كهرباء ساحبات زراعية

الدوائر المغناطيسية

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 الفرريت (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.

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:** 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 التمغنط العلاقة بين شدة المجال وكثافة الخطوط المغناطيسية التي تنتج في المادة. ويربط بينهما معامل النفاذ للمادة ويعطي معامل النفاذ بالعلاقة:

$$\mu = \mu_O \mu_r \qquad (1-1)$$

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:

وتعطي بالعلاقة:

$$m.m.f = N.I \qquad AT \qquad (١-٤)$$

-المانعة 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:

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

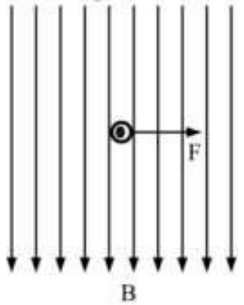
وتعبر هذه العلاقة عن قانون أوم للدائرة المغناطيسية. وأيضا يمكن حساب الممانعة بدلالة أبعاد الدائرة المغناطيسية، فإذا كان طول المسار للفيض المغناطيسي L ومساحة مقطعه A ومعامل النفاذ μ فإن الممانعة تعطى بالعلاقة:

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

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:

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

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

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:

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

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

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

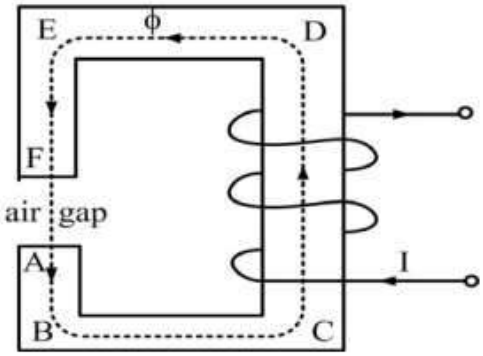
وتكون المقاومة المغناطيسية الكلية Rmag-t هي:

$$R_{mag-t} = \frac{L_{AB}}{\mu_{AB} A_{AB}} + \frac{L_{BC}}{\mu_{BC} A_{BC}} + \frac{L_{CD}}{\mu_{CD} A_{CD}} + \frac{L_{DE}}{\mu_{DE} A_{DE}} + \frac{L_{EF}}{\mu_{EF} A_{EF}} + \frac{L_{gap}}{\mu_o A_{gap}} \qquad ١\square٨$$

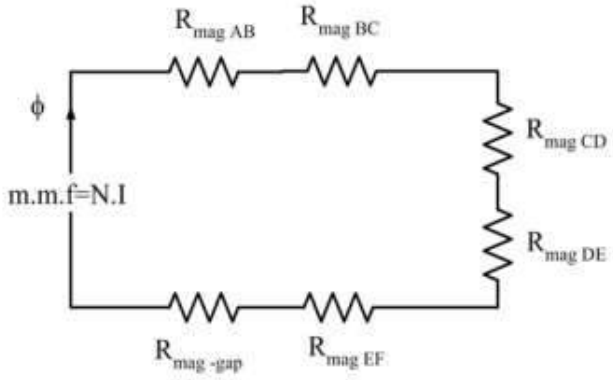
ويمكن الحصول على الفيض المغناطيسي Φ بقسمة القوة الدافعة المغناطيسية للملف(أمبير لفة) N.I على المقاومة المغناطيسية الكلية Rmag-t ، وذلك بتطبيق قانون أوم تبعا للمعادلة ١ -٥ على النحو التالي:

$$\Phi = \frac{N.I}{\frac{L_{AB}}{\mu_{AB} A_{AB}} + \frac{L_{BC}}{\mu_{BC} A_{BC}} + \frac{L_{CD}}{\mu_{CD} A_{CD}} + \frac{L_{DE}}{\mu_{DE} A_{DE}} + \frac{L_{EF}}{\mu_{EF} A_{EF}} + \frac{L_{gap}}{\mu_o A_{gap}}} \qquad ١\square٩$$

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.

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

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.

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.

نظرية عمل المولد الكهربي وتركيبه

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