

Н. И. СКОПЦОВА

ЭЛЕКТРМАТЕРИАЛТАНУ НЕГІЗДЕРІ ЖАТТЫҚТЫРУ САБАҒЫ

«Білім беруді дамытудың федералды институты»
федералдык мемлекеттік мекемесі «Электронды
құралдар мен аспаптарды орнату» мамандығы
бойынша орта кәсіптік білім беру бағдарламаларын
іске асыратын білім беру мекемелеріне оқу құралы
ретінде

ҰСЫНҒАН

*Сараптаманың тіркеу нөмірі –
№462, 18 қыркүйек, 2015 жыл*



Мәскеу

«Академия» баспа орталығы

2016

ӘОЖ 620.2(075.32)

КБЖ 32.843я722

С44

Бұл кітап Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі және «Кәсіпқор» холдингі» ҚЕАҚ арасында жасалған шартқа сәйкес «ТЖКБ жүйесі үшін шетел әдебиетін сатып алуды және аударуды ұйымдастыру жөніндегі қызметтер» мемлекеттік тапсырмасын орындау аясында қазақ тіліне аударылды. Аталған кітаптың орыс тіліндегі нұсқасы Ресей Федерациясының білім беру үдерісіне қойылатын талаптардың ескерілуімен жасалды.

Қазақстан Республикасының техникалық және кәсіптік білім беру жүйесіндегі білім беру ұйымдарының осы жағдайды ескеруі және оқу үдерісінде мазмұнды бөлімді (технология, материалдар және қажетті ақпарат) қолдануы қажет. Аударманы «Delta Consulting Group» ЖШС жүзеге асырды, заңды мекенжайы: Астана қ., Иманов көш., 19, «Алма-Ата» БО, 809С, телефоны: 8 (7172) 78 79 29, эл. поштасы: info@dcg.kz

Пікір беруші —

П.А.Овчинников атындағы №13 политехникалық колледжінің ғылыми-әдістемелік жұмыс жөніндегі директордың орынбасары,
жоғары білікті санаттағы оқытушы — *О. Н. Гулина*

Н.И.Скопцова

С44 Электрматериалтану негіздері. Жаттықтыру сабағы: орта кәсіптік білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған оқулық / Н.И.Скопцова. — М.: «Академия» баспа орталығы, 2016. — 112 б.

ISBN 978-601-333-322-9 (каз.)

ISBN 978-5-4468-0987-5 (рус.)

Оқулық орта білім берудің Федералдық мемлекеттік білім беру стандарты бойынша «Радиоэлектрондық жабдықтар мен аспаптарды орнату» мамандығы негізінде жазылды. «Электр материалтану негіздері» оқулығында зертханалық және практикалық жұмыстар, студенттерге өзін-өзі дайындауға әдістемелік кеңес беру және оларды іске асыру бойынша қысқаша нұсқаулар берілген. Сондай-ақ электротехникалық материалдар туралы теориялық мәліметтер, жартылай өткізгіштердің қасиеттері, диэлектриктер, өткізгіш және магниттік материалдар қамтылған.

Л.В.Журавлеваның «Электрматериалтану негіздері» оқулығына қосымша болып табылады. Орта кәсіптік білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған.

ӘОЖ 620.2(075.32)

КБЖ 32.843я722

© Н.И.Скопцова, 2016

ISBN 978-601-333-322-9 (каз.)

© «Академия» білім-баспа орталығы, 2016

ISBN 978-5-4468-0987-5 (рус.)

© Рәсімделуі. «Академия» баспа орталығы, 2016

Құрметті оқырман!

Осы жаттықтыру сабағы «Радиоэлектрондық жабдықтар мен аспаптарды орнатушы» мамандығы бойынша оқу-әдістемелік кешендердің бір бөлігі болып табылады.

Оқу құралы «Электрлік материалдардың негіздері» жалпы кәсіби пәнін оқуға арналған. Жаңа ұрпаққа арналған оқу-әдістемелік кешендері жалпы білім беру, жалпы кәсіби пәндерді және кәсіби модульдерді оқытуды қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін дәстүрлі және инновациялық оқу-әдістемелік материалдарды қамтиды. Әрбір жинақта жұмыс берушінің талаптарын ескере отырып, жалпы және кәсіби құзыреттілікті меңгеруге қажетті оқулықтар мен оқу құралдары, оқыту және мониторинг құралдары бар.

Оқу басылымдары электронды білім беру қорларымен толықтырылады. Электрондық қорларда интерактивті жаттығулар мен жаттықтыру құрылғысы, мультимедиялық нысандар, интернетте қосымша материалдар мен қорларға сілтемелер бар теориялық және тәжіребелік модульдер бар. Оған терминологиялық сөздік пен электрондық журнал кіреді, оның ішіне оқу үрдісінің негізгі өлшемдері жазылады: жұмыс уақыты, бақылау және тәжіребелік тапсырмалардың орындалу нәтижесі. Электронды қорлары оқу үдерісіне оңай енеді және әртүрлі оқу бағдарламаларына бейімделуі мүмкін.

«Электро-материалтану негіздері» пәні бойынша оқу-әдістемелік кешені «Электроматериалдар ғылымының негіздері» электрондық білім беру қорын қамтиды.

АЛҒЫ СӨЗ

«Электроматериал тану» курсы электр энергетикасы мамандықтары бойынша жалпы кәсіби бағыты пәндеріне жатады. Пәнді оқытудың мақсаты — электротехника мен электр энергетикасының құрылғыларында электр техникасының қағидалары саласында білімін қалыптастыру.

Курсты оқытудың міндеттері: заманауи электрлік материалдардың жіктелімін меңгеру; электротехникалық материалдардың сипаттамалары мен электромагниттік өрістің әсерінен және температуралық, ылғалдылық, механикалық жүктемелер, басқыншыл орта, иондаушы сәуле және т.б. сияқты сыртқы ықпалдарының әсерінен осы материалдарда кездесетін үдерістердің өзара байланысын зерттеу; электротехникалық материалдарды ұтымды техникалық және экономикалық таңдау қағидасымен таныстыру.

Пәнді толығымен оқып шығып, студент әртүрлі материалдармен танысуға, электрлік материалдар саласындағы анықтамалық және арнайы әдебиеттерді қолдануға мүмкіндік алады, ал зертханалық жұмыстарды орындау студентке бастапқы сынамалы кең тараған электр техникалық материалдардың сипаттамаларының дағдылары беріледі.

Курсты меңгеру физика, химия, сызу, математика, электротехника білімдеріне негізделген. Электротехникалық материалдардың қасиеттері туралы ақпарат электрлік сипаттың барлық пәндерін, сонымен қатар электр энергиясын үнемдеу мәселелерін зерттеуде өте пайдалы болады.

Болашақ маман иесінде құрылымы мен қасиеттерін жетілдірудің келешектегі бағыттары және оларды өңдеу әдістерін жетілдіру туралы түсінігі болуы керек, сонымен қатар түрлі жұмыс жағдайлары үшін әзірленген жаңа электр жабдықтарын жасау кезінде олардың сенімділігін, экономикалық және экологиялық таңдауын дұрыс бағалауға мүмкіндік беруі керек.

ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖӘНЕ ТӘЖІРИБЕЛІК ЖҰМЫСТАРДЫҢ ОРЫНДАЛУ ӘДІСТЕМЕСІ МЕН ҰЙЫМДАСТЫРЫЛУЫ

Жұмысқа алдын ала дайындалу

Зертханалық (тәжірибелік) жұмыс «Электроматериалдар» пәні бойынша оқу жоспарына сәйкес оқытушының жетекшілігімен жүзеге асырылады. Олар өндірістік тәжірибеге қажетті студенттермен оқу үдерісінде алған теориялық білімдерін алуға арналған маңызды элементтерінің бірі болып табылады.

Зертханалық (тәжірибелік) жұмыс студенттерде күрделі мәселелерді шығармашылық тұрғыда шешуге, ғылыми-техникалық және анықтамалық әдебиеттермен өз бетінше жұмыс істеу дағдысын қалыптастыруға, есептеулер мен жаттығулар жасауға мүмкіндік береді.

Зертханалық (тәжірибелік) жұмыстарды орындау үшін оқу тобы екі адаммен бөлінеді. Есептеу жұмыстары барлық оқушылармен бірге электрлік материалдардың оқу бөлмесінде жүзеге асырылады.

Зертханалық (тәжірибелік) жұмыстарды орындауға алдын ала дайындалу: ұсынылған оқу әдебиеті бойынша студент тақырыпқа байланысты теориялық материалдарды қайталап, тапсырманы мұқият зерттеп, есепте (1-қосымшаны қараңыз) есептеулер орындалатын өрнектерді жазады.

Зертханалық (тәжірибелік) жұмыстарды орындау

Жұмысқа рұқсаттама алған жұмыс тобы өз жұмысын зертханалық қабырға іліндісімен танысуынан бастайды. Әрбір зертханалық қабырға іліндісі зертханалық (тәжірибелік) жұмыс міндетіне сәйкес электр тізбектерін жөндеу және орнату үшін қажетті электрлік өлшеу құралдарын орнатудың, реттеудің, орнатудың тұрақты жиынтығымен жабдықталуы керек.

Студенттер өз есептерінде тоқ кернеуінің куәліктегі номиналды мәнін, сым маркаларын жазады. Барлық мәліметтерді алдын ала дайындалған кестеге жазады. Стендтегі жалғастырғыш сымдардың бар екендігін және дұрыстығын текесереді, олар мыс ұштықтармен тұйықталуы тиіс, сызбаны жинау үшін қажетті ұзындығы болуы, жақсы жалғасуы керек және қысқыштарда нық бекітілуі тиіс.

Қолданылатын аппаратураның құрылғысын толық ұғыну қажет.

Сызбаны қуат көзіне қосу және зертханалық (тәжірибелік) жұмысты өткізу

Сызбаны қуат көзіне қосу кезінде бірден аппараттар мен электр күшін өлшейтін құралдарға назар аударған жөн. Электр күшін өлшейтін құралдардың көрсеткіштері бойынша көп жағдайларда бұл құрал қосылмаған тізбектердегі ақаулықтарды да анықтауға болады.

Зертханалық (тәжірибелік) жұмыстарды ең жоғарғы дәлдікпен өткізу қажет. Бұл кезде назар мен зейіннің, жұмыс жоспарын құра білу және жұмыс орнын ұйымдастыра білудің үлкен маңызы бар.

Зертханада өткізілетін бұл жұмыстардың барлығы нәтижелерді өңдеу және оқытушы тексеретін және қол қоятын дәптерге жазуды қосқанда толығымен орындалуы тиіс. Жұмыс аяқталған соң эксперименттік мағлұматтардың өңделуі мен жазылуының дұрыстығын тексеру, нәтижелерді оқытушыға көрсету және одан сызбаны бөлшектеуге рұқсат алу қажет.

Жұмыс туралы есеп беру

Есеп беру жұмыстың атауын, оның нөмірін және орындалған күнін көрсетумен дәптердегі жазбаның негізінде әрбір орындалған жұмыс бойынша жасалады. Есеп беруде жұмыстың нәтижелері көрсетілу керек, бақылау кестелері толтырылуы керек, қажетті сызбалар сызылуы, формулалар, есептер, графикалар, нобайлар, технологиялық карталар келтірілуі керек.

Кеңесті өткізу және сынақты қабылдау

Кеңес оқытушы студенттерге алдағы зертханалық (тәжірибелік) жұмыстың тапсырмаларын берген уақыттан басталуы керек. Сонымен бірге оқытушы студенттерге жұмыстың мақсаттары мен мазмұны, оны дайындаудың және орындаудың тәртібі, есеп беруді жасау туралы қысқаша ақпарат береді.

Кеңес топтық және жекеше болады.

Топтық кеңесті оқытушы зертханалық (тәжірибелік) жұмыс басталар алдында өткізеді. Сонымен бірге ол алдағы жұмысқа әрбір студенттің дайындығын тексереді, үйдегі дайындықтың материалдарын қарайды, сұрақтарға жауап береді, ал өз кезегінде алдағы жұмыс бойынша нақты сұрақтар қояды. Осындай сұхбаттың нәтижесінде оқытушы студенттердің дайындық дәрежесі туралы алдын ала көрінісін байқайды. Ары қарай ол зертханалық (тәжірибелік) жұмысты өткізу барысында жекеше кеңестер өткізеді.

Зертханалық (тәжірибелік) жұмысты орындаудың қорытынды кезеңі – бұл орындалған жұмыстар бойынша сынақтарды тапсыру. Сынаққа студенттер өз бетінше үйде дайындалады. Әрбір студент оқытушыға орындалған зертханалық (тәжірибелік) жұмыстар бойынша барлық есеп берулерді тапсыруға міндетті. Оқытушы әрбір студенттің жұмысын теориялық оқыту журналына сәйкес балл қойып бағалауы керек.

ЭЛЕКТРМАТЕРИАЛТАНУ БОЙЫНША ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫСТАР

№1 зертханалық жұмыс

ДИЭЛЕКТРИКТЕРДІҢ ЭЛЕКТР ӨТКІЗГІШТІГІН ЗЕРТТЕУ

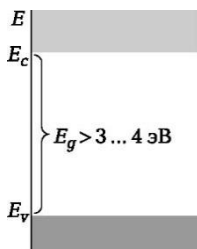
Жұмыстың мақсаты: диэлектриктердің электрлік қасиеттерімен, оларды

анықтау тәсілдерімен танысу, материалдың электр өткізгіштігінің өзінің құрамы мен құрылымына, сонымен қатар температура мен басқа да сыртқы әсерлерге тәуелділігін зерттеу.

Теориялық негіздер

Қатты диэлектриктердің электр өткізгіштігі. Электрлік өткізгіштік (электр өткізгіштігі) – бұл дененің электр тоғын өткізу қасиеті. Электр өткізгіштігі бойынша барлық қатты денелерді үш үлкен топқа бөлуге болады: металдар, жартылай өткізгіштер және диэлектриктер. Соңғылары іс жүзінде электр тоғын өткізбейді, оларды электр окшаулағыш ретінде қолданады. Электр өткізгіштікке материалдағы қоспа мен ақаулар үлкен әсерін тигізеді.

Диэлектриктердің E_g тыйым салынған аймағының ені (1-сурет) үлкен болғандықтан, бөлме температурасы мен төмен температураларда электрондар валентті аймақтан өткізгіштік аймағына іс жүзінде түспейді. Диэлектрикте бос тасымалдаушылар шоғырлануы мүлде аз, ал өзінің өткізгіштігі тым аз.



1-сурет. Диэлектриктегі энергетикалық аймақ:

E_v – электрондармен толтырылған валентті аймақтың жоғарғы шегі; E_g – тыйым салынған аймақтың ені; E_c – өткізгіштік аймағының төменгі шегі; E – электронвольтпен өлшенетін энергия (эВ), $1 \text{ эВ} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

Сондықтан диэлектриктегі электрондық өткізгіштік (бұл кезде электрондар бос зарядтарды негізгі тасушылар болады) тыйым салынған аймақтағы рұқсат етілген қоспалық деңгейлерді жасайтын донорлық және акцепторлы типті қоспаның бар болуы кезінде ғана пайда бола алады. Осыған байланысты электр оқшаулағыш материалдар үшін химиялық тазалық маңызды. Әртүрлі диэлектриктерде электрондық өткізгіштік 10^{-22} -нен 10^{-10} -не $(\text{Ом} \cdot \text{см})^{-1}$ дейін ауытқиды.

Диэлектриктерде электрондық өткізгіштік жылудың әсерінен пайда болуы мүмкін, сондай-ақ толқынның сәйкес ұзындығы бар жарықпен сәулелендіру кезінде, жылдам бөлшектермен бомбалау кезінде, күшті электрондық өрістерді қолдану кезінде орын алады.

Қатты диэлектриктердің өткізгіштігі көлемді (оқшаулағыштың қалыңдығы арқылы тоқтың өту мүмкіндігін сандық түрде анықтайды) және беттік деп бөлінеді. Бұл материал бетінің электрлік қасиеттері газды немесе сұйық ортамен (ластану, ылғалдану және т.б.) өзара әрекеттесуінің нәтижесінде көлемді фазаның қасиеттерінен қатты ерекшеленуіне байланысты.

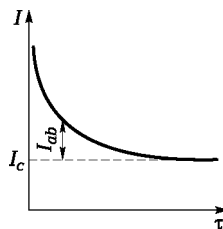
Диэлектриктердің электр өткізгіштігінің әртүрлі факторларға тәуелділігі. Өткізгіштермен салыстырғанда диэлектриктерде бәсеңделетін поляризацияның бар болуымен шартталған I_{ab} сіңу тоғының азаюы салдарынан I тоғының t уақытпен өзгеруі (2-сурет) байқалады. Белгілі бір уақыттан кейін диэлектрикте тұрақты кернеудің әсерінен, диэлектриктің өткізгіштігімен анықталатын тек I_c өткізгіштік тоғы орнатылады.

Электрондық өткізгіштіктің температуралық тәуелділігі экспоненттік заңмен жақсы сипатталады:

$$\gamma = \gamma_0 \exp(-E/kT);$$

$$E_a / kT \gg 1,$$

мұнда γ_0 — тұрақты шама; E_a — зарядты тасымалдауды жылдамдату энергиясы; $k = 1,380658 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — Больцман тұрақтысы. Бұл тасушылардың шоғырлануының температура әсерінен экспоненттік өзгеруіне байланысты.



2-сурет. Электр тоғының диэлектриктегі уақытқа тәуелділігі

Әлсіз электрлік өрістерде электрондық өткізгіштіктің үлесі өте аз. Алайда күшті өрістерде байланысқан электрондардың босатылуының нәтижесінде тасымалдаушылардың қозғалғыштығы ұлғаяды. Соққы ионданудың нәтижесінде валентті аймақтағы өткізгіштік немесе кемтік аймағында электрондардың шоғырлануы кенеттен өседі. Мұның бәрі электрондық өткізгіштіктің өсуіне алып келеді. Электр өткізгіштігінің E электрлік өрістің кернеулігінен тәуелділігі бұл жағдайда мына формуламен көрсетіледі:

$$\gamma = I_s e^{bE},$$

мұнда I_s — қанықтыру аймағының соңындағы электр өткізгіштігі; b — температураға тәуелді коэффициент.

Диэлектриктердің электр өткізгіштігіне ылғалдылық елеулі ықпал етеді. Аз ғана судың бар болуы оқшаулағыштың электрлік кедергісін едәуір азайта алады. Суда еритін қоспалар иондарға диссоциацияланады. Ылғалдану сонымен қатар диэлектриктің негізгі затының диссоциациясына мүмкіндік береді. Ылғал әсіресе талшықты материалдарға қатты әсер етеді, талшықтардың айналасында оқшаулаудан өтетін тұтас сулы үлдірлер пайда бола бастайды. Сондықтан гигроскопиялық материалдарды кептіреді және лактармен немесе компаундтармен бояйды немесе сіндіреді.

Диэлектриктердің беттік өткізгіштігіне сонымен бірге олардың бетінің жағдайы едәуір әсерін тигізеді. Егер ол кедір-бұдыр болса, онда оның ауадан шөккен шанды ұстауына немесе басқа да кездейсоқ түскен бөлшектерге байланысты беттік кедергі айтарлықтай төмендейді. Сондықтан диэлектриктердің бетін әдетте қырнайды, тегістейді, жылтыратады және т.б.

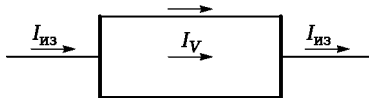
Диэлектриккедергісін өлшеу әдістері. Оқшаулау учаскесінің $K_{окш}$, Ом, кедергісі осы учаскеге қосылған U тұрақты кернеудің $I_{окш}$ өтпелі тоғына осы учаске арқылы қатынасына тең:

$$K_{окш} = U / I_{окш}$$

G_m , Ом, оқшаулау учаскесінің өткізгіштігі, $K_{окш}$ шамасына кері шама

$$S_{из} = 1/K_{из} = I_{из}/U.$$

Қатты диэлектриктердің өткізгіштігі көлемді G_V және беттік G_S болып бөлінеді. Сәйкесінше оқшаулау R_V көлемді және R_S беттік кедергісінің, сонымен қатар I_V көлемді және I_S беттік тоқтарының түсінігі енгізіледі:



3-сурет. Оқшаулау учаскесі арқылы кемудің көлемді және беттік тоқтары

$$I_v = UG_v = \frac{U}{R_v}; I_s = UG_s = \frac{U}{R_s}.$$

3-суретте көргеніміздей, $I_{оқиу} = I_v + I_s$, демек, $G_m = G_v + G_s$, т. е.

$$\frac{1}{R_{оқиу}} = \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_s};$$

$$R_{оқиу} = \frac{R_v R_s}{R_v + R_s}$$

Осылайша, оқшаулау кедергісі электродтар арасында бір-біріне параллельді қосылған екі кедергінің (көлемді және беттік) қорытқысы ретінде анықталады.

S тұрақты көлденең қимасы және h қалыңдығы бар оқшаулау учаскесі үшін (жазық конденсатор пішіні) көлемді кедергі

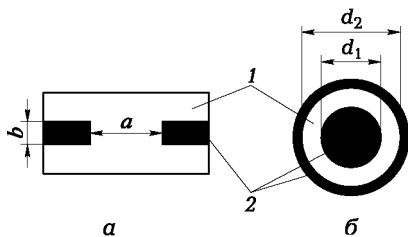
$$R_v = p_v \frac{h}{S}$$

мұнда p_v — көлемді меншікті кедергі, Ом • м;

$$p_v = R_v \frac{S}{h}.$$

Жазық диэлектриктің беттік меншікті p_s , Ом, кедергісін анықтау үшін оның бетіне бір-бірінен a қашықтықта орналасқан b ұзындықты дұрыс түзу шеттері бар екі электрод орналастырылады (4-сурет, а). Электродтар арасындағы жазық бетінің кедергісі

$$R_s = p_s \frac{a}{b}.$$



4-сурет. Диэлектрик бетінде, оның беттік кедергісін анықтау кезіндегі тікбұрышты (а) және дөңгелек (б) электродтардың орналасуы:

1 – диэлектрик; 2 – электродтар

Бұдан

$$R_S = p_S \frac{a}{b}.$$

Әлбетте, $b = a$, $p_S = R_S$ болған кезде, егер тоқ шаршының бір жағынан оның қарама-қарсы жағына барса, p_S — бұл диэлектрик бетіндегі кез келген шамадағы шаршының кедергісі деп айтуға болады, p_S дәлірек анықтау үшін диэлектрик бетінде коаксиалды орналасқан электродтар арасындағы R_S беттік кедергісі өлшенеді (4-сурет, б).

Бұл жағдайда

$$R_S = \frac{p_S}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1},$$

мұнда d_1 — ішкі электродтың диаметрі; d_2 — айналмалы электродтың ішкі диаметрі.

Бұдан

$$p_S = R_S \frac{2\pi}{\ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (1)$$

Стендтің құрылысы мен жұмыс қағидаты

Стенд құрылымы

Стенд (5-сурет) термостаттан тұрады, ол диэлектрик және өлшеу құралы (тераомметр) үлгісінің температурасының орнатылуын, өлшеуін және автоматты түрде қолдауын жүзеге асыруға, сонымен қатар үлгінің R_S беттік және R_V көлемді кедергісін анықтауға мүмкіндік береді.



5-сурет. Стендтің жалпы көрінісі

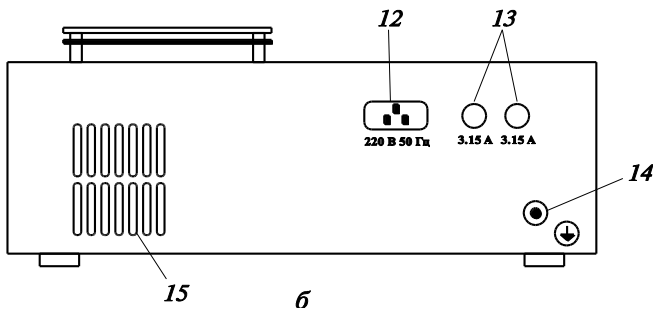
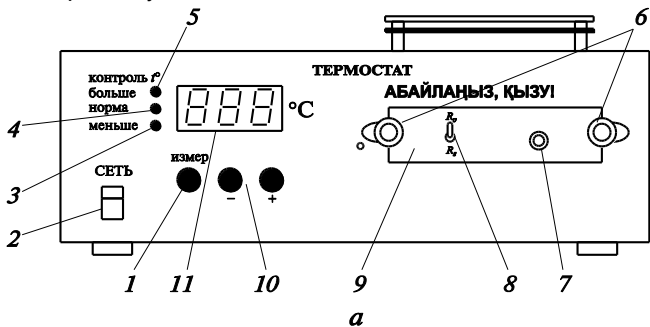
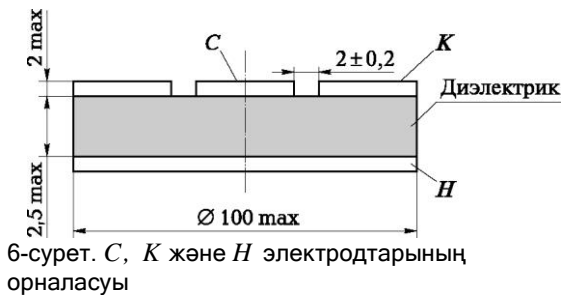
R_S және R_V өлшеу нәтижелері бойынша электродтардың геометриялық өлшемдерін ескере отырып, диэлектриктің меншікті беттік ρ_s және көлемді ρ_v кедергілері есептеледі.

Диэлектриктің қызуы термостаттың жұмыс камерасының ішінде жүзеге асырылады, онда зерттеу үлгісі бар қабылдау кассетасы орналастырылады. Жұмыс камерасы барлық жұмыс көлемінде біркелкі температураны және үлгі температурасы мен ортаның арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді. Температураны өлшеу және реттеу, сонымен қатар берілген температура тәртібін қолдау термостаттың ішінде орналасқан сезгіш термодатчиктің көрсеткіші бойынша орындалады.

Температураның талап етілетін белгісін алдын ала орнату сандық үш зарядты индикаторда бейнеленетін батырмалармен жасалады; үлгінің берілген температураға дейін қызу (немесе суып қалу) барысы, сонымен қатар оны қолдау автоматты түрде жүзеге асырылады.

Ағымдағы температуралық тәртіпті берілген үш жарық индикаторлары арқылы бақылайды: «А» – артық; Н» — норма; «К» – кем. Ағымдағы температура берілген температураға тең болған кезде дыбыстық сигнал беру қарастырылған. Ағымдағы температураның белгісі сандық үш зарядты индикатордың «ӨЛШЕ» батырмасын басу арқылы шығарылады.

Бетке алдын ала қондырылған электродтары бар әртүрлі қатты диэлектриктердің және қысушы ауыстырмалы электродтары бар иілгіш (резеңке тәрізді) диэлектриктердің жазық үлгілері зерттеу нысандары болып табылады (6-сурет).



7-сурет. Термостаттың алдыңғы (а) және артқы (б) панельдері:

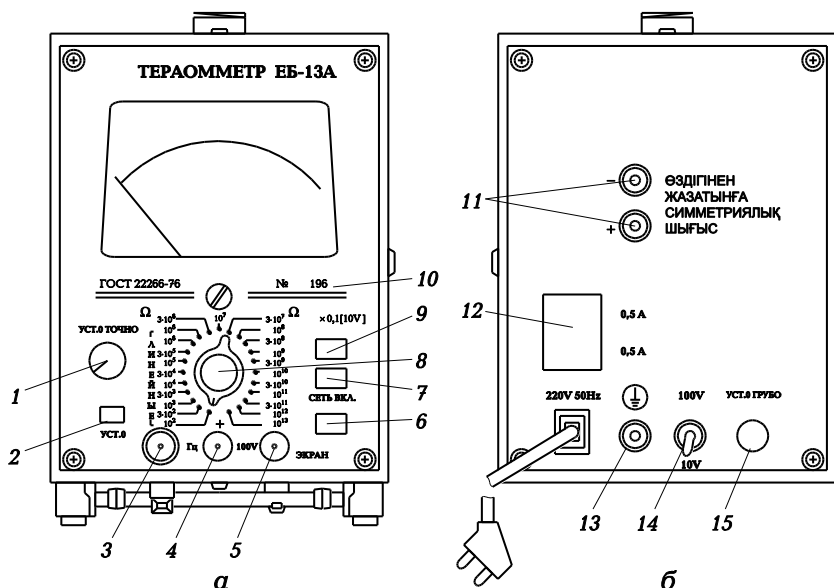
1 – «ӨЛШЕ» – ағымдағы температураның белгісін сандық индикаторға шығару және қуат көзі берілген соң реттеу тәртібін қосу батырмасы; 2 – «ЖЕЛІ» – қуат көзінен ажыратқыш; 3 – «М» жарықдиоды – термостаттың жұмыс камерасындағы берілгенге қатысты төмен температура индикациясы; 4 – «Н» жарықдиоды – термостаттың жұмыс камерасындағы және берілгендегі температураның теңдік индикациясы; 5 – «Б» жарықдиоды – берілгенге қатысты термостаттың жұмыс камерасындағы температураның жоғарылау индикациясы; 6 – термостаттың жұмыс камерасында қабылдау кассетасын бекіту қысқыштары; 7 – термоамметрге шығу; 8 – « $R_{\sqrt{R_S}}$ » – көлемді және беттік кедергілерді өлшеу тәртібін қосу тумблері; 9 – жұмыс камерасында үлгіні орнату үшін қабылдау кассетасы; 10 – «t ОРНАТУ - және +» – қызудың берілген температурасын орнату батырмалары; 11 – температураның сандық үш зарядты индикаторы; 12 – қуат көзінің желі баусымын қосуға арналған айыр; 13 – желілік сақтандырғыштар; 14 – қорғаныштық жерге тұйықтау қысқышы; 15 – ағындық желдету пердешесі

R_V көлемді кедергіні өлшеу барысында C электроды өлшеуіш, H – кернеу электроды, K – қорғау болып табылады. R_S беттік кедергіні өлшеу барысында C электроды өлшеуіш, K – кернеу электроды, H – қорғау болып табылады.

Электродтардың ұсынылған өлшемдері, мм

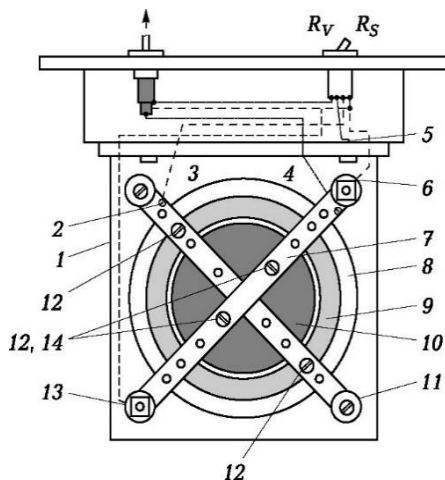
| | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| C диаметрі..... | 25 | 50 | 75 |
| K ішкі/сыртқы диаметрі..... | 29/50 | 54/75 | 79/95 |
| H диаметрі немесе жағы..... | 50 | 75 | 95 |

Термостат (7-сурет) пен тераомметр (8-сурет) баусыммен қосылған үстел блогі түрінде орындалған.

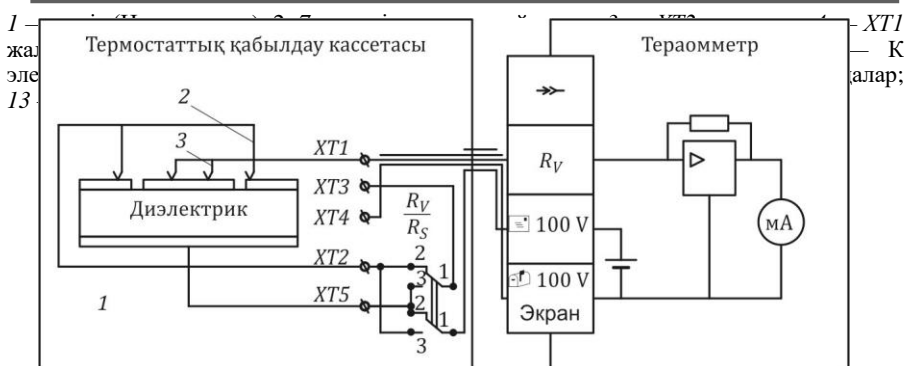


8-сурет. Тераомметрдің алдыңғы (а) және артқы (б) панельдерінің сыртқы түрі:

1 – дәл нөлді орнату тұтқасы; 2 – кіру тұйықтаушысының батырмасы; 3 – «г*» жоғары омды кіру ұясы; 4 – өлшеу кернеуі қуат көзінің «+» кіру ұясы; 5 – экранды қосуға арналған ұя; 6 – қуат көзінен ажыратқыш; 7 – құралды қосу индикаторы; 8 – өлшеудің ішкі диапазондарының ауыстырып-қосқышы; 9 – 10 В өлшеу кернеуін қосу индикаторы; 10 – механикалық корректор; 11 – өздігінен жазатынға шығу ұясы; 12 – желілік сақтандырғыштар; 13 – корпусстың қорғаныштық жерге тұйықтауының қысқышы; 14 – 100 В/10 В өлшеу кернеуінің ауыстырып-қосқышы; 15 – нөлді ерескел орнату тұтқасы



9-сурет. Диэлектрик үлгісі бар кассета:



10-сурет. Диэлектрик электродтарын қосу сызбасы:

1 — негіз (9-сурет 1 поз.); 2 — қысатын бұрандалар (9-сурет 12 поз.); 3 — қысатын бұрандалар (9-сурет 14 поз.)

Термостаттың қабылдау кассетасы (9-сурет) алмалы түйін түрінде орындалған және диэлектрлік үлгінің электродтарын тераомметрдің өлшеу тізбегіне қосуға және термостаттың жұмыс камерасында

орнатуға арналған. Үлгінің электродтарымен электрлік түйісуі қысатын бұрандалардың көмегімен жүзеге асады. Диэлектрик электродтарының қосылу сызбасы 10-суретте келтірілген.

Стенді жұмысқа дайындау

1. Диэлектрлік үлгіні орнатыңыз, ол үшін:

- үлгінің бетін қараңыз, онда ылғалдың, ластанудың жоқ екеніне көз жеткізіңіз, электродтардың тотығуы жоқ екенін тексеріңіз және қажет болған жағдайда оларды тазалаңыз;
- термостаттың жұмыс камерасынан 11 қысқыштарын алдын ала босата отырып, 9 қабылдау кассетасын шығарыңыз (7-суретті қараңыз);
- диэлектриктің үлгісін кассетаның 1 негізіне (9-суретті қараңыз) орналастырыңыз, ол үшін алдын ала 12 және 14 қысатын бұрандаларын бұрап шығарыңыз. Егер орнатылатын үлгінің диаметрі 50 мм-ден артық болса, 11 бекіту бұрандасын бұрап шығарыңыз және 2 енсіз жұқа тақтайшаны сағат тіліне қарсы бұрыңыз. Алдын ала қондырылған *C*, *K* және *H* электродтары бар үлгіні сынау кезінде, оны *H* электродымен негізге қояды. *C* және *K* қысушы ауыстырмалы электродтарды пайдалану кезінде оларды жеткізілім жинағынан беті тегістелген үлгіге орнатыңыз. Бұл жағдайдағы *H* электродының рөлін кассетаның өз негізі атқарады;
- 2 енсіз жұқа тақтайшаны орнына орнатыңыз (егер оны алдын ала бұрған болсаңыз);
- 12 және 14 қысатын бұрандаларды сәйкесінше 2 және 7 енсіз жұқа тақтайшаларға бұрап кіргізіңіз, енсіз жұқа тақтайшалардағы тесікті 2 бұрандалары *C* электродымен, ал 14 бұрандалары – *K* электродымен электрлік түйісу мен қысуды қамтамасыз ететіндей қылып таңдау керек.

Ескерту. *C* және *K* қысушы ауыстырмалы электродтары арасында біркелкі саңылауды ($2 \pm 0,2$) мм қамтамасыз ету үшін (6-суретті қараңыз), қысу алдында саңылауға жеткізілім жинағынан калибрлегіш істікті біркелкі етіп орнатады, оны қысып болған соң шығарып тастайды.

2. Термостаттың жұмыс камерасына 9 қабылдау кассетасын (7-суретті қараңыз) салыңыз және оны 11 қысқыштарымен бекітіңіз.

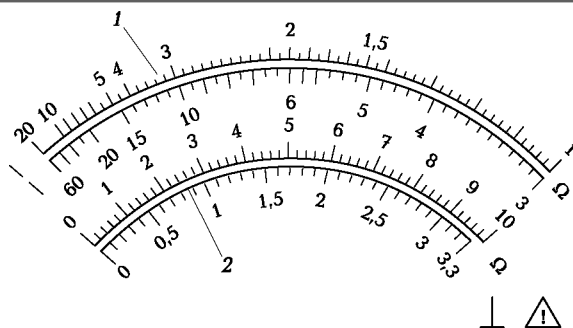
3. Термостат кассетасының баусымын (7 шығыс) тераомметрмен қосыңыз.

4. Термостаттың желілік баусымын 220 В кернеулі, 50 Гц жиілікті желіге қосыңыз, «ЖЕЛІ» қуат көзінің ажыратқышын қосыңыз. Бұл кезде 11 сандық индикаторы 15°C көрсетуі керек және «А» индикаторы жарқырауы тиіс (5-поз.).

5. Термостатты қосулы күйінде 10 минуттай ұстап тұрыңыз.

6. Е6-13А тараомметрді зертханалық жұмысты орындау үшін дайындаңыз, ол үшін:

- 2 кіріс тұйықтаушысы батырмасының орнын тексеріңіз (8-суретті қараңыз). Ол басылған (нөлді орнату тәртібі) немесе сығылған (өлшеу тәртібі) қалыпта болуы мүмкін. Батырманы басылған қалыпқа орнатыңыз;
- 10 механикалық корректор көмегімен құралдың нұсқарын шкаланың нөлдік белгісіне орнатыңыз;
- тараомметр қуат көзінің баусымын 220 В кернеулі, 50 Гц жиілікті желіге қосыңыз, 6 қуат көзін ажыратқышты «ЖЕЛІ ҚОС.» жағдайына ауыстырыңыз. Бұл кезде 7 индикаторы жарқырау керек;
- тараомметрді қосулы күйінде 30 минуттай ұстап тұрыңыз;
- қажетті өлшеу кернеуін таңдаңыз. Тараомметрдің кіріс ұяларындағы өлшеу кернеуі артқы панельде орналасқан 14 ауыстырып-қосқышы көмегімен 100 немесе 10 В тең етіп таңдалуы мүмкін. 10 В өлшеу кернеуін қосу кезінде тараомметрдің алдыңғы панелінде $\times 0,1$ [10 V (9-поз.)] индикаторлық ләмпішке жарқырайды. Бұл құрал бойынша алынған өлшеу нәтижесін 0,1-ге көбейту қажет екендігін білдіреді;
- өлшеуді сызықты шкалада өткізу кезінде құрал көрсеткішін «0 ӨРЕСКЕЛ ОРН.» (15-поз.) және «0 ДӘЛ ОРН.» (1-поз.) тұтқаларымен нөлдік белгіге және өлшеуді кері пропорционалды шкалада өткізу кезінде $\langle x \rangle$ белгісіне орнатыңыз. 8 ішкі диапазондардың ауыстырып-қосқышын өлшенетін кернеуге сәйкес қалыпқа көшіріңіз. Алдыңғы панельде «СЫЗЫҚТЫҚ» деп белгіленген 10^2 -нен 10^6 Ом дейінгі ішкі диапазондарда санауды сызықты шкалалар бойынша жасайсыз (11-сурет), ал 10^6 -нен 10^{13} Ом дейінгі ішкі диапазондарда – кері пропорционалды шкалалар бойынша жасайсыз (жоғарыда орналасқан).



11-сурет. Тераомметрдің шкалалары:
1 – кері пропорционалды; 2 – сызықты

Кері пропорционалды шкала бойынша өлшеу жүргізген кезде кіріс ұяларындағы өлшеу керенеулері 100 немесе 10 В-қа тең етіп таңдалуы мүмкін.

Жұмысты орындау тәртібі

1. Бөлме температурасында үлгінің R_V көлемді, содан кейін R_S беттік кедергілерінің өлшеуін жасаңыз (термостаттың жұмыс камерасының ішіндегі температураның бастапқы мәні), ол үшін:

1.1. Термостаттың «ӨЛШЕ» батырмасын (7-сурет, 1-поз. қараңыз) басыңыз және $I1$ сандық индикаторы бойынша температураның мәнін анықтаңыз;

1.2. Термостаттың 8 қабылдау кассетасының « R_V/R_S » тумблерін « R_V » жағдайына көшіріңіз;

1.3. Тераомметрдің кіріс тұйықтаушысының «0 ОРН.» батырмасын (8-сурет, 2-поз. қараңыз) сығылған қалыпқа көшіріңіз;

1.4. Қажет болған жағдайда 8 ауыстырып-қосқышымен өлшеудің ішкі диапазонын өзгерте отырып, орнатылған ішкі диапазонға сәйкес шкала бойынша R_V көлемді кедергінің санауын жасаңыз;

1.5. Термостаттың қабылдау кассетасының « R_V/R_S » тумблерін « R_S » жағдайына көшіріңіз және қажет болған жағдайда өлшеудің ішкі диапазонын өзгерте отырып, орнатылған ішкі диапазонға сәйкес шкала бойынша R_S беттік кедергінің санауын жасаңыз.

НАЗАР АУДАРЫҢЫЗ! 10^n-10^{13} Ом өлшеу ішкі диапазондарында ауыстырып қосу кезінде тераомметр нұсқарының шкалалануы мүмкін. Көрсеткішті қалпына келтіру уақыты 30 с-тан аспауы керек.

2. « t ОРНАТУ - немесе +» (7-сурет, 10-поз.) батырмасының көмегімен оның мәнін $I1$ сандық индикаторында көрсете отырып термостаттың қажетті қызу температурасын беріңіз (температураны сатымен 5.20°C дейін жоғарылату ұсынылады).

3. Термостаттың қызуын берілген температураға дейін жарықдиодты индикаторлардың «K» — кем, «N» — норма, «A» — артық жағдайлары бойынша бақылап отырыңыз. «N» жарықдиодының жануы кезінде (дыбыстық сигналмен қайталанады) термостаттың жұмыс камерасының ішінде орнатылған температура тәртібін қамтамасыз ету үшін 3-5 минут ұстап тұру қажет. Орнатылған температура басталғаннан кейін (тераомметрдің нұсқары ауытқуын

қояды) 1.1-1.5 тармағы бойынша өлшеу жасаңыз.

Ескерту. Қажет болған жағдайда өлшеулерді температураның орнатылған ең жоғарғы мәнінен де төмен жағдайда өткізуге болады.

1-кесте. Диэлектриктің көлемді және беттік кедергілерін анықтау нәтижелері

| T, К | R_V , Ом | R_S , Ом | p_V , Ом • м | p_S , Ом |
|------|------------|------------|----------------|------------|
| | | | | |

4. Дөңгелек электродтары бар үлгінің геометриялық өлшемдерін ескере отырып R_S және R_V өлшенген мәндері бойынша (6-суретті қараңыз) p_S беттік және p_V көлемді меншікті кедергілердің мәндерін есептеңіз. Ол үшін мына формулаларды қолданыңыз

$$p_V = R_V \frac{\pi D^2}{4h} \quad (2)$$

$$p_S = R_S \frac{\pi D}{g} \quad (3)$$

Мұнда $D = \frac{(d_1 + d_2)}{2}$ диаметрі, м; h — диэлектрик үлгісінің

қалыңдығы, м; g — C және K электродтарының арасындағы саңылаудың ені, м.

(3) формуласы (1) формуласынан логарифмді қатарға жіктеу арқылы және электрод астында токтың жайылу құбылысын ескере отырып алынған.

5. Нәтижелерін 1-кестеге жазыңыз.

НАЗАР АУДАРЫҢЫЗ! «t ОРНАТУ-» (7-сурет, 10-поз.) батырмасымен өлшеу аяқталғаннан кейін ең төменгі температураны орнатыңыз, термостаттың 100°C-тан жоғары температурада ұзақ уақыт жұмыс істеуін болдырмаңыз. Екі сағат үздіксіз жұмыс істегеннен кейін термостатты 30 минуттай уақытқа өшіріңіз.

СЫНАҚҚА АРНАЛҒАН СУРАҚТАР

1. Қатты диэлектриктің меншікті көлемді өткізгіштігінің температураға тәуелділігін суреттеп көрсетіңіз және түсіндіріңіз.
2. Қатты диэлектриктің меншікті көлемді кедергісінің температураға тәуелділігін суреттеп көрсетіңіз және түсіндіріңіз.
3. Сұйық диэлектриктердің электр өткізгіштігін қамтамасыз ететін зарядтардың түрлерін атаңыз.
4. Тұрақты электр өрісі бар болған және жоқ болған жағдайдағы уақытпен тоқтың диэлектрик арқылы өзгеру кестесін суреттеп көрсетіңіз және түсіндіріңіз.
5. Газ тәрізді диэлектриктің вольт-амперлік сипаттамасын суреттеп көрсетіңіз және түсіндіріңіз.
6. Сілті-галоидты кристалдарда диэлектриктің меншікті өткізгіштігін қамтамасыз ететін бос иондар қалай пайда болады?
7. Мерзімді ықтимал кедергілердің үлгісін қолдана отырып, қатты диэлектриктердің араласқан иондық өткізгіштігін түсіндіріңіз.
8. Сұйық диэлектриктердің электр өткізгіштігінің механизмі қандай?
9. Қатты диэлектриктердің электр өткізгіштігінің механизмі қандай?
10. Қатты диэлектриктердің беттік электр өткізгіштігі неден пайда болды?

№2 зертханалық жұмыс

ГАЗ ТӘРІЗДІ ДИЭЛЕКТРИКТЕРДІҢ ЭЛЕКТРЛІК БЕРІКТІГІН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты:

1. Біртекті және біртекті емес электрлік өрістерде газ тәрізді диэлектриктердің ойықтарының ерекшеліктерін эксперименттік зерттеу;
2. Біртекті және біртекті емес электрлік өрістерде газ тәрізді диэлектриктердің электрлік беріктігі туралы түсіну.



12-сурет. Диэлектриктің вольт-амперлік сипаттамасы

Диэлектриктердің ойығы туралы жалпы мағлұматтар. Аса жоғары емес кернеу әсеріндегі диэлектрик өткізбейтін орта болып табылады. Ол өзінің электр оқшаулағыш қасиеттерін өріс кернеуі біраз сындарлы мәннен асқан кезде жоғалтады. Диэлектрикте өткізетін арнаның электрлік өріс әсерінен пайда болуын *электрлік тесілу* деп атайды. Сонымен бірге

диэлектриктердің бүліну процесі жүреді, соның нәтижесінде ол өткізбейтін жағдайдан жоғарғы өткізгіштік жағдайына көшеді. Бұл жағдайда бүкіл үлгі толығымен болмайды, тек электродтан электродақа бағытталған тар арна ғана болады.

Әдеттегідей кернеулерде диэлектриктің вольт-амперлік сипаттамасы сызықты болады, бірақ U $U_{бep}$ -ге жақындағанда ол сызықтыдан ауытқиды (12-сурет). Тесілу кезінде $I_{кem}$ диэлектригі арқылы тоқтың кемуі бірден өседі, ал оқшаулау кедергісі сәйкесінше төмендейді, сондықтан dI/dU \wedge иә болады. Тесіктің орнына ұшқын немесе электрлік доға пайда болады, содан кейін үлгіге жеткізілген электродтар арасындағы қатты өткізетін арна пайда болады. Бұл кезде тоқтың өсуіне қарамастан кернеу төмендей бастайды.

Диэлектриктің тесілуі болатын $U_{бep}$ кернеуін *тесіп өтетін* деп атайды, ал $E_{бep}$ электр өрісінің сәйкес кернеулік мәнін – *диэлектриктің электрлік беріктігі* деп атайды.

Электрлік оқшаулаудың тесіп өтетін кернеуі оның қалыңдығына, яғни электродтар арасындағы қашықтыққа тәуелді: электр оқшаулайтын материалдың қабаты неғұрлым қалың болса, соғұрлым $U_{нp}$ жоғары болады. Қалыңдығы бірдей әртүрлі диэлектриктердің тесіп өтетін кернеулерінің мәні әртүрлі болады.

$E_{бep}$ электрлік беріктігі диэлектрлік материалдың маңызды параметрі болып табылады. Ол материалдың электр өрісінде бүлінуіне қарсы тұра алу мүмкіндігін сипаттайды және машиналардың, трансформаторлардың, кабельдердің, конденсаторлардың және т.б. құрылғылардың электрлік оқшаулауын есептеу және құрастыру кезінде, сонымен қатар олардың сенімділігі мен төзімділігін бағалау үшін қолданылады.

Біртекті электрлік өрістің қарапайым жағдайы үшін диэлектриктің электрлік беріктігі мына формуламен есептеледі

$$E_{\text{пр}} = U_{\text{пр}} / h.$$

мұнда h — диэлектриктің тесілген жердегі қалыңдығы.

Кез келген электртехникалық құрылғының сенімді жұмыс жасауы үшін оның оқшаулауының U^{\wedge} жұмыс кернеуі тесіп өтетін кернеуден айтарлықтай аз болуы тиіс. U^{\wedge}/U^{\wedge} қатынасын *беріктік қорының коэффициенті* деп атайды.

Диэлектриктердің тесілу түрлері. Диэлектриктердің тесілуінің төрт негізгі түрлері бар: электрлік, электржылулық, электрхимиялық және иондаушы тесік.

Электрлік тесік электрондармен екпінді ионданумен болады және іс жүзінде тез ағады – 10^{-8} — 10^{-5} с аралығында. Электрлік тесілу барысында диэлектрик электрлік өрісте оның атомдарына, молекулаларына немесе иондарына әсер ететін күштермен бұзылады. Электрлік тесілу кезінде $E_{\text{бер}}$ газ тәрізді диэлектриктің (ауаның) электрлік беріктігі қалыпты жағдайда 3 МВ/м жетеді.

Электржылулық (жылулық) тесік диэлектрлік шығындар мен электр өткізгіштік салдарынан диэлектриктің жылулық тепе-теңдігінің бұзылуына себепші болады. Жылулық тесік диэлектрикте бөлінетін жылу диэлектриктен қоршаған ортаға бөлінетін жылудан асып кеткен кезде пайда болады. Жылулық тесіктің даму уақыты және $i_{\text{бер}}$ мәні диэлектрик құрылымына және онда бөлінетін жылудың қоршаған ортаға берілуінің жағдайына тәуелді болады. Жылулық тесік 10^{-3} - 10^{-2} с аралығында дамиды, яғни ол электрлікпен салыстырғанда бірнеше есе баяуырақ.

Электржылулық тесілу кезінде тесіп өтетін кернеу түсірілген кернеу жиілігіне (жиіліктің өсуі кезінде $i_{\text{бер}}$ азаяды) және қоршаған ортаның температурасына тәуелді болады (температураның өсуі кезінде $i_{\text{бер}}$ азаяды).

Таза электрлік тесік аймағынан электржылулық аймағына ауысу факторларды қамтамасыз етеді: диэлектрик жұмысының бастапқы температурасының өсуі; ары қарай жиілігінің өсуімен тұрақты кернеуден құбылмалы кернеуге ауысуы; суыту жағдайының нашарлауы.

Электрхимиялық тесік (электрлік тозу) электрлік өріс әсерінен диэлектриктің химиялық құрамы мен құрылымының өзгеруіне алып келетін химиялық процестерді қамтамасыз етеді. Электрхимиялық тесіктің 10^3 - 10^8 с құрайтын даму уақыты $\xi_{\text{ж}}$ диэлектриктің жандану уақыты деп аталады. Ол диэлектрикке қойылатын кернеуге және оның температурасына тәуелді болады: кернеу немесе температураның өсуі кезінде $\xi_{\text{ж}}$ әдеттегідей азаяды.

Иондаушы тесік диэлектрикте жарым-жарты зарядтың бітуі

салдарынан болатын иондаушы процестерді қамтамасыз етеді және диэлектрикке оның газ қуыстығында пайда болатын химиялық темір заттың әсерімен түсіндіріледі. Мұндай тесік әуе қосылулары бар диэлектриктерге тән (мысалы, қағаз оқшаулауға). Электр өрісінің әуе қуыстығындағы үлкен кернеулігі кезінде ауаның иондануы және жылу бөлінуі болады, бұл оқшаулаудың ақырындап бұзылуына және $E_{\text{бер}}$ төмендеуіне әкеледі.

| 2-кесте. Кейбір газдардың диэлектрлік өткізгіштігі | | | |
|--|---|--------|--------|
| Газ | Қысым кезіндегі диэлектрлік өткізгіштіктің мәні | | |
| | 0,1 МПа | 2 МПа | 10 МПа |
| Ауа | 1,00058 | 1,0108 | 1,0549 |
| Азот | 1,00058 | 1,0109 | 1,055 |
| Элегаз | 1,0021 | 1,0622 | — |

Газ тәрізді диэлектриктердің тесігі. Газ тәрізді диэлектриктер көптеген электртехникалық құрылғыларда қолданылады: жоғарғы вольтті ажыратқыштарда, газбен толтырылған конденсаторларда, электр станцияларының бөлуші құрылғыларында және т.б. Көп жағдайларда газ тәрізді диэлектриктердің бар болуы сөзсіз. Осылайша, жоғарғы кернеулі электр желілеріндегі, трансформатордың электр оқшаулау түйіндеріндегі ауа негізгі оқшаулайтын орта болып табылады.

Газ тәрізді диэлектриктердің электрлік беріктігі сұйық және қаттымен салыстырғанда үлкен емес. Бірақ газдар келесі бағалы қасиеттерге ие:

- заряд біткеннен кейін электрлік беріктіктің қайта қалпына келуі;
- аз тығыздық (ауа — $1,29 \text{ кг/м}^3$, азот — $1,25 \text{ кг/м}^3$, элегаз — $6,7 \text{ кг/м}^3$);
- жоғарғы меншікті кедергі ($\rho = 10^{18} - 10^{20} \text{ Ом} \cdot \text{м}$);
- төмен диэлектрлік өткізгіштік (табл. 2);
- диэлектрлік шығынның аз бұрышы ($\text{tg}\delta \sim 10^{-6}$);
- тозудың болмауы.

Газ тәрізді диэлектриктердің жоғарғы электр оқшаулайтын қасиеттері төменгі кернеулерде білінеді. Газдың оқшаулайтын

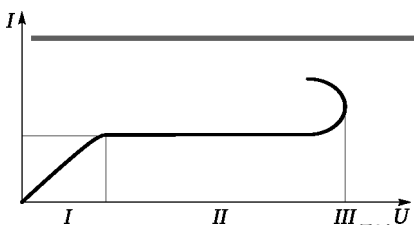
қасиеттері табиғи күйінде оның атомдары мен молекулалары бейтарап (зарядталмаған) бөлшектер болып табылатындығымен түсіндіріледі. Сыртқы иондаушылардың (ғарыштық және күн сәулелері, радиоактивтік сәулелену) әсерінен барлық газдарда аздаған электрлік зарядталған бөлшектер – электрондар мен иондар пайда болады, олар ретсіз жылулық қозғалыста болады, яғни газдың иондаушы процесі болады. Сыртқы электрлік өріс бар болған жағдайда атомдардың электрондық қабықтарының серпімді деформациясы және олардың өздерінің ядроларына қатысты жылжуы пайда болады. Егер газдың молекуласы иондық құрылысқа ие болса, онда бір-біріне қатысты иондардың жылжуы болады. Нәтижесінде электрондық және иондық поляризация болады. Егер газ дипольдік молекулалардан тұрса, онда дипольдік поляризация болады. Газдың атомдары мен молекулаларының поляризация дәрежесі е диэлектрлік өткізгіштікпен сипатталады. Электротехникада қолданылатын газ тәрізді диэлектриктер, полярсыз, және олардың диэлектрлік өткізгіштігі $\epsilon \sim 1$.

Газдың иондануы оның аздаған электрлік өткізгіштікке ие болуына алып келеді. Газдың иондануымен қатар бір мезгілде бейтарап молекулалар мен атомдардың түзілуімен оң және теріс иондардың рекомбинациясы да болады. Электрлік өрістің аз кернеулігі кезінде иондану мен рекомбинация процестерінің арасында теңгерім сақталады.

Әлсіз электрлік өрістер аймағында газдағы тоқ қосылған кернеуге пропорционалды өседі, яғни бұл жерде Ом заңы сақталады. Бұл процеске 13-суретте келтірілген вольт-амперлік сипаттамасы бар I учаскесі сәйкес келеді. Берілген учаскеде газда ионданумен қатар рекомбинация да болып жатады, соның нәтижесінде бейтарап молекулалар пайда болады. Ауаның меншікті өткізгіштігі әлсіз өрістерде шамамен 10^{-15} См/м құрады.

Ары қарай кернеудің өсуі кезінде тоқ пен кернеу арасындағы пропорционалдық бұзылады. Тоқ кернеуге қарағанда баяу өсе бастайды және вольт-амперлік сипаттама иіледі. Кернеудің өсуі оның қандай да бір мәніне жеткен кезде тоқ өткізгіштігінің кернеуге тәуелді болмай қалуына әкеліп соғады. Бұған вольт-амперлік сипаттаманың II көлденең учаскесі сәйкес келеді. Берілген учаскеде сыртқы ионизаторлардың әсерінен диэлектрикте пайда болатын барлық зарядталған бөлшектер электрлік өріс арқылы электродтарға айдалып әкетіледі. Диэлектрикте өтетін тоқ өзінің қанығуына жетеді. Қанықтыру тоғы электродтар арасындағы қашықтыққа тәуелді.

Вольт-амперлік сипаттамасы



13-сурет. Газ көлеміне қосылған кернеуге токтың тәуелділігі

бар *III* учаскесі өзіндік емес разрядқа сәйкес келеді. Мұндай разрядты қолдау үшін разрядты аралықта сыртқы факторлардың әсерінен зарядталған бөлшектердің үнемі пайда болып тұруы қажет.

Газдың иондануы негізінде электрондардың есебінен болады, өйткені оң иондар аз қозғалғыштыққа ие.

Кернеудің ары қарай ұлғаюы кезінде зарядталған бөлшектердің жылдамдығы бірден өседі, соның салдарынан олардың газдың бейтарап бөлшектерімен жиі соқтығысуы болады. Нәтижесінде электрондар өздерінің атомдарынан бөлінеді және жаңа электрлік зарядталған бөлшектер пайда болады: бос электрондар және иондар. Бұл соққы иондану деп аталатын процес газдың тесілуіне әкеліп соғады. Соққы иондану кезінде сыртқы факторлардың әсерінен бос болған бастапқы электрондар процеске қатысады, олар жаңа электрондарды босатады. Соның нәтижесінде, бастапқы электрондық тасқын пайда болады, ол 10^5 м/с жылдамдықпен анодқа қарай жылжиды. Тасқынның жолында электрондар мен оң иондардан тұратын арна пайда болады, онда анод жанындағы тасқынның басында өзінің максимумына жете отырып зарядтардың тығыздығы жылдам өседі. Кернеудің өсуі кезінде тәуелді разряд тәуелсіз болады. Соңғысы сыртқы ионизаторлар жоқ болған жағдайда да қолданылады. Иондар мен электрондардың шоғырлануының ұлғаюы бұл кезде разрядтың өзімен байланысты жаңа қарапайым процестердің есебінен болады. Газ қысымына, сыртқы тізбек кедергісіне, электрлік өрістің біртекті еместік дәрежесіне және басқа да факторларға байланысты разрядтың әр алуан түрлері болуы мүмкін.

Біртекті электрлік өріс бар болғанда, қалыпты атмосфералық қысымда, электродтар арасындағы қашықтық үлкен болғанда және тоқтың әлсіз қуат көзінде ауадағы тесік ұшқын түрінде болады. Разрядтың бұл түрінде жеке электрондық тасқындар тұтас арна жасап қосылады. Көбірек қозғалғыш электрондар анодқа қарай жылдам жылжиды, сондықтан арна негізінде оң иондардан тұрады. Оны стример деп атайды. Стример катодқа қарай 10^6 м/с жылдамдықпен қозғалады. Катодқа жеткен соң ол разрядты аралықты тұйықтайды, соның нәтижесінде ұшқынның басты арнасы пайда болады. Газдың тесіп өтетін кернеуі болып ұшқындық разряд болатын кезі табылады. Егер кернеу көзінің қуаты жеткілікті болса, онда ұшқындық разряд доғалыққа ауыса алады.

Біртекті емес электрлік өрістегі газдың тесігі біртекті өрістегіден ерекшеленеді. Біртекті емес өріс электродтар арасында үш немесе жазықтық түрінде, коаксиалды цилиндрлер арасында, сонымен бірге егер олардың арасындағы қашықтық сфера радиусынан артық болса, сфералық беттер арасында пайда болады.

Біртекті емес электрлік өрістегі газдың тесігі біртекті электрлік өрістегі газдың сондай қабатындағы тесігімен салыстырғанда аз кернеуде болады. Бастапқыда радиусы аз электродтың газ қабатының

толық емес электрлік бұзылуы басталады, себебі оның бетінде электрлік өрістің ең үлкен кернеулігі байқалады. Кернеу жоғарылаған кезде тәж түріндегі разряд пайда болады. Кернеу ары қарай жоғарылаған кезде тәж ұшқындық разрядқа, ал қуат көзінің жеткілікті қуатында – доғалыққа ауысады.

Біртекті электрлік өрісте тұрақты температурада газ қабатының тесіп өтетін кернеуі

$$U_{\text{пр}} = A p h,$$

мұнда A — коэффициент; p — газ қысымы; h — электродтар арасындағы қашықтық.

Газдың электрлік беріктігі күшті дәрежеде оның тығыздығына тәуелді, яғни $t = \text{const}$ болған кездегі тығыздыққа, сондықтан белгілі температура мен қысым кезінде ауаның тесіп өтетін кернеуін есептеу үшін мына формула қолданылады

$$U_{\text{пр}} = U_{\text{пр}0} \delta,$$

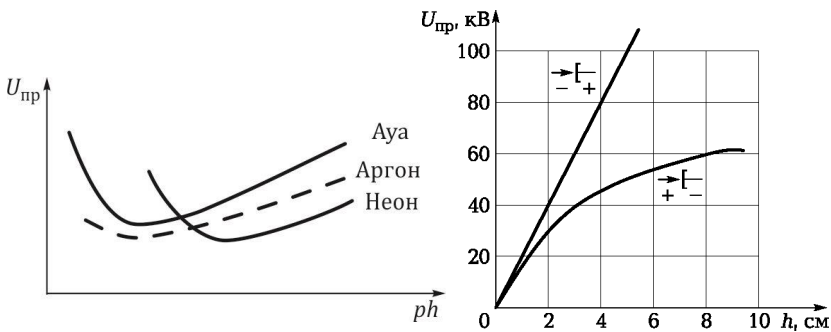
мұнда $U_{\text{пр}0}$ — қалыпты жағдайдағы тесіп өтетін кернеу; δ — ауаның салыстырмалы тығыздығы.

Салыстырмалы тығыздық мына формуламен есептеледі

$$\delta = 0,386 \frac{p}{t + 273}$$

мұнда t — ауа температурасы, °C; p — ауа қысымы, сын. бағ.мм.

Газдың тесіп өтетін кернеуі оның қысымы өскенде және электродтар арасындағы газдық қабаттың ұлғаюы кезінде өседі. Үлкен қысымдарда жеке молекулалар арасындағы қашықтық азая түседі, электрондардың еркін жүрісінің ұзындығы және иондануға қажетті зарядталған бөлшектердің қосымша энергиясы азаяды, өріс кернеуінің өсуі есебінен алына алады. Электродтар арасындағы қысым мен қашықтықтың азаюымен тесіп өтетін кернеу әуелі ең төменгі деңгейге дейін төмендейді (ауа үшін $U_{\text{пр} \text{ min}} = 280 \text{ В}$), ал содан кейін өсе бастайды (14-сурет). Бұл сиретілген газ аймағында ионданудың нысандары болып табылатын атомдар мен молекулалар санының бірден азаюымен түсіндіріледі, демек соққы иондану процесі көбірек жоғары кернеу кезінде болады.



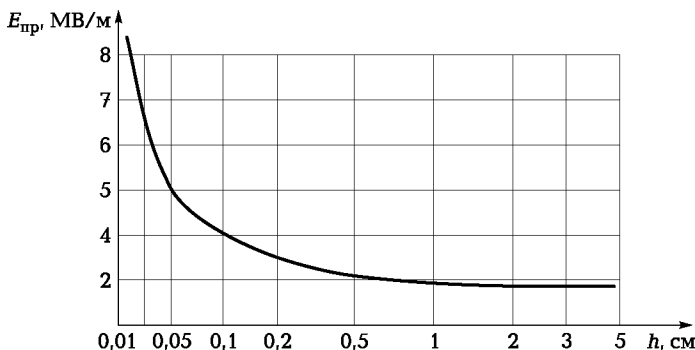
14-сурет. Әртүрлі газдардың тесіп өтетін кернеуінің p қысым туындысы мен h электродтар арасындағы қашықтыққа тәуелділігі

15-сурет. Қарама-қарсылықтың екі нұсқасы кезінде ұш және жазықтық түріндегі электродтар арасындағы ауаның тесіп өтетін кернеуінің тәуелділігі

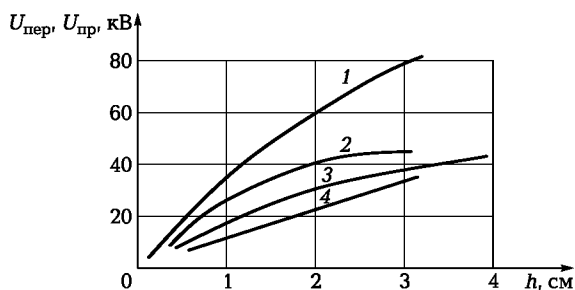
Біртекті емес өрісте газдың тесігі электродтардың қарама-қарсылығына тәуелді болады. Оң зарядталған ұш пен теріс зарядталған жазықтық кезіндегі тесіп өтетін кернеу теріс зарядталған ұш пен оң зарядталған жазықтық кезіндегіден аз болады (15-сурет). Электродтар арасындағы қашықтық екі жағдайда да өзгеріссіз қалады. Мұндай тәуелділік ұш айналасында теріс зарядталған жазықтыққа қарай оң зарядталған иондардың жиналуымен түсіндіріледі, яғни ұш ұшқындық разрядқа жолды қысқарта отырып газ қоюлығына араласа шығады. Газ тәрізді диэлектриктің тесіп шығатын кернеуін жоғарылату үшін және электр тәжінің пайда болуын болдырмау үшін электродтардың үшкір шеттерін жұмырлау қажет. Электродтар арасындағы h аз қашықтық кезінде ауаның электрлік беріктігінің едәуір ұлғайғаны байқалады (16-сурет). Бұл иондану процесінің дамуы электрондардың бос жүрісінің жалпы ұзындығы аз болғандығынан қиындайтындығымен түсіндіріледі. Газ тесілуінің процесі өте жылдам болатындықтан, ауыспалы кернеу кезіндегі электрлік беріктік мәні (немесе газдық аралықтың тесіп өтетін кернеуі) қолданыстағы мәнді еселеп жоғарылататын тесіп өтетін кернеудің амплитудалық мәнімен анықталады:

$$U_{пр\ m} = \sqrt{2}U_{пр}$$

Тәжірибеде газдың қатты диэлектрикпен шекте тесілу жағдайы кездеседі. Екі ортаның бөлігінің шегі бойынша разрядты жабын деп атайды. $и_{жаб}$ жабын кернеуі (17-суреттегі 2, 3 және 4 қисықтары) электродтар арасындағы дәл сондай қашықтықта таза газдық аралықтың (1 қисығы) $U_{пр}$ тесіп өтетін кернеуінен әрқашан аз болады.



16-сурет. Ауаның электрлік беріктігінің қалыпты жағдайда ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $0,1\text{ МПа}$) біртекті электрлік өрісте электродтар арасындағы қашықтыққа тәуелділігі



17-сурет. Ауадағы жабын кернеуінің сәйкес ауалық аралықтың тесіп өтетін кернеуімен салыстырғанда әртүрлі материалдар үшін электродтар арасындағы қашықтыққа тәуелділіктері (біртекті өріс, жеткізілетін кернеудің жиілігі 50 Гц):

1 – ауалық аралықтың тесіп өтетін кернеуінің қисығы; 2–4 – жабын кернеуінің қисықтары парафин үшін (2), фарфор үшін (3) нашар түйісу кезіндегі әйнек үшін (4)

Мұны қабаттарының қалыңдығы әртүрлі болатын және салыстырмалы диэлектрлік өткізгіштігі бар жазық екі қабат конденсаторды елестете отырып түсіндіруге болады. Газ қалыңдығында ϵ диэлектрлік өткізгіштігі және электрлік беріктігі аз болады, сондықтан ол тиімсіз жағдайда қалады. Үлкен диэлектрлік өткізгіштігі бар қатты диэлектриктің қабаты жеңілдетілуге және электрлік кернеудің бір бөлігін газды қабатқа ауыстырып қоюға талпынады.

Ауаның электрлік беріктігі үлкен емес болғандықтан, газдық оқшаулауды жоғарылату үшін жоғары беріктілікті сығымдалған газдарды пайдаланады, мысалы элегазды (SeF_6), оның тығыздығы $6\text{ }700\text{ кг/м}^3$ ($t = 0^{\circ}\text{C}$ және $p = 0,1\text{ МПа}$ кезінде), диэлектрлік өткізгіштігі $\epsilon = 1,0021$ ($p = 0,1\text{ МПа}$ кезінде), элек+Втрлік беріктігі $E_{\text{бер}} = 7,2\text{ МВ/м}$

болады. Үлкен электрлік беріктігінен басқа элегаз жоғары доға сөндіргіш қасиетке ие. Көрсетілген қасиеттерінің арқасында ол ажыратқыштарда, жоғары вольтті кабельдерде, бөлуші құрылғыларда қолданылады.

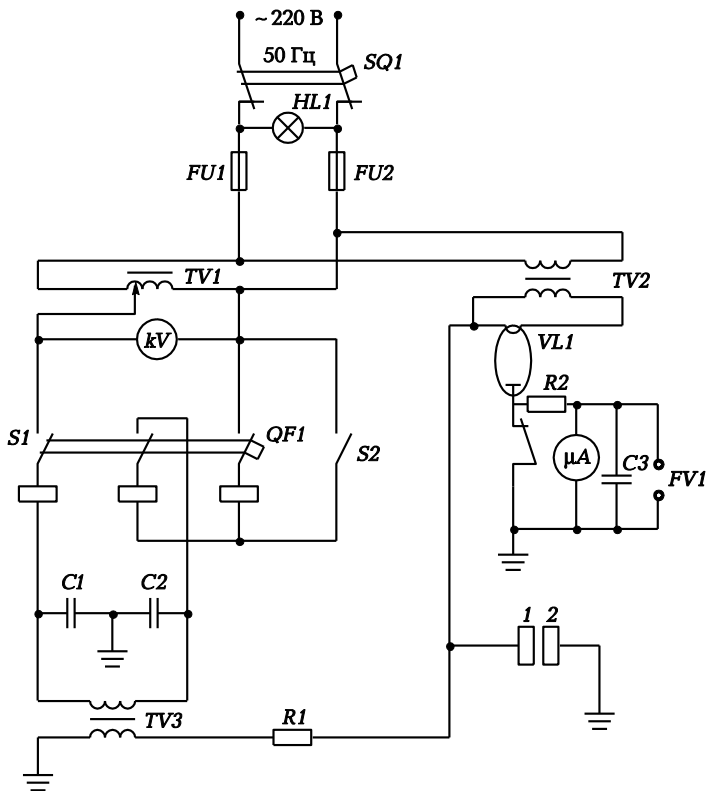
Стендтің құрылысы мен жұмыс қағидаты

АИИ-70 түріндегі оқшаулауды сынауға арналған аппараттың жұмыс қағидаты

Сұйық және қатты диэлектриктердің үлгілерінің тесіп өтетін кернеуін өлшеу сериялы шығарылатын қондырғылардың көмегімен орындала алады.

Зертханалық жұмыста $I_{пр}$ материалдарын анықтау және кабельдердің оқшаулауды сынауға арналған АИИ-70 (18-сурет) оқшаулауды сынауға арналған аппарат қолданылады. Сынау кезінде ең көп кернеу ауыспалы тоқта 50 кВ, тұрақты тоқта – 70 кВ, жоғары вольтті трансформатордың қуаты 2 кВ • А құрайды.

Кернеу желіден $SQ1$ блокадалық түйісулер және $FU1$, $FU2$ сақтандырғыштары арқылы кернеудің бірқалыпты өзгеруі үшін қызмет атқаратын $TV1$ реттеуіш автотрансформаторына және $TV2$ кенотронның қызу трансформаторына жиынтықталады. Жоғары кернеуді беру үш орамды $QF1$ автоматты ажыратқышты (автоматты) қосумен жүзеге асырылады. Оның екеуі реттілікпен қосылған (әрі бірі $S2$ қорғау ауыстырып-қосқышымен тұйықталады). Бұл ауыстырып-қосқыштың алшақ тұрған жағдайы «сезгіш» қорғауға сәйкес: автомат ауыспалы тоқ жағында тесілу кезінде іске қосылады және егер түзетілген кернеу тізбегіндегі тоқ 5 мА асып түспесе қосулы күйінде қалады. $S2$ ауыстырып-қосқыш тұйықталса, «өрескел» қорғау жүзеге асырылады: жоғары кернеу жағындағы қысқа тұйықталу кезінде автомат іске қосылмайды және егерп қуат жоғары кернеу жағында 50 кВ кернеу кезінде 2 кВ • А асып түспесе қосулы күйінде қалады. Мұндай режим 1 минуттан артық созылмауы тиіс. Үлгідегі кернеуді өлшеу төменгі кернеу жағында 1,5 топтағы kV киловольтметрмен жасалады. $C1$, $C2$ конденсаторлары бастапқы орамның тоқ кернеуінің ұлғаюынан қорғау үшін қызмет атқарады.



18-сурет. Ауыспалы тоқта тесіп өтетін кернеуді өлшеуге арналған АИИ-70 аппаратының қағидалық сызбасы:

QF1 – автоматты ажыратқыш; *SQ1* – блокадалайтын түйісулер; *S1*, *S2* – қорғаудың ауыстырып-қосқыштары; *VL1* – кенотрон; *FU1*, *FU2* – сақтандырғыштар; *HL1* – сигнал шамы; *TV1* – реттеуіш автотрансформатор; *TV2* – кенотрон қызуының трансформаторы; *TV3* – кернеуді жоғарылатуға арналған сынақтық трансформатор; *FV1* – электр тоғын ажыратушы; μA – микроамперметр; *kV* – киловольтметр; *C1* – *C3* – конденсаторлар; *R1*, *R2* – резисторлар; 1, 2 – электродтар

Кернеуді қоректендіретін қисықтың синусоидалық түрінде бос жүріс режимінде жоғары вольтті трансформатордың қосымша кернеуі синусоидалықтан 5%-дан артық емес болып ерекшеленеді. Резистор *R1* трансформаторды үлгінің іркілісінде жүктеуден қорғау үшін қызмет етеді. Аппарат сұйық материалдардың стандартты сынағы үшін электродтары бар ыдыстан тұрады.

Тұрақты тоқта сынақты біржарты периодты түзету көмегімен жасайды, ол үшін *VL1* кенотроны қолданылады. Үлгіге теріс қарама-қарсылықтың тұрақты кернеуі беріледі. Токтың кемуін өлшеу үшін

анодты тізбекте ЦА микроамперметр қызмет атқарады. Микроамперметрді жүктемеден қорғау FVI электр тоғын ажыратушымен, $C3$ тұйықтағыш конденсатормен және $R2$ резистормен жүзеге асырылады. Аппарат сыналатын үлгіден зарядты алу үшін және жоғары кернеудің шығысын жерге тұйықтау үшін басқару пультімен, қорғаныс қоршауымен және жерге тұйықтаушы штангасымен жабдықталған. Сыналатын кернеуді өлшеу кезіндегі қателік $\pm 2\%$ -дан аспайды.

Сынақ тәртіптері

АИИ-70 аппаратының көмегімен сынақтар келесі үш тәртіпте жасалады:

1. 3 минут аралықтарымен ұзақтығы 10 минуттан аспайтын 70 кВ дейін түзетілген кернеуімен қысқа уақытты сынақ;
2. Ұзақтығы 8 сағатқа дейін түзетілген кернеуімен ұзақ сынақ;
3. 5 минут аралықтарымен ұзақтығы 1 минуттан аспайтын 50 кВ дейін ауыспалы кернеуімен қысқа мерзімді сынақ.

Жұмысты орындау тәртібі

1. Зертханалық қондырғының сызбасымен танысыңыз, АИИ-70 аппаратының құрылысы мен жұмыс қағидатын оқып үйреніңіз.

Зертханалық қондырғыны желіге қосқанға дейін:

- электродтарды жоғары вольтті бұдырларға қосыңыз;
- электродтар арасына берілген қашықтықты орнатыңыз;
- автотрансформатордың тұтқасын нөлдік жағдайға ауыстырыңыз.

2. Зертханалық қондырғыны желіге QFI автоматты қосқышпен қосыңыз. TVI реттеуіш автотрансформаторының көмегімен кернеуді нөлден $i_{тес}$ -ге дейін 1 кВ/с жылдамдықпен жоғарылатыңыз. Тесілу алдында тесіп өтетін кернеудің мәнін вольтметрдің ең үлкен көрсеткіші бойынша бекітіңіз. Тесілгеннен кейін TVI автотрансформатордың тұтқасын нөлдік жағдайға қойыңыз және қондырғыны өшіріңіз.

3. Түсіндірілген әдістеме бойынша электродтардың жазықтық – жазықтық жүйесі кезінде біртекті электрлік өрісте ауаның $i_{тес} = f(h)$ тәуелділігін алыңыз. 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 және 4.0 см жазық электродтар арасындағы h қашықтығы кезінде тесіп өтетін кернеудің мәнін анықтаңыз. Алынған мәліметтер бойынша $E_{бер}$ ауаның электрлік беріктігін есептеңіз. Сынақ пен есептеудің нәтижелерін 3-кестеге жазыңыз.

4. Электродтардың шар – жазықтық жүйесі кезінде біртекті

электрлік өрісте ауаның $u_{мес} = f(h)$ тәуелділігін алыңыз. Электродтар арасындағы қашықтықты 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 және 3,0 см етіп алыңыз. Алынған мәліметтер бойынша $E_{бер}$ ауаның электрлік беріктігін есептеңіз. Сынақ пен есептеудің нәтижелерін 4-кестеге жазыңыз.

5. Электродтардың ине – жазықтық жүйесі кезінде біртекті емес электрлік өрісте ауаның $u_{тес} = f(h)$ тәуелділігін алыңыз. Электродтар арасындағы қашықтықты 1,0; 1,5; 2,0 және 3,0 см етіп алыңыз. Алынған мәліметтер бойынша $E_{бер}$ ауаның электрлік беріктігін есептеңіз. Сынақ пен есептеудің нәтижелерін 5-кестеге жазыңыз.

3-кесте. Біртекті электрлік өрісте ауаның электрлік беріктігін зерттеу нәтижелері (электродтардың жазықтық – жазықтық жүйесі)

| Электродтардың арасындағы қашықтық h , м | Тесіп өтетін кернеу $u_{мес}$, В | Электрлік беріктік $E_{бер}$, В/м |
|--|-----------------------------------|------------------------------------|
| | | |

4-кесте. Біртекті электрлік өрісте ауаның электрлік беріктігін зерттеу нәтижелері (электродтардың шар – жазықтық жүйесі)

| Электродтардың арасындағы қашықтық h , м | Тесіп өтетін кернеу $u_{мес}$, В | Электрлік беріктік $E_{бер}$, В/м |
|--|-----------------------------------|------------------------------------|
| | | |

5-кесте. Біртекті емес электрлік өрісте ауаның электрлік беріктігін зерттеу нәтижелері (электродтардың ине – жазықтық жүйесі)

| Электродтардың арасындағы қашықтық h , м | Тесіп өтетін кернеу $u_{мес}$, В | Электрлік беріктік $E_{бер}$, В/м |
|--|-----------------------------------|------------------------------------|
| | | |

СЫНАҚҚА АРНАЛҒАН СҰРАҚТАР

1. Газ тәрізді диэлектриктерде электр өткізгіштік процесі қалай болады?
2. Неліктен диэлектриктер электрлік беріктігін жоғалтады? Тесікті қандай параметрлер сипаттайды? Ауаның тесілу механизмін түсіндіріңіз.
3. Электрлік, электржылулық, электрхимиялық және иондаушы тесілу процесі нені білдіреді?
4. Газ тәрізді диэлектриктердің электр оқшаулау материалдарының басқа түрлерінен артықшылығы қандай?
5. Диэлектриктің поляризациясы деп нені атайды? Поляризацияның қандай түрлерін шапшаң, ал қандай түрлерін баяу деп есептеуге болады? Поляризация түрлері мен диэлектрліктің шығындар механизмі арасындағы өзара байланысты орнатыңыз.
6. Ауаның тесіп өтетін кернеуі бірдей ауысады ма, егер оның қыздыруы: а) тұрақты қысымда; б) тұрақты көлемде жасасаңыз?
7. Газдың қысымы оның электрлік беріктігіне және иондаушы шығындарына қалай әсер етеді?
8. Біртекті және біртекті емес электрлік өрістегі газдың тесілуінің арасындағы айырмашылық неде? Газда біртекті өрісті қалай құруға болады? Неліктен электродтар арасындағы қашықтық ұлғайған кезде біртекті өрістегі газдың тесіп өтетін кернеуі өседі?
9. Қандай электртехникалық құрылғыларда диэлектрик ретінде ауа қолданылады?
10. Басқа газдарды электр оқшаулау материалдары ретінде қолданудың мысалдарын келтіріңіз. Неге олар ауа орнына қолданылады?
11. Электродтардың түрлері ауаның электрлік беріктігіне қандай әсерін тигізеді?
12. Қандай жағдайларда газдың өздігінше разряды пайда болады?
13. Электр оқшаулау материалдары үшін қандай жағдайларда Ом заңы сақталады?
14. Ауаның тесіп өтетін кернеуінің тұрақты қысым кезінде электродтар арасындағы қашықтыққа тәуелділігін кесте түрінде бейнелеңіз.
15. Егер қысым бастапқыдан азайса кестенің түрі қалай өзгереді?
16. Газдың тесіп өтетін кернеуінің электродтар арасындағы әртүрлі қашықтықтар кезінде қысымға тәуелділігін кесте түрінде бейнелеңіз.

ТРАНСФОРМАТОРЛЫҚ МАЙДЫҢ ЭЛЕКТРЛІК БЕРІКТІГІН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты:

1. Майдың тұтану температурасын анықтауға арналған ПВНЭ құралымен танысу;
2. Майдың тұтану температурасын анықтау тәсілімен танысу;
3. Майдың сыналатын үлгісі талап етілетін нормаға сәйкес келетіндігін анықтау.

Теориялық негіздер

Трансформаторлық май оқшаулаудың электрлік беріктігін жоғарылату үшін, жылуды конвекциямен бұру үшін, майлы ажыратқыштарда доға сөндіру үшін қолданылады.

Сұйық диэлектриктердің жанғыштығының, олардың буының ауамен қоспасының жарылу қауіптілігі сияқты, берілген жағдайларда сұйық диэлектриктерді пайдалану мүмкіндігін анықтау кезінде айтарлықтай маңызы бар. Жабдыққа құйылған майды келесі параметрлері бойынша тексереді: қышқылдық сан, судың және механикалық қоспаның бар болуы, тесіп өтетін кернеу, диэлектрлік шығындар бұрышының тангенсі, тұтану температурасы.

Тұтану температурасы деп жабық ыдыста қыздырылатын майдың буы, оған отты жақындатқанда тұтанатын қоспаны ауамен бірге жасаған кездегі температураны атайды. Трансформаторлық майдың буының тұтану температурасы 135°C төмен болмауы керек. Пайдалану барысында тұтану температурасының 5°C артық төмендеуіне жол берілмейді.

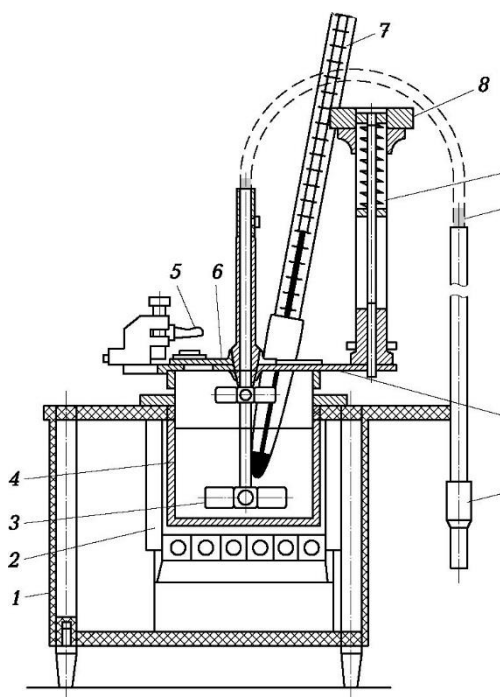
Тұтану температурасы майдың буланғыштығын сипаттайды. Аппараттар мен трансформаторлардың қалыпты жұмыс жасауы кезінде жеңіл фракциялардың буға айналуының салдарынан майдың тұтану температурасы біртіндеп өседі, алайда кейде ол бірден азаяды, бұл майдың бүлінуіне әкелетін бұзылуды қамтамасыз ететін аппарат немесе трансформатордың ішіндегі крекинг-процестің салдары болып табылады (орамдардың қысқа тұйықталуы, түйісулердің бұзылуы т.с.с.).

Апаттарды болдырмау және трансформаторлар мен аппараттардың бұзылуларын анықтау үшін майдың тұтануының температурасын қайта-қайта анықтау қарастырылған. Оның төмендеуі трансформаторда немесе аппаратта ақаудың бар екендігінің белгісі болып табылады.

Стендтің құрылысы мен жұмыс қағидаты

Сұйықтық тұтануының температурасын ПВНЭ құралының көмегімен анықтайды (19-сурет).

ПВНЭ құралын 3 орнатылатын бұрандасы бар арнайы платформада орнатады. Ол 1 металл қаптамамен жабылған, оның ішінде ортасында электрмен жылыту ваннасы болып табылатын 2 металл цилиндр бекітілген. Асбест төселген бүйірлік бет және цилиндрдің түбі арқылы электрлік шиыршық өтеді, оның соңдары сыналатын сұйықтықты жылыту жылдамдығын біртіндеп өзгертуге мүмкіндік беретін зертханалық автотрансформатор (ЛАТР) – кернеуді реттеуіш арқылы ауыспалы тоқтың желісіне қосылу үшін қаптамааның сыртқы бетіндегі



19-сурет. ПВНЭ құралы:

1 – металл қаптама; 2 – металл цилиндр (электрмен жылыту ваннасы); 3 – араластырғыш; 4 – отбақыр; 5 – білтесі бар жанарғы; 6 – жапқыш; 7 – термометр; 8 – бастиек; 9 – бағана; 10 – икемді беріліс; 11 – қақпақ; 12 – тұтқа

екі қысқышқа шығарылған. Цилиндрдің ішіне сыналатын бұйым үшін 4 отбақыры қойылған. Оның жоғарғы бөлігінде сызыкіз бар, ол отбақырдың сыналатын сұйықтықпен толу шегін көрсетеді.

Тұтану температурасын дәл анықтау үшін құралда сыналатын сұйықтықты (қалақтың астыңғы жұбы) және оның буының ауамен коспасын (қалақтың үстіңгі жұбы) отбақырда қыздыру кезінде араластыру үшін 3 араластырғышы болады. Араластырғыш айналымға 10 икемді берілісімен 12 тұтқасын басу арқылы келтіріледі.

4 стақаны 11 қақпағымен қатты жабылған, оның трапеция түріндегі пішінде үш тесігі бар. Жұмыс істемей тұрған жағдайында олар қақпақтың ортаңғы және бүйірлік тесіктеріне сәйкес келетін екі тесігі бар 6 жапқышымен жабылады. Жапқыш 8 бастиегімен 9 бағанасымен бірге бұрылады. Қақпақта сонымен бірге араластырғыш пен 7 термометріне арналған екі дөңгелек тесік бар. Қақпақта шетмойынның бағанасында 5 білтесі бар жанарғы орнатылған.

8 бастиегі айналған кезде 9 бағанасы арқылы өтегін серіппе, иінтірек арқылы 6 жапқышын бұрады, ол 11 қақпағының ортаңғы тесігін ашады. Ол өзінің ұзындығының 3/5 ашылған кезде (шеңбер бойынша), қақпақтың бүйірлік тесіктері де ашылады. Бір мезгілде тік жазықтықта 5 білтесі бар жанарғы да иіледі. Жапқыш пен қақпақтың тесіктерінің бір-біріне толық сәйкес келуі кезінде, жанарғының білтелік түтігінің соңы ортаңғы тесікке қақпақ қалыңдығының ортасына дейін түседі және осы мезгілде аз уақытқа сұйықтықтың бетінде от пайда болады. Осы тұтанудың сәті болып табылады. 7 термометрі сыналатын сұйықтықтың тұтануының температурасын көрсетеді. 8 бастиегін жіберген кезде жапқыш және жанарғы автоматты түрде бастапқы қалпына оралады, соның нәтижесінде қақпақтың тесіктері жапқышпен жабылады.

Жұмысты орындау тәртібі

1. Сынақ алдында 4 отбақырын бензинмен жуыңыз, жақсылап кептіріңіз. Майдың сынамасын отбақырға сақиналық белгісіне дейін құйыңыз. Отбақырды 2 электрмен жылыту ваннасына орналастырыңыз және 11 қақпағымен жабыңыз.

2. Отбақыр қақпағының түтігіне 7 термометрін ол 3 араластырғыш қалақтарына тимейтіндей етіп орнатыңыз.

3. ПВНЭ құралын желіге ЛАТР арқылы қосыңыз. Майдың қызуы ол кезде минутына 5°C жылдамдықпен болатындай кернеу орнатыңыз.

4. За 10°C тұтанудың шамаланған температурасына дейін қызу жылдамдығын минутына 2°C-қа дейін, ал 5°C тұтану температурасына дейін – минутына 1°C-қа дейін төмендетіңіз. Май және оның үстінде пайда болатын буды 3 араластырғышымен үнемі араластырып

отырыңыз.

5. Тұтануға сынаманы 10°C майдың тұтануының шамаланған температурасына дейін бастаңыз. Ол үшін 6 жапқышын тез ашыңыз және жанарғының отын отбақырға бағыттаңыз. Отты оның пішіні диаметрі 3-4 мм болатын шарға жақын болатындай етіп реттеңіз. Тұтану болып майдың бетінде жылдам өтетін көгілдір оттың пайда болуы табылады.

6. Майдың буының ауамен қоспасы кезінде тұтанатын $\xi_{и}$ майдың өлшенген температурасын жазыңыз.

7. Тәжірибені үш-төрт рет қайталаңыз және $t_{н \text{ орт}}$ тұтанудың өлшенген температурасының орташа мәнін табыңыз.

8. Д тұтанудың нақты температурасын, яғни қалыпты атмосфералық жағдайға келтірілген температурасын есептеңіз. Ол үшін тұтанудың өлшенген температураларының орташа мәніне мына формуламен анықталатын барометрлік қысымға жөндеуді қосыңыз

$$At = 0,0345(760 - p),$$

мұнда p — сынақ кезіндегі барометрлік қысым, мм рт. ст.

9. Өлшеу және есептеу нәтижелерін б-кестеге жазыңыз.

6-кесте. Тұтану температурасының өлшеу және есептеу нәтижелері

| Тәжірибе нөмірі | Сыналатын сұйықтық | Тұтанудың өлшенген температурасы $t_{н}, ^{\circ}\text{C}$ | Тұтанудың өлшенген температураларының орташа мәні $t_{и \text{ орт}}$ $^{\circ}\text{C}$ | Барометрлік қысымға жөндеу $At, ^{\circ}\text{C}$ | Тұтанудың нақты температурасы $t_s = t_{н \text{ орт}} + ^{\circ}\text{C}$ |
|-----------------|--------------------|--|--|---|--|
| | | | | | |

СЫНАҚҚА АРНАЛҒАН СҰРАҚТАР

1. Сұйық диэлектриктерге мысал келтіріңдер.
2. Трансформаторлық май дегеніміз не?
3. Трансформаторлық майдың негізгі сипаттамаларын атаңыз.
4. Тұтану температурасы деген не?
5. Трансформаторлық майдың тұтану температурасына не әсер етеді?
6. Трансформаторлық майдың тұтану температурасын қандай жолдармен жоғарылатуға болады?

7. Неліктен майдың тұтану температурасы неғұрлым жоғары болуы тиіс?
8. Майдың тұтану температурасын қалай анықтайды?

№4 зертханалық жұмыс

МЕТАЛДАРДЫҢ ЭЛЕКТР ӨТКІЗГІШТІГІН ЗЕРТТЕУ

Жұмыстың мақсаты: классикалық және квант теориясының көзқарасымен металл өткізгіштердің электр өткізгіштігі туралы түсінік алу.

Теориялық негіздер

Металдардың электр өткізгіштігі. Арнайы қойылған тәжірибелер электр тоғы өткен кезде металл өткізгіштердің массасы тұрақты болып қалатындығын көрсетті, сонымен бірге олардың химиялық құрамы да өзгермейді. Осының нәтижесінде электр тоғын металдарда тудыру үшін тек электрондар қатысады деген ұйғарымға келуге болады. Металдағы электр тоғының электрондық табиғаты туралы ұйғарым Мандельштам мен Папалекси (1913 ж.), сонымен бірге Стюарт пен Толмен (1916 ж.) зерттеулері арқылы дәлелденген. Бұл тәжірибелердің идеялары егер электронның массасы болса, онда ол қозғалыстың сәйкес инерциясына ие болуы керек екендігінен тұрады. Сондықтан, егер металл өткізгішті қозғалысқа келтіретін болсақ, онда оның кенеттен тоқтап қалуы кезінде электрондар инерция арқылы қозғалысын жалғастыра береді, соның нәтижесінде электр тоғының әсері құрылады, ол сәйкесінше айтарлықтай сезгіш құралдармен өлшене алады. Тоқтың пайда болуы расында айқындалды. Осылайша, металдарда электр тоғын тасушылар болып бос электрондар немесе өткізгіштіктің электрондары табылатындығы дәлелденді.

Металдардағы бос электрондардың болуын былайша түсіндіруге болады: металдың кристалды торы пайда болу кезінде (оқшауланған атомдардың жақындасуы нәтижесінде) атом ядроларымен салыстырмалы түрде әлсіз байланыстағы валентті электрондар металл атомдарынан бөлінеді және бүкіл аумақта орын ауыстыру мүмкіндігіне ие болады.

Осылайша, металдың кристалды торының түйіндерінде металдың иондары орналасады, ал олардың арасында өзгеше электрондық газ түзе отырып, бос электрондар бейберекет қозғалыста болады, бұл газ металдың электрондық теориясына сәйкес, мінсіз газдың қасиеттеріне

ие.

Өткізгіштік электрондары өздерінің қозғалысы кезінде тордың иондарымен соқтығысады, соның нәтижесінде электрондық газ бен тор арасында термодинамикалық тепе-теңдік орнатылады. Друде — Лоренцтің классикалық теориясы бойынша электрондар бір атомды газдың молекулалары сияқты жылулық қозғалыстың дәл сондай энергиясына ие. Сондықтан, молекула-кинетикалық теорияның тұжырымын қолдана отырып, v_T электрондардың жылулық қозғалысының орташа жылдамдығын табуға болады, ол $T = 300$ К кезінде $1,1 \cdot 10^5$ м/с тең. Электрондардың жылулық қозғалысы, ретсіз бола отырып, тоқтың пайда болуына әкеліп соқпайды.

Сыртқы электрлік өрісті металл өткізгішке салу кезінде, электрондардың жылулық қозғалысынан басқа, олардың реттелген қозғалысы, яғни электр тоғы пайда болады. Электрондардың V реттелген қозғалысының орташа жылдамдығын тоқтың тығыздығы үшін арналған формуланы пайдалана отырып бағалауға болады

$$j = ne\bar{v}$$

мұнда n — тоқты тасушылардың шоғырлануы; e — электронның заряды.

10^7 А/м² тоқтың ұйғарынды тығыздығын таңдап (мысалы, мыс сымдар үшін), $n = 8 \cdot 10^{28}$ м⁻³ кезінде электрондардың реттелген қозғалысының орташа жылдамдығы $7,8 \cdot 10^{-4}$ м/с тең болатындығын аламыз. Сондықтан $V \ll V_T$, яғни тоқтың өте үлкен тығыздығы кезінде электр тоғын қамтамасыз ететін электрондардың реттелген қозғалысының орташа жылдамдығы, олардың жылулық қозғалысының жылдамдығынан айтарлықтай аз болады.

Алынған нәтиже, электрлік сигналдардың үлкен қашықтықтарға іс жүзінде шапшаң берілетіндігіне қайшы келетін сияқты болады. Өңгіме мынада, электрлік тізбектің тұйықталуы электрлік өрістің $c = 3 \cdot 10^8$ м/с жылдамдықпен таралуына алып келеді. Тізбек айналасында стационарлық электрлік өріс орнатылады, және осы тізбекте электрондардың реттелген қозғалысы басталады. Міне, сондықтан электр тоғы тізбекте іс жүзінде оның тұйықталуымен бір мезгілде пайда болады.

Сонымен, металдағы электр тоғы — бұл қозғалыстағы электрондардың ағыны. Электрондардың қозғалысы өткізгіште электрлік өрістің бар болуымен шартталған. Өрістің электрондарға ықпал ету күші E электрлік өрістің кернеулігіне тәуелді болғандықтан, j тоқтың тығыздығы да E кернеулігіне тәуелді деп болжауға болады.

Тәжірибе көрсеткендей, әлсіз өрістер жағдайында көптеген өткізгіштер үшін тоқтың тығыздығы мен сыртқы өрістің кернеулігі

арасындағы пропорционалдық жақсы сақталады:

$$j = \lambda E.$$

Берілген байланыс тоқтың тығыздығы үшін дифференциалды формадағы Ом заңы деп аталады. X пропорционалдық коэффициенті меншікті электр өткізгіштік деп аталады.

Ом заңы. Егер өткізгіш жағдайы өзгеріссіз болып қалса (оның температурасы және т.б. өзгермесе), онда әрбір өткізгіш үшін өткізгіш соңына қосылған U кернеуі мен ондағы I тоқ күші арасындағы мәндел тәуелділік бар болады. Бұл тәуелділік берілген өткізгіштің вольт-амперлік сипаттамасы деп аталады.

Көптеген өткізгіштер үшін, әсіресе металдар үшін, тоқ күші қосылған кернеуге пропорционалды болады:

$$I = \Delta U. \quad (4)$$

Келтірілген өрнек тізбек учаскесі үшін Ом заңы деп аталады.

Δ пропорционалдық коэффициенті өткізгіштің электр өткізгіштігі деп, ал электр өткізгіштікке кері шама, – электрлік кедергі деп аталады.

Егер өткізгіштің кедергісін R арқылы белгілесек, онда

$$\Delta = \frac{1}{R}. \quad (5)$$

Ом заңы мына түрде жазылады

$$I = \frac{U}{R}.$$

Кедергі өлшемі Ом қызмет атқарады. Бұл оның соңдары арасындағы кернеу 1 В болған кезде 1 А тоқ күші бар болатын өткізгіштің кедергісі. Электр өткізгіштіктің өлшемі болып сименс (См): $1 \text{ См} = 1 \text{ Ом}^{-1}$ табылады.

Кедергі өткізгіштің зат түріне, оның геометриялық өлшемдері мен пішініне, сонымен қатар өткізгіштің жағдайына тәуелді болады. Егер өткізгіштер тұрақты көлденең қиманың (сымның) цилиндрі пішінінде болса, бұл тәуелділік өте қарапайым болады.

Бұл жағдайда

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (6)$$

мұнда l — өткізгіш ұзындығы; S — оның көлденең қимасының ауданы.

Заттың түрі мен оның жағдайына тәуелді ρ пропорционалдық коэффициенті, берілген заттың меншікті кедергісі деп аталады.

Меншікті кедергінің бірлігі – Ом • м. меншікті кедергіге кері шама, заттың меншікті электр өткізгіштігі деп аталады.

ρ меншікті кедергі және X меншікті электр өткізгіштігі өзара мына қатынаспен байланысты

$$I = \frac{1}{\rho} \quad (7)$$

Металдағы электрондардың реттелген қозғалысы үйкелумен жасалады, ол электрондардың тор иондарымен соқтығысуы әсерінен болған және газдардағы ішкі үйкеліске ұқсас. Демек, классикалық ұғым көзқарасымен, электрлік кедергінің себебі электрондардың металл торларының оң иондарымен соқтығысуында екенін ұғамыз. Алайда, электрондардың толқындық қасиеттерін ескере отырып, квант теориясы, бұл тұжырымға едәуір жөндеу енгізеді. Электрлік кедергінің себебі электрондық толқындар тор түйіндерінің жылулық ауытқуларының салдарынан тордың бұрмалауында жайылып тарауында (тығыздықтың толқындануында) болады, бұл электрондардың тор иондарымен емес, ондағы әртектіліктермен (бұрмалаулармен) соқтығысуына сәйкес келеді. Электрондық толқындардың әртектіліктерде жайылып тарауы жылулық ауытқулармен байланысты, оны электрондардың фондармен соқтығысуы ретінде қарауға болады. Фонон – бұл тордың жылулық ауытқулары энергиясының кванты.

Өте аз ұзындықты Δl өткізгіш үшін оның кедергісін мына формуламен көрсетуге болады

$$R = \rho \frac{\Delta l}{S} = \frac{\Delta l}{\lambda S}$$

Сым өткізгіштің меншікті электр өткізгіштігін эксперименттік анықтау

Сым өткізгіштің меншікті электр өткізгіштігін оның белсенді кедергісін тоқты дәл өлшеу тәсілімен анықтау арқылы табуға болады.

Бұл тәсілмен кедергіні өлшеуге арналған орнатудың эквивалентті сызбасы 20-суретте келтірілген. $L_{\text{сым}}$ зерттелетін сым кедергідегі Π кернеуін потенциометрдің көмегімен өзгерте отырып, ол арқылы тоқты өлшейді. Алынған мәліметтер бойынша $I = f(U)$ сым өткізгіштің вольт-амперлік сипаттамасын құрады, ол тік сызық түрінде болады. (4) формуласына сәйкес бұл түзудің көлбеу бұрышының тангенсі (α бұрышының) L өткізгіштің электр өткізгіштігі, ал котангенс (5) формуланы есепке алумен – өткізгіштің кедергісі болып табылады:

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\Delta U}{\Delta I} = R.$$

20-суретте көрсетілгендей, вольтметр R_{mA} миллиамперметрдің реттілікпен қосылған кедергілеріндегі кернеуді және R_{np} сымның кернеуін өлшейді, олардың қосындысы R ортақ кедергіні құрайды.

Осыдан

$$R_{\text{np}} = R - R_{\text{mA}} = \operatorname{ctg} \alpha - R_{\text{mA}} = \frac{\Delta U}{\Delta I} - R_{\text{mA}}. \quad (8)$$

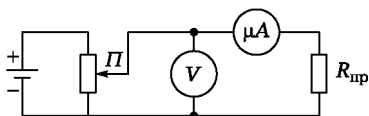
(6) формуласына сәйкес сымның меншікті кедергісі

$$p = \frac{R_{\text{np}} S}{l}. \quad (9)$$

Сымның l ұзындығы мен d диаметрін өлшеп, сымның көлденең қимасының ауданын $S = \pi d^2/4$ табады және (9) формуласы бойынша сымның меншікті кедергісін анықтайды. Ары қарай (7) формуласы бойынша X сымның меншікті электр өткізгіштігін табады.

Жұмысты орындау тәртібі

1. Қондырғыны қосыңыз.
2. Зерттелетін сымдық кедергінің l ұзындығы мен d диаметрін өлшеңіз.



20-сурет. Сым өткізгіштің кедергісін өлшеу үшін орнатудың эквивалентті сызбасы

3. Тоқты реттейтін потенциометрмен тоқ күшінің қандай да бір ең аз мәнін орнатыңыз. Тоқ пен кернеу мәндерін 7-кестеге жазыңыз.

| 7-кесте. Тоқ пен кернеуді өлшеу нәтижелері | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Өлшеу № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| I, mA | | | | | | | | | | |
| U, B | | | | | | | | | | |

4. Потенциометрдің тұтқасын айналдыра отырып, он әртүрлі өлшеуді орындаңыз.

5. Өлшеуді аяқтап бола салып қондырғыны өшіріңіз.

6. 7-кестедегі мәліметтер бойынша өткізгіштің вольт-амперлік сипаттамасын құрыңыз. $\sigma_{\text{та}}$ табыңыз, мұнда a — осы сипаттаманың абсцисса өсіне көлбеу бұрышы.

7. (8), (9) және (7), формулаларын пайдалана отырып, зерттелетін сым материалының ρ меншікті кедергісі мен X меншікті электр өткізгіштігін анықтаңыз.

8. Алынған ρ мәндерін анықтамалық мәліметтермен салыстырыңыз (2 қосымшасын қараңыз).

СЫНАҚҚА АРНАЛҒАН СҰРАҚТАР

1. Металдарда электр тоғын не тасиды?
2. Өткізгіштің вольт-амперлік сипаттамасы дегеніміз не?
3. Классикалық және квант теориясының көзқарасымен металл өткізгіштердің электрлік кедергісінің себебін түсіндіріңіз.
4. Ом заңын дифференциалды формада және тізбектің біртекті учаскесі үшін жазыңыз. Заң жазбасының бір формасын басқасына сүйене отырып алыңыз.
5. Сым өткізгіштің кедергісі неге тең?
6. Екі тізбекті және параллель қосылған өткізгіштерден тұратын жүйенің ортақ кедергісі үшін формулалар шығарыңыз.
7. Потенциометр нені білдіреді?
8. Толық тізбек үшін Ом заңын жазыңыз және түсіндіріңіз..

№5 зертханалық жұмыс

ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШ МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Жұмыстың мақсаты: жартылай өткізгіш диодтың қасиеттерін зерттеу және оның вольт-амперлік сипаттамасын алу.

Теориялық негіздер

Кейбір химиялық элементтер мен қосылыстар жартылай өткізгіштер деп аталады. Жартылай өткізгіштердің әдеттегі түрлері германий және кремний болып табылады. Металдар мен жартылай өткізгіштер арасындағы сапалы айырмашылық олардың меншікті өткізгіштігінің температураға тәуелділігінің сипатында көрінеді. Температураның төмендеуімен металдардың өткізгіштігі өседі, ал жартылай өткізгіштерде температураның абсолютті нөлге жақындауы кезінде нөлге ұмтыла отырып азаяды. Жоғары температураларда жартылай өткізгіштердің өткізгіштігі металдардың өткізгіштігіне жақындайды.

Өткізгіштіктің температураға мұндай тәуелділігі металдардағы тоқ тасушылардың (өткізгіштік электрондары) шоғырлануы іс жүзінде температураға тәуелді болмайтындығымен түсіндіріледі, ал жартылай өткізгіштерде тоқ тасушылар жылулық қозғалыстың нәтижесінде пайда болады.

Жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігі оларда қоспалардың болуына байланысты. Тіпті олардың аз ғана мөлшерде болуы жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігін айтарлықтай қатты ұлғайтады. Өткізгіштік аймағына электрондарды жеткізіп беретін қоспалар, *донорлық* деп аталады. Донорлық қоспаға мысал болып кремнийдің кристалды торына енгізілген мышьяк атомы қызмет атқарады. Донорлық қоспасы бар жартылай өткізгіштер л-типті жартылай өткізгіштер деп аталады.

Қоспаның *акцепторлық* деп аталатын басқа түрі кемтіктердің, яғни валентті байланыстардың үзілуі нәтижесінде пайда болған бос орындардың пайда болуына әкеледі. Электрлік және магниттік өрістерде кемтік электрон зарядының шамасына тең, және белгілі бір массасы бар (электрон массасына тең емес), оң зарядталған заряды бар бөлшектер сияқты қозғалады. Осылайша, кемтікті өткізгіштік немесе р-типті

өткізгіштік пайда болады. Мұндай өткізгіштігі бар жартылай өткізгіштерді p -типті жартылай өткізгіштер деп атайды.

Екі жартылай өткізгіштің жанасу шегі, оның біреуінде электрондық, ал екіншісінде кемтіккі өткізгіштігі бар, электронды-кемтіккік ауысу немесе p — n -ауысу деп аталады. Жақсы p — n -ауысуларды алу үшін таза жартылай өткізгіштің пластинкасына донорлық және акцепторлық қоспаларды енгізеді, осылайша өткізгіштігі әртүрлі болатын (n және p) екі аймақ жасайды.

p — n -ауысудың кедергісі одан өтетін тоқтың бағытына тәуелді болады. Егер ток p — n -ауысудан жартылай өткізгіштің бағытында жүрсе, онда ауысудың кедергісі салыстырмалы түрде аз; бұл бағытты өткізгіштік немесе тік деп атайды.

Тоқты n -дан p -жартылай өткізгішінің (кері бағыт) бағытында өткізудеінде ауысудың кедергісі ауысу бағытындағы оның кедергісімен салыстырғанда бірнеше мың есеге өседі. Бұл дегеніміз, p — n -ауысу біржақты өткізгіштікке ие екендігін білдіреді.

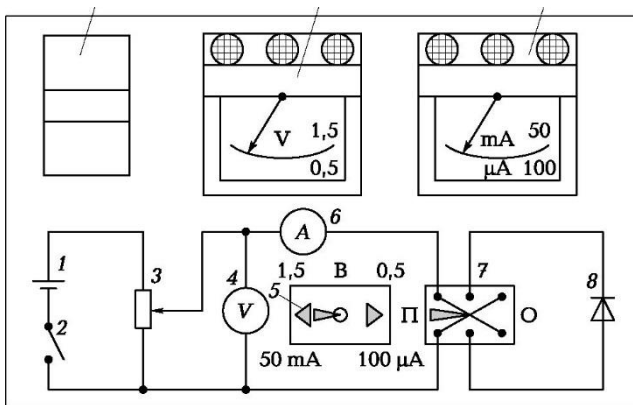
Бір p — n -ауысудан тұратын жартылай өткізгіш құрылғы *жартылай өткізгішті диод* деп аталады. Диодтың корпусында нұсқармен оның өткізетін бағытын көрсетеді.

Жартылай өткізгіштер мен жартылай өткізгішті диодтардың көрсетілген қасиеттерінің теориялық түсініктерін жалпы физика курсынан табуға болады.

Берілген зертханалық жұмыста, жартылай өткізгішті диод арқылы ағатын ток күшінің диодқа қосылған кернеуге тәуелділігі эксперименттік түрде анықталады. Бұл тәуелділік диодтың вольт-амперлік сипаттамасы деп аталады.

Стендтің құрылысы мен жұмыс қағидаты

Жартылай өткізгішті диодтың вольт-амперлік сипаттамасын алу стендте жүргізіледі, оның сыртқы түрі 21-суретте көрсетілген.



21-сурет. Стендтің сыртқы түрі:

1 – тоқ көзі; 2 – қуат көзін қосу тумблері; 3 – потенциометр; 4 – вольтметр; 5 – өлшеу диапазондарының ауыстырып-қосқышы; 6 – амперметр; 7 – диодты тік немесе кері қосу тумблері; 8 – зерттелетін диод

Стендтің жоғарғы бөлігінде 1 тоқ көзі, 4 вольтметр және 6 амперметр орналасқан. Вольтметр мен амперметрде екі шкаладан, яғни өлшеудің екі диапазоны бар. Вольтметрде: жоғарғы шкала 0-1,5 В; төменгі шкала 0,0,5 В. Амперметрде: жоғарғы шкала 0,50 мА (mA деп белгіленген); төменгі шкала 0,100 мкА (μA).

Ары қарай өлшеу құралдарының жоғарғы шкалаларын бірінші диапазон, ал төменгілерін – екінші диапазон деп атаймыз. Диапазондарды ауыстырып қосу 5 ауыстырып-қосқышымен жүзеге асырылады. Оны солға жылжыту кезінде вольтметр немесе амперметрдің бірінші диапазондары, ал оңға жылжыту кезінде – екінші диапазондары қосылады. Тізбек 2 тумблерімен тұйықталады. Тізбектегі кернеу 3 потенциометрдің тұтқасын бұру арқылы реттеледі. Тұтқаны сағат тілі бойынша айналдыру кезінде кернеу ұлғаяды, сағат тіліне қарсы айналдырған кезде азаяды. Зерттелетін 8 диодтағы кернеу 4 вольтметрмен өлшенеді, ал диод арқылы өтетін тоқ 6 амперметрмен өлшенеді. 7 тумблермен диодтың тік немесе кері қосылуын жүзеге асыруға болады. Тумблердің «Π» жағдайында болған кезінде тоқ диод арқылы тік бағытта, ал «O» жағдайында кері бағытта жүреді.

Жұмысты орындау тәртібі

Жартылай өткізгіш диодтың оның тік қосылуында вольт-амперлік сипаттамасын алу

1. Потенциометрдің 3 тұтқасын шеткі сол жағдайға орнатыңыз.
2. Вольтметр мен амперметрді өлшеудің (5 тумблердің сол жағдайы) бірінші диапазонына қойыңыз.
3. Тумблерді 7 «П» жағдайына ауыстырыңыз.
4. Тумблермен 2 тізбекті тұйықтаңыз.
5. Потенциометрдің 3 тұтқасын ақырын сағат тілі бойынша бұрап, тізбектегі кернеуді ұлғайтыңыз және әрбір 0,1 В сайын 8-кестеге амперметр мен вольтметрдің көрсеткіштерін жазыңыз.

8-кесте. Диодтың тікелей қосылуындағы өлшеулер нәтижелері

| | | | | | | |
|-------|--|--|--|--|--|--|
| U, В | | | | | | |
| I, мА | | | | | | |

Амперметрдің көрсеткіші 40-50 мА жеткенге дейін кернеуді ұлғайтыңыз. Сонымен бірге, өлшеу аспаптарының жеті-сегіз көрсеткіштерін жазып алу қажет.

6. Өлшеулерді аяқтаған соң, потенциометр 3 тұтқасын сағат тіліне қарсы тірелгенше бұраңыз және тумблермен 2 тізбекті тұйықтаңыз.

Жартылай өткізгіш диодтың оның қарсы қосылуы кезінде вольт-амперлік сипаттамаларын алу

1. Вольтметр мен амперметрді өлшеудің (5 тумблердің оң жағдайы) екінші диапазонына қойыңыз.
2. Тумблерді 7 «О» жағдайына ауыстырыңыз.
3. Тумблермен 2 тізбекті тұйықтаңыз.
4. Потенциометрдің 3 тұтқасын ақырын сағат тілі бойынша бұрап, тізбектегі кернеуді ұлғайтыңыз және әрбір 0,2 В сайын 9-кестеге амперметр мен вольтметрдің көрсеткіштерін жазыңыз. Амперметр көрсеткішінде кернеу 0,1 В мәніне жеткен уақытта 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 В мәндерінде жазып алыңыз.

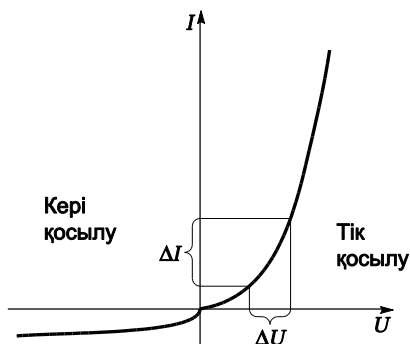
5. Өлшеулерді аяқтаған соң, потенциометр 3 тұтқасын сағат тіліне қарсы тірелгенше бұраңыз және тумблермен 2 тізбекті тұйықтаңыз.

6. Алынған мәліметтер бойынша көлденең ось бойынша координат басынан тік кернеу қалдыра отырып, ал, солға – кері; тік ось бойынша координат басынан – тік – тоқ, ал, төменге қарай – кері тоқ қалдыра отырып, диодтың вольт-амперлік сипаттамасын құрастырыңыз. Шығатын график пішіні 22-суретте (масштабын ескерусіз) көрсетілген.

7. Графикті қолдана отырып, келесі формула бойынша өткізу бағытындағы диод кедергісін анықтаңыз:

$$r = \frac{\Delta U}{\Delta I}.$$

| 9-кесте. Диодтың кері қосылу кезіндегі өлшем нәтижелері | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|
| U, В | | | | | | |
| I, мкА | | | | | | |



22-сурет. Жартылай өткізгіш диодтың вольт-амперлік сипаттамасы

Тік сызықтан аз айырмашылығы бар график бөлігін қолданыңыз.

СЫНАҚҚА АРНАЛҒАН СҰРАҚТАР

1. Қандай заттарды жартылай өткізгіштер санатына жатқызады?
2. Жартылай өткізгіштер мен металдардың өткізгіш ұқсастықтары неден тұрады?
3. Жартылай өткізгіштер мен металдардың өткізгіштердің айырмашылықтары қандай?
4. Жартылай өткізгіштердің өзіндік өткізгіштері туралы айтып беріңіз.
5. Жартылай өткізгіштердің өткізгіш теориясында «тесік» термині нені білдіреді?
6. Жартылай өткізгіштердің қоспалы өткізгіштері туралы айтып беріңіз.
7. n -үлгісіндегі жартылай өткізгіштердегі негізгі қуат тасымалдаушы болып табылатын қандай бөліктер? n -үлгісіндегі жартылай өткізгіштерді қалай жасайды?
8. p -үлгісіндегі жартылай өткізгіштердегі негізгі қуат тасымалдаушы болып табылатын қандай бөліктер? p -үлгісіндегі жартылай өткізгіштерді қалай жасайды?
9. Қоспалы жартылай өткізгіштер өткізгіштігінің температуралық үлкен тәуелділігі немен түсіндіріледі?
10. p - n -ауысу деген не? p - n -ауысу түзілуінің процесі мен сыртқы әсер берушілердің жоқ кезіндегі оның тұрақтылығын сипаттап беріңіз.
11. Жапқыш қабат деген не және осы қабаттың электрлік

- кедергісінің ерекшелігі неде?
12. Тоқ көзіне диодтың қандай қосылуы тік, ал қайсысы кері деп аталады?
 13. Жартылай өткізгіш диодты тоқ көзіне кері қосу арқылы тоқтың болуын (шамалы шамасының) қалай түсіндіресіз?
 14. Жартылай өткізгіш диодтың негізгі қасиеті мен тағайындалуы қандай?
 15. Жартылай өткізгіш диодтың ішкі кедергісі деп нені айтады? Диодқа қосылған сыртқы электрлік кернеудің полярлығы ауысқан кезде осы кедергі қалай өзгереді?

№6 зертханалық жұмыс

МАГНИТТІК МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Жұмыстың мақсаты: ферриттің магниттік өткізгіштігінің температуралық тәуелділігін зерттеу.

Теориялық негіздер

Магниттік материалдар арасында ферромагниттік химиялық жалғауларда (ферриттерде) техникалық мән бар. Материалдардың магниттік қасиеттері қарапайым дөңгелек тоқ болып табылатын электр зарядының ішкі қозғалыс пішіндерімен қамтамасыз етілген. Дөңгелек тоқтар электрондардың өз осьтері (электрондық спин) айналасында айналуы және электрондардың атомда орбиталдық қозғалысынан туындайды. Бұл тоқтар атомның магниттік сәтін түзеді. Ферромагнетиктердің диа және парамагнетиктерден айырмашылығы – оларда домендік құрылым бар. Домендер – атомдардың магниттік сәттері олардың шегінде бір-біріне қатарлас бағдарланған және біркелкі бағытталған заттардың макроскопиялық саласы болып табылады. Сыртқы магниттік өрісті қосусыз онда өздігінен пайда (кенеттен) болатын магниттенудің болуы заттың ферромагниттік жағдайына тән қасиет болып табылады. Бірақ, ферромагнетикте кенеттен магниттелген салалар түзілген болса да, осындай дененің магниттік ағыны сыртқы кеңістікте нөлге тең болады. Бұл, домендердің магниттік сәттерінің түрлі бағыттары бар екенін және олардың векторлық сомасы нөлге тең екенін білдіреді.

Сыртқы магниттік өріс әсерінен ферромагниттік материалдың магниттену процесі олардың магниттік сәті өріс кедергісінің вектор

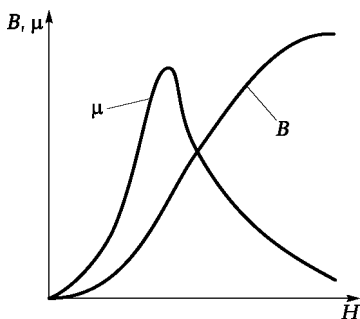
бағытының ең аз бұрышын құрайтын домендердің өсуіне және басқа домендердің көлемінің кемуіне (домендердің шекараларын жылжыту процесі), сонымен қатар, магниттік сәттердің сыртқы өріс бағытына қарай бұрылуына (бағдарлану процесі) алып келеді.

Магниттік өрісте магниттік материалдардың негізгі әрекеттерін сипаттайтын негізгі сипаттамалар магниттенудің қисығы (H магниттік өрістен B индукциясына байланысты) және магниттік μ өткізгіштік болып табылады (23-сурет). Магниттік өткізгіштік осы қисық магниттену нүктесіндегі магниттік өрістің кернеуіне индукцияның қатысы секілді магниттенудің қисығы анықталады.

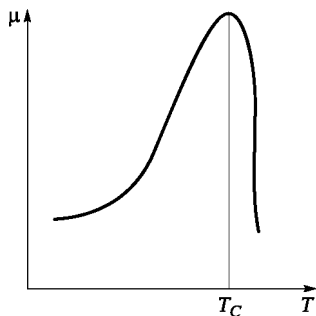
Өте әлсіз магниттік өрістердегі (шамамен $0,1$ А/м кернеу) магниттік өткізгіштікті бастапқы μ_n өткізгіштік деп атайды. Магниттік өткізгіштің ең жоғары мәнін M_{max} максималды өткізгіштік деп атайды.

Индукцияның амплитудалық мәнінің магниттік өріс кернеуінің амплитудалық мәніне қатысы болып табылатын μ_5 динамикалық магниттік өткізгіштік ауыспалы магниттік өрістердегі ферромагниттік материалдардың сипаттама болып табылады. Ауыспалы өріс жиілігінің өсуімен динамикалық магниттік өткізгіштік магниттік процестердің инерттілігінен азаяды.

Ферромагниттік материалдардың магниттік өткізгіштігі температураға байланысты. Бұл тәуелділік максимумға ие қисықпен суреттеледі (24-сурет). Максимум μ Кюри нүктесі (T_C) деп аталатын ферромагнетиктің белгілі-бір жағдайына сәйкес келеді.



23-сурет. Индукцияның B магниттік өріс кернеуіне H тәуелділігі



24-сурет. Ферромагниттік материалдардың магниттік өткізгіштігінің температураға тәуелділігі

Кюри нүктесінен ($T > T_C$) жоғары температураларда кенеттен магниттенген салалар жылу қозғалысымен бұзылады, ал, материал ферромагниттік жағдайдан парамагниттік жағдайға ауысады.

Температураға байланысты магниттік өткізгіштік сипаттамасының өзгеруі үшін магниттік өткізгіштіктің температуралық коэффициентін қолданады:

$$TK\mu = (\mu_2 - \mu_1) / [\mu_1(T_2 - T_1)]$$

Вакуумға қарағанда магниттік индукция затта неше есе жоғары екендігін көрсететін салыстырмалы магниттік өткізгіштік туралы айтылып жатқанын атап өту керек.

Изотроптық ортада магниттік өрісінің магниттелуі магниттік индукцияның мына формулаға қатыстылығымен байланысты:

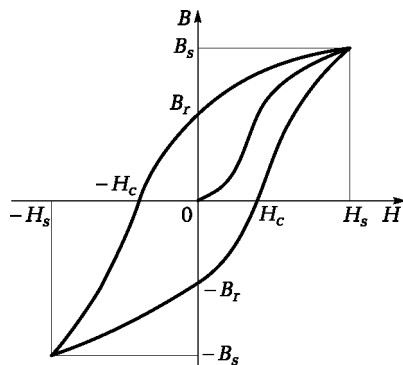
$$H = B / \mu_0,$$

бұл жерде μ — салыстырмалы магниттік өткізгіштік; μ_0 — магниттік тұрақты.

Ферромагниттік материалдар магниттік гистерезиспен сипатталады. Бұл дегеніміз, магниттік индукцияның ағымдағы мәндері оның алдыңғы мәндеріне тәуелділігін білдіретін сыртқы магниттелетін өрістің кернеуінің өзгеруінен магниттік индукцияның өзгеруі артта қалатынын білдіреді.

Магниттік гистерезис – магниттену кезіндегі қайтарымсыз өзгерістер салдары. Магниттік гистрезистің себептері домендердің шекараларының қайтарымсыз жылжу процестері мен магниттік сәттердің бағдарлау процестері болып табылады. Сыртқы магниттік өріске орналастырылған ферромагнетиктің магниттік индукциясының қисық өзгеруі соңғысының $+H_s$ до $-H_s$ кернеуі өзгергені гистерезис тұзағы деп аталады, бұл жерде H_s — ферромагнетиктің магниттік қанығуына сәйкес келетін магниттік өрістің кернеуі. B және $-B$ шамаларын қанығу индукциясы деп атайды, B_r және $-B_r$ шамаларын — қалдық индукция (оның бар болуы тұрақты магниттердің түзілуіне негіз болып табылады) деп атайды. Кері өрістің магниттік индукцияны нөлге дейін жеткізетін H_c немесе $-H_c$ кернеуі коэрцитивті күш (кернеуді ұстап тұратын) деп аталады.

Ауыспалы магниттік өрістерде ферромагнетиктерді қайта магниттеу кезінде әрқашан энергияның жылулық үлгісінде жоғалуы байқалады. Олар гистерезиске кеткен жоғалтулар мен динамикалық жоғалтулардан тұрады. динамикалық жоғалтулар магниттік материалдың массасында индукцияланатын құйынды тоқтармен түсіндіріледі. Құйынды тоқтарға жоғалтулар ферромагнетиктің (мысалы, ферриттерде бұл жоғалтулар өте аз) салыстырмалы кедергісінің ұлғаюымен кемиді.



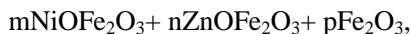
25-сурет. Гистерезис тұзағы.

Гистерезиске жоғалту гистерезис тұзағының ауданымен анықталуы мүмкін. Ол ферромагнетикті қайта магниттеу кезіндегі жұмысқа пропорционал.

Шағын коэрцитивті H_c күш мәні бар және үлкен магниттік өткізгіштігі бар материалдар магниттік жұмсақ материалдар, ал үлкен коэрцитивті күші және кіші өткізгіштігі бар материалдар – магниттік қатты материалдар деп аталады.

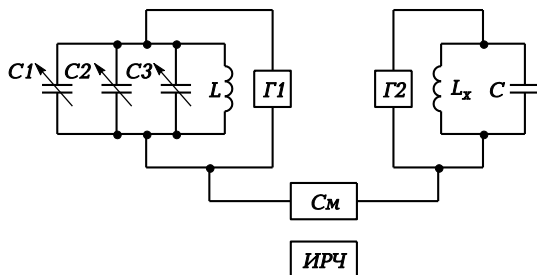
Бірқатар кристалл заттар үшін жүйенің әлеуетті минимумына бір бағыты келесі бағытқа басымдығы бар атомдардың магниттік сәттерінің қарсыпараллель орналасуы жауап береді. Бұл заттар ферримагнетиктер деп аталады. Оларда домендік құрылым, Кюри нүктесі бар; оларға ферромагниттік заттар үшін енгізілген барлық сипаттамалар қолданылады.

Жалпы химиялық формуласы $MeOFe_2O_3$ бар күрделі оксидті материалдар ферримагнетиктер деп аталады, бұл жерде Me – екі валентті металл. Мұндай материалдар ферриттер деп аталады. Оларда жоғары салыстырмалы электрлік кедергі бар. Бірнеше қарапайым жалғаулардың қатты ерітінділері болып табылатын ферриттер техникалық қолдануға ие. Мысалы, никель-мырышты ферриттердің жалпы формуласы мынадай:



бұл жерде m , n , p — құрауыштар арасында сандық қатынасты белгілейтін коэффициенттер.

Заттардың магниттік қасиеттері 2-қосымшада келтірілген.



26-сурет. Е7-9 жоғары жиілікті өлшеуіштің сызбасы:

$G1, G2$ – жоғары жиілікті генераторлар; $C1, C2, C3, L$ – ауыспалы сыйымдылық конденсаторлары және $G1$ генераторының тербелу контуры құрамындағы индуктивтілік катушкасы; C, L_x – конденсатор және индуктивтілігін өлшеуді қажет ететін $G2$ генераторының тербелу контуры құрамындағы катушка; C_m – араластырғыш; $ИРЧ$ – жиіліктердің теңділік индикаторы

Стендтің құрылысы және жұмыс қағидаты

Салыстырмалы магниттік өткізгіштікті анықтау үшін сақиналы білігі бар индуктивтілік катушкасын қолданады. Білік сыналатын материал – феррит болып табылады. Салыстырмалы магниттік өткізгіштік есебі мына формула бойынша есептеледі:

$$\mu = \frac{\pi L D_{cp}}{\mu_0 S w^2} \quad (11)$$

бұл жерде L — білігі бар катушканың индуктивтілігі; D_{cp} — біліктің орташа диаметрі; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, Гн/м — магниттік тұрақты; S — біліктің көлденең қима ауданы; w — катушканың орам саны.

L үлгісінің индуктивтілігін өлшеу үшін жұмыста индуктивтілік пен сыйымдылықтардың жоғары жиілікті өлшеуіші Е7-9 (26-сурет) қолданылады.

Өлшеуіш бір сызбамен құрастырылған $G1$ және $G2$ екі жоғары жиілікті генератордан құралады. Генератордың $G1$ тербелмелі контурына эталондық конденсатор ($C1, C2, C3$ ауыспалы сыйымдылықтың үш параллель жалғанған конденсаторы) жалғанған. $G2$ генераторының контурына L_x индуктивті катушка қосылады, оны өлшеу қажет. Қос генератордың да жоғары жиілікті тербелулері C_m араластырғышқа түседі. Араластырғыштан түрлі жиіліктегі тербелулер $ИРЧ$ жиіліктің тең индикаторына түседі, оның құрамына төменгі жиілік күшейткіші мен нөлдік соққылар (ләмпішке немесе телефон) индикаторы кіреді. Егер, генераторлардың тербелу жиіліктері тең

болмаса, бірақ, бір-бірінен шамалы айырмашылығы бар болса, араластырғыштан шығатын жеірнде ерекше пішіндегі тербелулер – соққылар бақыланады.

Генераторлардың жиілік түрлілігі аз болған сайын соққы жиілігі де аз болады. Генераторлардың жиіліктерді бірдей болған уақытта араластырғыштың шығатын жеріндегі сигнал жоқ (нөлдік соққылар) болады. Нөлдік соққылар талап болып табылады, оларды сақтау кезінде катушканың индуктивтілігін бағалауға болады.

Е7-9 аспабынан басқа L_x индуктивтілігін өлшеу үшін зертханалық жұмыста RCLP5070 сандық өлшеуішін қолдануға болады. Эксперименттік қондырғы құрамына термошкаф және температураны тіркейтін аспап (КСП-4 автоматтық потенциометр) кіреді. КСП-4 үшін температура датчигі жылу сезгіш элемент болып саналады; потенциометрдің шкаласы Цельсий градустерінде градуирленген.

Жұмысты орындау тәртібі

1. Түрлі температураларда ферритті білігі бар катушканың индуктивтілігін өлшеңіз.

Е7-9 аспабымен өлшеу үшін қажетті:

- «ЖЕЛІ» тумблерімен аспапты қосыңыз;
- «К КӨБЕЙТКІШТІ» 10-ға тең етіп орнатыңыз;
- Тиісті қысқыштарға индуктивтіліктің зерттелетін катушкасын қосыңыз;
- Ауыспалы эталондық конденсатор сыйымдылығын өзгерте отырып, аспапты нөлдік соққыларға реттеңіз. Егер индикатор ретінде телефон қолданатын болса, реттеу дауыс үнімен жүзеге асырылады. Үннің төмендеуі нөлдік соққыларға жақын екенін білдіреді. Телефонда өте төмен үндерден соң тыныштық орнаса, нөлдік соққыларды көрсетеді. Егер индикатор ретінде ләмпішке қолданса, реттеу оның жарығымен жүзеге асырылады. Нөлдік соққыларға жақындаған сайын ләмпішкенің жанып-өшуі бәсеңдейді, ал егер, генераторлардың жиілігі тең болса (нөлдік соққылар), ол өшеді.
- Нөлдік соққыларға сәйкес келетін эталондық конденсатордың C_0 , пФ сыйымдылықтарын жазып алыңыз және $L_x = KQ$ формуласы бойынша индуктивтілікті анықтаңыз, бұл жерде K – 10-ға тең көбейткіш.

Индуктивтілікті P5070 аспабымен өлшеу үшін қажетті:

- «ЖЕЛІ» тумблерімен аспапты іске қосыңыз;
- Аспаптың қысқыштарына индуктивтілік катушкасын қосыңыз;

10-сурет. Ферриттің тәуелділігін алу үшін эксперименттік және есептік мәліметтер $\mu = f(T)$

| Температура $T, ^\circ\text{C}$ | Нөлдік соққылар кезіндегі эталондық конденсатордың сыйымдылығы $C_2, \text{пФ}$ | Үлгінің индуктивтілігі $L_x, \text{Гн}$ | Салыстырмалы магниттік өткізгіштік μ | Магниттік өткізгіштің температуралық коэффициенті TK_μ |
|------------------------------------|--|---|---|--|
| | | | | |

- Аспапты 0,1 немесе 1,0 кГц жиілігіне индуктивтілікті өлшеу тәртібін орнатыңыз;
 - «СТАРТ» батырмасын басып, көрсеткішті жазып алыңыз.
2. (11) формуланы пайдалана отырып, түрлі температуралар үшін табылған L_x мәндер үшін оларға сәйкес келетін салыстырмалы магниттік өткізгіштік мәндерін анықтаңыз. Формула (10) бойынша магниттік өткізгіштіктің ТК μ температуралық коэффициентін табыңыз. Өлшеулер мен есептер нәтижелерін 10-кестеге жазып қойыңыздар.
3. Тәуелділік графигін $\mu = f(T)$ құрастырыңыз және сол бойынша ферриттің Кюри нүктесін анықтаңыздар.
4. Алынған тәуелділікті талдаңыздар және жұмыс бойынша тұжырым шығарыңыздар.

СЫНАҚҚА АРНАЛҒАН СҰРАҚТАР

1. Ферромагнетиктің салыстырмалы магниттік өткізгіштігінің температураға тәуелділігін салыңыз және түсіндіріңіз.
2. Ферромагнетикті сыртқы өріспен магниттеу кезінде қандай процестер жүзеге асырылады?
3. Ферромагнетик үшін $\mu = f(T)$ тәуелділігін салыңыз және түсіндіріңіз.
4. Магниттік материалдарды кезеңдік қайта магниттеу кезінде не себептен магниттік жоғалтулар туындайды? Магниттік жоғалтулардың пайда болу механизмдері қандай?
5. Резеңкеде ферромагниттік қасиеттер бола ма?
6. Классикалық материалдармен салыстырғанда ферриттердің қандай артықшылықтары бар?

№7 зертханалық жұмыс

ГИСТЕРЕЗИС ТҰЗАҒЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫСЫ

Жұмыстың мақсаты: болат білікті катушканың магниттік өріс кернеуінен магниттеу және қайта магниттеу кезінде туындалатын магниттік өріс индукциясының тәуелділігін зерттеу.

Теориялық жұмыс

Гистерезис (грек тілінен *hysteresis*— қалу, кешігу) — дене жағдайын сипаттайтын (мысалы, магниттену) физикалық шама сыртқы жағдайларды (мысалы, магниттік өріс) сипаттайтын физикалық шамаға тәуелді екенін көрсететін құбылыс.

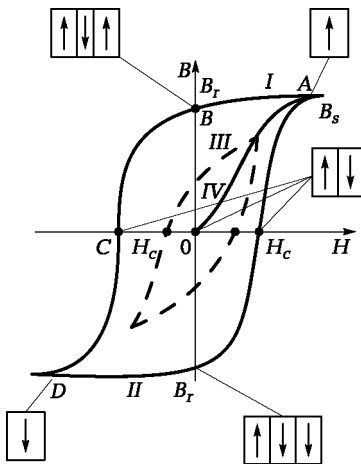
Гистерезис уақыттың осы сәтінде дене жағдайы сыртқы жағдайлармен сол уақытта ғана емес, уақыттың алдыңғы сәттерімен де анықталатын жағдайларда бақыланады. Шамалардың біркелкі емес тәуелділігі кез келген процестерде бақыланады, себебі, дене жағдайының өзгеруі үшін әрқашан уақыт қажет етіледі және дене реакциясы оны шақыратын себептерден кешігеді. Мұндай кешігу аз болған сайын сыртқы жағдайлар баяу өзгереді. Бірақ кейбір процестер үшін сыртқы жағдайлардың өзгеруі баяулағанда кешігу азаймайды. Бұл жағдайларда шамалардың біркелкі емес тәуелділігін гистерезистік деп атайды.

Гистерезис түрлі заттарда және түрлі физикалық процестерде байқалады. Ең жоғары қызығушылық танытатын: магниттік, диэлектрлік және серпінді гистерезис.

Магниттік гистерезис магниттік материалдарда, мысалы, ферромагнетиктерде бақыланады. Ферромагнетиктердің негізгі ерекшелігі оларда кенеттен (өздігінен) магниттенуі болып табылады. Әдетте, ферромагнетик біртекті емес магниттенген, домендерге бөлінген – магниттену шамасы (магниттік сәттің көлем бірлігі) бірдей, ал бағыттары түрлі болып келетін біртекті кенеттен (өздігінен) магниттенудің салалары. Сыртқы магниттік өріс әсерінен өріс бойы магниттенген домендердің сандары мен көлемдері өзге домендер есебінен ұлғаяды. Одан бөлек, бөлек домендердің магниттік сәттері өріс бойы бұрылуы мүмкін. Нәтижесінде үлгінің магниттік сәті артады.

27-суретте ферромагниттік үлгінің B магниттік индукциясының сыртқы H магниттік өріс кернеуінен (магниттенудің қисығы) тәуелділігі көрсетілген.

Магнитті индукция – заттағы орташа нәтижелеші магниттік өріс - $B = \mu_0 H + \mu_0 M$ қатынасымен магниттік өрістің H кернеулілігі және заттың магниттелуімен байланысты, мұнді μ_0 – магниттік тұрақты шама. Жеткілікті күшті магниттік өрісте үлгі қаныққанға дейін магниттеледі (A нүктесі), яғни, одан ары қарай өрістің кернеулілігін ұлғайтқан кезде үлгінің магниттелуі өзгермейді.



27-сурет. Ферромагнетикке арналған магниттік гистерезис топсасы; H — магниттік өрістің кернеулілігі; B — үлгінің магниттік индукциясы; H_c — коэрцитивтік күші; B_r — қалдықты магниттік индукция; B_s — қанығудың магниттік индукциясы.

Бұл кезде үлгі өріс бойынша бағытталған магниттік сәті және қанығу индукциясы B_s бар бір доменнен тұрады. Сыртқы магниттік өрістің кернеулілігі H төмендеген жағдайда үлгі индукциясы B өріске қарсы бағытталған магниттік сәттері бар домендердің туындауы және өсуі есебінен қисық I бойынша азаятын

болады. Домендердің өсімі домендік қабырғалардың қозғалысына байланысты туындайды. Бұл қозғалыс домендік қабырғаларды кейбір жайғасымдарда бекітетін түрлі ақаулардың (қоспалар, әртектіліктер және т.с.с.) үлгіде болуы салдарынан қиындатылған. Оларды қозғалту үшін айтарлықтай күшті магниттік өрістер қажет етіледі. Сондықтан, өріс кернеулілігінің H нөлге дейін төмендеуі кезінде үлгіде қалдықты магниттік индукция B_r (B нүктесі) сақталады.

Үлгі толығымен басқаша оны коэрцитивті өріс деп аталатын күшті өріске ғана қарама-қарсы бағытта, толығымен магниттеу қасиетінен айрылады (коэрцитивті күші) H_c (C нүктесі). Кері бағыттағы магнит өрісін арттырған сайын, үлгі қаныққанға дейін магниттелінеді (D нүктесі). Үлгінің қайтадан магниттелінуі (D нүктесінен A нүктесіне дейін) II қисығы бойынша жүзеге асырылады. Сонымен, өрістің цикілдік өзгеруінен, үлгінің магнит индукциясының өзгеруін сипаттайтын қисығы магнит гистерезисінің бұғауын құрайды. Егер, H өрісінің кернеуі магнитті қанықтырылмағанға жетпейтіндей шектеулерде өзгереді, осының қорытындысында магнитті гистерезистің анықталмаған бұғауы пайда болады (III қисығы). H өрісінің кернеуінің өзгерісін ауытқуын нөлге дейін төмендете отырып, үлгіні толығымен магнит қасиетінен мүлдем алып тастауға болады (0 нүктесіне оралу). 0 нүктесінен магниттелген үлгілер IV қисығымен пайда болады.

Магнит гистерезисінің сыртқы магнит өрісінің H кернеуінің сол бір мәніне B магнит индукциясының әртүрлі мәндері сәйкес келеді.

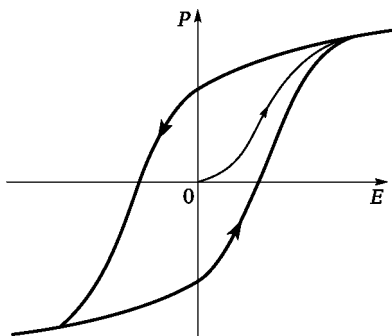
Бұл белгісіздік осыдан бұрынғы үлгідегі жағдаймен қамтамасыз

етіледі (мысалы, алдындағы үлгідегі магнит). H_c коэрцитивті күштің көлемі, магнитті гистерезис бұғауының өлшемі мен көлемі әртүрлі ферромагниттерде кең ауқымда өзгеруі мүмкін. Мәселен, таза темірде H_c пен 80 А/м , магниттегі қорытпасы $H_c = 46 \text{ 200 А/м}$ өрнектеледі.

Гистерезис шығындарына байланысты қысық магнит өрісінің (бірлік уақытында магнитизациялаудың циклдарының саны) жиілігінің артуына құйын тоғы мен магнит тұтқырлығына байланысты өзге де шығындар қосылады. Тиісінше, жоғары жиіліктегі гистерезис бұғауының ауданы өседі. Мұндай бұғауларды, бұрын сипатталған статикалық бұғауға қарағанда, кейде динамикалық бұғау деп де атайды. Ферромагнеттің көптеген қасиеттері магнитті сәтке тәуелді болады, мәселен, электр кедергісі, механикалық пішінінің өзгеруі. Магнитті сәттің өзгеруі осы қасиеттердің өзгеруіне әкеледі.

Диэлектрикалық гистерезис әдетте, сегнетоэлектриктерде байқалады, мысал ретінде күміс түсті жұмсақ металды титанатын келтіруге болады. Сегнетоэлектриктер дегеніміз — сыртқы әрекеттерге байланысты белгілі бір температура аралығында өздігінен поляризацияға ие болатын кристалдық диэлектриктер. Сегнетоэлектриктегі (28-сурет) E электр өрісінің кернеуіне байланысты P поляризацияның тәуелділігі ферромагниттердегі B -дан H -ға ұқсас тәуелділігі мен электр домендерінің өздігінен электрлік поляризациясы және домен құрылымын қайта құрылымдау қиындықтарымен түсіндіріледі. Гистерезис шығындары сегнеэлектриктердегі диэлектрлік шығындардың негізгі бөлігін құрайды.

Серпімді гистерезис, яғни, пішіннің өзгеруінің гистерезисті тәуелділігі мен механикалық кернеуге байланысты жеткілікті кернеу кезінде кез келген нақты материалдарда байқалады. Серпімді гистерезис пластикалық (серпімді емес) пішіннің өгеруі болған кезде үнемі пайда болады. Пластикалық пішінінің өзгеруі ақаулардың қозғалысына байланысты, мәселен, алмасуы нақты материалдарда үнемі кездеседі.



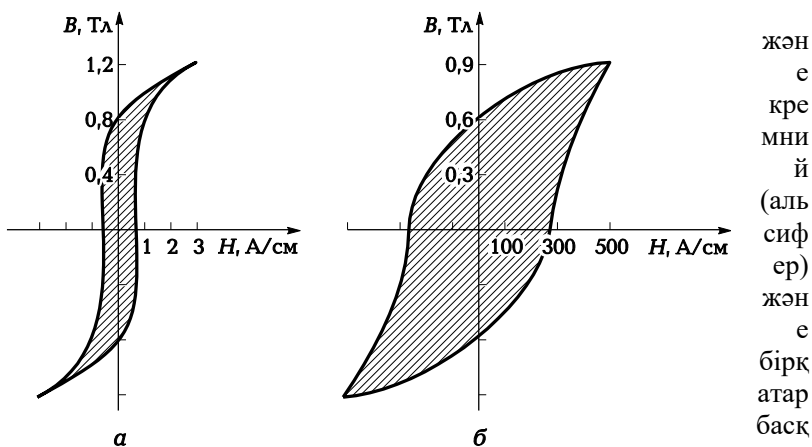
28-сурет. E В сегнеэлектриктегі электр өрісінің кернеуінен P поляризацияның тәуелділігі

Дислокациялар олардың ортасында атомдық жазықтықтардың дұрыс кезектесуі бұзылған сызықты білдіреді. Қоспалар, қосындылар және басқа да ақаулар, сондай-ақ, кристалды тордың өзі де дислокацияны белгілі бір күйде кристалда ұстап қалуға тырысады. Сондықтан, дислокацияны жылжыту үшін жеткілікті шамадағы кернеу қажет болады. Қоспаларды енгізу және механикалық өңдеу дислокацияларды бекітуге алып келеді, соның нәтижесінде материалдың тығыздалуы орын алады, пластикалық түр өзгеруі және қатты гистерезис үлкен кернеу кезінде байқалады. Бір кезең ішінде үлгіден жоғалатын энергия ақыры соңында үлгіні жылытуға жұмсалады.

Электрлік-техникалық құрылғыларда басты үлгіде ферромагниттік материалдарды қолданады – темір, никель, кобальт және олардың қорытпалары.

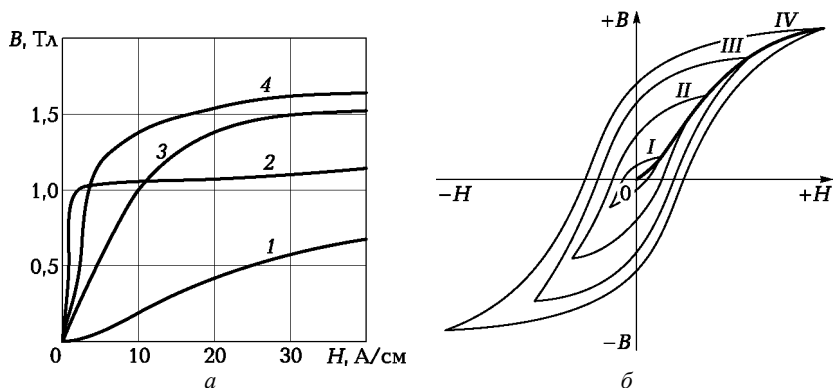
Гистерезис ілмегінің еніне байланысты ферромагниттік материалдарды магниттік жұмсақ және магниттік қатты деп жіктейді. Магниттік жұмсақ материалдарды, әдетте, қысық магниттік өрістегі жұмыстар үшін қолданады, себебі, гистерезис ілмегінің шағын ені (29-сурет, а) қайта магниттеу кезіндегі энергияның аз шығындығын білдіреді.

Магниттік жұмсақ материалдарға коэрцитивтік күші шағын және магниттік өткізгіштігі жоғары электр-техникалық болат жатады. Сондықтан, оны электрлі машиналар мен аппараттарда магниттік сымдарды әзірлеу үшін қолданады. Темір мен никель, темір, алюминий



29-сурет. Магниттік жұмсақ (а) және магниттік қатты (б) материалдар гистерезистерінің ілмектері

алары қорытпасының (пермаллой) магниттік өткізгіштігі жоғары және коэрцитивтік күші аз болады. Оларды радиотехника және автоматика құрылғыларында қолданады.



30-сурет. Түрлі материалдарды қысық магниттеу (а) және магниттік өрістің едәуір үлкен кернеуінің түрлі мәндері кезіндегі гистерезис ілмектері (б)

Гистерезистің кең ілмегі бар магниттік қатты материалдар (29-сурет, б) электр өлшеу аспаптарында, телефондарда, кейбір релелерде қолданылатын тұрақты магниттерді әзірлеу үшін қолданылады. Мұндай материалдарға шындалған көміртекті болат, кобальтті болат және алюминий, никель, темір, кобальттен дайындалған түрлі қорытпалар жатады (магнито, алнико және т.б.).

Магниттеудің қисықтарынан көрініп тұрғандай (30-сурет, а), қарапайым болат немесе болат құймасы (3-қисық) шойынға қарағанда (1-қисық) магниттік индукцияның әлдеқайда жоғары мәндерінде магниттік қанығуға жетеді. Электр-техникалық болат (4-қисық) қанығуға одан да жоғары индукция мәндерінде жетеді. Кейбір ферромагниттік материалдар, мысалы, түрлі маркадағы пермаллой, тік бұрыштыға жақын гистерезис ілмегіне ие (2-қисық). Олар магниттік күшейткіштерді дайындау үшін, есептеу-шешу құрылғыларындағы жады элементтері ретінде кеңінен қолданылады. Магниттеудің қисығы неғұрлым жоғары орналасатын болса, ферромагниттік материалында талап етілетін индукцияны құруға арналған магниттеуші ток соғұрлым аз қажет болады және бұл материал магниттік тоқты мейлінше жақсы өткізеді.

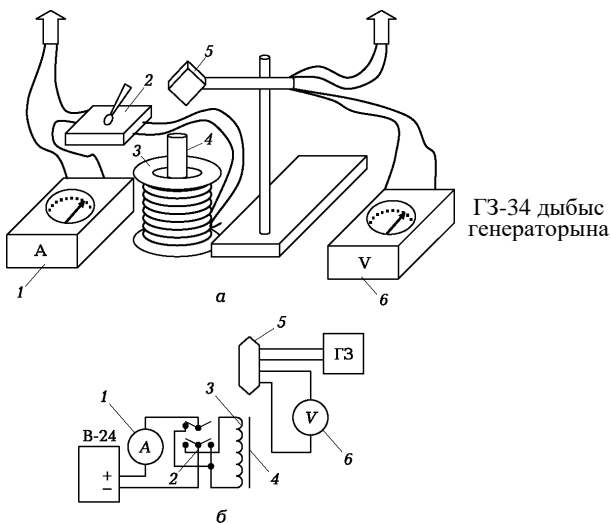
Магниттік өрістің H кернеулілігінің үлкен мәндерін бірізді өзгертетін болса, симметриялы гистерезистік ілмектердің I , II , III , IV тобын алуға болады (30-сурет, б). Бұл материал үшін алынуы мүмкін

едәуір үлкен ілмек гистерезистің шекті ілмегі деп аталады, ал симметриялы гистерезистік ілмектердің ұштары арқылы өтетін 0-A қисығы магниттеудің негізгі қисығы деп аталады. Оны электрлік құрылғылардың магниттік тізбектерін есептеу кезінде қолданады.

Стендтің құрылысы мен жұмыс қағидаты

Зертханалық орнатудың сыртқы түрі мен қағидалық сызбасы 31-суретте көрсетілген. 220 В кернеуге есептелген трансформатор катушқасына 3 жақсы шындалған серіппе, мысалы, егеу орнатылған. Катушка 2 А шкаласы бар амперметр арқылы кернеуді бірсарынды өзгертуге мүмкіндік беретін В-24 түзеткіші қызмет ететін қуат көзі қысқыштарына жалғанған.

В-24 түзеткішіне



ГЗ-34 дыбыс генераторына

31-сурет. Зертханалық қондырғының сыртқы түрі (а) және қағидалық сызбасы (б):

1 – амперметр; 2 – екі полюсті ауыстырып-қосқыш; 3 – катушка; 4 – шындалған білік; 5 – магнитті индукция индикаторы И-354; 6 – түзеткіші бар вольтметр



32-сурет. Магниттік индукция индикаторының жұмыс қағидасын түсіндіретін сызба.
Суреттегі сөздер: ГЗ-34 дыбыстық генераторы
Ауыспалы кернеу вольтметрі

Штативтегі катушка үстінде магниттік индукция индикаторы 5 бекітілген. Бұл индикатор (магниттік бастиек есептеуіші) жұмысының қағидасы келесіден тұрады (32-сурет). Магниттік жұмсақ материалдың серіппесіне оқшаулауыш сыммен екі катушка оралған.

Үстіңгі катушканы (үстеме магниттеу катушкасы) дыбыс генераторына қосу кезінде серіппеде айнымалы магниттік өріс пайда болады. Төменгі катушканы өлшенетін өрістің тұрақты ағынынан және дыбыс генераторымен құрылатын өрістің айнымалы ағынынан тұратын магниттік ағын тесіп өтеді. Айнымалы ағын тұрақтымен салыстырғанда аз қосымша береді деген ықтималдылық болса, вольтметр көрсеткіштері өлшенетін магниттік өріс индукциясына пропорционал деп санауға болады. Серіппедегі магниттік өріс индукциясының сыртқы магниттік өріс индукциясынан квадраттық тәуелділігі индикатор серіппесінің материалына қойылатын маңызды талап болып табылады.

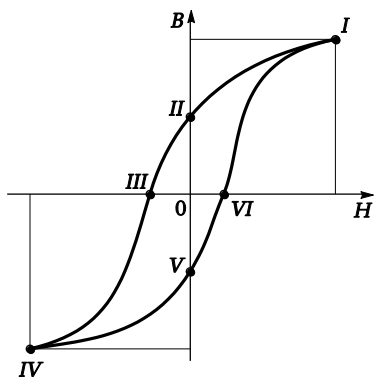
Өлшеу бірлігін таңдау зерттелетін тәуелділік сипаттамасына $B = f(H)$ ешқандай ықпал етпейді, ал амперметр мен вольтметр көрсеткіштері сәйкесінше катушкамен түзілетін магниттік өріс кернеуіне H және білікпен түзілетін өріс индукциясына B пропорционал. Осының негізінде, көрсетілген шамаларды өлшеуге арналған бірлік ретінде 1 А-да токпен құрылатын кернеулікті және вольтметр тілінің ауытқуын, мысалы, 0,1 шкалаға ауытқуын тудыратын индукцияны қабылдауға болады.

Жұмысты орындау тәртібі

1. Қуат көзіндегі В-24 кернеуді реттеу тұтқасын сағат тіліне қарсы соңына дейін бұраңыз. В-24 және ГЗ-34 аспаптарының қуат көздерін қосыңыз. 1-2 минуттан соң ГЗ-34 дыбыс генераторының баптауларын тексеріңіз. Оның 6 кГц жиілігіндегі шығыс кернеуі шамамен 25 В болуы керек.

2. Шыңдалған серіппесі бар 4 катушканы 3 (31-суретті қараңыз) магниттік индукция индикаторының 5 дәл астына білік ретінде орнатыңыз. Алдағы уақытта олардың өзара орналасуын өзгертпеңіз.

3. Өлшеулерге арналған шыңдалған серіппені дайындаңыз, ол үшін



алдымен катушка 3 арқылы өтетін токты 2 А-ға дейін бірқалыпты арттырыңыз, одан соң, дәл осылай бірқалыпты оны нөл деңгейіне дейін төмендетіңіз. Енді серіппе магниттелген. Катушка қуат көзінің өрістілігін ауыстырып-қосқыштың 2 күйін қарама-қайшы күйге орналастырыңыз. Орнату сынақ жүргізуге дайын.

Қуат көзі кернеуін реттемелеу тұтқасымен магниттік өріс кернеулігін H үш шартты бірлікке дейін

32-сурет. Реті құру ілмектер ұлғайтыңыз және вольтметр бойынша гистерезиса

магниттік индукцияны шартты бірлікте анықтаңыз (мысалы, ол 2 шартты бірлікті құрайды). Абциссалар осі H мен ординаттар осі B кестесінде $H = 3$; $B = 2$ координаттары

бар нүктені енгізіңіз (33-суреттегі I нүктесі).

Қуат көзі тұтқасымен кернеулікті нөлге дейін азайтыңыз. Вольтметр көрсеткіші бойынша қалдықты магниттік индукцияны табыңыз (мысалы, ол 1 шартты бірлікті құрайды).

Кестеге $H = 0$; $B = 1$ координаттары бар нүктені енгізіңіз (II нүкте).

Біліктің қалдықты магниттелуін жою үшін ауыстырып-қосқыш 2 арқылы (31-суретті қараңыз) катушканың 3 қуат көзі өрістілігін өзгертіңіз және қуат көзі тұтқасымен вольтметр тілі нөлге жеткенге дейін магниттік өрістің кернеулігін ұлғайтыңыз (енді ол кері бағытта әрекет етеді). Амперметр көрсеткіші бойынша қалдықты магниттеуді жою үшін өрістің қандай кернеулігі қажет болғанын анықтаңыз (мысалы, ол 0,5 шартты бірлікті құрайды). $H = 0,5$; $B = 0$ координаттары бар нүктелерді енгізіңіз (33-суреттегі III нүкте).

Кернеулікті ұлғайтуды жалғастырып, оны өріс әрекетінің қарама-қайшы бағытында 3 шартты бірлікке дейін жеткізіңіз.

Вольтметр көрсеткіші бойынша біліктегі индукция B қайтадан максималды мәнге жеткеніне көз жеткізіңіз (IV нүкте).

Өріс кернеулігін нөлге дейін төмендетіп, V нүктесінің координаттарын, ал индукцияны нөлге дейін жеткізіп (ол үшін ауыстырып-қосқыш 2 арқылы катушка қуат көзінің өрістілігін өзгертіп,

сәйкес кернеулікті құру қажет болады), VI нүктесінің координаттарын табыңыз. Барлық өлшеулерді қатарынан 3 рет орындау керек. I- VI нүктелерінің *B* және *H* координаттары үшін өлшеудің үш нәтижесінің орташа мәндерін қабылдау керек.

5. Кестеге енгізілген I- VI нүктелерін созылыңқы сызықпен біріктіріп, гистерезистің ілмегі болып табылатын тұйық қисыққа қол жеткізесіз.

СЫНАҚҚА АРНАЛҒАН СҰРАҚТАР

1. Гистерезис ілмегі дегеніміз не?
2. Гистерезистің негізгі түрлерін атаңыз.
3. Материалдардың магниттік өткізгіштігінің сыртқы магниттік өріс кернеулігінен тәуелділігі қандай?
4. Негізгі ферромагниттік материалдарды атап көрсетіңіз.
5. Магниттік жұмсақ және магниттік қатты материалдардың қолдану аясын атаңыз.

№8 зертханалық жұмыс

ӨТКІЗГІШТЕРДІҢ МЕНШІКТІ КЕДЕРГІСІН ӨЛШЕУ

Жұмыстың мақсаты: өткізгіштің меншікті кедергісін өлшеу және есептеу.

Теориялық негіздер

Өткізгіштердің маңызды сипаттамасының бірі – олардың электр тоғына кедергісі болып табылады. Әдетте, электрлік техникада барлық ұзындығы бойынша тұрақты қимасы бар өткізгіштер қолданылады. Тұрақты диаметрдің сымдары түріндегі өткізгіштер кеңінен таралған. Олар жылыту аспаптарының спиральдерін, кедергі қораптарының катушкаларын, өлшеу аспаптарына арналған қосымша кедергілер немесе шунттарын дайындау үшін қолданылады. Тәжірибелік жолмен белгіленгендей, өткізгіш кедергісі өткізгіш *l* ұзындығына тура пропорционал және оның көлденең қимасының аумағына *S* кері пропорционал:

$$p = R \frac{S}{l}$$

мұнда, *p* – өткізгіштің меншікті кедергісі.

Бұл формуладан шығатыны, меншікті кедергі

$$1 \text{ Ом} \frac{1 \text{ м}^2}{1 \text{ м}} = \text{Ом} \cdot \text{м}$$

көлденең қимасының ұзындығы бірыңғай және көлемі бірыңғай өткізгіш кедергісін білдіреді.

СИ жүйесінде кедергі оммен, ұзындық метрмен, аумақ шаршы метрмен есептеледі. Сондықтан, СИ жүйесіндегі меншікті кедергінің өлшем бірлігі

$$\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

Дегенмен, металл конструкциялар үшін осы бірліктерде өлшенетін кедергілер өте аз сандармен көрсетіледі. Сондықтан, тәжірибеде ұзындығы 1 м және көлденең қимасының көлемі 1 мм² өткізгіштің меншікті кедергісін қолданады, яғни меншікті кедергіні Ом •мм² формуласымен өлшейді.

Көлденең қиманың белгіленген кедергісі және көлемі кезінде өткізгіштің қажетті ұзындығын анықтаумен байланысты есептеулер кезінде өткізгіштің меншікті кедергісін білу қажет. Өткізгіш қандай металдан жасалғаны белгісіз болған жағдайда мұның қажеттілігі ерекше болады. Міне, сондықтан, өткізгіштің меншікті кедергісін өлшеу өз бетінше бір есеп болып табылады. Сонымен қатар, өткізгіштің меншікті кедергісін білу оның кейбір басқа да қасиеттері жайында мағлұмат береді.

Кейбір металдардың меншікті кедергісі 3-қосымшада келтірілген.

Бұл жұмыста сым түрінде дайындалған кейбір өткізгіштердің меншікті кедергісін есептеу ұсынылады. Түрлі металдардан жасалған сымдардың үлгілері УПИП-60 әмбебап өлшеу аспабы қосылатын қысқыштардың көмегімен текстолиттік панельге бекітілген.

Жұмысты орындау тәртібі

1. УПИП-60М әмбебап өлшеу аспабының көмегімен кедергілерді өлшеу әдістемесін зерттеңіз.

2. Сымның зерттелетін бірінші үлгісінің ұзындығын $L \pm 0,1$ см дәлдігімен сызғышпен өлшеңіз. Микрометрмен мүмкіндігінше бір-бірінен бірдей қашықтықта тұрған төрт жерден сым диаметрін өлшеңіз.

| 1.1-кесте. Бірінші үлгінің меншікті кедергісін өлшеу және есептеу нәтижелері | | | | | |
|--|------|------|------|-------|---|
| Кесіндісі | l, м | d, м | S, м | R, Ом | p |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |

3. $S = \frac{\pi d^2}{4}$ формуласы бойынша осы үлгінің көлденең

қимасының орташа көлемін есептеңіз, мұнда d – микрометрмен жасалған төрт өлшеудің орташа мәні.

4. УПИП-60М аспабымен сымның бірінші үлгісінің бірінші кесіндісінің кедергісін R және мына формула арқылы оның меншіктісі

кедергісін анықтаңыз $p = R \frac{S}{l}$

5. Бірінші үлгінің қалған кесінділері үшін 4-т. бойынша әрекеттерді қайталаңыз.

Өлшеу нәтижелерін 11-кестеге енгізіңіз.

6. Бірінші үлгінің меншікті кедергісін анықтаңыз $p = p + \Delta p$, мұнда p – өрт кесіндінің меншікті кедергілерінің орташа мәні.

7. Сымның қалған үлгілері үшін 2-6-т. бойынша өлшеулерді қайталаңыз.

8. Өлшеулер және есептеулер нәтижелерін 11-кестеге ұқсас кестеге енгізіңіз.

9. Алынған мәндер p бойынша меншікті кедергілердің кестелерінің көмегімен үлгілер қандай металдардан жасалғанын анықтаңыз.

СЫНАҚҚА АРНАЛҒАН СҰРАҚТАР

МЕТАЛДАР ЖӘНЕ ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТЕР КЕДЕРГІЛЕРІНІҢ ТЕМПЕРАТУРАҒА ТӘУЕЛДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

Жұмыстың мақсаты: металдар және жартылай өткізгіштер кедергілерінің температураға тәуелділігін эксперименттік зерттеу және олардың кедергілерінің температуралық коэффициенттерінің өлшеулерімен танысу.

Теориялық негіздер

Электр тоғын өткізу қабілеті бойынша барлық заттар үшке бөлінеді: өткізгіштер, жартылай өткізгіштер және диэлектриктер (оқшаулауыштар). Жартылай өткізгіштердің электрлік кедергісі металдар мен диэлектриктер кедергілерінің арасындағы аралық мәнге ие.

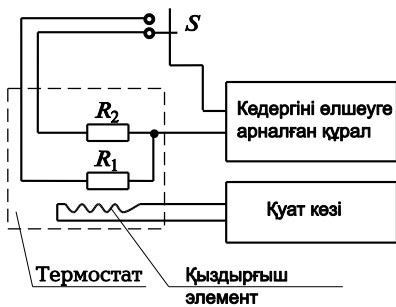
Металл өткізгіштің кедергісі температураға тура пропорционал:

$$R = R_0 [1 + a(t - 20)],$$

мұнда R_0 — 20 °C температура кезіндегі металл өткізгіштің кедергісі; a — металл кедергісінің температуралық коэффициенті, °C⁻¹; t — температура, °C.

Жартылай өткізгіштерде, металдардағыдай, ағымды тасымалдаушылардың қозғалғыштығы температураға тәуелді, бірақ жартылай өткізгіштердің температурада өзгеру сипаты тоқты тасымалдаушы концентрациясының температураға күшті тәуелділігімен анықталады, ал металдар үшін еркін электрондардың концентрациясы температураға тәуелді емес. Жартылай өткізгіштердегі тоқты тасымалдаушы концентрациясының экспоненталық тәуелділігі кезінде жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігінің температуралық тәуелділігі де экспоненталық болып табылады.

Стендтің құрылысы мен жұмыс қағидаты



34-сурет. Эксперименттік қондырғының қағидалық сызбасы

ММТ-4 жартылай өткізгіштік резистор (кедергісі R_1) және мыс сымның катушкасы (кедергісі R_2) болып табылатын металл резистор термостатқа орналастырылған (34-сурет).

Термостаттағы температура сынап термометрімен немесе термопарамен өлшенеді. Резисторлардың кедергісі P-4833 тұрақты тоқ көпірі арқылы немесе кедергіні өлшеу тәртібінде жұмыс істейтін Ц4313 біріктірілген құрылғысы арқылы өлшенеді.

Жұмысты орындау тәртібі

1. Қондырғыны қосып, оның 5-10 минут жылынуына мүмкіндік беріңіз.

2. «Температура орнату» тұтқасы «min» күйінде, ал температураны ауыстырып-қосқыш «Ағымдық» күйінде тұрғанына көз жеткізіңіз. Бұл жағдайда, «Температура» индикаторы бөлме температурасының мәнін көрсетеді.

3. Бөлме температурасы кезіндегі жартылай өткізгіш (R_1) пен металл (R_2) кедергісінің мәнін есептеңіз. Ол үшін:

- ауыстырып-қосқышты S «Жартылай өткізгіш» күйіне қойыңыз және «Кедергі» сандық индикаторының көрсеткіштерін алыңыз;
 - ауыстырып-қосқышты S «Металл» күйіне ауыстырыңыз және дәл сол Кедергі» индикаторының көрсеткіштерін алыңыз.
- Өлшеулер нәтижелерін 12-кестенің бірінші бағанасына енгізіңіз.

12-кесте. Түрлі температура кезіндегі кедергілерді өлшеу нәтижелері

| № т/т | 1 | 2 | 3 | | 12 |
|--------------------------------------|---|---|---|--|----|
| $t, ^\circ\text{C}$ | | | | | |
| $R_1, \text{Ом}$ (жартылай өткізгіш) | | | | | |
| $R_2, \text{Ом}$ (металл) | | | | | |

4. Жартылай өткізгіштің және металл кедергілерінің температурадан тәуелділігін алып тастаңыз. Алдымен үлгілердің жылу температурасын бөлме температурасынан 3°C -ге жоғары етіп орнатыңыз. Ол үшін:

- температураны ауыстырып-қосқышты «белгіленген» күйіне қойыңыз;
 - «Температура» индикаторы бойынша «Температураны орнату» тұтқасының көмегімен қажетті температураны орнатыңыз;
 - температураны ауыстырып-қосқышты «Ағымдағы» күйіне қойыңыз.
- Температура белгіліге жеткен кезде жартылай өткізгіш пен металдың кедергісін өлшеңіз (3-т. қараңыз). Нәтижелерін 12-кестенің екінші бағанасына енгізіңіз.

Одан ары қарай, жылыту температурасын біртіндеп 3°C -ге ұлғайтып, температураның тағы он мәні үшін R_1 және R_2 анықтау керек. Максималды жылыту температурасы $+60^\circ\text{C}$ -ден аспауы керек. Барлық нәтижелерді 12-кестеге енгізу керек.

4. Қондырғыны сөндіріңіз.

5. 12-кестенің мәліметтері бойынша миллиметрлік қағазға жартылай өткізгіш пен металдың температураға тәуелділігінің кестесін жасаңыз.

Кестенің тікелей учаскесінде $R(T)$ металл үшін екі нүкте $R_1(T_1)$ және $R_2(T_2)$ таңдаңыз және мына формула бойынша металдың кедергі коэффициентін есептеңіз:

$$\alpha = \frac{1}{R_0} \frac{R_2 - R_1}{T_2 - T_1}.$$

Егер, өлшеулердің бастапқы температурасы 20°C -ден жоғары болса, R_0 мәнін интерполяция әдісімен табыңыз.

Алынған мәнді мысқа арналған кестелік мәнмен салыстырыңыз.

СЫНАҚҚА АРНАЛҒАН СҰРАҚТАР

1. Электрлік қасиеттері бойынша жартылай өткізгіштер металл және диэлектриктерден несімен ерекшеленеді?
2. Өткізгіштердің электр тоғына кедергісінің механизмі қандай?
3. Жартылай өткізгіштердің температуралық тәуелділігі немен түсіндіріледі?
4. Жартылай өткізгіштің өзіндік өткізгіштігі деген не?
5. Жартылай өткізгіштің қоспалы өткізгіштігі деген не?
6. Қоспалы (жергілікті) деңгейдің белсенділік энергиясы деген не?
7. р-типті және л-типті жартылай өткізгіш деген не?
8. $T = 0$ К кезінде металдар және жартылай өткізгіштердің өткізгіштігі қандай болады?
9. Металдар кедергісінің температуралық коэффициенті қалай анықталады?

№10 зертханалық жұмыс

МЕТАЛЛ ЖЫЛУ ӨТКІЗГІШТІГІНІҢ КОЭФФИЦИЕНТІН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: металдың жылу өткізгіштігінің коэффициентін анықтау, алынған мән бойынша жұмыс кезінде қолданылған металды анықтау.

Теориялық негіздер

Жылу өткізгіштік ұғымы. *Жылу өткізгіштік* – бұл заттардың жылу қозғалысы процесінде олардың құрылымдық бөлшектерімен (молекулалар, атомдар, электрондар) жылу тасымалдауы. Мұндай жылу алмасу температуралардың біркелкі емес бөлінуі бар кез келген денеде болуы мүмкін, бірақ жылу өткізу механизмі заттың агрегаттық күйіне байланысты болады.

Жылулық өткізгіштік құбылысы дененің температурасын анықтайтын атомдар мен молекулалардың кинетикалық энергиясы осы денелердің өзара әрекеттесуіндегі басқа денеге немесе дененің жылып тұрған жерлерінен аз жылынған жерлерге ауысатынын білдіреді.

Егер бөлшектердің еркін аралығының орташа қашықтығында температураның T салыстырмалы өзгеруі аз болса, жылу өткізгіштіктің негізгі заңы (Фурье заңы) орындалады – жылу ағыны тығыздығының

векторы q температура градиентіне пропорционал:

$$\bar{q} = -\lambda \text{grad} T.$$

мұнда X – жылу өткізгіштік коэффициенті (меншікті жылу өткізгіштік), ол бірыңғай температуралық градиент кезіндегі қалыңдығы 1 м^2 , көлемі 1 м^2 материал үлгісі арқылы өтетін жылусанына саны бойынша тең.

Айқындалудың оң жағындағы минус жылу ағыны қарсы бағытталғанын $\text{grad} T$ көрсетіп тұр, яғни температураның жылдам азаюы жағына қарай.

Фурье заңынан ауытқу $\text{grad} T$ өте жоғары мәндерінде (күшті толқын соққыларында), төмен температурада (мысалы, сұйық гелийде) және өте жоғары температура кезінде (шамамен 10^4 - 10^5 К) орын алуы мүмкін.

Сұйықтықтардың жылу өткізгіштігінің коэффициенттері 0,06-ден 0,7 Вт/(м • К) дейінгі диапазонда жатыр. Су мен глицеринді есепке алмағанда, барлық сұйықтықтардағы жылу өткізгіштік температураның ұлғайтылуымен төмендей береді. Газдардың жылу өткізгіштігінің коэффициенттері шамамен 0,006-ден 0,1 Вт/(м • К) дейінгі диапазонда орналасады. Бұл қатарға басқа газдарға қарағанда жылу өткізгіштігі 5-10 есе жоғары сутек пен гелий жатпайды.

Молекулярлық-кинетикалық теорияға сәйкес, газдың жылу өткізгіштігінің коэффициенті мына формуламен анықталады:

$$\lambda = \nu l c_v \rho / 3,$$

мұнда k – молекулалардың орын ауыстыруының орташа жылдамдығы; l – молекулалардың еркін аралығының орташа ұзындығы; c_v — газдың меншікті (жаппай) изохронды жылу сыйымдылығы; ρ – газ тығыздығы.

Жылу өткізгіштік коэффициенті заттың физикалық параметрі болып табылады және температураның, қысымның және заттардың түріне тәуелді болып келеді. Көптеген жағдайларда оны эксперименталды түрде әртүрлі әдістердің көмегімен анықтайды. Олардың басым бөлігі сыналатын заттағы жылу ағыны мен температура градиентін өлшеуге негізделген. Жылулық өткізгіштік коэффициенті бұл жағдайда мына қатынастан алынады:

$$\lambda = q / \text{grad} T.$$

Түрлі заттардың жылу өткізгіштік коэффициентінің шамалас мәндері 4-қосымшада көрсетілген.

Денелер әртүрлі температураға ие болуы мүмкін болғандықтан және жылу айналымы болған кезде дененің өзінде температура біркелкі бөлінбейтіндіктен, ең алдымен жылу өткізгіштіктің температураға

тәуелділігін білу маңызды болып табылады. Тәжірибе көрсеткендей, тәжірибе үшін жеткілікті дәлдікпен көптеген материалдар үшін бұл тәуелділікті сызықтық деп санауға болады:

$$\lambda = \lambda_0 [1 + \beta(t - t_0)],$$

мұнда X_0 — t_0 температурасы кезіндегі жылу өткізгіштік коэффициенті; ρ — тәжірибелік жолмен анықталатын тұрақты.

Жылу өткізгіштік коэффициентін өлшеу әдістері. Баршаға мәлім X өлшеудің эксперименталдық әдістері екі үлкен топқа бөлінеді: стационарлық және нестационарлық емес. Әдістердің бірінші тобы стационарлық жылу тәртібін, екіншісі нестационарлық емес жылу тәртібін қолдануға негізделген.

Жылу өткізгіштік коэффициентін анықтаудың стационарлық әдістері өлшеу сипаты бойынша тура болып табылады (яғни, тікелей X анықталады) және абсолюттік пен салыстырмалы деп бөлінеді. Абсолюттік әдістерде экспериментте өлшенетін параметрлер есептеу формуласының көмегімен X -тің ізделіп отырған шамасын алуға мүмкіндік береді.

Өлшенетін параметрлердің салыстырмалы әдістерінде X абсолюттік шамасын есептеу үшін жеткіліксіз болып табылады. Біріншісі — бастапқы, бірлік ретінде қабылданғанға қатысты жылу өткізгіштік коэффициентінің өзгеруін бақылау. Екінші жағдай — белгілі жылу қасиеттері бар эталондық материалдарды қолдану. Бұл кезде есептеу формуласында эталонның жылу өткізгіштік коэффициенті қолданылады. Қарапайым болуына байланысты салыстырмалы әдістер абсолюттік әдістерге қарағанда артықшылықты болып табылады.

Стационарлы әдістерді кейінгі бөлу жылу (сыртқы, көлемді және біріктірілген) және үлгілердегі (тегіс, цилиндрлік, сфералық) үлгілердегі температура өрісі изотермаларының түріне сәйкес (жалпақ, цилиндрлі, сфералық) жүргізілуі мүмкін. Көлемді жылыту бар әдістер тобы үлгі арқылы жіберілетін токпен жылытудың барлық түрлері, зерттелетін үлгінің нейтрондық немесе сәулелену немесе жиілігі өте жоғары токпен жылытылатын барлық әдістерді біріктіреді.

Стационарлы әдістердің барлық үш тобында да температура өрісі әртүрлі болуы мүмкін.

Жалпақ изотермалар үлгі симметриясының осі бойымен жылу ағыны бағытталған кезде түзіледі. Жалпақ изотермаларды қолдану әдістері әдебиетте жылудың осьтік немесе бойлық ағынды жылу әдістері деп, ал, эксперименталдық қондырғылардың өзін — жалпақ аспаптар деп атайды. Цилиндрлі изотермалар цилиндрлік үлгі радиусының бағыты бойынша жылу ағынының таралуына сәйкес келеді. Жылу ағыны сфера тәрізді үлгінің радиусы бойынша бағытталған жағдайда сфера тәрізді

изотермалар туындайды. Мұндай изотермаларды қолдану әдістері сфералық деп, ал, аспаптар – шар тәрізді деп аталады.

Калориметрлік әдіс. Калориметрия (латын тілінен calor — жылы және грек тілінен metr— өлшеймін) — түрлі физикалық, химиялық және биологиялық процестерді ілестіретін жылу ықпалдарын өлшеу әдістерінің жиынтығын. Калориметрияны жылу физикалық өлшеулерге жатқызады.

Калориметрияда қолданылатын аспаптар калориметрлер деп аталады. Калориметрлік талдаудың аса сезімтал әдістері ең әлсіз жылу ықпалдарын да өлшеуге мүмкіндік береді.

Өлшенетін жылу көлемі үлестірілетін калориметр бөлшектерінің жиынтығы калориметрлік жүйе деп аталады. Оған зерттелетін процес жүретін калориметриялық түтік, температураны өлшеуге арналған құрал (сынап термометрі, қарсыласу термометрі, термобу немесе термобатарея, терморезистор, кварцтық термометр және т.б.; 1300 К-дан жоғары температуралар кезінде оптикалық пирометрлерді қолданады), электрлік қыздырғыш кіреді. Калориметриялық жүйені оның жылуалмасуын қоршаған ортамен реттелеуге арналған экран немесе қабықша қорғайды. Қабықшалар изотермиялық немесе адиабаттық болуы мүмкін. Калориметриялық жүйе мен қабықша температурасының түрлілігі қарапайым және дифференциалдық термобулармен және термобатареялармен, терморезисторлармен және т.б. бақыланады. Электрлік қыздырғышпен жабдықталған қабықшаның температурасы электрондық құрылғылардың көмегімен автоматты түрде бақыланады.

Жылу көлемін өлшеу қағидаттарына қарай барлық калориметрлерді шартты түрде ауыспалы температура, тұрақты температура және жылу өткізгіштерге бөліге болады. Q жылуының көлемі калориметриялық жүйе температурасының өзгеруімен анықталатын ауыспалы температура калориметрлері ең көп тараған:

$$Q = W\Delta T,$$

бұл жерде W — алдын-ала градуирлі тәжірибелерде табылған калориметрдің жылу мәні (яғни, оны 1К жылыту үшін қажетті жылу көлемі); ΔT — тәжірибе кезінде температураның өзгеруі.

Калориметриялық тәжірибе үш кезеңнен тұрады. Алғашқы кезеңде - калориметрдің температуралық жүрісі деп аталатын қабықшамен жылу алмасудың реттеленетін және калориметрдегі кері жылу процестерімен пайда болатын температураның біркелкі өзгеруі орнатылады.

Басты кезең жылуды калориметрге енгізген сәттен басталады және оның температурасының жылдам және біркелкі емес өзгеруімен сипатталады. Тәжірибенің ақырғы кезеңінде (зерттелетін процесс

аяқталған соң) калориметрдің температуралық жүрісі біркелкі болады.

Изотермиялық қабықшасы бар калориметрлерде қабықша температурасына тұрақты түрде қолдау беріледі, ал, калориметриялық жүйе температуралары уақыттың бірдей аралықтарында өлшенеді. АТ-дан бірнеше пайызға жететін жылу алмасуға өзгертулерді есептеу үшін Ньютонның салқындату заңына сүйенген есептеу әдісі қолданылады. Әдетте, мұндай калориметрлер салыстырмалы түрде жылдам процестердегі (тәжірибенің басты кезеңінің ұзақтығы 10-20 минут) жылуды анықтау үшін қолданады.

Адиабаттық қабықшасы бар калориметрлерде қабықша температурасы тәжірибе бойы (соңғының температурасын тек тәжірибенің бастапқы және ақырғы кезеңінде өлшейді) барлық уақыттағы калориметриялық жүйе температурасына жақын температурамен қолдау беріледі. Бұл жағдайда жылу алмасуға өзгертулер болмашы және адиабатикалық емес және температура жүйесіне өзгертулер сомасы ретінде есептеледі. Мұндай калориметрлер жай жүретін процестердегі жылуды анықтау кезінде қолданылады.

Жұмыста қолданылатын жабдық

Жабдық құрамына мыналар кіреді: өзара цилиндр пішініндегі металл кесекпен жалғанған екі алюминий стақан (кесек жасалған металдың жылу өткізгіш коэффициентін жұмыс барысында анықтау қажет); мензурка, штангенциркуль, екі термометр, секунд өлшеуіш. Жылуоқшаулау үшін стақаншалар пенопласттан жасалған тақтадағы тесікке орнатылған.

Жұмысты орындау тәртібі

1. Штангенциркульмен стақандарды жалғайтын металл кесектің d диаметрін өлшеңіз. Кесектің көлденең қима $S = \pi d^2/4$ ауданын анықтаңыз.

d және S мәндерін жұмыс дәптеріне жазыңыз.

2. Мензуркаға салқын су құйыңыз, оның көлемін $U_{\text{сал}}$ өлшеңіз және мәнді жұмыс дәптеріне жазыңыз.

3. Мензуркадағы салқын суды алюминий стақандардың біріне құйыңыз.

4. Екінші стақан мен ыстық суды қолдана отырып, 2 және 3 тармақтардағы әрекеттерді қайталаңыз. Ыстық және салқын судың көлемі бірдей болғаны дұрыс ($U_{\text{сал}}, U_{\text{ыст}}$).

5. Ыстық және салқын су құйылған стақандардың бетін қақпақпен тығыздап жабыңыз, қақпақтардағы арнайы тесіктерге термометр салыңыз.

6. Ыстық (T_{01}) және салқын (T_{02}) судың бастапқы температураларын 13-кестенің бірінші бағанасына жазыңыз (уақыт 0 с). Секунд өлшеуішті қосып, әрбір 30 секунд сайын ыстық және салқын судың термометрдегі көрсеткіштерін 13-кестедегі сәйкес бағаналарға жазыңыз. Өлшеу процесінде суды үздіксіз араластырып тұрыңыз. Ыстық су мен салқын су температуралары жобамен бірдей болмайынша өлшеулерді тоқтатпаңыз.

7. 13-кестеге енгізілген әрбір T_1 және T_2 жұбының ағымдағы мәндері үшін формула бойынша жылу өткізгіштік коэффициентін есептеңіз.

13-кесте. Температураның жылу өткізгіштік коэффициентін өлшеу және есептеу нәтижелері

| Уақыт t, с | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | |
|--|---|----|----|----|-----|-----|-----|--|
| Ыстық су температурасы T_1 , °C | | | | | | | | |
| Салқын су температурасы T_2 , °C | | | | | | | | |
| Жылу өткізгіштік температурасы α , Вт/(м • К) | | | | | | | | |

$$\lambda = \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2) \ln \left(\frac{T_{01} - T_1}{T_{02} - T_2} \right)}{St},$$

бұл жерде C_j — алюминийдің меншікті жылу сыйымдылығы; m_j — алюминий стақандардың салмағы; c_2 — судың меншікті жылу сыйымдылығы; m_2 — су массасы; T_{0j} — ыстық судың бастапқы температурасы; T_{02} — салқын судың бастапқы температурасы; S — кесектің көлденең қима ауданы; t — секунд өлшеуішті қосу уақыты T_j және T_2 температураларының ағымдағы мәндерін өлшеуге дейінгі уақыт.

8. Алынған мәліметтер негізінде жылу өткізгіштік коэффициентінің орташа мәнін есептеңіз оны түрлі металдардың жылу өткізгіштік коэффициенттерінің кестелік мәндерімен салыстырыңыз (5-қосымшаны қараңыз) және кесектің қандай металдан жасалғанын анықтаңыз.

СЫНАҚҚА АРНАЛҒАН СҰРАҚТАР

1. Жылу өткізгіштік коэффициентіне анықтама беріңіз.
2. Жылу өткізгіштік коэффициенті неге тәуелді? Оның өлшем бірлігі қандай?
3. Жылу өткізу процесі қалай жүретінін түсіндіріңіз.
4. Жылу өткізгіштік коэффициентін өлшеудің негізгі әдістерін атаңыз.
5. Осы жұмыста жылу өткізгіштік коэффициентін өлшеудің қандай әдісі қолданылғанын атаңыз?

Тәжірибелік жұмыс

СЫМДАР МЕН КАБЕЛЬДЕРДІҢ ҚИМАЛАРЫН ЕСЕПТЕУ

Жұмыстың мақсаты: берілген талаптар бойынша сымдар мен кабельдердің қималарын есептеу және есептік мәліметтерге сәйкес кабель, сымдардың таңбасын таңдау.

Теориялық негіздер

Электр сымдар жүйесі туралы жалпы мәліметтер. Электр

энергиясын электрқабылдағыштарға жалғау үшін – бекіткіштері, ұстап тұратын қорғаныш құрылымдары мен бөлшектері бар сымдар мен кабельдердің жиынтығын – электр сымдар жүйесін қолданады.

Ерекше орындалуы бойынша электр сымдар жүйесі ашық және жабық болуы мүмкін. Ашық сым жүйелерін қабырға, төбе беттерімен және ғимараттар мен құрылыстардың басқа да элементтері бетімен жүргізеді.

Жабық электр сым жүйесі екі топқа бөлінеді. Біріншісіне құбырлармен (болаттан, шыныдан, асбоцементтен, резеңкеден және т.б.) жүргізілетін түрлі электр сым жүйелері жатады. Екіншісіне құбырсыз құрылыстық құрылымдар элементтеріндегі электр сым жүйелері жатады.

Өткізгіштердің материалын таңдау. Коррозия әсеріне бейімі әлсіз және жоғары өткізгіштігі бар мыс алюминийге қарағанда басымдыққа ие. Одан бөлек, мыспен салыстырғанда алюминий мықты емес, бірнеше майысқаннан кейін алюминий сымы сынып қалуы мүмкін.

Алюминийдің ауамен ұштасқанда жылдам уақытта қышқылдануы да оның кері қасиеті болып табылады, оның нәтижесінде алюминий сымында баяу балқитын оксидтік қабықша түзіледі. Ол тоқты нашар өткізеді, демек жақсы байланыс қалыптасуына кедергі береді. Нашар байланыс жері қызады, ұшқынданады, сонымен бірге, онан сайын қышқылданады, яғни, одан әрі қызады. Ары қарай өртке де алыс емес. Бұрандалы қысқышпен бекіту кезінде алюминий өзінің тағы бір кері қасиетін танытады – ағудың төменгі шегі. Алюминий сым қысқыштан шығып кетеді («ағады»), ол байланысты әлсіретеді. Демек, үлестіргіш қораптар мен басқа да құрылғылардағы қысқыш қолданылатын алюминий сымдар арагидік тексеру мен қайта қысуды талап етеді.

Алюминий мыспен байланысқан уақытта гальваникалық жұп түзіледі, онда, алюминий электркоррозиясына ұшырайды да бұзылады, бұл, жалғаудың бұзылуына алып келеді.

Кабельдер мен сымдарды таңдау үшін ұсыныстар. Егер тұрақты сымдар жүйесі жүргізілетін болса, онда ең дұрысы жалғыз сымнан тұратын тоқ өткізуші тарамдары бар сымдарды пайдаланған дұрыс. Көп сымды кабельмен салыстырғанда ол коррозияға аз ұшырайды (бетінің аз ауданы арқасында), оны қосу алдында қорғау жеңіл.

Ауадағы озон әсерінен резеңке ескіреді және майда жарықтарға ұшырайды. Осыған байланысты күн сәулесі түсетін жерлерде резеңкемен оралған кабельді пайдаланбаған дұрыс.

Поливинилхлорид қатты аяздарда жарылуға ұшырауға бейім, сондықтан, далада полиэтиленмен оралған кабельдерді пайдаланбаған жөн.

Бөлмелердің ішінде кабельдерді тұрақталған өздігінен өшетін

полиэтиленді пайдаланған дұрыс (сым таңбасында Пс әріптерімен белгіленеді).

Жоғары өрт қауіптілігі бар жерлерде қабықтары бар АВВГнг, ВВГнг, АВББШнг және ВББШнгкабельдерді немесе жанғыштығы төмен ПВХ-пластикат құбыршектерін пайдалану керек.

Сулы ортада (мысалы, сорғыштарды іске қосу үшін) батпалы қозғалтқыштарды үшін ВПП таңбалы кабельді пайдалану қажет.

Тұтынушыларды уақытша қосу үшін ең дұрысы көптарамды КГ және ПВС таңбалы кабельдерді (резеңке қабықшада, резеңкелі оқшаулаумен жабдықталған, көп сымды мыс тарамдарды), тұрақты жалғау үшін – ВВГ (далада), ВББШв (жерде жүргізу үшін) кабельдерін пайдалану керек.

Жанғыш материалдар арқылы жүргізілетін электр сым жүйелері үшін таңбалауында «н» (жанбайтын) немесе «нг» (жануды таратпайтын) әріптері бар кабельдерді қолдану қажет. Мысалы, КГн және ЛЧВВГнг кабельдері.

220 В кернеуі бар бір фазалы желіде екі немесе үш тарамды (үшінші тарам – «жер») кабель пайдаланады. 380 В кернеуі бар үш фазалы желіде үш немесе төрт тарамды (төртінші тарам – «жер») кабель пайдалану керек.

Жұмысты орындауға арналған нұсқаулар

Сымдар мен кабельдердің қию жерін таңдау үшін жүктемемен тұтынылатын максималды тоқты ескеру қажет.

Бір фазалық жүктеме үшін

$$I_H = \frac{P_H}{U_C}$$

бұл жерде P_H — жүктеме қуаты; u_c — қоректендіру кернеу; үш фазалы жүктеме үшін

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3}U_C}$$

сымның қию жерін таңдау кезінде қосымша жүктемені жалғау мүмкіндігін қарастыру қажет. Ол үшін жүктеменің есептелген қуаттылығын көбейтетін K_c қор коэффициенті пайдаланылады.

6-қосымша бойынша барлық тұтынушылардың қолданатын жалпы тоғын біле отырып, сымның көлденең қима S жерін таңдауға болады.

Сымдар мен кабельдердің қию жері, әдетте, үш әдіспен есептеледі: ұйғарынды қызу бойынша, кернеудің ұйғарынды жоғалуы бойынша және механикалық төзімділік бойынша.

Ұйғарынды қызу бойынша есептеуде сызықтардың салыстырмалы түрде қысқа ұзындықтары (жобамен 30 м-ге дейін) айқындауыш болып табылады. Электр тоғының өткізгіш бойынша өту кезінде өткізгіш қызады. Оқшауланған сымдардың қызуы белгіленген температурадан аспауы қажет, себебі оқшаулау қатты қызу кезінде шоқтанып, тіпті, жанып кетуі де мүмкін.

7-қосымшада қоршаған орта температурасына қарай пайызда 57_H ұйғарынды тоқ жүктемесі көрсетілген. Бұл ретте жүктеменің есептік тоғы мына формула бойынша есептеледі

$$I_{\rho} = I_H + I_H \frac{\delta I_H}{100}$$

Есептік тоқ бойынша өткізгіштің қию жерін анықтайды.

Сымдар мен кабельдердің апатсыз жұмысы үшін оқшаулау типіне, монтажына және қоршаған орта температурасына байланысты ұйғарынды шекті қызу температурасы ($60-80^{\circ}\text{C}$) орнатылған.

Кернеудің ұйғарынды жоғалтуы бойынша сымдар мен кабельдердің қию орнының есебін басты түрде жарықтандырғыш желілер үшін жүзеге асырады. Қуат желілері үшін мұндай есептілікті тек олардың салыстырмалы түрде жоғары ұзақтылығында қолданады.

Қию ауданын мына формуламен анықтайды

$$S_{II} = \frac{M_H}{C\Delta U}$$

бұл жерде M — жүктеме сәті, кВт • м; C — сым, кернеу материалына және желідегі тоқ түріне байланысты коэффициент (мыс сымы үшін қуат кернеуі 220 В кезінде 12,8 тең деп қабылданады; алюминий сымы үшін — 7,4); AU — кернеудің ұйғарынды жоғалтуы (1000 В қуат желілері үшін — 5 %; жарықтандырғыш желілері үшін — 2,5 %).

Жүктеме сәті

$$M = P_H L,$$

Бұл жерде L — қуат көзінен ең шалғай шамға дейінгі сызық ұзақтығы, м.

14-кесте. Есептеу және таңдау мәліметтері

| Сым, кабель | $\frac{U_{\text{ср}}}{U_{\text{н}}}$ $\frac{I_{\text{ср}}}{I_{\text{н}}}$ $\frac{S_{\text{ср}}}{S_{\text{н}}}$ $\frac{I_{\text{ср}}}{I_{\text{н}}}$ | Ұйғарымды қызу бойынша есептелген ток, I_p, A | Кернеудің ұйғарымды жоғалуы бойынша есептелген қимасы, $S_p, \text{мм}^2$ | Таңдалған қима, $S, \text{мм}^2$ | Сым, кабель таңбасы |
|-------------------------------------|--|---|---|----------------------------------|---------------------|
| Кіріспе | | | — | | |
| Дүкен электр желілері | | | — | | |
| Дүкеннің жарықтандырғыш желісі | | | | | |
| Сыртқы жарықтандыру электр желілері | | | | | |

Механикалық төзімділік ұғымына байланысты тоқтың әлсіз мәндерінде мыс тарамының қима ауданы 1 мм^2 кем болмауы, ал алюминийдікі - 2 мм^2 кем болмауы тиіс.

Көрсетілген есептіліктерді орындағаннан кейін есептілік мәндерінен ең жоғары мәнге (немесе жақын ең үлкен мәнге) тең өткізгіш тармақтарының стандартты қимасын таңдайды.

Есептілік үшін келесі бастапқы мәндерді пайдаланыңыз. Дүкенде электр энергиясының келесі тұтынушылары бар: екі тоңазытқыш камера (тұтынылатын қуаттылық $2 \times 2 \text{ кВт}$), тоңазытқыш (1 кВт), желдеткіш ($1,5 \text{ кВт}$), қысқа толқынды пеш (1 кВт), сөрелердің жарықтандырғыш шамдары ($10 \times 10 \text{ Вт}$), жарықшамдар ($8 \times 80 \text{ Вт}$), сыртқы жарықтандырғыш (500 Вт).

Полимерлі материалдармен жабылған электр сымдар жүйесі.

Тапсырма.

Есептеңіз және сым, кабельдерді таңдаңыздар: кіріспе, дүкеннің электрлік желісі, дүкеннің жарықтандырғыш желісі, сыртқы жарықтандырғыштың электрлік желісі.

K_z қор коэффициентін $1,3$ тең деп қабылдаңыз. Барлық есептіліктер жұмыс дәптеріне жазылуы тиіс. 14-кестені толтырыңыз.

Жұмыс туралы есептілікті құрастыру үлгісі

№__ зертханалық (практикалық) жұмыс туралы есеп

1. Тақырыбы _____

2. Жұмыстың мақсаты _____

3. Формулалар мен алдын-ала есептіліктер

4. Сызбалар мен кестелер

5. Есептілік-графикалық бөлігі

6. Қысқаша қорытындылар

Оқушы _____

Ұстаз _____

Заттардың магниттік қасиеттері

Магниттеудің негізгі қисықтары

Магниттік өрістегі кез-келген J заттың магниттенгендігін материалдың жалпы M магниттік сәттің оның V көлеміне қатысты ретінде анықтауға болады:

$$J = M/V.$$

Магниттенгендік H магниттік өрістің кернеулігіне тәуелді:

$$J = k_m H,$$

бұл жерде k_m — магниттік қабылдағыштық — осы заттың магниттенуге қабілеттілігін сипаттайтын өлшемсіз шама.

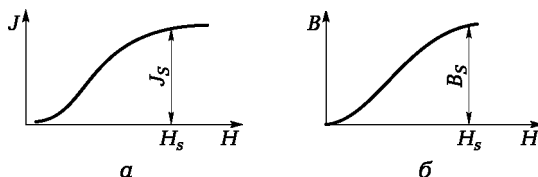
$B = f(H)$ и $J = f(h)$ қарай, алдын-ала магнитсіздендірілген үлгілерден алынғандар магниттенудің негізгі қисықтары деп аталады (П1-сурет).

Олар магнитті материалдардың ең маңызды сипаттамалары болып табылады.

Заттардың магниттік қасиеттері бойынша жіктелімі

Диамagnetиктер — магниттік өрістердің атомдары жиналып, сыртқы магниттік өрісті әлсірететін өзіндік магниттік өрісін құрайтын болып табылатын таза түрде диамagnetтік әсер болатын заттар.

Осы әсері езінде туындайтын магниттік сәт сыртқы өріске қарсы бағытталған.



П1-сурет. Магниттенудің негізгі қисықтары:

a — B индукцияның магниттік өріс кернеуіне тәуелділігі; b — I магниттенудің H магниттенуге тәуелділігі; J_s — қанығудың магниттенуі; B_s — қанығу индукциясы; H_s — магниттік қанығуға сәйкес өрістің кернеулігі

Диамагнетиктердің k_m магниттік қабылдағыштығы температураға әлсіз байланысты және (10^{-7} - 10^{-8}) диапазонында орналасады; салыстырмалы магниттік өткізгіштігі $\mu < 1$.

Диамагнетиктерге мысал: ковалентті химиялық байланысы бар барлық заттар, сілтілі-галоидті кристалдар, органикалық емес шынылар, жартылай өткізгіш жалғаулар, кремний, германий, бор, мыс, күміс, алтын, мырыш, сынап, галий, сутек, азот, су және т.б.

Парамагнетиктер — өтеделмеген магниттік сәттері бар және магниттік атомдық тәртібі жоқ заттар. Парамагнетиктің магниттік сәті нөлге тең. Сыртқы магниттік өрістің әсерімен өріске бағытталған магниттік сәттердің бағдарына байланысты магниттену пайда болады.

Парамагнетиктерде $\mu > 1$, а k_m көп жағдайларда $k_m = 10^{-6}$ - 10^{-3} бөлме температурасы кезінде температура өсуімен азаяды.

Парамагнетиктерге мысал: сілтілі және сілтілі-жер металдары, кейбір ауысқыш металдар, темір, кобальт, никель, сирекжерлік металдар, оттегі, азот тотығы және т.б. тұздары.

Ферромагнетиктер — Кюри нүктесінен төмен температура кезінде оларда сыртқы магниттік өрістің болмауы кезінде де макроскопиялық өрістерде (домендерде) спиндердің параллель орналасуына сәйкес магниттік біртектілік байқалатын заттар. k_m және μ ферромагнетиктерде үлкен мәндерге жетеді, магниттік өрістің кернеулігі мен температурасына қатты тәуелді болады.

Ферромагнетиктер мысалы: темір, никель, кобальт, олардың қосылыстары мен қорытпалары, марганец, күміс, алюминий және т.б. кейбір қорытпалары.

Антиферромагнетиктер — кристалдық тордың бірдей атомдары мен иондарының қарсы параллель бағдарларынан туындайтын, антиферромагниттік атомдық тәртіппен сипатталатын заттар. Антиферромагнетиктерде k_m 10^{-5} - 10^{-3} диапазонында жатады және температураға қатты тәуелді. Қызу кезінде антиферромагнетиктерде Неель нүктесі (Кюридің антиферромагниттік нүктесі) деп аталатын температурада магниттік бірыңғайлық жоғалады.

Антиферромагнетиктерге мысал: мырыш, марганец, цезий, неодим, самарий, тотыққан, галогенидтер, сульфидтер, карбонаттар және т.б. түрлерінің ауыспалы топтары металдарының негізіндегі химиялық жалғаулар.

Ферримагнетиктер — Неель нүктесінен жоғары емес температура кезіндегі өтеделмеген антиферромагнетизмі бар заттар. Осы нүктеден жоғары температура кезінде ферримагнетиктер парамагниттік жағдайға ауысады.

Ферримагнетиктерге кейбір бірыңғайланған металдық және түрлі оксидтік жалғаулар жатады, олардың ішінде ең жоғары қызығушылық

танытатын ферриттер: $MnO \cdot Fe_2O_3$, $BaO \cdot 6Fe_2O_3$, $(NiO \cdot ZnO)Fe_2O_3$, $Li_2O \cdot Fe_2O_3$ және т.б.

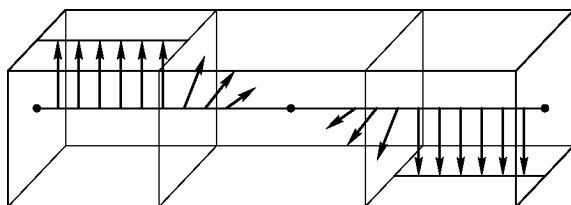
Ферро- және ферромагнетиктер қатты магниттік материалдарға жатады, қалғандары әлсіз магниттік заттар.

Ферромагнетизм табиғаты

Ферромагнетиктерде магниттік қасиеттердің туындауы олардың домендік құрылысына байланысты. Кез келген магниттік материал бүкіл көлемі бойына көптеген тұйықталған бөліктерге – домендерге бөлінген, олардың әрқайсысында өздігінен магниттенгендік біртекті. Домендердің магниттік сәттері кеңістікте теңалай бағдарланғандықтан, кристалл негізінен магниттік емес. Көршілес домендер арасында шектес қабаттар – Блок қабырғалары туындайды. Домендік қабырғалар ішінде магниттенгендік векторлары жай бұрылады (П2-сурет). Домендер көлемі кең шектерде ауытқуы мүмкін (от 10^{-6} до 10^{-1} см³). Қарсыпараллель домендер арасындағы шекара ені темір үшін $13 \cdot 10^{-8}$ м құрайды. Шекара қалыңдығы ең басты түрде энергия қатынасына қатысты: алмасу, магниттік анизотропия және магнитсерпімділік. Домендердің көлемдері металл емес қосылуларға, түйірлердің шегіне, дислокациялардың жиналуына және басқа да әртекстіліктерге байланысты. Әдетте, домендер түзу пішінге ие.

Магниттік материалдардағы жоғалтулар

Магниттік материалдардың ауыспалы магниттік өрісінде қайта магниттелу процесі магниттік өрістің белгілі бір бөлігін жылуға айналдырумен өтеді, бұл, магниттік материалды қыздырғанда сырттай білінеді.



П2-сурет. Блок қабырғалары

Бұл уақыт бірлігінің энергиясы магниттік жоғалтулар деп аталады. Магниттік жоғалтулардың негізгі екі түрі бар: гистерезисте және құйынды тоқта.

Гистерезисте жоғалту магниттік гистерезис құбылысы және домендік шекаралардың қайтымсыз жылжуларымен байланысты. Гистерезис жоғалтуы гистерезис ілмегінің өрісіне пропорционал. Гистерезистік цикл және онымен байланысты жоғалтулар әрбір кезең бойы қайталанатындықтан, гистерезистегі жоғалтулар ауыспалы магниттік өріс жиілігіне пропорционал.

Құйынды тоқтарға жоғалтулар магниттік материалда магниттік ағын ықпалдандыратын электрлік тоқтармен туындайды. Олар магниттік өріс жиілігінің шаршысына пропорционал, сондықтан, жоғары жиіліктерде магниттік материалдарды қолдануға шектеу болып табылады.

Магнитті диэлектриктер

Реэңке — каучуктың вулканизациясы нәтижесінде түзілетін созылғыш материал. Тәжірибеде оны реэңкелік қоспадан алады. Қоспаның құрамында каучук пен вулканизациялайтын агенттерден басқа толтырғыштар, пластификаторлар, тұрақтандырғыштар және басқа да құрауыштар бар. Әдетте, реэңкеде ферромагниттік қасиет жоқ, бірақ, оған толтырғыш ретінде магниттік ұнтақ қосылған болса, реэңкеде магниттік қасиеттер пайда болады, олар мысалы, тоңазытқыштардың магниттік нығыздағыштарында қолданылады. Сол сияқты кез-келген пластикалық массада магниттік материал дайындауға болады. Ферромагниттік материалдардың бөлшектері қосылған диэлектрлік материалдар магниттік диэлектриктер деп аталады. Магниттік диэлектриктердің магниттік өткізгіштігі салыстырмалы түрде жоғары емес, бірақ, құйынды тоқтарға жоғалтулары аз болғандықтан (олардағы бөлек ферромагниттік бөлшектер бір-бірінен диэлектрикпен оқшауланған) олар жоғары жиіліктегі жұмыстар үшін қолданылады.

Жұқа қабық түріндегі магниттік материалдар

Жұқа магниттік қабықтарды түрлі әдістермен әзірлеуге болады. Бұл қабықтар ең басты түрде сақтау құрылғыларында пайдаланылады. Жұқа магниттік қабықтардағы сақтау құрылғылары классикалық ферриттік сақтау құрылғыларынан келесі басымдықтарға ие: қайта магниттелудің аз уақыты (әдетте 10^{-9} с); кіші көлемі; жұмыс температураларының кең интервалы; механикалық жүктемелер мен ылғалдылықтарға күшті төзімділік; өндірістік процесті

автоматтандыруға қабілеттілігі.

Жұқа магниттік қабықтардың қасиеттері олардың құрамына, қалыңдығына және әзірлеу технологиясына байланысты. Бұл жерде домендік құрылым көлемді материалдарға қарағанда магниттік өрістің өзгеру сипатына көбірек тәуелді. Құрылымдардың өзгеруі көп жағдайларда қайтарымыз болмайды. Қабықтар анизотроптық (бір бағытта – поликристалдық, екі бағытта - монокристалдық) болып табылады. Егер, бір уақытта көлденең магниттік өріс әрекет етсе, қайта магниттелу уақыты қатты азаяды. Ерекше қызық қасиеттерінде көпқабатты құрылымдар бар. Мұндай құрылымдардағы коэрцитивтік күш осындай құрамдағы бөлек қабаттармен салыстырғанда едәуір аз. Бұл қайта магниттелу уақытын наносекундтың оннан бір үлесіне дейін қысқартады.

Магнитострикция

Магнитострикция құбылысы деп магниттік өріс әсерінен немесе магниттік өріс кернеуінің өзгеруі кезінде магниттік материалдан дайындалған денелердің геометриялық көлемдерінің өзгеруін атайды. Ұзындық, ең немесе дене көлемі – не өзгеретініне байланысты бойлық, көлденең немесе көлемдік магнитострикция туралы айтады. Бойлық және көлденең магнитострикция әдетте таңбамен белгіленеді. Магниттік өріс әсерінен ұзартылатын материалдардың магнитострикциясы оң деп аталады. Қысқартылу кезінде кері магнитострикция деп атайды. Магнитострикцияның ерекше түрі электр тоғы өтетін (Видеман құбылысы) магниттік материалдан дайындалған дененің бұралуын атайды.

Магниттік өрісте магниттік материалдан дайындалған үлгінің салыстырмалы түрде ұзаруы (немесе қысқаруы) деп анықталатын магнитострикцияның коэффициенті магнитострикцияның сандық көрсеткіші болып аталады. Бұл коэффициент 10^{-5} тәртібіне ие. Ол материалдың магниттену шаршысына пропорционал және температураға тәуелді, сонымен бірге, температура өзгерісі кезінде магнитострикция таңбасы да өзгеруі мүмкін, мысалы, темірде. Кюри нүктесінде магнитострикция жоғалады.

Магнитострикция құбылысы генераторлар мен ультрадыбыстық толқын қабылдағыштарында (20 кГц жоғары жиілігі бар толқындар), теңіздің тереңдігін өлшеу үшін, материалдарда ақауларды (ультрадыбыстық дефектоскопия) анықтау үшін механикалық энергияны электр энергиясына түзгіштерде, биологияда, медицинада, ауыл шаруашылығында және т.б. салаларда қолданылады.

Ең маңызды магнитострикциялық материалдарға пермендюрлер (құрамында 49% кобальт, 49% темір және 2% ванадий бар

қорытпалар), пермаллойлар (темір мен никель қорытпалары), никель және магнитострикциялық ферриттер жатады.

Ферриттер

Ферромагнетиктермен салыстырғанда ферриттердің ең басты құндылығы олардың салыстырмалы электрлік кедергісі едәуір жоғары және жартылай өткізгіштер мен диэлектриктерге (10^2 -нан 10^{10} Ом • м дейін) сәйкес деңгейлерге жететіні. Осыған байланысты оларды ең жоғары жиіліктерде қолдануға болады, себебі, олардағы құйынды тоқтарға жоғалтулары едәуір аз. Қазіргі уақытта жиіліктің осы саласында олар таптырмайтын материалдар болып табылады.

Ферриттердің құрамы мен құрылымын өзгерте отырып, олардың қасиеттерін басқаруға болатыны да олардың құндылығы болып табылады. Көптеген ферриттер тепшы емес материалдардан әзірленеді және салыстырмалы түрде арзан болып табылады.

Ферриттердің кемшілігіне олардың төмен магниттік қанығуын (немесе қанығуды магниттену индукциясының) айтуға болады. Сол уақытта, ең күшті ферромагнетиктердегі қанығу индукциясы 2,4 Тл жететін болса, ферриттерде ол тек 0,15-0,5 Тл құрайды, бұл, олардағы магниттік сәттердің бөлігі әрқашан өтелген болатынына байланысты. Көрсетілген мәндер төмен жиіліктер саласына жатқызылады. Жоғары жиілік саласында ферриттер ферромагнетиктерге қарағанда жоғары қанығу индукциясына ие.

Ферриттердің нашар механикалық қасиеттері де олардың кемшілігі болып табылады. Ферриттер қатты және сынғыш, қуыстылығына байланысты жарықтардың пайда болуына бейім. Сондықтан олардың беттерін қорғау қажет.

Кейбір заттардың меншікті кедергісі

| 20°C температура кезіндегі зат | ρ , Ом • м |
|--------------------------------|--------------------|
| Алюминий | $28 \cdot 10^{-8}$ |
| Темір | $9 \cdot 10^{-8}$ |
| Мыс | $1 \cdot 10^{-8}$ |
| Нихром | $1 \cdot 10^{-8}$ |
| Болат | $10 \cdot 10^{-8}$ |
| Мырыш | $1 \cdot 10^{-8}$ |

Бейметалдардың жылу өткізгіштік коэффициенттері

| Материал | Жылу өткізгіштік коэффициенті Вт/(м • К) | Материал | Жылу өткізгіштік коэффициенті Вт/(м • К) |
|------------------------|---|---|---|
| Алебастрлық тақталар | 0,47 | Кремнезийлік тақталар | 0,07 |
| Асбест (шифер) | 0,35 | Жез | 110 |
| Талшықты асбест | 0,15 | Мұз | |
| | | 0°С | 2,21 |
| | | -20 °С | 2,44 |
| | | -60 °С | 2,91 |
| Асбестоцемент | 1,76 | Жөке, Қайың, Үйеңкі, Емен (15 % ылғалдылық) | 0,15 |
| Асбоцемент тақталар | 0,35 | Мипора | 0,085 |
| Асфальт | 0,72 | Жоңқалар (төгінді) | 0,095 |
| Едендердегі асфальт | 0,8 | Құрғақ ағаш жоңқалары | 0,065 |
| Бакелит | 0,23 | ПВХ | 0,19 |
| Тас шағылындағы бетон | 1,3 | Көпіршік бетон | 0,3 |
| Құмдағы бетон | 0,7 | Пенопласт ПС-1 | 0,037 |
| Қуысты бетон | 1,4 | Пенопласт ПС-4 | 0,04 |
| Тұтас бетон | 1,75 | Пенопласт ПХВ-1 | 0,05 |
| Жылу өткізбейтін бетон | 0,18 | Пенопласт резопен ФРП | 0,045 |
| Битум | 0,47 | Пенополистирол ПС-Б | 0,04 |
| Қағаз | 0,14 | Пенополистирол ПС-БС | 0,04 |
| Минералды мақта, жеңіл | 0,045 | Пенополиуретан қағаздар | 0,035 |

| Материал | Жылу өткізгіш коэффициенті Вт/(м • К) | Материал | Жылу өткізгіш коэффициенті Вт/(м • К) |
|----------------------|--|-------------------------------|--|
| Минералды мақта ауыр | 0,055 | Пенополиуретан панельдер | 0,025 |
| Мақта | 0,055 | Пергамин | 0,17 |
| Вермикулит қағаздары | 0,1 | Перлит | 0,05 |
| Жүнді киіз | 0,045 | Перлисто-цемент тақталары | 0,08 |
| Құрылыс гипсі | 0,35 | Құм: | |
| | | 0 % ылғал | 0,33 |
| | | 10 % ылғал | 0,97 |
| | | 20 % ылғал | 1,33 |
| Глинозем | 2,33 | Күйдірілген құмдақ | 1,5 |
| Гравий (толтырғыш) | 0,93 | Қаптау тақтасы | 105 |
| Гранит, базальт | 3,5 | Жылу өткізбейтін тақта ПМТБ-2 | 0,036 |
| Топырақ (10 % су) | 1,75 | Полистирол | 0,082 |
| Топырақ (20 % су) | 2,1 | Поролон | 0,04 |
| Құмды топырақ | 1,16 | Портландцемент ерітіндісі | 0,47 |
| Құрғақ топырақ | 0,4 | Тығынды тақта | 0,043 |
| Нығыздалған топырақ | 1,05 | Жеңіл тығынды табактап | 0,035 |
| Гудрон | 0,3 | Тығынды қағаздар ауыр | 0,05 |
| Сүрек (тақтайлар) | 0,15 | Резеңке | 0,15 |
| Қатты сүрек түрлері | 0,2 | Рубероид | 0,17 |

П4-кесте жалғасы

| Материал | Жылу өткізгіш коэффициенті, Вт/(м • К) | Материал | Жылу өткізгіш коэффициенті, Вт/(м • К) |
|------------------------------|--|--|--|
| Сүрек — фанера | 0,15 | Сланец | 2,1 |
| ДСП | 0,2 | Қар | 1,5 |
| Темірбетон | 1,7 | Қарапайым қарағай, шырша, майқарағай (450-550 кг/м ³ , 15 % ылғалдылық) | 0,15 |
| Күл | 0,15 | Қарамайлы қарағай (600-750 кг/м ³ ; ылғалдылық — 15 %) | 0,23 |
| Әктас | 1,7 | | |
| Әк | 0,87 | Шыны | 1,15 |
| Қырау | 0,47 | Шынылы мақта | 0,05 |
| Ипорка | 0,038 | Шыны талшығы | 0,036 |
| Тас | 1,4 | Шынытекстолит | 0,3 |
| Құрылыстық көпқабатты картон | 0,13 | Жоңқа | 0,12 |
| Жылу окшаулағыш картон БТК-1 | 0,04 | Тефлон | 0,25 |
| Каучук, көбіктенген | 0,03 | Қарақағаз | 0,23 |
| Каучук | 0,042 | Цемент тақтайлар | 1,92 |
| Каучук, фторланған | 0,055 | Цемент-күм (ерітінді) | 1,2 |

| Материал | Жылу өткізгіш коэффициенті, Вт/(м • К) | Материал | Жылу өткізгіш коэффициенті, Вт/(м • К) |
|--------------------|--|----------------------|--|
| Керамзитобетон | 0,2 | Түйіршіктелген қоқыс | 0,15 |
| Кремнезем кірпіші | 0,15 | Қазандық қоқыс | 0,29 |
| Қуыс денелі кірпіш | 0,44 | Шлакобетон | 0,6 |
| Силикат кірпіш | 0,81 | Құрғақ сылақ | 0,21 |
| Тұтас кірпіш | 0,67 | Цемент сылақ | 0,9 |
| Қоқыс кірпіші | 0,58 | Эбонит | 0,16 |

Металдардың жылу өткізгіштік коэффициенті

| Металл | λ , Вт/(м • К) | Металл | λ , Вт/(м • К) |
|----------|------------------------|-----------|---|
| Алюминий | 230 | Сынап | 29,1 |
| Қола | 58 | Күміс | 418,7 |
| Темір | 74,4 | Болат | 52 |
| Алтын | 312,8 | Қорғасын | 35 |
| Жез | 85,5 | Сұр шойын | 50 |
| Мыс | 389,6 | Вольфрам | 153 (298 К кезінде), 105 (1 873 К кезінде) |
| Платина | 70 | Шойын | 62,8 |

Сымдар мен кабельдер үшін ұйғарынды ұзақ тоқ

6-қосымша

| Ашық сымдар желісі | | | | | | Қима, S, мм ² | Жабық сымдар желісі (құбырда) | | | | | |
|--------------------|---------------------------------------|-------|-------------------|---------------------------------------|-------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------|-------------------|---------------------------------------|-------|
| Мыс тарамдар | | | Алюминий тарамдар | | | | Мыс тарамдар | | | Алюминий тарамдар | | |
| Ток, А | Қуаттылық, кВт, кернеулі желі үшін | | Ток, А | Қуаттылық, кВт, кернеулі желі үшін | | | Ток, А | Қуаттылық, кВт, кернеулі желі үшін | | Ток, А | Қуаттылық, кВт, кернеулі желі үшін | |
| | 220 В | 380 В | | 220 В | 380 В | | | 220 В | 380 В | | 220 В | 380 В |
| 11 | 2,4 | — | — | — | — | 0,5 | — | — | — | — | — | — |
| 15 | 3,3 | — | — | — | — | 0,75 | — | — | — | — | — | — |
| 17 | 3,7 | 6,4 | — | — | — | 1 | 14 | 3 | 5,3 | — | — | — |
| 23 | 5 | 8,7 | — | — | — | 1,5 | 15 | 3,3 | 5,7 | — | — | — |
| 26 | 5,7 | 9,8 | 21 | 4,6 | 7,9 | 2 | 19 | 4,1 | 7,2 | 14 | 3 | 5,3 |
| 30 | 6,6 | 11 | 24 | 5,2 | 9,1 | 2,5 | 21 | 4,6 | 7,9 | 16 | 3,5 | 6 |
| 41 | 9 | 15 | 32 | 7 | 12 | 4 | 27 | 5,9 | 10 | 21 | 4,6 | 7,9 |

| Ашық сымдар желісі | | | | | | Қима, S, мм ² | Жабық сымдар желісі (құбырда) | | | | | |
|--------------------|---------------------------------------|-------|-------------------|---------------------------------------|-------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------|-------------------|---------------------------------------|-------|
| Мыс тарамдар | | | Алюминий тарамдар | | | | Мыс тарамдар | | | Алюминий тарамдар | | |
| Ток, А | Қуаттылық, кВт, кернеулі желі үшін | | Ток, А | Қуаттылық, кВт, кернеулі желі үшін | | | Ток, А | Қуаттылық, кВт, кернеулі желі үшін | | Ток, А | Қуаттылық, кВт, кернеулі желі үшін | |
| | 220 В | 380 В | | 220 В | 380 В | | | 220 В | 380 В | | 220 В | 380 В |
| 50 | 11 | 19 | 39 | 8,5 | 14 | 6 | 34 | 7,4 | 12 | 26 | 5,7 | 9,8 |
| 80 | 17 | 30 | 60 | 13 | 22 | 10 | 50 | 11 | 19 | 38 | 8,3 | 14 |
| 100 | 22 | 38 | 75 | 16 | 28 | 16 | 80 | 17 | 30 | 55 | 12 | 20 |
| 140 | 30 | 53 | 105 | 23 | 39 | 25 | 100 | 22 | 38 | 65 | 14 | 24 |
| 170 | 37 | 64 | 130 | 28 | 49 | 35 | 135 | 29 | 51 | 75 | 16 | 28 |

Оқшауланған сымдар мен кабельдердің қоршаған орта температурасына байланысты ұйғарынды тоқ жүктемесі

| Қоршаған орта температурасы, °C | Ұйғарынды тоқ жүктемесі S_n , % | |
|------------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| | Резеңкелік оқшаулау | ПХВ-оқшаулау |
| 20-дан 30-ға дейін | 100 | 100 |
| 30-дан 35-ға дейін | 91 | 92 |
| 35-тен 40-қа дейін | 82 | 87 |
| 40-тан 45-ке дейін | 71 | 79 |
| 45-тен 50-ге дейін | 58 | 71 |
| 50-ден 55-ке дейін | 41 | 61 |

Электрлік шамалар мен бірліктер

| Электрлік шама | | Өлшем бірлігі | |
|---------------------|------------|--------------------------|------------|
| Аты | Белгіленуі | Атауы | Белгіленуі |
| Кернеу | U, u | Вольт | В |
| Электр қозғаушы күш | E, e | Вольт | В |
| Ток | I, i | Ампер | А |
| Белсенді кедерге | R, r | Ом | Ом |
| Реактивті кедерге | X, x | Ом | Ом |
| Толық кедергі | Z, z | Ом | Ом |
| Белсенді қуаттылық | P | Ватт | Вт |
| Реактивті қуаттылық | Q | Вар | В |
| Толық қуаттылық | S | Вольт-ампер реактивті | В • А |
| Энергия | E | Джоуль | Дж |

СИ жүйесіндегі ондық приставкалар (электрлік шамалар мысалында)

| Негізгі бірлік | Кернеу U, Вольт | Ток Ампер I, | Кедергі R, X, Ом | Қуаттылық P, Ватт |
|---------------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------------|
| Көлемді коэффициент | | | | |
| T=тера= 10^{12} | – | – | ТОм | – |
| Г=гига= 10^9 | ГВ | ГА | ГОм | ГВт |
| M=мега= 10^6 | МВ | МА | МОм | МВт |
| K=кило= 10^3 | КВ | КА | КОм | КВт |
| да=дека= 10^1 | даВ | даА | даОм | даВт |
| м=милли= 10^{-3} | мВ | мА | мОм | мВт |
| мк=микро= 10^{-6} | мкВ | мкА | мкОм | мкВт |
| н=нано= 10^{-9} | нВ | нА | – | нВт |
| п=пико= 10^{-12} | пВ | пА | – | пВт |
| ф=фемто= 10^{-15} | – | – | – | фВт |
| а=атто= 10^{-18} | – | – | – | аВт |

Материалдардың магниттік қасиеттері

| Атауы | Белгіленуі | Өлшем бірлігі | Формуллар | Ескерту |
|---|------------|---------------|---|---|
| Магниттік өткізгіштік: | μ | Гн/м | | |
| Абсолютті магниттік өткізгіштік | μ_a | | $\mu_a = \mu_0 \mu_r$ B/H | μ_0 — магниттік тұрақтылық ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м); μ_r — салыстырмалы магниттік өткізгіштік H — магниттенуші (сыртқы) магнит өрісінің кернеуі, А/м; B — магнетиктегі өрістің магниттік индукциясы |
| Салыстырмалы магниттік өткізгіштік | μ_r | | $\mu_r = \frac{\mu_a}{\mu_0}$ | |
| Магнит қабылдағыштық | X | — | $X = \mu_r - 1$ | — |
| Магниттік өткізгіштің температуралық коэффициенті | тк. | град | $\frac{1}{\mu} \frac{d\mu}{dt} = \frac{1}{\mu} \frac{d(\mu_r \mu_0)}{dt}$ | t_1 — бастапқы температура, °С; t_2 — ақырғы температура, °С |

Кейбір заттардың магниттік қабылдағыштығы

| Парамагнетиктер | ($\mu - 1$), 10^{-6} | Диамагнетиктер | ($1 - \mu$), 10^{-6} |
|-----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
| Азот | 0,013 | Сутек | 0,063 |
| Ауа | 0,38 | Бензол | 7,5 |
| Оттек | 1,9 | Су | 9 |
| Эбонит | 14 | Мыс | 10,3 |
| Алюминий | 23 | Шыны | 12,6 |
| Вольфрам | 176 | Тас тұзы | 12,6 |
| Платина | 360 | Кварц | 15,1 |
| Сұйық оттек | 3 400 | Висмут | 176 |

Кейбір материалдардың магнит қабылдағыштығы мен магниттік өткізгіштігі

| Материал атауы | Магнит қабылдағыштығы χ | Магнит өткізгіштігі, Гн/м | Салыстырмалы магнит өткізгіштігі |
|---------------------------|---|---|----------------------------------|
| Пермаллой | | $1,0 \cdot 10^{-2}$ | 8000 |
| Электртехникалық болат | | $5,0 \cdot 10^{-3}$ | 4 000 |
| Феррит (никель—мырыш) | | $(2,0 \cdot 10^{-5}) \dots (8,0 \cdot 10^{-4})$ | 16... 640 |
| Феррит (марганец — мырыш) | | $8,0 \cdot 10^{-4}$ артық | 640 және одан да жоғары |
| Болат | | $8,75 \cdot 10^{-4}$ | 100 |
| Никель | | $1,25 \cdot 10^{-4}$ | 100.600 |
| Платина | | $1,2569701 \cdot 10^{-6}$ | 1,000265 |
| Алюминий | $2,22 \cdot 10^{-5}$ | $1,2566650 \cdot 10^{-6}$ | 1,000022 |
| Ағаш | | | 1,00000043 |
| Ауа | | | 1,00000037 |
| Бетон | | | 1 |
| Вакуум | | $1,2566371 \cdot 10^{-6}$ | 1 |
| Сутек | $-2,2 \cdot 10^{-9}$ | $1,2566371 \cdot 10^{-6}$ | 1,0000000 |
| Тефлон | | $1,2567 \cdot 10^{-6}$ | 1,0000 |
| Сапфир | $-\frac{2}{3}$ | $1,2566368 \cdot 10^{-6}$ | 0,99999976 |
| Мыс | $(-6,4 \cdot 10^{-6}) \dots (-9,2 \cdot 10^{-6})$ | $1,2566290 \cdot 10^{-6}$ | 0,999994 |
| Су | $-8,0 \cdot 10^{-6}$ | $1,2566270 \cdot 10^{-6}$ | 0,999992 |
| Висмут | $-1,66 \cdot 10^{-4}$ | | 0,999834 |
| Жоғары өткізгіштер | -1 | 0 | 0 |

Материалдардың электрлік қасиеттері

| Көрсеткіш | Белгіле- нуі | Өлшем бірлігі | Формула | Ескерту |
|---|------------------|------------------|--|--|
| Салыстырмалы электрлік кедергі | ρ | Ом · м | $\mathbf{R = \rho \cdot \frac{L}{S}}$ | R — үлгінің жалпы электрлік кедергісі, Ом; S — өткізгіштік тоқтары жүріп өтетін материал үлгісінің қима өрісі, м ² ; L — материал үлгісіндегі тоқ жолының ұзындығы, м |
| Электрлік өткізгіштік | γ | См/м | $\gamma = \frac{1}{\rho}$ | |
| Салыстырмалы кедергінің температуралық коэффициенті | TK_ρ | | $\mathbf{R(a) = \frac{R_0(1 + \text{TK}_\rho \cdot \Delta T)}{S}}$ | |
| Диэлектрлік өткізгіштік | ϵ | | | Диэлектриктерге электрод жаққан және кернеу берілген кезінде диэлектриктердің электрлік сыйымдылық түзу қабілеті. |
| Электрлік сыйымдылық | ϵ | Ф | $C = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{\epsilon \cdot S}{d}$ | ϵ_0 — электрлік тұрақты ($\epsilon_0 = 8,85416 \cdot 10^{-12}$ Г ¹² Ф/м); ϵ_r — диэлектрлік өткізгіштік; S — бір металл электродының өрісі, м ² ; d — диэлектрик қалыңдығы, м |

| | | | | |
|---|------------------------|-----|------------------------------|--|
| Диэлектриктік шығындар бұрышының тангенсі | $\text{tg}\delta$ | | | Электр өрісінде диэлектриктің энергияны тарқату қабілеті |
| Электрлік беріктік | $\epsilon_{\text{пр}}$ | В/м | $E \cdot U_{\text{пр}}$ пр Л | $U_{\text{пр}}$ — төсерлік кернеу |

Әдибиеттер тізімі

1. *Богородицкий Н. П.* Электртехникалық материалдар / Н. П. Богородицкий, В. В. Пасынков, Б. М. Тареев. – Л.: Энергоатомбаспа. Ленингр. бөлімі, 1985. – 304 б.
2. *Борисова М. Э.* Диэлектриктер физикасы / М. Э. Борисова, С. Н. Койков. – Л.: ЛГУ баспасы, 1979. – 240 б.
3. *Воробьев Г. А.* Электр оқшаулау материалдарының диэлектрлік қасиеттері / Г. А. Воробьев. – Томск: Томск мем. унив-нің баспасы, 1984. – 124 б.
4. *Журавлева Л. В.* Электрматериалтану: оқулық /Л. В. Журавлева. – 2-ші баспа, стер. – М.: «Академия» баспа орталығы, 2004. – 312 б.
5. *Никулин В. Н.* Электрлік материалдар және бұйымдар бойынша жас электрліктің анықтамалығы / В. Н. Никулин. – М.: Жоғ. мек., 1982. – 216 б.
6. *Никулин Н. В.* Электрматериалтану / Н. В. Никулин. – М.: Жоғ. мек., 1984. – 75 б.
7. *Окадзаки К.* Электртехникалық материалдар бойынша құрал / К. Окадзаки. – М.: Энергия, 1979. – 432 б.
8. *Пасынков В. В.* Электрондық техникалар материалдары / В. В. Пасынков, В. С. Сорокин. – М.: Жоғ. мек., 1986. – 376 б.
9. Электртехникалық материалдар бойынша анықтамалық. В 3 т. Т. 2 / ред. Ю. В. Корицкого. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 464 б.
10. *Тареев Б. М.* Физика диэлектрических материалов / Б. М. Тареев. – М.: Энергоатомбаспа, 1982. – 320 б.

Мазмұны

| | |
|--|----------|
| Алғы сөз..... | 4 |
| 1-тарау. Зертханалық және тәжірибелік жұмыстардың орындалу әдістемесі мен ұйымдастыры | 5 |
| Жұмысқа алдын ала дайындалу | 5 |
| Зертханалық (тәжірибелік) жұмыстарды орындау | 5 |
| Сызбаны қуат көзіне қосу және зертханалық (тәжірибелік) жұмысты өткізу..... | 6 |
| Жұмыс туралы есеп беру..... | 6 |
| Кеңесті өткізу және сынақты қабылдау..... | 6 |
| 2-тарау. Электрматериалтану бойынша зертханалық жұмыстар.... | 8 |
| №1 зертханалық жұмыс. Диэлектриктердің электр өткізгіштігін зерттеу | 8 |
| №2 зертханалық жұмыс. Газ тәрізді диэлектриктердің электрлік беріктігін анықтау..... | 21 |
| №3 зертханалық жұмыс. Трансформаторлық майдың электрлік беріктігін анықтау..... | 35 |
| №4 зертханалық жұмыс. Металдардың электр өткізгіштігін зерттеу...39 | |
| №5 зертханалық жұмыс. Жартылай өткізгіш материалдардың қасиеттерін зерттеу..... | 44 |
| №6 зертханалық жұмыс. Магниттік материалдардың қасиеттерін зерттеу..... | 50 |
| №7 зертханалық жұмыс. Гистерезис тұзағының құрылысы..... | 56 |
| №8 зертханалық жұмыс. Өткізгіштердің меншікті кедергісін өлшеу...65 | |
| №9 зертханалық жұмыс. Металдар және жартылай өткізгіштер кедергілерінің температураға тәуелділігін зерттеу | 68 |
| №10 зертханалық жұмыс. Металл жылу өткізгіштігінің коэффициентін анықтау | 71 |
| Тәжірибелік жұмыс. Сымдар мен кабельдердің қималарын есептеу.... | 77 |
| Қосымшалар: | |
| 1. Жұмыс туралы есептілікті құрастыру үлгісі..... | 82 |
| 2. Заттардың магниттік қасиеттері..... | 84 |
| 3.Кейбір заттардың меншікті кедергісі | 90 |
| 4.Бейметалдардың жылу өткізгіштік | |

| | |
|---|-----|
| коэффициенттері | 91 |
| 5.Металдардың жылу өткізгіштік коэффициенті | 95 |
| 6.Сымдар мен кабельдер үшін ұйғарынды ұзақ тоқ.... | 96 |
| 7.Оқшауланған сымдар мен кабельдердің қоршаған орта температурасына байланысты ұйғарынды тоқ жүктемесі..... | 98 |
| 8.Электрлік шамалар мен бірліктер..... | 99 |
| 9.СИ жүйесіндегі ондық приставкалар (электрлік шамалар мысалында) | 100 |
| 10.Материалдардың магниттік қасиеттері | 101 |
| 11.Кейбір заттардың магниттік қабылдағыштығы.. | 102 |
| 12.Кейбір материалдардың магнит қабылдағыштығы мен магниттік өткізгіштігі | 103 |
| 13. Материалдардың электрлік қасиеттері..... | 104 |
| Әдебиеттер тізімі..... | 106 |

Скопцова Наталья Игоревна

Электрматериалтану негіздері

Жаттықтыру сабағы

Оқу құралы

Редактор *Н.Құдайберген*

Техникалық редактор *Н. Л. Ананьева*
Компьютерлік беттеу: *Г. Ю. Никитина*
Корректорлар *А. П. Сизова, Е. О. Беркутова*

Баспа. № 101116506. Баспаға қол қойылған 16.11.2015. Үлгі 60x90/16.
Гарнитура «Балтика». Қағаз офс. № 1. Офсеттік баспа. Усл. бас. л. 7,0.
Тираж 1 000 дана. Тапсырыс №

ООО «Академия» Баспа орталығы. www.academia-moscow.ru 129085, Мәскеу, Мира д-лы, 101В, стр. 1.
Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.
Санитарлы-эпидемиологиялық қорытынды № РОСС RU. АЕ51. Н 16679 25.05.2015 ж.

Баспамен берілген электронды тасушылармен басып шығарылды, в ААҚ «Бірінші үлгілі баспахана».