

Ж. Бимұрат 

Phd доктор, қауымдастырылған профессор

Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,

Алматы, Қазақстан.

e-mail: zh.bimurat@aves.kz

ОРАУЫШТАҒЫ МАГНИТ ӨРІСІН ЗЕРТТЕУ ӘДІСІ

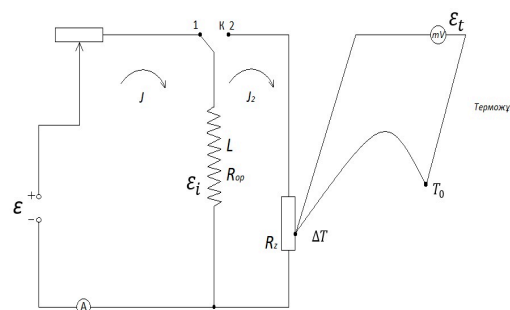
Аңдатпа. Мақалада индуктивті орауыштағы магнит өрісінің энергиясын энергияның сақталу заңдарын, яғни электр энергиясының магнит энергиясын, магнит энергиясының жылу энергиясына түрленулерін пайдаланып зерттеу әдістері келтірілген. Полюсаралық әртүрлі қашықтықтарда жылулық электр қозғаушы күшінің және магнит индукциясының тоқ күшінің шамасына тәуелділігі тәжірибе мен теориялары есептеулер арқылы анықталып, эмпериялық формула қорытып шығарылған. Сонымен қатар, магнит энергиясының көлемдік тығыздығы есептеліп, магнит индукциясының тоқ пен полюстарын арақашықтығына, әртүрлі мәндеріндегі жылу электр қозғаушы күшінің полюстерден арақашықтығы мен тоқ күшіне тәуелді графиктері тұрғызылған. Жинастырылған құрылғының вольт-ампер сипаттамасы алынып, КСd) градуирлеу графигі салынған. Градуирлеу қисығы арқылы магнит орауышындағы магнит энергиясының кез-келген тоқтың және полюстер арасының арақашықтығының әртүрлі мәндерінде анықтауға мүмкіндік беретіндігі туралы мәліметтер жан-жақты талқыланып дәлелденген.

Тірек сөздер: электрмагнит, индуктивтілік, энергияның сақталу және түрлену заңдары, градуирлеу.

Кіріспе. Қазіргі таңда электромагниттер электрлік машиналар мен аппараттарда, өндірістік автоматика жүйесінде, магнитофондарда, телевизорларда, заводтарда, техниканың механизмдерінде магнит өрісін күшейтіп кеміту үшін қолданылады. Орауыштағы орам санына және одан өтетін тоқ күшіне байланысты магнит өрісі өзгереді. Электромагниттер арқылы үлкен күш туғызып металдарды көтереді. Сонымен қатар магнит өрісімен заттарға әсер етіп, олардың физикалық, химиялық, биологиялық қасиеттерін өзгертіп тапсырыс бойынша қажетті материалдар алынуда. Сондықтан магнит өрісін сипаттайтын параметрлерді зерттеу ғылымда өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Өйткені зерттеуден алынған нәтижелердің теориялық және практикалық маңыздылығы өте үлкен. Ғылыми мақалада индуктивті орауышта туындайтын магнит өрісінің шамасын өлшейтін құрылғы жинастырып, оның энергиясын, энергияның түрлену заңдарын пайдаланып зерттедік. Құрылғының жұмыс істеу принципі қарапайым классикалық физика заңдылықтарына негізделген. Тәжірибе жүзінде жүргізілген зерттеулерден алынған

физикалық параметрлердің көмегімен алғаш рет термоэлектр қозғаушы күшінің, магнит индукциясының тоқ күшінің шамасына тәуелділігін сипаттайтын эмпериялық формула қорытылып шығарылды.

Зерттеу шарттары мен әдістері: Магнит өрісі пайда болатын электр тізбегіндегі элементтерді зерттеу мақсатында 1 - суретте көрсетілген құрылғының сызбасы келтірілген. Индукциялық орауыш ретінде дроссельдік орауыштан және екі полюсы бар өзекшеден тұратын электромагнитті пайдаландық.



1 - сурет.

Тәжірибелік өлшеулер жүргізетін құрылғының электрлік сызбасы

К кілтті 1 нүктемен қосқанда индуктивтілігі L орауыштан J ток жүріп орауышта өзіндік индукцияның электр қозғаушы күші туындайды [1,2]:

$$\varepsilon_i = -L \frac{dJ}{dt}$$

Кирхгоф заңы бойынша төмендегі теңдіктер орындалды [3,4]:

$$J = \frac{\varepsilon + \varepsilon_i}{R}$$

немесе

$$\varepsilon = JR - \varepsilon_i = JR + \frac{dJ}{dt}$$

Мұндағы, R орауышының омдық кедергісі мен реостаттың кедергісінің қосындысына тең.

dt уақыт өткенде электр энергиясының көзі төмендегі өрнекпен анықталатын жұмыс істейді.

$$J^2 R dt + L J dJ = J^2 R dt$$

Теңдіктегі қосындының бірінші мүшесі R кедергісінен Джоуль-Ленц заңымен бөлінетін жылу мөлшерін, ал екіншісі өзіндік индукция құбылысынан туындайтын қосымша жұмысты береді. Демек қосымша жұмыс тізбектегі токтың шамасын нөлден J -ге дейін арттыруға жұмсалған магнит өрісінің энергиясына тең [3,4]:

$$E_{\text{ж}} = \int_0^J L J dJ = \frac{J^2 L}{2}$$

Енді кілтті 2-ші нүктеге қоссақ, өзіндік индукция тоғы J_i орауыштың R_o және R_r резистордың кедергілерінен өтіп, оларда q_{op} және q_r жылу мөлшерлері бөлінеді. Орауыштың магнит өрісінде жиналған энергияэлектр содан соң жылу энергияларына түрленеді. Энергияның сақталу заңы бойынша [5]:

$$\frac{E}{q_r} = \frac{R_{op} + R_r}{R_{op}}$$

Мұндағы, R_{op} , R_r кедергілері өлшенеді. Сондықтан E -нің мәнін анықтау үшін q_r білуіміз керек. Ол үшін жылулық теңбе-теңдік теңдеуін қолданамыз:

$$q_r = mc\Delta T$$

Мұндағы, m кедергісі R_r заттың массасы, C заттың меншікті жылусыйымдылығы. Температураның өзгерісі ΔT мыс-константан терможұбы арқылы өлшенді. Құрылғының өлшеу контактісі кедергісі R_r резистордың орамның ішіне бекітіледі. Ал екінші теңестіруші контактіні бөлме температурасында T_o тұрақты етіп өзгертпей отырамыз.

Контактілердің температураларының айырымы ΔT контактаралық потенциалдар айырымына, яғни термоэлектр қозғаушы күшіне ε_T пропорционал болғандықтан, мына өрнекті аламыз [3,6]:

$$q_r = m \cdot c \frac{\varepsilon_T}{\gamma}$$

Мұндағы, γ Кельвинмен өлшенетін терможұптың сезгіштігі.

Егер $R_r \gg R_{op}$ алсақ, онда магнит энергиясының жылу энергиясына түрленуі жақсы қадағаланады. Сондықтан резистор ретінде меншікті кедергісі үлкен қорытпадан жасалған шиыршық сым қолданылды. Металдан жасалған мұндай қорытпалардың меншікті жылусыйымдылықтары белгісіз. Оның шамасын анықтау мақсатында мынандай әдісті пайдаландық. № 1 суретте келтірілген электр сызбасын индуктивті орамсыз жинастырамыз. Резистордан J^1 ток t уақыт өткенде ол қызып қандайда бір жылу мөлшерін бөледі. Қарастырып отырған жағдайда энергияның басқа түрлері туындайтын болса, энергияның сақталу заңы төмендегідей өрнектеледі:

$$mc\Delta T^1 = J R_2 t$$

Терможұптың көмегімен температураның жаңадан пайда болған өзгерісін өлшейміз

$$\Delta T^1 = \frac{\varepsilon_T^1}{\delta} \text{ немесе } \frac{mc}{R_r \delta} = J^{12} \frac{J}{\delta T^1} = const$$

Келтірілген өрнекте ε_T^1 кілтті (К) қосқанға өлшеу жұмыстары біткенге дейінгі уақытқа (t) пропорционал.

J^1, ε_T^1, t шамалары тәжірибе жүзінде өлшенеді. Осы әдісті қолданып тәжірибенің екінші бөлігінде кез-келген электрөткізгіш заттың меншікті жылусыйымдылығын анықтаймыз. Жылумөлшері q_r және меншікті жылусыйымдылықтың (с) өрнектерін қолданып магнит өрісінің энергиясын аламыз [1,4]:

$$E_M = \frac{LJ^2}{2} = q_r = B\varepsilon_T$$

Мұндағы, B төменде келтірілген формуламен анықталатын құрылғының тұрақтысы:

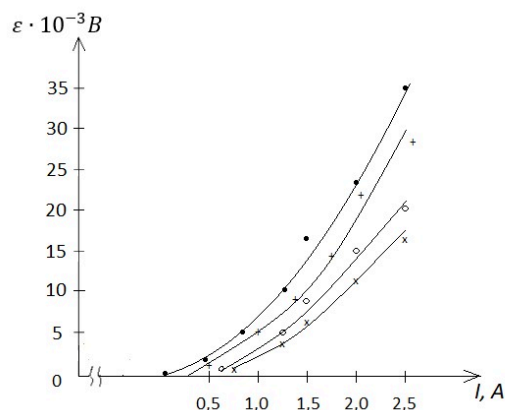
$$B = (R_{op} + R_r) \frac{m \cdot c}{R_r \cdot \delta} = (R_{op} + R_r) \cdot J \frac{J}{\varepsilon_T^1}$$

Магнит өрісінің энергиясы ток күші (J) мен электромагнит полюстерінің арақашықтығын (d) функциясы болатындығы дәлелденді. Электромагниттің саңылауындағы магнит өрісінің энергиясын анықтау үшін тәжірибе жүзінде электрқозғауыш күштің d -ның әртүрлі мәндерінде токқа тәуелділік графигін 1 кестені пайдаланып тұрғыздық.

1 кесте.

Электрқозғауыш күштің d -ның әртүрлі мәндерінде токқа тәуелділігі

d $\times 10^{-3}$ м	$\varepsilon \times 10^3$ В	J, A	d $\times 10^{-3}$ м	$\varepsilon \times 10^3$ В	J, A
5	0,02	1,25	15	1,40	0,55
	5,33	1,00		5,00	1,00
	15,00	1,50		6,00	1,50
	20,30	2,00		14,00	2,00
	35,00	2,50			
10	1,70	0,50	20	3,50	0,60
	5,00	1,00		4,70	1,00
	10,33	1,50		6,00	1,50
	15,35	2,00		10,00	2,00
	25,40	2,50		16,50	2,50



2 - сурет.

Электромагнит полюстерінің арақашықтығының әртүрлі мәндеріндегі $d=(5,10,15,20,25,35) \times 10^{-3}$ м жылу электр қозғаушы күшінің токқа тәуелділігі

Келтірілген графиктерден $\varepsilon_T(J)$ тәуелділігі квадраттық екендігі байқалады. Яғни жылу электр қозғаушы күшінің токтың квадратына тәуелділігі сызықты. Біздің құрылғының вольтамперлік сипаттамасы $\varepsilon_T(Jd) = K(d) J^2$ теңдігімен анықталады. Ал K коэффициенті электромагнит полюстерінің арақашықтығының $K(d)$ функциясы болғандықтан төмендегі теңдік орындалады:

$$E_M(J, d) = B\varepsilon_T(J, d) = BK(d) J^2$$

Мұндағы, $BK(d)$ коэффициент $E_M = \frac{LJ^2}{2}$

Формуласы бойынша L ораушының индуктивтілігін өрнектейді.

Вольтамперлік сипаттаманы пайдаланып $K(d)$ тәуелді градуирлеу графигін тұрғызамыз. 2 - кестеде d -ның әртүрлі мәндеріндегі C - ның шамалары келтірілген.

2 – кесте.

Электромагнит полюстерінің арақашықтығы

d $\times 10^{-3}$ м	2,3	10,	15,	20,	25,	30,	35,
	0	00	00	00	00	00	00
$K \times 10$	6,0	5,3	4,5	3,5	3,0	1,5	0,8
$\frac{B}{A^2}$	0	0	0	0		0	0

3 - кестеде Электромагнит полюстерінің арақашықтығының әртүрлі мәндеріндегі

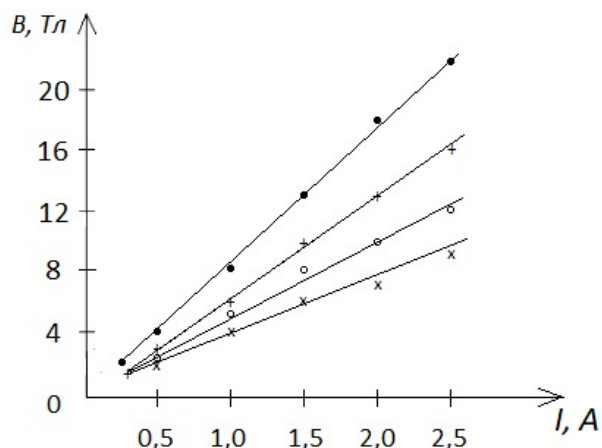
магнит индукциясының токқа тәуелділігі келтірілген

3 кесте.

Магнит индукциясының токқа тәуелділігі

d $\times 10^{-3}$ М	I, A	$B, Tл$	d $\times 10^{-3}$ М	I, A	$B, Tл$
5	0,25	2,00	15	0,50	3,00
	1,00	8,00		1,00	6,00
	1,50	13,00		1,50	10,00
	2,00	18,00		2,00	13,00
	2,50	22,00		2,50	16,00
10	0,50	3,00	20	0,50	2,20
	1,00	6,00		1,00	4,00
	1,50	10,00		1,50	5,00
	2,00	13,00		2,00	7,00
	2,50	16,00		2,50	9,00

3 - суретте электромагнит полюстерін әртүрлі мәндеріндегі магнит индукциясының токқа тәуелділік графигу келтірілген.



3 - сурет.

d -ның әртүрлі мәндеріндегі $B(I)$ тәуелділік графигі

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау. Тәжірибелік өлшеулер және теориялық есептеулерден алынған нәтижелер жоғарыда кестелер мен графиктер арқылы өрнектелген. Тұрғызылған графиктерден (2 - сурет) электромагнит полюстерінің арақашықтарының әртүрлі мәндеріндегі жылу электр қозғаушы күшінің орауыштағы токқа тәуелділігі парабола кисығымен, ал магнит

индукциясының токқа тәуелділігі түзу сызықпен сипатталатыны байқалады.

Енді магнит өрісінің индукциясын анықтайық. $E_M(J, d)$ өрнегін электромагнит полюстерінің арасындағы саңылаудың көлеміне бөлсек, магнит энергиясының көлденең тығыздығы шығады:

$$\omega(J, d) = \frac{BK(d)}{S-d} J^2$$

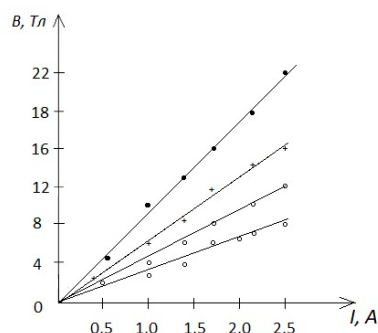
Мұндағы, S электромагнит полюсінің көлденең қимасының ауданы. Екінші жағынан магнит өрісінің көлеидік тығыздығы магнит (B) индукциясының квадратына пропорционал:

$$\omega(J, d) = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}$$

Мұндағы, μ заттың салыстырмалы магнит өтімділігі, μ_0 магнит тұрақтысы. Соңғы екі өрнекті салыстырып, магнит индукциясы мен ток күші мына қатынаспен байланысқандығын анықтаймыз:

$$B(J, d) = \sqrt{\frac{2\mu\mu_0 BK(d)}{S-d}} J$$

Берілген электромагнит үшін градуирлеу $K(d)$ белгілі. Сондықтан $B(J, d)$ графигін тұрғызуға болады. Салынған графиктерден d мен I -дің мәндерінсіз магнит индукциясын табамыз. Осы әдіспен эмпериялық формуланы қорытып және магнит өрісінің индукциясын анықтайтын градуирлеу кисықтарын жүргіздік (4 - сурет).



4 - сурет.

d -ның әртүрлі мәндеріндегі магнит өрісінің ток күшіне тәуелділігі

Қорытынды. Электр тізбегіндегі электромагниттің магнит өрісін зерттеу мақсатында құрылғы жинақталды.

1. Қолданылған құрылғының вольт-амперлік сипаттамасын өрнектейтін формула қорытылып шығарды.

2. Электромагниттің магнит энергиясын анықтайтын эмпериялық формула қорытылып шығарылды.

3. Магнитөрісінің индукциясын анықтайтын градуирленген қисықтар тұрғызылды.

Әдебиеттер тізімі

1. Савельев, И.В. Курс общей физики. Том 2. Электричество и магнетизм. Учебное пособие [Текст] / И.В.Савельев. – М.: Наука – 1988. - 496 с.
2. Зильберман, Г.М. Электричество и магнетизм. Учебное пособие [Текст] / Г. М Зильберман, М.: Наука – 1970. - 383с.
3. Тамм, И. Основы теории электричества. Учебное пособие [Текст] / И.Тамм М.: Наука – 1976. - 615с.
4. Кухлинг, Х. Справочник по физике. [Текст] / Х.Кухлинг. – М.: Мир. – 1982.
5. Яворский, Б.М., Детлаф, А.А.. Справочник по физике. [Текст] / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф, М.: Наука – 1985. – 497с.
6. Bizigitov, T., Zhumadilov, E. Electrodynamics and special theory of relativity [Text] / T.Bizigitov, E.Zhumadilov. – Almaty: hantar Books – 2022. – 524p.

Материал 05.01.24 редакцияға түсті.

Ж. Бимурат

Алматынський университет енергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КАТУШКЕ

Аннотация. В статье приведены методы исследования энергии магнитного поля в индуктивной обмотке с использованием законов сохранения энергии, т. е. преобразования электрической энергии в магнитную, магнитной энергии в тепловую. Зависимость силы теплового электрического возбуждения и силы тока магнитной индукции на разных расстояниях между полюсами была определена экспериментальными и теоретическими расчетами и обобщена эмперическая формула. Кроме того, рассчитана объемная плотность магнитной энергии и построены графики магнитной индукции, зависящие от расстояния тока и полюсов, расстояния и силы тока теплоэлектродвижущей силы от полюсов при различных значениях. Снимается вольт-амперная характеристика собранного устройства и строится градуировочный график КСd). Подробно обсуждаются данные о том, что по кривой градуировки магнитная энергия в магнитной обмотке позволяет определять при различных значениях расстояния между любым током и полюсами

Ключевые слова: электромагнит, индуктивность, законы сохранения и преобразования энергии, градуировка.

Zh. Bimurat

Gumarbek Daukeev Almaty University of Energy and Communications, Almaty, Kazakhstan

A METHOD FOR STUDYING THE MAGNETIC FIELD IN A COIL

Abstract. The article presents methods for studying the energy of a magnetic field in an inductive winding using the laws of conservation of energy, i.e. the conversion of electrical energy into magnetic energy, magnetic energy into thermal energy. The dependence of the strength of thermal electric excitation and the strength of the magnetic induction current at different distances between the poles was determined by experimental and theoretical calculations and the empirical formula was generalized. In addition, the

volumetric density of magnetic energy is calculated and magnetic induction graphs are constructed, depending on the distance of the current and the poles, the distance and current strength of the thermomotive force from the poles at different values. The volt-ampere characteristic of the assembled device is removed and a calibration graph K_{Sd} is built). The data on the fact that according to the calibration curve, the magnetic energy in the magnetic winding makes it possible to determine the distance between any current and the poles at different values

Keywords: electromagnet, inductance, laws of conservation and transformation of energy, graduation.

References

1. Saveliev, I.V. Kurs obschei fiziki [Course of general physics]. Volume 2. Electricity and magnetism. Textbook [Text] / I.V.Savelyev. – Moscow: Nauka – 1988. - 496 p.
2. Silberman, G.M. Electrichestvo i magnetizm [Electricity and magnetism]. Textbook [Text] / G. M. Silberman, Moscow: Nauka – 1970. – 383p.
3. Tamm, I. Osmovi teori electrichestba[Fundamentals of the theory of electricity]. Textbook [Text] / I.Tamm Moscow: Nauka – 1976. – 615p.
4. Kuhling, H. Spravochnik po fizike [Handbook of Physics]. [Text] / H.Kuhling. – Moscow: Mir. – 1982.
5. Yavorsky, B.M., Detlaf, A.A... Spravochnik po fizike [Handbook of Physics]. [Text] / B.M. Yavorsky, A.A. Detlaf, Moscow: Nauka – 1985. – 497p.
6. Bizigitov, T., Zhumadilov, E. Elektrodinamika i spetsialnaia teoria otноситelnosti [Electrodynamics and special theory of relativity] [Text] / T.Bizigitov, E.Zhumadilov. – Almaty: hantar Books – 2022. - 524 p.

Мақалаға сілтеме:

Бимұрат, Ж. Орауыштағы магнит өрісін зерттеу әдісі [Мәтін] / Ж. Бимұрат // Dulaty University Хабаршысы. – 2024. - №1. – Б. 248-253
<https://doi.org/10.55956/EMLX2244>