

Chapter Three الفصل الثالث

الحث الكهرومغناطيسي

Electromagnetic Induction

Sequence:15

- المقدمة.
- المجال الكهربائي الناتج من تغيير الفيض المغناطيسي .
- التيارات الدوارة .

المقدمة

- نحن نعرف بأنه في حالة وجود تيار كهربائي في موصل فهناك مجال كهربائي في هذا الموصل وهو المسبب لحركة الالكترونات والجريان بسرعة انجراف.
- وكذلك في حالة حركة الموصل في مجال مغناطيسي يتكون تيار كهربائي في الموصل (الدائرة) وعليه يتكون مجال كهربائي في ذلك الموصل.
- في كثير من اجهزة القياس كالمحركات الكهربائية والكلفانومتترات نجد جسماً معدنياً يتحرك في مجال مغناطيسي او ان المجال المغناطيسي في موقع ذلك الجسم يتغير باستمرار مع الزمن، وبالتالي يصاحب ذلك تولد تيارات محتثة في الجسم المعدني تسمى بالتيارات الدوارة وهي غير مرغوب بها وسنحاول تعريف هذه التيارات وكيفية تقليلها.

المجال الكهربائي الناتج من تغيير الفيض المغناطيسي

- أن المجال الكهربائي المتولدة في دائرة كهربائية معينة هو المسبب لحركة الالكترونات والانجراف بسرعة معينة (سرعة الانجراف) وبالتالي سريان تيار كهربائي في هذه الدائرة. وايضاً يتولد مجال كهربائي في دائرة كهربائية معينة من حركة هذه الدائرة في مجال مغناطيسي ومن ثم تولد التيار الكهربائي في هذه الدائرة.
- في هذه الدائرة الكهربائية فإن المجال الكهربائي المؤثر E يكون مساوياً إلى القوة لوحدة الشحنات :

$$E = \frac{F}{q} = \frac{qvB}{q} = vB$$

- حيث ان v تمثل سرعة انجراف الالكترونات.
- وان الحالة اعلاه هي حالة خاصة، أما الحالة العامة فتكون عندما v لا تكون عمودية على B .
- أي أن:

$$\bar{E} = \bar{v} \times \bar{B}$$

- نفس الشيء عندما يكون هناك تغير في الفيض المغناطيسي (دون حركة الموصل) فتتكون ق.د. ك محتثة وعليه يتكون تيار محتث. عليه يتكون مجال كهربائي في الموصل (الدائرة الكهربائية). وهذا يقودنا إلى نقطة مهمة وهي " أن التغير الحاصل في الفيض المغناطيسي ينتج عنه مجال كهربائي "... وهي نقطة مهمة لا تقتصر على الموصل أو الدائرة الكهربائية وإنما حتى في الفضاء فعندما يكون هناك تغير في الفيض (المجال) المغناطيسي يكون هناك مجال كهربائي.

- يمكن وصف هذه الظواهر بمعادلات رياضية وذلك بتعميم العلاقات بين المجال الكهربائي وفرق الجهد بين أي نقطتين :

$$\left(V_{ab} = \int_a^b \bar{E} \cdot d\bar{l} \right)$$

- حيث أن الق.د.ك المحتثة في الدائرة الكهربائية (موصل) تساوي الشغل المنجز لوحدة الشحنة بواسطة المجال الكهربائي والذي يساوي :

$$\varepsilon = \oint E \cdot dl \quad \dots (18)$$

$$\varepsilon = - \frac{d\phi_B}{dt} \quad \dots (19)$$

- ولكن :

$$\oint \bar{E} \cdot d\bar{l} = - \frac{d\phi_B}{dt} \quad \dots (20)$$

- والذي يربط التغير في الفيض المغناطيسي بالمجال الكهربائي الناتج.
- هذه العلاقة تنطبق ليس فقط على الموصلات وإنما أيضا في الفراغ.
- هناك اختلاف مهم بين المجال الكهربائي الناتج من تغير في الفيض المغناطيسي والمجال الكهربائي الناتج من الشحنات الكهربائية (مجال الكتروستاتيكي) .

• فالمجال الألكتروستاتيكي يبدأ ويقف على الشحنات الكهربائية بينما المجال الآخر فمستمر مكوناً حلقة مغلقة.

• ففي المجال الألكتروستاتيكي :

$$\left(V_{ab} = V_a - V_b = \int_a^b \bar{E} \cdot d\bar{l} \right)$$

• فإذا كان هذا التكامل حول دائرة مغلقة (اي ان النقطة a تنطبق على b) وعليه فان $(V_{ab} = 0)$ ، أي أن :

$$\oint \bar{E} \cdot d\bar{l} = 0$$

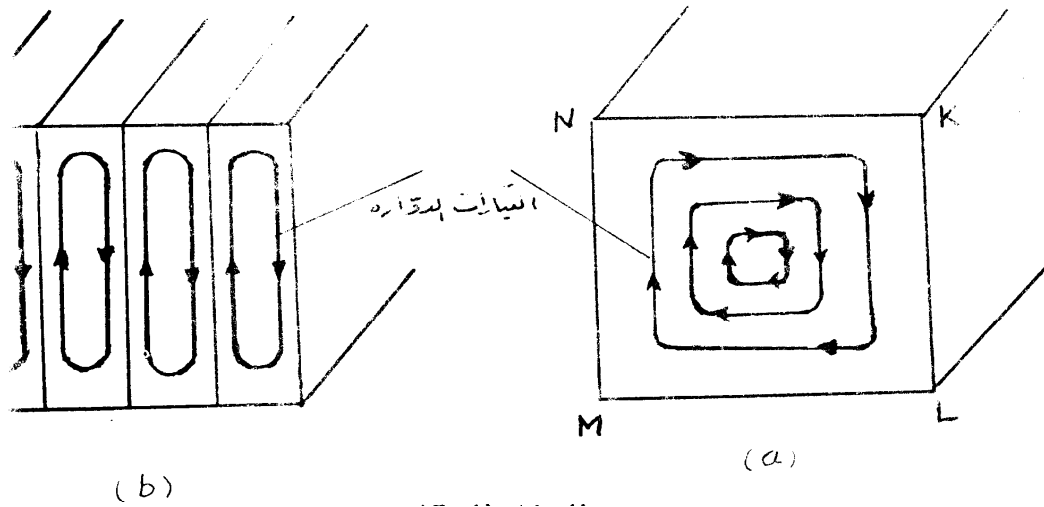
- وهذا يعني أن القوة الألكتروستاتيكية (قانون كولوم) هي قوة محفوظة وان الطاقة معرفة، وعليه فان العلاقة الأخيرة توضح بان "الشغل المنجز لوحدة الشحنات حول أي مسار مغلق تساوي صفر" وهي صفة من صفات حفظ القوة (الطاقة). لكن المجال الكهربائي الناتج من تغير الفيض المغناطيسي حول أي مسار مغلق لا يساوي

صفر:

$$\oint \bar{E} \cdot d\bar{l} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

التيارات الدوارة

- في كثير من اجهزة القياس كالمحركات الكهربائية والكلفانومترات نجد جسماً معدنياً يتحرك في مجال مغناطيسي او ان المجال المغناطيسي في موقع ذلك الجسم يتغير باستمرار مع الزمن. وطبقاً لقانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي فإن الفيض المغناطيسي المتغير يولد تيارات محتثة في الجسم المعدني في اتجاه عمودي على ذلك الفيض المغناطيسي. تسمى هذه التيارات المحتثة بالتيارات الدوارة، لأنها تدور مكونة مسارات مغلقة داخل الجسم الموصل تشبه التيارات التي تتولد في الماء. إن مثل هذه التيارات المحتثة تسبب فقداناً حرارياً حسب قانون جول فتسخن أجهزة القياس.



- لنعتبر الآن الحالة الخاصة لجسم معدني مكعب كما في الشكل (32-a) الذي يبين ان الفيض المغناطيسي عمودي على الوجه N M K L وعليه فان التيارات الدوارة تكون بالاتجاه الموضح في الشكل. ولتقليل

شكل (32): جسم معدني على شكل (a) مكعب (b) صفائح معدنية رقيقة ومعزولة

• كمية الحرارة المتولدة بسبب هذه التيارات الدوارة يؤخذ الجسم المعدني على شكل صفائح معدنية رقيقة ومعزولة بعضها عن البعض الاخر كما في الشكل (32-b). وبما ان المسار المعدني في الوجه $N M L K$ قد انفصل آن فتتصرف التيارات الدوارة ضمن الصفائح المعدنية الرقيقة. وهذا سيؤدي بصورة مؤثرة إلى زيادة في طول المسار الذي تتخذه التيارات الدوارة ونتيجة لذلك سيزيد من المقاومة الكهربائية إلى حد كبير داخل الجسم المعدني. ورغم ان القوة الدافعة الكهربائية المحتثة تبقى كما هي لا تتغير كما هي الحال بالنسبة للجسم المعدني غير المجزأ إلا أن التيارات الدوارة وكذلك الفقدان في الحرارة حسب قانون جول تقل كثيراً بسبب المقاومة العالية للجسم المعدني المجزأ. أن هذه الفكرة الخاصة بتجزئة الجسم المعدني إلى صفائح معدنية رقيقة ومعزولة تستخدم في صنع المحولات الكهربائية حيث يكون قلب المحولة الذي هو قطعة معدنية متأثراً بمجالات مغناطيسية متغيرة.

• وينبغي أن لاي يغيب عن الأذهان في ان التيارات الدوارة تلعب دوراً مهماً فيما يسمى بالاضمحلال الكهرومغناطيسي. حيث تولد هذه التيارات الدوارة عزم ازدواجي وان تأثيرها يكون مضاد للحركة وينتج ما يسمى بالاضمحلال الكهرومغناطيسي.

• أذن التيارات الدوارة المحتثة تتولد في قطعة معدنية نتيجة قطعها لفيض مغناطيسي متغير. وأن

• فوائدها :- - صهر المعادن باستخدام فرن الحث

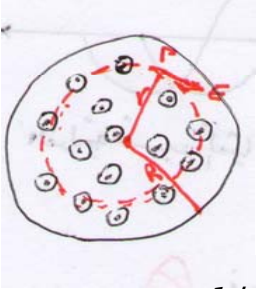
• اضرارها :- - فقد جزء من الطاقة الكهربائية على شكل طاقة حرارية .

• -ارتفاع درجة الحرارة يؤدي الى انصهار المادة العازلة للاسلاك وحدوث اتصال كهربائي بينها.

- أذن التيارات الدوارة المحتثة تتولد في قطعة معدنية نتيجة قطعها لفيض مغناطيسي متغير.
-
- فوائدھا :- صهر المعادن باستخدام فرن الحث
-
- اضرارھا :-
- 1- فقد جزء من الطاقة الكهربائية على شكل طاقة حرارية .
- 2- ارتفاع درجة الحرارة يؤدي الى انصهار المادة العازلة للاسلاك وحدوث اتصال كهربائي بين الاسلاك.

• مثال :

المجال المغناطيسي B بين قطبي مغناطيس كهربائي يكون منتظم في اية لحظة في مساحة دائرية نصف قطرها R. ففي حالة تغيير التيار الكهربائي فان B تتغير مع الزمن وبنسبة ثابتة هي $\frac{dB}{dt}$ في اية لحظة ، فعندما $r > R$ فان $B = 0$ في جميع الاوقات. وضح كيف يتغير المجال الكهربائي E في نقطة P وعلى مسافة r من مركز المساحة المغلقة .



• الحل:

• ان تغير الفيض خلال دائرة نصف قطرها r ينتج عنه \mathcal{E} حول هذه الدائرة

$$\oint \bar{E} \cdot d\bar{l} = -\frac{d\phi_B}{dt} \Rightarrow \phi_B = BA = B(\pi r^2)$$

• وفي نقطة $r < R$

$$E(2\pi r) = -(\pi r^2) \frac{dB}{dt} = -\frac{r}{2} \frac{dB}{dt}$$

• أما في النقطة التي يكون عندها $r > R$ فان :

$$E(2\pi r) = -(\pi R^2) \frac{dB}{dt} = -\frac{R^2}{2r} \frac{dB}{dt}$$

• حيث أن : $\phi_B = B(\pi R^2)$

• وعليه فان E تزداد من الصفر في المركز إلى الوسط بعد الحافة . في الحافة ثم تتضاعف تدريجياً في

$$E = -\frac{R}{2} \frac{dB}{dt}$$

الوسط بعد الحافة .

الخلاصة Summary

- تضمنت المحاضرة النقاط المهمة التالية :
- المجال الكهربائي الناتج من تغيير الفيض المغناطيسي تعرفنا هنا الى :
- - أن وجود تيار كهربائي في موصل فهناك مجال كهربائي في هذا الموصل وهو المسبب لحركة الإلكترونات والجريان بسرعة انجراف.
- - في حالة حركة الموصل في مجال مغناطيسي يتكون تيار كهربائي في الموصل وعليه يتكون مجال كهربائي في ذلك الموصل.
- - أن القوة الألكتروستاتيكية (قانون كولوم) هي قوة محفوظة وان الطاقة معرفة، وعليه فإن "الشغل المنجز لوحدة الشحنات حول أي مسار مغلق تساوي صفر" وهي صفة من صفات حفظ القوة (الطاقة). لكن المجال الكهربائي الناتج من تغيير الفيض المغناطيسي حول أي مسار مغلق لا يساوي صفر:
- التيارات الدوارة:
- إن مثل هذه التيارات المحتثة تسبب فقداناً حرارياً حسب قانون جول فتسخن أجهزة القياس. ولتقليل كمية الحرارة المتولدة بسبب هذه التيارات الدوارة يؤخذ الجسم المعدني على شكل صفائح معدنية رقيقة ومعزولة بعضها عن البعض الآخر.
- مثال
- اختبار.