 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 ٦٠هيرتز له ٨أقطاب، ويعمل عند انزلاق ٠,٠٥عند 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 يتغذي من مصدر تردده ٦٠هيرتز ويدور (أ) عند اللاحمل بسرعة ١١٦٠لفة في الدقيقة (ب) عند الحمل الكامل بسرعة ١٠٩٢لفة في الدقيقة. أوجد معامل الانزلاق وتردد تيار العضو الدائر عند حالتي اللاحمل والحمل الكامل.

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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(١-٧أ) ومنها نحصل على تيار العضو الدائر I_2 من العلاقة:

$$I_2 = \frac{s \cdot E_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}}$$

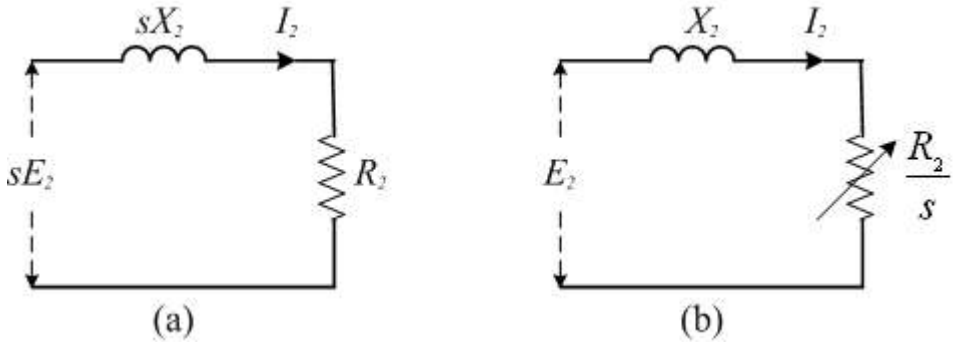
المعادلة(١- ٧)

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):

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}}$$

المعادلة(١- ٨):

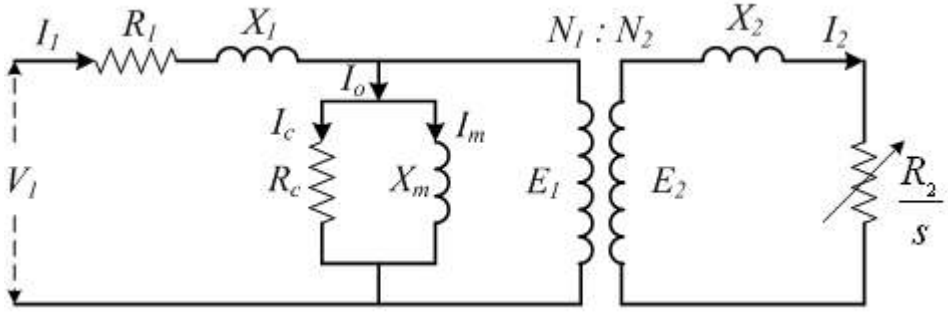
وبإعادة رسم الدائرة المبينة في (١- ٧أ) لتلاءم العلاقة(١- ٨) تصبح كما في الشكل(١- ٧ب)



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، وأيضا 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 Xm 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):

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



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

حيث:

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

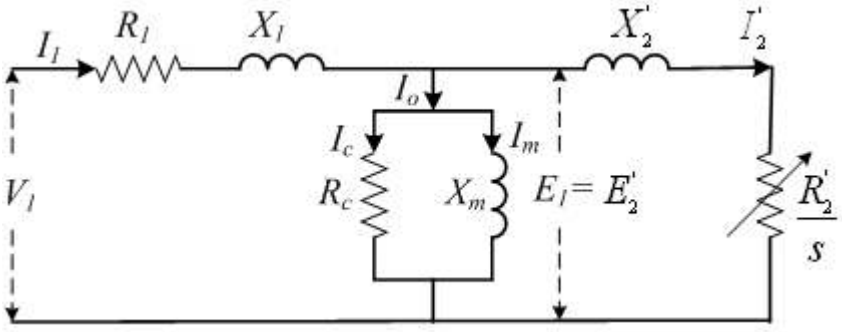
X_1, X_2: ممانعة التسرب الحثية لملفات العضو الثابت والعضو الدائر لكل وجه.

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

X_m: ممانعة التمغنط، 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:

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

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

المعادلة(١- ١١):

$$X_2^{'} = X_2 \cdot \left[\frac{N_1}{N_2}\right]^2 = a^2 \cdot X_2$$

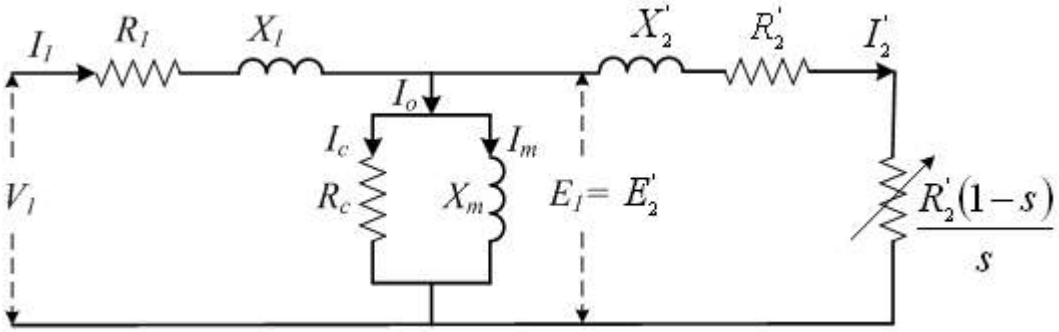
المعادلة (١- ١٢)

$$I_2^{'} = I_2 \cdot \left[\frac{N_2}{N_1}\right] = I_2 / a$$

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):

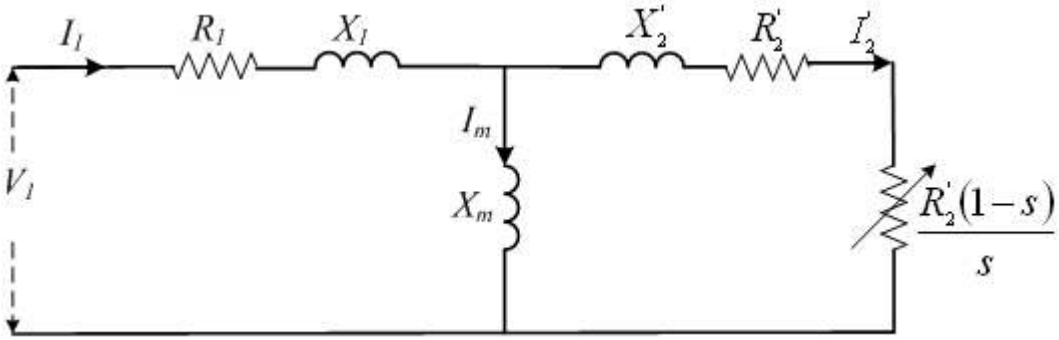
المعادلة(١- ١٣)

$$\frac{R_2^{'}}{s} = R_2^{'} + R_2^{'} \cdot \left[\frac{1-s}{s}\right]$$



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.

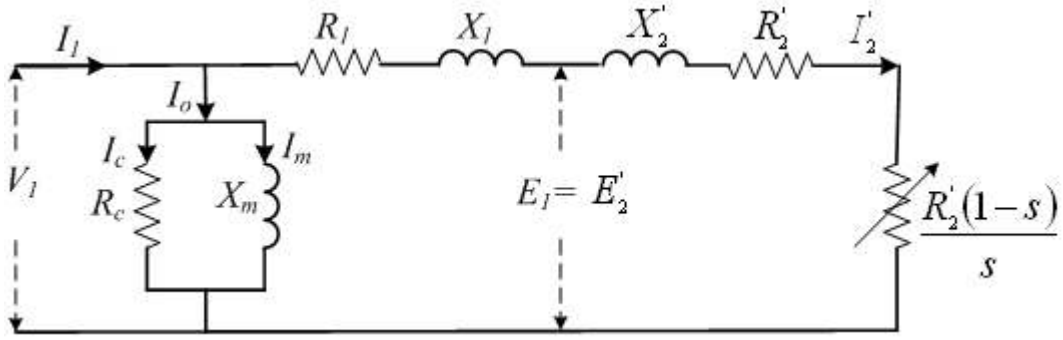


الشكل ١- ١١: الدائرة المكافئة للمحرك الحثي بعد استبعاد R_c

الـدائرة المكافئـة الـتي في الشـكل(١- ١١) هـي نفسـها المبينـة في الشـكل(١- ١٠) ولكـن بعـد 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 جدا إذا ما قورن بتيار الحمل الكامل (I_1)، فنحصل على الدائرة المكافئة التقريبية المبينة في الشكل (١- ١٢).



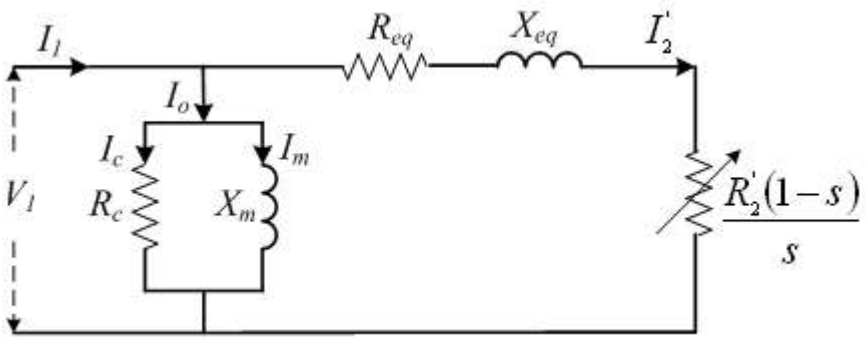
الشكل ١- ١٢: الدائرة المكافئة التقريبية للمحرك الحثي

إذا اعتبرنا أن:

$$R_{eq} = R_1 + R_2' \qquad ١٤ - ١$$

$$X_{eq} = X_1 + X_2' \qquad ١٥ - ١$$

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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.

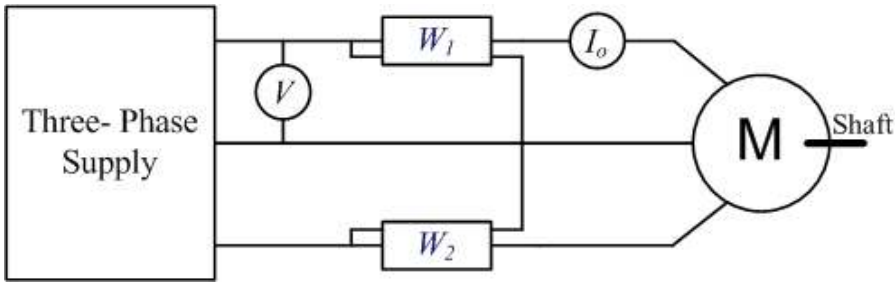
الدائرة المكافئة للمحرك الحثي أداة مفيدة لمعرفة خواص تشغيل المحرك، فعند تطبيق الدائرة على آلة معينة، يجب معرفة قيم ثوابت الدائرة المكافئة $(R_1, R_2, X_1, X_2, R_c, X_m)$، ولكي يتم معرفة قيم تلك الثوابت، يتحتم القيام ببعض الاختبارات المعملية، .هذه الاختبارات مشابهة تماما لاختبارات الدائرة المفتوحة والدائرة 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 جهازي واتميتر 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 الواتميتر $P = W_1 + W_2$

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



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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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):

$$R_c = \frac{V_1}{I_c} \qquad X_m = \frac{V_1}{I_m}$$

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:

$$I_c = I_o \cdot Cos\phi_o \qquad I_m = I_o \cdot Sin\phi_o$$ المعادلة(١- ١٦)

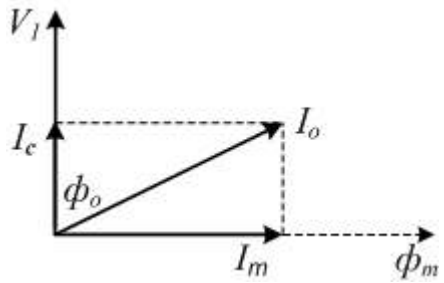
حيث:

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

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

إذاً يمكن إيجاد قيم R_c , X_m من المعادلات الآتية:

$$R_c = \frac{V_1}{I_c} = \frac{V_1}{I_o \cdot Cos\phi_o} \qquad X_m = \frac{V_1}{I_m} = \frac{V_1}{I_o \cdot Sin\phi_o}$$ المعادلة(١- ١٩)



الشكل ١- ١٥: المخطط الاتجاهي في حالة اللاحمل

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

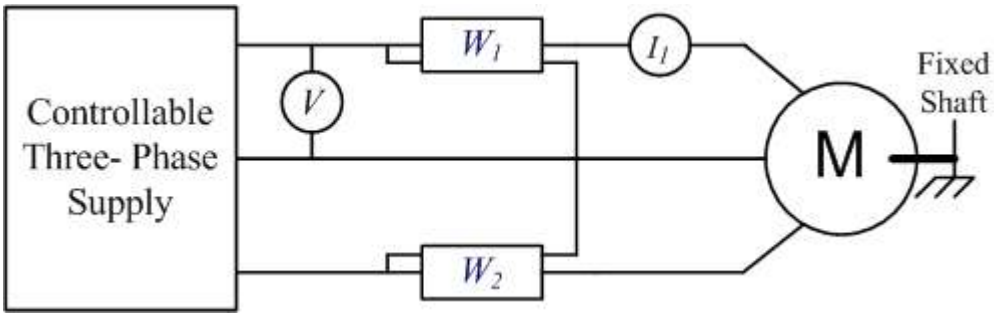
ب- اختبار عدم الحركة (أو اختبار دائرة القصر):

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 يسلط 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 الواتميتر $P = W_1 + W_2$

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 صغيرً 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:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

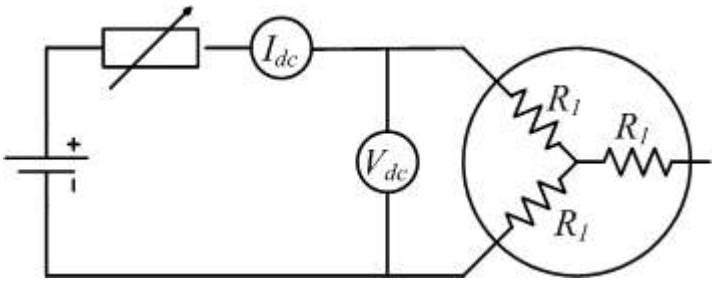
$$Z_{eq} = \frac{V_{sc}}{I_1}$$ المعادلة(١- ٢١)

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

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

ج- اختبار التيار المستمر: Dc Test:

هذا الاختبار يجرى من أجل قياس مقاومة ملفات العضو الثابت R_1 وذلك بتوصيل ملفات المحرك كما هو موضح في الشكل (١- ١٧).



الشكل ١- ١٧: دائرة قياس مقاومة ملفات العضو الثابت

في هذا الاختبار يزاد الجهد (V_{dc}) تدريجياً حتى يصل التيار المار في ملفات المحرك إلى القيمة المقننة وذلك حتي 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):

$$2 \cdot R_1 = \frac{V_{dc}}{I_{dc}}$$

$$R_1 = \frac{V_{dc}}{2 \cdot I_{dc}}$$ المعادلة(١- ٢٣)

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

مثال(١- ٤):

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

تجربة اللاحمل	P=600 W	I_L=20 A	V_L=220 V
تجربة عدم الحركة	P=1500 W	I_L =50 A	V_L =30 V

احسب مكونات الدائرة المكافئة التقريبية لهذا المحرك.

الحل:

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

بما أن ملفات المحرك موصلة على شكل نجمة، إذن:

$$V_1 = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = 127 \quad \text{V}$$

$$I_o = I_L = 20 \quad \text{A}$$

لحساب قيم X_m , R_c نتبع الخطوات التالية:

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

$$\phi_o = Cos^{-1}(0.0787) = 85.48^o$$

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

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

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

بم أن ملفات المحرك موصلة على شكل نجمة، إذن:

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

$$I_1 = I_L = 50 \quad \text{A}$$

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

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

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

مثال (١- ٥):

محرك حثي ثلاثي الأوجه ملفاته موصلة على شكل دلتا ، أجريت له اختبارات تحديد عناصر الدائرة المكافئة فأعطى النتائج التالية:

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

احسب مكونات الدائرة المكافئة إذا كان $X_1=X_2^{'}$

الحل:

من اختبار التيار المستمر تحسب قيمة R_1 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 $R_c \& X_m$ نتبع الخطوات التالية:

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

$$\phi_o=Cos^{-1}(0.108)=83.8^o$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

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

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:

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

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

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

بما أن:

$$R_{eq} = R_1 + R_2^{'}$$

$$R_1 = 0.475 \quad \Omega$$

إذن:

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

بما أن:

$$X_{eq} = X_1 + X_2^{'}$$

$$X_1 = X_2^{'}$$

إذن:

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أسـئلة و تمارينـــن

١- لماذا سمي اختبار اللاحمل باختبار الدائرة المفتوحة؟

٢- لماذا سمي اختبار عدم الحركة باختبار الدائرة المقصورة؟

٣- لماذا يزاد 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.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

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

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

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

٩- محرك حثي ثلاثي الأوجه قدرته٢٩,٨٤ كيلووات ملفاته موصلة على شكل دلتا عند اختباره أعطى النتائج التالية:

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

احسب مكونات الدائرة المكافئة التقريبية لهذا المحرك.

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

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

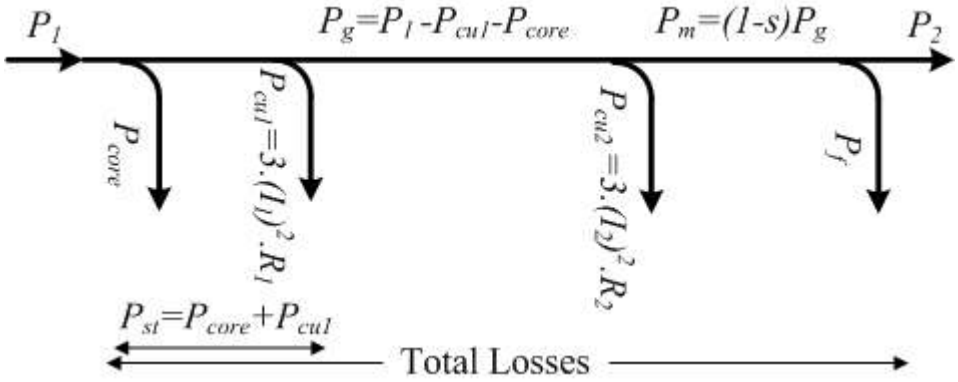
احسب مكونات الدائرة المكافئة لهذا المحرك إذا كانت $X_1 = X_2`$ & $R_1 = R_2`$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١- ٧ القـدرة و العـزم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه :

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

عـادةً مـا يوصـف المحـرك الحثـي ثلاثـي الأوجـه بأنـه محـول دوار والـدخل قـدرة كـهربائيـة في شـكل جهود وتيارات ثلاثية الأوجه والخرج هو قدرة كـهربائيـة تؤخـذ مـن ملفـات الثـانوي (في المحـول)، بينمـا في المحرك الحثي تكون ملفات الثانوي (العضو الدائر) مقصورة و بالتالي لا تعطي قدره كهربائية و إنما تعطي قدره ميكانيكية تظهر على عمود الإدارة، شكل (١- ١٨) يعرض مخطط سريان القدرة داخل المحرك حيث P_1 تمثل القدرة الكهربية 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:

$$P_1 = 3 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot Cos\phi$$ 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

تبـدد ملفـات العضـو الثابـت مفقوداتهـا النحاسـية P_{cu1} في مقاومـة العضـو الثابـت R_1 علـي شـكل حـرارة، وتحسـب مـن المعادلـة (١- ٢٥)، كـمـا تتبـدد في نفـس الوقـت أيضـا مفقـودات الحديـد الكليـة للمحـرك P_{core} وذلـك بسـبب وجـود التيـارات الدوامـية وظـاهرة التخلـف المغناطيسـي في العضـو الثابـت، ومفقودات حديد العضو الدائر تكون ضئيلة جداً بسبب انخفاض قيمة التردد فيه عندما يكون الانزلاق

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

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

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

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}

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

ويمكن حسابها أيضا من المعادلة التالية:

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

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

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

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:

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

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):

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

القدرة الميكانيكية المتولدة P_m سيتبدد جزء منها بسب الاحتكاك الذي يتعرض له العضو الدائر مع الهواء ومحاور الدوران، مفاقيد 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 بسب الاحتكاك كما يلي:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

المعادلة(١- ٣٢):

$$P_2 = P_m - P_f$$

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 $(1\text{-}s)$ فإننا نحصل على P_m.، إذن:

المعادلة(١- ٣٣):

$$P_{cu2} = s \cdot P_g$$

المعادلة(١- ٣٤)

$$P_m = (1-s) \cdot P_g$$

وأن النسبة بينهما:

$$P_g : P_m : P_{cu2} = 1 : (1-s) : s$$

يتضح من المقارنة أن قدرة الثغرة الهوائية P_g تنقسم بين القدرة الميكانيكية المتولدة P_m، وبين المفقودات النحاسية لملفات العضو الدائر P_{cu2} بنسبة $(1\text{-}s)$ إلى s. هذا يعني أن معامل الانزلاق s يلعب دوراً أساسياً في تحديد نسبة المفاقيد النحاسية P_{cu2} في العضو الدائر، فعند زيادة الانزلاق تزداد المفاقيد النحاسية في العضو الدائر وتقل كفاءة المحرك. لذلك يجب أن يكون الانزلاق صغيراً بقدر الإمكان عند الحمل الكامل لكي تقل المفاقيد 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 ٦٠هيرتز و٤أقطاب، يسحب قدرة تبلغ ١٢٠ كيلووات عند تردد ٣هيرتز، أوجد:

أ) سرعة العضو الدائر

ب) المفقودات النحاسية في العضو الدائر.

ت) القدرة الميكانيكية المتولدة.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 ٣كيلووات، والمفقودات الميكانيكية تبلغ ٢كيلووات، 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 ٦أقطاب وتردده ٦٠هيرتز، يسحب قدرة تبلغ ٤٨كيلووات عندما يدور بسعة ١١٤٠لفة في الدقيقة، فإذا كان الفقد النحاسي في العضو الثابت ١,٤كيلووات، والفقد في القلب ١,٦كيلووات، والمفقودات الميكانيكية مقدارها ١كيلووات، فأوجد كفاءة المحرك.

الحل:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

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

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

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

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

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

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

مثال(١- ٩):

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

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 ٦٥أمبير.

الحل:

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

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

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

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

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

$$R_2^{'} = \frac{P_{cu2}}{3 \cdot I_2^{'2}} = \frac{2670}{3 \times \left(65\right)^2} = 0.21 \quad \Omega$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

مثال (١- ١٠):

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

أ) معامل الانزلاق

ب) القدرة الميكانيكية الخارجة (المستفاد منها) بالحصان

جـ) المفاقيد 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:

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

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

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

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

جـ) المفاقيد النحاسية في العضو الدائر P_{cu2}:

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

د) كفاءة المحرك:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 = \frac{36.640}{40} \times 100 = 90.16\%$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

يعـرف العـزم أو عـزم الـدوران (Torque) بأنـه القـوة المؤثرة تـأثيراً التوائيـاً علـى جسـم مـا فينـتج عنهـا دوران ذلك الجسم حول مركـزه، ويقاس بوحدة نيوتن متر Nm.

يتولـد عـزم الـدوران الكـلـي (total developed torque) في المحـرك الحثـي بواسـطة المجـال المغناطيسي الدوار بالسرعة التزامنية n_s ونحصل علية بقسمة P_g على ω_s المعادلـة (١- ٢٨). وينشـأ نفس عزم الـدوران الكـلـي علـى عمـود الإدارة الـذي يـدور بالسـرعة n بفعل القـدرة الميكـانيكيـة P_m، ونحصـل علية بقسمة P_m على ω المعادلة (١- ٢٩).

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

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

حيـث ω_s و ω هـمـا السـرعة الزاويـة للمجـال المغناطيسـي الـدوار، والسـرعة الزاويـة للعضـو الـدائر علـى التتالي، بالراديان في الثانية ويحسبان من المعادلة (١- ٣٧):

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

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

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

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

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

حيث

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

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

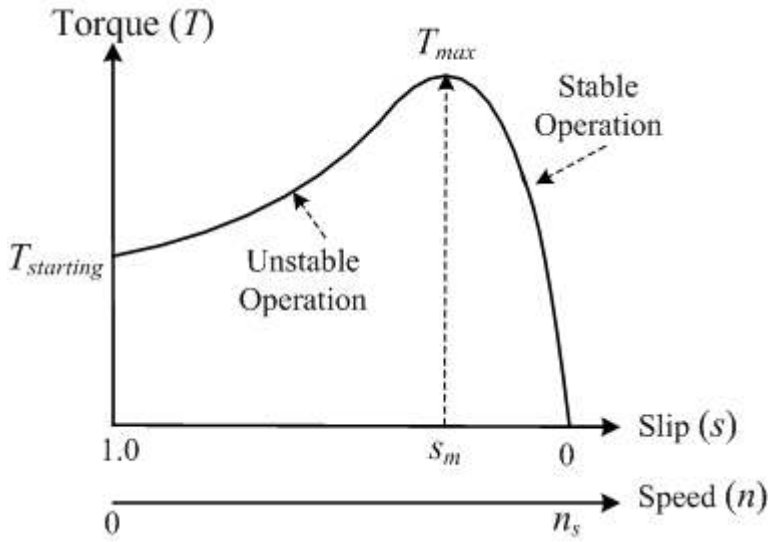
المعادلة(١- ٤١)

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

$$T = K \cdot \frac{V_1^2}{\left(R_1 + R_2'/s\right)^2 + \left(X_{eq}\right)^2} \cdot \frac{R_2'}{s}$$

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 منحني 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 أحداهما خاصية الاتزان وتنعدم في الأخرى ولذا يجب أن نحرص علي أن يظل تشغيل المحرك محصوراً في منطقة الاتزان، فلا ينتقل إلى المنطقة الأخرى إلا تحت ظروف خارجة عن الإرادة.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 الأتية:

$$T_u = \frac{P_2}{\omega} = \frac{P_2}{2 \cdot \pi \cdot n / 60} \quad \text{Nm.}$$

المعادلة(١- ٤٣):

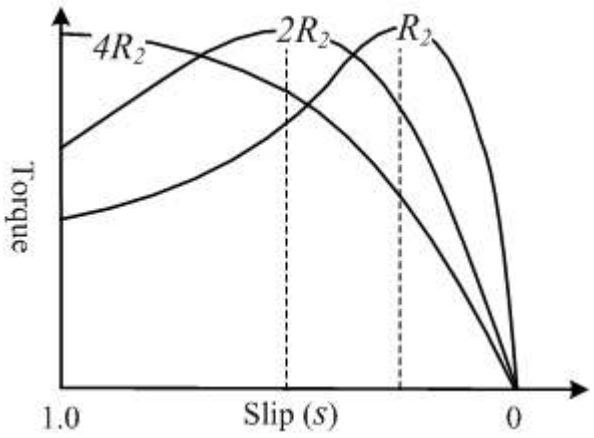
١- ٧- ٢- ١ التحكم في قيمة الانزلاق الذي يحدث عنده العزم الأقصى (s_m):

معادلة العزم (١- ٤٢) 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:

$$s_m = \frac{R_2^{'}}{X_2^{'}} = \frac{R_2}{X_2}$$

المعادلة(١- ٤٤):

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 (١- ٢٠):



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

ويمكن أيضا من المعادلة (١- ٤٢) 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:

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

المعادلة(١- ٤٥)

٧- ٢- ٢ حساب عزم البدء:

يلاحظ من الشكل (١- ٢٠) 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 (١- ٢٠)، أما قيمة عزم البدء فيمكن إيجادها مباشرة من المعادلة (١- ٤٢) عندما تكون $(s = 1)$ كما يلي:

$$T_{starting} = K \cdot \frac{V_1^2}{(R_1 + R_2')^2 + X_{eq}^2} \cdot R_2'$$

المعادلة(١- ٤٦)

مثال (١- ١١):

محرك حثي ثلاثي الأوجه ملفاته موصلة على شكل دلتا يتغذى من مصدر جهده ٢٤٠فولت 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 ١٨٠٠لفة في الدقيقة وسرعة العضو الدائر عند الحمل الكامل ١٧١٠لفة في الدقيقة، احسب ما يلي:

أ) تيار الحمل الكامل.

ب) عزم الحمل الكامل.

ت) تيار البدء.

ث) عزم البدء.

ج) أقصى عزم للمحرك وعند أي انزلاق يحدث.

الحل:

بما أن ملفات المحرك موصلة على شكل دلتا فإن:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$V_1 = V_L = 240 \qquad \text{V}$$

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:

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

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

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

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

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

$$T = 0.0159 \cdot \left(19.11\right)^2 \times \frac{0.6}{0.05} = 69.74 \qquad \text{Nm}$$

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

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

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

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

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

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 ٩٠٠لفة في الدقيقة، عند إجراء تجربة الدائرة المقصورة كانت القدرة الداخلة ٤٥كيلووات عند تيار ١٩٣,٦أمبير. فإذا كانت مقاومة العضو الثابت ٠,٢أوم 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:

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

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

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

$$R_2 = 0.05 \quad \Omega$$

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

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

مثال (١- ١٣):

ثوابت الدائرة المكافئة المبينة في الشكل(١- ١١) لكل وجه لمحرك حث جهده ٤٠٠فولت وتردده ٦٠هيرتز، 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 ١٧٥٥لفة في الدقيقة تبلغ ٨٠٠وات 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:

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

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

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

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

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الجهد لكل وجه:

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

أ) التيار الداخل:

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

ب) القدرة الكلية الداخلة:

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

$$P_{inp} = P_1 = \sqrt{3} \times 400 \times 54.65 \times Cos(-20) = 35.58 \qquad \text{kw}$$

القدرة الثغرة الهوائية يمكن حسابها بطريقتين:

الطريقة الأولي:

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

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

الطريقة الثانية:

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

$$P_g = 3 \times (54.65)^2 \times (3.77) = 33.789 \qquad \text{kw}$$

القدرة المتولدة:

$$P_m = (1-s) \cdot P_g = (1-0.025) \times 33.79 = 32.94 \qquad \text{kw}$$

ت) القدرة الخارجة:

$$P_2 = P_m - P_f = 32940 - 800 = 32.14 \qquad \text{kw}$$

ث) عزم الدوران المستفاد منه:

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

$$\omega_m = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{2 \times \pi \times 1755}{60} = 183.8 \qquad \text{rad/sec.}$$

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ج) لحساب الكفاءة:

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أسـئلة وتمارينـــن :

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 الزَّاوّية؟

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 ومعامل القدرة.

١١- محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو ٦ أقطاب يتغذى من مصدر تردده ٦٠هيرتز، سرعته عند الحمل الكامل ٩٥٠لفة في الدقيقة، فعند نصف الحمل تكون سرعته..... لفة في الدقيقة.

أ) ٤٧٥ ب)٥٠٠ ج)٩٧٥ د)١٠٠٠

١٢- إذا كانت قدرة الثغرة الهوائية لمحرك حثي هي ١٠٠كيلووات عند انزلاق مقداره ١٠٪ ،فإن القدرة الميكانيكية المتولدة تساوي .....كيلووات.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

أ) ١٠ ب)٩٠ ج)٩٩ د)٨٠

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

أ) واحد ب)٠,٧٠٧ ج)٠,٨٦٦ د)٠,٥

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

أ) نصف ب) ربع ج) $1/\sqrt{2}$ د) $\sqrt{3}/2$

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

أ) ١٠٠ ب) ١٦٠ ج)٥٠ د)٤٠

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 التزامنية١٠٠٠لفة في الدقيقة يعطي قدره ميكانيكية متولدة قدرها ٥حصان عندما تكون سرعة العضو الدائر ٩٣٥لفة في الدقيقة، احسب القدرة الداخلة إلى هذا المحرك إذا كانت مفقودات العضو الثابت٤٠٠وات

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

١٩- محـرك حثـي ثلاثـي الأوجـه ذو سـتة أقطـاب يتغـذى مـن مصـدر جهـده ٥٠٠فولـت وتـردده ٦٠هيرتز، يعطي قدرة ميكانيكية خارجة قدرها ٢٠حصان عندما تكون سرعته ١١٤٠الفة في الدقيقة، فإذا كانت مفاقيد الاحتكاك ١حصان، احسب:

أ) معامل الانزلاق.

ب) المفاقيد النحاسية في العضو الدائر.

ت) القدرة الداخلة إلى المحرك إذا كانت مفاقيد العضو الثابت ١٥٠٠وات.

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

٢٠- محرك حثي ثلاثي الأوجه قدرته٢٠حصان موصل نجمة، له ٤ أقطاب يتغذي من مصدر جهده ٤٠٠فولت، وتردده ٦٠هيرتز، يعطي الحمل الكامل عند انزلاق ٥٪. فإذا كانت المفقودات الميكانيكية تبلغ ٤٠٠وات فاحسب:

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

٢١- محرك حثي ثلاثي الأوجه قدرته١٠حصان موصل نجمة، له ٤ أقطاب يتغذي من مصدر جهده ١٥٠فولت، وتردده ٤٠٠هيرتز، يعطي القدرة المقننة عند انزلاق ٣٪. فإذا كان الفقد الميكانيكي ٢٠٠وات 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 ٢٠٠كيلـووات عنـدما تكـون سـرعته ١٧١٠الفـة في الدقيقـة ويتغـذى علـى مصـدر جهـده ٤٥٠فولـت وتـردده٦٠هيرتـز فـإذا كانـت مفاقيـد العضـو الثابـت ٣كيلـووات والمفاقيـد الميكانيكيـة ٦كيلـووات، احسب:

أ- معامل الانزلاق.

ب- القدرة الميكانيكية المتولدة.

ت- المفاقيد النحاسية في العضو الدائر.

ث- كفاءة المحرك

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

٢٣- محـرك حثـي ثلاثـي الأوجـه ذو أربعـة أقطـاب يعمـل علـى مصـدر جهـده ٢٢٠فولـت وتـردده ٥٠هيرتـز، سـرعة المحـرك ١٤٤٠لفـة في الدقيقـة عنـد معامـل قـدره ٠,٨ متـأخر، القـدرة الخارجـة منـه ١٠,٨كيلووات، فإذا كانت مفاقيد العضو الثابت ١٠٦٠وات و المفاقيد الميكانيكية ٣٩٠وات، احسب ما يلي:

أ) المفاقيد النحاسية في العضو الدائر.

ب) تردد التيارات في العضو الدائر.

ت) تيار الخط.

ث) كفاءة المحرك.

٢٤- محـرك حثـي ثلاثـي الأوجـه ذو أربعـة أقطـاب يعمـل علـى مصـدر جهـده ٢٢٠فولـت وتـردده ٦٠هيرتز، وسرعته ١٧١٠لفة في الدقيقة، القدرة الخارجة منه ١١كيلووات، فإذا كانت مفاقيد العضو الثابت ١١٠٠وات والمفاقيد الميكانيكية ٤٢٠وات، احسب ما يلي إذا كان معامل القدرة ٠,٨٣متأخراً:

أ) المفاقيد النحاسية في العضو الدائر.

ب) تردد التيارات في العضو الدائر.

ت) تيار الخط.

٢٥- محـرك حثـي ثلاثـي الأوجـه ذو ثمانيـة أقطـاب يعمـل علـى مصـدر جهـده ٣٨٠فولـت وتـردده ٦٠هيرتز، فإذا كانت سرعة المحرك عند الحمل الكامل ٨٦٤لفة في الدقيقة، القدرة الداخلة للمحرك ١٠كيلووات، وكانت مفاقيد العضو الثابت ٦٠٠وات والمفاقيد الميكانيكية ٣٥٠وات احسب:

أ) المفاقيد النحاسية في العضو الدائر.

ب) كفاءة المحرك.

ت) عزم المحرك عند الحمل الكامل.

٢٦- محـرك حثـي ثلاثـي الأوجـه ذو أربعـة أقطـاب يعمـل علـى مصـدر جهـده ٣٨٠فولـت وتـردده ٦٠هيرتز، عناصر الدائرة المكافئة لهذا المحرك كما يلي:

R_1=0.12 Ω	R_2`= 0.16 Ω	X_1= 0.45 Ω	X_2`= 0.52 Ω

فإذا كانت ملفات المحرك موصلة على شكل نجمة احسب:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أ) تيار البدء.

ب) عزم البدء.

ت) العزم الأقصى للمحرك والانزلاق الذي يحدث عنده أقصي عزم.

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

٢٧- محـرك حثـي ثلاثـي الأوجـه ملفاتـه موصـلة علـى شـكل دلتـا يتغـذى مـن مصـدر جهـده ٢٢٠فولت، 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 ١٥٠٠لفة في الدقيقة وسرعة العضو الدائر عند الحمل الكامل ١٤٤٠لفة في الدقيقة، احسب ما يلي:

أ) عزم الحمل الكامل.

ب) عزم البدء.

٢٨- محـرك حثـي ثلاثـي الأوجـه ذو أربعـة أقطـاب يعمـل علـى مصـدر جهـده ٣٨٠فولـت وتـردده ٦٠هيرتز، 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 يتغذي من مصدر جهده ٦٠٠فولت، وتردده ٦٠هيرتز، 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 ١٧٢٨لفة في الدقيقة تبلغ ٨٠٠وات فاحسب عند هذه السرعة:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

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

١- ٨- ١ طرق بدء الحركة :

تيار البدء الذي يسحبه المحرك الحثي ثلاثي الأوجه، عند توصيله إلى المصدر توصيلاً مباشراً، لحظة بدء دورانه تتراوح قيمته مابين 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 أيضا 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 علي 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.

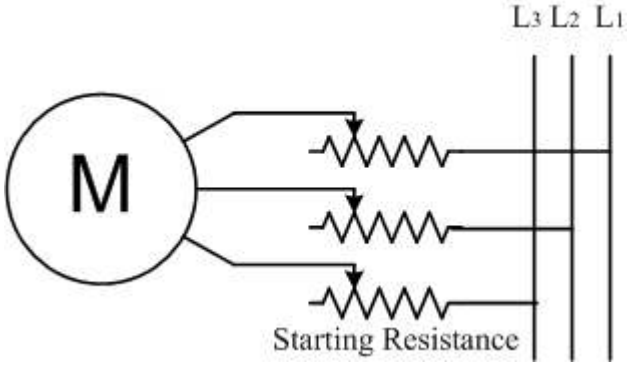
لذلك لا ينصح ببدء حركة المحركات التي تزيد قدرتها عن ٢٥ كيلووات بالتوصيل المباشر، ولابد من اتخاذ التدابير والاحتياطات اللازمة للحد من قيمة تيار بدء الحركة، خصوصاً في المحركات الكبيرة. وفيما يلي سنسرد باختصار عدة طرق للحد من تيار البدء، هذه الطرق تعتمد إما على خفض الجهد أو زيادة معاوقة المحرك أثناء فترة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

١- ٨- 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

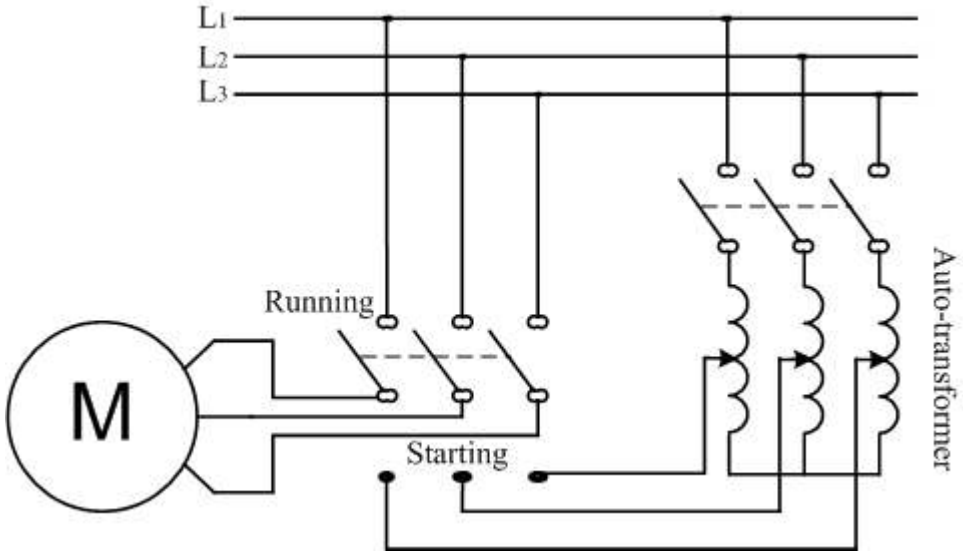
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

كبر المفاقيد 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

١- ٨- ١- ٢ باستخدام محول ذاتي: (Auto-Transformer):



الشكل ١- ٢٢: توصيلة بدء الحركة باستخدام محول ذاتي

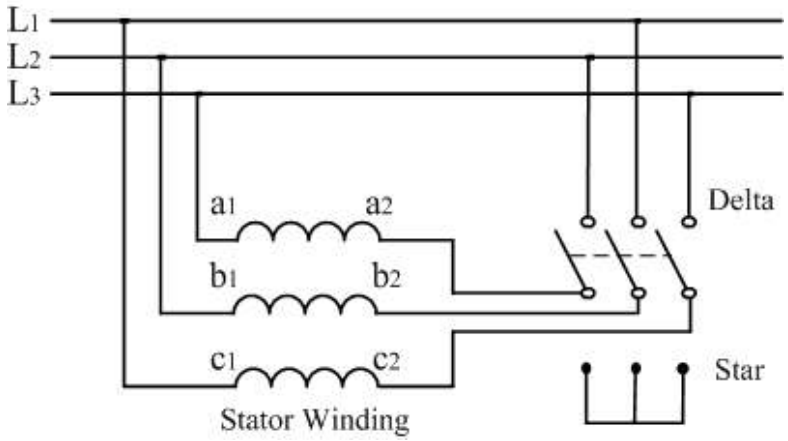
في هذه الطريقة يتم توصيل أطراف العضو الثابت إلى محول ذاتي ثلاثي الأوجه الشكل (١- ٢٢) بحيث يخفض الجهد المسلط على ملفات العضو الثابت للمحرك إلى حوالي ½ أو إلى $(1/\sqrt{3})$ الجهد المقنن و يلاحظ من الشكل أن المحرك موصل إلى مفتاح ذي ناحيتين، حيث يتم وضعة خلال فترة البدء على الناحية الموصل عليها المحول الذاتي، وعندما تصل السرعة إلى أقصي مدى لها يحول المفتاح إلى الناحية الأخرى، حيث يصبح المحرك موصلاً توصيلاً مباشراً علي الشبكة الكهربائية. هذه الطريقة

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

١- ٨- ١- ٣ 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 سيقل إلى $\left(1:\sqrt{3}\right)$ 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.



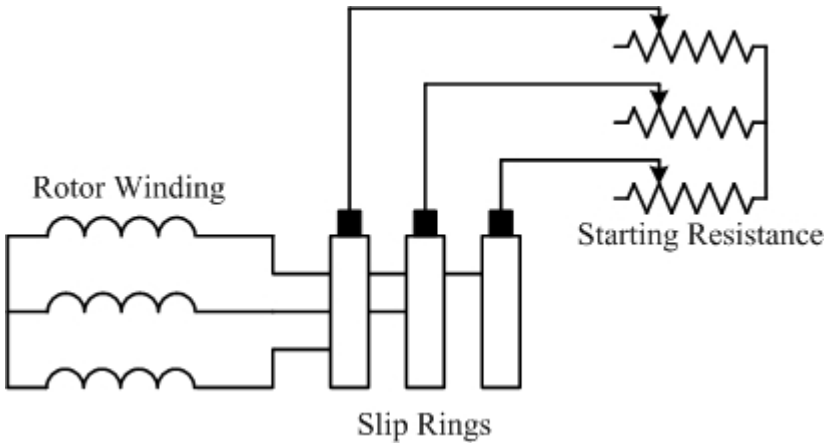
الشكل ١- ٢٣ : توصيلة بدء الحركة باستخدام مفتاح نجمة\دلتا

١- ٨- ١- ٤ 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 أقصي عزم مما يعني زيادة عزم دوران البدء، حيث تبين من المعادلة (١- ٤٤) أننا نستطيع أن نحصل علي قيمة العزم الأقصى (T_{max})عند البدء بإضافة مقاومة ثلاثية إلى ملفات العضو الدائر بحيث تكون قيمة الانزلاق الذي يحدث

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 بتغير الانزلاق أو بتغير السرعة التزامنية، والسرعة التزامنية يمكن أن تتغير إما بتغير عدد الأقطاب أو بتغير 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١- ٨- ٢- 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 المفاقيد النحاسية في العضو الدائر وبالتالي نقص كفاءة المحرك.

١- ٨- ٢- 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 حالتي 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.

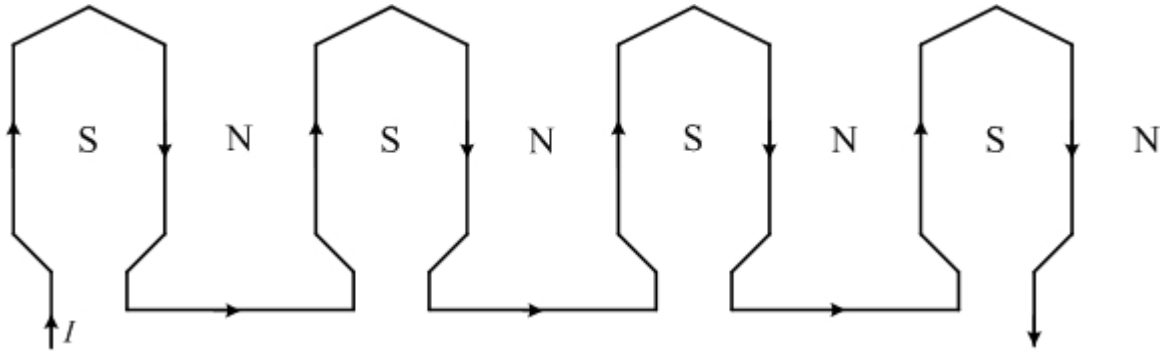
وهناك طريقتان لتغيير عدد الأقطاب، تتم إحداهما بتزويد العضو الثابت للمحرك بمجموعات من الملفات المستقلة عن بعضها البعض تمام الاستقلال، بحيث تكون كل مجموعة خاصة بسرعة معينة، وتتم الثانية بإعادة توصيل الملفات بطريقة مختلفة بحيث نحصل على نصف عدد الأقطاب أو ضعفها، بهذه الطريقة يصبح لدينا سرعتان تزامنيتان إحداهما 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 ١٨٠٠,١٢٠٠,٩٠٠,٦٠٠لفة في الدقيقة عندما يتغذى المحرك من مصدر تردده ٦٠هيرتز.

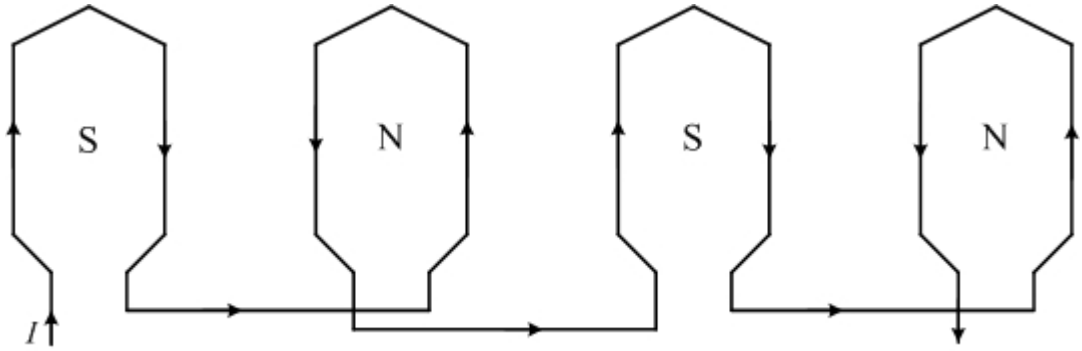
وتجدر الإشارة هنا إلى أنه عند تغيير عدد الأقطاب لملفات العضو الثابت، فإنه في حالة المحركات ذات القفص السنجابي يتواءم القفص السنجابي تلقائياً مع هذا التغيير، أما في حالة المحركات ذات الحلقات الانزلاقية يلزم تغيير توصيلات ملفات العضو الدائر للحصول على تغيير في عدد أقطابها مناظر

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 لملفات 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 دقيق في السرعة.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أســئلة وتمـارين:

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 زيدت مقاومة العضو الدائر فإن تيار البدء (يزداد/ يقل).

ت) إذا زيدت 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.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

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

١٠- محرك حثي ثلاثي الأوجه، له ٦ أقطاب موصل بمصدر تردده ٦٠هيرتز. الجهد المتولد في العضو الدائر عند عدم الحركة ٤فولت. 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)٣فولت ب)٠,٦٧فولت ت)- ١ فولت

١١- محرك حثي ثلاثي الأوجه ، له ٦ أقطاب موصل مع مصدر تردده ٦٠هيرتز. الجهد المتولد في العضو الدائر عند عدم الحركة ٢٤٠فولت. 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.

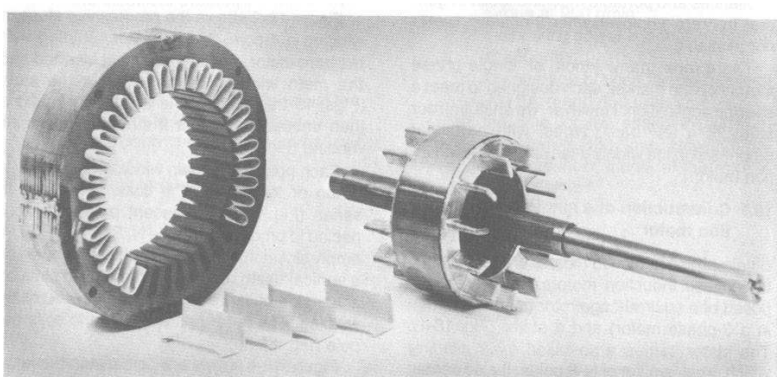
الإجابة أ)١٢٠فولت، ٣٠هيرتز ب)٦٠فولت، ١٥هيرتز ت)٩٦٠ فولت، ٢٤٠هيرتز

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١- ٩ المحركات الحثية أحادية الوجه : Single Phase Induction Motors

١- ٩- ١ التركيب:

تتركب المحركات الحثية أحاديه الوجه، من ملفات أحادية الوجه على العضو الثابت، وعضو دوار ذي قفص سنجابي كما في الشكل(١- ٢٧)، فتركيبها 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 جيبياً في الفراغ، وبالتالي نحصل على منحنى جيبياً 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 جيبياً في الثغرة الهوائية، وأيضاً متناسبة جيبياً مع الزمن، ويمكن كتابتها كدالة جيبيه في الفراغ والزمن المعادلة(١- ٤٧):

$$F_1 = F_{1max}\ cos(\omega_s \cdot t).cos(\theta)$$ المعادلة(١- ٤٧):

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

$$B_1 = B_{1max}\ cos(\omega_s \cdot t).cos(\theta)$$ المعادلة(١- ٤٨):

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

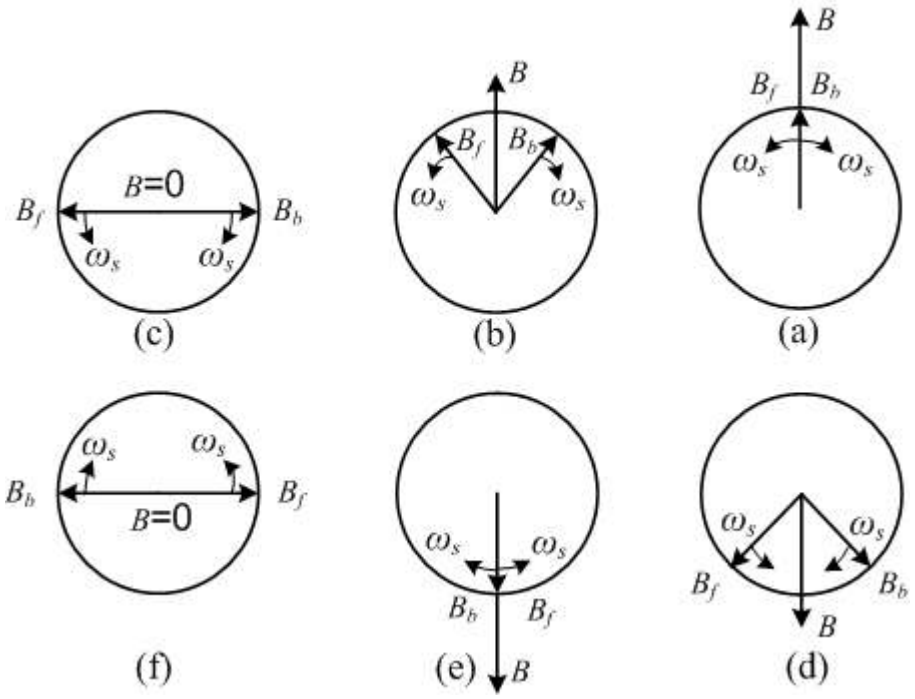
يمكن تحليل هذا المجال المغناطيسي إلى مجالين مغناطيسيين دوارين، الأول يدور في الاتجاه الموجب ويسمى بالمجال المغناطيسي الدوار الأمامي، و عادة يكون اتجاه دورانه، عكس اتجاه دوران عقارب الساعة، والمجال الآخر يدور في الاتجاه المضاد ويسمى بالمجال المغناطيسي الدوار الخلفي، وهو الذي يدور مع عقارب الساعة (حسب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

$$B_1 = \frac{1}{2} B_{1max} \cos(\theta - \omega_s \cdot t) + \frac{1}{2} B_{1max} \cos(\theta + \omega_s \cdot t)$$ المعادلة(١- ٤٩):

حيث يمثل الحد الأول مجالاً مغناطيسياً جيبياً دائراً بالسرعة التزامنية وذو كثافة عظمى $\frac{1}{2}B_{1max}$، كما يمثل الحد الثاني مجالاً مغناطيسياً جيبياً دائراً آخر بنفس الكثافة العظمي، 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 وتتغير قيمته مع دوران المتجهين B_f & B_b وهو يعادل المجال المغناطيسي النابض الناشئ عن ملف أحادي الوجه.

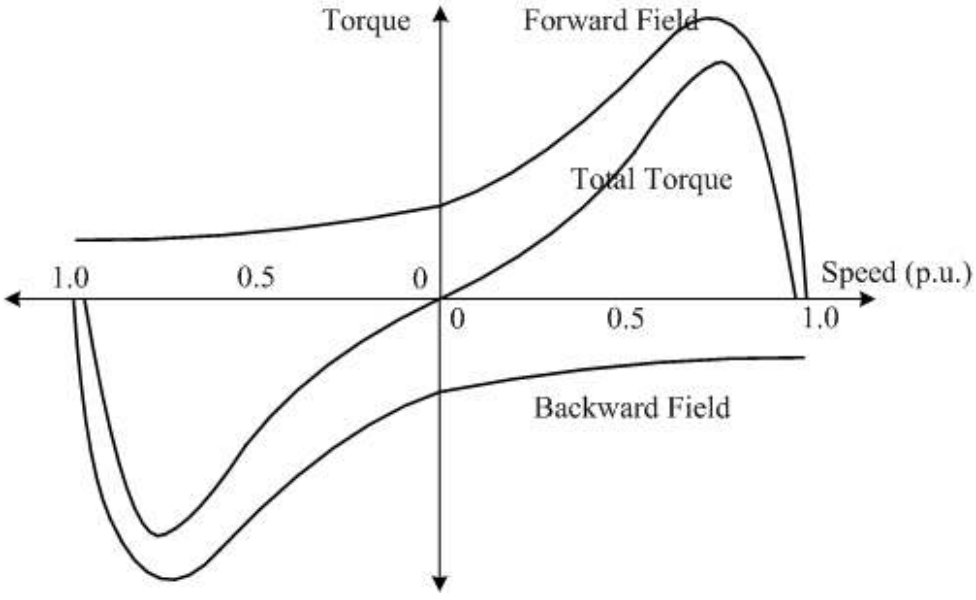
$$B = B_f + B_b$$ المعادلة(١- ٥٠):

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



الشكل ١- ٢٨ 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 منحني العلاقة بين العزم والسرعة، لكل من المجالين، نستطيع الحصول على منحني خواص المحرك الحثي أحادي الوجه، كما هو مبين في الشكل(١- ٢٩)



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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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:

المعادلة(١- ٥١):

$$s_b = \frac{n_s + n}{n_s} = 2 - s$$

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، ٢٣٠فولت، ٦٠هيرتز، 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:

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

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

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

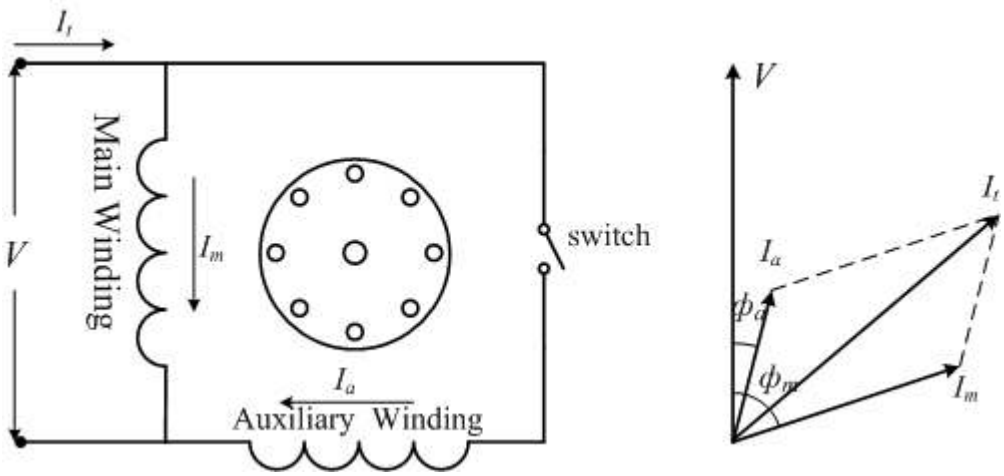
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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:

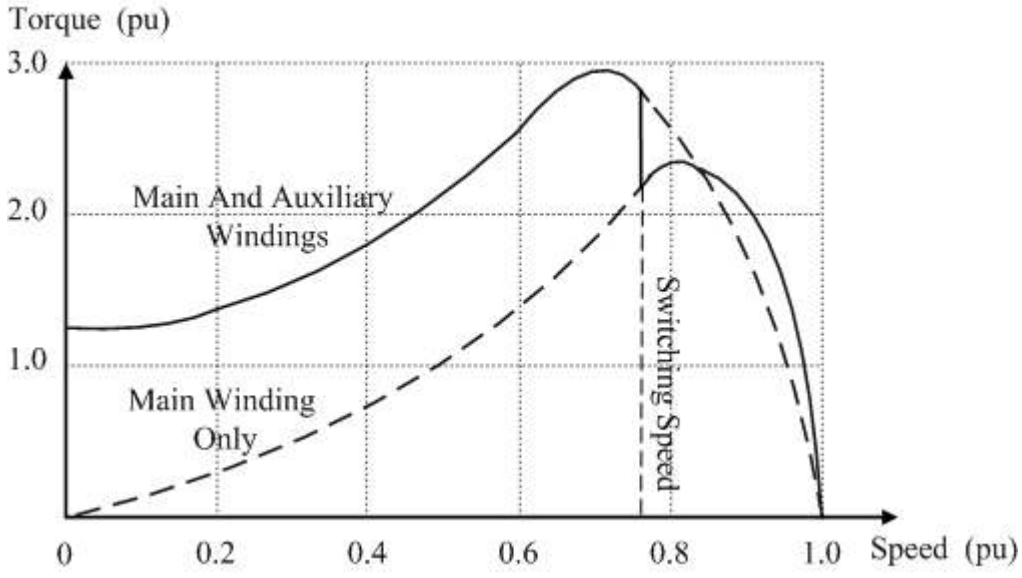
١- ٩- ٣- ١ المحرك المشطور الوجه : (Split-Phase Motor)

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 جيبياً 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



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 و لا 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 والشفاطات ومضخات الطرد المركزي وفي الأجهزة المنزلية والمكتبية.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

مثال ١- ١٥:

محرك حثي أحادي الوجه، ١١٠فولت، ٥٠هيرتز من النوع المشطور الوجه، له الثوابت الآتية عند بدء الحركة:

معاوقة الملف الرئيسي $Z_m = 1.2 + j\,25 \quad \Omega$

معاوقة الملف المساعد $Z_a = 12 + j\,5 \quad \Omega$

احسب عند بدء الحركة: التيار في كل من الملف الرئيس والملف المساعد، التيار الكلي للمحرك، معامل القدرة، الفرق الزمني بين تياري الملف الرئيس والملف المساعد.

الحل:

التيار في كل من الملف الرئيس والملف المساعد:

تيار الملف الرئيس

$$I_m = \frac{V_1}{Z_m} = \frac{110\angle 0}{1.2 + j\,25} = \frac{110\angle 0}{25.03\angle 87.252}$$

$$I_m = 4\angle -87.252 \quad \text{A}$$

تيار الملف المساعد

$$I_a = \frac{V_1}{Z_a} = \frac{110\angle 0}{12 + j\,5} = \frac{110\angle 0}{13\angle 22.62}$$

$$I_a = 8.46\angle -22.62 \quad \text{A}$$

التيار الكلي المسحوب من المصدر:

$$I_t = I_m + I_a$$

$$I_t = 4\angle -87.25 + 8.46\angle -22.62^{o}$$

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

$$I_t = 8.02 - j7.25 = 10.8\angle -42.11^{o} \quad \text{A}$$

معامل القدرة

$$Cos(-42.11) = 0.742$$

الفرق الزمني بين تياري الملف الرئيس والملف المساعد:

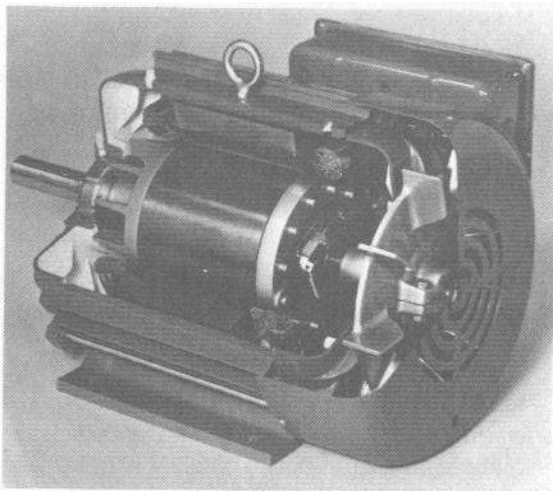
$$\theta = \phi_m - \phi_a = -87.25 - (-22.62) = -64.63^{o}$$

I_m lags I_a by 64.62^{o}

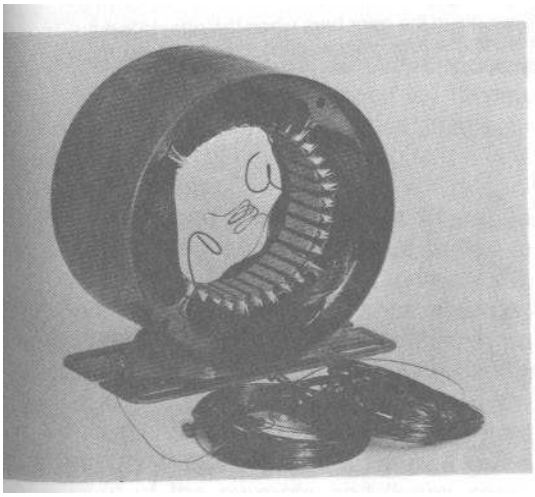
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١- ٩- ٣- ٢ المحركات ذات المكثفات: (Capacitor Motors)

يمكـن أن تسـتخدم المكثفـات لتحسـين خـواص وأداء المحـرك الحثـي أحـادي الوجـه، أثنـاء بـدء الحركة أو أثناء التشغيل، أوكليهما، اعتماداً على حجم ونوع المكثف المستخدم وطريقة توصيله.



مقطع في المحرك ذي مكثف البدء

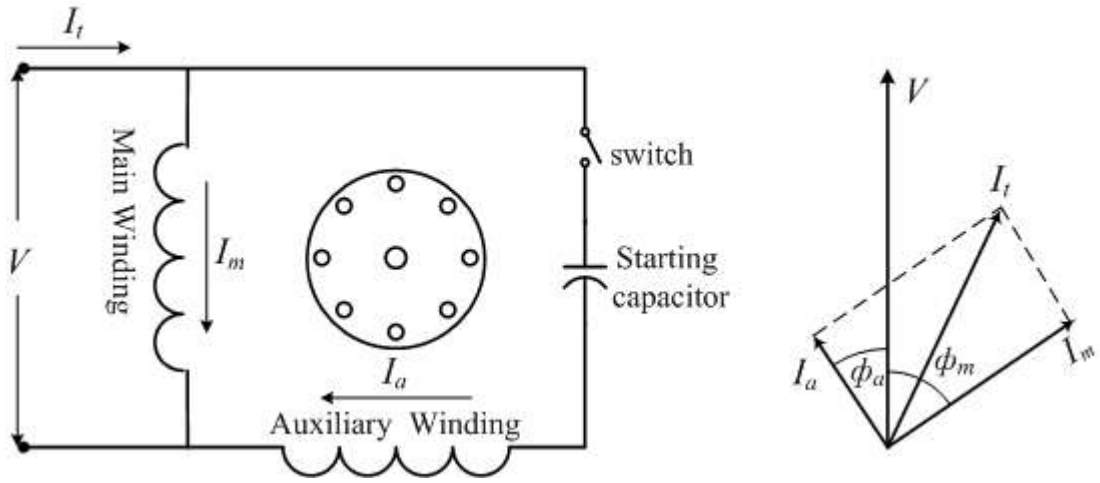


العضو الثابت وبداخله الملفات

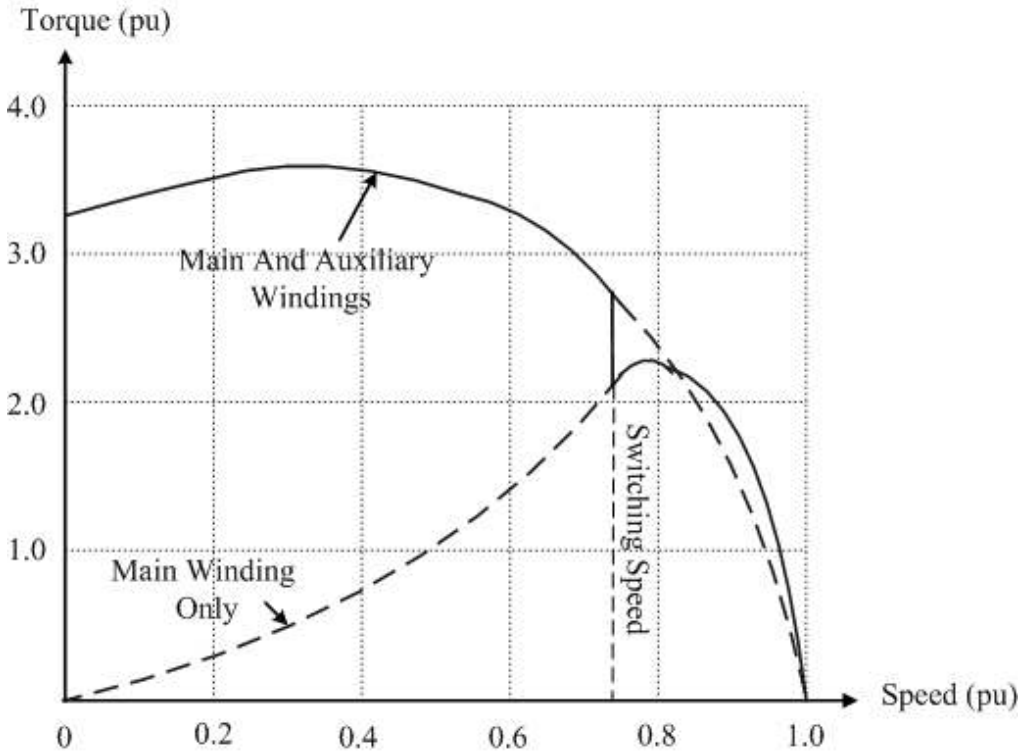
أ. المحرك ذو مكثف البدء: Capacitor –Start Motor

يحتوي المحرك ذو مكثف بدء الحركة على ملفات رئيسة وملفات مساعدة على عضوه الثابت، الفرق الزمني بين زاوية تياري 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 و.من الممكن باستخدام مكثف بدء الحركة ذي القيمة المناسبة، التي تجعل تيار الملفات المساعدة I_a، يتقدم عن تيار الملفات الرئيسة 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



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



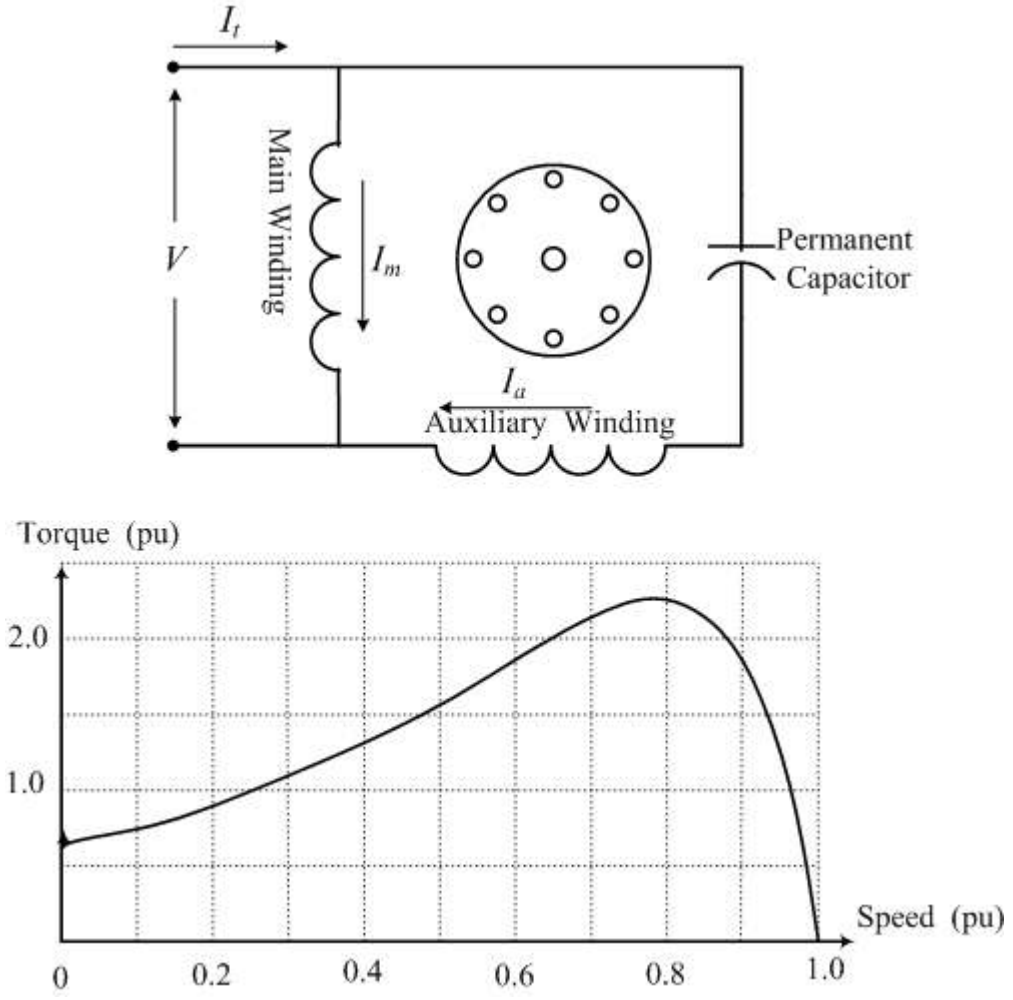
الشكل (١- ٣٣).منحنى العزم/السرعة للمحرك ذي مكثف البدء

الشكل (١- ٣٣) .يبين منحني 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 عزماً كبيراً لبدء حركتها.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ب. المحرك ذو المكثف الدائم: Permanent-Capacitor Motor

في المحرك ذي المكثف الدائم تظل الملفات المساعدة عاملة مع الملفات الرئيسة 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 منحنى خواص المحرك.

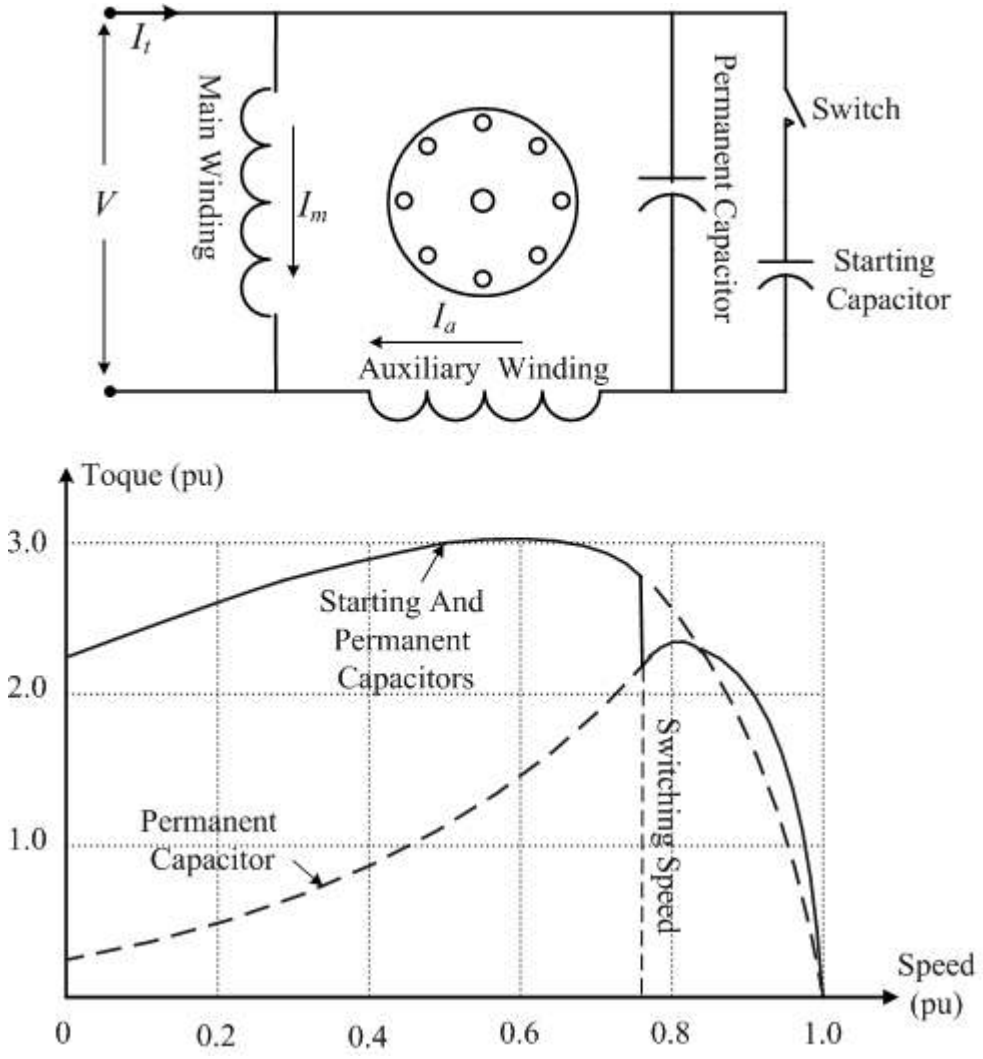


الشكل (١- ٣٤) كيفية توصيل وخواص المحرك ذي المكثف الدائم

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 أيضا الضجة التي كان يسببها المجال الخلفي، فتكون النتيجة محركاً هادئ 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

المحرك ذو المكثفين: **Two-Values Capacitor Motor**



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 منحني خواص المحرك ويستخدم مكثف من النوع الورقي المشبع بالزيت موصل على التوالي بصفة مستديمة (ويسمي المكثف الدائم)، مع الملفات المساعدة لتحسين خواص التشغيل. كما يستخدم مكثف آخر لتحسين عزم بدء الحركة، من النوع ذي السائل الكهربي (ويسمي مكثف بدء الحركة) موصلاً مع مفتاح طرد مركزي خاص به، على التوازي مع المكثف الدائم، ليعملا 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

مثال ١- ١٦:

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

$$Z_m = 4.2 + j3.8 \quad \Omega \qquad\qquad Z_a = 8.8 + j3.3 \quad \Omega$$

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

الحل:

زاوية معاوقة الملفات الرئيسة:

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

زاوية معاوقة الملفات المساعدة يجب أن تكون:

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

ممانعة المكثف X_c يجب أن تحقق العلاقة:

$$\frac{X_c - 3.2}{8.8} = tan\,(47.86) = 1.1 \qquad tan^{-1}\left(\frac{X_c - 3.2}{8.8}\right) = 47.86$$

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

سعة المكثف يمكن حسابها من:

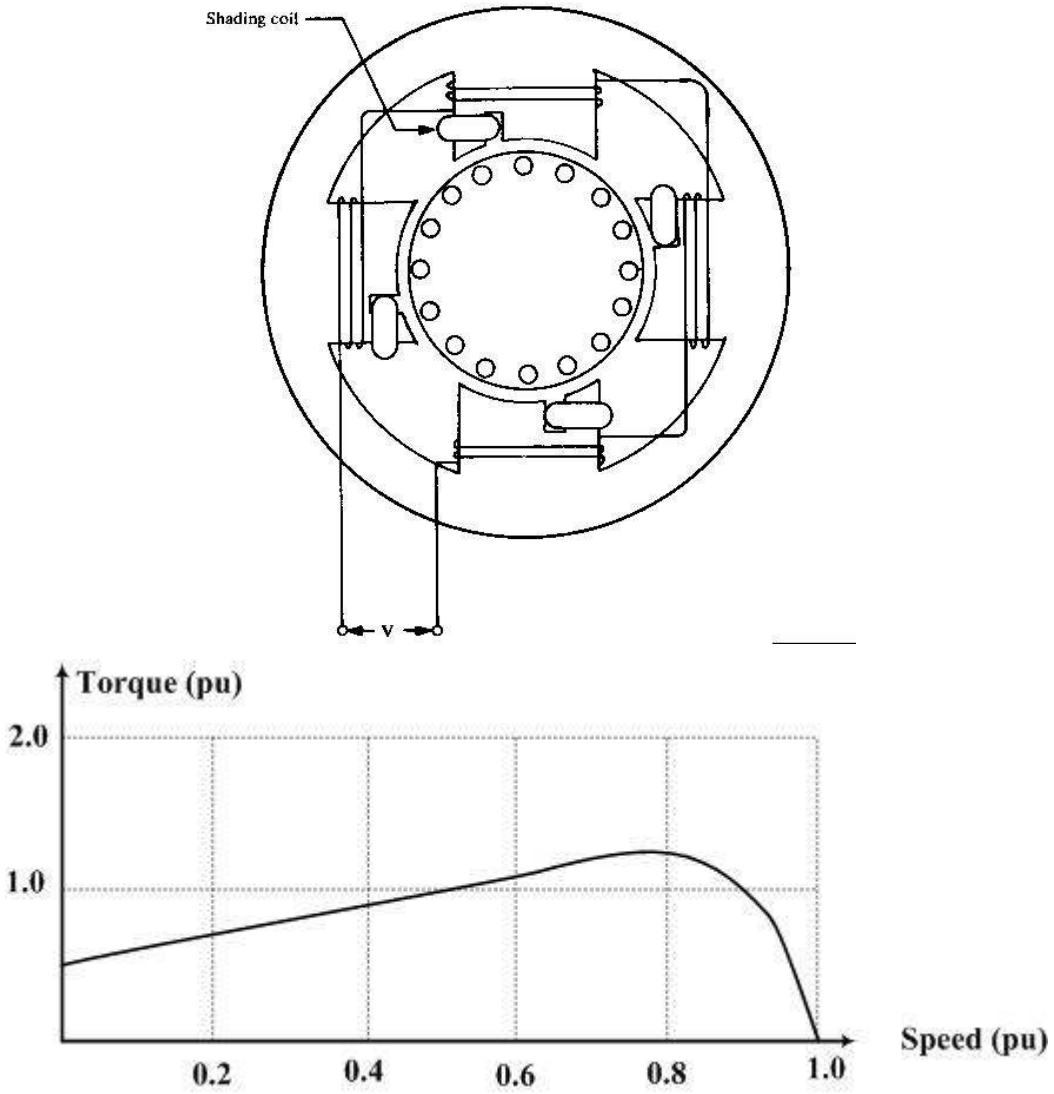
$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot c}$$

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١- ٩- ٣- ٣ المحرك ذو الوجه المظلل: Shaded-Pole motor

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 المظلِل (Shading Coil) ، كما هو موضح في الشكل (١- ٣٦).



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

تتولد في الملف المظلِل تيارات بفعل جزء المجال المغناطيسي المتشابك 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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

يبين منحني 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ب. عكس أطراف الملف المساعد فقط.

ج. عكس أطراف الملف الرئيس فقط.

د. عكس أطراف مصدر التغذية.

ه. 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 الكهربي.

ج. الهوائي.

د. السيراميك.

٩- جميع الجُمل 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أسئلة وتمارين:

١- لماذا تحتاج المحركات أحادية الوجه لوسيلة مساعدة لبدء حركتها؟ وضح إجابتك بالرسم.

٢- عَدِّدْ 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 ٢٣٠فولت، ٥٠هيرتز 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 ١٢٠فولت وتردده ٦٠هيرتز، ثوابت الملفات الرئيسة والمساعدة عند البدء:

$$Z_m = 4.2 + j3.6 \ \ \Omega \qquad\qquad Z_a = 8.4 + j3.0 \ \ \Omega$$

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر