



دليل الطالب الفزياء السنة الثانية (ينبع)

أعدت بواسطة
عبد محمد علي

تمت المراجعة بواسطة

الدكتورة عزيزة رجب خليفة

محتويات

الصفحات		وحدة
من 5 إلى 16		أولاً: التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي
من 17 إلى 29		ثانياً: الحث الكهرومغناطيسي

ال المعارف	مهارات (أن يكون قادراً على)	الكفاءات
TPK1 معنى المغناطيسيي المجال والمغناطيسي بسبب الحال النجاح الحالي عبر خط مستقيم موصل دائري ملف في مركزه وملفو لولبي	عرف مفهوم المجال المغناطيسيي	TPC1.1
	احسب كثافة المجال المغناطيسي واتجاهه عند المسافة العادلة من سلك مستقيم يحمل تياراً كهربائياً	TPC1.2
	احسب شدة واتجاه المجال المغناطيسي في مركز حلقة تحمل تياراً كهربائياً (ملف دائري).	TPC1.3
	احسب شدة المجال عند نقطة على محور الملف اللولبي المغناطيسي.	TPC1.4
	احسب القوة المغناطيسيية المؤثرة على سلك يحمل تياراً كهربائياً	TPC1.5
	احسب عزم الدوران المغناطيسي المؤثر على ملف يحمل تياراً كهربائياً	TPC1.6
TPK2 القوة المغناطيسية التأثير على سلك يحمل تياراً كهربائياً توضعه في أي المجال المغناطيسيي والمغناطيسيي عزم الدوران المؤثر على ملف يحمل الوضع الحالي مجال مغناطيسيي	اشرح معنى الاستقراء وقانون فارادي	TPC2.1
	حدّد قطبية التيار المستحسن في ملف باستخدام قاعدة لينز.	TPC2.2
TPK3 معنى الكهرومغناطيسية الحث وقانون فارادي	فهم مفهوم الاستقراء المتبادل والاستقراء الذاتي	TPC2.3
	حدد العوامل التي تؤثر على القوة الكهرومغناطيسية المستحسنة في الملف	TPC2.4
	حدّد بنية وتشغيل المولد الكهربائي	TPC2.5
TPK4 قانون لينز	حدّد بنية وطريقة عمل المحول الكهربائي	TPC2.6
TPK5 متبادل وذاتي الاستقراء ومولد كهربائي (دينامو) وكهربائي محول	يشرح المفهسي الكهرومغناطيسيي الحث الكهرومغناطيسيي وفارادي القانون وقانون لينز وبعض المفاهيم متعلق بتعريف	TP2

الوحدة الأولى
تأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي

صفحة	درس
5	الدرس الأول معنى المجال المغناطيسي
7	الدرس الثاني: المجال المغناطيسي الناتج عن مرور التيار عبر موصل مستقيم
9	الدرس الثالث: المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار كهربائي عبر ملف دائري في مركزه
11	الدرس الرابع: المجال المغناطيسي المؤثرة عن مرور تيار كهربائي عبر ملف لولبي
13	الدرس الخامس: القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك يحمل تياراً موضوع في مجال مغناطيسي منتظم
15	الدرس السادس: عزم الدوران المغناطيسي المؤثر على ملف يحمل تياراً موضوعاً في مجال مغناطيسي منتظم

عزيزي الطالب، بنهاية هذه الدروس، ينبغي أن تكون لديك المهارات والمعرفات التالية

فهم مفهوم المجال المغناطيسي
حد دشكل المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار كهربائي في سلك مستقيم، وملف دائري، وملف لولبي.

احسب كثافة التدفق المغناطيسي عند نقطة من سلك يحمل تياراً. احسب كثافة التدفق المغناطيسي في مركز ملف دائري يحمل تياراً. احسب كثافة التدفق المغناطيسي عند نقطة على طول محور الملف اللولبي الذي يحمل تياراً. حدد العوامل المؤثرة على القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك مستقيم يحمل تياراً موضوع في مجال مغناطيسي منتظم.

حدد العوامل المؤثرة على عزم الدوران المغناطيسي المؤثر على ملف يحمل تياراً موضوعاً في مجال مغناطيسي منتظم

الدرس الأول

معنى المجال المغناطيسي

مقدمة

يُعرف التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي (الكهربومغناطيسي) على النحو التالي:
 (يتولد مجال مغناطيسي حول موصل عندما يمر تيار كهربائي من خلاله)
 - تم اكتشاف التأثير المغناطيسي للتيار بواسطة **أورستيد** (فيزيائي دنماركي) عام 1820. **تحرية**

أ) هانز كريستيان أورستيدقام بتقريب بوصلة من سلك معدني يحمل تياراً كهربائياً؛ ولاحظ أن البوصلة قد انحرفت.

ب) عندما قام بإيقاف التيار الكهربائي، عادت البوصلة إلى وضعها الأصلي. **خاتمة**

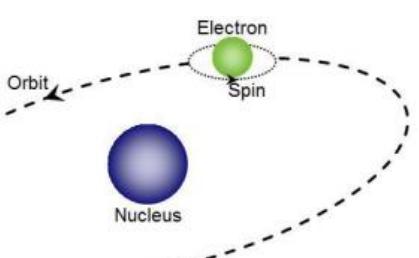
عندما يمر التيار الكهربائي في سلك (موصل)، فإنه ينتج دائئماً مجالاً مغناطيسياً حوله.

يشير انحراف البوصلة أثناء مرور التيار الكهربائي في السلك إلى توليد المجال المغناطيسي

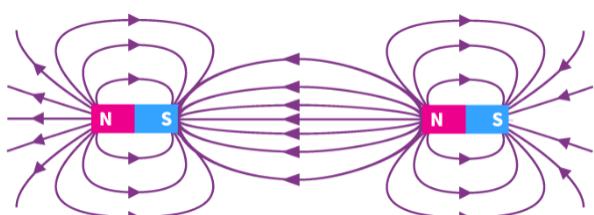
أدى هذا الاكتشاف إلى سلسلة من الأحداث التي ساهمت في تشكيل حضارتنا الصناعية.

أصل المجال المغناطيسي (المغناطيسية)

يتولد المجال المغناطيسي نتيجة لحركة الإلكترونات (الشحنات الكهربائية) (الجسيمات المشحونة) داخل الذرات. لذا، تنشأ المغناطيسية من نوعين من حركات الإلكترونات في الذرات.



١) حركة الإلكترونات في مدار حول النواة، تشبه حركة الكواكب في نظامنا الشمسي حول الشمس.



٢) دوران الإلكترونات حول محورها يشبه دوران الأرض حول محورها.

المجال المغناطيسي

(المجال المغناطيسي) هي المنطقة المحيطة بالمغناطيس (أو التيار الكهربائي - الذي يحمل موصلًا) حيث يمكن أن تؤثر القوى المغناطيسية.

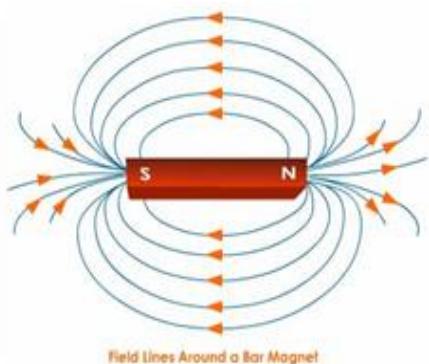
خطوط المجال المغناطيسي هي خطوط وهمية لتمثيل المجالات المغناطيسية

أ) **شكل المجال المغناطيسي**

ب) اتجاه المجال المغناطيسي (من الشمال إلى الجنوب)

ج) كثافة المجال المغناطيسي (B)

خصائص خطوط المجال المغناطيسي



- أ) لا تتقاطع خطوط المجال المغناطيسي أبداً
- ب) تشكل خطوط المجال المغناطيسي دائماً حلقات مغلقة(منحنيات متصلة) وتستمر داخل المادة المغناطيسية
- ج) خطوط المجال المغناطيسي تنشأ دائماً أو تبدأ من القطب الشمالي وتنتهي عند القطب الجنوبي.
- د) يعتبر اتجاه المجال المغناطيسي هو الاتجاه الذي يتحرك فيه القطب الشمالي لإبرة البوصلة داخله. لذلك، يفترض اصطلاحاً أن خطوط المجال تخرج من الشمال.

تحدد خطوط المجال المغناطيسي عند القطب الجنوبي. داخل المغناطيس، يكون اتجاه خطوط المجال من قطبه الجنوبي إلى قطبه الشمالي.

التدفق المغناطيسي (Φ_B)

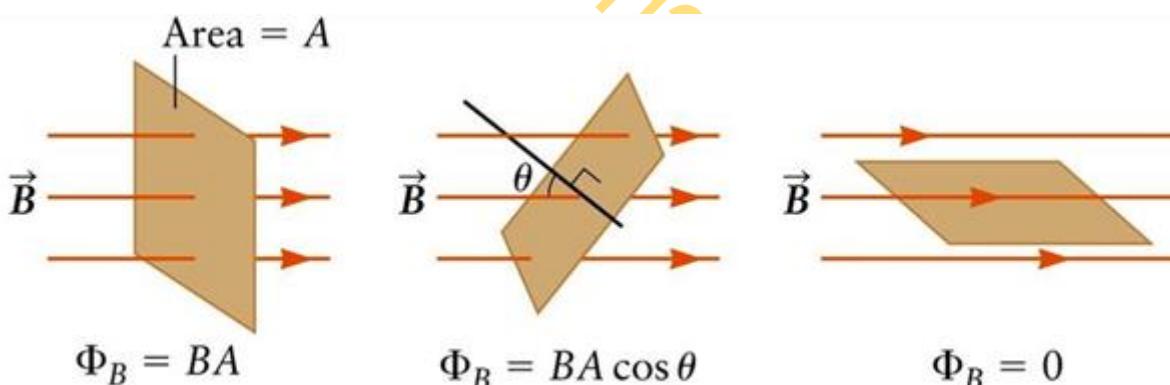
التدفق المغناطيسي هو قياس للمجال المغناطيسي الكلي الذي يمر عبر مساحة معينة. وهو مفيد للمساعدة في وصف تأثيرات القوة المغناطيسية على جسم ما يشغل مساحة معينة.

يمكننا تعريف التدفق المغناطيسي على النحو التالي
(وهو العدد الإجمالي لخطوط التدفق المغناطيسي التي تمر عبر سطح ما)

$$= \text{م}$$

Φ_B : التدفق المغناطيسي عبر سطح (وغيره) بكتافة التدفق المغناطيسي (تسلا) A : مساحة السطح (m^2)

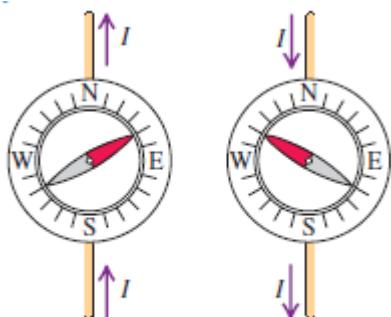
(الزاوية بين العمودي على طبيعي إلى) سطح واتجاه المجال المغناطيسي



الدرس الثاني

المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار كهربائي عبر موصل مستقيم**مقدمة**

كل تيار كهربائي يُنْتَج مجالاً مغناطيسياً. ويمكن تصور المجال المغناطيسي على شكل نمط من خطوط المجال الدائريّة المحيطة بالسلك.



التجارب المبكرة: في عام 1819، أظهر أورستد أن التيار الكهربائي قادر على التسبب في انحراف إبرة مغناطيسية موضوعة بالقرب من موصل يحمل تياراً كهربائياً.

عند مرور التيار الكهربائي في الموصل، ينحرف مؤشر مغناطيسي موضوع فوقه. وبمجرد توقف التيار، يعود المؤشر إلى موضعه الأصلي. أما إذا عُكِس اتجاه التيار، كما في الرسم التوضيحي على اليمين، فإن المؤشر ينحرف في الاتجاه المعاكس.

يجب التمييز بين تعبيرين هما التدفق المغناطيسي وكثافة التدفق المغناطيسي

كثافة التدفق المغناطيسي B

- يصف كثافة واتجاه خطوط المجال التي تمر عبر منطقة معينة كلما زادت كثافة خطوط المجال المغناطيسي، زادت كثافة التدفق المغناطيسي، والتي تُقاس بوحدة تスلا (T)، أي ما يعادل ويبير/ m^2 (Weber/m²).

- عندما تكون خطوط التدفق المغناطيسي أقرب إلى بعضها البعض، فإن كثافة التدفق المغناطيسي ستكون كبيرة والعكس صحيح.

- هو العدد الإجمالي لخطوط التدفق المغناطيسي التي تمر **عَادَة** (عبر وحدة مساحة حول النقطة)

$$B = \frac{b}{A}$$

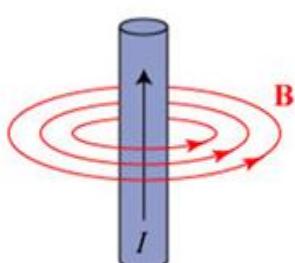
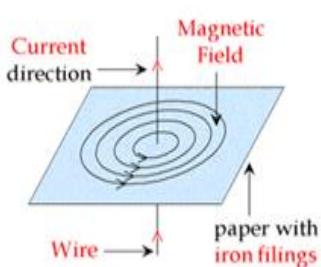
المجال المغناطيسي الناتج عن تيار كهربائي في سلك مستقيم:**شكل المجال المغناطيسي:**

يمكننا حفظ شكل المجال المغناطيسي باستخدام برادة الحديد التي يتم رشها على ورقة تحيط بالسلك في وضع رأسى.

أ) خطوط القوة المغناطيسية حول سلك مستقيم يحمل تياراً كهربائياً تكون عبارة عن دوائر متحدة المركز مراكزها تقع على السلك

ب) تكون خطوط التدفق المغناطيسي الدائريّة أقرب إلى بعضها البعض بالقرب من السلك، وأبعد عن بعضها البعض كلما زادت المسافة من السلك.

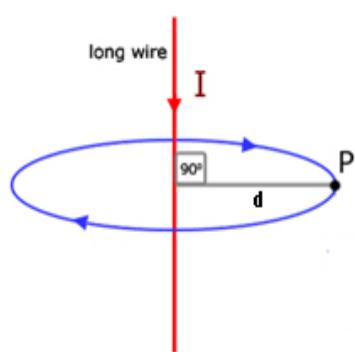
ج) يزداد التيار المار عبر السلك، وتتصبح الدوائر المتداخلة أكثر ازدحاماً.



يمكن التعبير عن كثافة المجال المغناطيسي عند نقطة معينة بالعلاقة التالية

$$B = \frac{\text{ميكرو}}{2\pi d}$$

تسُمى هذه العلاقة **قانون أمبير الدائري** أين:



بـ كثافة المجال المغناطيسي (تسلا) أناشدة التيار المار عبر السلك (أمبير). دالمسافة بين النقطة والسلك (متر).

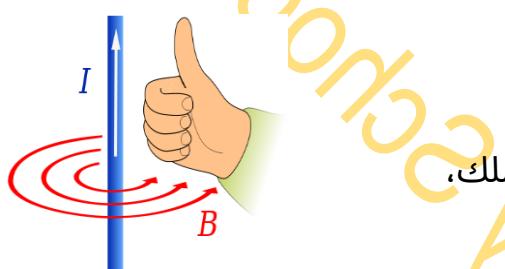
م: النفاذية المغناطيسية للوسط $B = 4\pi \times 10^{-7} \text{ نافاذية المغناطيسة (Wb/mA)}$

(إنها قدرة الوسط على اختراق خطوط التدفق المغناطيسي) **وحدة القياس**

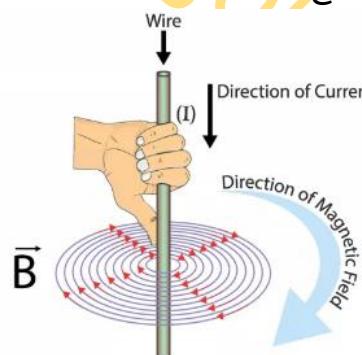
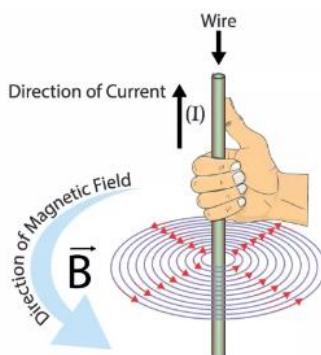
$$\text{Wb/mA} = \text{Tm / A}$$

اتجاه المجال المغناطيسي

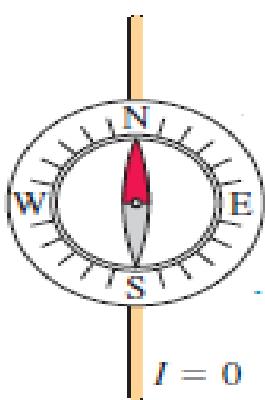
لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن تيار كهربائي في سلك، باستخدام **قاعدة اليد اليمنى لأمبير قاعدة اليد اليمنى لأمبير**:



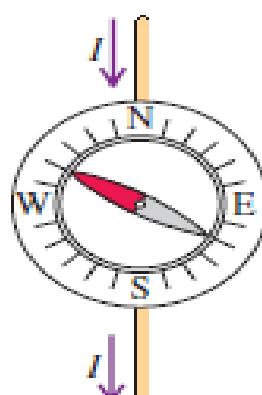
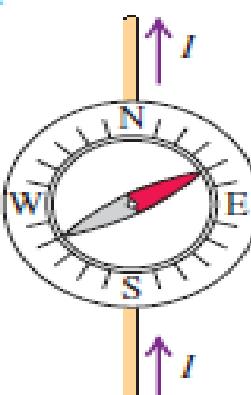
إذا كان الإبهام يشير إلى اتجاه التيار، فإن بقية الأصابع المحبطة بالسلك ستشير إلى اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن التيار.



When the wire carries no current, the compass needle points north.



When the wire carries a current, the compass needle deflects. The direction of deflection depends on the direction of the current.



الدرس الثالث

المجال المغناطيسي الناتج عن مرور التيار عبر ملف دائري (حلقة)

مقدمة

يمكن استخدام ملف دائري من الأسلاك لتوليد مجال مغناطيسي شبه منتظم يشبه مجال المغناطيس القصيبي القصير.

المجال المغناطيسي الناتج عن تيار في ملف دائري:

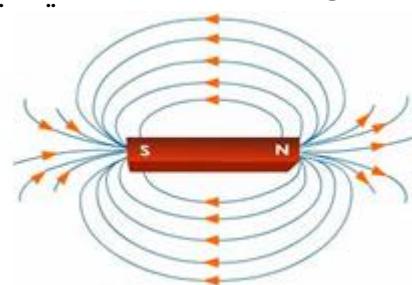
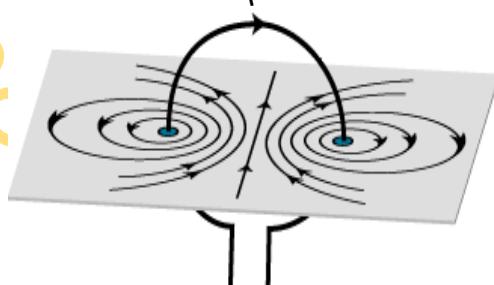
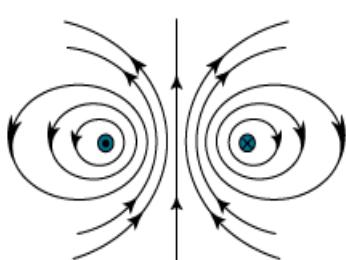
شكل المجال المغناطيسي

عندما يمر تيار كهربائي عبر ملف دائري، يتولد مجال مغناطيسي حوله يكون أكثر تركيزاً في مركز الحلقة منه خارج الحلقة.

(1) خطوط التدفق دائيرية تحيط بالجانبين

(2) لم تعد خطوط التدفق دائيرية بالقرب من المركز

(3) تصبح خطوط التدفق خطوطاً مستقيمة ومتوازية عمودية على مستوى الملف عند مركزه. وهذا يعني أن المجال المغناطيسي في هذه المنطقة منتظم.



مقدار كثافة المجال المغناطيسي (B):

يمكن التعبير عن كثافة المجال المغناطيسي في مركز الملف الدائري بالعلاقة التالية

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2r}$$

أين:

B: كثافة التدفق المغناطيسي (تسلا)
أناشدة التيار المار عبر السلك (أمبير). r: نصف قطر الملف الدائري (متر).

μ_0 : مللي أمبير (هوا 4π × 10⁻⁷ ويب/متر)

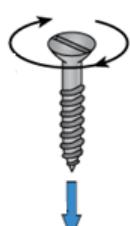
قاعدة اللولب الصحيحة (قاعدة ماكسويل اللولبية)

تُستخدم قاعدة اللولب الصحيح لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن تيار كهربائي في ملف دائري. إذا كان اتجاه الدوران (يتم تدوير المسamar الأيمن) يشير إلى اتجاه التيار (من + إلى -)، سيحدد اتجاه الحركة اتجاه المجال المغناطيسي.

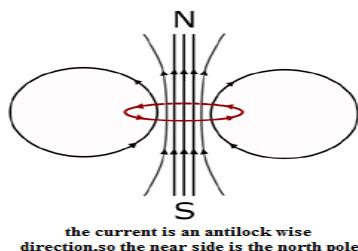
قاعدة الدوران باتجاه عقارب الساعة (ملف

القطبية): الجانب الذي يكون فيه التيار في اتجاه عقارب الساعة هو **القطب الجنوبي** بينما يكون الجانب الذي يكون فيه التيار في اتجاه مضاد للانغلاق هو **القطب الشمالي**.

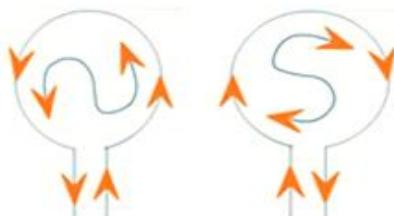
direction of rotation indicates the direction of current



direction of magnetic field



the current is an antilock wise direction, so the near side is the north pole



-عندما ينعكس اتجاه تدفق التيار، ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي.
-إذا كان سلك مستقيم بطول (L) يتم ثنيه (لتشكيل ملف دائري بنصف قطر (r)) وعدد لفات (n)، ثم

$$L = \text{محيط الملف الدائري} = 2\pi r \text{ نيوتن}$$

٢٠٢٣

الدرس الرابع

المجال المغناطيسي الناتج عن مرور التيار عبر ملف لولبي

مقدمة

-يعتبر الملف اللولبي عبارة عن ملف سلكي طويل مستقيم يمكن استخدامه لتوليد مجال مغناطيسي مشابه لمجال المغناطيسي الدائم.

-تتمتع الملفات اللولبية بعدد كبير من التطبيقات العملية في حياتنا اليومية.

المجال المغناطيسي الناتج عن تيار في ملف لولبي

شكل المجال المغناطيسي:

أ) عند مرور تيار كهربائي عبر ملف لولبي، يتولد مجال مغناطيسي حوله

(1) خطوط التدفق المغناطيسي خارج الملف اللولبي عبارة عن ملفات مغلقة تتحرك من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي.

(2) تكون خطوط التدفق المغناطيسي عبر منتصف الملف اللولبي (في الملف اللولبي) مستقيمة وموازية للمحور، لذا يكون المجال المغناطيسي منتظمًا

مقدار كثافة المجال المغناطيسي (B):

يمكن التعبير عن كثافة المجال المغناطيسي عند نقطة على محوره الداخلي بالعلاقة التالية

$$B = \frac{\mu NI}{L}$$

أين:

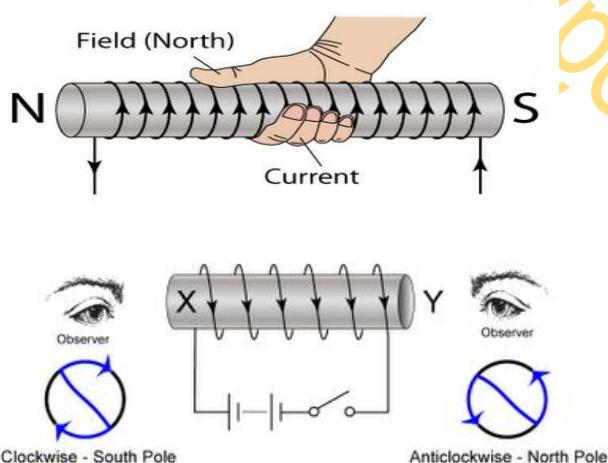
بـ كثافة المجال المغناطيسي في مركز الملف الدائري (تسلا) أناشدة التيار المار عبر الملف (أمبير). L طول الملف اللولبي (متر).

-نفاذية الوسط (هواء) = 4-7 (ويب/ملي أمبير) شمال
عدديات السلك في الملف اللولبي أو

$\int J$ أين J هو عدد اللفات لكل وحدة طول $=$ شمال

لاحظ أن:

كثافة المجال المغناطيسي يتم إنتاجه بواسطة ملف لولبي يحمل تياراً عند نقطة على محوره الداخلي، **الزيادات** عند ما قصيّب من الحديد المطاوع **مثبت فيه لأن الحديد المطاوع** **عنفاذية عالية**، لذلك ستكون **خطوط التدفق المغناطيسي** مركزة.



اتجاه المجال المغناطيسي

لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن تيار كهربائي في ملف لولبي

أ) قاعدة اليد اليمنى للأميير:

لـ **الأصابع الملفوفة** (يشير على طول الملف) إلى اتجاه التيار التقليدي (من + إلى -) بينما يشير الإبهام إلى القطب **الشمالي** (اتجاه المجال المغناطيسي داخل الملف اللولبي).

ب) قاعدة الدوران باتجاه عقارب الساعة (ملف القطبية):

الجانب الذي يكون فيه التيار في اتجاه عقارب الساعة هو **القطب الجنوبي** بينما يكون الجانب الذي يكون فيه التيار في اتجاه مضاد للانغلاق هو **القطب الشمالي**.

نقطة محايدة

(إنها النقطة التي تتلاشى عندها كثافة التدفق المغناطيسي الكلي)

تتشكل النقطة المحايدة عندما يلتقي مجالان مغناطيسيان متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه عند نقطة واحدة.

لاحظ أن:

عندما توضع إبرة مغناطيسية عند نقطة ما، فلا يحدث انحراف (تحريك بحرية)، وبالتالي فإن المجال المغناطيسي الكلي عند هذه النقطة يساوي صفرًا (نقطة محايدة).

$$B_t = 0$$

$$B_1 - B_2 = 0$$

$$B_1 = B_2$$

أين

B_t : إجمالي كثافة التدفق المغناطيسي عند نقطة ما.

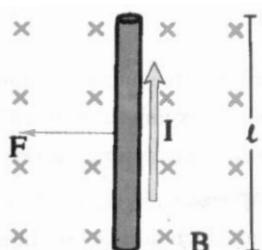
ب₁: كثافة التدفق المغناطيسي للموصل الأول. ب₂: كثافة التدفق المغناطيسي للموصل الثاني.

200%
الدرس الخامس

القوة المغناطيسية المؤثرة على السلك

القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك يحمل تياراً موضوع في مجال مغناطيسي منتظم

(أ) إذا وضعنا سلكاً مستقيماً يحمل تياراً كهربائياً بين قطبي مغناطيسي ذي كثافة تدفق مغناطيسي بـ F الناتجة التي تؤثر على السلك وتكون عمودية على كل من السلك والمجال.

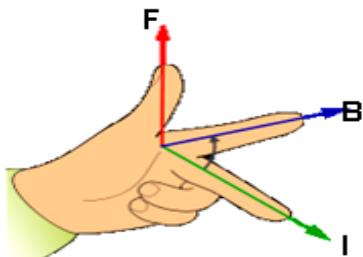


(ب) يعكس اتجاه القوة إذا عكست اتجاه التيار أو المجال المغناطيسي. وفي جميع الحالات، تكون القوة عمودية على كل من التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي.

(ج) في حالة السماح للسلك بالتحرك بسبب هذه القوة المتولدة، يكون اتجاه الحركة عمودياً على كل من التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي.

قاعدة فليمنج لليد اليسرى

يسخدم لتحديد اتجاه القوة (الحركة) لسلك مستقيم يحمل تياراً كهربائياً

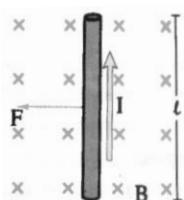


قاعدة فليمنج لليد اليسرى الإبهام والسبابة والوسطى في اليد اليسرى كلها متعامدة مع بعضها البعض.

يشير الإبهام إلى اتجاه حركة السلك. ويشير السبابة (إصبع الأول) إلى اتجاه المجال.

يشير إصبع الأوسط (الثاني) إلى اتجاه التيار المار عبر السلك.

العوامل المؤثرة على القوة المؤثرة على سلك يحمل تياراً معلقاً بزاوية قائمة على مجال



مغناطيسي:

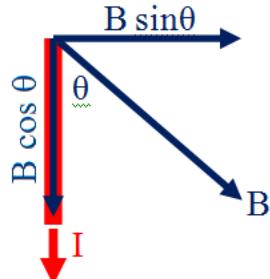
$$F \propto L \quad (L)$$

$$F \propto I \quad (\text{أنا})$$

$$F \propto B \quad (B)$$

$$F \propto IBL$$

$$F = IBL \times \text{ثابت}$$



الثابت يساوي واحد عندما يكون (B) بالتسلا (واير / م²)، و(I) بالأمبير، و(L) بالمتر، و(F) بالنيوتن.

$$F = IBL$$

على العموم، عندما يصنع سلك يحمل تياراً كهربائياً موضوع في مجال مغناطيسي منتظم زاوية (θ) مع المجال المغناطيسي، فإن

$$F = BIL \sin \theta$$

أين θ هي الزاوية بين السلك والمجال المغناطيسي

للحظان

(أ) عندما يصنع سلك زاوية θ مع المجال المغناطيسي

$$IB \sin \theta = F$$

(ب) عندما يوضع السلك عمودياً على المجال المغناطيسي ($\theta = 90^\circ$ أو 270°)

= F، برنامج البكالوريا الدولية

لذلك تكون القوة في أقصى قيمة لها

(ج) يوضع السلك موازياً للمجال المغناطيسي ($\theta = 0^\circ$ أو 180°). لذلك لا يتحرك السلك

$$F = 0$$

كثافة التدفق المغناطيسي

عندما يوضع السلك عمودياً على المجال المغناطيسي

$$F = B$$

$$= (I) (L)$$

يمكن تعريف كثافة التدفق المغناطيسي

(إنها القوة المغناطيسية التي تؤثر على سلك من 1 متر طول يحمل تياراً من شدة 1 آمبير بوضعه بشكل عمودي على المجال المغناطيسي).

تسلا

(إن كثافة التدفق المغناطيسي هي التي تمارس قوة من 1 نيوتن على سلك من 1 متر طول يحمل تياراً من شدة 1 آمبير بشكل عمودي على المجال المغناطيسي).

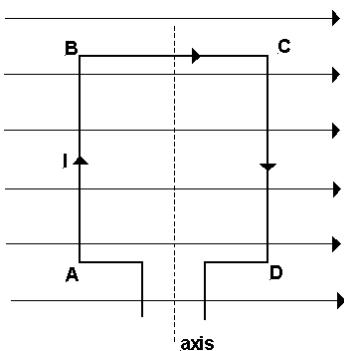
هي كثافة التدفق المغناطيسي عندما يكون العدد الإجمالي لخطوط التدفق المغناطيسي التي تمر بشكل عمودي عبر وحدة مساحة حول النقطة 1 وير

٢٠٢٣

الدرس السادس

عزم الدوران المغناطيسي المؤثر على ملف

عزم الدوران المغناطيسي المؤثر على ملف يحمل تياراً موضوعاً في مجال مغناطيسي منتظم



لنفترض وجود ملف سلكي مستطيل الشكل (ABCD) يحمل تياراً كهربائياً (أنا) يتم وضعه في مجال مغناطيسي بكتافة تدفق (ب)، بطريقتها **بالتوازي مع اتجاه المجال**، كما هو موضح في الشكل المقابل 1) السلكان (AD) و(BC) متوازيان مع خطوط التدفق المغناطيسي، لذا فإن القوة المؤثرة عليهما تساوي صفرأ.

2) السلكان (AB) و(CD) متعامدان على خطوط التدفق المغناطيسي، لذا فهما يخضعان لقوى متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه.

$$BIL_{ABF} = BIL \quad \text{قرص مضبوط}$$

وبالتالي، فإن الملف يتأثر بعزم الدوران -- مما سيؤدي إلى دوران الملف حول محوره.

القوة - المسافة العمودية

$$= BIA_{AB-L} \quad \text{إعلان}$$

مساحة الملف (A) = L_{AB} إعلان

إذا كان الملف يتكون من (N) لفة، فإن عزم الدوران الكلي يصبح:

بيان

إذا كان الملف مائلًـ في اتجاه خطوط التدفق المغناطيسي بحيث يصنع العمودي على مستوى الملف زاوية (θ) مع اتجاه خطوط التدفق المغناطيسي،

بيان سين θ

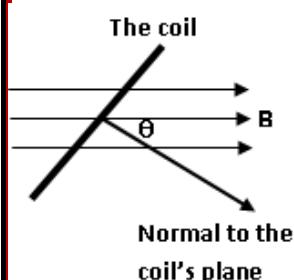
الزاوية بين العمودي (المتعامد) على مستوى الملف واتجاه المجال المغناطيسي: θ

عزم الدوران المغناطيسي المقاس بـ

العوامل المؤثرة على عزم الدوران للزوج على ملف مستطيل يحمل تياراً في مجال

مغناطيسي: (٢)

(1) كثافة التدفق المغناطيسي B (ب) ((مع ثبات العوامل الأخرى))



نيون متر = تيرا متر

- (2) شدة التيار α ((أنا)) (مع ثبات العوامل الأخرى)
- (3) مساحة مستوى الملف α ((أ)) (مع ثبات العوامل الأخرى)
- (4) عدد لفات الملف α ((ن)) (مع ثبات العوامل الأخرى)
- (5) الزاوية بين العمودي على مستوى الملف وخطوط التدفق المغناطيسي

للحظأن

عندما يصنع العمودي على مستوى الملف زاوية θ مع المجال المغناطيسي

$$\tau = B I A N \sin \theta$$

ب) عندما يكون العمودي على مستوى الملف عمودياً على المجال المغناطيسي ($\theta = 90^\circ$ أو 270°) (مستوى الملف موازٍ للمجال المغناطيسي)

$$\tau = B I A N$$

لذلك فإن عزم الدوران المغناطيسي يكون في أقصى قيمة له

ج) عندما يكون العمودي على مستوى الملف موازيًّاً للمجال المغناطيسي ($\theta = 0^\circ$ أو 180°) (مستوى الملف عمودي على المجال المغناطيسي)

$$\tau = 0$$

لذلك لا يدور الملف

عزم ثنائي القطب المغناطيسي (|md|) (العزم المغناطيسي للحلقة)

عزم ثنائي القطب المغناطيسي = عمودي على مستوى الملف

(وهو متوجه ينبع (جراخ) من القطب الشمالي للملف ويكون عمودياً على مساحته)

$$[Am] = [Ayan] = [Maks/B]$$

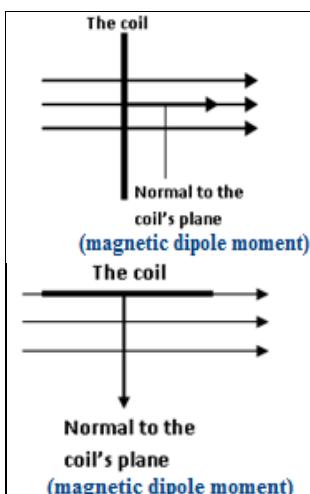
عزم ثنائي القطب المغناطيسي يمكن تعريفها بطريقة أخرى (هو عزم الدوران المغناطيسي المؤثر على ملف يحمل تياراً موضوعاً بالتوازي مع مجال مغناطيسي بثافة تدفق تبلغ 1 تسلا)

عزم ثنائي القطب المغناطيسي المقاس بأكون 2 . = نيوتن متر / تسلا. يعتمد مقدار القوة المتبادلة على

1) شدة التيار ([Am]) | ((مع ثبات العوامل الأخرى))

2) مساحة مستوى الملف ([Am]) | ((مع ثبات العوامل الأخرى))

3) عدد لفات الملف ([Am]) | ((مع ثبات العوامل الأخرى))



(العزم المغناطيسي ثنائي القطب موازٍ لخطوط التدفق المغناطيسي)

(مستوى الملف عمودي على خطوط التدفق المغناطيسي)

$$\tau = 0$$

$$\theta = 90^\circ$$

(العزم المغناطيسي ثنائي القطب عمودي على خطوط التدفق المغناطيسي) (مستوى الملف موازٍ لخطوط التدفق المغناطيسي)

$$\tau_{الأعلى} = [بيان]$$

$$\theta = 90^\circ$$

التطبيقات:
إن مفهوم الازدواج (العزم المغناطيسي) المؤثر على الملف الذي يحمل التيار هو الفكرة التي تستند إليها العديد من الأجهزة مثل الجلفانومتر والمحركات الكهربائية.

الوحدة الثانية
الحث الكهرومغناطيسي

صفحة	درس
18	الدرس الأول: معنى الحث الكهرومغناطيسي وقانون فاراداي
20	الدرس الثاني: قاعدة لينز
22	الدرس الثالث: الاستقرار المتبادل والاستقرار الذاتي
25	الدرس الرابع: المولد الكهربائي (الدينامو)
28	الدرس الخامس: المحول الكهربائي

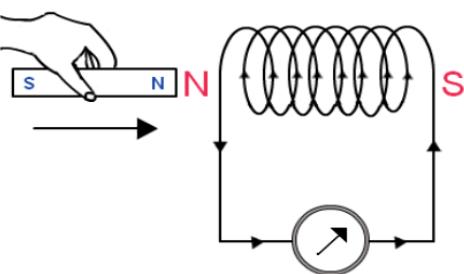
عزيزي الطالب، بنهاية هذه الوحدة، ينبغي أن تكون لديك المهارات والمعرفة التالية
فهم مفهوم الحث الكهرومغناطيسي، وشرح قانون فاراداي.

اشرح قانون لينز
فهم مفهوم الاستقرار المتبادل والاستقرار الذاتي
حدد الحث المتبادل والثت الذاتي والعوامل المؤثرة في كل منهما. احسب القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في سلك مستقيم متحرك.
حدد بنيّة المولد الكهربائي وكيفية عمله. احسب القيمة اللحظية للقوة الدافعة الكهربائية المستحثة. حدد بنية المحول الكهربائي وكيفية عمله.

معنى الحث الكهرومغناطيسي وقانون فارادي

مقدمة

للحظة أن مرور تيار كهربائي في موصل ينْتَج مجالاً مغناطيسياً. بعد فترة وجيزة من اكتشاف أورستد أن التيار الكهربائي يمكن أن ينْتَج المغناطيسية، طُرِح سؤالٌ مفاده: هل يمكن للمجال المغناطيسي أن ينْتَج مجالاً مغناطيسياً؟



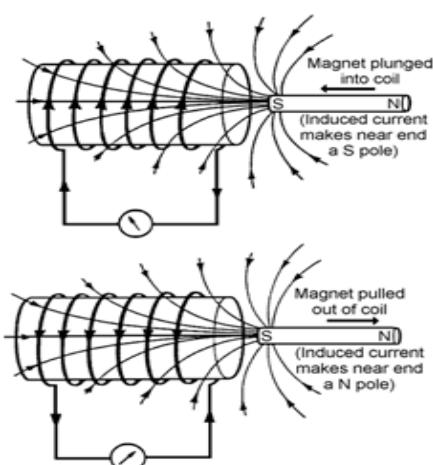
التيار الكهربائي عالج فارادي هذه المشكلة من خلال سلسلة من التجارب التي أدت إلى أحد الإنجازات الكبرى في مجال الفيزياء، ألا وهو اكتشاف

الحث الكهرومغناطيسي. بناءً على هذا الاكتشاف، تم تحديد مبدأ عمل ووظيفة معظم المعدات الكهربائية - مثل المولدات الكهربائية (الدينامو) والمحولات - على ذلك.

الحث الكهرومغناطيسي اكتشفه مايكل فارادي. تولد قوة دافعة كهربائية (تيار) في موصل أثناء تحركه (قطعه) عبر المجال المغناطيسي

معنى الحث الكهرومغناطيسي

تجربة فارادي:



صنع مايكل فارادي ملفاً ولبياً طويلاً مستقيماً قام فارادي بلف سلك نحاسي معزول بحيث تكون لفات الملف منفصلة عن بعضها. ثمّ وصل طرفي الملف بجهاز جلفانومتر حساس، وكانت قراءة الصفر عند منتصف مقاييسه المدرج، كما هو موضح في الشكل. عندما غمر فارادي ملفاً مغناطيسياً في الملف، لاحظ انحراف مؤشر الجلفانومتر لحظياً في اتجاه معين. وعند إزالة المغناطيس من الملف، لوحظ انحراف المؤشر في الاتجاه المعاكس. تُعرف هذه الظاهرة بالحث الكهرومغناطيسي.

الحث الكهرومغناطيسي

(هي ظاهرة يتم فيها توليد قوة دافعة كهربائية مستحثة وتيار مستحث في الموصى بواسطة مجال مغناطيسي متغير) (**التدفق المغناطيسي**) علاوة على ذلك، فإن تأثير المغناطيسي يقابل رد فعل من الملف.

أ) إذا تم غمر المغناطيسي في الملف، فإن المجال المغناطيسي المستحث يعمل بطريقة تعكس حركة المغناطيسي.

ب) إذا تم سحب المغناطيسي للخارج، فإن المجال المغناطيسي المستحث يعمل على الاحتفاظ بالمغناطيسي في مكانه.

خاتمة

وخلص فارادي إلى أن القوة الدافعة الكهربائية والتيار المستحثين قد تم توليدهما في الدائرة نتيجة للتغير الزمني لخطوط المجال المغناطيسي أثناء قطعها لملفات الملف أثناء حركة المغناطيسي.

قوانين فارادي:

انطلاقاً من ملاحظات فارادي المذكورة أعلاه، يمكن استنتاج ما يلي:

1) الحركة النسبية بين موصى ومجال مغناطيسي، حيث يتغير التدفق المغناطيسي المرتبط بالموصى مع الزمن، تولد قوة دافعة كهربائية في الموصى. ويعتمد اتجاه هذه القوة على اتجاه حركة الموصى بالنسبة للمجال.

2) يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة مع المعدل الذي يقطع به الموصى خطوط التدفق المغناطيسي المرتبط به.

3) مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة يتناسب مع عدد لفات الملف N التي تقطع (أو ترتبط بـ) التدفق المغناطيسي.

$$\frac{-\Delta \Phi}{\Delta t} =$$

أين $\Delta \Phi$ يمثل التغير في التدفق المغناطيسي الذي يعترضه الموصى خلال الفترة الزمنية Δt

تشير الإشارة السالبة في العلاقة المذكورة أعلاه إلى أن اتجاه القوة الدافعة الكهربائية المستحثة أو التيار المستحث يميل إلى معاكسة السبب الذي أدى إلى ظهوره. تعرف هذه القاعدة بقاعدة لينز.

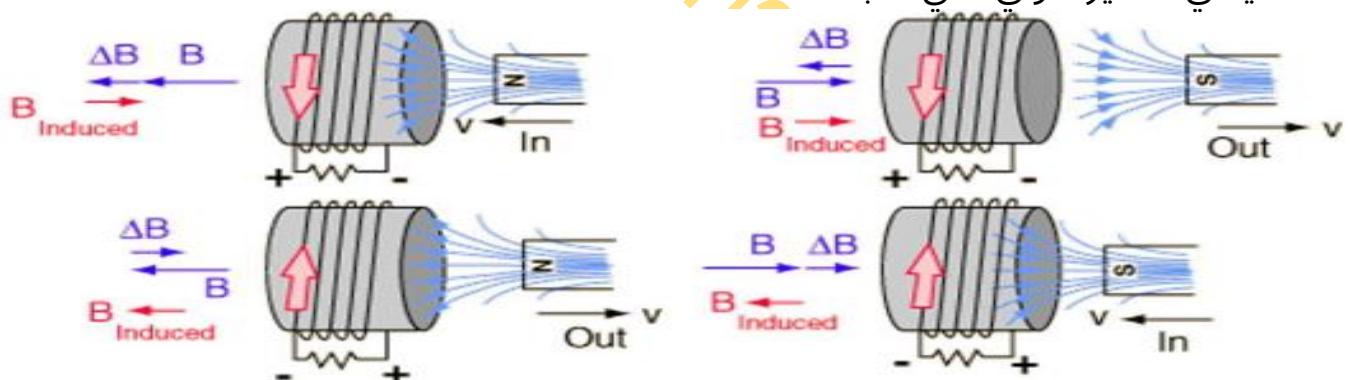
الدرس الثاني
قانون لينز

قانون لينز

يستخدم قانون لينز لتحديد اتجاه التيار المستحدث في ملف، وهو قانون الحث الكهرومغناطيسي لينز. تنص على أن

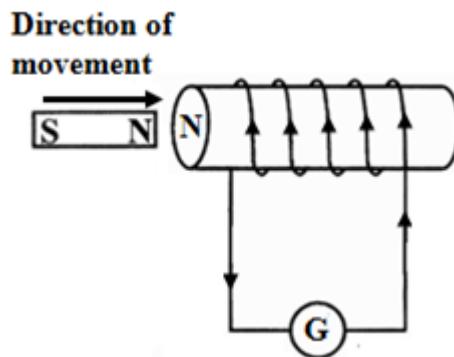
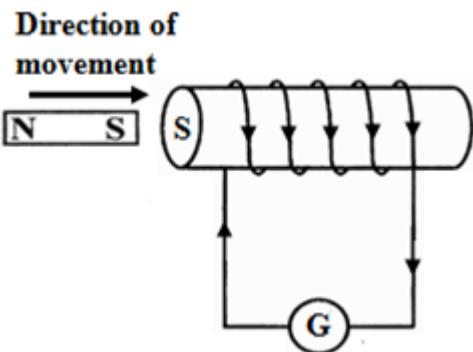
(يجب أن يكون اتجاه التيار المستحدث معاكساً للتغير الذي أدى إلى حدوثه)

أي أن اتجاه التيار المستحدث في موصل بفعل مجال مغناطيسي متغير (وفقاً لقانون فارادي للحث الكهرومغناطيسي) يكون بحيث يكون المجال المغناطيسي الناتج عن التيار المستحدث عارض المجال المغناطيسي المتغير الأولي الذي أنشأه.

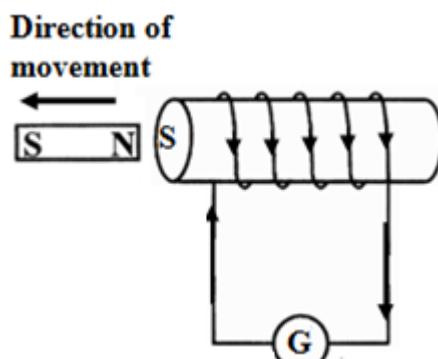
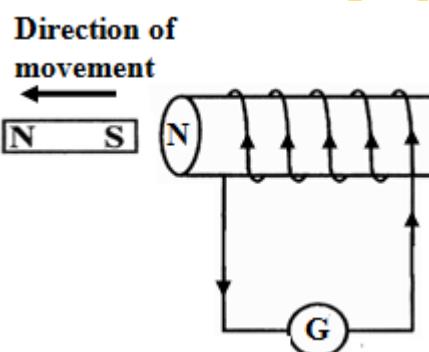


شرح قانون لينز:

1) عندما يقترب القطب الشمالي أو القطب الجنوبي سيكون التيار المستحدث في الملف في هذا الاتجاه تشكيلاً قطب مماثلًّا معارضة حركة المجال المغناطيسي. (قوة تناحر).



2) متن العودة إلى الخلف، القطب الشمالي أو القطب الجنوبي، التيار المستحدث في الملف. سيكون في هذا الاتجاه تشكيلاً أقطاب مختلفةً معارضٍ لحركة المجال المغناطيسي (قوة الجذب).



وفقاً لقاعدة لينز، يعتمد اتجاه التيار المستحدث المتولد في الموصى على

1) اتجاه الحركة.

2) اتجاه المجال المغناطيسي.

يتذكر

أ) عندما يتم تحريك المغناطيسي باتجاه الملف **اللولبي**، يزداد التدفق المغناطيسي المرتبط بالملف، ويتشكل الطرف القريب من الملف كقطب يميل إلى صدّه.

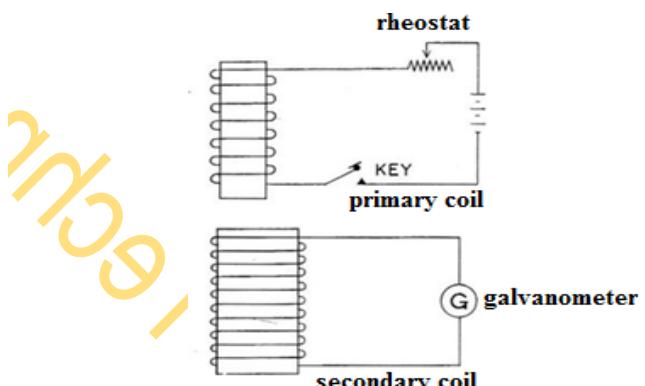
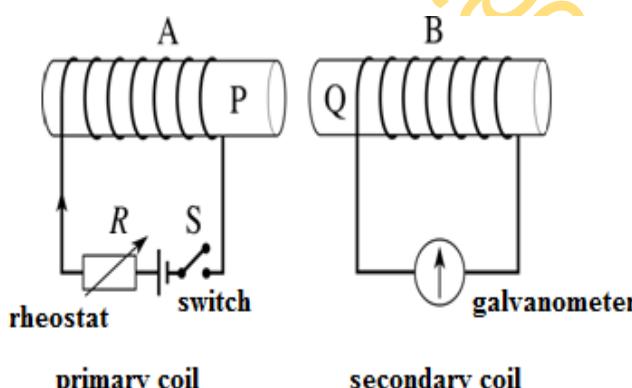
ب) عندما يتم إبعاد المغناطيسي عن الملف **اللولبي**، يؤدي انخفاض التدفق المغناطيسي المرتبط بالملف إلى تكوين قطب مختلف عن القطب الموجود في الطرف القريب من الملف، كما لو كان يميل إلى جذبه بعيداً.

الدرس الثالث

الاستقراء المتبادل والاستقراء الذاتي

الحث المتبادل بين ملفين:

(إنها قوة دافعة كهربائية مستحبة تحدث بين ملفين عندما تتولد قوة دافعة كهربائية مستحبة في أحدهما (الملف الثانوي) بسبب تغير التيار في الملف الآخر (الملف الابتدائي)، مما يعاكس التغير المسبب له).

**إنتاج القوة الدافعة الكهربائية المستحبة على الملف الثانوي** تتولد

القوة الدافعة الكهربائية المستحبة في الملف الثانوي بعدة طرق

- (1) قم بغمmer أو إزالة الملف الابتدائي من داخل الملف الثانوي.
- (2) باستخدام المقاومة المتغيرة، قم بزيادة أو تقليل شدة التيار في الملف الابتدائي.
- (3) باستخدام المفتاح، قم بتشغيل أو إيقاف الدائرة الرئيسية

يتذكر

- 1) لا يوجد جهد كهربائي مستحبث في الملف الثانوي إلا عندما أ) يتغير التيار في الملف الابتدائي.

ب) الحركة النسبية بين الملفين الابتدائي والثانوي

(قطع خطوط التدفق في الملف الابتدائي الأسلامك في الملف الثانوي. ويؤدي هذا القطع إلى توليد قوة دافعة كهربائية في الملف الثانوي تتناسب في انحراف مؤشر الجلقانومتر. 2) إذا تم إغلاق المفتاح في الملف الابتدائي لبعض ثوانٍ، فلن تتولد قوة دافعة كهربائية مستحبثة في الملف الثانوي. وذلك لأن المجال المغناطيسي ثابت (لا يوجد تغير في التدفق المغناطيسي).

يوجدن نوعان من القوة الدافعة الكهربائية المستحبثة المتولدة في الملف

أولاً: القوة الدافعة الكهربائية المستحثة بالظاهر

- أ) تشغيل التيار في الملف الابتدائي.
- ب) زيادة شدة التيار في الملف الابتدائي باستخدام مقاومة متغيرة.
- ج) تحريك الملف الابتدائي بالقرب من الملف الثانوي أو داخله أولاً: القوة

الدافعة الكهربائية الأمامية

- أ) إبعاد الملف الابتدائي عن (إخراج) الملف الثانوي
- ب) تقليل شدة التيار في الملف الابتدائي باستخدام مقاومة متغيرة.
- ج) إيقاف التيار في الملف الابتدائي

القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة في الملف الثانوي (القوة الدافعة الكهربائية) يمكن حسابها

$$\text{المجال الكهرومغناطيسي}^2 = \frac{-M}{2\Delta t} \times \Delta \Phi = -N_1 \Delta I$$

(القوة الدافعة الكهربائية): القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في الملف الثانوي (فولت)

$\frac{\Delta I}{\Delta t}$: معدل تغير التيار في الملف الابتدائي (أمبير/ثانية)

M : معامل الحث المتبادل (الحث المتبادل) (هيبيري): عدد لفات الملف

$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$: معدل تغير التدفق المغناطيسي المرتبط بالملف الثانوي (ويبير/ثانية)

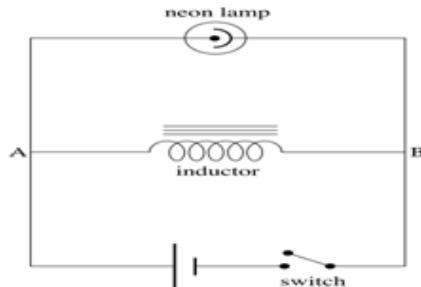
يعتمد معامل الحث المتبادل بين ملفين على...

أ) وجود قلب حديدي داخل الملف.

ب) حجم الملف وعدد لفاته.

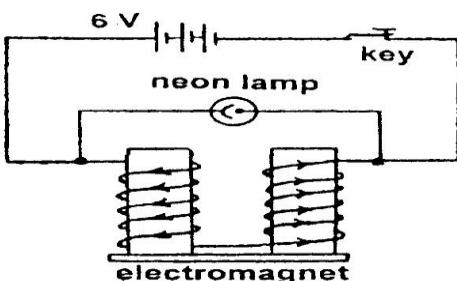
ج) المسافة التي تفصل بينهما.

يعتبر المحول مثالاً واضحاً على الحث المتبادل

**ثانياً: الحث الذاتي في ملف:**

عند مرور تيار كهربائي في دائرة كهربائية، فإنه ينشئ مجالاً مغناطيسيًا يسبب تدفقاً مغناطيسيًا عبر الدائرة نفسها؛ ويغير هذا التدفق بتغير التيار. وبالتالي، فإن أي دائرة كهربائية تحمل تياراً متغيراً تولد فيها قوة دافعة كهربائية نتيجة لتغير مجالها المغناطيسي.

(ظاهرة توليد القوة الدافعة الكهربائية في ملف بسبب التغير في التيار في نفس الملف، وبالتالي التغير في التدفق المغناطيسي في الملف)

للحظأن:

1) هذه القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة نتيجة الحث الذاتي للملف على إيقاف التشغيل أو تشغيل دائريها، وفقاً لقاعدة لينز.

2) يتطلب مصباح النيون فرق جهد يبلغ حوالي 180 فولت حتى يضيء.

3) عندما يكون عدد لفات الملف كبيراً، ستكون القوة الدافعة الكهربائية المستحثة عند إيقاف تشغيل دائرة أكبر بكثير

أكبر من حجم البطارية، مما يتسبب في توهج مصباح نيون موصول بالتوالي بين طرفي الملف

يمكن حساب القوة الدافعة الكهربائية الذاتية المتولدة في الملف (القوة الدافعة الكهربائية).

$$\text{القوة الدافعة الكهربائية} = -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

(القوة الدافعة الكهربائية): القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في الملف الثانوي (فولت)

$\frac{\Delta \phi}{\Delta t}$: معدل تغير التيار في الملف (أمبير/ثانية)

L : معامل الحث الذاتي (الحث الذاتي) (هيوني)

يعتمد معامل الحث الذاتي (معامل الحث الذاتي) للملف على

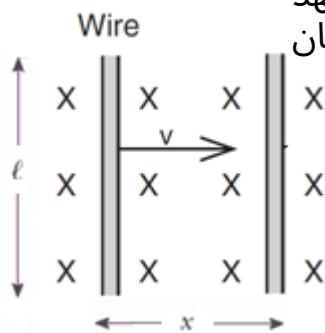
1) هندسة الملف (الحجم والطول وعدد اللفات)

2) المسافة بين المنعطفات

3) وجود قلب حديدي داخل الملف (النفاذية المغناطيسية)

الدرس الرابع المولد الكهربائي (الدينامو)

القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في سلك مستقيم يتحرك عمودياً على مجال مغناطيسي: إذا قطع سلك مجالاً مغناطيسياً، أو العكس، يتولد فرق جهد بين طرفي السلك. ويسبب هذا الجهد المستحث في مرور تيار كهربائي إذا كان السلك جزءاً من دائرة مغلقة.



عندما يكون طول السلك (l) يتم تحريكه) في اتجاه عمودي على المجال المغناطيسي ذي الكثافة (B) بسرعة (v), بحيث يتم إزاحته مسافة (Δx) في الوقت (Δt).

$$\text{قوة دافعة كهربائية مستحثة تتولد بين طرفي} \frac{\Delta x}{\Delta t} v B$$

يتم تحديد السلك بواسطة

$$\text{القوة الدافعة الكهربائية} = B v$$

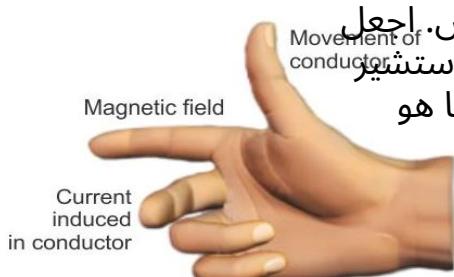
سلك يتحرك بسرعة ويصنع زاوية (θ) مع المجال المغناطيسي:

إذا حركت الأسلك بزاوية على طول اتجاه المجال المغناطيسي

$$\text{القوة الدافعة الكهربائية} = B v \sin \theta$$

قاعدة فليمنج لليد اليمنى

يستخدم لتحديد اتجاه التيار المستحث في السلك مد الإبهام والسبابة والوسطى من اليد اليمنى، بحيث تكون متعمدة مع بعضها البعض. أجعل السبابة تشير إلى اتجاه المجال، والإبهام إلى اتجاه الحركة، وعندما ستتشير الوسطى (مع بقية الأصابع) إلى اتجاه التيار أو الجهد المستحث كما هو موضح في الشكل.

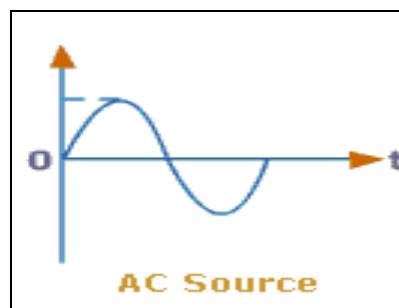
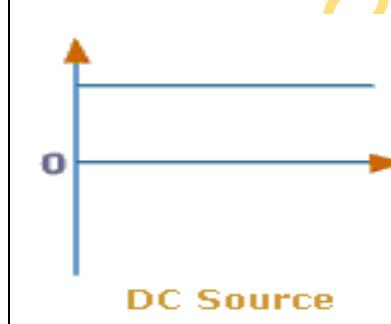


يتدفق التيار الكهربائي بطريقتين:

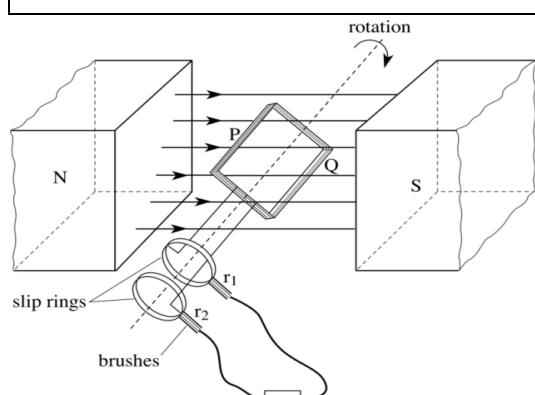
- 1) التيار المتردد (AC)
- 2) التيار المستمر (DC).

التيار المستمر (DC).

- 1) التيار الذي يتدفق في اتجاه واحد فقط في الدائرة الكهربائية
- 2) له شدة ثابتة واتجاه ثابت
- 3) ينتج مجالاً مغناطيسيًا ثابتاً (مستقرًا)
- 4) تردد = صفر
- 5) يتم إنتاجه بواسطة بطارية أو مولد تيار مستمر



- التيار المتردد (AC)**
- 1) التيار الذي يتدفق ذهاباً وإياباً في اتجاهين متعاكسين في دائرة كهربائية
 - 2) يغير اتجاهه وشدة بشكل دوري
 - 3) ينتج مجالاً مغناطيسيًا متغيراً
 - 4) له تردد
 - 5) يتم إنتاجه بواسطة مولد التيار المتردد.



أولاً: مولد التيار المتردد (دينامو)
مولدت التيار المتردد هو جهاز يستخدم لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية. مبدأ يعتمد ذلك على مبدأ الحث الكهرومغناطيسي، والذي بموجبه يتم توليد قوة دافعة كهربائية في ملف عند تدويره في مجال مغناطيسي منتظم.

الأجزاء الأساسية لمولد التيار المتردد

مغناطيسي محال:

مغناطيسي ذو مجال قوي (مغناطيسي دائم أو مغناطيسي كهربائي) بأقطاب م-curved. تنتج الأقطاب المقعرة مجالاً مغناطيسيًاشعاعياً (مجالاً مغناطيسيًا منتظمًا).

هيكل داعم:

هو عبارة عن ملف مستطيل الشكل يتكون من عدد كبير من لفات السلك الملفوف على قلب من الحديد المطاوع المصفح ذي نفاذية عالية **حلقتان**

انزلقتان:

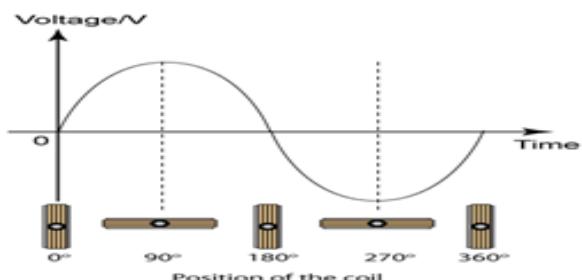
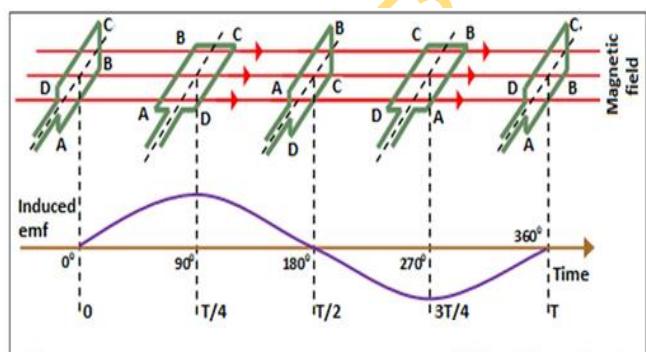
يتم توصيل طرفي الملف بحلقتين انزلقتين تدوران مع الملف.

كل حلقة انزلقية تكون دائمةً على اتصال بنفس فرشاة الكربون.

فرشاتان من الجرافيت:

تلامس فرشاتان كربونيتان كل حلقة من الحلقات التي تشكل أطراف الدائرة الخارجية

تنقل التيار المستحدث في الملف إلى الدائرة الخارجية من خلالها. لا تدور الفرشتان مع الملف.



عمل

عندما يدور الملف، تقطع جوانبه عبر تغير خطوط المجال المغناطيسي، والتدايق المغناطيسي المرتبط بالملف، ويتدفق التيار المستحدث في الملف، وبالتالي يكون للتيار المستحدث شدة متغيرة. ويحدد اتجاه التيار المستحدث بقاعدة اليد اليمنى لفليمنج.

يتغير اتجاه التيار المستحدث في الدائرة الخارجية مع كل نصف دورة للملف. لذا، فإن التيار المستحدث متناوب. وبما أن المحرك يكمل عدداً من الدورات في ثانية واحدة، فإن التيار المتناوب يكون بتردد معين. و يتم إنتاجه **القوة الدافعة الكهربائية المستحدثة في الدينامو**

لنفترض وجود ملف مستطيل الشكل مساحته أ يحتوي على شمال يدور، يدور حول محوره في دائرة بتردد ω في مجال مغناطيسي منتظم يبدأ بـ **B** دورانه من **الوضع الصفرى عندما يكون مستوى على خطوط التدايق** تتحرك جوانبه بسرعة خطية ثابتة، مشكلاً زاوية θ مع اتجاه المجال المغناطيسي. عندئذٍ تكون القيمة اللحظية للقوة الدافعة الكهربائية المستحدثة المتولدة في الملف

=

المجال الكهرومغناطيسي ملف: يمثل القيمة اللحظية للقوة الدافعة الكهربائية المستحدثة

θ : الزاوية بين العمودي على مستوى الملف (محور الملف) وخطوط التدايق المغناطيسي.

القيمة اللحظية للتيار المستحدث I يمكن توليدتها في ملف المقاومة الكلية R يمكن الحصول على ذلك من العلاقة التالية

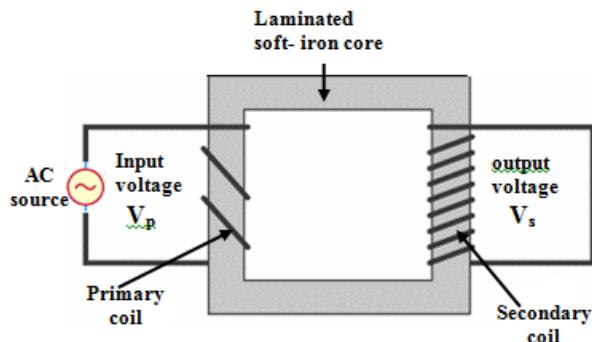


المحول الكهربائي

الدرس الخامس

المحول الكهربائي

المحول هو جهاز كهربائي يستخدم لتحويل الجهد المتردد المنخفض إلى جهد متعدد عالٍ والعكس.



ينقل المحول الطاقة الكهربائية من دائرة كهربائية إلى أخرى. ويعتمد هذا المحول على مبدأ الحث الكهرومغناطيسي (الحث المتبادل بين ملفين).

يتكون المحول من ملفين ابتدائي وثانوي معزولين عن بعضهما، ملفوفين على قلب حديدي ناعم. ولتقليل التيار الدوامية، يستخدم قلب حديدي رقائقي.

التيارات الدوامية

(هي تيارات مستحبة تدور في مسارات مغلقة نتيجة لتغير التدفق المغناطيسي عبر موصل صلب، مصحوباً بتأثير التسخين))

عمل

يطبق تيار متعدد على الملف الابتدائي. يُنتج التيار المتغير باستمرار في الملف الابتدائي تدفقاً مغناطيسيًا متغيراً فيه، والذي بدوره يُنتج تدفقاً مغناطيسيًا متغيراً في الملف الثانوي. وبالتالي، تتولد قوة دافعة كهربائية مستحبة على الملف الثانوي.

لنفترض V_p ولتكن القوة الدافعة الكهربائية المستحبة في الملفات الأولية والثانوية N_p و N_s ليكن عدد اللفات في الملفين الابتدائي والثانوي على التوالي.

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{\text{فـ}}{\text{فـ}}$$

نـ

بالنسبة للمحول المثالـي، تكون القدرة الداخلة مساوية للقدرة الخارجة.

$$V_s = V_p$$

حيث أننا و أنا هي تيارات في الملفات الأولية والثانوية.

$$\frac{\text{أنا}}{\text{شمال}} - \frac{\text{أنا}}{\text{شمال}} = \frac{sV}{PV}$$

$$\frac{\text{أنا}}{\text{شمال}} = \frac{\text{أنا}}{\text{شمال}} , \text{ هكذا}$$

$$= \frac{\text{أنا}}{\text{أنا}} = \frac{\text{أنا}}{\text{أنا}}$$

$$= \frac{\text{أنا}}{\text{أنا}} = \frac{\text{أنا}}{\text{أنا}}$$

حيث K تسمى نسبة المحول (بالنسبة للمحول الرافع $1 < K$ وبالنسبة للمحول الخافض $1 > K$)

في محول رفع الجهد $V_s > V_p$ مما يعني أنني أنا و بالتألي، يزيد المحول الرافع للجهد الجهد عن طريق تقليل التيار، وهو ما يتواافق مع قانون حفظ الطاقة. وبالمثل، يخضع المحول الخافض للجهد الجهد عن طريق زيادة التيار.

كفاءة المحول

تعرف كفاءة المحول بأنها نسبة الطاقة الكهربائية الخارجة إلى الطاقة الكهربائية الداخلة قوة.

$$\frac{V_s \text{أنا} - 100}{V_p \text{أنا}} = \eta$$

$$\frac{V_s \text{أنا}}{V_p \text{أنا}} = \frac{100}{\eta}$$

$$\frac{\text{أنا}}{\text{أنا}} = \frac{100}{\eta}$$

$$\frac{\text{أنا}}{\text{أنا}} = \frac{\text{أنا}}{\text{أنا}}$$

تكون الكفاءة $\eta = 100\%$ (أي 100%) فقط في حالة المحول المثالى حيث لا يوجد فقد في الطاقة. ولكن عملياً، توجد عوامل عديدة تؤدي إلى فقد الطاقة في المحول، وبالتالي تكون الكفاءة دائمًا أقل من واحد.