

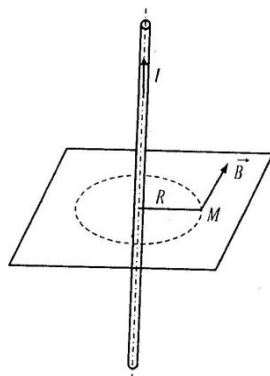
Амперов закон о циркулацији вектора магнетне индукције

У случају магнетних поља у вакууму овај закон представља базичну интегралну везу између стационарне електричне струје и магнетног поља које је повезано са том струјом.

Прав, танак и бесконачно дуг праволинијски проводник са струјом ствара магнетну индукцију која има интензитет

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

Вектор \vec{B} има правац тангенте на линије поља које су концентрични кругови у равнима нормалним на осу проводника. Смер вектора, па према томе и линија поља је одређен по правилу десне завојнице у односу на смер струје.



Слика 1.

Амперов закон се односи на линијски интеграл вектора \vec{B} по затвореној путањи која обухвата посматрану струјну нит. Тај линијски интеграл по затвореној путањи назива се циркулација вектора, па се и Амперов закон назива **закон о циркулацији вектора магнетне индукције**. Циркулација вектора се рачуна тако што се цела путања (затворена) издели на оријентисане елементе $d\vec{l}$, формирају се скаларни производи $\vec{B}d\vec{l}$ и изврши њихово сумирање дуж путање. Усваја се и смер обилажења по контури.

Од свих контура које обухватају струјну нит најједноставнија је кружна линија која се подудара са неком од линија магнетног поља. Вектор магнетне индукције \vec{B} је тангента у свакој тачки ове кружне линије и има исти интензитет па се циркулација вектора \vec{B} по овој специјалној контури своди на просто множење интензитета B и дужине линије:

$$\oint_C \vec{B}d\vec{l} = B2\pi r = \mu_0 \frac{I}{2\pi r} 2\pi r = \mu_0 I$$

Полупречник путање је директно сразмеран полупречнику a а интензитет магнетне индукције је обрнуто сразмеран полупречнику. Да је изабран супротан смер обилажења скаларни производ $\vec{B}d\vec{l}$ би био негативан дуж целе контуре.

Овај резултат важи и за сваку другу контуру која обухвата струјну нит.

Ако путања интегралења више пута обухвата струјну нит, нпр n пута, онда је циркулација вектора \vec{B} једнака:

$$\oint_C \vec{B} d\vec{l} = B 2\pi r = \mu_0 \frac{nI}{2\pi r} 2\pi r = n\mu_0 I$$

У случају када контура интегралења не обухвата струјну нит, циркулација вектора \vec{B} је једнака нули:

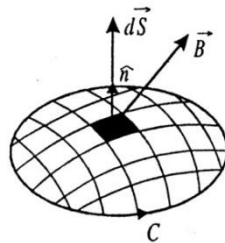
$$\oint_C \vec{B} d\vec{l} = 0$$

Амперов закон има поред ширег теоријског и непосредан практични значај, јер омогућава лако и једноставно израчунавање магнетног поља у случајевима где постоји висок степен симетрије.

Магнетни флуks

Флуks вектора \vec{B} кроз неку површину S која се ослања на контуру C дефинише се површинским интегралом

$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_S B dS \cos(\vec{B}, \vec{n}).$$



Слика 2.

Где је $d\vec{S}$ вектор чији је интензитет једнак елементарној површини dS , а има правац и смер нормале \vec{n} на ту површину. Смер нормале се одређује по правилу десне завојнице у односу на произвољно изабрани референтни смер обилажења по контури.

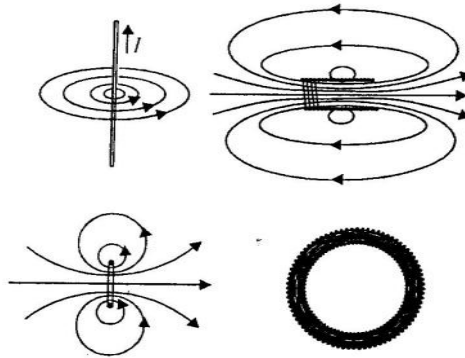
Јединица за магнетни флуks у MKSA систему је $\Phi_u = \text{Tm}^2 = \text{veber} = \text{Wb}$.

Флуks вектора \vec{B} подлеже веома важном закону о конзервацији флуksа, који је један од основних закона теорије електромагнетних поља и гласи:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0.$$

Овај закон се односи на затворену површину. Последица је принципа непрекидности линија поља вектора магнетне индукције, које немају ни почетка ни краја, већ се

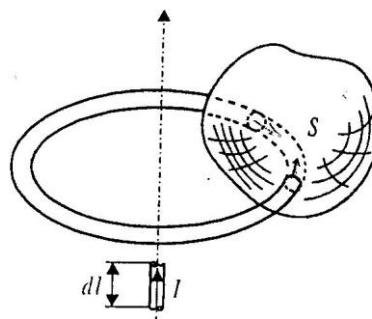
затварају саме у себе. Поља која подлежу закону о конзервацији флукса називају се соленоидским пољима. На слици су приказани спектри линија магнетне индукције што их стварају струје у танким проводницима једноставне геометрије(прав проводник, кружна контура, соленоид и торусни намотај).



Слика 3.

Линије магнетне индукције једног струјног елемента су концентрични кругови у равнима нормалним на осу елемента и са центрима на тој оси. Целокупно магнетно поље јеног елемента се може разложити на затворене концентричне тубе кружног облика, чије зидове образују линије магнетне индукције (као на слици). Такве тубе се називају тубама флукса, а имају ту особину да је флукс кроз било који попречни пресек једне тубе исти.

Ако у пољу замислимо произвољну затворену површину S , неке од туба флукса пресецају ову површину, али увек паран број пута. Флуксеви где туба пресеца површину S су једнаки по апсолутној вредности али су супротни по алгебарском знаку. На слици 4. се види да су нормале на површине где је туба флукса пресекла површину S супротног смера.



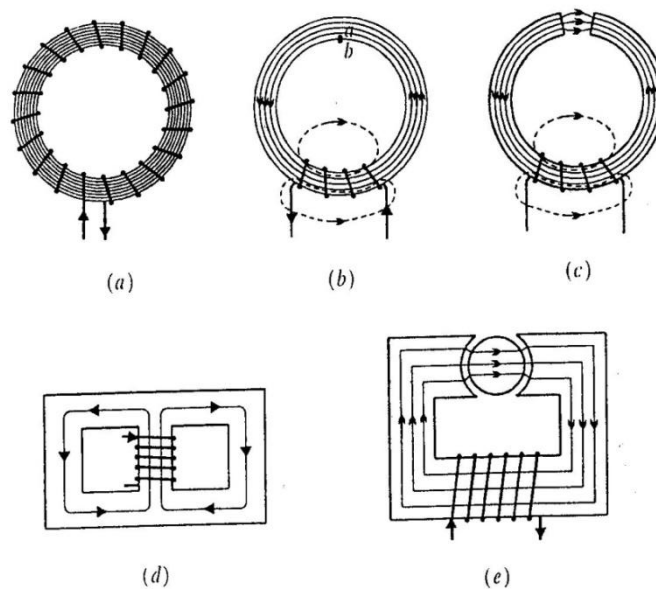
Слика 4.

Магнетно коло

Да би се оствариле жељене, релативно високе вредности флукса и индукције и да би се флукс каналисао по унапред дефинисаном путу унутар ових направа највећи део овог пута се гради од феромагнетних материјала, који имају много већу магнетну пермеабилност од околног ваздуха и других материјала. Пошто су линије магнетне индукције увек затворене саме у себе без обзира на карактер средине, то су и тубе флукса које образују ове линије такође затворене у саме у себе.

Свеукупност тела и средина, који образују пут по коме се затвара магнетни флукс, назива се магнетно коло.

Најједноставнији и скоро идеалан пример магнетног кола представља густо и равномерно мотани торусни намотај, са језгром од неког хомогеног магнетика или без њега. Код торусног намотаја су све линије магнетне индукције и целокупан флукс локализовани у унутрашњости торуса. Ако у торусу постоји језгро од неког магнетика високе пермеабилности, магнетизациони намотај може бити постављен само на једном делу торусног језгра. И тада ће највећи део флукса бити локализован унутар језгра. Само мали део укупног флукса се затвара кроз ваздух око намотаја и назива се расипни флукс.



Слика 5.

Да бисмо поставили основне квантитативне односе између величина карактеристичних за магнетно коло посматраћемо произвољно магнетно поље у нехомогеном али линеарном и изотропном магнетнику. У оваквим срединама постоји релација: $\vec{B} = \mu \vec{H}$.

Поље вектора \vec{B} може се разложити у систем елементарних туба флукса, које су затворене саме у себе. Попречни пресек тубе може бити променљив дуж тубе али је елементарни флукс у сваком њеном пресеку исти због закона о конзервацији магнетног флукса. Амперов закон примењен на контуру C која се поклапа са осом једне елементарне тубе гласи:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum I$$

Где је $\sum I$ алгебарски збир свих струја које се обухватају са уоченом тубом флукса.

Вектор \vec{B} је тангентан на контуру C и како је $\vec{B} = \mu \vec{H}$ то је:

$$\oint \frac{\vec{B}}{\mu} d\vec{l} = \sum I$$

Ако леву страну помножимо и поделимо са dS добићемо

$$\oint \frac{1}{\mu} \frac{d\phi}{dS} dl = \sum I$$

Одавде је:

$$d\phi = \frac{\sum I}{\oint \frac{1}{\mu} \frac{dl}{dS}}$$

Последњи израз представља основни закон квазилинеичног магнетног кола које се подудара са уоченом елементарном тубом флукса. Он је, са формалне стране, аналоган изразу за Омов закон квазилинеичног струјног кола.

$$I = \frac{E}{\oint \frac{1}{\gamma} \frac{dl}{S}}$$

Флукс ϕ одговара јачини струје I , $\sum I$ одговара електромоторној сили E , зато се назива **магнетомоторна сила или магнетопобудна сила** а обележава се симболом $F = \sum I$.

У аналогијама између електричног и магнетног кола магнетна пермеабилност μ игра улогу исту као специфична електрична проводност γ .

Израз:

$$R_m = \oint \frac{1}{\mu} \frac{dl}{dS}$$

се назива магнетна отпорност магнетног кола или релуктанса. Сада пишемо:

$$\phi = \frac{F}{R_m}$$

Последњи израз се назива Омов закон за магнетно коло или **Норкинс-онов закон**. У пракси се обично срећу магнетна кола која се састоје из више делова различитог пресека S_k и различитих пермеабилности μ_k . поред тога, коло може да садржи један или више ваздушних процепа чија је магнетна пермеабилност μ_0 .

$$R_m = \oint \frac{1}{\mu} dl = \sum_{k=1}^n \frac{l_k}{\mu_k S_k}.$$

Укупна магнетна отпорност једнака је збиру магнетних отпорности појединих секција:

$$R_m = \sum_{k=1}^n R_{mk}$$

Поред линеарних магнетних кола која су направљена од нехомогених, линеарних изотропних магнетика која смо до сада обрађивали постоје још и:

- Нелинеарна магнетна кола и
- Магнетна кола перманентних магнета.
Код нелинеарних магнетних кола сви делови (сем ваздушног простора) су направљени од феромагнетних материјала, чије су карактеристике магнећења познате.

Код магнетних кола перманентних магнета сам магнет је направљен од тврдог феромагнетика. Ако се такво коло претходно подвргне јаком магнећењу до засићења, на пример помоћу привремено постављеног намотаја са струјом, а затим се намотај уклони, коло ће, захваљујући појави реманентног магнетизма, остати намагнећено и у њему ће заостати неки флуks. Ако коло нема ваздушних процепа индукција би у колу имала вредност реманентне индукције, а ако има процепа биће мања.

Питања:

1. Колики је интензитет магнетне индукције око праволинијског проводника са струјом
2. Како се одређује правац и смер вектора магнетне индукције око праволинијског проводника са струјом.
3. Амперов закон о циркулацији вектора магнетне индукције у вакууму
4. Како гласи Амперов закон ако путања обилажења не обухвата ни један проводник са струјом?
5. Шта је магнетни флуks и како се израчунава?
6. Од чега зависи магнетни флуks кроз затворену површину?
7. Која је јединица за магнетни флуks?
8. Закон о конзервацији магнетног флуksа.
9. Шта представља магнетно коло?
10. Где је локализован целокупан флуks код торуса ако у торусу постоји језгро од неког магнетика високе пермеабилности и магнетизациони намотај постављен само на једном делу торусног језгра.
11. Како гласи **Норкинс-онов закон**? Објаснити све ознаке у обрасцу.
12. Како се рачуна укупна отпорност магнетног кола?