Chapter Three الفصل الثالث

الحث الكهرومغناطيسي

Electromagnetic Induction

Sequence:17

- المقدمة.
- الحث المتبادل.

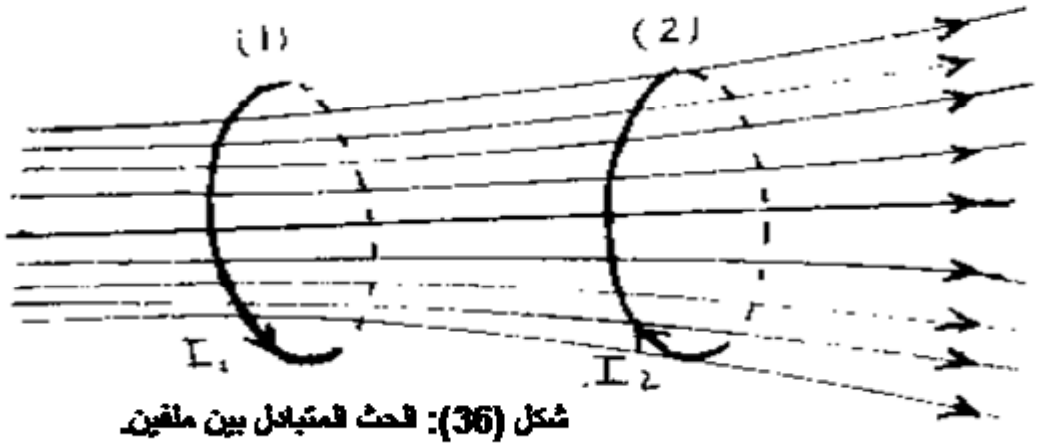
المقدمة

- إن تغيُّر التيار الكهربائي في دائرة يؤدي إلى تغيير في الفيض المغناطيسي في دائرة كهربائية مجاورة. وهذا بالتأكيد يولد قوة دافعة كهربائية محتثة في تلك الدائرة، ويسمى هذا التأثير بالتأثير الحثي المتبادل لأنه نتج من تأثير دائرة كهربائية على أخرى.
- ويحدث الحث المتبادل بين ملفين متجاورين حيث يمر تيار كهربائي في الملف الأول وقيمته I_1 وعدد لفاته N_1 و ينشئ مجالا مغناطيسيًا يؤثر على الملف الثاني وعدد لفاته N_2 بفيض مغناطيسي يؤدي إلى تولد تيار محتث الملف الثاني وقيمته I_2، وتعتمد فكرة عمل المحول الكهربائي على مبدأ الحث المتبادل بين ملفين.

- المحول الكهربائي هو جهاز كهربي يستخدم لرفع أو خفض القوة الدافعة الكهربائية للتيار المتردد ويتوقف عمله على الحث المتبادل. و يستخدم المحول الكهربائي لنقل الطاقة الكهربائية من المولدات والمحولات التي تستخدم في المحطات تكون محولات رافعة للجهد بينما المحولات التي تستخدم في مناطق التوزيع تكون محولات خافضة للجهد.

الحث المتبادل Mutual Inductance

- إذا مر تيار متغير في الشدة في احد ملفين متجاورين فأنه سيتولد مجال مغناطيسي متغير في الشدة ايضاً يقطع الملف الاخر مولدا قوة دافعة كهربائية محتثة وتياراً محتثاً حسب قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي. تسمى هذه الظاهرة بالحث المتبادل فاذا كان التيار المار في الملف الاول في حالة تزايد في الاتجاه الموضح في الشكل (36) فأن المجال المغناطيسي المتولد الذي يقطع الملف الثاني في حالة تزايد أيضاً.
- وهكـــذا وبموجب قـانون لـنز يكون اتجاه التيار المار في الملف الثاني بالاتجاه الموضح في الشكـل المجـاور بـحيث يولد مجالاً مغناطيسياً يعاكس اتجاه المجال الاصلي الذي ولدهُ.
- أذن فأن تغير التيار في أحد الملفين ينتج عنه تولد ق.د.ك محتثة في الملف الآخر.



شكل (36): الحث المتبادل بين ملفين.

- حسب قانون فاراداي فأن القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة تتناسب طرديا مع التغير في التيار المار في الملف الأول.
- ومن الملائم اشتقاق علاقة لـ ق.د.ك المحتثة في الملف الثاني بدلالة التيار المار في الملف الأول.
- إذا فرضنا الان أن ϕ_{21} هو الفيض المغناطيسي الذي يقطع الملف الثاني نتيجة مرور تياراً متغير مقداره I_1 في الملف الاول فأن الفيض المغناطيسي يتناسب طردياً مع التيار المار في الملف الاول فيكون لدينا :

$$\phi_{21} \propto I_1$$

- ومن الممكن تحويل التغاير الى مساواة فيحصل :

$$\phi_{21} = M_{21} I_1 \qquad \text{..... (21)}$$

- حيث أن M_{21} تسمى بعامل الحث المتبادل في الملف الثاني نسبتاً إلى الملف الاول، وهي كمية ثابتة تعتمد على شكل وابعاد الملفين المتجاورين.
- وبنفس الطريقة إذا فرضنا ان ϕ_{12} يمثل الفيض المغناطيسي الذي يقطع الملف الاول نتيجة مرور تياراً متغير مقداره I_2 في الملف الثاني فأن الفيض المغناطيسي يتناسب طردياً مع التيار المار في الملف الثاني فيكون لدينا :

$$\phi_{12} \propto I_2$$

$$\phi_{12} = M_{12} I_2 \qquad \text{..... (22)}$$

- أذا كان كلاً من الملفين الاول والثاني يتألفان من عدد من اللفات وقدره N_1 & N_2 على الترتيب، فان المعادلتين (21) و (22) تأخذ الصيغ التالية :

$$N_1 \phi_{12} = M_{12} I_2$$
$$N_2 \phi_{21} = M_{21} I_1 \qquad \text{..... (23)}$$

- وطبقاً لقانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي فأن الـ ق.د.ك المحتثة ε_2 المتولدة في الملف الثاني نتيجة مرور تيار متغير في الملف الاول تساوي :

- $$\varepsilon_2 = -\frac{d\phi_{21}}{dt} \qquad \text{..... (24)}$$

$$\varepsilon_2 = -M_{21}\frac{dI_1}{dt}$$

- وبالمثل فأن الـ ق.د.ك المحتثة ε_1 المتولدة في الملف الأول نتيجة مرور تيار متغير في الملف الثاني تساوي :

$$\varepsilon_1 = -\frac{d\phi_{12}}{dt} \qquad \text{..... (25)}$$

$$\varepsilon_1 = -M_{12}\frac{dI_2}{dt}$$

- ومن الممكن أثبات أن $M_{12} = M_{21} = M$ وعليه يمكت كتابة المعادلتين **(24) & (25)** كما يلي :

$$\varepsilon_1 = -M \frac{dI_2}{dt}$$

$$\varepsilon_2 = -M \frac{dI_1}{dt}$$

- ومن العلاقتين أعلاه نحصل على :

$$M = -\frac{\varepsilon_1}{dI_2/dt} = -\frac{\varepsilon_2}{dI_1/dt} \qquad \text{..... (26)}$$

- أذن يعرف معامل الحث المتبادل بأنه القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة في أي من الملفين المتقارنين عندما يمر تيار في الملف الآخر ويغير بمعدل أمبير في الثانية. ويقاس معامل الحث المتبادل في نظام MKS بالهنري والذي يعرف بأنه الحث المتبادل بين ملفين متقارنين القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في أحداهما تساوي فولتاً واحداً عندما يتغير التيار المار في الآخر بمعدل أمبير في الثانية أي أن :

- $H \equiv V \cdot S \cdot A^{-1}$

- ومما لاشك فيه ان العلاقة (23) تشير الى أن معامل الحث المتبادل M يزداد كلما قرب الملفان من بعضهما. لذا فان مقادر معامل الحث المتبادل يعتمد على حجم الملفين والموقع النسبي لهما وكيفية ترتيب الملفين المتقارنين. ومما يلاحظ ان العلاقة (26) تصح فقط اذا كان الوسط الذي يربط الملفين مع بعضهما فراغاً لأنه إذا اصبح الوسط مادة مغناطيسية فأن الفيض المغناطيسي الذي يقطع احداهما لا يرتبط خطياً مع التيار المار في الملف الآخر وفي مثل هذه الحالات تستخدم العلاقة التالية :

$$M_{21} = \frac{d\phi_{21}}{I_1} \qquad \text{..... (27)}$$

$$M_{12} = \frac{d\phi_{12}}{I_2}$$

- **طرق تولد قوة دافعة كهربائية محتثة في الملف الثانوي بالحث المتبادل**

- بما ان الحث المتبادل هو التأثير الكهرومغناطيسي الحادث بين ملفين متجاورين (او متداخلين) احدهما يمر به تيار كهربائي متغير الشدة (الملف الابتدائي) فيتأثر به الملف الثاني (الثانوي) ويقاوم التغير الحادث في الملف الاول (الابتدائي).

شكل (37): الحث المتبادل بين الملف الابتدائي والثانوي.

قوة دافعة كهربائية محثة عكسية	قوة دافعة كهربائية محثة طردية
1 – لحظة غلق دائرة الملف الابتدائي .	1 – لحظة فتح دائرة الملف الابتدائي .
2–لحظة زيادة شدة التيار فى الملف الابتدائي .	2–لحظة نقص شدة التيار فى الملف الابتدائي .
3–اثناء تقريب او ادخال الملف الابتدائي فى الملف الثانوي .	3–اثناء ابعاد او اخراج الملف الابتدائي من الملف الثانوي .

- ويلاحظ الاتى :- 1- عند لحظة غلق مفتاح دائرة الملف الابتدائى.
- ينحرف مؤشرالكلفانومتر لتولد قوة دافعة كهربائية محثة عكسية بالحث المتبادل فى الملف الثانوى.وتفسير ذلك انه عند لحظة غلق المفتاح يتزايد تيار الملف الابتدائى من الصفر الى قيمته العظمى وفى هذه الفتره يتزايد معه الفيض المغناطيس والذى يخترق لفات الملف الثانوى فيتولد فى الملف الثانوى ق.د.ك محثة عكسية وتيار محث عكسي يعمل على توليد مجال مغناطيسى محث فى الملف الثانوي في اتجاه مضاد يقاوم زيادة المجال المغناطيسي المؤثر من الملف الابتدائى
- 2- عند لحظة فتح مفتاح دائرة الملف الابتدائى.
- ينحرف مؤشرالكلفانومتر لتولد قوة دافعة كهربية مستحثة طردية بالحث المتبادل فى الملف الثانوى. الثانوى.وتفسير ذلك انه عند لحظة فتح المفتاح يتناقص تيار الملف الابتدائى من قيمته الى الصفر وفى هذه الفتره يتناقص معه الفيض المغناطيسي والذى يخترق لفات الملف الثانوي فيتولد فى الملف الثانوي ق.د.ك محثة طردية وتيار محث طردي يعمل على توليد مجال مغناطيسي محث فى الملف الثانوي فى اتجاه مضاد يقاوم تناقص المجال المغناطيسي المؤثر من الملف الابتدائي
- 3- تيار محث عكسي اى تيار اتجاهه عكس اتجاه تيار الملف الابتدائي الحادث فيه التغيير.
- 4- تيار محث طردي اى اتجاهه فى نفس اتجاه تيار الملف الابتدائي الحادث فيه التغير .
- 5- القوة الدافعة الكهربائية المحثة العكسية فى الملف الثانوي تنتج من تغير الفيض الذى يخترق الملف الثانوي نتيجة تزايد الفيض اى التغير الموجب للفيض .
- 6- القوة الدافعة الكهربائية المحثة الطردية فى الملف الثانوي تنتج من تغير الفيض الذى يخترق الملف الثانوي نتيجة تناقص الفيض اى التغير السالب للفيض

- **مثـــــال :**

ملف اسطواني طوله l ومساحة مقطعه A يحتوي N_1 من اللفات، لف حوله ملف معزول عدد لفاته N_2 ، فإذا افترضنا أن جميع خطوط فيض الملف الأول تخترق الملف الثاني. أحسب الحث المتبادل.

الحـــــل:

- **بما أن :** $B = \mu_o nI$ **وأن** $n = \frac{N_1}{l}$ **أذن** ..... $B = \mu_o \frac{N_1}{l} I$
- **بما أن** I **يمثل التيار المار في الملف الطويل. وبما أن جميع الخطوط تخترق الملف الثاني فإن :**

$$\phi_{21} = BA = \mu_o \frac{N_1}{l} I_1 A$$

- **وعليه فأن :**

$$M_{21} = \frac{N_2 \phi_{21}}{I_1} = \frac{\mu_o N_1 N_2 A}{l}$$

- **وهي علاقة توضح استخراج M بدلالة إبعاد الملفين فقط. وهي** M_{21} **أو** M_{12} **فطريقة حسابها أصعب ولكن**

$$M_{12} = M_{21}$$

Summary الخلاصة

- تضمنت المحاضرة النقاط المهمة التالية :
- تعريف ظاهرة الحث المتبادل : " إن تغيُّر التيار الكهربائي في دائرة يؤدي إلى تغيير في الفيض المغناطيسي في دائرة كهربائية مجاورة. وهذا بالتأكيد يولد قوة دافعة كهربائية محتثة في تلك الدائرة"
- تعريف معامل الحث المتبادل بأنه القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة في أي من الملفين المتقارنين عندما يمر تيار في الملف الآخر ويغير بمعدل أمبير في الثانية. ويقاس معامل الحث المتبادل في نظام MKS
- العوامل التى يتوقف عليها معامل الحث المتبادل:-
- 1- وجود قلب حديدى داخل الملفين.
- 2- حجم وعدد لفات الملفين.
- 3-المسافة الفاصلة بين الملفين.
- مثـــــال
- أختبـــار.