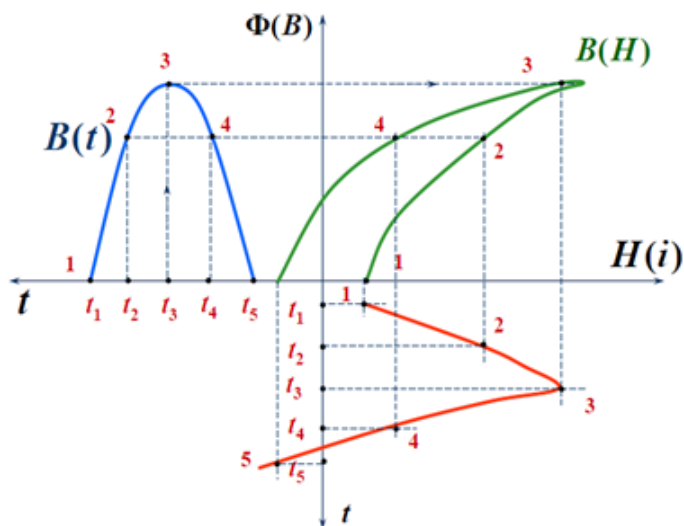


Қазақстан Республикасының білім және ғылым министрлігі

А.Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеті

Электротехника кафедрасы



Т.И.Глущенко
Б.К.Саменов

ЭЛЕКТРОТЕХНИКАНЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ 2

2 БӨЛІМ МАГНИТТІК ТІЗБЕКТЕР

Оқу құралы

Қостанай, 2021

Қазақстан Республикасының білім және ғылым министрлігі

А.Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеті

Электротехника кафедрасы

Т.И.Глушенко

Б.К. Сакенов

ЭЛЕКТРОТЕХНИКАНЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ 2

2 БӨЛІМ. МАГНИТТІК ТІЗБЕКТЕР

Оқу құралы

Қостанай, 2021

УДК 621.31 (075.8)

ББК 31.21я73

Г 55

Авторлар:

Глущенко Татьяна Ивановна, экономика ғылымдарының кандидаты
Сакенов Балташ Канатович, техника ғылымдарының магистрі

Рецензенттер:

Бедыч Татьяна Витальевна, техника ғылымдарының кандидаты, М. Дулатова атындағы КИЭУ энергетика және машина жасау кафедрасының меңгерушісі.
Кушнир Валентина Геннадьевна, техника ғылымдарының докторы, профессор, А. Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университетінің инженерлік-техникалық институтының директоры
Кошкин Игорь Владимирович, техника ғылымдарының кандидаты, А. Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университетінің инженерлік-техникалық институтының электроэнергетика кафедрасының меңгерушісі

Глущенко Т.И., Сакенов Б.К.

Г55 Электротехниканың теориялық негіздері 2. 2 бөлім - Магниттік тізбектер . 6В07101 – Электроэнергетика- білім беру бағдарламасына арналған оқу құралы.Қостанай, 2021. - 97 б.

ISBN 978-601=7481-4

Оқулықта магниттік және электромагниттік құбылыстар туралы теориялық ақпараттар, тұрақты және айнымалы магнит ағындары бар магнит тізбектерін есептеу әдістері, есептер шығарудың мысалдары, студенттердің өзіндік жұмысына арналған тесттер мен тапсырмалар берілген.

Электроэнергетика мамандықтарының студенттеріне арналған; оны электротехниканың теориялық негіздері бойынша сабақтар өткізген кезде жоғары оқу орындарының оқытушыларына ұсынуға болады.

А.Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университетінің оқу-әдістемелік кеңесінде мақұлданды және баспаға ұсынылды, хаттама № 4 20.04.2021

ISBN 978-601=7481-4

© Глущенко Т.И., 2021
© Сакенов Б.К., 2021

Мазмұны	бет.
Кіріспе	5
Тақырып 1 Электромагниттік құбылыстар	6
1.1 Магнит өрісі және оның қасиеттері	6
1.2 Магнит индукциясы, магнит өрісінің кернеулігі және магнит ағыны.....	9
1.3 Өр түрлі заттардың магниттік қасиеттері.....	12
1.4 Тұрақты магниттер мен электромагниттер	18
1.5 Магнит өрісіндегі тогы бар өткізгіш	26
1.6 Электромагниттік индукция	29
1.6.1 Электромагниттік индукция құбылысы	29
1.6.2 Қозғалыс кезіндегі индукция магнит өрісіндегі ашық өткізгіштегі ЭҚК пайда болуы..Оң қол ережесі	29
1.6.3 Фарадей тәжірибелері	32
1.6.4 Электромагниттік индукция үшін Ленц заңы	36
1.6.5 Құйынды ағындар	40
1.6.6 Тізбек жабылған кездегі индукция құбылысы	44
1.6.7 Тізбек ашылғандағы өзіндік индукция құбылысы	46
Тақырып 2 Магниттік тізбектерді есептеу	49
2.1 Магниттік тізбектің негізгі заңдары	51
2.2 Тұрақты магнит ағыны бар магниттік тізбектер.....	54
2.3 Тармақталмаған магниттік тізбек	58
2.3.1 Тармақталмаған магниттік тізбекті есептеу мысалдары	59
2.4 Тармақталған магниттік тізбек	68
2.4.1 Тармақталған магниттік тізбекті есептеу мысалдары	69
2.5 Айнымалы магниттік ағыны бар магниттік тізбектер	74
2.5.1 Айнымалы магниттік тізбекті магнитті ағынымен есептеу мысалдары	77
3 Тесттер	83
4 №1 жеке үй тапсырмасы	93
Қорытынды	96
Пайдаланылған дерек көздерінің тізімі	97

Кіріспе

"Электротехниканың теориялық негіздері 2" Электр энергетикасы саласындағы мамандарды даярлау жүйесіндегі негізгі теориялық пән болып табылады. Ол физика, математика және информатика және Электротехниканың теориялық негіздері 1 оқу нәтижесінде студенттердің алған біліміне негізделген. Өз кезегінде, Электротехниканың теориялық негіздері 2-ші бөлімін жақсы білу үшін арнайы электротехникалық пәндерді: электр машиналарын, ақпараттық-өлшеу техникасын, электр энергетикасын және т.б. зерттеуді айтарлықтай жеңілдетеді.

Пәннің негізгі міндеті - магниттік тізбектерді зерттеу мен есептеудің негізгі мәселелері бойынша қажетті теориялық дайындықты қамтамасыз ету.

Магниттік тізбектерді есептеу графоанализалық есептеуге негізделген.

Оқу құралы 6В07101 "Электрэнергетика" білім беру бағдарламасының бакалаврларын дайындауға арналған. Оқу құралында теориялық материал, тұрақты магнит ағыны мен ауыспалы магнит ағыны бар магниттік тізбектерді есептеу мысалдары, өзіндік жұмыс үшін тесттер мен тапсырмалар бар.

1 Электромагниттік құбылыстар

1.1 Магнит өрісі және оның қасиеттері

Ғалымдар электр тогы бар сымның айналасында басқа өткізгіштер мен әртүрлі заттарға әсер ететін магниттік күштер пайда болатындығын анықтады.

Магниттік күштер темір, болат және кейбір қорытпалардан тұратын денелерге ерекше әсер етеді. Бұл күштер ерекше шиеленіс жағдайында болатын және магнит өрісі деп аталатын материалдық орта арқылы беріледі.

Магнит өрісі әрқашан қозғалмалы электр зарядтарымен жасалады. Бекітілген зарядтар магнит өрісін жасай алмайды. Олардың айналасында электростатикалық өріс пайда болатыны белгілі. Сонымен қатар, электр өрісі өзгерген кезде магнит өрісі пайда болады. Магнит өрісінің өзі тек қозғалатын электр зарядтарына әсер етеді. Магнит өрісі тұрақты зарядтарға әсер етпейді.

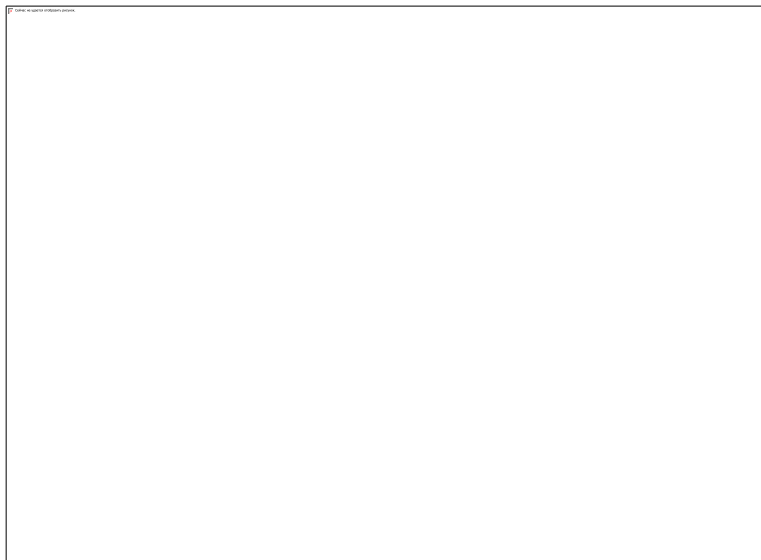
Магнит өрісі әрқашан қозғалмалы электр зарядтарымен жасалады. Бекітілген зарядтар магнит өрісін жасай алмайды. Олардың айналасында электростатикалық өріс пайда болатыны белгілі. Сонымен қатар, электр өрісі өзгерген кезде магнит өрісі пайда болады. Магнит өрісінің өзі тек қозғалатын электр зарядтарына әсер етеді. Магнит өрісі тұрақты зарядтарға әсер етпейді.

Магнит өрісі ауа, шыны, қағаз, картон, мыс, су сияқты көптеген заттарға, сондай-ақ сирек (ауасыз) кеңістікке ене алады. Осылайша, ток сымның айналасында кез-келген затта магнит өрісі пайда болады. Қазіргі физикалық көзқарастарға сәйкес магнит өрісі материяның бір түрі болып табылады. Өйткені магнит өрісі қолданылады әр түрлі заттар мен алып келуі мүмкін, олардың қозғалысы, онда анық, бұл ол бар энергиясын.

Магниттік күштер магнит өрісінде белгілі бір бағыттар бойынша әрекет етеді, оларды *магниттік күш сызықтары* деп атайды. Олардың көмегімен сіз магнит өрісін ыңғайлы және нақты көрсете аласыз. Күш сызықтарының белгілі бір санының жиынтығы ретінде магнит өрісінің бейнесі өте өрескел және дәл емес. Шындығында, магнит өрісі бүкіл кеңістікті толтырады және кез-келген күш сызығы оның кез-келген нүктесінен өтеді. Алайда, қарапайымдылық үшін өріс құрылымының ең тән белгілерін көрсететін күш сызықтарының аз ғана саны бейнеленген.

Магнит өрісін дәлірек бейнелеу үшін олар өріс күшті жерлерде күш сызықтарын қалың, яғни бір-біріне жақын жерде көрсетуге болады. Керісінше, өріс әлсіз жерлерде шырша сызықтары аз

мөлшерде көрсетіледі, яғни, аз орналасқан. Күш сызықтарының көмегімен бейнеленген магнит өрісіне, олардың орналасу тығыздығына бірден қарап, өрістің қай жерде күшті және әлсіз екенін айта аламыз. Осылайша, күш сызықтары нақты материалдық магнит өрісін көрсетеді.



Сурет 1.1- магнит өрісінің тікелей сым және катушкалар

Кейде магниттік күш сызықтары шартты түрде қысқаруға бейім кейбір серпімді созылған жіптер ретінде қарастырылады, сонымен қатар бір-бірінен өзара итеріледі (өзара бүйір бөлінісі бар). Мұндай ұқсастық магнит өрісінде болатын кейбір құбылыстарды көрнекі түрде көрсетуге көмектеседі, бірақ, әрине, дұрыс емес.

Тік сызықты өткізгіште магнит өрісінің күш сызықтары сымды қамтитын концентрлік шеңберлерді білдіреді (сурет-1.1, а). Бұл сызықтар сымның айналасында барлық жерде бар, бірақ 1.1-суретте және олар бірнеше жерде ғана көрсетілген. Ток не ғұрлым күшті болса, сымның айналасындағы магнит өрісі соғұрлым күшті болады. Ток сымнан алыстаған сайын магнит өрісі біртіндеп әлсірейді.

Магниттік күш сызықтарының бағыты шартты түрде *бұрандалы ережеге* сәйкес таңдалады: *егер сіз бұранданы ток бағытына бұрасаңыз, онда магниттік күш сызықтары бұранданың айналу бағыты бойынша бағытталады*. Басқаша айтқанда, *егер сіз ток бізден кететін етіп сым бойымен қарасаңыз, онда магниттік күш сызықтары сағат тілімен бағытталады*. Осы ережеге сәйкес күш сызықтары 1.1,а-суретте көрсетілген. Айта кету керек, электромагниттік құбылыстарды қарастырған кезде токтың бағыты шартты түрде қабылданады, яғни, плюстен минусқа дейін.

Магниттік күш сызықтары, әдетте, бір электр зарядынан басталып, екіншісімен аяқталатын электр күшінің сызықтарынан айырмашылығы, олар әрқашан тұйық болады (сурет 1.1).

Күшті магнит өрісін алу үшін сым орамасы бар катушкалар қолданылады. Бұл жағдайда катушканың жеке бұрылыстарының магнит өрістері қосылады және олардың күш сызықтары жалпы магнит ағынына біріктіріледі. Катушканың магнит өрісінің суреті 1.1, б-суретте көрсетілген (бұл суреттегі көптеген күш сызықтары толық көрсетілмеген, бірақ, әрине, олардың барлығы жабық). Ток сағат тіліне қарсы бағытта жүретін катушканың сол жағында магниттік күш сызықтары катушқадан шығады. Катушканың бұл ұшы *солтүстік магниттік полюс* деп аталады және *N* әрпімен белгіленеді (*North* немесе *Nord* — солтүстік сөзінен) немесе *C*. Катушканың екінші ұшы *оңтүстік магниттік полюс* деп аталады және *S* әрпімен белгіленеді (*South* немесе *Süd* — оңтүстік сөзінен) немесе *Ю*, онда ток сағат тілімен жүреді және магниттік күш сызықтары катушкаға енеді. Егер сіз катушкадағы токтың бағытын өзгертсеңіз, онда магнит өрісінің бағыты мен катушканың ұштарындағы магниттік полюстер өзгереді.

Катушкалардың токпен әрекеттесуі келесі ережеге сәйкес жүреді: *сол атаудағы полюстер итеріліп, қарама-қарсы полюстер тартылады*.

Катушканың бұрылыстарының саны мен ондағы ток неғұрлым көп болса, оның магнит өрісі соғұрлым күшті болады. Басқаша айтқанда, катушканың магнит өрісі неғұрлым күшті болса, ток көбейтіндісі (ампермен) бұрылыстар санына соғұрлым көп болады. Мысалы, егер 1 А ток сымның бір бұрылысы арқылы ағып кетсе немесе 50 бұрылыс және 20 мА ток бар катушканы алсаңыз немесе 2 мА ток 500 бұрылыс катушкасы арқылы өтсе, бірдей магнит өрісі пайда болады.

Барлық осы жағдайларда 1000 мА ток катушканың барлық бұрылыстарының өткізгіштерінің жалпы көлденең қимасы арқылы өтеді.

Солтүстік және оңтүстік полюстердің атаулары берілген, өйткені көлденең жазықтықта тік осьте оңай айнала алатын ток катушкасы бар, ол солтүстік полюсі солтүстікке, ал оңтүстік полюсі оңтүстікке қарайтын позицияны алуға тырысады. Бұл катушканың магнит өрісінің жердің магнит өрісімен әрекеттесуіне байланысты.

Жер шарына енетін және қоршаған магнит өрісінің пайда болу себептері әлі нақты анықталған жоқ. Жердің магнит өрісі атмосферадағы электр құбылыстарымен байланысты екендігі анықталды. Жер бетінен ондаған және жүздеген шақырым биіктікте иондалған ауа қабаттары (ионосфера) бар, онда атомдардың бір бөлігі оң иондар мен электрондарға бөлінді. Ауаның ионизациясы күн сәулесінің әсерінен және Ғаламның алыс бөліктерінен жерге түсетін ғарыштық сәулелерден туындайды.

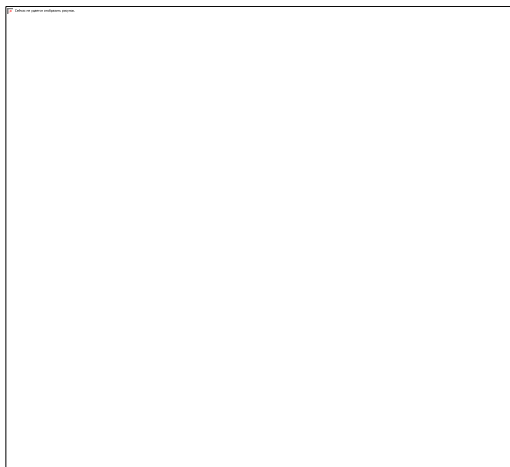
Жер магнетизмінің бір теориясына сәйкес, жер шарының өз осіне айналуына байланысты атмосферада орналасқан электрлік зарядталған бөлшектер ток жасайды деп саналады. Демек, жер шары бір ток сымымен қоршалған сияқты. Жердің магнит өрісі осы атмосфералық токпен жасалады, Солтүстік географиялық полюсте оңтүстік магниттік полюс, ал оңтүстік географиялық полюсте — солтүстік магнит. Басқа теория бойынша, негізгі рөлді жер ішінде оның айналуы нәтижесінде пайда болатын токтар ойнайды.

Айта кету керек, күн сәулесінде болатын әртүрлі процестерден туындаған күн радиациясының өзгеруі ионосфераға айтарлықтай әсер етеді. Бұл жағдайда Жердің магнит өрісі де өзгереді. Кейде магниттік дауыл деп аталатын өте күшті өзгерістер болады. Олар күн белсенділігінің күрт өзгеруінен туындайды, мысалы, үлкен жарылыстар болып табылатын күн дақтарының пайда болуы.

1.2. Магниттік индукция, магнит өрісінің күші және магнит ағыны

Магнит өрісі *B*. *магниттік индукциясымен* сипатталады. Кеңістіктің белгілі бір жеріндегі өріс неғұрлым күшті болса, онда магниттік күш сызықтары сол ғұрлым қалың болады және магниттік индукция соғұрлым үлкен болады. Сондықтан магниттік күш сызықтары *магниттік индукция сызықтары* деп те аталады.

Егер белгілі бір аймақта магниттік күш сызықтары біркелкі орналасса, онда бұл аймақтағы өріс **біртекті** деп аталады. Ондағы магниттік индукция ***V*** барлық жерде бірдей. Мұндай өріс диаметрі көп ұзындыққа ие катушканың ішінде пайда болады. Катушканың ұштарында және оның айналасында өріс гетерогенді, сонымен қатар катушканың ішіне қарағанда әлсіз. Көп жағдайда магнит өрісінің бір бөлігі ғана біртекті болуы мүмкін.



Сурет 1.2- Тороидальды катушкалар

Барлық өріс тороидальды катушкаларда шамамен біркелкі (1.2-сурет). Мұндай катушкалар практикалық қолданысқа ие. Олардың артықшылығы-өріс тек катушканың ішінде орналасқан және қоршаған кеңістікте таралмайды.

Магниттік индукцияның орнына магнит өрісінің ***V*** күшін сипаттау үшін ***H*** магнит өрісінің күші жиі қолданылады, ол магниттік индукцияға пропорционал және оған келесі арақатынаспен байланысты:

$$H = V/\mu_a. \quad (1.1)$$

Мұнда ***\mu_a*** абсолютті магнит өткізгіштігі деп аталады. Ол магнит өрісі құрылған ортаның магниттік қасиеттерін сипаттайды. Магнит өткізгіштігі туралы толығырақ келесі параграфта сипатталған.

Тороидальды катушкаларда өрістің кернеуі неғұрлым үлкен болса, I ток көбейтіндісі w бұрылыстарының санына соғұрлым үлкен болады және орама жасалған шеңбердің l ұзындығы соғұрлым аз болады. Басқаша айтқанда, I -қуат сызығының орташа ұзындығы. Тороидальды катушкалар өрісінің беріктігін есептеу формуласы келесі формада болады:

$$H = Iw/l. \quad (1.2)$$

Осы формула бойынша өріс кернеуінің бірлігін орнатуға болады. Iw өнімі әдетте ампермен көрсетіледі, өйткені бұрылыстар саны өлшемге ие емес. Егер Iw өнімі бір амперге тең болса және l бір метрге тең болса, онда H де бірлікке тең, сондықтан кернеу **ампер метрге (А/м)** өлшенеді.

Осылайша, 1 А/м өрістің кернеуі тороидальды катушканың ішінде бір метрге тең күш сызығының орташа ұзындығымен алынады, егер оның бойында, мысалы, 100 бұрылыс болса, ал ток 0,01 А болса немесе бұрылыстар саны 1000 болса, ток 0,001 А және т. б.

Берілген формула белгілі бір жуықтаумен цилиндрлік катушканың ішінде H мәнін береді(1.1-сурет, б), Ал l -ораманың ұзындығы. Ол бұрылыс диаметрімен салыстырғанда не ғұрлым үлкен болса, H анықтамасындағы қателік соғұрлым аз болады.

Егер өріс катушкамен емес, тікелей сыммен жасалса, онда өрістің кез-келген нүктесінде H сымдағы токқа және берілген нүкте мен сым арасындағы қашықтыққа байланысты болады.

Кейде өлшем бірліктер жүйесінде магнит өрісінің беріктігін өлшеу бірлігі қолданылады. Ол 1820 жылы токтың компастың магниттік көрсеткісіне әсерін ашқан даниялық физик Х.К. Эрстедтің құрметіне **эрстед (Э)** деп аталды. $1 \text{ Э} \approx 80 \text{ А/м}$ деп болжауға болады.

Кез-келген аймаққа енетін магнит өрісі **магнит ағыны** деп аталады. Егер осы өрістің барлық күш сызықтары осындай аймаққа енсе, онда олар **толық магниттік ағын** туралы айтады. Толық ағынның бір бөлігін құрайтын ішінара магнит ағынын қарастыруға болатыны анық. Магнит ағыны Φ әрпімен белгіленеді және веберлерде (Вб) өлшенеді. Бұл өлшем бірлігі неміс ғалымы В. Вебердің есімімен аталады. Бұрын өлшем бірліктер жүйесінде магнит ағыны **максвеллде** (Мкс) көрсетілген. Бұл өлшем бірлігі. Электромагнетизм теориясында көрнекті зерттеулер жүргізген ағылшын физигі Д. Максвеллдің есімімен аталады. Бір максвелл- 10^{-8} вебер.

Магниттік индукция магниттік күш сызықтарының тығыздығымен байланысты болғандықтан, магнит ағынының көлденең

қимасынан 1 см^2 өтетін күш сызықтарының саны B . магниттік индукциясына пропорционал.

Содан кейін аудан арқылы өтетін күш сызықтарының жалпы саны S оған перпендикуляр, біртекті өріс үшін BS көбейтіндісіне пропорционал және Φ магнит ағынын анықтайды, пирсинг алаңы S , яғни.

$$\Phi = BS, \quad (1.3)$$

демек, $B = \Phi/S$, яғни магниттік индукция - бұл магнит ағынының тығыздығы. Егер $\Phi = 1 \text{ Вб}$ және $S = 1 \text{ м}^2$ болса, онда B да бірлікке тең болады. Магниттік индукцияны өлшеу бірлігі югославиялық ғалым Н. Тесланың құрметіне *тесла* (Тл) деп аталды. Осылайша, $1 \text{ Тл} = 1 \text{ Вб/м}^2$. Бұрын өлшем бірліктер жүйесінде неміс математигі К.Гаусстың құрметіне аталған Гаусс магниттік индукция бірлігі (Гс) қолданылған, оның үстіне $1 \text{ Тл} = 10^4 \text{ Гс}$.

1.3 Әр түрлі заттардың магниттік қасиеттері

Егер қандай да бір дене ауада немесе ауасыз кеңістікте құрылған магнит өрісіне қойылса, онда өріс өзгереді. Кейбір денелерде магнит ағыны қоршаған кеңістіктегі ағынмен салыстырғанда күшейеді. Бұл *парамагниттік* заттар деп аталады. Басқа заттар, керісінше, магнит ағынын әлсіретеді. Олар *диамагниттік* деп аталады.

Ауадағы магнит ағынымен салыстырғанда белгілі бір заттағы магнит ағынының қанша рет өзгередінін көрсететін шама салыстырмалы магнит өткізгіштігі немесе жай заттың магнит өткізгіштігі деп аталады және μ деп белгіленеді. Әрине, бірдей аудандар арқылы өтетін магниттік ағындарды салыстыру керек.

Магнит өткізгіштігі-әртүрлі заттардың магниттік қасиеттерін сипаттайтын маңызды шама. Парамагниттік заттар үшін $\mu > 1$, ал диамагниттік заттар үшін $\mu < 1$. Көптеген диамагниттік және парамагниттік заттарда μ бірліктен сәл өзгеше. Қатаң айтқанда, $\mu = 1$ тек ауасыз кеңістік үшін (вакуум). Алайда ауа үшін $\mu = 1$ деп санауға болады.

Жоғарыда айтылғандай, заттардың магниттік қасиеттері салыстырмалы магнит өткізгіштігімен байланысты *ма абсолютті магнит өткізгіштігімен* де сипатталады:

$$\mu_a = \mu_0 \mu \quad (1.4)$$

Мұнда μ_0 вакуумның (ауаның) абсолютті магнит өткізгіштігін білдіреді. Оны магниттік тұрақты деп атайды және ол $\mu_0=4\pi 10^{-7}$ Ом·с/м-ге тең. егер негізгі магниттік шамалар үшін бұрын берілген формулаларға μ_0 енгізсек, онда біз аламыз.

$$B = \mu_0 \mu H \quad \text{и} \quad \Phi = \mu_0 \mu HS \quad (1.5)$$

Парамагниттік заттардың ішінде **ферромагниттік заттар** ерекше орын алады, оларда магнит өткізгіштігі жүздеген, мыңдаған бірліктерге жетеді және одан жоғары. Электротехника мен радиотехникада кеңінен қолданылатын ферромагниттік заттарға, атап айтқанда, болат, никель, кобальт, сондай-ақ кейбір қорытпалар жатады.

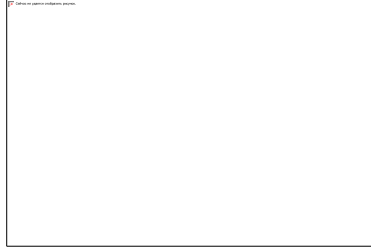
Ферромагниттік денелердегі магнит ағынының едәуір артуы мұндай денелердің сыртқы магнит өрісінің әсерінен магниттелуімен, яғни өз магнит өрісін құруымен түсіндіріледі. Ол магниттелетін өріске қосылады және нәтижесінде өріс күшейеді.

Алынған **B** өрісінің магниттік индукциясы сыртқы магниттелетін өрістегі индукция **B₀** мен сыртқы өрістің әсерінен пайда болған ішкі өрістің индукциясының **B_{внут}** қосындысы болып табылады:

$$B = B_0 + B_{\text{внут}} \quad (1.6)$$

1.3-суретте ферромагнетик орналастырылған кезде магнит өрісінің өзгеруі көрсетілген. Өрістің күш сызықтары осы затқа тартылады және ол қоршаған кеңістікке қарағанда әлдеқайда күшті магнит ағынын алады.

Қазіргі физика әртүрлі заттардың магниттік қасиеттерін келесідей түсіндіреді. Атом ядросының айналасында қозғалатын электрондар бұл магнит өрістерін құратын қарапайым электр токтары. Егер зат ферромагниттік болмаса, онда ондағы қарапайым магнит өрістері кездейсоқ орналасады, яғни әртүрлі бағыттарға ие. Мұндай затта айтарлықтай пайда болатын өріс пайда болмайды, ал сыртқы кеңістіктегі атомшілік магнит өрістері анықталмайды.

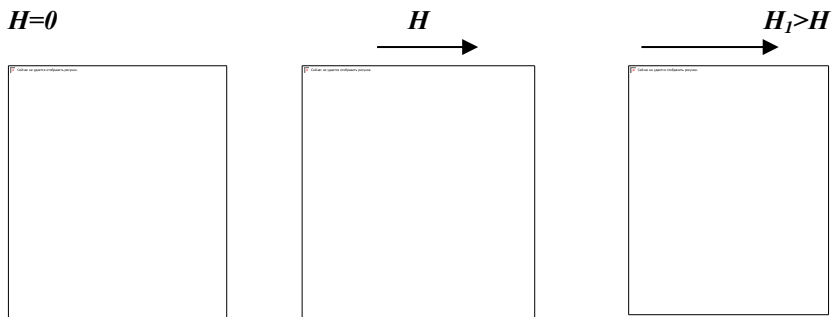


Сурет 1.3-магнит өрісіндегі ферромагниттік зат

Сыртқы магнит өрісінің әсерінен элементар магнит өрістерінің орналасуы өзгереді. Бірақ μ мәні бар заттарда бірлікке жақын, мұндай өзгеріс шамалы. Бұл жағдайда парамагниттік заттарда алынған элементар токтардың магнит өрісі сыртқы өріске қосылады. Сонда болмашы күшейту өріс. Диамагниттік заттарда, керісінше, элементар атомшйлік токтардың пайда болған өрісі сыртқы өріске бағытталған және өріс аздап әлсірейді. Сыртқы өрістің әсерін тоқтатқаннан кейін элементар токтар қайтадан тәртіпсіздікке ұшырайды және нәтижесінде пайда болған ішкі өріс жоғалады.

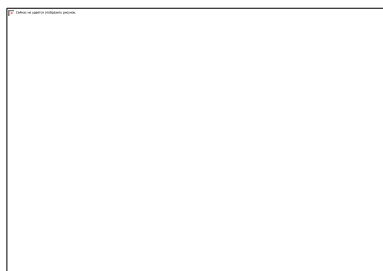
Ферромагниттік заттарда басқа құбылыстар байқалады. Қалыпты температурада олар кристалды құрылымға ие. Ферромагниттік заттардың кішкентай кристалдары *домендер* деп аталатын және өлшемдері шамамен 10^{-2} — 10^{-3} см болатын жеке магниттелген аймақтардан тұрады. Әр доменде атомдардың магнит өрістері белгілі бір ретпен орналасады, яғни. бірдей бағыттарға ие. Магниттелмеген денеде домендердің магнит өрістері әртүрлі бағыттарға ие (сурет 1.4, а). Домендердің ішіндегі атомдардың бір бөлігіндегі сыртқы магнит өрісінің әсерінен магнит өрістері сыртқы өріс бойымен бағыт алады. Басқаша айтқанда, өз өрісі бар, сыртқы өріске сәйкес келетін домендер көрші домендерге байланысты ұлғаяды (1.4-сурет,б), нәтижесінде күшті өріс пайда болады.

Сыртқы магниттелетін өріс неғұрлым күшті болса, домендердің қарапайым магнит өрістерінің орналасуында неғұрлым қатаң тәртіп байқалады және жалпы магнит ағыны соғұрлым күшті болады. Магнит өрісі жеткілікті күшті болған кезде барлық домендердің магнит өрістері бірдей бағытта алады (сурет 1.4, а). Әрі қарай магниттеу мүмкін болмайды. Ферромагниттік дененің бұл күйі *магниттік қанықтыру* деп аталады.



Сурет 1.4-ферромагниттік заттағы домендердің магнит өрістерінің бағыты:
 а - сыртқы өріс болмаған кезде;
 б - сыртқы өріс болған кезде;
 в-магниттік қанықтыру кезінде

Ферромагниттік затты магниттеу процесі *магниттеу қисығын* айқын көрсетеді. Ол Φ магнит ағынының немесе B магнит индукциясының H магнит өрісінің кернеуіне тәуелділігін көрсетеді (1.5-сурет).



1.5 – сурет-ферромагниттік заттың магниттелу қисығы

1.5-суреттен көріп отырғанымыздай, алдымен H жоғарылаған кезде магнит ағынының едәуір өсуі байқалады (H шамалы мәндерінде бұл өсу біршама баяу жүреді). Бірақ белгілі бір мағынада магнит ағынының өсуі H баяулайды және одан кейін дерлік тоқтайды,

яғни.магниттік қанықтыру пайда болады. Қаныққан кезде магнит ағынының шамалы өсуі сыртқы магниттелетін өрістің өсуіне байланысты болады.

Магниттеу қисығын қарастырудан ферромагниттік заттардағы магнит өткізгіштігі тұрақты емес, бірақ H -ға байланысты деп қорытынды жасауға болады. Шынында да, магнит өткізгіштігі $\mu = B/(\mu_0 H)$ B шамасы H -ға пропорционал өзгерген кезде ғана тұрақты бола алады, яғни егер магниттеу қисығы шығу тегі арқылы өтетін түзу сызық болса. B магниттеу қисығы H -ға пропорционал емес өзгеретінін көрсетеді, сондықтан μ , H жоғарылаған кезде алдымен өседі, ал магниттік қанығуға ауысқан кезде ол азаяды (1.6-сурет).



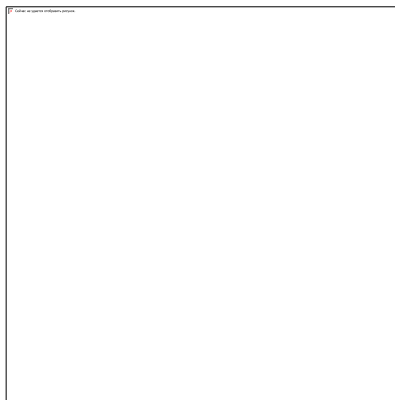
Сурет 1.6-магнит өткізгіштігінің тәуелділігі магниттелетін өрістің кернеуінен

Егер ферромагниттік дене сыртқы магнит өрісі арқылы магниттелсе, содан кейін бұл өрістің кернеуін нөлге дейін төмендетсе, онда дене толығымен магниттелмейді. Онда қалдық магнетизм кездеседі. Бұл барлық домендердің әр денеді болатын жылу қозғалысының әсерінен тәртіпсіз күйге оралатындығына байланысты.

Қалдық магнетизмді *магниттеу қисығы* арқылы көрсетуге болады (1.7-сурет). Егер бастапқыда дене магниттелмеген болса, онда H жоғарылаған кезде магнит ағыны OA қисығы бойымен өзгереді. Енді H төмендей берсін. Содан кейін Φ магнит ағыны бірдей OA қисығы бойынша емес, OA -дан жоғары орналасқан AB қисығы бойынша өзгереді. Магнит ағынының өзгеруі магнит өрісінің өзгеруінен артта қалады. Мұндай артта қалу *магниттік гистерезис* деп аталады.

H нөлге дейін азайтылған кезде кейбір Φ_0 қалдық ағыны және оған сәйкес келетін B_0 магниттік индукциясы (ОБ кесіндісі) сақталады. Олар қалдық магнетизмді сипаттайды. Денені толығымен магниттеу үшін, яғни $\Phi=0$ жету үшін кері бағыттағы сыртқы магнит өрісін қолдану керек. Содан кейін H_c теріс мәні бар, біз $\Phi=0$ аламыз. H_c шамасын (ОГ кесіндісі) тежегіш немесе мәжбүрлі күш деп аталады.

Егер сіз денені магниттеуді жалғастыра берсеңіз, онда сіз оны қанықтыра аласыз (D нүктесі), ал H азайған кезде гистерезис қайтадан байқалады. Демагнетизация қисығы DE , $ГД$ магниттелу қисығымен сәйкес келмейді. $H=0$ кезінде қалдық магнетизмді (OE кесіндісін) тағы да байқаймыз және оны жою үшін ОЖ кесіндісіне сәйкес келетін H болуы қажет.



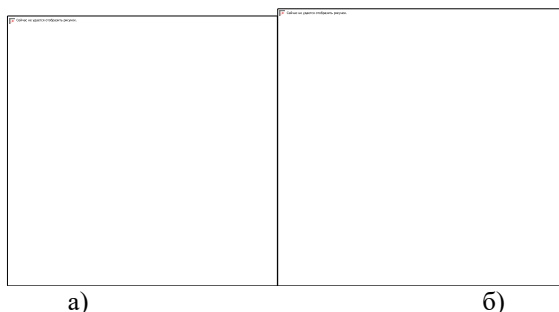
Сурет 1.7-магниттеу және магниттеу қисықтары ферромагниттік зат

Осылайша, магниттеу, яғни магниттеу және демагнетизация әдетте гистерезис циклі деп аталатын **АБГДЕЖА** қисығында болады. Бұл қисықтың пішіні мен өлшемдері әр түрлі ферромагниттік материалдар үшін әр түрлі.

Ферромагниттік заттар екі топқа бөлінеді. **Магнитті жұмсақ материалдарға** темір, жұмсақ (қыздырылмаған) болат, сондай-ақ оңай магниттелетін басқа материалдар жатады. Олар магнит өрісінің салыстырмалы түрде аз кернеулігімен магниттік индукцияның жоғары мәндерін ала алады. Бірақ олар оңай демагнетизацияланады, сондықтан оларда өте аз қалдық магнетизм бар.

Қатты магниттік материалдарды магниттеу қиынырақ. Оларға вольфрам, хром, молибден, алюминий, никель, кобальт және басқа металдар бар қатайтылған болат және болат қорытпалары жатады. Оларды магниттеу үшін әлдеқайда күшті өріс қажет, бірақ олар үлкен мәжбүрлеу күшімен сипатталады, яғни оларды магниттеу қиынырақ. Мұндай материалдарда үлкен қалдық магнетизм болуы

мүмкін. 1.8-суретте және салыстыру үшін магниттік жұмсақ (қисық 1) және магниттік қатты (қисық 2) Материалдардың гистерезистік ілмектері көрсетілген.



Сурет 1.8-гистерезис ілмектері (а) жұмсақ магнитті (қисық 1) және магниттік қатты (қисық 2) Материалдар; гистерезистің тік бұрышты ілмегі (б)

Радиоэлектрондық жабдықта **тікбұрышты гистерезис ілмегі** (ТГИ) бар ферромагниттік материалдар кеңінен қолданылады. Мұндай циклдің мысалы 1.8-б-суретте көрсетілген, көріп отырғаныңыздай, оның пішіні шынымен тіктөртбұрышқа жақындайды. Мұндай материалдар магниттелетін өрістің кернеуі өзгерген кезде бір магниттелген күйден екіншісіне күрт ауысу болатындығымен сипатталады, онда магнит ағынының бағыты керісінше өзгереді.

ТГИ бар ферромагниттік өзектер екілік сандық жүйеде жұмыс істейтін электронды компьютерлерде қолданылады, яғни. екі санмен 0 және 1. Бұл сандар екі түрлі магниттік күйге сәйкес келеді.

1.4 Тұрақты магниттер мен электромагниттер

Темір рудасының кейбір сорттары болат заттарды тарту қабілетіне ие екендігі бұрыннан белгілі болды. Бұл құбылыс **магнетизм** деп аталды, өйткені мұндай **табиғи магниттер** алғаш рет грек Магнезия қаласының жанында табылды. Егер сіз қатайтылған болаттың бір бөлігін табиғи магнитпен сұртсеңіз, онда ол магнитке айналады. Іс жүзінде электр тогының көмегімен болатты магниттеу

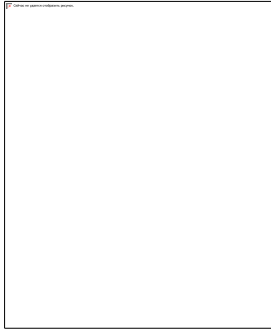
арқылы өндірілетін *тұрақты (жасанды) магниттер* кеңінен қолданылады.

Әрбір магнит ферромагниттік заттарды өз ұштарында — *полюстерде* қатты тартады. Ток катушкасы сияқты, тік осьте еркін айнала алатын магнит әрқашан Солтүстік полюсті солтүстікке, ал оңтүстігін оңтүстікке бұруға тырысады. Бұл магниттік көрсеткіні компас ретінде қолдануға негізделген, ол алғаш рет ежелгі уақытта жүзеге асырылған.

Магниттердің бір-бірімен өзара әрекеттесуі әрдайым сол атаудағы полюстер *итеріліп*, қарама-қарсы полюстер *тартылатындай* болады. Айта кету керек, бұл жағдайларда полюстер өзара әрекеттеспейді, бірақ екі магниттің де магнит өрісі. Әр магниттің солтүстік және оңтүстік полюстері бар. Магниттік полюстердің біреуін бөлек алу мүмкін емес.

Сыртқы кеңістіктегі тұрақты магниттің магнит өрісінің күш сызықтары солтүстік полюстен оңтүстікке бағытталған (бұл бағыт шартты түрде таңдалады). Олар жабық сызықтар және магнит ішінде жалғасады. Қазіргі көзқарастарға сәйкес тұрақты магниттің энергиясы оның магнит өрісінде шоғырланған. Көріп отырғаныңыздай, тұрақты магнит көптеген қасиеттері бойынша ток катушкасына ұқсас. 1.9-суретте тік және ат тәрізді магниттердің магнит өрістері көрсетілген. Олардың бұл формасы жиі қолданылады, бірақ басқа формадағы магниттер де кездеседі. Магнит өрістерін суреттеу кезінде ферромагниттік заттардың бетіне жақын олардың күш сызықтары әрқашан осы бетке перпендикуляр болатындығын есте ұстаған жөн.

Күшті тұрақты магниттерді өндіру үшін қазіргі уақытта басқа металдардың қоспаларының едәуір мөлшері бар болатын арнайы сорттары қолданылады. Оларға, мысалы, *альни* деп аталатын алюминий-никель болаты жатады. *Альнидің* кобальтпен қорытпасы альнико деп аталды. Сондай-ақ, *альниси* деп аталатын кремниймен альни қорытпасы және темір, никель, алюминий, Кобальт және мыс-*магнико* қорытпалары қолданылады. Бұл қорытпалардың магниттері қарапайым болат магниттеріне қарағанда бірнеше есе жеңіл.



Сурет 1.9 тік және ат тәрізді магниттердің магнит өрістері

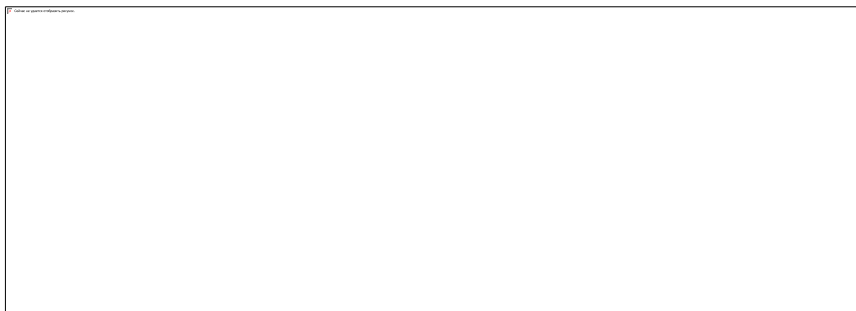
Тұрақты магниттерге арналған қорытпалар **H_c** -тің үлкен мәжбүрлеу күшімен және үлкен қалдық магниттік индукциямен сипатталады.

Жақында **металл-керамикалық магниттер** де қолданылады. Олар агломерация немесе престоу арқылы жасалады, содан кейін кейбір ферромагниттік ұнтақтарды күйдіреді.

Тұрақты магниттер соққылар мен соққылардан демагнетизацияланады, өйткені домендердің магнит өрістерінің орналасуындағы дұрыс тәртіп бұзылады. Ферромагниттік денелер қызған кезде де магниттеледі, өйткені жылу қозғалысы домендердің реттелген күйінің бұзылуына әкеледі. Жоғары температурада болатын және басқа ферромагниттік заттардың кристалды құрылымы бұзылады және бұл заттарды магниттеу мүмкін емес. Тұрақты магниттерді ұзақ уақыт сақтау үшін олардың магнит ағыны ауада таралмауы керек. Осы мақсатта магнитті сақтау кезінде полюстер жұмсақ болаттан жасалған кез-келген затпен жабылады (якорь).

Егер катушкаға ферромагниттік материалдың өзегі салынса, ток катушқасының магнит ағыны бірнеше есе артады. Бұл катушқаның өрісінің әсерінен ядро магниттеліп, катушқаның өзіне қарағанда күшті қосымша магнит ағынын тудыратындығына байланысты (1.10-сурет, а). Ферромагниттік өзегі бар катушка **электромагнит** деп аталады. Көбінесе электромагниттерде жұмсақ болат сияқты жұмсақ магниттік материалдың өзектері болады. Мұндай өзектер салыстырмалы түрде аз токпен қатты магниттеледі, бірақ ток өшірілгеннен кейін олар толығымен магниттеледі. Сондықтан электромагниттер әдетте

уақытша магниттер болып табылады; олар орамада ток болған кезде ғана магниттік қасиетке ие болады. Көптеген жағдайларда электромагниттердің бұл қасиеті өте маңызды.



а)

б)

в)

Сурет 1.10-тікелей және жабық өзекшелері бар электромагниттер

Кейбір құрылғыларда магниттік қатты материалдың өзегі бар *поляриланған электромагниттер* қолданылады, мысалы, қатайтылған болат. Токты өшірген кезде олар аздап демагнетизацияланады.

Электромагниттегі магнит ағыны неғұрлым күшті болса, магнит өрісі соғұрлым күшті болады, яғни ораманың бұрылыстарының саны мен ондағы ток неғұрлым көп болса, сонымен қатар өзектің дизайнына байланысты болады. Магнит ағынын ұлғайту үшін ол мүмкіндігінше ауа арқылы емес, үлкен магнит өткізгіштігі бар ферромагниттік зат арқылы өтуі керек. Ең күшті магнит ағыны жабық ядрода пайда болады (сурет 1.10,б және в). Кез-келген электромагниттің магнит ағыны өтетін кеңістіктің өзегі мен бөлімдері әдетте *магниттік тізбек* деп аталады.

Қарау кезінде магниттік тізбектер жиі пайдаланады ұғымдармен *магнит қозғаушы күш* (МҚК) және *магниттік кедергісі*. Олар келесі ойлар негізінде енгізіледі.

Магнит ағыны осы формулада көрсетіледі (1.5):

$$\Phi = \mu_a HS,$$

ал өрістің кернеулігі мына формула бойынша тең (1.2):

$$H = Iw/l.$$

Сондықтан сіз төмендегідей жаза аласыз:

$$\Phi = \mu_a IwS/l \quad . \quad (1.7)$$

Егер біз алым мен бөлгішті $\mu_a S$ -ке бөлсек, онда алатынымыз:

$$\Phi = Iw \left(\frac{\ell}{\mu_a S} \right)^{-1} \quad (1.8)$$

Бұл формулада Iw алымын *магнит қозғаушы күш (магниттейтін)* деп атауға болады F . шынында да, электр тізбегіндегі ток ЭҚК-ге пропорционал, магнит тізбегінде магнит ағыны МҚК -ге пропорционал. Ал бөлгіште тұрған $l/(\mu_a S)$ шамасы R_M *магниттік кедергісі* болып табылады, содан кейін бүкіл формуланы магниттік тізбек үшін *Ом заңы* деп атауға болады:

$$\Phi = F/R_M. \quad (1.9)$$

Алайда, бұл көріністер шартты болып табылады. Шын мәнінде, магнит ағыны магниттік тізбек бойымен кез-келген бөлшектердің қозғалысын білдірмейді. Магниттік тізбек заңдарының электр тізбегінің заңдылықтарына кейбір сыртқы ұқсастығы туралы айтуға болады.

Дегенмен, магниттік қарсылық ұғымы өте пайдалы болды. R_M мәні неғұрлым үлкен болса, ұзындығы соғұрлым үлкен болады, сонымен қатар магнит өткізгіштігі мен өзектің көлденең қимасы соғұрлым аз болады. Магниттік кедергіге арналған өрнек электр кедергісінің формуласын өте жоғары төмендетеді, ал нақты электр өткізгіштікке ұқсас, *нақты магниттік өткізгіштік* рөлін атқарады.

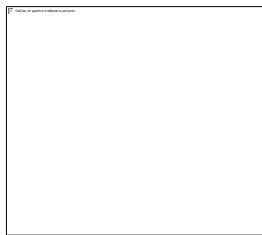
Жабық ферромагниттік өзек төмен магниттік кедергіге ие. Сондықтан магнит ағыны үлкен болады және ол ядро арқылы өтеді, өйткені ауаның магниттік кедергісі бірнеше есе көп. Тіпті жабық ядродағы кішкене ауа саңылауы (1.11-сурет) магниттік қарсылықты күрт арттырады және магнит ағынын азайтады. l_e қалыңдығы бар ауа

саңылауы болған кезде магнит ағынының формуласы келесідей болады:

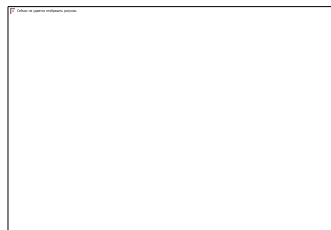
$$\Phi = Iw / \left(\frac{\ell}{\mu_a S} + \frac{\ell_B}{\mu_0 S} \right) \quad (1.10)$$

Бұл формулада бөлгішке ауа саңылауының магниттік кедергісі қосылды.

Мүмкін күшті магнит ағынын алу үшін магниттік тізбектегі ауа саңылаулары мүмкін кішірек болады. Алайда, кейде жабық ядроларда ядро қаныққанға дейін магниттелмеуі үшін арнайы ауа саңылаулары орнатылады. Егер өзектің көлденең қимасы аз болса немесе МҚК үлкен болса, онда магниттік қанықтыру пайда болуы мүмкін, ал электромагнит орамасындағы ток өзгерген кезде магнит ағыны өзгермейді. Ауа саңылауының өзегінде қолдану магнит ағынын азайтады және қанықтыру пайда болмайды. 1.12-суретте ядро магниттелуінің қисық сызықтары (1-қисық) және алшақтық (2-қисық) көрсетілген. Егер алшақтық болса, қанықтыру әлдеқайда үлкен МҚК мәндерімен жүреді. Саңылау көбінесе диамагниттік затпен толтырылады (мысалы, қағаз, картон, алюминий, жез және т.б.). Бірақ бұл оның әсерін жоймайды, өйткені ұқсас заттар $\mu \approx 1$ (ауа сияқты).



Сурет 1.11-ауа саңылауы бар магниттік тізбек (AC)



Сурет 1.12-саңылаусыз (1) және саңылаумен (2) магниттік тізбектің магниттелу қисықтары)

Жоғарыда айтылғандай, электромагниттерде (поляриланған материалдарды қоспағанда) өзектер үшін жұмсақ магниттік материалдар қолданылады. Қарапайым жағдайда жұмсақ тазартылған

болат қолданылады. Көптеген электрлік құрылғылар мен аппараттардағы өзектер электрлік болаттан жасалған. Бұл кремниймен болат қоспасы.

Әр түрлі темір — никель қорытпалары өзектер үшін кеңінен қолданылады, мысалы, *пермалла*, оның магнит өткізгіштігі бастапқы мәні 10000-20000 және максимум-бірнеше жүз мыңға дейін. *Альсифер* шамамен бірдей мәндермен μ сипатталады — кремний мен темірмен алюминий қорытпасы.

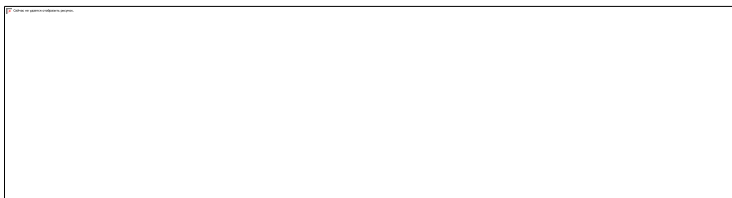
Жоғары жиілікті айнымалы токтарға арналған катушкалардың өзектері *магнитті диэлектриктерден* жасалады. Олар ферромагниттік материалдың ұнтағын, мысалы, карбонилді темір, пермалло, альсифер, оқшаулағыш байланыстырғышпен (шеллак, полистирол және т.б.) басу арқылы алынады.

Жақында *ферриттер* (немесе *оксиферлер*) деп аталатын және ферромагниттік жартылай өткізгіштер болып табылатын магнитті диэлектриктер радиоэлектроникада өте кең қолданылды. Олар керамикалық материалдар болып табылады және ұнтақ темір оксидтері мен бірқатар басқа металдардың (никель, литий, мырыш, марганец, магний) оксидтерінің қоспасын басу және одан кейін күйдіру арқылы жасалады. Ферриттердің көптеген түрлерінде тікбұрышты гистерезис ілмегі бар.

Магнитті жұмсақ материалдар сонымен қатар электр машиналарында, аппараттарда және аспаптарда корпусар мен бекіткіштерге арналған құрылымдық материал ретінде қолданылатын шойын мен болаттың кейбір түрлерін қамтиды. Кейбір жағдайларда құрылымдық бөліктер, керісінше, магниттік қасиеттерге ие болмауы керек және олар магниттік өткізгіштігі бірлікке жақын арнайы магниттік емес (немесе магнитке қарсы) шойындар мен болаттардан жасалады.

Жұмсақ магниттік материалдар магнит өрісінің әсерінен қорғау үшін де қолданылады, яғни, магниттік экрандар жасау үшін. Бұл қандай аспап қорғауға, сыртқы магнит өрісі болса, онда бұл құрал жасасады экран магнитомягкого материал (1.13-сурет, а). Ұқсас экран экран арқылы өтетін және оның ішіндегі кеңістікке енбейтін магниттік күш сызықтарын тартады. Сондықтан, экранның ішінде өріс өте әлсіз.

Магниттік экран сонымен қатар магниттің немесе электромагниттің қоршаған заттарға әсерін жоя алады. Ол үшін магнит өрісінің көзі магниттік экранмен қоршалған. Содан кейін магнит ағыны экран арқылы өтеді және экраннан тыс сыртқы кеңістікке енбейді (сурет 1.13,б). Іс жүзінде сиқырлы экрандар көбінесе жұмсақ болаттан жасалады.



а)

б)

Сурет 1.13-магнит өрісінен қорғау үшін ферромагниттік экрандар

Тұрақты магниттер мен электромагниттер кеңінен қолданылады. Олар көптеген динамиктер мен телефондардың негізгі құрамдас бөлігі болып табылады. Токтың жабылуы және ашылуы кезінде электромагниттердің магнит өрісінің пайда болуы және жоғалуы электр тізбегіне автоматты түрде кедергі келтіретін электр қоңырауларында, дыбыстық сигналдарда және діріл түрлендіргіштерде қолданылады. Электр тізбектерін қосу және өшіру үшін қолданылатын электромагниттік релелердің жұмысы ұқсас принципке негізделген.

Құрылғы принципі және реле әрекеті келесі мысалды түсіндіреді. Электр тізбегін одан белгілі қашықтықта болған кезде қатты токпен жабу керек. Ол үшін реле қолданылады, оның схемасы 1.14 суретте көрсетілген.



Сурет 1.14-құрылғы принципі және электромагниттік релені қосу схемасы

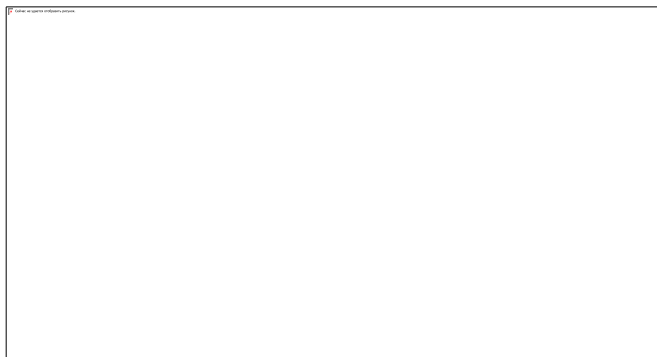
Күшті ток тізбегі (басқарылатын тізбек) А арматурасына және К контактісіне қосылады, ал электромагнитінің орамасы төмен қуатты ток көзі бар басқару тізбегіне қосылады, мысалы, В батареясы және Қ қосқышы. Басқару тізбегі ашылған кезде серіппеге бекітілген зәкір

байланыстан шығып, басқарылатын тізбек үзіледі. Басқару тізбегіндегі ток аз болуы мүмкін. Сондықтан Б батареясы төмен кернеуге ие және осы тізбектің сымдары жұқа болады. Мұндай құрылғы басқарылатын тізбектің жоғары кернеулі қалың сымдарын Қ қосқышына қосудан гөрі тиімдірек.

Реле радио аппараттарында, автоматика мен телемеханикада, сымды байланыста, электр станцияларында, Әртүрлі электр жабдықтарында кеңінен қолданылады. Электромагниттер мен тұрақты магниттер электр машиналарында, трансформаторларда, электр өлшеуіштерде және басқа да көптеген құрылғыларда қолданылады.

1.5 Магнит өрісіндегі ток өткізгіш

Маңызды электромагниттік құбылыстарға магнит өрісінің ток өтетін өткізгішпен әрекеттесуі жатады. Мұндай өткізгіш өріс жағынан механикалық F күшінің әсерін сезінеді, ол өткізгішті магниттік күш сызықтарына дұрыс бұрышпен жылжытуға тырысады (1.15-сурет).



Сурет 1.15-ток өткізгішке магнит өрісінің әсері

Себебі, негізгі магнит өрісі токтың магнит өрісімен өзара әрекеттеседі; нәтижесінде механикалық күш екі магниттің немесе екі катушканың токпен әрекеттесуіне ұқсас болады.

Магнит өрісінде орналасқан ток өткізгішке әсер ететін F күші соғұрлым үлкен болады магниттік индукция B , өткізгіштегі I ток және магнит өрісіндегі өткізгіштің сол бөлігінің l ұзындығы.

Сонымен қатар, өткізгіш магниттік күш сызықтарына перпендикуляр орналасқан кезде күш үлкен болады. Бұл жағдайда күш (ньютондарда) формуламен анықталады:

$$F_{max}=BI, \quad (1.11)$$

онда теслада көрсетілген B , I — метрде, ал I — ампердеде көрсетілген.

Егер өткізгіш күш сызықтарының бойында орналасса, онда өріс оған механикалық әсер етпейді. Өткізгіш белгілі бір бұрышта α магниттік күш сызықтарына орналастырылған кезде F күші аз болады, ол F_{max} :

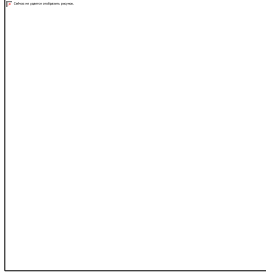
$$F = F_{max} \sin \alpha \quad - \quad (1.12)$$

Күштің бағыты токтың бағытына және магниттік күш сызықтарына байланысты. Оны *сол қолдың ережесі бойынша анықтауға болады, онда былай делінген: егер сіз сол қолыңызды магниттік күш сызықтары алақанға перпендикуляр етіп орналастырсаңыз және ток саусақтардан шықса, онда бүйірге бүгілген бас бармақ өткізгішке әсер ететін күш бағытын көрсетеді* (1.15-сурет).

Бұл ереже күш әрекетінің бағытын ыңғайлы анықтау үшін ойлап табылған. Шындығында, әрине, электромагниттік құбылыстар мен адамның сол қолы арасында ешқандай байланыс жоқ.

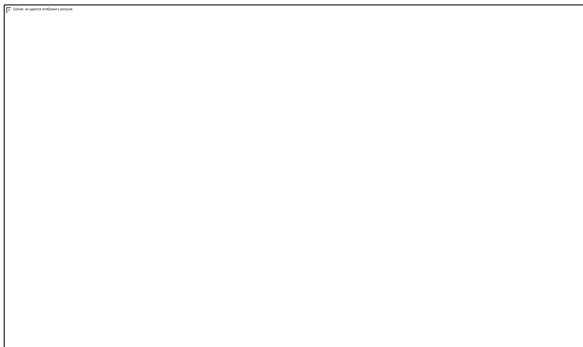
Магнит өрісінде орналасқан тең өткізгішке әсер ететін механикалық күштің пайда болуы 1.16-суретте түсіндіріледі.

Онда ток бізден бағытта келе жатқан жағдайда ток өткізгіш бейнеленген (тілше жебенің құйрығын көрсетеді). Өткізгіштің оң жағында негізгі магнит өрісі мен ток шығаратын өрістің күш сызықтары бағытта сәйкес келеді. Мұнда өріс күшейе түсті. Сымның сол жағында өріс әлсіреді, өйткені ток өрісі мен негізгі өрістің күш сызықтары бір-біріне бағытталған. Магниттік күш сызықтарының бүйірлік кеңеюін және олардың ұзындығын қысқартуға деген ұмтылысын ескере отырып, сымды солға итеретін механикалық күштің пайда болуын тексеру қиын емес, бұл сол қолдың ережесімен сәйкес келеді.



Сурет 1.16-магнит өрісінде ток өткізетін өткізгіш

Екі өткізгіштің магнит өрістерінің токпен әрекеттесуі де механикалық күш тудырады. Токтардың бағыты бірдей болған кезде (сурет 1.17, а), сымдар бір-біріне тартылады. Мұны осындай өткізгіштердің айналасындағы магнит өрісін қарастырып, күш сызықтарының ұзындығын қысқартуға деген ұмтылысын ескере отырып түсінуге болады. Егер токтардың қарама-қарсы бағыттары болса, онда сымдар өзара иілу күштерін сезінеді. Бұл сымдар арасындағы алшақтықтағы магниттік күш сызықтарының бүйірлік таралуына байланысты (1.17,б-сурет).



а)

б)

Сурет 1.17-екі өткізгіштің токпен өзара әрекеттесуі

Сымдардың өзара әрекеттесу күші неғұрлым үлкен болса, сымдардағы токтар соғұрлым күшті болады және олардың арасындағы қашықтық аз болады, сонымен қатар сымдардың қалай орналасқанына

байланысты болады. Параллель сымдар ең үлкен F_{max} күшімен өзара әрекеттеседі. Дұрыс бұрышпен қиылысатын сымдар мүлдем өзара әрекеттеспейді. Сымдардың басқа орналасуы кезінде өзара әрекеттесу күші F_{max} -тен аз болады.

Магнит немесе электромагниттің магнит өрісіндегі ток өткізгіштердің қозғалысы ең көп таралған магнитоэлектрлік өлшеу құралдарының, электр қозғалтқыштарының және т.б. құрылғының негізі болып табылады.

1. 6 Электромагниттік индукция

1.6.1 Электромагниттік индукция құбылысы

Алдыңғы абзацта электр және магнит өрістері арасында байланыс бар екендігі анықталды. Электр тогының магнит өрісімен тығыз байланысы магнит өрісінің көмегімен жабық өткізгіште электр тогын құруға болады деп болжайды. Бұл идеяны алғаш рет ұлы ағылшын ғалымы М. Фарадей (1791-1867) ұсынған. Ол 1831 жылы эксперименталды түрде қандай жағдайларда магнит өрісі жабық өткізгіште электр тогын құратынын анықтады.

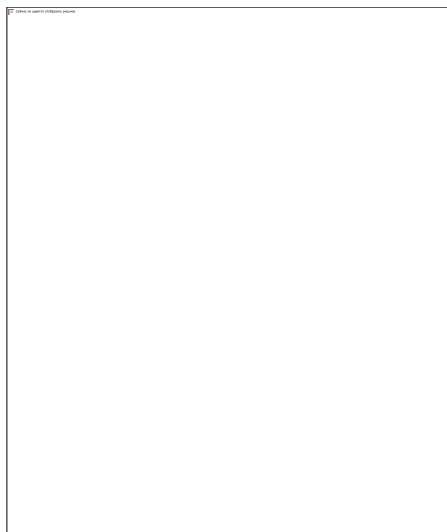
Магнит өрісінің өзгеруіне байланысты электр тогының жабық өткізгіштегі пайда болу құбылысы электромагниттік индукция деп аталды, ал өткізгіште пайда болатын электр қозғаушы күш индукция ЭҚК деп атала бастады. Осы ЭҚК жасаған ток индукция (индукция) деп аталады. Электромагниттік индукция құбылысының ашылуы және оны жан-жақты зерттеу Электротехниканың дамуы үшін үлкен маңызға ие болды, өйткені ол өнеркәсіп үшін электр энергиясын өндіретін индукциялық генераторларды құру принципінің негізінде жатыр. Сондықтан 1831 ж. электротехниканың туған жылы деп санауға болады.

1.6.2 Қозғалыс кезінде индукцияның ЭҚК пайда болуы магнит өрісіндегі ашық өткізгіш. Ереже оң қол.

Егер бекітілген металл денесі тұрақты магнит өрісінде болса, онда магниттік күш дененің әрбір бос электронына әсер етеді. Оның бағыты сыртқы өрістің бағытына және электронның жылдамдығына байланысты, яғни, **сол қолдың** ережесі бойынша анықталуы мүмкін. Металлдағы бос электрондар ретсіз қозғалатындықтан, магнит өрісінің

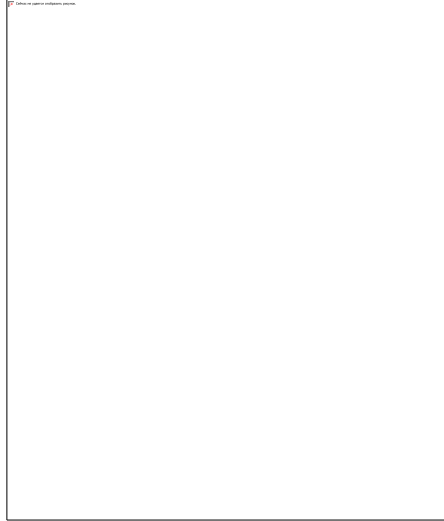
әсерінен олардың қозғалысының өзгеруі өте әртүрлі болады және демалатын өткізгіште индукция пайда болмайды.

Егер **A**, **B** ашық өткізгіші магнит өрісінде оның күш сызықтарына перпендикуляр қозғалса, басқаша жағдай жасалады (1.18-сурет). **A**, **B** өткізгішімен бірге бос электрондар да сол бағытта қозғалады. Бұл жағдайда өткізгіштің ішіндегі барлық бос электрондарды **A** бағытына жылжытатын магниттік күштер пайда болады.



Сурет 1.18-магнит өрісіндегі **A B** өткізгіштің қозғалысы осы өткізгіштегі бос электрондардың **A** соңына қарай қозғалуын тудырады.

Электрондардың ығысу бағытын сол қолдың ережесі бойынша орнатуға болады, өйткені төрт саусақ өткізгішпен бірге электрондардың (теріс зарядталған) қозғалысына, яғни өткізгіштің қозғалысына кері бағытта көрсетілуі керек. Электрондардың ығысуы нәтижесінде **B** өткізгіштің ұшы оң зарядталады, ал **A** ұшы теріс зарядталады, осылайша олардың арасында потенциалдар айырмасы пайда болады. Егер **A B** өткізгіштің ұштары қандай-да бір өткізгішпен жабылса, онда **индукциялық ток** қозғалады, оны гальванометрдің көрсеткіші бойынша анықтауға болады, яғни **A B** өткізгіште **ЭҚК бар индукция**.



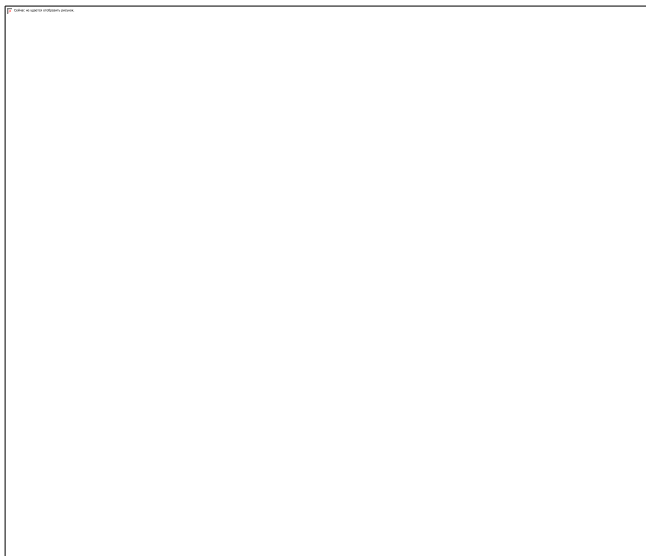
Сурет 1.18-магнит өрісіндегі А Б өткізгіштің қозғалысы осы өткізгіштегі бос электрондардың А соңына қарай қозғалуын тудырады

Индукцияның ЭҚК құратын үшінші тарап күштері мұнда магнит өрісінде қозғалғанда өткізгіштің бос электрондарына әсер ететін магниттік күштер қызмет етеді.

Егер **А Б** өткізгіші қуат сызықтарына параллель қозғалса, мысалы, тігінен жоғары, онда бұл қозғалыс магниттік күштерді тудырмайды және индукцияның ЭҚК қоздырмайды.

Индукциялық ЭҚК магниттік күш сызықтарының бағыты мен өткізгіштің қозғалыс бағыты арасындағы α бұрышына байланысты екендігі белгілі болды (1.18-сурет); ЭҚК бұл бұрыш 90° болған кезде ең үлкен мәнге ие болады. Бұрышы α осы мәннен ауытқыған кезде индукция ЭҚК азаяды.

Демек, ашық өткізгіш магниттік күш сызықтарын кесіп өтіп, яғни α бұрышы 0 немесе 180° - тан өзгеше болатындай қозғалса, онда өткізгіштің ішінде индукция ЭҚК пайда болады. ***Осы ЭҚК жасаған токтың бағытын оң қолдың ережесі бойынша анықтау ыңғайлы: егер сіз оң қолыңызды өткізгіштің бойымен магниттік күш сызықтары алақанға енетіндей етіп қойсаңыз, ал бүгілген бас бармақ өткізгіштің бағытын көрсетсе, онда ұзартылған төрт саусақ индукцияның ЭҚК тудыратын токтың бағытын көрсетеді*** (1.19-сурет).



Сурет 1.19-оң қол ережесі

В индукциясы бар біртекті магнит өрісінде \mathbf{v} тұрақты жылдамдықпен қозғалатын \mathbf{I} түзу сызықты өткізгіште пайда болатын индукцияның ЭҚК шамасы \mathbf{I} , \mathbf{v} , \mathbf{B} және $\sin \alpha$ тура пропорционал:

$$e = B I v \sin \alpha \quad (1.13)$$

мұндағы α - \mathbf{v} және \mathbf{B} векторлары арасындағы бұрыш.

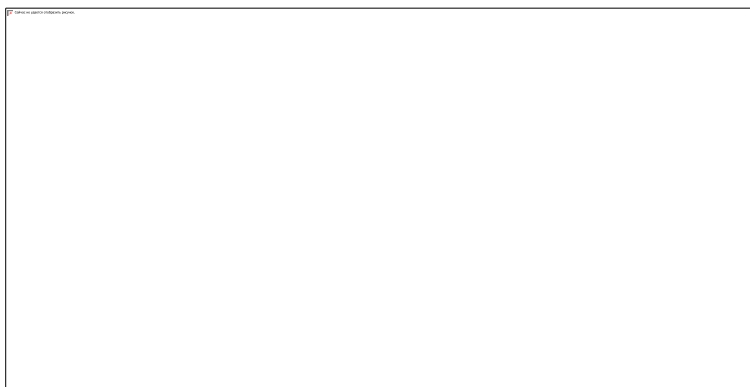
1.6.3 Фарадейдің Тәжірибелері

Фарадей қарапайым тәжірибелер арқылы индукциялық ток өткізгіштің магниттік күш сызықтарын кесіп өткен кезде ғана пайда болмайтынын көрсетті. *Индукциялық ток өткізгіштердің жабық тізбегіне енетін магнит ағыны өзгерген кезде пайда болады.*

Бірінші тәжірибе. Электр энергиясының көзі жоқ жабық тізбекті алыңыз, мысалы, гальванометрге қосылған катушка. Егер сіз магнитті Солтүстік полюспен катушкаға түсірсеңіз, гальванометрдің көрсеткісін бір уақытта байқасаңыз, онда гальванометрдің көрсеткісі

ауытқып кететінін анықтаймыз (1.20, а сурет). Бұл катушкаларда ток бар екенін білдіреді. Алайда, егер сіз магниттің қозғалысын тоқтатсаңыз, катушкадағы ток жоғалады. Демек, катушка ЭҚК көзіне тек магнит қозғалысы кезінде айналады.

Егер сіз магнитті катушқадан шығарсаңыз, ток қайтадан тізбекте жүреді (сурет 1.20, б), бірақ кері бағытта. Магнитті төңкеріп, оны оңтүстік полюспен катушкаға түсіреміз (1.20-сурет, в). Ондағы Ток алдыңғы жағдайдағыдай бағытқа ие болады. Ақыр соңында, егер сіз магнитті қайтадан алып тастасаңыз, онда сіз бірінші жағдайда (1.20-сурет, г) бірдей бағыттағы токты қайтадан анықтай аласыз.



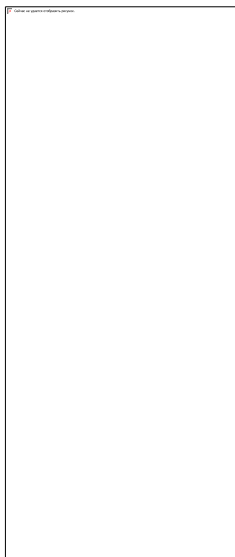
Сурет 1.20 – Магнит катушкаға қатысты қозғалғанда, оның магнит өрісін құратын индукциялық ток пайда болады, оның полюстері катушканың ашылуында көрсетілген

Осы тәжірибеден *индукциялық ток магнит катушкаға қатысты қозғалғанда ғана пайда болады деп қорытынды жасауға болады*. Индукциялық ток магнит қозғалыссыз болған кезде де пайда болады, ал катушкалар қозғалады. Сонымен қатар, токтың бағыты магниттің қозғалыс бағытымен және күш сызықтарының бағытымен байланысты.

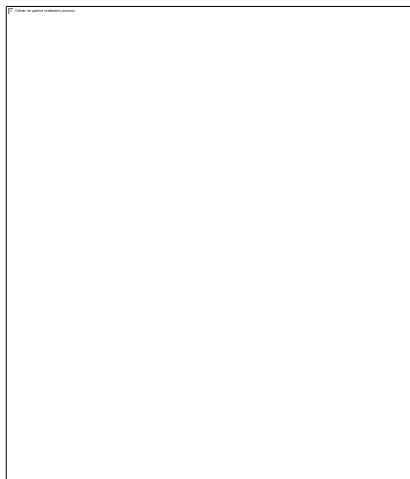
Екінші тәжірибе. Магниттің орнына біз басқа катушканы ***V*** катушкасына түсіреміз, ол электромагнит болып табылады (1.21-сурет). Алдыңғы тәжірибедегідей, индукциялық ток бұл жағдайда катушкалардың салыстырмалы қозғалысы кезінде ғана пайда болады,

ал токтың бағыты бір катушканың екінші катушкаға шығарылуына немесе жақындауына, сондай-ақ A катушкасындағы токтың бағытына (яғни оның магнит өрісінің бағытына) байланысты болады.

Үшінші тәжірибе. Біз A катушкасын B катушкасына салып, тәжірибе барысында оларды қозғалыссыз қалдырамыз, бірақ R реостаты мен K кілтін A катушкасының тізбегіне енгіземіз (1.22-сурет).



Сурет 1.21 – A және B катушкаларының бір-біріне қатысты қозғалысы кезінде B катушкасында индукциялық ток пайда болады



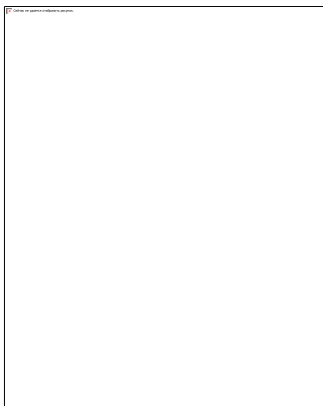
Сурет 1.22 – A катушкасы тізбегінің кілті жабылған және ашылған кезде немесе оның R кедергісі өзгерген кезде, B катушкасында индукциялық ток пайда болады

A катушкасының тізбегі ашылғанда және жабылғанда, B катушкасындағы K кілті индукциялық ток пайда болады. A катушкасындағы ток күшейген немесе әлсіреген кезде (R реостатының кедергісін өзгерту арқылы) B катушкасында индукциялық ток пайда болады.

Болашақта электр энергиясының көзіне қосылған A катушкасы **бастапқы** деп аталады, ал индукциялық ток бастапқы катушканың

магнит өрісінің әсерінен пайда болатын в катушкасы *екінші реттік* деп аталады.

Төртінші тәжірибе. Бастапқы катушканы айнымалы ток тізбегіне қосыңыз, ал екінші катушканы электр шамымен қосыңыз (1.23-сурет). Бастапқы катушкада айнымалы ток болған кезде шам үнемі жанып тұрады. *Бұл айнымалы ток әрқашан қайталама катушкаларда индукциялық ток жасайды* дегенді білдіреді.



Сурет 1. 23 – Бастапқы катушканы айнымалы токпен қоректендірген кезде индукциялық ток Б қайталама катушкасында пайда болады; шам жанады

Осылайша, индукциялық ток жабық өткізгіште келесі жағдайларда пайда болады:

- 1) өткізгішті магнитке қатысты жылжытқанда;
- 2) токпен екінші өткізгішке қатысты өткізгішті ауыстыру кезінде;
- 3) бастапқы өткізгіштің тізбегі тұйықталған немесе ашылған кезде және ондағы ток өзгерген кезде.

Қарастырылған барлық жағдайларға ортақ магнит өрісінің өзгеруі болғандықтан, *жабық өткізгіштегі индукциялық ток өткізгіш орналасқан магнит өрісі өзгерген кезде ғана пайда болады деп қорытынды жасауға болады.*

Алайда индукциялық ток магнит өрісі өзгерген кезде жабық өткізгіште пайда болмайды. Мұны дәлелдеу үшін келесі тәжірибені жасаймыз. Магнит өрісіне гальванометрге жалғанған сымның

жақтауын (1.24-сурет, а) орналастырамыз, осылайша магнит өрісінің күш сызықтары оның жазықтығы бойымен өтеді. Көрсетіледі, бұл ауыстыру кезінде шеңбер бойымен жазықтықта сурет стрелка гальванометра емес, қабылданбайды. Сондықтан, бұл жағдайда жабық өткізгіштегі индукциялық ток пайда болмайды, бірақ ол магнит өрісінде қозғалады. Бірақ егер сол рамка $00'$ осіне айналса (сурет 1.24, б), онда Рамада индукциялық ток қозғалады.

Осындай тәжірибелерге сүйене отырып, мыналар анықталды: индукциялық ток жабық өткізгіште тек осы өткізгіштің ауданы арқылы өтетін магнит ағыны өзгерген кезде пайда болады.

Еске алайық, бұл ЭҚК мүмкін емес ток. Сондықтан өзгеретін магнит ағыны жабық өткізгіште индукциялық ЭҚК жасайды, бұл өз кезегінде индукциялық токты қоздырады.



а)

б)

Сурет 1. 24 – а) жақтаудың қозғалысы кезінде рамамен жабылған аймаққа енетін магнит ағыны өзгермейді, өйткені күш сызықтары раманың жазықтығында жүреді және онда ток болмайды;

б) жақтауды $00'$ осіне айналдырған кезде жақтаудың ішіндегі магнит ағыны артып, онда ток пайда болады

1.6. 4 Электромагниттік индукцияға арналған Ленц заңы

Алдыңғы абзацта индукциялық токтың бағыты әртүрлі болуы мүмкін екендігі айтылған. Индукциялық магнит өрісі мен ЭҚК индукция бағыты арасындағы байланысты алғаш рет орыс ғалымы Э.Х. Ленц (1804-1865) зерттеген.

Индукциялық ток өзінің магнит өрісін жасайды. Сондықтан, 1.20-суретте көрсетілген катушкаларда магниттік полюстер пайда болады, олардың орналасуын тәжірибеден тікелей анықтауға болады.

Қозғалатын магнит өрісі мен катушкалар өрісі өзара әрекеттеседі. Бұл өзара әрекеттесуді талдау барлық төрт позицияда индукциялық токтың магнит өрісі магниттің қозғалысына кедергі келтіретінін, яғни катушкадағы токты тудыратын себепті көрсетеді. Бұл үлгіні Ленц орнатты.

Мысал үшін 1.20, а суретте көрсетілген позицияны талдаймыз.

Магнит катушкаға Солтүстік полюсте енгізіледі. Бұл жағдайда пайда болатын индукциялық ток катушканың жоғарғы ұшында Солтүстік полюсті де жасайды, сондықтан ток магнит өрісімен магнитті итереді, яғни оның қозғалысына кедергі келтіреді.

Сондықтан, **Ленц Заңын** келесідей тұжырымдауға болады: *индукциялық ЭҚК жабық өткізгіште индукциялық токты тудырады, ол өзінің магнит өрісімен ЭҚК қоздыратын себепке қарсы тұрады.*

Ленц Заңын индукциялық токтың бағытын анықтау үшін қолданған кезде:

- 1) индукциялық токты тудыратын себепті табыңыз;
- 2) индукциялық токтың магнит өрісінің бағытын анықтаңыз, ол осы себепке кедергі келтіруі керек деп есептеңіз;
- 3) индукциялық токтың магнит өрісінің бағыты бойынша индукциялық токтың бағытын табыңыз.

Екі мысалды қарастырайық.

1. Магнит гальванометр арқылы жабылған катушкадан шығарылады, 1.20г.-суретте көрсетілгендей, катушкадағы индукциялық токтың қандай бағытта ағып жатқанын анықтауымыз қажет.

Магнит жағындағы катушканың магниттік полюсі магнит полюсімен әр түрлі болуы керек, өйткені магниттің қозғалысына кедергі келтіретін индукциялық ток оны катушкаға апаруы керек. Сондықтан индукциялық ток, егер катушканың ашылуына магнит жағынан қарайтын болса, сағат тіліне қарсы бағытталуы керек.

2. Біріншідегі ток мәні өзгерген кезде қайталама катушкаларда пайда болатын индукциялық токтың бағытын анықтаймыз (1.22-сурет). Бастапқы катушканың тізбегінің жабылу сәтін қарастырыңыз.

Екінші катушкадағы индукциялық ток бастапқы катушканың өсіп келе жатқан магнит өрісінен туындайды, сондықтан индукциялық токтың магниттік сызықтары өрістің өсуіне жол бермей, бастапқы катушканың өріс сызықтарына қарама-қарсы бағытталуы керек. Осылайша, *екінші катушкадағы индукциялық ток бастапқы катушкадағы токқа қарама-қарсы бағытта болады.* Бастапқы катушкадағы ток күшейген кезде де байқалады.

Бастапқы катушканың тізбегі ашылған кезде, бастапқы катушканың магнит өрісінің жойылуына кедергі келтіретін

индукциялық ток жоғалып бара жатқан өріспен бірдей бағытта магнит өрісін тудыруы керек, сондықтан ол бастапқы катушкадағы токпен бірдей бағытта ағып кетуі керек.

Егер сіз бастапқы катушканың тізбегін кезекпен жауып, ашсаңыз, онда екінші катушкадағы индукциялық ток айнымалы болады. Егер бастапқы катушка айнымалы токпен қоректенсе, онда екінші катушкадағы индукциялық ток айнымалы болады (1.23-сурет).

Ленц заңы негізінде **диамагнетизм** құбылысын түсіндіруге болады. Затты магнит өрісіне енгізген кезде зат молекулаларында индукциялық токтар пайда болады. Бұл токтар сыртқы өріске бағытталған магнит өрісін жасайды; сондықтан зат ішіндегі өріс әлсірейді. Бұл құбылыс барлық заттарда кездеседі. Бірақ егер заттың бөлшектерінде табиғи магниттік момент болса, онда олар өздерінің магниттік моменттері сыртқы өріс бағытына бұрылып, оны күшейтетін етіп орналастырылған.

Сондықтан, мұндай затты сыртқы магнит өрісіне енгізген кезде екі әсер пайда болады: *зат бөлшектерінің магниттік моменттері сыртқы өрісті күшейтеді, ал индукциялық әсер оны әлсіретеді. Егер бірінші әсер анағұрлым маңызды болса, онда зат парамагниттік, керісінше жағдайда зат диамагниттік болады.* Атап айтқанда, диамагнетиктер-бұл бөлшектердің өзіндік магниттік моменті жоқ барлық заттар. Диамагнетизм құбылысын француз физигі П.Лангевен (1872-1946) түсіндірді.

Ленц заңы энергияның сақталу заңының салдары болып табылады. Шынында да, 1.20-суретте көрсетілген тәжірибеде магнит катушкаға енгізіліп, ашық тізбекпен шығарылады деп елестетіп көріңіз. Магниттің бұл қозғалысы кезінде кейбір жұмыстар орындалады. Енді магниттің қозғалысы катушканың жабық тізбегінде қайталаынады. Бұл жағдайда жасалған жұмыс біріншіге қарағанда үлкен, өйткені қазір магнит қозғалысына кедергі келтіретін индукциялық токтың магнит өрісі катушканың айналасында пайда болады. Екінші жағдайда жұмсалған қосымша жұмыстың арқасында индукциялық токтың электр энергиясы жасалады.

Осылайша, Ленц заңынан *индукциялық токтың энергиясы индукциялық токтың магнит өрісіне қарсы тұруға жұмсалған энергия арқылы алынады.*

Электромагниттік индукция көмегімен механикалық энергияны электр энергиясына айналдыруға немесе электр энергиясын бір тізбектен екіншісіне беруге болады. Егер индукциялық ток қандай да бір механикалық қозғалыс арқылы пайда болса, онда электр энергиясы механикалық энергия арқылы алынады. Егер индукциялық

ток басқа токпен жасалса, екі өткізгіш бір-біріне қатысты тыныштықта болса, онда электр энергиясы бір жабық тізбектен екіншісіне беріледі. Техникада екі құбылыс кеңінен қолданылады.

Ленц заңы терең физикалық мағынаға ие. Индукцияланған ток нәтижесінде пайда болады. Энергия шығындары, мысалы механикалық. Бірақ энергияны тұтыну-бұл жұмыс, ал жұмыс қарсыласу күштерін жеңуісіз орындалмайды. Мұндай қарсылық немесе қарсылық оның магнит өрісі арқылы индукцияланған токты жасайды.

Сымның бір бұрылысы үшін индукцияланған ЭҚК тек катушканың ішіндегі магнит ағынының өзгеру жылдамдығына, яғни сымның Бір секундтағы магниттік күш сызықтарымен қиылысу санына байланысты болады. Бұл қиылыстар санының көбеюі ЭҚК-нің тиісті өсуіне әкеледі. Егер магнит ағыны бірнеше бұрылысы бар орамада өзгерсе, онда әр бұрылыста ЭҚК пайда болады. Барлық бұрылыстар қатарға қосылады, сондықтан жалпы ЭҚК жеке бұрылыстардың ЭҚК қосындысына тең. Соғұрлым көп, бұрылыстар саны соғұрлым көп болады. Мысалы, егер орамада 50 бұрылыс болса онда магнит ағынының өзгеру жылдамдығы 0,1 В-қа тең ЭҚК бір айналымда индукцияланса, онда толық ЭҚК 5 В тең болады.

Сонымен, *орамадағы магнит ағыны неғұрлым тез өзгерсе және соғұрлым көп бұрылыстар болса, ЭҚК соғұрлым көп болады.*

Сымның бір айналымында пайда болатын индукцияланған ЭҚК мынадай формула бойынша анықталады

$$e = - \Delta \Phi / \Delta t, \quad (1.13)$$

мұнда e - ЭҚК, В;

$\Delta \Phi$ — магнит ағынының өзгеруі, Вб;

Δt — $\Delta \Phi$ магнит ағынының өзгеруі орын алған секундтағы уақыт аралығы.

W бұрылыстарының саны бар катушкалар үшін e мәні сәйкесінше w есе артады:

$$e = - w \Delta \Phi / \Delta t. \quad (1.14)$$

Кейде индукцияланған ЭҚК түзу сызықты өткізгіш біртекті магнит өрісінде қозғалғанда алынады. Содан кейін ЭҚК ең үлкен мәні өткізгіштің күш сызықтарына перпендикуляр орналасуымен және оның күш сызықтарына дұрыс бұрышпен қозғалуымен алынады. Бұл ЭҚК (вольтпен) тең

$$e_{max} = Bvl. \quad (1.15)$$

онда B — магниттік индукция, Тл;

v — қозғалыс жылдамдығы, м/с;

l — сымның магнит өрісіндегі бөлігінің ұзындығы, м.

Егер сым күш сызықтары бойымен орналасса немесе олар бойымен қозғалса, онда индукция ЭҚК пайда болмайды. Сым күш сызықтарына қатысты өткір бұрышта орналасқанда немесе оларға перпендикуляр емес қозғалса, ЭҚК e_{max} -тен аз болады.

Айта кету керек, электромагниттік индукция құбылысы негізінде Вебердің магнит ағынының бірлігі анықталады. Егер сымның бір айналымында магнит ағыны секундына бір веберге өзгерсе, онда бір вольтқа тең индукцияланған ЭҚК пайда болады.

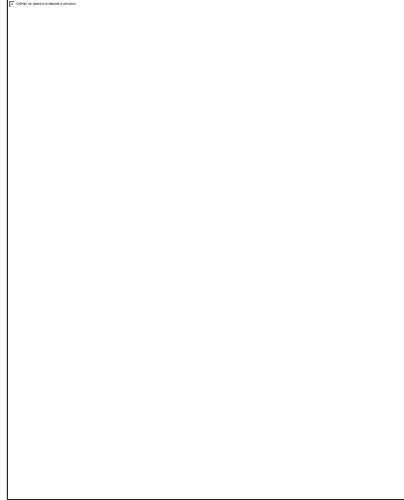
1.6.5 Құйынды токтар

Айнымалы ток тізбегіне шығатын өзегі бар қуатты электромагнитті қосыңыз. Магнит айналасында айнымалы магнит өрісі пайда болады. Осы өріске кез-келген металл затты өзекке салып қойыңыз. Біраз уақыттан кейін бұл зат қызады. Затты алып тастап, ядроның шығыңқы ұшына K алюминий сақинасын кигіземіз (1.25-сурет). Егер ол ұсталмаса, онда ол өзектен секіреді. Егер сіз сақинаны қолыңызбен ұстасаңыз, онда ол қатты қызады, ол саусақтарды күйдіреді.

Бұл құбылыстарды қалай түсіндіруге болады? Сақина немесе зат электромагниттің ауыспалы магнит өрісінде болады, және олардың әрқайсысын жабық тізбек ретінде қарастыруға болатындықтан, оларда индукциялық ток жүруі керек; бұл ток сақинаның айналасында немесе қатты металл заттың ішіндегі жабық сызықтар бойымен жүреді.

Индукциялық токтың энергиясы толығымен заттың немесе сақинаның бөлшектерінің жылу қозғалысының ішкі энергиясына айналады, бұл олардың қызуына әкеледі.

Сақинаның өзегінен секіреді, өйткені сақинадағы индукциялық ток уақыттың әр сәтінде бағытталған электромагнит орамасындағы токқа қарама-қарсы және мұндай токтар бір-бірінен итеріледі.



Сурет 1. 25 – Ядроға салынған сақина катушканы айнымалы ток тізбегіне қосқан кезде өзектен секіреді, ал егер ол ұсталса, ол құйынды токтармен қызады

Айнымалы магнит өрісінде орналасқан қатты металл затта пайда болатын және осы заттың ішінде жабылатын индукциялық токтар құйынды токтар немесе Фуко токтары деп аталады.

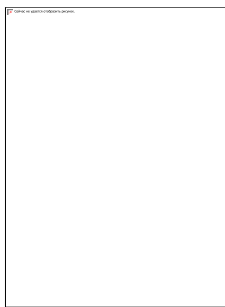
Іс жүзінде құйынды токтар, мысалы, электр қозғалтқышының зәкір барабанында және трансформатордың өзегінде алынады. Мұндай жағдайларда құйынды токтар зиян келтіреді, өйткені біріншіден, құйынды токтардың энергиясы электр қозғалтқышын немесе трансформаторды қоректендіретін ток энергиясынан алынады, бұл олардың тиімділігін төмендетеді, екіншіден, бұл токтар арматура мен трансформатордың өзегін қатты қыздырады және оларды істен шығаруы мүмкін.

Құйынды токтардың зиянды әсерін жою үшін ауыспалы магнит өрісінде болуы керек металл заттар (мысалы, айнымалы токпен қоректенетін электромагниттің өзегі) лакпен немесе басқа жолмен бір-бірінен оқшауланған жеке парақтардан немесе шыбықтардан жасалады (1.26-сурет).

Әрбір жеке парақта құйынды токтар қатты затқа қарағанда бірнеше есе әлсіз болады. Парақ неғұрлым жұқа болса, ток айналатын көлденең қима соғұрлым аз болады, ал қарсылық жоғарылайтындықтан, жұқа парақтардағы құйынды токтар әлсірейді.

Олардың зиянды әрекеті соншалықты маңызды емес, сондықтан практикалық маңызы жоқ.

Айнымалы магнит өрісіндегі материалдың кедергісі неғұрлым көп болса, осы материалдағы құйынды токтардың әсерінен энергия шығыны соғұрлым аз болады. Жалпы алғанда, мезгіл-мезгіл магниттелетін ферромагниттегі энергияның жоғалуы екі себепке байланысты: гистерезис құбылысы және құйынды токтардың пайда болуы.



Сурет 1.26 – Трансформатордың ядродағы жұмысы кезінде магнит өрісі өзгертіндіктен, құйынды токтарды босату үшін трансформатордың өзегі трансформатор болатының бөлек оқшауланған парақтарынан жасалады

Ферриттерде гистерезиске байланысты энергия шығыны шамалы. Арнайы термиялық өңдеуден кейін ферриттер үлкен қарсылыққа ие болады (1-ден 105 ом•м-ге дейін), бұл олардағы және құйынды токтардағы энергия шығынын едәуір азайтады. Осылайша, әр түрлі құрылғыларда ферриттерді қолдану соңғысының тиімділігін едәуір арттырады.

Айнымалы ток өткен кезде сымдарда құйынды токтар пайда болуы мүмкін. Сымның ортасында құйынды токтар негізгі токқа, ал сыртынан негізгі токқа бағытталған; сондықтан сымның көлденең қимасындағы ток тығыздығы жиектер бойымен үлкен болады және сымның ортасына қарай төмендейді. Магнит өрісі неғұрлым тез өзгерсе, құйынды токтар соғұрлым маңызды және бұл құбылыс соғұрлым айқын болады. Жоғары жиілікте барлық ток өткізгіштің сыртқы бетінен өтеді. Бұл құбылыс *скин эффектісі* деп аталады

(ағылшынша "скин" — тері сөзінен). Мұндай токтар үшін кейде қуыс мыс түтіктері түрінде сымдар қолданылады.

Құйынды токтар тұрақты магнит өрісінде қозғалғанда металл денеде де пайда болуы мүмкін. Бұл жағдайда, Ленц Заңына сәйкес, олар қозғалысқа кедергі келтіруі керек, яғни денені тежейді.

Тұрақты токпен қоректенетін M электромагнитінің полюстерінің арасына іліңіз (1.27-сурет), алюминий немесе мыс (болат емес) маятник түріндегі P пластинкасы. Біз бұл тақтайшаны электромагнитте ток болмаған кезде тербелмелі қозғалысқа келтіреміз және қысқа уақыт ішінде оның тербелістерінің санын белгілейміз. Электромагнитті қосу кезінде сол тәжірибені қайталай отырып, пластинаның тербелісі бірден тоқтайтынын көреміз. Бұл екінші тәжірибеде пластина электромагниттің магнит өрісінде қозғалатындығымен және онда пайда болған құйынды токтар оның қозғалысын тежейтіндігімен түсіндіріледі.

Бұрақты токтардың тежеу әрекеті бағыттағандардың тербелістерін әлсірету үшін өлшеу аспаптарында қолданылады (1.28-сурет).



Сурет 1.28 – Электромагниттік седативті құрылғы схемасы

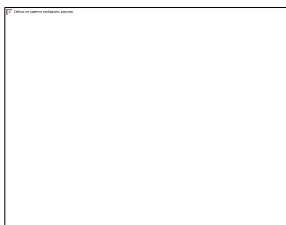
Егер өлшеу құралының жебесінің (көрсеткішінің) төменгі ұшына магнит полюстерінің арасында болатындай кішкентай металл пластина бекітілген болса, онда жебенің тербелісі кезінде пластинада пайда болатын құйынды токтар бұл тербелістерді тез тоқтатады.

Тұрақты ток үшін электр өлшеу құралдарында мұндай тақтайшаның қажеті жоқ, өйткені құрылғының жылжымалы

катушкасы алюминий жақтауына оралады, онда құйынды токтар айналады, бұл құрылғы көрсеткішінің тербелістерін тыныштандырады. Ұқсас құрылғы электр есептегіште де бар. Электр есептегішінің дискісі магнит полюстерінің арасында айналады; онда пайда болған құйынды токтар оның инерция арқылы айналуына жол бермей, оның қозғалысын тежейді. Қазіргі уақытта құйынды токтар металл бұйымдарын шынықтыру және металдарды балқыту үшін өнеркәсіпте қолданылады.

1.6.6 Тізбекті жабу кезіндегі өзіндік индукция құбылысы

Біз электр тізбегін жинаймыз (1.29-сурет), оған в батареясы, кілті, л шамы және М ядросы бар катушка кіреді. тізбек жабылған кезде, шамның бірден емес, біршама кешігіп жанатындығын көруге болады. Мұны қалай түсіндіруге болады?

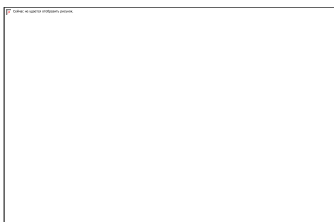


Сурет 1.29 – Электр қозғалтқыш күш өздік баяулатады ұлғайту ток лампочке кезде тұйықталу тізбегінің

Электр тізбегі жабылған кезде пайда болатын ток өсіп келе жатқан магнит өрісін тудырады, әсіресе электромагниттің айналасында күшті. Бұл жағдайда индукциялық ЭҚК электромагнит орамасына енгізіледі, ол батареяның ЭҚК-ге бағытталған және Шамдағы токтың өсуіне жол бермейді. Бұл жерде катушка ЭҚК көзі ретінде ондағы магнит өрісі өзгермелі болған кезде ғана қызмет ететініне назар аудару керек.

Электр тізбегі жабылған кезде пайда болатын индукция ЭҚК батарея тогының өсуін баяулатады, бұл жағдайда тізбектегі токтың өсу уақытын өзгертетін және тізбекте тұрақты режим орнатылған кезде жұмысын тоқтататын тежегіш ретінде қызмет етеді. Тізбек

жабылғаннан кейін токтың уақытқа тәуелділік графигі 1.30-суретте көрсетілген.



Сурет 1.30 – Тізбектегі токтың өсу графигі 1.29-сурет жабылғаннан кейін

Кез-келген тізбектегі ток арқылы пайда болатын айнымалы магнит өрісі сол тізбектегі индукция ЭҚК қоздыратын құбылыс өзін-өзі индукция деп аталады, ал пайда болатын электр қозғаушы күш ЭҚК өзін-өзі индукция деп аталады.

Индукцияның кез - келген ЭҚК сияқты өзін-өзі индукциялаудың электр қозғаушы күшін $e = -\Delta\psi/\Delta t$ формуласы бойынша табуға болады, бұл ЭҚК құрылған тізбектің меншікті ағымының өзгеруін білдіреді. Енгізілген тізбегі генератор (біздің мысалда батарея **B**) кезінде өсу ток жеңеді қарсы эқк өздік, жұмсалмай бұл бөлігі өзінің энергиясын. Сонымен қатар, электр тізбегінің айналасындағы магнит өрісі күшейе түседі, яғни магнит өрісінің тізбекпен ағымы артады. Бұл магнит өрісінде генератор ЭҚК-нің өзін-өзі индукцияға қарсы тұруын жеңуге жұмсаған энергия жинақталады.

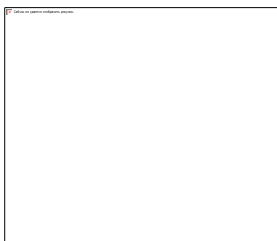
Тізбектің магнит өрісінің энергиясы тізбекте тұрақты ток болған кезде өзгеріссіз қалады.

Бұл тізбектегі ток күшіне ғана емес, сонымен қатар тізбектің өзіне де байланысты. Бірдей токпен жалпақ тізбектің магнит өрісінің энергиясы катушкаларға бұралған сымдарға қарағанда әлдеқайда аз (үлкен ағысы бар). Күшті электромагниттердің магнит өрісінің энергиясы әсіресе үлкен мәнге ие болуы мүмкін.

1.6.7 Тізбекті ашу кезінде өзін-өзі индукциялау құбылысы

Тұрақты ток тізбегі ашылған кезде, осы тізбектің магнит өрісінде сақталған энергия өзін-өзі индукциялық ток энергиясына айналады.

Тізбек ашылған кезде пайда болатын өзіндік индукция тоғын келесі тәжірибе арқылы анықтауға болады. Біз ***B*** батареясынан және ***M*** ядросы мен ***L*** шамымен параллель қосылған катушкалардан жабық тізбек құрамыз (1.31-сурет).



Сурет 1.31 – Тізбекті ***K*** кілтпен ашқанда, шам алдымен жарқырайды, содан кейін сөнеді

Тізбекті кілтпен ашқан кезде ***B*** батареясы ток беруді тоқтатады, бірақ ***L*** шамы бірден сөнбейді. ***M*** катушкасының жоғалып кететін магнит өрісі катушканы қысқа уақыт ішінде ЭҚК көзі етеді, ондағы алдыңғы бағыттағы ток жасайды.

Катушканың айналасындағы магнит өрісі өте тез жоғалады, сондықтан қысқа уақыт ішінде пайда болатын өзін-өзі индукциялық ЭҚК өте үлкен мәнге жетуі мүмкін, ол тізбекті ашқанға дейін берген генератордың ЭҚК-нен бірнеше есе көп. Бұған көз жеткізу үшін біз 1.31-суретте көрсетілген тізбекке жабық тізбекте жанбайтын ***I*** шамын қосамыз (мысалы, егер батареяның ЭҚК 1,6 В болса және Шам 12 В кернеуге арналған болса). Тізбекті кілтпен ашқанда, шам жарқырайды және тіпті күйіп кетуі мүмкін. Себебі, катушкалар мен шамдардан тұратын тізбек жабық күйде қалады, ал ондағы өзіндік индукцияның ЭҚК 12 В-тан асады.

Ашу кезінде тізбекте пайда болатын өзін-өзі индукция тоғы ***ашудың экстракциясы*** деп аталады. Оның уақытқа графикалық тәуелділігі 1.32-суретте көрсетілген. Тізбек ашылған кезде катушкадағы кернеу күрт артады (өзін-өзі индукциялаудың үлкен ЭҚК

пайда болады), содан кейін Шамдағы ток бағытын өзгертеді және катушкадағы ток мөлшеріне секіреді, содан кейін кестеге сәйкес төмендейді.



Сурет 1.32 – М катушкасындағы токтың түсу кестесі (1.31-сурет) тізбекті кілтпен ашқаннан кейін

Салдарынан құбылыс өздік электр тізбегінің үзілуі әрқашан жүреді ұшқын туындайтын жерде тізбек үзіледі. Ұшқын пайда болады, өйткені ашық сымдардың ұштары арасындағы тізбек үзілген кезде үлкен кернеу пайда болады, өйткені осы кезде тізбекте әрекет ететін жалпы ЭҚК өздігінен индукция ЭҚК мен тізбекті қамтамасыз ететін генератордың ЭҚК қосындысына тең болады.

Тізбекте сақталған магниттік энергияның мөлшеріне байланысты ашылу тогының қуаты әртүрлі болуы мүмкін. Жоғары ток қуатымен тізбектің жыртылған ұштары арасында доғалық разряд пайда болады, ол ажыратқыштың түйіспелерін ерітеді. Өте жоғары қуат тогы ететін электр тізбектері ашылған кезде ұзындығы бір метр немесе одан да көп электр доғасы пайда болады. Ашылу тогының аз қуатымен ұшқын пайда болады, оның әсерінен ажыратқыштар масштабпен жабылады. Электр станцияларында доғаның зиянды әсерін әлсірету үшін май бактарына орнатылған ажыратқыштар ("май ажыратқыштары") қолданылады, сондай-ақ басқа да бірқатар сақтық шаралары қолданылады.

Бақылау сұрақтары

1. Катушканың айналу саны мен ондағы ток магнит өрісіне қалай әсер етеді?
2. Қандай магнит өрісі біртекті деп аталады?
3. Магнит өрісінің Күшін қандай шамалар сипаттайды?
4. Ортаның магниттік қасиеттерін қандай мән сипаттайды?
5. Магниттік тұрақты дегеніміз не?
6. Қандай тізбек магниттік деп аталады?
7. Қандай қисық гистерезис циклі деп аталады?
8. Қандай күш коэрцитивті күш деп аталады?
9. Жұмсақ магниттік материалдар мен материалдардың магниттік қаттылығының айырмашылығы неде?
10. Қандай ток индукцияланған ток деп аталады?
11. Индукцияланған ЭҚК бағыты қандай ереже бойынша анықталады?

Тақырып 2 Магниттік тізбектерді есептеу

Іс жүзінде ток қоздыратын магнит өрісі әдетте магниттік күш сызықтарының көп бөлігі белгілі шектеулі кеңістікте жабық жол бойында шоғырланатын етіп жасалады. Магниттік күш сызықтары жабылатын жол болып табылатын құрылғы *магниттік тізбек* деп аталады. Ток катушкалары орналасқан өзек әдетте ферромагниттік материалдардан жасалады, олардың магниттік кедергісі ауаның магниттік кедергісінен әлдеқайда аз (өйткені ферромагниттік материалдар магнит өткізгіштігіне ие $\mu \gg \mu_0$). Сондықтан магнит ағынының негізгі үлесі магниттік ядромен анықталған жолмен жүреді. Ядродан басқа ауа арқылы жабылатын ағынның үлесі шашырау ағыны деп аталады және ΦS арқылы белгіленеді. ΦS ағыны, әдетте, негізгі ағыннан соншалықты аз, сондықтан оны елемеуге болады. Күш сызықтарының пішіні іс жүзінде өзек пішінімен анықталады.

Күрделі магниттік тізбек көлденең қимасы мен материалы бойынша әртүрлі бөлімдерден тұруы мүмкін.

Магниттік тізбекті есептеу кезінде тапсырмалардың *екі түрі кездеседі*:

берілген магниттік индукция немесе ағын (*тікелей есен*) арқылы магниттелетін токты анықтау және берілген ток бойынша магнит ағынын анықтау (*кері есен*). Екі тапсырмада да тізбектің барлық бөлімдерінің геометриялық өлшемдері, олардың материалы (және, демек, магниттеу қисықтары және гистерезис әдетте ескерілмейді) және катушкалар бұрылыстарының саны көрсетілуі керек.

Ферромагниттік материалдардың магнит өткізгіштігі $\mu = f(B) \neq \text{const}$, болғандықтан, магнит ағынының токқа тәуелділігі сызықты емес болып шығады, сондықтан магниттік тізбек сызықты емес тізбектерді есептеу үшін қабылданған *графоаналитикалық әдістермен* есептеледі.

Электрлік және магниттік тізбектер арасында физика курсынан байқағандай белгілі бір ұқсастық бар екенін есте ұстаған жөн (физикалық емес, тек математикалық): магнит ағыны токқа ұқсас, магниттелетін күш — кернеу немесе ЭҚК және магниттік тізбектің негізгі заңдарының жазбасы электр тізбегінің тиісті заңдарының жазбаларына ұқсас (2.1-кесте).

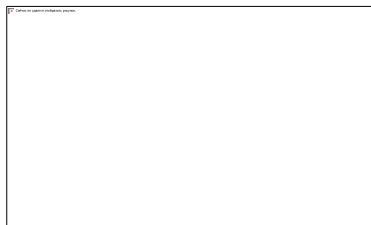
Кесте 2.1 – Электр және магниттік тізбек арасындағы ұқсастық

Электр тізбегі			Магниттік тізбек		
Шамасы	Өлшем бірлігі	Формула	Шамасы	Өлшем бірлігі	Формула
E	B	$E=IR$ $\sum E=\sum IR$	F	A	$F=Iw$ $\sum F=\sum HI$
U	B	$U=IR$	U_M	A	$U_M=HI$
I	A	$I=U/R$	Φ	Bб	$\Phi=U_M/R_M$ $\Phi=BS$
R	Ом	$R=U/I$	R_M	1/Гн	$R_M=U_M/\Phi$ $R_M = l / (\mu \mu_0 S)$

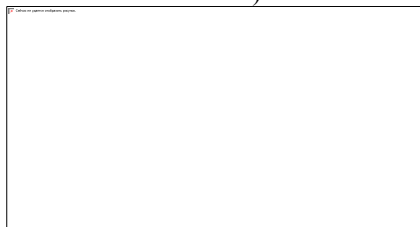
Сондықтан магниттік тізбекті есептеу әдісі әртүрлі есептеу әдістерін қолдана отырып, сызықты емес электр тізбектерін есептеу әдісіне ұқсас. Жоғарыда келтірілген ұқсастық магниттік тізбекті ұқсас схемамен алмастыруға мүмкіндік береді, мұнда тізбектің магниттік бөліктері сызықты емес кедергілермен ауыстырылады (2.1-сурет, а), ауа саңылауы сызықтық кедергімен (2.1-сурет, б), ал ЭҚК (ұқсастық бойынша) ЭҚК (2.1-сурет, в). Мұндай ауыстыру магниттік тізбекті есептеу үшін ыңғайлы (2.2-сурет).



а)

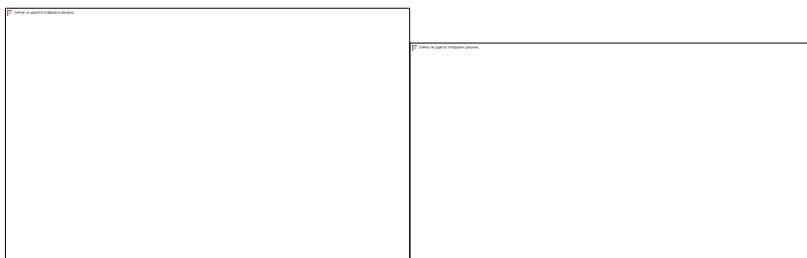


б)



в)

Сурет 2.1 – Магниттік тізбекті ауыстыру схемалары



а)

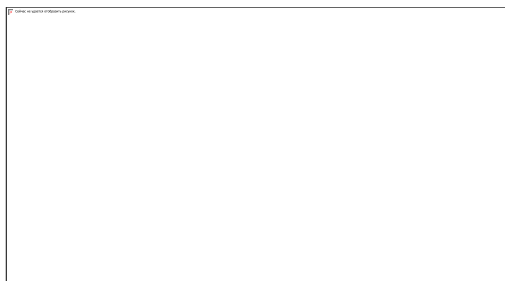
б)

Сурет 2.2 – Магниттік Тізбек және оның аналогы
Қолданылатын разветвленным магнитті тізбектер пайдаланылады
ұғымдар бұтағы мен торабы.

2.1 Магниттік тізбектің негізгі заңдары

Магниттік тізбектердің мысалы-трансформаторлардың, магниттік күшейткіштердің, электр машиналарының және т.б. өзектері (2.3-сурет). Магниттік тізбекті есептеу міндеті катушканың

магниттелетін Күшін (МҚК) немесе берілген магнит ағынын жасау үшін қажет катушкалар жүйесін анықтауға дейін азаяды.



Сурет 2.3 – Магниттік тізбек тізбегі

Магнит ағындарын анықтау үшін берілген магниттелетін күш қажет болған кезде кері тапсырма жиі кездеседі. Есептеу магниттік тізбек көмегімен жүргізеді заңдарын үшін *магниттік тізбек*. Осы заңдарды қарастырыңыз.

Кирхгофтың бірінші заңы.

2.2-суретте көрсетілген катушкалар арқылы ағып жатқан токтың арқасында магнит өрісі пайда болады және сол жақ өзекте Φ магнит ағыны пайда болады. Магнит өрісінің күш сызықтары үздіксіз және жабық болғандықтан, арақатынас орындалуы керек:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 \text{ немесе } \Phi - \Phi_1 - \Phi_2 = 0. \quad (2.1)$$

Сондықтан кез-келген магнит тізбегінің түйіні үшін магнит ағындарының алгебралық қосындысы нөлге тең.

Бұл теңдеу магниттік тізбек үшін *Кирхгофтың бірінші заңын* білдіреді.

Кирхгофтың екінші заңы.

Біз толық ток Заңын ABCD контурына қолданамыз (2.2-сурет). Осы тізбекпен шектелген беткейден өтетін толық ток, $\sum I = I_w$. Осы контур бойымен магниттелетін күш

$$F = H(l_1 + 2l_2) + NI_1 \quad (2.2)$$

Онда H —BCDA учаскесіндегі магнит өрісінің кернеулігі ол біртекті, өйткені магнит ағыны Φ және

осы бөлімдегі s өзегінің көлденең қимасы
 өзгеріссіз;
 H_1 — АВ учаскесіндегі магнит өрісінің кернеулігі.
 Толық ток заңы негізінде

$$Iw = H(l_1 + 2l_2) + HI_1 \quad (2.3)$$

яғни, берілген контур үшін катушканың магниттелетін күші белгілі бір аудандардағы магниттік кернеулердің қосындысына тең. Егер біреу болмаса, бірнеше катушкалар және барлық шыбықтарда өрістің күші әртүрлі, содан кейін теңдеу пайда болады

$$I_1 w_1 + I_2 w_2 + \dots + I_n w_n = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3 + \dots + H_m l_m \quad (2.4)$$

Сонымен, магниттік тізбектің кез-келген жабық тізбегі үшін магниттелетін күштердің алгебралық қосындысы оның жеке бөліктеріндегі магниттік кернеулердің алгебралық қосындысына тең.

Бұл анықтама магниттік тізбек үшін **Кирхгофтың екінші заңы**. Катушканың магниттелетін күшінің белгісі буравчика ережесі бойынша, ал магниттік кернеу белгісі — өріс кернеулігінің бағыты бойынша анықталады; егер кернеу бағыты контурды айналып өтудің таңдалған бағытына сәйкес келсе, онда магниттік кернеу плюс белгісімен алынады және керісінше.

Ом Заңы.

Тізбектің берілген бөлігіндегі магниттік кернеу $U_M = HI$. Егер сіз мұны ескерсеңіз $H = B/(\mu\mu_0)$, $B = \Phi/S$, то $U_M = \Phi l / (\mu \mu_0 S)$, $\Phi = U_M / (l \mu \mu_0 S)$.

Белгілеуді енгізіңіз

$$R_M = l / (\mu \mu_0 S) \quad (2.5)$$

Онда R_M — тізбек бөлігінің магниттік кедергісі.

Содан кейін магниттік тізбектің бөлігі үшін **Ом заңының** соңғы көрінісі пайда болады

$$\Phi = U_M / R_M \quad (2.6)$$

Тізбектің бөлігі үшін магнит ағыны осы бөлімдегі магниттік кернеуге тура пропорционал.

R_m өрнегінен ферромагниттік материалдардың магниттік кедергісі аз болады. Айта кету керек, Ом заңы тек магниттік тізбектің сызықтық бөлімдері үшін жарамды.

2.2 Тұрақты магнит ағыны бар магниттік тізбектер

Магниттік тізбекті құру үшін қолданылатын материалдардың магниттік қасиеттері әдетте магниттік индукцияға тәуелділікпен сипатталады B магнит өрісінің кернеуіне H .

Диа- және парамагниттік материалдар үшін бұл тәуелділік сызықты

$$B \approx \mu_0 H, \quad (2.7)$$

онда $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ Гн/м — магниттік тұрақты.

Ферромагниттік материалдар үшін $B=f(H)$ тәуелділігі күрделі, сызықты емес және гистерезис пен қанықтыру құбылыстарына байланысты көп мәнді. Абсолютті магнит өткізгіштігі

$$\mu = \frac{B}{H} = f(H) \quad (2.8)$$

салыстырмалы түрде әлсіз магнит өрістерінде μ_0 -ден бірнеше есе көп. Анықтамалық кітаптарда әдетте бір мәнді тәуелділік беріледі — симметриялы гистерезис ілмектерінің шыңдарының геометриялық орны ретінде анықталған магниттелудің негізгі қисығы.

Егер тізбектегі магнит ағыны тұрақты магниттерді тізбекке енгізу арқылы немесе ондағы тұрақты токпен реттелген орамаларды қолдану арқылы пайда болса, тұрақты болады. Мұндай тізбектерді есептеу кезінде келесі болжамдар кеңінен қолданылады:

1) магнитті жұмсақ (тар гистерезис ілмегімен) материалдар үшін гистерезис құбылысы ескерілмейді және есептеу кезінде магниттелудің негізгі қисығы пайдаланылады; магнитті қатты материалдардан (гистерезистің кең ілмегімен) жасалатын тұрақты магниттерге келетін болсақ, олар үшін есептеу магниттелудің қисығы — шекті гистерезис циклінің төмен түсетін тармағы болып табылады;

2) ферромагнитті материалдан жасалған өзек болған кезде барлық ағын өзек бойынша тұйықталады деп болжанады, яғни шашырау ағындары ескерілмейді;

3) магниттік тізбек бөліктерге бөлінеді (сөздің тар мағынасында: біртекті материалдан жасалған, бүкіл ұзындығы бойынша бірдей қимасы бар, сол ағын өтетін тізбектің бөліктері).

а) магниттік тізбектің учаскесінде магниттік индукция көлденең қиманың барлық нүктелерінде бірдей және оған қалыпты,

б) магниттік өрістің кернеулігі магниттік индукцияның орта сызығының ұзындығына тең қабылданатын және учаскенің осі бойымен іс жүзінде өлшенетін учаскенің ұзындығы бойынша өзгермейді,

в) егер учаске ауа саңылауы болса, онда оның есептік қимасы өзекшенің көршілес учаскелерінің қимасына тең қабылданады.

Осы жорамалдар кезінде S_k ауданы бар k -ші учаскенің қимасы арқылы магнит ағыны.

$$\Phi_k = \int_{S_k} \overline{B} ds \approx B_k S_k, \quad (2.9)$$

скалярлық магниттік потенциалдар арасындағы айырмашылық (немесе тиісті электр шамасына ұқсас, магниттік кернеу) l_k ұзындығында.

$$U_{Mk} = \int_{l_k} \overline{H} dl \approx H_k l_k. \quad (2.10)$$

Магнит ағынының үздіксіздігі принципі (2.4-сурет) $\int_S \overline{B} ds = 0$ магниттік тізбек үшін *Кирхгофтың бірінші заңын* (2.5-сурет) алуға мүмкіндік береді (магниттік тізбек түйініндегі магнит ағындарының алгебралық қосындысы нөлге тең)

$$\sum_{k=1}^n \Phi_k = 0 \quad (2.11)$$

онда n — түйінді құрайтын бұтақтардың саны.



Сурет 2.4 – Магнит ағынының үздіксіздігі принципі



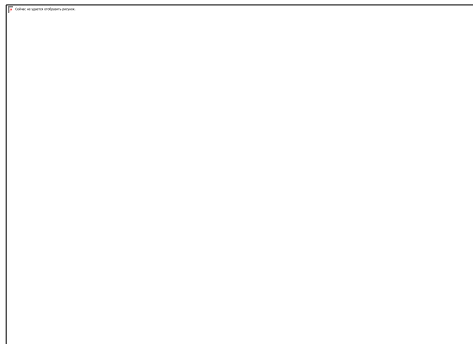
Сурет 2.5 – Кирхгофтың магниттік тізбекке арналған бірінші заңы

Ал толық ток заңы (2.6 — сурет) $\int_l \overline{H} d\overline{l} = \sum i$ - магниттік тізбек үшін *Кирхгофтың екінші заңы* (магниттік тізбек тізбегіндегі магниттік кернеулердің алгебралық қосындысы сол тізбектегі мдс алгебралық қосындысына тең):

$$\sum_{k=1}^m U_{Mk} = \sum_{k=1}^m F_k \tag{2.12}$$

Онда m — контурдағы учаскелер саны;

F_k — I_k тогының көбейтіндісіне тең магнит қозғаушы күш (мдс) бұрылыстар санына орау w .



Сурет 2.6 Толық ток

Бұл өрнектердің электр тізбегінің тиісті заңдылықтарына формальды ұқсастығы айқын (аналогтар - U және UM , I және Φ). Осы ұқсастықты жалғастыра отырып, тораптың магниттік кедергісі ұғымы енгізілді:

$$R_{Mk} = \frac{U_{Mk}}{\Phi_k} = \frac{H_k l_k}{B_k S_k} = \frac{H_k l_k}{H_k \mu_k S_k} = \frac{l_k}{\mu_k S_k} \quad (2.13)$$

(салыстырыңыздар $R = \frac{l}{\gamma S}$).

Ферромагниттік емес материалдың магниттік кедергісі тұрақты:

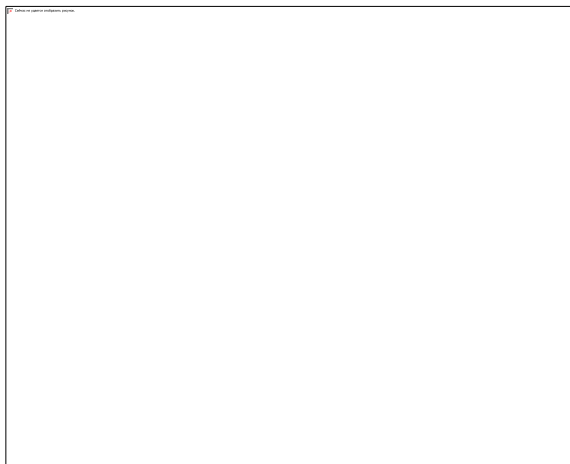
$$R_M = \frac{U_M}{\Phi} = \frac{l}{\mu_0 S} \quad (2.14)$$

(магниттік тізбек үшін *Ом заңы*), ферромагниттік материалдан жасалған учаскенің кедергісі сызықты емес және есептеуде веб-сипаттамамен ескеріледі (Вб. а. х.) $\Phi = f(U_M)$, ол магниттеу қисығының масштабын өзгерту арқылы алынады және сызықты емес омдық кедергісінің вольтамперлік сипаттамасының аналогы болып табылады.

Электр тізбектерімен белгіленген ұқсастық магниттік тізбек үшін *алмастыру тізбегін құруға* мүмкіндік береді, онда *әр бөлім магниттік кедергімен, ал әрбір ток орамасы магнит қозғаушы күшпен ұсынылады, оның бағыты бұрғылау ережесімен анықталады*. Мұндай тізбектің тармақтарында магниттік ағындар ағып, элементтерде магниттік кернеулер болады.

Мұндай тізбектерді есептеу сызықты емес тұрақты ток тізбектерін ауыстыру тізбектерін есептеуге ұқсас және оны кез-келген әдіспен жүргізуге болады.

Төменде келтірілген тапсырмаларда пайдаланылатын құйылған болат пен Э-31 табак электротехникалық болатқа арналған магниттеу қисықтары 2.7-суретте келтірілген.



Сурет 2.7 – Магниттеу қисықтары

2.3 Тармақталмаған магниттік тізбек

Мұндай тізбекті есептеу кезінде, әдетте, учаскелердің геометриялық өлшемдері мен материалдары белгілі, екі мәселе қарастырылады: түзу және кері.

Тікелей тапсырма берілген магнит ағыны бойынша магниттелетін күшті анықтаудан тұрады. Барлық аудандардағы магнит ағыны бірдей, сондықтан олардың әрқайсысында магниттік индукцияны табуға болады, содан кейін магнит өрісінің кернеуін магниттеу қисықтары арқылы $HK=f(Bk)$ анықтаңыз, содан кейін аудандардағы магниттік кернеулерді есептеңіз — $UMK=NK LK$ және Кирхгофтың екінші заңы бойынша MKQ — есептеңіз

$$F = \sum_{k=1}^n U_{Mk}$$

Кері тапсырма қиынырақ, берілген магниттелетін күшке сәйкес магнит ағынын анықтау қажет болған кезде. Ол веберампер сипаттамасының көмегімен шешіледі (вб.а. х.) $F = f(UM)$ тізбегі, оны құру үшін F магнит ағынының кездейсоқ таңдалған мәндерінің қатарына бірнеше тікелей есептерді шешуге тура келеді, тек тұрақты

көлденең қимасы бар біртекті магниттік тізбек үшін түзу және кері есептер күрделілікте бірдей.

Егер тізбекте салыстырмалы түрде әлсіз магнит өрістері болса (магниттеу қисығының бастапқы, іс жүзінде сызықтық бөлімі қолданылады), онда $\mu = \text{const}$ көмегімен тұрақты магниттік қарсылықты есептеуге және оны магнит тізбегінің Заңына сәйкес жүргізуге болады. Электр тізбегі үшін Ом заңына ұқсас келеді.

Тармақталмаған тізбектің мысалы-электромагнит, ол үшін тарту күшін анықтау маңызды. Бұл саңылаудағы магнит өрісінің энергиясының жартылай туындысына тең

$$f = \frac{\partial W_M}{\partial \ell} \approx \frac{\partial}{\partial \ell} \left(\frac{BH}{2} S \ell \right) = \frac{BHS}{2} = \frac{B^2 S}{2\mu_0} \quad (2.15)$$

Дәл осындай формула тұрақты магниттің тарту күшін анықтау үшін де қолданылады.

Кейде ораманың статикалық индуктивтілігін есептеу қажет (егер ол магниттік тізбекте болса). Анықтама бойынша

$$L = \frac{\Psi}{I} = w^2 \frac{\Phi}{F} = \frac{w^2}{R_M} = w^2 G_M \quad (2.16)$$

онда w — ораманың орамдарының саны,

G_M — магниттік өткізгіштік.

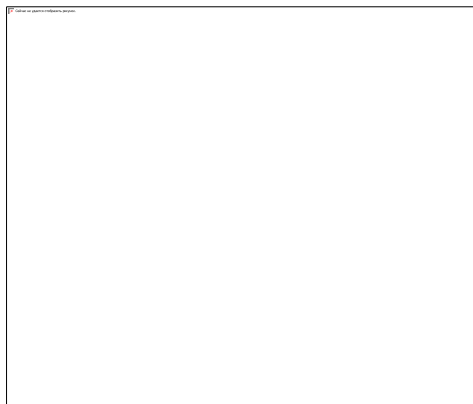
Бұл жағдайда магнит өрісінің энергиясы:

$$W_M = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Psi I}{2} = \frac{\Phi F}{2} \quad (2.17)$$

2.3.1 Тармақталмаған магниттік тізбекті есептеу мысалдары

Есеп 2.1. Құйылған болаттан жасалған сақинаға (2.8-сурет) орам $W=500$ бұрылыстар санымен оралған. Сақинаның сыртқы диаметрі $d_n = 8$ см, ішкі диаметрі — $D\delta = 6$ см, биіктігі $h=2$ см. сақинада қалыңдығы $\delta = 0,8$ мм радиалды алшақтық жасалады. Анықтаңыз:

- а) сақинадағы магнит ағыны $\Phi = 1,8 \cdot 10^{-4}$ Вб тең болатын орамадағы тұрақты ток;
 б) орамдағы ток кезіндегі сақинадағы магнит ағыны $I = 1$ А.



Сурет 2.8 – 2.1 тапсырмаға

Шешімі.

Сақинаның көлденең қимасы (m^2)

$$S = h \frac{D_H - D_B}{2} = 2 \cdot \frac{8 - 6}{2} = 2 \cdot 10^{-4}.$$

Орташа сызық ұзындығы (м)

$$l = \pi \frac{D_H + D_B}{2} - \delta = 3,14 \cdot \frac{8 + 6}{2} - 0,08 = 0,219$$

а.Тікелей міндет.

Ағынды біле отырып, магниттік индукцияны табамыз

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{1,8 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-4}} = 0,9 \text{ Тл}$$

магниттеу қисығы бойынша (2.7-сурет) сақинадағы магнит өрісінің кернеуін анықтаймыз

$$H = f(B) = f(0,9) = 800 \text{ А/м.}$$

Сақинадағы магниттік кернеу

$$U_M = Hl = 0,219 \cdot 800 = 175 \text{ А,}$$

ал ауа саңылауында

$$U_{M\delta} = \Phi R_{M\delta} = \Phi \frac{\delta}{\mu_0 S} = \frac{1,8 \cdot 10^{-4} \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}}{4\pi 10^{-7} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 575 \text{ А.}$$

Кирхгофтың екінші заңы бойынша магниттік тізбек үшін

$$F = U_M + U_{M\delta} = 175 + 575 = 750 \text{ А,}$$

содан кейін орамдағы ток

$$I = \frac{F}{w} = \frac{750}{500} = 1,5 \text{ А.}$$

б. Кері есеп.

Оны шешу үшін біз магниттік тізбектердің электр тізбектерімен ұқсастығын қолданамыз. Қарастырылып отырған тізбектің алмастыру схемасы 2.9, а суретте көрсетілген.

2.9-сурет-2.1-тапсырмаға ауыстыру схемасы

Мұнда

$$F = Iw = 1 \cdot 500 = 500 \text{ A},$$

$$R_{M\delta} = \frac{\delta}{\mu_0 S} = \frac{0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}}{4\pi 10^{-7} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 3,18 \cdot 10^6 \text{ Гн}^{-1}.$$

Белсенді сызықтық Қос полюстің сыртқы (веберамперлі) сипаттамасы (2.9, а суреттегі нүктемен шектелген) өрнекпен сипатталады

$$U_M = F - \Phi R_{M\delta} = F - S\Phi R_{M\delta},$$

осыдан

$$\begin{aligned} B &= \frac{1}{S \cdot R_{M\delta}} (F - U_M) = \frac{1}{S \cdot R_{M\delta}} (F - H \cdot l) = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 10^{-4} \cdot 3,18 \cdot 10^6} (500 - H \cdot 0,219) = (0,785 - 0,344 \cdot 10^{-3} H) \text{ Тл} \end{aligned}$$

B және H осьтеріндегі осы түзу кесіндінің қиылысу нүктесі $B = 0,785$ Тл және $H = 2280$ а/м, құйылған Болаттың магниттелу қисығымен (2.9, Б-сурет) $B = 0,61$ Тл және $H = 500$ а/м қажетті шамаларды береді.

Сонда $F = BS = 0,61 \cdot 2 \cdot 10^4 = 1,22 \cdot 10^{-4}$ Вб.

Айтпақшы, мәселені сызықтық магниттік тізбекті (әлсіз магнит өрістері) шынымен, құйылған Болаттың магниттелу қисығының бастапқы бөлігінде $B = \mu H$ деп есептей отырып, дәл шешуге болады, мұнда $1,25 \cdot 10^{-3}$ Гн/м, содан кейін сақинаның магниттік кедергісі:

$$R_M = \frac{l}{\mu \cdot S} = \frac{0,219}{1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 0,88 \cdot 10^6 \text{ Гн}^{-1}.$$

Магниттік тізбек Заңы бойынша:

$$\Phi = \frac{F}{R_M + R_{M\delta}} = \frac{500}{0,88 \cdot 10^6 + 3,18 \cdot 10^6} = 1,23 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

Бұрын алынған нәтижемен айырмашылық графикалық құрылыстардағы қателіктерден аспайды.

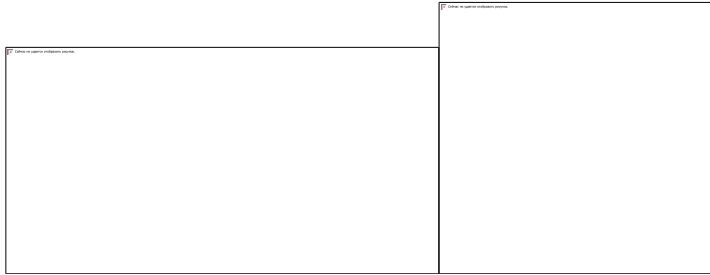
Жауап: а) 1,5 А; б) $1,22 \cdot 10^{-4}$ Вб.

Есеп 2.2. Алдыңғы есептің сақинада ауа саңылауы болмаған кезде және басқа жағдайларды сақтау кезінде есепті шешіңіз.

Жауап: а) 0,352 А; б) $2,85 \cdot 10^{-4}$ Вб.

Есеп 2.3. 2.10-суретте көрсетілген ораманың статикалық индуктивтілігін және электромагниттің тарту күшін анықтаңыз, егер оның орамасында $W=400$ бұрылыстарының саны $I=0,5$ а болса. Негізгі Материал-Электрлік Болат Е-31, зәкір материалы-құйылған болат.

Әрбір аймақтың Қима ауданы $S = 4 \text{ см}^2$. Магниттік индукцияның ортаңғы сызығының ұзындығы $l_c = 20 \text{ см}$, зәкірде $l_a = 6 \text{ см}$; саңылаудың қалыңдығы $\delta = 0,2 \text{ мм}$.



2.10-сурет-2.3-есеп

Жауап: 0,256 Гн, 102 н.

Шешуі.

Магниттік тізбектің алмастыру схемасы 2.10, Б суретте көрсетілген.

Мұнда $F = Iw = 200$ А. алшақтықтың магниттік кедергісі

$$R_{M\delta} = \frac{\delta}{\mu_0 S} = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 10^{-4}} \approx 0,4 \cdot 10^6 \text{ Гн}^{-1}$$

R_{mc} өзегінің магниттік кедергісі және $R_{m\alpha}$ зәкірі-сызықты емес магниттік кедергі.

Бұл кері есеп нұсқаларының бірі және оны шешу үшін $F=f(UM)$ тізбегінің веб-сипаттамасын құру қажет. Есептеу тәртібі келесідей. Φ ағынының белгілі бір мәнін анықтағаннан кейін біз магнит индукциясын $B=\Phi/S$ табамыз, содан кейін магниттелудің тиісті қисықтары бойынша — 2.7-сурет) - NS және $N\mu\alpha$ ядросы мен якоріндегі магнит өрісінің күші, содан кейін магниттік кернеулер $U_{mc}=H_c l_c$ и $U_{m\alpha}=H_\alpha l_\alpha$. Магниттік кернеу рұқсат етілуін анықтаймыз формула бойынша $Um\delta=\Phi Rm\delta$. Берілген ағынға сәйкес келетін жалпы магниттік кернеу $Um=Ums+ Um+2 Um\delta$. Есептеу нәтижелері 2.2-кестеде келтірілген.

Алшақтықтың кедергісі әдетте магниттік тізбектің барлық кедергісінің едәуір бөлігін құрайтындықтан, магнит ағынының ең үлкен мәні тең қабылданады

$$\Phi_{Max} = \frac{E}{R_{M\delta}} = \frac{200}{0,4 \cdot 10^6} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

Кесте 2.2-2.3-есеп нәтижелері

Φ , $\times 10^{-4}$ Вб	B , Тл	H_G А/м	$H_{\text{я}}$ А/м	$U_{\text{МС}}$ А	$U_{\text{мд}}$ А	$U_{\text{мд}}$ А	$U_{\text{м}}$ А
5	1,25	590	1435	118	86	200	404
4	1	230	920	46	55	160	261
3	0,75	125	635	25	38	120	183
2	0,5	80	400	16	24	80	120

Бұл ағын үшін тізбектің жалпы магниттік кернеуін есептейміз $U_m=404$ А. Кирхгофтың екінші заңына сәйкес жалпы кернеу MDS $F=200$ А тең болуы керек. 200 және 404 А-ны салыстыра отырып, біз 4, 3, 2×10^{-4} Вб ағынының кіші мәндерін орнатамыз. Кестелік мәліметтерге сәйкес біз $U_m=f(F)$ тізбегінің веберамперлік сипаттамасын саламыз (2.10-сурет,в). Қажетті ағын $\Phi=3,2 \cdot 10^{-2}$ Вб сипатталады. $U_m=F=200$ А нүктесіне сәйкес келеді

$$\text{Магниттік индукция } B = \frac{\Phi}{S} = \frac{3,2 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-4}} = 0,8 \text{ Тл.}$$

Екі саңылауға электромагниттің тарту күші

$$f = 2 \frac{B^2 S}{2\mu_0} = \frac{0,8^2 \cdot 4 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} = 204 \text{ н.}$$

Ораманың статикалық индуктивтілігі

$$L_{CT} = \frac{w\Phi}{I} = \frac{400 \cdot 3,2 \cdot 10^{-4}}{0,5} = 0,256 \text{ Гн.}$$

Есеп 2.4. Электромагнит үшін 2.3 тапсырма тәуелділіктерді құру

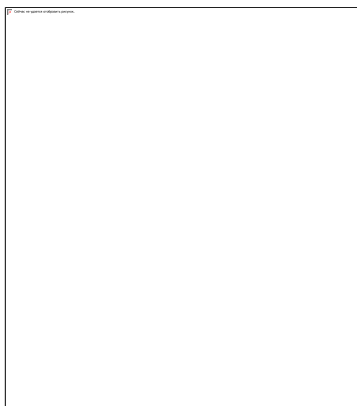
а) ауа саңылауы кезінде орамдағы токтан статикалық индуктивтілік $\delta = 0,2$ мм ($I=1,2$ А үшін сандық жауап беру);

б) ток кезіндегі Саңылау шамасынан тартылыс күші $I=0,5$ А ($\delta=0,05$ мм үшін сандық жауап беру).

Жауап: а) 0,18 Гн; б) 430 н.

Есеп 2.5. Катушкалар саны $w = 1000$ болатын катушкалардағы магнит өрісінің энергиясын анықтаңыз $I = 0,75$ а. Катушка өзегі Е-31 болаттан жасалған. Өзек қаптамасының қалыңдығы-25 мм, ауа саңылауы-0,5 мм. қалған өзек өлшемдері мм-де 2.11-суретте көрсетілген.

Жауап: 0,225 Дж.



Сурет 2.11 – Тапсырмаға магниттік тізбек 2.5

Есеп 2.6. Ауа саңылауы бар тұрақты магнит $\delta = 21$ мм ANK01 қорытпасынан жасалған (демагнетизация қисығы 2.12-суретте көрсетілген). Сақинаның өлшемдері: ішкі диаметрі $D_B = 50$ мм, сыртқы диаметрі $D_H = 70$ мм, биіктігі $h = 10$ мм. магнит ағынын анықтаңыз.

Жауап: $0,4 \cdot 10^{-4}$ Вб.

Шешімі.

Магнит денесіндегі магниттік индукцияны және алшақтықты ескере отырып: бірдей, тізбектің есептелген өлшемдерін анықтаймыз: Қима ауданы

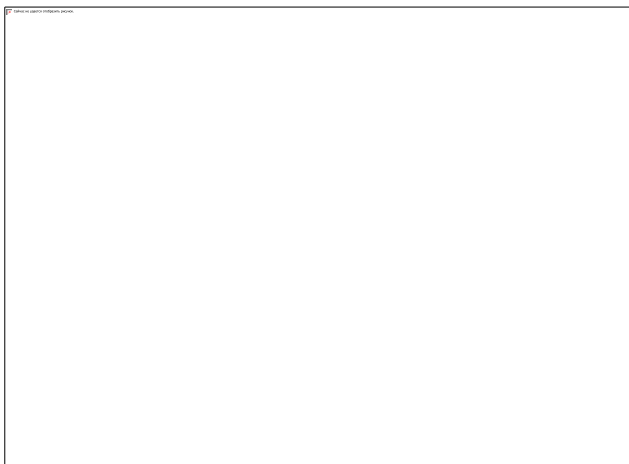
$$S = h \frac{D_H - D_B}{2} = 10 \cdot \frac{70 - 50}{2} = 100 \text{ мм}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2,$$

орташа сызық ұзындығы

$$\ell \approx \pi \frac{D_H + D_B}{2} - \delta = \pi \cdot \frac{70 + 50}{2} - 21 = 167 \text{ мм} = 0,167 \text{ м.}$$

Кирхгофтың екінші магниттік тізбектегі заңынан магнит денесіндегі магнит өрісінің күші шығады

$$H = -\frac{-H_\delta \delta}{\ell} = -\frac{B_\delta}{\mu_0 \ell} = -B \frac{21 \cdot 10^{-3}}{10^{-7} \cdot 0,167} = 10^{-5} \text{ В.}$$



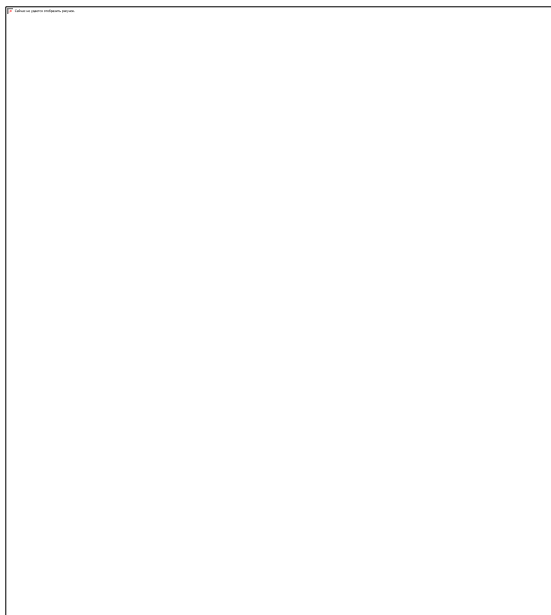
Сурет 2.12 – Тапсырмаға демагнетизация қисығы 2.6

Бұл сызықтың демагнетизация қисығымен қиылысу нүктесі индукция мәнін $0,4 \text{ Тл}$ анықтайды. Содан кейін магнит ағыны $\Phi = BS = 0,4 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$.

Есеп 2.7. 2.13-суретте гальванометрдің магниттік жүйесі көрсетілген. Оның тұрақты магниті ANK01 қорытпасынан жасалған, оның демагнетизация қисығы 2.12-суретте көрсетілген. Магнит пен ауа саңылауының есептелген ұзындығы мен қимасы $l_M = 88 \text{ мм}$, $l_B = 2 \times 1 = 2 \text{ мм}$, $S_M = 1 \text{ мм}^2$, $S_B = 2 \text{ мм}^2$

Анықтау магниттік индукция әуе алшақтық, шашырауды анықтау және магнитті кедергісі полюсты ұштықтар зәкір болады.

Жауап: 0,42 Тл.



Сурет 2.13 – Гальванометрдің магниттік жүйесі

2.4 Тармақталған магниттік тізбек

Тармақталған магниттік тізбектердің ішінде үш ішекті құрылғылар жиі кездеседі, олардың аналогы әдетте екі түйін әдісімен есептелетін екі тізбекті сызықты емес электр тізбегі болып табылады. Сол сияқты, магниттік тізбек веберампер сипаттамаларын (ВВ) қолдана отырып есептеледі. а. х.) ВВ сияқты магниттелудің белгілі қисықтары негізінде құрылатын $\Phi = f(U_m)$ тармақтары. а. х. кері есептегі тармақталмаған тізбек.

Бір реттік есептеу (ДБ құрусыз. а. х.) кейбір ерекше жағдайларда ғана мүмкін болады (мысалы, әр тармақтың қимасы бірдей және бүкіл ұзындығы бойымен магнит өткізгіштігі бар тізбек

үшін бұтақтардың қосылуы параллель, магнит ағыны экстремалды шыбықтардың бірінде, ал бір орам екіншісінде немесе симметриялары бар кейбір тізбектерде).

Барлық басқа жағдайларда олар келесі есептеу тәртібін ұстанады.

1) магниттік тізбек (біркелкі материалдан жасалған қимасы бірдей аймақтарды) бөлінеді;

2) осы аймақтарды геометриялық өлшемдері анықталады — l орташа ұзындығы және S қимасы (ферромагнитті емес материал жағдайында магниттік кедергі де есептелуі мүмкін $R_M = \frac{l}{\mu_0 S}$;

3) магниттік тізбекті ауыстыру схемасы жасалады (әр бөлім — магниттік кедергі, әр орам — м. д. с.);

4) әрбір тармақ үшін оның қысқыштарындағы магниттік кернеуді оның магниттік ағынымен байланыстыратын теңдеу жасалады;

5) осы теңдеулерге сәйкес ДБ салынады. а. х. филиалдар (қосалқы есептеулер кестелерге азаяды);

6) Егер магниттік тізбек пен ДБ ауыстыру схемасы белгілі болса. а. х. тармақ, содан кейін одан әрі есептеу тиісті сызықты емес электр тізбегін есептеуге ұқсас және графоаналитикалық немесе сандық әдіспен жүзеге асырылады.

Мәселенің жағдайына байланысты ДБ құру. а. х. кейбір филиалдар артық болуы мүмкін және бұл қамтамасыз етілуі керек.

2.4.1 Тармақталған магниттік тізбекті есептеу мысалдары

Есеп 2.8. 2.14, а суретте көрсетілген өзек Е-31 электрлік болаттан жасалған. Барлық бөлімдердің көлденең қималары бірдей, $S = 20 \text{ см}^2$, ал ұзындығы суретте ММ көрсетілген.

w -2000 бұрылыстарының саны бар орамадағы I Тонда ауа саңылауындағы магниттік индукция $B_0 = 0,05 \text{ Тл}$ болады.

Жауап: $I = 3 \text{ а.}$

Шешімі.

Тапсырма бір есептеуге мүмкіндік береді, ал барлық бөлімдердің қималарының теңдігіне байланысты берілген магниттік тізбектің түйіні үшін Кирхгофтың бірінші заңын $\sum f_k = 0$ түрінде қайта жазуға болады $\sum V_k = 0$.

Магниттік тізбектің эквиваленттік схемасы 2.14-суретте көрсетілген, Б. есептеу кезінде E-31 болатының магниттелу қисығы қолданылады (2.7-сурет).



Сурет 2.14 – Магниттік Тізбек және ауыстыру тізбегі 2. 8

Оң жақ өзекшедегі магнит өрісінің кернеулігі $H_5 = f(B_0) = 20$ а/м, ал саңылауда

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{0,05}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 4 \cdot 10^4 \text{ А/м.}$$

Сонда

$$U_{M.cd} = H_5 (l_5 + l_7) + H_0 l_0 = 20(0,25 + 0,25) + 4 \cdot 10^4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 30 \text{ А,}$$

$$\text{и } H_4 = \frac{U_{M.cd}}{l_4} = \frac{30}{0,25} = 120 \quad \text{– } 120 \text{ А/м,}$$

$B_4 = 0,70$ Тл сәйкес келеді.

Содан кейін біз табамыз

$$B_3 = B_6 = B_4 + B_5 = 0,7 + 0,05 = 0,75 \text{ Тл}$$

$$\text{и } H_3 = H_6 = 133 \text{ А/м,}$$

$$\text{сонда } U_{Mab} = U_{Mcd} + H_3 l_3 + H_6 l_6 = 30 + 2 \cdot 133 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 70 \text{ А.}$$

$$\text{Әрі қарай } H_2 = \frac{U_{M.ab}}{l_2} = \frac{70}{0,25} = 280 \text{ А/м, } B_2 = f(H_2) = 1,05 \text{ Тл,}$$

$$B_1 = B_2 + B_3 = 1,05 + 0,75 = 1,8 \text{ Тл.}$$

Бұл ретте $H_1 = 12000 \text{ А/м}$ и $F = U_{Mab} + H_1 l_1 = 70 + 12000 \cdot 0,5 = 6070 \text{ А.}$

Осыдан

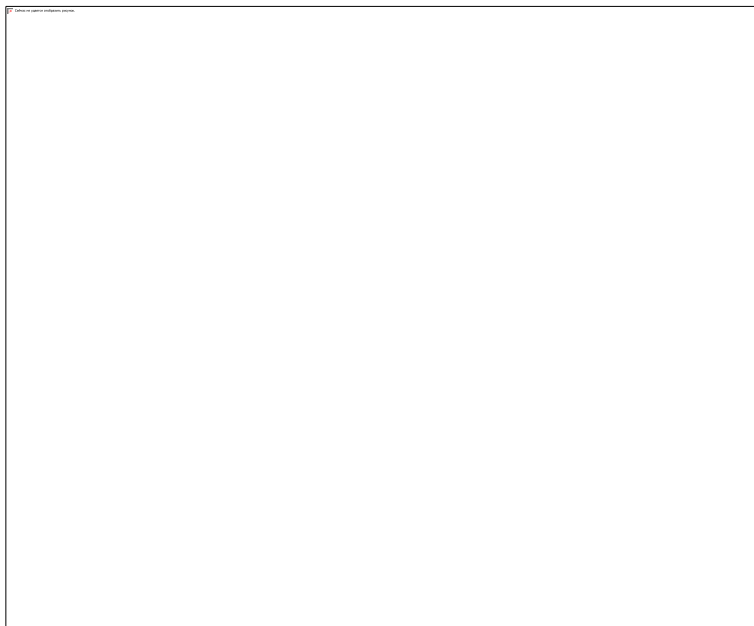
$$I = \frac{F}{w} = \frac{6070}{2000} = 3,035 \text{ А.}$$

Есеп 2.9. 2.8 а токында және ауа саңылауы болмаған кезде 1,3 есепті дроссель орамасының статикалық индуктивтілігін анықтаңыз.

Нұсқау. Алдымен оң жақ өзектегі магниттік индукцияның әртүрлі мәндерін белгілеп, алдыңғы мәселенің есептеулерін қайталай отырып, тізбектің веберампер сипаттамасын құру керек.

Жауап: 2,5 мГн.

Есеп 2.10. 2.15-суретте көрсетілген магниттік тізбектің өзектеріндегі магниттік ағындарды анықтаңыз, егер $I = 2,5 \text{ А}$, $w = 3000$, $I_2 = 2 \text{ А}$, $w = 500$, ал ядроның геометриялық өлшемдері суретте көрсетілген мм (материал — Е-31 табақ Болат, пакеттің қалыңдығы 50 мм).



Сурет 2.15 – Магниттік Тізбек және 2.10-тапсырмаға ауыстыру тізбегі

Шешімі.

Сол жақ және оң жақ өзекшеде көлденең қимасы бірдей болатын бір ғана аймақ бар $S_1=S_2=40 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$ және бірдей орташа ұзындығы $l_1=l_2 \approx 10^{-3} [(240-2 \cdot 20) + 2(150 + 20 + 30)] = 0,6 \text{ м}$. орташа алғанда-үш: ауа саңылауы ($l_0 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$) және жалпы ұзындығы болатын екі іргелес учаске $l_3 \approx (240 - 2 \cdot 20) \cdot 10^{-3} = 0,2 \text{ м}$; Қима ауданы $S_3=S_0=60 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Магнит қозғаушы күштер $F_1 = w_1 I_1 = 3000 \cdot 2,5 = 7500 \text{ А}$ және $F_2 = w_2 I_2 = 500 \cdot 2 = 1000 \text{ А}$.

Ауыстыру схемасы, онда әр бөлім магниттік кедергіге сәйкес келеді (олардың тек біреуі сызықты түрде алшақтықты сипаттайды

$$R_{M0} = \frac{\ell_0}{\mu_0 S_0} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot 10^{-3}} = 4 \cdot 10^5 \text{ Гн}^{-1};$$

ортаңғы шыбықтың қалған екі бөлігі бір эквивалентті магниттік кедергімен ұсынылған RM_3), ал әр орамасы-мдс, 2-суретте көрсетілген. 15, 6.

Схеманы функционалды теңдеулер жүйесін графикалық түрде шешу арқылы екі түйін әдісімен есептеуге болады:

$$U_{Mab}(\Phi_1) = F_1 - U_{M1}(\Phi_1),$$

$$U_{Mab}(\Phi_2) = U_{M2}(\Phi_2) - F_2,$$

$$U_{Mab}(\Phi_3) = U_{M3}(\Phi_3) + R_{M0} \Phi_3,$$

$$\Phi_1(U_{Mab}) - \Phi_2(U_{Mab}) - \Phi_3(U_{Mab}) = 0.$$

мұндағы $\Phi_K = B_K S_K$, $U_{MK} = H_K l_K$ ($K=1, 2, 3$, бұл ретте B_K және H_K тиісті мәндері 2.7-суреттегі Э-31 болаты үшін магниттеу қисығы бойынша анықталады).

Тек бір 3-ші өзекте екі магниттік кедергі бар екенін ескере отырып, егер сіз F_3 ағынымен еркін орнатылып, оған сәйкес шамаларды тапсаңыз, шешімде бір ғана $\sum \Phi_K(U_{Mab})$ қисығын құра аласыз: индукция $B_3 = F_3 / S_3$, кернеу $H_3 = f(B_3)$ магниттеу қисығы бойынша, магниттік кернеулер

$$U_{Mab} = U_{M0} + U_{M3} = R_{M0} \Phi_3 + H_3 l_3, \quad (2.18)$$

$$U_{M1} = F_1 - U_{Mab}, \quad U_{M2} = F_2 + U_{Mab}, \quad (2.19)$$

затем $H_1 = U_{M1} / l_1$, $H_3 = U_{M2} / l_3$;

$B_1 = f(H_1)$, $B_2 = f(H_2)$ — магниттеу қисығы бойынша, әрі қарай ағымдар $\Phi_1 = B_1 S_1$, $\Phi_2 = B_2 S_2$ және соңында, $\sum \Phi_K = \Phi_1 - \Phi_2 - \Phi_3$.

$F_3 = 0$ -ден бастап, сонымен бірге $\sum \Phi_K > 0$ есептеу нәтижесінде алынған (бұл анық, өйткені тізбек симметриялы, ал $F_1 > F_2$), біз F_3 біртіндеп $\Phi_K < 0$ болғанша көбейтеміз. Осы диапазонда бірнеше есептеу нүктелеріне ие бола отырып, $\sum \Phi_K(U_{Mab})$ қисығын құрамыз.

Бұл қисықтың магниттік кернеулер осімен қиылысу нүктесі ($\sum \Phi_K = 0$ шарты) U_{Mab} қажетті шамасын анықтайды, оны білу формулалармен (2.18-2.19) нақты кернеулерді, содан кейін магниттік ағындарды анықтау қиын емес.

Есептеу нәтижелері 2.3-кестеде келтірілген.

Кесте 2.3-есептеу нәтижелері

$\Phi_3, 10^{-3} \text{ Вб}$	0	0,45	0,9	0,6
$B_3, \text{ Тл}$	0	0,15	0,3	0,2
$H_3, \text{ А/м}$	0	40	60	50
$U_{M3}, \text{ А}$	0	8	12	10
$\Phi_3 \cdot R_{M0}, \text{ А}$	0	180	360	240
$U_{Mab}, \text{ А}$	0	188	372	250
$U_{M1}, \text{ А}$	7500	7320	7140	7250
$H_1, \text{ А/м}$	12500	12200	11900	12083
$B_1, \text{ Тл}$	1,81	1,805	1,795	1,8
$\Phi_1, 10^{-3} \text{ Вб}$	3,62	3,61	3,59	3,6
$U_{M2}, \text{ А}$	1000	1188	1372	1250
$H_2, \text{ А/м}$	1667	1980	2290	2083
$B_2, \text{ Тл}$	1,47	1,49	1,505	1,5
$\Phi_2, 10^{-3} \text{ Вб}$	2,94	2,98	3,01	3,0
$\sum \Phi_k, 10^{-3} \text{ Вб}$	0,68	0,18	-0,32	0

Вб.а. х. абсцисса осін $U_{mab} = 250 \text{ А}$ нүктесінде қиып өтеді, қалған шамалардың сәйкес мәндері кестенің шеткі оң жақ бағанына орналастырылады. Сонымен, $\Phi_1=3,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$, $\Phi_2=3 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$, $\Phi_3=0,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$.

Ескерту. Егер экстремалды шыбықтарда бірнеше аймақ болса, онда үш вб.а.х. $\Phi_k=f(U_{Mab})$ құру үшін үш қосымша есептеу кестесін жасау керек, ал $\sum \Phi_k(U_{Mab})$ оларды графикалық қосу арқылы алыңыз.

Жауап: $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$; $3 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$, $0,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$.

2.5 Айнымалы магнит ағыны бар магниттік тізбектер

Периодтық және өтпелі режимдерде сызықтық емес элементтердің параметрлері динамикалық сипаттамалармен анықталады. Әр түрлі жиіліктегі және әсер ету формасындағы бір элемент үшін де сипаттамалар әртүрлі.

Есептеу тұрғысынан маңызды белгі-бұл элементтің инерциясы және инерциясыздығы.

Сызықтық емес жылу процестеріне байланысты элементтердің кедергісі (қыздыру шамдары, термистер және т. б.) өзгермейтін немесе

ағып жатқан токтың түріне, салқындату жағдайларына және жылу тарихына байланысты өзгеруі мүмкін.

Егер жылу кедергісінің қыздыру уақытының тұрақтысы ондағы тұрақты айнымалы ток кезеңінен едәуір үлкен болса, онда элементтің кедергісі кезең ішінде іс жүзінде өзгермейді. Бұл режимдегі Элемент айтарлықтай инерциялық болып табылады. Лездік шамалар үшін оның вольтамперлік сипаттамасы сызықты; синусоидалы ток кезінде элементтегі кернеу де синусоидалы болады. Сондықтан инерциялық элементтері бар тізбек режимдерін есептеу үшін күрделі (символдық) есептеулерді қолдануға болады. Бір тұрақты режимнен екіншісіне ауысу сипаттаманың көлбеуінің өзгеруімен бірге жүреді. Арасында шұғыл мәндерімен токтар мен кернеулердің тәуелділігі линейна арасындағы қолданыстағы мәндерімен— сызықтық емес. Бұл элементтер кейде шартты сызықтық емес деп аталады. Егер жылу кедергісінің қыздыру уақытының тұрақты мәні қуат көзі кезеңімен сәйкес келсе, онда элементтің кедергісі ағып жатқан токтан фазада кідіріспен мезгіл-мезгіл өзгеріп отырады. Синусоидалы ток кезінде элементтегі кернеу синусоидалы емес, -токтың негізгі гармоникасына кедергі күрделі болады.

Егер қуат көзі кезеңі көп болса-жылу элементінің тұрақты қыздыру уақытынан көп болса, онда жылу процестерінің инерциясын елемуге болады. Мұндай жағдайларда динамикалық сипаттаманы статикалық сипаттамаға сәйкес деп санауға болады. Синусоидалы ток кезінде элементтегі кернеу синусоидалы емес.

Инерциялық индуктивтіліктің мысалы-электр магниті, оның индуктивтілігінің өзгеруі магнит өткізгіштегі ауа саңылауының өзгеруімен және механикалық массалардың қозғалуымен байланысты.

Инерциялық сыйымдылық-бұл пластиналар қолданылатын кернеудің әсерінен қозғалатын конденсатор (электростатикалық вольтметр).

Жылжымалы шай жоқ сыйымдылық пен индуктивтілік іс жүзінде инерциясыз.

Инерциясыз элементтердің сызықтық емес табиғаты өте алуан түрлі. Инерциясыз элементтері бар тізбектерде, тіпті синусоидалды көздерде де, синусоидалды емес Токтар мен кернеулер пайда болады.

Темір өзегі бар катушканың магниттік материалы гистерезиске ие. Айнымалы токтарда заттың магнит өрісін қайта бағыттау үшін гистерезис циклінің ауданына пропорционалды көз энергиясы жұмсалады. Белсенді энергия сонымен қатар орамдағы сымдарды негізгі токпен жылытуға және өзекті құйынды токтармен жылытуға жұмсалады. Белсенді шығындар белсенді кедергілермен алмастыру

схемасында ескеріледі. Катушканың магнит өрісі ядроғағы негізгі магнит ағынымен байланысты негізгі (сызықты емес) индуктивтілікпен алмастыру тізбегінде және шашыраңқы ағынмен байланысты шашыраңқы индуктивтілікте (материалдың өте күшті емес қанықтылығындағы сызықтық) ескеріледі, ол ауа арқылы жабылады.

Көптеген мәселелерде гистерезис пен белсенді шығындарды елемуге болады. Содан кейін ауыстыру тізбегіндегі катушка материалдың магниттелуінің негізгі қисығына сәйкес келетін $\psi(i)$ біркелкі веберампер сипаттамасымен идеалды сызықты емес индуктивтілікпен ескеріледі.

$\Psi(H)$.

$$\psi = w\Phi = w \int \bar{B} \cdot d\bar{S} \approx wBS. \quad wi = \oint \bar{H} \cdot d\bar{\ell} \approx \sum H \cdot \ell.$$

Пластиналар арасындағы ферромагниттік өзегі бар катушкаларға ұқсас сегнетоэлектрлік материалы бар конденсаторлар. Ферроэлектриктерде заттың электр өрісіне байланысты диэлектрлік гистерезис бар. Жетілмеген оқшаулау бойымен ағып жатқан токтардан жылу шығыны бар. Бұл шығындар белсенді кедергілермен алмастыру схемасында ескеріледі. Егер шығындар аз болса, онда алмастыру схемасындағы мұндай конденсатор диэлектрик материалымен және конденсатордың геометриясымен анықталатын $q(u)$ бір мәнді кулонвольттық сипаттамасы бар идеалды сыйымдылықпен бейнеленген.

Синусоидальды көздері бар сызықты емес тізбектердегі периодтық режимдерді талдау үшін аналитикалық, графикалық және сандық әдістер қолданылады. Егер олар негізінен энергия параметрлеріне қызығушылық танытса (ток кернеу, қуат), онда тізбектердің термоқарсылас, сызықтық катушка және конденсаторлармен қорғалуы пайдаланылады. Әдісі бойынша есептеу сипаттамалары үшін қолданыстағы мәндері.

Лездік шамалардың сипаттамалары бойынша сызықты емес тізбектерді талдау әлдеқайда күрделі. Жеңілдетілген әдістер нақты жағдайларда ғана мүмкін болады. Сонымен, біртекті тізбектер үшін (тек белсенді, тек индуктивті немесе тек сыйымдылық элементтерінен тұратын тізбектер) тұрақты ток тізбектері үшін қолданылатын сипаттамаларға ұқсас түрлендіру әдісін қолдануға болады.

Жеңілдетілген графикалық және аналитикалық есептеу толық қанықтыру элементтері мен мінсіз түзеткіштері бар қарапайым тізбектер үшін мүмкін (тікбұрышты сипаттамалары бар элементтер).

Тізбектегі бірнеше сызықтық элементтерімен реакция әрбір элементтің тәуелді реакциялар қалған. Тек ерекше жағдайларда тізбектердің сызықты емес элементтерінің реакциясы өзара тәуелсіз, ал жалпы реакция қарапайым графикалық немесе аналитикалық қосу болып табылады. Бұл элементтердің идеалды ЭҚК көзіне параллель қосылу жағдайлары (ішкі кедергісі жоқ көз) және элементтердің идеалды ток көзіне сериялық қосылу жағдайлары кездеседі.

Тұрақты және өтпелі режимдегі айнымалы және тұрақты токтың сызықты емес тізбектері үшін әсердің тәуелсіздігі және тізбектің реакция компоненттері принципі қолданылмайды, яғни **тәуелсіз қабаттасу принципі қолданылмайды**. Алайда, тәуелді қабаттасу принципі әділетті. Атап айтқанда, сызықты емес тізбектегі мерзімді токтар мен кернеулер амплитудасы мен фазалары өзара тәуелді гармоникалық компоненттердің қосындысымен ұсынылуы мүмкін. Бұл негізделген әдіс гармониялық баланс.

2.5.1 Сызықты емес элементтердің реакциясын гармоникалық талдау

Графикалық әдістер периодты функциялардың Фурье қатарына ыдырауы сызықтық емес элементтер реакциясының гармоникалық құрамын табу үшін қолданыла алады.

Периодтық қисықтың гармоникалық компоненттерінің n амплитудасы мен фазаларын анықтау үшін жалпы жағдайда $2n$ нүктелерінде қисықтың ординаты болуы керек. Алайда, егер гармоникалық фазалардың арақатынасын мерзімді қисықтың пайда болуымен алдын-ала көрсетуге болатын болса, онда n гармониканың амплитудасын анықтау үшін қисықтың ординаты мәндерін тек n нүктелерінде ғана алу жеткілікті. 2, 3 және 5 ординат әдістері осыған негізделген.

Екі ординат әдісі

Егер $y(\omega t)$ қисығы 2.16 және 2.17-суреттердегі қисыққа ұқсас болса, онда бұл қисықтың гармоникалық құрамын шамамен 1-ші және 3-ші гармониканың қосындысы ретінде іздеуге болады.

$$y(\omega t) = Y_{1m} \sin \omega t \pm Y_{3m} \sin 3\omega t. \quad (2.20)$$

$\omega t = 30^\circ$ және 90° сияқты кез-келген екі дәлелде ординатты графиктен анықтап, теңдікті (2.20) қолдана отырып, жүйені жазамыз:

$$y(30^\circ) = 0,5 V_{1m} \pm V_{3m},$$

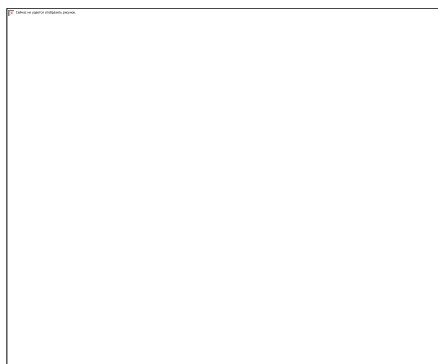
$$y(90^\circ) = V_{1m} \mp V_{3m},$$

оның ішінде 1-ші және 3-ші ыдырау гармоникасының амплитудасын табу қиын емес.

Есеп 2.11. 2.16-суретте графикалық түрде берілген индуктивтіліктің веберамерикалық сипаттамасы $\psi(i)$. Ағын байланысы синусоидалы заңға сәйкес өзгереді $\psi(t) = \psi_m \sin \omega t = 2 \sin \omega t$ мВб.

Анықтау графикалық түрде ток және оның гармоникалық құрамын екі әдіспен табамыз, ординат.

Шешім. 2.16-суретте $\psi(t)$ графигін саламыз. $\Psi(i)$ сипаттамасына қатысты $\psi(t)$ нүктелерін көрсету арқылы $i(t)$ графигін аламыз. $I(t)$ графигі I осі бойымен созылып, ωt осі мен осіне қатысты симметриялы болады, сондықтан оны 2.16-суретте көрсетілген бастапқы фазалары бар 1-ші және 3-ші гармониканың қосындысы түрінде ұсынуға болады. 2.16 суретіне сәйкес теңдеулерді жазамыз:



Сурет 2.16 – К тапсырма 2.11

$$\left. \begin{aligned} i(60^\circ) &= I_{1m} \sin 60^\circ \\ i(90^\circ) &= I_{1m} + I_{3m} \end{aligned} \right\} \quad (2.21)$$

Диаграммадағы өлшемдер $I(60^\circ) = 2,51 \text{ A}$, $i(90^\circ) = 4 \text{ A}$ береді, содан кейін (2.21) $i_{1m} = 2,51 : \sin 60^\circ = 2,9 \text{ a}$, $I_{3m} = i(90^\circ) - I_{1m} = 4 - 2,9 = 1,1 \text{ A}$. кестеге сәйкес гармоникалық фазаларды ескере отырып, бізде $i(t) = 2,9 \sin \omega t - 1,1 \sin 3\omega t, \text{ A}$.

Есеп 2.12. $U(i)$ сызықты емес кедергісінің вольтамперлік сипаттамасы 2.17-суретте көрсетілген. Синусоидалы ток кедергі арқылы өтеді $i(t) = I_m \sin \omega t = 4 \sin \omega t, \text{ A}$.

Анықтау кедергідегі графикалық кернеу және оның гармоникалық құрамын екі ординат әдісімен табамыз.

Жауап : $u(t) \approx 110 \sin \omega t + 10 \sin 3\omega t \text{ B}$.

Нұсқау. $I(t)$ құрыңыз, содан кейін $u(i)$ көмегімен — симметриялы тегістелген болатын $u(t)$ қисығы. Бұл жағдайда 2.17 суретіне сәйкес теңдеулердің негізгі жүйесі

$$u(60^\circ) = U_{1m} \sin 60^\circ,$$

$$u(90^\circ) = U_{1m} - U_{3m}$$



Сурет 2.17 – К тапсырма ...

Үш (бес) ординат әдісі.

Егер $y(\omega t)$ қисығы y осіне қатысты симметриялы болса және ωt осі бойынша жарты период бойынша алынған оған параллель түзу болса, алғашқы үш (бес) гармониканың амплитудасын анықтау үшін қолданылады. Мұндай қисықтар диодтың сипаттамасына ұқсас сипаттамалары бар элементтердің гармоникалық әсеріне реакцияны білдіреді (2.18-сурет). В бұл жағдайда $u(t) = U_0 + u_m \cos \omega t$ әсерінен реакцияны $i(t) = I_0 + I_1 m \cos \omega t + I_2 m \cos 2 \omega t$ түрінде іздеуге болады. $\Omega t = 0^\circ, 90^\circ$ және 180° , $u = U_0 + U_m$, $U_0, U_0 - U_m$ кезінде ординаттарды қолдану ыңғайлы. Сонда сіз теңдеулер жүйесін жаза аласыз

$$i(0^\circ) = I_0 + I_1 m + I_2 m,$$

$$i(90^\circ) = I_0 + 0 - I_2 m,$$

$$i(180^\circ) = I_0 - I_1 m + I_2 m.$$

Бұл жүйеден $I_0, I_1 m, I_2 m$ амплитудаларын табу қиын емес. Егер қосымша 3 және 4 гармониканы ескеру қажет болса, онда Ординаттарды $\Delta \omega t = 45^\circ$ арқылы алып, шешімді келесі түрде іздеу керек

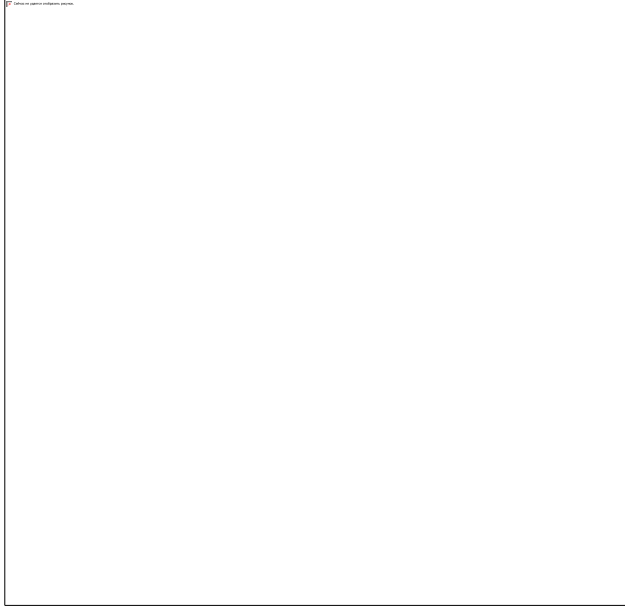
$$i(t) = I_0 + I_1 m \cos \omega t + I_2 m \cos 2 \omega t + I_3 m \cos 3 \omega t + I_4 m \cos 4 \omega t.$$

(бес ординат әдісі).

Есеп 2.13. $i(u)$ диодтың сипаттамасы 2.18-суретте көрсетілген. Диодтың қысқаштарында кернеу $u(t) = 10 + 15 \cos \omega t, B$.

$i(t)$ ток қисығын құрыңыз және үш ординат әдісімен токтың гармоникалық құрамын анықтаңыз.

Шешім. Біз $u(t)$ кернеуінің уақыт кестесін құрып, оны $i(u)$ сипаттамасына қатысты көрсетеміз, $i(t)$ ток графигін табамыз (2.18).



Сурет 2.18 – К тапсырмаға 2.13

Үш ординат әдісі бойынша токтың гармоникалық құрамын келесі түрде іздейміз

$$i(t) = I_0 + I_{1m} \cos \omega t + I_{2m} \cos 2\omega t.$$

Графиктен және жазылған формула бойынша:

$$i(0^\circ) = I_0 + I_{1m} + I_{2m} = 30 \text{ мА},$$

$$i(90^\circ) = I_0 - I_{2m} = 10 \text{ мА},$$

$$i(180^\circ) = I_0 - I_{1m} + I_{2m} = 4 \text{ мА}.$$

Бұл жүйені шеше отырып, біз табамыз: $I_0 = 13,5 \text{ мА}$, $I_{1m} = 13 \text{ мА}$, $I_{2m} = 3,5 \text{ мА}$, демек, $i(t) = 13,5 + 13 \cos \omega t + 3,5 \cos 2\omega t$, мА.

Бақылау сұрақтары

1. Магниттік тізбектерді есептеу үшін Электротехниканың қандай заңдары қолданылады?
2. Магниттік тізбектің бөліктері қалай анықталады?
3. Магнит пен электр тізбегінің ұқсастығы неде?
4. Магниттік тізбектерді есептеу тәртібі қандай?
5. Тікелей және кері тапсырмалардың мәні неде?
6. Тармақталған магниттік тізбектерді есептеудің ерекшелігі неде?
7. Айнымалы магнит ағыны бар магниттік тізбектерді есептеу қалай жүзеге асырылады?

3 Тесттер

1. Магниттік күш сызықтары жабылатын жол болып табылатын құрылғы не деп аталады:

- A) электр тізбегі
- B) магниттік тізбек
- C) электромагниттік тізбек
- D) электрондық тізбек
- E) дұрыс жауап жоқ

2. Магниттік материалдардың салыстырмалы магниттік өткізгіштігі ...

- A) 0
- B) 1
- C) 1-ден көп
- D) 1-ден аз
- E) дұрыс жауап жоқ

3. Магниттік тұрақты:

- A) 0
- B) 4
- C) 4π
- D) $4\pi \cdot 10$
- E) $4\pi \cdot 10^{-7}$

4. Магнит өрісінің беріктігін өлшеу бірлігі:

- A) В/м
- B) А
- C) Вб
- D) Тл
- E) А/м

5. МҚК өлшем бірлігі:

- A) В/м
- B) А
- C) Вб
- D) Тл
- E) А/м

6 Магниттік кернеудің өлшеу бірлігі:

- A) В/м
- B) А

- C) Вб
- D) Тл
- E) А/м

7. Магнит ағынының өлшем бірлігі:

- A) В/м
- B) А
- C) Вб
- D) Тл
- E) А/м

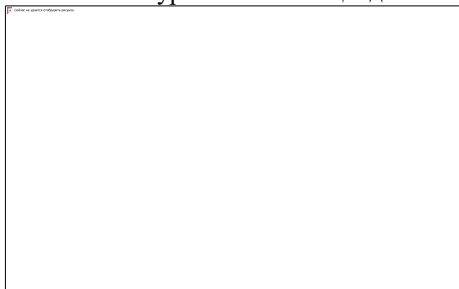
8. Магниттік индукцияның өлшеу бірлігі:

- A) В/м
- B) А
- C) Вб
- D) Тл
- E) А/м

9. Магниттік тұрақтысының өлшем бірлігі:

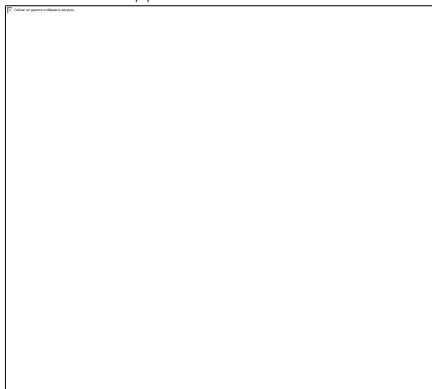
- A) Гн/м
- B) А
- C) Вб
- D) Тл
- E) А/м

10. Суретте қандай қисық көрсетілген?



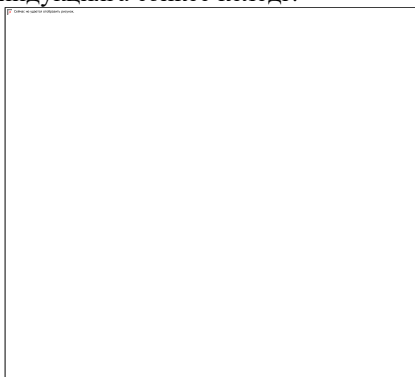
- A) элеуетті диаграмма
- B) Вольт-амперлік сипаттамасы
- C) гистерезис ілмегі
- D) демагнетизация қисығы
- E) векторлық диаграмма

11. Магниттеу қисығындағы қандай нүктелер магниттік қанықтылыққа сәйкес келеді?



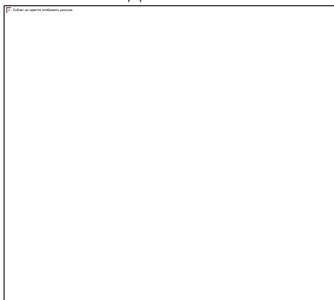
- A) a, d
- B) c, f
- C) b, e
- D) a, c
- E) d, f

12. Магниттеу қисығындағы қандай нүктелер қалдық магниттік индукцияға сәйкес келеді?



- A) a, d
- B) c, f
- C) b, e
- D) a, c
- E) d, f

13. Магниттеу қисығындағы қандай нүктелер коэрцитивті күшке сәйкес келеді?



- A) a, d
- B) c, f
- C) b, e
- D) a, c
- E) d, f

14. Қандай қисық гистерезис циклі деп аталады?

- A) Потенциалдық диаграмма
- B) Вольт-амперлік сипаттамасы
- C) магниттеу қисығы
- D) демагнетизация қисығы
- E) векторлық диаграмма

15. Магнит ағыны қандай әріппен белгіленеді?

- A) B
- B) H
- C) Ф
- D) F
- E) μ

16. Магниттік индукцияны қай әріппен белгілеу керек?

- A) B
- B) H
- C) Ф
- D) F
- E) μ

17. Магнит өрісінің кернеуін қандай әріппен белгіленеді?

- A) B

- B) H
- C) Φ
- D) F
- E) μ

18. Магниттік тұрақты қай әріппен белгілеу керек?

- A) B
- B) H
- C) Φ
- D) F
- E) μ

19. МҚК қандай әріппен белгіленеді?

- A) B
- B) H
- C) Φ
- D) F
- E) μ

20. Магниттік тізбек үшін Кирхгофтың бірінші заңы:

- A) $\sum \Phi = 0$
- B) $\sum F = \sum Hl$
- C) $\sum \Phi = \sum Bl$
- D) $\sum E = \sum F\omega$

21. Магниттік тізбек үшін Кирхгофтың екінші заңы:

- A) $\sum \Phi = 0$
- B) $\sum F = \sum Hl$
- C) $\sum \Phi = \sum Bl$
- D) $\sum E = \sum F\omega$

22. Катшканың бұрылыстары санының көбейтіндісі және ол арқылы өтетін ток I деп аталады:

- A) магнит қозғаушы күш
- B) электр қозғаушы күш
- C) магнит ағыны
- D) магниттік индукция
- E) магнит өткізгіштігі

23. $\sum \Phi = 0$ Өрнек арқылы қандай заң жазылады?

- A) Кирхгофтың бірінші заңы
- B) Кирхгофтың екінші заңы
- C) Джоуль - Ленц заңы
- D) толық ток заңы
- E) Ом заңы

24. Қандай заң өрнекпен жазылған: $\sum U_m = \sum I\omega$

- A) Кирхгофтың бірінші заңы
- B) Джоуль-Ленц заңы
- C) Ом заңы
- D) Кирхгофтың екінші заңы
- E) толық ток заңы

25. $H = \frac{F}{l}$ өрнегімен қандай мән анықталады?

- A) магнит өрісінің кернеулігі
- B) магнит қозғаушы күш
- C) магнит ағыны
- D) магниттік индукция
- E) магнит өткізгіштігі

26. $\Phi = BS$ өрнегі бойынша қандай шама анықталады?

- A) магнит өрісінің кернеулігі
- B) магнит қозғаушы күш
- C) магнит ағыны
- D) магниттік индукция
- E) магнит өткізгіштігі

27. Магнит тізбегінің кез-келген түйіні үшін магнит ағындарының алгебралық қосындысы нөлге тең.

- A) Кирхгофтың бірінші заңы
- B) Джоуль-Ленц заңы
- C) Ом заңы
- D) Кирхгофтың екінші заңы
- E) толық ток заңы

28. Кез-келген жабық цикл бойындағы магниттік кернеудің алгебралық қосындысы бірдей тізбек бойымен МҚК алгебралық қосындысына тең:

- A) Кирхгофтың екінші заңы

- В) Ом заңы
- С) Кирхгофтың бірінші заңы
- Д) Джоуль - Ленц заңы
- Е) дұрыс жауап жоқ

29. Магниттік тізбектің кез-келген түйініндегі магнит ағындарының алгебралық қосындысы:

- А) магниттік кернеудің төмендеуі
- В) алгебралық қосынды M .
- С) нөл
- Д) сол контурдың бойымен M . д. с қосындысына
- Е) дұрыс жауап жоқ

30. Магниттік тізбектің ұзындығы анықталады

- А) сыртқы ұзындығы бойынша
- В) ішкі ұзындығы бойынша
- С) орта сызық бойынша
- Д) ерікті
- Е) дұрыс жауап жоқ

31. Магниттелетін күшті анықтаңыз, егер $H_1 \ell_1 = 800$ А, $H_2 \ell_2 = 120$ А

- А) 0
- В) 360 А
- С) 920 А
- Д) 460 А

32. Магниттелетін күшті есептеуге қандай өрнек мүмкіндік береді?

А) $U_m = H\ell$

В) $F = I\varpi$

С) $B = \frac{\Phi}{S}$

Д) $R_m = \frac{\ell}{\mu_0 \mu S}$

Е) $H_\delta = \frac{B_\delta}{\mu_0}$

33. Магниттік кернеуді есептеуге қандай өрнек мүмкіндік береді?

A) $U_m = H\ell$

B) $F = I\varpi$

C) $B = \frac{\Phi}{S}$

D) $R_m = \frac{\ell}{\mu_0\mu S}$

E) $H_\delta = \frac{B_\delta}{\mu_0}$

34. Ауа санылауындағы магнит өрісінің кернеуін қандай өрнек есептеуге мүмкіндік береді?

A) $U_m = H\ell$

B) $F = I\varpi$

C) $B = \frac{\Phi}{S}$

D) $R_m = \frac{\ell}{\mu_0\mu S}$

E) $H_\delta = \frac{B_\delta}{\mu_0}$

35. Магниттік қарсылықты есептеуге қандай өрнек мүмкіндік береді?

A) $U_m = H\ell$

B) $F = I\varpi$

C) $B = \frac{\Phi}{S}$

D) $R_m = \frac{\ell}{\mu_0\mu S}$

E) $H_\delta = \frac{B_\delta}{\mu_0}$

36. Магниттік индукцияны есептеуге қандай өрнек мүмкіндік береді?

A) $U_m = H\ell$

B) $F = I\varpi$

C) $B = \frac{\Phi}{S}$

D) $R_m = \frac{\ell}{\mu_0\mu S}$

E) $H_\delta = \frac{B_\delta}{\mu_0}$

37. Бұл өрнек есептеуге мүмкіндік береді: $U_m = H\ell$

A) магнит ағыны

B) мдс

C) магниттік кернеу

D) магниттік кедергі

E) магниттік индукция

38. Бұл өрнек есептеуге мүмкіндік береді:

$$R_m = \frac{\ell}{\mu_0\mu S}$$

A) магнит ағыны

B) мдс

C) магниттік кернеу

D) магниттік кедергі

E) магниттік индукция

39. Бұл өрнек есептеуге мүмкіндік береді: $B = \frac{\Phi}{S}$

A) магнит ағыны

B) мдс

C) магниттік кернеу

D) магниттік кедергі

E) магниттік индукция

40. Бұл өрнек есептеуге мүмкіндік береді $H_{\delta} = \frac{B_{\delta}}{\mu_0}$:

- A) магнит ағыны
- B) ауа саңылауындағы магнит өрісінің кернеулігі
- C) магниттік кернеу
- D) магниттік кедергі
- E) магниттік индукция

4. № 1 жеке үй тапсырмасы

Тақырыбы: Магниттік тізбектерді есептеу.

Жұмыс мақсаты: Магниттік тізбектерді графо-аналитикалық әдіспен есептеу дағдыларын анықтау.

Тапсырма: Магниттік тізбекте (2.19-сурет) оң жақ өзектегі ауа саңылауындағы магниттік индукция B_0 -ға тең. Ұзын ауа саңылауы $-I$, катушкалар саны- w . Негізгі материал-электрлік болат.

1. Барлық үш шыбықтағы магнит ағындарын және екі жағдайға арналған катушканың магнит қозғаушы күшін анықтаңыз:

- ауа саңылауымен;
- ауа саңылауы жоқ.

2. Берілген ток үшін ауа саңылауындағы магниттік индукцияны анықтаңыз I .

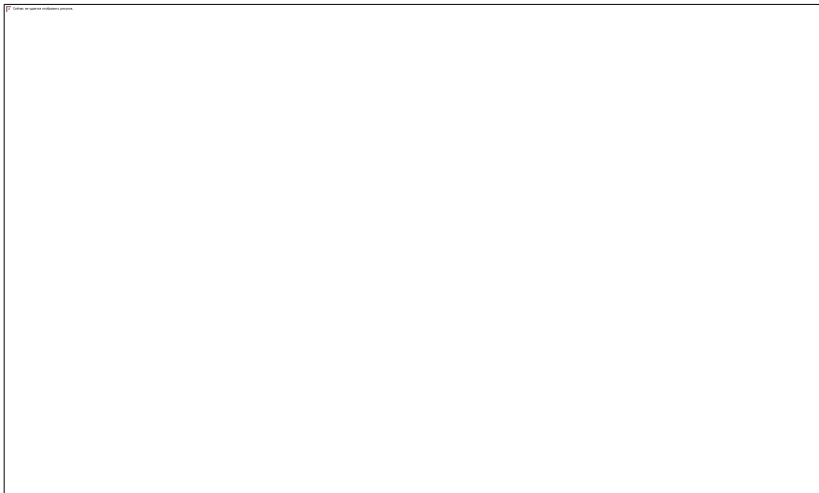
Есептеу нәтижелері кесте түрінде жасалады.

Нұсқау. Магниттеу қисығын 2.20-суретте қолданыңыз.

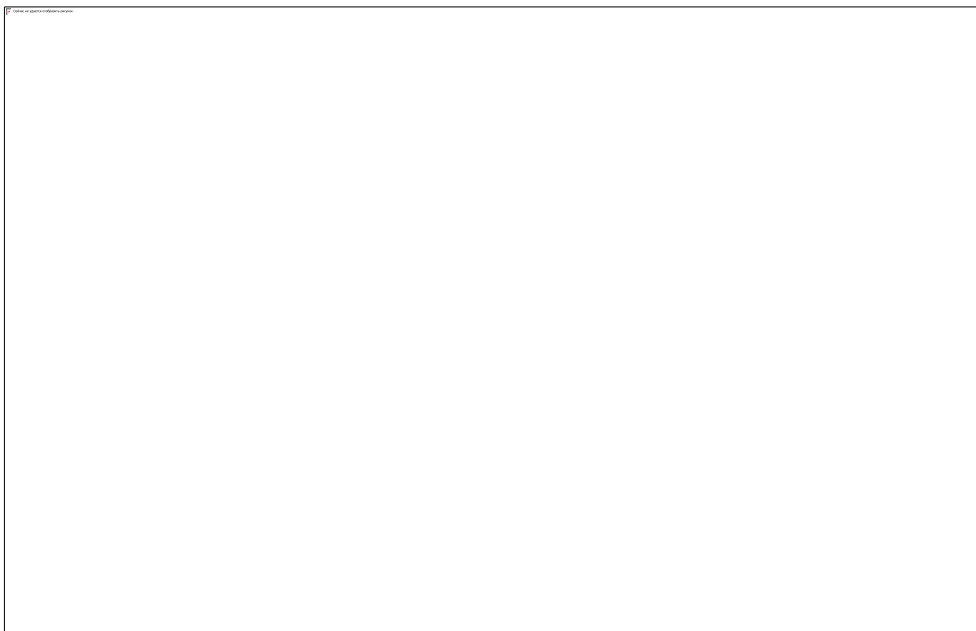
Бастапқы деректер 2.4 кестеден алынады

Таблица 2.4 – Исходные данные к индивидуальному заданию

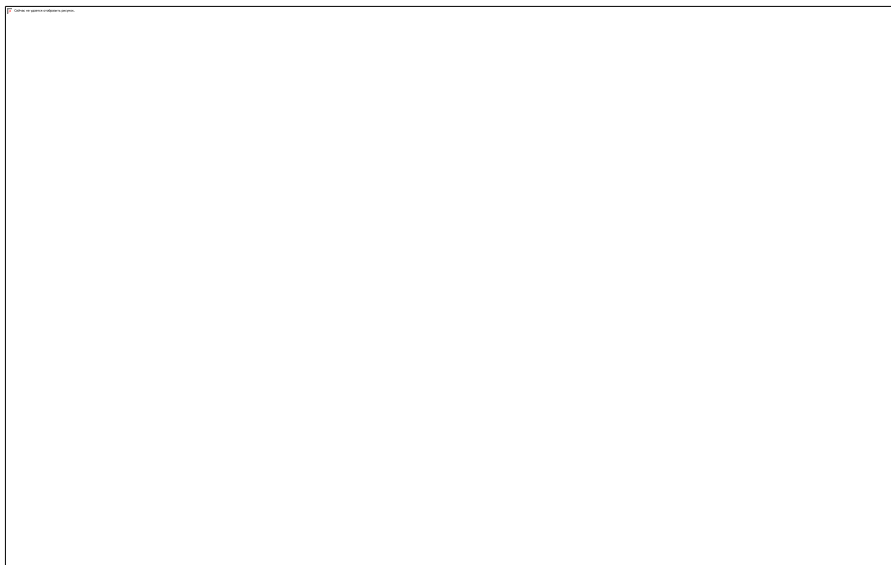
Соңғысының алдындағы нұсқа саны	C, мм	ℓ_0 , мм	Соңғы нұсқа саны	B_0 , T	I , A	w
1	35	0,4	1	0,2	4	100
2	40	0,4	2	0,3	1,5	200
3	45	0,5	3	0,4	4	300
4	50	0,5	4	0,2	1	400
5	55	0,6	5	0,3	0,5	500
6	60	0,6	6	0,4	20	100
7	65	0,7	7	0,2	2	200
8	70	0,7	8	0,3	1,3	300
9	75	0,8	9	0,4	5	400
10	80	0,8	0	0,1	0,2	500



Сурет 2.19 – Магниттік тізбек



a)



б)
сур. 2.2 Магниттеу қисығы

Қорытынды

"Электротехниканың теориялық негіздері 2" терминімен анықталған ғылым мен техниканың саласы Электрлік және магниттік құбылыстарды практикалық мақсатта қолданумен байланысты. Бұл сала мәселелер мен міндеттердің өте кең спектрін қамтиды, олардың ішінен теориялық және қолданбалы, олардың арасындағы нақты шекараны анықтау оңай емес.

"Электротехниканың теориялық негіздері 2" оқу курсы электроэнергетикалық және басқа да техникалық білім беру бағдарламаларының үлкен тобының оқу жоспарларына кіреді.

6В07101-Электроэнергетика білім беру бағдарламасы бойынша бакалаврларды даярлау кезінде электротехниканың теориялық негіздері курсы оқып үйрену білім беру бағдарламасының мазмұнын құрайтын келесі қолданбалы оқу курстарын зерттеу үшін теориялық база құрылады.

Электротехниканың теориялық негіздері 2 курсы бітіргеннен кейін сіз білім беру бағдарламасы бойынша қолданбалы курстарды оқи аласыз. Бірақ, тәжірибе көрсеткендей, Электротехниканың теориялық негіздері курсы студенттердің, содан кейін мамандардың үстел кітабы болып қала береді. Электротехниканы, көптеген басқа техникалық ғылымдар сияқты, зерттеу оңай емес.

Пайдаланылган әдебиет көздерінің тізімі

Негізгі:

- 1 Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей.- М.: Энергоатомиздат., 1989,-528с.
- 2 Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. -М.: Гардарики, 1999.-638 с.
- 3 Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники. – т.1.- СПб.: Питер, 2003.-463 с.
- 4 Теоретические основы электротехники. – т.1. Основы теории цепей. – М.: Высшая школа, 1976.-544 с.
- 5 Шебес М.В. Задачник по теории линейных электрических цепей.- М.: Выш. Шк., 1990,-544 с.
- 6 Сборник задач по теоретическим основам электротехники/ Л.А. Бессонов, И.Г. Демидова, М.Е. Заруди и др. . –М. Высш.шк.,2003.-528 с.
- 7 Сборник задач и упражнений по теоретическим основам электротехники. Под ред. П.А. Ионкина.- М.: Энергоиздат, 1982-768 с.

Қосымша:

- 1 Попов В. С. Теоретическая электротехника.— М.: Энергоатомиздат, 1990. 544 с.
- 2 Нейман Р. Л., Демирчян К. С. Теоретические основы электротехники М.—Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд., 1981.—416 с.
- 3 Зевеке Г. В., Ионкин П. А. и др. Основы теории цепей. — М.: Энергия. 1975.—752 с.
- 4 Зернов Н.В. В., Карпов В. Г. Теория радиотехнических цепей. Л.: Энергия, 1972.—816 с.
- 5 Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. — М.: Высшая школа, 2001. —750 с.