آلات التيار المستمر والمحولات

تركيب آلة التيار المستمر

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

تركيب آلة التيار المستمر

الجدارة: مراجعة عامة في بعض التعاريف والظواهر الكهرومغناطيسية وتركيب الآلة ونظرية عمل الآلة كمولد وكمحرك وحساب القوة الدافعة الكهربائية والمفاقيد والكفاءة.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

١. معرفة أهم التعريفات الخاصة بالدوائر المغناطيسية.
٢. معرفة كيفية استخدام الخواص المغناطيسية في توليد القوة الدافعة الكهربائية.
٣. معرفة كيفية استخدام الخواص المغناطيسية في توليد العزم الكهرومغناطيسي.
٤. معرفة تركيب الآلة
٥. معرفة نظرية عمل الآلة كمولد وكمحرك
٦. معرفة كيفية حساب القوة الدافعة المتولدة والعكسية
٧. معرفة كيفية حساب المفاقيد والكفاءة

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

الوقت المتوقع للتدريب: ١٠ ساعات.

الوسائل المساعدة: لا توجد.

متطلبات الجدارة: مقرر الدوائر الكهربية- ١

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الوحدة الأولى : تركيب الآلة

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، والمغناطيسية يمكن الحصول عليها عن طريقين:

الطريق الأول: 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)،

الطريق الثاني: طريق المغناطيس الكهربي. (Electromagnet)

وينشأ عن المغناطيس الكهربي(أو الدائم) وهو ما يعرف بالمجال المغناطيسي، حيث توجد علاقة متبادلة بين التيار الكهربي والمجال المغناطيسي، بمعنى أنه إذا مر تيار الكهربائي في موصل نشأ عنه مجال مغناطيسي، كما أن الموصل إذا تواجد في مجال مغناطيسي متغير تتولد فيه قوة دافعة كهربية، وإذا تم تحريك موصل في مجال مغناطيسي تولدت فيه قوة دافعة كهربائية، يمكن الحصول منها على تيار كهربي. ويطلق على العلم الذي يتناول هاتين الظاهرتين والقوانين التي تحكمهما اسم الكهرومغناطيسية. ودراسة الكهرومغناطيسية هي في الواقع تمهيد لدراسة الآلات الكهربية، حيث تعتمد نظرية عملها على هذا العلم، لأن الآلة الكهربية ما هي إلا دائرة الكهربائية 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 لبعض الظواهر المغناطيسية التي نحتاج إليها خلال هذه الدراسة.

ثم نعرض تركيب آلة التيار المستمر و ونظرية عملها وكيفية استخدامها كمولد وكيفية توليد القوة الدافعة الكهربائية وكيفية حسابها كما نستعرض كيفية إستخدام آلة التيار المستمر كمحرك كهربائي وكيفية توليد العزم الكهرومغناطيسي. وأخيرا نستعرض أنواع المفاقيد في آلة التيار المستمر وكيفية حساب الكفاءة.عند استخدامها كمولد أو كمحرك

١- ١ التعريفات 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: **Magnetic Field**

يعرف بأنه المنطقة التي تحيط بالمغناطيس وتظهر فيها تأثيرات مختلفة، حيث يحدث فيها نوع من القوة غير المرئية تستجيب لها الأجسام التي تتأثر بالفعل المغناطيسي بظاهرة محددة، فإذا وضعت إبرة مغناطيسية بأسلوب معين في هذا المجال فإنها تنحرف. وتتولد قوة دافعة الكهربائية عند تحريك موصل الكهربائي في هذا المجال.

- خط القوى المغناطيسي: **Magnetic Field line**

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: **(Permeability μ)**

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. ويعتبر الهواء أو الحديد 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 معملياً بالطرق القياسية. ويعطى منحنى التمغنط العلاقة بين شدة المجال وكثافة الخطوط المغناطيسية التي تنتج في المادة. ويربط بينهما معامل النفاذ للمادة ويعطي معامل النفاذ بالعلاقة:

$$\mu = \mu_O \mu_r \qquad (١-١)$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

$\mu_o = ٤\pi \times ١٠^{-٧}$ H/m

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

- الفيض المغناطيسي Φ : Magnetic Flux

يطلق على عدد الخطوط الكلية في المجال المغناطيسي اسم الفيض المغناطيسي، وهو عبارة عن خطوط القوى المغناطيسية 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. ويعتبر المسار المقفل الذي يقاوم الفيض المغناطيسي مثل المقاومة في الدائرة الكهربية. ويقاس الفيض المغناطيسي بالويبر (الويبر = ١٠ ^ ٨ خط)

- كثافة الفيض المغناطيسي B: Magnetic Flux density

تعرف كثافة الفيض المغناطيسي بأنه مقدار الفيض المغناطيسي خلال وحدة المساحات ووحدته ويبر/متر مربع (تسلا) ويعطى بالعلاقة:

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

- شدة المجال المغناطيسي H: Magnetic Field Intensity

لكل مجال مغناطيسي قوة أو شدة مجال يقاس بها مدى تأثيره. وتعرف شدة المجال بأنها خارج قسمةالفيض المغناطيسي على معامل النفاذ وتعطى بالعلاقة:

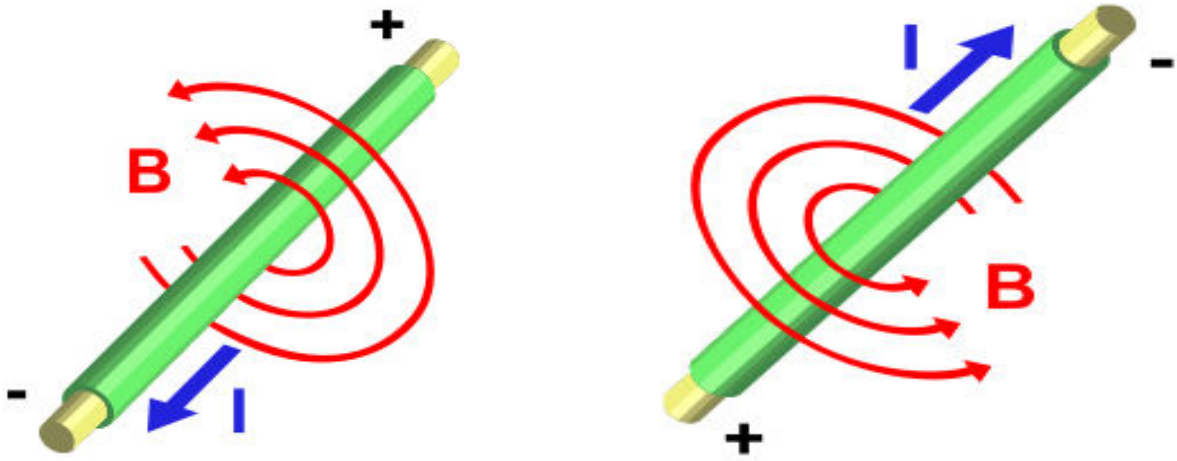
$$H = \frac{B}{\mu} \quad h/m \qquad ١-٣$$

١- ٢ بعض الظواهر الكهرومغناطيسية

- عند مرور تيار الكهربائي في موصل يتولد مجال مغناطيسي طبيعتة مثل طبيعة التيار المسبب له، بمعنى أنه إذا كان التيار من النوع المستمر (DC) فإن المجال الناتج يكون من النوع المستمر أيضاً وإذا كان التيار من النوع المتردد (AC) فإن المجال الناتج يكون من النوع المتردد. ويمكن تحديد

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

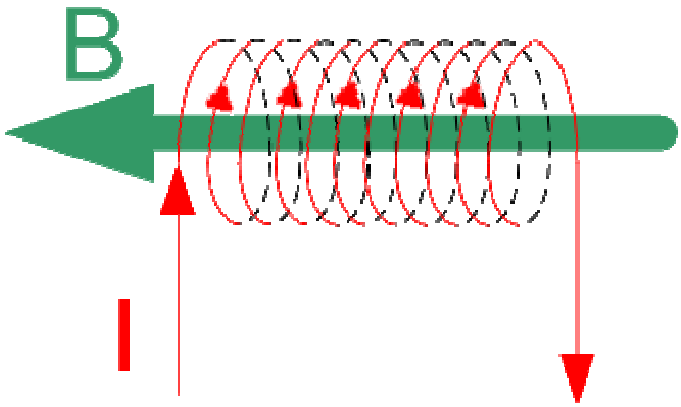
اتجاه المجال الناتج باستخدام قاعدة البريمة لليد اليمنى "إذا كان الإبهام مشيرا لاتجاه التيار فإن أصابع اليد الأخري تشير إلى اتجاه المجال" كما في الشكل التالي



(ب) (أ)

شكل ١- ١ اتجاه المجال المغناطيسي الناتج من مرور تيار في موصل

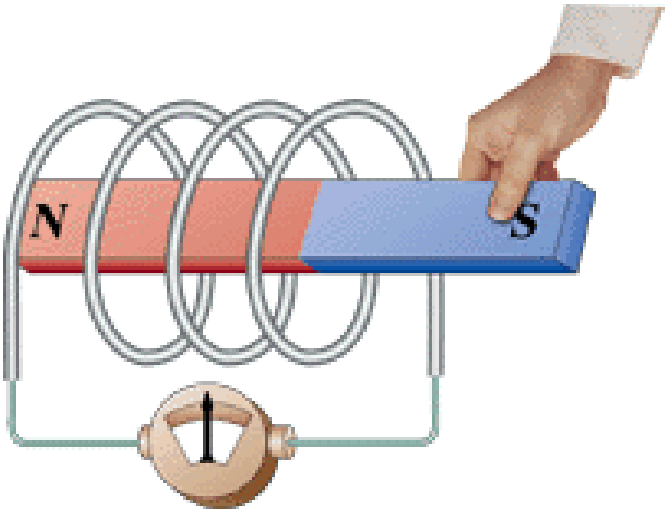
- عند مرور تيار الكهربائي في ملف يتولد مجال مغناطيسي طبيعتة مثل طبيعة التيار المسبب له بمعنى أنه إذا كان التيار من النوع المستمر (DC) فإن المجال الناتج يكون من النوع المستمر وإذا كان التيار من النوع المتردد (AC) فإن المجال الناتج يكون من النوع المتردد. ويمكن تحديد اتجاه المجال الناتج باستخدام قاعدة البريمة لليد اليمنى " إذا كانت أصابع اليد تشير لاتجاه التيار في الملف فإن الإبهام تشير إلى اتجاه المجال" كما في شكل ١- ٢



شكل ١- ٢ اتجاه المجال المغناطيسي الناتج من مرور تيار في ملف

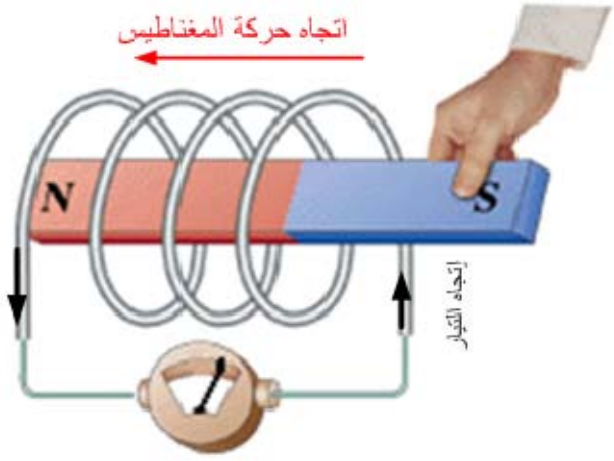
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

- عندما يقطع موصل أو ملف مجالاً مغناطيسياً تتولد قوة دافعة الكهربائية تتناسب مع معدل قطع الموصل أو الملف للمجال المغناطيسي وتسمى القوة الدافعة المتولدة ديناميكيا ويمكن تحديد اتجاهها كما في الاشكال ١- ٣ و ١- ٤:

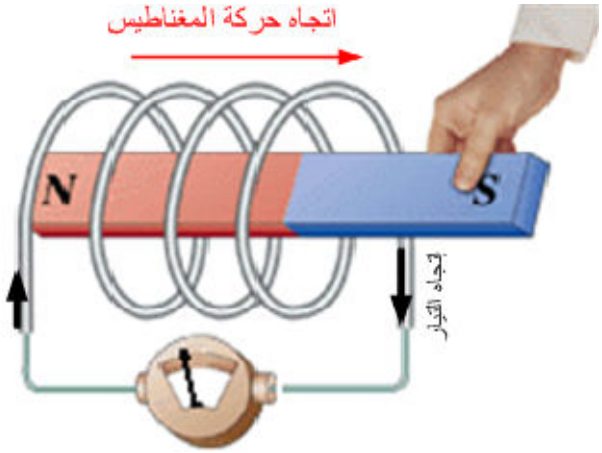


شكل ١- ٣- أ

لاتتولد قوة دافعة كهربائية عند عدم الحركة



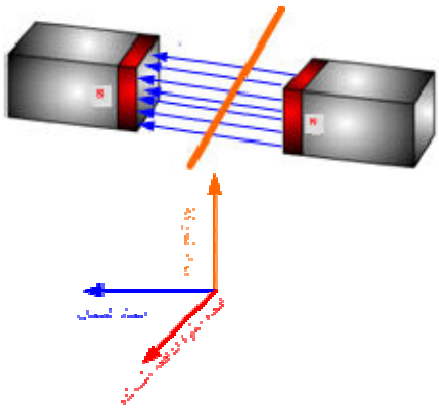
شكل ١- ٣- ب



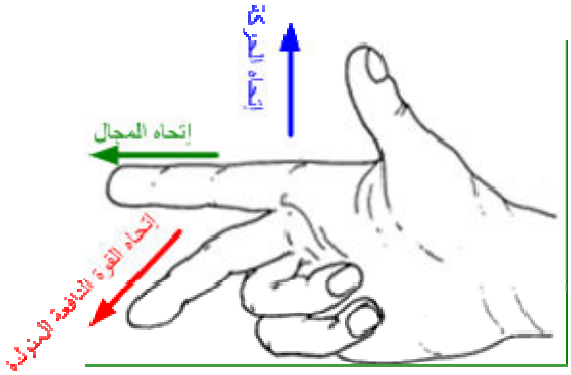
شكل ١- ٣- ج

شكل ١- ٣ اتجاه القوة الدافعة المتولدة بسبب حركة المجال المغناطيسى المتشابك مع ملف

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



(ب)

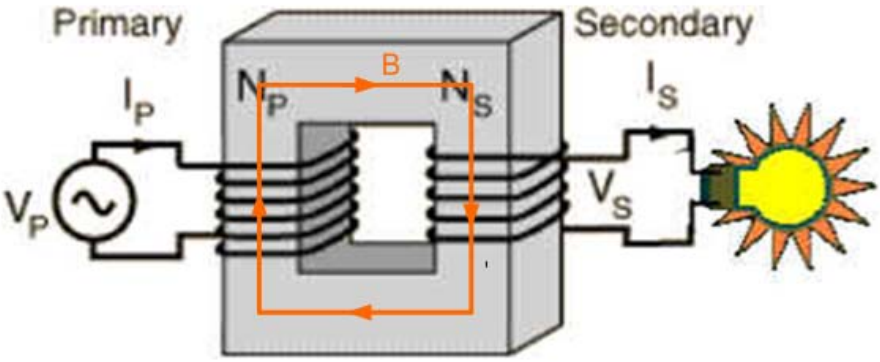


(أ)

شكل ١- ٤ اتجاه القوة الدافعة المتولدة بسبب حركة موصل داخل مجال مغناطيسي

وتعتبر هذه الظاهرة هي الأساس الذي عليه تعمل جميع المولدات الكهربائية

- عندما يتغير المجال المغناطيسي المتشابك مع موصل أو ملف تتولد قوة دافعة الكهربائية تتناسب مع معدل تغير المجال وتسمى القوة الدافعة الكهربية المتولدة استاتيكياً وتعتبر هي الأساس الذي تبنى عليه نظرية عمل المحولات الكهربائية كما في شكل ١- ٥



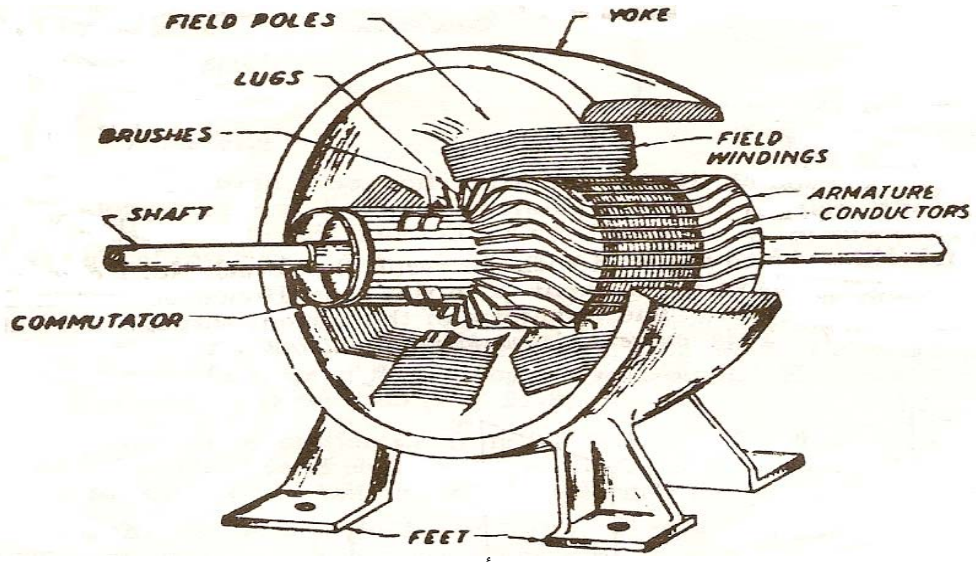
شكل ١- ٥ توليد القوة الدافعة الكهربائية استاتيكيا

- إذا تشابك مجالان مغناطيسيان ثابتان بالنسبة لبعضهما وبينهما زاوية يتولد عزم كهرومغناطيسي يتناسب طردياً مع شدة كل من المجالين ومع جيب الزاوية بينهماوتعتبر هذه الظاهرة هي الأساس الذي تبنى علية نظرية عمل المحركات الكهربائية

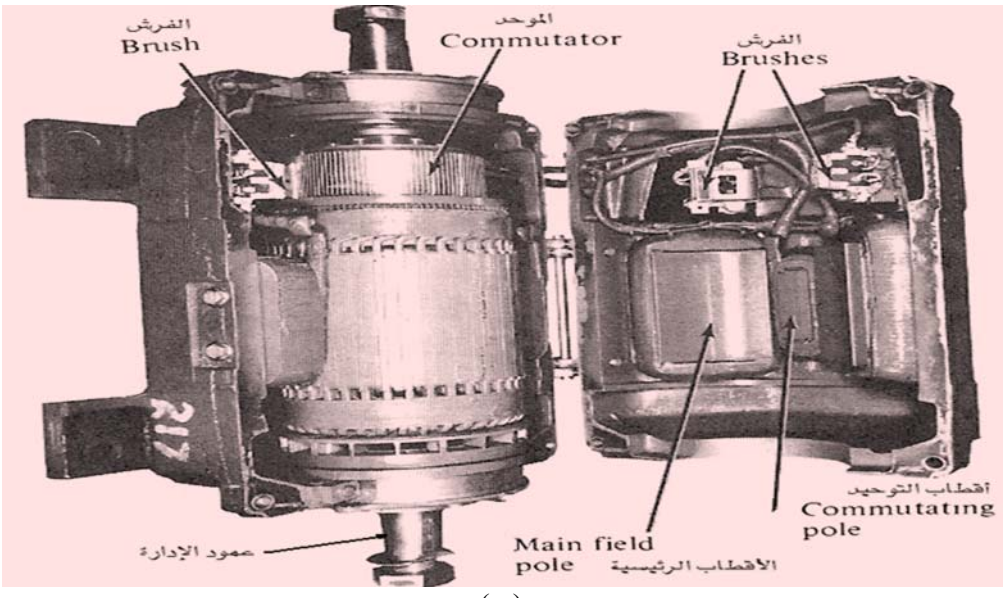
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١- ٣ تركيب آلة التيار المستمر

تستخدم آلة التيار المستمر إما كمولد - وفي هذه الحالة تقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية - أوكمحرك- وفي هذه الحالة تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية- وتتكون آلة التيار المستمر من جزئين رئيسين، هما العضو الثابت والعضو الدائر. ويوضح شكل١- ٦ مقطعاً لآلة التيار المستمر .بينما يوضح شكل ١- ٧ مخططاً لآلة تيار مستمر.



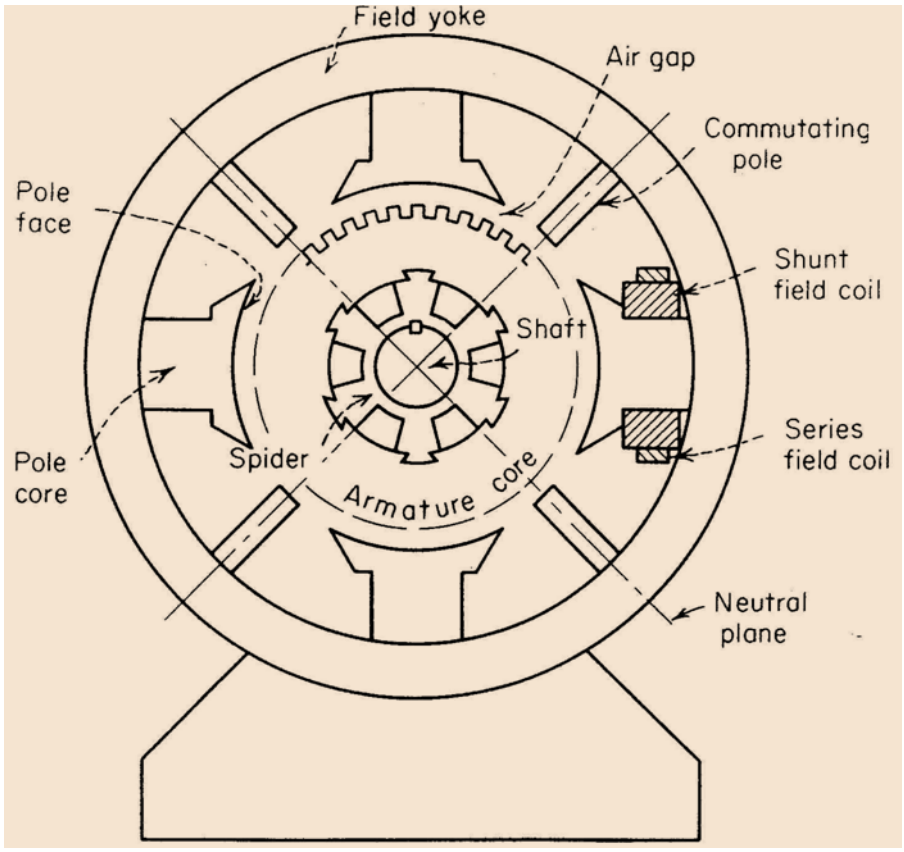
(أ)



(ب)

شكل ١- ٦ مكونات آلة التيار المستمر

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



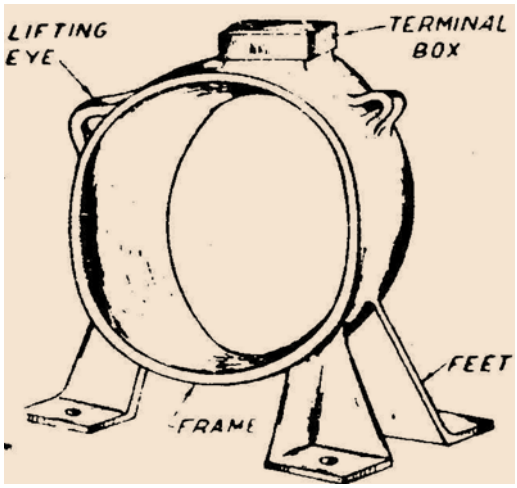
شكل ١- ٧مخطط لآلة تيار مستمر

١- ٣- ١. العضو الثابت

وهو المسؤول عن توليد المجال المغناطيسي حيث يتكون من الإطار الخارجي (Yoke) والأقطاب الرئيسة (Main poles) وأقطاب التوحيد (Commutating poles) وسوف نتناول وظيفة كل منها بالتفصيل.

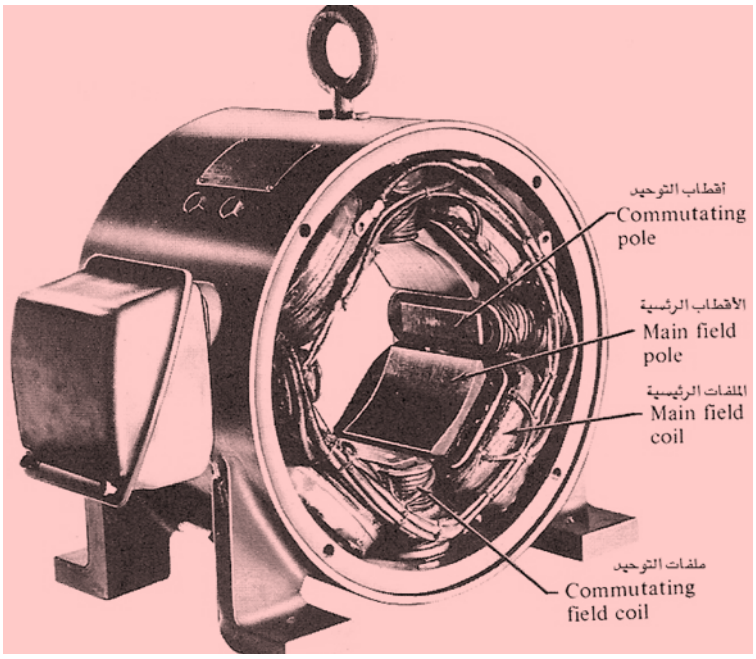
- <u>الإطار الخارجي (Yoke)</u>: وهو مصنوع من الحديد المطاوع أو الحديد الزهر وفي بعض الآلات الصغيرة يصنع من رقائق من الصلب، ووظيفته يعمل كمسار للفيض المغناطيسي، كما يتم تثبيت الأقطاب الرئيسة والمساعدة به، .ويوضح شكل ١- ٨أ الإطار الخارجي لآلة تيار مستمر بينما يوضح شكل ١- ٨ب الإطار الخارجي ومثبت به الأقطاب الرئيسة وأقطاب التوحيد

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



(أ)

الإطار الخارجي



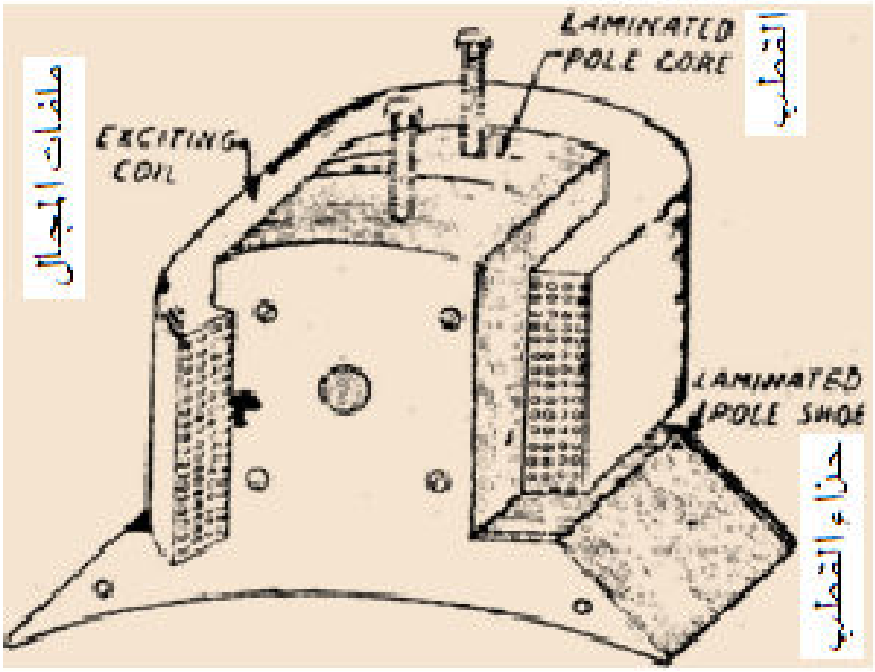
(ب) الإطار الخارجي ومثبت به الأقطاب الرئيسة وأقطاب التوحيد

شكل ١- ٨ العضو الثابت لآلة تيار مستمر

• الأقطاب الرئيسة (Main poles): وتصنع من رقائق من الصلب ويتم تثبيتها في الإطار الخارجي ويركب عليها واجهة للقطب تسمى بحذاء القطب (Pole face or pole shoe) وتكون أيضاً مصنوعة من رقائق من الصلب وتعمل واجهة القطب على توزيع وانتظام خطوط الفيض في الثغرة الهوائية حيث تكون المساحة المواجهة للعضو الدائر أكبر من مساحة القطب نفسه ويوجد حول الأقطاب الرئيسة ملفات المجال الرئيسة (Main field coils) وتنقسم إلى نوعين :

- ملفات توازي (shunt field coil) وتتكون من عدد كبير من اللفات وتتميز بصغر مساحة المقطع لأنها تحمل تياراً صغيراً ولذلك فإن مقاومتها تكون كبيرة
- ملفات توالي (series field coil) وتتميز بعدد اللفات الصغير ومساحة المقطع الكبير لأنها تحمل تياراً مساوياً تقريبا لتيار المنتج تقريباً ،

وتصنع ملفات المجال إما من أسلاك نحاسية معزولة أو شرائح نحاسية كما في الآلات الكبيرة وتلف هذه الملفات حول القطب نفسه وليس حول واجهة القطب، وعند مرور تيار في ملفات المجال يتولد المجال المغناطيسي اللازم لعمل الآلة الكهربائية سواء أكانت محركاً أو مولداً، ويوضح شكل ١- ٩ رسم تخطيطي لقطب موضوع حوله ملفات المجال.

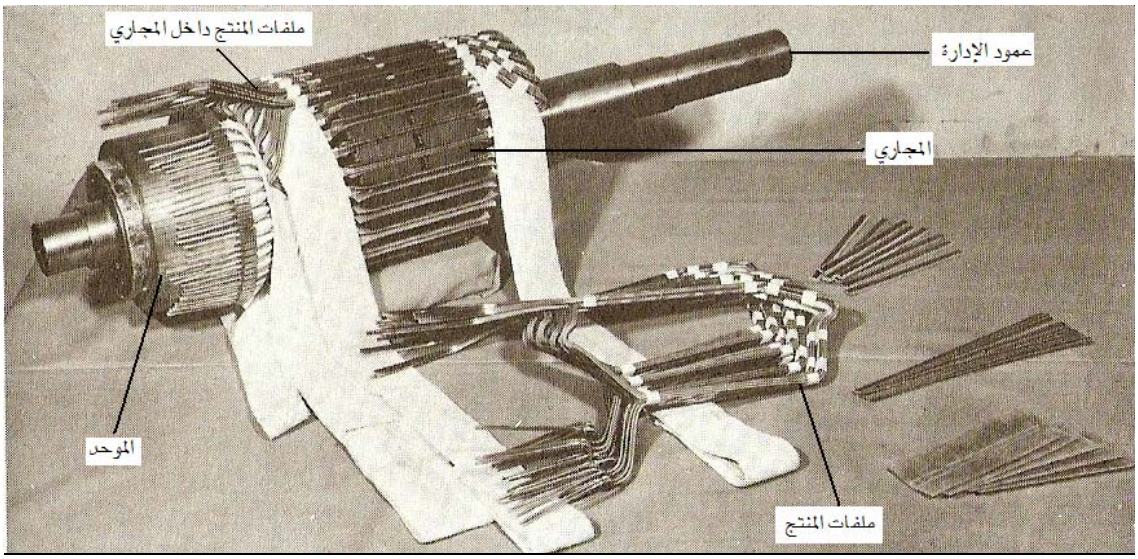


شكل ١- ٩ قطب لآلة تيار مستمر موضوع حوله ملفات المجال

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

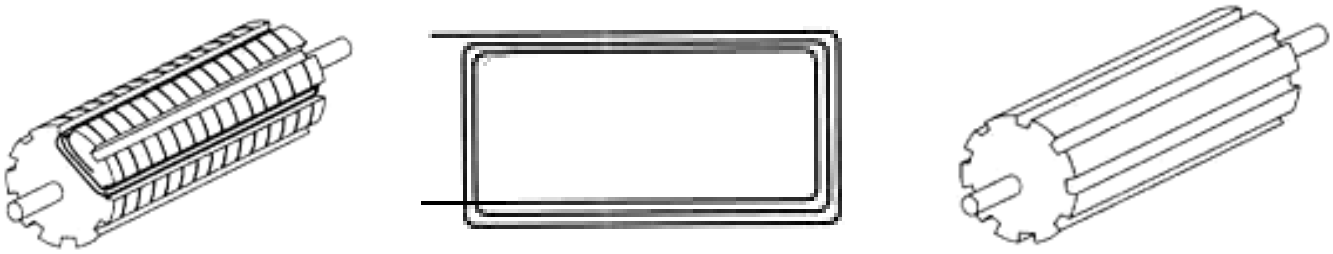
١- ٣- ٢. العضو الدائر

ويسمى عضو الاستنتاج أو المنتج، وفيه تتحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة الكهربائية وتتولد به القوة الدافعة الكهربية عندما تعمل الآلة كمولد أو يتولد عليه العزم الكهرمغناطيسي عندما تعمل الآلة كمحرك. يفصل العضو الدائر عن العضو الثابت الثغرة الهوائية، ويتكون العضو الدائر الموضح في شكل ١- ١٠ من الأجزاء الآتية:



شكل ١- ١٠ العضو الدوار لآلة تيار مستمر

- قلب المنتج (Armature core): ويؤدي العضو الدائر وظيفتان هما حمل ملفات المنتج التي تتولد بها القوة الدافعة الكهربائية كما يعتبر جزء من المسار المغناطيسي الذي به تكمل الدائرة المغناطيسية، ولتنفيذ هاتين الوظيفتين فإنه يتكون من جزءاً أسطواني مصنوع من شرائح من الصلب ذات معامل النفاذية المغناطيسية العالية (High permeability) مضغوطة مع بعضها ومعزولة عن بعضها البعض بواسطة طبقات رقيقة من الورنيش، وذلك لتقليل التيارات الدوامية. كما هو موضح في شكل ١- ١١ أ كما يوجد على محيط المنتج مجاري (Slots) يوضع بها ملفات المنتج.



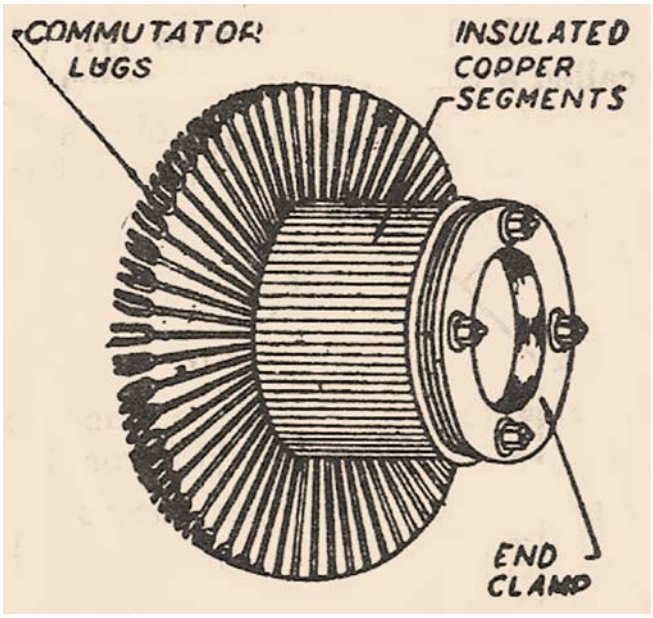
(أ) قلب المنتج | (ب) أحد ملفات المنتج | (ج) المنتج بعد وضع الملف

شكل ١- ١١ العضو الدوار لآلة تيار مستمر (المنتج)

- ملفات المنتج (Armature windings): عبارة عن مجموعات من الملفات، والملف الواحد عبارة عن مجموعة من الموصلات كما في شكل ١- ١١ب ويتم وضعها في مجارى المنتج كما في شكل

١- ١١ج وتثبت الملفات داخل المجارى بواسطة عوازل مناسبة مثل أعمدة رفيعة جداً من الخشب وذلك لحمايتها من القوة الطاردة المركزية أثناء الدوران وحتى لا تخرج من المجارى. و يراعى أن يكون توزيعها منتظماً حول محيط العضو الدائر وتوصل نهايات هذه الملفات بالقطع النحاسية المكونة للمبدل، ويمكن توصيل تلك الملفات معاً على التوالي لزيادة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة أو على التوازي لزيادة التيار المار في الدائرة الخارجية وعادة ما تكون ملفات العضو الدائر دائرة مغلقة متصلة فقط مع الدائرة الخارجية بواسطة الفرش الكربونية

- الموحد (مبدل التيار)(Commutator) : عبارة عن جسم اسطواني الشكل مصنوع من قطع من النحاس الصلد المسحوب معزولة عن بعضها البعض بمادة عازلة جيدة (الميكا). ومثبت على عمود الدوران للآلة كما في شكل ١- ١٢، ويتم توصيل القطع النحاسية المكونة للموحد مع أطراف ملفات المنتج كما يتلامس مع سطحه العلوي فرش كربونية لتوصيل التيار من وإلى الدائرة الخارجية، يعمل الموحد كما هو واضح من اسمه على تحويل التيار المتردد المتولد في ملفات المنتج إلى تيار موحد الاتجاه في الدائرة الخارجية.

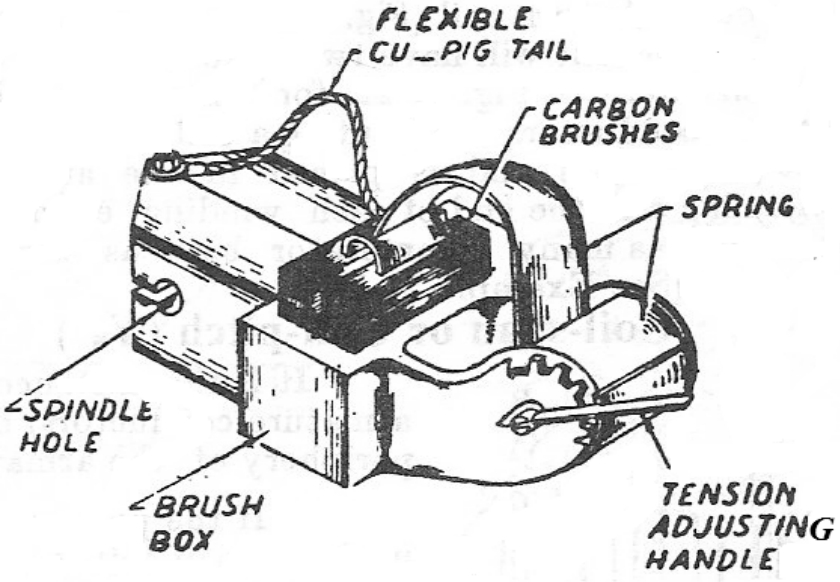


شكل ١- ١٢ الموحد (مبدل التيار)

- حامل الفرش الكربونية (Brushes holder): مثبت في الإطار الخارجي للآلة ويحمل الفرش الكربونية التي تلامس السطح الخارجي للموحد وتعمل على توصيل التيار من الموحد للدائرة الخارجية

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

(الحمل) في المولد والعكس في حالة المحرك وعادة عدد الفرش يساوى عدد الأقطاب الرئيسية. وتوصل مع بعضها لتكون مجموعة موجبة وأخرى سالبة. شكل ١- ١٣ يوضح الأجزاء الرئيسة لحامل الفرش.



شكل ١- ١٣ حامل الفرش الكربونية

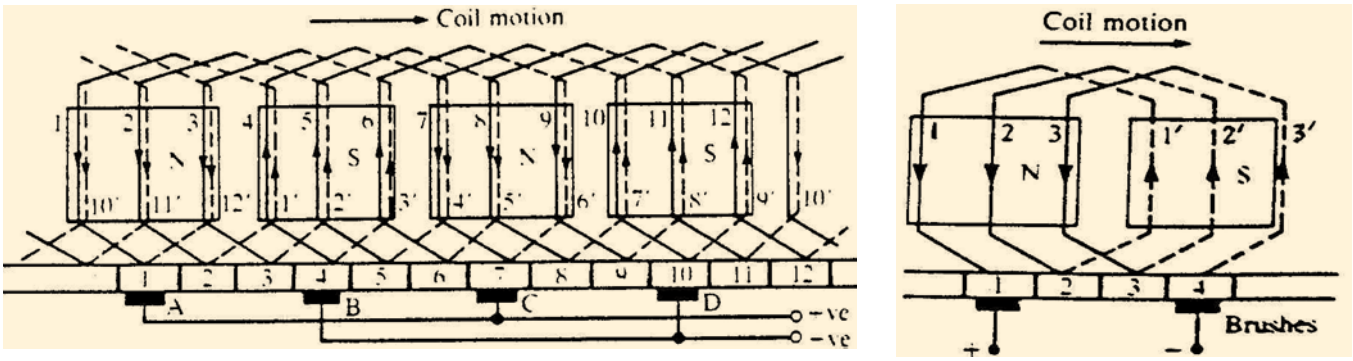
١- ٣- ٣. طرق لف المنتج Armature winding :

تمثل ملفات المنتج أحد الأجزاء الرئيسة في آلة التيار المستمر وتوضع الملفات في مجاري المنتج ويتم توصيل نهاياتها مع القطع النحاسية للموحد والذي يحتوي على عدد من القطع النحاسيةالعزولة عن بعضها مساوي لعدد الملفات في المنتج. ويراعى أن يكون توزيع ملفات المنتج منتظم حول محيط المنتج وهذه الملفات توصل مع بعضها إما بالتوازي وذلك لزيادة الجهد الكهربي أو بالتوالي لزيادة التيار المار بها. تكون ملفات المنتج دائرة مغلقة متصلة مع الدائرة الخارجية بواسطة الفرش الكربونية. يوجد نوعان من اللف تستخدم بكثرة في لف المنتج:

- <u>اللف الانطباقي (Lap winding)</u>: في هذا النوع من اللف يوصل طرفا كل ملف إلى قطعتين موحد متجاورتين كما هو موضح في شكل ١- ١٤أ، كما يوضح الشكل أيضاً 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 مكوناً 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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

إلى عدد من المسارات المتوازية المتماثلة يساوى عدد الأقطاب في الآلة. كما يوضح شكل ١- ١٤ب اللف الكامل لآلة عدد أقطابها أربعة وعدد المجاري الكلية اثنا عشر مجرىً.

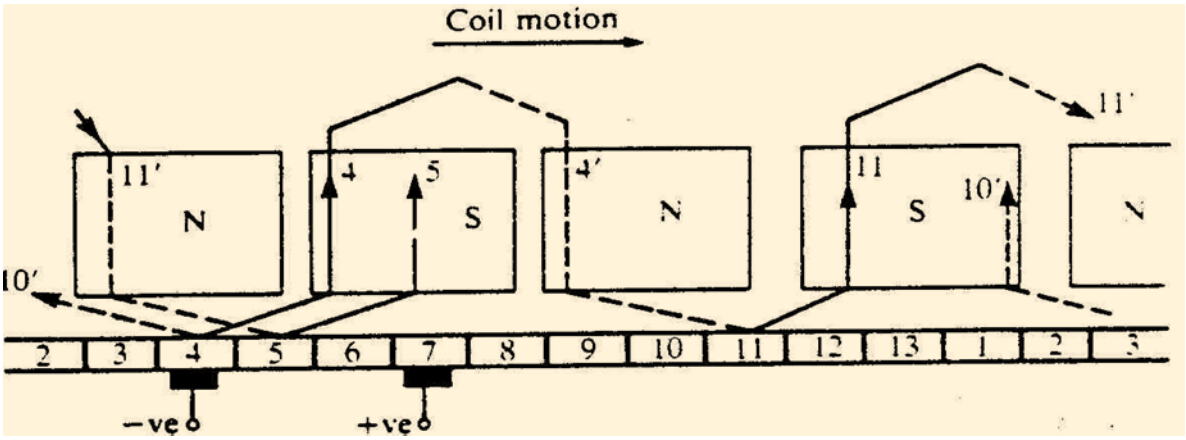


(ب) (أ)

شكل ١- ١٤ اللف الانطباقي لآلة التيار المستمر

- 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 معين من القطع، ويطلق على هذا العدد اسم خطوة الموحد (commutator pitch) كما هو موضح في شكل ١- ١٥. وعددالمسارات المتوازية في حالة اللف التموجي اثنان فقط، يحتوى كل منهما على نصف عدد الملفات الكلية.

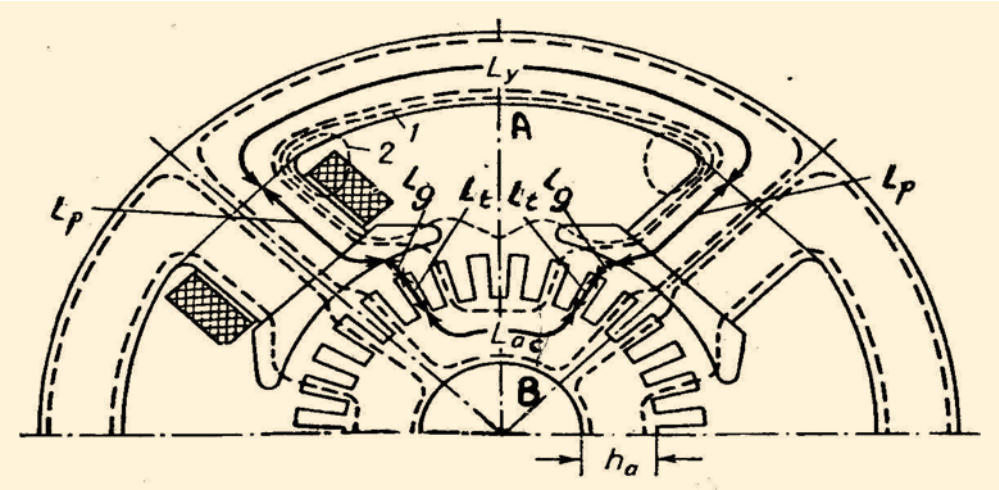


شكل ١- ١٥ اللف التموجي لآلة التيار المستمر

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١- ٤ الدائرة المغناطيسية لآلة التيار المستمر

يبين شكل ١- ١٦ الدائرة المغناطيسية للآلة تياراً مستمراً. وبالتدقيق 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 الشكل١- ١٦ 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. وتتكون الدائرة المغناطيسية لآلة التيار المستمر من خمسة أجزاء رئيسية كما تم ترميزها ، ويوضح جدول ١- ١ الخصائص لكل جزء من أجزاء الدائرة.



شكل ١- ١٦ الدائرة المغناطيسية للآلة تيار مستمر

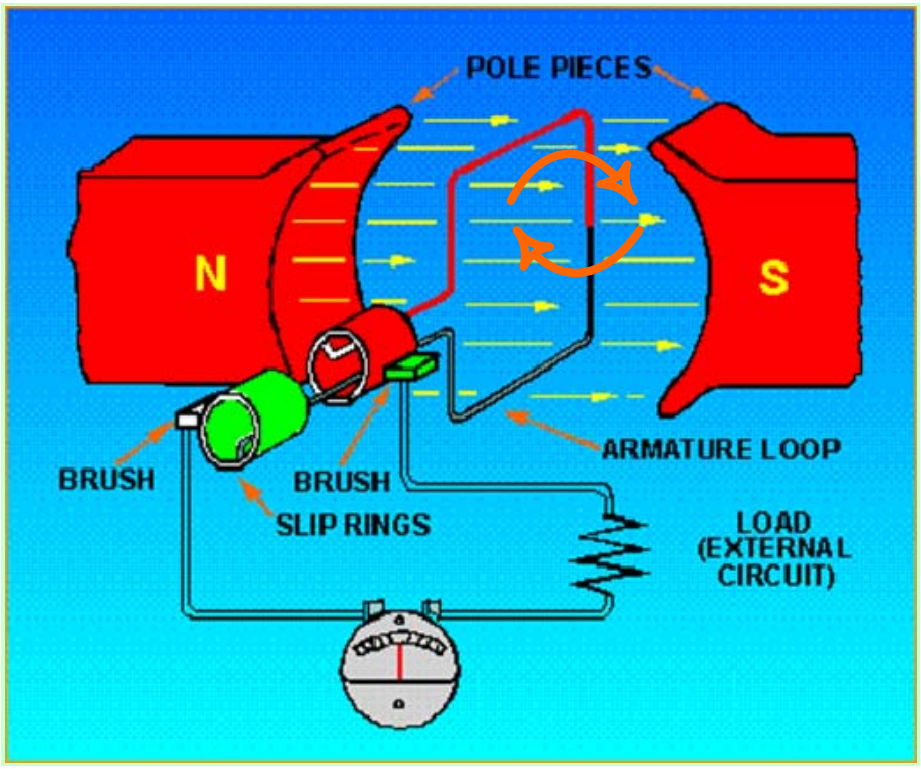
جدول ١- ١ خصائص أجزاء الدائرة المغناطيسية للآلة التيار المستمر

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١- ٥ نظرية عمل المولد

تعمل مولدات التيار المستمر على تحويل الطاقة الميكانيكية (والمتمثلة في دوران عمود إدارة ميكانيكي) إلى طاقة كهربية، ولهذا فإن مولدات التيار المستمر تحتاج إلى مصدر قدرة ميكانيكية (Prime mover) محرك ديزل، توربينة غازية أو بخارية أو مائية. ويعتمد عمل المولد أساساً على قانون "فاراداي" للحث المغناطيسي والذي ينص على: تولد قوة دافعة الكهربائية (فرق جهد كهربي) بين طرفي موصل عندما يقطع هذا الموصل خطوط مجال مغناطيسي- أي تتولد قوة دافعة الكهربائية عندما توجد حركة نسبية بين الموصل وخطوط الفيض المغناطيسي وتتناسب هذه القوة الدافعة مع معدل قطع الموصل لخطوط الفيض المغناطيسي. ولتوضيح كيفية توليد جهد نتيجة حركة موصل في مجال مغناطيسي، نفرض أن لدينا مولداً بسيطاً مكوناً من ملف واحد موضوع بحيث يمكنه الدوران داخل مجال مغناطيسي ثابت ناتج من قطبين مغناطيسيين كما في شكل ١- ١٧ عندما يبدأ الملف في الدوران إنه يتقاطع مع المجال المغناطيسي وبالتالي تتولد قوة دافعة الكهربائية بين أطراف الملف حيث تم توصيل تلك الأطراف على حلقات انزلاق وفرش كربونية وبالتالي فإن القوة الدافعة المتولدة في الملف يمكن الحصول عليها بين الفرش الكربونية



شكل ١- ١٧ فكرة عمل المولد الكهربي

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ويتولد الجهد بالطريقة التالية: لنفرض أن الملف موضوع مبدئياً كما في شكل ١- ١٧ وبالتالي فإن الجهد في هذه اللحظة يكون مساوياً للصفر لأن الملف متعامد مع اتجاه المجال وجانبية (الموصل الأحمر (الجانب العلوى) والأسود (الجانب السفلي)) موازية لخطوط المجال ولا تتقاطع معها ولذلك ففي هذا الوضع تكون القوة الدافعة المتولدة على أطراف الملف مساوية للصفر سواء أكان الملف متحركاً أو ساكناً، عندما يبدأ في الدوران عكس عقارب الساعة من الوضع A زاوية"٠" في شكل ١- ١٨ أ إلي الوضع B زاوية "٩٠`" يتقاطع الملف مع خطوط الفيض بمعدل متزايد حتى يصل أعلى معدل للقطع عند الوضع B ، ونتيجة لذلك فإن القوة الدافعة المتولدة تزداد في هذه الفترة من صفر إلى أعلى قيمة لها عند الوضع B ويوضح ذلك جهاز القياس الموصل في الدائرة، ويمكن ملاحظة أن أحد الموصلين يقطع خطوط الفيض متجهاً لأعلى بينما يقطع الآخر متجهاً لأسفل بمعني أن القوة الدافعة المتولدة بين أطراف الملف هي مجموع القوة الدافعة المتولدة في الموصلين.

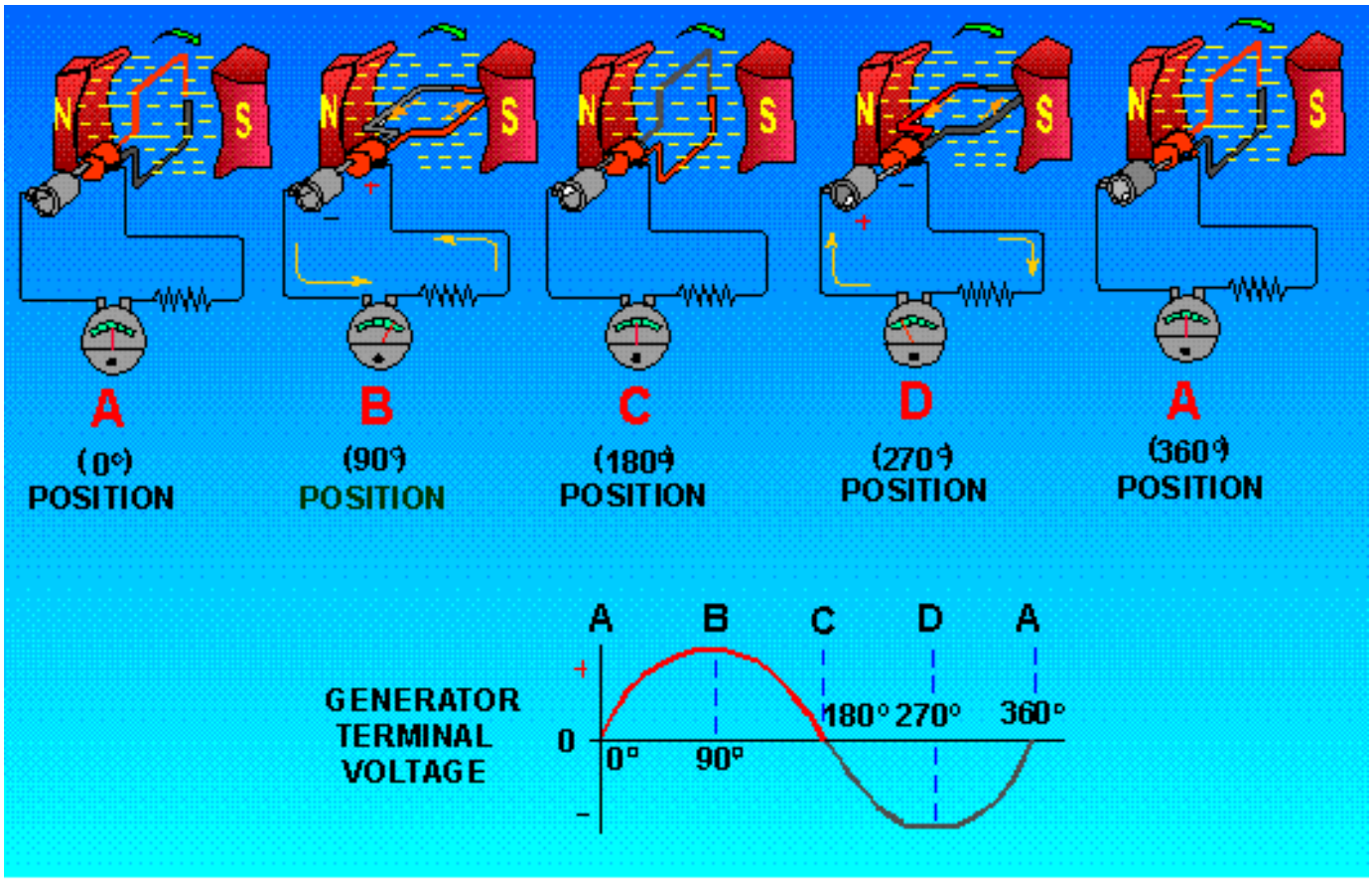
عندما يبدأ الملف في الدوران من الوضع "B" عند زاوية "٩٠`" إلى الوضع "C" عند زاوية "١٨٠`" يبدأ معدل القطع لخطوط الفيض في التناقص تدريجياً حتى يصل إلى الصفر عند الوضع "C"، وكنتيجة لذلك فإن القوة الدافعة المتولدة تبدأ في التناقص من قيمة عظمى عند "B" إلى الصفر عند الوضع"C" يمكن ملاحظة أن الموصلين (جانبى الملف) يدوران حتى الآن (من الوضع "A" إلى الوضع "C") في نفس الاتجاه ولذلك فإن القوة الدافعة المتولدة لها نفس الاتجاه في كل جانب من جوانب الملف.

عند دوران الملف من الوضع "C" عند زاوية ١٨٠` إلى الوضع "D" عند زاوية ٢٧٠` وحتى عودته إلى وضعه الأصلي فإن اتجاه قطع الموصلات للمجال يكون عكس اتجاه القطع في النصف الأول وبالتالي فإن اتجاه القوة الدافعة المتولدة الذي يتم تحديده كما في شكل ١- ١٨ ب باستخدام قاعدة فلمنج لليد اليمنى يكون عكس الاتجاه الأول كما هو موضح في شكل ١- ١٨أ

ويلاحظ أن القوة الدافعة الكهربية المتولدة هي قوة دافعة ذات شكل جيبي (sinewave) شكل ١- ١٨أ متغيرة القيمة والاتجاه (جهد متردد) وللحصول على قوة دافعة الكهربائية لا موحدة الاتجاه (DC) يجب أن يتم توحيد الموجة الجيبية قبل خروجها واستخدامها. يتم ذلك باستبدال حلقتي الانزلاق بحلقة انزلاق مكونة من قطعتين معزولتين (اسطوانة مشطورة إلى جزئين بينهما عازل) كما في شكل ١- ١٩ بحيث تكون الفرشة الموجبة A ملامسة لحلقة الانزلاق حيث يدخل منها التيار إلى الملف ويخرج من الفرشة السالبة B كما في شكل ١- ١٩أ، وبعد دوران اللفة (abcd) ١٨٠ درجة، كما في

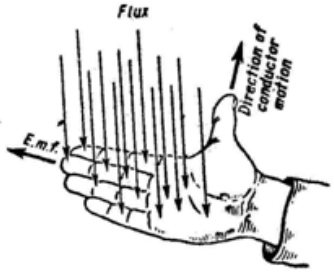
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

شكل ١- ١٩ب تكون الفرشة الموجبة A ملامسة لحلقة الانزلاق بحيث يدخل منها التيار بغض النظر عن تغير حلقة الانزلاق وجانب الملف ويخرج أيضاً من الفرشة السالبة B ، ويوضح شكل ١- ٢٠. أن نصف الموجة الموجب هو من صفر إلى ١٨٠ درجة، بينما نصف الموجة السالب من ١٨٠ درجة إلى ٣٦٠ درجة قد انعكس وأصبح موجباً نتيجة وجود الحلقة المشطورة والتي تعمل كعضو توحيد بدلاً من حلقتين منفصلتين كما في شكل ١- ١٧. 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

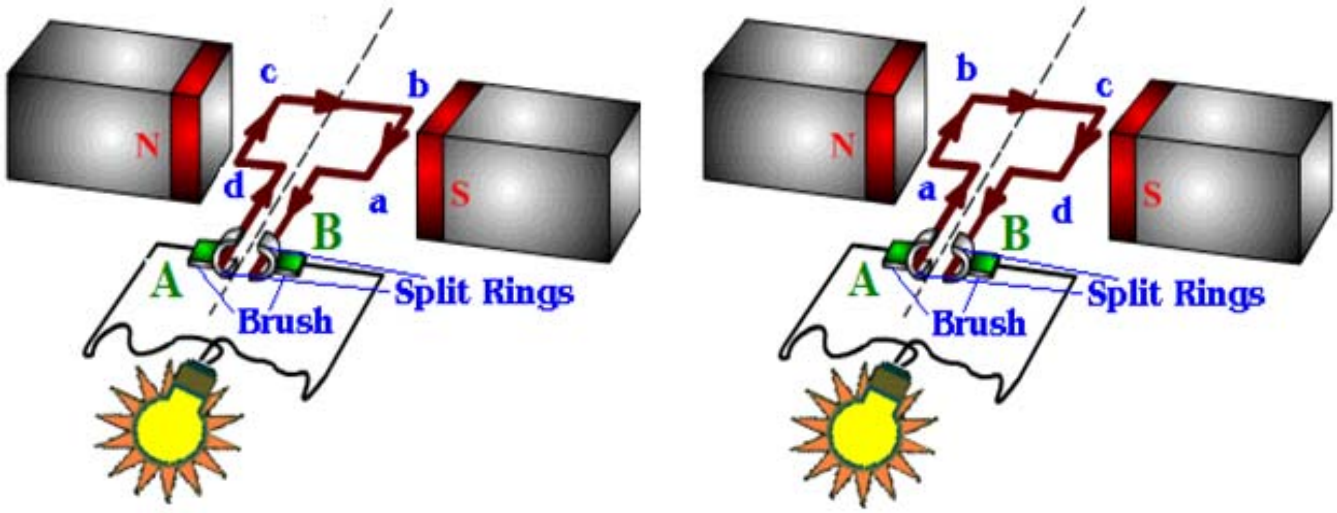


شكل ١- ١٨أ القوة الدافعة المتولدة نتيجة دوران ملف في مجال مغناطيسي

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ١- ١٨ب اتجاه القوة الدافعة المتولدة



(أ) (ب)

شكل ١- ١٩ توحيد الجهد باستخدام اسطوانة مشطورة (موحد)

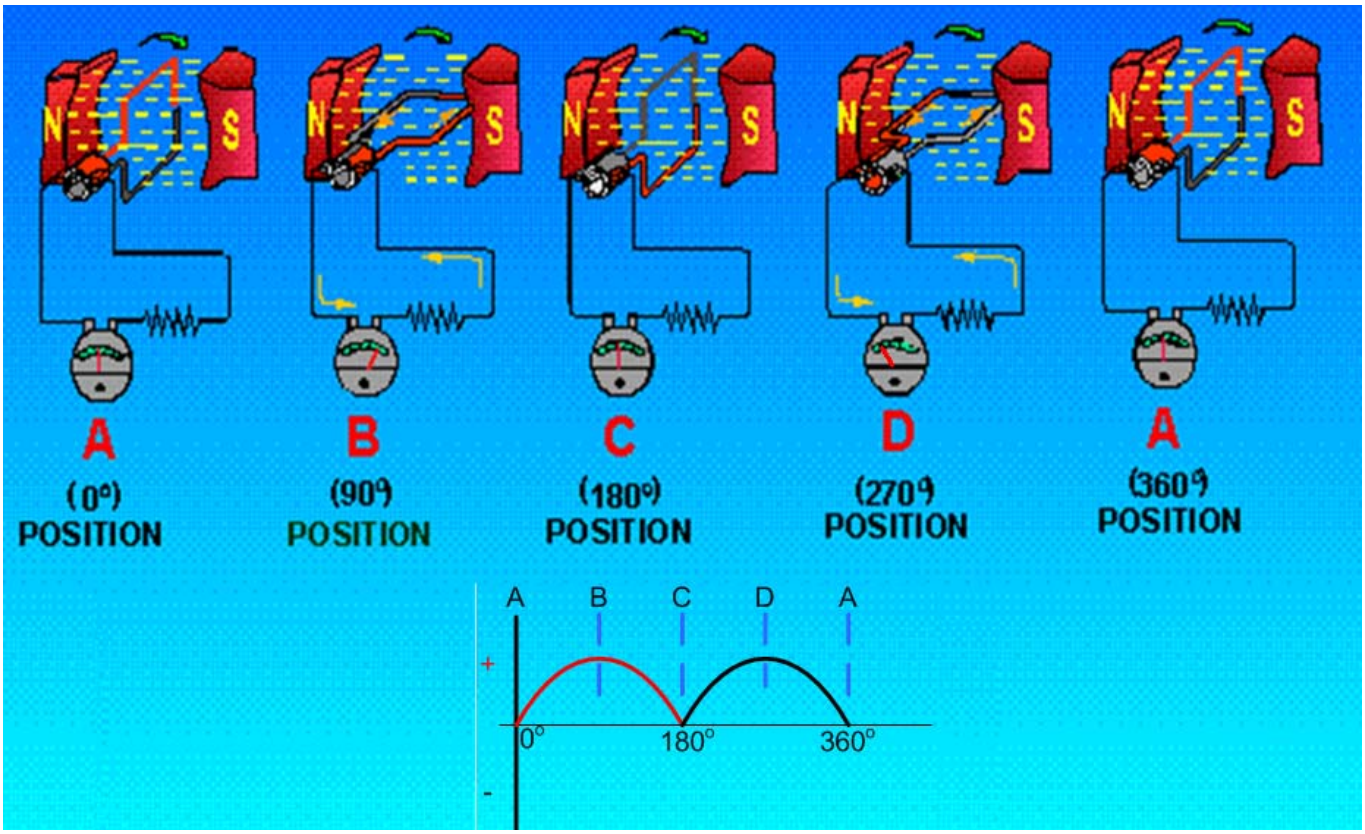
يوضح شكل ١- ٢٠ بالتفصيل عملية تحويل الجهد المتردد إلى جهد مستمر وشكل موجة الجهد المستمر بعد اتمام عملية التوحيد.

ويمكن حساب القوة الدافعة المتولدة في جانب الملف المكون من موصل واحد من المعادلة ١- ٤

$$e=BLv \qquad ١-٤$$

حيث $B(wb/m^2)$ 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). ويتحدد اتجاهها حسب قاعدة فلمنج لليد اليمنى كما سبق شرح ذلك

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



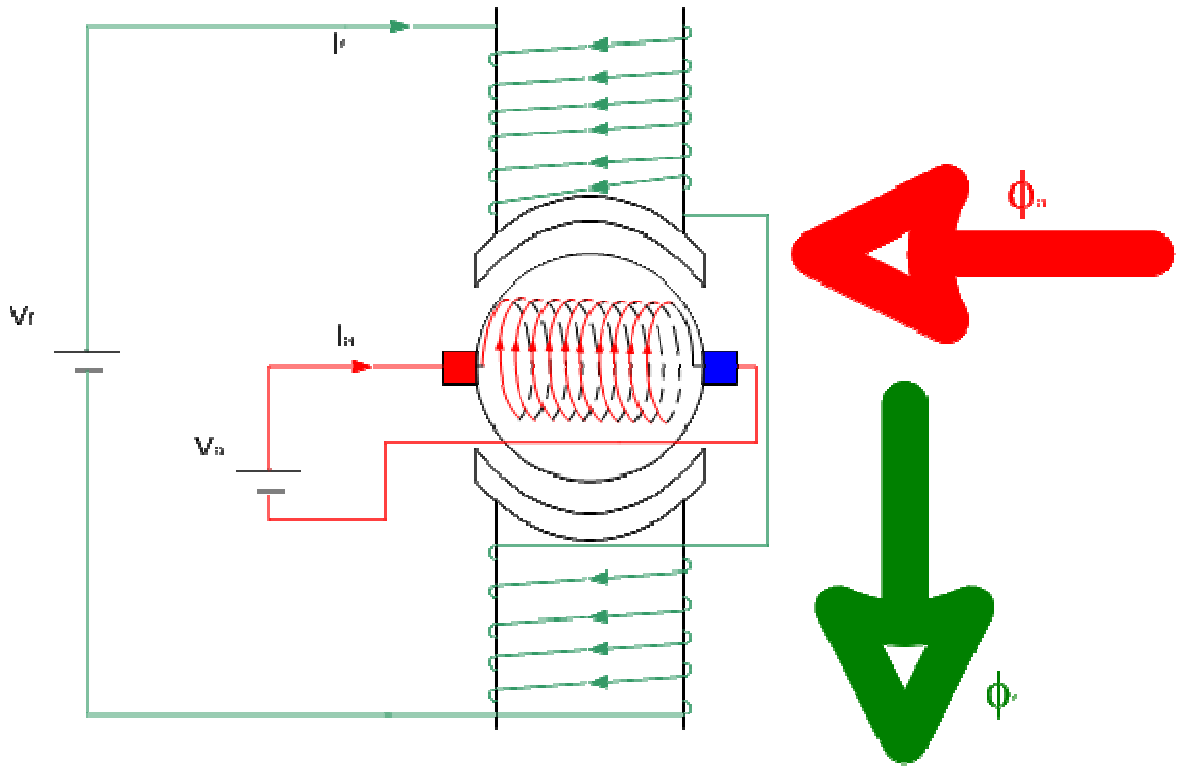
شكل ١- ٢٠ توحيد الجهد الناتج من مولد التيار المستمر باستخدام الموحد

.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١- ٦ نظرية العمل كمحرك

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 هذا المجال يكون متعامداً مع المجال الناتج من ملفات المجال وهذان المجالان ثابتان في الهواءونتيجة لذلك ينشأ عزم دوران يعمل على دوران العضو الدائر. ويمكن توضيح ذلك بالرسم التخطيطي البسيط لآلة تيار مستمر مكونة من قطبين فقط ومنتج كما في شكل ١- ٢١.



شكل ١- ٢١ توليد العزم الكهرومغناطيسي من مجالين ثابتين ومتعامدين في محرك التيار المستمر

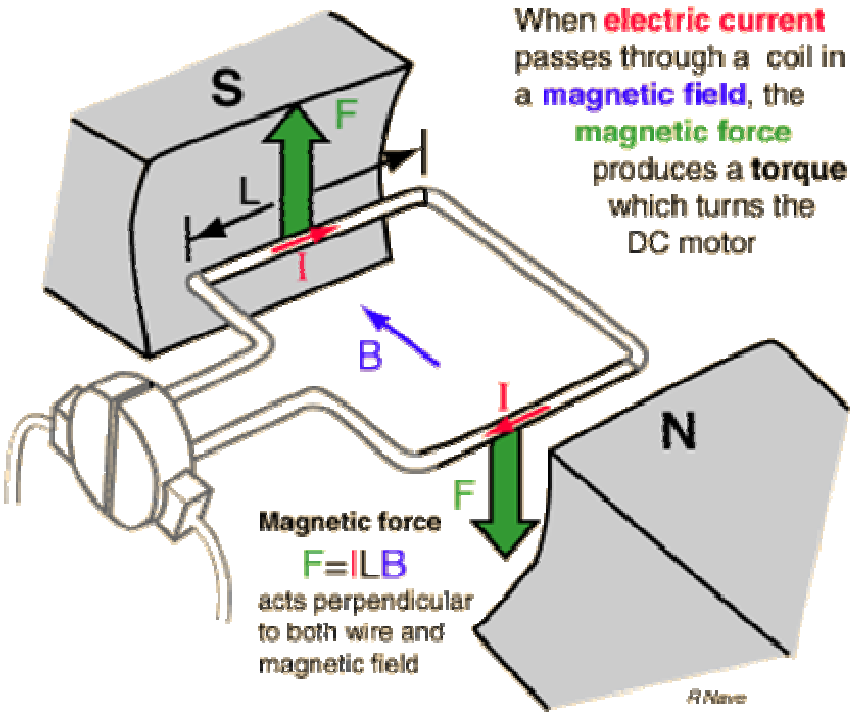
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ويمكن توضيح كيفية تولد العزم الكهرومغناطيسي في محرك التيار المستمر باستخدام قانون "فاراداى"، فإذا وضع موصل يحمل تياراً كهربياً في مجال مغناطيسي فإنه تتولد قوة تتسبب في حركة الموصل . ويبين شكل ١- ٢٢ ملف على شكل مربع 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 جانبي الملف، وإذا كان طول جانبي الملف هو L وكثافة الفيض المغناطيسي B فإن القوة المؤثرة تعطى بالعلاقة:

$$F=BIL \qquad ١-٥$$

ويلاحظ أن القوتين متساويتان في المقدار ومتضادتان في الاتجاه مما يتسبب في تولد عزم على الملف يتسبب في دورانه في اتجاه عقارب الساعة ويمكن ملاحظة أنه إذا عكس اتجاه تيار المنتج (الملف) أو اتجاه المجال المغناطيسي فإن اتجاه القوى على جانبي الملف سينعكس مما يتسبب في عكس العزم المتولد وبالتالي يدور الملف عكس اتجاه عقارب الساعة

.



شكل ١- ٢٢ توليد العزم الكهرومغناطيسي زوج من القوة على جانبي الملف

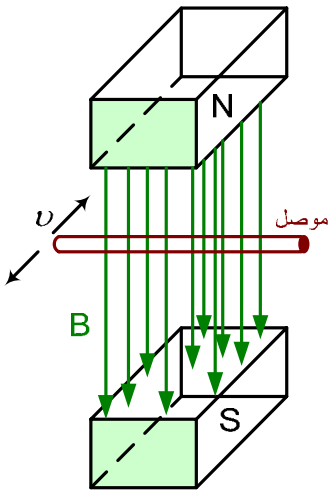
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١- ٧ القوة الدافعة المتولدة والقوة الدافعة العكسية

١- ٧- ١ القوة الدافعة الكهربية المتولدة

سبق تناولنا كيفية الحصول على قوة دافعة الكهربائية بالتأثير الكهرومغناطيسي ديناميكياً وذلك بتحريك موصل بالنسبة لمجال مغناطيسي أو تحريك المجال المغناطيسي بالنسبة للموصل، وعلى ذلك سواء في حالة المولد أو المحرك فإنه يتولد فيه قوة دافعة الكهربائية تسمى القوة الدافعة المتولده في حالة المولد أو القوة الدافعة العكسية أو المضادة (Back e.m.f) في حالة المحرك لأنها تكون مضادة لا تجاه الجهد المسلط على أطراف المنتج. وعلى ذلك فعندما 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 ١- ٢٣ تتولد على طرفي الموصل قوة دافعة الكهربائية مقدارها e (volt) تبعا لقانون "فارادى" بحيث يكون:

$$e=BLv \quad \text{volt} \qquad ١-٦$$



شكل ١- ٢٣ توليد القوة الدافعة ديناميكيا

ويمكن حساب السرعة الخطية v من العلاقة:

$$v = \omega r = \frac{2\pi n}{60} r \qquad ١-٧$$

حيث أن نصف قطر المنتج "r" وتقاس بالمتر، "n" هي سرعة الدوران باللفة/دقيقة (rpm)،

ω هي السرعة الزاوية بالراديان/ثانية (rad/sec)، v هي السرعة المحيطية

كما يمكن حساب كثافة المجال المغناطيسي تحت القطب من العلاقة التالية

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١-٨
$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{\phi}{2\pi r l/p}$$

حيث ϕ هي الفيض المغناطيسي لكل قطب A هي مساحة سطح المنتج كل قطب، p عدد الأقطاب.
بالتعويض عن v من المعادلة ١□٧ وعن كثافة الفيض من المعادلة ٨- ١ في المعادلة ٦- ١ نحصل على القوة الدافعة الكهربية المتولدة في موصل يتحرك في المجال المغناطيسي تحت قطب كالتالي:

$$e = \phi \frac{pn}{60}$$

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

١-٩
$$E_a = \frac{p}{a}\phi Z \frac{n}{60}$$

مثال١- ١

مولد تيار مستمر عدد أقطابه ٦ وعدد الموصلات الكلية ٢٥٠، ملفوف لفاً تموجياً ويدور عند سرعة ١٢٠٠ لفه/دقيقة. فإذا كان الفيض لكل قطب ٦ ميجاخط، أوجد القوة الدافعة الكهربية المتولدة.

الحل

p=٦ a=٢[wave winding] Z=٢٥٠ n=١٢٠٠ rpm

ϕ=٤ megalines/pole=$6 \times 10^{6} \times 10^{-8} = 0.04$ wb/pole

$$E_a = \frac{p}{a}\phi Z \frac{n}{60} = \frac{6}{2} \cdot ٠,٠٤ \cdot ٢٥٠ \cdot \frac{1200}{60} = ٦٠٠ \text{ volt}$$

مثال١- ٢

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

الحل

p=٨ a =P[lap winding] Z=٩٦٠ n=٦٠٠ rpm E_a=٢٢٠ V

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$E_a = \frac{p}{a}\phi Z\frac{n}{60} = \frac{8}{8}\cdot\phi\cdot 960\cdot\frac{600}{60} = 220$$

ϕ=٠.٠٢٣ wb

مثال١- ٣

مولد تيار مستمر عدد أقطابه ٨ وعدد الموصلات الكلية ٤٨٠، ملفوف لفاً انطباقياً فإذا كان الفيض لكل قطب ٥ ميجاخط. فإذا كانت القوة الدافعة الكهربية المتولدة ٢٤٠ فولت، احسب سرعة دوران المولد

الحل

p=٨ a =P[lap winding] Z=٤٨٠ ϕ=٠.٠٥ wb E_a=٢٤٠ V

$$E_a = \frac{p}{a}\phi Z\frac{n}{60} = \frac{8}{8}\cdot 0.05\cdot 480\cdot\frac{n}{60} = 240$$

n=٦٠٠ rpm

١- ٧- ٢ القوة الدافعة الكهربية العكسية

عند توصيل جهد على أطراف المحرك يبدأ المحرك في الدوران فتقطع ملفات المنتج المجال المغناطيسي فتتولد قوة دافعة الكهربائية في ملفات المنتج ويطلق عليها بالقوة الدافعة العكسية أو المضادة (Back e.m.f) وتحسب هذه القوة كما في حالة المولد من المعادلة الآتية:

$$E_b = \frac{p}{a}\phi Z\frac{n}{60} \qquad ١-١٠$$

مثال ١- ٤

محرك تيار مستمر عدد أقطابه ٨ وعدد الموصلات الكلية ٢٤٠، ملفوف لفاً تموجياً ويدور عند سرعة ١٠٠٠ لفه/دقيقة. فإذا كان الفيض لكل قطب ٥ ميجاخط، أوجد القوة الدافعة الكهربائية العكسية.

الحل

p=٨ a=٢[wave winding] Z=٢٤٠ n=١٠٠٠ rpm

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ϕ=٤ megalines/pole=$6 \times 10^{6} \times 10^{-8} = 0.05$ wb/pole

$$E_b = \frac{p}{a}\phi Z\frac{n}{60} = \frac{6}{2} \cdot ٠٠,٠٥ \cdot ٢٤٠٠ \cdot \frac{1000}{60} = ٦٠٠ \quad V$$

مثال١- ٥

محرك تيار مستمر عدد أقطابه ٨ وعدد الموصلات الكلية ٩٦٠ ،ملفوف لفاً انطباقياً ويدور عند سرعة ٦٠٠ لفه/دقيقة. فإذا كانت القوة الدافعة الكهربية المتولدة ٢٥٠ فولت، أوجد الفيض المغناطيسي لكل قطب.

الحل

p=٨ a =p[lap winding] Z=٩٦٠ n=٦٠٠ rpm E_b=٢٥٠ V

$$E_b = \frac{p}{a}\phi Z\frac{n}{60} = \frac{8}{8} \cdot \phi \cdot 960 \cdot \frac{600}{60} = ٠.٠٢٦ \quad wb$$

مثال١- ٦

مولد تيار مستمر عدد أقطابه ٨ وعدد الموصلات الكلية ٤٨٠، ملفوف لفاً انطباقياً فإذا كان الفيض لكل قطب ٥ ميجاخط. فإذا كانت القوة الدافعة الكهربية المتولدة ٣٠٠ فولت، احسب سرعة دوران المولد

الحل

p=٨ a =p[lap winding] Z=٤٨٠ ϕ=٠.٠٥ wb E_a=٣٠٠ V

$$E_a = \frac{p}{a}\phi Z\frac{n}{60} = \frac{8}{8} \cdot 0.05 \cdot 480 \cdot \frac{n}{60} = 300$$

n=٧٥٠ rpm

١- ٨ رد فعل المنتج (Armature Reaction)

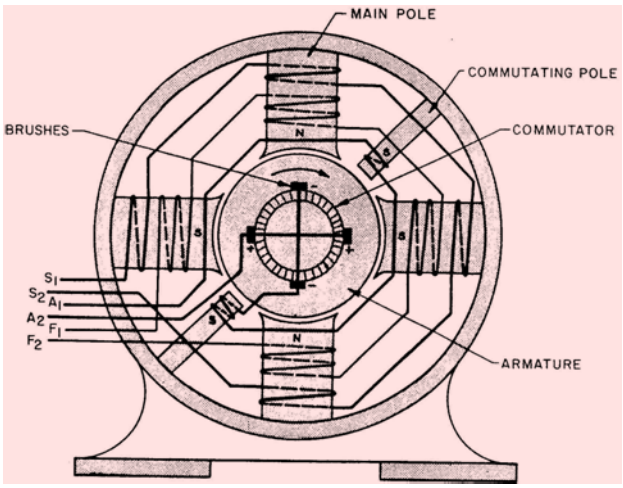
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

عند دوران المنتج في مجال الأقطاب الرئيسة، فإنه يتولد قوة دافعة الكهربائية نتيجة لقطع المنتج لخطوط المجال المغناطيسي كما سبق شرحه سابقاً، وعند تحميل الآلة، أي عندما تعطي الآلة تياراً 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.

يعمل المجال الناشئ عن تيار المنتج على إضعاف مجال الأقطاب الرئيسة وعدم انتظامه مما يؤدي إلى عدة آثار ضارة بالآلة الكهربية يمكن تلخيصها فيما يلي:

- حدوث شرر بين عضو التوحيد والفرش نتيجة لتغير موضع محور التعادل المغناطيسي، مما يستدعى تقديمها دائماً أثناء الدوران.
- ارتفاع درجة الحرارة في المنتج لدرجة يخشى منها على تلف المادة العازلة للملفات.
- إضعاف المجال المغناطيسي للأقطاب مما يسبب تقليل القوة الدافعة المغناطيسية وبالتالي القوة الدافعة الكهربية المتولدة.

يمكن تقليل رد فعل المنتج عن طريق استخدام أقطاب مساعدة أو ملفات تعويض. توضع الأقطاب المساعدة بين كل قطبين رئيسيين ووظيفتها أن تعطى مجالاً مغناطيسياً ليلاشي رد فعل المنتج. ولذلك توصل ملفات الأقطاب المساعدة بالتوالي مع ملفات المنتج حتى تتناسب القوة الدافعة المغناطيسية المتولدة مع تيار المنتج، ويوضح شكل ١- ٢٤ طريقة توصيل ملفات الأقطاب المساعدة مع المنتج،



شكل ١- ٢٤ كيفية توصيل الأقطاب المساعدة بالمنتج

١- ٩ الفقد و الكفاءة لآلات التيار المستمر

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Losses and Efficiency of DC Machines

عند تحويل الطاقة الميكانيكية الداخلة للمولد إلى طاقة الكهربائية على أطرافه، أو تحويل الطاقة الكهربائية الداخلة إلى المحرك إلى طاقة ميكانيكية 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.

ويمكن تقسيم الفقد في آلات التيار المستمر إلى ثلاثة أنواع رئيسة.

- 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)

١- ٩- 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:

$$W_h = B_g^{1.6} f \qquad ١-١١$$

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

$$W_e = B_g^2 f \qquad ١-١٢$$

ويوجد الفقد الحديدي في الآلة من الأجزاء التي تتعرض لمجال مغناطيسي متغير مع الزمن وينصب هذا على عضو المنتج نتيجة لدورانه في مجال الأقطاب.

١- ٩- ٢ فقد النحاس

وينشأ هذا الفقد نتيجة لمرور تيار في أجزاء الدائرة الكهربية المختلفة ويطلق أيضاً 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:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

- **فقد النحاس في المنتج**: وهو يساوي حاصل ضرب مربع تيار المنتج في مقاومة ملفات المنتج

$$\text{Armature cupper losess} = P_{cua} = I^2_a R_a$$

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

- **الفقد في ملفات المجال**: ويعتمد الفقد في ملفات المجال على طريقة توصيل ملفات المجال والتي سيتم شرحها بالتفصيل في الوحدة الثانية، ويمكن الحديث عنها إجمالا على أنها ملفات المجال والفقد فيها يساوي حاصل ضرب مربع تيار المجال في مقاومة ملفات المجال

$$\text{Field cupper losses} = I_f^2 R_f$$

وإذا كانت ملفات المجال من الممكن من نوع التوازي يكون الفقد فيها

$$\text{Field cupper losses} = I_f^2 R_f = I^2_{sh} R_{sh} (or\ VI_{sh})$$

وهذا الفقد عادة ثابت.

أما إذا كانت الملفات من نوع التوالي يكون الفقد كما في المعادلة التالية

$$\text{Field cupper losses} = I_f^2 R_f = I^2_{se} R_{se}$$

أما إذا كانت الآلة من النوع المركب فيكون الفقد مساوياً لمجموع الفقد في ملفات التوالي وملفات التوازي.

$$\text{Field cupper losses} = I^2_{sh} R_{sh} + I^2_{se} R_{se}$$

- **الفقد نتيجة تلامس مقاومة الفرش**:

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

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

١- ٩- 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.

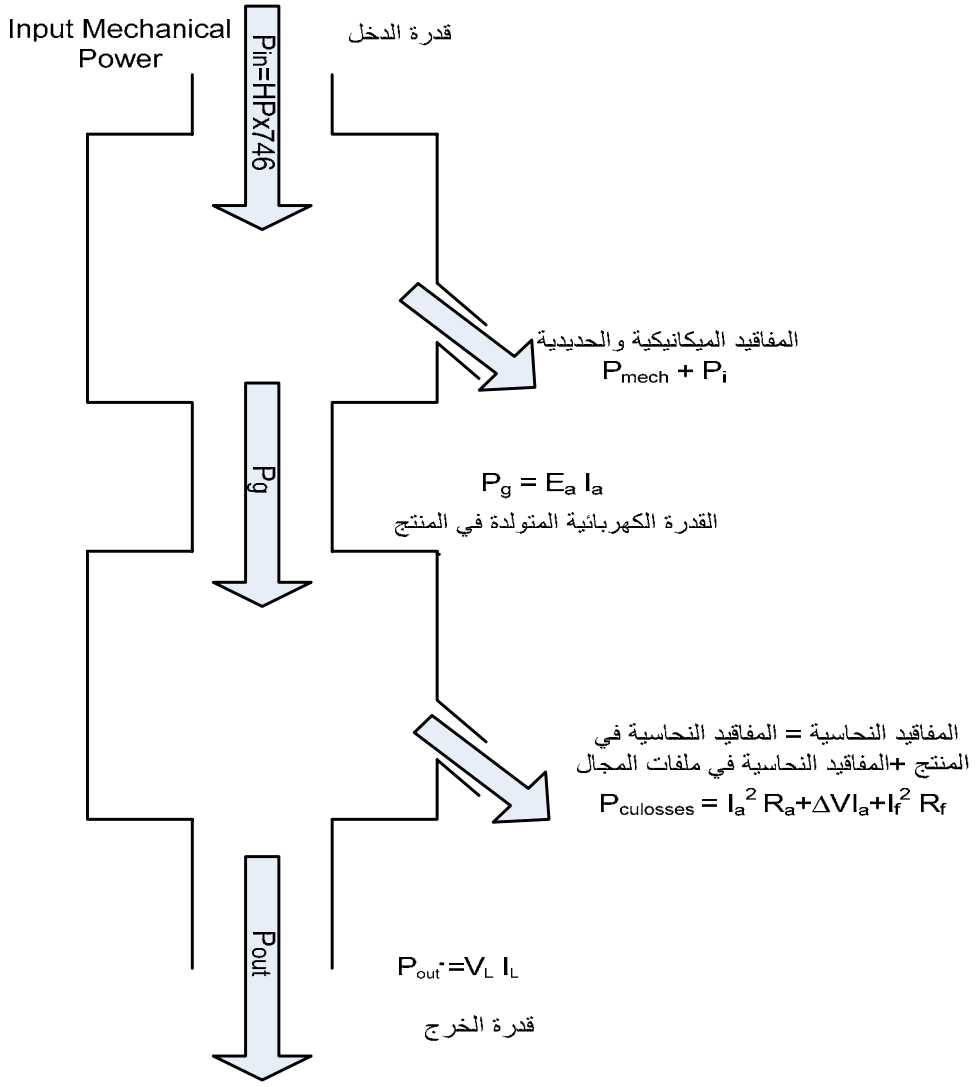
١- ٩- ٤ مخطط سريان القدرة للمولد

مما سبق نعلم بأن المولد وسيلة لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة الكهربائية ولهذا يوصل المولد بمحرك أولى (Prime mover) مثل آلة احتراق داخلية مثلاً أو تور بينة والتي تعطى المولد قدرة أولية في صوره طاقة حركة سنطلق عليها دخل المولد Input power كما هو موضح في شكل١- ٢٥ ، وهذه القدرة الداخلة تكون بالحصان H.P. ، والعلاقة بين الحصان والوات كما يلي: H.P=٧٤٦ Watt. جزء

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

من هذه القدرة تضيع في الفقد الميكانيكي P_{mech} والفقد الحديدي P_i والباقي يتحول إلى قدرة كهرومغناطيسية P_g حيث أن P_g هي القدرة الكهربائية المتولدة داخل المنتج وتعطى بالعلاقة:

$$P_g=E_a I_a =P_{in}-(P_{mech}+P_i) \qquad ١-١٣$$



شكل ١- ٢٥ مخطط سريان القدرة لمولدات التيار المستمر

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 أحياناً خرج المولد P_{out} أو قدرة الحمل P_L . ويعطى شكل ١- ٢٥ مخطط انسياب القدرة في مولدات التيار المستمر.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١- ٩- ٥ حساب الكفاءة أو معامل الجودة Efficiency

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

- الكفاءة الميكانيكية:

١-١٤

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

- الكفاءة الكهربية:

١-١٥

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

- الكفاءة الكلية:

١-١٦

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

أيضاً يمكن حساب الكفاءة الكلية من العلاقات التالية

١-١٧

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + losses} = \frac{P_{input} - losses}{P_{input}}$$

مثال١- ٧

مولد تيار مستمر يقوم بتغذية حمل الكهربائي بتيار مستمر ٢٠ أمبير عند جهد ٢٢٠ فولت عند الحمل الكامل وكانت مقاومة ملفات المنتج واحد أوم ومقاومة ملفات المجال ٢٢٠ أوم .تيار المجال ١ أمبير بينما تيار المنتج ٢١ أمبير أهمل الفقد على الفرش الكربونية احسب كفاءة المولد إذا علمت أن المفاقيد الحديدية والميكانيكية ٢٠٠ وات ثم احسب القدرة الميكانيكية الداخلة للمولد بالحصان

الحل

I_L = ٢٠ Amp., V_L = ٢٢٠ v, R_f =٢٢٠Ω, I_f = ١ Amp.,

I_a = ٢١ Amp., P_i+P_{mech} = ٢٠٠ watt R_a=١Ω

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

القدرة الخارجة من المولد

$$P_{out} = V_L I_L = (٢٢٠)(٢٠) = ٤٤٠٠ \quad \text{watt}$$

المفاقيد النحاسية = الفقد النحاسي في المنتج +الفقد النحاسي في ملفات المجال + الفقد على الفرش

$$P_{culosses} = I_a^{٢} R_a + I_f^{٢} R_f + \Delta V I_a = (٢١)^{٢}(١) + (١)^{٢}(٢٢٠) + ٠ = ٦٦٠,٥ \quad \text{watt}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + losses} = \frac{4400}{4400 + 660.5} = 0.87$$

القدرة الميكانيكية الداخلة للمولد

$$P_{in} = P_{out} + P_{losses} = ٤٤٠٠ + ٦٦٠,٥ = ٥٠٦٠,٥ \quad \text{watt}$$

$$P_{in} = P_{in}\,(\text{watt}) / ٧٤٦ = ٦,٧٨ \quad \text{HP}$$

مثال١- ٨

مولد تيار مستمر يقوم بتغذية حمل الكهربائي بتيار مستمر ٢٠ أمبير عند جهد ٢٢٠ فولت عند الحمل الكامل وكانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٤٢٨ أوم ومقاومة ملفات المجال ٢٢٠ أوم .تيار المجال ١ أمبير الفقد على الفرش الكربونية ٢٠ وات كفاءة المولد ٩٠٪ إذا علمت أن المفاقيد الحديدية والميكانيكية ١٠٠ وات احسب القدرة الميكانيكية الداخلة للمولد بالحصان واحسب المفاقيد النحاسية في ملفات المنتج ثم احسب قيمة تيار المنتج

الحل

$I_L = ٢٠$ Amp., $V_L = ٢٢٠$ v, $R_f = ٢٢٠\Omega$, $I_f = ١$ Amp.,

$\Delta V I_a = ٢٠$ watt., $P_i + P_{mech} = ١٠٠$ watt, $\eta = ٠,٩$ $R_a = ٠,٤٢٨\Omega$

القدرة الخارجة من المولد

$$P_{out} = V_L I_L = (٢٢٠)(٢٠) = ٤٤٠٠ \quad \text{watt}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{4400}{P_{in}} = 0.9$$

P_{in} = ٤٨٨٨,٨٩ watt = ٦,٥٥٣ HP

$P_{losses} = P_{in} - P_{out}$ = ٤٨٨٨,٨٩ – ٤٤٠٠ = ٤٨٨,٨٩ watt

$P_{losses} = P_{culosses} + P_i + P_{mech} = P_{culosses}$ + ١٠٠ = ٤٨٨,٨٩

$P_{culosses}$ = ٤٨٨,٨٩ – ١٠٠ =٣٨٨,٨٩ watt

المفاقيد النحاسية = الفقد النحاسي في المنتج +الفقد النحاسي في ملفات المجال + الفقد على الفرش

$P_{culosses} = P_{cua} + I_f^2 R_f + \Delta V I_a = P_{cua} + (١)^2(٢٢٠) + ٢٠ = ٣٨٨,٨٩$ watt

P_{cua} = ١٨٨,٨٩ watt

$P_{cua} = I_a^2 R_a = I_a^2(٠.٤٢٨) = ١٨٨,٨٩$ watt

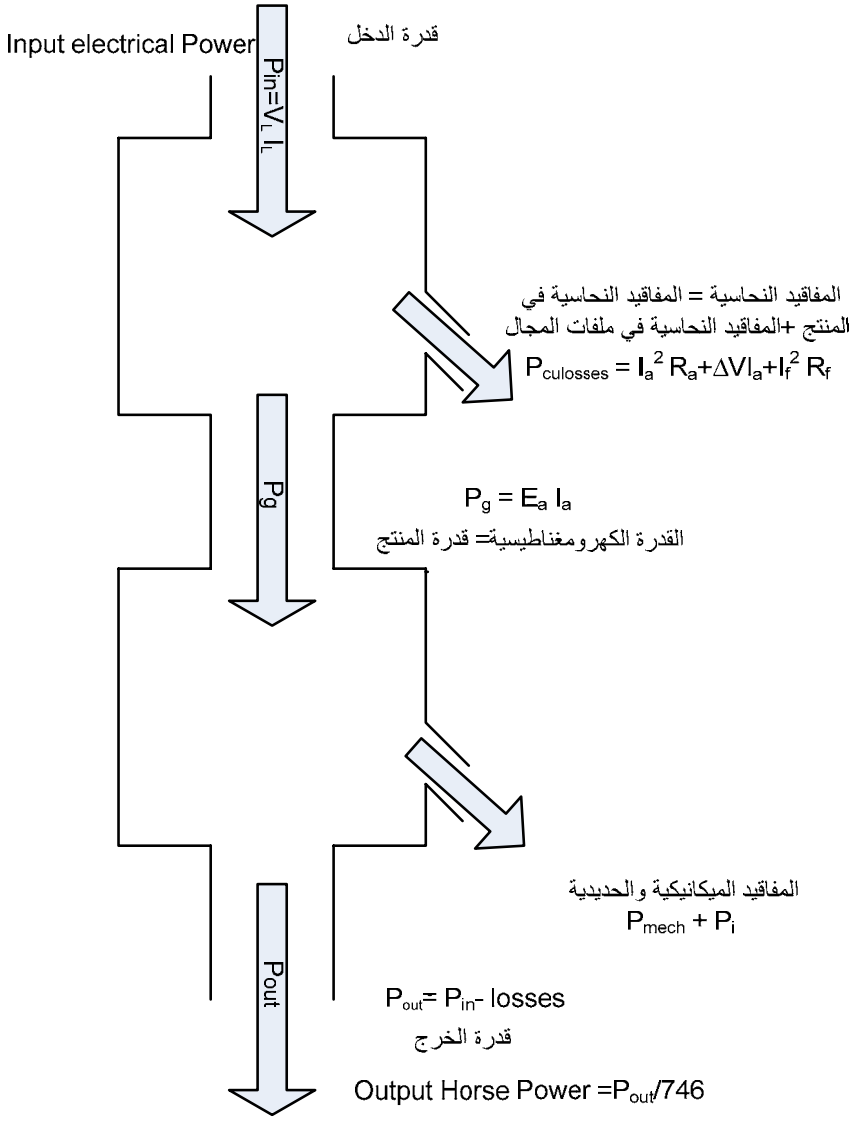
I_a = ٢١ Amp

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١- ٩- ٦ مخطط سريان 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 الكهربائية سنطلق عليها دخل المحرك Input power كما هو موضح في شكل ١- ٢٨ 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:

$$P_g=E_a I_a = P_{in}-P_{cu} \qquad ١-٢٠$$



شكل ١- ٣٠ مخطط انسياب القدرة لمحركات التيار المستمر

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

عند انتقال القدرة إلى المنتج P_g يفقد من هذه القدرة جزء كفقد ميكانيكي P_{mech} وجزء كفقد حديدي P_i وتكون القدرة المتبقية هي القدرة المستفادة للحمل أو كما تسمى أحيانا خرج المحرك P_{out}.

الكفاءة:

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

$$\eta = \frac{O/P}{I/P} = \frac{HP \cdot 746}{V_L \cdot I_L} \qquad ١-٢١$$

أيضا يمكن حساب الكفاءة الكلية من العلاقات

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + losses} = \frac{P_{input} - losses}{P_{input}} \qquad ١-٢٢$$

مثال١- ٩

محرك تيار مستمر يتم تغذيتة من مصدر للتيار عند جهد ٢٢٠ فولت و تيار ٢٠ أمبير عند الحمل الكامل وكانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٥ أوم ومقاومة ملفات المجال ٢٢٠ أوم .تيار المجال ١ أمبير بينما تيار المنتج ١٩ أمبير أهمل الفقد على الفرش الكربونية احسب كفاءة المحرك إذا علمت أن المفاقيد الحديدية والميكانيكية ٢٠٠ وات ثم احسب قدرة الخرج الميكانيكية بالحصان

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الحل

I_L = ٢٠ Amp., V_L = ٢٢٠ v, R_f =٢٢٠Ω, I_f = ١ Amp.,

I_a = ١٩ Amp., P_i+P_{mech} = ٢٠٠ watt R_a=٠,٥Ω

القدرة الداخلة للمحرك

$$P_{in} = V_L I_L = (٢٢٠)(٢٠) = ٤٤٠٠ \quad \text{watt}$$

$$P_{in} = P_{in}(\text{watt})/٧٤٦ = ٤٤٠٠/٧٤٦ = ٥,٩ \quad \text{HP}$$

المفاقيد النحاسية = الفقد النحاسي في المنتج +الفقد النحاسي في ملفات المجال + الفقد على الفرش

$$P_{culosses} = I_a^{٢}R_a + I_f^{٢}R_f + \Delta V I_a = (١٩)^{٢}(٠.٥) + (١)^{٢}(٢٢٠) + ٠ = ٤٠٠,٥ \quad \text{watt}$$

المفاقيد الكلية= المفاقيد النحاسية + المفاقيد الميكانيكية +المفاقيد الحديدية

$$P_{losses} = P_{culosses} + P_i + P_{mech} = ٤٠٠,٥+٢٠٠ = ٦٠٠,٥ \quad \text{watt}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + losses} = \frac{P_{in} - losses}{P_{in}} = \frac{4400 - 600.5}{4400} = 0.864$$

مثال١- ١٠

محرك تيار مستمر من نوع 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 ٠,١ أوم . وتيار المجال ٢ أمبير وكان الفقد على الفرش ٢٠٠ وات وتيار المنتج ٢٢١,٥٧ أمبير أوجد:

- المفقودات الحديدية والميكانيكية
- التيار المسحوب من المصدر

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الحل

P_{out} = ١٥٠ HP., V_L = ٥٥٠ v, R_f =٢٧٥Ω, I_f = ٢ Amp.,

ΔVI_a = ٢٠ watt., η=٠,٩١

القدرة الخارجة من المحرك

P_{out} = ١٥٠(٧٤٦) = ١١١٩٠٠ watt

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{111900}{P_{in}} = 0.91$$

P_{in} = ١٢٢٩٦٧ watt

$I_L = \frac{P_{in}}{V_L}$ = ٢٢٣,٧٥ Amp

$P_{losses} = P_{in} - P_{out}$ = ١٢٢٩٦٧ – ١١١٩٠٠ = ١١٠٦٧ watt

$P_{culosses} = I_a{}^2 R_a + I_f{}^2 R_f + \Delta VI_a$

= (٢٢١,٥٧)^2(٠,١) + (٢)^2(٢٧٥) + ٢٠ = ٦٠٢٩,٣٢ watt

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

$P_i + P_{mech}$ = ١١٠٦٧ – ٦٠٢٩,٣٢ =٥٠٣٧,٦٧ watt

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أسئلة وتمارين على الوحدة الأولى

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

٢- عرف شدة المجال المغناطيسي.وخطوط القوى المغناطيسية

٣- ماذا يقصد بمعامل النفاذية

٤- وضح كيف يمكن توليد قوة دافعة الكهربائية ديناميكياً؟

٥- بين كيفية استنتاج قوة دافعة الكهربائية في المحول الكهربي.

٦- وضح كيف يمكن توليد العزم الكهرومغناطيسي؟

٧- اذكر الأجزاء المختلفة للدائرة المغناطيسية لآلة تيار مستمر.

٨- اذكر الأجزاء الرئيسة لآلة تيار مستمر.

٩- ماهي فائدة كل من:

أ. الموحد (المبدل)؟

ب. المنتج؟

ج. الأقطاب الرئيسية؟

د.أقطاب التوحيد؟

ه. الإطار الخارجي؟

و.حامل الفرش.

ز.ملفات المنتج.

ح. ملفات المجال.

١٠- ما الفارق بين اللف الانطباقي واللف التموجي؟ وما مميزات كل نوع؟

١١- اشرح نظرية عمل المولد.

١٢- اشرح كيفية توليد العزم في محرك التيار المستمر.

١٣- اذكر أنواع المفاقيد الكهربائية في آلة التيار المستمر.

١٤- مولد تيار مستمر عدد أقطابه ٦ وعدد الموصلات الكلية ٢٥٠ ، ملفوف لفاً تموجياً ويدور عند سرعة ١٠٠٠ لفه/دقيقة. فإذا كان الفيض لكل قطب ٦ ميجاخط، أوجد القوة الدافعة الكهربية المتولدة.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١٥- مولد تيار مستمر عدد أقطابه ٦ وعدد الموصلات الكلية ٤٨٠ ،ملفوف لفاً انطباقياً ويدور عند سرعة ٦٠٠ لفه/دقيقة. فإذا كانت القوة الدافعة الكهربية المتولدة ٢٠٠ فولت، أوجد الفيض المغناطيسي لكل قطب.

١٦- مولد تيار مستمر عدد أقطابه ٨ وعدد الموصلات الكلية ٦٤٠، ملفوف لفاً انطباقياً فإذا كان الفيض لكل قطب ٤ ميجاخط. فإذا كانت القوة الدافعة الكهربية المتولدة ٢٤٠ فولت، احسب سرعة دوران المولد.

١٧- محرك تيار مستمر عدد أقطابه ٨ وعدد الموصلات الكلية ٢٤٠، ملفوف لفاً تموجياً ويدور عند سرعة ١٢٠٠ لفه/دقيقة. فإذا كان الفيض لكل قطب ٦ ميجاخط، أوجد القوة الدافعة العكسية.

١٨- محرك تيار مستمر عدد أقطابه ٨ وعدد الموصلات الكلية ٥٦٠ ،ملفوف لفاً انطباقياً ويدور عند سرعة ٦٠٠ لفه/دقيقة. فإذا كانت القوة الدافعة الكهربية المتولدة ٢٤٠ فولت، أوجد الفيض المغناطيسي لكل قطب.

١٩- محرك تيار مستمر عدد أقطابه ٨ وعدد الموصلات الكلية ٤٨٠، ملفوف لفاً انطباقياً فإذا كان الفيض لكل قطب ٥ ميجاخط. فإذا كانت القوة الدافعة العكسية ١٥٠ فولت، احسب سرعة دوران المحرك.

٢٠- محرك تيار مستمر يتم تغذيتة من مصدر للتيار المستمر عند جهد ٢٠٠ فولت و تيار ٢٥ أمبير عند الحمل الكامل وكانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٥ أوم ومقاومة ملفات المجال ٢٠٠ أوم .تيار المجال ١ أمبير بينما تيار المنتج ٢٤ أمبير أهمل الفقد على الفرش الكربونية احسب كفاءة المحرك إذا علمت أن المفاقيد الحديدية والميكانيكية ٢٥٠ وات ثم احسب قدرة الخرج الميكانيكية بالحصان.

٢١- محرك تيار مستمر من نوع يغذى حمل قدرته ١٢٠ حصان عند الحمل الكامل ويدور عند سرعة ٩٦٠ لفه/دقيقة، وموصل على منبع جهد ٥٥٠ فولت. وكانت الكفاءة ٨٠٪ ومقاومة ملفات التوازي ٢٧٥ أوم ومقاومة ملفات المنتج ٠,١ أوم . وتيار المجال ٢ أمبير وكان الفقد على الفرش ٢٠ وات وتيار المنتج ٢٠١,٤٥ أمبير أوجد التيار المسحوب من المصدر والمفقودات الحديدية والميكانيكية.