المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تخصص أجهزة طبية

آلات كهربائية للأجهزة الطبية- نظري

262 أطب

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والأيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي؛ لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " آلات كهربائية للأجهزة الطبية (نظري)" لمتدربي تخصص " فني الأجهزة الطبية" للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل إن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل إن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه؛ إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

تمهيد

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيد المرسلين نبينا محمد صلى الله عليه وسلم أما بعد:

تعتبر الآلات الكهربائية جزء أساسيا لا يمكن الاستغناء عنه في مجالات الأجهزة الطبية. لذا فإنه من الضروري جدا تعلم الآلات الكهربائية من حيت التركيب والتشغيل والاختبار المناسب لدعم المجالات الصناعية عامة و الأجهزة الطبية خاصة.

وتحتوي هذه الحقيبة على تركيب وتشغيل ودراسة أداء الآلات الكهربائية (المحركات والمحولات).

كما تتضمن وصف الدوائر الإلكترونية للتحكم في المحركات المستعملة في الاجهزة الطبية.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

آلات كهربائية للأجهزة الطبية (نظري)

الدوائر المغناطيسية

الوحدة الأولى

الدوائر المغناطيسية

الجدارة: معرفة الدوائر المغناطيسية ومقارنتها بالدوائر الكهربائية

الأهداف: عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- معرفة العلاقات الأساسية للدوائر المغناطيسية
- تمثيل الدوائر المغناطيسية البسيطة

مستوى الأداء المطلوب : أن يصل الطالب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪.

الوسائل المساعدة:

استعمال الوسائل التعليمية المساعدة المتوفرة بالكلية مثل التدريب الإلكتروني _ السيور الذكية.

الوقت المتوقع للتدريب: 4 ساعات

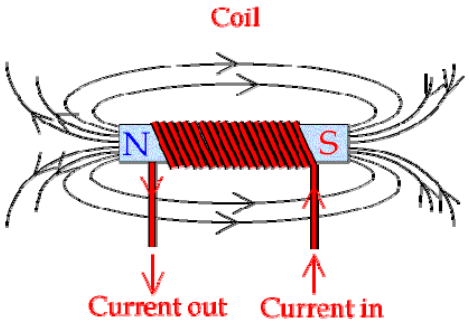
متطلبات الجدارة: مقرر هندسة كهربائية .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

مقدمة :

المواد المغناطيسية تشكل جزء هاما في تركيب الآلات الكهربائية فهي تشكل وتوجه المجالات المغناطيسية التي تمثل الوسط الذي تتم فيه عملية تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية في حالة استخدام الآلة كمحرك والعكس صحيح في حالة استخدام الآلة كمولد. و تحتوي الآلة الكهربائية على دائرة مغناطيسية للحصول على كثافة تدفق مغناطيسي عالية في حجم محدود والتي ينتج عنها عزم قوي أو قدرة خرج عالية لوحدة الحجم مع أن هذه الكثافة العالية لا تتطلب إلا مفقودات قدرة قليلة.

في معظم الآلات الكهربائية ما عدا ذات المغناطيس الدائم، يتم توليد المجال المغناطيسي بتمرير تيار كهربائي في ملف ملفوف على مادة حديدية مغناطيسية كما في الشكل 1- 1

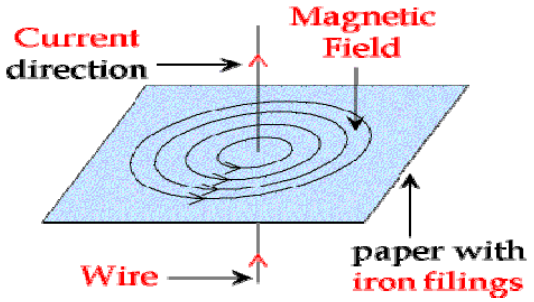


شكل 1-1 : توليد المجال المغناطيسي عن طريق ملف ومادة حديدية

1-1 : تعريفات هامة :

- **المجال المغناطيسي**: (Magnetic Field)

هو المنطقة التي تحيط بالمغناطيس وتظهر فيها تأثيرات مختلفة –شكل 1- 2، حيث يحدث فيها نوع من الإجهاد غير المرئي تستجيب له الأجسام التي تتأثر بالفعل المغناطيسي بظاهرة محددة.

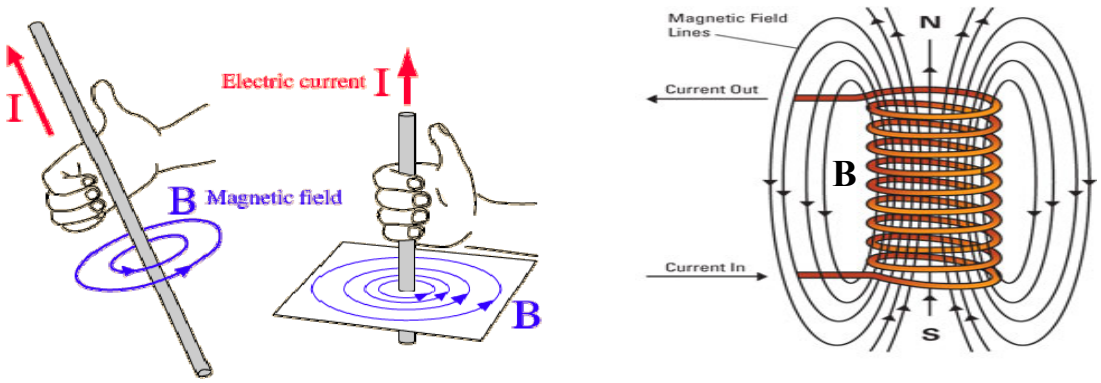


شكل 1-2: خطوط الفيض المغناطيسية

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

- **خطوط القوى المغناطيسي** (Spectrum)

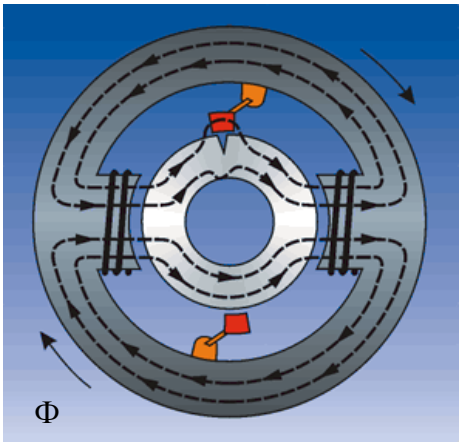
يمثل المجال المغناطيسي بخطوط يمكن رسمها حول المغناطيس و تبدأ من القطب الشمالي وتنتهي إلى القطب الجنوبي كما هو في الشكل 1- 3- ويمكن تحديد اتجاه الفيض المغناطيسي بقاعدة اليد اليمنى بحيث إذا مسكنا الموصل أو الملف باليد اليمنى تكون الأصابع الأربعة تشير إلى التيار والإبهام هو الذي يشير إلى القطب الشمالي.



شكل 1-3 اتجاه خطوط القوى المغناطيسي

- **التدفق المغناطيسي**: (Flux Φ)

هو عدد خطوط المجال المغناطيسي الموجودة في الدائرة المغناطيسية ويتم قياسه بالويبر (Weber). يحافظ التدفق المغناطيسي على قيمته خلال أي جزء مستقيم في الدائرة المغناطيسية فهو مماثل للتيار في الدوائر الكهربائية. الشكل 1- 4 يعرض رسم تخطيطي لخطوط الفيض المغناطيسي المتولدة في آلة كهربائية ذات قطبين



شكل 1-4 التدفق المغناطيسي

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

- **شدة المجال المغناطيسي (H)**

يمكن حسابها في الدوائر المغناطيسية البسيطة بتطبيق نظرية أمبير والتي تقول بأن التكامل الخطي لشدة المجال المغناطيسي H حول مسار مغلق يساوي التيار الكلي داخل هذا المسار كما في المعادلة 1-1.

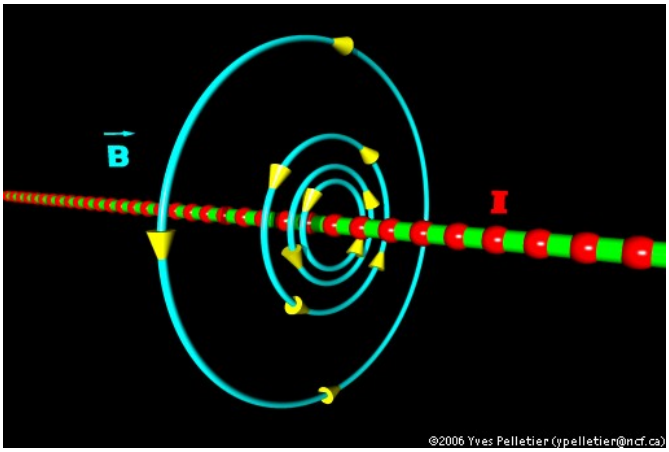
$$\oint HdL = NI \qquad 1\text{-}1$$

إذا كانت الدائرة مكونة من أجزاء متطابقة يكتب قانون أمبير على النحوالتالي : $\oint HdL = NI$

في حالة موصل كهربائي واحد $(N=1)$ فإن المجال المغناطيسي H يكون

$$H = \frac{I}{2\Pi r} \qquad 1\text{-}2$$

حيث من المعادلة $HL=I$ وإذا كان نصف قطرالدائرة يساوي r فإن المحيط L يساوي $L=2nr$

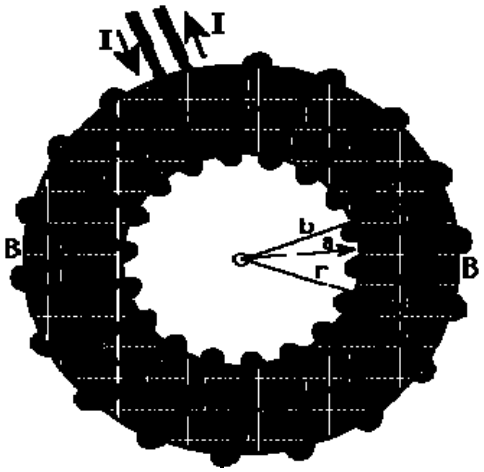


شكل 1-5 موصل كهربائي

نلاحظ أن شدة المجال المغناطيسي H تعتمد على طول المسار المغناطيسي L وبشدة التيار الكهربائي I في حالة قلب حديدي دائري (Toroid) كما في الشكل 1- 6: عندما يمر تيار I بملف عدد لفاته N حول قلب حديدي دائري يكون المجال المغناطيسي محصورا داخل المادة الحديدة، و بتطبيق قانون أمبير

$$\sum HL = \sum NI \Rightarrow 2\Pi rH = NI \quad \rightarrow \quad H = \frac{NI}{2\Pi r} \qquad r = \frac{b+a}{2} \qquad 1\text{-}3$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل 1-6 قلب حديدي دائري

يسمى المقدار (NI) القوة الدافعة المغناطيسي ووحدتها عدد اللفات بالأمبير (AT)

- **كثافة التدفق المغناطيسي** (أو الحث المغناطيسي) B :

هي كمية التدفق المغناطيسي Φ التي تعبر مساحة مقطع معينة A ويمكن حسابها من المعادلة4- 1

$$B = \frac{\Phi}{A} \qquad 1\text{-}4$$

ووحدته ويبر/متر مربع Wb/m^2 أو (تسلا Tesla)

- **العلاقة بين كثافة التدفق المغناطيسي B والشدة للمجال المغناطيسي H:**

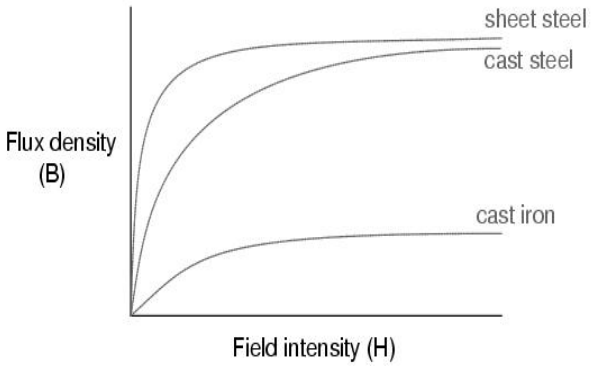
لكل مجال مغناطيسي قوة أو شدة مجال يقاس بها مدى تأثيره. وتعرف شدة المجال بأنها النسبة بين كثافة التدفق المغناطيسي B ومعامل النفاذ μ ويعطى بالعلاقة:

$$H = \frac{B}{\mu} \qquad h/m \qquad 1\text{-}5$$

- **معامل النفاذ المغناطيسي** μ (Permeability):

لكل وسط معامل نفاذ μ يطلق عليه معامل النفاذ المغناطيسي للمادة (Magnetic permeability) وهي ليست ثابتة القيمة بالنسبة للمادة الواحدة، وإنما تتغير قيمتها بتغير شدة المجال المغناطيسي المؤثر. يوجد لكل مادة منحنى خاص يعرف باسم منحنى التمغنط (Magnetization curve)، وهو من المنحنيات الهامة بالنسبة للمواد المغناطيسية التي تستخدم في الآلات الكهربية، ويمكن الحصول عليه إما من المصنع الذي ينتج المادة، أو معمليا بالطرق القياسية. ويعطي منحنى التمغط العلاقة بين شدة المجال وكثافة الخطوط المغناطيسية التي تنتج في المادة. شكل 1-7

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل 1-7 منحنى التمغنط

ويربط بينهما معامل النفاذ للمادة بالعلاقة 6- 1:

$$\mu = \mu_O \mu_r \qquad 1\text{-}6$$

حيث μ_r هي معامل النفاذ النسبي و μ_0 معامل النفاذ الهواء أو الفراغ ويسمى معامل نفاذ المطلق (Absolute permeability) وقيمته:

$$\mu_o = 4\pi 10^{-7} \qquad 1\text{-}7$$

في حالة الفراغ فإن B وH متناسبان حسب القانون:

$$B = \mu_0 H \qquad 1\text{-}8$$

- **القوة الدافعة المغناطيسية** (Magneto-motive-force m.m.f):

القوة الدافعة المغناطيسية تعرف بأنها الضغط المغناطيسي الذي يدفع الفيض المغناطيسي في الدائرة المغناطيسية. وتتوقف قيمتها على قيمة التيار الكهربائي المار في الملف وعدد لفاته، ووحداتها هي الأمبيرلفه (Ampere.turn: At) وتعرف بالعلاقة:

$$MMF = F_m = NI \qquad 1\text{-}9$$

- **المانعة المغناطيسية** R_m (Magnetic reluctance):

عند مرور الفيض المغناطيسي في دائرة مغناطيسية فيلاقى ممانعة، وهي النسبة بين القوة الدافعة المغناطيسية والتدفق المغناطيسي وتحسب من العلاقة:

$$R_m = \frac{F_m}{\Phi} = \frac{N.I}{\Phi} \qquad 1\text{-}10$$

ويمكن حساب الممانعة بدلالة أبعاد الدائرة المغناطيسية، فإذا كان طول المسار للفيض المغناطيسي L ومساحة مقطعه A ومعامل النفاذ μ فإن الممانعة تعطى بالعلاقة:

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

$$R_m = \frac{L}{\mu A} \qquad 1\text{-}11$$

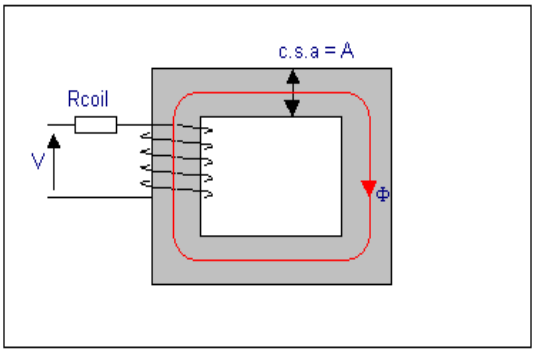
2-1: التناظر بين الدائرة الكهربائية والدائرة المغناطيسية

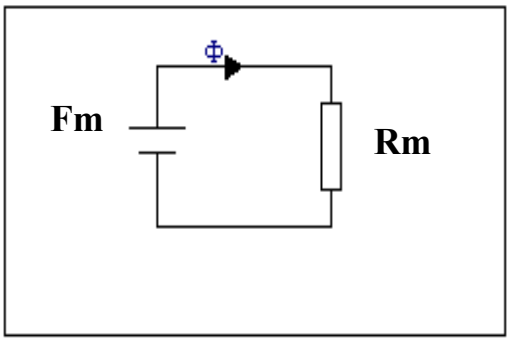
الدائرة الكهربية		الدائرة المغناطيسية	
قوة دافعة كهربائية	e.m.f =E	قوة دافعة مغناطيسية	m.m.f =Fm
المقاومة الكهربائية	$R = \frac{\rho L}{A}$	الممانعة المغناطيسية	$R_m = \frac{L}{\mu A}$
التيار الكهربي	$I = \frac{E}{R}$	التدفق المغناطيسي	$\Phi = \frac{F_m}{R_m}$
كثافة التيار	$J = \frac{I}{A}$	كثافة التدفق	$B = \frac{\Phi}{A}$

جدول 1-1 التناظر بين الدائرة الكهربائية والدائرة المغناطيسية

مثال 1-1 : الشكل 1-8 يمثل دائرة كهربائية مكافئة للدائرة المغناطيسية. في هذه الدائرة القوة الدافعة المغناطيسية Fm

$$F_m = NI = R_m \Phi \qquad 1\text{-}12$$





نلا. في الدائرة الكهربائية

المغناطيسية، وتمثل المقاومات في الدائرة الكهربائية بالممانعات للمسارات المغناطيسية، ويمثل الفيض المغناطيسي التيار الكهربي. أي أنه يوجد أوجه تشابه وتناظر بين الدائرة المغناطيسية والدائرة الكهربية.

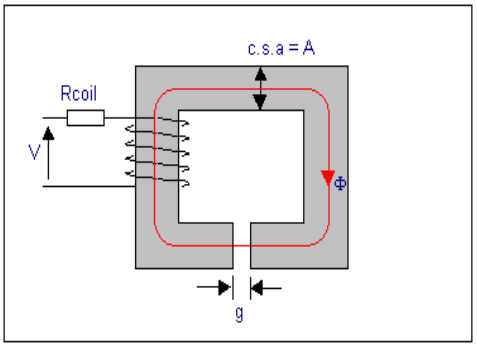
مثال 1-2 : الشكل 1-9 يمثل دائرة كهربائية مكافئة للدائرة المغناطيسية بها ثغرة هوائية. (Air-gap)

في هذه الدائرة القوة الدافعة المغناطيسية Fm

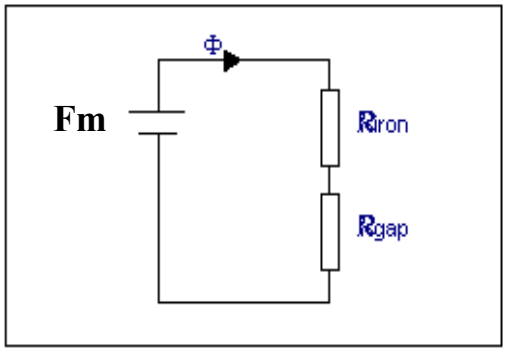
$$MMF = F_m = NI = H_{iron} L_{iron} + H_{gap} L_{gap} = R_{iron} \Phi + R_{gap} \Phi \qquad 1\text{-}13$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

حيث: R_c يمثل الممانعة المغناطيسية في الحديد و R_{gap} يمثل الممانعة المغناطيسية في الثغرة الهوائية



ئة لل



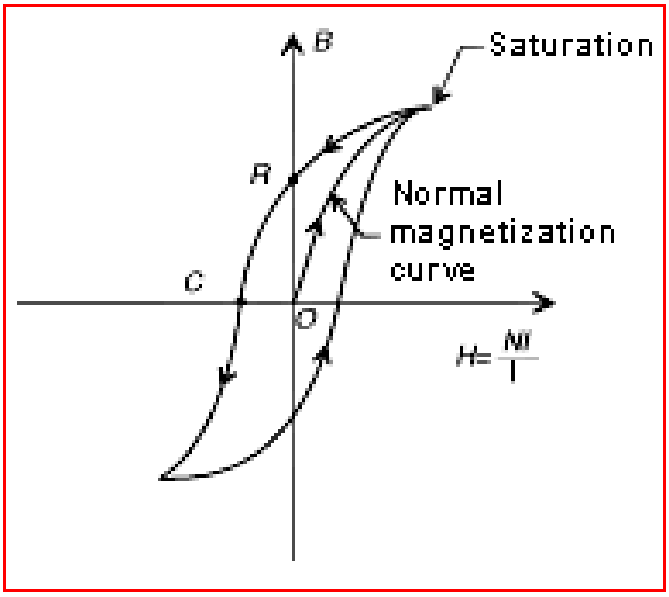
3-1: المفاقيد

تنتج المفاقيد الحديدية تحت تأثير مغناطيسي دوري عن سببين مختلفين :

- التخلف المغناطيسي أو Hysterisis
- التيارات الإعصارية أو الدوامة.

1-3-1: التخلف المغناطيسي

في الدائرة المغناطيسية المبينة في الشكل 1-10 نفترض أن القلب الحديدي لم يكن أصلا ممغنطا. فإذا زادت شدة المجال الآن نتيجة لزيادة التيار I ، كثافة التدفق المغناطيسي ستتغير حسب المنحنى في الشكل التالي.



شكل 1-10 : التخلف المغناطيسي

يمكن تبيان أن مساحة منحنى التخلف متناسبة مع فقد التخلف المغناطيسي ويستهلك الدوران في

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

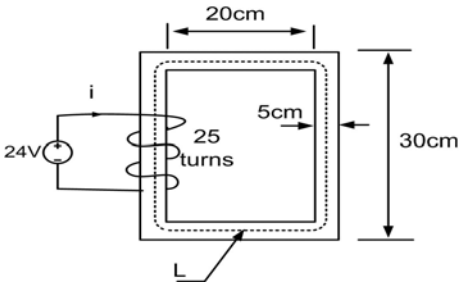
حلقة التخلف المغناطيسي طاقة تتناسب مع المساحة المحاطة بهذه الحلقة. وهذه الطاقة تسمى فقد التخلف المغناطيسي. يمكن حساب فقدان الطاقة باستعمال العلاقة التجريبية التالية: $P_h=K_h v B_m n f$ حيث K_h ثابت متعلق بالمادة المغناطيسية وحجم القلب الحديدي، B_m هي كثافة التدفق المغناطيسي العظمى ، n عدد يتغير في المجال 1.5 إلى 2.5

يحدث نوع آخر لفقد الطاقة في القلب الحديدي عندما تتغير كثافة التدفق المغناطيسي بسرعة في القلب فتتولد قوة دافعة كهربائية داخل هذا القلب. وإثرها ينشأ مرور تيار قي شكل دوامات يسمى بالتيار الدوامي أو الإعصاري I_e مما يؤدي إلى فقد في القدرة قيمته $R_e I_e^2$ حيث R_e هي مقاومة القلب الحديدي.

مثال 1-1:

شكل 1-11 يمثل إطار من الحديد على شكل مستطيل أبعاده 30x20cm ، ومساحة مقطعه على شكل مربع طول ضلعه 5cm ملفوف على أحد جانبي الإطار ملف عدد لفاته 25 ومقاومته 2 Ω ويغذى من منبع جهد مستمر 24V فإذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي في الإطار 0,008T ، احسب:

1. التيار في الملف
2. شدة المجال المغناطيسي،
3. التدفق المغناطيسي.



شكل 1-11

من الدائرة المغناطيسية في الشكل 1-11

طول المسار المغناطيسي المتوسط L من العلاقة: $L = 2(20 + 5 + 30 - 5) = 100\ cm = 1\ m$

المساحة $A = (5 \times 10^{-2})^2 = 25 \times 10^{-4}\ m^2$

1- التيار $I = \frac{V}{R} = \frac{24}{2} = 12\ \ A$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

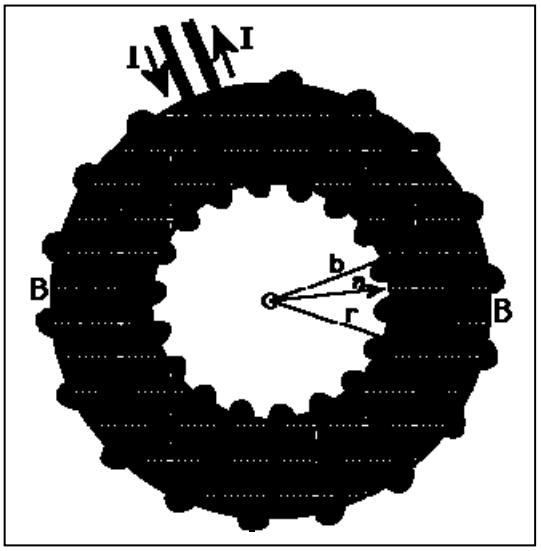
2- المجال $H = \frac{NI}{L} = \frac{25 \times 12}{1} = 300 \quad A/m$

3- التدفق المغناطيسي $\Phi = BA = 0.008 \times 25 \times 10^{-4} = 0.00002 \quad Wb$

مثال 1-2:

حلقة من المعدن (شكل 1-12) قطرها المتوسط D=50cm ومساحة مقطعها $A=3cm^2$. ملفوف عليها ملف عدد لفاته 600 ويمر به تيار مقداره 2A فإذا كان معامل النفاذ النسبي للمعدن 1500. احسب:

1- الممانعة المغناطيسية للحلقة
2- القوة الدافعة المغناطيسية
3- شدة المجال المغناطيسي
4- التدفق المغناطيسي
5- كثافة الفيض المغناطيسي.



شكل 1-12

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

طول المسار المغناطيسي المتوسط L من العلاقة: $L = \pi D = \pi x 50 x 10^{-2} = 1.57\ m$

حيث $I=2\ A$ $N=600$ $\mu_o=4\pi\ 10^{-7}$ $\mu_r=1500$ $A= 3x10^{-4}\ m^2$

1. الممانعة المغناطيسية $R_{mag} = \frac{L}{\mu_r \mu_o A} = \frac{1.57}{1500(4\pi 10^{-7})(3)10^{-4})} = 2.78\times10^6\ At/wb$

2. القوة الدافعة المغناطيسية $Fm = NI = 600x2 = 1200\ At$

3. شدة المجال المغناطيسي $H = \frac{Fm}{L} = \frac{1200}{0.0157} = 763.33\ \ At/m$

4. التدفق المغناطيسي $\Phi = \frac{Fm}{R_{mag}} = \frac{1200}{2.78\times10^6} = 4.32\times10^{-4}\ \ wb$

5. كثافة الفيض المغناطيسي. $B = \frac{\Phi}{A} = \frac{4.32\times10^{-4}}{3\times10^{-4}} = 1.44\ \ Tesla$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

أسئلة وتمارين على الوحدة الأولى

1) عرف التدفق المغناطيسي وكثافة الفيض المغناطيسي مع ذكر العلاقة التي تربط بينهما.
2) عرف شدة المجال المغناطيسي والقوة الدافعة المغناطيسية مع ذكر العلاقة التي بينهما.
3) ما هي أوجه الشبة الاختلاف بين الدائرة الكهربائية والدائرة المغناطيسية.
4) ماذا يقصد بالممانعة المغناطيسية ومعامل النفاذ ؟
5) وضح كيف يمكن توليد قوة دافعة كهربية.
6) حلقة من المعدن ملفوف عليها ملف يمر به تيار ويسبب فيض مغناطيسي مقداره 6 ميكروويبر، وكانت شدة المجال المغناطيسي 12 أمبير/متر. وطول المسار المغناطيسي المتوسط 0,5 متر ومساحة مقطع الحلقة 0,00015 متر مربع. احسب القوة الدافعة المغناطيسية الناتجة عن الملف، وكذلك كثافة الفيض المغناطيسي.
7) إطار من الحديد على شكل مربع طول ضلعه 20 سم، ومساحة مقطعه على شكل مستطيل أبعاده 3 x 5 سم. ملفوف على أحد جانبي الإطار ملف عدد لفاته 15 ومقاومته 1,4 أوم ويغذى من منبع جهد مستمر 12فولت. فإذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي في الإطار 0,006 تسلا، احسب: التيار في الملف ، شدة المجال المغناطيسي، التدفق المغناطيسي.
8) حلقة من الحديد يمر بها فيض مغناطيسي مقداره 0,0002 ويبر وطول المسار المغناطيسي المتوسط 100 سم^2 ومساحة مقطع الحلقة 2.5 سم احسب القوة الدافعة المغناطيسية الناتجة عن الملف، وكذلك شدة المجال المغناطيسي باعتبار معامل النفاذ للحديد 500.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

آلات كهربائية للأجهزة الطبية (نظري)

المحولات الكهربائية

اسم الوحدة: المحولات الكهربية

الجدارة: معرفة نظرية عمل المحول الكهربائي وتركيبه وطريقة ترتيب الملفات، واستنتاج معادلة القوة الدافعة الكهربائية ونسبة التحويل وكذلك الدائرة المكافئة وتشغيله عند الأحمال المختلفة وأيضا حساب المفقودات والكفاءة ومعامل التنظيم.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

1. معرفة نظرية عمل وتركيب المحول الكهربائي وطرق ترتيب الملفات.
2. استنتاج معادلة القوة الدافعة الكهربائية ونسبة التحويل.
3. معرفة العلاقات الخاصة بالمحول المثالي.
4. استنتاج الدائرة المكافئة منسوبة للابتدائي والثانوي.
5. تشغيل المحول عند اللاحمل وعند التحميل.
6. إجراء الاختبارات الضرورية.
7. استنتاج عناصر الدائرة المكافئة.
8. حساب معامل التنظيم وكذلك المفقودات والكفاءة.
9. تركيب المحول الذاتي ومجالات استخدامه.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدريب: 6 ساعات.

متطلبات الجدارة: تحتاج إلى مراجعة مقرر الدوائر الكهربائية

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

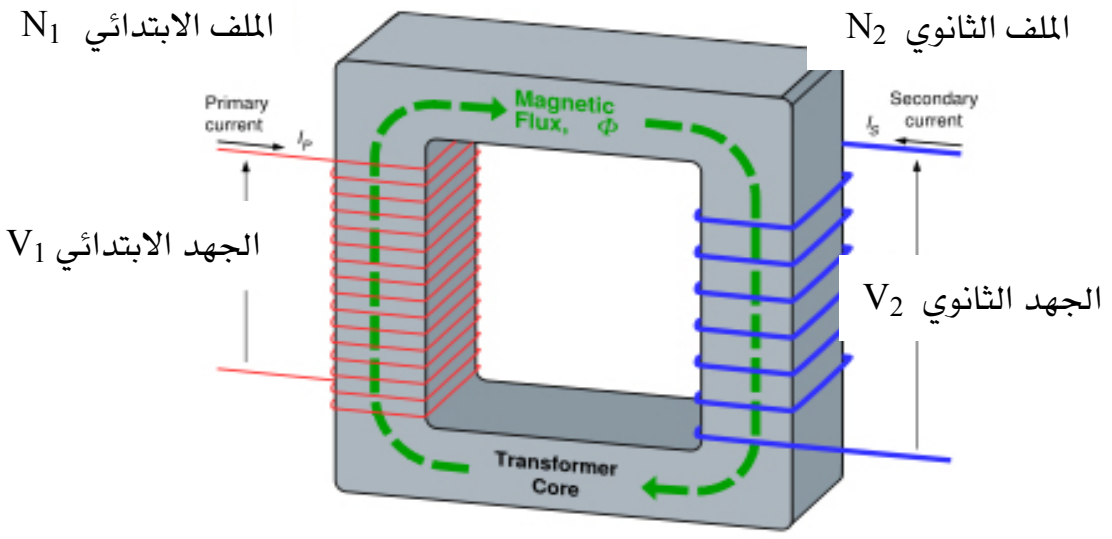
مقدمة :

المحول هو آلة كهربائية تستخدم لتحويل القدرة من دائرة أولية بجهد معين إلى دائرة ثانوية بنفس التردد مع خفض أو رفع الجهد الكهربائي، وتستخدم المحولات الكهربائية بصورة واسعة في مجال الأجهزة الطبية بقدرات وجهود مختلفة و تستخدم أيضا في كثير من الأجهزة الكهربائية وأجهزة القياس

1-2 نظرية عمل المحول وتركيبه

يتكون المحول من ملفين متقاربين ومعزولين كهربائيا وملفوفين على قلب (core) من شرائح الحديد (كما هو موضح في شكل 2- 1)، وهذا القلب يربط الملفين مغناطيسيا. عند تغذية الملف الأول بجهد متردد فينشأ في القلب الحديدي تدفق مغناطيسي (Magnetic flux) متردد أيضا، ويتشابك هذا التدفق مع الملف الثاني ويتولد به قوة دافعة كهربائية مستنتجة بالتأثير المتبادل تبعا لقانون فارادي للحث الكهرومغناطيسي. في حالة وجود حمل على الملف الثاني فيمر فيه تيار،

الملف الأول والذي يتصل بمنبع الجهد يطلق عليه اسم الملف الابتدائي (Primary winding)وعدد لفاته N_1، أما الملف الثاني المتصل بالحمل فيطلق عليه اسم الملف الثانوي (Secondary winding) وعدد لفاته N_2.



شكل 2-1 مكونات المحول

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

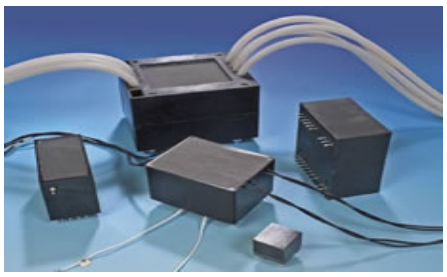
2-1- 1 أنواع المحولات

تنقسم المحولات من وجهة نظر تطبيقاتها إلى ثلاث مجموعات:

- محولات القدرة (Power transformers) وهي تستخدم مرافقة لمولدات الجهد المتردد وذلك لرفع كفاءة نقل الطاقة الكهربائية وكذلك تستخدم في محطات التوزيع لخفض الجهد العالي.

شكل 2-2: محولات القدرة

- محولات الالكترونيات (Electronic transformers) وتستخدم في دوائر التكبير الإلكترونية للربط بين المنبع والحمل وتعمل على توافق دائرتين ذي معاوقة مختلفة وذلك لنقل أقصى قدرة. أيضا تعمل كمرحلة عزل كهربائي بين دوائر مختلفة القدرة.



شكل2-3: .محولات الالكترونيات

- محولات القياس (Instrument transformers) وهي تستخدم في أجهزة قياس الجهد والتيار العالي والتي تستعمل في أجهزة الحماية، وأيضا كحساس للجهد والتيار في أنظمة التحكم.

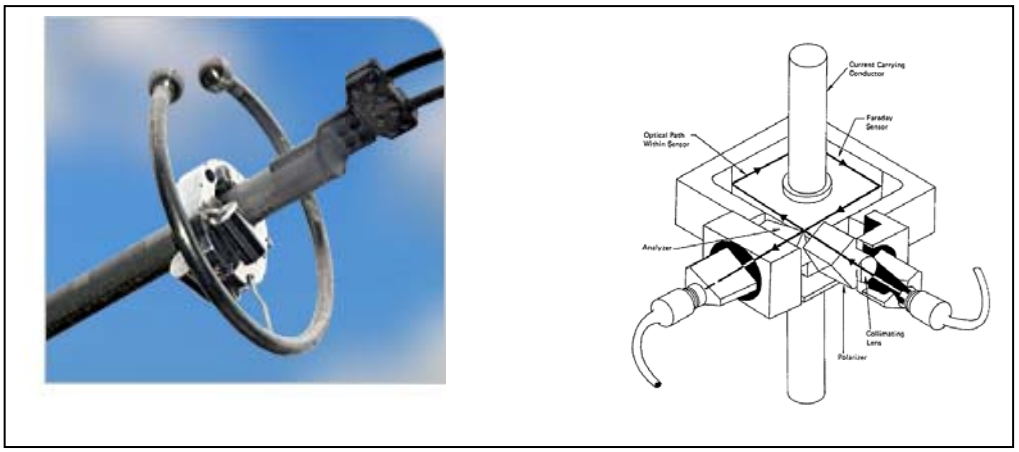
تنقسم المحولات من ناحية التركيب إلى:

1. محولات ذات ملفين مستقلين
2. محولات ذات ملف مشترك (محول ذاتي)
3. محولات رفع
4. محولات خفض

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

كما يمكن تقسيم المحولات من حيث التغذية إلى:

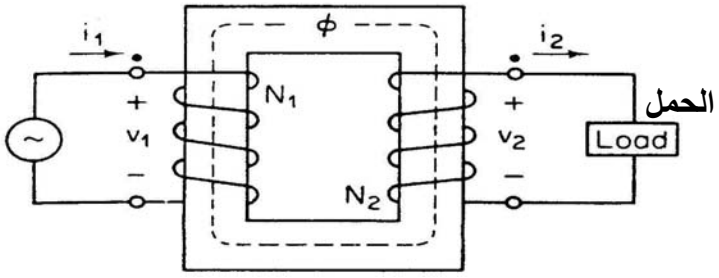
1. محولات أحادية الوجه
2. محولات ثلاثية الأوجه



شكل 2-4: محولات القياس

2-2 المحول المثالي: Ideal Transformer

يستخدم المحول المثالي لتفسير العلاقة بين الملفات الثانوية والابتدائية ومن ثم للمحول الحقيقي. ويفترض في المحول المثالي أنه لا يوجد فقد في الطاقة حيث تنتقل الطاقة من دائرة الملف الابتدائي إلى دائرة الملف الثانوي دون أي فقد. أيضا يفترض في المحول المثالي أن الملفات ليس لها مقاومة لمرور التيار، كذلك لا يوجد تسرب في الفيض المغناطيسي. وبالنظري للشكل 2- 5 فإنه يمكن إيجاد العلاقات التالية بين الجهود والتيارات أطرافي الحمول كمايلي:



شكل 2-5: المحول المثالي

$$v_1 = e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \qquad 2\text{-}1$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

$$v_2 = e_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} \qquad 2\text{-}2$$

حيث N_1 عدد لفات الملف الابتدائي، و N_2 عدد لفات الثانوي، e_1 و e_2 القوة الدافعة العكسية المستنتجة به في الابتدائي و الثانوي ، v_1 و v_2 الجهد الابتدائي و الثانوي. بقسمة المعادلة 2.1 على المعادلة 2.2 نحصل على النسبة الآتية:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \qquad 2\text{-}3$$

تعرف $\frac{N_1}{N_2} = a$ بأنها نسبة تحويل الجهد للمحول، فإذا كان $N_1 > N_2$ حينئذ يسمى المحول محول خافض، أما إذا كان $N_2 > N_1$ فحينئذ يسمي المحول محول رافع. وحيث إن المحول المثالي ينقل القدرة الكهربائية بدون فقد في الطاقة، وبناء عليه تكون قدرة الدخل مساوية مع قدرة الخرج وبالتالي يمكن كتابة المعادلة الآتية:

$$S_1 = S_2 = V_1 I_1 = V_2 I_2 \longrightarrow a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \qquad 2\text{-}4$$

من المعادلة 4.2 يمكن إيجاد العلاقة بين التيار في الملفين الابتدائي والثانوي. بما أن المحول مثالي فإن

$$V_1 = aV_2 \quad \text{و} \quad I_1 = \frac{I_2}{a} \qquad 2\text{-}5$$

مثال 2. 1:

محول وجه واحد 480/120 v 5KVA ، ينقل تيار لحمل جهده 120V . بإهمال المفاقيد احسب تيار المحوّل و الجهد المغذي له ؟

الحل:

المحول مثالي $V_2 = 120V, \quad V_1 = 480V \quad$ و $\quad S_1 = S_2 = V_1 I_1 = V_2 I_2 = 5KVA = 5000VA$

باستعمال المعادلة (2.4) نحسب التيارعبرالملفات الثانوية (I_2)

$$I_2 = \frac{S}{V_2} = \frac{5000}{120} = 41.67A$$

نجد نسبة اللف عن طريق نسبة الجهود: $a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{480}{120} = 4$

ويمكن الحصول على التيار في الملفات الابتدائية من المعادلة (5.2) كالتالي:

$$I_1 = \frac{I_2}{a} = \frac{41{,}67}{4} = 10.42A$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

2-2- 1 معادلة القوة الدافعة الكهربية

باعتبار الفيض المغناطيسي في المحول المثالي موجة جيبية.

$$\Phi(t) = \Phi_m \sin \omega t \qquad 2\text{-}6$$

وبناء على ذلك وبالتعويض في المعادلة 1.2 نحصل على العلاقة التالية:

$$e_1(t) = N_1 \Phi_m \omega \cos \omega t \qquad 2\text{-}7$$

حيث $\omega = 2\pi f$ ، f هو تردد المنبع وبذلك

$$e_1(t) = 2\pi N_1 \Phi_m f \sin(\omega t + 90^o) = \sqrt{2} E_1 \sin(\omega t + 90^o) \qquad 2\text{-}8$$

حيث E_1 هي القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربائية e_1 وقيمتها:

$$E_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} N_1 \Phi_m f = 4.44 N_1 \Phi_m f \qquad 2\text{-}9$$

و معادلة القوة التأثيرية المتولدة في الملف الثانوي تكون كالتالي:

$$E_2 = 4.44 N_2 \Phi_m f \qquad 2\text{-}10$$

مثال 2-2

احسب عدد اللفات الابتدائية والثانوية لمحول 60Hz –240V/120V إذا كان الفيض المغناطيسي في القلب لا يزيد عن 5mWb ؟

الحل:

عدد اللفات في الملف الابتدائي هي: $N_1 = \frac{V_1}{4.44 f \Phi_m} = \frac{240V}{(4.44)(60Hz)(5\times10^{-3})} = 180tr$

من المعادلة 2.4 يمكن إيجاد N_2 $N_2 = \frac{N_1}{a} = \frac{180}{2} = 90tr$

مثال 2-3

محول أحادي الوجه يعمل على جهد تردده 50Hz ، فإذا كان القلب الحديدي على شكل مربع المقطع طول ضلعه 20cm وقيمة الفيض المغناطيسي العظمي المسموح بها للمرور في القلب الحديدي 0.04 Wb احسب عدد الملفات المطلوب وضعها لكل من الملف الابتدائي والثانوي لتكون نسبة تحويل الجهد 3000/220V

الحل: $\Phi = 0.04\ Wb \quad A = 20x20 = 400cm^2 \quad E_1 = 3000\ V \quad E_2 = 220V$

$E_1 = 4.44 f \Phi N_1 \rightarrow N_1 = 3000/(4.44x50x0.04) = 338\ turns$

$E_2 = 4.44 f \Phi N_2 \rightarrow N_2 = 220/(4.44x50x0.04) = 25\ turns$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

2-2-2 نقل المعاوقة في المحول المثالي

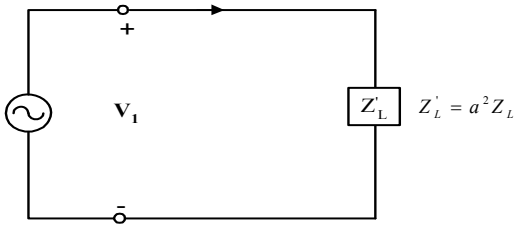
باستخدام المعادلات 2.5 يمكن إيجاد الدائرة المكافئة للمحول المثالي في حالة اتصاله بحمل معاوقة Z_2 (load impedance): .

الدائرة المكافئة للمحول المثالي في حالة اتصاله بحمل معاوقة Z_2 (load impedance): .

من قدرة المحول المثالي وهي $S_1 = S_2 \Rightarrow V_1 I_1 = V_2 I_2$ نحصل على المعادلة التالية

$$\frac{V_1}{I_1} = a^2 \frac{V_2}{I_2} = a^2 Z_2 = Z_2' \qquad \text{حيث معاوقة الحمل} \quad Z_2 = \frac{V_2}{I_2} \qquad 2\text{-}11$$

يوضح شكل 6.2 دائرة المكافئة للمحول المثالي، والمعاوقة Z'_2 هي ببساطة المعاوقة $Z_L = Z_2$ منسوبة إلى ناحية الملف الابتدائي.



شكل 2-6: المحول المثالي المنسوب للابتدائي

المعادلة التالية تبين أن الجهد يتناسب مع عدد اللفات والتدفق المغناطيسي علاوة على تردد منبع الجهد و أن متجه الجهد E_1 يتقدم على متجه التدفق بزاوية مقدارها 90^o. ويجب ملاحظة أن هذا التحليل مستنتج للمحول المثال، بهذه الخلفية يمكن امتداد الدراسة لتشمل المحول الفعلي،

مثال 2-4

محول أحادي الوجه قدرته 25kVA وعدد لفات الابتدائي 500 والثانوي 40 وصل الملف الابتدائي إلى منبع جهد قيمه 3000 فولت، احسب .تيار الملف الابتدائي –تيار الملف الثانوي عند الحمل الكامل .القوة الدافعة الكهربائية في الثانوي .أقصى تدفق في الدائرة المغناطيسية.

الحل $S=25kVA \quad N_1 = 500 \quad N_2=40 \quad V_1=3000V$

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{500}{40} = 12.5 \longrightarrow V_2 = \frac{3000}{12.5} = 240V$$

$$I_2 = \frac{S}{V_2} = aI_1 = 12.5 \times 8.33 = 104.13A \longrightarrow I_1 = \frac{S}{V_1} = \frac{25 \times 10^3}{3000} = 8.33A$$

$$\phi = \frac{3000}{4.44x\ 50x\ 500} = 0.027wb \longrightarrow E_1 = V_1 4.44 f\phi N_1$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

مثال 2-5

محول أحادي الوجه قدرته 5KVA جهده 440/110V ويعمل على تردد 60Hz ويغذي حمل بتيار مقداره 40A عند معامل قدرة cosα=0.8 متقدم وعند الجهد المقنن باعتبار المحول مثالي، أوجد الآتي:

- جهد وتيار الابتدائي
- معاوقة الحمل
- معاوقة الحمل منسوب إلى الابتدائي

الحل $S= 5KVA \quad V_1/V_2=440/110V \quad f=60\ Hz \quad I_2=40\ A \quad cos\alpha =0.8$

من المعلومات المعطاة يمكن حساب الآتي:

$$V_2 = 110V$$

$$I_2 = 40\angle \cos^{-1} 0.8A \ \rightarrow \ I_2 = 40\angle 36.87^o A$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{440}{110} = 4 \ \longrightarrow \ I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2 = \frac{1}{4} = 10A$$

معاوقة الحمل

$$Z_2 = \frac{V_2}{I_2} = \frac{110}{40} = 2.75\Omega$$

معاوقة الحمل منسوب إلى الابتدائي

$$Z_2' = a^2 Z_2 = (4)^2 (2.75) = 44\Omega$$

$$Z_2' = \frac{V_1}{I_1} = \frac{440}{10} = 44 \quad \Omega$$

3-2 المحول الفعلي Real Transformer

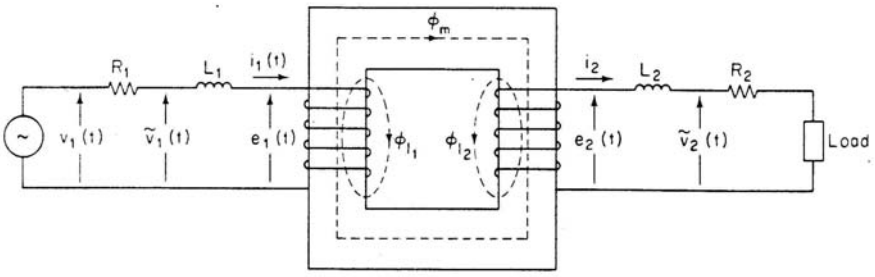
الواقع المحوّل الفعلي يختلف عن المحوّل المثالي في عدة أوجه و منها.

- مقاومة الملف الابتدائي والثانوي R_1 و R_2 ليست مهملة
- وجود الفيض المغناطيسي المتسرب ϕ_{L_1} و ϕ_{L_2} في الملف الابتدائي والثانوي على التوالي .
- المفاقيد الحديدية غير مهملة.
- نفاذية مادة القلب ليست مالا نهاية بما يؤدي إلى وجود فيض تبادلي ϕ_m في القلب.

الشكل (7.2) يوضح تمثيل المحوّل الفعلي.

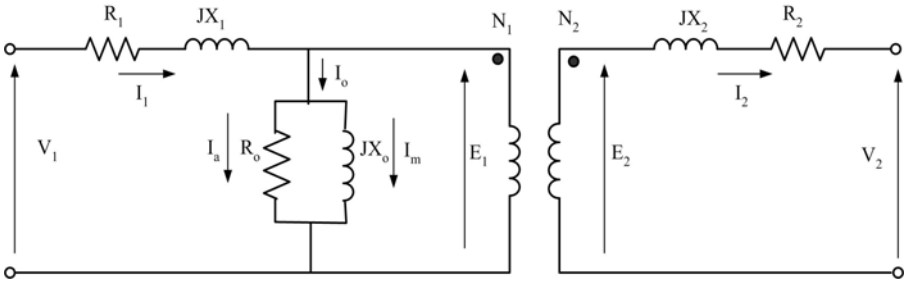
حيث أن X_{L_1} و X_{L2} هما مفاعلة الفيض المغناطيسي المتسرب في الملف الابتدائي والثانوي .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



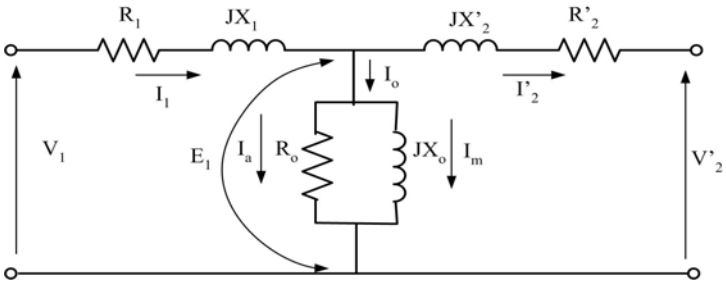
شكل 2-7: المحول الحقيقي

شكل 2-7 يمثل دائرة المحول الفعلي حيث X_o تمثل الممانعة المغناطيسية للقلب الحديدي و R_o تمثل المقاومة المغناطيسية للقلب الحديدي وهي المفقودات الحديدية. ويسبب الفقد الحديدي في المحول القيمة الفعالة I_a للتيار I_o وهو يمثل التيار في حالة عدم وجود حمل، بينما تمثل القيمة غير الفعالة I_m التيار المغطسة للآلة.



شكل 2-8: الدائرة الكهربائية الممثلة لملفات المحول الفعلي

ويمكن تحويل مكوّنات الجانب الثانوي في الشكل 2-8 للجانب الابتدائي كما هو مبين في الشكل 2-9 وتسمى الدائرة في هذه الحالة بالدائرة المكافئة منسوبة إلى جهة الابتدائي



شكل 2-9: الدائرة المكافئة منسوبة إلى جهة الابتدائي

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

حيث أن:

$V_2^{'} = aV_2$ الجهد الثانوي منسوب للابتدائي

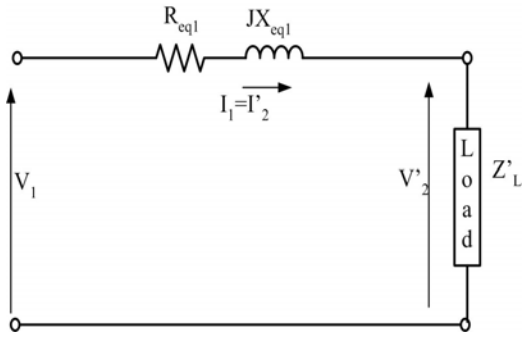
$I_2^{'} = \frac{I_2}{a}$ التيار الثانوي منسوب للابتدائي

$Z_2^{'} = R_2^{'} + jX_2^{'} = a^2R_2 + ja^2X_2$ المعاوقة الثانوية منسوبة للابتدائي.

و يمكن استنتاج الدائرة المكافئة للمحول منسوبة الى جهة الملف الثانوي.

2-3-1 الدائرة المكافئة للمحوّل الفعلي

في تطبيقات القدرة الكهربائية فإن تيار الاستثارة I_e صغير جدا مقارنة مع تيار الحمل للمحوّل I_2، وبالتالي فإن الجهد المتولد عنه في الملفات الابتدائية $(R_1 + jX_1)$ جهد صغير جدا. مما يمكننا من إهمال فرع التوازي للحصول على الدائرة التقريبية المبسطة كما في شكل 2.10.



شكل 2-10 : الدائرة المكافئة المبسطة للمحول منسوبة جهد الابتدائي

تحسب قيم المقاومة المكافئة R_{eq1} والممانعة المكافئة X_{eq1} في شكل 10.2 المنسوبة إلى دائرة الملف الابتدائي من العلاقات الآتية:

$$R_{eq1} = R_1 + R_2' = R_1 + a^2R_2 \qquad 2\text{-}12$$

$$X_{eq1} = X_1 + X_2^{'} = X_1 + a^2X_2 \qquad 2\text{-}13$$

أيضا يمكن أن تنسب معاوقة الحمل إلى دائرة الابتدائي:

$$Z_L' = a^2Z_L \qquad 2\text{-}14$$

الدائرة المكافئة للمحول منسوبة إلى الملف الثانوي: العلاقات في هذه الحالة تكون كالتالي:

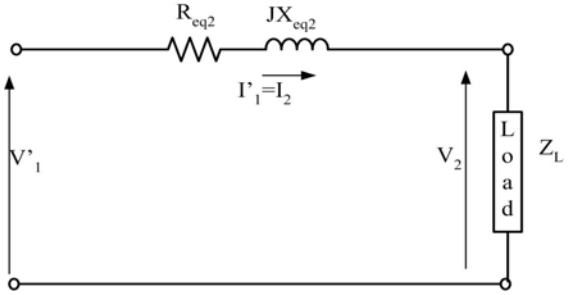
$$X_1' = \frac{1}{a^2}X_1 \qquad R_1' = \frac{1}{a^2}R_1 \qquad I_1' = \frac{1}{a}I_1 \qquad V_1' = aV_1 \qquad 2\text{-}15$$

وتكون الدائرة المكافئة المنسوبة إلى الملف الثانوي كما في شكل 11.2، حيث المقاومة المكافئة R_{eq2}

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

والممانعة المكافئة X_{eq2} في هذه الحالة تكون كالآتي:

$$R_{eq2} = R_1' + R_2 \qquad \text{و} \qquad X_{eq2} = X_1' + X_2 \qquad \text{2-16}$$



شكل 2-11 : الدائرة المكافئة للمحول منسوبة جهة الثانوي

مثال 2-6 :

محول أحادي الوجه 100KVA، 400/2000V وعناصر الدائرة المكافئة كالتالي:

$R_1=0.01\ \Omega$ $X_1=0.03\ \Omega$ $R_2=0.25\ \Omega$ $X_2=0.75\ \Omega$

قدرة الحمل 90KVA عند جهد مقداره 2000V ومعامل قدرة cosα=0.8 متأخر. احسب الجهد والتيار الابتدائي مستخدما الدائرة المكافئة بالنسبة للابتدائي.

الحل:

$R_1=0.015\ \Omega$ $X_1=0.035\ \Omega$

$$R_2' = a^2 R_2 = \left(\frac{400}{2000}\right)^2 0.25 = 0.01\Omega \qquad X_2' = a^2 X_2 = \left(\frac{400}{2000}\right)^2 0.75 = 0.03\Omega$$

$R_{eq}=R_1+R'_2=0.015+0.01=0.025\Omega$ $X_{eq}=X_1+X'_2=0.035+0.03=0.065\ \Omega$

The voltage $V_2=2000\ V;$ $\rightarrow$ $V_1' = aV_2 = 2000\left(\frac{400}{2000}\right) = 400V$

The current $I_2=S_L/V_2=90.10^3/2000 = 45\ A \rightarrow |I_1'| = \frac{N_2}{N_1} I_2 = \left(\frac{2000}{400}\right)45 = 225A$

The power factor $= \cos\alpha = 0.8$ *lagging* $\rightarrow$ $I_1' = 225\angle -36.87^o$

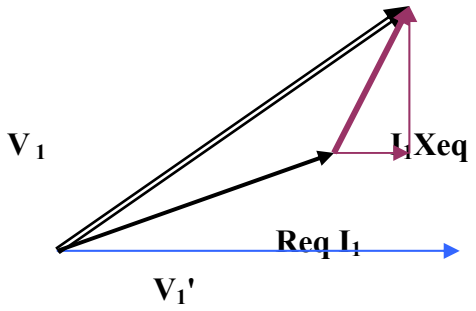
$$V_1 = V'_1 + I'_1 (R_{eq} + j\, X_{eq}) = 400\angle 0 + 225\angle -36.87^o (0.025 + J0.065)$$

$$= 400\angle 0 + 225\angle -36.87^o * 0.07\angle 68.96^o = 400\angle 0 + 15.75\angle 32.1^o$$

$$= 400 + 13.34 + J8.37 = 413.34 + J8.37 = 413.42\angle 1.16V$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

طريقة حل ثانية:



شكل 2-12:

2-3-2: تشغيل المحول Transformer operation

- **تشغيل المحول عند اللاحمل** No load operation

في حالة اللاحمل فإن قدرة الخرج تساوي صفرا وبالتالي فإن القدرة المسحوبة من المنبع (قدرة الدخل) تستهلك في فقد الحديد والنحاس، ونظرا لصغر تيار الابتدائي وعدم وجود تيار في الثانوي فإننا نستطيع إهمال مفقودات النحاس في هذه الحالة، وبالتالي فإن قدرة الدخل للمحول وهو بدون حمل تساوي الفقد الحديدي تقريبا وتعطي بالعلاقة التالية:

$$P_o = V_1 I_o \cos\phi_o \qquad 2\text{-}17$$

وهذا الفقد الحديدي يستهلك في مقاومة الدائرة المغناطيسية R_o ويمكن حسابها من العلاقة التالية:

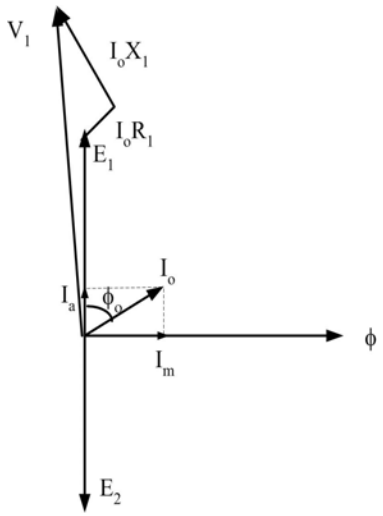
$$R_o = \frac{V_1}{I_a} = \frac{V_1}{I_o \cos\phi_o} \qquad 2\text{-}18$$

يمكن حساب الممانعة X_o من العلاقة التالية:

$$X_o = \frac{V_1}{I_m} = \frac{V_1}{I_o \sin\phi_o} \qquad 2\text{-}19$$

التيار I_o يمر في المحول سواء كان موصل بحمل أو بدون حمل وكذلك الفقد الحديدي ثابت طالما أن المحول موصل على جهد التشغيل المقنن.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل 2-13 : مخطط المتجهات للمحول بدون حمل

- **تشغيل المحول عند الحمل** Load operation

نتيجة لوجود حمل Z_L في الملف الثانوي يمر في الملف الابتدائي تيار ثاني I'_2 يتناسب مع تيار الحمل I_2 ويكون مجموعه مع تيار اللاحمل I_o هو التيار الكلي الذي يسحبه المحول من المنبع حيث

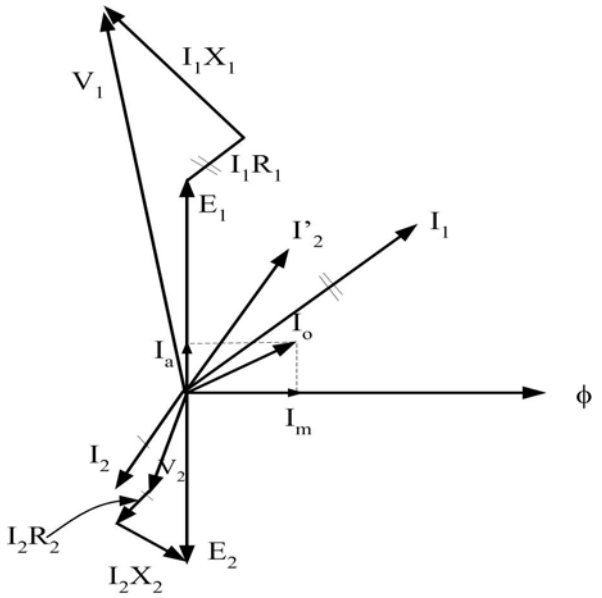
$$\vec{I}_1 = \vec{I}'_2 + \vec{I}_a \qquad 2\text{-}20$$

يحسب التيار I_2 من بيانات الحمل:

$$I_2 = \frac{V_2}{Z_L} \qquad 2\text{-}21$$

وبذلك يمكن رسم مخطط المتجهات للمحول عند الحمل كما هو مبين في شكل 14.2.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل 2-14 : مخطط المتجهات عند الحمل

2 - 4 معامل التنظيم للمحول Transformer regulation

معامل تنظيم الجهد هو التغيير في جهد الثانوي عندما يتغير تيار الحمل من صفر إلى القيمة المقننة. ويحسب بالعلاقة التالية:

$$Voltage\ \mathrm{Re}gulation(PVR) = \frac{|V_{2(noload)}| - |V_{2(rated)}|}{|V_{2(rated)}|} \times 100 \qquad 2\text{-}22$$

حيث $V_{2(rated)}$ هو جهد الحمل عندما يعطي المحول التيار عند إزالة الحمل مع الاحتفاظ بالجهد ثابت فيكون جهد الثانوي في حالة اللاحمل هو V'_1 وبذلك يمكن كتابة معادلة تنظيم الجهد كالتالي:

$$Voltage\ \mathrm{Re}gulation(PVR) = \frac{|V_1'| - |V_2|}{|V_2|} \times 100 \qquad 2\text{-}23$$

حيث V'_1 يحسب من العلاقة:

$$V_1' = V_2 + I_2(R_{eq2} + jX_{eq2}) \qquad 2\text{-}24$$

ويمكن حساب معامل التنظيم أيضا إذا كانت الدائرة منسوبة جهة الابتدائي

$$Voltage\ \mathrm{Re}gulation(PVR) = \frac{|V_1| - |V_2'|}{|V_2'|} \times 100 \qquad 2\text{-}25$$

حيث V_1 يحسب من العلاقة:

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

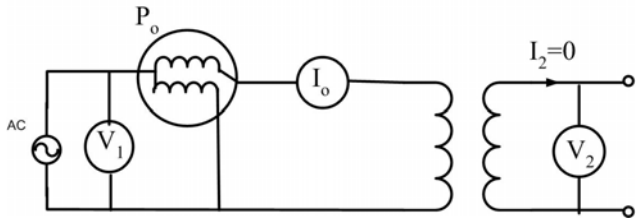
$$V_1 = V_2' + I_2'(R_{eq1} + jX_{eq1}) \qquad 2\text{-}26$$

2-5 حساب عناصر الدائرة المكافئة Equivalent circuit parameters

لمعرفة مكوّنات الدائرة المكافئة للمحوّل وحسابها يتم إجراء اختبارين هما اختبار الدائرة المفتوحة واختبار الدائرة المقصورة .

2-5-1 اختبار الدائرة المفتوحة The Open.Circuit Test

يتم هذا الاختبار بتوصيل جانب المحوّل الابتدائي لمصدر الجهد وترك الجانب الثانوي مفتوحاً أو العكس . ويتم قياس التيار والقدرة المسحوبة من مصدر الجهد كما يبين الشكل (2.15).



شكل 2-15 : تجربة اللاحمل

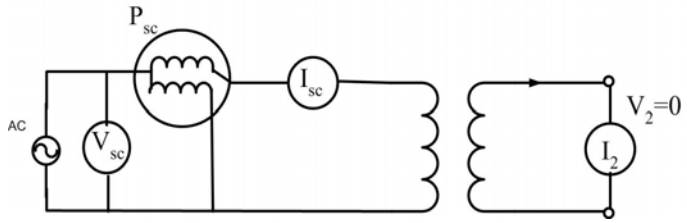
وبذلك يمر تيار اللاحمل Io في الملف الابتدائي وتكون قدرة الدخل هي Po، يتم قراءة قيم القدرة الداخلة والجهد والتيار باستخدام أجهزة القياس الموضحة في الشكل. ويتم من هذه التجربة حساب , Ro Xo كالتالي:

$$P_o = I_o V_o \cos\phi_o \rightarrow \cos\phi_o = \frac{P_o}{I_o V_o} \rightarrow \begin{cases} I_a = I_o \cos\phi_o \\ I_a = I_o \sin\phi_o \end{cases} \rightarrow \begin{cases} R_o = \dfrac{V_1}{I_a} \\ R_m = \dfrac{V_1}{I_m} \end{cases} \qquad 2\text{-}27$$

2-5-2 اختبار القصر Short circuit test

يتم هذا الاختبار بقصر إحدى طرفي الملف وعادة ما يكون جانب الجهد المنخفض وتسليط جهد منخفض على جانب الجهد العالي وهو عبارة عن نسبة من الجهد المقنن للمحوّل على جانبيه الابتدائي، وعادة ما يكون 2٪ إلى 12٪ من الجهد المقنن للمحوّل. ويتم زيادة هذا الجهد حتى يصل التيار في ملفات الدائرة المقصورة إلى القيمة المقننة كما يبين الشكل (16.2)

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل 2-16 : تجربة القصر

نقرأ أجهزة القياس وهي القدرة الداخلة للابتدائي وتسمى قدرة القصر P_{sc}، وتيار الابتدائي ويسمى تيار القصر I_{sc}، وكذلك جهد الابتدائي V_{sc}، من خلال هذه القراءات يتم حساب R_{eq}, X_{eq} ومنها تحسب عناصر الدائرة المكافئة كالتالي:

$$P_{sc} = I_{sc}^2 R_{eq} \longrightarrow R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} \qquad 2\text{-}28$$

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \sqrt{R_{eq}^2 + X_{eq}^2} \longrightarrow Z_{sc} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} \qquad 2\text{-}29$$

مثال 2-7

محول توزيع قدرته 500kVA وجهده 2300/230V اختبر لإيجاد العناصر المكافئة. أثناء اختبار الدائرة المفتوحة، كانت القدرة 2250W وكان التيار 9.4A ، أما الجهد فكانت قيمته 2300V. وأثناء اختبار القصر كانت القدرة 8200W والتيار هو التيار المقنن أما الجهد فكان 94.5V احسب عناصر الدائرة المكافئة.

Open circuit test: $V_o = 2300V$ $I_o = 9.4A$ $P_o = 2250$

Short circuit test: $Vsc = 94.5V$ $Isc = Irated$ $Psc = 8200W$

$$\cos\phi_o = \frac{P_o}{I_o V_o} = \frac{2250}{9.4 \times 2300} = 0.1156 \longrightarrow \phi_o = \cos^{-1}(0.1156) = 83.36^o$$

$$R_o = \frac{V_1}{I_a} = \frac{V_o}{I_o \cos\phi_o} = \frac{2300}{9.4 \times 0.1156} = 2116\Omega$$

$$R_m = \frac{V_1}{I_m} = \frac{V_o}{I_o \sin\phi_o} = \frac{2300}{9.4 \times 0.9933} = 246.33\Omega$$

$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} = \frac{8220}{(217.39)^2} = 0.1739\Omega \longrightarrow I_{sc} = I_{f.l} = \frac{500 \times 10^3}{2300} = 217.39A$$

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \sqrt{(R_{eq}^2 + X_{eq}^2)} \Rightarrow \left(\frac{94.5}{217.39}\right)^2 = (0.1739)^2 + X_{eq}^2 \longrightarrow X_{eq} = 0.3984\Omega$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

6-2 المفقودات والكفاءة Losses and Efficiency

2-6-1 المفقودات في المحولات

يوجد نوعان من الفقد في المحولات وهما فقد الحديد Iron losses وفقد النحاس Cupper losses، وعادة فإن فقد الحديد ثابت القيمة، أما فقد النحاس فيعتمد على الحمل حيث إنه يتناسب مع مربع التيار. ويمكن حساب الفقد الحديدي من تجربة اللاحمل، حيث القدرة المسحوبة في هذه التجربة والمتمثلة في قدرة اللاحمل P_o تساوي الفقد في الحديد بالإضافة إلى الفقد في ملفات الابتدائي، وحيث إن تيار اللاحمل غالبا ما يكون صغير، لذا يمكن إهمال الفقد النحاسي في هذه التجربة وبالتالي يكون الفقد الحديدي مساويا لقدرة اللاحمل. $P_{iron} = P_o$

ويمكن حساب الفقد النحاسي من تجربة القصر. ففي هذه التجربة يتم قصر الملف الثانوي وبالتالي فإن قدرة الخرج تساوي صفر، وبذلك تكون كل القدرة الداخلة في هذه الحالة عبارة عن فقد حديدي في قلب المحول وفقد نحاسي في الملفات. ويكون الفقد الحديدي في هذه الحالة مهملا نظرا لأنه يتناسب مع مربع الجهد والجهد عادة صغير جدا في هذه التجربة (3 إلى 5٪) بالنسبة للجهد المقنن. $P_{cu} = P_{sc}$

في حالة أن التيار لا يساوي تيار الحمل الكامل فإن المفقد النحاسي لا يساوي قيمته عند الحمل الكامل ويمكن تحديده عند الحمل الكامل من العلاقات التالية:

$$P_{cu(f.l)} = P_{cu(sc)}\left(\frac{I_{f.l}}{I_{sc}}\right)^2 \qquad 2\text{-}30$$

2-6-2 الكفاءة للمحولات Efficiency

تحسب الكفاءة للمحول عادة بدلالة قدرة الخرج output power التي يحتاجها الحمل والمفقودات التي يستهلكها المحول، وتحسب الكفاءة من العلاقات التالية:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{iron} + P_{cu}} \times 100 = \frac{P_2}{P_1} x100 \qquad 2\text{-}31$$

حيث P_2 هي قدرة الحمل، P_1 القدرة الداخلة للمحول. ويمكن حساب قدرة الحمل من المعادلة التالية:

$$P_2 = V_2 I_2 \cos\phi_2 \qquad 2\text{-}32$$

حيث $\cos\varphi_2$ هو معامل القدرة للحمل Power factor.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

يمكن الحصول على الكفاءة كدالة في متغيرات الحمل (الجهد والتيار ومعامل القدرة):

$$\eta = \frac{|V_2||I_2|\cos\phi_2}{|V_2||I_2|\cos\phi_2 + P_{iron} + |I_2|^2 R_{eq}} 100 \qquad 2\text{-}33$$

مثال 2-8

محول أحادي الوجه قدرته 500kVA، الفقد الحديدي 2500W والفقد النحاسي عند الحمل الكامل 7500W . احسب الكفاءة عند الحمل الكامل ثم عند نصف الحمل ومعامل قدرة متأخر 0.8

$S=500\ KVA \qquad Piron=2500W \qquad Pcu(f.l.)=7500\ W \qquad \cos\varphi=0.8$

$P_2 = 500*10^3*0.8=400000\ W$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{iron} + P_{cu}} \times 100 = \frac{400000}{400000 + 7500 + 2500} \times 100 = 97.56\%$$

عند نصف الحمل $P_2\ (1/2) = 200000W$

$Pcu(x)=x^2 Pcu(f.l) \rightarrow Pcu(1/2)=1/4*7500=1875W$

$$\eta = \frac{P_{2(1/2)}}{P_{2(1/2)} + P_{iron} + P_{cu(1/2)}} \times 100 = \frac{200000}{200000 + 1875 + 2500} \times 100 = 97.86\%$$

مثال 2-9

احسب معامل التنظيم والكفاءة للمحول الموجود في مثال 8.2 وذلك عند معامل قدرة متأخر 0,8

$V_2=230\ V \qquad P_i=2250\ W \qquad R_{eq2}=0.00173\Omega \qquad X_{eq2}=0.00398\Omega$

$I_2=500*10^3/230=2174A$

$$(PVR) = \left\{ \frac{2174(173(0.8)+398(0.6))10^{-5}}{230} + \frac{1}{2}\left(\frac{2174(398(0.8)-173(0.6)10^{-5})}{230} \right)^2 \right\} 100 = 3.64\%$$

$$\eta = \frac{230*2174*0.8}{230*2174*0.8 + 2250 + |2174|^2 * 0.00173} * 100 = 97.46\%$$

2 - 7 المحول الذاتي Auto.transformer

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

المحول الذاتي هو جهاز مفيد جدا في بعض الاستخدامات نظرا لبساطته وانخفاض ثمنه مقارنة مع المحول العادي. وهو يعتمد في نظرية تشغيله عل نفس نظرية المحول ذي الملفين ولكن يستخدم فيه ملف واحد فقط ويمثل هذا الملف كله الملف الابتدائي أو الثانوي ويمثل جزء فقط من هذا الملف ذاته الملف الآخر كما هو موضح في شكل 2-17. ويمكن أن يكون المحول محول خفض كما في الشكل أو محول رفع كما في شكل 2-18. ويعتمد ذلك على طريقة التوصيل.

يمثل الملف AB في شكل 17.2 الملف الابتدائي وعدد لفاته هي (N1) بينما يمثل الملف BC الملف الثانوي وعدد لفاته (N_2) ويكون نسبة الجهد كما في المحول ذي الملفين.

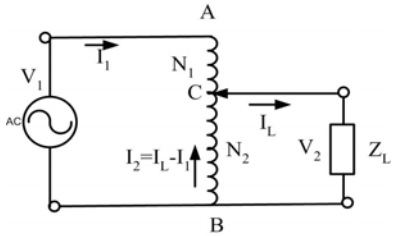
ونحصل عليها بمساواة الأمبير فولت الداخل مع الأمبير فولت الخارج. وهي كالتالي:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_L}{I_1} \qquad 2\text{-}34$$

التيار في الملف الثانوي هو:

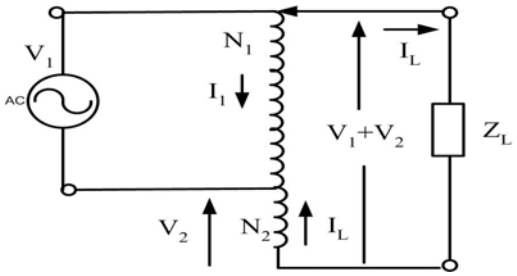
$$I_2 = I_L - I_1 \qquad 2\text{-}35$$

مميزات المحول الذاتي أنه يعطي جهد متغير. وذلك بتغير موضع النقطة C وبذلك يمكن تغيير عدد لفات الثانوي للحصول على جهد يتراوح من صفر وحتى جهد الابتدائي أو أكبر منه كما في المحول الذاتي الرافع شكل 2-17. ويسمى المحول الذاتي المتغير القيمة لجهد الثانوي فاريك "Variac". ويستخدم هذا النوع من المحولات في المختبرات وأجهزة بدء الحركة عندما يكون نسبة التحويل المطلوبة في حدود من 1 : 2,5 أي الجهد الثانوي والابتدائي متقاربين. ويتميز هذا النوع عن المحول ذي الملفين بصغر حجمه لنفس القدرة وذلك لتوفير النحاس المستخدم في الملفات ولكن من عيوب هذا المحول أن العزل الكهربائي بين المنبع والحمل غير متوفر نظرا لاستخدام ملف واحد بين الدخل والخرج. ولذلك لا يفضل أيضا استخدامه بنسبة تحويل كبيرة حيث يسبب خطورة وإمكانية حدوث قصر بين ملفات الجهد العالي والمخفض وذلك لنفس السبب. وهذا على العكس تماما كما في المحول ذي الملفين.



شكل 2-17 : محول ذاتي خافض

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل 2-18 : محول ذاتي رافع

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

أسئلة وتمارين على الوحدة الرابعة

1. عرف المحول الكهربائي واشرح نظرية عمله.
2. اذكر استخدامات المحول الكهربي
3. اذكر أنواع المحولات الكهربية
4. اشرح مع الرسم تركيب المحول.
5. هل يصلح المحول للعمل مع تيار مستمر ؟ علل إجابتك.
6. اذكر الفرق بين المحول المثالي والمحول الفعلي
7. ما هي أنواع المحولات الكهربائية من حيث شكل القلب الحديدي ؟
8. ما هي أنواع الملفات المستخدمة في محولات القدرة؟ وضح بالرسم طرق ترتيب الملفات
9. اشرح مع الرسم الدائرة المكافئة للمحول وبين كيف يمكن تبسيط هذه الدائرة؟
10. كيف يمكن حساب ثوابت المحول معمليا؟
11. ما هي الاختبارات التي تجرى على المحول لحساب الكفاءة؟
12. ارسم مخطط المتجهات للمحول عند الحمل.
13. ما هي أنواع المفقودات في المحول؟
14. قارن بين المحول الذاتي والمحول ذي الملفين.
15. ما هي أهم استخدامات المحول الذاتي؟
16. محول أحادي الوجه يعمل على جهد ذات تردد 60 هرتز، فإذا كان القلب الحديدي على شكل مستطيل المقطع أبعاده 25x20 سم وكثافة الفيض المسموح به للمرور في القلب الحديدي 0,0001 ويبر/سم^2 ، احسب عدد اللفات المطلوب وضعها لكل من الملف الابتدائي والثانوي لتكون نسبة تحويل الجهد 3000/220 فولت.
17. محول أحادي الوجه نسبة التحويل 1:4. معاوقة الحمل 10 أوم بزاوية 30^o ومتصلة عبر الملف الثانوي، حيث جهده 120 فولت. باعتبار المحول مثالي وأخذ جهد الثانوي كمرجع، أوجد .تيار الملف الابتدائي وتيار الملف الثانوي –جهد الملف الابتدائي –معاوقة الحمل منسوبة للابتدائي.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

18. محول أحادي الوجه قدرته 50 كيلو فولت أمبير ، ونسبة تحويل الجهد 400/2000. يغذي حمل قدرته 40 كيلو فولت أمبير عند جهد 2000 فولت ومعامل قدرة 8,. متأخر. باعتبار المحول مثالي أوجد: .معاوقة الحمل –تيار الحمل منسوب للابتدائي.

19. محول أحادي الوجه 200 كيلو فولت أمبير، ونسبة تحويل الجهد 6000/660 فولت وله الثوابت التالية: $X_2=0.048\Omega$ $X_1=4.67\Omega$ $R_2=0.016\Omega$ $R_1=1.56\Omega$

وعند اللاحمل يأخذ المحول تيار مقداره 96, أمبير عند معامل قدرة 263, متأخر. احسب ثوابت الدائرة المكافئة منسوبة للابتدائي.

20. محول توزيع أحادي الوجه 500 كيلو فولت، ونسبة تحويل الجهد 2300/230 فولت، أجري عليه اختبار اللاحمل والقصر ثم أعط النتائج التالية:

a. 1.اختبار اللاحمل $P_o=2250W$ $I_o=94A$ $V_o=230V$

.اختبار القصر $V_{sc}=100V$ $I_{sc}=228A$ $P_{sc}=9.2KW$

احسب ثوابت الدائرة المكافئة منسوبة للجهد العالي.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

آلات كهربائية للأجهزة الطبية (نظري)

محركات التيار المستمر

اسم الوحدة: محركات التيار المستمر

الجدارة: معرفة نظرية عمل المحرك الكهربائي وتركيبه ودراسة خواص الأنواع المختلفة وطرق بدء الحركة. أيضا معرفة طرق التحكم في السرعة وكذلك حساب المفقودات والكفاءة.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

1. معرفة نظرية عمل وتركيب الات التيار المستمر عموما و المحركات الكهربائية خاصة
2. استنتاج القوة الدافعة الكهربائية العكسية ومعادلة العزم.
3. معرفة أنواع المحركات من حيث طرق التغذية.
4. دراسة منحنيات الخواص وتنظيم السرعة.
5. حساب المفقودات والكفاءة.
6. مجالات الاستخدام للأنواع المختلفة للمحركات

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة 85٪

الوقت المتوقع للتدريب: 6 ساعات.

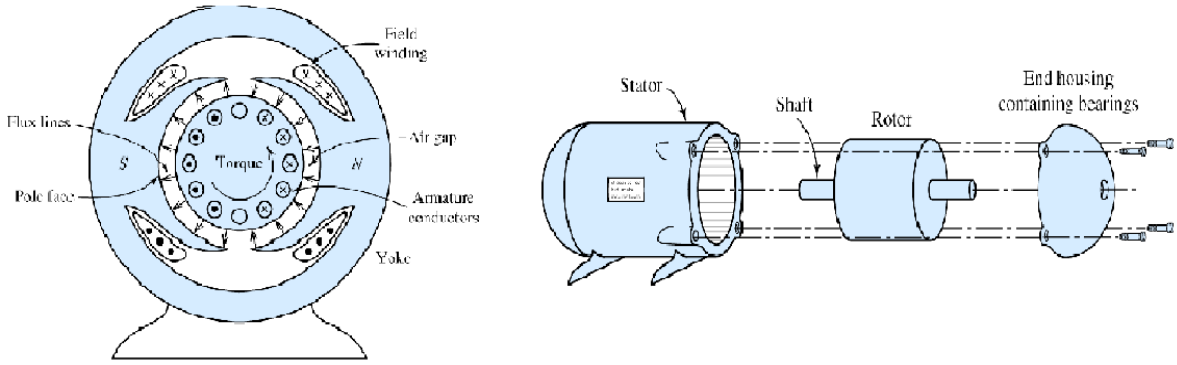
متطلبات الجدارة: تحتاج إلى مراجعة مقرر الدوائر الكهربائية من هذا المقرر.

3- 1 تركيب آلات التيار المستمر

تحتوي آلات التيار المستمر على عنصرين أساسيين هما العضو الثابت و العضو الدائر ، مفصولين

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

بثغرة هوائية كما هو مبين في الشكل 3-1 ، زيادة على عناصر أخرى كما سيأتي .



شكل 3-1 : تركيب آلة التيار المستمر

3-1-1 العضو الثابت stator

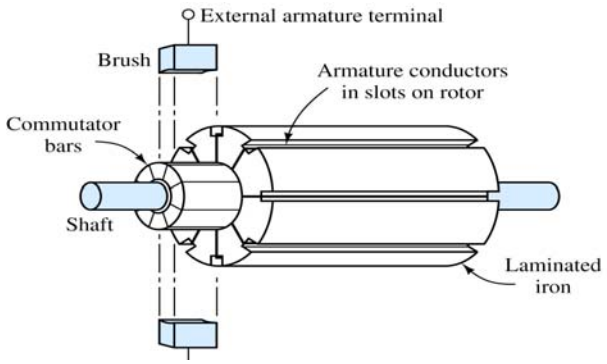
هذا الجزء من الآلة لا يتحرك و يكون عادة الهيكل الخارجي للآلة ، تركب عليه من الداخل أقطاب المجال بعدد زوجي. وتحمل ملفات تسمى ملفات الاستثارة أو ملفات المجال

3-1-2 العضو الدائر أو عضو الاستنتاج rotor or armature

هذا الجزء من الآلة يكون حرا للدوران و يتكون من عمود الإدارة مصنوع من الصلب و يركب عليه قلب أسطواني من صفائح الصلب الذي يوجد على سطحه الخارجي و على طوله مجار توزع فيها و بصفة منتظمة ملفات تسمى ملفات المنتج أو ملفات الاستنتاج بكونها هي الملفات التي تتولد فيها القوة الدافعة الكهربائية . و العضو الثابت و العضو الدائر المفصولان بثغرة هوائية يشكلان معا الدائرة المغناطيسية للآلة. تخرج خطوط قوى المجال المغناطيسي من الأقطاب الشمالية و تمر على الثغرتين الهوائيتين عبر العضو الدائر و تدخل في الأقطاب الجنوبية لتنغلق على نفسها عبر الفك كما هو مبين في الشكل (1.3)

3-1-3 عضو التوحيد أو المبدل commutator

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



الشكل 3-2: العضو الدائر . عضو التوحيد . الفرش الكربونية

يركب هذا العضو على عمود الإدارة أمام المنتج و يصنع من قطع النحاس الأحمر المسحوب و المعزولة عن بعضها بالميكا من جهة و عن عمود الإدارة من جهة ثانية و تشكل أسطوانة فارغة تنزلق عليها الفرش الكربونية. الشكل 3-2

4-1-3 الفرش الكربونية brushes

هي قطع من الكربون موضوعة على السطح الخارجي للمبدل.

5-1-3 أجزاء أخرى (ميكانيكية)

مهمة هذه الأجزاء تكمن في قدرتها على تثبيت للأجزاء المغناطيسية بالنسبة للأعضاء الكهربائية و تسهيل و تركيز عملية الدوران من بينها مبيت العضو الساكن مع أرجل و درعان واقيان واحد من جهة عمود الإدارة و الثاني من جهة المبدل تحقق الوقاية الميكانيكية للآلة و توجه هواء التبريد ، و منها أيضاً كراسي تحميل العضو الدائر ، و تربينة التبريد ، و صندوق توصيل أطراف الملفات،حاملان للفرش ،حلقة لرفع الآلة.

3-2 معادلة القوة الدافعة الكهربائية ElectroMotive Force (E.M.F) equation

عندما يدور عضو الإستنتاج في المجال المغناطيسي الناتج عن أقطاب الثابت يتولد جهد في ملفات الإستنتاج بالعلاقة العامة التالية :

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

$$E_b = k_b \Phi \omega \qquad 3\text{-}1$$

حيث ka هو ثابت المنتج يحدد بتركيب الآلة $k_a = \frac{NP}{\pi A} = \frac{ZP}{2\pi A}$

N هو العدد الكلي للفات عضو الإستنتاج و A عدد الدوائر على التوازي في عضو الإستنتاج حيث Z=2N العدد الكلي لموصلات عضو الإستنتاج ،

P عدد أقطاب الآلة

ϕ الفيض المغناطيسي لكل قطب

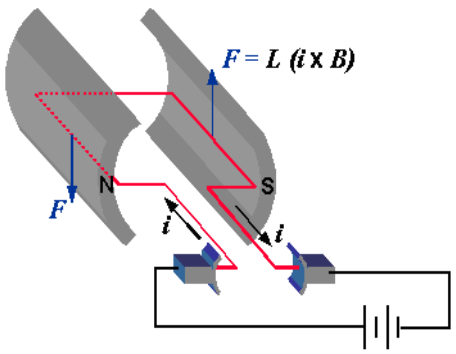
ω السرعة الزاوية للآلة $\omega = 2\pi \frac{n}{60} = \frac{\pi n}{30} rd/s$

n السرعة (عدد اللفات في الدقيقة الواحدة (rotation per minute $n = \frac{30\omega}{\pi} rpm$

الكهرومغناطيسي

torque

Lorentz' Law - Motor Coil



3 -3 العزم

equation
electromagnetic

للاستشارات
www.manaraa.com

الشكل 3-3: عملية توليد القوى الكهرومغناطيسي

باستعمال مدلول القوة الكهرومغناطيسية نحصل على عزم آلة التيار المستمرعلى النحو التالي:

$$T_e = k_b \Phi I_a \qquad 3\text{-}2$$

تبين المعادلة أن تفاعل التيار الكهربائي مع التدفق المغناطيسي يولد عزما .

بالنسبة للمحركات يجب أن تكون القدرة الكهربائية الداخلة ($E_b I_a$) تساوي نفس القدرة الميكانيكية الخارجة من عضو الإستنتاج ($T_e \cdot \omega$) و التي يسحبها النظام الميكانيكي الممثل في الحمل من عضو الإستنتاج بواسطة عمود الإدارة (shaft) . و العملية العكسية صحيحة أيضا بالنسبة للمولدات : حيث

$$P_a = E_b I_a = k_b \Phi \omega I_a = T_e \omega \qquad 3\text{-}3$$

مثـــال **3-1**:

آلة تيار مستمر بأربعة أقطاب لها عضو استنتاج طوله 25cm و نصف قطره 12.5cm . تغطي الأقطاب إلا 75% من مساحة سطح عضو الإستنتاج. اذا كان ثابت المنتج k_b = 73.53 و القيمة المتوسطة لكثافة التدفق المغناطيسي تساوي 0.5T أوجد كلا من الآتي :

الجهد المتولد في المنتج E_b عندما يدور هذا الأخير بسرعة 1000 لفة في الدقيقة

التيار الذي يمر في ملفات المنتج Ia و العزم الكهرومغناطيسي الناتج عن تيار المنتج I_a = 400

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

القدرة الخارجة Pa من عضو الإستنتاج

الحل:

الجهد المتولد في المنتج $E_b = k_a . \Phi \omega$

ω السرعة الزاوية و ϕ التدفق المغناطيسي لكل قطب

$$\omega = 2\pi \times \frac{n}{60} = 2\pi \times \frac{1000}{60} = 104.72 rad/s$$

و المساحة التي يغطيها القطب في عضو الأستنتاج الواحد :

$$A_p = \frac{2\pi rl}{P} \times 0.75 = \frac{2\pi \times 12.5 \times 10^{-2} \times 25 \times 10^{-2}}{4} \times 0.75 = 36.8 \times 10^{-3}$$

التدفق المغناطيسي لكل قطب : $\phi = 36.8x10^{-3}x0.5 = 0.00183Wb$

لذا يكون الجهد المتولد في المنتج : $E_b = 73.53x\ 0.00183x104.72 = 140.8V$

(ب) التيار الذي يمر في ملفات المنتج : $I_c = \frac{I_a}{A} = \frac{400}{4} = 100A$

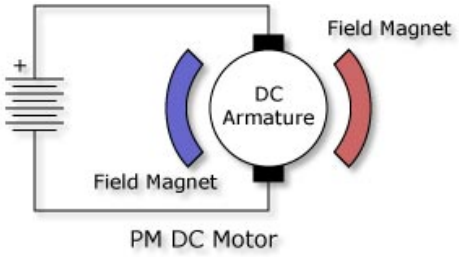
العزم الكهرومغناطيسي : $T_e = k_b \cdot \Phi \cdot I_a = 73.53 \times 0.0183 \times 400 = 538 Nm$

(د) القدرة الخارجة من عضو الإستنتاج : $P_a = E_b \cdot I_a = 140.8 \times 400 = 56364 W$

يمكن حساب هذه القدرة أيضا كالتالي : $P_a = T_e \cdot \omega = 538 \times 104.72 = 56364 W$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

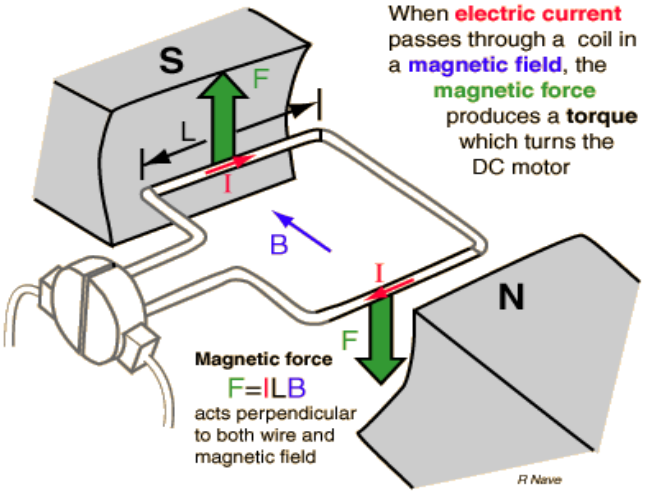
3- 4 محركات التيار المستمر DC Motors



الشكل 3-4: محرك تيار مستمر

يمكن استخدام آلة التيار المستمر السابق ذكرها للعمل كمحرك وذلك بتغذية الآلة بجهد مستمر، حيث تقوم الآلة بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية. حيث يتم تغذية ملفات المجال بالتيار اللازم لتوليد مجال مغناطيسي وفي نفس الوقت يتم تغذية ملفات عضو الاستنتاج (المنتج) بتيار مناسب وذلك من خلال الفرش، ويقوم هذا التيار بتوليد مجال مغناطيسي آخر ونتيجة لذلك ينشأ عزم دوران يعمل على دوران العضو الدائركما هو مبين في الشكل 3-5

تعتمد نظرية عمل محرك التيار المستمرعلى قانون فاراداى، فإذا وضع موصل يحمل تيار كهربائي في مجال مغناطيسي فإنه يتولد قوة تتسبب في حركة الموصل.



المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الشكل 3-5: طريقة عمل المحرك الكهربي

اذا كان ملف موجود في مجال مغناطيسي منتظم له كثافة فيض B فعند مرور تيارI من الدائرة الخارجية في ذلك الملف، تتولد قوة F تؤثر في اتجاه يتحدد بقاعدة فلمنج لليد اليسرى. وإذا كان طول جانبي الملف هو L فإن القوة المؤثرة تصبح:

$$F=BIL \qquad 3\text{-}4$$

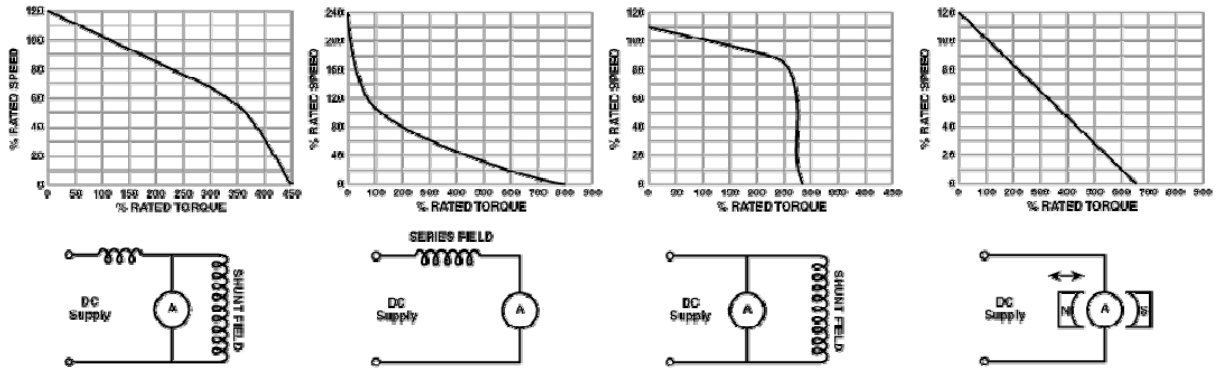
والقوتان المؤثرتان على جانبي الملف تعملان كزوج من القوة، وبالتالي ينشأ عزما مقداره T يمكنه إدارة الملف في اتجاه عقارب الساعة.

3- 5 أنواع المحركات Types of DC motors

تنقسم محركات التيار المستمر إلى نوعين رئيسيين حسب طريقة تغذية ملفات المجال (الشكل 3-6):

1. محركات التيار المستمر ذات التغذية المستقلة(المنفصلة)
2. محركات التيار المستمر ذات التغذية الذاتية

(a)محرك التوازي
(b) محرك التولي
(c)المحرك المركب

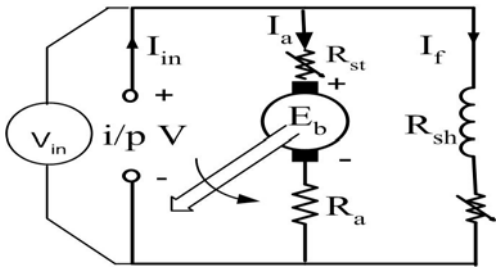


الشكل 3-6 أنواع محركات التيار المستمر الاربعة

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

1-5-3 محرك التوازي DC shunt motor

يوضح شكل 3-7 توصيل محرك التوازي ويلاحظ أن ملفات المجال (التنبيه)R_{sh} تكون متصلة على التوازي مع المنتج ويوصل معها بالتوالي مقاومة تنظيم المجال. أما ملفات المنتج R_a فيوصل معها بالتوالي مقاومة بدء الحركة R_{st} . ويتميز هذا النوع من المحركات بأنه يمكن اعتباره ذو مجال ثابت تقريبا.



شكل 3-7 محرك التوازي

يمكن كتابة معادلات الجهد والتيار لمحرك التوازي من شكل 3-7 كالآتي:

$$E_b = V_{in} - I_a R_a$$
$$I_{in} = I_a + I_f \qquad 3\text{-}5$$

وحيث إن القوة الدافعة العكسية تعطى بالمعادلة: $E_b = K_b \omega \Phi$

يمكن كتابة السرعة كالآتي:

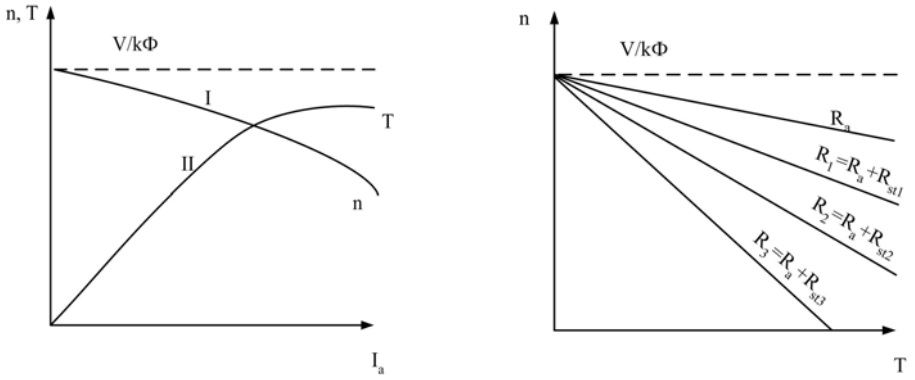
$$\omega = \frac{E_b}{K_b \Phi} = \frac{V_{in} - I_a R_a}{K_b \Phi} \qquad 3\text{-}6$$

- منحنيات الخواص

تعطي المعادلة 3-6 العلاقة بين السرعة وتيار المنتج (الحمل) ويلاحظ أن السرعة تقل كلما زاد تيار المنتج بدرجة خفيفة كما هو واضح في الشكل 3-8 بالمنحني I. أيضا يمكن رسم منحنى خواص العزم مع تيار المنتج ، حيث يتناسب العزم طرديا مع تيار المنتج عند ثبوت الفيض المغناطيسي (تيار المجال) وثبوت الجهد الداخل للمحرك، ويلاحظ أن العزم يزداد مع زيادة تيار المنتج كما هو واضح في

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

شكل 3-8 بالمنحنى II.



شكل 3-8 منحنيات خواص محرك التوازي

بالتعويض عن قيمة تيار المنتج نحصل على علاقة تغير السرعة مع العزم:

$$\omega = \frac{Eb}{K_b\Phi} = \frac{V_{in} - R_a I_a}{K_b\Phi} = \frac{V_{in}}{Kb\Phi} - \frac{R_a I_a}{Kb\Phi} \qquad 3\text{-}7$$

المعادلة 3-7 تمثل منحنى خواص السرعة مع العزم لمحرك التوازي. وهي علاقة خط مستقيم حيث الفيض المغناطيسي ثابت القيمة.

عند اللاحمل (I_a=0) تصبح السرعة ممثلة بالجزء الأول في المعادلة 3-7 $\omega = \frac{V_{in}}{K_b\Phi}$

أما الجزء الثاني فيمثل الانخفاض في السرعة عند التحميل. ويوضح شكل 3-8 منحنى خواص السرعة مع العزم لقيم مختلفة لمقاومة البدء. وهي مجموعة خطوط مستقيمة يلاختلف ميلها حسب قيمة مقاومة البدء.

- **استخدامات محرك التوازي:**

يستخدم محرك التوازي في الحالات التي تحتاج إلى سرعة ثابتة تقريبا ، مثل آلات في الأجهزة الطبية، الورش ، كما أنه يمكن أن يناسب آلات الغزل والنسج حيث يستفاد بمنظم السرعة لضبط سرعة دوران المحرك عند قيم مختلفة عند اللاحمل

مثال **3-2**:

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

محرك توازي موصل بمنبع جهد 240 فولت ويدور بسرعة 750 لفة/دقيقة وتيار المنتج قدره 30 أمبير، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج 0,05 أوم احسب عزم المحرك بالنيوتن.متر.

$V_{in} = 240\ V \qquad n = 750\ rpm \qquad I_a = 30\ A \qquad R_a = 0.05\Omega$

$E_b = V_{in} - I_a R_a = 240-(30x0.05) = 238.5\ volt$

$T = E_b I_a / \omega \ ; \ \omega = 2\pi n/60\ rad/sec \rightarrow T = 238.5x30/(2x\pi x750/60) = 91.1 N.m$

مثال 3-3

محرك توازي ذو أربعة أقطاب يعمل على منبع جهد 500 فولت، يسحب المحرك تيار قدره 52 أمبير وكان الفيض المغناطيسي لكل قطب 0.03 ويبر. فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج والمجال هي 0,04 أوم و 200 أوم على الترتيب. احسب سرعة المحرك وكذلك العزم في حالة ثابت المنتج يساوي 70

$V_{in}=500V \ ; \quad I_{in}=52A \ ; \quad \Phi=0.03Wb \ ; \quad R_a=0.04\Omega \ ; \ R_{sh}=200\Omega$

$I_{sh} = V_{in}/R_{sh} = 500/200 = 2.5\ A \qquad I_a = I_{in} - I_{sh} = 52.2.5 = 49.5\ A$

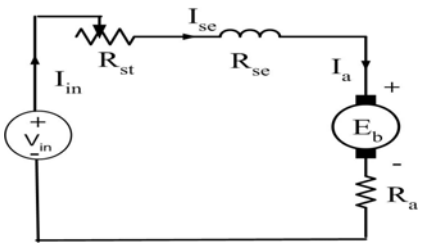
$E_b = V_{in} - I_a R_a = 500- 49.5*0.04 = 498\ V$

$$E_b = K_a \Phi \omega \rightarrow \omega = \frac{E_b}{K_a \Phi} = \frac{498}{70*0.03} = 237 rad/s \rightarrow n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30*237}{3.14} = 2264 rpm$$

$T = E_b I_a/\omega = 498 *49.5/237 = 104\ N.m$

2-5-3 محرك التولي DC series motor

يوضح شكل 3-9 طريقة توصيل محرك التوالي، حيث توصل ملفات المجال بالتوالي مع المنتج كما في حالة المولد، وتكتب معادلات الجهد والتيار كالتالي:



شكل 3-9: محرك التوالي

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

$$E_b = V_{in} - I_a (R_a + R_{se}) \qquad 3\text{-}8$$

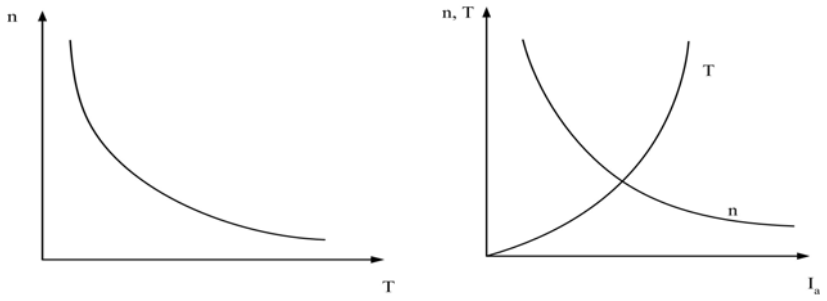
حيث $I_a = I_{in} = I_{se}$ والفيض المغناطيسي Φ يتناسب مع تيار المجال I_{se} ، أي مع تيار المنتج I_a:

$$\Phi = \alpha\, I_{se} = \alpha\, I_a \quad \rightarrow \quad T = K' I_a^2 \qquad 3\text{-}9$$

أي أن العزم يتناسب مع مربع تيار المنتج، أيضا يمكن حساب سرعة المحرك كدالة في تيار المنتج.

$$\omega = \frac{E_b}{K_b' I_a} = \frac{V_{in} - I_a (R_a + R_{se})}{K_b' I_a} \quad \rightarrow \quad E_b = K_b\, \omega\, \Phi = K_b' \omega\, I_a \qquad 3\text{-}10$$

- منحنيات الخواص



شكل 3-10 منحنيات خواص العزم والسرعة مع تيار المنتج لمحرك التوالي

منحنى خواص العزم مع التيار عبارة عن قطع ناقص (parabola) كما هو موضح في شكل 3-10. كما ان العلاقة بين السرعة وتيار المنتج لمحرك التوالي عكسية، أي مع زيادة تيار المنتج (الحمل) تقل السرعة وهي أقرب ما يكون إلى قطع زائد (hyperabola) .

ثم أن علاقة السرعة مع العزم هي:

$$\omega = \frac{V_{in}}{\sqrt{\alpha T}} - \frac{R_a + R_{se}}{\alpha} \quad \rightarrow \quad n = \frac{V_{in}}{\alpha I_a} - T \frac{R_a + R_{se}}{\alpha^2 I_a^{\,2}} \qquad 3\text{-}11$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

من المعادلة 11-3 نلاحظ أن السرعة تزداد بمقدار كبير جدا عند اللاحمل (T=0) لذلك لا يفضل استخدام محرك التوالي في عدم وجود حمل حتى لا يتسبب في وجود مشاكل ميكانيكية متعلقة بزيادة السرعة.

- **استخدامات محرك التوالي**

هذا النوع من المحركات قادر على مواجهة أحمال كبيرة دون الحاجة إلى تعدى الحدود المقبولة في أخذ القدرة من المنبع مما يجعله أكثر ملائمة في حالات الجرالكهربي، ويستخدم هدا النوع من المحركات مع الأوناش والروافع والمصاعد الكهربية.

مثال **4-3**:

محرك تيار مستمر من نوع التوالي موصل على منبع جهده 220 فولت يسحب تيار مقداره 50 أمبير عند سرعة دوران 1000 لفه/دقيقه، مقاومة ملفات المنتج 15, أوم ومقاومة ملفات المجال 1, أوم. فإذا انخفضت سرعة المحرك إلى 80٪ من السرعة المقننة وأصبح تيار المنتج 60 أمبير احسب العزم في الحالتين والقوة الدافعة العكسية في الحالة الثانية:

V_{in}= 220V ; Ia1=50A ; n_1 =1000rpm ; R_a=0.15 Ω ;

R_{se} = 0.1Ω ; n_2 = 0.8n1 ; I_{a2} = 60A

$E_{b1} = V_{in} - I_{a1} (R_a+R_{se}) = 220.50(0.15+0.1) = 207.5$ V

$E_{b2} = V_{in} - I_{a2} (R_a+R_{se}) = 220.60(0.15+0.1) = 205$ V

$T_1 = E_{b1}I_{a1}/\omega_1 = 207.5*50/(2\pi*1000/60) = 99.07$ N.m

$T_2 = E_{b2}I_{a2}/\omega_2 = 205*60/(2\pi*0.8*1000/60) = 146.82$ N.m

مثال **5-3**:

محرك تيار مستمر من نوع التوالي موصل على منبع جهده 220 فولت ويسحب تيار مقداره 52 أمبير عند الحمل الكامل. ثابت الناتج 30 والفيض المغناطيسي لكل قطب 0,018 ويبر ، ومقاومة ملفات المنتج والمجال على الترتيب هي 2, أوم و1, أوم. احسب سرعة دوران المحرك وكذلك عزم الدوران. وإذا انخفض عزم الدوران المطلوب إلى 60٪ من قيمته عند الحمل الكامل، أوجد سرعة الدوران الجديدة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

Vin = 220V ; Ia=52A ; ka=30 ; Φ=0.018 Wb ; Ra=0.2Ω ; Rse=0.1Ω ; T2=0.6T1

$$E_{b1} = V_{in} - I_{a1}(Ra+Rse) = 220 - 52(0.2+0.1) = 204.4V$$

$$\omega = \frac{E_{b1}}{k_b\Phi} = \frac{204.4}{30\times 0.018} = \frac{204.4}{0.54} = 378.5 rad/s \rightarrow \quad E_{b1} = k_b\Phi\omega$$

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30\times 378.5}{3.14} = 3616 rpm$$

$$T_1 = E_{b1}I_{a1}/\omega_1 = 204.4x52/(378.5)=28\ N.m$$

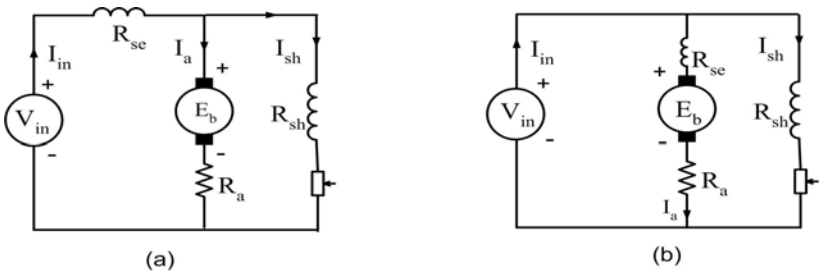
$$T\alpha I_a^2 \rightarrow \frac{T_2}{T_1} = 0.6 = \frac{I_{a2}^2}{I_{a1}^2} = \frac{I_{a2}^2}{(52)^2} \rightarrow I_{a2} = \sqrt{0.6\times(52)^2} = 40.3A$$

$$E_{b2} = V_{in} - I_{a2}(R_a+R_{se}) = 220.40.3(0.2+0.1) = 208\ V$$

$$\frac{E_{b2}}{E_{b1}} = \frac{n_2\Phi_2}{n_1\Phi_1} = \frac{n_2 I_{a2}}{n_1 I_{a1}} \rightarrow \frac{208}{204.4} = \frac{n_2\times 40.3}{541\times 52} \rightarrow n_2 = \frac{208\times 541\times 52}{204.4\times 40.3} = 710\ rpm$$

3-5-3 المحرك المركب DC compound motor

المحرك المركب هو أساسا محرك توازي أضيفت إليه ملفات توالي يمر فيها تيار المنبع في المحرك القصير أو تيار المنتج في المحرك الطويل، في اتجاه معين بحيث يؤدي تأثير المجال المغناطيسي الذي تعطيه هذه الملفات على المجال المغناطيسي لملفات التوازي، وبذلك يكتسب المحرك خصائص معينة بالنسبة للسرعة والعزم. وهناك نوعان من المحركات المركبة حسب توصيل ملفات التوالي وملفات التوازي، محرك مركب طويل ومحرك مركب قصير، ويوضح شكل 3- 11 رسم تخطيطي لكلا المحركين.



شكل 3- 11 المحرك المركب: محرك قصيرو محرك طويل

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

معادلات المحرك القصير:

$$E_a = V_{in} - I_a R_a - I_{in} R_{se} \quad 3\text{-}12$$

$$V_{sh} = I_{sh} R_{sh} = V_{in} - I_{in} R_{se} \quad 3\text{-}13$$

$$I_{in} = I_{se} = I_a + I_{sh} \quad 3\text{-}14$$

$$\omega = \frac{V_{in} - I_a R_a - I_{in} R_{se}}{K\Phi} \quad 3\text{-}15$$

معادلات المحرك الطويل

$$E_b = V_{in} - I_a (R_a + R_{se}) \quad 3\text{-}16$$

$$V_{sh} = I_{sh} R_{sh} = V_{in} \quad 3\text{-}17$$

$$I_{in} = I_a + I_{sh} \quad 3\text{-}18$$

$$\omega = \frac{V_{in} - I_a (R_a + R_{se})}{K\Phi} \quad 3\text{-}19$$

مقدار المجال المحصل يحدد بناء على طريقة توصيل ملفات التوالي(اتجاه التيار فيها)، فإما أن تعطي مجال يساعد مجال ملفات التوالي أو يعاكسها وعليه ينقسم المحرك المركب إلى ثلاثة أنواع:

- محرك مركب تراكمي (Comulative compound motor):

تزداد قيمة Φ في هذا النوع كلما ازداد الحمل فتنخفض السرعة بمقدار يتوقف على طريقة إعداد ملفات التوالي ، ويوضح شكل 3.13 منحنى خواص السرعة مع تيار الحمل .

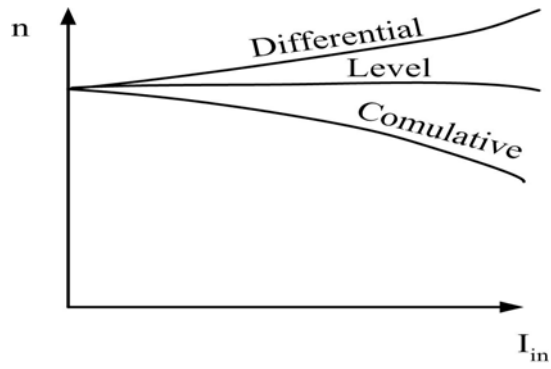
- محرك مركب مستوي (Level compound motor) :

تحافظ ملفات التوالي في هذه الحالة على قيمة Φ ثابتة على الرغم من تغير الحمل، فتظل سرعة المحرك تقريبا ثابتة عند الأحمال المختلفة، كما هو موضح في شكل 3. 13

- محرك مركب فرقي (Differential compound motor) :

تعطى ملفات التوالي في هذه الحالة مجالا مغناطيسيا يضاد اتجاه مجال ملفات التوازي وذلك عند مرور التيار فيها. وبذلك تقل قيمة Φ كلما ازداد الحمل على المحرك مما يؤدي إلى زيادة سرعة المحرك كما هو واضح في شكل 3-12.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل 3-12 منحنى الخواص للمحرك المركب

استخدامات المحرك المركب:

يستخدم المحرك المركب المستوي كبديل عن محرك التوازي، وذلك للأحمال التي تحتاج إلى سرعة ثابتة على الرغم من تغير الحمل.

3- 6 المفقودات والكفاءة Losses and Efficiency

تنقسم المفقودات في محركات التيار المستمر إلى ثلاثة أنواع:

- الفقد الميكانيكي Mechanical loss
- الفقد النحاسي Copper loss
- الفقد الحديدي Iron loss

3-6-1 مراحل القدرة للمحرك

مما سبق نعلم بأن المحرك وسيلة لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية ولهذا يوصل المحرك على منبع تيار مستمر والذي يعطي المحرك قدرة أولية في صورة طاقة كهربائية سنطلق عليها دخل المحرك Input Power كما هو موضح في شكل 3.14 وهذه القدرة الداخلة تكون بالوات.(W) جزء من هذه القدرة يضيع من تعويض الفقد النحاسي والباقي يتحول إلى قدرة كهرومغناطيسية Pg، حيث إن Pg هي قدرة المنتج وتعطى بالعلاقة:

$$P_g = E_b I_a \quad \text{and} \quad P_g = P_{in}.P_{cu} \qquad 3\text{-}20$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

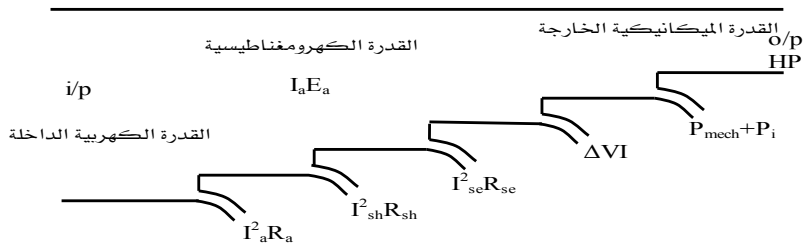
عند انتقال القدرة إلى المنتج Pg يفقد من هذه القدرة جزء كفقد ميكانيكي Pmech وجزء كفقد حديدي Piron وتكون القدرة المتبقية هي القدرة المستفادة للحمل أو كما تسمى أحيانا خرج المحرك Pout. ويعطي شكل 3-13 مخطط انسياب القدرة في محركات التيار المستمر.

الكفاءة:

بالرجوع إلى مراحل انتقال القدرة داخل محرك التيار المستمر، يمكن حساب الكفاءة وهي كالتالي:

الكفاءة الكلية

$$\eta = \frac{Pout}{Pin} = \frac{HP*746}{V_{in}I_{in}} \rightarrow \eta = \frac{P_{out}}{P_{out}+losses} \rightarrow \eta = \frac{P_{in}-losses}{P_{in}} \qquad 3\text{-}20$$



شكل

3-13 مخطط انسياب القدرة لمحركات التيار المستمر

مثال **3-6** :

محرك تيار مستمر من نوع التوازي يغذى حمل قدرته 150 حصان عند الحمل الكامل ويدور عند سرعة 960 لفه/دقيقة، وموصل على منبع جهد 550 فولت. وكانت الكفاءة 91٪ ومقاومة ملفات التوازي 275 أوم ومقاومة ملفات المنتج 1, . أوم. أوجد الآتي:

.المفقودات الحديدية والميكانيكية وكذلك عزم الدوران عند الحمل الكامل

.سرعة المحرك إذا خفض العزم إلى 60٪ من العزم عند الحمل الكامل ووصلت مقاومة 2,. أوم على التوالي مع ملفات المنتج.

$$HP=150 \quad n=960rpm \quad Vin=550V \quad \eta=91\% \quad Rsh=275\Omega \quad Ra=0.1\Omega$$

$$P_{in} = \frac{150\times 746}{0.91} = 122967 \ W \quad \rightarrow \quad \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

$$I_{in} = 122967/550 = 223.6 \quad A \qquad \rightarrow \qquad P_{in} = V_{in} I_{in}$$

$$I_a = I_{in} - I_{sh} = 223.6 - 2 = 221.6 \quad A \qquad \rightarrow \qquad I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}} = \frac{V_{in}}{R_{sh}} = \frac{550}{275} = 2 \quad A$$

$$P_{cu} = I_a^2 R_a + I_{sh}^2 R_{sh} = (221.6)^2 \times 0.1 + (2)^2 \times 275 = 6011 \quad W$$

$$P_{losses} = P_{in} - P_{out} = 122967 - 150 \times 746 = 11067 \quad W$$

$$P_{mech} + P_i = P_{losses} - P_{cu} = 11067 - 6011 = 5056 \quad W \quad \rightarrow \quad P_{losses} = P_{mech} + P_i + P_{cu}$$

$$E_b = V_{in} - I_a R_a = 550 - 221.6 \times 0.1 = 527.84 \, V$$

$$T = \frac{E_b I_a}{\omega} = \frac{E_b I_a}{\frac{2\pi n}{60}} = \frac{527.84 \times 221.6 \times 60}{2 \times \pi \times 960} = 1163.5 \quad N.m\,.$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

أسئلة وتمارين على الوحدة الثالثة

1- اشرح نظرية عمل محرك التيار المستمر.

2- ما هي أنواع محركات التيار المستمر ؟ مع ذكر استخدامات كل نوع.

3- اشرح منحنيات الخواص لمحرك التوالي والمحرك المركب.

4- اشرح طرق تنظيم السرعة لمحركات التيار المستمر.

5- اشرح طرق بدء حركة محركات التيار المستمر، موضحا بالرسم استخدام المقاومة الأوتوماتيكية كوسيلة بدء للمحركات كبيرة القدرة.

6- كيف يمكن عكس اتجاه الحركة لمحركات التيار المستمر؟

7- اذكر أنواع المفقودات في المحركات. وبين كيف يمكن حساب الكفاءة ؟

8- محرك تيار مستمر توازي 4 أقطاب.220 فولت يحتوي المنتج على 540 موصل ملفوف لف انطباقي، يسحب تيار مقداره 32 أمبير ويعطي قدرة خرج 6 ك. وات، فإذا كان تيار المجال 1 أمبير ومقاومة ملفات المنتج 9, أوم والفيض المغناطيسي لكل قطب 0,03 ويبر أوجد –السرعة –العزم المستفاد.

9- محرك تيار مستمر توازي 220 فولت يدور بسرعة 500 لفة/دقيقة عندما يأخذ المنتج 50 أمبير. أوجد السرعة التي يدور بها المحرك إذا ازداد العزم إلى الضعف، علما بأن مقاومة المنتج 2, أوم

10- محرك تيار مستمر توالي 250 فولت. 4 أقطاب ملفوف لف تموجي ويحتوي المنتج على 784 موصل. فإذا كانت مقاومة المنتج وملفات المجال على الترتيب هي 5, أوم ، 25, أوم والفيض المغناطيسي لكل قطب 25 ميللى ويبر، أوجد كل من السرعة والعزم الكلي للمحرك عندما يسحب تيار مقداره 40 امبير.

11- محرك توالي 240 فولت يدور بسرعة 850 لفة/دقيقة ويسحب تيار مقداره 100 أمبير، فإذا كانت مقاومة المنتج وملفات المجال على الترتيب هي 15, أوم ، 1, أوم، أوجد السرعة التي يدور بها المحرك عندما يسحب تيار مقداره 30 أمبير، مع العلم بأن الفيض المغناطيسي قد انخفض إلى النصف.

12- محرك توازي 500 فولت يسحب عند الحمل الكامل تيارا قدره 55 أمبير ليعطي خرجا قدره 21 حصان، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج 8,. أوم ومقاومة ملفات المجال 245 أوم. احسب المفقودات النحاسية والحديدية للمحرك عند الحمل الكامل.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

آلات كهربائية للأجهزة الطبية (نظري)

دوائر التحكم في المحركات

اسم الوحدة: التحكم في محركات التيار المستمر

الجدارة: اختيار دائرة الموحدات المحكومة المناسبة للمحرك لمواءمة التطبيق المطلوب و السيطرة على أداء محرك التيار المستمر باستخدام مقطعات التيار المستمر

الأهداف: عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يتمكن المتدرب من:

إجادة توصيل دوائر التحكم المختلفة ومعرفة رموز العناصر المستخدمة فيها

التمييز بين أنواع الموحدات المحكومة ومميزات وعيوب كل منها

فهم العلاقة بين زاوية الإشعال والجهد المتوسط لكل موحد وكيفية استغلال ذلك للتحكم في السرعة

القدرة على استغلال دوائر مقطعات التيار المستمر للتحكم في سرعة المحرك وعمل الفرملة

الوقت المتوقع: 6 ساعة

متطلبات الجدارة: اجتياز مقرر دوائر الكترونية

مقدمة:

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

تستخدم محركات التيار المستمر بكثرة في مجال الأجهزة الطبية التي تتطلب محركات متغيرة السرعة وذلك لما تمتاز به هذه المحركات من مميزات مختلفة ولقد ساعد على ذلك التقدم الهائل في صناعة عناصر إلكترونيات القدرة ودوائرها التي سهلت عملية التحكم في المحركات الكهربائية باستخدام الموحدات و المقطعات

دوائر الموحدات المحكومة

يمكن تقسيم مغيرات القدرة إلى أربعة أنواع. ومن هذه المغيرات الموحدات المحكومة. التي تستخدم للسيطرة على أداء محركات التيار المستمر عندما يكون مصدر التغذية المتوفر من النوع المتردد وهو ما سوف نتناوله.

وقبل الدخول في تفاصيل كل نوع من المناسب لنا أن نستعرض طرق التحكم في سرعة محرك التيار المستمر، ولكي يتسنى لنا ذلك فلنبدأ بكتابة معادلة السرعة لمحرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة والتي سبق عرضها في الوحدة الثانية

$$\omega = \frac{V_a - I_a R_a}{K_v I_f} \qquad 4\text{-}1$$

حيث:

V_a الجهد المسلط على ملفات المنتج (V)

R_a مقاومة ملفات المنتج (Ω)

I_a تيار المنتج (A)

I_f تيار المجال (A)

K_a ثابت الجهد للمحرك (V/A-rad./sec)

ω سرعة المحرك(rad./sec)

من المعادلة (4-1) يمكن التحكم في سرعة المحرك بثلاث طرق نستعرضها فيما يلي:

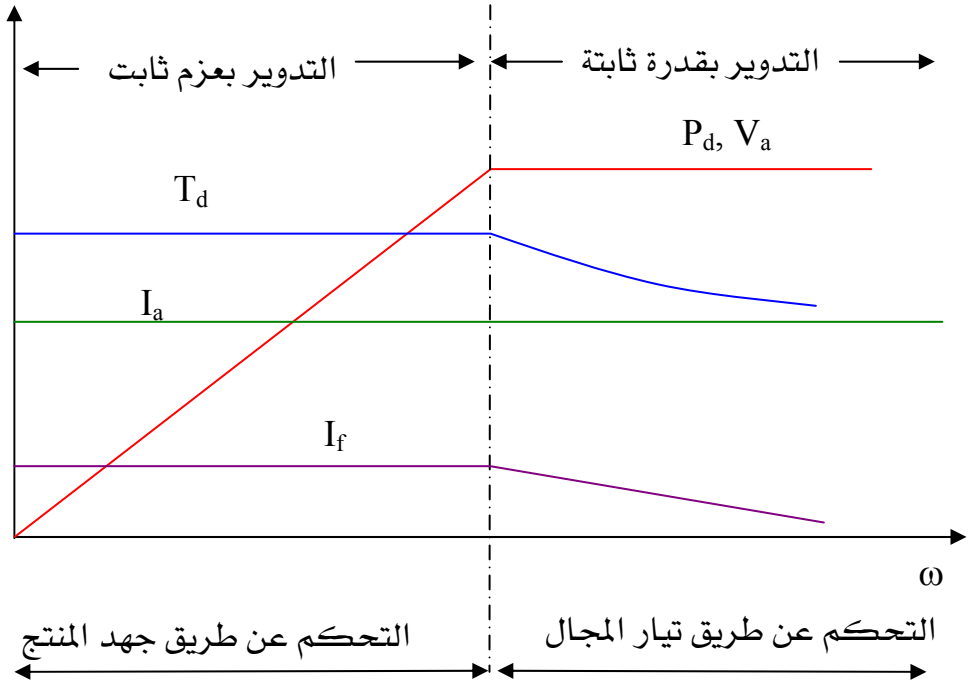
- **إضافة مقاومة على التوالي في دائرة المنتج:** حيث إن زيادة هذه المقاومة تقلل السرعة وتتميز هذه الطريقة بالبساطة ولكن لها عيوب كثيرة مثل المفاقيد النحاسية العالية وكبر الحجم.
- **التحكم في تيار المجال:** حيث تتناسب السرعة عكسيا مع تيار المجال وتتميز هذه الطريقة أيضا بالبساطة إلا أنها لا تصلح للحصول على سرعات أقل من السرعة المقننة كما أن تقليل التيار

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

يضعف العزم المتولد بالإضافة إلى أن استخدامها يحتاج لحرص كبير حتى لا يصل تيار المجال إلى صفر لخطورة ذلك.

- **التحكم في جهد المنتج:** وتتميز بمدى التحكم الواسع من صفر إلى السرعة المقننة بالإضافة إلى أن العلاقة بين السرعة وجهد المنتج تقريبا علاقة خطية ولكن هذه الطريقة لا تصلح للحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة.

في الحياة العملية تستخدم الطريقة الثالثة للتحكم في سرعة محرك التيار المستمر للحصول على سرعات أقل من السرعة المقننة بينما تستخدم الطريقة الثانية للحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة.



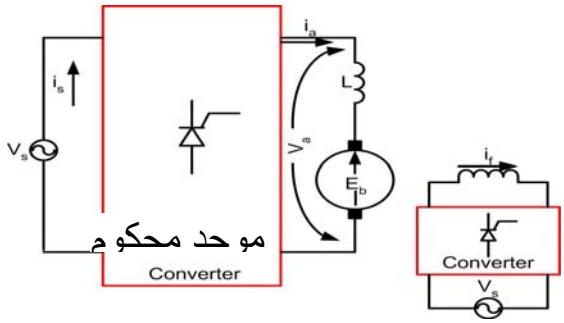
شكل4-1 : العلاقة بين كل من العزم والقدرة والجهد وتيار المنتج وتيار المجال مع السرعة

ويوضح شكل4-1 علاقات العزم المتولد"T_d" والقدرة "P_d" وجهد المنتج "V_a" وتيار المنتج "I_a" وتيار المجال "I_f" مع السرعة "ω" ويمكن تقسيم تلك العلاقة إلى جزأين رئيسيين. في الجزء الأول تكون السرعة أقل من السرعة المقننة ويتم التحكم في السرعة عن طريق جهد المنتج "V_a" ويكون العزم ثابتاً وكذا كل من تيار المجال وتيار المنتج، بينما في الجزء الثاني يتم التحكم في السرعة عن طريق تيار المجال "I_f" حيث تكون قيمة كل من القدرة وتيار المنتج وجهد المنتج ثابتة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

4- 1 الموحدات أحادية الوجه المحكومة Single Phase Drives

تستخدم الموحدات أحادية الوجه عندما يكون مصدر التغذية المتوفر أحادي الوجه وتصلح للتحكم في المحركات الصغيرة والتي لا تزيد قدرتها عن 15K ويمثل شكل4-2 الدائرة الأساسية لكيفية التحكم في محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة باستخدام الموحدات المحكومة وتتكون من محرك التيار المستمر وملف تنعيم ذي قيمة عالية لتنعيم تيار المنتج ومصدر للتيار المتردد أحادي الوجه وموحد أحادي الوجه محكوم للتحكم في تيار المجال وآخر للتحكم في تيار المنتج.



شكل 4-2 الدائرة الأساسية للتدوير من خلال الموحدات المحكومة

ويمكن تقسيم التدوير الكهربائي من مصدر أحادي الوجه إلى أربعة أنواع التدوير:

التدوير من خلال موحد نصف موجة محكوم	Single Phase Half Converter Drives
التدوير من خلال موحد موجة كاملة نصف محكوم	Single Phase Semi-converter Drives
التدوير من خلال موحد موجة كاملة محكوم	Single Phase Full Converter Drives
التدوير من خلال المغير المزدوج	Single Phase Dual Converter Drives

وسوف نستعرض كل نوع من هذه الأنواع فيما يلي

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

2-4 موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم Single Phase Half Converter Drives

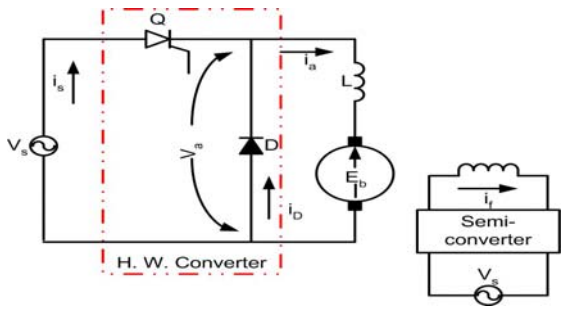
عند استخدام هذا الموحد يكون تيار المنتج غير متصل مما يسبب سوء في أداء المحركات عالية القدرة ولذلك لا تستخدم هذه الطريقة إلا نادرا في التطبيقات الصناعية حيث يقتصر استخدامه على المحركات صغير ة القدرة وفي حدود 0.5 KW.

شكل 2-4 يبين دائرة الموحد أحادي الوجه نصف الموجة والتي تتكون من ثايرستور ودايود حذافة وملف تنعيم. وينتج عن هذا الموحد جهد موجب وتيار موجب "One quadrant" ومن الصعب استخدام موحد نصف موجة في دائرة المجال لأنه في حالة استخدامه فإن تيار المجال سيحتوي على كثير من التذبذبات غير المرغوب فيها، ولذلك يستخدم موحد كامل الموجة نصف محكوم في دائرة المجال كما في شكل 3-4، وعلى ذلك يكون جهد المنتج:

$$V_a = \frac{V_m}{2\pi}(1 + Cos\alpha_a) \qquad 4\text{-}2$$

وجهد المجال الناتج من موحد أحادي الوجه نصف محكوم:

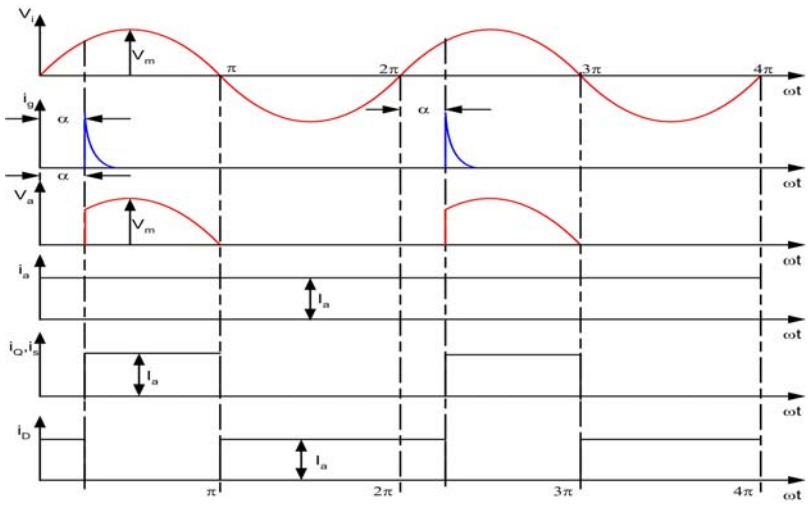
$$V_f = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha_f) \qquad 4\text{-}3$$



شكل 3-4 التدوير باستخدام موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم

ويتم التحكم في المحرك عن طريق جهد المنتج بالتحكم في α_a، بينما يتم التحكم في تيار المجال عن طريق التحكم في α_f. ويبين شكل (4-4) أشكال موجات الجهد والتيار في دائرة المنتج ويلاحظ أن تيار المنتج متصل بسبب استخدام ملف تنعيم عالي القيمة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل 4-4 أشكال موجات الجهد والتيار عند استخدام موحد نصف موجة محكوم

3-4 موحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم Single Phase Semi-converter Drives

يستخدم هذا النوع في التطبيقات الصناعية بحد أعلى 15 KW حيث يستخدم موحد كامل الموجة نصف محكوم في كل من دائرة المنتج والمجال كما في شكل 4- 3 وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط المسلط على المنتج:

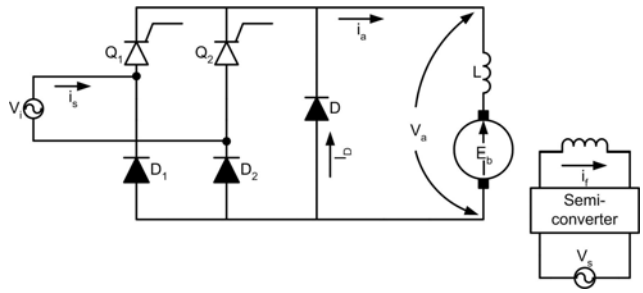
$$V_a = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha_a) \qquad 4\text{-}4$$

بينما الجهد على أطراف المجال:

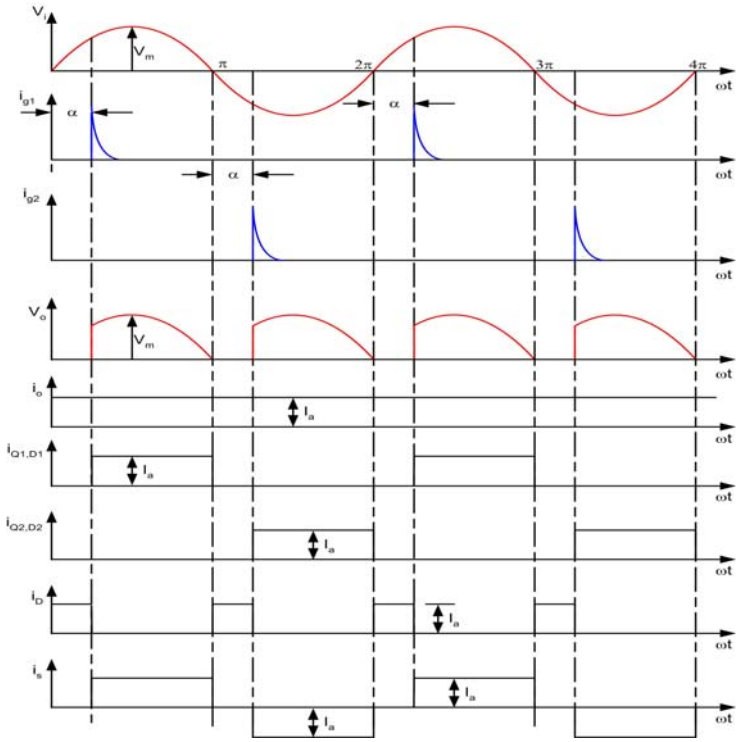
$$V_f = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha_f) \qquad 4\text{-}5$$

من المعادلات السابقة فإنه يمكن التحكم في جهد المنتج من خلال زاوية الإشعال في دائرة المنتج (α_a)، بينما يمكن التحكم في تيار المجال من خلال زاوية الإشعال في دائرة المجال (α_f). شكل 4- 6 يوضح أشكال موجات الجهد والتيار في دائرة المنتج. ومن الواضح أن هذا الموحد ينتج جهدا وتيارا موجبين (one quadrant).

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل 4- 5 التدوير باستخدام موحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم



شكل 4- 6 أشكال موجات الجهد والتيار عند استخدام موحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم

مثال (4-1):

يتم التحكم في محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق موحد أحادي الوجه نصف محكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال، وكان مصدر التيار المتردد جهده 208 V وتردده 60 Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.1 Ω ومقاومة ملفات المجال 150 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.1 V/A-rad/sec وعزم الحمل 75 Nm. عند سرعة 700 rpm. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

أ. احسب زاوية الإشعال في دائرة المنتج إذا كان تيار المجال أقصى ما يمكن

ب. احسب أقصى سرعة يمكن الحصول عليها عن طريق جهد المنتج

ت. إذا أريد زيادة السرعة إلى 1400 rpm اقترح الطريقة المناسبة و احسب القيم التي تغيرت لتحقيق ذلك

الحل

$R_a = 0.1\ \Omega \quad R_f = 150\ \Omega \qquad n = 700$ rpm $\qquad V_s = 208$ V

$K_v = 1.1$ V/A.rad./sec. $\qquad T_L = 75$ N.m

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$$V_m = 208\sqrt{2} = 294.156\ \text{V} \qquad \omega = \frac{2\pi n}{60} = 73.3\ \text{rad/sec} \qquad T_d = T_L = 75\ \text{N.m}$$

أ) أقصى قيمة لتيار المجال تحدث عندما تكون زاوية الإشعال في دائرة المجال مساوية للصفر

$$V_f = \frac{V_m}{\pi}\left(1 + Cos\alpha_f\right) = 187.266\ \text{V} \rightarrow \boldsymbol{I_f} = \frac{V_f}{R_f} = 1.248\ \text{Amp.}$$

$$E_a = K_v\, \omega\, I_f = 100.62\ \text{V}$$

$$V_a = E_a + I_a R_a = 106.1\ \text{V}$$

بالتعويض في المعادلة (4-4) نجد أن قيمة زاوية الإشعال في دائرة المنتج $\alpha_a = 82.3^o$

ب) أقصى سرعة يمكن الحصول عليها عن طريق جهد المنتج تنتج عند $(\alpha_a = 0)$ وعلى ذلك فإن:

$$V_a = \frac{V_m}{\pi}\left(1 + Cos\alpha_a\right) = 187.266\text{V} \rightarrow E_a = V_a - I_a R_a = 181.8\ \text{V}$$

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{181.8}{(1.1)(1.248)} = 132.43\ \text{rad/sec} \rightarrow n = \frac{60\omega}{2\pi} = 1264.655\ \text{rpm}$$

ت) لزيادة السرعة إلى 1400 rpm يتم ذلك عن طريق تيار المجال وفي هذه الحالة يكون كل من تيار المنتج وجهد المنتج ثابتين (تدوير بقدرة ثابتة) ولكن العزم المتولد سيقل نتيجة لتقليل تيار المجال.

$$E_a = V_a - I_a R_a = 181.8\ \text{V}$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

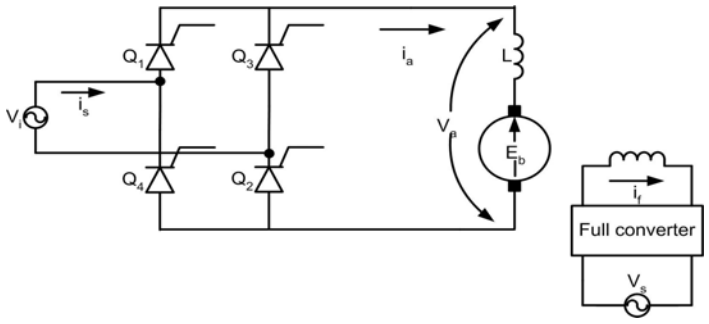
$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi(1400)}{60} = 146.6 \text{ rad/sec} \quad \rightarrow \quad I_f = \frac{E_b}{K_v \omega} = \frac{181.8}{(1.1)(146.6)} = 1.127\text{A}$$

$$V_f = I_f.R_f = 169.1\text{V} \qquad \rightarrow \qquad 169.1=93.633(1+\text{Cos } \alpha_f) \qquad \rightarrow \qquad \alpha_f = 36.3^o$$
$$T_d = K_v I_f I_a = 67.6 \text{ N.m}$$

4-4 موحد أحادي الوجه موجة كاملة محكوم Single Phase Full Converter Drives

يتكون الموحد المحكوم من قنطرة تحتوي على أربعة عناصر توحيد كما في شكل 4-7 جميعها ثايرستور (Q_1,Q_2,Q_3,Q_4).ولايوجد في هذه الحالة دايود حذافة.

في النصف الموجب من الموجة يكون كل من الثايرستور "Q_1"، "Q_2" في حالة انحياز أمامي لذلك يتم إشعالهما عند زاوية "α" ويمر التيار من المصدر إلى المنتج من خلال "Q_1, Q_2" ويستمر مرور التيار حتى بعد أن تزيد قيمة ωt عن π رغم أن جهد المصدر قد أصبح سالبا وذلك بسبب المحاثة العالية للحمل، ويستمر ذلك حتى يتم إشعال كل من الثايرستور "Q_3, Q_4" عند زاوية "$\pi+\alpha$" ويمر التيار من خلالهما إلى الحمل، ويستمر ذلك حتى يتم إشعال كل من الثايرستور "Q_1"، "Q_2" عند زاوية "$2\pi+\alpha$". ويتكرر ذلك مع كل دورة، وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في شكل 4- 8 .



شكل 4- 8 التدوير باستخدام موحد أحادي الوجه موجة كاملة محكوم

ويلاحظ أن جهد الخرج لهذا الموحد من الممكن أن يكون موجبا أو سالبا على حسب قيمة زاوية الإشعال، فإذا كانت زاوية الإشعال أقل من 90^o يكون الجهد موجبا بينما يكون سالبا إذا كانت أقل من 90^o، أما تيار الحمل فيكون دائما موجبا، لذلك يستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى عكس اتجاه الجهد"Two quadrant". وتصل القدرات التي يستخدم فيها هذا الموحد إلى 15 KW مثل

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

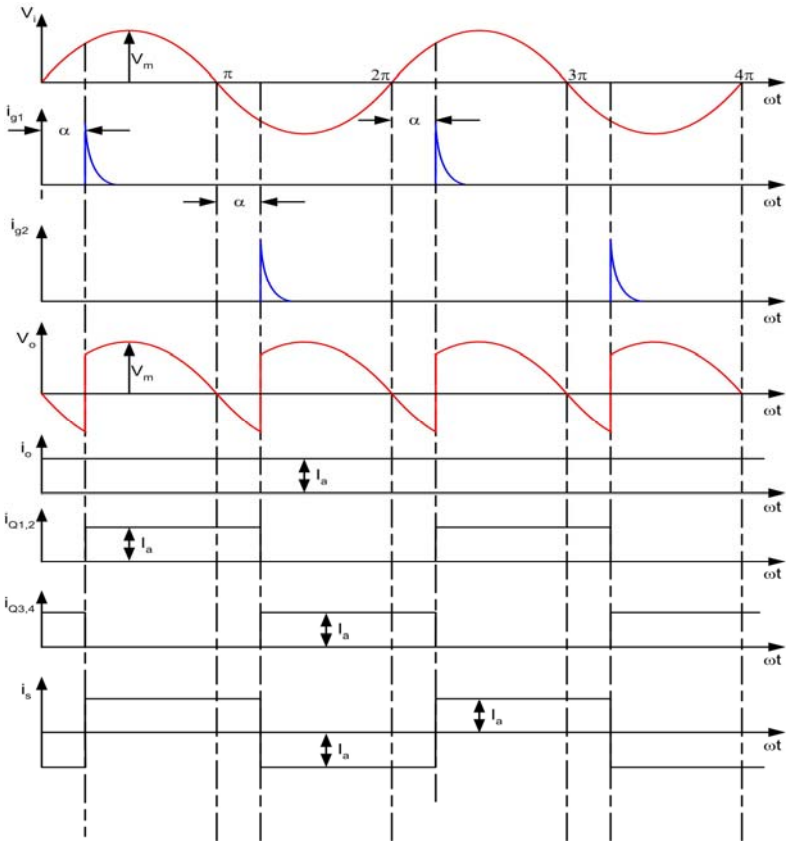
الموحد النصف محكوم ولكن الموحد المحكوم يتميز بأنه يمكن استخدامه عند إعادة التوليد حيث يتم عكس اتجاه القدرة وذلك بعكس القوة الدافعة المضادة والذي يتم بعكس قطبية الجهد في دائرة المجال (زاوية الإشعال في دائرة المجال تكون أكبر من 90^o).

وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط المسلط على المنتج:

$$V_a = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha_a) \qquad 4\text{-}6$$

بينما الجهد على أطراف المجال:

$$V_f = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha_f) \qquad 4\text{-}7$$



شكل 4- 8 أشكال موجات الجهد والتيار عند استخدام موحد أحادي الوجه كامل الموجة محكوم

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

مثال (2-3):

يتم التحكم في محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق موحد أحادي الوجه محكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال وكان مصدر التيار المتردد جهده 440 V عند تردد 60 Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.2 Ω ومقاومة ملفات المجال 200 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.35 V/A-rad/sec وكان تيار المنتج 50 Amp. وزاوية الإشعال في دائرة المنتج 60^o. وضبط تيار المجال ليكون أقصى ما يمكن. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات:

أ. احسب العزم المتولد وسرعة المحرك

ب. إذا قل العزم بمقدار 20% احسب سرعة المحرك

ت. إذا عكس اتجاه تيار المجال احسب زاوية الإشعال في دائرة المجال وكذا زاوية الإشعال في دائرة المنتج للحفاظ على قيمة تيار المنتج كما في الحالة "ب" ثم احسب القدرة المستردة للمصدر

$V_s = 440$ V $I_a = 50$ Amp $R_f = 200\ \Omega$ $R_a = 0.2\ \Omega$

$\alpha_a = 60^o$ $K_b = 1.35$ V/A.rad./sec.

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$V_m = 440\sqrt{2} = 622.25$ V $T_d = T_L$

أ) أقصى قيمة لتيار المجال تحدث عندما تكون زاوية الإشعال في دائرة المجال مساوية للصفر ($\alpha_f = 0^o$)

$$V_f = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_f\right) = 396.14\ \text{V} \quad \rightarrow \quad I_f = \frac{V_f}{R_f} = 1.98\text{A}$$

$T_d = K_b\, I_f .\, I_a = 133.65$ Nm.

$$E_b = V_a - I_a R_a = 188.7\ \text{V}$$

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{188.7}{(1.35)(1.98)} = 70.36\text{rad/sec} \quad \rightarrow \quad n = \frac{60\omega}{2\pi} = 671.88\text{rpm}$$

ب) إذا قل العزم بمقدار 20% يقل تيار المنتج بنفس النسبة وعلى ذلك فإن:

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

T_d =0.8(133.65) = 106.92 Nm.

I_a =0.8(50) = 40 Amp

$E_b = V_a - I_a R_a$= 198.07-40(0.2) = 190.7 V

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{190.07}{(1.35)(1.98)} = 71.1 \text{ rad/sec} \rightarrow n = \frac{60\omega}{2\pi} = 679 \text{ rpm}$$

ت) إذا عكس اتجاه المجال فإن زاوية الإشعال في دائرة المجال تساوي 180^o.

$\alpha_f = 180^o$ E_b = -190.07 V

$V_a = E_b + I_a R_a$= -190.07+ 40(0.2) = -182.07 V

$$-182.07 = V_a = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha_a) = 396.14(Cos\alpha_a) \rightarrow \alpha_a = 117.36^o$$

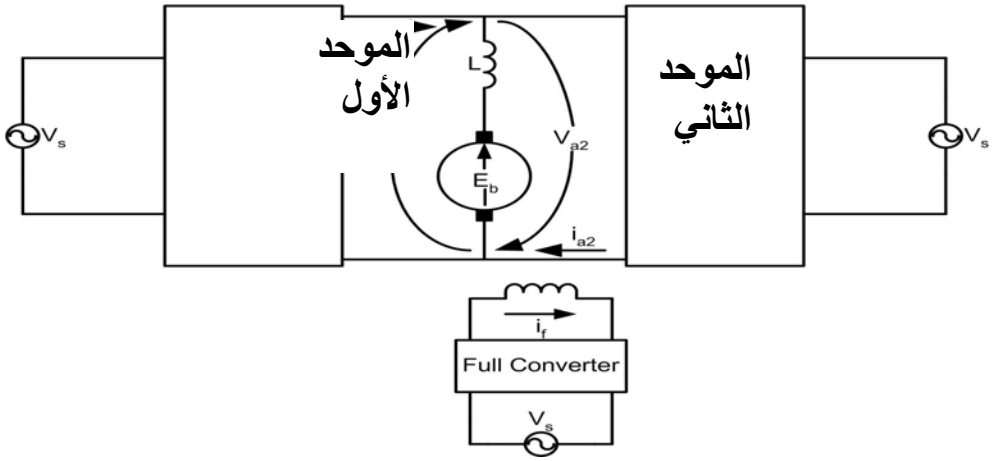
$P_s = P_a = V_a I_a$ = 72828 Watt القدرة المستردة للمصدر

5-4 الموحد المزدوج أحادي الوجه Single Phase Dual Converter Drives

يستخدم الموحد المزدوج بكثرة في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى محركات متغيرة السرعة وعالية القدرة. في هذه الحالة يتم توصيل موحدين محكومين في دائرة المنتج، بينما يتم توصيل موحد محكوم في دائرة المجال كما في شكل 4-9 ، وذلك حتى نتمكن من عكس الجهد على أطراف المنتج وأيضا عكس التيار في دائرة المنتج (Four quadrant)، فعند تشغيل الموحد الأول يكون الجهد على أطراف المنتج V_{a1} ويكون التيار المار في المنتج I_{a1} حيث يتم تشغيل المحرك في الربع الأول (تدوير أمامي) ويمكن عمل فرملة أمامية وذلك بعكس قطبية المجال وزيادة زاوية الإشعال للموحد الأول لتكون أكبر من 90^o (يعمل المحرك في الربع الثاني). و إذا أريد عكس حركة المحرك فيتم تشغيل الموحد الثاني بدلا من الموحد الأول حيث يكون الجهد على أطراف المنتج V_{a2} (عكس V_{a1}) والتيار المار به I_{a2} (عكس I_{a1})، لذلك يعمل المحرك في الربع الثالث عكس الحالة الأولى ويمكن أيضا فرملة المحرك في هذه الحالة وذلك بعكس قطبية المجال وزيادة زاوية الإشعال للموحد الثاني لتكون أكبر من 90^o. ويلاحظ أن اتجاه المجال سيعكس في حالتي الفرملة لذا يجب أن يكون الموحد المستخدم في دائرة المجال من النوع

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

كامل الموجة المحكوم ليسمح بعكس اتجاه المجال.



شكل 4- 9 التدوير باستخدام الموحد المزدوج أحادي الوجه

في حالة تشغيل الموحد الأول يكون جهد المنتج:

$$V_{a1} = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_{a1}\right) \qquad 4\text{-}8$$

في حالة تشغيل الموحد الثاني يكون جهد المنتج:

$$V_{a2} = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_{a2}\right) \qquad 4\text{-}9$$

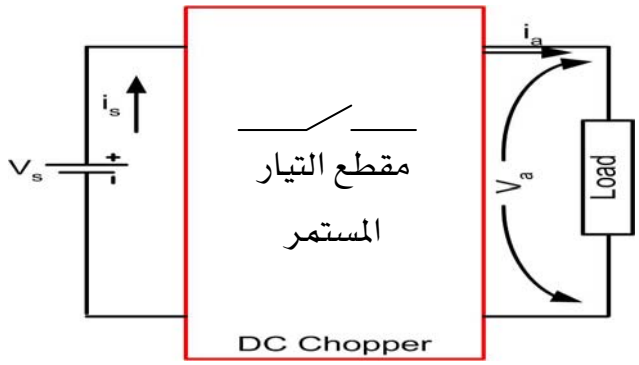
والجهد على أطراف المجال:

$$V_f = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_f\right) \qquad 4\text{-}10$$

مقطعات التيار المستمر:

في حالة المصدر المتوفر هو التيار المستمر تستعمل مقطعات التيار المستمر، والتي تستخدم للتحويل من تيار مستمر ذي جهد ثابت القيمة إلى تيار مستمر ذي جهد متغير القيمة (محكوم. حيث تلعب دورا مهما في التحكم في سرعة محركات التيار المستمر أو عمل الفرملة بإعادة التوليد مما يؤدي إلى توفير كبير في الطاقة في نظم النقل الكهربائية

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل 4-10 الدائرة التخطيطية لمقطع التيار المستمر

ويوصل مقطع التيار المستمر بين مصدر التيار المستمر والحمل كما في شكل 4-10، والمقطع في أبسط صوره عبارة عن مفتاح، عند توصيل المفتاح لمدة زمنية مقدارها T_{on} فإن جهد المصدر سيظهر على الحمل و إذا تم فصل المفتاح لمدة زمنية T_{off} فإن جهد الحمل سيكون مساويا للصفر، وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط على الحمل كما يلي:

$$V_o = \frac{T_{on}}{T} V_s = kV_s \qquad 4\text{-}11$$

حيث

V_s	جهد المصدر
T_{on}	زمن التوصيل
T_{off}	زمن الفصل
T	الزمن الكلي
V_o	جهد الخرج
k	نسبة التشغيل

وواضح من المعادلة (4-9) أنه يمكن التحكم في الجهد عن طريق تغيير نسبة تشغيل المقطع، ولكن يجب الأخذ في الاعتبار أن يكون تردد المقطع عاليا، لذلك يجب أن يكون المفتاح المستخدم كمقطع أحد عناصر إلكترونيات القدرة مثل ترانزستور القدرة، IGPT, MOSFET, GTO الخ

ويساهم مقطع التيار المستمر في عمليات التحريك الكهربائي باستخدام محركات التيار المستمر بأربع طرق هي:

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

- التحكم في سرعة المحرك
- الفرملة بإعادة التوليد
- الفرملة الديناميكية (باستخدام مقاومة)
- الفرملة بإعادة التوليد واستخدام مقاومة معا

4-6 التحكم في سرعة المحرك

يتم استخدام المقطع للتحكم في القدرة المسحوبة من المصدر، وذلك بالتحكم في جهد المنتج أو تيار المجال أو كليهما معا. شكل 4-11يبين الرسم التخطيطي كيفية استخدام مقطع التيار المستمر للسيطرة على أداء محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة، وفيه يستخدم مقطعان أحدهما للتحكم في جهد المنتج والآخر للتحكم في تيار المجال.

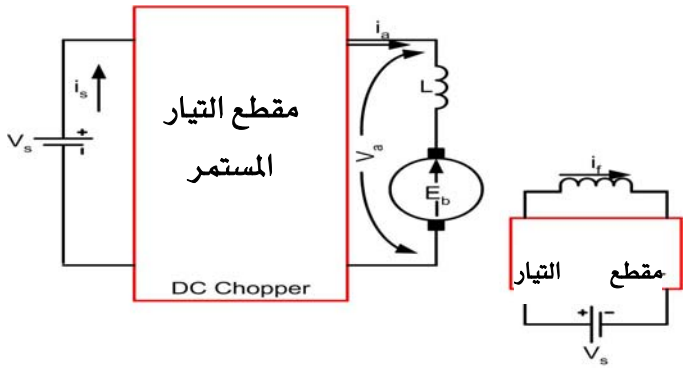
عند التحكم في محرك التيار المستمر من نوع التوالي فإننا نحتاج لمقطع واحد فقط و ذلك للتحكم في جهد المنتج كما في شكل 4-12، وتتكون دائرة المقطع في هذه الحالة من موسفت يتم توصيله بين المصدر والمنتج، بينما يوصل دايود حذافة على التوازي مع المنتج لضمان استمرارية التيار في دائرة المنتج، كما يوصل عادة ملف ذي قيمة عالية على التوالي في دائرة المنتج لنفس الغرض ولتقليل التذبذبات غير المرغوب فيها في تيار المنتج، ويصلح هذا المقطع للاستخدام في الربع الأول فقط حيث يكون الجهد والتيار موجبين. ويوضح شكل 4-13أشكال موجات الجهد والتيار عند استخدام المقطع ويمكن ملاحظة أن تيار المنتج متصل وخال من التذبذبات. ويكون الجهد المتوسط على أطراف المنتج كما في المعادلة 4-13 بينما تكون القيمة المتوسطة للتيار المسحوب من المصدر:

$$I_s = k\, I_a \qquad 4\text{-}13$$

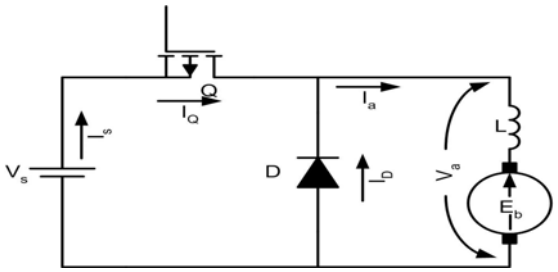
وتكون القدرة المسحوبة من المصدر (P_s) مساوية للقدرة المستهلكة بالمحرك (P_a):

$$P_s = P_a = V_s I_s = V_a I_a = k V_s I_a \qquad 4\text{-}14$$

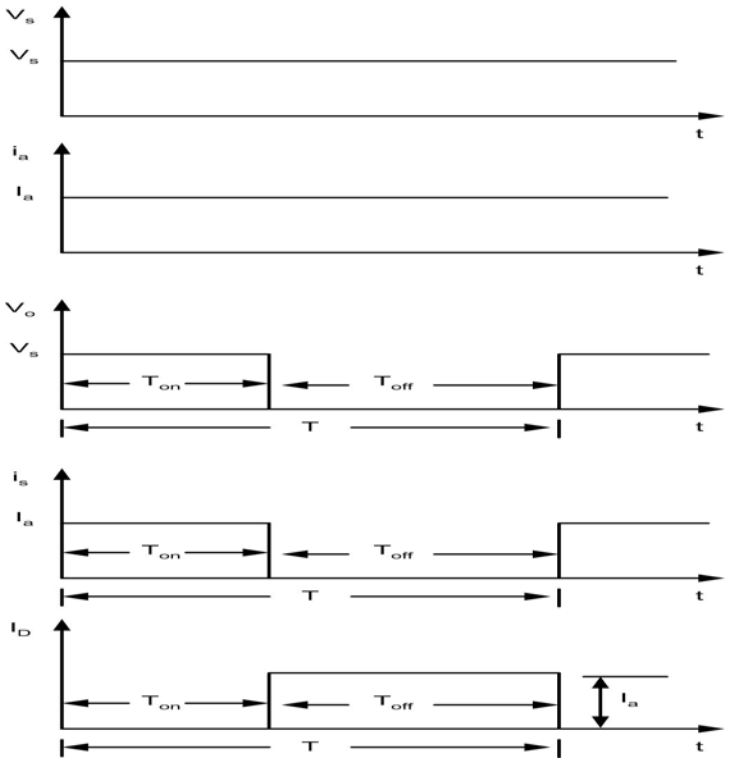
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل 4-11 استخدام مقطع التيار المستمر للتحكم في محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة



شكل 4-12 التحكم في محرك التوالي باستخدام مقطع التيار المستمر



شكل 4-13 أشكال موجات التيار والجهد عند استخدام مقطع التيار المستمر للتحكم في محرك التوالي

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

مثال 5- 1:

محرك تيار مستمر من نوع التوالي يتم تغذيته من مصدر تيار مستمر جهده 600 V من خلال مقطع تيار مستمر نسبة تشغيله 0.6 ومقاومة ملفات المنتج 0.04 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.06 Ω وثابت الجهد للمحرك 0.031V/A-rad/sec وعزم الحمل 200 N.m. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن تيار المنتج متصل وخال من التذبذبات.

ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد

احسب سرعة المحرك والقدرة المسحوبة من المصدر

إذا أريد خفض سرعة المحرك إلى 1000 rpm. احسب نسبة التشغيل الجديدة والقدرة المسحوبة من المصدر في هذه الحالة $V_s = 600$ V $k = 0.6$ $R_f = 0.06\ \Omega$ $R_a = 0.04\ \Omega$

$K_a = 0.031$ V/A.rad./sec. $T_L = 200$ N.m

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن $T_d = T_L = 75$ N.m:

أ) الدائرة المستخدمة كما في شكل (4-3) بينما أشكال الموجات كما في شكل (4-5)

ب) السرعة $V_a = kV_s = 0.6(600) = 360$ V

$$T_e = K_a I_a^2 = \qquad I_f = I_a = \sqrt{\frac{T_e}{K_v}} = 80.322 \text{ Amp}$$

$$E_a = V_a - I_a (R_a + R_f) = 360 - 80.322(0.1) = 351.968 \text{ V}$$

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = 141.245 \text{ rad/sec.} \quad \rightarrow \quad n = \frac{60\omega}{2\pi} = 1348.79 \text{ rpm}$$

القدرة المسحوبة من المصدر $P_s = kV_s I_a = 0.6(600)(80.322) = 28.916$ KW

ت) لخفض السرعة يجب تخفيض الجهد على أطراف المحرك وذلك بتخفيض نسبة التشغيل

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 104.72 \text{ rad/sec}$$

$$E_a = K_v I_f \omega = 260.75\text{V}$$

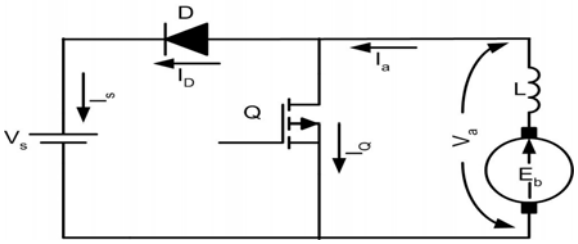
$$V_a = E_a + I_a R_a = 268.78 \text{ V} \quad \rightarrow \quad k = \frac{V_a}{V_s} = 0.448$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

4- 7 الفرملة بإعادة التوليد Regenerative Braking

يتم الاستفادة بطاقة الحركة الناتجة عن دوران المحرك وإعادتها مرة أخرى إلى المصدر حيث يعمل المحرك في تلك الفترة كمولد، ويتم الاستعانة بمقطع التيار المستمر في ذلك كما سبق شرح فكرة نقل الطاقة من مصدر إلى آخر ذي جهد أعلى في الوحدة الثانية وتستغل هذه الفكرة لعمل الفرملة بإعادة التوليد

شكل4- 14يوضح كيفية استخدام مقطع التيار المستمر في عمل فرملة بإعادة التوليد لمحرك تيار مستمر من نوع التوالي، عند تشغيل المقطع"Q" فإن التيار في دائرة المنتج سيزداد بشكل كبير بسبب القصر على أطراف المحرك والذي نتج عن تشغيل المقطع، وفي تلك الفترة سيتم تخزين الطاقة في ملفات المنتج والمجال وعند إيقاف تشغيل المقطع فإن الطاقة التي تم تخزينها في الملفات خلال فترة تشغيل المقطع سيتم تفريغها (نقلها إلى المصدر) من خلال الدايود "D" وعندما تقل الطاقة المخزنة يتم توصيل المقطع مرة أخرى ثم يفصل وهكذا. وبتكرار عملية التوصيل والفصل يتم استعادة طاقة الحركة بدلا من تبديدها. ويعمل هذا المقطع في الربع الثاني حيث الجهد موجب والتيار سالب.



شكل 4- 14 الفرملة بإعادة التوليد باستخدام مقطع التيار المستمر

شكل 4-15 يعرض أشكال موجات التيار والجهد في حالة الفرملة بإعادة التوليد وذلك بفرض أن المحاثة عالية حتى يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وفي هذه الحالة تكون القيمة المتوسطة لجهد المنتج مساوية للقيمة المتوسطة للجهد على المقطع كما في المعادلة (4-12)

$$V_a = V_{ch} = (1-k)V_s \qquad 4\text{-}15$$

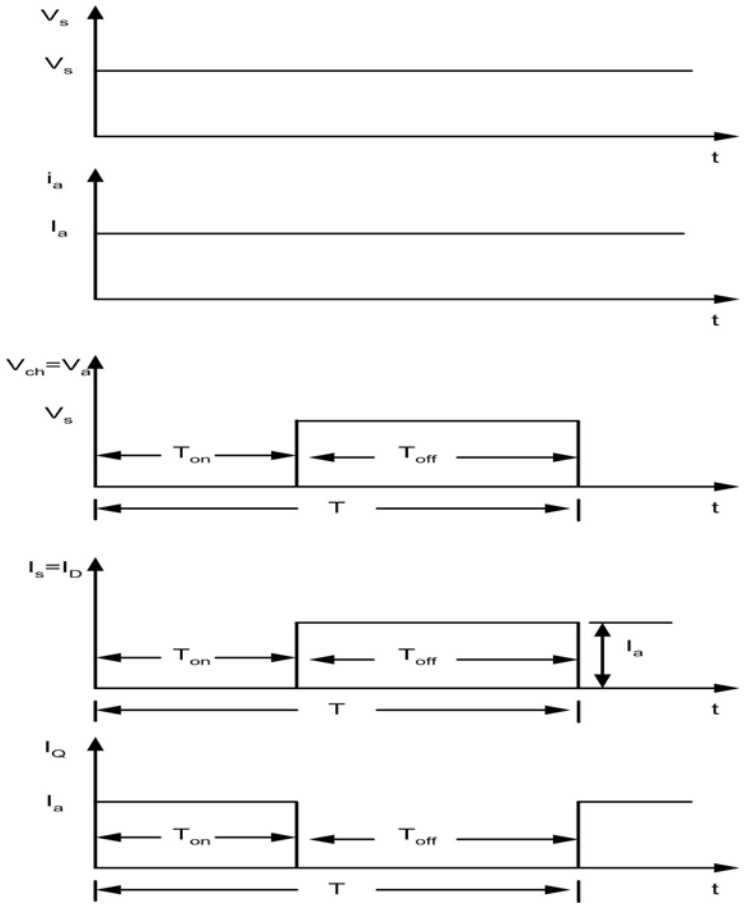
بينما تكون القيمة المتوسطة لتيار المصدر:

$$I_s = (1-k)\, I_a \qquad 4\text{-}16$$

وتكون القدرة المعادة إلى المصدر:

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

$$P_s = P_g = V_s I_s = V_a I_a = (1 - k) V_s I_a \qquad 4\text{-}17$$



شكل 4-15 أشكال موجات التيار والجهد في حالة الفرملة بإعادة التوليد

ويكون الجهد المتولد على أطراف المحرك عندما يعمل كمولد:

$$E_a = E_g = V_a + I_a R_a = (1-k) V_s + I_a (R_a + R_f) \qquad 4\text{-}18$$

وبالتحكم في نسبة التشغيل يتم التحكم في القدرة المعادة إلى المصدر وبالتالي في عملية الفرملة. ولكي تتم عملية الفرملة بإعادة التوليد يجب أن يتوفر الشرط التالي:

$$0 \le E_g - I_a (R_a + R_f) \le V_s$$

ومن خلال هذا الشرط يمكن الحصول على الحد الأدنى والحد الأقصى للسرعة كما يلي:

- **الحد الأدنى للسرعة (ω_{min})**

$$E_g - I_a (R_a + R_f) = 0$$

$$K_a I_f \omega_{min} - I_a (R_a + R_f) = 0$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

$$\omega_{\min} = \frac{I_a(R_a + R_f)}{K_v I_f} \qquad 4\text{-}19$$

في حالة محرك التوالي يكون تيار المنتج هو نفسه تيار المجال ويكون الحد الأدنى للسرعة :

$$\omega_{\min} = \frac{(R_a + R_f)}{K_v} \qquad 4\text{-}20$$

- **الحد الأقصى للسرعة (ω_{max})**

$$E_g - I_a(R_a+R_f) = V_s$$

$$K_a I_f \omega_{max} - I_a(R_a+R_f) = V_s$$

$$\omega_{\min} = \frac{V_s + I_a(R_a + R_f)}{K_v I_f} \qquad 4\text{-}21$$

وهذا يعني أنه لعمل فرملة بإعادة التوليد فإن سرعة المحرك يجب أن تكون أكبر من السرعة الصغرى (ω_{min}) وأقل من السرعة الكبرى (ω_{max})

مثال 5- 2:

يتم عمل فرملة بإعادة التوليد لمحرك تيار مستمر من نوع التوالي باستخدام مقطع للتيار المستمر، وكان جهد المصدر 600 V و نسبة تشغيل المقطع تيار 0.6 ومقاومة ملفات المنتج 0.03 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.05 Ω وثابت الجهد للمحرك 0.016V/A-rad/sec وكان تيار المنتج .250 A. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن تيار المنتج متصل وخال من التذبذبات.

ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد

احسب القيمة المتوسطة لجهد المنتج والقدرة المعادة إلى المصدر وسرعة المحرك

القيمة العظمى والصغرى لسرعة المحرك لعمل الفرملة بإعادة التوليد

V_s = 600 V ; k= 0.6 ; R_f = 0.05 Ω ; R_a = 0.03Ω ; I_a=250A ; K_a=0.016/A.rad./sec.

أ) الدائرة المستخدمة كما في شكل (4-5) بينما أشكال الموجات كما في شكل (4-6)

ب) القيمة المتوسطة لجهد المنتج $V_a=(1-k)V_s = 0.4(600) =240V$

القدر المعادة إلى المصدر $P_s = P_g = V_sI_s = V_aI_a =(1 - k)V_sI_a = 48$ KW

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

سرعة المحرك

$$E_g = V_a + I_a(R_a+R_f) = 256 \text{ V}$$

$$\omega = \frac{E_g}{K_v I_f} = 80 \text{ rad/sec.} \quad \rightarrow \quad n = \frac{60\omega}{2\pi} = 763.94 \text{ rpm}$$

ت) السرعة الصغرى ω_{min}

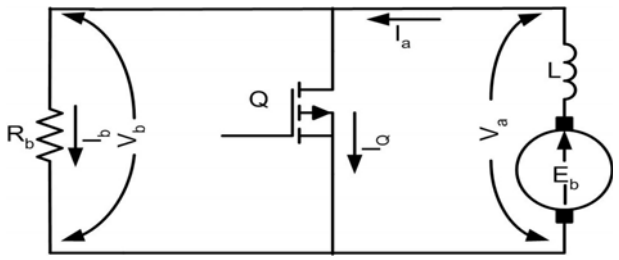
$$\omega_{min} = \frac{(R_a + R_f)}{K_v} = 5 \text{ rad/sec} \quad \rightarrow \quad n_{min} = \frac{60\omega}{2\pi} = 47.746 \text{ rpm}$$

السرعة العظمى ω_{max}

$$\omega_{min} = \frac{V_s + I_a(R_a + R_f)}{K_v I_f} = 192.5 \text{ rad/sec} \quad \rightarrow \quad n_{max} = \frac{60\omega}{2\pi} = 1838.24 \text{ rpm}$$

8-4 الفرملة الديناميكية (الفرملة باستخدام مقاومة) Dynamic Braking

في هذه الحالة يتم استهلاك طاقة الحركة (بعد تحويلها إلى طاقة كهربية) في مقاومة توصل بدلا من المصدر المستخدم في حالة إعادة التوليد، وتستخدم هذه الطريقة عندما تكون الفرملة بإعادة التوليد غير ممكنة، ويتم الاستفادة من هذه الطاقة أحيانا في التدفئة. شكل 4-16 دائرة الفرملة الديناميكية لمحرك تيار مستمر من نوع التوالي وفكرة عملها مشابهة تماما لعمل الفرملة بإعادة التوليد غير أن الطاقة في هذه الحالة تستهلك في المقاومة بدلا من إعادتها إلى المصدر، ويعمل هذا المقطع في الربع الثاني حيث الجهد موجب والتيار سالب.



شكل 4-16 الفرملة الديناميكية باستخدام مقطع التيار المستمر

شكل 4-17 يعرض أشكال موجات التيار والجهد في الدائرة وذلك بفرض وجود محاثة عالية في الدائرة بحيث يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات وفي هذه الحالة تكون القيمة المتوسطة لتيار المقطع (I_b) كما في المعادلة 4-22 بينما تكون القيمة المتوسطة للجهد على أطراف المقاومة مساوية

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

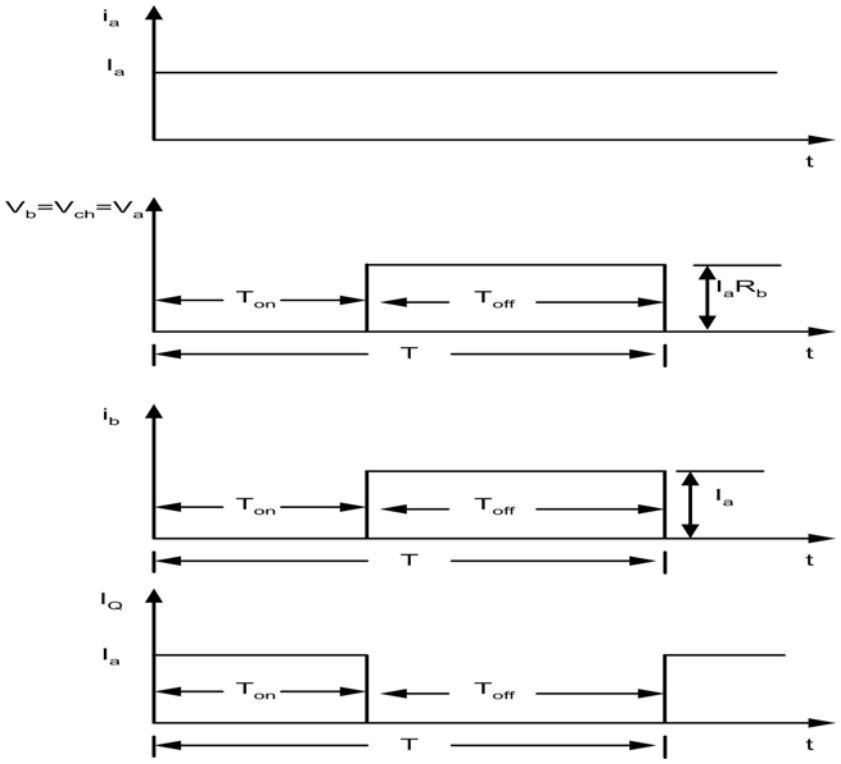
للقيمة المتوسطة للجهد على المقطع كما في المعادلة 4-23

$$I_b = (1- k)\, I_a \qquad 4\text{-}22$$

$$V_a = V_{ch} = R_b I_a (1-k) \qquad 4\text{-}23$$

وتكون القدرة المستهلكة في المقاومة

$$P_b = V_b I_b = (1 - k)^2\, I_a^2\, R_b \qquad 4\text{-}24$$



شكل 4- 17 أشكال موجات التيار والجهد في الدائرة

مثال 3-5 :

يتم عمل فرملة ديناميكية لمحرك تيار مستمر من نوع التوالي باستخدام مقطع للتيار المستمر وكانت نسبة تشغيل المقطع تيار 0.5 ومقاومة ملفات المنتج 0.02 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.03 Ω وثابت الجهد للمحرك 0.016V/A-rad/sec وكان تيار المنتج 120 A.والمقاومة المستخدمة لعمل الفرملة قيمتها 6 Ω اعتبر أن تيار المنتج متصل وخالي من التذبذبات.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

- ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد
- احسب القيمة المتوسطة للجهد على المقطع والقدرة المستهلكة
- القيمة العظمى للجهد على المقطع وسرعة المحرك

k= 0.5 R_f = 0.03 Ω R_a = 0.02 Ω I_a=120 Amp

K_a= 0.016 V/A.rad./sec. R_b = 6 Ω

القيمة المتوسطة للجهد على المقطع $V_b=V_{ch}=R_bI_a(1-k)$= 6(120)(1-0.5)=360 V

القدرة المستهلكة في المقاومة $P_b = V_bI_b = (1 - k)^2 I_a^2 R_b$ = 21.6kW

أقصى قيمة للجهد على المقطع $V_b)_{max}=V_{ch})_{max}=R_bI_a$= 6(120)=720V

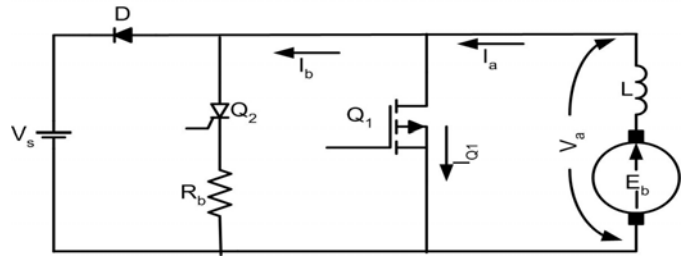
سرعة المحرك $E_g = V_a + I_a(R_a+R_f)$ = 366V

$$\omega = \frac{E_g}{K_v I_f} = 190.625 \text{ rad/sec.} \rightarrow n = \frac{60\omega}{2\pi} = 1820.33 \text{ rpm}$$

9-4 الفرملة بإعادة التوليد واستخدام مقاومة معا
Combined Dynamic and Regenerative Braking

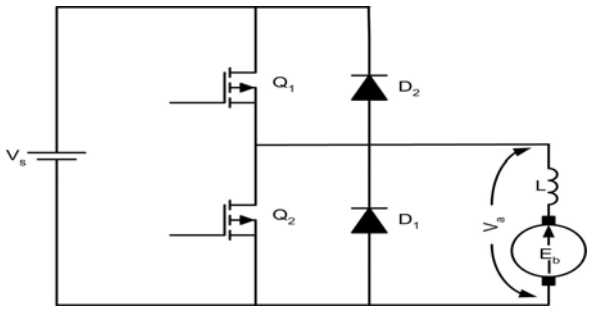
في كثير من الأحيان يتم عمل الفرملة بإعادة التوليد والفرملة الديناميكية باستخدام دائرة واحدة كما في شكل 4-18 حيث يتم تشغيل المقطع "Q_1" ف إذا كانت سرعة المحرك داخل حدود التشغيل المسموح بإعادة التوليد فيها والمصدر من الممكن أن يستقبل الطاقة فتتم الفرملة بإعادة التوليد ويمر تيار الفرملة إلى المصدر من خلال الدايود "D"، وتستخدم دائرة منطقية لتحديد نوع الفرملة المناسبة ف إذا كانت سرعة المحرك خارج حدود التشغيل سواء كانت أكبر من السرعة القصوى أو أصغر من السرعة الصغرى المسموح بإعادة التوليد بينهما فيتم تشغيل الثايرستور "Q_2" ويتحول تيار الفرملة ليمر في المقاومة "R_b" بدلا من الرجوع إلى المصدر أي تتم الفرملة الديناميكية ويمكن ملاحظة أن الثايرستور "Q_2" يتم إطفاؤه طبيعيا عندما يتم تشغيل "Q_1" في كل دورة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل 4-18 مقطع التيار المستمر لعمل الفرملة بإعادة التوليد والفرملة الديناميكية معا

يمكن ملاحظة أن الدائرة التي تستخدم للتحكم في سرعة المحرك يكون فيها الجهد والتيار موجبان أي أنها تصلح للعمل في الربع الأول فقط (حالة التدوير الأمامي)، بينما في حالة الفرملة يكون الجهد موجب والتيار سالب أي أنها تصلح للعمل في الربع الثاني (حالة الفرملة الأمامية)، ويمكن الجمع بينهما في دائرة واحدة تصلح للعمل في حالتي التدوير الأمامي والفرملة الأمامية كما في شكل 4-19



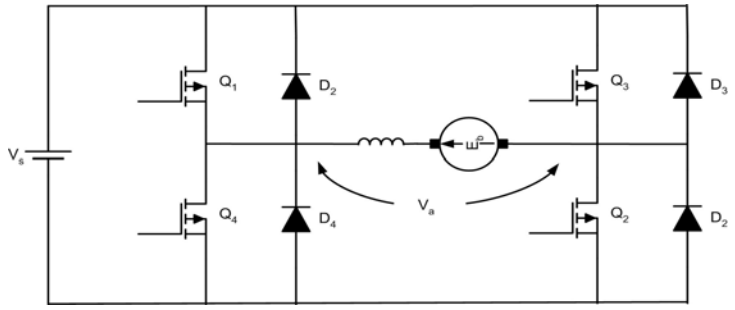
شكل 4-19 مقطع التيار المستمر للعمل في الربع الأول والثاني

فحالة التدوير الأمامي (أي العمل في الربع الأول) تتم باستخدام Q_1, D_1، فعند تشغيل Q_1 أي عندما يكون في حالة ON فإن جهد المصدر يتصل بأطراف المحرك وعندما يتحول Q_1 إلى حالة OFF فإن الدايود D_1 يعمل كدايود حذافة. أما حالة الفرملة بإعادة التوليد فتتم باستخدام $Q2, D_2$، فعند تشغيل Q_2 أي عندما يكون في حالة ON فإن المحرك يعمل كمولد ويزداد تيار المنتج ويتم تخزين الطاقة في الملفات وعندما يتحول Q_2 إلى حالة OFF فتتم إعادة الطاقة المخزنة إلى المصدر من خلال مرور التيار في D_2

في التطبيقات الصناعية تكثر الحاجة إلى عكس حركة المحركات الكهربائية المستخدمة وهذا يستلزم أن يكون المقطع المستخدم صالحاً للعمل في أربع حالات تدوير، في الربع الأول حيث الجهد والتيار موجبان (تدوير أمامي)، و في الربع الثاني حيث الجهد الموجب والتيار السالب (فرملة أمامية)، بينما في

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الربع الثالث حيث الجهد والتيار سالبان (تدوير عكسي)، أما في الربع الرابع والأخير يكون الجهد سالب والتيار موجب (فرملة عكسية). وشكل 4-20 يبين دائرة لمقطع من هذا النوع تستخدم للسيطرة على محرك للتيار المستمر.



شكل 4-20 مقطع التيار المستمر للعمل في أربع حالات تشغيل

- **أولا التدوير الأمامي**

يتم استخدام $Q_2$1Q , بينما Q_3, Q_4 في حالة OFF، عندما يكون Q_1, Q_2 في حالة ON فإن جهد المصدر يكون موصلا على أطراف المحرك ويزداد تيار المنتج وعندما يتحول Q_1 إلى الحالة OFF، بينما يستمر Q_2 في حالة ON فإن التيار يدور في المحرك من خلال Q_2 وD_4 (دايود حذافة).

- **ثانيا: الفرملة الأمامية**

في حالة ما يكون Q_1, Q_2, Q_3 في حالة OFF بينما Q_4 في حالة ON، فإن التيار يمر من خلال Q_4, D_2 ويتم تخزين الطاقة في الملفات ف إذا تحول Q_4 إلى حالة OFF، فإن الطاقة تعاد إلى المصدر من خلال D_1, D_2 وتتم الفرملة الأمامية بإعادة التوليد.

- **ثالثا التدوير العكسي**

يتم استخدام $Q_4$3Q , بينما Q_1, Q_2 في حالة OFF،عندما يكون Q_3, Q_4 في حالة ON فإن جهد المصدر يكون موصلا على أطراف المحرك عكس الجهد في حالة التدوير الأمامي ويزداد تيار المنتج وعندما يتحول Q_3 إلى الحالة OFF بينما يستمر Q_4 في حالة ON فإن التيار يدور في المحرك من خلال Q_4 وD_2 (دايود حذافة)

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

- **رابعا: الفرملة العكسية**

في حالة ما يكون Q_1, Q_3, Q_4 في حالة OFF بينما Q_2 في حالة ON فإن التيار يمر من خلال Q_2 وD_4 ويتم تخزين الطاقة في الملفات ف إذا تحول Q_2إلى حالة OFF فإن الطاقة تعاد إلى المصدر من خلال D_4, D_3 وتتم الفرملة العكسية بإعادة التوليد.

ويمكن ملاحظة أنه في حالة التدوير العكسي والفرملة العكسية فإن اتجاه المجال يجب أن يعكس لذا في حالة التغذية المنفصلة يجب مراعاة عكس اتجاه المجال في هاتين الحالتين.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

أسئلة وتمارين

السؤال الأول:

أ. وضح بالرسم فقط منحنيات كل من القدرة والعزم وتيار المنتج وتيار المجال وذلك عند التحكم في سرعة محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة من صفر إلى ضعف السرعة المقننة.

ب. ما هي طرق التحكم في سرعة محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة؟ ناقش مميزات وعيوب كل طريقة ثم بين كيفية استخدام الموحدات المحكومة لتنفيذ هذه الطرق.

السؤال الثاني:

ضع ✓ أو × أمام العبارات التالية. ثم اكتب العبارة الصحيحة:

الجهد الناتج من الموحد أحادي الوجه النصف محكوم يكون دائما موجب

يمكن استخدام الموحد أحادي الوجه النصف محكوم للعمل في الربع الأول والثاني

يمكن استخدام الموحد أحادي الوجه المحكوم للعمل في الربع الأول والثاني

يمكن استخدام الموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة للعمل في الربع الأول والثاني

يمكن استخدام الموحد ثلاثي الأوجه النصف موجة للعمل في الربع الأول والثاني

الموحد المزدوج أحادي الوجه يستخدم في الربع الأول والثالث فقط

الموحد المزدوج ثلاثي الأوجه يستخدم في جميع حالات التدوير المختلفة

السؤال الثالث:

يتم التحكم في محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق موحد أحادي الوجه نصف محكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال، وكان مصدر التيار المتردد جهده 208 V وتردده 60 Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.1 Ω ومقاومة ملفات المجال 150 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.1 V/A-rad/sec وعزم الحمل 75 Nm. عند سرعة 700 rpm. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

أ. احسب زاوية الإشعال في دائرة المنتج إذا كان تيار المجال أقصى ما يمكن.

ب. احسب أقصى سرعة يمكن الحصول عليها عن طريق جهد المنتج.

ت. إذا أريد زيادة السرعة إلى 1400 rpm اقترح الطريقة المناسبة و احسب القيم التي تغيرت لتحقيق ذلك.

السؤال الرابع:

يتم التحكم في محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق موحد أحادي الوجه محكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال وكان مصدر التيار المتردد جهده 440 V وتردده 60 Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.2 Ω ومقاومة ملفات المجال 200 Ω وثابت الجهد للمحرك

1.35 V/A-rad/sec وكان تيار المنتج .50 Amp وزاوية الإشعال في دائرة المنتج 60^{o}. وضبط تيار المجال ليكون أقصى ما يمكن أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات:

أ. احسب العزم المتولد وسرعة المحرك

ب. إذا قل العزم بمقدار 20% احسب سرعة المحرك

ت. إذا عكس اتجاه تيار المجال احسب زاوية الإشعال في دائرة المجال وكذا زاوية الإشعال في دائرة المنتج للحفاظ على قيمة تيار المنتج كما في الحالة "ب" ثم احسب القدرة المستردة للمصدر

السؤال الخامس:

أ. اذكر بعض التطبيقات الصناعية التي يستخدم فيها مقطع التيار المستمر

ب. ارسم الدائرة التخطيطية التي توضح كيفية استخدام مقطع التيار المستمر للتحكم في محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة.

ت. اشرح كيفية استخدام مقطع التيار المستمر للتحكم في محرك التوالي، وارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات الجهد والتيار.

ث. اذكر طرق عمل الفرملة لمحرك التيار المستمر باستخدام مقطع التيار المستمر واشرح اثنين منها بالتفصيل.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

ج. اشرح مستعينا بالرسم كيفية استخدام مقطع التيار المستمر للتحكم في محرك التيار المستمر وعمل الفرملة بإعادة التوليد.

السؤال السادس:

محرك تيار مستمر من نوع التوالي يتم تغذيته من مصدر تيار مستمر جهده 600 V من خلال مقطع تيار مستمر نسبة تشغيله 0.6 ومقاومة ملفات المنتج 0.03 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.05 Ω وثابت الجهد للمحرك 0.031V/A-rad/sec وكان تيار المنتج 70 A. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن تيار المنتج متصل وخال من التذبذبات.

أ. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد

ب. احسب سرعة المحرك والقدرة المسحوبة من المصدر

ت. احسب العزم المتولد

ث. إذا أريد زيادة سرعة المحرك بنسبة 20% احسب نسبة التشغيل الجديدة والقدرة المسحوبة من المصدر في هذه الحالة

السؤال السابع:

يتم التحكم في محرك تيار مستمر من نوع التوالي باستخدام مقطع تيار مستمر "DC chopper" ف إذا كان مصدر التيار المستمر ذا جهد 660 V ومقاومة ملفات المنتج 0.03 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.05 Ω وثابت الجهد للمحرك 0.035V/A-rad/sec . و كان المطلوب المحافظة على قيمة العزم المتولد ليكون 547 Nm اعتبر تيار المنتج متصلاً و خالياً من التذبذبات:

أ. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد

ب. احسب قيمة تيار المنتج

ت. ارسم العلاقة بين كل من نسبة تشغيل مقطع التيار وسرعة المحرك

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

السؤال الثامن :

يتم عمل فرملة بإعادة التوليد لمحرك تيار مستمر من نوع التوالي باستخدام مقطع للتيار المستمر وكان جهد المصدر 660 V ، ومقاومة ملفات المنتج 0.02 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.03 Ω وثابت الجهد للمحرك 0.016V/A-rad/sec وكانت القيمة المتوسطة لجهد المنتج 250 V تيار المنتج 250 A. ، أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن تيار المنتج متصل وخال من التذبذبات.

أ. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد

ب. احسب نسبة تشغيل مقطع تيار والقدرة المعادة إلى المصدر وسرعة المحرك

ت. القيمة العظمى والصغرى لسرعة المحرك لعمل الفرملة بإعادة التوليد

السؤال التاسع :

يتم عمل فرملة ديناميكية على محرك تيار مستمر من نوع التوالي باستخدام مقطع تيار مستمر "DC chopper" ومقاومة قيمتها 5. Ω ف إذا كانت مقاومة ملفات المنتج 0.03 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.05 Ω و كان ثابت الجهد للمحرك .14mV/A.rad/sec وكانت القيمة المتوسطة لتيار المحرك 350A ونسبة تشغيل مقطع التيار 60% اعتبر تيار المنتج متصلاً و خالياً من التذبذبات . ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد ثم احسب:

أ. الجهد المتوسط على المقطع

ب. القدره المستهلكة في المقاومة

ت. سرعة المحرك

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

آلات كهربائية للأجهزة الطبية (نظري)

محركات الخطوة

اسم الوحدة: محركات الخطوة

الجدارة: معرفة أنواع وتركيب وخواص محركات الخطوة وطرق بدء حركتها واستخداماتها.

الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

1. معرفة تركيب وكيفية عمل الأنواع المختلفة من محركات الخطوة.
2. معرفة استخدامات محركات الخطوة.
3. معرفة دوائر التحكم الا لكترونية للأنواع المختلفة من محركات الخطوة
4. فهم كيفية تحليل المجال المغناطيسي لمحركات الخطوة.

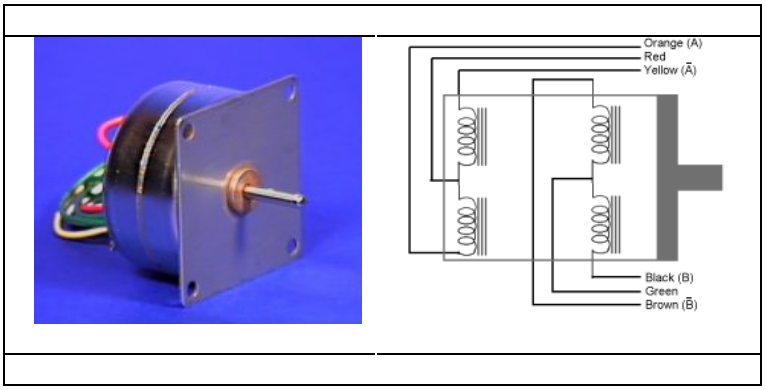
الوقت المتوقع للتدريب: 4 ساعات.

متطلبات الجدارة: مقرر هندسة كهربية.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

1-5 محركات الخطوة Stepping Motors

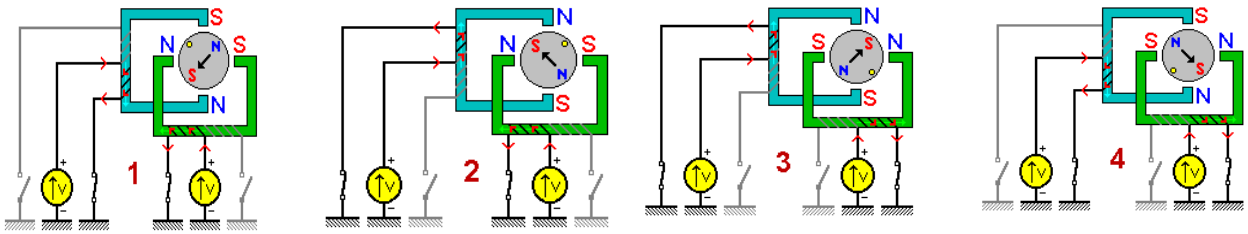
تستخدم محركات الخطوة في حالة الحاجة لأجهزة تعمل بحركة دورانية في صورة انحراف زاوي ثابت و يمكن ربطها مع الحاسب الآلي أو المعالجات الدقيقة، التي تستطيع التحكم فيه لأداء وظائف محدده، وتطبيقات كثيرة لا حصر لها في الصناعة والأجهزة الطبية و المعدات الرقمية.



شكل 5-1 تركيب محرك الخطوة

1-1-5 طريق عمل محرك الخطوة

يتكون محرك الخطوة من العضو الثابت و يمكن إثارته مغناطيسيا بواسطة ملفات مستقلة (Phases) بحيث تكون الأقطاب المتجاورة مختلفة في قطبيتها عن بعضها البعض كما هو مبيت في شكل 5-1 أما شكل 5-2 فيوضح طريقة عمل محرك الخطوة حيث يدور العضو المتحرك حسب إثارة العضو الثابت في محرك الخطوة.



شكل 5-2 طريقة عمل محرك الخطوة

هناك أنواع كثيرة من محركات الخطوة، ولكن يمكن تقسيمها إلى نوعين رئيسيين:

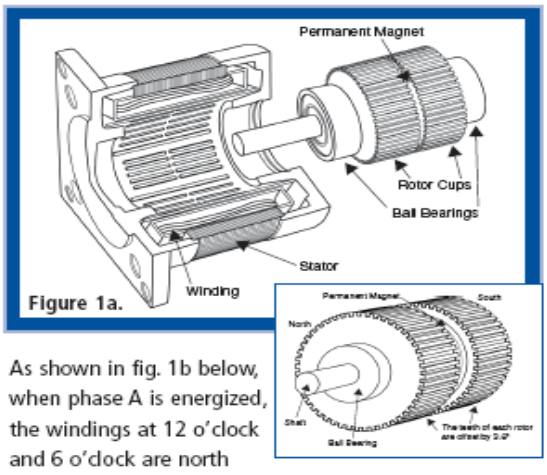
- محركات الخطوة ذات الممانعة المغناطيسية المتغيرة
- *محركات الخطوة ذات الأقطاب المغناطيسية الدائمة*

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

2-5 محركات الخطوة ذات المانعة المغناطيسية المتغيرة Variable Reluctance Motors:

1-2-5 تركيب محرك خطوة ذو المانعة المتغيرة

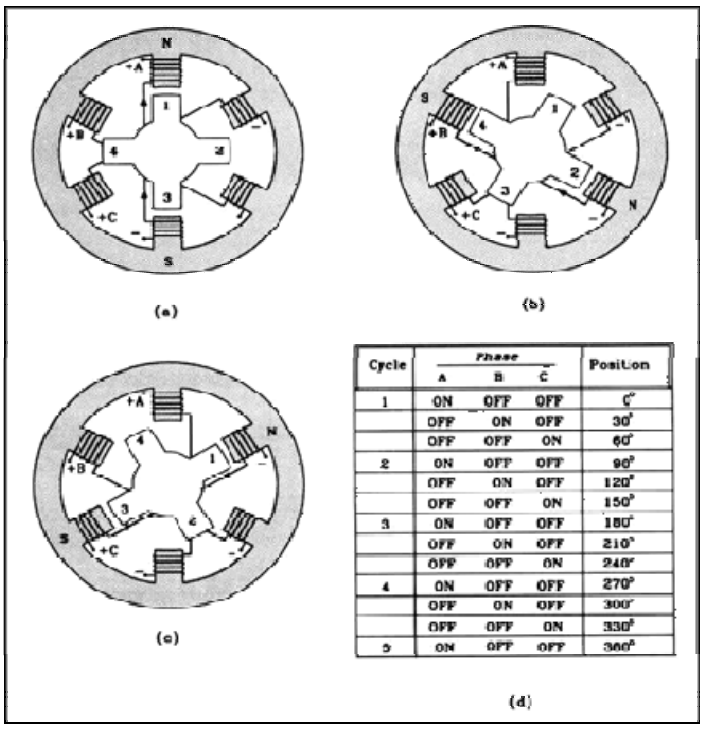
العضو الثابت لمحرك الخطوة ذو المانعة المتغيرة مجزأ على طول محوره إلى عدة مجموعات من الأقطاب (Stacks)، المستقلة مغناطيسيا عن بعضها البعض، كل مجموعة من الأقطاب، يمكن إثارتها مغناطيسيا بواسطة ملفات مستقلة (Phases) ، كل مجموعة (Stack) من مجموعات العضو الثابت، ملفوفة بملفات كي تعطي مجال مغناطيسي في اتجاه قطر المحرك، حيث تكون الأقطاب المتجاورة مختلفة في قطبيتها عن بعضها البعض. شكل 5- 3 يوضح قطاع في أحد محركات الخطوة ذات المانعة المتغيرة يحتوي عى ثلاث مجموعات على عضوه الثابت. ولايحتوي العضو الثابت على أي نوع من الأقطاب المغناطيسية الدائمة.



شكل 5-3 قطاع في محرك خطوة ذو المانعة المتغيرة

الشكل 5-3 يوضح تركيب محرك خطوة ذو المانعة المتغيرة، المحرك يحتوي على عضو دوار ذوعدة أسنان، وعضو ثابت ذو مجموعتين من الأقطاب على طول العضو الدوار. كل مجموعة مستقلة تماما بدوائرها المغناطيسية عن المجموعات الأخرى. الشكل 5-4 يبين نوع ثاني من محرك خطوة ذو المانعة المتغيرة (اربعة أسنان و ثلاث مجموعات).

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



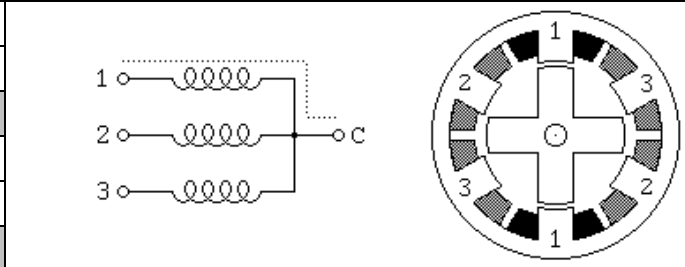
شكل 5-4 محرك الخطوة ذو الممانعة المتغيرة.

5-2-2 طريقة عمل محرك الخطوة ذو الممانعة المتغيرة

عند تغذية ملفات المجموعة "1 "بتيار مستمر ،فإن أسنان العضو الدائر تتجه وتثبت بحيث تكون محاورها منطبقة مع محاور أقطاب المجموعة "1 "للعضو الثابت, ،حيث أن المجموعة "2 "تشبه المجموعة "1 "من جميع الوجوه ،ما عدا أنها مختلفة معها في الزاوية بمقدار ثلاثين درجة ضد اتجاه عقارب الساعة ، فإذا فصلت ملفات المجموعة "1 "وغذيت ملفات المجموعة "2 "بتيار مستمر ،فأن المحرك سيولد عزم دوران يدفع الدوار ثلاثون درجة في اتجاه عقارب الساعة، ويثبت بحيث تكون محاور الدوار منطبقة مع محاور المجموعة "2 ."المجموعة "3 "أيضا لها أقطاب مختلفة في الزاوية بمقدار ثلاثين درجة ضد اتجاه عقارب الساعة ،بالنسبة للمجموعة "2"، فعند فصل ملفات المجموعة"2" وتغذية ملفات المجموعة"3" ،فأن المحرك سيولد عزم دوران يدفع الدوار ثلاثون درجة أخرى في اتجاه عقارب الساعة، ثم تكرر العملية بتغذية ملفات المجموعة "1 "من جديد وهكذا .إعادة تكرار هذا الترتيب 1- 2- 3- 1(من اليمين إلى اليسار). □

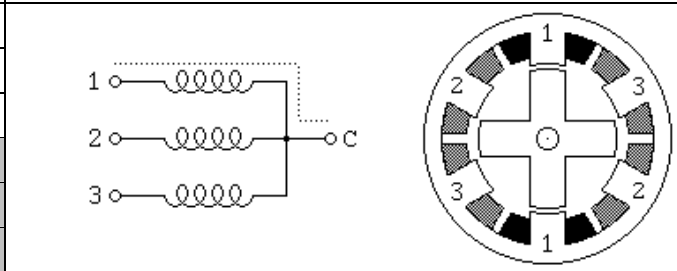
موجات الجهد الموصل مع مجموعات الثابت مبينة في الشكل 5-5 في حالة دوران المحرك ضد و مع عقارب الساعة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

دوران المحرك ضد عقارب الساعة.				دوران المحرك مع عقارب الساعة.		
3	2	1		3	2	1
+						+
	+				+	
		+		+		
+						+
	+				+	
		+		+		
+						+

شكل 5-5 موجات الجهد في حالة دوران المحرك ضد ومع عقارب الساعة

يمكن للمحرك أن يخطو بنصف خطوة إذا اتبعنا التسلسل المنطقي التالي:

دوران المحرك ضد عقارب الساعة.				دوران المحرك مع عقارب الساعة.		
3	2	1		3	2	1
		+				+
+		+			+	+
+					+	
+					+	+
+					+	
		+		+		+
		+		+		

الجدول 5-6 التسلسل المنطقي لتتابع تغذية الأوجه بحيث يخطو المحرك بنصف خطوة مع عقارب الساعة و عكسها

موجات الجهد الموصل مع مجموعات الثابت في حالة دورات المحرك بنصف خطوة ضد عقارب الساعة مبينة بالشكل 5-6

حساب خطوة المحرك:

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

إذا كان عدد المجموعات "Stacks" هو N وعدد أسنان (أقطاب) الدوار هو p فأنه يمكن حساب خطوة المحرك θ من العلاقة الآتية $\theta = \frac{360}{N \times p}$

بالنسبة للمحرك المبين في الشكل 6-6 فأن خطوته 30 درجة عند تطبيق هذه المعادلة هو

$$\theta = \frac{360}{N \times p} = \frac{360}{3 \times 4} = 30 \qquad \textbf{5-1}$$

3-2-5 محركات الخطوة ذات الأقطاب المغناطيسية الدائمة على طول المحور الدوار:

يمكن زيادة العزم المتولد من محرك الخطوة باستخدام مغناطيسات دائمة قوية على العضو الدوار، فالمحرك في هذه الحالة مزود بوسيلة دائمة على الدوار لتأثيث مجال مغناطيسي قوي ذو قيمة ثابتة، الشكل 6-8 يوضح محرك من هذا النوع ذو مجموعة من أربعة أقطاب على عضوه الثابت، والدوار يتكون من ثمانية أقطاب مغناطيسية دائمة على شكل اسطوانة دائرية.

Half Stepper Motor Full Stepper Motor

شكل 5-8 محرك خطوة ذو أقطاب مغناطيسية دائمة

1-3-2-5 محركات الخطوة الكاملة: Full Stepper Motor

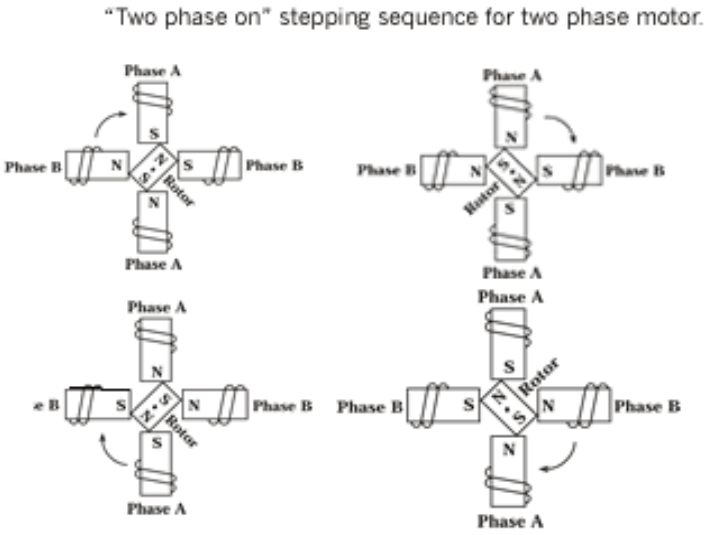
في هذه الحالة عند تغذية المجموعة 'A' بتيار مستمر، تتحد محاور أقطاب الدوار مع محاور أقطاب المجموعة 'A'، بحيث يتجاذب كل قطبين مختلفين، ويثبت الدوارعلى هذا الوضع الموضح بالشكل 6-9. عند فصل المجموعة 'A' وتغذية المجموعة 'B' بتيار مستمر، يخطو الدوار 45 درجة (خطوة كاملة) في عكس اتجاه عقارب الساعة، لتتحد محاور أقطابه مع محاور أقطاب المجموعة 'B' ، ويثبت الدوار أيضا في هذا الوضع الموضح في الشكل 6- 9. عند إثارة المجموعة 'A' مرة أخرى ولكن بعكس القطبية السابقة، يتابع الدوار دورانه بخطوة أخرى، ضد عقارب الساعة وهكذا، ويصبح تتابع المجموعات A,B,A-,B-,A,.... ، كما هو مبين بجدول التسلسل المنطقي للمحرك

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

Index	1a	1b	2a	2b
1	1	0	0	1
2	1	1	0	0
3	0	1	1	0
4	0	0	1	1
5	1	0	0	1
6	1	1	0	0
7	0	1	1	0
8	0	0	1	1

Clockwise Rotation

Alternate Full Step Sequence
(Provides more torque)



الشكل 5-9 دوران المحرك بخطوة كاملة مع التوصيل

5-2-3-2 محركات نصف الخطوة: Half Stepper Motor

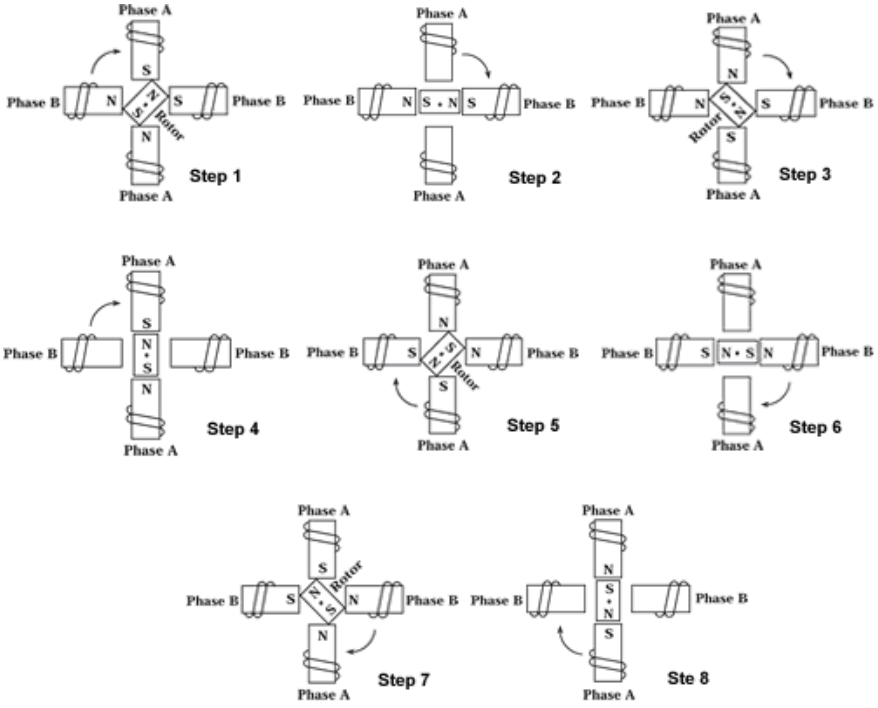
يمكن تشغيل المحرك بنصف خطوة إذا تم إتباع التسلسل المنطقي في الشكل 6- 10 حيث موجات الجهد الموصل مع المجموعتين (A&B) في حالة دوران المحرك بنصف خطوة ضد عقارب الساعة. كما يمكن تشغيل المحرك في اتجاه عقارب الساعة، بخطوة كاملة أو بنصف خطوة، إذا تم عكس ترتيب تسلسل تغذية مجموعات العضو الثابت.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

Index	1a	1b	2a	2b
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1
9	1	0	0	0
10	1	1	0	0
11	0	1	0	0
12	0	1	1	0
13	0	0	1	0
14	0	0	1	1
15	0	0	0	1
16	1	0	0	1

Clockwise Rotation

Half Step Sequence



Half-stepping – 90° step angle is reduced to 45° with half-stepping.

شكل 5-10 دوران المحرك بنصف خطوة مع التوصيل

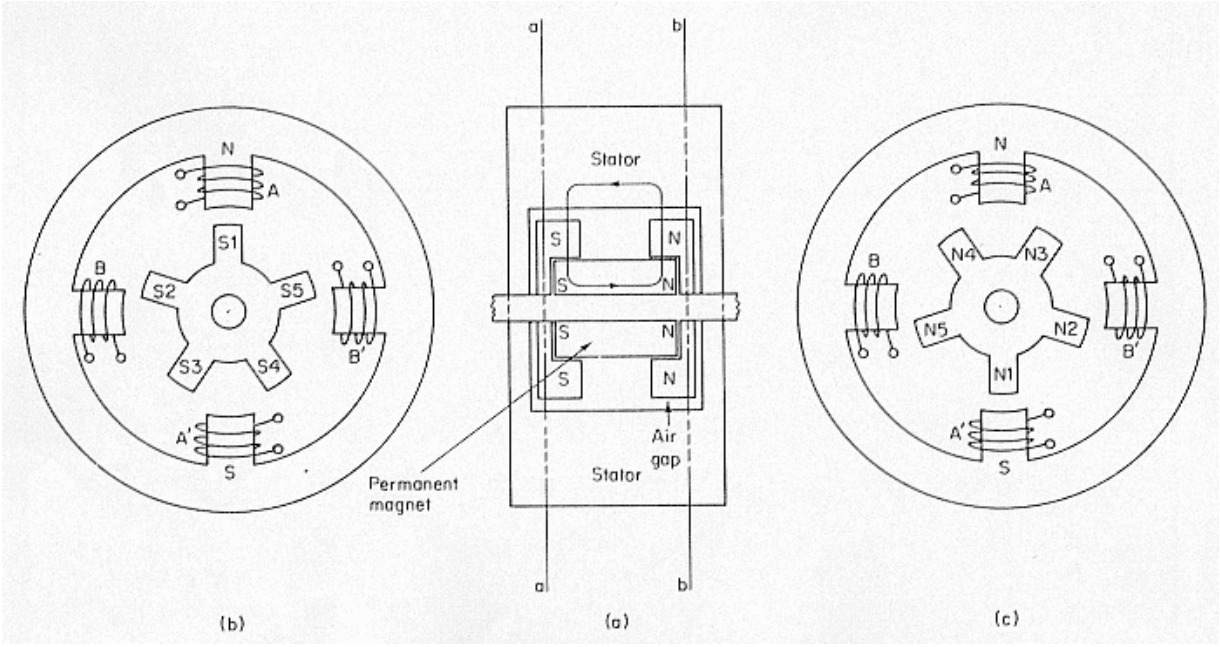
3-5 محركات الخطوة الهجين: Hybrid stepper motor

شكل 5-11 محرك الخطوة من النوع الهجين

هذا النوع من المحركات يجمع بين مزايا محرك الخطوة ذي الممانعة المتغيرة و محركات الخطوة ذات الأقطاب المغناطيسية الدائمة. وتركيبها كما هو في الشكل 5- 11 ، القطب الثابت مكون من مجموعتين، كل مجموعة مكونة من قطبين، ملفات أقطاب المجموعة الواحدة موصلة على التوالي، لتُكون عند تغذيتها بتيار مستمر قطب شمالي وآخر جنوبي. الدوار مثبت عليه مغناطيس دائم في اتجاه محوره، يوجد على كل طرف من أطراف الدوار قطعة من الحديد، بها عدة أسنان، بحيث تكتسب

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

جميع الأسنان عند أحد طرفي الدوار قطبية مغناطيسية شمالية، وتكتسب الأسنان التي عند الطرف الآخر للدوار قطبية جنوبية، مجموعة الأقطاب الشمالية مرتبة بحيث تنحرف بنصف خطوة، عن مجموعة الأقطاب الجنوبية. التناظر بين أي من مجموعات الثابت وكل من مجموعتي أقطاب الدوار، يجعل من الواضح أن تسلك كل مجموعة أقطاب للدوار السلوك نفسه مع أحد قطبي الثابت، أي أنه عند تغذية المجموعة (A-A′)، فأن العلاقة بين القطب الشمالي A ومجموعة الأقطاب الجنوبية للدوار، هي نفس العلاقة بين القطب الجنوبي A′ ومجموعة الأقطاب الشمالية للدوار، ويمكن ذكر العلاقة نفسها عند تغذية المجموعة (B-B′)

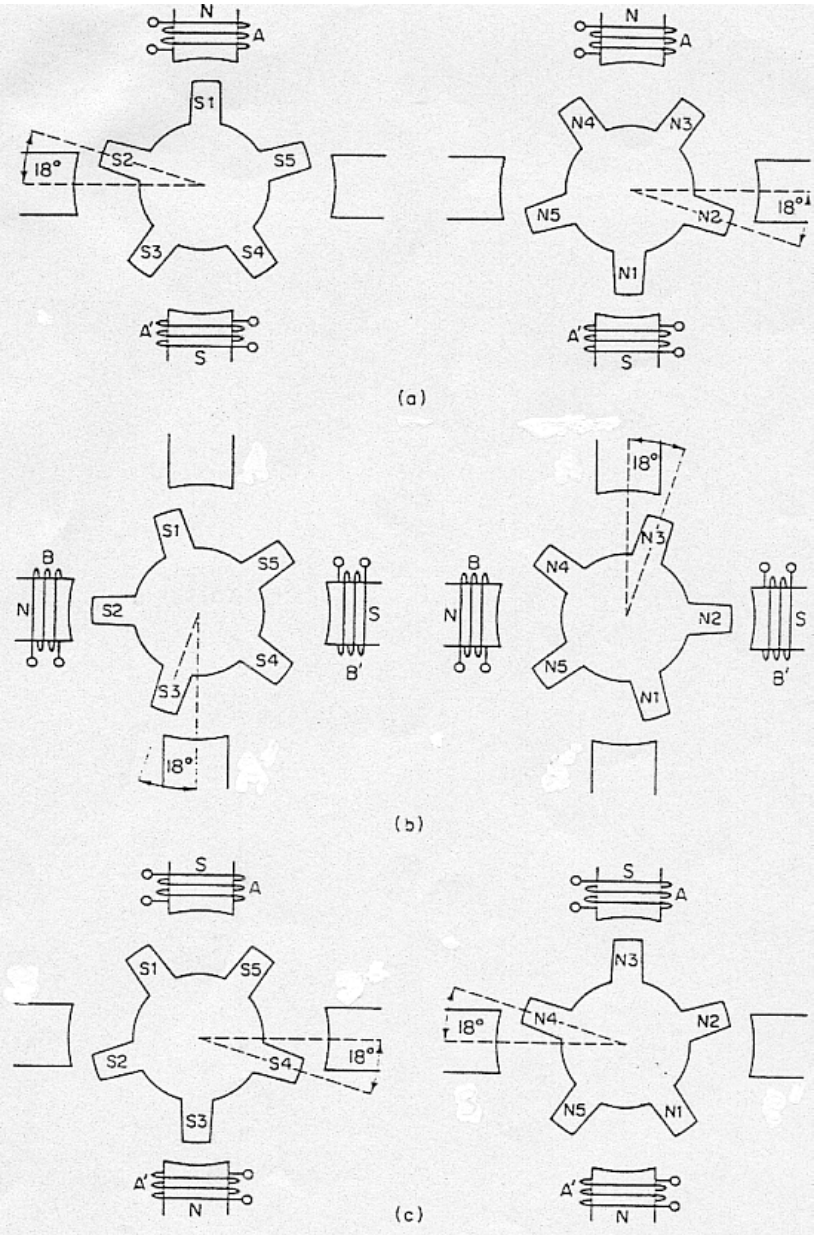


شكل 5-12 محرك الخطوة من النوع الهجين

لكي يخطو المحرك خطوة محددة، ويثبت في وضع محدد بدقة، يمكن فهمها بفحص الرسومات التوضيحية في الشكل 5-13 . نقطة البداية عندما تغذي المجموعة (A-A′) بالتيار المستمر في الاتجاه الموجب، أي أن يكتسب القطب (A) قطبية شمالية والقطب المقابل له (A′) قطبية جنوبية، بينما تظل المجموعة (B-B′) بدون تغذية، يتخذ الدوار الوضع المبين في الشكل ويظل مستقرا في هذا الوضع، طالما استمرت تغذية المجموعة (A-A′)، فإذا فصلت المجموعة (A-A′) وغذيت المجموعة (B-B′) بقطبية موجبة، أي بحيث يكون القطب (B) قطب شمالي، والقطب (B′) قطب جنوبي، فسيخطو الدوار خطوة كاملة ثمانية عشرة درجة (18°) ضد اتجاه عقارب الساعة، ويستقر في الوضع المبين في الشكل 5-13 يخطو المحرك خطوة آخري ضد عقارب الساعة إذا فصلت المجموعة (B-B′) ووصلت

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

المجموعة (A-A′) مرة آخري ولكن بقطبية سالبة الشكل 5-13 وهكذا.



شكل 5-13 كيفية عمل محرك الخطوة الهجين

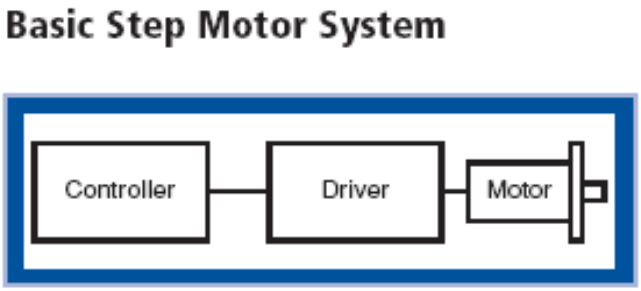
5-4 دوائر التحكم في محركات الخطوة Stepper Motor Drive Circuits

تتكون الدوائر الإلكترونية للتحكم في محركات الخطوة من عنصرين اساسيين كما هو مبين في الشكل شكل 5-14: وهما

- دائرة التحكم (دائرة منطقية أو حاكم دقيق) Microcontroller

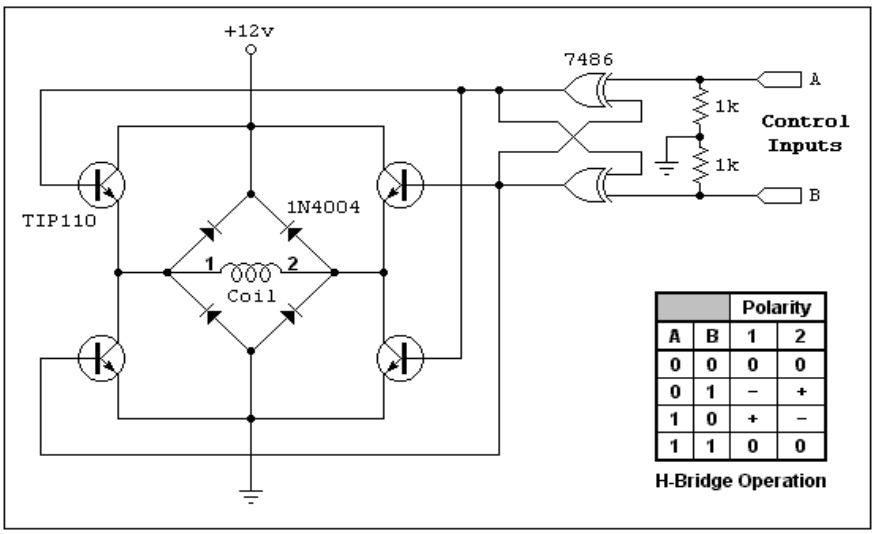
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

- دائرة الكترونيات القوى Driver



شكل 5-14 عملية التحكم

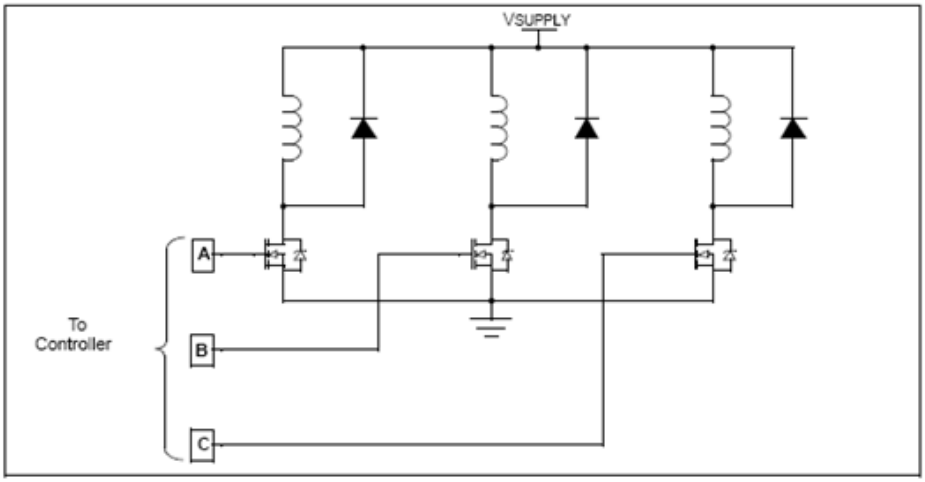
من انواع دوائر التحكم الإلكترونية باستعمال اربع ديودات مع قلاب كما هو مبين في الشكل التالي و ما يسمى بقنطرة H-bridge



شكل 5-15 قنطرة H-bridge

5-4-1 دوائر التحكم في محرك الخطوة ذو الممانعة المتغيرة

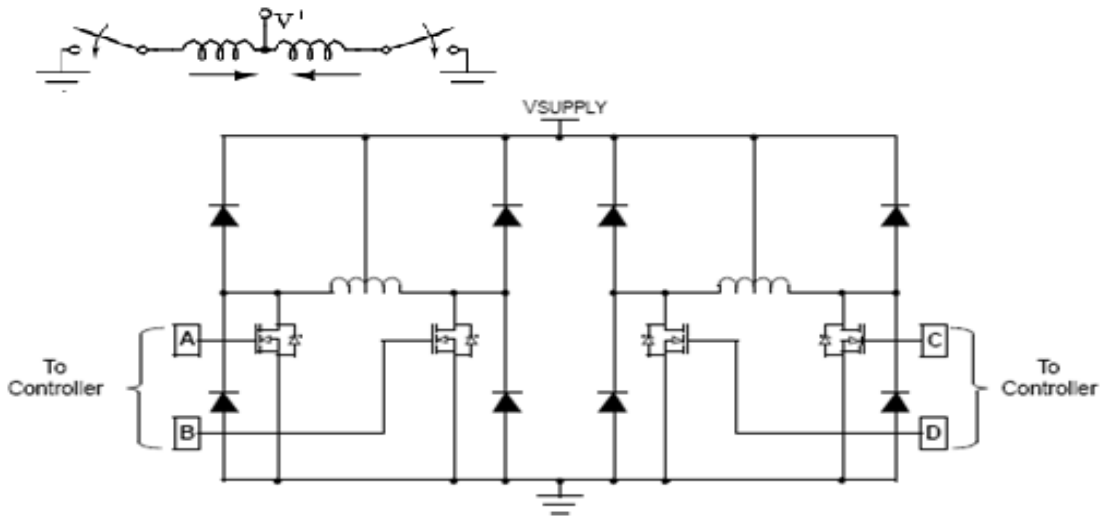
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل 5-16 دوائر التحكم في محرك الخطوة ذو المانعة المتغيرة

محركات الخطوة ذو المانعة المتغيرة يتكون من عدة ملفات من ثلاثة الى خمسة. تكونوا هذه الملفات في حالة تغذية او منفصلة يطريقة منطقية لتشغيل المحرك. الشكل 5-16 يبين احد الدوائر لتشغيل هذا النوع من المحركات. الديودات الصغيرة تحمي الطرنزيسطور MOSFET لحمايتة عند فصله من التيار.

5-4-2 دوائر التحكم في محرك الخطوة ذو القطب الواحد Unipolar

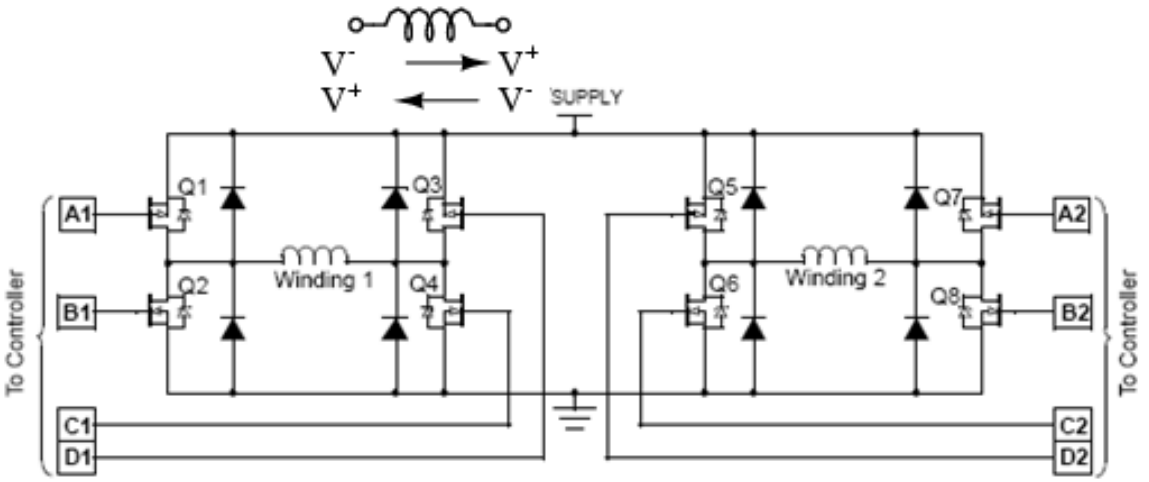


شكل 5-17 دوائر التحكم في محرك الخطوة ذو القطب الواحد

هذا النوع من الدوائر شبيه بدوائر تحكم محركات الخطوة ذو المانعة المتغيرة

5-4-3 دوائر التحكم في محرك الخطوة ذو القطبين Bipolar

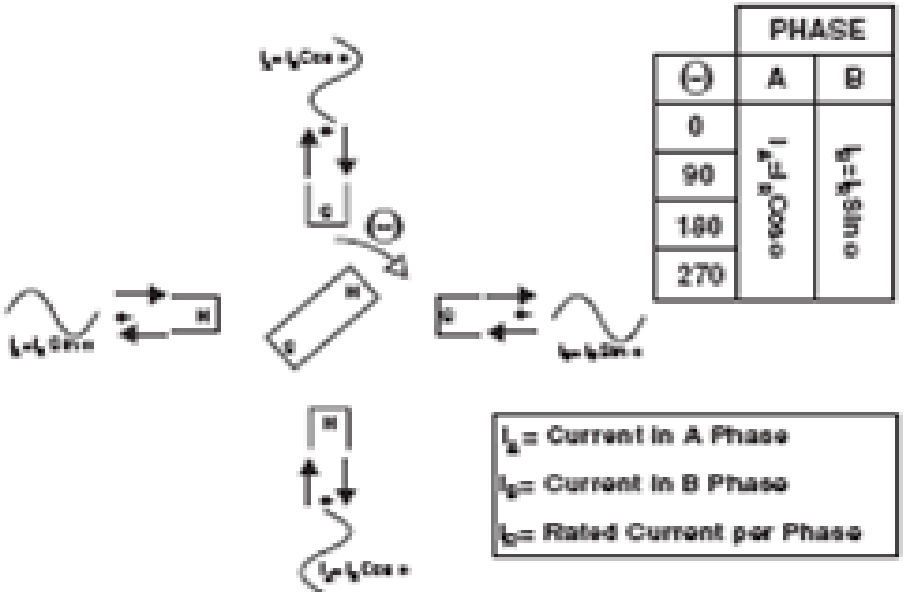
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل 5-18 دوائر التحكم في محرك الخطوة ذو القطبين

5-4-4 دوائر التحكم في محرك ذي الخطوات الدقيقة Microstepping

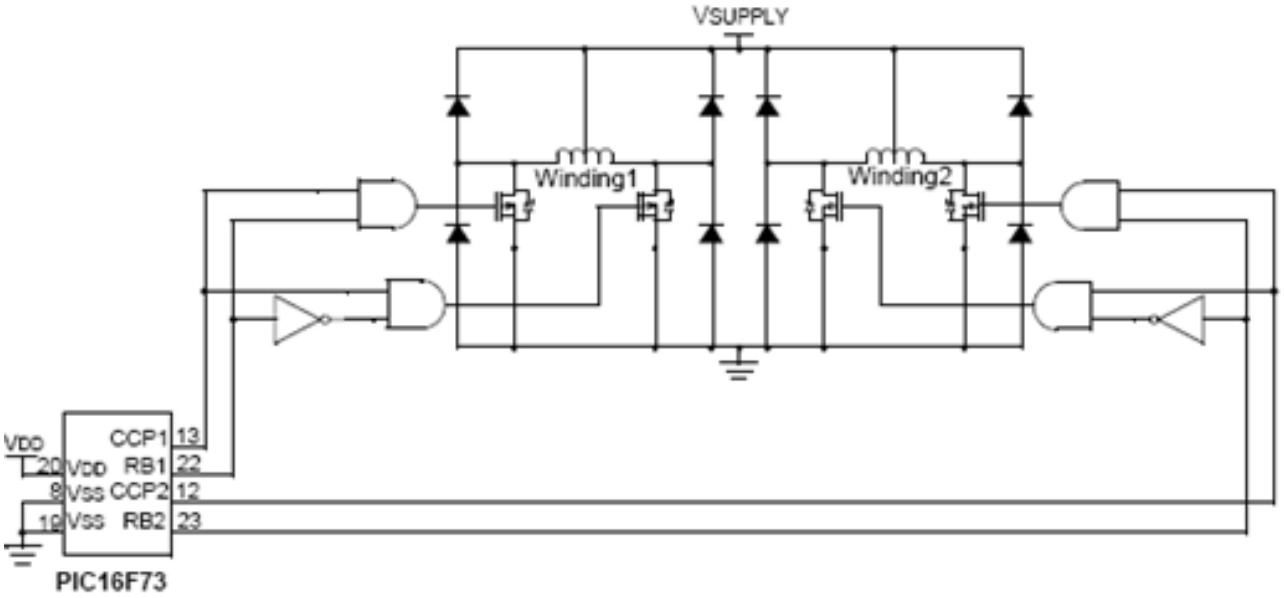
تستعمل هذه المحركات في حالة الحاجة الى دقة كبيرة في السرعة والزاوية وذلك بالتحكم في تدفق التيار في الملفات كما هو مبين في الشكل 5-19.



شكل 5-19 طريقة عمل محرك ذي الخطوات الدقيقة

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

يمكن استعمال الحاكمات الدقيقة Microcontroller للتحكم في هذا النوع من المحركات كما هو في الشكل 5-20.



شكل 5-20 استعمال الحاكمات الدقيقة

إختبارذاتي : أختر الإجابة أو الإجابات الصحيحة

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

س1 : في المحركات متدرجة الحركة ذات الممانعة المغناطيسية المتغيرة .....

أ. يتركب الدوار من اسطوانة دائرية.

ب. يتركب الدوار من اسنان بارزة.

ج. توجد ملفات متغيرة علي الدوار

د. توجد ملفات متغيرة علي الثابت.

س2 : في المحركات متدرجة الحركة ذات الأقطاب المغناطيسية المتغيرة .....

أ. توجد أقطاب مغناطيسية دائمة علي الدوار.

ب. توجد أقطاب مغناطيسية دائمة علي الثابت.

ج. توجد أقطاب مغناطيسية دائمة علي كل من الثابت والدوار.

د. توجد ملفات دائمة علي الدوار.

س3 : في محركات الممانعة المتغيرة يجب أن يكون عدد مجموعات الثابت .....

أ. مجموعتين فقط.

ب. ثلاث مجموعات فقط.

ج. أكثر من مجموعتين.

د. أكثر من ثلاث مجموعات.

س4 : يتم تغذية مجموعتين من مجموعات الثابت لمحرك الخطوة في نفس الوقت بالتتالي وذلك .....

أ. لعكس اتجاة دوران المحرك.

ب. للحصول على عزم أكبر.

ج. لدوران المحرك بخطوة كاملة.

د. لدوران المحرك بنصف خطوة.

س5 : مجموعات العضو الثابت لمحرك الخطوة ملفوفة بملفات كي تعطي مجال مغناطيسي بحيث تكون

أ. جميع الأقطاب لها نفس القطبية.

ب. الأقطاب المتجاورة لها نفس القطبية.

ج. الأقطاب المتجاورة مختلفة في قطبيتها.

أسئلة وتمارين متنوعة:

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

س 1 : كيف يمكن التفريق بين محركات الخطوة ذات الممانعة المتغيرة وذات الأقطاب الدائمة.

س 2: كيف تحسب خطوة محرك الخطوة.

س 3 : اذكر أمثلة لاستخدامات المحركات متدرجة الحركة.

س 4: كيف يتم عكس إتجاه دوران محرك الخطوة.

س 5 : إوصف مع الرسم شكلين مخلفين من اشكال محركات الخطوة ذات الممانعة المتغيرة.

س 6 : إوصف مع الرسم شكلين مخلفين من اشكال محركات الخطوة ذات الأقطاب الدائمة.

تمرين 5- 1 : محرك الخطوة المبين بالشكل 5-21 من النوع ذو الممانعة المغناطيسية المتغيرة، العضو الثابت يحتوي علي أربع مجموعات من الأقطاب، كل مجموعة بها قطبين، الدوار يحتوي علي ست أسنان، المطاوب:

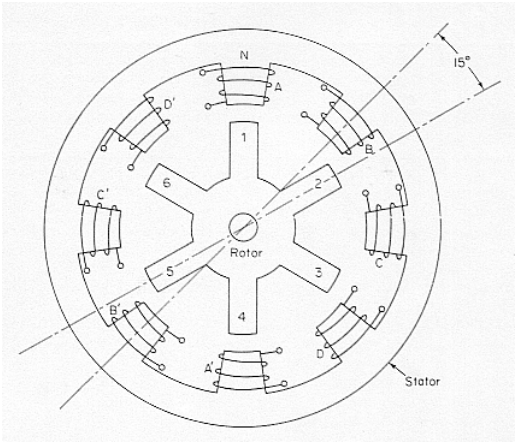
أ. حساب خطوة المحرك.

ب. التسلسل المنطقي لتغذية المجموعات، بحيث يدور المحرك مع عقارب الساعة، بخطوة كاملة.

ج. التسلسل المنطقي لتغذية المجموعات، بحيث يدور المحرك مع عقارب الساعة، بنصف خطوة.

د. موجات الجهد المغذي للمجموعات في الحالتين ب، ج.

ه. هل يمكن استبدال الدوار بآخر، ذو أقطاب مغناطيسية دائمة؟ ولماذا؟



شكل 5-21

تمرين 5- 2: للمحرك متدرج الحركة من النوع الهجين، المبين بالشكل 6-22 ، أوجد:

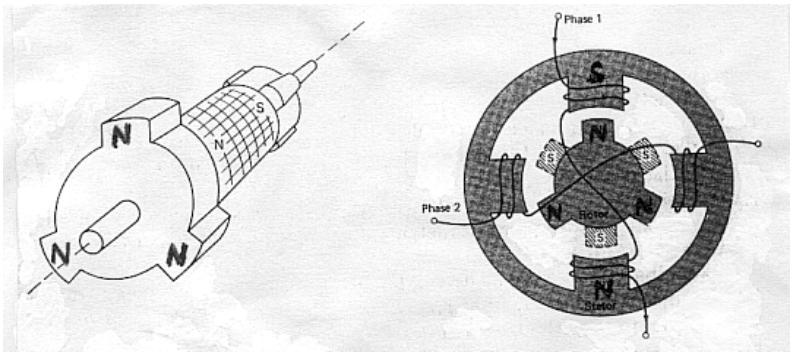
أ. خطوة المحرك

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

ب. الجدول المنطقي لحركة المحرك بخطوة كاملة ضد عقارب الساعة، وموجات الجهد الموصل بالمجموعات.

ج. اثبت أن الدوار متزن بالوضع المبين بالشكل.

د. أحسب قيمة العزم المتولد، عند فصل المجموعه 1 وتغذية المجموعة 2، بدلالة أقصي عزم.



شكل 5-22

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

آلات كهربائية للأجهزة الطبية (نظري)

المحركات الحثية

اسم الوحدة: المحركات الحثية أحادية الوجه

الجدارة: معرفة أنواع وتركيب وخواص المحركات الحثية أحادية الوجه وطرق بدء حركتها واستخداماتها.

الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

5. معرفة تركيب وكيفية عمل الأنواع المختلفة من المحركات الحثية أحادية الوجه.
6. معرفة استخدامات المحركات الحثية أحادية الوجه.
7. التمييز بين الطرق المختلفة لبدء الحركة ومميزات كل منها.
8. معرفة منحنيات الخواص لانواع المحركات الحثية أحادية الوجه.
9. فهم كيفية تحليل المجال المغناطيسي إلي مجالين دوارين كأساس لحساب العزم المتولد.
10. حساب العزم والمفقودات والكفاءة للمحركات الحثية أحادية الوجه.

الوقت المتوقع للتدريب: 4 ساعات.

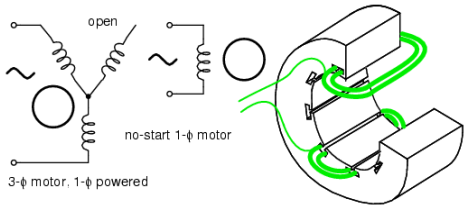
متطلبات الجدارة:

مقرر هندسة كهربية.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

6-1 نظرية عمل المحركات الحثية

تتركب المحركات الحثية أحاديه الوجه، من العضو الثابت، وعضو دوار ذو قفص سنجابي، الملفات أحادية الوجه موزعة في مجاري العضو الثابت، بطريقة تجعلنا نحصل على منحني جيبي، لكثافة الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية. ليس لهذه المحركات عزم لبدء الحركة، ولكن إذا بدأت حركتها بأي وسيلة مساعدة فسوف تستمر في الدوران في نفس اتجاه الدوران الذي بدأت فيه.

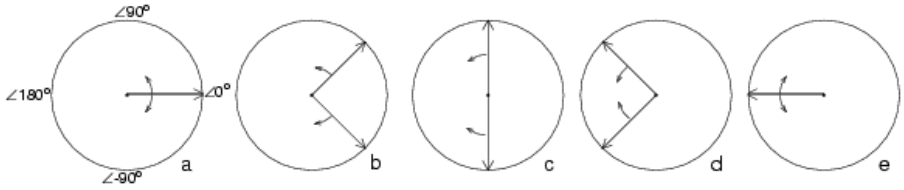


شكل 6-1 كيفية تحليل

القوة الدافعة المغناطيسية تولد مجالا مغناطيسيا، له نفس خواص التوزيع الجيبي في الثغرة الهوائية، والتناسب الجيبي مع الزمن، ويمكن تمثيله رياضيا بالمعادلة (6-1)

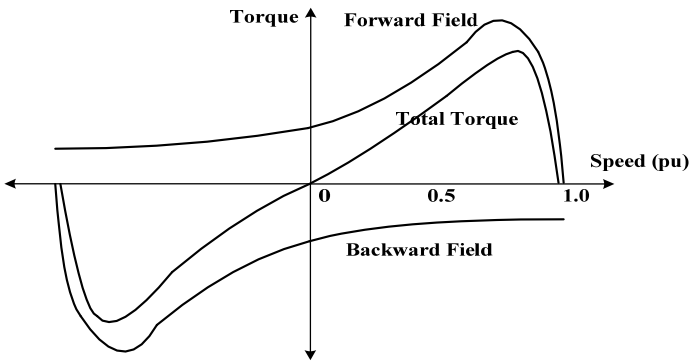
$$B_1 = B_{1\max}\cos(\omega t).\cos\theta = \tfrac{1}{2} B_{1\max}\cos(\theta-\omega t) + \tfrac{1}{2} B_{1\max}\cos(\theta+\omega t) \qquad 6\text{-}1$$

حيث يمثل الحد الأول المعادلة 6-1 مجالا مغناطيسيا جيبياً دائرا ذو كثافة عظمي ½ B_{1max}، كما يمثل الحد الثاني مجالا مغناطيسيا جيبياً دائرا آخر بنفس الكثافة العظمي، ويدور المجالين في اتجاهين متضادين بنفس السرعة الزاوية ω حول محيط الثغرة الهوائية كما هو مبين في الرسم التوضيحي في الشكل 6-2.



شكل 6-2: كيفية تحليل المجال النابض إلى مجالين دوارين متضادين

من منحني العلاقة بين العزم والسرعة، لكل من المجالين، نستطيع الحصول على منحني خواص المحرك الحثي أحادي الوجه، كما هو مبين بالشكل 6-3



شكل 6-3 منحني العزم مع السرعة للمجالين الأمامي والخلفي.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

عند دور العضو الدوار للمحرك بسرعة دورانية مقدارها N في اتجاه دوران المجال الأمامي، والذي يدور بسرعة التزامن N_s، فان الانزلاق الأمامي يكون مساويا إلى

$$s_f = s = (N_s - N)/N_s \qquad 6\text{-}2$$

ويكون معامل الانزلاق للمجال الخلفي s_b مساويا: $s_b = 2 - s$

مثال **6-1**:

محرك حثي أحادي الوجه، 230V , 60Hz ذو زوجين من الأقطاب (2p = 4) يعمل عند الحمل الكامل بانزلاق مقداره s = 0.04 احسب:

i. الانزلاق للمجال الخلفي s_b
ii. سرعة التزامن N_s
iii. سرعة المحرك عند الحمل الكامل.

الحل:

i. الانزلاق للمجال الخلفي ($s_b = 2 - s$)

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

ii - The synchronous speed $\equiv N_s = \dfrac{60 \times f}{p} = \dfrac{60 \times 60}{2} = 1800$ rpm

iii - The motor speed $\equiv N = (1-s)N_s = 0.96 \times 1800 = 1728$ rpm

طرق البدء ومنحنيات الخواص للمحركات الحثية أحادية الوجه :

المحركات الحثية أحادية الوجه تصنف طبقا 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:

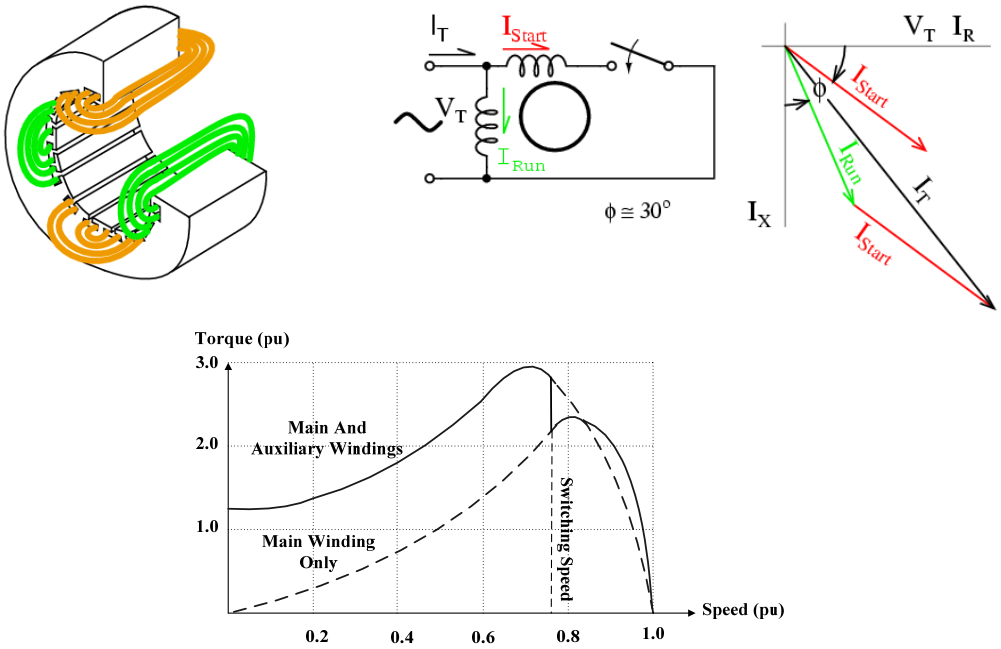
2-6 المحرك مشطور الوجه : Split-Phase Motor

المحرك مشطور الوجه يحتوي على ملفين بالعضو الثابت، الأول هو الملف الرئيسي، 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،

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

شكل6-4 كيفية توصيل ومخطط المتجهات عند بدء الحركة
للمحرك مشطور الوجه.

من الشكل 6-4 فإن تيار الملفات المساعدة متقدم عن تيار الملفات الرئيسية، لذا المجال الكلي للعضو الثابت يصل إلى قيمته العظمي على محور الملفات المساعدة أولاً، ثم بعد ذلك على محور الملفات الرئيسية. بما ان تيار الملفين يمثل نظام ثنائي الوجه غير متزن، والمحرك يكافئ محرك ذو وجهين غير متزن، فينشأ مجال مغناطيسي دوار، ينتج عنه عزم دوران يتسبب في بدء دوران المحرك. شكل 6-5 كيفية



شكل 6-5 منحني العزم/السرعة المحرك مشطور الوجه.

بعد أن يبدأ المحرك حركته بالملفين معاً تفصل الملفات المساعدة، باستخدام مفتاح يعمل بقوة الطرد المركزي عندما تصل سرعة المحرك إلى حوالي خمسة وسبعون في المائة (75%) من سرعة التزامن، ويستمر المحرك بعد ذلك في الدوران بالملف الرئيسي فقط.

من خصائص المحركات ذات الوجه المشطور، أن لها عزم بدء حركة متوسط القيمة وتيار منخفض أثناء بدء الحركة، وتستخدم في المراوح والشفاطات ومضخات الطرد المركزي وفي الأجهزة المنزلية والمكتبية زوالطبية.

مثـال **6-2**:

محرك حثي أحادي الوجه، 110-V , 50 Hz من النوع مشطور الوجه، له الثوابت الآتية عند بدأ الحركة:

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

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

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

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

الحل:

التيار في الملف الرئيسي

$$I_m = \frac{V_l}{Z_m} = \frac{110\angle 0}{1.2+j25} = \frac{110\angle 0}{25.03\angle 87.252} = 4\angle -87.252 \text{Amp.}$$

التيار في الملف المساعد

$$I_a = \frac{V_l}{Z_a} = \frac{110\angle 0}{12+j5} = \frac{110\angle 0}{13\angle 22.62} = 8.46\angle -22.62 \text{ Amp.}$$

التيار الكلي المسحوب من المصدر:

$$I_t = I_m + I_a$$

$$I_t = 4\angle -87.25 + 8.46\angle -22.62^o = (0.192 - j3.995) + (7.81 - j3,254)$$

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

معامل القدرة

$$\text{The power factor} = \cos(-42.11) = 0.742$$

الفرق الزمني بين تياري الملف الرئيسي والملف المساعد

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

I_m lags I_a by 64.62^o

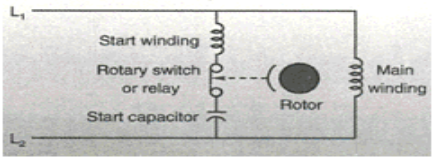
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

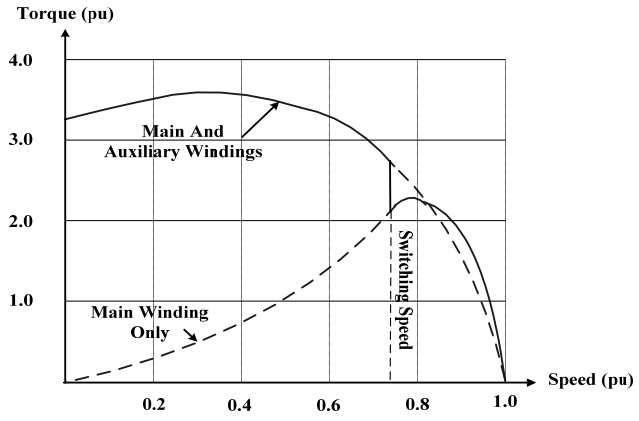
6-3 المحركات ذات المكثفات: Capacitor Motors

يمكن أن تستخدم المكثفات لتحسين خواص وأداء المحرك الحثي أحادي الوجه، أثناء بدء الحركة أو أثناء التشغيل، أوكلاهما، حسب نوع المكثف المستخدم وطريقة توصيله.

6-3-1 المحرك ذو مكثف البدء: Capacitor –Start Motor

نحصل الفارق الزمني بواسطة مكثف موصل على التوالي مع الملفات المساعدة، كما هو مبين بالشكل 6-6. في هذه الحالة أيضا، يفصل الملف المساعد بعد بدء الحركة، تماما كما يحدث في النوع السابق،





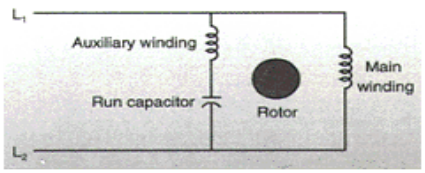
شكل 6-6 منحني العزم/السرعة للمحرك ذو مكثف البدء

يستخدم هذا النوع من المحركات في الضواغط والمضخات وفي الأجهزة الطبية التي تتطلب عزم كبير لبدء حركتها.

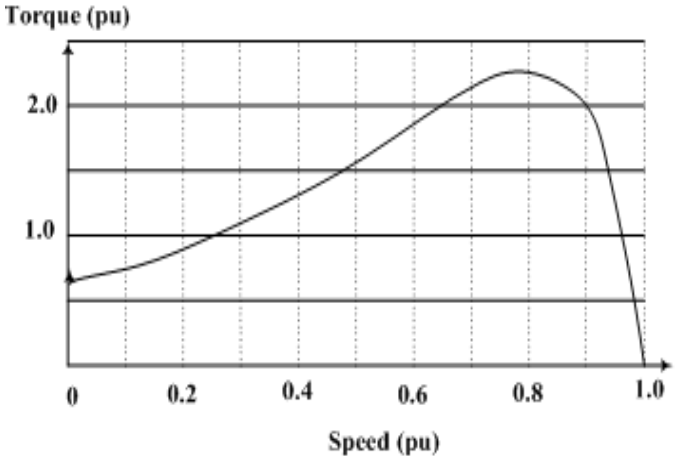
6-3-2 المحرك ذو المكثف الدائم: Permanent-Capacitor Motor

في المحرك ذو المكثف الدائم تظل الملفات المساعدة عاملة مع الملفات الرئيسية أثناء التشغيل المستمر للمحرك، فيمكن تبسيط تركيب المحرك، بالاستغناء عن مفتاح الطرد المركزي، المشار أليه في الحالتين السابقتين. الشكل 6-7.يبين كيفية توصيل الملفات مع منحني خواص المحرك.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



winding when motor reaches running speed.



شكل 6-7 منحني العزم/السرعة للمحرك ذو المكثف الدائم

تصمم الملفات المساعدة والمكثف علي أساس التشغيل المستمر، وبحيث يصبح المحرك مكافئ لمحرك مثالي ذو وجهين عند حمل بعينه، فيختفي وجود المجال الخلفي مما يؤدي إلي تحسين الكفاءة، كما تختفي أيضا الضجة التي كان يسببها المجال الخلفي، فتكون النتيجة محركاً هادئ الصوت أثناء التشغيل، كما يؤدي استخدام المكثف الدائم إلي تحسين معامل القدرة أثناء التشغيل. يستخدم هذا النوع من المحركات في التطبيقات التي تتطلب هدوأ في الصوت أثناء تشغيلها.

6-3-3 المحرك ذو المكثفين: Two-Value Capacitor Motor

المحرك ذو المكثفين يستخدام مكثفين أحدهما أثناء فترة البدء فقط، والآخر يستمر عمله أثناء التشغيل المستمر للمحرك. يبين الشكل 6-8 طريقة توصيل هذين المكثفين، كما يبين منحني خواص المحرك،

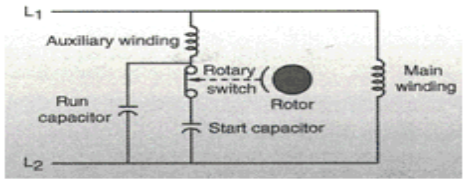
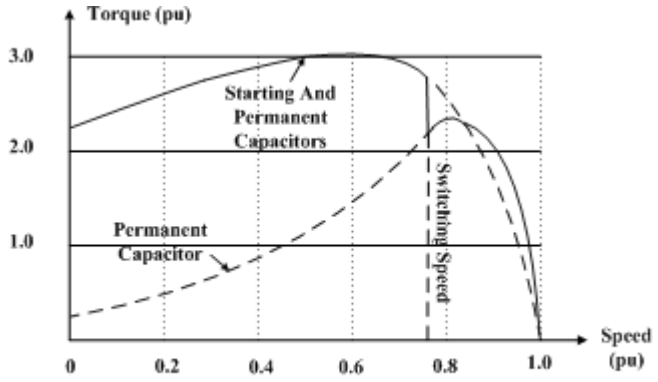


Figure-4. Capacitor-start/capacitor-run motor. Combines best of capacitor-start/induction-run and permanent split switch is the price of best performance.



شكل 6-8 كيفية توصيل وخواص المحرك ذو المكثفين

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

يعتبر هذا النوع من المحركات أكثر كلفة من الأنواع السابقة، ويستخدم في التطبيقات الطبية التي تتطلب تشغيلا هادئاً مع عزم كبير لبدء الحركة.

مثـال **3-6**:

محرك حثي أحادي الوجه، من النوع ذو مكثف بدء الحركة، جهده 127 فولت وتردده 60 هيرتز، ثوابت الملفات الرئيسية والمساعدة عند البدء:

$$Z_m = 4.2 + j3.8 \quad \Omega \qquad Z_a = 8.8 + j3.2 \quad \Omega$$

احسب قيمة مكثف البدء اللازم للحصول علي زاوية مقدارها تسعون درجة كهربائية بين تياري الملفات الرئيسية والمساعدة عند بدء الحركة.

الحل:

زاوية معاوقة الملفات الرئيسية:

زاوية معاوقة الملفات المساعدة يجب أن يكون:

$$\phi_m = \tan^{-1}\left(\frac{3.8}{4.2}\right) = 42.14^o \qquad \phi_a = 90 - \phi_m = 47.86^o$$

ممانعة المكثف X_c يجب أن تحقق العلاقة:

$$\tan^{-1}\left(\frac{X_c - 3.2}{8.8}\right) = 47.86 \rightarrow \frac{X_c - 3.2}{8.8} = \tan(47.86) = 1.1 \rightarrow Xc = 1.1\times 8.8 + 3.2 = 12.93\Omega$$

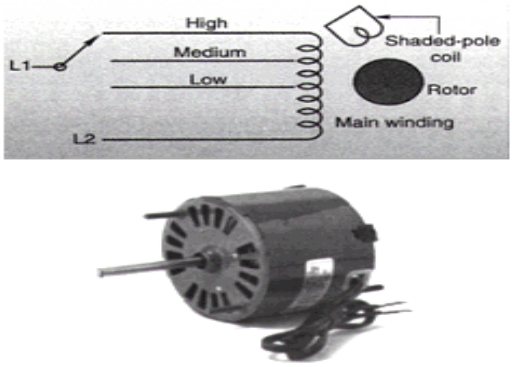
سعة المكثف يمكن حسابها من

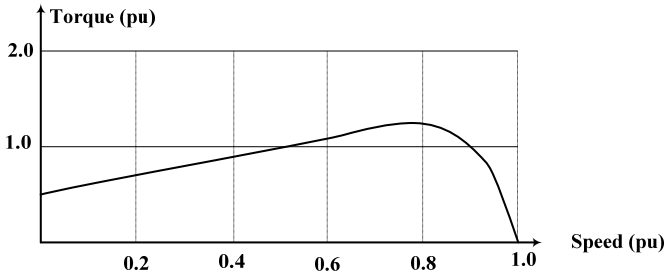
$$X_c = \frac{1}{\omega . c} = \frac{1}{2\pi f c} \rightarrow c = \frac{1}{12.93\times 377} = 205\mu F$$

4-6 المحرك ذو الوجه المظلل: Shaded-Pole motor

يتكون العضو الثابت لهذا المحرك من أقطاب بارزة ملفوف عليها ملفات الثابت، كل قطب مقسوم إلي جزئين بواسطة مجري صغير، حيث يتم إحاطة (تطويق) جزء من كل قطب بلفة مقصورة من النحاس، تسمي الملف المظلِل (Shading Coil) ، كما هو موضح بالشكل 6-9.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com





شكل 6-9 تركيب وخواص المحرك ذو الوجه المظلل

تتولد في الملف المظلِل تيارات بفعل جزء المجال المغناطيسي المتشابك معه، تؤدي إلي تأخر محصلة المجال المغناطيسي لهذا الجزء من القطب (الجزء المظلل) زمنيا 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 علي دوران المحرك. يبين الشكل 6-9 تركيب المحرك، كما 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.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

اختبار ذاتي : أختر الإجابة أو الإجابات الصحيحة.

س1 : ملف بدء الحركة (الملف المساعد) للمحرك أحادي الوجه ذو الوجه المشطور، موجود في ....

أ. الدوار.

ب. الثابت.

ج. المنتج.

د. المجال.

س2 : 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 إتجاه واحد فقط.

س3 : بعد فصل ملفات بدء الحركة في المحركات أحادية الوجه من مصدر التغذية يستمر المحرك في الدوران بالملف ..... فقط.

أ. الدوار.

ب. المساعد.

ج. الرئيسي.

د. التشغيل.

س4 : لو تُرك ملف بدء الحركة موصلاً أثناء تشغيل المحرك أحادي الوجه فسوف .....

أ. يسحب المحرك تيار كبير من المصدر.

ب. يدور المحرك بسرعة كبيرة.

ج. يدور المحرك بسرعة بطيئة.

د. تحدث شرارة كهربائية.

س5 : يمكن عكس اتجاه دوران المحركات الحثية أحادية الوجه ب.....

أ. عكس أطراف ملفاته.

ب. عكس أطراف الملف المساعد فقط.

ج. عكس أطراف الملف الرئيسي فقط.

د. عكس أطراف مصدر التغذية.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

ه. جميع ما سبق.

س6 : في المحرك ذو مكثف بدء الحركة، يوصل المكثف علي التوالي مع الملف .....

أ. المساعد.

ب. الرئيسي.

ج. الدوار.

د. التشغيل.

س7 : المحرك ذو المكثف الدائم لا يحتوي علي .....

أ. مفتاح الطرد المركزي.

ب. ملف بدء الحركة.

ج. القفص السنجابي.

د. الملف الرئيسي.

س8 : المكثف المستخدم لبدء الحركة في المحرك ذو المكثفين، يكون من النوع .....

أ. الورقي المشبع بالزيت.

ب. ذو السائل الكهربي.

ج. الهوائي.

د. السيراميك.

س9 : جميع الجُمل الأتية والتي تخص المحرك ذو الوجه المظلل صحيحة ما عدا.

أ. يدور المحرك باتجاه من القطب غير المظلل إلي القطب المظلل.

ب. كفاءة المحرك رديئة جداً.

ج. معامل القدرة منخفض.

د. له عزم كبير لبدء الحركة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

أسئلة وتمارين متنوعة:

1-6 : لماذا تحتاج المحركات أحادية الوجه لوسيلة مساعدة لبدء حركتها؟ وضح إجابتك بالرسم.

2-6 : عدد الطرق المختلفة المستخدمة لبدء حركة المحركات أحادية الوجه.

3-6 : ما هي أهم مميزات المحرك ذو مكثف بدء الحركة مقارنتاً بالمحرك مشطور الوجه؟

4-6 : ما هي أهم مميزات المحرك ذو المكثف الدائم مقارنتاً بالمحرك مشطور الوجه؟

5-6 : ما هي أهم مميزات المحرك ذو المكثفين مقارنتاً بالمحرك ذو المكثف الدائم؟

6-6 : في أي التطبيقات تستخدم المحركات الحثية أحادية المرحلة؟ أعط أمثلة لاستخدام كل نوع من أنواع المحركات.

تمرين 1-6 : محرك حثي أحادي الوجه, 50-Hz, 230-V ذو ستة أقطاب (2p = 6) يعمل عند الحمل الكامل بانزلاق مقداره s = 0.05 احسب:

i. الانزلاق للمجال الخلفي (s_b).
ii. سرعة التزامن N_s
iii. سرعة المحرك عند الحمل الكامل.

تمرين 2-6 : محرك حثي أحادي الوجه من النوع ذو مكثف بدء الحركة، جهده 120V وتردده 60Hz ، ثوابت الملفات الرئيسية والمساعدة عند البدء:

احسب قيمة مكثف البدء اللازم للحصول علي زاوية مقدارها ثمانون درجة كهربائية (80˚) بين تياري

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

الملفات الرئيسية والمساعدة عند بدء الحركة.

تمرين 3-6 : محرك حثي أحادي الوجه، 60 Hz, 130-V من النوع مشطور الوجه له الثوابت الآتية، عند بدء الحركة:

معاوقة الملف الرئيسي $Z_m = 1.2 + j\ 26\ \Omega$

معاوقة الملف المساعد $Z_a = 12.5 + j\ 6\ \Omega$

احسب عند بدء الحركة : تيار الملف الرئيسي، تيار الملف المساعد، التيار الكلي للمحرك، معامل القدرة، القدرة الداخلة، الزاوية بين تياري الملف الرئيسي والملف المساعد.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

1- Electric Machines: G. R. Slemon and A. Straughan, Eddison-Weslley, 1980

2- Electrical Machines and Transformers-Principles and applications; P. F. Ryff, D. Platnick, and J. A. Karnas, Printice Hal

3- Power Electronics and Motor Control: W. Shepherd, L.M. Hulley, and D.T. W Liang, Cambridge, 1995

4- Electric Motors and Drives: Fundamentals, types and applications, Austin Hughes, Heinemann Newnes, 1990

a. حقيبة آلات كهربائية صغيرة القدرة - قسم التقنية الكهربية- إدارة المناهج والتطوير - المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
b. حقيبة آلات التيار المستمر والمحولات - قسم التقنية الكهربية- إدارة المناهج والتطوير - المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني

c. حقيبة التحكم الالكتروني في الآلات – قسم التقنية الكهربية- إدارة المناهج والتطوير – المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

المحتويات

		مقدمه	
		تمهيد	
1		**الدوائر المغناطيسية**	1
1-	1	تعريفات هامة:	2
1-	2	التناظر بين الدائرة الكهربائية والدائرة المغناطيسية	7
1-	3	المفاقيد الحديدية	8
2		**المحولات الكهربائية**	13
2-	1	نظرية عمل المحول وتركيبه	**14**
2-	2	المحول المثالي:	**16**
2-	3	المحول الفعلي:	20
2-	4	معامل التنظيم للمحول	25
2-	5	حساب عناصر الدائرة المكافئة	26
2-	6	المفقودات والكفاءة	28
2-	7	المحول الذاتي	30
3		**محركات التيار المستمر**	34
3-	1	تركيب آلات التيار المستمر	35
3-	2	معادلة القوة الدافعة الكهربائية	37
3-	3	العزم الكهرومغناطيسي	38
3-	4	محركات التيار المستمر	40
3-	5	أنواع المحركات	41
3-	6	المفقودات والكفاءة	49
4		**التحكم في محركات التيار المستمر**	53
4-	1	التدوير باستخدام الموحدات أحادية الوجه المحكومة	56
4- 1-	1	موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم	55
4- 1-	2	موحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم	59

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

4- 1- 3	موحد أحادي الوجه موجة كاملة محكوم	62
4- 1- 4	الموحد المزدوج أحادي الوجه	65
4- 2	**التحكم في سرعة المحرك باستخدام المقطعات**	68
4- 3	الفرملة بإعادة التوليد	70
4- 4	الفرملة الديناميكية (الفرملة باستخدام مقاومة	74
4- 5	الفرملة بإعادة التوليد واستخدام مقاومة معا	76
5	**محركات الخطوة**	85
5- 1	محركات الخطوة	86
5- 2	محركات الخطوة ذات الممانعة المغناطيسية المتغيرة	87
5- 3	محركات الخطوة الهجين	92
5- 4	دوائر التحكم في محركات الخطوة	94
6	**المحركات الحثية أحادية الوجه**	101
6- 1	نظرية عمل المحركات الحثية	102
6- 2	المحرك مشطور الوجه	104
6- 3	المحركات ذات المكثفات	106
6- 4	المحرك ذو الوجه المظلل	109

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com