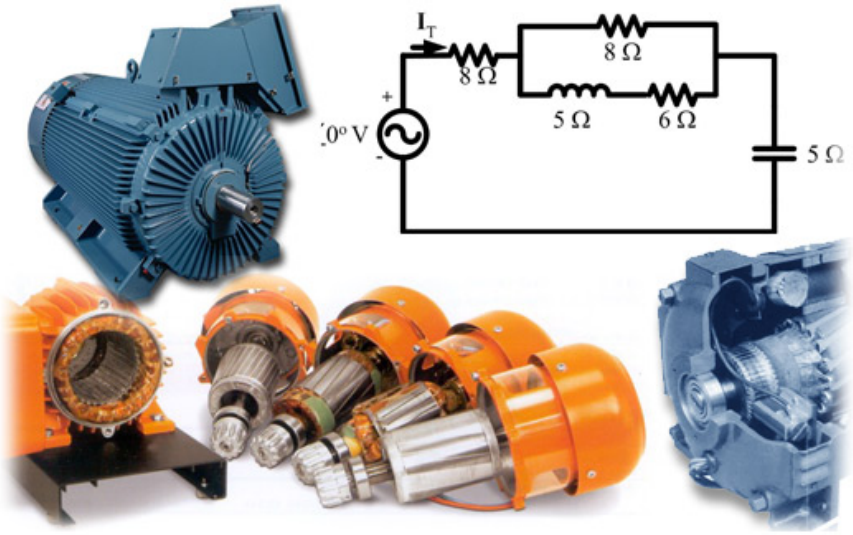
المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

آلات ومعدات كهربائية

آلات التيار المستمر و المحولات

١٤٢ كهر



جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

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

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني 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 والإيمان 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 للتعليم الفني والتدريب المهني 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 التيار المستمر والمحولات " لمتدربي قسم" آلات ومعدات كهربائية " 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 أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

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

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

يصف هذا المقرر موضوعين رئيسيين في مجال الآلات الكهربية وهما آلات التيار المستمر والمحولات الكهربية. ويتضمن المقرر بالوصف والتفصيل التركيب ونظرية العمل والتشغيل ودراسة الأداء والخواص الكهربية خلال مدى التشغيل المقنن. ويهدف المقرر إلى تعريف المتدرب بتركيب وأساسيات تشغيل وأداء آلات التيار المستمر والمحولات الكهربية وتطبيقاتهما. كما يهدف المقرر أيضا إلى تعريف المتدرب بكيفية قياس الخواص الهامة وتحديد مدى التشغيل للآلة، علاوة على ذلك يمكن المتدرب من إجراء الاختبارات المعملية وقياس أداء الآلة وذلك لتأكيد الدراسة النظرية.

تتعرض الوحدة الأول من هذا المقرر لمراجعة عامة للدوائر المغناطيسية ومقارنتها بالدوائر الكهربية وذلك لإهميتها في فهم نظرية عمل الآلات الكهربية بوجه عام، حيث توجد علاقة متبادلة بين التيار الكهربي والمجال المغناطيسي، بمعنى أنه إذا مر تيار كهربي في موصل فينشأ عنه مجالا مغناطيسيا، كما أن الموصل إذا تواجد في مجال مغناطيسي متغير تتولد فيه قوة دافعة كهربية، يمكن الحصول منها على تيار كهربي. ويطلق على العلم الذي يتناول هاتين الظاهرتين والقوانين التي تحكمها باسم الكهرومغناطيسية. ودراسة الكهرومغناطيسية هي في الواقع تمهيد لدراسة الآلات الكهربية، حيث تعتمد نظرية عملها على هذا العلم، لأن الآلة الكهربية ما هي إلا دائرة كهربية وأخرى مغناطيسية يربط بينهما المجال المغناطيسي. لذلك سوف نعرض في هذه الوحدة بعض القوانين والعلاقات الهامة للمغناطيسية والتي تفيد في دراسة الآلات الكهربية ثم نتبعها بشرح لأهم قوانين الكهرومغناطيسية التي نحتاج إليها خلال هذه الدراسة. وأخيراً نستعرض العلاقة بين الدائرة الكهربية والدائرة المغناطيسية.

أما الوحدة الثانية فتتناول دراسة مولدات التيار المستمر، حيث تستعرض نظرية عمل المولد الكهربي وتركيبه التفصيلي، وكذلك استنتاج معادلة القوة الدافعة الكهربية المستنتجة في المولدات. أيضا سوف نعرض في هذه الوحدة أنواع المولدات المختلفة وطرق التغذية للمجال وكذلك دراسة منحنيات الخواص وتنظيم الجهد للأنواع المختلفة من المولدات. وفي نهاية الوحدة سوف نعرض كيفية حساب المفقودات والكفاءة للمولدات وذكر أهم تطبيقاتها.

وتستعرض الوحدة الثالثة شرح لنظرية عمل محركات التيار المستمر واستنتاج القوة الدافعة العكسية المتولدة في المنتج، كذلك سوف نستنتج معادلة العزم المتولد. أيضا سوف نتعرض لدراسة خواص ومجال استخدام الأنواع المختلفة للمحركات. وبعد ذلك سوف نشرح طرق تنظيم السرعة وعكس الحركة ونتبعها بدراسة طرق بدء الحركة المختلفة، وفي نهاية الوحدة سوف نتعرض لحساب المفقودات والكفاءة.

وتحتوي الوحدة الرابعة على المبادئ الأساسية للمحولات الكهربية، حيث نستعرض نظرية العمل وشرح التركيب الداخلي للمحولات أحادية الوجه وطرق ترتيب الملفات. أيضا سوف نستنتج معادلة للقوة الدافعة الكهربية المستنتجة ونسبة التحويل. يليها استنتاج الدائرة المكافئة للمحول وطرق تشغيله عند اللاحمل وعند التحميل. علاوة على ذلك سوف نتعرض لكيفية حساب عناصر الدائرة المكافئة بواسطة إجراء اختباري اللاحمل والقصر. ثم بعد ذلك نتعرف على كيفية حساب المفقودات والكفاءة للمحولات وتشغيل المحول عند أعلى كفاءة. وأخيرا سوف نتعرف على نوع خاص من المحولات ألا وهو المحول الذاتي، تركيبه ونظرية عمله.

تقدم الوحدة الخامسة تركيب المحولات ثلاثية الأوجه وأنواعها وطرق توصيل الملفات لكل نوع، كذلك تتعرض الوحدة لطرق وشروط توصيل المحولات على التوازي، وأهم تطبيقاتها في مجال رفع الجهد لنقل القدرة الكهربية وكذلك استخداماتها في مجال توزيع القدرة الكهربية.

إن هذا المقرر مفيد للمتدرب لفهم نظرية عمل وتركيب الآلات الكهربية، أيضا يساعد المتدرب على كيفية اختيار الآلة المناسبة وتحديد خواصها، علاوة على ذلك يعين المتدرب على تشخيص الأعطال الشائعة للآلات الكهربية. وعلى المتدرب أن يكون لديه إلمام بالمبادئ الأساسية للدوائر الكهربية والكهرومغناطيسية حتى تعينه على استيعاب وفهم هذا المقرر بسهولة ويسر.

أن دراسة هذا المقرر تمكن المتدرب من الآتي:

- الإلمام بأنواع ومكونات آلات التيار المستمر والمحولات.
- الإلمام بخواص آلات التيار المستمر والمحولات وطبيعة عمل كل منها.
- الإلمام بكيفية ضبط جهد مولدات التيار المستمر بأنواعها.
- الإلمام بطرق بدء الحركة لمحركات التيار المستمر.
- الإلمام بطرق عكس اتجاه الدوران لمحركات التيار المستمر.
- الإلمام بكيفية تغيير سرعة دوران محركات التيار المستمر.
- الإلمام بكيفية توصيل المحولات الكهربية على التوازي.

آلات التيار المستمر والمحولات

الدوائر المغناطيسية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: مراجعة عامة للدوائر المغناطيسية مشتملة على أهم التعريفات ومقارنتها بالدوائر الكهربية.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

١. معرفة أهم التعريفات الخاصة بالدوائر المغناطيسية.
٢. حساب القوة الدافعة المغناطيسية اللازمة لمغنطة دائرة.
٣. معرفة أوجه الشبه والاختلاف بين الدائرة المغناطيسية والدائرة الكهربية والعلاقة بينهما.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٨٥٪

الوقت المتوقع للتدريب: ٤ ساعات.

الوسائل المساعدة: لا توجد.

متطلبات الجدارة: تحتاج إلى مراجعة مقرر الدوائر الكهربية.

الدوائر المغناطيسية

١ -١ مقدمة

يعتبر علم المغناطيسية من العلوم الهامة والتي بني على أساسها فكرة عمل كثير من المعدات الكهربية مثل المحولات الكهربية، آلات التيار المستمر وكذلك آلات التيار المتردد، ويمكن القول كل الآلات الكهربية سواء كانت مولدات أو محركات. والمغناطيسية يمكن الحصول عليها إما عن طريق المغناطيس الدائم (permanent magnet) وهو يوجد في الطبيعة من مواد مختلفة مثل الفررايت (ferrait)، نيوديميم بورون أيرون (Niodenum Boron Iron) و السماريوم كوبلت (Smarum cobalt)، أو عن طريق المغناطيس الكهربي وهو موضوع هذه الوحدة. وينشأ عن المغناطيس الكهربي(أو الدائم) ما يعرف بالمجال المغناطيسي، حيث توجد علاقة متبادلة بين التيار الكهربي والمجال المغناطيسي، بمعنى أنه إذا مر تيار كهربي في موصل فينشأ عنه مجالا مغناطيسيا، كما أن الموصل إذا تواجد في مجال مغناطيسي متغير تتولد فيه قوة دافعة كهربية، يمكن الحصول منها على تيار كهربي. ويطلق على العلم الذي يتناول هاتين الظاهرتين والقوانين التي تحكمها باسم الكهرومغناطيسية. ودراسة الكهرومغناطيسية هي في الواقع تمهيد لدراسة الآلات الكهربية، حيث تعتمد نظرية عملها على هذا العلم، لأن الآلة الكهربية ما هي إلا دائرة كهربية وأخرى مغناطيسية يربط بينهما المجال المغناطيسي. لذلك سوف نعرض في هذه الوحدة بعض القوانين والعلاقات الهامة للمغناطيسية والتي تفيد في دراسة الآلات الكهربية ثم نتبعها بشرح لأهم قوانين الكهرومغناطيسية التي نحتاج إليها خلال هذه الدراسة. وأخيراً نستعرض العلاقة بين الدائرة الكهربية والدائرة المغناطيسية.

١ -٢التعريفات الهامة في علم المغناطيسية

يعتبر المجال المغناطيسي، خطوط الفيض(القوى) المغناطيسية وشدة المجال المغناطيسي من أهم المسميات التي يرد ذكرها في علم المغناطيسية. لذا سنهتم بتعريف هذه المصطلحات.

- **المجال المغناطيسي:** يعرف بأنه المنطقة التي تحيط بالمغناطيس وتظهر فيها تأثيرات مختلفة، حيث يحدث فيها نوع من الإجهاد غير المرئي تستجيب له الأجسام التي تتأثر بالفعل المغناطيسي بظاهرة محددة، فإذا وضعت إبرة مغناطيسية بأسلوب معين في هذا المجال فإنها تنحرف. أيضا تتولد قوة دافعة كهربية عند تحريك موصل كهربي في هذا المجال.

- **خط القوى المغناطيسي:** هو خط وهمي يعرف بأنه المسار الذي يرسمه قطب شمالي شدته الوحدة حينما يكون حر الحركة في المجال المغناطيسي، ويوضع عند القطب الشمالي للمغناطيس، فيتحرك بفعل التنافر مع القطب الشمالي وبفعل التجاذب مع القطب الجنوبي، حتى يصل إلى القطب الجنوبي للمغناطيس.

-**معامل النفاذ المغناطيسي μ (Permeability):** عرفنا أن المجال المغناطيسي ينشأ عنه خطوط المجال وهذه الخطوط تتجه من القطب الشمالي للمغناطيس إلى القطب الجنوبي وخلال سيرها تمر إما في الهواء أو من خلال مسار من الحديد. ونظراً لأن الحديد مادة مغناطيسية والهواء مادة غير مغناطيسية، لذا تفضل خطوط المجال المغناطيسي المرور في الحديد. يعتبر الهواء أو الحديد هو الوسط لخطوط المجال ولكل 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. ويعطى منحنى التمغط العلاقة بين شدة المجال وكثافة الخطوط المغناطيسية التي تنتج في المادة. ويربط بينهما معامل النفاذ للمادة ويعطي معامل النفاذ بالعلاقة:

$$\mu = \mu_O \mu_r \qquad (١-١)$$

حيث μo معامل النفاذ المطلق (Absolute permeability) ويسمى الثابت المغناطيسي أو معامل نفاذ الفراغ وقيمته:

$$\mu o = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

أما μr فهو معامل النفاذ النسبي (Relative permeability) وهو يساوي الوحدة لأي وسط غير مغناطيسي

-**التدفق المغناطيسي Φ :** يطلق على عدد الخطوط الكلية في المجال المغناطيسي اسم الفيض المغناطيسي، وهو عبارة عن خطوط القوى المغناطيسية المتوازية التي تسير متجمعة في حزمة واحدة في مسار مقفل. والمسار هو في الواقع الدائرة المغناطيسية. وبمقارنة الدائرة المغناطيسية بالدائرة الكهربية نجد أن الفيض المغناطيسي في الأولى يناظر التيار الكهربي في الثانية. هذا ويعتبر المسار المقفل الذي يقاوم الفيض المغناطيسي مثل المقاومة في الدائرة الكهربية.

-كثافة التدفق المغناطيسي B: يعرف كثافة التدفق المغناطيسي بأنه مقدار التدفق المغناطيسي خلال وحدة المساحات ووحدته ويبر/متر مربع (تسلا) ويعطى بالعلاقة:

$$B = \frac{\Phi}{A} \qquad wb/m^2 \qquad ١-٢$$

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

$$H = \frac{B}{\mu} \qquad h/m \qquad ١-٣$$

-القوة الدافعة المغناطيسية (Magneto-motive-force m.m.f): عرفنا أن الفيض المغناطيسي ينشأ نتيجة مرور تيار كهربي في موصل أو ملف له عدد لفات N ونتيجة لذلك يتولد قوة دافعة مغناطيسية حيث تعرف بأنها الضغط المغناطيسي الذي يدفع الفيض المغناطيسي في الدائرة المغناطيسية. وتتوقف قيمتها على قيمة التيار الكهربي المار في الملف وعدد لفاته، ووحداتها هي الأمبير.لفه (ampere.turn) وتعطي بالعلاقة:

$$m.m.f = N.I \qquad AT \qquad ١-٤$$

-الممانعة المغناطيسية Rmag (Magnetic reluctance): يلاقى الفيض المغناطيسي عند مروره في دائرة مغناطيسية ممانعة، وتعرف بأنها النسبة بين القوة الدافعة المغناطيسية والتدفق المغناطيسي وتحسب من العلاقة:

$$R_{mag} = \frac{m.m.f}{\Phi} = \frac{N.I}{\Phi} \qquad AT/wb \qquad ١-٥$$

وتعبر هذه العلاقة عن قانون أوم للدائرة المغناطيسية. وأيضا يمكن حساب الممانعة بدلالة أبعاد الدائرة المغناطيسية، فإذا كان طول المسار للفيض المغناطيسي L ومساحة مقطعه A ومعامل النفاذ μ فإن الممانعة تعطى بالعلاقة:

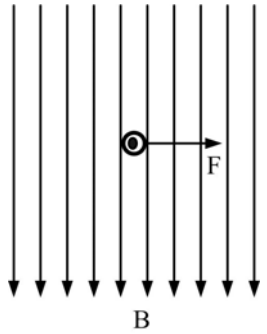
$$R_{mag} = \frac{L}{\mu A} \qquad ١-٦$$

المصطلحات المشار إليها تستخدم سواء كان المغناطيس طبيعي(أو صناعي) أو مغناطيس كهربي. والمغناطيس الكهربي يطلق على أي موصل يحمل تيارا كهربيا، ويتولد حوله مجال مغناطيسي له نفس الظواهر التي للمجال المغناطيسي الناشئ عن مغناطيس طبيعي. وكمثال للتأثر الناتج عن مجال مغناطيسي، ندرس القوة المؤثرة على موصل يحمل تيارا في مجال مغناطيسي منتظم. يبين شكل ١ -١ موصلا طوله L ويحمل تيار مقداره I أمبير موضوع في مجال منتظم كثافة خطوطه B ويبر/متر٢. يتأثر

الموصل الحامل للتيار نتيجة وجوده في هذا المجال بقوة F في اتجاه عمودي على كل من الموصل والمجال وتحسب القوة من العلاقة التالية:

$$F=BLI \quad \text{نيوتن} \qquad ١-٧$$

ويمكن تحديد اتجاه القوة بتطبيق قاعدة فلمنج لليد اليسرى، أطبق أصابع اليد اليسرى ثم أفرد الإبهام والسبابة والوسطى بحيث تتعامد مع بعضها البعض. فإذا جعلت الأصبع الوسطى تشير إلى اتجاه التيار، والسبابة تشير إلى اتجاه المجال المغناطيسي، فسوف تشير الإبهام إلى اتجاه حركة الموصل.



شكل ١ -١ موصل موضوع في مجال مغناطيسي منتظم

١ -٣ الدائرة الكهربية والدائرة المغناطيسية

تتكون الدائرة المغناطيسية من مسارات للفيض المغناطيسي وهذه المسارات يمكن أن تكون توالي أو توازي، ولتوضيح مكونات الدائرة المغناطيسية سندرس دائرة التوالي المغناطيسية كحالة خاصة من الدوائر المغناطيسية، حيث تمثل الجزء المهم عند دراسة الآلة الكهربية.

يتكون مسار الفيض المغناطيسي في دائرة التوالي المغناطيسية من مسارات متصلة على التوالي تختلف مقاومتها المغناطيسية. وقد ينشأ الاختلاف في المقاومة المغناطيسية بسبب اختلاف طول المسار أو مساحة مقطعة أو معامل النفاذ المغناطيسي له(نوع الوسط) كما تبينه المعادلة ١ -٦، أو بسبب هذه العوامل بعضها أو كلها مجتمعة. ويمكن تطبيق قانون أوم للدائرة المغناطيسية للحصول على المقاومة المغناطيسية المكافئة للمسار الكلي بجمع مقاومات المسارات المختلفة معا. شكل ١ -٢ يبين مخطط لدائرة مغناطيسية وهي تتكون من الإطار ABCDEF وتوجد ثغرة هوائية بين النقطتين A,F . ومساحة مقطع المسارات AB, BC, CD, DE, EF مختلفة عن بعضها كذلك معامل النفاذ وطول المسار. ملفوف على الجزء CD ملف ذو عدد لفات N ويمر به تيار كهربي I . ونتيجة لذلك ينشأ تدفق (فيض) مغناطيسي Φ

يمر في المسار المبين ويعبر الثغرة الهوائية لإكمال مساره. باستخدام المعادلة ١ -٦ يمكن حساب المقاومات المغناطيسية للأجزاء المختلفة كالآتي:

$$R_{magAB} = \frac{L_{AB}}{\mu_{AB} A_{AB}} \qquad R_{magBC} = \frac{L_{BC}}{\mu_{BC} A_{BC}} \qquad R_{magCD} = \frac{L_{CD}}{\mu_{CD} A_{CD}} \qquad R_{magDE} = \frac{L_{DE}}{\mu_{DE} A_{DE}}$$

$$R_{mag-gap} = \frac{L_{gap}}{\mu_o A_{gap}}$$

$$R_{magEF} = \frac{L_{EF}}{\mu_{EF} A_{EF}}$$

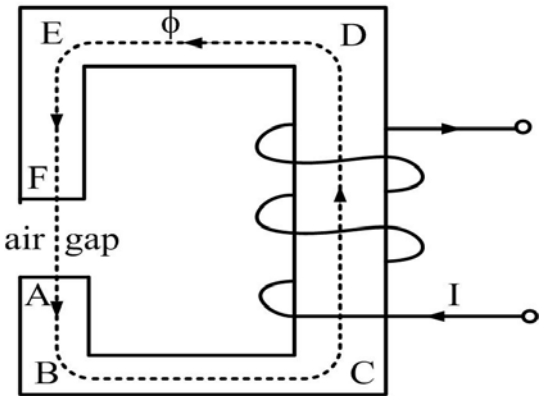
وتكون المقاومة المغناطيسية الكلية Rmag-t هي:

$$R_{mag-t} = \frac{L_{AB}}{\mu_{AB} A_{AB}} + \frac{L_{BC}}{\mu_{BC} A_{BC}} + \frac{L_{CD}}{\mu_{CD} A_{CD}} + \frac{L_{DE}}{\mu_{DE} A_{DE}} + \frac{L_{EF}}{\mu_{EF} A_{EF}} + \frac{L_{gap}}{\mu_o A_{gap}} \qquad ١\square_٨$$

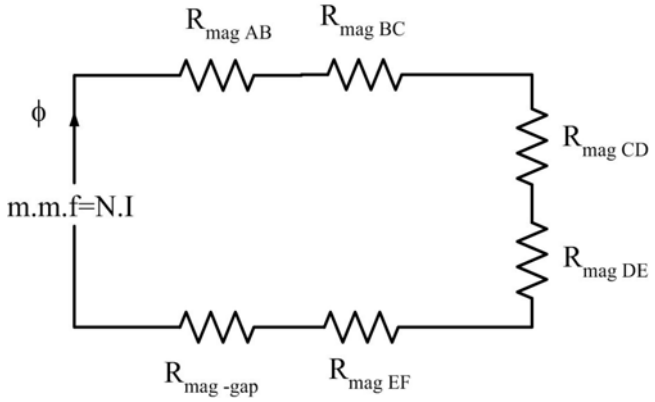
ويمكن الحصول على الفيض المغناطيسي Φ بقسمة القوة الدافعة المغناطيسية للملف(أمبير لفة) N.I على المقاومة المغناطيسية الكلية Rmag-t ، وذلك بتطبيق قانون أوم تبعا للمعادلة ١ -٥ على النحو التالي:

$$\Phi = \frac{N.I}{\frac{L_{AB}}{\mu_{AB} A_{AB}} + \frac{L_{BC}}{\mu_{BC} A_{BC}} + \frac{L_{CD}}{\mu_{CD} A_{CD}} + \frac{L_{DE}}{\mu_{DE} A_{DE}} + \frac{L_{EF}}{\mu_{EF} A_{EF}} + \frac{L_{gap}}{\mu_o A_{gap}}} \qquad ١\square_٩$$

يمكن إيجاد الدائرة الكهربية المكافئة لدائرة التوالي المغناطيسية المشار إليها. ويبين شكل ١ - ٣ هذه الدائرة، حيث يمثل الجهد الكهربي في الدائرة الكهربية بالقوة الدافعة المغناطيسية في الدائرة المغناطيسية، وتمثل المقاومات في الدائرة الكهربية بالممانعات للمسارات المغناطيسية، ويمثل الفيض المغناطيسي التيار الكهربي. أي أنه يوجد أوجه تشابه وتناظر بين الدائرة المغناطيسية والدائرة الكهربية. ويوضح جدول ١ -١ التناظر بين الدائرتين.



شكل ١ -٢ دائرة توالي مغناطيسية



شكل ١ -٣ الدائرة الكهربية المكافئة لدائرة التوالي المغناطيسية الموضحة في شكل ١ -٢

جدول ١ -١ التناظر بين الدائرة الكهربية والدائرة المغناطيسية

الدائرة الكهربية	الدائرة المغناطيسية
ق.د.ك. $e.m.f$	ق.د.م $m.m.f$
المقاومة الكهربية $R=\frac{\rho L}{A}$	المانعة المغناطيسية $R_{mag}=\frac{L}{\mu A}$
التيار الكهربي $I=\frac{E}{R}$	التدفق المغناطيسي $\Phi=\frac{m.m.f}{R_{mag}}$
كثافة التيار $J=\frac{I}{A}$	كثافة التدفق $B=\frac{\Phi}{A}$

يوجد عدة فروق بين الدائرة الكهربية والدائرة المغناطيسية، حيث لا يتشابهان من كل الوجوه.

-يمر التيار الكهربي في أسلاك دون حدوث تسرب، بينما في الدائرة المغناطيسية يحدث تسرب للتدفق المغناطيسي في الهواء.

-ليس معنى أن المادة جيدة التوصيل للكهرباء أنها أيضا مادة مغناطيسية، فالمواد الجيدة التوصيل للكهرباء مثل الفضة والألمونيوم والنحاس غير مغناطيسية.

-المقاومة الكهربية ثابتة عند درجة الحرارة الواحدة أما المقاومة المغناطيسية فهي ليست ثابتة بسبب تغير معامل النفاذ النسبي للمادة الواحدة.

١ -٤ الدائرة المغناطيسية للآلة تيار مستمر

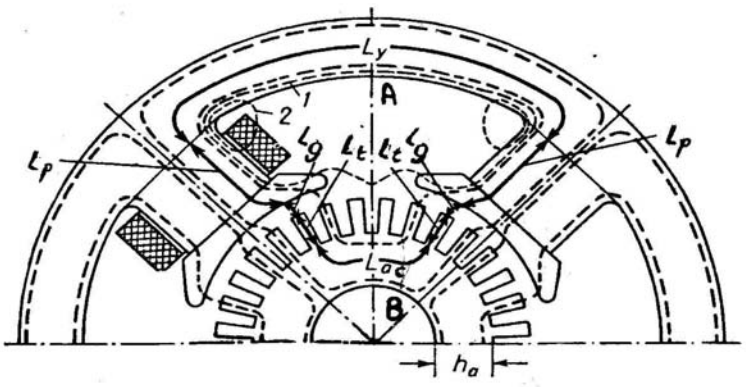
يبين شكل ١ -٤ الدائرة المغناطيسية للآلة تيار مستمر. بالتدقيق في الشكل نجد أن كل خط من خطوط المجال يمر من خلال عدة أجزاء وهذه الأجزاء تمثل الدائرة المغناطيسية. كل جزء يختلف في شكله الهندسي وأبعاده وكذلك خصائصه المغناطيسية. في الشكل الرمز p يرمز إلى القطب ، g يرمز إلى الثغرة الهوائية،t ترمز إلى الأسنان ، y ترمز إلى الإطار الخارجي، أما ac فترمز إلى قلب المنتج. وسوف نتناول بالتفصيل تركيب الآلة في الوحدة الثانية. وتتكون الدائرة من خمسة أجزاء رئيسية كما تم ترميزهم، ويوضح جدول ١ -٢ الخصائص لكل جزء من أجزاء الدائرة.

جدول ١ -٢ خصائص أجزاء الدائرة المغناطيسية للآلة التيار المستمر

جزء الدائرة	الفيض Φ	كثافة الفيض B	مساحة المقطع A	شدة المجال H	مسار الفيض L	القوة الدافعة المغناطيسية m.m.f
الثغرة الهوائية	Φ_m	B_g	A_g	H_g	$2L_g$	F_g
الأسنان	Φ_m	B_t	A_t	H_t	$2L_t$	F_t
قلب المنتج	$\Phi_{ac}=\Phi_m/2$	B_{ac}	A_{ac}	H_{ac}	L_{ac}	F_{ac}
القطب	Φ_m	B_p	A_p	H_p	$2L_p$	F_p
الإطارالخارجي	$\Phi_y= \Phi_m/2$	B_y	A_y	H_y	L_y	F_y

يمكن حساب القوة الدافعة المغناطيسية اللازمة لمغنطة الآلة من المعادلة ١ - ٥ بجمع القوة الدافعة لكل أجزاء الدائرة، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$m.m.f = F_{total} = \Phi_m \frac{2L_g}{\mu_o A_g} + \Phi_m \frac{2L_t}{\mu_t A_t} + \frac{\Phi_m}{2}\frac{L_{ac}}{\mu_{ac} A_{ac}} + \Phi_m \frac{2L_p}{\mu_p A_p} + \frac{\Phi_m}{2}\frac{L_y}{\mu_y A_y} \qquad ١-١٠$$



شكل ١ -٤ الدائرة المغناطيسية للآلة تيار مستمر

المعادلة ١ -١٠ تعطي القوة الدافعة المغناطيسية كدالة في التدفق المغناطيسي ويمكن كتابته بدلالة كثافة الفيض المغناطيسي وذلك بالتعويض عن قيمة B من المعادلة ١ -٢في المعادلة ١ -١٠ :

$$F_{total} = \frac{2B_g L_g}{\mu_o} + \frac{2B_t L_t}{\mu_t} + \frac{B_{ac} L_{ac}}{\mu_{ac}} + \frac{2B_p L_p}{\mu_p} + \frac{B_y L_y}{\mu_y} \qquad ١١-١$$

بالتعويض من المعادلة ١ -٣ في المعادلة ١ -١١

$$F_{total} = 2H_g L_g + 2H_t L_t + H_{ac} L_{ac} + 2H_p L_p + H_y L_y \qquad ١٢-١$$

$$F_{total} = F_g + F_t + F_{ac} + F_p + F_y \qquad ١٣-١$$

المعادلة ١ -١٣ تبين أنه لحساب القوة الدافعة المغناطيسية فإنه من الضروري حساب القوة الدافعة المغناطيسية لكل جزء من الأجزاء الخمسة للدائرة المغناطيسية.

١ -٥ توليد القوة الدافعة الكهربية بالتأثير الكهرومغناطيسي.

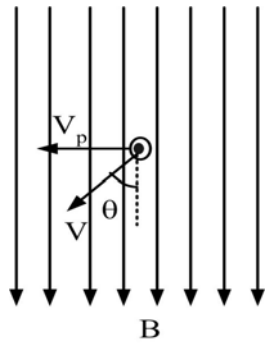
يمكن الحصول على قوة دافعة كهربية بالتأثير الكهرومغناطيسي بطريقتين: إما ديناميكيا وذلك بتحريك موصل بالنسبة لمجال مغناطيسي أو تحرك المجال المغناطيسي بالنسبة للموصل وهذه فكرة عمل المولدات الكهربية وسوف نتناولها بالتفصيل في الوحدة الثانية. وإما استاتيكيا وذلك بتغير قيمة المجال المغناطيسي المتشابك مع ملف بصورة دورية منتظمة وبدون الحاجة إلى عمل أية حركة نسبية بين الإثنين. وتستخدم هذه النظرية في المحولات كما سيعرض في الوحدة الرابعة.

١ -٥ -١ القوة الدافعة الكهربية المنتجة ديناميكيا.

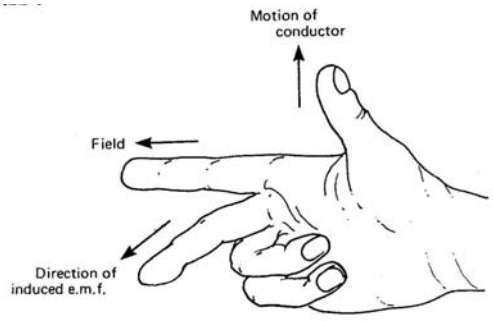
شكل ١ -٥ يبين موصل موضوع في مجال مغناطيسي منتظم، فعند تحريك موصل طوله L متر في مجال كثافته B ويبر/متر مربع، يتولد على طرفي الموصل قوة دافعة كهربية مقدارها E فولت وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$E=BLV \sin(\theta) \quad volt \qquad ١٤\square١$$

حيث θ زاوية ميل اتجاه الحركة على خطوط المجال المغناطيسي، وتكون مركبة السرعة العمودية على اتجاه خطوط المجال هي التي تحدد قيمة القوة الدافعة الكهربية. وتستخدم قاعدة فلمنج لليد اليمنى (شكل ١ -٦) لتحديد اتجاه القوة الدافعة الكهربية. أطبق أصابع اليد اليمنى، ثم أفرد منها الإبهام والسبابة والوسطى بحيث تكون متعامدة مع بعضها البعض واجعل السبابة تشير إلى اتجاه المجال، والإبهام يشير إلى اتجاه الحركة فيكون الأصبع الوسطى مشيرةً إلى اتجاه القوة الدافعة المتولدة.



شكل ١ -٥ توليد القوة الدافعةE ديناميكيا



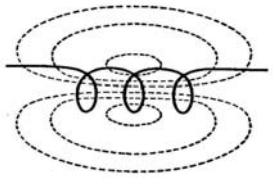
شكل ١ -٦ قاعدة فلمنج لليد اليمنى

١ -٥ -٢ القوة الدافعة الكهربية المنتجة استاتيكيا.

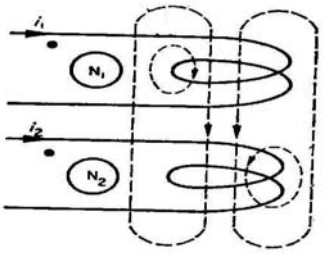
يمكن توليد قوة دافعة كهربية عن طريق تشابك فيض مغناطيسي يتغير دوريا بانتظام مع ملف، تبعا لتجربة فارادى(Faraday) الشهيرة ويعطى الجهد بالمعادلة التالية:

$$E = N(\frac{d\Phi}{dt}) \qquad ١-١٥$$

ويكون اتجاه القوة الدافعة الكهربية بحيث تعطي تيارا في الاتجاه الذي يؤدي إلى إنشاء مجال مغناطيسي يضاد اتجاه المجال المغناطيسي الأول. هذا وقد يكون المجال المغناطيسي المتغير، الذي يتشابك مع الملف، ناشئ عن تيار يمر في الملف نفسه (كما في شكل ١ -٧)، ويقال في هذه الحالة أن القوة الدافعة الكهربية منتجة بالتأثير الذاتي (self induced) . وقد يكون المجال المتغير الذي يتشابك مع الملف، ناشئ عن تيار يمر في ملف مجاور ويقال أن القوة الدافعة الكهربية منتجة بالتأثير المتبادل(mutual induced) (كما في شكل ١ -٨) .



شكل ١ -٧ تشابك الفيض مع ملف



شكل ١ -٨ تشابك الفيض مع ملفين

مثال١ -١ إطار من الحديد على شكل مستطيل أبعاده ٣٠X٢٠ سم، ومساحة مقطعه على شكل مربع طول ضلعه ٥ سم. ملفوف على أحد جانبي الإطار ملف عدد لفاته ٢٥ ومقاومته ٢ أوم ويغذى من منبع جهد مستمر ٢٤فولت. فإذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي في الإطار ٠,٠٠٨ تسلا، احسب: التيار في الملف ، شدة المجال المغناطيسي، التدفق المغناطيسي.

الحل يوضح شكل ١ -٩ الدائرة المغناطيسية، بفرض أن طول ظلعي المستطيل هما X,Y ، يمكن حساب طول المسار المغناطيسي المتوسط L من العلاقة:

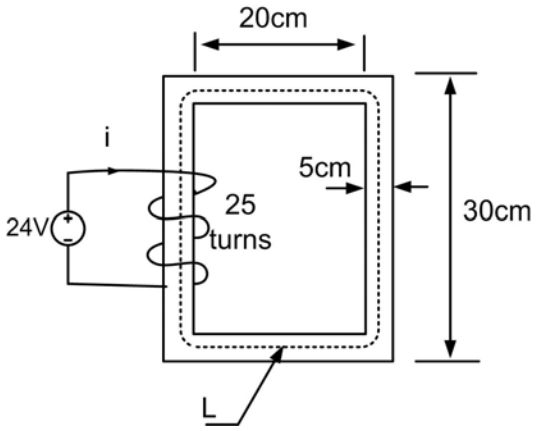
L=٢*((x-٥)+(y-٥))=٢*(٢٠-٥+٣٠-٥)=٨٠ cm=٠,٨m

N=٢٥ turns R=٢Ω V=٢٤V B=٠,٠٠٨ tesla A=$(٥*١٠^{-٢})^{٢}=٢٥*١٠^{-٤}$ $m^{٢}$

$$i=\frac{V}{R}=\frac{24}{2}=12 \quad A$$

$$H=\frac{Ni}{L}=\frac{25*12}{0.8}=375 \quad A/m$$

$$\Phi=BA=0.008*25*10^{-4}=0.00002 \quad wb$$



شكل ١ -٩

مثال١ -٢_ حلقة من المعدن قطرها المتوسط ٥٠ سم ومساحة مقطعها ٣سم٢. ملفوف عليها ملف عدد لفاته ٦٠٠ ويمر به تيار مقداره ٢ أمبير. فإذا كان معامل النفاذ النسبي للمعدن ١٥٠٠. احسب: ١ - الممانعة المغناطيسية للحلقة ،٢ -القوة الدافعة المغناطيسية وكذلك شدة المجال المغناطيسي،٣ - التدفق المغناطيسي وكثافة الفيض المغناطيسي.

الحل بفرض أن d يمثل القطر المتوسط للحلقة، فمنه يمكن حساب طول المسار المغناطيسي المتوسط Lav من العلاقة:

$L_{av}=\pi d=\pi*٥٠*١٠^{-٢}=١,٥٧$ m

$A=٣*١٠^{-٤}$ m^{٢} $\mu_r=١٥٠٠$ $\mu_o=٤\pi*١٠^{-٧}$ $N=٦٠٠$ $I=٢$ A

١- $$R_{mag}=\frac{L_{av}}{\mu_r\mu_o A}=\frac{1.57}{1500(4\pi*10^{-7})(3*10^{-4})}=2.78*10^{6}\quad At/wb$$

٢- mmf=NI =٦٠٠*٢=١٢٠٠ At

$$H=\frac{mmf}{L_{av}}=\frac{1200}{0.0157}=763.33\quad At/m$$

٣- $$\Phi=\frac{mmf}{R_{mag}}=\frac{1200}{2.78*10^{6}}=4.32*10^{-4}\quad wb$$

$$B=\frac{\Phi}{A}=\frac{4.32*10^{-4}}{3*10^{-4}}=1.44\quad tesla$$

أسئلة وتمارين على الوحدة الأولى

١ - عرف التدفق المغناطيسي وكثافة الفيض المغناطيسي مع ذكر العلاقة التي تربط بينهما.

٢ - عرف شدة المجال المغناطيسي والقوة الدافع المغناطيسية مع ذكر العلاقة التي بينهما.

٣ - ما هي أوجه الشبة والخلاف بين الدائرة الكهربية والدائرة المغناطيسية.

٤ - ماذا يقصد بالممانعة المغناطيسية ومعامل النفاذ ؟

٥ - وضح كيف يمكن توليد قوة دافعة كهربية.

٦ - بين كيفية استنتاج قوة دافعة كهربية في المحول الكهربي.

٧ - اذكر الأجزاء المختلفة للدائرة المغناطيسية لآلة تيار مستمر.

٨ - حلقة من المعدن ملفوف عليها ملف يمر به تيار ويسبب فيض مغناطيسي مقداره ٦ ميكروويبر، وكانت شدة المجال المغناطيسي ١٢ أمبير/متر. وطول المسار المغناطيسي المتوسط ٥,. متر ومساحة مقطع الحلقة ٠,٠٠٠١٥ متر مربع. احسب القوة الدافعة المغناطيسية الناتجة عن الملف، وكذلك كثافة الفيض المغناطيسي.

٩ - إطار من الحديد على شكل مربع طول ضلعه٢٠ سم، ومساحة مقطعه على شكل مستطيل أبعاده ٣ X ٥ سم. ملفوف على أحد جانبي الإطار ملف عدد لفاته ١٥ ومقاومته ١,٤ أوم ويغذى من منبع جهد مستمر ١٢فولت. فإذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي في الإطار ٠,٠٠٦ تسلا، احسب: التيار في الملف ، شدة المجال المغناطيسي، التدفق المغناطيسي.

١٠ - حلقة من الحديد يمر بها فيض مغناطيسي مقداره٠,٠٠٠٢ ويبر وطول المسار المغناطيسي المتوسط ١٠٠ سم ومساحة مقطع الحلقة ٥سم٢. احسب القوة الدافعة المغناطيسية الناتجة عن الملف، وكذلك شدة المجال المغناطيسي باعتبار معامل النفاذ للحديد ٥٠٠.

آلات التيار المستمر والمحولات

مولدات التيار المستمر

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: معرفة نظرية عمل المولد الكهربي وتركيبه ودراسة خواص الأنواع المختلفة وكذلك حساب المفقودات والكفاءة.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

١. معرفة نظرية عمل وتركيب المولد الكهربي.
٢. استنتاج القوة الدافعة الكهربية المتولدة.
٣. معرفة أنواع المولدات من حيث طرق التغذية.
٤. دراسة منحنيات الخواص وتنظيم الجهد.
٥. حساب المفقودات والكفاءة.
٦. مجالات الاستخدام للأنواع المختلفة للمولدات.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٨٥٪

الوقت المتوقع للتدريب: ٦ ساعات.

الوسائل المساعدة: جهاز عرض (بروجيكتور).

متطلبات الجدارة: تحتاج إلى مراجعة مقرر الدوائر الكهربية والقياسات والوحدة الأولى من هذا المقرر.

مولدات التيار المستمر DC Generators

تستخدم مولدات التيار المستمر للحصول على جهد ثابت القيمة. وتعتبر تلك الآلات من أول الآلات الكهربية التي تم تصنيعها للحصول على مصدر للطاقة الكهربية، حيث استخدمت في البداية لإغراض الإضاءة ثم امتدت استخداماتها بعد ذلك لتشمل تغذية شبكات التيار المستمر المستخدمة في القطارات الكهربية. كما تستخدم مولدات التيار المستمر أيضا في محطات توليد الطاقة الكهربية وذلك لتغذية المجال لمولدات التيار المتردد. وعلى الرغم من استخدام التيار المتردد الآن في التوليد والنقل والتوزيع إلا أنه لا تزال آلات التيار المستمر تستخدم في كثير من الصناعات. وتعتمد فكرة عمل المولدات على تجربة فارادي الشهيرة.

سوف نستعرض في هذه الوحدة نظرية عمل مولدات التيار المستمر وأسس تشغيلها وكذلك التركيب التفصيلي للآلة. أيضا سوف نستعرض أسس وطرق اللف المختلفة والتي تفيد في التطبيق العملي. خلال هذه الوحدة أيضا سوف نتعرف على العلاقات والقوانين الرياضية ومنحنيات الخواص التي تصف الأنواع المختلفة للآلات والتي من خلالها يمكن الحكم على أداء وكفاءة الآلة. وأخيرا سوف نذكر مجالات الاستخدام لكل نوع وطرق حساب المفقودات والكفاءة.

٢ -١ نظرية عمل المولد الكهربي وتركيبه

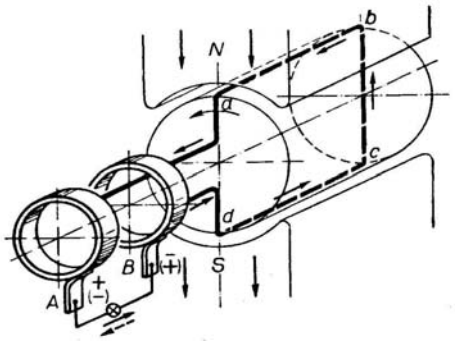
٢ -١ -١ أسس تشغيل مولدات التيار المستمر

يقوم مولد التيار المستمر بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية، ويتم ذلك عند إدارة المولد بسرعة محددة بواسطة أي بادئ حركة كمحرك كهربي، محرك ديزل، توربينة غازية أو بخارية أو مائية. ويعتمد عمل المولد أساسا على قانون فاراداي للحث المغناطيسي والذي ينص على: تولد قوة دافعة كهربية (جهد كهربي) بين طرفي موصل عندما يقطع هذا الموصل خطوط مجال مغناطيسي -أي تتولد قوة دافعة كهربية عندما توجد حركة نسبية بين الموصل وخطوط الفيض المغناطيسي ويتم ذلك عندما يكونا متعامدين - أما إذا كانا غير متعامدين فإن المركبة المتعامدة فقط هي المسؤولة عن توليد الجهد. ولتوضيح كيفية توليد جهد نتيجة حركة موصل في مجال مغناطيسي، نفرض أن لدينا لفة من السلك (abcd) موضوعة بين قطبين مغناطيسيين أحدهم شمالي (N) والآخر جنوبي (S) كما هو موضح بالشكل ٢ -١أ وبفرض أن المجال الناتج عن الأقطاب مجال مغناطيسي منتظم التوزيع، وكل طرف من نهايتي اللفة موصل مع حلقة انزلاق أطرافها موصل عليها لمبة إضاءة، عند إدارة اللفة حول محورها فإن

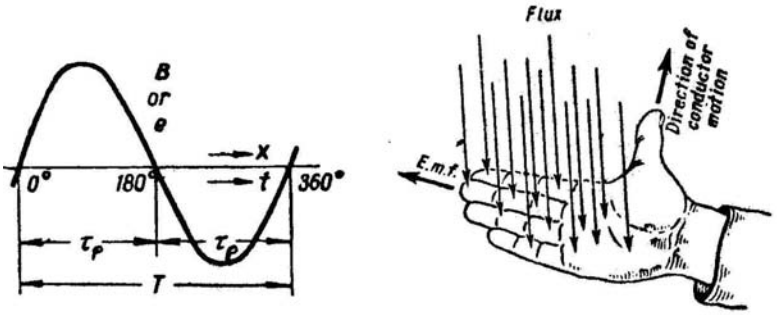
جانبي الملف يقطع خطوط القوى المغناطيسية، ويتولد قوة دافعة كهربية في كل من جانبي اللفة تتسبب في توهج اللمبة وتحسب القوة الدافعة الكهربية من المعادلة الآتية:

$$e=BLv \qquad \square_{١}\square_{٢}$$

حيث $B(wb/m^{٢})$ كثافة الفيض المغناطيسي، $L(m)$ طول اللفة بالمتر، $v(m/sec)$ السرعة الخطية التي تتحرك بها اللفة. والقوة الدافعة المتولدة (e) في هذه الحالة تعطى بالفولت (volt). ويكون اتجاهها للموصل (ab) كأنه داخل إلى الورقة وللموصل (cd) كأنه خارج من الورقة حسب قاعدة فلمنج لليد اليمنى كما في شكل ٢ -١ب.



(أ)

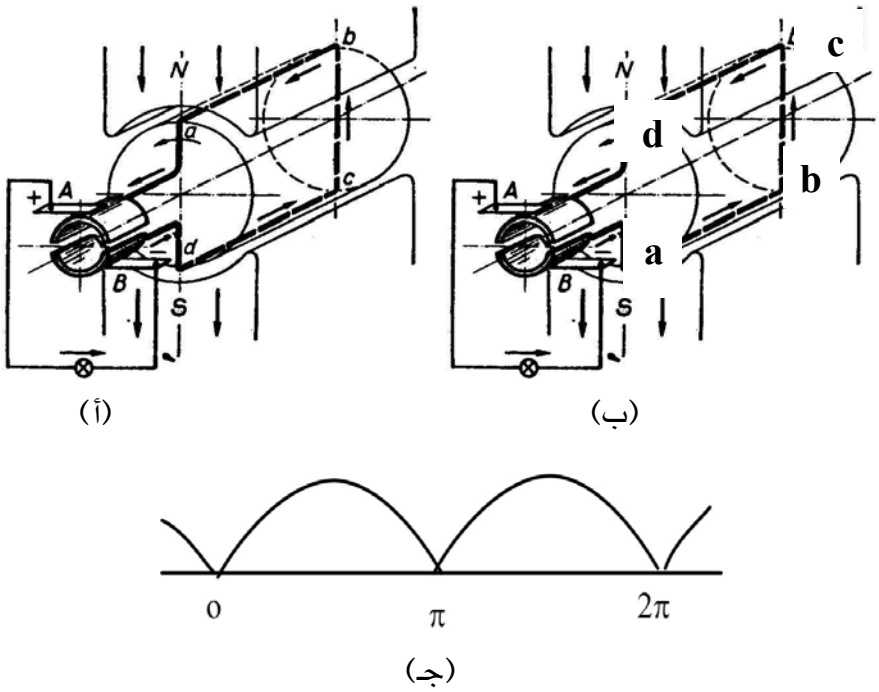


(ب) (جـ)

شكل ٢ -١ فكرة عمل الآلة الكهربية وتوليد جهد

في وضع اللفة (abcd) كما في شكل ٢ -١أ فإنها تتشابك مع خطوط المجال وتتولد قوة دافعة كهربية عظمى (عند الزاوية ٩٠^{o})، وعند دوران اللفه بمقدار ٩٠^{o} أخرى فإنها تصبح موازية للمجال ولا تقطعه ولا يتولد جهد كهربي عند هذه اللحظة. عند الدوران ٩٠^{o} أخرى فإن المجال يكون عمودي على اللفه وينعكس الوضع وتتولد قوة دافعة سالبة عند الزاوية ٢٧٠ وهكذا تتكرر العملية، ويلاحظ أن القوة الدافعة الكهربية المتولدة هي قوة دافعة ذات شكل جيبي (sinewave) شكل ٢ -١جـ، متغيرة

القيمة والاتجاه (جهد متردد) وللحصول على قوة دافعة كهربية لا تتغير مع الزمن (DC) يجب أن يتم توحيد الموجة الجيبية قبل خروجها واستخدامها. يتم ذلك باستبدال حلقتي الانزلاق إلى حلقة انزلاق مكونة من قطعتين معزولتين (أسطوانة مشطورة إلى جزئين بينهما عازل) A, B كما في شكل ٢ -٢. حيث تكون الفرشة الموجبة ملامسة لحلقة الانزلاق A كما في شكل ٢ -٢أ، وبعد دوران اللفة (abcd) ١٨٠ درجة، كما في شكل ٢ -٢ب تكون الفرشة الموجبة ملامسة لحلقة الانزلاق B، ويوضح شكل ٢ -٢جـ أن نصف الموجة الموجب هو من صفر إلى ١٨٠ درجة، بينما نصف الموجة السالب من ١٨٠ درجة إلى ٣٦٠ درجة قد انعكس وأصبح موجبا نتيجة وجود حلقة الانزلاق المنشطرة والتي تعمل كعضو توحيد بدلا من حلقتين منفصلتين كما في شكل ٢ -١. وبهذه الكيفية يتم الحصول على جهد موحد الاتجاه (مستمر) ولكن قيمته غير ثابتة. وللحصول على جهد ثابت القيمة يمكن استخدام أكثر من لفة وتوزيعها على محيط الآلة كما سيتضح فيما بعد. وهذه الطريقة لتوليد الجهد تم بناءً عليها بناء آلة التيار المستمر.



(أ) (ب)

(جـ)

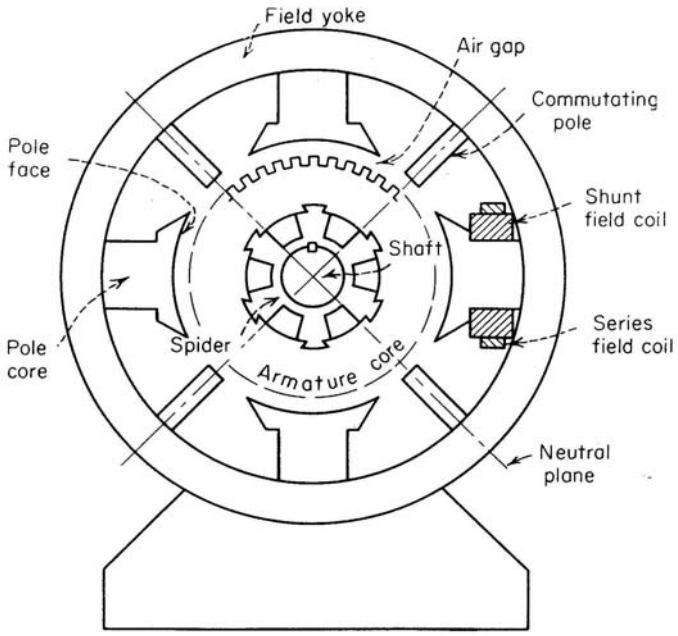
شكل ٢ -٢ تشغيل آلة التيار المستمر وكيفية توحيد الجهد

٢ -١ -٢ تركيب آلة التيار المستمر

تتكون آلة التيار المستمر من جزئين رئيسيين، العضو الثابت وهو المسؤول عن توليد المجال المغناطيسي والعضو الدائر ويسمى عضو الاستنتاج أو المنتج، وفيه تتحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية وتتولد به القوة الدافعة الكهربية. يفصل العضو الدائر عن العضو الثابت الثغرة الهوائية، ويوضح شكل٢ -٣ رسم تخطيطي لآلة التيار المستمر . يتكون العضو الثابت من الأجزاء الآتية:

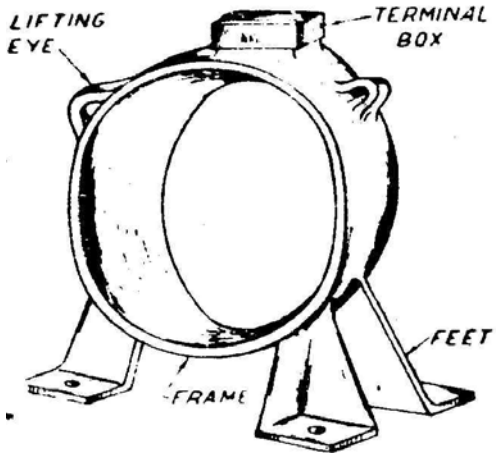
- الإطار الخارجي (Yoke): وهو مصنوع من الحديد المطاوع أو الحديد الزهر وفي بعض الآلات الصغيرة يصنع من رقائق من الصلب ، ووظيفته يعمل كمسار لاستكمال الدائرة المغناطيسية وكذلك يتم تثبيت الأقطاب به، .ويوضح شكل ٢ -٤ الإطار الخارجي لآلة تيار مستمر.

الأقطاب الرئيسية (Main poles): وتصنع من رقائق من الصلب ويتم تثبيتها في الإطار الخارجي ويركب عليها واجهة للقطب تسمى بحذاء القطب (Pole face or shoe) يعمل على توزيع وانتظام خطوط الفيض في الثغرة الهوائية. ويوجد حول الأقطاب الرئيسية ملفات المجال(Field coils) وتنقسم إلى نوعين : ملفات توازي (shunt field coil) وملفات توالي (series field coil) ، وهذه الملفات المسؤولة عن توليد المجال المغناطيسي عند مرور تيار بها. وتلف هذه الملفات حول القطب نفسه وليس حول واجهة القطب. وتصنع ملفات المجال إما من أسلاك نحاسية معزولة أو شرائح نحاسية كما في الآلات الكبيرة، ويوضح شكل (٢ -٥) رسم تخطيطي لقطب موضوع حوله ملفات المجال.

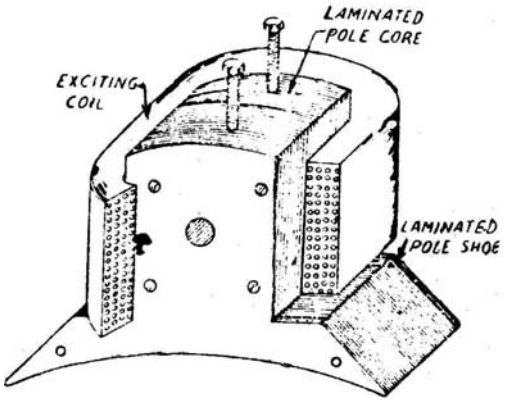


شكل ٢ -٣ مخطط لآلة تيار مستمر

• أقطاب التوحيد (Commutating poles) : تشبه الأقطاب الرئيسية ولكن حجمها أقل وتوجد هذه الأقطاب عادة في الآلات كبيرة الحجم (أكبر من ٢ كيلووات)، وتوضع في المسافة بين الأقطاب الرئيسية وتثبت في الإطار الخارجي. وملفوف حولها ملفات تسمي بملفات التوحيد والغرض منها تقليل المشاكل التي تصاحب عملية التوحيد في المنتج.



شكل ٢ -٤ الإطار الخارجي لآلة تيار مستمر



شكل ٢ -٥ قطب لآلة تيار مستمر موضوع حوله ملفات المجال

أما العضو الدائر(المنتج) فيتكون من الآتي:

• قلب المنتج (Armature core): وهو جزء أسطواني مصنوع من رقائق من الصلب مضغوطة مع بعضها ومعزولة كهربيا بواسطة طبقة رقيقة من الورنيش، وذلك لتقليل التيارات الدوامية. يوجد على محيط المنتج مجاري يوضع بها ملفات المنتج. أيضا يركب مروحة على عمود الإدارة للتبريد، كما هو موضح في شكل ٢ -٦.

• ملفات المنتج (Armature windings): عبارة عن مجموعات متعددة والملف الواحد عبارة عن مجموعة من الموصلات ويتم وضعها في مجارى المنتج. وتثبت الملفات داخل المجارى بواسطة عوازل وذلك لحمايتها من القوة الطاردة المركزية أثناء الدوران وحتى لا تخرج من المجارى. ويتم توليد القوة الدافعة الكهربية في هذه الملفات وهي التي تحمل تيار الحمل.

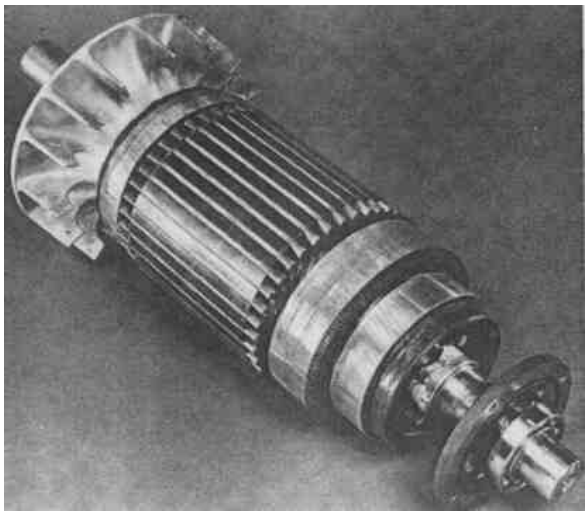
• الموحد (مبدل التيار)(Commutator) : يعمل على تحويل التيار المتردد المتولد في ملفات المنتج إلى تيار موحد الاتجاه في الدائرة الخارجية. وهو أسطواني الشكل مصنوع من قطع من النحاس الصلد المسحوب معزولة عن بعضها البعض بمادة عازلة جيدة (الميكا). مثبت عضو التوحيد على عمود الدوران للآلة ويتلامس مع سطحه العلوي فرش كربونية، ويتم توصيل جميع أطراف ملفات المنتج على الموحد كهربيا.

• حامل الفرش الكربونية (Brushes holder): مثبت في الإطار الخارجي للآلة ويحمل الفرش الكربونية التي تلامس السطح الخارجي للموحد وتعمل على تجميع التيار الكهربي وتوصيلة للدائرة

الخارجية (الحمل) وعادة عدد الفرش يساوى عدد الأقطاب الرئيسية. وتوصل مع بعضها لتكون مجموعة موجبة وأخرى سالبة.

٢ -١ -٣ طرق لف المنتج Armature winding :

تمثل ملفات المنتج أحد الأجزاء الرئيسية في آلة التيار المستمر وتوضع الملفات في مجاري المنتج ويراعى أن يكون توزيعها منتظم حول محيط المنتج وهذه الملفات توصل مع بعضها إما بالتوازي وذلك لزيادة الجهد



شكل ٢ -٦ العضو الدوار لآلة تيار مستمر (المنتج)

الكهربي أو بالتوالي لزيادة التيار المار بها. تكون ملفات المنتج دائرة مغلقة متصلة مع الدائرة الخارجية بواسطة الفرش الكربونية. يجب أن تكون المسافة بين جانبي الملف مساوية للخطوة القطبية -وهى المسافة بين مركزي قطبين في الآلة - ويلاحظ أن القوة الدافعة الكهربية المتولدة في موصلين بينهما مسافة تساوي الخطوة القطبية تكون معكوسة في أحدهم عن الآخر، ويتم لحام أطراف الملفات مع أجزاء الموحد (commutator segments)، وحسب طريقة التوصيل المتبعة فإنه يوجد هناك نوعان من اللف تستخدم بكثرة في لف المنتج:

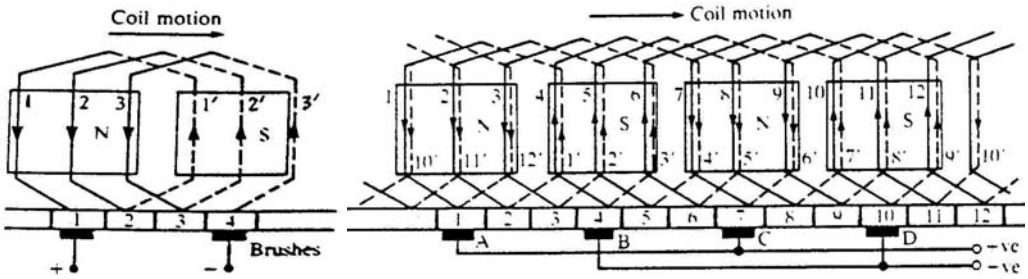
-اللف الانطباقي (Lap winding): في هذا النوع من اللف يوصل طرفا كل ملف إلى قطعتين موحد متجاورتين كما هو موضح في شكل ٢ -٧أ ، كما يوضح الشكل أيضا طريقة توصيل ثلاثة ملفات مع

بعضهما (ملفات ١,٢,٣) توصل نهاية الملف ١ مع بداية الملف ٢ وتوصل نهاية الملف ٢ مع بداية الملف ٣ وهكذا وتوصل نهاية آخر ملف مع بداية أول ملف مكونا بذلك دائرة مغلقة. ومن المهم ملاحظته أن نهاية

أي لفة وبداية اللفة التابعة يقعا تحت قطبين مختلفين في القطبية. تقسم الملفات في حالة اللف الانطباقي إلى عدد من المسارات المتوازية المتماثلة يساوى عدد الأقطاب في الآلة. كما يوضح شكل ٢ -٧ب اللف الكامل لآلة عدد أقطابها أربعة وعدد المجاري الكلية اثنتي عشر مجرى.

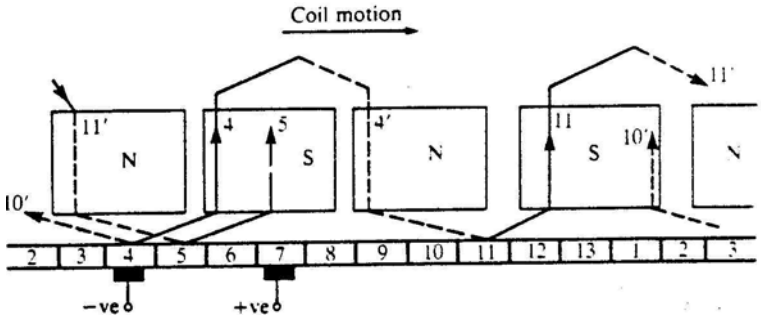
- اللف التموجي (Wave winding):

تختلف طريقة توصيل أطراف الملفات مع الموحد في هذا النوع من اللف عن النوع الانطباقي، إذ تثنى أطراف الملفات إلى الخارج ويوصل طرفا كل ملف بقطعتين من الموحد بينهما عدد محدود من القطع، ويطلق على هذا العدد اسم خطوة الموحد (commutator pitch) كما هو موضح في شكل ٢ -٨. وعدد المسارات المتوازية في حالة اللف التموجي اثنين فقط، يحتوى كل منهما على نصف عدد الملفات الكلية.



(أ) (ب)

شكل ٢ -٧ اللف الانطباقي لآلة التيار المستمر



شكل ٢ -٨ اللف التموجي لآلة التيار المستمر

٢ -٢ معادلة القوة الدافعة الكهربية المتولدة

يمكن الحصول على قوة دافعة كهربية بالتأثير الكهرومغناطيسي ديناميكيا وذلك بتحريك موصل بالنسبة لمجال مغناطيسي أو تحريك المجال المغناطيسي بالنسبة للموصل. فمثلا عندما يتحرك موصل طوله L (m) في مجال مغناطيسي منتظم كثافة خطوطه B (tesla) بسرعة مقدارها v (m/sec) في اتجاه عمودي على خطوط المجال (شكل ٢ -٩) تتولد على طرفي الموصل قوة دافعة كهربية مقدارها e (volt) تبعا لقانون فارادى بحيث يكون:

$$e=BLv \qquad \text{volt} \qquad ٢\square٢$$

وباعتبار أن نصف قطر المنتج r meter فيمكن حساب السرعة من العلاقة:

$$v=\omega r=\frac{2\pi n}{60}r \qquad ٢\square٣$$

حيث n (rpm) هي سرعة الدوران لفة/دقيقة، ω (rad/sec) هي السرعة الزاوية (المحيطية)

ويحسب كثافة المجال المغناطيسي تحت القطب من العلاقة التالية

$$B=\frac{\phi}{A}=\frac{\phi}{2\pi rl/2p} \qquad ٢\square٤$$

حيث A هي المساحة تحت القطب، بالتعويض بالمعادلة ٢ -٣ والمعادلة ٢ -٤ في المعادلة ٢ -٢ نحصل على القوة الدافعة الكهربية المتولدة في موصل موضوع تحت قطب كالتالي:

$$e=\frac{\phi 2p}{2\pi rl}l\frac{2\pi n}{60}r \qquad ٢\square٥$$

يمكن تبسيط المعادلة ٢ -٥ كالتالي

$$e=\phi\frac{2pn}{60} \qquad ٢\square٦$$

وإذا كان عدد الموصلات الكلية هو Z_a وعدد دوائر التوازي هو ٢a فإن القوة الدافعة الكلية المتولدة في المنتج تحسب من العلاقة التالية:

$$E_a=\frac{2p}{2a}\phi Z_a\frac{n}{60} \qquad ٢\square٧$$

مثال٢ -١ مولد تيار مستمر عدد أقطابه ٦ وعدد الموصلات الكلية ٢٥٠ ،ملفوف لفا تموجيا ويدور عند سرعة ١٢٠٠ لفه/دقيقة. فإذا كان الفيض لكل قطب ٤ ميجاخط، أوجد القوة الدافعة الكهربية المتولدة.

الحل ٢p=٦ ٢a=٢[wave winding] Z_a=٢٥٠ n=١٢٠٠ rpm Φ=٤ megalines/pole

Φ=٤*١٠^{٦} *١٠$^{-٨}$=٠,٠٤ wb/pole

$$E_a = \frac{2p}{2a}\phi Z_a \frac{n}{60}$$

$$E_a = \frac{6}{2} * 0.04 * 250 * \frac{1200}{60} = 600 \quad volt$$

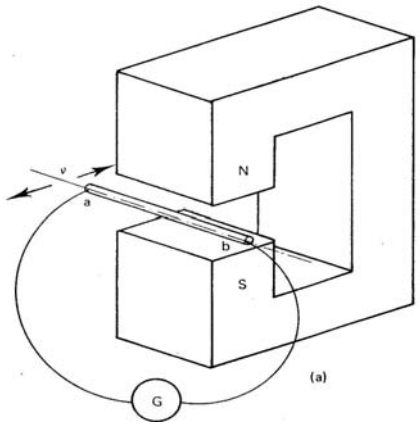
مثال٢ -٢_ مولد تيار مستمر عدد أقطابه ٨ وعدد الموصلات الكلية ٩٦٠ ،ملفوف لفا انطباقيا ويدور عند سرعة ٦٠٠ لفه/دقيقة. فإذا كانت القوة الدافعة الكهربية المتولدة ٢٢٠ فولت، أوجد الفيض المغناطيسي لكل قطب.

الحل ٢p=٨ ٢a=٢p[lap winding] Z_a=٩٦٠ n=٦٠٠ rpm E_a=٢٢٠ V

$$E_a = \frac{2p}{2a}\phi Z_a \frac{n}{60}$$

$$220 = \frac{8}{8} * \phi * 960 * \frac{600}{60}$$

Φ=٢٢٠*٦٠/(٦٠٠*٩٦٠)=٠,٠٢٣ wb/pole



شكل ٢ -٩ توليد القوة الدافعة

٢ -٣ رد فعل المنتج (Armature Reaction)

عند دوران المنتج في مجال الأقطاب الرئيسية، فإنه يتولد قوة دافعة كهربية نتيجة لقطع المنتج لخطوط المجال المغناطيسي كما سبق شرحه مسبقا، وعند تحميل الآلة، أي عندما تعطي الآلة تيارا في الدائرة الخارجية الموصلة إلى أطرافها، فإن تيار الحمل هذا يمر في ملفات المنتج، وينشأ عن مرور التيار في ملفات المنتج تأثيرات مغناطيسية حول هذه الملفات يمكن جمعها في مجال مغناطيسي محصل، وهذا المجال المغناطيسي المحصل لملفات المنتج يمثل ما يعرف برد فعل المنتج وعلى حسب قانون لنز (Lenz Law) ينتج من تفاعل المجال المغناطيسي الناشئ عن ملفات المنتج مع المجال المغناطيسي الأصلي في الآلة عزم دوران مضاد لعزم دوران الآلة المحركة، وهي التي تقوم بإمداد الآلة بالقدرة الميكانيكية، التي تتحول بفعل مرور التيار في الدائرة الخارجية إلى قدرة كهربائية.

يعمل المجال الناشئ عن ملفات المنتج على إضعاف مجال الأقطاب الرئيسية وعدم انتظامه وبذلك نجد أن محور التعادل والذي يكون موضوع عليه الفرش تغير وضعه ويترتب على ذلك حدوث شرر كهربي بين المنتج والفرش. وهذا الشرر يعمل على تآكل الفرش. وليس رد فعل قاصر على ذلك بل له أيضا تأثيرات أخرى. ولتوضيح تأثير رد فعل المنتج ، يجب أن نفهم أولا توزيع المجال الناشئ عن الأقطاب الرئيسية وعن المنتج. يوضح شكل ٢ -١٠أ توزيع خطوط الفيض المغناطيسي الناشئ عن المجال الرئيسي للأقطاب وذلك عند اللاحمل (عدم مرور تيار في المنتج). نجد أنه يتولد قوة دافعة مغناطيسية ($M.M.F_f$) يكون اتجاهها عمودي إلى أسفل، حيث إن خطوط المجال اتجاهها من أعلى إلى أسفل (أي من القطب الشمالي إلى الجنوبي). يلاحظ أيضا في هذه الحالة انطباق محور التعادل الهندسي (G.M.A) مع محور التعادل المغناطيسي (M.N.A).

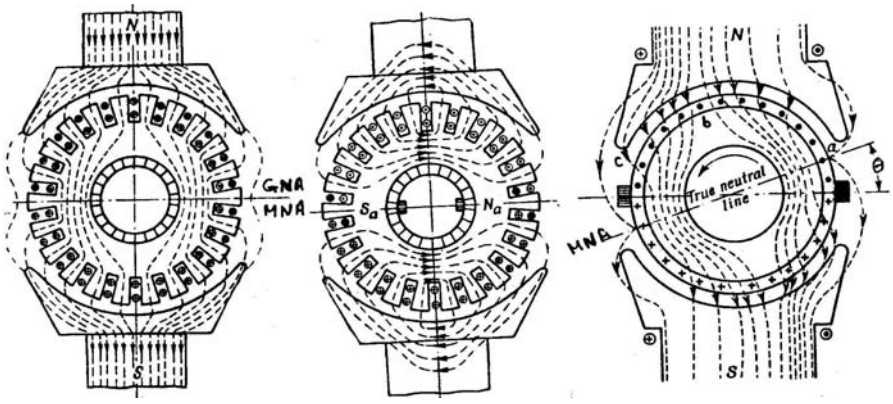
يبين شكل ٢ -١٠ب المجال المغناطيسي الناشئ عن ملفات المنتج تحت قطبين في الآلة وذلك عند عدم تغذية ملفات المجال. تمثل الدوائر الصغيرة في الرسم مقاطع الموصلات، والنقطة بداخل الدائرة تعني أن اتجاه التيار من الصفحة إلى الخارج، في حين أن علامة x تعنى العكس. وبناءا على ذلك يمكن رسم المجال المغناطيسي حول الموصلات، ويلاحظ أننا إذا اعتبرنا أن القوة الدافعة المغناطيسية لملفات المنتج صفرا عند منتصف كل قطب فإنها تزداد تدريجيا حتى تبلغ أقصى قيمة لها عند خط التعادل بين القطبين، ويكون اتجاه القوة الدافعة المغناطيسية ($M.M.F_a$) من اليسار إلى اليمين في اتجاه أفقيا. وفي الواقع لايمكن أن يعطي المنتج تيار دون تغذية ملفات المجال وبناءا على ذلك يمكن أن نحصل على توزيع

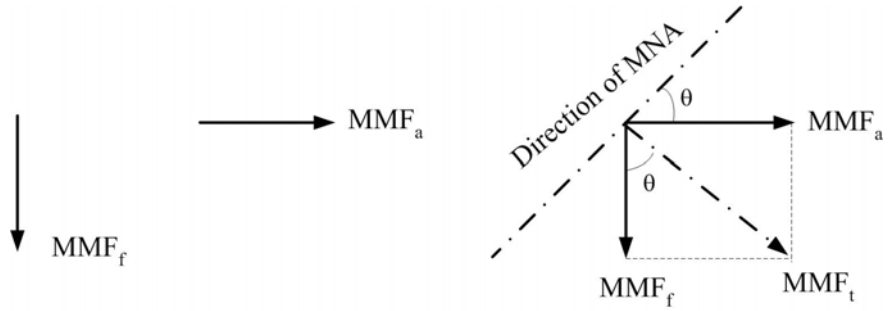
المجال نتيجة وجود المجالين معا، مجال ملفات الأقطاب ومجال ملفات المنتج، كما هو موضح بالشكل ٢ -١٠جـ . ويلاحظ أن القوة الدافعة المغناطيسية المحصلة للمجالين ($M.M.F_t$) قد أزيحت بزاوية θ بالنسبة لمجال الأقطاب الرئيسية($M.M.F_f$) ونتيجة لذلك، ينتقل محور التعادل المغناطيسي (M.N.A) بنفس الزاوية بالنسبة لمحور التعادل الهندسي (G.M.A). ويتضح من شكل ٢ -١٠جـ أن خطوط الفيض تختلف عن تلك التي في شكل ٢ -١٠أ. كما أن الفيض الكلي لكل قطب قد انقسم إلى نصفين خلال المسافة (ab) . ومقارنة بالشكل ٢ -١٠أ نجد أن كثافة الفيض في الثغرة الهوائية قد انخفض في تلك المساحة تحت القطب، وخلال المسافة (bc) نجد أن الفيض قد ركز في هذه المنطقة أسفل القطب مما يزيد من كثافة الفيض في هذه المنطقة عنه كما في شكل ٢ -١٠أ. وخلاصة القول فإن تأثير رد فعل المنتج قد شوه من توزيع خطوط المجال في الثغرة الهوائية. وهذا يعنى أن رد فعل المنتج يعمل على إعادة توزيع خطوط القوى المغناطيسية على طول الخطوة القطبية فتصبح مزدحمة على إحدى ناحيتي القطب، وقليلة على الناحية الأخرى، بعد أن كان توزيعها متساويا على الناحيتين، وهذا يؤدى بالتالي إلى تخفيض قيمة الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية مع الحمل (مع وجود رد فعل المنتج) عن القيمة الأصلية بدون حمل، ولذلك يجب أن نأخذ في الحساب أن التأثير المغناطيسي المتعامد لرد فعل المنتج سوف يؤدي بطريق غير مباشر إلى حدوث ظاهرة يطلق عليها اسم التأثير المغناطيسي المعاكس (Demagnetizing effect) حيث يظهر تأثير مغناطيسي معاكس يعمل على تقليل قيمة الفيض المغناطيسي تحت الأقطاب ويمكن تلخيص أضرار رد فعل المنتج في الآتي:

-حدوث شرر بين عضو التوحيد والفرش نتيجة لتغير موضع محور التعادل المغناطيسي، مما يستدعى تقديمها دائما أثناء الدوران.

-ارتفاع درجة الحرارة في المنتج لدرجة يخشى منها على صهر المادة العازلة للملفات.

-إضعاف المجال المغناطيسي للأقطاب مما يسبب تقليل القوة الدافعة المغناطيسية وبالتالي القوة الدافعة الكهربية المتولدة.

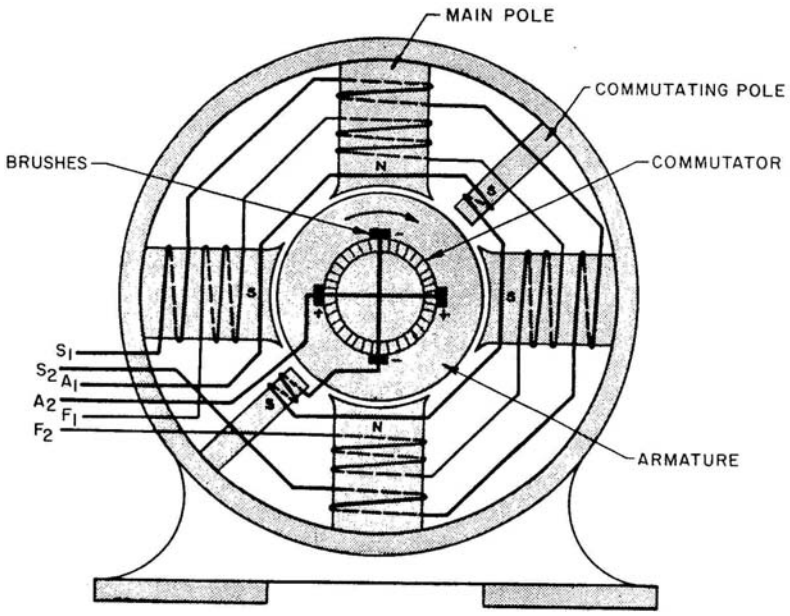




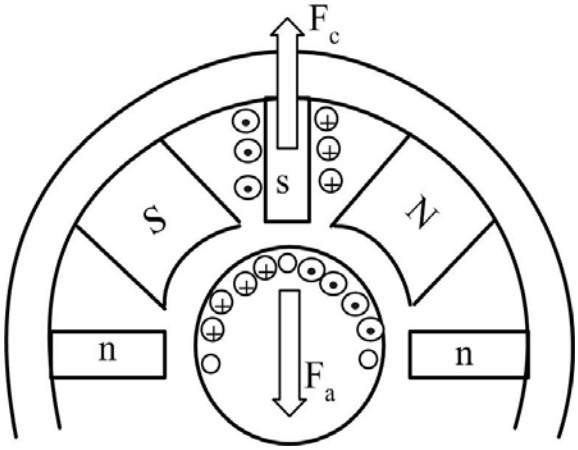
شكل ٢ -١٠ توزيع الفيض في الآلة نتيجة رد فعل المنتج

يمكن تقليل رد فعل المنتج عن طريق استخدام أقطاب مساعدة أو ملفات التعويض. توضع الأقطاب المساعدة بين كل قطبين رئيسيين ووظيفتها أن تعطى مجال مغناطيسي مضاد للمركبة الأفقية للمنتج فلو كان المجالان متساويان وعكس بعضهما لأمكن تلاشي رد فعل المنتج. ولذلك توصل ملفات الأقطاب المساعدة بالتوالي مع ملفات المنتج حتى تتناسب القوة الدافعة المغناطيسية المتولدة مع تيار المنتج، ويوضح شكل ٢ -١١ طريقة توصيل ملفات الأقطاب المساعدة مع المنتج، أما شكل ٢ -١٢ فيوضح اتجاه كلا من القوة الدافعة المغناطيسية المتولدة عن الأقطاب المساعدة (F_c) وكذلك عن المنتج (F_a) . وبهذه الطريقة نضمن أن وضع الفرش يظل ثابت دائما عند محور التعادل الهندسي.

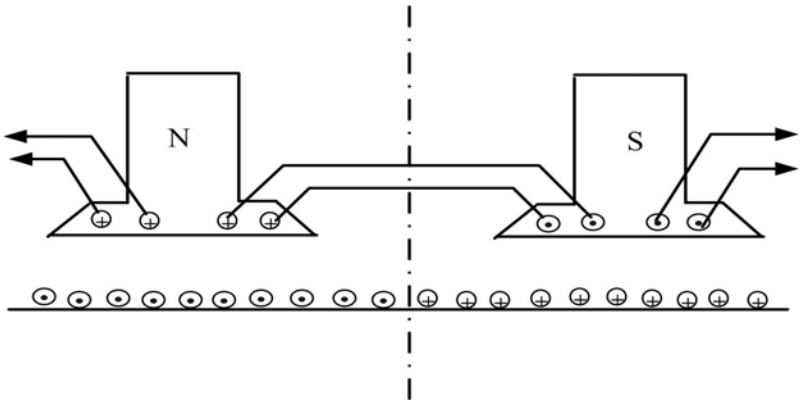
يمكن التغلب على المركبة الرأسية التي تضعف المجال الأصلي بوضع ملفات إضافية على الأقطاب (تسمى ملفات التعويض) ويمر فيها تيار المنتج ويم توصيلها بالفرش، أي بالتوالي مع المنتج، وتعطي هذه الملفات مجال مساعد عكس اتجاه المركبة الرأسية وبالتالي تعمل على إضعافها ويوضح شكل ٢ -١٣ وضع الملفات داخل الأقطاب واتجاه التيار بها.



شكل ٢ -١١ كيفية توصيل الأقطاب المساعدة بالمنتج



شكل ٢ -١٢ يبين اتجاه القوة الدافعة المغناطيسية لكل من ملفات المنتج والأقطاب المساعدة



شكل ٢ -١٣ ملفات التعويض

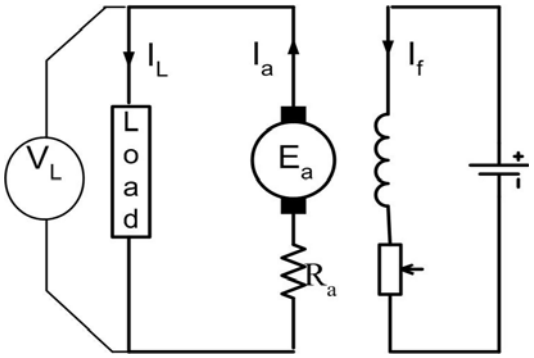
٢ -٤ طرق التغذية (التنبيه) لآلات التيار المستمر (Methods of Excitation)

تحتاج مولدات التيار المستمر إلى وسيلة لتغذية (تنبيه) ملفات المجال وذلك لتوليد القوة الدافعة المغناطيسية اللازمة لمغنطة الآلة والحصول على القوة الدافعة الكهربية عند الدوران. تستمد ملفات المجال التيار اللازم إما عن طريق مصدر جهد خارجي أو من الجهد المتولد من الآلة ذاتها، وتنقسم مولدات التيار المستمر من حيث طرق التغذية إلى نوعين:.

- مولدات ذات تغذية مستقلة (منفصلة) (Separately excited) ويتم فيها تغذية المجال من منبع جهد خارجي (منفصل عن الآلة).
- مولدات ذات تغذية ذاتية (Self excited) وفيها تغذى ملفات المجال من الآلة نفسها، ويتم بناء الجهد نتيجة المغناطيسية المتبقية في الآلة والتي تنشأ نتيجة تغذية الآلة تغذية مستقلة.

٢ -٤ -١ المولدات ذات التغذية المستقلة (Separately excited generators)

يوضح شكل ٢ -١٤ مخطط الدائرة لتوصيل مولدات التغذية المستقلة، وتستخدم هذه التوصيلة عموما لحساب منحنى الخصائص المغنطة للآلة أو كما يسمى منحنى الدائرة المفتوحة. ويمتاز هذا النوع من المولدات بثبات تيار المجال وعدم اعتماده على تيار المنتج، كذلك يمكن الحصول على مدى أوسع للجهد المتولد على أطراف الآلة، حيث يمكن الحصول على تغيير الجهد من صفر إلى أقصى قيمة مقننة للآلة.



شكل ٢ -١٤ مولد التغذية المستقلة

معادلات الجهد والتيار:

بتطبيق قانون كيرشوف (Kirechhoff's Law) على دائرة المنتج نحصل على المعادلة الآتية:

$$E_a = V_L + I_a R_a \qquad ٢\square٨$$

حيث V_L هو الجهد على أطراف المنتج (جهد الحمل)، E_a القوة الدافعة الكهربية المتولدة في المنتج وتحسب من المعادلة التالية:

$$E_a = \frac{2p}{2a}\phi Z_a N/60 \qquad ٢\square٩$$

أيضا يمثل I_a تيار المنتج، R_a مقاومة ملفات المنتج، I_L تيار الحمل وهو يساوى تيار المنتج.

$$I_a = I_L \qquad ٢\square١٠$$

مثال ٢ -٣ مولد تيار مستمر منفصل التغذية، يدور عند سرعة ١٢٠٠ لفه/دقيقة ويغذى حمل ثابت المقاومة بتيار قيمته ٢٠٠ أمبير عند جهد ١٢٥ فولت. احسب تيار الحمل إذا انخفضت السرعة إلى ١٠٠٠ لفة/دقيقة، وباعتبار تيار المجال لم يتغير. علما بأن مقاومة ملفات المنتج ٠,٠٤ أوم.

الحل n_1=١٢٠٠ rpm I_{L1}=٢٠٠ A V_{L1}=١٢٥ V n_2=١٠٠٠ rpm R_a=٠,٠٤ Ω

$E_a \alpha\ n$ as I_f is constant

$E_{a1}=V_{L1}+I_{L1}R_a$

$= ١٢٥+٢٠٠*٠,٠٤=١٣٣$ V

$$\frac{E_{a1}}{E_{a2}}=\frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{133}{E_{a2}}=\frac{1200}{1000}$$

$$E_{a2}=\frac{1000*133}{1200}=110.8 \quad V$$

$E_{a2}=V_{L2}+I_{L2}R_a=I_{L2}R_L+ I_{L2}R_a$

$$R_L=\frac{V_L}{I_L}=\frac{125}{200}=0.625\Omega$$

$١١٠,٨=I_{L2}[٠,٦٢٥+٠,٠٤]=I_{L2}[٠,٦٦٥]$

$$I_{L2}=\frac{110.8}{0.665}=166.62\ Amp.$$

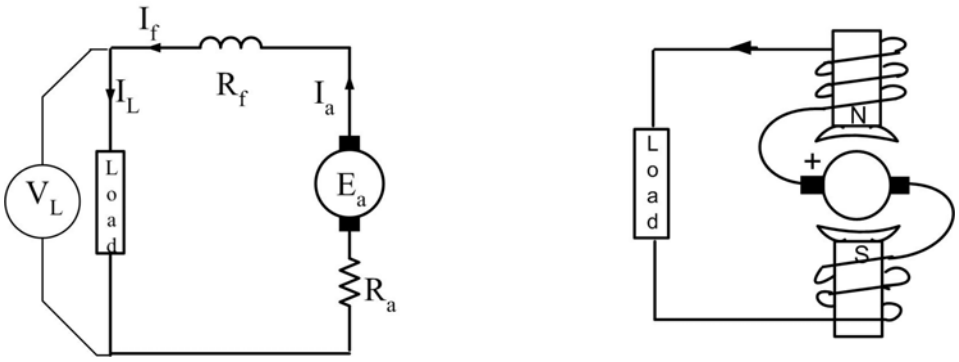
٢ -٤ -٢ مولدات التغذية الذاتية (Self excited generators)

تنقسم التغذية الذاتية تبعا لطريقة توصيل ملفات المجال مع المنتج إلى ثلاثة أنواع:

- تغذية توالي (series excitation) وتسمى الآلة في هذه الحالة مولد التوالي
- تغذية توازي (shunt excitation) وتسمى الآلة بمولد التوازي
- تغذية مركبة (compound excitation) وتسمى الآلة في هذه الحالة بالمولد المركب

٢ -٤ -٢ -١ مولد التغذية التوالي (series excited generator)

يتم توصيل ملفات المجال بالتوالي مع ملفات المنتج والحمل كما هو موضح بالشكل ٢ -١٥ .



شكل ٢ -١٥ مولد التغذية التوالي

معادلات الجهد والتيار:

$$E_a = V_L + I_a\left(R_a + R_f\right) \qquad ٢\square١١$$

$$I_a = I_L = I_f \qquad ٢\square١٢$$

مثال ٢ -٤ مولد تيار مستمر توالي ، عدد أقطابه ٤ والقدرة المقننة ١٥ كيلو وات عند جهد ١٢٥ فولت وسرعة دوران ١١٥٠ لفه/دقيقة. مقاومة ملفات المجال ١٥, أوم ومقاومة ملفات المنتج ٢٤, أوم. احسب الجهد على أطراف المولد عندما يدور بسرعة ١٢٠٠ لفة/دقيقة ويغذى الحمل بتيار قيمته ١٢٥ أمبير. علما بأن المجال المغناطيسي قد ارتفع بنسبة ٣٠٪.

الحل

P_{out}=١٥Kw $V_{L١}$=١٢٥ V $n_١$=١١٥٠ rpm R_f=٠,١٥Ω R_a=٠,٢٤Ω $n_٢$=١٢٠٠rpm $I_{L٢}$=١٢٥ A
$\Phi_٢$= ١,٣$\Phi_١$

$$I_{L1} = \frac{P_{out}}{V_{L1}} = \frac{15*10^3}{125} = 120 \quad Amp.$$

$E_{a١}=V_{L١}+I_{L١}R_f+I_aR_a=V_{L١}+I_{L١}[R_f+R_a]$ as $I_L=I_a$

$E_{a١}$=١٢٥+١٢٠[٠,١٥+٠,٢٤]=١٧١,٨ V

$$\frac{E_{a1}}{E_{a2}} = \frac{\phi_1 n_1}{\phi_2 n_2}$$

$$E_{a2} = \frac{\phi_2 n_2 E_{a1}}{\phi_1 n_1} = \frac{1.3\phi_1 * 1200 * 171.8}{\phi_1 * 1150} = 233.05 \quad V$$

$E_{a٢}=V_{L٢}+I_{L٢}R_f+I_aR_a=V_{L٢}+I_{L٢}[R_f+R_a]$

$V_{L٢}=E_{a٢}-I_{L٢}[R_f+R_a]$=٢٣٣,٠٥-١٢٥[٠,١٥+٠,٢٤]=١٨٤,٣ volt

٢ -٤ -٢ -٢ مولدات التغذية التوازي (Shunt excited generators)

في هذه الحالة يتم توصيل ملفات المجال بالتوازي مع ملفات المنتج كما هو مبين بالشكل ٢ -١٦. ويجب مراعاة أن مقاومة ملفات المجال المستخدمة تكون كبيرة حيث يقع عليها الجهد المتولد على أطراف المنتج، مع ملاحظة أن قيمة المقاومة تحدد عند تصميم الآلة، وذلك على عكس آلات التوالي حيث تكون ملفات التوالي صغيرة وعدد لفتها أقل.

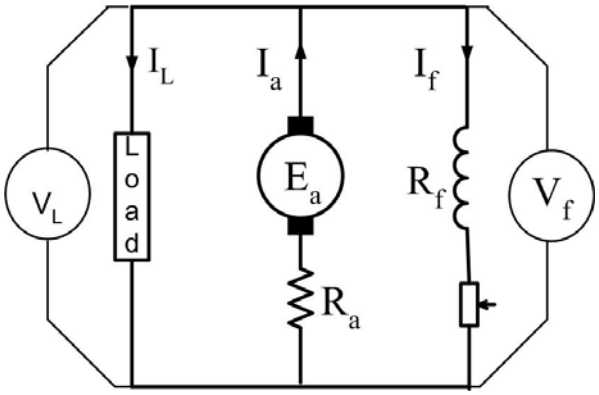
معادلات الجهد والتيار:

$$E_a = V_L + I_a R_a \qquad ٢\square١٣$$

$$V_f = V_L = I_f R_f \qquad ٢\square١٤$$

$$I_a = I_L + I_f \qquad ٢\square١٥$$

وعادة يتراوح تيار المجال في آلات التوازي من ١٪ إلى ٥٪ من قيمة تيار المنتج، حيث تكون القيمة العليا للآلات الصغيرة القدرة.



شكل ٢ -١٦ مولد التغذية التوازي

مثال ٢ -٥ مولد توازى يغذى حمل بتيار قيمته ٣٥٠ أمبير عند جهد مقداره ٢٤٠ فولت ، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج والمجال على الترتيب هي ٠,٠٢ أوم و ٥٥ أوم. احسب القوة الدافعة المتولدة.

الحل I_L=٣٥٠ A V_L=٢٤٠ V R_a=٠,٠٢Ω R_f=٥٥Ω

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{V_L}{R_f} = \frac{240}{55} = 4.36 \quad Amp$$

$I_a = I_L + I_f$=٣٥٠+٤,٣٦=٣٥٤,٣٦ Amp

$E_a=V_L+I_aR_a=٢٤٠+٣٥٤,٣٦*٠,٠٢=٢٤٧,١$ V

مثال ٢ -٦ مولد تيار مستمر التوازي ملفوف لفا انطباقيا وعدد موصلات المنتج ٥٠٠ موصل، مقاومة ملفات المنتج ٠,٠١ أوم ومقاومة ملفات المجال ٩٥أوم، يغذى ٢٠٠ لمبة قدرة كل منها ٦٠ وات عند جهد ١٢٠ فولت. أوجد سرعة دوران المولد إذا كان الفيض المغناطيسي لكل قطب ٠,٠٢ ويبر.

الحل

٢p=٢a [lap winding] $Z_a=٥٠٠$ $R_a=٠,٠١\Omega$ $R_f=٩٥\Omega$ $P_{out}=٢٠٠*٦٠=١٢٠٠٠W$ $V_L=١٢٠$ V $\Phi=٠,٠٢$ wb/pole

$P_{out}=V_L*I_L$

$$I_L=\frac{P_{out}}{V_L}=\frac{200*60}{120}=100\ A$$

$$I_f=\frac{V_f}{R_f}=\frac{120}{95}=1.26\ A$$

$I_a=I_L+I_f=١٠٠+١,٢٦=١٠١,٢٦$ A

$E_a=V_L+I_aR_a=١٢٠+١٠١,٢٦*٠,٠١=١٢١,٠١$ V

$$E_a=\frac{2p}{2a}\phi Z_a n/60$$

$$121.01=\frac{2p}{2p}*0.02*500*n/60$$

$n=١٢١,٠١*٦٠/(٠,٠٢*٥٠٠)=٧٢٦$ rpm

٢ -٤ -٢ -٣ مولدات التغذية المركبة (Compound excited generators)

تحتوي المولدات ذات التغذية المركبة على ملفات التوالي وملفات التوازي معا، وتوصل ملفات التوالي مع المنتج بحيث إن تعطى إما قوة دافعة مغناطيسية في نفس اتجاه القوة الدافعة المغناطيسية المتولدة من ملفات التوازي، وتسمى طريقة التوصيل في هذه الحالة بالتوصيل التراكمي (cumulative compound) أو توصل بحيث تنتج قوة دافعة مغناطيسية مضادة للمتولدة من ملفات التوازي، وتسمى طريقة التوصيل في هذه الحالة بالتوصيل الفرقى (differential compound).

في الآلات المركبة، توصل ملفات التوازي إما مباشرة مع أطراف المنتج وتسمى طريقة التوصيل بالتوصيل التوازي القصير (short-shunt)، أو توصل ملفات التوازي عبر الأطراف للدائرة الخارجية (المنتج مع ملفات التوالي) وتسمى طريقة التوصيل بالتوصيل التوازي الطويل (long-shunt)، والطريقة الأولى

موضحة في الشكل ٢ -١٧أ ، أما الطريقة الثانية فهي موضحة بالشكل ٢ -١٧ب ، حيث ترمز ملفات التوالي se وملفات التوازي sh .

معادلات الجهد والتيار للمولد القصير:

$$E_a = V_L + I_a R_a + I_L R_{se} \qquad ٢\square١٦$$

$$I_a = I_L + I_{sh} \qquad ٢\square١٧$$

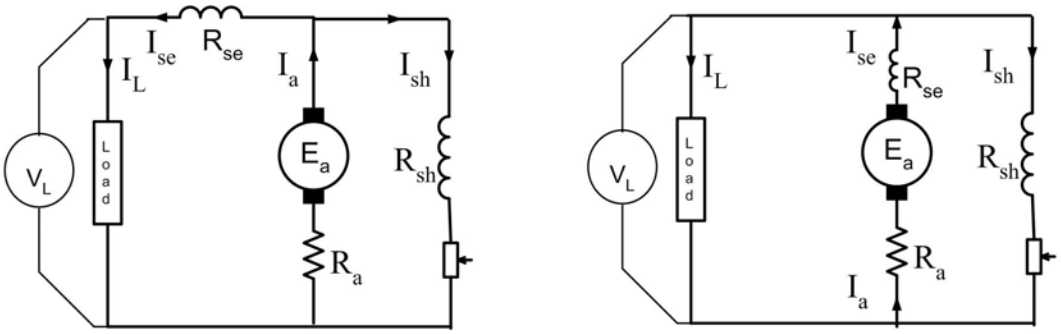
$$I_{se} = I_L \qquad ٢\square١٨$$

معادلات الجهد والتيار للمولد الطويل:

$$E_a = V_L + I_a (R_a + R_{se}) \qquad ٢\square١٩$$

$$I_a = I_L + I_{sh} \qquad ٢\square٢٠$$

$$I_{se} = I_a \qquad ٢\square٢١$$



شكل ٢ -١٧ مولد التغذية المركب (أ)مركب قصير (ب) مركب طويل

تعتمد قطبية المولدات ذاتية التغذية على المغناطيسية المتبقية في الآلة. وهذه المولدات تستطيع بناء الجهد عندما توصل ملفات المجال مع المنتج بحيث إن تيار المجال يساعد المغناطيسية المتبقية في الآلة، وأي توصيل معكوس لملفات المجال سوف يتسبب في إلغاء المغناطيسية المتبقية (demagnetize the machine) وبناءً عليه لا يتولد جهد على أطراف الآلة.

مثال ٢ -٧ مولد مركب طويل يغذي حمل بتيار قيمته ٦٠ أمبير عند جهد ٢٣٠ فولت . احسب القوة الدافعة الكهربية المتولدة، إذا كانت مقاومة المنتج ٠,٠٤ أوم، مقاومة ملفات التوالي ٠,٠١ أوم ومقاومة ملفات التوازي ١٢٥ أوم.

الحل V_L=٢٣٠ V I_L=٦٠ A R_a=٠,٠٤ Ω R_{se}=٠,٠١Ω R_{sh}=١٢٥Ω

$$I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}} = \frac{V_L}{R_{sh}} = \frac{230}{125} = 1.84\ A$$

$I_a = I_L + I_{sh} = ٦٠ + ١,٨٤ = ٦١,٨٤$ A

$E_a = V_L + I_a(R_a + R_{se}) = ٢٣٠ + ٦١,٨٤ * (٠,٠٤ + ٠,٠١) = ٢٣٣,٠٩٢$ Volt

٢ -٥ منحنيات الخواص لمولدات التيار المستمر (Characteristic Curves of DC Generators)

تتولد بين نهايتي مجموعات الفرش الموجبة ومجموعات الفرش السالبة - وهما اللتان يخرج منهما طرفا المنتج كما هو موضح في جميع الرسامات السابقة التي تمثل الآلة -قوة دافعة كهربية تتوقف قيمتها على سرعة الآلة، والفيض المغناطيسي لكل قطب، وعدد الموصلات على المنتج وطريقة لفها، كما تتوقف قطبيتها التي تحدد أي الطرفين هو الموجب، والآخر هو السالب، على اتجاه تيار التنبيه في ملفات المجال. بالرجوع إلى معادلة القوة الدافعة المتولدة وباعتبار أن عدد الموصلات على المنتج في نفس الآلة ثابت القيمة، وكذلك ٢a,٢P فإن قيمة القوة الدافعة الكهربية E_a تتناسب طردياً مع كل من الفيض المغناطيسي Φ ، وسرعة الدوران N .

$$E_a = k\phi N$$

تستخدم المعادلة لرسم منحنيات الخواص للآلة الكهربية، بالإضافة إلى معادلة القوة الدافعة المتولدة كدالة في جهد الحمل V_L.

يوجد أربعة منحنيات خواص تمثل أهم الخصائص لمولدات التيار المستمر وهم:

- منحنى خواص اللاحمل No-load characteristic, $E_o=f(I_f)$, N=constant

ويعرف أيضا بمنحنى التمغنط للآلة أو منحنى الدائرة المفتوحة (o.c.c) وهو يعطي العلاقة بين القوة الدافعة المتولدة داخل المنتج في حالة اللاحمل (E_o) وتيار المجال (I_f) عند ثبوت السرعة.

- منحنى خواص الحمل Load characteristic, $V_L=f(I_f)$, I_a and N=constant

وهو العلاقة بين الجهد على أطراف الحمل (V_L) وتيار المجال (I_f) عند تحميل المولد وذلك بثبوت السرعة وتيار الحمل.

- منحنى الخواص الخارجية External characteristic, $V_L=f(I_L)$, I_f and N=constant

يعطي العلاقة بين الجهد على أطراف الحمل (V_L) مع تيار الحمل (I_L) عند ثبوت السرعة وتيار المجال.

- منحنى الخواص الداخلية Internal characteristic, $E_a=f(I_a)$, I_f and N=constant

يعطي منحنى الخواص الداخلية العلاقة بين القوة الدافعة الكهربية المتولدة داخل المنتج وتيار المنتج وذلك عند التحميل وأخذ رد فعل المنتج في الاعتبار.

وسوف نتناول بالتفصيل كيفية الحصول على منحنيات الخواص للأنواع المختلفة لمولدات التيار المستمر شاملة مولدات التغذية المستقلة والذاتية.

٢ -٥ -١ منحنيات الخواص لمولدات التغذية المستقلة

- منحنى خواص اللاحمل No-load characteristic

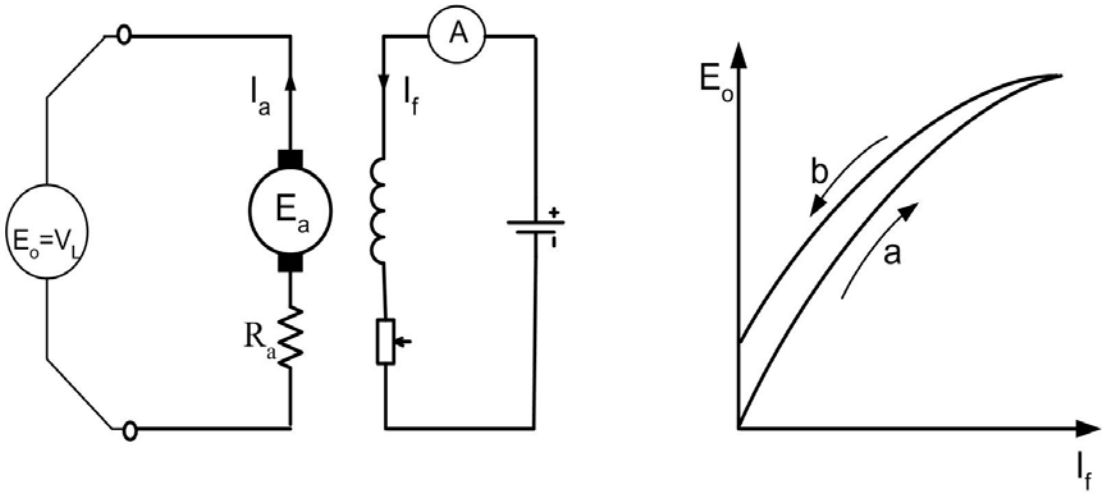
للحصول على منحنى الخواص في حالة اللاحمل تدار الآلة بسرعة ثابتة، وبذلك نحصل على علاقة بين القوة الدافعة المتولدة E_a وبين الفيض المغناطيسي من المعادلة:

$$E_a = k\phi$$

وحيث إن المنتج لا يحمل تيار، فيعتمد الفيض المغناطيسي على تيار المجال فقط (I_f) وبذلك يصبح

$$E_a = k'I_f$$

وهذه العلاقة تعطي منحنى الخواص في حالة اللاحمل حيث يعتبر الجهد الخارج على أطراف الآلة في هذه الحالة هو E_o وهو دالة في تيار المجال، ويمكن الحصول على هذه العلاقة من خلال توصيل الآلة كما في شكل ٢ -١٨أ، حيث تدار الآلة بسرعة ثابتة وتؤخذ قراءات مختلفة للجهد على طرفيها بتوصيل فولتميتر بينهما، وتؤخذ في نفس الوقت قراءات مناظرة لتيار المجال باستخدام أميتر موصل على التوالي مع ملفات المجال، ويتم تغيير قيمة تيار المجال باستخدام مقاومة متغيرة موصلة على التوالي أيضا مع ملفات المجال. وترسم العلاقة بين القوة الدافعة المتولدة في حالة اللاحمل E_o وتيار المجال I_f، والشكل ٢ -١٨أ يوضح هذه العلاقة بالمنحنى (a)، والمنحنى (b) يوضح العلاقة ذاتها عند تقليل تيار المجال، ونتيجة لوجود المغناطيسية المتبقية في الآلة فإن المنحنيين لاينطبقان على بعضيهما.

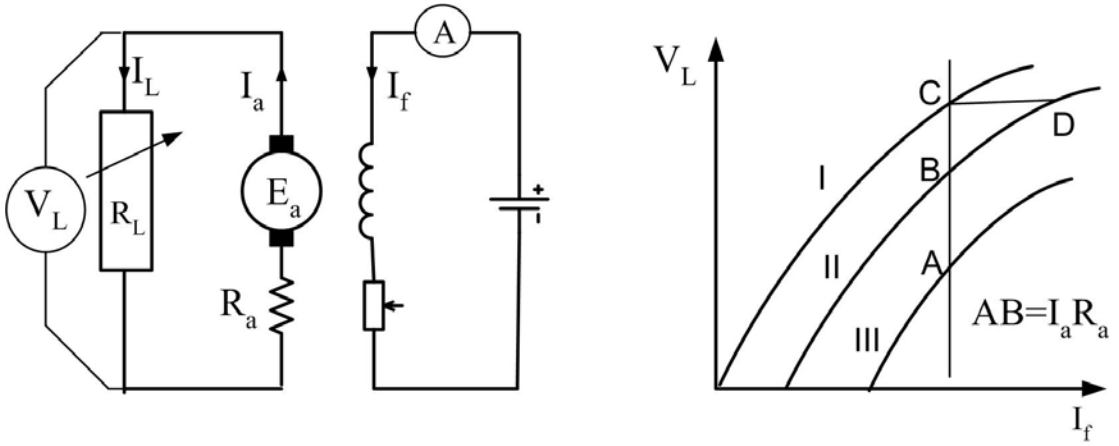


(أ) (ب)

شكل ٢ -١٨ خواص اللاحمل (أ) توصيل الآلة (ب)منحنى الخواص

-خواص الحمل Load characteristic

عند تحميل المولد فإن القوة الدافعة الكهربية المتولدة في المنتج تكون أقل من مثيلتها في حالة اللاحمل (E_o) وذلك نتيجة رد فعل عضو الاستنتاج (armature reaction)، وينعكس هذا على قيمة جهد الحمل (V_L) حيث يقل عن القوة الدافعة المتولدة (E_a) بمقدار الانخفاض في الجهد على مقاومة المنتج (I_aR_a)، وإذا أمكن عن طريق تيار التنبيه (المجال) حفظ تيار الحمل ثابت على الرغم من تغيير قيمة مقاومة الحمل (R_L) وتغيير الجهد الطرفي V_L تبعا لذلك، فإننا نحصل على منحنى يربط بين V_L (إحداثي رأسي) وتيار التنبيه (إحداثي أفقي) وذلك عند ثبوت السرعة، يشبه هذا المنحنى منحنى التمغنط عند اللاحمل ويسمى منحنى تمغنط الحمل. يبين شكل ٢ -١٩أ مخطط الدائرة المستخدمة، أما شكل ٢ - ١٩ب فيبين منحنى الحمل. في الشكل ٢ -١٩ب، منحنى III هو منحنى خواص الحمل بينما منحنى I هو المنحنى في حالة اللاحمل لنفس الآلة، إذا أضيفت المسافة AB (I_aR_a) إلى المنحنى III ، فينتج المنحنى II وهو يمثل القوة الدافعة المتولدة في المنتج نتيجة للفيض المحصل في الآلة ، وتمثل المسافة CB الفقد في الجهد نتيجة رد فعل عضو الاستنتاج، ولكي نحفظ الجهد على أطراف الآلة (V_L) مساويا الجهد في حالة اللاحمل (E_o) يجب أن يزيد تيار المجال بمقدار (CD) لكي يعوض الفقد في الجهد نتيجة رد فعل عضو الاستنتاج.



(أ) (ب)

شكل ٢ -١٩ خواص الحمل (أ) توصيل الآلة (ب)منحنى الخواص

-منحنى الخواص الخارجية (External characteristic)

يوضح شكل ٢ -٢٠ منحنى الخواص الخارجي للمولد، ويعطي منحنى هبوط الجهد في المنتج قيم هذا الهبوط عند تيارات الحمل المختلفة والمنحنى المتقطع (II) يعطي قيمةE_a عند تيارات الحمل المختلفة،

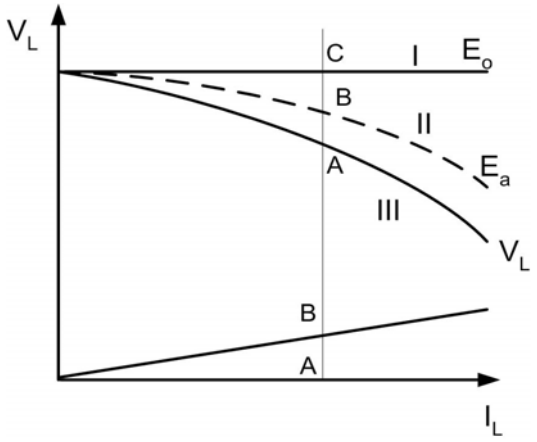
ويكون الفرق بين الخط الأفقي (I) الممثل E_o وبين هذا المنحنى عند أي تيار حمل معين هو هبوط الجهد المكافئ لرد فعل المنتج عند هذا الحمل. فإذا طرحنا منه هبوط الجهد في دائرة المنتج باستخدام المنحنى المعطى نحصل على منحنى الخواص الخارجي كما هو موضح في الشكل بالمنحنى (III)، وهو يمثل العلاقة بين الجهد على أطراف الحمل (V_L) وتيار الحمل (I_L) عند ثبوت السرعة وتيار المجال.

-منحنى الخواص الداخلية (Internal characteristic)

يمثل المنحنى II في شكل ٢ -٢٠ الخواص الداخلية للمولد $E_a=f(I_a)$، حيث يعطى العلاقة بين القوة الدافعة المتولدة في الآلة (E_a) في حالة التحميل وبين تيار المنتج (I_a) والذي يساوى تيار الحمل (I_L) للآلة ذات التغذية المستقلة، وذلك عند ثبوت السرعة وتيار المجال. وهذا المنحنى يتم الحصول عليه بإضافة الهبوط في الجهد AB إلى منحنى الخواص الخارجية، ويمثل E_a القوة الدافعة الكهربية المتولدة في المنتج نتيجة الفيض المحصل في الثغرة الهوائية.

بالاستعانة بمنحنى الخواص الخارجية للآلة، شكل ٢ -٢٠، يمكن حساب تنظيم الجهد ε للآلة من العلاقة التالية:

$$\%\varepsilon = \frac{E_o - V_L}{V_L} * 100 \qquad ٢٢-٢$$

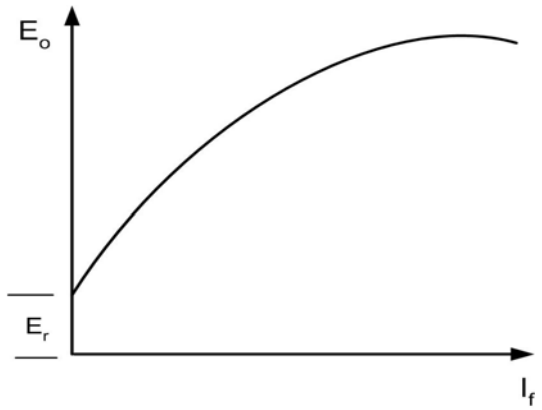


شكل ٢ -٢٠ منحنى الخواص الخارجية

٢ -٥ -٢ منحنيات الخواص للمولدات ذاتية التغذية

لتوليد القوة الدافعة الكهربية، نحتاج إلى المجال المغناطيسي وتنشأ خطوط القوى المغناطيسية في الدائرة المغناطيسية للآلة بفعل التيار الذي يمر في ملفات المجال. وفي آلات التغذية المستقلة نحصل على تيار التنبيه (المجال) من مصدر مستقل، بينما نحصل عليه في الآلات ذاتية التغذية من الآلة نفسها، والسؤال الذي يتبادر للأذهان بخصوص هذا النوع الأخير من الآلات هو: كيف نحصل على تيار المجال في

البداية؟ . عند خروج الآلة من المصنع يتم تشغيلها لأول مرة بالتنبيه المستقل، فيمر تيار من مصدر كهربائي خارجي في ملفات المجال لتوليد المجال المغناطيسي. وعند فصل هذا التيار عن ملفات المجال، يترك وراءه مغناطيسية مستبقاه في أقطاب الآلة، وهي التي يعتمد عليها في عملية بناء المجال المغناطيسي في الآلة، يبين الشكل ٢ -٢١ منحنى التمغنط للآلة (Magnetization curve) والذي يربط بين قيمة تيار التنبيه في ملفات المجال (I_f)، وقيمة القوة الدافعة الكهربية التي تعطيها الآلة (E_o) وهي التي تتناسب مع قيمة التدفق المغناطيسي لكل قطب عند ثبوت سرعة دوران الآلة. ونظرا لوجود مغناطيسية مستبقاه في الأقطاب، تتولد في الآلة عند دورانها بالسرعة المقننة قوة دافعة كهربية صغيرة (E_r) تتوقف قيمتها على مقدار عدد خطوط القوى الناشئة عن المغناطيسية المتبقاه. عندئذ يمر تيار في ملفات المجال تتوقف قيمته على كل من معامل الحث الذاتي لملفات المجال (L_f) ومقاومة هذه الملفات (R_f)، وتنمو بناء على ذلك القوة الدافعة الكهربية المتولدة على أطراف الآلة حتى تصل إلى القيمة المقننة. ولكي يمكن للآلة أن تعطي القوة الدافعة الكهربية المطلوبة يجب أن يكون بناء المجال المغناطيسي في نفس اتجاه خطوط القوة الناشئة عن المغناطيسية المتبقاه في الأقطاب E_r (Residual magnetism) .



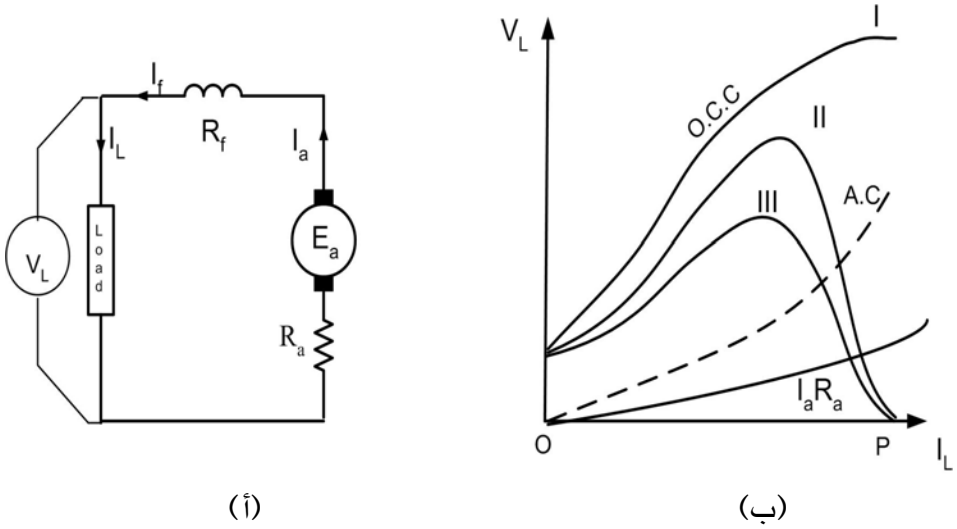
شكل ٢ -٢١ منحنى التمغنط لآلات التغذية الذاتية

٢ -٥ -٢ -١ منحنيات الخواص لمولدات التوالي

السمة التي تميز مولد التوالي عن الأنواع الأخرى لمولدات التيار المستمر هي منحنى الخواص الخارجية. يبين شكل ٢ -٢٢أ الدائرة الكهربية لمولد تغذية توالي والمستخدمة للحصول على منحنى الخواص الخارجية. يتغير تيار الحمل عن طريق استخدام مقاومة حمل متغيرة (R_L) . في هذه المولدات ملفات المجال موصلة توالي مع ملفات المنتج وبالتالي فإنها تحمل تيار المنتج (I_a)، وبناءا على ذلك فإن زيادة تيار المنتج

يزيد من المجال الناتج وبالتالي القوة الدافعة الكهربية المتولدة وكذلك زيادة جهد الحمل (V_L). الشكل ٢ -٢٢ب يوضح منحنيات الخواص لمولد التوالي، حيث يمثل المنحنى I خواص الدائرة المفتوحة للآلة، أما منحنى III فيمثل منحنى الخواص الخارجية ونحصل على هذا المنحنى بمحصلة الفرق بين المنحنى I والمنحنى A.C. يلاحظ من منحنى الخواص الخارجية لمولد التوالي أن الجهد يزداد مع زيادة تيار الحمل، ولكن عند زيادة الحمل عن حد معين، فإن الجهد يبدأ في النقصان نتيجة لزيادة رد فعل عضو الاستنتاج والذي يتناسب هنا مع تيار الحمل I_L . وعند تيار حمل OP فإن الجهد على أطراف الحمل يساوى صفرا كما هو موضح بالشكل ٢ -٢٢ب.

إذا تم إضافة منحنى الهبوط في الجهد I_aR_a إلى منحنى الخواص الخارجية (منحنى III) فإننا نحصل على منحنى الخواص الداخلية (منحنى II) وهو يمثل علاقة القوة الدافعة المتولدة E_a كدالة في تيار المنتج (الحمل في هذه الحالة)، والفرق بين منحنى الدائرة المفتوحة I، ومنحنى الخواص الداخلية II يمثل الفقد في الجهد نتيجة رد فعل عضو الاستنتاج.



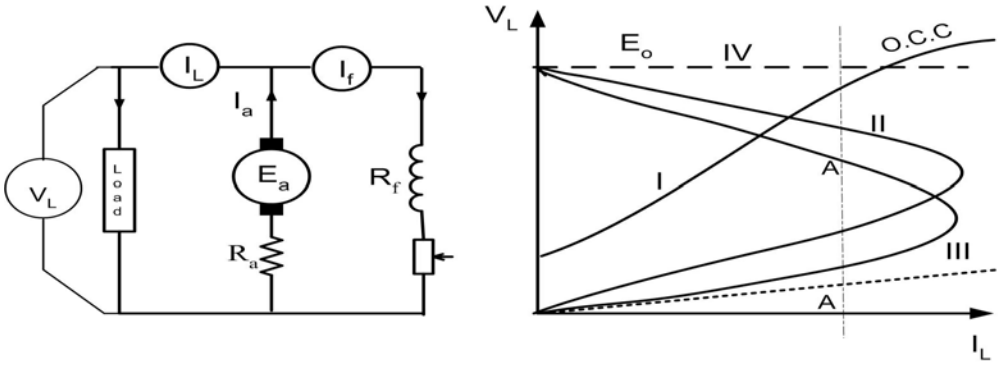
(أ) (ب)

شكل ٢ -٢٢ خواص مولد التوالي أ -الدائرة الكهربية ب - منحنيات الخواص

٢ -٥ -٢ -٢ منحنيات الخواص لمولدات التوازي

يمثل المنحنى I في شكل ٢ -٢٣ب منحنى الخواص لمولد التوازي في حالة اللاحمل كما يمثل المنحنى II الخواص الداخلية للمولد، أما المنحنى III فيمثل الخواص الخارجية. يلاحظ على الرسم أنه عند قيمة محددة لتيار الحمل تسمى القيمة الحرجة، فإن منحنى الخواص الخارجية يرتد مرة أخرى ويقل جهد الحمل حتى يصل إلى الصفر. أيضا المنحنى IV يمثل القوة الدافعة المتولدة في حالة اللاحمل E_o للآلة. ويمكن حساب معامل تنظيم الآلة من العلاقة التالية:

$$\%\varepsilon = \frac{E_O - AA}{AA} * 100 \qquad ٢٣-٢$$



(أ) (ب)

شكل ٢ -٢٣ خواص مولد التوازي أ -الدائرة الكهربية ب - منحنيات الخواص

٢ -٥ -٢ -٣ منحنيات الخواص للمولدات المركبة

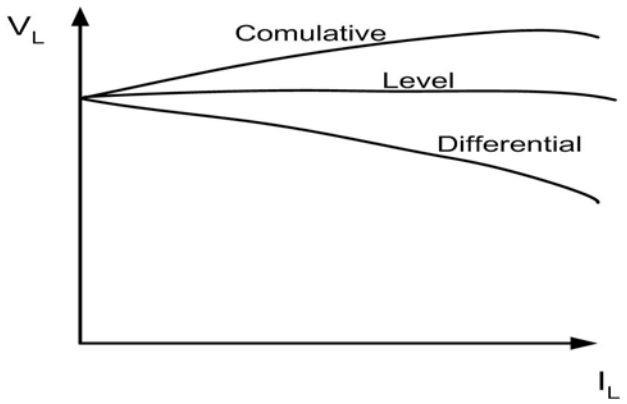
وضحنا فيما سبق أنه يوجد نوعان من الآلات المركبة، النوع الأول توازى طويل (long-shunt) بينما النوع الثاني توازى قصير (short-shunt). ولا يوجد فرق جوهري بين الاثنين، فالاختلاف بينهما لا يتعدى أنه في الحالة الأولى يوصل أحد طرفي ملفات التوازي مباشرة على الحمل، بينما يوصل في الحالة الثانية مع طرف المنتج، وهذا يؤثر تأثيرا طفيفا على قيم الجهد والتيار.

يختلف منحنى الخواص الخارجي للمولد المركب (سواء كان قصيرا أو طويلا) على حسب تأثير ملفات التوالي بالنسبة لملفات التوازي، ويوجد من هذه الناحية ثلاثة أنواع من المولدات المركبة.

-مركب تراكمي: تعطى ملفات التوالي مجالا مغناطيسيا في نفس اتجاه المجال المغناطيسي لملفات التوازي، فتؤدى الزيادة في تيار الحمل إلى زيادة ملحوظة في عدد خطوط القوى المغناطيسية للمجال المحصل في الثغرة الهوائية مما يعمل على زيادة قيمة الجهد الطرفي على الحمل V_L كلما زاد تيار الحمل كما يظهر في شكل ٢ -٢٤.

-مركب مستوى: تعطي ملفات التوالي مجالا مغناطيسيا يعمل على تعويض أي نقص في عدد خطوط القوى المغناطيسية للمجال المحصل في الثغرة الهوائية نتيجة للمؤثرات المختلفة، مثل رد فعل عضو الاستنتاج، مما يؤدي إلى ثبوت قيمة الجهد الطرفي على الحمل V_L مهما تغيرت قيمة تيار الحمل.

-مركب فرقي: تعمل ملفات التوالي على إضعاف المجال المغناطيسي الناشئ عن ملفات التوازي، مما يؤدى الزيادة إلى نقص كبير في عدد خطوط القوى المغناطيسية للمجال المحصل في الثغرة الهوائية كلما زاد تيار الحمل، فينخفض الجهد انخفاضا ملحوظا كما يظهر في شكل ٢ -٢٤.



شكل ٢ -٢٤ منحنى الخواص الخارجية للمولد المركب

٢ -٦ الفقد و الكفاءة لمولدات التيار المستمر Energy Losses and Efficiency of DC Generators

عند تحويل الطاقة الميكانيكية الداخلة للمولد إلى طاقة كهربية على أطرافه، يفقد جزء من هذه الطاقة، وتتحول الطاقة المفقودة عادة إلى طاقة حرارية في الآلة، والحرارة المتولدة تعمل على تسخين الآلة مما قد يتسبب عنه تلف المواد العازلة وحدوث دوائر قصر بين الملفات ويؤدي هذا إلى تدمير الآلة نفسها، ولذلك يجب الحد من الفقد في الآلة، حتى نحصل على معامل جودة (كفاءة) مرتفع، وارتفاع الكفاءة يعني خفض تكاليف التشغيل للآلة.

أثناء تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية بواسطة المولد، يفقد جزء من الطاقة في الدائرة المغناطيسية وجزء في الدائرة الكهربية، علاوة على ذلك يفقد جزء في صورة فقد ميكانيكي (أو احتكاك). ويمكن تقسيم الفقد في مولدات التيار المستمر إلى ثلاثة أنواع رئيسية.

-فقد الدائرة المغناطيسية (فقد الحديد) Magnetic losses (Iron losses)

- فقد الدائرة الكهربية (فقد النحاس) Electrical losses (Cupper losses)

-فقد ميكانيكي (احتكاك) Mechanical losses (Friction losses)

٢ -٦ -١ فقد الدائرة المغناطيسية (فقد الحديد)

وينقسم هذا الفقد إلى:

-فقد التخلف المغناطيسي Hysteresis loss : ويتناسب هذا الفقد مع التردد داخل المنتج وكثافة الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية وتعطى بالعلاقة:

$$W_h = B_g^{1.6} f \qquad ٢٤$$

-فقد التيارات الدوامية (الإعصارية) Eddy current loss: ويمثل هذا الفقد بالعلاقة التالية

$$W_e = B_g^2 f \qquad ٢٥$$

ويوجد الفقد الحديدي في الأجزاء من الآلة التي تتعرض لمجال مغناطيسي متغير مع الزمن وينصب هذا على عضو الاستنتاج نتيجة لدورانه في مجال الأقطاب. وهذا الفقد عادة ثابت القيمة في مولدات التوازي والمولدات المركبة، حيث إن المجال لهذه الآلات تقريبا ثابت.

٢ -٦ -٢ فقد النحاس وينشأ هذا الفقد نتيجة لمرور تيار في أجزاء الدائرة الكهربية المختلفة ويطلق أيضا عليها مفقودات مربع التيار وحسابها يكون لكل جزء على حدة بضرب مربع التيار المار في هذا الجزء في مقاومة الجزء نفسه، وينقسم هذا الفقد إلى:

- فقد النحاس في المنتج:

$$\text{Armature cupper loss}=I_a^2 R_a$$

وينشأ هذا الفقد في المنتج وملفات أقطاب التوحيد وملفات التعويض إن وجدت

- الفقد في ملفات المجال:

$$\text{For shunt machine}=I_{sh}^2 R_{sh}(\text{or } VI_{sh})$$

وهذا الفقد عادة ثابت.

$$\text{For series machine}=I_{se}^2 R_{se}$$

-الفقد نتيجة تلامس مقاومة الفرش:

$$\text{Loss due to brush contact resistance}=I_a V_B$$

حيث V_B هو الجهد المفقود نتيجة تلامس الفرش، وعادة هذا الفقد يدخل مع فقد المنتج.

٢ -٦ -٣ الفقد الميكانيكي

أو كما يسمى فقد الاحتكاك، وهو ينشأ نتيجة الاحتكاك في الكراسي (bearing)، واحتكاك الفرش وكذلك مقاومة الهواء نتيجة دوران المنتج. ويتوقف هذا الفقد على سرعة دوران المنتج ومساحة السطح الخارجي وكذلك معامل الاحتكاك بين مجموعات الفرش وعضو التوحيد.

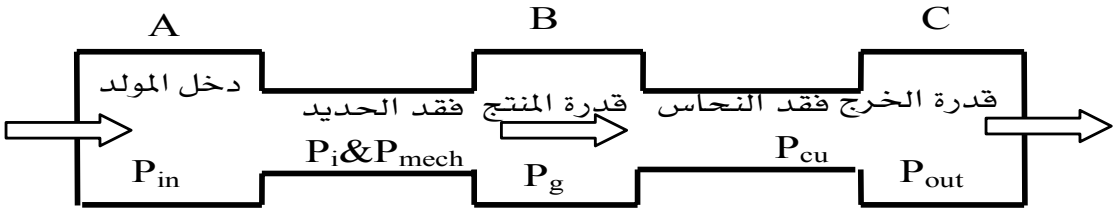
٢ -٦ -٤ مراحل القدرة للمولد

مما سبق نعلم بأن المولد وسيلة لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية ولهذا يوصل المولد بمحرك أولى (Prime mover) مثل آلة احتراق داخلية مثلا أو تور بينة والتي تعطى المولد قدرة أولية في صوره طاقة حركة سنطلق عليها دخل المولد Input power كما هو موضح في شكل ٢ -٢٥، وهذه القدرة الداخلة تكون بالحصان H.P ، والعلاقة بين الحصان والوات كما يلي: .H.P=٧٤٦ Watt . جزء من هذه القدرة تضيع من تعويض الفقد الميكانيكي P_{mech} والفقد الحديدي P_i والباقي يتحول إلى قدرة كهرومغناطيسية P_g حيث إن P_g هي قدرة المولد (أي قدرة المنتج) وتعطى بالعلاقة:

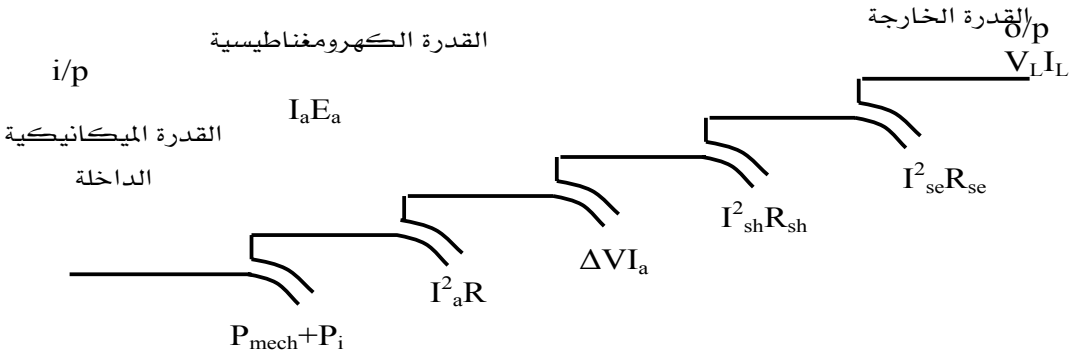
$$P_g=E_a I_a$$

$$P_g=P_{in}-(P_{mech}+P_i) \qquad ٢\square٢٦$$

عند انتقال القدرة إلى المنتج P_g يفقد من هذه القدرة جزء كمفاقيد نحاسية وتكون القدرة المتبقية هي القدرة المستفادة من المولد أو كما تسمى أحيانا خرج المولد P_{out} أو خرج الحمل P_L . ويعطى شكل ٢ - ٢٦ مخطط انسياب القدرة في مولدات التيار المستمر.



شكل ٢ -٢٥ مراحل القدرة لمولدات التيار المستمر



شكل ٢ -٢٦ مخطط انسياب القدر
لمولدات التيار المستمر

٢ -٦ -٥ حساب الكفاءة أو معامل الجودة Efficiency

بالرجوع إلى مراحل انتقال القدرة داخل مولد التيار المستمر، يمكن حساب ثلاث كفاءات وهي كالتالي:

-الكفاءة الميكانيكية:

$$\eta_m = \frac{B}{A} = \frac{E_a I_a}{HP * 746} \qquad ٢٧$$

-الكفاءة الكهربية:

$$\eta_e = \frac{C}{B} = \frac{V_L I_L}{E_a I_a} \qquad ٢٨$$

-الكفاءة الكلية:

$$\eta = \frac{o/p}{i/p} = \eta_m \eta_e = \frac{C}{A} = \frac{V_L I_L}{HP * 746} \qquad ٢٩$$

أيضا يمكن حساب الكفاءة الكلية من العلاقات

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + losses} \qquad ٣٠$$

$$\eta = \frac{P_{in} - losses}{P_{in}} \qquad ٣١$$

مثال ٢ -٨ مولد تيار مستمر مركب طويل،يدور بسرعة ١٠٠٠ لفه/دقيقة ويغذى حمل قدرته ٤٥ كيلووات عند جهد ٢٤٠ فولت.، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٠٥ أوم ومقاومة التوالي ٠,٠٢ أوم ومقاومة التوازي ٦٥ أوم. احسب الكفاءة لهذا المولد إذا كانت المفقودات الحديدية والميكانيكية ٣٥٠٠ وات.

الحل

n=١٠٠٠ rpm P_{out}=٤٥ Kw V_L=٢٤٠ V R_a=٠,٠٥Ω R_{se}=٠,٠٢Ω R_{sh}=٦٥Ω

P_i+P_{mech}=٣٥٠٠ W

$$I_L = \frac{P_{out}}{V_L} = \frac{45 * 10^3}{240} = 187.5\ A$$

$$I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}} = \frac{V_L}{R_{sh}} = \frac{240}{65} = 3.7\ A$$

$I_a=I_L+I_{sh}$=١٨٧,٥+٣,٧=١٩١,٢ A

$P_{cu}=I^2_aR_a+ I^2_aR_{se}+ I^2_{sh}R_{sh}= I^2_a (R_a+R_{se})+ I^2_{sh}R_{sh}$

$=(١٩١,٢)^2*(٠,٠٥+٠,٠٢) + (٣,٧)^2*٦٥=٣٤٤٨,٨٧$ W

$Losses=P_{cu}+P_i+P_{mech}$

$=٣٤٤٨,٨٧+٣٥٠٠=٦٩٤٨,٨٧$ W

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + Losses} = \frac{45*10^3}{45*10^3 + 6948.87} = 0.866 = 86.6\%$$

مثال ٢ -٩_ مولد مركب قصير عدد أقطابه ٨ وملفوف لفا تموجيا، عدد موصلاته ١٢٠٠ ويدور بسرعة ٦٠٠ لفه/دقيقة، تيار المنتج ٦٠ أمبير والفيض المغناطيسي لكل قطب ٠,٠٢٢ ويبر. مقاومة ملفات المنتج ٠٦ ,أوم ، مقاومة ملفات التوالي ٠,٠٤ أوم ومقاومة ملفات التوازي ٢٥٠ أوم. أوجد الكفاءة إذا كانت المفقودات الميكانيكية والحديدية ٤٥٠٠ وات.

الحل

$2p=8$ $2a=2$ [wave winding] $Z_a=١٢٠٠$ $n=٦٠٠$ rpm $I_a=٦٠$ A $\Phi=٠,٠٢٢$ wb

$R_a=٠,٠٦\Omega$ $R_{se}=٠,٠٤\Omega$ $R_{sh}=٢٥٠\Omega$ $P_i+P_{mech}=٣٥٠٠$W

$$E_a = \frac{2p}{2a}\phi Z_a n/60$$

$$E_a = \frac{8}{2} * 0.022 * 1200 * 600/60 = 1056\,V$$

$E_a=V_a+I_aR_a$

$V_a=E_a-I_aR_a=١٠٥٦-٦٠*٠,٠٦=١٠٥٢,٤$ V

$$I_{sh} = \frac{V_a}{R_{sh}} = \frac{1052.4}{250} = 4.21\,A$$

$I_L=I_a-I_f=٦٠-٤,٢١=٥٥,٧٩$ A

$V_L=V_a-I_LR_{se}=١٠٥٢,٤-٥٥,٧٩*٠,٠٤=١٠٥٠,١٦$ V

$P_{out}=V_LI_L=١٠٥٠,١٦*٥٥,٧٩=٥٨٥٨٩$ W

$P_{cu}=I^2_aR_a+ I^2_LR_{se}+ I^2_{sh}R_{sh}$

$=(٦٠)^2*٠,٠٦+(٥٥,٧٩)^2*٠,٠٤+(٤,٢١)^2*٢٥٠=٤٧٧١,٥$ W

$losses=P_{cu}+P_i+P_{mech}=٤٧٧١,٥+٣٥٠٠=٨٢٧١,٥$ W

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + Losses} = \frac{58589}{58589 + 8271.5} = 0.876 = 87.6\%$$

أسئلة وتمارين على الوحدة الثانية

١ - اذكر استخدامات مولدات التيار المستمر.

٢ - اشرح موضحا بالرسم تركيب آلة التيار المستمر ونظرية عملها.

٣ - ما هي طرق اللف المختلفة لآلة التيار المستمر؟ وضح بالرسم التخطيطي إحدى الطرق.

٤ - ما هي وظيفة ملفات المجال في آلات التيار المستمر؟ وهل يمكن توليد قوة دافعة كهربية بدونها؟

٥ - صنف آلات التيار المستمر من حيث طرق تغذية المجال.

٦ - وضح بالرسم التخطيطي مولد تيار مستمر أ - توازي ب - مركب مع كتابة معادلات الجهد والتيار في كل حالة.

٧ - ماذا يقصد برد فعل المنتج؟ وما هو تأثيره على الجهد المتولد؟

٨ - كيف يمكن التغلب على رد فعل المنتج؟

٩ - اشرح منحنيات الخواص لمولد تيار مستمر أ -منفصل التغذية ب -توالي.

١٠ - اذكر أنواع المفقودات لمولد التيار المستمر.

١١ - وضح بالرسم مخطط انسياب القدرة في مولدات التيار المستمر.

١٢ - مولد تيار مستمر منفصل التغذية، القوة الدافعة الكهربية المتولدة ٢٣٠ فولت عند سرعة دوران ١٠٠٠ لفة/دقيقة وتيار مجال ١,٢٥ أمبير. أوجد: - القوة الدافعة إذا تغيرت السرعة إلى ١٢٠٠ لفة/دقيقة وتيار المجال إلى ١,١ امبير. -السرعة إذا كانت القوة الدافعة ٢١٠ فولت وتيار المجال ١,٢ أمبير. - تيار المجال عند سرعة ١٢٠٠ لفة/دقيقة وقوة دافعة ٢٠٥ فولت.

١٣ - إذا كانت القوة الدافعة الكهربية المتولدة في مولد تيار مستمر منفصل التغذية ١٢٠ فولت، أوجد هذه القوة الدافعة إذا قلت السرعة إلى ٩٥٪ وازداد تيار المجال إلى ١١٠٪ من قيمهم المقننة عند جهد ١٢٠ فولت.

١٤ - مولد تيار مستمر منفصل التغذية قدرته ٣٠ ك.وات وجهده ٢٥٠ فولت، ومقاومة ملفات المنتج ١٢٥, أوم. أوجد تيار المنتج عند الجهد المقنن وقوة دافعة مقدارها ٢٦٥ فولت. وإذا انخفض تيار المنتج إلى ١٠٥ أمبير مع ثبوت القوة الدافعة المتولدة ، أوجد القدرة المغذية للحمل.

١٥ - مولد تيار مستمر توازي ٨ أقطاب يحتوي على ٩٦٠ موصل وملفوف لف تموجي، يدور بسرعة ٥٠٠لفة/دقيقة يغذي حمل ٦,٥ أوم عند جهد ٢٨٠ فولت فإذا كانت مقاومة المنتج ٢٥,. أوم ومقاومة ملفات المجال ١٧٥ أوم أوجد: أ -تيار المنتج ب -القوة الدافعة الكهربية المتولدة جـ - الفيض المغناطيسي لكل قطب.

١٦ - مولد تيار مستمر توازي ٤ أقطاب، مقاومة المنتج وملفات المجال هى ٨,. أوم، ١٠٠ أوم على الترتيب، ويحتوي على ٣٠٠ موصل وملفوف لف انطباقي، فإذا كان الفيض المغناطيسي لكل قطب ٠,٠٣ ويبر، ومقاومة الحمل ١٢ أوم وسرعة الدوران ١٠٠٠ لفة/دقيقة أوجد قدرة الخرج للمولد.

١٧ - مولد مركب طويل ٤ أقطاب ملفوف لف انطباقي يغذي حمل ٢٥ ك.وات عند جهد أطراف ٥٠٠ فولت، فإذا كانت مقاومة المنتج ٠,٠٣ أوم ومقاومة ملفات التوالي ٠,٠٤ أوم ومقاومة ملفات التوازي ٢٠٠ أوم أوجد: أ -القوة الدافعة الكهربية ب -عدد الموصلات إذا كانت سرعة الدوران ١٢٠٠ لفة/دقيقة والفيض المغناطيسي لكل قطب ٠,٠٢ ويبر.

١٨ - مولد مركب قصير ٢٥٠ فولت يغذي حمل بتيار مقداره ٨٠ أمبير فإذا كانت مقاومة المنتج، وملفات التوالي وملفات التوازي هي ٠,٠٥. أوم، ٠,٠٣ أوم، ١٠٠ أوم على الترتيب، أوجد القوة الدافعة الكهربية المتولدة.

١٩ - مولد تيار مستمر توالي عندما يدور بسرعة ١٥٠٠ لفة/دقيقة يعطي تيار مقداره ٣٠ أمبير ويكون الجهد على أطرافه ١٥٠ فولت، كم سيكون الجهد على الأطراف إذا دار بسرعة ١٨٠٠ لفة/دقيقة وزاد التيار إلى ٦٠ أمبير؟ مع العلم بأن زيادة التيار إلى ٦٠ أمبير تزيد التدفق بمقدار ٥٠٪ وأن مقاومة المنتج والمجال هي ١ , أوم، ١٥,. أوم على الترتيب.

٢٠ - مولد مركب طويل يدور بسرعة ١٠٠٠ لفة/دقيقة ويغذي حمل ٢٥ ك. وات عند جهد ٢٥٠ فولت فإذا كانت مقاومة المنتج، وملفات التوالي وملفات التوازي هي ٠,٠٥ أوم ، ٠,٠٦ أوم ، ١١٠ أوم على الترتيب ،والكفاءة عند الحمل الكامل ٨٨٪ أوجد: أ -المفقودات النحاسية ب -المفقودات الحديدية والميكانيكية.

٢١ - مولد تيار مستمر مركب قصير يدور بسرعة ١٠٠٠ لفة/دقيقة ويغذي حمل قدرته ٤٥ كيلووات عند جهد ٢٤٠ فولت، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٠٥ أوم ومقاومة التوالي ٠,٠٢ أوم ومقاومة التوازي ٦٥ أوم احسب الكفاءة لهذا المولد إذا كانت المفقودات الحديدية والميكانيكية ٣٥٠٠ وات

آلات التيار المستمر والمحولات

محركات التيار المستمر

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: معرفة نظرية عمل المحرك الكهربي 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:

١. معرفة نظرية عمل وتركيب المحرك الكهربي.
٢. استنتاج القوة الدافعة الكهربية العكسية ومعادلة العزم.
٣. معرفة أنواع المحركات من حيث طرق التغذية.
٤. دراسة منحنيات الخواص وتنظيم السرعة.
٥. دراسة طرق بدء الحركة وعكس اتجاه الدوران
٦. حساب المفقودات والكفاءة.
٧. مجالات الاستخدام للأنواع المختلفة للمحركات

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٨٥٪

الوقت المتوقع للتدريب: ٦ساعات.

الوسائل المساعدة: جهاز عرض (بروجيكتور).

متطلبات الجدارة: تحتاج إلى مراجعة مقرر الدوائر الكهربية والقياسات والوحدة الأولى والثانية من هذا المقرر.

محركات التيار المستمر DC Motors

تعتبر المحركات الكهربية القوة المحركة لكثير من التطبيقات الصناعية. وتستهلك المحركات الكهربية بأنواعها حوالي ٦٠٪ من الطاقة الكهربية في العالم. لذلك من المهم دراسة أداء وخواص تلك المحركات حتى يمكن استخدامها أفضل استخدام حسب طبيعة الحمل. وتعد محركات التيار المستمر من أهم الأنواع حيث تستخدم بكثرة في الجر الكهربي والروافع وصناعات الغزل والنسج ودرفلة الحديد وكذلك صناعات الورق والأسمنت، وذلك لما تتميز به من سهولة التحكم في سرعتها وإعطائها عزم مرتفع خصوصا عند بدء الحركة. وسوف نتناول في هذه الوحدة بالتفصيل نظرية عمل محركات التيار المستمر والتعرف على أنواعها المختلفة. أيضا سوف نتناول دراسة أداء هذه المحركات والخواص الكهربية لها. ومن المهم أيضا دراسة طرق التحكم في السرعة لهذه المحركات ووسائل بدء الحركة وذلك لتجنب التيار العالي عند البدء. وفي نهاية الوحدة نستطيع حساب المفقودات والكفاءة للمحركات ومعرفة تطبيق كل نوع ومميزاته وعيوبه.

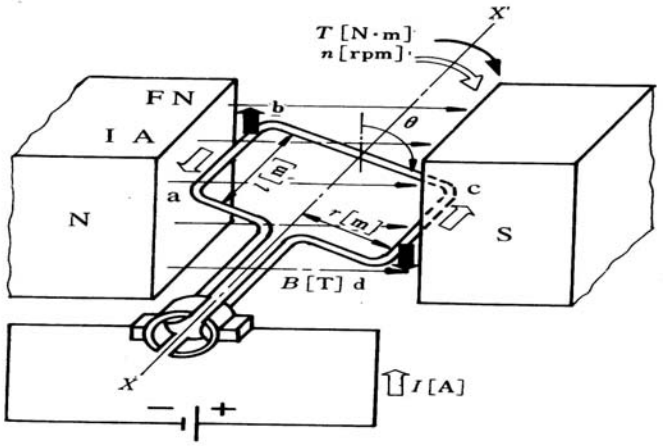
٣ -١ نظرية عمل المحرك الكهربي

يمكن استخدام آلة التيار المستمر السابق ذكرها للعمل كمحرك وذلك بتغذية الآلة بجهد مستمر، حيث تقوم الآلة بتحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية (طاقة حركية على عمود الإدارة). 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 الدائر.

تعتمد نظرية عمل محرك التيار المستمر على قانون فاراداى، فإذا وضع موصل يحمل تيار كهربي في مجال مغناطيسي فإنه يتولد قوة تتسبب في حركة الموصل . ويبين شكل ٣ -١ ملف على شكل مربع موضوع مع عمود دوران XX' موجود في مجال مغناطيسي منتظم له كثافة فيض B وعند مرور تيار I من الدائرة الخارجية في ذلك الملف، فإنه يتولد قوة F تؤثر في اتجاه يتحدد بقاعدة فلمنج لليد اليسرى على الجانبين cd, ab بالترتيب في اتجاه محور دوران الملف. وإذا كان طول جانبي الملف هو L فإن القوة المؤثرة تعطى بالعلاقة:

$$F=BIL \qquad ٣\square١$$

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



شكل ٣ -١ طريقة عمل المحرك الكهربي

٣ -٢ القوة الدافعة الكهربية العكسية Back e.m.f (E_b)

عند توصيل جهد على أطراف المحرك فإنه يتولد قوة دافعة كهربية في ملفات المنتج ويطلق عليها بالقوة الدافعة العكسية أو المضادة (Back e.m.f) وتحسب هذه القوة كما في حالة المولد من المعادلة الآتية:

$$E_b = \frac{2P}{2a}\phi Z_a \frac{n}{60} \qquad ٣\square٢$$

ولمعرفة الاختلاف بين المحرك والمولد يمكن الرجوع إلى شكل ٣ -٢ ، حيث يوضح دائرتين لمولد توازي ومحرك توازي، من ناحية التركيب لا يوجد أي اختلاف، ولكن الفرق فقط هو في اتجاه التيارات. يلاحظ من شكل ٣ -٢ب أن التيار داخل في القطب الموجب للآلة في حالة المحرك بينما خارج منه في حالة المولد (شكل ٣ -٢أ). ويلاحظ أيضا أن اتجاه كل من تيار التنبيه وسرعة الدوران لا يتأثر بتغيير الآلة لدورها من مولد إلى محرك وبالعكس. ويمكن مراجعة ذلك بتطبيق قاعدتي فلمنج لليد اليمنى بالنسبة للمولد واليد اليسرى بالنسبة للمحرك في نفس الوقت، فنجد أنه لكي يبقي اتجاه كل من تيار التنبيه وسرعة الدوران ثابتا يجب أن ينعكس اتجاه مرور التيار في ملفات المنتج بالنسبة للحالتين. ويجب مراعاة ذلك عند كتابة معادلات الجهد.

في حالة المولد : القوة الدافعة المتولدة=جهد الحمل+ هبوط الجهد في ملفات المنتج

$$E_a = V_L + I_a R_a \qquad ٣\square٣$$

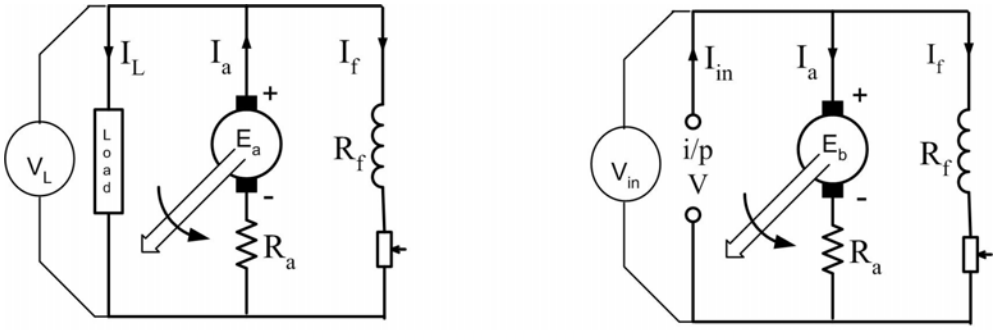
أما في حالة المحرك: القوة الدافعة المتولدة(العكسية)=جهد المصدر - هبوط الجهد في ملفات المنتج

$$E_a = V_L - I_a R_a \qquad ٣\square٤$$

إن انعكاس اتجاه مرور تيار المنتج في ملفاته ينشأ فارقا جوهريا بين الحالتين وهذا الاختلاف ظهر في كتابة المعادلتين (٣ -٣)، (٣ -٤). فبينما نجد أنه في حالة المولد تدفع القوة الدافعة الكهربية المتولدة التيار في الدائرة ضد هبوط الجهد في كل من مقاومة الحمل ومقاومة المنتج، نجد أنه في حالة المحرك يجب على جهد المنبع أن يدفع التيار في الاتجاه المضاد أي عكس اتجاه القوة الدافعة الكهربية، التي تصبح في حالة المحرك مكافئة في عملها لمقاومة يكون هبوط الجهد فيها مضادا لاتجاه الجهد الذي يسبب مرور التيار. لذلك يطلق عليها في هذه الحالة اسم القوة الدافعة الكهربية العكسية (المضادة)، وتحسب قيمة تيار المنتج من المعادلة ٣ -٤ وتعطى بالعلاقة:

$$I_a = \frac{V_L - E_b}{R_a} \qquad ٣\square٥$$

تتناسب القوة الدافعة العكسية مع سرعة الدوران كما هو واضح من المعادلة ٣ -٢، وهذا معناه أنه عندما يدور المحرك بسرعته المقننة n فإنه يتولد Eb بقيمتها الكاملة عند هذه السرعة. أما إذا كان المنتج في حالة السكون ويراد إدارة المحرك بتوصيل جهد على أطرافه فإن القوة الدافعة العكسية Eb



(a) generator (b) motor

شكل ٣ -٢ مقارنة بين المولد والمحرك

تكون مساوية للصفر في هذه الحالة ويكون التيار المار في المنتج في هذه الحالة هو تيار البدء (starting current) ويحسب من المعادلة ٣ -٥ وذلك بوضع Eb=٠ ويعطى بالعلاقة:

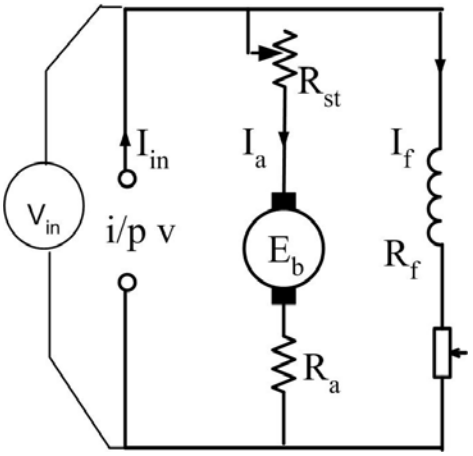
$$I_{a(st)} = \frac{V_L}{R_a} \qquad ٣\square٦$$

ونظرا لأن VL تكون كبيرة (أكثر من مائة فولت) كما أن قيمة Ra تكون صغيرة (كسر من الأوم) فإننا نتوقع الحصول على تيار بدء كبير جدا، في جميع الأحوال تزيد قيمته عن عشرة أمثال تيار الحمل

الكامل، مما قد يؤدي إلى تلف ملفات المنتج لو مر فيها زمنا لا يتجاوز بضع لحظات. وللحد من تيار البدء وتلافي خطورة مروره بهذا الحجم في المنتج، يوضع مقاومة كبيرة على التوالي مع ملفات المنتج عند البدء يطلق عليها مقاومة بدء الحركة ويرمز لها بالرمز Rst كما في الشكل رقم ٣ -٣ وبذلك تصبح معادلة التيار عند البدء :

$$I_{a(st)} = \frac{V_L}{R_a + R_{st}} \qquad ٣\square٧$$

ويمكن استخدام هذه المعادلة لتحديد قيمة تيار البدء بحيث يكون بسبة من تيار الحمل الكامل. وعندما يدور المحرك وتزداد سرعة الدوران تدريجيا تزداد معها قيمة القوة الدافعة العكسية بنفس القيمة. لهذا السبب يجب أن نعمل على تقليل قيمة مقاومة البدء بالتدريج كلما زادت سرعة دوران المحرك إلى أن نخرجها تماما من الدائرة عندما يصل المحرك إلى سرعته المقننة.



شكل ٣ -٣ كيفية بدء الحركة

٣ -٣ عزم الدوران المتولد Developed Torque

يمثل شكل ٣ -٤ أحد الموصلات طوله L موضوع على منتج محرك تيار مستمر نصف قطره ra ويدور بسرعة n في مجال مغناطيسي شدته B. إذا مر تيار كهربي Ic في الموصل فإنه تظهر قوة F تؤثر على الموصل يمكن الحصول عليها من المعادلة:

$$F = BLI_c \qquad ٣\square٨$$

عند محور ارتكاز المنتج (مركز المنتج) ينتج عزم دوران تؤثر على الموصل قيمته:

$$T_c = Fr_a$$
$$= BLI_c r_a$$
$$= \frac{B2\pi r_a L}{2\pi} I_c \qquad ٣-٩$$

نجد في شكل ٣ -٤ أن المساحة التي تقطعها خطوط المجال المغناطيسي هي المساحة الأسطوانية $2\pi raL$ وبذلك يكون الفيض المغناطيسي للقطب الواحد:

$$\Phi = B(2\pi r_a L) \qquad ٣-١٠$$

بالتعويض عن B في المعادلة ٣ -٩ نحصل على العزم المؤثر على الموصل:

$$T_C = \Phi \frac{I_C}{2\pi} \qquad ٣-١١$$

فإذا كان عدد الأقطاب الكلية هو 2p والتيار المار في المحرك هو Ia وعدد الموصلات الكلية هو Za وعدد دوائر التوازي هو 2a فإنه يمكن إيجاد العزم الكلي المتولد في المحرك:

$$T = T_C Z_a 2p$$
$$= \Phi \frac{I_C}{2\pi} Z_a 2p \qquad ٣-١٢$$

وحيث إن التيار المار في الموصل Ic يساوي التيار الكلي مقسوما على عدد دوائر التوازي:

$$I_C = \frac{I_a}{2a} \qquad ٣-١٣$$

بالتعويض من المعادلة ٣ -١٣ في المعادلة ٣ -١٢ نحصل على العزم الكلي كدالة في تيار المنتج والفيض المغناطيسي:

$$T = \frac{2p}{2a}\frac{\Phi}{2\pi} Z_a I_a \qquad ٣-١٤$$

يمكن كتابة معادلة العزم في هذه الصورة:

$$T = K\Phi I_a \qquad ٣-١٥$$

حيث K ثابت يعرف بثابت العزم= $\frac{2p}{2a}\frac{Z_a}{2\pi}$

المعادلة ٣ -١٥ تبين أن عزم الدوران الكلي في المحرك يتناسب طردياً مع كل من Φ، Ia . بالتعويض في هذه المعادلة من المعادلة ٣ -٢ للقوة الدافعة العكسية Eb نجد أن:

$$T = \frac{E_b I_a}{\frac{2\pi n}{60}}$$

٣□١٦

ويمكن الحصول على هذه المعادلة مباشرة على النحو التالي:

$$T = \frac{P}{\omega}$$

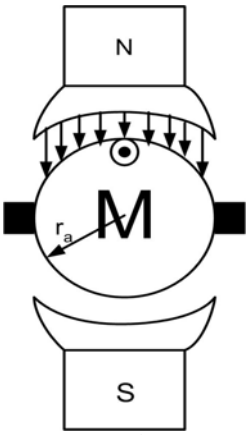
٣□١٧

حيث P هي قدرة المنتج= EbIa (جهد المنتجx تيار المنتج) و ω هي السرعة الزاوية ويمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

٣□١٨

المعادلة ٣ -١٦ تبين أن عزم الدوران يتناسب عكسيا مع سرعة الدوران.



شكل ٣-٤

٣ -٤ أنواع المحركات Types of DC motors

تنقسم محركات التيار المستمر إلى نوعين رئيسيين حسب طريقة تغذية ملفات المجال (كما في المولدات):

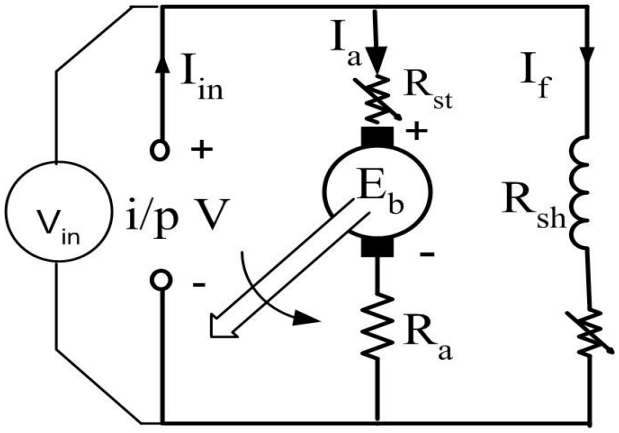
-محركات التيار المستمر ذات التغذية المستقلة(المنفصلة)

-محركات التيار المستمر ذات التغذية الذاتية

ونظرا لأن المحركات ذات التغذية المستقلة تشبه تماما محركات التوازي، لذا تعتبر حالة خاصة من المحركات ذاتية التغذية وبناءا على ذلك سوف يتم التركيز على المحركات ذات التغذية الذاتية.

٣ -٤ -١ محرك التوازي DC shunt motor

يوضح شكل ٣ -٥ توصيل محرك التوازي ويلاحظ أن ملفات المجال (التنبيه)Rsh تكون متصلة على التوازي مع المنتج ويوصل معها بالتوالي مقاومة تنظيم المجال. أما ملفات المنتج Ra فيوصل معها بالتوالي مقاومة بدء الحركة Rst . ويتميز هذا النوع من المحركات بأنه يمكن اعتباره ذو مجال ثابت تقريبا.



شكل ٣ -٥ محرك التوازي

يمكن كتابة معادلات الجهد والتيار لمحرك التوازي من شكل ٣ -٥ كالآتي:

$$E_b = V_{in} - I_a R_a$$

$$I_{in} = I_a + I_{sh} \qquad ٣\square١٩$$

وحيث إن القوة الدافعة العكسية تعطى بالمعادلة:

$$E_b = K_b n\phi \qquad ٣\square٢٠$$

بالتعويض من المعادلة ٣ -١٩ في المعادلة ٣ -٢٠ يمكن كتابة السرعة كالآتي:

$$n = \frac{E_b}{K_b \Phi} = \frac{V_{in} - I_a R_a}{K_b \Phi} \qquad ٣\square٢١$$

- **منحنيات الخواص**

تمثل منحنيات الخواص لمحرك التوازي العلاقات التالية:

-السرعة مع تيار المنتج n=f(Ia)

-العزم مع تيار المنتج T=f(Ia)

-السرعة مع العزم $n=f(T)$

تعطي المعادلة ٣ -٢١ العلاقة بين السرعة وتيار المنتج(الحمل) ويلاحظ أن السرعة تقل كلما زاد تيار المنتج بدرجة طفيفة كما هو واضح في الشكل ٣ -٦ بالمنحني I. أيضا يمكن رسم منحنى خواص العزم مع تيار المنتج وذلك باستخدام المعادلة ٣ -١٥ ، 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 شكل ٣ -٦ بالمنحنى II.

بالتعويض عن قيمة تيار المنتج من المعادلة ٣ -١٥ في المعادلة ٣ -٢١ نحصل على علاقة تغير السرعة مع العزم:

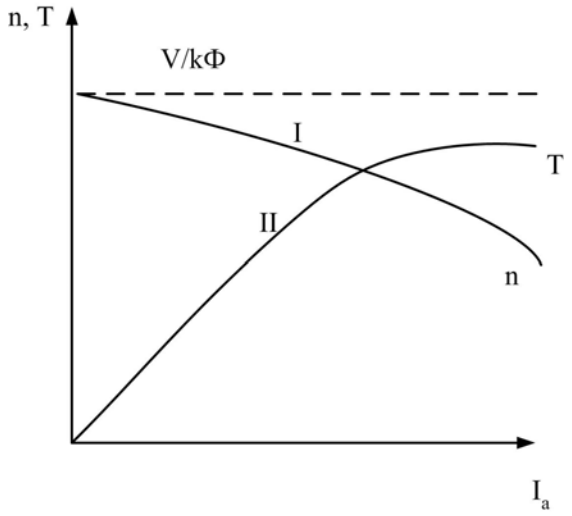
$$n = \frac{V_{in}}{K_b \Phi} - T\frac{R_a}{K_b^2 \Phi^2}$$

٣□٢٢

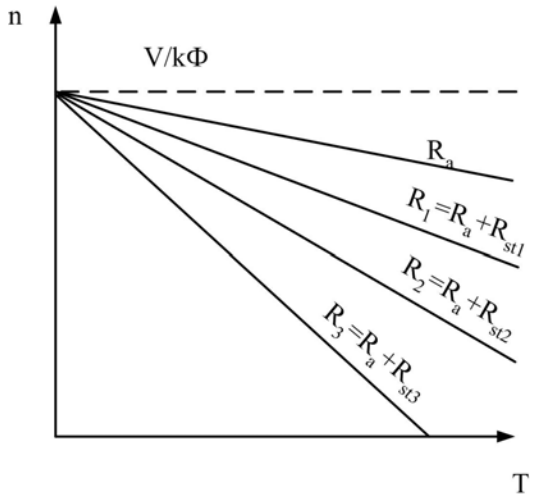
المعادلة ٣ -٢٢ تمثل منحنى خواص السرعة مع العزم لمحرك التوازي. وهي علاقة خط مستقيم حيث

$$n = \frac{V_{in}}{K_b \Phi}$$

الفيض المغناطيسي ثابت القيمة. عند اللاحمل (T=٠) تصبح السرعة وهي سرعة اللاحمل (no load speed) وتمثل بالجزء الأول في المعادلة ٣ -٢٢ ، أما الجزء الثاني فيمثل الانخفاض في السرعة عند التحميل. ويوضح شكل ٣ -٧ منحنى خواص السرعة مع العزم لقيم مختلفة لمقاومة البدء. وهي مجموعة خطوط مستقيمة يختلف ميلها حسب قيمة مقاومة البدء.



شكل ٣ -٦ منحنيات خواص محرك التوازي



شكل ٣ -٧ منحنيات خواص السرعة مع العزم لمحرك التوازي

- **استخدامات محرك التوازي**:

يستخدم محرك التوازي في الحالات التي تحتاج إلى سرعة ثابتة تقريبا والتي يمكن أن تهبط فيها السرعة هبوطا طفيفا مع ازدياد الحمل، مثل آلات الورش كالمخارط والمقاشط، كما أنه يمكن أن يناسب آلات الغزل والنسج حيث يستفاد بمنظم السرعة لضبط سرعة دوران المحرك عند قيم مختلفة عند اللاحمل، ثم تهبط هذه السرعات هبوطا طفيفا مع الحمل. أيضا يستخدم المحرك في ماكينات صناعة الورق والأخشاب والطلمبات والدرفلة.

مثال ٣ -١ محرك توازي موصل بمنبع جهد ٢٤٠ فولت ويدور بسرعة ٧٥٠ لفة/دقيقة وتيار المنتج قدره ٣٠ أمبير، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٠٥ أوم احسب عزم المحرك بالنيوتن.متر.

الحل Vin=٢٤٠ V n=٧٥٠ rpm Ia=٣٠ A Ra=٠,٠٥Ω

$$Eb=Vin-IaRa$$

$$=٢٤٠-٣٠*٠,٠٥=٢٣٨,٥ \text{ volt}$$

$$T=EbIa/\omega \qquad \omega=2\pi n/٦٠ \text{ rad/sec}$$

$$T=٢٣٨,٥*٣٠/(٢*\pi*٧٥٠/٦٠)=٩١,١ \text{ N.m}$$

مثال ٣ -٢ محرك توازي ذو أربعة أقطاب يعمل على منبع جهد ٥٠٠ فولت، عدد موصلات المنتج ٩٦٠ وملفوف لف تموجي. يسحب المحرك تيار قدره ٥٢ أمبير وكان الفيض المغناطيسي لكل قطب ٣ ميجاخط. فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج والمجال هي ٠,٠٤ أوم و ٢٠٠ أوم على الترتيب. احسب سرعة المحرك وكذلك العزم.

الحل $2p=٤ \quad Vin=٥٠٠ \text{ V} \quad Za=٩٦٠ \quad Iin=٥٢ \text{ A} \quad \Phi=٣\text{megalines} \quad Ra=٠,٠٤ \ \Omega$

$$Rsh=٢٠٠ \ \Omega$$

$$Ish=Vin/Rsh=٥٠٠/٢٠٠=٢,٥ \text{ A} \qquad Ia=Iin-Ish=٥٢-٢,٥=٤٩,٥ \text{ A}$$

$$Eb=Vin-IaRa$$

$$=٥٠٠- ٤٩,٥*٠,٠٤=٤٩٨,٠٢ \text{ V}$$

$$E_b=\frac{2P}{2a}\phi Z_a\frac{n}{60}$$

$$498.03=\frac{4}{2}*(3*10^{6}*10^{-8})*960*\frac{n}{60}$$

$$n=٥١٢,٧٧ \text{ rpm}$$

$$\omega=2\pi n/٦٠ \quad \omega=2\pi*٥١٢,٧٧/٦٠=٥٤,٣٣ \text{ rad/sec}$$

$$T=EbIa/\omega \qquad T=٤٩٨,٠٣*٤٩,٥/٥٤,٣٣=٤٥٣,٧٥ \text{ N.m}$$

٣ -٤ -٢ محرك التوالي DC series motor

يوضح شكل ٣ -٨ طريقة توصيل محرك التوالي، حيث توصل ملفات المجال بالتوالي مع المنتج كما في حالة المولد، وتكتب معادلات الجهد والتيار كالتالي:

$$Eb=Vin-Ia(Ra+Rse) \qquad ٣\square٢٣$$

$$Ia=Iin=Ise \qquad ٣\square٢٤$$

في هذه الحالة نجد أن الفيض المغناطيسي Φ يتناسب مع تيار المجال Ise ، أي مع تيار المنتج Ia:

$$\Phi=CIse=CIa \qquad ٣\square٢٥$$

بالتعويض في المعادلة ٣ -١٥ عن قيمة الفيض نحصل على معادلة العزم لمحرك التوالي:

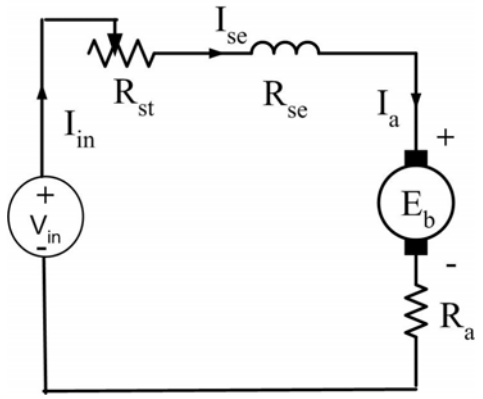
$$T=K'Ia^{٢} \qquad ٣\square٢٦$$

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

$$E_b = K_b n\Phi = K'_b nI_a \qquad ٣,٢٧$$

بالتعويض من المعادلة ٣ -٢٦ في المعادلة ٣ -٢٣ يمكن كتابة السرعة كالآتي:

$$n = \frac{E_b}{K'_b I_a} = \frac{V_{in} - I_a(R_a + R_{se})}{K'_b I_a} \qquad ٣\square٢٨$$



شكل ٣ -٨ محرك التوالي

- **منحنيات الخواص**

تبين المعادلة ٣ -٢٦ أن العزم يتناسب طرديا مع مربع تيار المنتج، لذلك نجد أن منحنى خواص العزم مع التيار عبارة عن منحنى قطع ناقص (parabola) كما هو موضح في شكل ٣ -٩ . أيضا المعادلة ٣ -٢٨ توضح العلاقة بين السرعة وتيار المنتج لمحرك التوالي وهي علاقة عكسية، أي مع زيادة تيار المنتج (الحمل) تقل السرعة وهي أقرب ما يكون إلى قطع زائد (hyperabola) كما يوضح منحنى خواص السرعة مع تيار المنتج في شكل ٣ -٩.

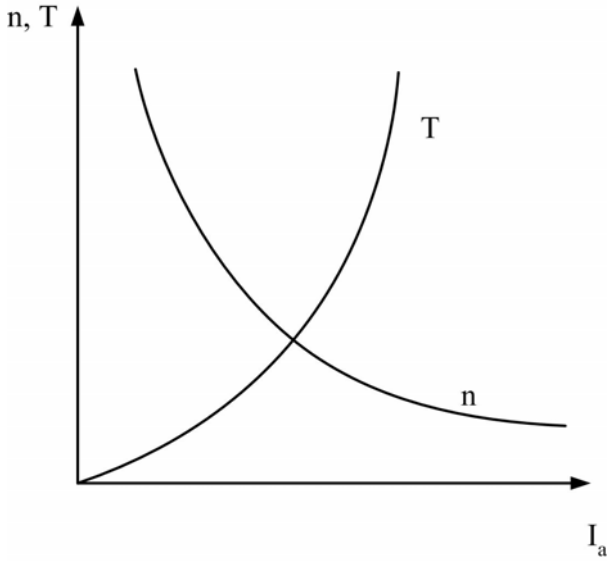
بالتعويض عن قيمة تيار المنتج من المعادلة ٣ -٢٥ في المعادلة ٣ -٢٨ نحصل على علاقة تغير السرعة مع العزم:

$$n = \frac{V_{in}}{\alpha I_a} - T\frac{R_a + R_{se}}{\alpha^2 I_a^{\ 2}} \qquad ٣-٢٩$$

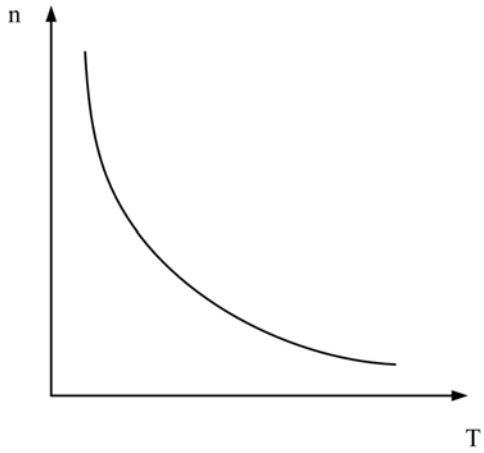
ثم بالتعويض من المعادلة ٣ -٢٦ في المعادلة ٣ -٢٩ نحصل على علاقة السرعة مع العزم:

$$n = \frac{V_{in}}{\sqrt{\alpha T}} - \frac{R_a + R_{se}}{\alpha} \qquad ٣-٣٠$$

المعادلة ٣ -٣٠ تمثل منحنى خواص السرعة مع العزم لمحرك التوالي كما هو موضح في شكل ٣ -١٠. يلاحظ من منحنى الخواص أن السرعة تزداد بمقدار كبير جدا عند اللاحمل (T=٠) لذلك لا يفضل استخدام محرك التوالي في عدم وجود حمل حتى لا يتسبب في وجود مشاكل ميكانيكية متعلقة بزيادة السرعة.



شكل ٣ -٩ منحنيات خواص العزم والسرعة مع تيار المنتج لمحرك التوالي



شكل ٣ -١٠ منحني خواص السرعة مع العزم لمحرك التوالي

- **استخدامات محرك التوالي**

في حالة محرك التولي نجد أن عزم الدوران يتناسب طرديا مع مربع تيار المنبع (وهو تيار المنتج) بينما تتناسب السرعة عكسيا مع تيار المنتج (الحمل) بحيث تظل القدرة متناسبة مع تيار المنبع باعتبار جهد المنبع ثابت. معنى ذلك أن هذا النوع من المحركات قادر على مواجهة أحمال كبيرة دون الحاجة إلى تعدى الحدود المقبولة في أخذ القدرة من المنبع، نظرا لأن هبوط سرعة الدوران مع الأحمال الثقيلة يعمل على الحد من القدرة المأخوذة من المنبع. وهذا يجعل محرك التوالي أكثر ملائمة في حالات الجر الكهربي، وعلاوة على ذلك فإن استخدام محرك التوالي في أغراض الجر الكهربي ينفي احتمال الزيادة الكبيرة في السرعة نظرا لوجود حمل دائم على المحرك يتمثل في وزن القاطرة والعربات التي تجرها عندما تكون خالية. أيضا يستخدم محرك التوالي مع الأوناش والروافع والمصاعد الكهربية.

مثال ٣ -٣ محرك تيار مستمر من نوع التوالي موصل على منبع جهده ٢٢٠ فولت يسحب تيار مقداره ٥٠ أمبير عند سرعة دوران ١٠٠٠ لفه/دقيقه، مقاومة ملفات المنتج ١٥, أوم ومقاومة ملفات المجال ١, أوم. فإذا انخفضت سرعة المحرك إلى ٨٠٪ من السرعة المقننة وأصبح تيار المنتج ٦٠ أمبير احسب العزم في الحالتين والقوة الدافعة العكسية في الحالة الثانية

الحل $V_{in}= ٢٢٠\ V \quad I_{a١}=٥٠A \quad n_١=١٠٠٠rpm \quad R_a=٠,١٥\ \Omega \quad R_{se}=٠,١\Omega \quad n_٢=٠,٨n_١$

$I_{a٢}=٦٠A$

$$E_{b١}=V_{in}-I_{a١}\ (R_a+R_{se})$$

$$=٢٢٠-٥٠(٠,١٥+٠,١)=٢٠٧,٥\ V$$

$$E_{b٢}=V_{in}-I_{a٢}\ (R_a+R_{se})$$

$$=٢٢٠-٦٠(٠,١٥+٠,١)=٢٠٥\ V$$

$T_{١}=E_{b١}I_{a١}/\omega_{١}$
$=٢٠٧,٥*٥٠/(٢\pi*١٠٠٠/٦٠)=٩٩,٠٧$ N.m
$T_{٢}=E_{b٢}I_{a٢}/\omega_{٢}$
$=٢٠٥*٦٠/(٢\pi*٠,٨*١٠٠٠/٦٠)=١٤٦,٨٢$ N.m

مثال ٣ -٤_ محرك تيار مستمر من نوع التوالي ذي أربعة أقطاب موصل على منبع جهده ٢٢٠ فولت ويسحب تيار مقداره ٥٢ أمبير عند الحمل الكامل. ملفوف لفا تموجيا وعدد موصلاته الكلية ٦٣٠ والفيض المغناطيسي لكل قطب ٠,٠١٨ ويبر ، ومقاومة ملفات المنتج والمجال على الترتيب هي ٠,٢ أوم و٠,١ أوم. احسب سرعة دوران المحرك وكذلك عزم الدوران. وإذا انخفض عزم الدوران المطلوب إلى ٦٠٪ من قيمته عند الحمل الكامل، أوجد سرعة الدوران الجديدة.

الحل $2p=4 \quad V_{in}=220V \quad I_a=52A \quad Z_a=630 \quad \Phi=0,018\ wb \quad R_a=0,2\Omega \quad R_{se}=0,1\Omega$

$T_2=0,6T_1$

$E_{b1}=V_{in}-I_{a1}(R_a+R_{se})$

$=220-52(0,2+0,1)=204,4V$

$$E_{b1}=\frac{2p}{2a}\phi Z_a\frac{n_1}{60}$$

$$204.4=\frac{4}{2}*0.018*630*\frac{n_1}{60}$$

$n_1=541$ rpm

$T_1=E_{b1}I_{a1}/\omega_1=204,4*52/(2\pi*541/60)=187,61$ N.m

$T\alpha I_a^2$

$$\frac{T_2}{T_1}=0.6=\frac{I_{a2}^2}{I_{a1}^2}=\frac{I_{a2}^2}{(52)^2}$$

$$I_{a2}=\sqrt{0.6*(52)^2}=40.3A$$

$E_{b2}=V_{in}-I_{a2}(R_a+R_{se})$

$=220-40,3(0,2+0,1)=208$ V

$$\frac{E_{b2}}{E_{b1}}=\frac{n_2\Phi_2}{n_1\Phi_1}=\frac{n_2I_{a2}}{n_1I_{a1}}$$

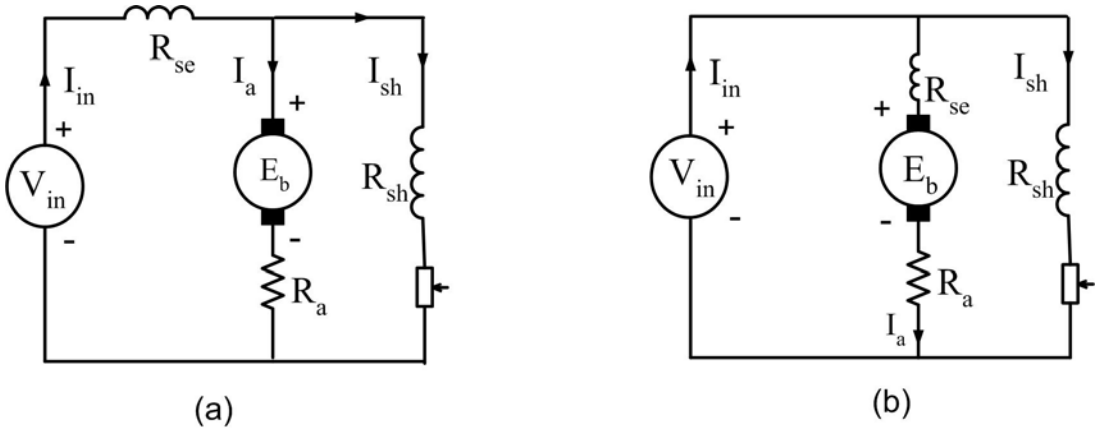
$$\frac{208}{204.4}=\frac{n_2*40.3}{541*52}$$

$$n_2=\frac{208*541*52}{204.4*40.3}$$

$n_2=710$ rpm

٣ -٤ -٣ 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 ٣ -١١ رسم تخطيطي لكلا المحركين.



شكل ٣ -١١ المحرك المركب أ -محرك قصير ب -محرك طويل

معادلات المحرك القصير:

$$E_b = V_{in} - I_a R_a - I_{in} R_{se} \qquad ٣-٣١$$

$$V_{sh} = I_{sh} R_{sh} = V_{in} - I_{in} R_{se} \qquad ٣-٣٢$$

$$I_{in} = I_{se} = I_a + I_{sh} \qquad ٣-٣٣$$

$$n = \frac{V_{in} - I_a R_a - I_{in} R_{se}}{K\Phi} \qquad ٣-٣٤$$

معادلات المحرك الطويل:

$$E_b = V_{in} - I_a (R_a + R_{se}) \qquad ٣-٣٥$$

$$V_{sh} = I_{sh} R_{sh} = V_{in} \qquad ٣-٣٦$$

$$I_{in} = I_a + I_{sh} \qquad ٣-٣٧$$

$$n = \frac{V_{in} - I_a (R_a + R_{se})}{K\Phi} \qquad ٣-٣٨$$

بالنسبه لعزم الدوران يمكن استخدام المعادلة ٣ -١٦ مع مراعاة أن Φ هي عدد خطوط المجال المغناطيسي المحصل من مجالات كل من ملفات التوالي وملفات التوازي معا. ويتحدد مقدار المجال المحصل بناءا على طريقة توصيل ملفات التوالي(اتجاه التيار فيها)، فإما أن تعطي مجال يساعد مجال ملفات التوالي أو يعاكسها. وينقسم المحرك المركب بناءا على ذلك إلى ثلاثة أنواع:

- محرك مركب تراكمي (Comulative compound motor):

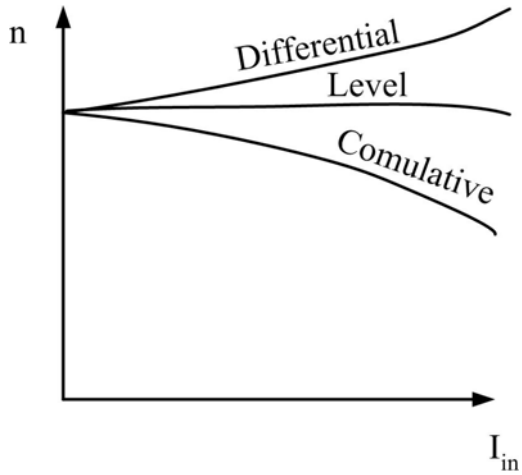
تزداد قيمة Φ في هذا النوع كلما ازداد الحمل فتنخفض السرعة بمقدار يتوقف على طريقة إعداد ملفات التوالي ، ويوضح شكل ٣ -١٢ منحنى خواص السرعة مع تيار الحمل .

-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 ٣ -١٢.

-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 ٣ -١٢.



شكل ٣ -١٢ منحنى الخواص للمحرك المركب

- **استخدامات المحرك المركب**:

يمكن استخدام المحرك المركب المستوي كبديل عن محرك التوازي، وذلك للأحمال التي تحتاج إلى سرعة ثابتة على الرغم من تغير الحمل. أما المحرك المركب الفرقي فيستخدم في درفلة الحديد (Rolling mills)، فعند دخول لوح الحديد بين الدرفيلين يزداد الحمل على المحرك وبالتالي تميل

السرعة إلى الانخفاض، فيتم تعويضها بفعل عمل المحرك، وبالتالي تظل السرعة ثابتة على الرغم من الزيادة المفاجئة في الحمل.

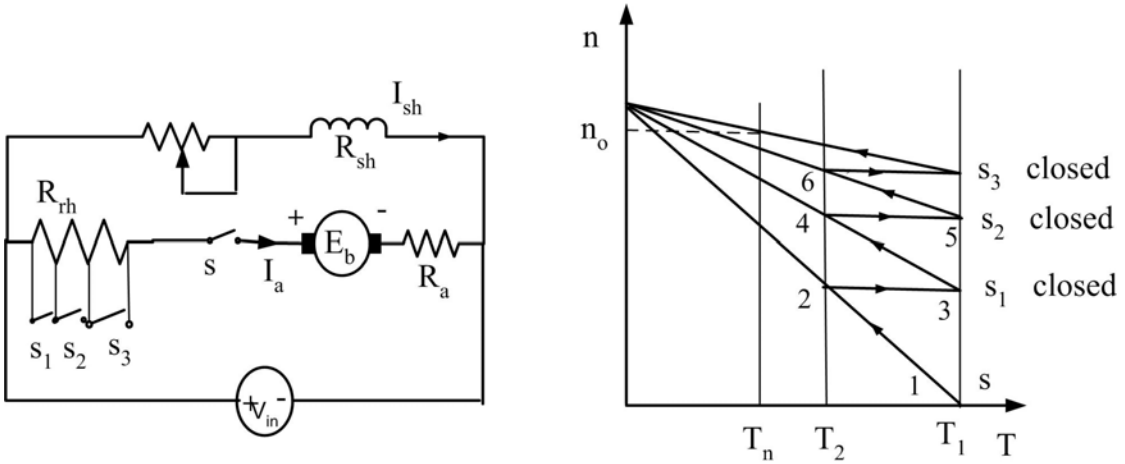
٣ -٥ تنظيم السرعة وطرق عكس الحركة Speed control and reversal

تبين معادلات السرعة لمحركات التيار المستمر،المعادلات (٣ -٢١ ، ٣ -٢٩ ، ٣ -٣٤) ، أن السرعة تتغير إما عن طريق مقاومة متصلة مع المنتج أو عن طريق الجهد المسلط على أطراف المحرك وأما عن طريق تغير الفيض المغناطيسي عن طريق دائرة المجال. يتشابه كل من محرك التوازي والمحرك المركب في طرق تنظيم السرعة، لذلك سوف نركز على طرق تنظيم السرعة لمحرك التوازي.

٣ -٥ -١ تنظيم السرعة لمحرك التوازي

-أولا: استخدام مقاومة متغيرة

في هذه الطريقة لتنظيم السرعة تستخدم مقاومة متغيرة توصل بالتوالي مع دائرة المنتج، كما هو موضح في شكل ٢ -١٣. ويتم تنظيم السرعة عن طريق فتح أو غلق المفاتيح S١, S٢, S٣ وبذلك يدخل جزء من المقاومة في الدائرة مما يغير من قيمة المقاومة المحصلة للمنتج. ويوضح شكل ٣ -١٣ب منحنى العزم مع السرعة، فعند حمل معين نجد أن السرعة تتغير بتغيير المقاومة. تبعا لشكل ٣ -١٣أ فإن المحرك يبدأ الحركة بغلق المفتاح S ثم بعد ذلك يتم غلق المفاتيح S١, S٢, S٣ تباعا بحيث يكون بينهما فاصل زمني. ولكن من عيوب هذه الطريقة لتنظيم السرعة هو الفقد في مقاومة تنظيم السرعة مما يقلل من كفاءة المنظومة ككل.



شكل ٣ -١٣ تنظيم السرعة لمحرك توازي باستخدام مقاومة مع المنتج

-ثانيا: تنظيم السرعة بالتحكم في الجهد المسلط

يمكن الحصول على مدى أوسع لتنظيم السرعة عن طريق الجهد المسلط على أطراف المحرك، ويمكن التحكم في هذا الجهد باستخدام طريقة "وورد ليونارد" كما هو موضح في شكل ٣ -١٤، حيث يغذى المحرك المراد تنظيم سرعته M من مولد محكوم G، وهذا المولد يدار بسرعة ثابتة من خلال محرك تيار مستمر آخر 'M، وعن طريق التحكم في مجال المولد يمكن تغيير الجهد المتولد على أطرافه وبالتالي الجهد المغذي للمحرك المراد تنظيم سرعته. ومن عيوب هذه الطريقة هي التكلفة الكلية لنظام التحكم. ولكن الآن تستخدم طرق إلكترونية للتحكم في الجهد المستمر المغذي للمحرك مباشرة.

-ثالثا: تنظيم السرعة عن طريق المجال (flux control)

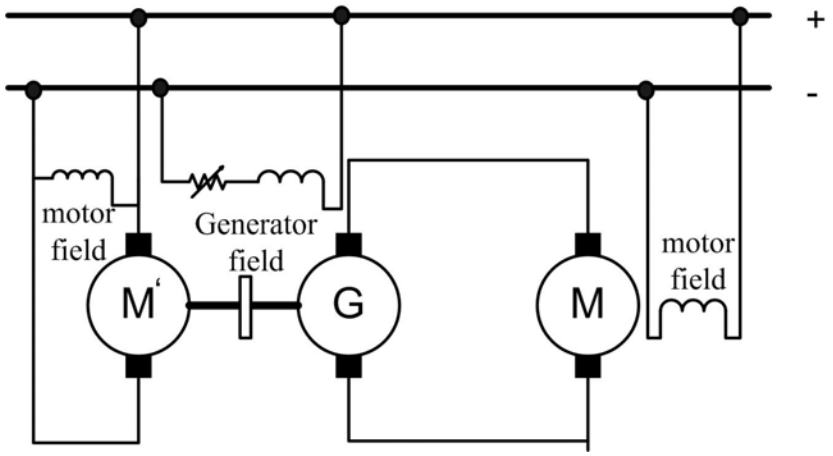
تعتبر طريقة التحكم عن طريق المجال من الطرق البسيطة قليلة التكلفة، حيث تستخدم مقاومة تنظيم المجال بقدرة منخفضة، وعن طريقها يتم التحكم في تيار المجال وبالتالي الفيض المغناطيسي وهذه الطريقة يمكن أن تعطي سرعات أعلى من السرعة المقننة للمحرك ولكن هذا يتسبب في زيادة الشرر الكهربي في المحرك وحدوث مشاكل ميكانيكية نتيجة زيادة السرعة.

٣ -٥ -٢ تنظيم السرعة لمحرك التوالي

تتبع الطرق الآتية لتنظيم سرعة محرك التوالي:

أولا: توصيل مقاومة بالتوالي مع دائرة المحرك:

من المعادلة ٣ -٢٩ نجد أنه يمكن تغيير سرعة محرك التوالي بإضافة مقاومة بالتوالي مع دائرة المنتج، ويمكن في هذا المجال تكرار نفس الكلام الذي ذكرناه في حالة محرك التوازي عند استخدام هذه الطريقة لتنظيم السرعة.



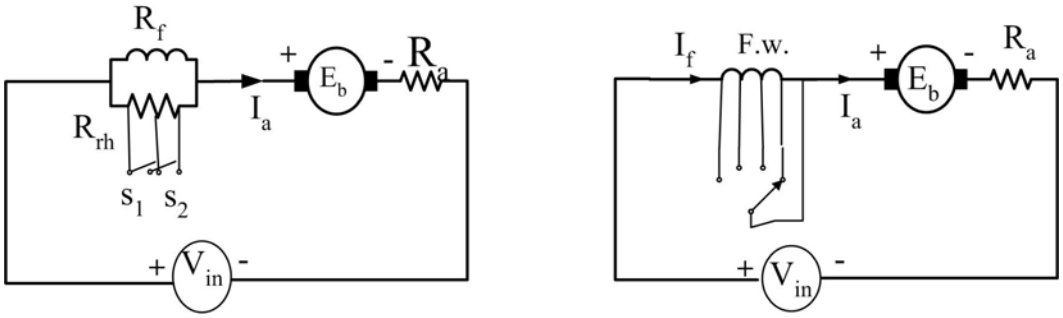
شكل ٣ -١٤ تنظيم السرعة لمحرك توازي باستخدام طريقة "وورد ليونارد"

ثانيا: توصيل مقاومة على التوازي مع ملفات المجال:

تتوقف سرعة المحرك على الفيض المغناطيسي Φ وبالتالي على تيار المجال الذي يساوي تيار الحمل I_{in} في هذه الحالة. ونظرا لأن I_{in} يتوقف على مقدار الحمل، فإن التحكم في قيمة تيار المجال لا يتأت إلا عن طريق توصيل مقاومة على التوازي مع ملفات المجال، بحيث يمكن تغيير قيمة تيار المجال عن طريق تغيير المقاومة، بينما تظل قيمة تيار الحمل ثابتة. يوضح شكل ٣ -١٥أ طريقة توصيل الدائرة

ثالثا: تقسيم ملفات المجال:

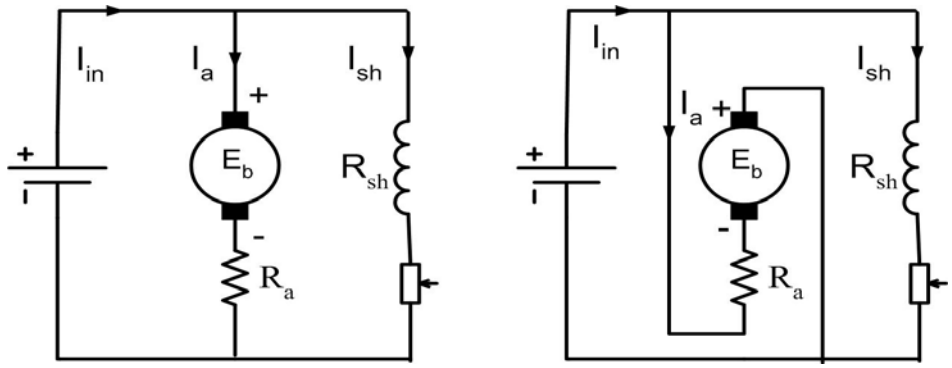
نستطيع في بعض الأحوال أن نتحكم في تيار المجال عن طريق تقسيم ملفات المجال على الأقطاب إلى قسمين أو أكثر وتوصيلهما على التوازي معا بدلا من توصيل الملفات على الأقطاب كلها على التوالي، كما هو واضح في شكل ٣ -١٥ب . وبهذه الطريقة نستطيع التحكم في تيار المجال وبالتالي في سرعة المحرك.



شكل ٣ -١٥ تنظيم السرعة لمحرك التوالي

٣ -٥ -٣ عكس السرعة لمحركات التيار المستمر

تحتاج كثيراً من الأغراض إلى عكس اتجاه السرعة للمحرك مثل محركات الترام والأوناش وغير ذلك. ويتم عكس سرعة الدوران بعكس اتجاه التيار في ملفات المنتج أو في ملفات المجال. يراعى أن يتم عكس التيار في إحدى الملفين فقط، فإذا تم عكس التيار في الملفين معا في آن واحد يظل المحرك في نفس اتجاهه. ويتم عكس اتجاه التيار في إحدى الملفين عن طريق تغيير توصيل الأطراف ويوضح شكل ٣ -١٦ طريقة تغيير ملفات المنتج لمحرك توازي، بحيث تظل ملفات المجال كما هي دون تغيير.



شكل ٣ -١٦ عكس السرعة لمحرك توازي

٣ -٦ طرق بدء الحركة Starting Methods

الهدف من بدء الحركة لمحركات التيار المستمر هو تقنين التيار المسحوب لحظة البداية. حيث يكون هذا التيار مرتفع جدا ويتضح ذلك من معادلات التيار الموضحة:

بالنسبة لمحرك التوازي:

$$I_a = \frac{V_{in} - E_b}{R_a} \qquad ٣\square٣٩$$

أما بالنسبة لمحرك التوالي:

$$I_a = \frac{V_{in} - E_b}{R_a + R_{se}} \qquad ٣\square٤٠$$

أثناء تشغيل المحرك يكون الفرق بين جهد المنبع والقوة الدافعة العكسية مقدار صغير وبالتالي تكون قيمة تيار المحرك هي القيمة التي يحددها الحمل. أما لحظة بدء الحركة تكون السرعة مساوية للصفر وبالتالي القوة الدافعة العكسية صفر أيضا (حيث تتناسب مع السرعة). وبالرجوع إلى المعادلات ٣ -٣، ٣ -٣٩، ٣ -٤٠ نجد أن قيمة التيار عند البدء وهو عبارة عن الجهد المسلط مقسوما على مقاومة المنتج في حالة محرك التوازي ومقسوما على مقاومة المنتج ومقاومة ملفات التوالي في حالة محرك التوالي. وهذا التيار قيمته عالية جدا حسب المعادلات التالية:

بالنسبة لمحرك التوازي:

$$I_{starting} = \frac{V_{in}}{R_a} \qquad ٣\square٤١$$

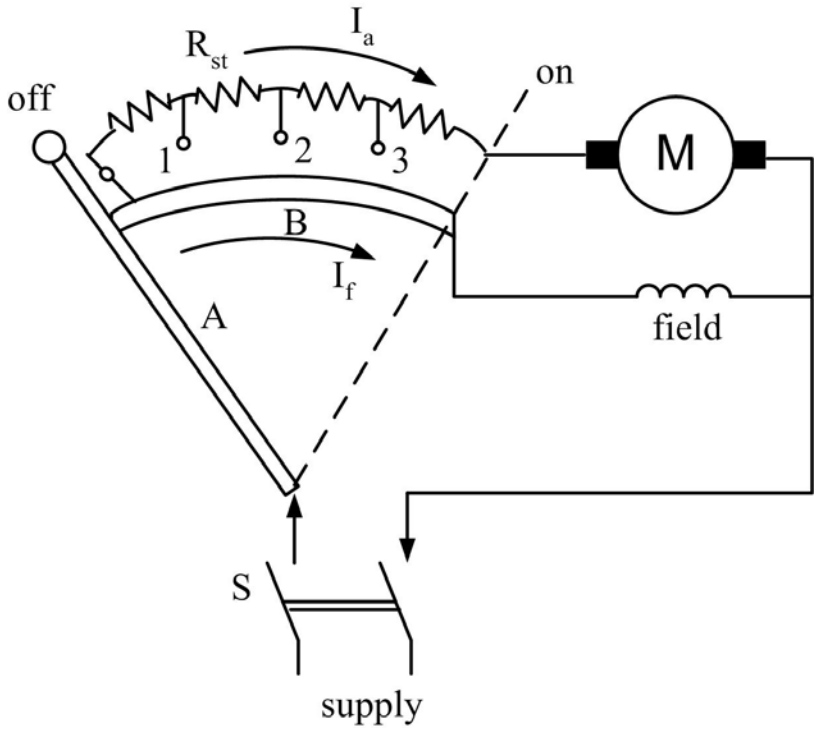
أما بالنسبة لمحرك التوالي:

$$I_{starting} = \frac{V_{in}}{R_a + R_{se}} \qquad ٣\square٤٢$$

وتبعا للمعادلات ٣ -٤١، ٣ -٤٢، ولو فرضنا على سبيل المثال أن جهد المنبع ٢٠٠ فولت ومقاومة المنتج ١, أوم (عادة أقل من ١ أوم) تكون بذلك قيمة تيار المنتج لحظة بدء الحركة ٢٠٠٠ أمبير وهذا التيار مرتفع جدا بالنسبة لقدرة المحرك. ولذلك يجب استخدام وسيلة بدء حركة أو ما يسمى ببادئ الحركة (starter) وهو عبارة عن مقاومة متغيرة توصل على التوالي مع المنتج وهذه المقاومة بدورها تحد من قيمة التيار إلى القيمة المسموح بها، فعندما يتحرك المنتج تتولد قوة دافعة عكسية (مضادة) تقلل من قيمة التيار المار وبالتالي تغير هذه المقاومة إلى قيمة أصغر حتى يصل المحرك إلى سرعته المقننة فتصل قيمة المقاومة إلى الصفر.

٣ -٦ -١ بادئ الحركة اليدوي

في المحركات الصغيرة يستعمل بادئ حركة يدوي وهو عبارة عن مقاومة من عدة أجزاء تكون على التوالي مع المنتج، وتخرج هذه المقاومة على مراحل حتى يصل المحرك إلى سرعته النهائية تكون هذه المقاومات قد أخرجت كليا من الدائرة، وعندئذ يكون المحرك موصل مباشرة بمنبع الجهد. يبين شكل ٣ -١٧ بادئ الحركة من هذا النوع لمحرك توازي، وفيه الزراع (A) يلامس نقطة التماس المتصلة بمقاومة بدء الحركة Rst وفي نفس الوقت يلامس القوس النحاس (B) الذي يغذي ملفات التوازي وبهذا الترتيب نجد أنه عند البداية تكون قيمة المقاومة الكلية مضافة إلى مقاومة المنتج وبذلك يقل تيار البدء، ثم بعد ذلك نبدأ في تحريك الزراع (A) ليصل إلى النقطة رقم ١ ثم ٢ ثم ٣ إلى أن يصل إلى الوضع on تكون المقاومة قد خرجت من الدائرة ويكون الجهد المسلط على المنتج هو جهد المنبع ويدور المحرك عند السرعة المقننة. ولكن من عيوب استخدام البادئ اليدوي أنه بعد فصل المفتاح الرئيسي (S) أي بعد فصل منبع الجهد عن المحرك لإيقافه يبقى الزراع عند وضع التشغيل (on) ويترتب على ذلك أنه عند بدء الحركة مرة أخرى يكون المنتج موصل مباشرة بالمنبع ولذا يجب بعد إيقاف المحرك إرجاع الزراع إلى وضع عدم التشغيل (off).



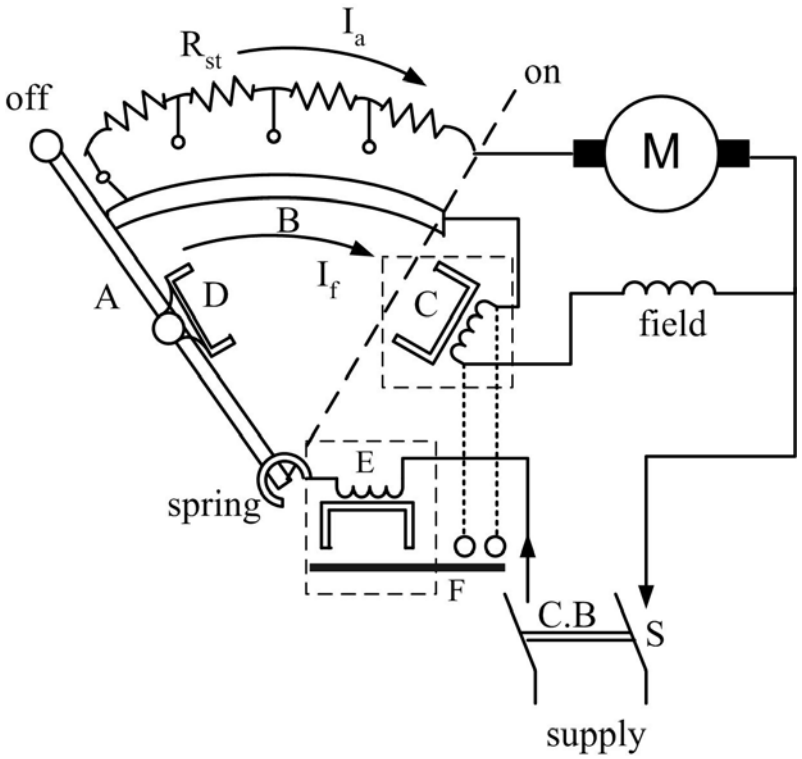
شكل ٣ -١٧ مخطط بادئ حركة يدوي

٣ -٦ -٢ بادئ الحركة الأوتوماتيكي

يستخدم في محركات التيار المستمر ذات قدرات أعلى من ٢٠ حصان وهو مزود بملف (متمم) فوق الحمل (overload) الذي يفصل المحرك عن المنبع عند زيادة الحمل كما يوجد أيضا قاطع أتوماتيكي (circuit breaker) للقيام بعمل المفتاح الرئيسي (s) عند حدوث قصر في الدائرة. الشكل ٣ -١٨ يبين مخطط لترتيب بدء حركة محركات التوازي والمركبة. في البداية يكون الزراع A عند الوضع off، عند توصيل المفتاح S يتصل منبع الجهد بالقاطع الأوتوماتيكي ويمر تيار في ملف المتمم E ومنه إلى الزراع A ثم القوس النحاس B فملف الجاذب C وأخيرا ملفات المجال وملفات المنتج، وعند هذه اللحظة تكون مقاومة البادئ الكلية موصلة على التوالي مع المنتج وبالتالي يقل تيار البدء. عند مرور تيار في ملف الجاذب C يتولد مجال مغناطيسي يعمل على جذب الحافظة D إلى الجاذب C وبالتالي يبدأ الزراع A في الحركة متجها إلى الجاذب C . ويبدأ خروج أجزاء من مقاومة البادئ Rst تدريجيا إلى أن يصل الزراع A إلى الوضع on تكون مقاومة البادئ قد خرجت كليا من الدائرة وأصبح جهد المنبع مسلط على المنتج.

عند فتح المفتاح الرئيسي S لإيقاف المحرك فإن المجال الناشئ عن مرور التيار في ملف الجاذب C يزول وينتج عن ذلك أن يترك المغناطيس الكهربي الحافظة D فيعود الزراع A من وضع التشغيل on إلى وضع عدم التشغيل off بواسطة زنبرك (spring) متصل بالزراع A وقاعدة البادئ. أيضا يوجد بالبادئ

متمم E يحتوى على ملف ومغناطيس كهربي وحافظة F، يمر بالملف تيار الخط فعند زيادة الحمل تنجذب الحافظة F للمغناطيس الكهربي للمتمم E، ومثبت بالحافظة قطعة من النحاس تعمل على قفل مسار توصيل فيحدث قصر على طرفي ملف الجاذب C ويترتب على ذلك أن يتلاشى المغناطيس الكهربي فيترك الحافظة D وبالتالي يعود الزراع A بفعل الزنبرك إلى وضع عدم التشغيل ويقف المحرك.



شكل ٣ -١٨ مخطط بادئ حركة أوتوماتيكي

٣ -٧ المفقودات والكفاءة Losses and Efficiency

تنقسم المفقودات في محركات التيار المستمر إلى ثلاثة أنواع كما في حالة مولدات التيار المستمر:

-الفقد الميكانيكي Mechanical loss

-الفقد النحاسي Copper loss

-الفقد الحديدي Iron loss

كل هذه المفقودات تظهر في صورة حرارة تؤدي إلى رفع حرارة المحرك وقد تتسبب في تلفه، لذلك يجب دراسة تأثيرها وكيفية الحد منها. وقد سبق ذكرها بالتفصيل في الوحدة الثانية (المولدات).

٣ -٧ -١ مراحل القدرة للمحرك

مما سبق نعلم بأن المحرك وسيلة لتحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية ولهذا يوصل المحرك على منبع تيار مستمر والذي يعطي المحرك قدرة أولية في صورة طاقة كهربية سنطلق عليها دخل المحرك Input power كما هو موضح في شكل ٣ -١٩ وهذه القدرة الداخلة تكون بالوات.(W) جزء من هذه القدرة يضيع من تعويض الفقد النحاسي والباقي يتحول إلى قدرة كهرومغناطيسية P_g، حيث إن P_g هي قدرة المنتج وتعطى بالعلاقة:

$$P_g=E_a\ I_a$$
$$P_g=P_{in}-P_{cu} \qquad ٣-٤٣$$

عند انتقال القدرة إلى المنتج Pg يفقد من هذه القدرة جزء كفقد ميكانيكي Pmech وجزء كفقد حديدي Pin وتكون القدرة المتبقية هي القدرة المستفادة للحمل أو كما تسمى أحيانا خرج المحرك Pout. ويعطي شكل ٣ -٢٠ مخطط انسياب القدرة في محركات التيار المستمر.

- الكفاءة:

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

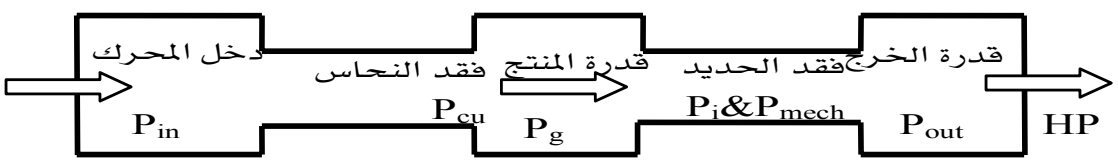
- الكفاءة الكلية

$$\eta = \frac{o/p}{i/p} = \frac{HP*746}{V_{in}I_{in}} \qquad ٣\square٤٤$$

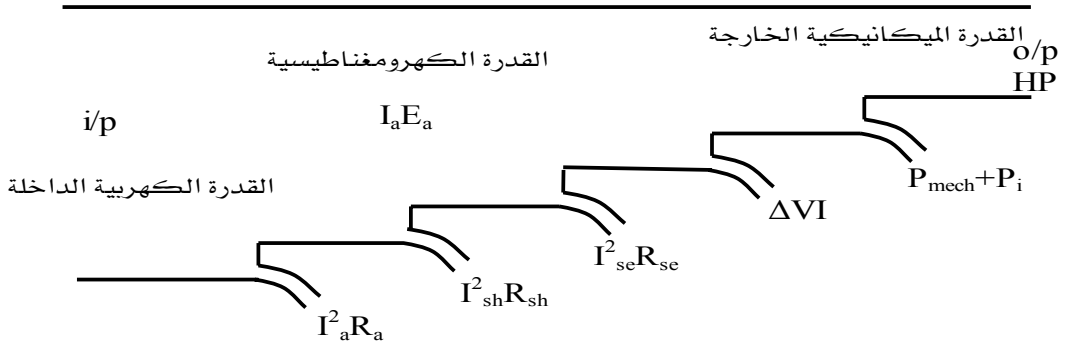
أيضا يمكن حساب الكفاءة الكلية من العلاقات

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out}+losses} \qquad ٣\square٤٥$$

$$\eta = \frac{P_{in}-losses}{P_{in}} \qquad ٣\square٤٦$$



شكل ٣ -١٩ مراحل انتقال القدرة لمحركات التيار المستمر



شكل ٣ -٢٠ مخطط انسياب القدرة لمحركات التيار المستمر

مثال٣ -٥_محرك تيار مستمر من نوع التوازي يغذى حمل قدرته ١٥٠ حصان عند الحمل الكامل ويدور عند سرعة ٩٦٠ لفه/دقيقة، وموصل على منبع جهد ٥٥٠ فولت. وكانت الكفاءة ٩١٪ ومقاومة ملفات التوازي ٢٧٥ أوم ومقاومة ملفات المنتج ١, . أوم. أوجد الآتي:

-المفقودات الحديدية والميكانيكية وكذلك عزم الدوران عند الحمل الكامل

-سرعة المحرك إذا خفض العزم إلى ٦٠٪ من العزم عند الحمل الكامل ووصلت مقاومة ٢,. أوم على التوالي مع ملفات المنتج.

الحل HP=١٥٠ n=٩٦٠rpm V_{in}=٥٥٠V η=٩١٪ R_{sh}=٢٧٥Ω R_a=٠,١Ω

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$0.91 = \frac{150 * 746}{P_{in}}$$

$$P_{in} = \frac{150 * 746}{0.91} = 122967 \quad W$$

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

$$I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}} = \frac{V_{in}}{R_{sh}} = \frac{550}{275} = 2 \quad A$$

$$I_a = I_{in} - I_{sh} = 223.6 - 2 = 221.6 \quad A$$

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

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

$$P_{losses} = P_{mech} + P_i + P_{cu}$$

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

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

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

$$T \alpha \Phi I_a$$

حيث إن تيار المجال ثابت، يكون Φ ثابت

$$T \alpha I_a$$

$$\frac{T_1}{T} = \frac{I_{a1}}{I_a} = 0.6$$

$$I_{a1} = 0.6 * I_a = 0.6 * 221.6 = 132.96 \quad A$$

$$E_{b1} = V_{in} - I_{a1}(R_a + R_{ad}) = 550 - 132.96 * (0.1 + 0.2) = 510.1\,V$$

$$T_1 = \frac{E_{b1} I_{a1}}{\omega_1} = \frac{E_{b1} I_{a1}}{\frac{2\pi n_1}{60}}$$

$$0.6 * 1163.5 = \frac{510.1 * 132.96 * 60}{2 * \pi * n_1}$$

$$- n_1 = \frac{510.1 * 132.96 * 60}{2 * \pi * 0.6 * 1163.5} = 928 \quad rpm$$

أسئلة وتمارين على الوحدة الثالثة

١ - اشرح نظرية عمل محرك التيار المستمر.

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

٣ - اشرح منحنيات الخواص لمحرك التوالي والمحرك المركب.

٤ - اشرح طرق تنظيم السرعة لمحركات التيار المستمر.

٥ - هل يمكن توصيل محركات التيار المستمر مباشرة إلى منبع جهد ثابت؟ علل إجابتك.

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

٧ - كيف يمكن عكس اتجاه الحركة لمحركات التيار المستمر؟

٨ - في المحركات منفصلة التغذية، ماذا يحدث لو وصل المحرك إلى منبع الجهد بدون تغذية ملفات المجال؟

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

١٠ - محرك تيار مستمر توازي ٤ أقطاب -٢٢٠ فولت يحتوي المنتج على ٥٤٠ موصل ملفوف لف انطباقي، يسحب تيار مقداره ٣٢ أمبير ويعطي قدرة خرج ٦ ك. وات، فإذا كان تيار المجال ١ أمبير ومقاومة ملفات المنتج ٩, أوم والفيض المغناطيسي لكل قطب ٠,٠٣ ويبر أوجد –السرعة –العزم المستفاد.

١١ - محرك تيار مستمر توازي ٢٢٠ فولت يدور بسرعة ٥٠٠ لفة/دقيقة عندما يأخذ المنتج ٥٠ أمبير. أوجد السرعة التي يدور بها المحرك إذا ازداد العزم إلى الضعف، علما بأن مقاومة المنتج ٢,. أوم

١٢ - محرك تيار مستمر توالي ٢٥٠ فولت - ٤ أقطاب ملفوف لف تموجي ويحتوي المنتج على ٧٨٤ موصل. فإذا كانت مقاومة المنتج وملفات المجال على الترتيب هي ٥, أوم ، ٢٥, أوم والفيض المغناطيسي لكل قطب ٢٥ ميللى ويبر، أوجد كل من السرعة والعزم الكلي للمحرك عندما يسحب تيار مقداره ٤٠ امبير.

١٣ - محرك توالي ٢٤٠ فولت يدور بسرعة ٨٥٠ لفة/دقيقة ويسحب تيار مقداره ١٠٠ أمبير، فإذا كانت مقاومة المنتج وملفات المجال على الترتيب هي ١٥, أوم ، ١, أوم، أوجد السرعة التي

يدور بها المحرك عندما يسحب تيار مقداره ٣٠ أمبير، مع العلم بأن الفيض المغناطيسي قد انخفض إلى النصف.

١٤ - محرك توازي ٥٠٠ فولت يسحب عند الحمل الكامل تيارا قدره ٥٥ أمبير ليعطي خرجا قدره ٢١ حصان، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٨,. أوم ومقاومة ملفات المجال ٢٤٥ أوم. احسب المفقودات النحاسية والحديدية للمحرك عند الحمل الكامل.

١٥ - محرك مركب طويل ملفوف لفا انطباقيا ذو ٤ أقطاب ويحتوي المنتج على ٨٢٠ موصل والفيض المغناطيسي لكل قطب ٢ ميجاخط، يدور عند اللاحمل بسرعة ١٢٠٠ لفة/دقيقة عندما يمر في المنتج تيارا قدره ٦ أمبير ، وعند الحمل الكامل يمر في المنتج ١٢٠ أمبير. فإذا كانت مقاومة المنتج وملفات التوالي وملفات التوازي على الترتيب هي ١٥, أوم ، ٠,٠٥ أوم، ١٢٠ أوم، أوجد: -قدرة المحرك عند الحمل الكامل بالحصان – عزم وكفاءة المحرك عند الحمل الكامل.

آلات التيار المستمر والمحولات

المحولات الكهربية أحادية الوجه

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

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

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

١. معرفة نظرية عمل وتركيب المحول الكهربي وطرق ترتيب الملفات.
٢. استنتاج معادلة القوة الدافعة الكهربية ونسبة التحويل.
٣. معرفة العلاقات الخاصة بالمحول المثالي.
٤. استنتاج الدائرة المكافئة منسوبة للابتدائي والثانوي.
٥. تشغيل المحول عند اللاحمل وعند التحميل.
٦. إجراء الاختبارات الضرورية.
٧. استنتاج عناصر الدائرة المكافئة.
٨. حساب معامل التنظيم وكذلك المفقودات والكفاءة.
٩. تركيب المحول الذاتي ومجالات استخدامه.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٨٥٪

الوقت المتوقع للتدريب: ٨ ساعات.

الوسائل المساعدة: جهاز عرض (بروجيكتور).

متطلبات الجدارة: تحتاج إلى مراجعة مقرر الدوائر الكهربية والقياسات والوحدة الأولى من هذا المقرر.

المحولات الكهربية أحادية الوجه Single Phase Transformers

المحول الكهربي هو آلة أو جهاز استاتيكي (أي جهاز ثابت بدون أجزاء متحركة) يستخدم لتحويل القدرة من دائرة إلى دائرة أخرى بنفس التردد مع خفض أو رفع الجهد الكهربي وحدوث مفقودات قليلة تتبدد على شكل طاقة حرارية. وتستخدم المحولات الكهربية بصورة واسعة في الحياة العملية بقدرات وجهود مختلفة. فعند توليد الطاقة الكهربية بقدرات عالية فإن هناك ضرورة تقنية لرفع جهد التوليد حتى يمكن نقله لمسافات طويلة وفي مناطق الاستهلاك يتم إعادة خفض الجهد ليناسب المستهلكين ولذلك يأتي دور المحولات الكهربية. أيضا تستخدم المحولات الكهربية في كثير من الأجهزة الكهربية وأجهزة القياس. أي أن دوره ليس مقصوراً فقط على القدرات العالية وإنما يستخدم على نطاق واسع مع القدرات المنخفضة. ويعتبر المحول الكهربي تطبيقا مباشرا لقانون فارادي للحث الكهرومغناطيسي كما أشرنا في الوحدة الأولى. سوف نتعرف في هذه الوحدة على نظرية عمل المحول وتركيبه وكذلك أنواعه المختلفة وطرق ترتيب الملفات بها. أيضا سوف نستنتج الدائرة المكافئة للمحول نظريا وكيفية الحصول عليها معمليا. ومن المهم أيضا دراسة أداء المحول في حالات التحميل المختلفة وحساب المفقودات والكفاءة. وفي النهاية سوف نتعرض إلى نوع خاص من المحولات وهو المحول الذاتي نظرا لاستخداماته المتعددة وخصوصا في المختبرات للحصول على منبع جهد متغير.

٤ -١ نظرية عمل المحول وتركيبه

بناء عمل المحول على التأثير المتبادل بين دائرتين معزولتين كهربيا ومرتبطتين بتدفق مغناطيسي متغير وهو في أبسط صورة يتكون من ملفين متقاربين ومعزولين كهربيا وملفوفين على قلب (core) من شرائح الحديد (كما هو موضح في شكل ٤ -١)، وهذا القلب يربط الملفين مغناطيسيا. فإذا وصل جهد متردد بأحد الملفين فإنه ينشأ في القلب الحديدي تدفق مغناطيسي (Magnetic flux) متردد أيضا، ويتشابك هذا التدفق مع الملف الآخر ويتولد به قوة دافعة كهربية مستنتجة بالتأثير المتبادل تبعا لقانون فارادي للحث الكهرومغناطيسي. فإذا وصل حمل بهذا الملف يمر فيه تيار، والملف الأول والذي يتصل بمنبع الجهد يطلق عليه الملف الابتدائي (primary winding) وهو ذو عدد لفات N١، أما الملف الآخر المتصل بالحمل فيطلق عليه الملف الثانوي (secondary winding) وعدد لفاته N٢. يسمى أحيانا الملفان بدلالة الجهد على كل منهما فيسمى الملف ذو الجهد الأكبر بملف الجهد العالي، ويسمى الملف ذو الجهد الأقل بملف الجهد المنخفض. تذكر دائما أن المحول الكهربي يستعمل مع التيار المتردد ولا يستعمل مع التيار المستمر، لماذا؟

٤ -١ -١ 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 الكهربية وكذلك تستخدم في محطات التوزيع لخفض الجهد العالي.

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

-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:

-محولات ذات ملفين مستقلين

-محولات ذات ملف مشترك (محول ذاتي)

-محولات رفع

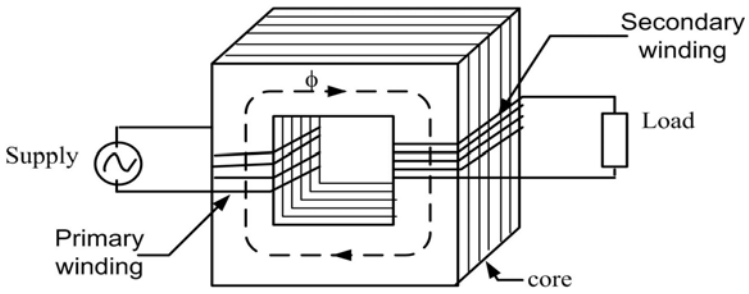
-محولات خفض

كما يمكن تقسيم المحولات من حيث التغذية إلى:

-محولات أحادية الوجه

-محولات ثلاثية الأوجه

ولا تختلف نظرية عمل المحول أحادي الوجه عن نظرية عمل المحول ثلاثي الأوجه، فالمحول الثلاثي الأوجه يعتبر ثلاثة محولات أحادية الوجه متصلة مع بعضها، لذلك سندرس أولا المحول ذو الوجه الواحد ثم نتعرض بعد ذلك في الوحدة الخامسة للمحول ثلاثي الأوجه.



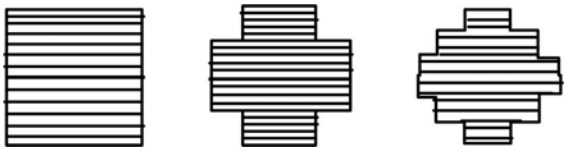
شكل ٤ -١ محول كهربي في أبسط صورة

٤ -١ -٢ تركيب المحول

يتكون المحول من الأجزاء الآتية: القلب الحديدي(core)، الملفات (windings) بخلاف أوعية مناسبة لجمع القلب والملفات وعوازل مناسبة لعزل وحمل أطراف الملفات وأجهزة الوقاية والتبريد.

-القلب الحديدي (core)؛ وهو يشكل الدائرة المغناطيسية للمحول ويتركب من سيقان (legs) توضع عليها الملفات وعوارض (yoke) لتكملة الدائرة المغناطيسية. ويتكون كل من السيقان والعوارض من رقائق من سبيكة الحديد مع السلزيوم (لتقليل المفقودات الحديدية)، والتي سمكها يتراوح من ٣٥,. مم إلى ٥,. مم. وتعزل الرقائق عن بعضها البعض طبقة من الورق بسمك ٢,. إلى ٣,. مم والذي يلصق على أحد وجهي كل رقيقة، أو من الورنيش الذي يدهن به أحد وجهي الرقيقة. والهدف من هذا العزل هو الحد من مفقودات التيارات الإعصارية. ومقطع الساق يأخذ عدة أشكال، فإما أن يكون على شكل مربع أو صليب في المحولات صغيرة ومتوسطة القدرة، وإما أن يكون متدرج كما في المحولات كبيرة القدرة. ويوضح شكل ٤ -٢عدة أشكال لمقاطع مختلفة للساق.

تربط الرقائق معا بواسطة أحزمة في المحولات الصغيرة أو بمسامير في حالة المحولات الكبيرة، بحيث لا ينتج عنها طنين بسبب الاهتزازات الناشئة عن القوى المغناطيسية. وتعشق رقائق الساق مع رقائق العارضة مكونة بذلك القلب الحديدي.

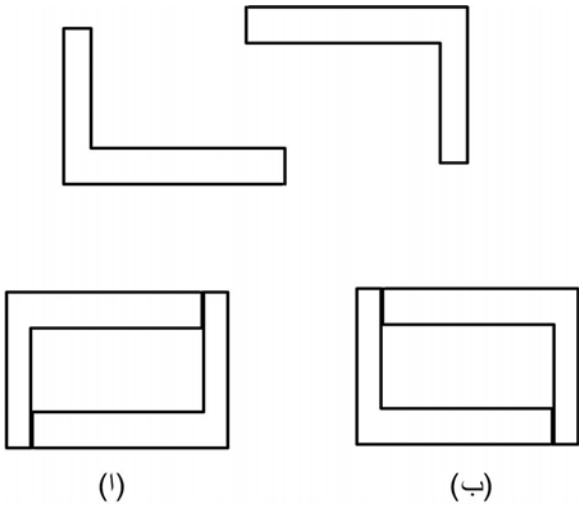


شكل ٤ -٢ مقاطع مختلفة للساق (Leg)

يوجد نوعان رئيسيان للقلب الحديدي:

أ - النوع ذو القلب المركزي (Core type)

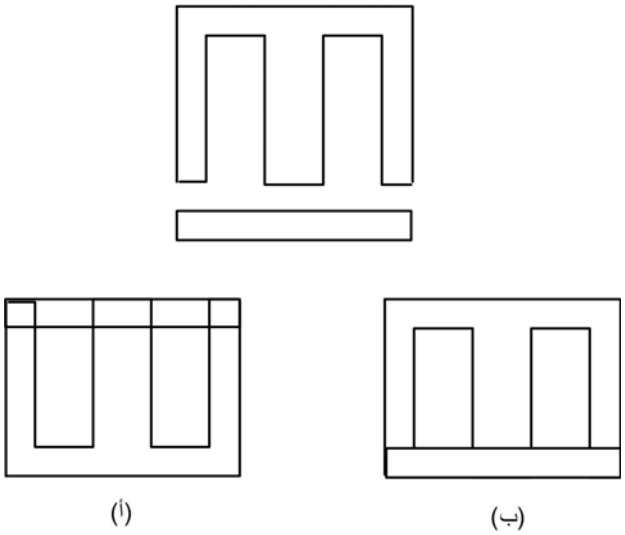
يتكون القلب الحديدي في هذا النوع كما في شكل ٤ -١ من ساقين توضع عليهما الملفات وعارضتين لتكملة القلب الحديدي، وتكون الرقائق على شكل حرف L ثم تجمع مع بعضها واحدة بعد الأخرى كما في شكل ٤ -٣، حيث توضع الرقائق بالوضع المبين في شكل (أ)، ثم يوضع بعدها الرقائق بالوضع المبين في شكل (ب)، ثم توضع الرقائق كما في شكل (أ) مرة أخرى وهكذا تتكرر العملية حتى يتم تركيب الرقائق بأكملها. وتتكون الدائرة المغناطيسية في هذا النوع من مسار واحد فقط، مما يميز هذا التصميم بالبساطة، كما أنه يسهل عزل الملفات.



شكل ٤ -٣ القلب الحديدي المركزي core type

ب -النوع الهيكلي أو القشري (ذو القلب الخارجي) Shell type

في هذا النوع تكون الرقائق على أشكال حرف E وحرف I كما في شكل ٤ -٤، وتجمع الرقائق مع بعضها بحيث توضع رقيقة على شكل E مع رقيقة على شكل I كما في شكل (أ)، ثم توضع رقيقة على شكل I مع رقيقة على شكل E كما في شكل (ب) وتتكرر هذه العملية حتى تركب الرقائق بأكملها، وتتكون الدائرة المغناطيسية من مسارين بالتوازي يشترك في تكوينها الساق الوسطى التي يجب أن تكون مساحتها ضعف مساحة أي من الساقين الآخرين. وتوضع ملفات الابتدائي والثانوي حول الساق الوسطى ، ولذلك يمتاز هذا النوع بأن الملفات تكون في حماية من الأضرار الميكانيكية.



شكل ٤ -٤ القلب الهيكلي shell type

-**الملفات (windings)**: يوجد نوعان رئيسيان من الملفات في المحولات، وهما الملفات الأسطوانية (cylindrical windings)، والملفات القرصية (disc windings)، ففي الحالة الأولى تكون الملفات الابتدائية والثانوية على شكل أسطوانات ، بينما في الحالة الثانية تكون على شكل أقراص.

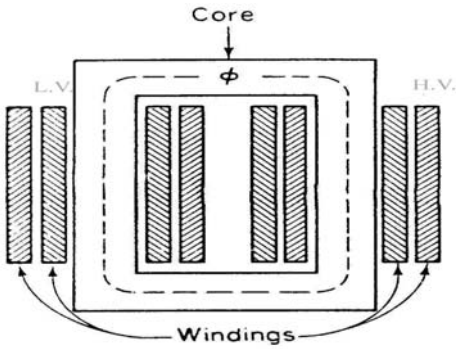
٤ -٢ طريقة ترتيب الملفات

تنقسم الملفات حسب طريقة وضعها حول الساق إلى ملفات متمركزة، أي متحدة المركز وملفات متداخلة (Sandwich).

٤ -٢ -١ الملفات المتحدة المركز

وتسمى بهذا الاسم لأنها تصنع على هيئة أسطوانات وتستعمل في المحولات ذات القلب المركزي (core type). ويوضح شكل ٤ -٥ كيفية ترتيب هذه الملفات، حيث توضع ملفات أسطوانية حول سيقان المحول وقد تكون هذه الملفات مستطيلة إذا كان مقطع الساق مستطيل، وقد تكون قضبان من النحاس موصلة مع بعضها بالتوازي في المحولات كبيرة القدرة، وتغطى هذه القضبان بطبقة من الورنيش ثم يلف حولها شريطا من الورق سمكه ٠,٥ مم ثم يلف عليه شريط من القطن بسمك ١,٠ مم لكي يحفظ شريط الورق.

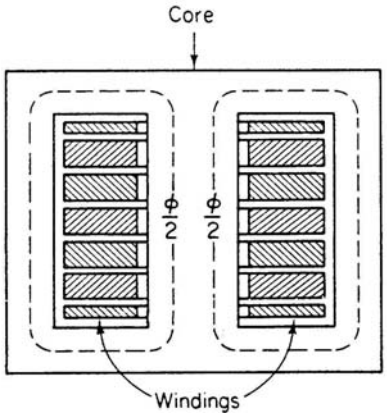
ترتب الملفات حول الساق بحيث يوضع أولاً أسطوانة من الورق أو البكاليت حول الساق وذلك لعزل الساق عن الملفات، ثم يوضع حول أسطوانة الورق أسطوانة(ملفات) الجهد المنخفض وذلك لسهولة عزلها عن الساق، ثم يترك حيز أسطواني يمتلئ بالزيت وذلك لتبريد المحول. ثم بعد ذلك توضع أسطوانة(ملفات) الجهد العالي.



شكل ٤ -٥ ترتيب الملفات المركزية للمحول

٤ -٢ -٢ الملفات المتداخلة

وتسمى بالملفات القرصية، نظرا لأنها على هيئة أقراص وتستعمل في المحولات الهيكلية ، وترتب بحيث يوضع قرص من ملف الجهد العالي وفوقه قرص من ملف الجهد المنخفض ،ثم قرص من ملف الجهد العالي وهكذا حتى يتم تركيب بقية الأقراص مع مراعاة أن يوضع نصف قرص من ملفات الجهد المنخفض عند النهايتين، أي أعلى وأسفل الملفات وذلك بسبب سهولة عزل ملفات الجهد المنخفض عن الحديد، كما هو موضح في شكل ٤ -٦.



شكل ٤ -٦ ترتيب الملفات القرصية للمحول

يمكن أيضا استخدام الملفات القرصية مع القلب المركزي، كما يمكن أن تستخدم الملفات الأسطوانية مع القلب الهيكلي بنفس الترتيب الذي ذكر في الحالتين.

٤ -٣ العلاقات الخاصة بالمحول المثالي Ideal Transformer

المحول المثالي هو افتراض نظري فقط ويستخدم لفهم المحول 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. وهذه الفروض تساعد على استنتاج العلاقات المختلفة، والمحول المثالي يتركب من ملفين لهما ممانعة حثية فقط وملفوفين حول قلب من الحديد كما في شكل ٤ -٧، فإذا وصلنا الملف الابتدائي بمنبع جهد متردد ، فإنه ينتج تدفق(فيض) مغناطيسي متردد ويعتمد مقداره على قيمة الجهد والتردد وكذلك عدد لفات الملف الابتدائي. وهذا التدفق المتردد يتشابك مع الملف الثانوي مولدا به جهد متردد يعتمد قيمته على عدد لفات الملف الثانوي. لو فرضنا أن جهد الابتدائي هو V_1، والفيض المغناطيسي الناشئ هو Φ، فإنه يتولد قوة كهربية عكسي e_1 في الملف الابتدائي تعطي بالعلاقة:

$$v_1 = e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \qquad ٤\square١$$

حيث $N_١$ عدد لفات الملف الابتدائي، أيضا يمكن كتابة معادلة الجهد المستنتج في الملف الثانوي كالآتي:

$$v_2 = e_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} \qquad ٤\square٢$$

حيث $N_٢$ عدد لفات الثانوي، $e_٢$ القوة الدافعة العكسية المستنتجة به. بقسمة المعادلة ٤ -١ على المعادلة ٤ -٢ نحصل على النسبة الآتية:

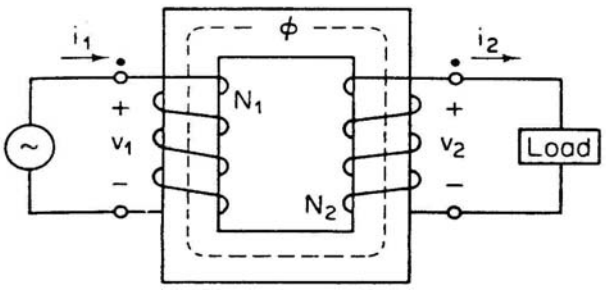
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad ٤-٣$$

حيث تعرف $\frac{N_1}{N_2}$ بأنها نسبة تحويل الجهد للمحول، فإذا كان $N_١ > N_٢$ حينئذ يسمى المحول محول خافض، أما إذا كان $N_٢ > N_١$ فحينئذ يسمي المحول محول رافع. وحيث إن المحول المثالي ينقل القدرة الكهربية بدون فقد في الطاقة، وبناءا عليه فإن القدرة اللحظية متساوية لكلا جانبي المحول، أي قدرة الدخل مساوية لقدرة الخرج وبالتالي يمكن كتابة المعادلة الآتية:

$$v_1 i_1 = v_2 i_2 \qquad ٤\square٤$$

من المعادلة ٤ -٣ والمعادلة ٤ -٤ يمكن إيجاد العلاقة بين التيار في الملفين الابتدائي والثانوي.

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} \qquad ٤\square٥$$



شكل ٤ -٧ المحول المثالي

يمكن إيجاد الدائرة المكافئة للمحول المثالي في حالة اتصاله بحمل وذلك باستخدام المعادلات من ٤ -١ إلى ٤ -٥. ويجب ملاحظة أن النقط السوداء في شكل ٤ -٧ تشير إلى قطبية الملفات، وهي تبين بداية الملفات حول الساق واتجاه لفه. وبناءا على ذلك نلاحظ أن جهد الملف الابتدائي من الطرف المنقوط إلى الطرف غير المنقوط يكون في نفس اتجاه الجهد للملف الثانوي من الطرف المنقوط إلى الطرف غير المنقوط. وهذا يعنى أن الجهد V١ له نفس زاوية الطور للجهد V٢ .

في حالة التشغيل المستقر للمحول وباستخدام المعادلة ٤ -٣ والمعادلة ٤ -٥، يمكن كتابة المعادلة :

$$\frac{V_1}{I_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \frac{V_2}{I_2} \qquad ٤\square٦$$

وحيث إن معاوقة الحمل (load impedance) هي Z٢:

$$\frac{V_2}{I_2} = Z_2 \qquad ٤\square٧$$

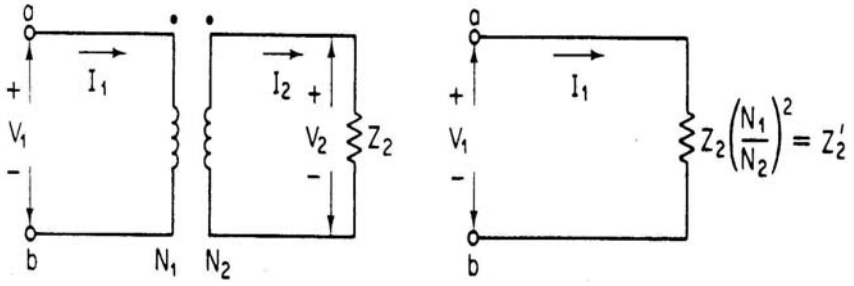
بالتعويض من المعادلة ٤ -٧ في المعادلة ٤ -٦

$$\frac{V_1}{I_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_2 \qquad ٤\square٨$$

المعادلة ٤ -٨ تبين أنه يمكن نسب المعاوقة Z٢ إلى دائرة الملف الابتدائي بحيث تصبح Z٢'

$$Z_2' = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_2 \qquad ٤\square٩$$

يوضح شكل ٤ -٨ الدائرة المكافئة للمحول المثالي، والمعاوقة Z'٢ هي ببساطة المعاوقة Z٢ منسوبة إلى ناحية الملف الابتدائي. وهي تتغير مع مربع نسبة التحويل للمحول.



شكل ٤ -٨ الدائرة المكافئة للمحول المثالي

٤ -٤ معادلة القوة الدافعة الكهربية

يمكن اعتبار الفيض المغناطيسي في المحول المثالي عبارة عن موجة جيبية.

$$\Phi(t) = \Phi_m \sin \omega t \qquad ٤\square١٠$$

وبناءا على ذلك وبالتعويض في المعادلة ٤ -١ نحصل على العلاقة التالية:

$$e_1(t) = N_1 \Phi_m \omega \cos\omega t \qquad ٤-١١$$

حيث $\omega = ٢\pi f$ ، f هو تردد المنبع وبذلك يمكن وضع المعادلة ٤ -١١ في الصورة التالية:

$$e_1(t) = 2\pi N_1 \Phi_m f \sin(\omega t + 90^o) \qquad ٤\square١٢$$

الآن يمكن كتابة معادلة القوة الدافعة الكهربية للملف الابتدائي كالآتي:

$$e_1(t) = \sqrt{2} E_1 \sin(\omega t + 90^o) \qquad ٤\square١٣$$

حيث E١ هي القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربية e١ :

$$E_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} N_1 \Phi_m f$$

$$E_1 = 4.44 N_1 \Phi_m f \qquad ٤\square١٤$$

بنفس الطريق السابقة يمكن استنتاج معادلة القوة التأثيرية المتولدة في الملف الثانوي، وتكون المعادلة كالتالي:

$$E_2 = 4.44 N_2 \Phi_m f \qquad ٤\square١٥$$

المعادلة ٤ -١٤ والمعادلة ٤ -١٥ تبينان أن الجهد يتناسب مع عدد اللفات والتدفق المغناطيسي علاوة على تردد منبع الجهد. أيضا توضح المعادلة ٤ -١٠ والمعادلة ٤ -١٣ أن متجه الجهد E١ يتقدم على متجه التدفق بزاوية مقدارها ٩٠o. ويجب ملاحظة أن هذا التحليل مستنتج للمحول المثال، بهذه الخلفية يمكن امتداد الدراسة لتشمل المحول الحقيقي وهو الموجود في الحياة العملية.

مثال ٤ -١_محول أحادي الوجه يعمل على جهد تردده ٥٠ ذبذبة/ثانية، فإذا كان القلب الحديدي على شكل مربع المقطع طول ظلعه ٢٠سم وكثافة الفيض المغناطيسي العظمي المسموح بها للمرور في القلب الحديدي ١٠٠٠٠خط/سم^{٢} – احسب عدد الملفات المطلوب وضعها لكل من الملف الابتدائي والثانوي لتكون نسبة تحويل الجهد ٢٢٠/٣٠٠٠ فولت.

الحل $B=١٠٠٠٠ lines/cm^{٢}$ $A=٢٠x٢٠=٤٠٠cm^{٢}$ $E_{١}=٣٠٠٠ V$ $E_{٢}=٢٢٠V$

$\Phi=BA=١٠٠٠٠*٤٠٠*١٠^{-٨}=٠,٠٤ wb$

$E=٤,٤٤f\Phi N$

$E_{١}=٤,٤٤f\Phi N_{١}$ $N_{١}=٣٠٠٠/(٤,٤٤*٥٠*٠,٠٤)=٣٣٨ turns$

$E_{٢}=٤,٤٤f\Phi N_{٢}$ $N_{٢}=٢٢٠/(٤,٤٤*٥٠*٠,٠٤)=٢٥ turns$

مثال ٤ -٢_محول أحادي الوجه قدرته ٢٥ كيلوفولت أمبير وعدد لفات الابتدائي ٥٠٠ والثانوي ٤٠ وصل الملف الابتدائي إلى منبع جهد قيمه ٣٠٠٠ فولت، احسب -تيار الملف الابتدائي –تيار الملف الثانوي عند الحمل الكامل -القوة الدافعة الكهربية في الثانوي -أقصى تدفق في الدائرة المغناطيسية .

الحل $KVA=٢٥$ $N_{١}=٥٠٠$ $N_{٢}=٤٠$ $V_{١}=٣٠٠٠V$

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}=\frac{500}{40}=12.5$$

$$V_2=\frac{3000}{12.5}=240V$$

$$I_1=\frac{KVA}{V_1}=\frac{25*10^3}{3000}=8.33A$$

$$I_2=\frac{KVA}{V_2}=\frac{N_2}{N_1}I_1=\frac{500}{40}*8.33=104.13A$$

$$E_1=4.44\,f\phi N_1$$

$$\phi = \frac{3000}{4.44 * 50 * 500} = 0.027wb$$

مثال ٤ -٣_ محول أحادي الوجه قدرته ٥كيلوفولت أمبير، جهده ٤٤٠/١١٠فولت ويعمل على تردد ٦٠ هيرتز ويغذي حمل بتيار مقداره ٤٠أمبير عند معامل قدرة ٠,٨ متقدم وعند الجهد المقنن. باعتبار المحول مثالي ، أوجد الآتي: -جهد وتيار الابتدائي - معاوقة الحمل – معاوقة الحمل منسوب إلى الابتدائي

الحل

KVA=٥ V_1/V_2=٤٤٠/١١٠ f=٦٠ Hz I_2=٤٠ A P.F=٠,٨ lead

من المعلومات المعطاه يمكن حساب الآتي:

$V_2 = 110\angle 0 \quad volt$

$I_2 = 40\angle \cos^{-1} 0.8 \quad A$

$I_2 = 40\angle 36.87^o \quad A$

-The transformer ratio is

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{440}{110} = 4$$

Thus

V_1=٤٤٠ V

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2 = \frac{1}{4}(40\angle 36.87^o) = 10\angle 36.87^o \quad A$$

- The load impedance is

$$Z_2 = \frac{V_2}{I_2} = \frac{110\angle 0}{40\angle 36.87^o} = 2.75\angle -36.87^o \quad \Omega$$

- The impedance of the load referred to the primary side is

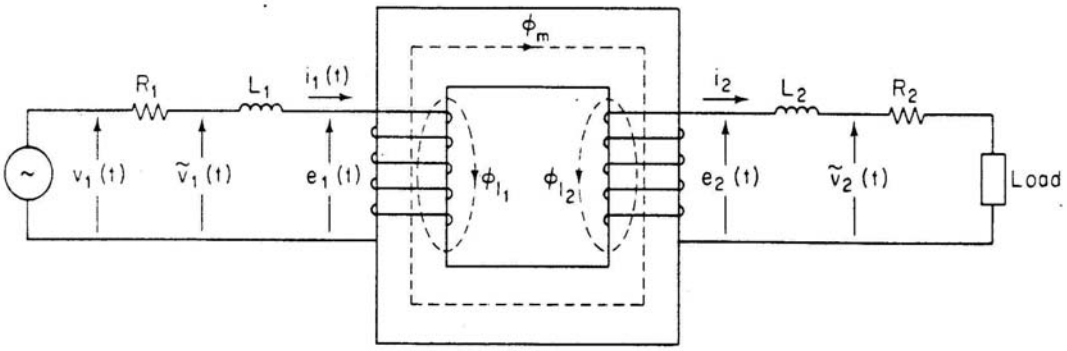
$$Z_2' = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_2 = (4)^2 (2.75\angle -36.87^o = 44\angle -36.87^o \quad \Omega$$

or $$Z_2' = \frac{V_1}{I_1} = \frac{440}{10\angle 36.87^o} = 44\angle -36.87^o \quad \Omega$$

٤ -٥ الدائرة المكافئة للمحول

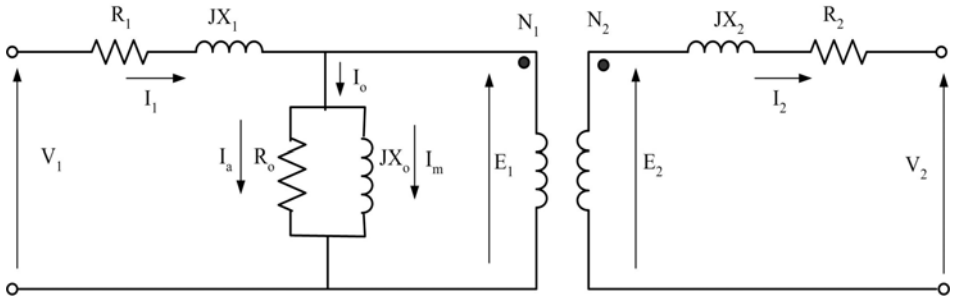
افترضنا في المحول المثالي أن ملفاته لها ممانعة حثية فقط وليست لها مقاومة مادية، وتم هذا الافتراض للحصول على نسبة تحويل الجهود والتيارات والمعاوقة للحمل، ولكن في الواقع يوجد مقاومة لكل من ملفاته الابتدائية والثانوية نظرا لأنها مصنوعة من النحاس. إن اهتمامنا الآن هو الحصول على الدائرة المكافئة للمحول وذلك للحصول على القيم الحقيقية للتيارات والقدرة المنقولة. بناءا على ذلك سوف نأخذ في الاعتبار مقاومة الملفات. حيث مقاومة الملف الابتدائي يرمز لها بالرمز $R_١$، ومقاومة الملف الثانوي $R_٢$.

افترضنا أيضا في المحول المثالي عدم وجود تسرب مغناطيسي، ولكن في الحقيقة نجد أن التدفق المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار في الملف الابتدائي لا يتشابك كله مع الملف الثانوي، ولكن يتسرب منه جزء صغير حول الملف الابتدائي ويكمل دائرته المغناطيسية خلال الهواء، وهذا التدفق المتسرب يتشابك مع الملف الابتدائي فينتج به قوة دافعة كهربية مستنتجة بالتأثير الذاتي وينتج عنها ممانعة التسرب $X_١$ (Leakage reactance) للملف الابتدائي حيث $X_١=٢\pi fL_١$. كذلك عند تحميل المحول ومرور تيار في الملف الثانوي ينشأ أيضا تدفق مغناطيسي يتسرب منه جزء حول الملف الثانوي، وهذا التدفق المتسرب يتشابك مع الملف الثانوي وينتج به قوة دافعة كهربية مستنتجة ينتج عنها ممانعة التسرب $X_٢$ ($X_٢=٢\pi fL_٢$) للملف الثانوي. يوضح شكل ٤ -٩ دائرة المحول الحقيقي، حيث ترسم مقاومة كل ملف وممانعة التسرب الخاصة به متصلة مع محول مثالي. ونتيجة لهذه المعاوقات في الدائرة فإنه ينتج فقد في الطاقة في هذة المعاوقات . افترضنا أيضا في المحول المثالي أنه لا يوجد أي مفقودات ولكن في الواقع يوجد فقد في الحديد وفقد في الملفات النحاسية.



شكل ٤ -٩ المحول الحقيقي

شكل ٤ -١٠ يوضح الدائرة المكافئة للمحول. حيث تمثل X_o الممانعة المغناطيسية للقلب الحديدي ، بينما R_o هي المقاومة المغناطيسية للقلب الحديدي وتمثل 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 تيار المغطسة للآلة. يمكن تبسيط الدائرة المكافئة(شكل ٤ -١٠) واختصارها لتعطي الدائرة في شكل ٤ -١١ وهي منسوبة ناحية الملف الابتدائي للمحول. يلاحظ في شكل ٤ -١١ أن كل العناصر الموجودة ناحية الملف الثانوي قد انتقلت ناحية الملف الابتدائي وأخذت قيم يرمز لها بالعلامة (´) وهي تعنى أن القيم قد اختلفت عن وضعها الأول. ويمكن حساب القيم الجديدة من العلاقات التالية:



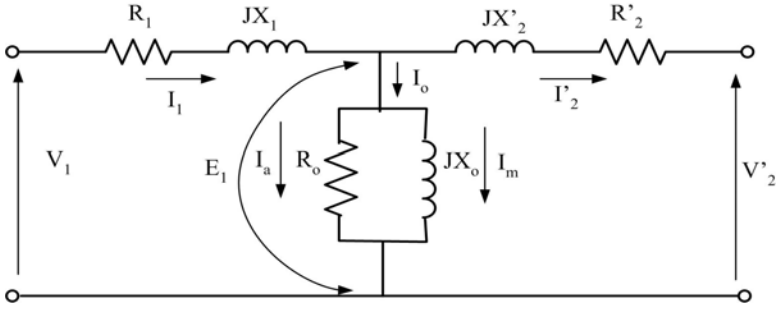
شكل ٤ -١٠ الدائرة المكافئة

$$V_2' = \frac{N_1}{N_2} V_2 \qquad ٤-١٦$$

$$I_2' = \frac{N_2}{N_1} I_2 \qquad ٤-١٧$$

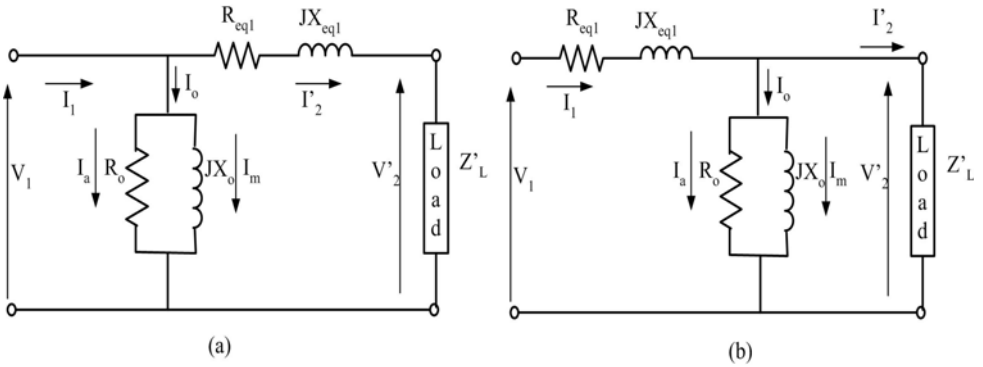
$$R_2' = R_2\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \qquad ٤-١٨$$

$$X_2' = X_2\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \qquad ٤-١٩$$

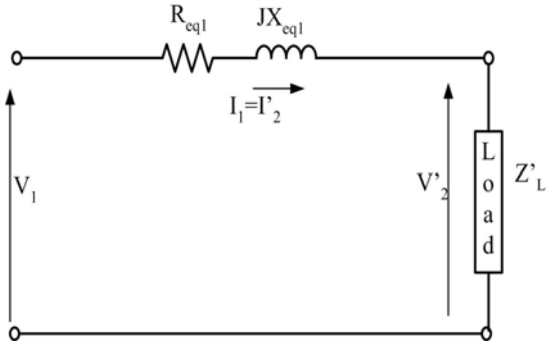


شكل ٤ -١١ الدائرة المكافئة منسوبة إلى جهة الابتدائي

يمكن تبسيط الدائرة المكافئة الموجودة في شكل ٤ -١١ والمنسوبة إلى الملف الابتدائي بتحريك فرع التوازي إما ناحية الملف الابتدائي (ناحية المنبع) أو ناحية الملف الثانوي(ناحية الحمل)، كما هو ظاهر في شكل ٤ -١٢، وذلك لسهولة حل الدائرة. أيضا يمكن إهمال فرع التوازي (التمغنط) للحصول على الدائرة التقريبية المبسطة كما في شكل ٤ -١٣.



شكل ٤ -١٢ الدائرة المكافئة التقريبية للمحول منسوبة جهة الابتدائي



شكل ٤ -١٣ الدائرة المكافئة المبسطة للمحول منسوبة جهد الابتدائي

تحسب قيم المقاومة المكافئة R_{eq1} والممانعة المكافئة X_{eq1} في شكل ٤ -١٢، شكل ٤ -١٣ منسوبة إلى دائرة الملف الابتدائي من العلاقات الآتية:

$$R_{eq1} = R_1 + R'_2 \qquad ٤\square٢٠$$

$$X_{eq1} = X_1 + X'_2 \qquad ٤\square٢١$$

أيضا يمكن أن تنسب معاوقة الحمل إلى دائرة الابتدائي:

$$Z'_L = Z_L\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \qquad ٤\square٢٢$$

كذلك يمكن إيجاد الدائرة المكافئة للمحول منسوبة إلى الملف الثانوي وتكون العلاقات في هذه الحالة كالتالي:

$$V'_1 = \frac{N_2}{N_1}V_1 \qquad ٤\square٢٣$$

$$I'_1 = \frac{N_1}{N_2}I_1 \qquad ٤-٢٤$$

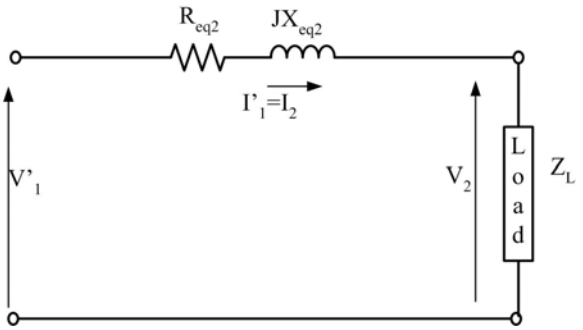
$$R'_1 = R_1\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \qquad ٤-٢٥$$

$$X'_1 = X_1\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \qquad ٤-٢٦$$

وتكون الدائرة المكافئة منسوبة إلى الملف الثانوي كما في شكل ٤ -١٤، حيث المقومة المكافئة Req٢ والممانعة المكافئة Xeq٢ في هذه الحالة تعطى كالآتي:

$$R_{eq2} = R_1' + R_2 \qquad ٤\square٢٧$$

$$X_{eq2} = X_1' + X_2 \qquad ٤\square٢٨$$



شكل ٤ -١٤ الدائرة المكافئة للمحول منسوبة جهة الثانوي

مثال ٤ -٤ محول أحادي الوجه قدرته ١٠٠ كيلوفولت أمبير وجهده ٤٠٠/٢٠٠٠وعناصر الدائرة المكافئة هي كالتالي: R_1=٠,٠١ Ω X_1=٠,٠٣ Ω R_2=٠,٢٥ Ω X_2=٠,٧٥ Ω R_c=٥٠٠ Ω X_o=١٥٠ Ω

ويغذي حمل قدرته ٩٠كيلوفولت أمبير عند جهد مقداره ٢٠٠٠فولت ومعامل قدرة ٠,٨ متأخر. احسب جهد وتيار الابتدائي مستخدما الدائرة المكافئة شكل ٤ -١٢(أ).

الحل في البداية يجب أن ننسب كل العناصر جهة الابتدائي، فتكون كالآتي:

$$R_2' = R_2\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = 0.25\left(\frac{400}{2000}\right)^2 = 0.01\Omega \qquad R_1$$=٠,٠١٥ Ω X_1=٠,٠٣٥ Ω

$$X_2' = X_2\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = 0.75\left(\frac{400}{2000}\right)^2 = 0.03\Omega$$

$R_{eq}=R_1+R'_2=0,015+0,01=0,025\Omega$ $X_{eq}=X_1+X'_2=0,035+0,03=0,065\ \Omega$

$Z_o=R_o//JX_o=500//J150$

The voltage $V_2=2000$ V; thus

$$V_2' = \frac{N_1}{N_2}V_2 = 2000\left(\frac{400}{2000}\right) = 400V$$

The current $I_2=KVA*10^3/V_2=90*10^3/2000=45$ A

$$|I_2'| = \frac{N_2}{N_1}I_2 = \left(\frac{2000}{400}\right)45 = 225A$$

The power factor=0,8 lagging

$$I_2' = 225\angle -36.87^o$$

$V_1=V'_2+I'_2(R_{eq}+JX_{eq})$

$$= 400\angle 0 + 225\angle -36.87^o(0.025 + J0.065)$$
$$= 400\angle 0 + 225\angle -36.87^o * 0.07\angle 68.96^o$$
$$= 400\angle 0 + 15.75\angle 32.1^o$$
$$V_1 = 400 + 13.34 + J8.37 = 413.34 + J8.37 = 413.42\angle 1.16V$$
$$Z_o = \frac{500 * J150}{500 + J150} = \frac{75000\angle 90^o}{522\angle 16.7^o} = 143.7\angle 73.3^o\Omega$$
$$I_o = \frac{V_1}{Z_o} = \frac{413.42\angle 1.16}{143.7\angle 73.3} = 2.88\angle -72.14A$$
$$I_1 = I_2' + I_o = 225\angle -36.87^o + 2.88\angle -73.3^o$$
$$= 180 - J135 + 0.83 - J2.76 = 180.83 - J137.83 = 227.37\angle -37.31^o A$$

على المتدرب أن يعيد الحل مستخدما الدائرة المكافئة شكل ٤ -١٢(ب) ثم الدائرة ٤ -١٣ ويقارن النتائج مع الحل أعلاه.

٤ -٦ تشغيل المحول Transformer operation

٤ -٦ -١ تشغيل المحول عند اللاحمل No load operation

عرفنا فيما سبق أن نظرية تشغيل المحول تعتمد على الحث الكهرومغناطيسي، فعندما يوصل المحول إلى منبع تيار متردد فإنه يمر تيار في الملف الابتدائي يسمى بتيار اللاحمل I_o وينشأ عن مرور هذا التيار فيض مغناطيسي متغير يتبع التيار المسبب له. ويقطع هذا الفيض كل من الملف الابتدائي والملف الثانوي فيولد في كل منهما قوة دافعة كهربية عكسية تتناسب مع عدد اللفات ومعدل تغير الفيض بالنسبة للزمن كما ذكرنا سابقا. وتيار اللاحمل I_o ينقسم إلى مركبتين I_m, I_a، والتيار I_a هو المسبب للفقد

الحديدي، أما I_m فهو المسبب لمغنطة الدائرة المغناطيسية. فإذا فرضنا أن موجة الجهد V_1 هي موجة جيبية

$$V_1 = E_m \sin \omega t \qquad ٤\square٢٩$$

فإن التيار المسبب للفيض المغناطيسي I_m يكون متأخر بمقدار 90^o وبالتالي الفيض يكون متأخر بنفس الزاوية وهذا نظرا لمرور التيار في ممانعة. ويمكن تمثيل الفيض بالمعادلة التالية:

$$\Phi = \Phi_m \cos \omega t \qquad ٤\square٣٠$$

أما I_a فيكون في نفس اتجاه الجهد الموصل على أطراف الملف الابتدائي للمحول ويكون متقدم 90^o على تيار المغنطة I_m . ويكون الجمع الاتجاهي للتيارين هو تيار اللاحمل I_o .

$$\vec{I}_o = \vec{I}_m + \vec{I}_a \qquad ٤\square٣١$$

يوضح شكل ٤ -١٥ مخطط المتجهات للمحول عند اللاحمل، يتضح من الشكل أن مركبتي تيار اللاحمل I_a ، I_m تعطي بالعلاقات التالية:

$$I_a = I_o \cos \phi_o$$
$$I_m = I_o \sin \phi_o \qquad ٤\square٣٢$$

حيث φ_o هي الزاوية بين التيار I_o والجهد للملف الابتدائي.

ونظرا لأن الملف الابتدائي له مقاومة مادية R_1 وممانعة حثية X_1 فإن تيار اللاحمل يتسبب في فقد جهد على أطراف الملف الابتدائي، تربطهم العلاقة التالية:

$$\vec{V}_1 = \vec{E}_1 + \vec{I}_o \vec{Z}_1 \qquad ٤\square٣٢$$

حيث $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}$.

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:

$$P_o = V_1 I_o \cos \phi_o \qquad ٤\square٣٤$$

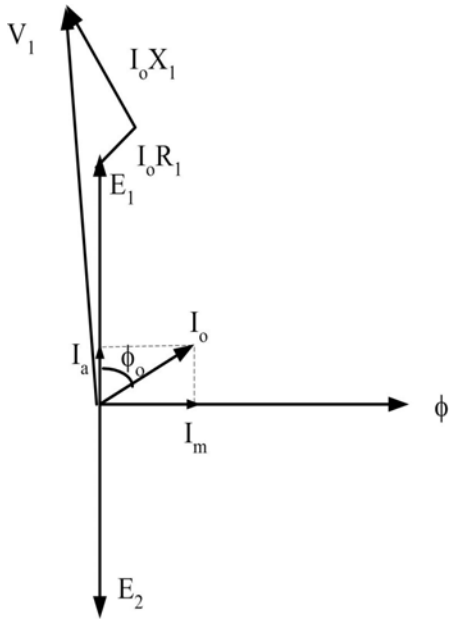
وهذا الفقد الحديدي يستهلك في مقاومة الدائرة المغناطيسية R_o ويمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$R_o = \frac{V_1}{I_a} = \frac{V_1}{I_o \cos \phi_o} \qquad ٤\square٣٥$$

أيضا يمكن حساب الممانعة X_o من العلاقة التالية:

$$X_o = \frac{V_1}{I_m} = \frac{V_1}{I_o \sin \phi_o} \qquad ٤٣٦$$

يجب ملاحظة أن 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.



شكل ٤ -١٥ مخطط المتجهات للمحول بدون حمل

٤ -٦ -٢ تشغيل المحول عند الحمل Load operation

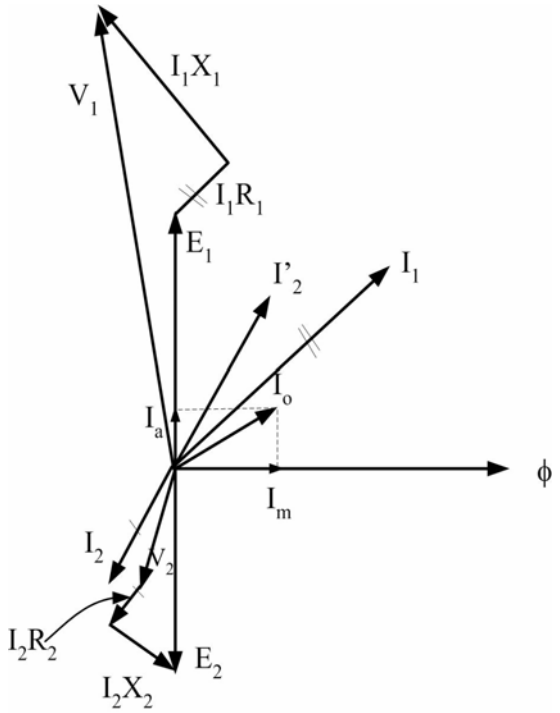
إذا تم توصيل معاوقة Z_L(حمل) على طرفي الملف الثانوي فإنه يمر به تيار يسمي تيار الملف الثانوي I_2 نتيجة لوجود معاوقة الحمل وينشأ عن ذلك فيض مغناطيسي في القلب الحديدي تتوقف قيمته على التيار I_2 ولابد من معادلة هذا الفيض بفيض آخر مضاد مساويا له في المقدار في ملف الابتدائي، وينتج عن هذا الفيض تيارا في الملف الابتدائي I'_2 يحسب من المعادلة ٤ -١٧. وعلي ذلك فإنه نتيجة للتحميل يمر في الملف الابتدائي تيار آخر يتناسب مع تيار الحمل ويكون مجموعه مع تيار اللاحمل I_o هو التيار الكلي الذي يسحبه المحول من المنبع ويمكن حساب هذا التيار من العلاقة التالية:

$$\vec{I}_1 = \vec{I}'_2 + \vec{I}_a \qquad ٤-٣٧$$

يحسب التيار I_2 من بيانات الحمل:

$$I_2 = \frac{V_2}{Z_L} \qquad ٤-٣٨$$

ثم يحسب I'_2 من المعادلة ٤ -١٧ ، وبذلك يمكن رسم مخطط المتجهات للمحول عند الحمل كما هو مبين في شكل ٤ -١٦.



شكل ٤ -١٦ مخطط المتجهات للمحول عند الحمل

٤ -٦ -٣ معامل التنظيم للمحول Transformer regulation

من العوامل المهمة عند اختيار محول لتطبيق معين، معامل تنظيم الجهد. ويعرف معامل تنظيم الجهد بأنه التغيير في جهد الثانوي عندما يتغير تيار الحمل من صفر إلى القيمة المقننة. ويحسب بالعلاقة التالية:

$$Percentage\,Voltage\,\mathrm{Re}gulation(PVR) = \frac{|V_{2(noload)}| - |V_{2(rated)}|}{|V_{2(rated)}|} x100 \qquad ٤\square٣٩$$

عندما يعطي المحول التيار المقنن فإن جهد الحمل يكون V_2 ويكون الجهد الداخل المناظر له هو V'_1 منسوبا إلى الثانوي(انظر شكل ٤ -١٤)، عند إزالة الحمل مع الاحتفاظ بالجهد ثابت فيكون جهد الثانوي في حالة اللاحمل هو V'_1 وبذلك يمكن كتابة معادلة تنظيم الجهد كالتالي:

$$Percentage\,Voltage\,\mathrm{Re}gulation(PVR) = \frac{|V_1'| - |V_2|}{|V_2|} x100 \qquad ٤\square٤٠$$

حيث V'_1 يحسب من العلاقة:

$$V_1' = V_2 + I_2(R_{eq2} + JX_{eq2}) \qquad ٤\square٤١$$

وبالتالي يمكن كتابة معامل التنظيم كدالة في ثوابت المحول منسوبة إلى الثانوي حسب المعادلة التالية:

$$(PVR) = \left\{ \frac{I_2(R_{eq2}\cos\phi_2 + X_{eq2}\sin\phi_2)}{V_2} + \frac{1}{2}\left(\frac{I_2(X_{eq2}\cos\phi_2 - R_{eq2}\sin\phi_2)}{V_2} \right)^2 \right\} 100 \qquad ٤\square٤٢$$

ويمكن حساب معامل التنظيم أيضا إذا كانت الدائرة منسوبة جهة الابتدائي (كما في شكل ٤ -١٣) من العلاقة التالية:

$$Percentage\,Voltage\,\mathrm{Re}gulation(PVR) = \frac{|V_1| - |V_2'|}{|V_2'|} x100 \qquad ٤\square٤٣$$

حيث V_1 يحسب من العلاقة:

$$V_1 = V_2' + I_2'(R_{eq1} + JX_{eq1}) \qquad ٤\square٤٤$$

وبالتالي يمكن كتابة معامل التنظيم كدالة في ثوابت المحول منسوبة إلى الثانوي حسب المعادلة التالية:

$$(PVR) = \left\{ \frac{I_1 R_{eq1}\cos\phi_1}{V_1} + \frac{I_1 X_{eq1}\sin\phi_1}{V_1} \right\} 100 \qquad ٤\square٤٥$$

على المتدرب أن يثبت المعادلة ٤ -٤٢ والمعادلة ٤ - ٤٥(وذلك من خلال رسم مخطط المتجهات للمحول منسوبا إلى الدائرة الابتدائية والثانوية).

٤ -٧ عناصر الدائرة المكافئة Equivalent circuit parameters

تحتوي الدائرة المكافئة للمحول على ستة عناصر كما هو موضح في الجزء ٤ -٥، ومرة أخرى هذه العناصر هي مقاومة ملف الابتدائي R_1، ممانعة الملف الابتدائي X_1، مقاومة الملف الثانوي R_2، ممانعة الملف الثانوي X_2، مقاومة الدائرة المغناطيسية للقلب الحديدي R_o وممانعته المغناطيسية X_o. قيمة نسبة التحويل للمحول N_1/N_2 دائما معطاة للمحول. ومن المنطقي أن نقبل أن قيمة $R_1=R'_2$ وأيضا $X_1=X'_2$ ويمكن إثبات ذلك من خلال الملاحظات التالية:

$$R_1 = \frac{\rho l_1}{A_1}$$

$$R_2 = \frac{\rho l_2}{A_2}$$

حيث ρ تمثل المقاومة النوعية للملفات، A_1, l_1 طول ومساحة مقطع الملف الابتدائي، كذلك A_2, l_2 طول ومساحة مقطع الملف الثانوي. لذلك يمكن كتابة العلاقة التالية:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1 A_2}{l_2 A_1}$$

وباعتبار أن طول الملف يتناسب مع عدد اللفات، لذلك يمكن كتابة العلاقة:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

وحيث إن مساحة المقطع تتناسب مع التيار الحامل لذا:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

بتجميع العلاقات أعلاه يمكن استنتاج الآتي:

$$R_1 = R_2 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

وكنتيجة لذلك يمكن القول أن:

$$R_1 = R'_2$$

وهذا يثبت صحة الفرض في البداية، والآن يمكن كتابة المعادلات التالية بعد الرجوع إلى المعادلة٤ -٢٠، والمعادلة ٤ -٢١:

$$R_{eq} = 2R_1 = 2R'_2 \qquad ٤\square٤٦$$

$$X_{eq} = 2X_1 = 2X'_2 \qquad ٤\square٤٧$$

واضح الآن أننا نحتاج إلى حساب أربعة عناصر فقط وذلك لمعرفة عناصر الدائرة المكافئة، وهم R_{eq},X_{eq}, R_o,X_o . ويمكن حسابهم من اختبار المحول معمليا.

٤ -٧ -١ اختبار اللاحمل No load test

أيضا يسمى هذا الاختبار باختبار الدائرة المفتوحة (open circuit test) وذلك نظرا لأن أطراف الثانوي مفتوحة وغير موصلة بحمل. ويتم الاختبار بتوصيل ملف الابتدائي إلى جهد المصدر وبحيث تكون قيمة الجهد مساوية للجهد المقنن للمحول بينما يترك ملف الثانوي مفتوح، كما هو موضح في شكل ٤ - ١٧ . 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:

$$P_o = I_o V_o \cos\phi_o$$

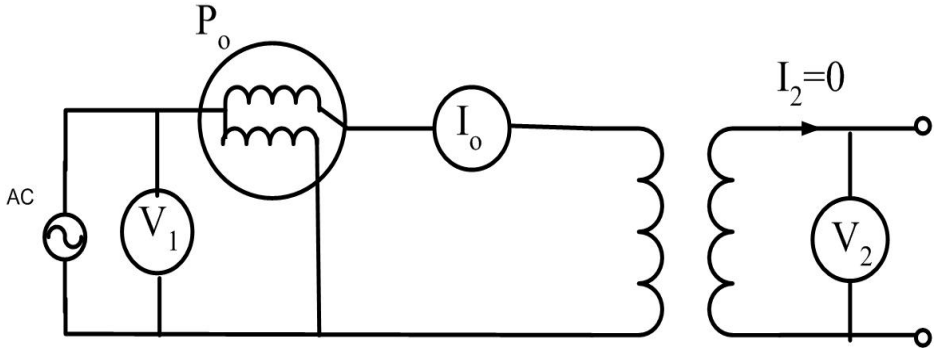
$$\cos\phi_o = \frac{P_o}{I_o V_o}$$

$$I_a = I_o \cos\phi_o$$

$$I_m = I_o \sin\phi_o$$

$$R_o = \frac{V_1}{I_a}$$

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



شكل ٤ -١٧ تجربة اللاحمل

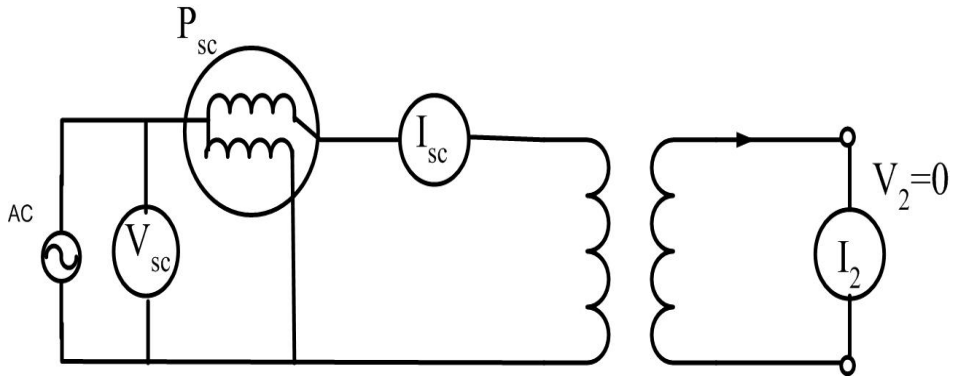
٤ -٧ -٢ اختبار القصر Short circuit test

يتم في هذه التجربة قصر أطراف الملف الثانوي من خلال أميتر كما هو موضح في شكل ٤ -١٨، ويوصل الملف الابتدائي بمنبع جهد متغير بحيث يعطي الملف الابتدائي جزء من الجهد المقنن قيمته V_{sc} وهذا الجهد صغير جدا ويجب الحذر خلال تغيير هذا الجهد، لذلك نبدأ في البداية بجهد صفر ونرفع الجهد تدريجيا إلى أن يمر التيار المقنن في الملف الثانوي وقيمته I_2. 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:

$$P_{sc} = I_{sc}^2 R_{eq} \qquad ٤-٤٨$$

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \sqrt{R_{eq}^2 + X_{eq}^2} \qquad ٤-٤٩$$

من المعادلة ٤ -٤٨ تحسب قيمة Req، ثم بالتعويض في المعادلة ٤ -٤٩ نحسب قيمة Xeq. الآن بالرجوع إلى المعادلات ٤ -٤٦، ٤ -٤٧ يمكن حساب قيمة كل من R١,X١,R'٢,X'٢ وباستخدام نسبة التحويل للمحول يمكن حساب قيمة R٢,X٢ للملف الثانوي.



شكل ٤ -١٨ تجربة القصر

مثال ٤ -٥ محول توزيع أحادي الوجه قدرته ٥٠٠ كيلوفولت أمبير وجهده ٢٣٠٠/٢٣٠ فولت. اختبر إيجاد العناصر المكافئة. أثناء اختبار الدائرة المفتوحة ، كانت القدرة ٢٢٥٠ وات وكان التيار ٩,٤ أمبير، أما الجهد فكانت قيمته ٢٣٠٠ فولت. وأثناء اختبار القصر كانت القدرة ٨٢٢٠ وات والتيار هو التيار المقنن أما الجهد فكان ٩٤,٥ فولت. احسب عناصر الدائرة المكافئة.

الحل

Open circuit test: V_o=٢٣٠٠V I_o=٩,٤A P_o=٢٢٥٠W

Short circuit test: V_{sc}=٩٤,٥V $I_{sc}=I_{rated}$ P_{sc}=٨٢٢٠W

$$P_o = I_o V_o \cos\phi_o$$

$$\cos\phi_o = \frac{P_o}{I_o V_o} = \frac{2250}{9.4*2300} = 0.1156$$

$$\phi_o = \cos^{-1}(0.1156) = 83.36^o$$

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

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

$$I_{sc} = I_{f.l} = \frac{500*10^3}{2300} = 217.39A$$

$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} = \frac{8220}{(217.39)^2} = 0.1739\Omega$$

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \sqrt{(R_{eq}^2 + X_{eq}^2)}$$

$$\left(\frac{94.5}{217.39}\right)^2 = (0.1739)^2 + X_{eq}^2$$

As a result, we get X_{eq}=٠,٣٩٨٤Ω

$$R_1 = R_2' = \frac{R_{eq}}{2} = \frac{0.1739}{2} = 0.08695\Omega$$

$$X_1 = X_2' = \frac{X_{eq}}{2} = \frac{0.3984}{2} = 0.1992\Omega$$

$$R_2' = R_2\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$R_2 = R_2'\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = 0.08695*\left(\frac{230}{2300}\right)^2 = .0008695\Omega$$

$$X_2' = X_2\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$X_2 = X_2'\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = 0.1992*\left(\frac{230}{2300}\right)^2 = .001992\Omega$$

٤ -٨ المفقودات والكفاءة Losses and Efficiency

٤ -٨ -١ المفقودات في المحولات

يوجد نوعان من الفقد في المحولات وهما فقد الحديد Iron loss وفقد النحاس Cupper loss ، وعادة فإن فقد الحديد ثابت القيمة ولا يعتمد على الحمل، 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.

$$P_{iron}=P_o \qquad ٤\square٥٠$$

أيضا يمكن 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 مهمل نظرا لأنه يتناسب مع مربع الجهد والجهد عادة صغير جدا في هذه التجربة (٣إلي ٥٪) بالنسبة للجهد المقنن. لذلك يمكن أن نعتبر أن القدرة الداخلة كلها فقد نحاسي. فإذا كان تيار القصر مساويا لتيار الحمل الكامل فإن القدرة الداخلة تساوي فقد النحاس عند الحمل الكامل.

$$P_{cu}=P_{sc} \qquad ٤\square٥١$$

أما إذا كان التيار المار في دائرة الملف الابتدائي عند القصر لا يساوي تيار الحمل الكامل فإن المفقد النحاسي لا يساوي قيمته عند الحمل الكامل ويمكن تحديده عند الحمل الكامل من العلاقات التالية:

$$P_{cu(sc)} = I_{sc}^2 R_{eq} \qquad ٤\square٥٢$$

$$P_{cu(f.l)} = I_{f.l}^2 R_{eq} \qquad ٤\square٥٣$$

$$P_{cu(f.l)} = P_{cu(sc)}\left(\frac{I_{f.l}}{I_{sc}}\right)^2 \qquad ٤\square٥٤$$

وبنفس الطريقة يمكن حساب الفقد النحاسي عند أي حمل بدلالة الفقد النحاسي عند الحمل الكامل. حيث إن الفقد عند أي نسبة حمل تتناسب مع مربع نسبة الحمل.

$$P_{cu(x)} = x^2 P_{cu(f.l)} \qquad ٤\square٥٥$$

٤ -٨ -٢ الكفاءة للمحولات

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

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{iron} + P_{cu}} x100 \qquad ٤\square٥٦$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} x100 \qquad ٤\square٥٧$$

حيث P٢ هي قدرة الحمل، P١ القدرة الداخلة للمحول. ويمكن حساب قدرة الحمل من المعادلة التالية:

$$P_2 = V_2 I_2 \cos\phi_2 \qquad ٤\square٥٨$$

حيث cosφ٢ هو معامل القدرة للحمل Power factor.

بالتعويض عن قيمة P٢ من المعادلة ٤ -٥٨ في المعادلة ٤ -٥٦ يمكن الحصول على الكفاءة كدالة في متغيرات الحمل (الجهد والتيار ومعامل القدرة):

$$\eta = \frac{|V_2||I_2|\cos\phi_2}{|V_2||I_2|\cos\phi_2 + P_{iron} + |I_2|^2 R_{eq}} 100 \qquad ٤\ ٥٩$$

مثال ٤ -٦ محول أحادي الوجه قدرته ٥٠٠ كيلوفولت أمبير، الفقد الحديدي ٢٥٠٠ وات والفقد النحاسي عند الحمل الكامل ٧٥٠٠ وات . احسب الكفاءة عند الحمل الكامل ثم عند نصف الحمل ومعامل قدرة متأخر ٠,٨.

الحل KVA=٥٠٠ Piron =٢٥٠٠W Pcu(f.l.)=٧٥٠٠ W cosφ=٠,٨

P٢=٥٠٠*١٠٣*٠,٨=٤٠٠٠٠٠ W

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{iron} + P_{cu}} x100 = \frac{400000}{400000 + 7500 + 2500} x100 = 97.56\%$$

At half load

$P_{2}(1/2)=1/2*500*10^{3}*0.8=200000W$

$Pcu(x)=x^{2}Pcu(f.l)$

$Pcu(1/2)=1/4*7500=1875W$

$$\eta=\frac{P_{2(1/2)}}{P_{2(1/2)}+P_{iron}+P_{cu(1/2)}}x100=\frac{200000}{200000+1875+2500}x100=97.86\%$$

مثال ٤ -٧ احسب معامل التنظيم والكفاءة للمحول الموجود في مثال ٤ -٥ وذلك عند معامل قدرة متأخر ٠,٨.

الحل:

$V_{2}=230\ V \quad P_{i}=2250\ W \quad R_{eq^{2}}=0.00173\Omega \quad X_{eq^{2}}=0.00398\Omega$
$I_{2}=500*10^{3}/230=2174A$

Thus, substituting in Equation ٢-٤٢, we get

$$(PVR)=\left\{\frac{2174(0.00173(0.8)+0.00398(0.6))}{230}+\frac{1}{2}\left(\frac{2174(0.00398(0.8)-0.00173(0.6))}{230}\right)^{2}\right\}100$$
$$=3.64\%$$

Also, substituting in Equation ٤-٥٩, we get

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

٤ -٩ المحول الذاتي Auto-transformer

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 ٤ -١٩. ويمكن أن يكون المحول محول خفض كما في الشكل أو محول رفع كما في شكل ٤ -٢٠. ويعتمد ذلك على طريقة التوصيل.

يمثل الملف AB في شكل ٤ -١٩ الملف الابتدائي وعدد لفاته هي (N_1) بينما يمثل الملف BC الملف الثانوي وعدد لفاته (N_2) ويكون نسبة الجهد كما في المحول ذي الملفين.

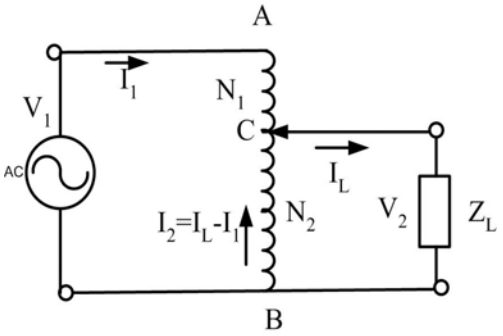
ونحصل عليها بمساواة الأمبير فولت الداخل مع الأمبير فولت الخارج. وهي كالتالي:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_L}{I_1} \qquad ٦٠\square٥$$

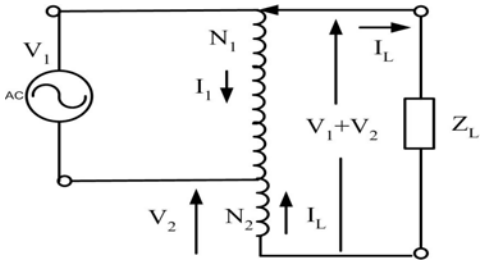
ويكون التيار في الملف الثانوي هو:

$$I_2 = I_L - I_1 \qquad ٦١\square٤$$

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 ٤ -٢٠. ويسمى المحول الذاتي المتغير القيمة لجهد الثانوي فارياك "Variac". ويستخدم هذا النوع من المحولات في المختبرات وأجهزة بدأ الحركة عندما يكون نسبة التحويل المطلوبة في حدود من ١: ٢,٥ 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 الكهربي 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 ٤ -١٩ محول ذاتي خافض



شكل ٤ -٢٠ محول ذاتي رافع

أسئلة وتمارين على الوحدة الرابعة

١ - عرف المحول الكهربي واشرح نظرية عمله.
٢ - اذكر استخدامات المحول الكهربي
٣ - اذكر أنواع المحولات الكهربية
٤ - اشرح مع الرسم تركيب المحول.
٥ - هل يصلح المحول للعمل مع تيار مستمر ؟ علل إجابتك.
٦ - اذكر الفرق بين المحول المثالي والمحول الفعلي
٧ - ما هي أنواع المحولات الكهربية من حيث شكل القلب الحديدي ؟
٨ - ما هي أنواع الملفات المستخدمة في محولات القدرة؟ وضح بالرسم طرق ترتيب الملفات
٩ - اشرح مع الرسم الدائرة المكافئة للمحول وبين كيف يمكن تبسيط هذه الدائرة؟
١٠ - كيف يمكن حساب ثوابت المحول معمليا؟
١١ - ما هي الاختبارات التي تجرى على المحول لحساب الكفاءة؟
١٢ - ارسم مخطط المتجهات للمحول عند الحمل.
١٣ - ما هي أنواع المفقودات في المحول؟
١٤ - قارن بين المحول الذاتي والمحول ذي الملفين.
١٥ - ما هي أهم استخدامات المحول الذاتي؟
١٦ - محول أحادي الوجه يعمل على جهد ذات تردد ٦٠ هيرتز، فإذا كان القلب الحديدي على شكل مستطيل المقطع أبعاده ٢٠X٢٥ سم وكثافة الفيض المسموح به للمرور في القلب الحديدي ٠,٠٠٠١ ويبر/سم^{٢} ، احسب عدد اللفات المطلوب وضعها لكل من الملف الابتدائي والثانوي لتكون نسبة تحويل الجهد ٢٢٠/٣٠٠٠ فولت.
١٧ - محول أحادي الوجه نسبة التحويل ١:٤. معاوقة الحمل ١٠ أوم بزاوية ٣٠^{o} ومتصلة عبر الملف الثانوي، حيث جهده ١٢٠ فولت. باعتبار المحول مثالي وأخذ جهد الثانوي كمرجع، أوجد - تيار الملف الابتدائي وتيار الملف الثانوي –جهد الملف الابتدائي –معاوقة الحمل منسوبة للابتدائي.

١٨ - محول أحادي الوجه قدرته ٥٠ كيلو فولت امبير ، ونسبة تحويل الجهد ٤٠٠/٢٠٠٠. يغذي حمل قدرته ٤٠ كيلو فولت أمبير عند جهد ٢٠٠٠ فولت ومعامل قدرة ٨,. متأخر. باعتبار المحول مثالي أوجد: -معاوقة الحمل –تيار الحمل منسوب للابتدائي.

١٩ - محول أحادي الوجه ٢٠٠ كيلو فولت أمبير، ونسبة تحويل الجهد ٦٠٠٠/٦٦٠ فولت وله الثوابت التالية: $X_1=٤,٦٧\Omega$ $X_2=٠,٠٤٨\Omega$ $R_1=١,٥٦\Omega$ $R_2=٠,٠١٦\Omega$

وعند اللاحمل يأخذ المحول تيار مقداره ٩٦, أمبير عند معامل قدرة ٢٦٣, متأخر. احسب ثوابت الدائرة المكافئة منسوبة للابتدائي.

٢٠ -محول توزيع أحادي الوجه ٥٠٠ كيلوفولت، ونسبة تحويل الجهد ٢٣٠٠/٢٣٠ فولت، أجري عليه اختبار اللاحمل والقصر ثم أعط النتائج التالية: ١ -اختبار اللاحمل

$V_o=٢٣٠V$ $I_o=٩٤A$ $P_o=٢٢٥٠W$

٢ -اختبار القصر

$V_{sc}=١٠٠V$ $I_{sc}=٢٢٨A$ $P_{sc}=٩,٢KW$

احسب ثوابت الدائرة المكافئة منسوبة للجهد العالي.

٢١ -عند اختبار محول أحادي الوجه قدرته ٢٥ كيلوفولت أمبير ونسبة تحويل الجهد ٣٣٠٠/٢٠٠ أعطي النتائج التالية:

$V_o=٣٣٠٠V$ $I_o=٠,٨A$ $P_o=٣٠٠W$

$V_o=١٠٠V$ $I_o=٧,٥A$ $P_o=٥٨٠W$

احسب ثوابت المحول موضحة على الدائرة المكافئة ، وكذلك احسب معامل التنظيم والكفاءة عند الحمل الكامل ومعامل قدرة ٨, متأخر، كرر الحل عند نصف الحمل. ونفس معامل القدرة.

آلات التيار المستمر والمحولات

المحولات ثلاثية الأوجه

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: معرفة نظرية عمل المحول الكهربي ثلاثي الأوجه وتركيبه وطريقة توصيل الملفات، وكذلك مجالات الاستخدام وشروط توصيل المحولات على التوازي.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

١. معرفة نظرية عمل وتركيب المحول الكهربي ثلاثي الأوجه.
٢. طرق توصيل الملفات.
٣. مجالات الاستخدام.
٤. شروط توصيل المحولات على التوازي.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٨٥٪

الوقت المتوقع للتدريب: ٤ ساعات.

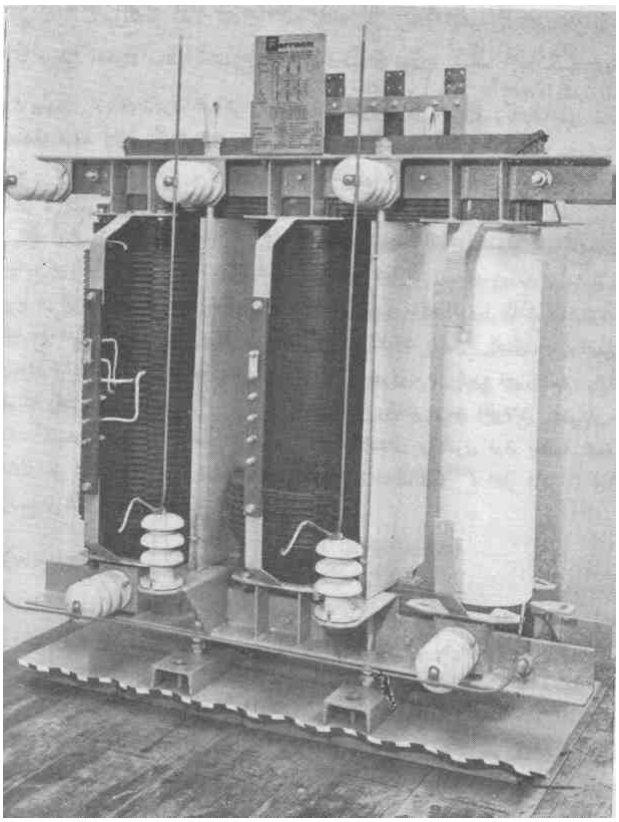
الوسائل المساعدة: جهاز عرض (بروجيكتور).

متطلبات الجدارة: تحتاج إلى مراجعة مقرر الدوائر الكهربية والقياسات والوحدة الأولى والرابعة من هذا المقرر.

المحولات ثلاثية الأوجه Three Phase Transformers

٥ -١ التركيب وفكرة العمل

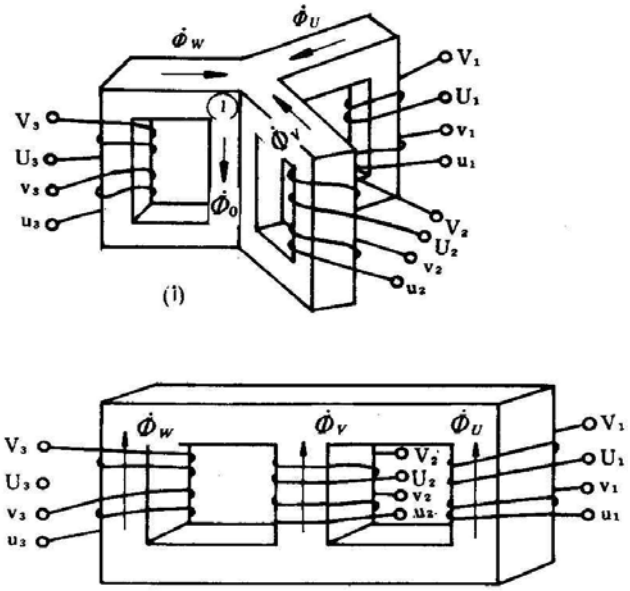
تنقل القدرة الكهربية عبر خطوط نقل في صورة ثلاثة أوجه. وخلال نقل القدرة الكهربية من محطات التوليد إلى الاستهلاك يتم رفع الجهد لاعتبارات اقتصادية وعند الاستهلاك يتم خفض الجهد مرة أخرى إلى جهد التوزيع. وعملية التحويل هذه للجهد تتم باستخدام إما ثلاثة محولات متماثلة كل منها ذي وجه واحد وتوصل معا بطريقة خاصة أو عن طريق استخدام محول واحد ثلاثي الأوجه (three phase transformer) ويفضل هذا الأخير نظرا لأن حجمه وكذلك ثمنه أقل من حجم ثلاثة محولات لها نفس القدرة الكلية. ويوضح شكل ٥ -١ محول ذو ثلاثة أوجه، وثلاثة أفرع بقدرة ٥٠٠ كيلو فولت أمبير. من النوع ذي القلب الملفوف. حيث تنقسم المحولات الثلاثية الأوجه إلى نوعين، كما هو الحال في المحولات الأحادية، وهما النوع القلبي والنوع الهيكلي (القشري).



شكل ٥ -١ محول ثلاثي الأوجه من النوع القلبي

٥ -١ -١ النوع القلبي: Core type

يوضح شكل ٥ -٢ محول قلبي ثلاثي الأوجه، ويحتوي على ملف ابتدائي وملف ثانوي لكل وجه وملفوفين معا على نفس الساق، حيث ترمز الأحرف الكبيرة V-U لبداية ونهاية الملف الابتدائي، أما الأحرف الصغيرة v-u فترمز لبداية ونهاية الملف الثانوي. وتوصل الملفات للثلاثة أوجه بطرق خاصة سوف تعرض في الفقرة القادمة. أما نظرية التشغيل وكذلك الدائرة المكافئة والاختبارات فهي نفسها كما في حالة المحول الأحادي الوجه مع مراعاة علاقات الجهد والتيار في حالة الثلاثة أوجه.

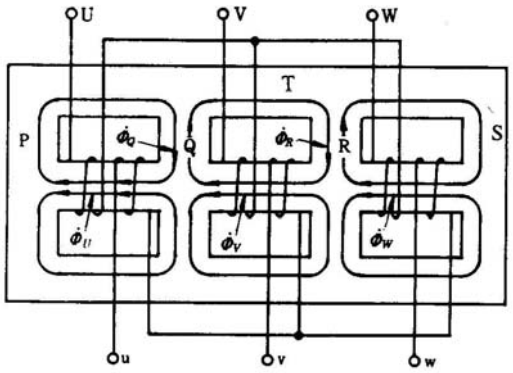


(ب)

شكل ٥ -٢ النوع القلبي

٥ -١ -٢ النوع الهيكلي (القشري): Shell type

يبين شكل ٥ -٣ النوع الهيكلي لمحول ثلاثي الأوجه، حيث تلف ملفات الابتدائي والثانوي لكل وجه في القشرة الداخلية، وبالتالي فهو يشبه ثلاثة محولات أحادية من هذا النوع مرتبة في صف واحد.



شكل ٥ -٣ النوع الهيكلي

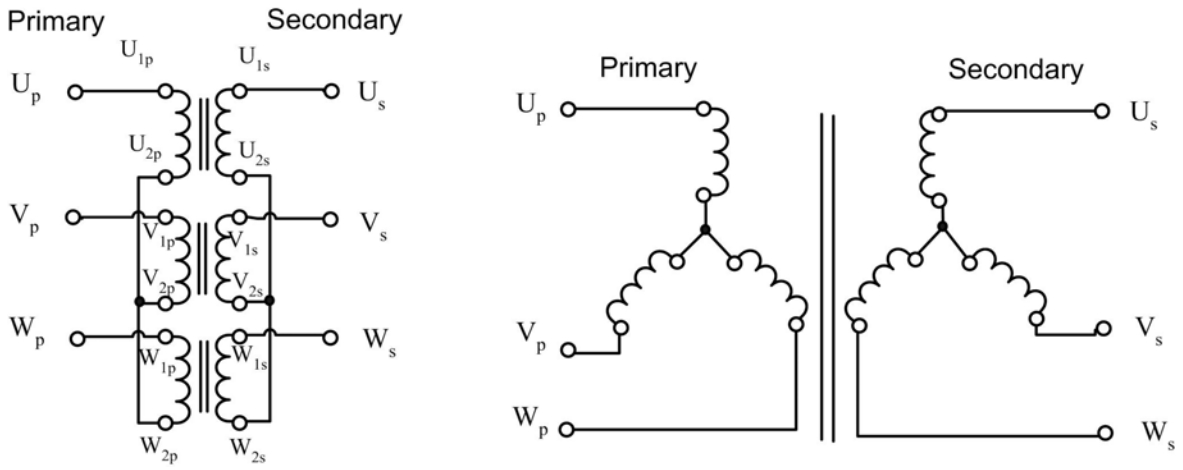
٥ -٢ توصيل الملفات

توجد طرق كثيرة لتوصيل الملفات الابتدائية والملفات الثانوية وذلك للحصول على خواص تشغيل تلبي احتياجات الحمل الذي يعمل عليه المحول، ويمكن تلخيص أهم الطرق الشائعة لتوصيل المحولات ثلاثية الأوجه كالتالي:

-توصيل الابتدائي نجمة - الثانوي نجمة	Y-Y	Star-Star
- توصيل الابتدائي دلتا – الثانوي دلتا	Δ-Δ	Delta-Delta
- توصيل الابتدائي نجمة – الثانوي دلتا	Y-Δ	Star-Delta
- توصيل الابتدائي دلتا – الثانوي نجمة	Δ-Y	Delta-Star

٥ -٢ -١ توصيل نجمة - نجمة Y-Y

يوضح شكل ٥ -٤ طريقة التوصيل نجمة - نجمة، حيث توصل ملفات الابتدائي على شكل Y وتوصل ملفات الثانوي أيضا على شكل Y. في هذا النوع من التوصيل، لا يوجد مسار مغلق للتوافقية الثالثة في التيار (Third-harmonic) حيث إن نقطة التعادل معزولة، وبالتالي يحتوي تيار المغنطة على التوافقية الثالثة بالإضافة إلى الموجة الأساسية، ويعمل هذا على تشوه شكل موجة الجهد مما ينتج عنه ضجيج يؤثر على خطوط الاتصالات. ولهذا السبب لا يستخدم هذا النوع من التوصيل إلا في حالات خاصة.

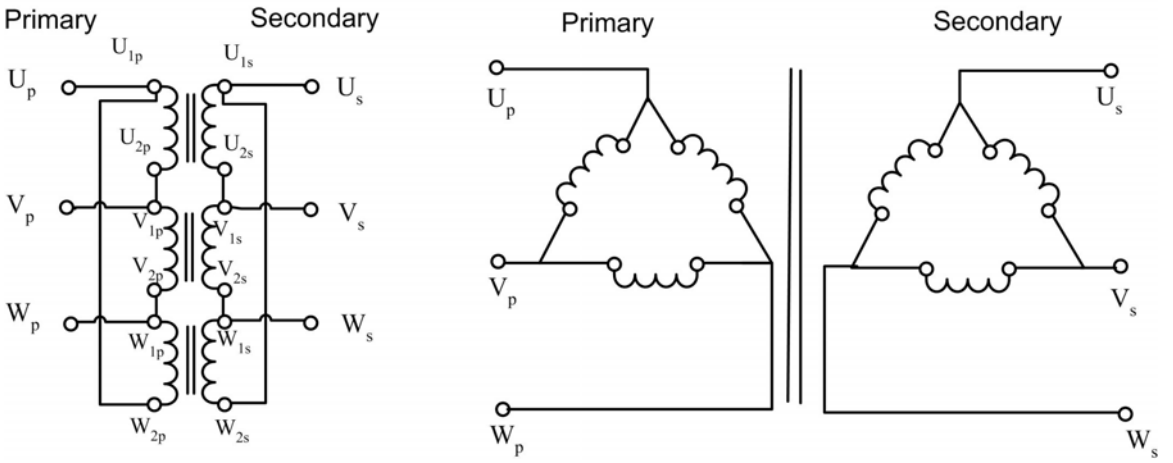


شكل ٥ -٤ توصيل Y-Y

٥ -٢ -٢ توصيل دلتا - دلتا Δ-Δ

في هذا النوع من التوصيل، يوصل كل من ملفات الابتدائي والثانوي على شكل دلتا، كما هو موضح في شكل ٥ -٥. حيث توصل نهاية كل ملف ببداية الملف الآخر ويطبق هذا لكلا الابتدائي والثانوي. وهذه الطريقة للتوصيل تجعل جهد الخط مساويا لجهد ملفات المحول، ويجب مراعاة ذلك عند التصميم.

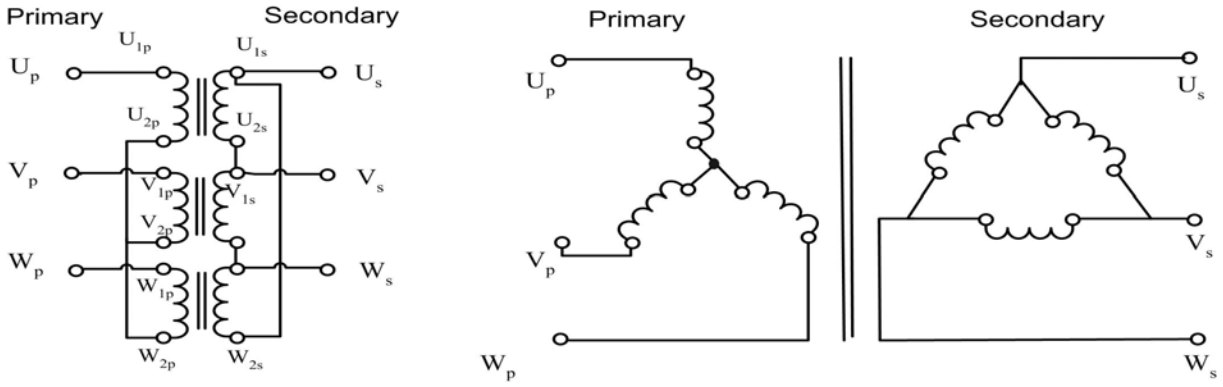
ويمتاز هذا النوع من التوصيل، أنه يوجد مسار مغلق لمرور التوافقية الثالثة داخل توصيلة الدلتا وبالتالي لا تنعكس على تيار الخط، مما يجعل شكل موجه الجهد جيبية.



شكل ٥ -٥ توصيل Δ-Δ

٥ -٢ -٣ توصيل نجمة - دلتا Y-Δ

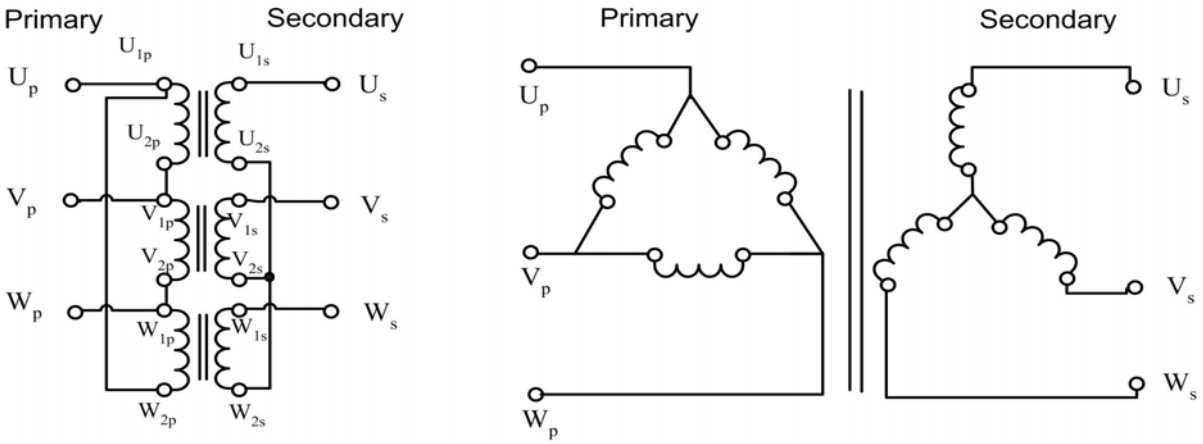
يتم في هذه الطريقة توصيل ملفات الابتدائي على شكل نجمة أما ملفات الثانوي فتوصل دلتا كما هو موضح في شكل ٥ -٦، ويلاحظ هنا أن توصيلة دلتا للملف الثانوي تنشئ مسار للتوافقيات في التيار، مما ينتج عنه جهد جيبي. أيضا جهد الخط للثانوي يساوي جهد الوجه. وهذا التوصيل من أكثر الأنواع شيوعا حيث يستخدم عند تخفيض الجهد في نهاية خط نقل القدرة الكهربائية.



شكل ٥ -٦ توصيل Y-Δ

٥ -٢ -٤ توصيل دلتا - نجمة Δ- Y

توصل ملفات الابتدائي على شكل دلتا وبالتالي فإن جهد الوجه يساوي جهد الخط ولذلك يجب أن تصمم ملفات الابتدائي لتحمل جهد الخط. أما ملفات الثانوي فتوصل نجمة. ويوضح شكل ٥ -٧ طريقة التوصيل في هذه الحالة.



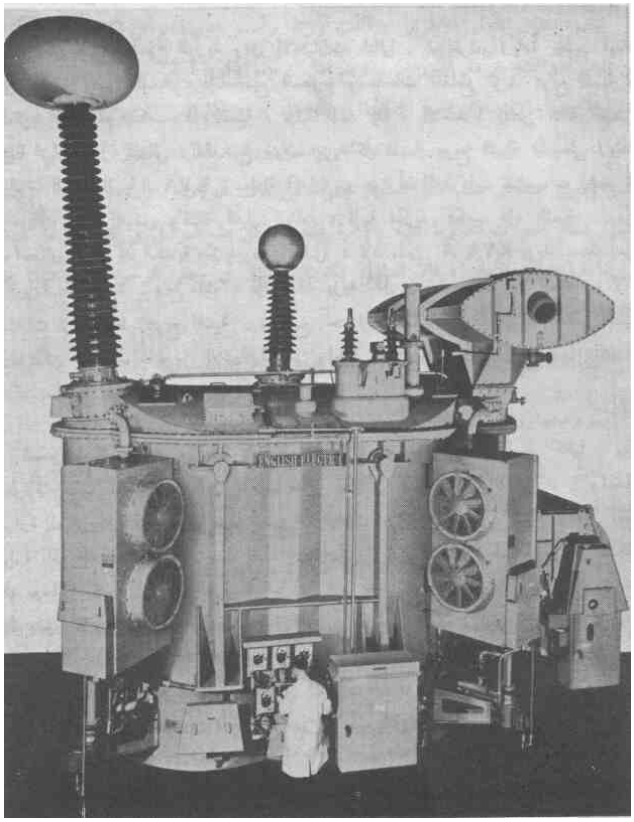
شكل ٥ -٧ توصيل Δ- Y

٥ -٣ مجال الاستخدام وطرق التبريد

يعتبر المحول الثلاثي الأوجه أخف في الوزن وأرخص في التكلفة مقارنة باستخدام ثلاث محولات أحادية الوجه. وكذلك يحتاج إلى مساحة للتثبيت أقل. أيضا تعتبر كفاءة هذا المحول أعلى من استخدام ثلاث محولات أحادية. ولذلك يستخدم المحول الثلاثي في محطات توليد القدرة الكهربائية لرفع جهد التوليد إلى جهد النقل. كما يستخدم أيضا في محطات توزيع القدرة الكهربائية لخفض جهد النقل إلى جهد الاستهلاك.

عند تحميل المحول يمر به تيار ويحدث فقد نحاس بالإضافة إلى فقد الحديد المتواجد حتى في حالة عدم وجود الحمل، وينتج عن ذلك ارتفاع درجة الحرارة إلى أن تصل قيمة ثابتة تعرف بدرجة الحرارة النهائية. وهذه يجب ألا تزيد عن الدرجة المسموح بها للمواد العازلة المستخدمة. إن ارتفاع درجة الحرارة يؤثر على كفاءة المحول وكذلك عمره الافتراضي لذلك يتم استخدام وسائل تبريد مختلفة.

للمحولات الصغيرة وحتى عدة كيلو فولت أمبير (KVA)، يكون التبريد بالهواء الطبيعي كافيا .بينما للمحولات ذات القدرات الأكبر، والمقاسات الأكبر، فإنها تغمر عادة في وعاء (container)ممتلئ بالزيت. وتنتقل الحرارة إلى الزيت الذي يدور حول الوعاء بتيارات الحمل الطبيعية، وبالتالي تحمل معها الحرارة إلى جدران الوعاء حيث تتبدد. ويمكن زيادة مساحة أسطح الوعاء بشكل فعال بوسائل كثيرة. فمثلا يمكن استخدام عدة أنابيب رأسية على جوانب الوعاء وملحومة به بحيث يدور الزيت بطريقة طبيعية من خلالها. كما يمكن أيضا استخدام مشعات (radiators) خارجية حيث يدفع الزيت للمرور من خلالها وبذلك يمكن التخلص من الحرارة الزائدة. وتستخدم هذه الطريقة للمحولات ذات القدرات المرتفعة والتي تصل إلى آلاف من الكيلو فولت أمبير. وفي المحولات فائقة القدرة يمكن تحسين المعدل الذي يمكن به تبديد الحرارة المتولدة باستخدام التبريد القسري (forced cooling) وذلك بدفع الهواء على وعاء الزيت أو على المشعات عن طريق مراوح ضخ للهواء. ويبين شكل ٥ -٨ محول مع مبردات مروحية، كما يظهر أعلى المحول خزان الزيت المستخدم.



شكل ٥ -٨ وحدة محول بقدرة ١٠٠٠ ميجا فولت أمبير

٥ -٤ توصيل المحولات على التوازي

نحتاج في بعض الأحيان إلى استخدام أكثر من محول واحد لتغذية أحمال كبيرة، لا يمكن أن يقوم بها محول واحد من المحولات التي يسهل الحصول عليها. لذلك نلجأ إلى توصيل محولين على التوازي، حيث يوصل ملفي الجهد العالي مع بعضهما وكذلك ملفي الجهد المنخفض. وهناك اعتبارات لابد أن تؤخذ عند عمل مثل هذا التوصيل.

- شروط توصيل (تشغيل) المحولات على التوازي:

يجب أن تتوفر عدة شروط قبل توصيل محولين على التوازي معا. وهذا ينطبق على المحولات أحادية الوجه، والمحولات ثلاثية الأوجه. وإلى جانب ذلك كله يوجد شرط عام يجب ألا نغفله.، وهو يختص بتشغيل أي نوعين من الآلات على التوازي. وينص على أن تكون قدرة الآلتين، المراد تشغيلهم بالتوازي، متقاربتين بقدر الإمكان. حيث لا يوجد ما يمنع تشغيل آلتين على التوازي بسبب اختلاف قدرتيهما. والحكمة من هذا الشرط ألا يؤدي أي اختلاف صغير، في تحميل الآلة الكبيرة، إلى إلقاء

عبء متزايد على الآلة الصغيرة، بسبب حدوث حالة تعدي الحمل. وتتلخص شروط توصيل المحولات على التوازي في الآتي.

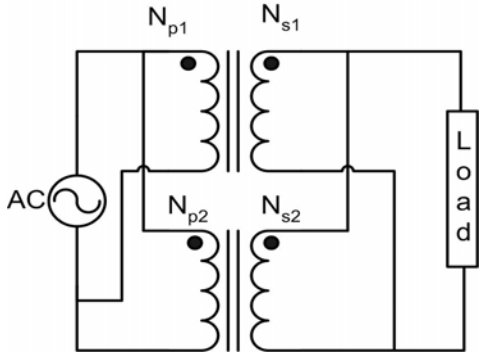
١ - أن يكون للمحولين نفس نسبة تحويل الجهد عند نفس التردد. حيث إتفاق نسبة التحويل يجعلنا نحصل على نفس الجهد على طرفي كل من ملفي الجهد الثانوي ، في حالة عدم وجود الحمل وذلك عند توصيل الملفين الابتدائيين معا على التوازي على منبع جهد واحد. وهذا يمنع مرور تيارات محلية (circulating current) بين الملفين الثانويين. والتي تعمل على زيادة فقد النحاس.

٢ - أن يكون هبوط الجهد النسبي متساويا في كل منهما عدديا، ومتوافقا مرحليا. أي أن معامل التنظيم واحد للمحولين. وليس من الضروري أن تتساوى المقاومتان والممانعتان، كل على حده، في المحولين في هذه الحالة. المهم أن يتساوى الهبوط في الجهد IZ في المحولين مقدارا واتجاها.

٣ - أن تراعى قطبية الأطراف عند توصيلهما، فتوصل الأطراف ذات القطبية المتماثلة معا. وينشأ عن وجود خطأ في القطبية عند التوصيل، أن يصبح الملفان الثانويان مقصورين بضعف الجهد، مما يتسبب في مرور تيار قصر كبير قبل التوصيل إلى الحمل. لذلك يجب التحقق من صحة التوصيل بالنسبة للقطبية قبل أن يصبح الملفان الثانويان متصلين على التوازي معا على طرفي الحمل. ويمكن أن تختبر القطبية معمليا. كيف؟.

٤ - أن يراعى توافق التعاقب المرحلي(phase sequence)، بالنسبة للمحولات ثلاثية الأوجه، على أن يكون تعاقب المراحل متماثلا في المحولين، وإلا فسوف تحدث دائرة قصر بين كل مرحلتين خلال كل دورة.

يوضح شكل ٥ -٩ طريقة توصيل محولين أحادي الوجه على التوازي مع بعضهما، ويظهر في الشكل مراعاة قطبية الملفات.



شكل ٥ -٩ توصيل محولين على التوازي

أسئلة على الوحدة الخامسة

١ - ما هي أهم استخدامات المحولات ثلاثية الأوجه؟

٢ - اشرح مع الرسم تركيب المحول الثلاثي الأوجه. ثم قارن بين هذا المحول ومجموعة مكونة من ثلاثة محولات وجه واحد.

٣ - وضح بالرسم طرق توصيل الملفات في المحولات الثلاثية.

٤ - اذكر مع الشرح طرق تبريد المحولات.

٥ - ما هي طرق الحماية المستخدمة للمحولات؟

٦ - ما هي شروط توصيل المحولات على التوازي؟

المراجع العربية والأجنبية

١ - هندسة الآلات الكهربية "المبادئ الأساسية وآلات التيار المستمر"، د/محمد أحمد قمر، ١٩٨٨.
٢ - المحولات الكهربية وآلات التيار المستمر، د/ محدم أحمد قمر، ١٩٨٨.
٣ - المكائن الكهربائية وتطبيقاتها بوحدات SI، جون هندمارش -ترجمة وإعداد الأستاذ الدكتور إبراهيم فؤاد العرباوي - الطبعة الأولى ١٩٨١.
٤ - التجارب المعملية في الآلات الكهربائية، د/ محمد أحمد قمر و د/ إبراهيم العرباوي.

المراجع الأجنبية:

٥- Electrical Technology, *Edward Hughes* , ISBN:٠-٠٧-٠٢١٣٤-٥
٦- Electrical Machines, *G. R. Slemon and A. Straughan*, Eddison-Weslley ١٩٨٠.
٧- Electric Machinery, *M. S. Sarma*, West Publishing Company, ١٩٩٤.
٨- Electrical Machines and Transformers –Principles and Applications, *P. F. Ryff, D. Platnick and J. A. Karnas*, Printice Hall.
٩- Principles of Electricity, *B. J. Theraga, and B. K. Theraga*.

الفهرس

مقدمة

١. الدوائر المغناطيسية

١ -١ مقدمة

١ -٢ التعريفات الهامة في علم المغناطيسية ٢

١ -٣ الدائرة الكهربية والدائرة المغناطيسية ٥

١ -٤ الدائرة المغناطيسية للآلة تيار مستمر ٨

١ -٥ توليد القوة الدافعة الكهربية بالتأثير الكهرومغناطيسي ٩

١ -٥ -١ القوة الدافعة الكهربية المنتجة ديناميكيا ١٠

١ -٥ -٢ القوة الدافعة الكهربية المنتجة استاتيكيا ١١

٢. مولدات التيار المستمر ١٦

٢ -١ نظرية عمل المولد الكهربي وتركيبه ١٦

٢ -١ -١ أسس تشغيل مولدات التيار المستمر ١٦

٢ -١ -٢ تركيب آلة التيار المستمر ١٩

٢ -١ -٣ طرق لف المنتج ٢٢

٢ -٢ معادلة القوة الدافعة الكهربية المتولدة ٢٤

٢ -٣ رد فعل المنتج ٢٦

٢ -٤ طرق التغذية(التنبيه) لآلات التيار المستمر ٣٠

٢ -٤ -١ المولدات ذات التغذية المستقلة ٣٠

٢ -٤ -٢ المولدات ذات التغذية الذاتية ٣٢

٢ -٤ -٢ -١ مولد التغذية التوالي ٣٢

٢ -٤ -٢ -٢ مولد التغذية التوازي ٣٤

٢ -٤ -٢ -٣ مولد التغذية المركب ٣٥

٢ -٥ منحنيات الخواص لمولدات التيار المستمر ٣٧

٢ -٥ -١ منحنيات الخواص لمولدات التغذية المستقلة ٣٨

٢ -٥ -٢ منحنيات الخواص للمولدات ذاتية التغذية ٤٠

٢ -٥ -٢ -١ منحنيات الخواص لمولدات التولي ٤١
٢ -٥ -٢ -٢ منحنيات الخواص لمولدات التوازي ٤٣
٢ -٥ -٢ -٣ منحنيات الخواص للمولدات المركبة ٤٣
٢ -٦ الفقد والكفاءة لمولدات التيار المستمر ٤٤
٢ -٦ -١ فقد الدائرة المغناطيسية (فقد الحديد) ٤٥
٢ -٦ -٢ فقد النحاس ٤٥
٢ -٦ -٣ الفقد الميكانيكي ٤٥
٢ -٦ -٤ مراحل القدرة للمولد ٤٦
٢ -٦ -٥ حساب الكفاءة أو معامل الجودة ٤٨

٣. محركات التيار المستمر ٥٣
٣ -١ نظرية عمل المحرك الكهربي ٥٣
٣ -٢ القوة الدافعة الكهربية العكسية ٥٤
٣ -٣ عزم الدوران المتولد ٥٦
٣ -٤ أنواع المحركات ٥٨
٣ -٤ -١ محرك التوازي ٥٨
٣ -٤ -٢ محرك التوالي ٦٢
٣ -٤ -٣ المحرك المركب ٦٧
٣ -٥ تنظيم السرعة وطرق عكس الحركة ٦٩
٣ -٥ -١ تنظيم السرعة لمحرك التوازي ٦٩
٣ -٥ -٢ تنظيم السرعة لمحرك التوالي ٧٠
٣ -٥ -٣ عكس الحركة لمحركات التيار المستمر ٧١
٣ -٦ طرق بدء الحركة ٧٢
٣ -٦ -١ بادئ الحركة اليدوي ٧٣
٣ -٦ -٢ بادئ الحركة الأتوماتيكي ٧٤
٣ -٧ المفقودات والكفاءة ٧٥
٣ -٧ -١ مراحل القدرة للمحرك ٧٦

٤. المحولات الكهربية أحادية الوجه ٨٢
٤ -١ نظرية عمل المحول الكهربي وتركيبه ٨٢
٤ -١ -١ أنواع المحولات ٨٣
٤ -١ -٢ تركيب المحول ٨٤
٤ -٢ طريقة ترتيب الملفات ٨٦
٤ -٢ -١ الملفات متحدة المركز ٨٦
٤ -٢ -٢ الملفات المتداخلة ٨٧
٤ -٣ العلاقات الخاصة بالمحول المثالي ٨٧
٤ -٤ معادلة القوة الدافعة الكهربية ٩٠
٤ -٥ الدائرة المكافئة للمحول ٩٣
٤ -٦ تشغيل المحول ٩٨
٤ -٦ -١ تشغيل المحول عند اللاحمل ٩٨
٤ -٦ -٢ تشغيل المحول عند الحمل ١٠٠
٤ -٦ -٣ معامل التنظيم للمحول ١٠١
٤ -٧ عناصر الدائرة المكافئة ١٠٢
٤ -٧ -١ اختبار اللاحمل ١٠٣
٤ -٧ -٢ اختبار القصر ١٠٤
٤ -٨ المفقودات والكفاءة ١٠٦
٤ -٨ -١ المفقودات في المحولات ١٠٦
٤ -٨ -٢ الكفاءة للمحولات ١٠٧
٤ -٩ المحول الذاتي ١٠٨
٥. المحولات ثلاثية الأوجه ١١٣
٥ -١ التركيب وفكرة العمل ١١٣
٥ -١ -١ النوع القلبي ١١٤
٥ -١ -٢ النوع الهيكلي (القشري) ١١٥
٥ -٢ توصيل الملفات ١١٥
٥ -٢ -١ توصيل نجمة - نجمة ١١٥

٥ -٢ -٢ توصيل دلتا - دلتا ١١٦
٥ -٢ -٣ توصيل نجمة - دلتا ١١٧
٥ -٢ -٤ توصيل دلتا - نجمة ١١٧
٥ -٣ مجالات الاستخدام وطرق التبريد ١١٨
٥ -٤ توصيل المحولات على التوازي ١١٩
المراجع ١٢٢

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS