

9 - дәріс

Тақырып: Электромагниттік индукция құбылысы

Дәріс мазмұны: 1. Фарадей заңы. Ленц ережесі. 2. Өздік индукция құбылысы. 3. Магнит өрісінің энергиясы және оның көлемдік тығыздығы.

1. Фарадей заңы. Ленц ережесі

Электромагниттік индукция құбылысының ашылуы, магнит өрісінің көмегімен электр өрісін алудың мүмкіндігін дәлелдеді, яғни электр мен магниттік құбылыстардың өзара тығыз байланысты екендігі дәлелденді. Ол өз кезегінде электромагниттік өрістің теориясын жасаудың іргесін қалады.

Дат физигі Эрстед, тогы бар өткізгіштер магнит өрісін туғызатынын дәлелдеді. Ал керісінше, магнит өрісі электр тогын тудыра ала ма деген сұрақты ағылшын физигі Фарадей алдына қойып, оған 1831 жылы тәжірибелер арқылы жауап берді. Егер магнитті катушкаға жақындатсақ, онда өткізгіште магнитті міндетті түрде тебетін бағытта ток пайда болады. Магнит пен катушканы жақындату үшін оң жұмыс жасау керек. Катушка өзіне жақындап келе жатқан магнитке өзінің аттас полюсімен қарап тұрған магнит тәрізді болады. Ал аттас полюстер тебілетіні белгілі. Магнитті катушкаға тартылуы, не одан тебілуі - индукциялық токтың бағытына байланысты. Тогы бар катушканы тұйық катушкаға жақындатқанда, не алыстатқанда да тап осы заңдылық сақталады. Магнитті катушкаға жақындатқанда, катушканың орамдарын қиып өтетін магнит индукциясының күш сызықтары артады, ал алыстатқанда азаяды. Индукциялық токтың беретін магнит өрісінің векторы \vec{B}' , сыртқы магнит өрісінің \vec{B} векторына магнит жақындағанда қарама-қарсы бағытта, ал алыстатқанда, бағыттас болады. Осы тәжірибелер нәтижесінде Фарадей мынадай қорытындыларға келді:

- 1) индукциялық ток тек қана контурды қиып өтетін магнит ағыны өзгерген кезде ғана пайда болады;
- 2) индукциялық токтың мөлшері магнит индукциясы ағынын өзгерту тәсіліне тәуелді болмайды, ол тек қана магнит ағынының өзгеру жылдамдығымен анықталады.

Индукциялық токтың пайда болуы - тұйық контурда электр қозғаушы күші әсер ететінін көрсетеді, ол *индукцияның электр қозғаушы күші* деп аталады.

Фарадей заңының математикалық өрнегі:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (9.1)$$

Индукция электр қозғаушы күші магнит ағынының өзгеру жылдамдығына тең болады. $\frac{d\Phi}{dt}$ және ε_i қарама-қарсы бағытта, яғни таңбалары бір-біріне теріс болады. Егер ағын өсетін ($\frac{d\Phi}{dt} > 0$) болса, онда

$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} < 0$ болады, яғни пайда болған индукциялық ток ағынға қарсы бағытталған өріс туғызады. Егер ағын азаятын ($\frac{d\Phi}{dt} < 0$) болса, онда

$\varepsilon_i = \frac{d\Phi}{dt} > 0$ болып, ағын мен индукциялық ток туғызған өріс бағыттары бірдей болады.

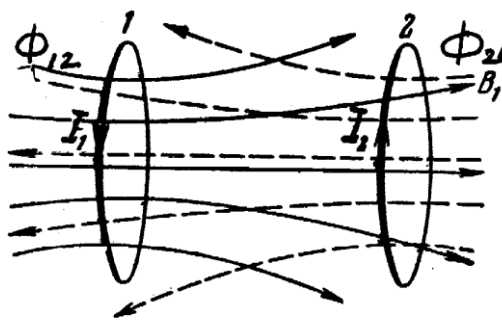
Ленц индукциялық ток бағытын анықтаудың ережесін ұсынды. *Ленц ережесі*: контурдағы индукциялық токтың бағыты әрқашан да осы токты туғызған магнит ағынының өзгеруіне кідіртуші бағытта болатын магнит өрісінің векторын тудырады. Қысқа түрде: индукциялық ток ылғи да оны тудырған себептің әсеріне қарама-қарсы болатын бағытқа бағытталған. Сонымен, Фарадей заңы индукция ЭҚК-інің шамасын, ал Ленц ережесі – бұл ЭҚК-інің бағытын анықтайды.

2. Өздік индукция құбылысы

Тұйық контурда ток күшінің өзгеруі - осы ток өзі тудырған магнит өрісінің индукциясын өзгертеді, олай болса индукция векторы \vec{B} жалпы жағдайда шама жағынан да, бағыты жағынан да өзгереді. Бұл өзгеру тап осы контурды қиып өтіп жатқан магнит өрісінің ағынын өзгертеді, ал магнит ағынының өзгерісі өз кезегінде осы контурда (9.2-сурет) индукциялық ЭҚК-ін тудырады. Бұл құбылыс *өздік индукция* құбылысы деп аталады. Био-Савар-Лаплас заңы бойынша магнит өрісінің индукциясы токқа пропорционал болатындықтан, контурмен ілініскен магнит ағыны да ($\Phi = BS$) контурдағы токқа пропорционал болады:

$$\Phi = LI. \quad (9.2)$$

Пропорционалдық коэффициент (L) контурдың *индуктивтігі* деп аталады. Индуктивтілік контурдың пішіні мен мөлшеріне және де контур орналасқан ортаның өтімділігіне тәуелді. Егер контур қатаң болып, оның маңында ферромагнетик



9.1-сурет. Екі контурдың өзара магниттік әсері.

болмаса, онда индуктивтік (L) тұрақты шама болады. Өздік индукция коэффициенті күші бірге тең ток жүрген контурмен шектелген аудан арқылы магнит индукциясы ағынына сан жағынан тең шама. Индуктивтілік өлшемі

ретінде бірліктердің халықаралық жүйесінде генри (Гн) қабылданған: 1 Гн – ток күші 1 А болғанда, магнит ағыны 1 веберге тең контурдың индуктивтілігі. Соленоидтың ішінде индукциясы В-ға тең магнит өрісі козады:

$$B = \mu\mu_0 \frac{NI}{\ell} = \mu\mu_0 nI . \quad (9.3)$$

Әрбір орам арқылы ағын $\Phi=BS$ болады, ал толық ағын

$$\Psi = N\hat{O} = n\ell \cdot BS = \mu\mu_0 n^2 \ell SI , \quad (9.4)$$

мұндағы $n = \frac{N}{\ell}$ – бірлік ұзындықтағы орам саны (ал $n\ell = N$ -ге тең).

n-нің өлшем бірлігі – $[1/м]=[м^{-1}]$. (11.2) және (11.4) өрнектерін салыстыру нәтижесінде ұзын соленоидтың индуктивтілігін табамыз:

$$L = \mu_0 \mu n^2 \ell S = \mu_0 \mu n^2 V , \quad (9.5)$$

мұндағы $V = \ell S$ – соленоидтың көлемі.

3. Магнит өрісінің энергиясы және оның көлемдік тығыздығы

Тоғы бар өткізгіш ылғи да магнит өрісінің қоршауында болады, магнит өрісі токтың пайда болу және жоғалуына байланысты. Магнит өрісі электр өрісі сияқты энергия сақтаушысы болып табылады. Магнит өрісін туғызу үшін ток энергиясының бөлігі жұмсалады, сондықтан магнит өрісінің энергиясы токтың осы өрісті тудыру үшін жұмсалған жұмысына тең деген болжам айтуға болады. Бойымен I тоғы жүретін контурды қарастырайық. Контурдың индуктивтілігі L болсын. Егер контурдағы ток dI-ге өзгерсе, онда онымен ілініскен ағын $d\Phi=LdI$ -ге өзгереді, ал мұнда істелінген жұмыс $dA=I d\Phi=L I dI$ болады. Φ ағыны пайда болуға қажетті жұмыс:

$$A = \int_0^I L I dI = L I^2 / 2 \quad (9.6)$$

болады. Контурмен байланысқан магнит өрісінің энергиясы:

$$W = A = \frac{L I^2}{2} . \quad (9.7)$$

Енді ұзын соленоидтың ішіндегі біртекті магнит өрісінің энергиясын есептейік.

$$L = \mu\mu_0 n^2 V, \quad B = \mu\mu_0 H, \quad H = nI$$

екені белгілі.

L мен I-дің мәндерін (2.25)-ке қоятын болсақ:

$$W = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} V = \frac{BH}{2} V = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} V, \quad (9.8)$$

мұндағы $V = Sl$ – соленоид көлемі.

Энергия соленоид ішіне топтасқан және тұрақты көлемдік тығыздықпен $w = \frac{W}{V}$ таралған болады. Сонымен,

$$w = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} = \frac{BH}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}. \quad (9.9)$$

Әдебиеттер:

Нег. 2 [181-198], 7 [275-288], 8 [223-235].

Қос. 22 [206-233], 48 [217-235].

Бақылау сұрақтары:

1. Электромагниттік индукция заңы мен энергияның сақталу заңының арасында қандай байланыс бар?
2. Өткізгіш контурының индуктивтігі және екі контурдың өзара индуктивтігінің физикалық мәні қандай?
3. Полярлы молекулалары бар парамагнетиктің магниттелуі мен диэлектрлік поляризациялануын қалай салыстыруға болады?
4. Заттың магниттік күйінің сандық сипаттамасын қандай шама атқарады?
5. Ферромагнетиктердің магниттік қасиеттерінің ерекшеліктері қандай?