6-1 :القوة المغناطيسية على سلك موصل يحمل تيار كهربائي

عند وضع اي موصل يحمل تيار كهربائي في مجال مغناطيسي تظهر علية قوة مغناطيسية ، وسبب ظهور هذه القوة هو ان : التيار عبارة عن سيل من الالكترونات الحرة المتحركة بسرعة معينة فعند وضع هذا الموصل داخل مجال مغناطيسي فان كل شحنة متحركة تتأثر بقوة مغناطيسية، والقوة المغناطيسية على الموصل ماهي الا محصلة تلك القوى.

هناك حالتين لحساب تلك القوة .

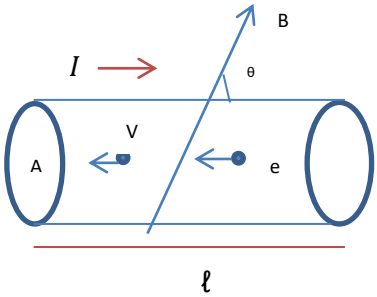
1- الحالة الاولى

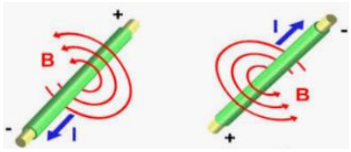
اذا كان المجال منتظم و القوة المغناطيسية المؤثرة على كل جزء من اجزاء الموصل لها نفس المقدار و الاتجاه

نفرض سلك مستقيم طولة ℓ= ، مساحة مقطعه A=

يحمل تيار كهربائي I=

وضع داخل مجال منتظم شدته=B يصنع زاوية مقدارها θ= مع السلك الموصل





فيديو توضيحي

https://youtu.be/kBoasyx8C_Y

القوة المغناطيسية المؤثرة على الالكترون الحر(متحرك) هي

$$F= qvB \sin\theta$$

$$F = evB \sin\theta \ldots\ldots\ldots 1$$

V= سرعة الانسياق للإلكترونات(سرعة الانجراف)

θ= الزاوية المحصورة بين اتجاه ℓ واتجاهB

نفرض N=عدد الكلي للإلكترونات في الموصل ℓ

نفرض ان الكثافة الحجمية للإلكترونات الحرة في الموصل(المكونة للتيار) =n

$$N=nA\ell$$

$A\ell$= حجم الموصل

بمان القوة المغناطيسية على كل الالكترونات الحرة متساوية و بنفس الاتجاه ، لذا تكون محصلة القوة على الموصل هي

$$F=NF \ldots\ldots 2$$

$$\therefore F = nA\ell\ (evB \sin\theta)$$

$$=(nevA)\ \ell B \sin\theta$$

$$I= \frac{Q}{t} = \frac{Ne}{\frac{\ell}{v}} = \frac{Nev}{\ell}$$

$$I = \frac{N}{A\ell}\ eAv = neAv$$

$$\therefore I=nevA \ldots\ldots 3$$

$$\therefore F=I\ell\ B \sin\theta \ldots\ldots 4$$

لتحديد اتجاة F نكتب الصيغة الاتجاهية لمعادلة 4

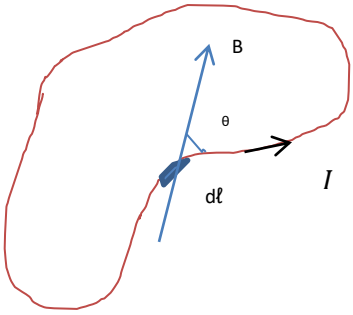
$$\bar{F}=I(\bar{\ell}*\bar{B}) \ldots\ldots\ldots 5$$

من العلاقة (5) نلاحظ ان القوة F عمودية على المستوي الذي يضم كل من ℓو B (يأخذ اتجاه ℓباتجاه التيار Iدائما)، و لتعيين اتجاه F نتبع قاعدة اليد اليمنى. استفد من الفيديو التوضيحي https://youtu.be/qmzdN55zpTE

2- الحالة الثانية

اذا كان المجال المغناطيسي غير منتظم او القوة المغناطيسية على كل جزء من الموصل لها مقادير او اتجاهات مختلفة.

نفرض ان سلك موصل يشكل مسار مغلق ويحمل تيار كهربائي مقداره I= وضع في مجال مغناطيسي غير منتظم



في هذه الحالة نجزأ السلك الموصل

الى عدد كبير من العناصر التفاضلية

طول كل منها =dℓ

نفرض ان شدة المجال المغناطيسي في موقع احد العناصر=B

و يصنع زاوية مقدارها =θ مع العنصر dℓ

فان قيمة المجال B تكون ثابتة على جميع اجزاء العنصر dℓ (لان dℓ صغير جدا) ويصنع نفس الزاوية θ والقوى المؤثرة على الشحنات المتحركة بنفس الاتجاه و لها نفس المقدار

لذا يمكن حساب القوة المغناطيسية

على الجزء dℓ بنفس الطريقة

في الحالة الاولى.

$$:dF = I\, d\ell\, B\, sin\theta \ldots\ldots\ldots 6$$

I dℓ= عنصر التيار

$$\overline{dF}=I(\overline{d\ell}*\overline{B}) \ldots\ldots\ldots 7$$

اتجاه F يحدد باستخدام قاعدة اليد اليمنى .

لحساب القوة الكلية المؤثرة على الدائرة المغلقة نأخذ التكامل الاتجاهي للمعادلة (6)

$$F = \int I\, d\ell\, B \sin\theta \ldots\ldots\ldots 8$$

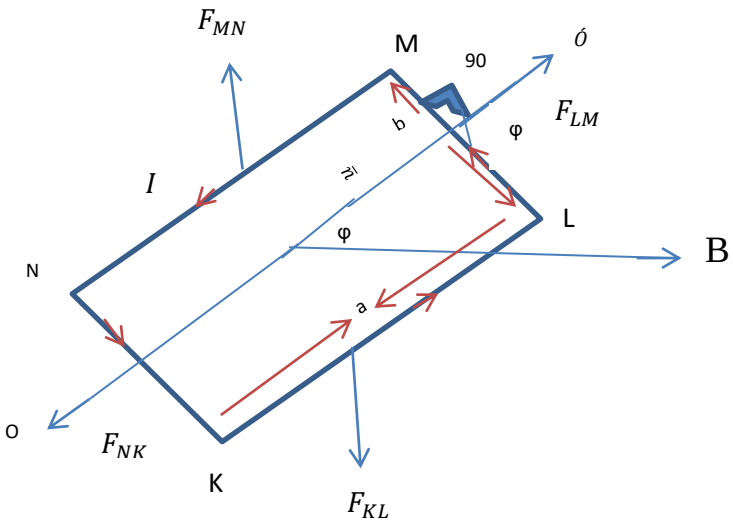
ملاحظة مهمه: اذا كانت القوة dF *لها نفس الاتجاه لكل اجزاء السلك في هذه* الحالة نستخدم *التكامل الاتجاهي مباشرة على المعادلة*(8) اما اذا كان dF لها اتجاهات مختلفة لكل جزء من اجزاء السلك في هذه نحلل القوة dF الى مركباتها الافقية والعمودية ثم نجري عملية التكامل الاتجاهي لكل مركبة على انفراد

1-7 عزم الازدواج (الدوراني) لملف يحمل تيار كهربائي داخل مجال مغناطيسي:

ملف مستطيل عدد لفاته =N

طوله=a، عرضه=b

له القابلية على الدوران حول المحور oo'



يحمل تيار كهربائي شدته =I باتجاه معاكس لحركة عقرب الساعة وضع في داخل مجال مغناطيسي كثافة فيضه =B ويصنع مع العمود على مستوي الملف زاوية مقدارها =φ

نأخذ لفة واحدة على الملف:-

المجال يقطع الضلع MN,KL بصور عمودية

القوة على الضلعKL:

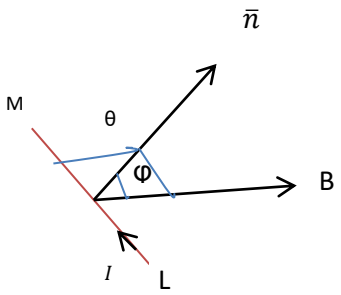
$F_{KL}=I\ \ell\ B\ sin\ \theta$

$\theta=90^{\circ}$

$\therefore F_{KL}=I\ a\ B$.....1

اتجاهها نحو الاسفل

القوة على الضلع MN:



$\theta = 90^{\circ}$

$\therefore F_{MN}=I\ a\ B$.....2

اتجاهها نحو الاعلى

القوة على الضلع LM:

$F_{LM}=I\ \ell\ B\ sin\theta$

$F_{LM}=I\ b\ B\ sin(\frac{\pi}{2}+\varphi)$

$F_{LM}=I\ b\ B\ cos\varphi$.....3

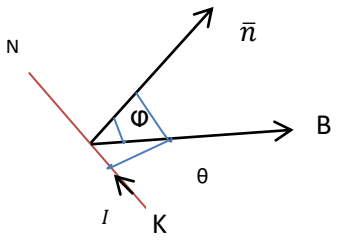
اتجاهها بموازاة محور الدوران من o الى o'

القوة على الضلع NK:

$F_{NK}=I\ \ell\ B\ sin\theta$

$F_{NK}=I\ b\ B\ \sin(\frac{\pi}{2}-\varphi)$

$F_{NK}=I\ b\ B\ \cos\varphi$



$F_{NK}=I\ b\ B\ \cos\varphi$.....4

اتجاهها بموازاة المحور من o' الى o

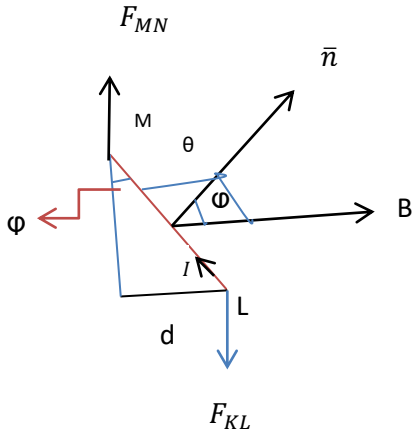
https://youtu.be/rCc5-IxUXEI

اذن القوتان (F_{NK} ,F_{LM})على الضلعين NK,LM متساويتان في المقدار و متعاكستان في الاتجاه ويقعان على خط مستقيم واحد، لذا تكون محصلتها تساوي صفر ولا تؤثران بعزم عزما دورانيا على الملف

ولكن القوتان(F_{LK}, F_{MN}) على الضلع MN,KL متساويتان في المقدار و متعاكستان في الاتجاه و لكن لا يقعان على خط مستقيم واحد ،لذلك فانهما تولدان عزما دورانيا يجعل الملف يدور حول المحور oo' ويسمى بالعزم الدوراني

مقدار العزم $\tau=Fd$

d= المسافة العمودية بين القوتين كما في الشكل



$d= b\ sin\ \varphi$

$:.\tau = IaBb\ \ sin\varphi$

$:.\tau = IAB\ sin\varphi$ 5

حيث $A=ab$ مساحة الملف المستطيل

$\bar{\tau}$كمية متجه يقاس بوحدات nt.m

$\vec{\tau}=I(\vec{A}*\vec{B})$ 6

من المعادلة (6) يمكن تحديد اتجاه $\bar{\tau}$(حسب قاعدة اليد اليمنى)،فيكون اتجاهه باتجاه محور الدوران 'oo.

المعادلة (5) تمثل العزم على لفة واحدة

اذن العزم الكلي للملف هو:

τ=NIAB sinφ.....7

ان مرور التيار في الملف يولد مجال مغناطيسي يمكن تحديد اتجاة القطب الشمالي للمغناطيس باستخدام قاعدة اليد اليمنى, حيث نلف اصابع اليد باتجاه التيار فيشير الابهام الى القطب الشمالي للمغناطيس وله عزم يسمى بالعزم المغناطيسي ويرمز له بالرمز m

τ=mB sinφ.....8

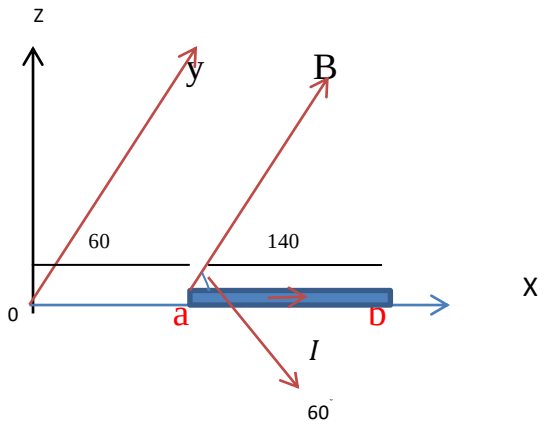
حيث m=NIA

ويسمى m بالعزم المغناطيسي للملف ، وهو كمية متجهه يقاس بوحدات ($Amp.m^2$) ،واتجاهه عمودي على سطح الملف حسب العلاقة :-

$\vec{m}$=NI$\vec{A}$

فيكون $\vec{\tau}=\vec{m}*\vec{B}$ 9

مثال : سلك abطوله 140cm يمتد على محور السينات و المسافة oa تساوي 60cm ، يمر خلاله تيار كهربائي شدته 3amp سلط عليه مجال مغناطيسي منتظم B=0.2T ، جد مقدار و اتجاه القوة المسلطة على السلك اذا كانت 1 B) تؤثر في مستوي بموازاة السطح xyو باتجاه يصنع زاوية مقدارها 60° مع محور x 2) اذا كانت B تؤثر باتجاه المحور z الانها تتغير وفق المعادلة التالية $B = (X^2 + 2X + 1)mT$



1 - ∵ المجال منتظم والقوة على كل اجزاء السلك لها نفس المقدار والاتجاه لذا فأن

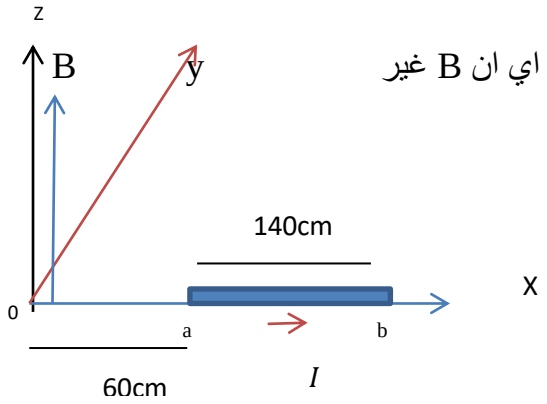
$$F = I\ell B \sin\theta \qquad \theta = 60^{\circ}$$

$$= 3 * 140 * 10^{-2} * 0.2 * \sin 60$$

$$F = 0.42\sqrt{3}\, nt$$

واتجاه القوة يكون باتجاه Z + (حسب قاعدة اليد اليمنى)

2- في هذه الحالة قيمة B تعتمد على موقع كل جزء من اجزاء السلك , اي ان B غير منتظمة .



اما القوة المؤثرة على كل جزء لها مقادير مختلفة ولكن لها نفس الاتجاه (-y) لذا تكون قيمة F هي

$$F = \int Id\ell B \sin\theta$$

$$d\ell = dx \qquad \theta = 90^{\circ}$$

$$F = \int_{0.6}^{2} 3(x^2 + 2x + 1)10^{-3} \sin 90 \, dx$$

$$F = 0.02289nt$$

واتجاهها باتجاه (–y) .

-/ H.W/ اذا كان $B = 0.2T$ توثر باتجاه -Z

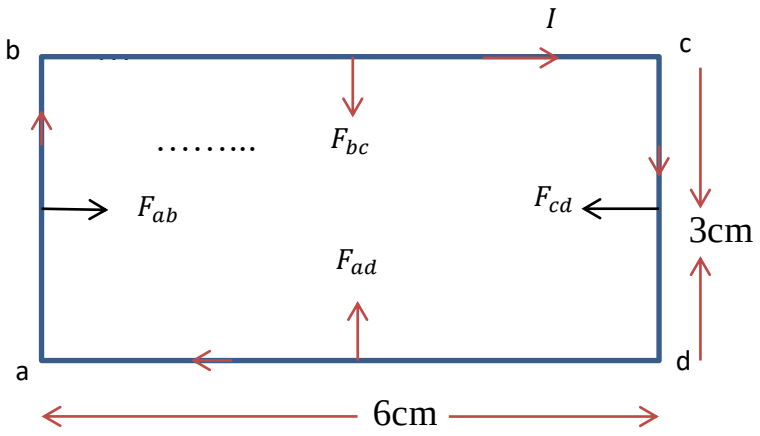
مثال : ملف سلكي على شكل مستطيل طولة(6cm) وعرضه (3cm)يمر خلاله تيار شدته 2Amp بالاتجاه المبين بالشكل جد مقدار واتجاه القوة على كل ضلع عند تسليط مجال مغناطيسي منتظم B=0.5T .

1)باتجاه عمودي على سطح و متجه نحو القارئ.

2)باتجاه يوازي سطح المستطيل ويوازي الضلع ab.

3)جد العزم الدوراني في كل حالة .

4)اذا كان المجال المغناطيسي يؤثر بصورة موازية لسطح المستطيل وباتجاه يصنع زاوية مقدارها $\theta = 30^{\circ}$ مع السطح ab



1 – القوة المؤثرة على الضلع ab

$$F_{ab} = I\ell B \sin\theta$$

$$= 2 * 3 * 10^{-2} * 0.5 \sin 90 = 0.03nt$$

القوة المؤثرة على الضلع المقابل cd هي

$$F_{cd} = F_{ab} = 0.03nt$$

واتجاه كل من F_{cd}, F_{ab} عمودي على الضلع نحو الداخل

القوة المؤثرة على الضلع bc

$$F_{bc} = 2 * 6 * 10^{-2} * 0.5 * \sin 90$$

=0.06 nt

واتجاهها عمودي على الضلع bc نحو الاسفل

القوة المؤثرة على الضلع ad

$$F_{ad} = 0.06\ nt$$

واتجاهها عمودي على الضلع ad نحو الاعلى

العزم الدوراني τ=NIAB sinφ

N=1

=2*6*10^-2*3*10^-2*0.5sin 180

τ= 0

2 – بمان الزاوية بين B والضلع ab $(\theta = 0)$

بمان الزاوية بين B والضلع cd $(\theta = 180)$

$$\therefore F_{ab} = F_{cd} = 0$$

القوة على الضلع bc

$$\therefore\ F_{bc} = I\ell B \sin\theta = 2 * 6 * 10^{-2} * 0.5 * \sin 90 = 0.06nt$$

وتجاهها عمودي على الورقة نحو القارئ

القوة على الضلع ad

$$\theta = 90$$

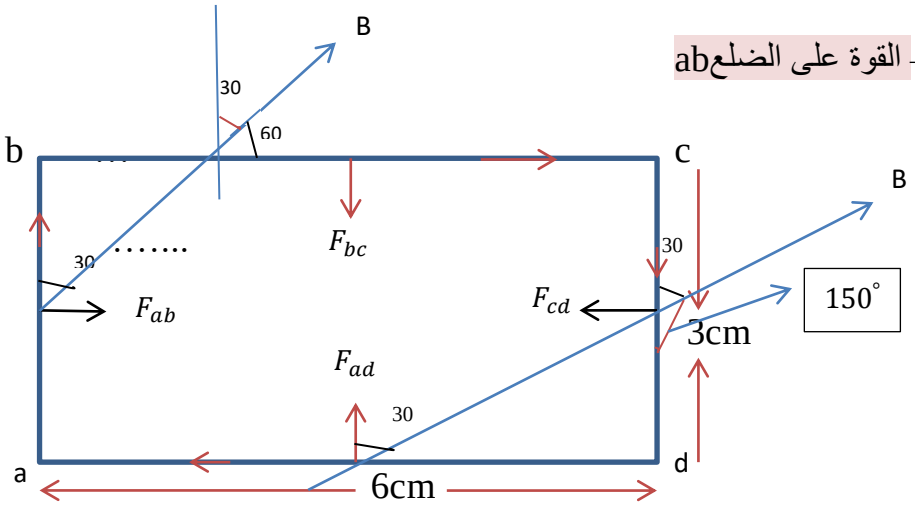
$$F_{ad} = 2 * 6 * 10^{-2} * 0.5 * \sin 90 = 0.06nt$$

وتجاهها عمودي على الورقة مبتعد عن القارئ

$$\tau = \text{IAB} \sin\varphi \qquad ,\varphi = 90^{\circ}$$

$$\tau = 2 * 6 * 3 * 10^{-4} * 0.5 * \sin 90 = 0.0018\ nt.m$$

4 – القوة على الضلعab



$$\theta = 30^{\circ}$$

$$F_{ab} = 2 * 3 * 10^{-2} * 0.5 * \sin 30 = 0.015\ nt$$

واتجاهها عمودي على الورقة مبتعد عن القارئ

القوه على الضلع cd

$$\theta = 150^{\circ}$$

$$F_{cd} = 2 * 3 * 10^{-2} * 0.5 * \sin(\pi - 30)$$

$$F_{cd} = 2 * 3 * 10^{-2} * 0.5 * \sin 30 = 0.015\ nt$$

واتجاهها عمودي على الورقة نحو القارئ

القوة المؤثرة على الضلع bc

$$\theta = (\frac{\pi}{2} - 30) \rightarrow \theta = 60$$

$$F_{bc} = 2 * 3 * 10^{-2} * 0.5 * sin\,60 = 0.03\sqrt{3}\,nt$$

واتجاهها عمودي على الورقة نحو القارئ

القوة المؤثرة على الضلع ad

$$\theta = (\frac{\pi}{2} + 30) \rightarrow \theta = 120$$

$$F_{ad} = 2 * 6 * 10^{-2} * 0.5 * sin(\frac{\pi}{2} + 30)$$

$$F_{ad} = 2 * 6 * 10^{-2} * 0.5 * \cos 30 = 0.03\sqrt{3}\,nt$$

واتجاهها عمودي على الورقة مبتعد عن القارئ

∴ العزم الدوراني للملف

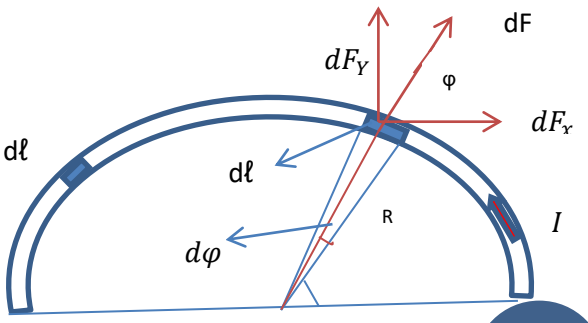
$$\tau = IAB \sin\varphi \qquad ,\varphi = 90^{\circ}$$

$$\tau = 2 * 6 * 3 * 10^{-4} * 0.5 * \sin 90 = 0.0018\,nt.m$$

(ملاحظة: العمود على السطح الذي يمثل $\vec{A}$ نعين اتجاهه بقاعدة اليد اليمنى حيث اتجاه $\vec{A}$ باتجاه الابهام عند لف الاصابع باتجاه I)

مثال :- اوجد مقدار القوة التي تنشأ على سلك بشكل نصف دائرة نصف قطرها R ويحمل تيارا مقداره I موضوعا بصورة عمودية في مجال مغناطيس منتظم B.

الحل : بما ان dF لكل اجزاء السلك متساوية لذا نجزئ السلك



عدد كبير من العناصر التفاضلية

طول كل منها =$d\ell$

القوة المغناطيسية المؤثرة على احد العناصر

$$dF = Id\ell B \sin\theta$$

بما ان السلك عمودي على المجال المغناطيسي

θ=90°.:

:.dF=I $d\ell$ B

و يكون اتجاه dF شعاعيا باتجاه نصف القطر نحو الخارج

بما ان القوة dF تختلف اتجاهها من عنصر الى اخر لذا يجب تحليل dFالى مركباتها الافقية و العمودية ثم نجري التكامل الاتجاهي لكل مركبة على انفراد.

المركبة الافقية =dF_x

dF_x=dF cosφ

$$F_x = \int dF_x$$

$$F_X = \int Id\ell B\cos\varphi = IB\int d\ell\cos\varphi$$

$$\because d\ell = Rd\varphi$$

$$\therefore F_X = IBR\int_0^{\pi}\cos\varphi\, d\varphi = 0$$

المركبة العمودية =dF_y

$$dF_Y = dF\sin\varphi$$

$$:.F_y=\int dF_y = \int dF\, sin\varphi$$

:. $d\ell$=Rdφ

$$F_Y = \int_0^{\pi} I\ B\ sin\varphi\ d\ell = \int_0^{\pi} I\ B\ sin\varphi\ R\ d\varphi = 2IBR$$

F_y=2IBR

لذا فان مقدار القوة الكلية المؤثرة على السلك هي: $F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}$

F=2IBR nt

اما اتجاهها فيكون عموديا نحو الاعلى (بالاتجاه الموجب لمحور y).

وهي تساوي القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك مستقيم طولة 2Rو يحمل نفس التيار المار في نصف الدائرة.

مثال: وضع ملف مستطيل طوله 12cm وعرضه 5cmبصورة موازية لمجال مغناطيس منتظم شدته B=0.4T ، فاذا علمت ان الملف مكون من 20 لفة ويحمل تيار مقداره I (1Amp) احسب

أ) عزم الازدواج (العزم الدوراني) المؤثر على الملف

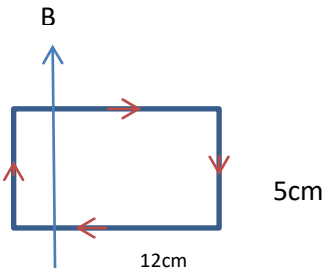
ب)عزم الازدواج المؤثر على الملف اذا كان اتجاه سطح الملف يصنع مع اتجاه B زاوية مقدارها $\varphi = 60^{\circ}$

ج)العزم المغناطيسي للملف

د)ما مقدار اقصى عزم ازدواجي يمكن ان يولده هذا المجال الموازي للملف على ملف يحمل نفس التيار و يكون الطول الكلي المصنوع منه هذا الملف مساوي لطول سلك الملف المستطيل .

الحل:

أ) الزاوية التي يصنعها العمود على مستوي الملف في هذه الحالة $\varphi = 90^{\circ}$



τ=NIAB sinφ

=20*1*5*10^{-2}*12*10^{-2}*0.4*sin90°

τ=48*10^{-3}N.m

ب) φ=60°

τ=20*1*5*10^{-2}*12*10^{-2}*0.4*sin60°

=48*$\frac{\sqrt{3}}{2}10^{-3}$ =24$\sqrt{3}$ 10^{-3} N.m

ج) m=NIA=20*1*5*10^{-2}*12*10^{-2}

=0.12 Amp.m^2

د) للحصول على اقصى(اكبر) عزم ازدواجي يجب ان تكون مساحة الملف اقصى ما يمكن .و من الطبيعي ان يصنع الملف على شكل دائري ، لان اقصى مساحة يمكن حصرها داخل سلك ذو طول معين هي المساحة الدائرية. لحساب مساحة الملف الدائري ينبغي ايجاد طول محيطه الذي اشترط ان يكون مساويا لمحيط الملف المستطيل لذا فانه

محيط المستطيل= محيط الدائرة

$$2\pi r = L \Longrightarrow r = \frac{L}{2\pi}$$

$L=2(5+12)*10^{-2}=34*10^{-2}m$

$r=\frac{L}{2\pi}$ نصف قطر الملف الدائري

$$A=\pi r^2=\pi(\frac{L}{2\pi})^2=\frac{(34*10^{-2})^2}{4*3.14}= 9.2*10^{-3}\ m^2$$

اقصى قيمة للعزم الازدواج على الملف الدائري :-

$$\tau=20*1*\frac{(34*10^{-2})^2}{4*3.14}*0.4*\sin 90^{\circ}$$

$=0.0736\ N.m$