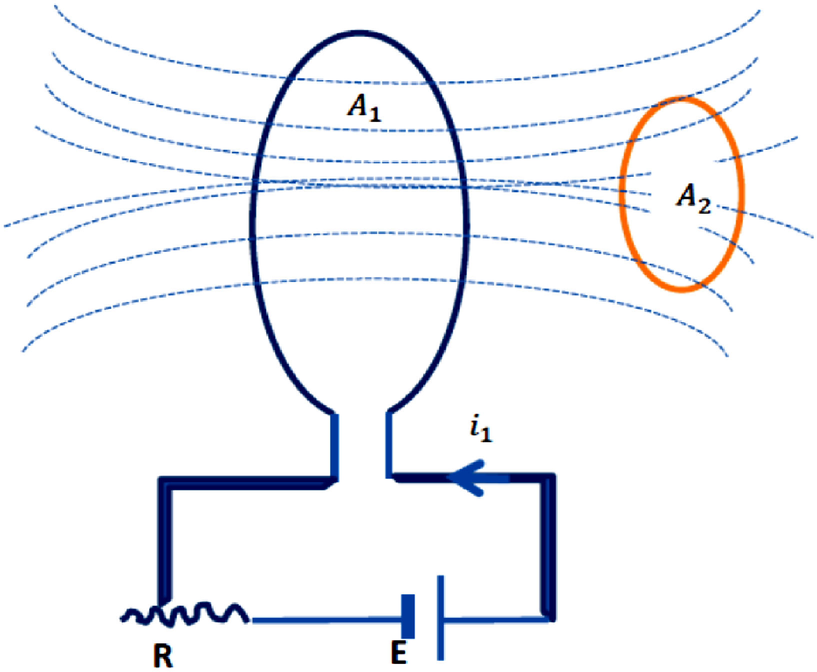
الكلية	التربية للعلوم الصرفة
القسم	الفيزياء
المادة باللغة الانجليزية	**Advanced Electricity**
المادة باللغة العربية	كهربائية متقدم
المرحلة الدراسية	الثانية
اسم التدريسي	د. مصطفى زعين محمد
عنوان المحاضرة باللغة الانجليزية	**Inductance – Mutual Inductance**
عنوان المحاضرة باللغة العربية	المحاثة – الحث المتبادل
رقم المحاضرة	**6**
المصادر والمراجع	كتاب الكهربائية والمغناطيسية المتقدم
	Advanced Electricity and Magnetism in English

المحاثة

Inductance

الحث المتبادل:

نفرض لدينا ملفين من مادة موصلة قريبين من بعضهما ، مساحة الاول A_1 وعدد لفاته N_1 ،و مساحة الثاني A_2 وعدد لفاته N_2 كما في الشكل :



اذا مر تيار كهربائي(i_1) في الملف الاول سيولد مجال مغناطيسي مقداره (B_1) ، أي يخترق الملف الثاني فيض مغناطيسي مقداره ϕ_{21} (العددين 1 ,2 تعني الفيض المخترق للملف الثاني الناتج عن التيار المار في الملف الاول). اي ان ϕ_{21} يعتمد على i_1 ونعبر عنه بالمعادلة :

$$\emptyset_{21} \propto i_1 \quad \rightarrow \therefore \; \emptyset_{21} = K i_1 \qquad \dots\dots\dots\dots (1)$$

اذا بدأنا بتغيير التيار المار في الملف الاول فان ذلك يؤدي الى تغير قيمة الفيض المغناطيسي المخترق للملف الثاني وبالتالي ستتولد قوة دافعة كهربائية محتثة في الملف الثاني ومقدارها (حسب قانون فاراداي) هو :

$$\varepsilon_2 = -N_2 \frac{d\emptyset_{21}}{dt} \qquad \dots\dots\dots\dots (2)$$

$$\therefore \varepsilon_2 = -N_2 \frac{dKi_1}{dt} = -N_2 K \frac{di_1}{dt} \qquad \dots\dots\dots\dots (3)$$

$$\therefore \varepsilon_2 = -M \frac{di_1}{dt} \qquad \dots\dots\dots\dots (4)$$

حيث ان M كمية ثابتة تعرف بمعامل الحث المتبادل بين الملفين. ويقاس بوحدات الهنري h .

وبمساواة المعادلتين (2) و (4) نحصل على معادلة الحث المتبادل:

$$-M\,\frac{di_1}{dt} = -N_2\,\frac{d\phi_{21}}{dt} \qquad \ldots\ldots\ldots(5)$$

$$\therefore M = \frac{N_2\phi_{21}}{i_1} \qquad \ldots\ldots\ldots(6)$$

مثال: ملف اسطواني طوله $l_1=2m$ ومساحته $A_1=40cm^2$ وعدد لفاته $N_1=20000$ ، وضع في داخله وفي المنتصف ملف قصير بوضع بحيث اصبح للملفين محور مشترك ، طول الملف القصير $l_2=20cm$ ومساحته $A_2=16cm^2$ وعدد لفاته $N_2=200$. جد معامل الحث المتبادل بين الملفين والقوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملف القصير اذا كان التيار في الملف الطويل يتغير بمعدل $0.8amp/sec$.

الحل: باستخدام المعادلة (6) :

$$M = \frac{N_2\phi_{21}}{i_1} \qquad , \quad \phi_{21} = A_2B_1cos\theta$$

$\theta = 0^\circ$ ، اما B في مركز الملف الاسطواني الاطول فهي:

$$B_1 = \mu_0 i_1 n_1 = \mu_0 i_1 \frac{N_1}{l_1}$$

$$\therefore M = \frac{N_2}{i_1}A_2\left(\mu_0 i_1 \frac{N_1}{l_1}\right) = \frac{\mu_0 N_1 N_2 A_2}{l_1}$$

$$\therefore M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20000 \times 200 \times 16 \times 10^{-4}}{2} = 128\pi \times 10^{-5}\ h$$

ولايجاد القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملف القصير نستخدم المعادلة (4):

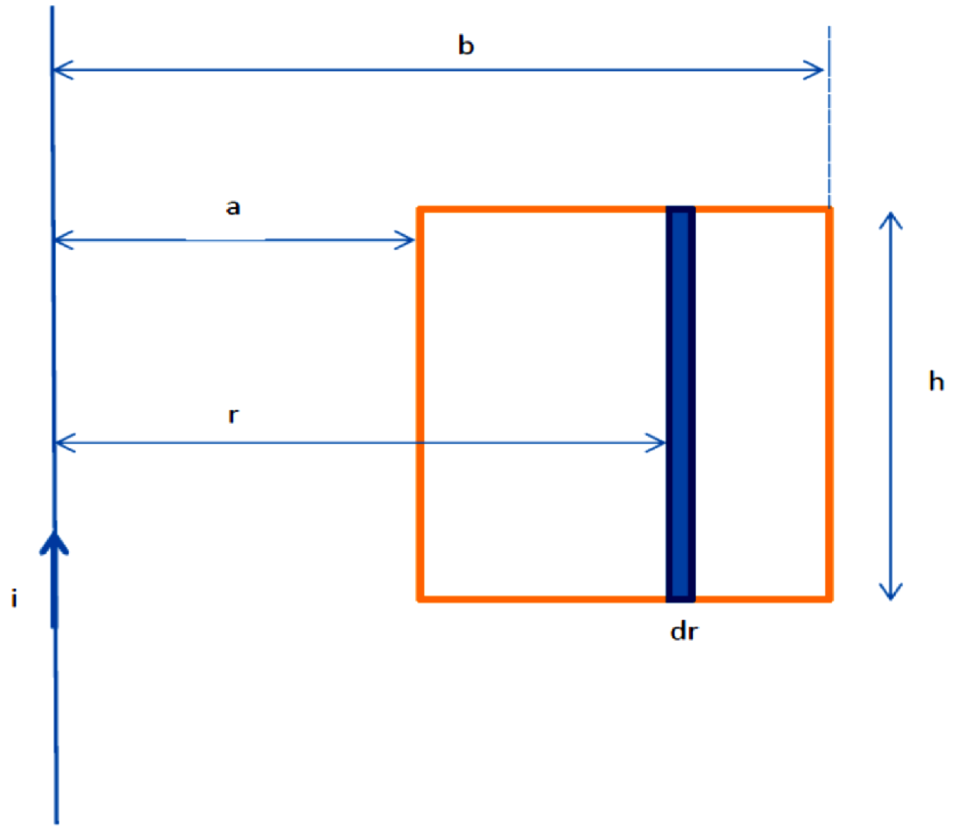
$$\varepsilon_2 = -M\,\frac{di_1}{dt} \;\rightarrow\; \therefore \varepsilon_2 = -128\pi \times 10^{-5} \times 0.8 = -3.2 \times 10^{-3}\ volt$$

مثال: في الشكل التالي الملف والسلك الطويل في مستوى واحد . ١- جد معامل الحث المتبادل بينهما.

٢- اذا كان عدد لفات الملف N=1000 ومقاومته $R=10\ \Omega$ ، a=10cm ، b=50cm ، h=60cm

وكانت شدة التيار في السلك تتغير وفق العلاقة: $i = (3t^2 + 2t + 1)amp$

جد شدة التيار المحتث المتولد في الملف عندما تكون: ١- t= 0   ٢- t=0.5 sec



الحل :اولا: باستخدام المعادلة (6) :

$$M = \frac{N_2 \emptyset_{21}}{i_1} \qquad , \quad \emptyset_{21} = A_2 B_1 cos\theta \qquad , \quad \theta = 0$$

B_1 تمثل المجال المغناطيسي (الناتج عن السلك الطويل) في نقطة معينة تبعد مسافة r عن السلك، وهو يساوي حسب قانون بايوت – سافرت :

$$B_1 = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi r}$$

نفرض ان النقطة تقع في الملف وهي تبعد مسافة r عن السلك .

$$\therefore\ M = \frac{N_2}{i_1} A_2 \frac{\mu_0 i_1}{2\pi r} = \frac{\mu_0 N_2}{2\pi r} A_2$$

اما مساحة الملف A_2 فلا يمكن تحديدها ، لذلك نأخذ شريحة من الملف عرضها dr وارتفاعها h ونكامل من الطرف a الى الطرف b . اي سوف نحسب جزء الحث المتبادل بين السلك وبين شريحة من الملف مساحتها (hdr) ،

أي ان :

$$\therefore dM = \frac{\mu_0 N_2}{2\pi r} \mathrm{d}A_2 = \frac{\mu_0 N_2}{2\pi r} \mathrm{hdr}$$

وبتكامل الطرفين ينتج:

$$\therefore M = \frac{\mu_0 N_2}{2\pi} \mathrm{h} \int_a^b \frac{\mathrm{dr}}{r} = \frac{\mu_0 N_2 \mathrm{h}}{2\pi} \ln r|_a^b = \frac{\mu_0 N_2 \mathrm{h}}{2\pi} \ln \frac{b}{a}$$

$$\therefore M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1000 \times 0.6}{2\pi} \ln \frac{0.5}{0.1} = 19 \times 10^{-5}\, h$$

ثانيا : لايجاد التيار المحتث ، نحسب اولا القوة الدافعة الكهربائية المحتثة:

$$\varepsilon_2 = -M \frac{di_1}{dt} = -19 \times 10^{-5} \frac{d}{dt}(3t^2 + 2t + 1)$$

$$\therefore \ \varepsilon_2 = -19 \times 10^{-5}\,(6t + 2)$$

At $t = 0$ $\quad \therefore \ \varepsilon_2 = -19 \times 10^{-5}\,(6 \times 0 + 2) = -38 \times 10^{-5}\, volt$

$$\therefore i = \frac{\varepsilon_2}{R} = \frac{-38 \times 10^{-5}}{10} = -3.8 \times 10^{-5} amp$$

At $t = 0.5$ $\quad \therefore \ \varepsilon_2 = -19 \times 10^{-5}\,(6 \times 0.5 + 2) = -95 \times 10^{-5}\, volt$

$$\therefore i = \frac{\varepsilon_2}{R} = \frac{-95 \times 10^{-5}}{10} = -9.5 \times 10^{-5} amp$$

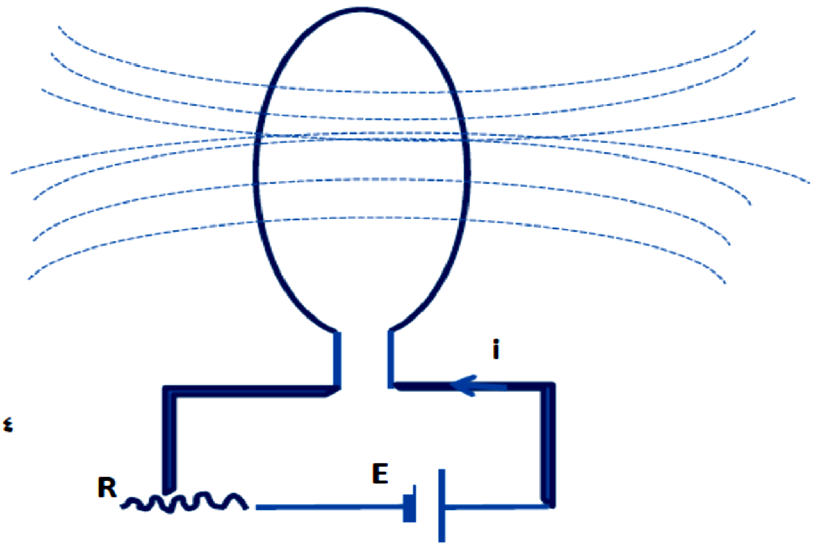
الحث الذاتي:

ذكرنا في الفصل الرابع عند شرح قانون فاراداي انه تتولد قوة دافعة كهربائية في موصل او ملف اذا تغير الفيض المغناطيسي ، ولم نحدد في ذلك الوقت سبب معين بعينه لتغير الفيض . في هذا الفصل سنقتصر تغير الفيض المغناطيسي الناتج عن تغير التيار الكهربائي لان تغير التيار يؤدي الى تغير المجال المغناطيسي وبدوره يؤدي الى تغير الفيض وحسب العلاقة المعروفة $\emptyset = ABcos\theta$.

اذا مر تيار كهربائي في الملف المبين في الشكل التالي فانه يولد مجالا مغناطيسيا وبالتالي فيضا مغناطيسيا يخترق الملف نفسه. أي ان الفيض يعتمد على التيار ورياضيا تكتب :

$$\emptyset \propto i \quad \rightarrow \quad \therefore \quad \emptyset = Ki \qquad \dots\dots\dots\dots(1)$$

ع



اذا ما غيرنا شدة التيار الكهربائي المار في الملف تغير نتيجة لذلك الفيض المغناطيسي المخترق له فتتولد في الملف قوة دافعة كهربائية حسب قانون فاراداي:

$$\varepsilon = -N\,\frac{d\emptyset}{dt} \qquad \dots\dots\dots(2)$$

نعوض (1) في (2) ينتج:

$$\therefore \varepsilon = -N\,\frac{dKi}{dt} = -NK\frac{di}{dt} \qquad \dots\dots\dots(3)$$

$$\therefore \varepsilon = -L\,\frac{di}{dt} \qquad \dots\dots\dots(4)$$

L : هو الحث الذاتي للملف ويقاس بوحدات الهنري.

وبمساواة المعادلتين (2) و (4) نحصل على معادلة الحث الذاتي:

$$-L\,\frac{di}{dt} = -N\,\frac{d\emptyset}{dt} \qquad \dots\dots\dots(5)$$

$$\therefore L = \frac{N\emptyset}{i} \qquad \dots\dots\dots(6)$$

مثال : جد معامل الحث الذاتي لملف اسطواني طوله l وعدد لفاته N ومساحة مقطعه A ويمر فيه تيار شدته i .

الحل: باستخدام المعادلة :

$$L = \frac{N\emptyset}{i} \qquad ,\emptyset = ABcos\theta \qquad , \theta = 0$$

اما B في مركز الملف الاسطواني فهي:

$$B = \mu_0 ni = \mu_0 i\ \frac{N}{l}$$

$$\therefore\ \emptyset = \mu_0 i\ \frac{N}{l}\ A$$

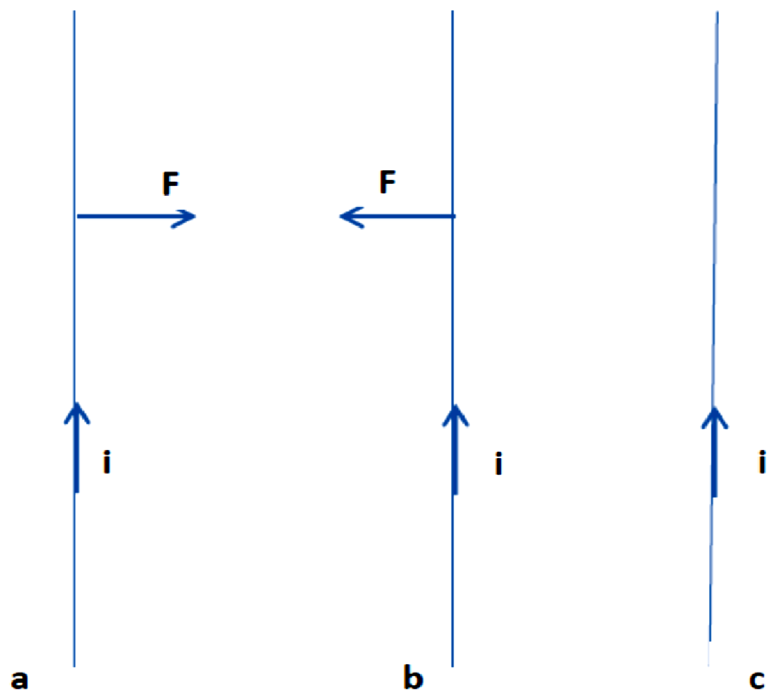
وبالتعويض في معادلة الحث الذاتي :

$$\therefore\ L = \frac{N}{i}\ \mu_0 i\ \frac{N}{l}\ A = \frac{\mu_0 N^2 A}{l}$$

الطاقة المخزونة في المجال المغناطيسي:

من دراستنا السابقة وجدنا ان هناك طاقة مخزونة في وحدة الحجم من المجال الكهربائي ومقدارها ($\frac{1}{2}\epsilon_\circ E^2$) ، كذلك هناك طاقة مخزونة في وحدة الحجم من المجال المغناطيسي.

اذا كان لدينا سلكين a و b يسري في كل منهما تيار ، بحيث يكون للتيارين نفس الاتجاه ، فان هناك قوة تجاذب بينهما كما في الشكل .



اذا اردنا سحب السلك b الى الموضع c لابد من بذل طاقة اثناء عملية السحب وهذه الطاقة تخزن في المجال المغناطيسي بحيث يمكن استعادة هذه الطاقة على شكل طاقة حركية لو ترك للسلك وهو في الموضع c حرية الحركة لتحرك وانجذب نحو السلك a . فالطاقة الحركية التي اكتسبها استمدها من الطاقة المخزونة في المجال المغناطيسي..

نفرض لدينا ملف معامل حثه الذاتي L وان التيار المار خلاله يتغير باستمرار ، اي ستتولد قوة دافعة كهربائية في الملف مقدارها :

$$\therefore \varepsilon = -L\,\frac{di}{dt} \qquad \dots\dots\dots\dots (1)$$

بما ان القدرة P تساوي :

$$P = \varepsilon i$$

$$\therefore P = \left(-L\,\frac{di}{dt}\right) i = -L\,\frac{idi}{dt} \qquad \dots\dots\dots\dots (2)$$

بما ان الطاقة W تساوي:

$$W = \int p dt$$

اذن الطاقة المزودة للملف حتى تبلغ شدة التيار الكهربائي المار خلاله I هي :

$$W = \int_0^I p dt = \int_0^I \left(-L\,\frac{idi}{dt}\right) dt \qquad \dots\dots\dots\dots (3)$$

$$\therefore W = -\frac{1}{2}\,LI^2 \qquad \dots\dots\dots\dots (4)$$

وهي الطاقة المخزونة في المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي في ملف ، وهي باقية ما دام التيار مستمرا بنفس الشدة ، اما اذا حصل توقف او نقصان في التيار فان ذلك يؤدي الى توليد قوة دافعة كهربائية محتثة وكذلك تيار محتث يستمد طاقته من الطاقة المخزونة في المجال المغناطيسي.

كثافة الطاقة المغناطيسية:

وهي الطاقة المغناطيسية المخزونة في وحدة الحجم من مجال مغناطيسي .ويرمز لها بالرمز U اي ان

$$U = \frac{W}{V} \qquad ,V = Al \qquad \dots\dots\dots\dots(1)$$

لايجاد W لملف اسطواني طوله l وعدد لفاته N ومساحة مقطعه A ويمر فيه تيار شدته i ،

بما ان معامل الحث الذاتي للملف هو

$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l}$$

$$\therefore W = -\frac{1}{2} LI^2 = -\frac{1}{2} I^2 \frac{\mu_0 N^2 A}{l} \qquad \dots\dots\dots\dots(2)$$

$$\therefore W = -\frac{1}{2} A \frac{\mu_0 N^2 I^2}{l} \qquad \dots\dots\dots\dots(3)$$

بتعويض (3) في (1) ينتج :

$$\therefore U = -\frac{1}{2} A \frac{\mu_0 N^2 I^2}{l} \frac{1}{Al} = = -\frac{1}{2} \frac{\mu_0 N^2 I^2}{l^2} \qquad \dots\dots\dots\dots(4)$$

بما ان المجال المغناطيسي B لملف اسطواني هو:

$$B = \mu_0 ni = \mu_0 i \frac{N}{l} \qquad \rightarrow \qquad \therefore (\frac{Ni}{l}) = \frac{B}{\mu_0}$$

ومنها نحصل على :

$$\therefore U = -\frac{B^2}{2\mu_0}$$

وهي تصح لجميع المجالات المغناطيسية مهما كان مصدرها سواء كان ملف اسطواني او غيره . وتقاس بوحدات (J/m^3) .

مثال : ما مقدار الطاقة المغناطيسية المخزونة في جو غرفة ابعادها (5mx4mx3m) في منطقة الحث المغناطيسي الارضي فيها $6x10^{-5}$ T .

الحل: من المعادلة $U = \frac{W}{V}$ نحصل على $(W = UV)$

V= 5x4x3=60 m^3

$$U = -\frac{B^2}{2\mu_0} = -\frac{(6\times10^{-5})^2}{2\times4\pi\times10^{-7}}$$

$$\therefore W = -\frac{(6\times10^{-5})^2}{2\times4\pi\times10^{-7}}(60) = -\frac{0.36}{8\times3.14} = -0.086\ \text{Joule}$$

مثال : ما مقدار الطاقة المغناطيسية المخزونة في طول مقداره 20 cm ملف اسطواني مجوف طويل جدا مساحة مقطعه 30 cm^2 وعدد لفات المتر الواحد من طوله 2000 ويمر خلاله تيار كهربائي شدته 2 amp .

الحل: من المعادلة $U = \frac{W}{V}$ نحصل على $(W = UV)$

$$V = Al = 30\times10^{-4}\times0.2 = 6\times10^{-4}m^3$$

$$U = -\frac{B^2}{2\mu_0} \qquad , \quad B = \mu_0 ni$$

$$\therefore U = -\frac{1}{2\mu_0}(\mu_0 ni)^2 = -\frac{\mu_0}{2}(ni)^2 = -\frac{4\pi\times10^{-7}\times(2000)^2\times4}{2} = -3.2\pi\ \text{J/m}^3$$

$$\therefore W = (-3.2\pi)(6\times10^{-4}) = -19.2\pi\times10^{-4}\ Joule$$

مثال : جد مقدار الطاقة المغناطيسية المخزونة في المجال المغناطيسي داخل ملف حلقي مجوف مقطعه مستطيل ارتفاعه h=6cm ونصف قطره الداخلي R_1=20cm والخارجي R_2=25cm وعدد لفاته 2000 ويمر خلاله تيار كهربائي شدته 8 amp .

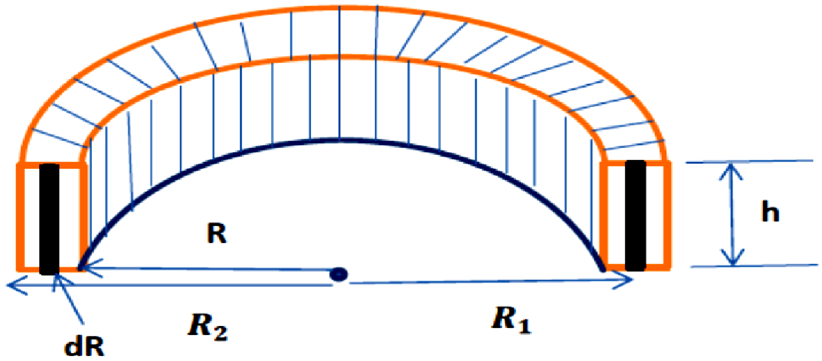
الحل: من المعادلة $U = \frac{W}{V}$ نحصل على $(W = UV)$

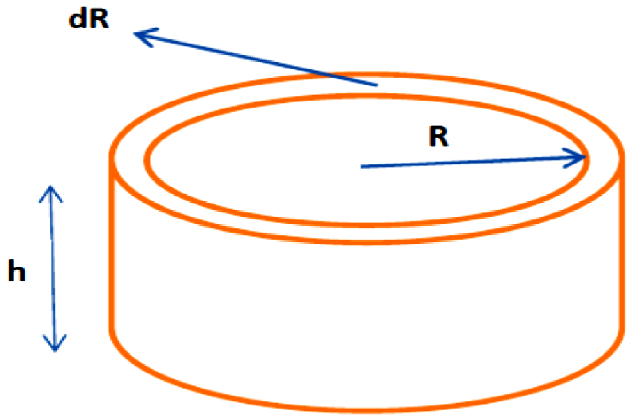
$$U = -\frac{B^2}{2\mu_0} \qquad , B_{\text{لملف حلقي}} = \frac{\mu_0 Ni}{2\pi R}$$

$$U = -\frac{1}{2\mu_0}\left(\frac{\mu_0 Ni}{2\pi R}\right)^2$$

هنا المجال المغناطيسي B على بعد R من المركز. وهي كمية غير ثابتة تتناسب عكسيا مع R.

لحساب الطاقة المغناطيسية في الملف نبدأ بحساب جزء الطاقة المخزونة بجزء من حجم الملف .





من ملاحظة الشكل الثاني نجد ان:

$$V = Al = \pi R^2 h \qquad \rightarrow \therefore dV = 2\pi R\, dR\, h$$

$$\therefore dW = UdV = -\frac{1}{2\mu_0}\left(\frac{\mu_0 N i}{2\pi R}\right)^2 (2\pi R\, dR\, h)$$

$$\therefore dW = -\frac{\mu_0 N^2 i^2 h}{4\pi}\left(\frac{dR}{R}\right)$$

وبتكامل المعادلة الاخيرة ينتج:

$$\therefore W = -\frac{\mu_0 N^2 i^2 h}{4\pi}\int_{R_1}^{R_2}\frac{dR}{R} = -\frac{\mu_0 N^2 i^2 h}{4\pi}\ln\frac{R_2}{R_1}$$

$$\therefore W = -\frac{4\pi \times 10^{-7} \times (2000)^2 \times 8^2 \times 0.06}{4\pi}\ln\frac{25}{20} = 0.342 \text{ joule}$$

ربط المحاثات مع بعضها:

أولا:الربط على التوالي

تربط المحاثات او الملفات مع بعضها على التوالي وعلى التوازي كما هو الحال في المقاومات . فاذا ربطت ثلاث ملفات على التوالي بحيث يتغير التيار المار فيها مع الزمن لتولدت قوة دافعة كهربائية محتثة في كل ملف وان معامل الحث الذاتي المكافئ يساوي مجموع معاملات الحث الذاتي لها. ان القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملفات هي :

$$\varepsilon_1 = -L_1 \frac{di}{dt} \quad , \quad \varepsilon_2 = -L_2 \frac{di}{dt} \quad , \quad \varepsilon_3 = -L_3 \frac{di}{dt}$$

من خصائص ربط التوالي ان التيار ثابت وان الفولتية الكلية هي مجموع الفولتيات الفرعية . اي ان

$$\varepsilon_{tot} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

$$\therefore\ \varepsilon_{tot} = -L_1 \frac{di}{dt} + \left(-L_2 \frac{di}{dt}\right) + \left(-L_3 \frac{di}{dt}\right) = -(L_1 + L_2 + L_3) \frac{di}{dt}$$

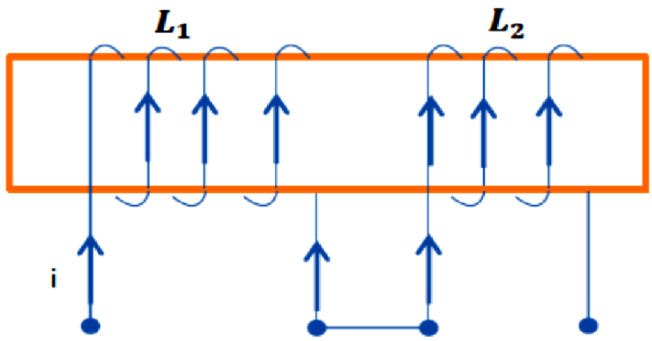
$$\therefore\ L_T = L_1 + L_2 + L_3$$

ان العلاقة الاخيرة لا تصح الا اذا كان الحث المتبادل بين الملفات معدوما . اما في حالة وجود حث متبادل بين الملفات فالعلاقة الاخيرة لا تصح اذ يجب ادخال الحث المتبادل M في المعادلات.

نفرض ان هناك ملفين مربوطين على التوالي وان التيار المار فيهما يتغير مع الزمن :

<u>١- عندما يكون التياران باتجاه واحد:</u>

في هذه الحالة فان لكل ملف معامل حث ذاتي وكذلك معامل حث متبادل مع الملف الاخر بحيث تتولد في كل ملف قوة دافعة كهربائية سببها الحث الذاتي ومقدارها ($\varepsilon_L = -L \frac{di}{dt}$) و قوة دافعة كهربائية سببها الحث المتبادل ومقدارها ($\varepsilon_M = -M \frac{di}{dt}$) وهاتان القوتان ستكونان باتجاه واحد في هذه الحالة.



القوة الكلية في الملف الاول ستكون مجموع القوتين :

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_L + \varepsilon_M = -L_1 \frac{di}{dt} + \left(-M \frac{di}{dt}\right) = -(L_1 + M) \frac{di}{dt}$$

القوة الكلية في الملف الثاني :

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_L + \varepsilon_M = -L_2 \frac{di}{dt} + \left(-M \frac{di}{dt}\right) = -(L_2 + M) \frac{di}{dt}$$

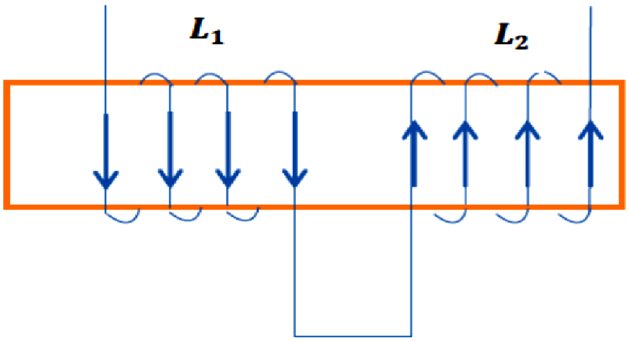
وعليه تكون القوة الدافعة المحتثة الكلية هي :

$$\varepsilon_{tot} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = -(L_1 + M)\frac{di}{dt} + \left[-(L_2 + M)\frac{di}{dt}\right] = -(L_1 + L_2 + 2M) \frac{di}{dt}$$

$$\therefore\ L_T = L_1 + L_2 + 2M$$

٢- عندما يكون التياران باتجاهين متعاكسين:

في هذه الحالة فان لكل ملف معامل حث ذاتي وكذلك معامل حث متبادل مع الملف الاخر بحيث تتولد في كل ملف قوة دافعة كهربائية سببها الحث الذاتي ومقدارها ($\varepsilon_L = -L \frac{di}{dt}$) و قوة دافعة كهربائية سببها الحث المتبادل ومقدارها ($\varepsilon_M = -M \frac{di}{dt}$) وهاتان القوتان ستكونان باتجاهين متعاكسين في هذه الحالة.



محصلة القوة الكلية في الملف الاول ستكون حاصل طرح القوتين :

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_L - \varepsilon_M = -L_1 \frac{di}{dt} - \left(-M \frac{di}{dt}\right) = -(L_1 - M) \frac{di}{dt}$$

القوة الكلية في الملف الثاني :

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_L - \varepsilon_M = -L_2 \frac{di}{dt} - \left(-M \frac{di}{dt}\right) = -(L_2 - M) \frac{di}{dt}$$

وعليه تكون القوة الدافعة المحتثة الكلية هي :

$$\varepsilon_{tot} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = -(L_1 - M)\frac{di}{dt} + \left[-(L_2 - M)\frac{di}{dt}\right] = -(L_1 + L_2 - 2M) \frac{di}{dt}$$

$$\therefore\ L_T = L_1 + L_2 - 2M$$

ثانياً: الربط على التوازي

اذا ربطنا ثلاث ملفات على التوازي بحيث يتغير التيار المار فيها مع الزمن لتولدت قوة دافعة كهربائية محتثة في كل ملف حسب قانون فاراداي . ان القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملفات هي :

$$\varepsilon_1 = -L_1 \frac{di_1}{dt} \rightarrow \therefore \frac{di_1}{dt} = \frac{-\varepsilon_1}{L_1}$$

$$\varepsilon_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} \rightarrow \therefore \frac{di_2}{dt} = \frac{-\varepsilon_2}{L_2}$$

$$\varepsilon_3 = -L_3 \frac{di_3}{dt} \rightarrow \therefore \frac{di_3}{dt} = \frac{-\varepsilon_3}{L_3}$$

من خصائص ربط التوازي ان الفولتية ثابتة وان التيار الكلي هو مجموع التيارات الفرعية . اي ان:

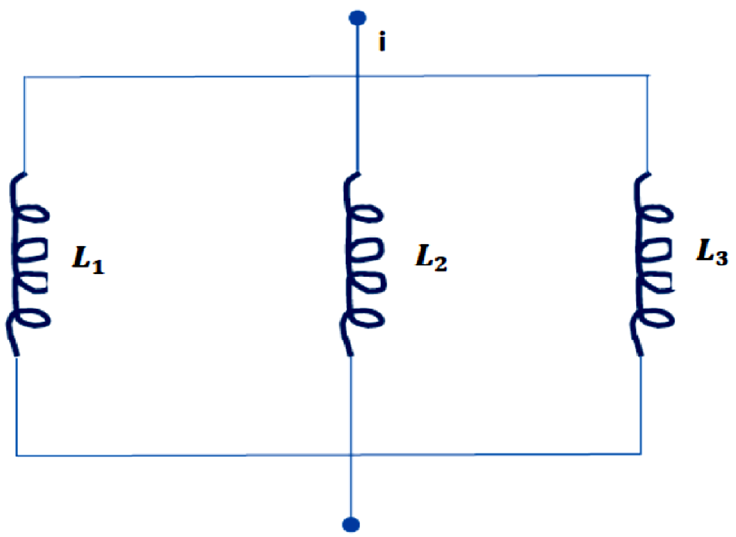
$$\varepsilon_{tot} = \varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 \qquad , \qquad \frac{di}{dt} = \frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} + \frac{di_3}{dt}$$

$$\therefore \frac{di}{dt} = \frac{-\varepsilon}{L_1} + \frac{-\varepsilon}{L_2} + \frac{-\varepsilon}{L_3} = -\varepsilon \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}\right)$$

$$\therefore \frac{di}{dt} = -\varepsilon \left(\frac{1}{L_T}\right)$$

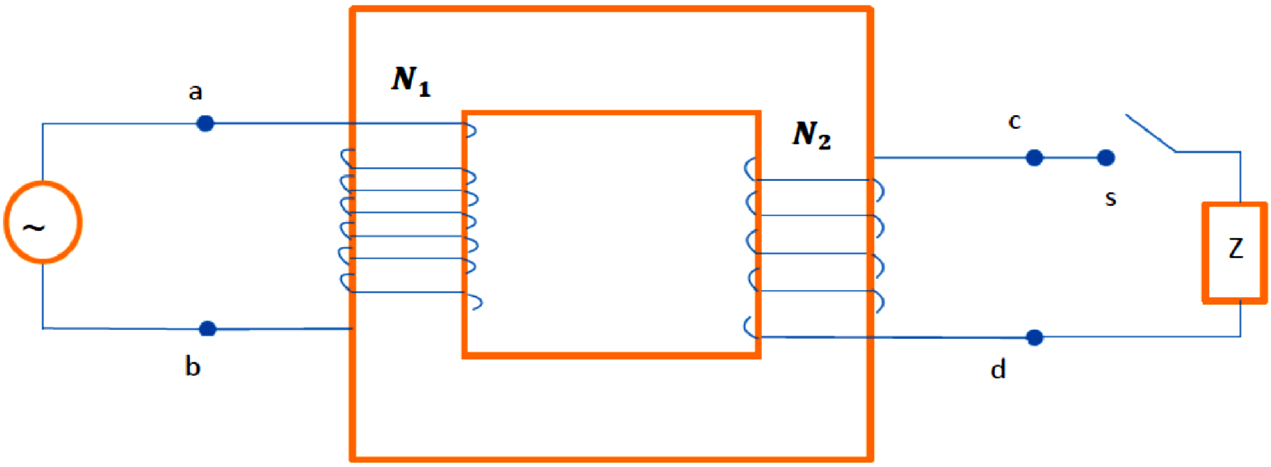
$$\therefore \frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

ان العلاقة الاخيرة لا تصح الا اذا كان الحث المتبادل بين الملفات معدوما .



المحولة الكهربائية:

تتألف المحولة الكهربائية كما في الشكل التالي من حافظة من الحديد المطاوع وملفين من الاسلاك الموصلة المعزولة عن بعضها والملفوفة على كل ضلع من اضلاع الحافظة، يدعى احدها بالملف الابتدائي وعدد لفاته N_1 ويتصل هذا بمصدر كهربائي متناوب ، ويدعى الاخر بالملف الثانوي وعدد لفاته N_2 وهو يربط الى الحمل Z المراد نقل القدرة اليه .



بما ان الملف الابتدائي مربوط الى تيار متناوب فان سيولد مجالا مغناطيسيا بحيث تخترق جميع خطوط هذا المجال الملف الثانوي اي ان هناك فيضا مغناطيسيا ناتجا عن الابتدائي يخترق الملف الثانوي وبالتالي ستتولد فيه قوة دافعة كهربائية محتثة تساوي :

$$\varepsilon_2 = -N_2 \frac{d\emptyset_{21}}{dt} = V_2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

$$\emptyset_{21} = A_2 B_1 cos\theta \quad , \quad B = \mu_0 n i = \mu_0 i \, \frac{N_1}{l} \quad , \quad \theta = 0 \qquad \ldots\ldots\ldots..(2)$$

$$\therefore \; V_2 = -N_2 \frac{d}{dt}\left(A_2 \mu_0 i \, \frac{N_1}{l}\right) = -\frac{\mu_0 N_1 N_2 A_2}{l} \frac{di}{dt} \qquad \ldots\ldots\ldots..(3)$$

V_2 : تمثل فرق الجهد بين النقطتين d و c .

عندما يمر تيار متناوب (متغير المقدار والاتجاه) في الملف الابتدائي فانه سيخترقه فيض مغناطيسي وتتولد ايضا قوة دافعة كهربائية محتثة فيه ومقدارها :

$$\therefore \varepsilon_1 = -L\frac{di}{dt} = V_1 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

$$L = \frac{N_1\emptyset}{i} \qquad ,\emptyset = ABcos\theta \qquad , \ \theta = 0 \qquad \ldots\ldots\ldots.(5)$$

$$B = \mu_0 ni = \mu_0 i\,\frac{N_1}{l}$$

$$\therefore \ L = \frac{N_1}{i}\,\mu_0 i\,\frac{N_1}{l}\,A = \frac{\mu_0 {N_1}^2 A}{l}$$

$$\therefore V_1 = -\frac{\mu_0 {N_1}^2 A}{l}\,\frac{di}{dt} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

V_1 : تمثل فرق الجهد بين النقطتين a و b .

وبقسمة المعادلة (3) على (6) ينتج :

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \qquad \ldots\ldots\ldots..(7)$$

وهي معادلة المحولة الكهربائية .

للحصول على فولتية عالية نجعل $N_2>N_1$ وتدعى المحولة في هذه الحالة محولة رافعة ، اما اذا اريد الحصول على فولتية واطئة نجعل $N_2<N_1$ وتدعى المحولة في هذه الحالة محولة خافضة .