

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI
URGANCH DAVLAT UNIVERSITETI
FIZIKA KAFEDRASI**

M.K. Karimov, I.U.Tangriberganov, U.O. Qutliev

**Fizikadan laboratoriya ishlari
(Elektr va magnetizm)**

O'quv – uslubiy qo'llanma

Urganch – 2018 yil

Ushbu o'quv-uslubiy qo'llanmadan fizika fanining elektr va magnetizm qismidan bajariladigan laboratoriya ishlari o'rin olgan. Unda keltirilgan laboratoriya ishlari nofizik yo'nalishlarga mo'ljallangan.

Qo'llanma "fizika" fanini o'rganuvchilar, fizika o'qituvchilari va talabalar uchun yordamchi material bo'lib xizmat qilishi mumkin

O'quv-uslubiy qo'llanma Urganch davlat universiteti ilmiy kengashi tomonidan foydalanishga va chop etishga tavsiya etilgan (2018-yil -3 may, 4 - bayonnoma).

Mualliflar: Karimov Muxtorjon Karimberganoich- UrDU fizika kafedrasining
o'qituvchisi

Tangriberganov Ismoil Urazbayevich- UrDU fizika kafedrasining
o'qituvchisi

Taqrizchilar: Atamuratov Atabek Egamberdievich – fizika-matematika fanlari
nomzodi (UrDU)

Ismoilov Shavkat Qo'zievich – TATU Urganch filiali
telekommunikatsiya injiniringi kafedrasining mudiri, f.-m.fn.

Kirish

Qadimdan insoniyat tabiatda elektr hodisalarini kuzatganlar. Bundan ikki ming yil oldin boshqa elektr hodisalari — ishqalanish orqali jismlarda elektr hosil qilishni ishqalangan yantar va boshqa moddalar engil buyumlarni tortishini kuzatganlar. Lekin, elektr hodisalarini o'rganish XVII asrda rivojlana boshladi.

Elektr hodisalarini o'rganishda birinchi muvaffakiyatga XVIII asrning o'rtalarida erishildi. Rossiyada Lomonosov, Amerikada Franklinlar tajribada elektr hodisalari bilan ishqalanish vaqtida hosil bo'lgan elektrlanish o'rtasida umumiylik bor ekanligini isbot qildilar. Kuchli yashin yoki uchqun hamda qorong'i xonada sochni taraganda paydo bo'ladigan uchqunlar bir-biridan masshtab jihatidan farq qiladigan havodagi elektr razryadlari ekan.

Elektrni miqdoriy jihatdan o'rganish uchun Rixman birinchi elektroskopni ixtiro qildi. U yupqa ipga bog'langan metall lineykadan iboratdir. Elektrlanish vaqtida ip lineykadan ma'lum burchakga chetlanganligini kuzatdi va transportyor bilan o'lchadi.

Fizikaning keyingi yutuqlari ko'rsatdiki, bu qonun atom va yadro jarayonlari uchun xam o'rinli ekan. Elektr zaryadining atom tuzilishi va eng mayda elementar zaryad bor ekanligi 1909 yilda R. Milliken tomonidan tajribada topildi. Elektr tokining magnit ta'siri Ersted tomonidan ochilmaguncha magnetizm haqidagi ta'limot alohida o'rganilib kelindi. Doimiy magnitning qonunlari chuqur o'rganilib, ikkita magnit qutbi bor ekanligi, bu qutblar o'rtasida o'zaro ta'sir mavjudligi: har xil qutblar bir-birini tortishi, bir xil qutblar esa bir-birini itarishi aniqlandi. Magnit qutblari uchun Kulon qonuni o'rinli ekanligi isbot etildi. Veber har qanday doimiy magnit elementar magnitlar yig'indisidan iborat degan nazariyani yaratdi.

Keyinchalik, elektr tokining magnit ta'siri o'rganilgandan keyin Veberning bu "molekular magnitlar" Amper tomonidan unga ekvivalent bo'lgan "molekular toklar" bilan almashtirildi. Keyinchalik Amper ko'rsatdiki, elementar elektr dipoli bilan magnit dipolining hosil qilgan magnit maydonlarining ekvivalentligi isbot qilindi.

Elektromagnetizm tarixida eng muhim voqea Faradey tomonidan elektromagnit induksiya hodisasining ochilishi bo'ldi. Bu kashfiyot juda ko'p texnik qo'llanishlarga ega ekanligi hammaga ma'lum. Shunday qilib, alohida-alohida hisoblanib kelingan elektr va magnit hodisalarining bir-biri bilan uzviy aloqasi bor ekanligi aniqlandi.

O'tgan asrning 60 yillarida D. K. Maksvell va M. Faradeyning elektr va magnit maydoni bo'yicha o'tkazilgan tajribalarini umumlashtirib, elektromagnit maydon nazariyasini ishlab chiqdi. Maksvell nazariyasi klassik fizikani rivojlantirishda muhim rol o'ynadi va umumiy formada juda ko'p sondagi hodisalarni, qo'zg'almas zaryadlarning elektrostatik maydonidan tortib to yorug'likning elektrmagnit tabiatigacha bo'lgan jarayonni tushuntirib berdi. Boshqacha qilib aytganda, alohida hisoblanib kelingan elektr, magnetizm va optikani birlashtirdi.

Xullas XX asrning boshlariga kelib elektromagnit hodisalar Maksvell va Faradey ishlari bilan tugallanganday bo'lib qoldi, chunki elektromagnit maydonni boshqaradigan asosiy qonunlar topildi, tegishli tenglamalar yozildi, kelajak avlodning vazifasi bu tenglamalarning echimini topishdan iborat bo'lganday tuyuldi. Keyinchalik, ma'lum bo'ldiki, hech qanday tugallanganlik haqida gap bo'lishi mumkin emas. Elektromagnit nazariyasi ham mexanika singari unga kvant mexanika qonunlari va nisbiylik nazariyasini qo'llash orqali juda katta yutuqlarga erishildi.

Fizika fanining ushbu erishgan yutuqlarini bir qismini laboratoriya sharoitida o'rganish talabalar bilimini yanada mustahkamlaydi deb umid qilamiz.

MUALLIFLAR

Talabalarga ayrim maslahat va ko'rsatmalar.

1. Hayot faoliyati va texnika xavfsizligi bo'yicha asosiy qoidalar

Elektr bo'yicha laboratoriya ishlarini bajarganda o'zgarmas va har xil chastotali o'zgaruvchan toklardan foydalanishga to'g'ri keladi. Bu toklarning odamga xavfli ta'siri chastota va kuchlanish kattaligiga bog'liqdir. Masalan, chastotasi 50 Gts bo'lgan 500 V kuchlanish o'zgaruvchan tokning ta'siri kuchlanishi birdek bo'lgan o'zgarmas tokka nisbatan xavflidir. 50 — 500 Gts oraligidagi chastota ortishi bilan tokning ta'siri ortadi, lekin undan yuqori chastotalarda xavf kamayadi.

Laboratoriya ishlarini bajarish vaqtida xavfsizlik texnikasining quyidagi qoidalariga ham rioya qilish kerak.

1. Laboratoriya ishlarini bajarish vaqtida elektr tokining hayot uchun xavfli ekanligini yodingizda tuting va ehtiyot bo'ling.

2. Laboratoriya ishlarini bajarishda elektr sxema yig'ishga kirishishdan oldin o'zingiz foydalanadigan tok manbai uning ulanish joylaridan uzilgan holatda ekanligiga, avtotransformatorlarning ko'rsatkich strelkasi nolda ekanligiga ishonch hosil qiling.

3. Tok manbai va ulash simlarida tokning mavjudligini voltmetr yoki sinash lampalari yordamida (aslo barmogingiz bilan emas!) tekshiring.

4. Zanjirga ulangan kondensator undan uzilgan vaqtida hayot uchun xavfli bo'lgan qoldiq zaryadga ega bo'ladi. SHuning uchun kondensatorni zanjirga ulashdan oldin razryadlash yodingizdan chiqmasin.

5. Zanjir yig'ishda foydalanayotgan simning izolyasiyasiga ishonchingiz komil bo'lishi kerak.

6. Zanjirni yig'ishda ulanish joylaridagi kontaktlar mustahkam bo'lishi kerak. Simlarning bir - birining ustidan o'tadigan joylariga e'tibor qiling, chunki ochiq joyi bo'lib, qisqa tutashish hodisasi sodir bo'lmasin. O'lchash vaqtida xalaqit bermasligi uchun, ortiqcha simlarni sxemani yig'ib bo'lganingizdan keyin olib qo'ying.

7. Pasaytiruvchi transformatorlardan foydalanayotganingizda qaysi o'ram zanjirning tok manbaiga ulanishiga e'tibor bering.

8. Zanjirning kondensator va induktivlik ketma - ket ulangan qismini tekshirishda juda ehtiyot bo'ling.

9. Elektr manbaiga ulangan holda transformatorning ikkilamchi cho'lg'aminging uzilishi qat'iy man qilinadi.

10. Ishning to'la zanjiri yig'ib bo'lingandan keyin u faqat laboratoriya darsini olib boruvchi o'qituvchining ruxsati bilangina manbaga ulanadi va o'lchash ishlari bajariladi.

11. O'lchayotganingizda biror elektr asbobining buzilgan yoki noto'g'ri ko'rsatayotganligini sezsangiz, darhol zanjirni manbadan ajratib laboratoriya mashg'uloti olib borayotgan o'qituvchiga murojaat qiling.

12. Har qanday laboratoriya ishini bajarib bo'lganingizdan keyin zanjirning manbadan ajralganiga ishonch hosil qilganingizdan keyingina zanjir qismlarini ajratishga kirishing.

2.Laboratoriya ishlarini bajarish tartibi

Hurmatli talaba, laboratoriya mashg'uloti o'tadigan o'qituvchilardan o'zingiz bajaradigan laboratoriya ishining qo'llanmasini olgach, dastlab uning hamma bo'limlarini (I-III) diqqat bilan o'qib chiqing. So'ngra qo'llanmaning II bo'limini - o'lchash qurilmasining tuzilishini va o'lchash uslubining mohiyatini to'la tushunib olganingizga qadar, qayta - qayta o'qing. SHundan so'ng III bo'limni o'qib ishni bajarish tartibini o'rganing. So'ngra ishni bajarish uchun zarur bo'lgan elektr zanjirini yig'ing va uning to'g'riligini o'zingiz qayta - qayta tekshiring. SHundan so'ng, o'qituvchiga ishni bajarishga tayyor ekanligingizni ma'lum qiling. . O'qituvchi ishni bajarishga ruxsat bergach, siz ishni bajarish tartibiga to'la amal qilgan xolda o'lchashlarni va hisoblashlarni bajaring, tajriba xatolarini hisoblang va tajribada olgan natijalaringizni chuqur tahlil kilib tegishli xulosalar chiqaring. Ish yuzasidan yozma hisobot tayyorlang (hisobotni yozish tartibi quyida bayon qilingan).

Qo'llanmaning oxiridagi nazorat savollariga, ko'rsatilgan adabiyotlarni o'qib, javob toping. SHundan so'ng siz yozgan hisobotingizni o'qituvchiga topshirish imkoniyatiga ega bo'lasiz.

3. Laboratoriya ishi yuzasidan yoziladigan hisobotning tuzilishi

Bajariladigan laboratoriya ishi yuzasidan har bir talaba alohida hisobot yozib topshirishlari lozim. Hisobot alohida 12 - varaqli daftarda (yoki bir necha varaq oq qog'ozda) yoziladi. Hisobotda quyidagilar o'z aksini topishi zarur: birinchi betda hisobotning tartib raqami, talaba manzili (o'qiydigan fakultet, bo'lim va guruh), familiyasi va ismi, ishning tartib raqami; ikkinchi betda ishning mavzusi, kerakli asbob - uskunalar, ishning maqsadi; uchinchi va keyingi betlarda o'lchash uslubining qisqacha nazariyasi (I), qurilma tuzilishi (II), qurilmaning elektr sxemasi (III), ishni bajarish tartibi (IV), tajriba natijalari va ularni izohlash (V), tajriba xatoliklarini hisoblash (VI) va xulosalar (VII).

1 - Laboratoriya ishi

Elektrostatik maydonni o'rganish.

Ishning maqsadi: Elektrostatik maydonning kuch va energetik xarakteristikasini grafik ko'rinishda o'rganish.

Kerakli asbob-uskunalar: Elektr maydon spektrini demonstrasiya qilishga mo'ljallangan asbob (ПДЦ), o'zgaruvchan tok indikator (vibrasion galvonometr, yoki ossillograf, yoki telefon), tovush generatori (ГЗМ), kuchsiz osh tuzi eritmasi yoki vodoprovod suvi, o'tkir uchli zond (2-ta), ulash simlari (2-ta).

I. Nazariy ma'lumotlar.

Xar qanday zaryadlangan jism atrofida materiyaning maydon shakli elektr maydoni xosil bo'ladi. Bu maydonga kiritilgan zaryadga elektr kuchi - Kulon kuchi ta'sir qiladi. Zaryadlangan jismlarning o'zaro ta'sirlashishi elektr maydoni orqali amalga oshadi. Elektrostatik maydon - qo'zg'almas zaryadlar hosil qiluvchi maydon bo'lib, elektromagnit maydonning xususiy xolidir.

Elektrostatik maydonning ixtiyoriy nuqtasi ikkita asosiy fizik kattalik bilan tavsiflanadi: kuchlanganlik E vektori - kuch xarakteristikasi va skalyar kattalik potensial φ - energetik xarakteristikalaridir. **Elektr maydoni** berilgan nuqtasining **kuchlanganligi** deb, shu nuqtaga kiritilgan birlik musbat sinov q_0 zaryadiga ta'sir qiluvchi elektr kuchiga son jixatidan teng bo'lgan, yo'nalishi esa shu kuch yo'nalishi bilan bir xil bo'lgan Y_e vektor kattalikka aytiladi:

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (1)$$

Sinov zaryadi q_0 ning maydon berilgan nuqtasidagi potensial energiyasi deb, shu zaryadni maydonning berilgan nuqtasidan cheksiz uzoqlikka ($E=0$ bo'lgan nuqtaga) ko'chirishda maydon kuchlarining bajargan ishiga son jixatidan teng bo'lgan W kattalikka aytiladi:

$$W = A_{1\infty} = \int_1^{\infty} F dr \quad (2)$$

Elektrostatik maydon berilgan nuqtasining **potensial** deb, shu nuqtaga kiritilgan birlik musbat q_0 sinov zaryadi ega bo'ladigan W potensial energiyaga son jixatidan teng bo'lgan skalyar fizik kattalikka aytiladi:

$$\varphi = \frac{W}{q_0} = \frac{A_{1\infty}}{q_0} \quad (3)$$

Elektrostatik maydon ikkita nuqtasining (potensial φ_1 va φ_2 bo'lgan) **potensiallari ayirmasi** (yoki kuchlanish) deb, birlik musbat q_0 sinov zaryadini shu nuqtalar orasida ko'chirishda maydon kuchlarining bajargan ishiga son jixatidan teng bo'lgan $\varphi_1 - \varphi_2$ skalyar kattalikka aytiladi:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q_0} \quad (4)$$

Elektrostatik maydonning kuchlanganligi va potensial quydagi munosabat bilan o'zaro bog'la ngan:

$$\vec{E} = -\frac{\vec{d}\varphi}{dr} = -\vec{grad}\varphi \quad (5)$$

Bu yerda: $\vec{grad}\varphi = \frac{\vec{d}\varphi}{dr}$ - potensial gradiyenti vektori bo'lib, uning yo'nalishi potensialning oshish yo'nalishini ko'rsatsa, kattaligi esa o'sha yo'nalish bo'ylab birlik uzunlikda potensialning o'zgarishiga tengdir. Agar potensialni berilgan nuqta dekart koordinatalarining funksiyasi deb qaralsa:

$$\vec{grad}\varphi = i \frac{\partial \varphi}{\partial x} + j \frac{\partial \varphi}{\partial y} + k \frac{\partial \varphi}{\partial z}$$

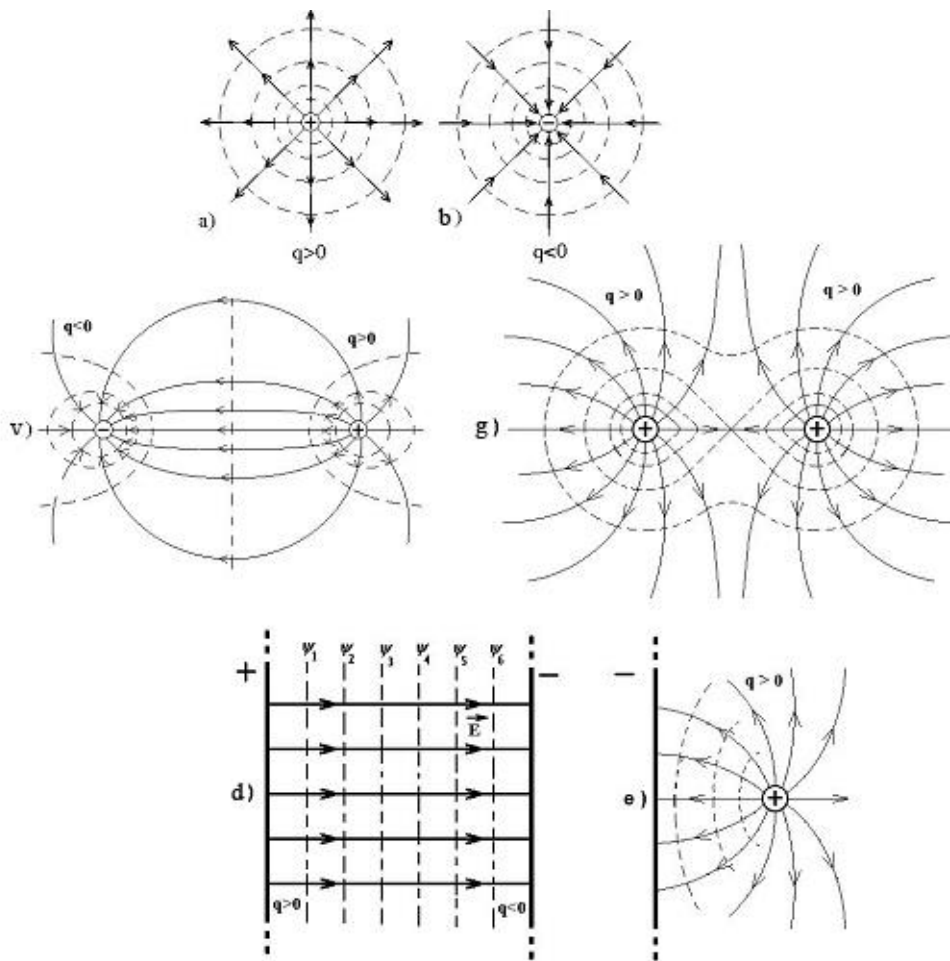
(5) dagi minus ishorasi $\vec{E}$ vektorining $\vec{grad}\varphi$ vektorga teskari yo'nalganini, ya'ni potensialning kamayish yo'nalishi bo'ylab yo'nalganini ko'rsatadi.

Elektr maydonini grafik ko'rinishda a) elektr maydoni kuchlanganlik vektorining chiziqlari va b) potensial chiziqlari (sirtlari) yordamida tasvirlash mumkin.

Elektr maydoni kuchlanganlik vektorining chiziqlari yoki qisqacha kuch chiziqlari shunday chiziqlarki, ularning har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinmada maydonning shu nuqtaga mos kuchlanganlik vektori yotadi. Bu chiziqlarga tik bo'lgan birlik yuza orqali tik o'tuvchi kuch chiziqlarining soni, shu yuza soxasidagi elektr maydon kuchlanganlik vektorining kattaligini aniqlaydi. Elektr maydon kuch chiziqlarining yo'nalishi uchun shu maydonga kiritilgan musbat zaryadning ko'chish yo'nalishi qabul qilingan. Elektrostatik maydon kuchlanganligi chiziqlari kesishmaydi: musbat zaryaddan chiqadi va manfiy zaryadga kiradi. Tinch turgan musbat yoki manfiy zaryad $\vec{E}$ - vektorining manbalari hisoblanadi.

Elektr maydonidagi potenciallari teng bo'lgan nuqtalarning geometrik o'rniga **ekvipotensial (yoki teng potentsialli) sirtlar** deyiladi. Elektr maydoni berilgan nuqtasining maydon kuchlanganlik vektori, shu nuqta orqali o'tkazilgan ekvipotensial sirtga tik bo'ladi. Buni ekvipotensial sirtlarning quyidagi xossasiga asosan (2) ifodadan isbotlash mumkin: $\varphi_1 - \varphi_2 = 0, A = 0$, ya'ni ekvipotensial sirt bo'ylab maydon kuchlari zaryadni ko'chirganda ish bajarmaydi.

1- rasmda turli shakldagi zaryadlangan jismlar maydonlarining kuchlanganlik va ekvipotensial chiziqlari tasvirlangan. Rasmlardagi tutash chiziqlar elektr maydoni kuchlanganlik chiziqlarini, punktir chiziqlar esa ekvipotensial chiziqlarni bildiradi.



1 rasm

II. O'lchash uslubining nazariyasi va qurilmasining tavsifi.

Ishda qo'yilgan maqsadga erishish uchun odatda, elektr maydonini xosil qiluvchi zarur shakldagi elektrodlar yasaliib, vodoprovod suvi (yoki kuchsiz konsentratsiyali elektrolit) qo'yilgan vannaga tushiriladi. Ushbu ishda elektr maydoni kuch chiziqlarini (spektrini) namoyish qilish maqsadida yasalgan maxsus asbobdan ($\Pi\Delta C$) foydalaniladi (2- rasm). Asbob organik shishadan yasalgan pastgina silindrsimon vannachadan va u turadigan korpusdan iborat. Asbob korpusida, elektrodlar uchun elektr kontakti vazifasini bajaruvchi, plastinkalar bilan sim orqali ulangan ikkita universal prujinali qisqich maxkamlangan. Elektrodning bir tomoni prujina orqali plastinkalarga siqilib, ikkinchi tomoni esa vannachaga tushiriladi. Vannacha tubining orqa tomoniga koordinata o'qi chizilgan mm li qog'oz yopishtirilgan. U potentsiali bir xil bo'lgan nuqtalarning o'rnini belgilab olishga imkon beradi. Vannachaga elektrodlar balandligidan oshmaydigan miqdorda suv (yoki osh tuzining suvdagi kuchsiz eritmasi) qo'yiladi.

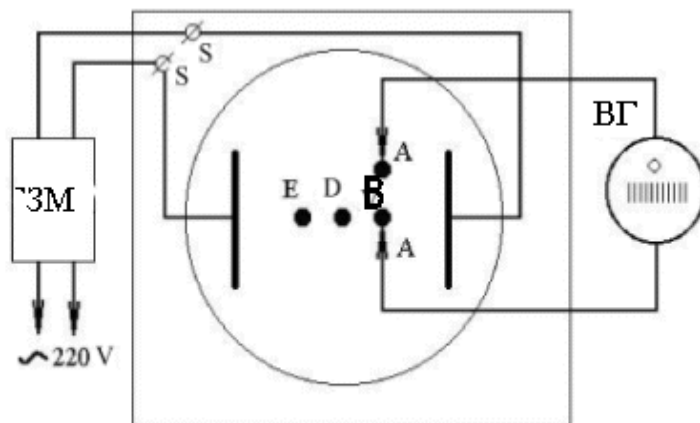
Elektrodlar orasidagi elektr maydonini elektrodlanga o'zgarmas kuchlanish berish bilan hosil qilish maqsadga muvofiq emas. Chunki elektrolit qutblanib qolishi va elektrolitlarda modda ajralib chiqish xodisasi ro'y beradi. Natijada elektrolit bir jinsli bo'lmay, maydon xarakteri o'zgaradi. Shu sababli bu xolda o'zgaruvchan tokdan foydalaniladi. Lekin yuqorida elektrostatik maydon uchun keltirilgan fikrlar o'zgaruvchan maydon uchun ham o'rinli bo'lishi uchun $L \ll \lambda$ - kvazistasionarlik sharti

bajarilishi kerak. L - vannadagi elektrodlar orasidagi masofa, λ - elektrolitdagi elektromagnit to'liqlining uzunligi. Hisoblashlar ko'rsatadiki, kuchsiz elektrolitlarda $L \leq 1$ m bo'lsa, o'zgaruvchan tokning chastotasi $\nu \leq 10^3$ Gs bo'lishi maqsadga muvofiqdir. O'zgaruvchan kuchlanish manbai sifatida tovush generatoridan foydalaniladi. Potensialni teng bo'lgan nuqtalarni aniqlovchi asbob sifatida ixtiyoriy sezgir o'zgaruvchan tok indikatoridan (masalan, vibrasion galvanometr yoki telefon) foydalanish mumkin. Vibrasion galvanometr yoki telefondan foydalanganda, ularning kirishiga o'tkir uchli ikkita (AA) metall sim (zond) orqali maxkamlanadi. Zondlar maydonning potensialini solishtiriblayotgan nuqtalariga tekiziladi. Indikatoridagi nol effekt (galvanometrning nolni ko'rsatishi yoki telefonda tovush bo'lmasligi) teng potensialli nuqtalar topilganidan dalolat beradi.

III. Ishni bajarish tartibi.

1. 2 - rasmdagi qurilmani yig'ing. Vannachani sath to'g'rilagich yordamida gorizontol holatda o'rning. Yassi elektrodni vannachaga o'rning va unga 1-1,5 mm qalinlikdagi vodoprovod suvidan (yoki 1-2 % li osh tuzining suvdagi eritmasidan) tomizgich yordamida soling. Elektrodlar orasidagi masofa 4 sm bo'lsin.

2. Vannachaga ostiga yopishtirilgan mm li qog'oz o'lchamidan kattaroq o'lchamli mm li qog'ozdan to'rtta tayyorlang. Ularga koordinata chizig'ini va elektrodning holatini vannachadagidek chizing.



2 – rasm

3. Tovush generatorining "УНЧ", X1, X10, X100" yozuvlar yonidagi buragichini "X1" holatga, "Усиление" buragichini chapki oxirgi holatga qo'ying. Asbob SS qisqichlarini tovush generatorining "Общ" va "5 Ом" qisqichlariga ulang.
4. Tovush generatorining simini ~220 V li tarmoqqa ulang. Uning "Сеть" tumblerini "Вкл." holatga o'tkazing, shunda signal lampasi yonish kerak. Chastotalar shkalasi buragichini 50 Gs chastotaga moslab, "Усиление" buragichini esa chap chetki holatdan 1/2 buralishga o'ngga qaratib burang.
5. Vibrasion galvanometrni ishga tayyorlang: Uning "Сензитивность" buragichini "0" ga qo'yib, simini 220 V li shahar tarmog'iga ulang. "Сензитивность" buragichining oxirgi o'ngdagi holati galvanometrning eng sezgir holati ekanini unutmang! Uning buragichini faqat soat strelkasi bo'yicha burang. Galvanometr shkalasidagi yorug' yo'lni "Вставка" buragichini o'nga yoki chapga burash bilan shkala noliga keltiring. Yorug' yo'lni pastga va yuqoriga siljitish "Изображение" buragichini o'nga yoki chapga burash bilan amalga oshiriladi. Galvanometrning ekranlovchi silindrsimon qopqoqchasi ostida joylashgan qisqichlariga zondlarning ikkinchi AA uchlarini ulang. "Полуарность" buragichini "1" yoki "2" holatga

o'tkazing. "Настройка" buragichini tirqishdan "HZ" yozuvi ko'rinib turadigan diskda "100" yozuvi ko'ringuncha u yoki bu tomonga burang.

6. Vibrasion galvanometr (yoki telefon) yordamida potentsiali nolga teng bo'lgan nuqtalar quyidagicha topiladi: Galvanometrغا ulangan sim uchlaridagi zondlardan (A) birining uchi, elektrodlar markazini tutashtiruvchi chiziqdagi nuqtaga (masalan, B nuqtaga), ikkinchi zondning uchi esa galvanometr shkalasidagi yorug' yo'l kengligi eng kam bo'ladigan nuqtaga tekkiziladi. Bu zondlarning uchi tegib turgan nuqtalarning potentsiallari tengligidan (ya'ni ular) orasidan tok oqmaganligidan dalolat beradi (zondlar telefon uchlariga o'rnatilgan xolda bu holat telefonda tovush bo'lmasligiga mos keladi). SHunday nuqtalardan eng kamida 6 ta topilishi kerak. Bu nuqtalarni mm li qog'ozda belgilab ularni punktir chiziqlar bilan birlashtiring.
7. Zondning B nuqtadagi uchini boshqa nuqtaga (masalan D va E nuqtaga) tekkizing, ikkinchi zond uchun esa boshqa nuqtalarga tekkizib 6 - banddagidek natijalar oling.
8. YAssi elektrodlar orasiga silindirsimon metall xalqa joylashtirib, ular orasidagi maydonni yuqoridagi 1-7 bandlardagidek kirishib tekshiring.
9. Vanna ichidagi yassi elektrodlardan birini nuqtaviy elektrod bilan almashtirib, 1-7 bandlardagi ishlarni bajaring.
10. Vanna ichidagi yassi elektrodning ikkinchisini ham nuqtaviy elektrod bilan almashtirib 1-7 bandlardagi ishlarni bajaring.
11. YUqorida 7-10 bandlarda olingan ekvipotensial punktir chiziqlarga ortogonal (perpendikulyar) bo'lgan elektr maydon kuchlanganlik chiziqlarini tutash chiziqlar orqali chizing.
12. Olingan natijalarni tahlil qilib, hisobot yozing va uni o'z xulosalaringiz bilan yakunlang.

Nazorat savollari.

1. Elektr maydon nima?
2. Elektr maydoni kuchlanganligi deb nimaga aytiladi? Elektr maydoni kuch chiziqlari deb qanday chiziqlarga aytiladi?.
3. Ostrogradskiy - Gauss teoremasini ayting va uni zaryadlangan simmetrik jismlar maydon kuchlanganligini xisoblashga qo'llang.
4. Elektr maydoni potentsiali deb qanday kattalikka aytiladi? Potentsiallar ayirmasi deb-chi?
5. Elektr maydon kuchlanganligi va potentsiallar orasidagi bog'la nish yozing va tushuntiring.
6. Nuqtaviy zaryad, elektr dipol va zaryadlar sistemasi maydonlarining potentsiallari qanday hisoblanadi?
7. Qanday sirtlarga ekvipotensial sirtlar deyiladi? Ularning xossalari ayting.
8. Elektr maydoniga o'tkazgichch kiritilganda qanday xodisa yuz beradi? Induksiya yo'li bilan elektrlash mohiyatini ayting.

Adabiyotlar.

[8], § 8,9,12,16,17,19,20,25,27.

[9], § 5,7-12,21,22.

[10], § 4,5,8,11.

2 - Laboratoriya ishi

O'zgaruvchan tokda ishlaydigan uitson ko'prigi yordamida kondensatorning sig'imini aniqlash.

Ishning maqsadi: Ko'prik sxemasida kondensatorning sig'imini aniqlash va kondensatorlarni o'zaro ulash usullarini xam nazariy, xam amaliy jixatdan o'rganish.

Kerakli asbob-uskunalar: 1) reoxord, 2) telefon, 3) sig'im magazini, 4) demonstrasion tovush generatori (DTG), 5) ЛИИП-90 to'g'rilagichi, 6) sig'imi noma'lum kondensatorlar, 7) kalit, 8) ulanadigan simlar (12 ta).

I. Nazariy ma'lumotlar.

Yakkalangan o'tkazgich sirtining potentsiali yoki qisqacha o'tkazgich potentsiali unga berilgan zaryadga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni

$$\varphi = \frac{1}{C} q \quad (1)$$

Bundagi $1/C$ proporsionallik koeffitsiyenti. Demak o'tkazgich zaryadini uning potentsialiga nisbati o'zgarmas kattalikdir. Bu o'zgarmas C kattalikka yakkalangan o'tkazgichning elektr sig'imi deyiladi:

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (2)$$

yoki
$$C = \frac{\Delta q}{\Delta \varphi} \quad (3)$$

Bu ifodadan elektr sig'imining fizik ma'nosi kelib chiqadi ($\Delta \varphi = 1B, C = \Delta q$): yakkalangan o'tkazgichning elektr sig'imi, uning potentsialini bir birlikka (1 B) oshirish uchun unga beriladigan zaryad miqdoriga son jixatidan tengdir. SI sistemasida elektr sig'imi 1 Farada (F) bilan o'lchanadi:

$$1F = 1Kl/1V$$

Tajribalar shuni ko'rsatadiki, yakka o'tkazgichlarning elektr sig'imi kichik bo'ladi. Bunga sabab o'tkazgichga berilayotgan zaryad (elektronlar) miqdori ma'lum qiymatga yetganda to'yinish darajasiga erishishi va undagi "to'yingan" zaryad maydoni ta'sirida o'tkazgichdan zaryadning "oqib" ketishidir.

Radiotexnikada va elektrotexnikada kichik potentsialda katta zaryad to'playdigan o'tkazgichlar sistemasi ishlatiladi. Shunday vazifani bajaradigan ikkita o'tkazgichdan (qoplamadan) tashkil topgan sistemaga (qurilmaga) **kondensator** deyiladi. Qoplamasining shakliga qarab kondensatorlar yassi, silindirsimon va sferik turlarga bo'linadi.

Har qanday kondensatorning elektr sig'imi, umumiy xolda quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U} \quad (4)$$

bu yerda q - bitta qoplamadagi zaryad miqdori, U - qoplamalar orasidagi kuchlanish.

Xususiy holda yassi kondensatorning elektr sig'imi

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \quad (5)$$

ifoda bilan (bu yerda C - bitta yassi qoplama yuzi, d -qoplamalar orasidagi masofa), silindrsimon kondensatorning sig'imi

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon \cdot l}{\ln R_2 / R_1} \quad (6)$$

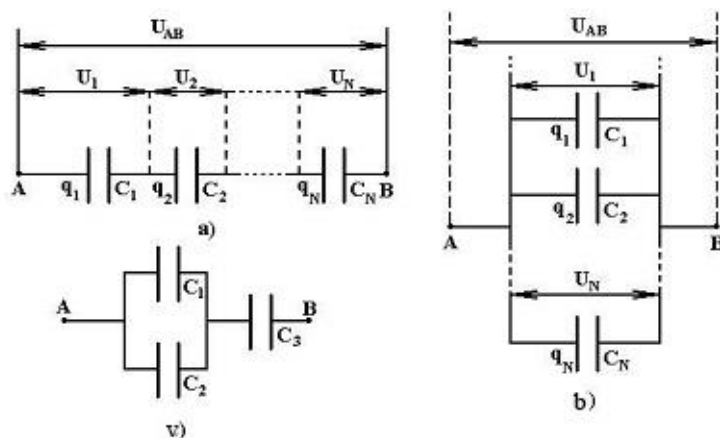
ifoda bilan (l - silindr uzunligi, R_1 va R_2 - mos ravishda ichki va tashqi silindrning radiuslari) va sferik kondensatorning elektr sig'imi

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2 - R_1} \quad (7)$$

ifoda bilan (bu yerda R_1 va R_2 - mos ravishda ichki va tashqi sferalarning radiuslari) aniqlanadi. (5) - (7) ifodalardagi ϵ - qoplamalar orasidagi muhitning dielektrik singdiruvchanligidir.

Ketma-ket ulangan kondensatorlar sistemasining (1a-rasm) to'la sig'imi (S) quyidagi ifoda bilan aniqlanadi ($q_1=q_2=\dots=q_N$, $U_{AB}=U_1+U_2+\dots+U_N$):

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i} \quad (8)$$



1 – rasm

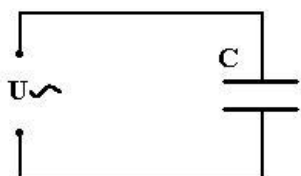
Parallel ulangan kondensatorlar (1b-rasm) sistemasininig to'la sig'imi quyidagi ifoda bo'yicha xisoblanadi ($q=q_1+q_2+\dots+q_N$, $U_{AB}=U_1=U_2=\dots=U_N$)

$$C = \sum_{i=1}^N C_i \quad (9)$$

Aralash ulangan kondensatorlar sistemasining (masalan, 1v-rasm) C -to'la sig'imi (8) va (9)-ifodalardan birgalikda foydalanib hisoblanadi:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1 + C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (10)$$

Kondensator o'zgaras tok zanjiriga ulanganda u tokni o'tkazmaydi, o'zgaruvchan tok zanjiriga ulanganda esa o'tkazadi. Faraz qilaylik sig'imi C bo'lgan kondensator sinusoidal o'zgaruvchan kuchlanishga ega bo'lgan o'zgaruvchan tok zanjiri qismiga ulangan bo'lsin (2-rasm):



2 - rasm

$$U = U_0 \sin \omega t \quad (11)$$

Vaqtning istalgan t - paytida:

$$q = CU = CU_0 \sin \omega t \quad (12)$$

ifoda o'rinli bo'ladi. Kondensatordan o'tayotgan tok kuchininig oniy qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$J = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU}{dt} = CU_0 \omega \cos \omega t = CU_0 \omega \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = J_0 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (13)$$

Bunda J_0 - tok kuchining amplituda qiymatidir:

$$J_0 = U_0 C \omega = \frac{U_0}{\omega C} = \frac{U_0}{R_C} \quad (14)$$

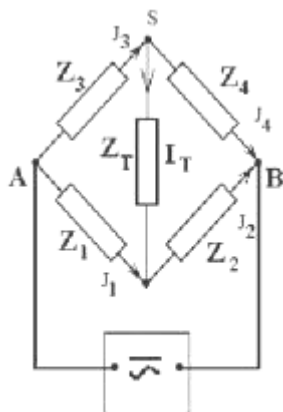
Bu o'zgaruvchan tok zanjirining kondensator bor qismidan o'tayotgan tokning amplituda qiymati uchun Om qonunining ifodasidir. Undagi

$$R_C = \frac{1}{C\omega} = Z \quad (15)$$

kondensatorning $\omega = 2\pi\nu$ -chastotali o'zgaruvchan tokka ko'rsatdigan qarshiligi bo'lib, unga **reaktiv sig'im qarshilik** deyiladi.

II. O'lchash uslubining nazariyasi va qurilmasining tavsifi.

Ushbu vazifada kondensatorning sig'imini aniqlash uchun o'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan zanjir qismida shu kondensatorning (15) ifoda bilan aniqlanuvchi qarshilik hosil qilish xossasidan foydalaniladi. Shu ifodan kondensatorning sig'imini, uning qarshiligini tajribada o'lchash yo'li bilan aniqlash mumkin. Bunda kondensatorning noma'lum C_x -sig'imini, uning Z_x sig'im qarshiligini, sig'imi C_0 aniq bo'lgan etalon kondensatorning Z_0 sig'im qarshiligi bilan tajribada taqqoslash usuli bilan aniqlash mumkin. Bunday tajribani odatda, **o'zgaruvchan tok ko'priqi** deb ataladigan yakka ko'prik yordamida amalga oshirish mumkin. Dastlab shunday yakka ko'prikning tuzilishi va ish prinsipini umumiy xolda qarab chiqamiz:



3 - rasm

Eng oddiy yakka ko'prikning sxemasi 3-rasmda ko'rsatilgan. Ko'prikning to'rt yelkasida to'rtta reaktiv (yoki aktiv) elektr qarshiliklar Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 lar mavjud bo'ladi.

Ko'prikdagi A, B, S, D-nuqtalarga **ko'prik cho'qqilari**, ikkita qarama-qarshi cho'qqilar AB va SD oraliqlariga esa-**ko'prik diagonallari** deyiladi. Diagonallardan biriga (masalan, AB diagonalga) tok manbai, ikkinchisiga (SD diagonalga) esa taqqoslovchi Z_1 qurilma (masalan, telefon) ulanadi. 3-rasmdan ko'rinib turibdiki, SD diagonal, qarshiliklari Z_1, Z_2, Z_3 va Z_4 bo'lgan yelkalar o'rtasidan o'tkazilgan ko'prikka o'xshaydi. Mana shu sababga ko'ra, bu sxema ko'prik sxema deb ataladi.

Ko'prikning AB diagonaliga ulanadigan tok manbaining turiga qarab, ko'prik o'zgarmas va o'zgaruvchan tok ko'priklari bo'linadi. O'zgarmas tok ko'priklari o'zgarmas tok zanjiridagi aktiv (yoki Omik) qarshilikni, o'zgaruvchan tok ko'priklari esa o'zgaruvchan tok zanjiridagi reaktiv sig'im, induktiv qarshiliklarni va elektrolitlar qarshiligini o'lchash uchun ishlatiladi.

O'zgarmas va o'zgaruvchan tok ko'priklari quyidagi umumiy muxim xossaga ega: yelkalardagi qarshiliklarning ma'lum bir munosabatida, AB diagonalidagi kuchlanishning qiymati qandayligidan qat'iy nazar, SD taqqoslash diagonali bo'ylab elektr toki butunlay oqmaydi ($J_T=0$). Ko'prikning mana shunday xolatiga uning **muvozanat xolati** deyiladi. Ko'prik muvozanatga kelganda uning yelkalarining

qarshiliklari orasidagi munosabatga ko'priknig **muvozanat sharti yoki tenglamasi** deyiladi.

Ko'prikn muvozanat shartining analitik ifodasini keltirib chiqaramiz. Faraz qilaylik 3-rasmdagi ko'prikn muvozanatli xolatda bo'lsin, ya'ni $J_T=0$. Bunday shart S va D nuqtalarning potentsiallari teng bo'lsagina (ya'ni $\varphi_C = \varphi_D$) bajariladi. Bundan esa ko'priknning birinchi va uchinchi, hamda ikkinchi va to'rtinchi yelkalaridagi kuchlanish tushishlari bir xil bo'lishi kelib chiqadi (Kirxgofning ikkinchi qoidasiga asosan ham buni isbotlash mumkin), ya'ni

$$J_1 Z_1 = J_3 Z_3, \quad J_2 Z_2 = J_4 Z_4$$

Bundan tashqari $J_T=0$ bo'lgani uchun $J_1=J_2$ va $J_3=J_4$ bo'ladi. Buni xisobga olib, yuqoridagi tenglamarni hadma-had bo'lgach, ko'priknning muvozanat sharti uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4} \quad (16)$$

Shunday qilib, agar ko'prikn muvozanatda bo'lsa uning ixtiyoriy uchta yelkasidagi qarshiliklar ma'lum bo'lganda, (16) ifodadan foydalanib, qolgan to'rtinchi yelka qarshiligini topish mumkin.

O'zgarmas tok ko'prigida (16) ifodadagi qarshiliklar xaqiqiy qiymatli qarshiliklar (Omik) bo'ladi:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (17)$$

O'zgaruvchan tok ko'prigida esa (16) ifodadagi qarshiliklar haqiqiy va kompleks qiymatli qarshiliklar hisoblanadi. Nazariy va amaliy tahlillar shuni ko'rsatadiki [1], agar shunday ko'priknning ikki qo'shni yelkasida aktiv qarshilik (masalan, R_1 va R_2), qolgan ikki qo'shni taqqoslanuvchi yelkasida reaktiv qarshilik (masalan, Z_3 va Z_4) joylashsa ham ko'prikn muvozanatga kelar ekan. Bunday holda (16) shart quyidagi ko'rinishga keladi:

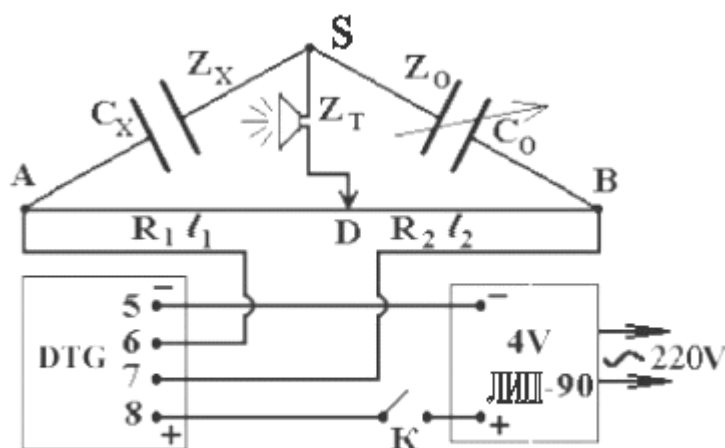
$$\frac{Z_3}{Z_4} = \frac{R_1}{R_2} \quad (18)$$

yoki

$$Z_X = Z_3 = Z_4 \frac{R_1}{R_2} \quad (19)$$

(17) va (19) ifodalardagi $\frac{R_1}{R_2}$ - nisbatga yelkalar nisbati, R_4 (yoki Z_4)ga taqqoslash yelkasi deyiladi. Ko'priknni ikki yo'l bilan muvozanatga keltirish mumkin: a) $\frac{R_1}{R_2}$ - nisbatning o'zgarmas qiymatida R_4 (yoki Z_4)ni o'zgartirish bilan, b) R_4 (yoki Z_4) ning o'zgarmas qiymatida $\frac{R_1}{R_2}$ -nisbatni o'zgartirish yo'li bilan.

Shu ikki holdan biriga asoslanib odatda ko'priklar ishlab chiqariladi. a) holga asoslanib yasalgan ko'priklarda R_4 (yoki Z_4) vazifasini dekadali qarshiliklar magazini. $\frac{R_1}{R_2}$ - vazifasini esa shtepselli qarshiliklar majmuasi bajaradi; b) holga asoslanib yasalgan ko'priklarda R_4 (yoki Z_4) vazifasini qarshiliklar magazini, yelkalar nisbati vazifasini esa jilgichli reoxord bajaradi.



4 - rasm

(19) ifoda bo'yicha kondensatorning sig'imini aniqlashga imkon beradigan qurilmaning elektr zanjiri 4-rasmda tasvirlangan. Eng oddiy Uitson ko'prigi deb ataladigan ko'priq, bu qurilmaning asosiy qismi xisoblanib, uning tuzilishi va ishi yuqoridagi b) xolatga asoslangan.

Qurilma quyidagi qismlardan iborat (4-rasm): Uitsonning o'zgaruvchan tok ko'prigi, o'zgaruvchan tok manbai (DTG), o'zgarmas tok manbai

(ЛПП-90), simlar va kalit(K). Bu zanjirdagi o'zgaruvchan tok ko'prigining birinchi va ikkinchi yelkalariga R_1 va R_2 qarshiliklar vazifasini bajaruvchi AB reoxord ulangan. Reoxord uzunligi $l=50$ sm bo'lgan, millimetrlarda darajalangan taxtachalaridagi A va B qisqichlarga uchlari maxkamlangan, katta solishtirma qarshilikli simdan tashkil topgan. Reoxord sim bo'ylab sirpanadigan D-qisqichga ega. Ko'priqning uchinchi va to'rtinchi yelkalariga sig'im qarshiliklari va sig'imi, mos ravishda $Z_X=Z_3$, $Z_0=Z_4$ va C_X , C_0 bo'lgan (C_X - noma'lum elektr sig'imi, C_0 - etalon kondensatorning sig'imi) kondensator va sig'im magazini ulangan.

Etalon sig'im magazinidan zarur bo'lgan sig'imni uning "H.P." va "L.P." chiqishlaridan olish mumkin. Ulangan sig'im kattaligi magazinning buragich dastasi yonidagi aylana tashkildan ko'rinadi. Ko'priqning taqqoslash SD diagonaliga telefon T ulangan. Ko'priqda o'zgaruvchan tok manbai sifatida, P 202 tranzistorida yig'ilgan ko'rgazmali tovush generatoridan (DTG) foydalanilgan. DTG ning 6 va 7 nomerli chiqishlaridan ko'priqning AB diagonaliga o'zgaruvchan kuchlanish beriladi. Generatorning 5 va 8 qisqichlariga ЛПП-90 to'g'riligidan 4V kuchlanish beriladi.

Bayon qilingan ko'priq sxema bo'yicha C_X noma'lum sig'imni aniqlash uchun (15) va (19) ifodalardan quyidagi formulani olamiz:

$$\frac{1}{C_X \omega} = \frac{1}{C_0 \omega} \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad C_X = C_0 \frac{R_2}{R_1} \quad (19)$$

Bu ifodadagi R_1 va R_2 ko'priq muvozanatga kelganda (telefondagi tovush eng past eshitilganda) reoxord sirpanuvchan D qisqichining har ikkala tomonidagi $L_1=AD$

va $L_2=DB$ sim uzunliklarining qarshiligidir. Bu qismlar qarshiliklari $R_1 = \rho \frac{l_1}{S}$ va

$R_2 = \rho \frac{l_2}{S}$ kabi aniqlanishini xisobga olganda (19) formula quyidagi ko'rinishga keladi:

$$C_X = C_0 \frac{l_2}{l_1} = C_0 \frac{l_2}{l - l_2} \quad (20)$$

Endi reoxord sirpanuvchi D kontaktining qanday holatida o'lchash xatoligi eng kichik bo'lishini aniqlaymiz. Buning uchun dastlab, (20) dan birinchi bobning 2.3 paragrafidagi qoidalar bo'yicha kirishib, nisbiy xatolikni aniqlaymiz:

$$\varepsilon = \frac{\Delta C_X}{C_X} = \frac{\Delta C_0}{C_0} + \frac{\Delta \ell_2}{\ell_2} + \frac{\Delta \ell}{\ell - \ell_2} + \frac{\Delta \ell_2}{\ell - \ell_2} =$$

$$= \frac{\Delta C_0 \ell_2 (\ell - \ell_2) + C_0 \Delta \ell_2 (\ell - \ell_2) + C_0 \ell_2 (\Delta \ell + \Delta \ell_1)}{C_0 \ell_2 (\ell - \ell_2)} \quad (21)$$

O'z-o'zidan ravshanki, agar bu kasrning maxraji $Y = C_0 \ell_2 (\ell - \ell_2)$ eng katta bo'lganda nisbiy xatolik eng kichik bo'ladi. Endi Y funksiyaning maksimumlik shartini topamiz:

$$\frac{dY}{d\ell_2} = C_0 \ell - 2C_0 \ell_2 = 0$$

Bundan $\ell_2 = \frac{\ell}{2}$ ni olamiz.

Demak, ko'prik muvozanatga kelganda (telefonda tovush eng past eshitilganda), reoxordning sirpanuvchi kontakti shkalaning o'rtasidagi ($\ell_1 = \ell_2 = 25 \text{ sm}$) holatda bo'lganda nisbiy xatolik eng kichik bo'lar ekan. Bunday shart bajarilganda (20) dan $C_X = C_0$ ni olamiz.

II. Ishni bajarish tartibi va tajriba xatoliklarini xisoblash.

1. Ishni bajarish uchun 4-rasmda tasvirlangan elektr zanjirini yig'ing va uni o'qituvchiga (yoki laborantga) tekshirtiring. Bu sxemada AS yelkaga C_X -sig'imi aniqlanuvchi birinchi kondensator ulangan bo'lishi kerak.
2. ЛИИ-90 to'g'rilagichini 220 V li shahar elektr tarmog'iga ulang. K - kalitni qo'shing. Shunda telefonda tovush eshitilishi kerak. Reoxord D surilgichini imkoni boricha shkalaning o'rta holatiga qo'yish va sig'im magazinidan C_0 -ni tanlash bilan telefondagi tovushning mumkin qadar past eshitilishiga erishing. Reoxorddagi simning ℓ_1 va ℓ_2 yelkalari uzunliklarini va sig'im magazinida C_0 ning qiymatini yozib oling.
3. C_0 ni o'zgartirmasdan D qisqichni surib, uning telefondagi tovushni yanada pastroq eshitilishini ta'minlovchi yana ikkita xolatini ketma-ket toping va ularga mos kelgan ℓ_1 va ℓ_2 larni yozib oling. Olingan natijalar asosida (20) ifoda bo'yicha noma'lum C_X ning uchta qiymatini hisoblang. Sig'imning o'rtacha arifmetik qiymatini hisoblang (C_{X1}).
4. K-kalitni ajratib, zanjirdagi birinchi kondensator o'rniga ikkinchi kondensatorni ulang, 2 va 3 punktdagi ishlarni diqqat bilan bajarib, ikkinchi kondensatorning sig'imining o'rtacha arifmetik qiymatini hisoblang (C_{X2}).
5. K-kalitni ajratib, ko'prik AS yelkasiga birinchi va ikkinchi kondensatorni o'zaro ketma-ket ulang (1a-rasm). K-kalitni ulab, kondensatorlarning to'la sig'imini 2 va 3 punktdagi ishlarni takroran bajarib hisoblang ($\bar{C}_{taj}$).
6. K-kalitni ajratib, ko'prikning AS yelkasiga o'zaro ketma-ket ulangan ikkita kondensatorni o'zaro parallel ulang (1b-rasm). Bu sistemaning elektr sig'imini 2 va 3 punktdagi ishlarni takroran bajarib hisoblang ($\bar{C}_{taj}$).
7. 2-4 punktlarda olingan natijalardan foydalanib (8) va (9) ifodalar bo'yicha hisoblashlarni bajaring (C_{naz}). Bu natijalarni 5 va 6 punktlardagi topshiriqlarni bajarishdan olingan tajriba natijalari bilan solishtiring.
8. Har bir kondensator sig'imlarini va ular o'zaro ketma-ket va parallel ulangandagi to'la sig'imni (20) ifoda orqali bilvosita hisoblashda (o'lchashda) yo'l qo'yilgan

xatolarni hisoblang. Nisbiy xatolikni hisoblash ifodasini uning minemallik shartiga ($\ell_1 = \ell_2 = \frac{\ell}{2}$) asosan (21) dan aniqlaymiz:

$$\varepsilon = \frac{\Delta C_X}{\bar{C}_X} \cdot 100\% = \sqrt{\left(\frac{\Delta C_0}{C_0}\right)^2 + \left(\frac{6\Delta\ell}{\ell}\right)^2} \cdot 100\% \quad (22)$$

Bunda, $\Delta\ell = 0,5 \text{ mm}$, $\ell = 50 \text{ sm}$ va $\frac{\Delta C_0}{C_0} \cdot 100\% = 1.5\%$.

Absolyut xatolik:

$$\Delta C_X = \frac{\bar{C}_X \cdot \varepsilon}{100\%} \quad (23)$$

Bunda, $\bar{C}_X = \frac{C_{X1} + C_{X2} + C_{X3}}{3}$.

Aniqlangan C_X - ning xaqiqiy qiymati quyidagicha yoziladi:

$$C_X = \bar{C}_X \pm t_{PN} \Delta C_X$$

9. Tajriba natijalari asosida quyidagi jadvalni to'ldiring:

Ulash	Alohida				Ketma-ket				Parallel			
$C_X, \text{ mkf}$	$\bar{C}_{X1}$	$\bar{C}_{X2}$	ΔC_X	ε	C_{naz}	$\bar{C}_{\text{taj}}$	ΔC_X	ε	C_{naz}	$\bar{C}_{\text{taj}}$	ΔC_X	ε

10. Ish natijalarini tahlil qilib hisobot yozing. Hisobot yakunida bajarilgan ish yuzasidan o'z xulosalaringizning bo'lishi shart.

Nazorat savollari.

1. Jismlarni elektrlash usullari: Ishqalash (kontakt) va induksiya yo'li bilan elektrlash.
2. O'tkazgichlar va dielektriklar. Dielektrik singdiruvchanlik. Erkin va bog'langan zaryadlar.
3. Yakkalangan o'tkazgichning elektr sig'imi va uning maksimal qiymatining chegaralanganligi. Sig'im birliklari.
4. Kondensatorning vazifasi, turlari va elektr sig'imi.
5. Yassi, silindrik va sferik kondensatorlarning tuzilishi va ularning elektr sig'imini hisoblaydigan formulani keltirib chiqarish.
6. Kondensatorlarni o'zaro ulash usullari.
7. Zaryadlangan kondensator maydonining energiyasi.
8. Kondensatordan o'zgaruvchan tokning o'tishi. Kondensatorning sig'im qarshiligi.
9. Kondensator sig'imini o'lchash usullari. Sig'imni o'lchovchi o'zgaruvchan tok ko'prigining tuzilishi va ishlash prinsipi. Ko'priknining muvozanat sharti. Nima uchun kondensator sig'imini o'zgarvas tok ko'prigida o'lchash mumkin emas?

Adabiyotlar

- [8], § 31,32,34,35,218.
 [9], § 24-26,29,94.
 [11], § 3,5,6,11.
 [12], §26-29.

3 - Laboratoriya ishi

O'zgaruvchan tok ko'prigi yordamida muxitning dielektrik singdiruvchanligini aniqlash.

Ishning maqsadi: Dielektrlarning dielektrik singdiruvchanligini kondensatorning elektr sig'imini o'lchash orqali aniqlash.

Kerakli asbob-uskunalar: 1) sonli avtomatlashgan o'zgaruvchan tok ko'prigi (P589), 2) yassi kondensator. 3) dielektrik namunalar. 4) yassi kondensator qoplamalari o'rnatiladigan maxsus moslama. 5) ulash simlari (2ta).

I. Nazariy ma'lumotlar.

Tashqi elektr maydoni ta'sirida moddaning butun xajmi bo'ylab ko'cha oladigan zarrachalar ega bo'lgan zaryadga erkin zaryad deyiladi. Tashqi elektr maydoni ta'sirida moddani faqat tarkibiy zarrasi (atom yoki molekula) o'lchamidagina ko'cha oladigan zaryadga **bog'langan zaryad** deyiladi. Odatdagi sharoitlarda faqat bog'langan zaryadlarga ega bo'lgan moddalarga **dielektriklar** deyiladi.

Dielektrlarning tarkibiy zarralari ichida proton va neytron bo'ladi. Tarkibiy zarraning turiga va qutblanish turiga qarab dielektrlarni uchta sinfga bo'lish mumkin.

DIELEKTRIKLAR			
Sinfi, turlari	Misollar	Tarkibiy zarrasi	Qutblanish turi
1. Qutbsiz	H ₂ , N ₂ , CO ₂	Qutbsiz molekula	Elektron (yoki deformasiyali)
2. Qutbli	H ₂ O, CO	Qutbli molekula	Yo'nalishli (yoki dipolli)
3. Ion panjarali	NaCl, KBr	Qutbli molekula	Ionli

Tashqi elektr maydoni bo'lmaganda, musbat va manfiy zaryadlarning og'irlik markazlari ustma-ust tushmaydigan molekulalarga esa qutbli molekular deyiladi. Tashqi elektr maydoni bo'lmaganda qutbsiz molekulalarda elektr momenti ($\vec{P} = q\vec{\ell}$) nolga teng bo'lib, qutbli molekulalarniki esa noldan farqli bo'ladi. Qutbli molekulalarni elektr dipolga o'xshatish mumkin.

Qutbsiz dielektriklar qutbsiz molekulalardan, qutbli dielektriklar esa qutbli molekulalardan tashkil topgan bo'ladi.

Ion panjarali dielektrikning tarkibiy zarrachasini shartli ravishda ionli tuzilishga ega bo'lgan molekula deyish mumkin. Ularning kristall panjarasini, birining tugunlarida faqat musbat, ikkinchisining tugunlarida faqat manfiy ishorali ionlar joylashgan, ichma-ich kirishib ketgan ikkita panjara deb tasavvur qilish mumkin.

Dielektriklar kuchlanganligi ϵ_0 bo'lgan elektr maydoniga kiritilganda ulardagi qarama-qarshi ishorali bog'langan zaryadlarga maydon tomonidan qarama-qarshi yo'nalishda maydon kuchi ($\vec{F} = \pm q\vec{E}$) ta'sir qilishi natijasida qutblanish hodisasi yuz beradi. Dielektrikning tashqi elektr maydoni yo'nalishidagi tomonlarida qarama-qarshi ishorali bog'langan zaryadlarning paydo bo'lishi hodisasiga **dielektrikning qutblanishi** deyiladi.

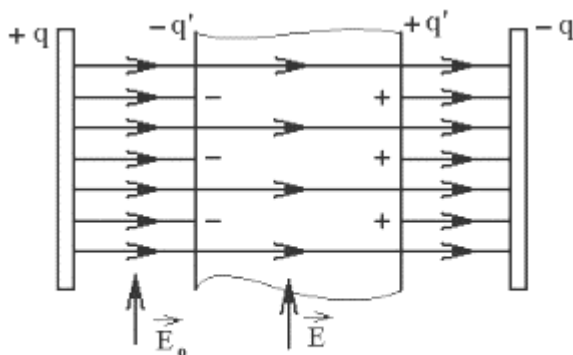
Qutblanish hodisasi tashqi maydon ta'sirida qutbsiz dielektrlarda qutbsiz molekullarning elastik dipolga aylanishi; qutbli dielektrlarda qutbli molekullar elektr momentlarining $M = P_m E_0 \sin \alpha$ aylantiruvchi moment ta'sirida maydon yo'nalishi bo'ylab burilishi; ion panjarali dielektrlarda esa qarama-qarshi ishorali zaryadga ega bo'lgan panjaralarning maydon yo'nalishi bo'ylab qarama-qarshi tomonga ko'chishi tufayli yuz beradi.

Dielektrlarning qutblanish darajasini xarakterlash uchun qutblanish vektori deb ataladigan $\vec{P}$ -vektor kattalik qabul qilingan. Qiymati dielektrikning birlik xajmida mavjud bo'lgan elektr dipol momentlarining (N ta) geometrik yig'indisi bilan aniqlanuvchi vektor kattalikka **qutblanish vektori** deyiladi.

$$\vec{P} = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{P}_{mi}}{V} \quad (1)$$

Tajribalarning ko'rsatishicha ko'pchilik oddiy dielektrlar uchun $\vec{P}$ -dielektrik ichidagi elektr maydon kuchlanganligi bilan chiziqli bog'langan:

$$\vec{P} = \chi \varepsilon_0 \vec{E} \quad (2)$$



1 – rasm

buyurda, χ - moddaning dielektrik qabul qiluvchanligi, ε_0 - vakuumning elektr doimiysi deyiladi.

Dielektrik tashqi elektr maydoniga (bir jinsli) kiritilganda unda paydo bo'lgan bog'langan q' zaryadlarning elektr maydoni (E'), tashqi q - erkin zaryadlarning elektr maydoni (E_0) yo'nalishga teskari yo'nalgan bo'ladi (1-Rasm).

Erkin zaryadlar va bog'langan zaryadlar elektr maydonlarining qo'shilishi (superpozitsiyasi) natijasida dielektrik ichida erkin zaryadlar maydoni kuchlanganligi (E_0) bog'langan zaryadlar kuchlanganligi (E') ga kamayadi, natijada dielektrik ichida $E = E_0 - E'$ bo'lib qoladi ($\frac{q'}{S} < \frac{q}{S}$ - bo'lganligi uchun).

Dielektrik ichida erkin zaryadlar hosil qiladigan maydonni xarakterlash uchun elektr induksiya vektori deb ataladigan vektor kattalik $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}_0$ - qabul qilingan. Elektr maydoni kuchlanganligi vektori $\vec{E}$ - qutblanish vektori $\vec{P}$ va induksiya vektori $\vec{D}$ lar orasida quyidagi bog'lanish mavjud:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (3)$$

(2) ifoda hisobga olinsa bundan quyidagilar olamiz:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \chi \varepsilon_0 \vec{E} = (1 + \chi) \varepsilon_0 \vec{E} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E} \quad (4)$$

Bundagi

$$\varepsilon = 1 + \chi \quad (5)$$

ifoda bilan aniqlanuvchi ε ga **dielektrik singdiruvchanlik** deyiladi. (4) dan ε dielektrikning tashqi maydon kuchlanganligini necha marta kamaytirish xossasini aniqlashi kelib chiqadi:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E} \quad (6)$$

Dielektriklardan amalda elektr maydonini kamaytirish maqsadlarida, masalan kondensatorlarda keng foydalaniladi. Shu bilan kondensatorlarning elektr sig'imini ($C = \frac{q}{U} = \frac{q}{Ed}$ ga asosan) ε - marta oshirishga erishiladi. Haqiqatdan ham barcha tur dielektrikli kondensatorlarning elektr sig'imi ifodasida ε ga proporsionallik mavjud:

Yassi kondensatorlar uchun:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d} \quad (7)$$

Sferik kondensatorlar uchun:

$$C = 4\pi\varepsilon_0 \varepsilon \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2 - R_1} \quad (8)$$

Silindirsimon kondensatorlar uchun:

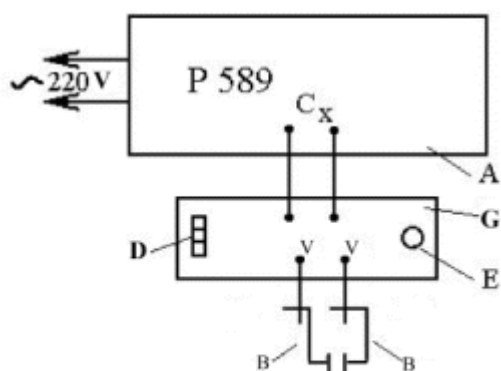
$$C = 2\pi\varepsilon_0 \varepsilon \ell / \ln \frac{R_2}{R_1} \quad (9)$$

Agar kondensator qoplamalari orasida dielektrik bo'lmasa, (7)-(9) ifodalarda $\varepsilon = 1$ bo'ladi. Masalan: yassi kondensator uchun sig'im ifodasi quyidagicha bo'ladi:

$$C_0 = \varepsilon_0 \frac{S}{d} \quad (10)$$

Yassi kondensator uchun (7) va (10) ifodalardan uning qoplamalari orasidagi muhitning dielektrik singdiruvchanligini aniqlaydigan quyidagi ifodani olamiz:

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0} \quad (11)$$

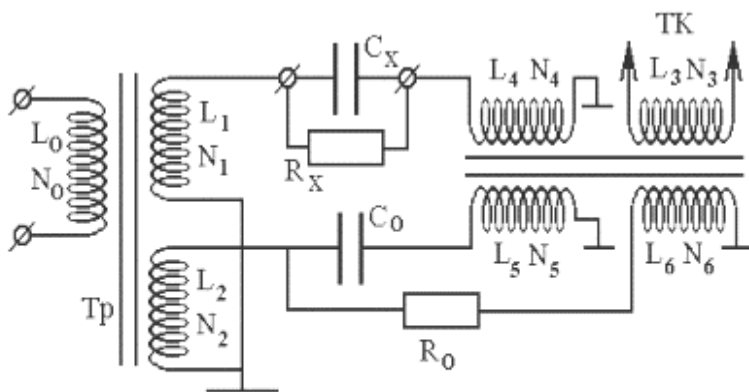


2-rasm

Bu ifoda ushbu ishdagi vazifaning asosiy ishchi ifodasidir.



3- rasm



4 - rasm

II.O'lchash uslubining nazariyasi va qurilmasining tavsifi.

Ushbu ishda turli xil dielektrik namunalarning dielektrik singdiruvchanligini maxsus qurilma yordamida aniqlanadi. Qurilmaning blok elektr sxemasi

2-rasmda tasvirlangan. Uning asosiy qismi A-P 589 tipidagi avtomatlashgan son ko'rsatgichli o'zgaruvchan tok ko'prigi bo'lib, u o'lchanuvchi sig'imni to'g'ridan to'g'ri sonlar yordamida ko'rsatadi. Shunday qilib, ko'prik yordamida C-kondensatorning elektr sig'imi bevosita o'lchanadi. Ko'prikning "Cx" kirishida sig'imi o'lchanadigan C - kondensator ulanadigan B - simlarni prujina yordamida siqib tutib turadigan V - qisqichlarga ega bo'lgan G moslama mavjud. Moslamaning D-buragichi bilan V - qisqichlar orasidagi masofani o'zgartiruvchi, E-knopkasi bilan esa V qisqichlardagi prujinani siqib, ularga B-simlarni mahkamlash mumkin.

Ishda yassi kondensator o'rnatilgan maxsus moslamadan (3 - rasm) foydalaniladi. U quyidagicha tuzilgan: oralig'iga 1 - dielektrik qo'yilgan yassi kondensatorning 2 - qoplamalari 3 - izolyatorlar orqali moslama 4-ustunlarining simmetriya o'qi bo'ylab o'rnatilgan. Kondensatorning pastki qoplamasi - 3 izolyator orqali moslamaning mikrovintli 5 - o'qiga o'rnatilgan. Bu o'qni 6 - buragich yordamida vertikal yo'nalishda ko'chirib, kondensator qoplamalari orasidagi masofani o'zgartirish mumkin. Kondensator qoplamalarining gorizontall vaziyatdagi o'zaro parallelligi 7-vintlar yordamida ta'minlanadi. Kondensator qoplamalari 8-qisqichlarga ulanadigan simlar orqali P-589 ko'prigining "Cx" kirishiga 2-rasmda ko'rsatilgandek ulanadi.

P-589 o'zgaruvchan tok ko'prigining kondensator sig'imini o'lchash zanjirida, o'zaro induktiv bog'langan. Ko'p yelkali ko'prikdan foydalanilgan. Shu ko'prik zanjirining soddalashgan sxemasi 4-rasmda tasvirlangan bo'lib, u kuchlanish transformatori (Tr) va tok komparatori (Tk) deb ataladigan ikkita blokdan tuzilgan. Bunday ko'prik sxemaning muvozanat sharti quyidagidan iborat:

$$C_x = C_0 \frac{N_2 \cdot N_5}{N_1 \cdot N_4} \quad (12)$$

bu yerda C₀-etalon kondensator sig'imi, N₁, N₂, N₄ va N₅ mos ravishda L₁, L₂, L₄ va L₅ cho'lg'amlaridagi o'ramlar sonlari. N₅ - o'zgarmagan holda, N₃ o'ramlar sonini maxsus rele yordamida avtomatik ravishda o'zgartirilishi bilan ko'prik muvozanatga keladi. N₁ va N₄ ko'prikning berilgan o'lchash diapozonida o'zgarmaydi, o'lchash diapozoni o'zgarganda esa ikkita rele ularni avtomatik ravishda o'zgartiradi.

Ko'prikda tok manbai sifatida o'zgaruvchan tokning LC-generatori ishlatiladi. L₀-o'ram uchlariga shu generatorning 1000 Gs li chiqishi, L₃ o'ramga esa tanlash kuchaytirgichi ulanadi.

Shunday qilib, ko'prikda (12) muvozanat sharti avtomatik ravishda bajariladi. O'lchanilayotgan sig'im qiymatini ko'prikning tablosidagi sonli lampalar to'g'ridan-to'g'ri ko'rsatadi.

III. Ishni bajarish tartibi va tajriba xatolarini hisoblash.

1. Ishda qo'yilgan maqsadning tajribaviy qismini bajarish uchun 2-rasmdagi elektr zanjirini yig'ing va uni o'qituvchiga (yoki laborantga) ko'rsating.
2. P589 ko'prigini ish holatiga tayyorlang. Buning uchun uning "Запуск" kaliti dastasini "Рычной" holatga, "Под работы" kaliti dastasini esa "C₁" holatga qo'ying.
3. Ko'prikning tok manbaiga ulanadigan simini 220 V lik shahar elektr tarmog'iga ulang va uning "Сеть" tumbalarini yuqori holatga ko'taring. "Пуск" tugmasi bosilganda tablodagi sonli lampalari yonishi kerak. SHunda ko'prik ishga tayyor hisoblanadi.
4. "Под работы" kalitining shu "C₁" holatida kondensatorning sig'imini o'lchash maqsadga muvofiq.
5. 3-rasmda tasvirlangan moslamaga o'rnatilgan yassi kondensator qoplamalarini, bir-biridan taxminan dielektrik namunalar qalinligiga teng uzoqlikda, gorizontaal vaziyatda o'zaro parallel holatga keltiring va dielektrik namunalardan birini ularning orasiga kiriting. Ko'prikning "Пуск" tugmasini bosing. Sonli lampalar ko'rsatishini yozib oling. Bu ko'rsatish dielektrikli kondensatorning sig'imi C bo'ladi. SHu namuna uchun "Пуск" tugmasini takror-takror bosish bilan C ning kamida yana 9 ta qiymatini aniqlab yozib oling. 10 ta qiymat bo'yicha C ning o'rtacha qiymati $\bar{C}$ ni toping.
6. Kondensator qoplamalari orasidagi dielektrikni sekin chiqarib oling. Ko'prikning "Пуск" tugmasini bosish bilan dielektriksiz kondensator C₀ elektr sig'imining kamida 10 ta qiymatini va ularning o'rtacha qiymatini $\bar{C}_0$ -ni aniqlang.
7. $\bar{C}$ va $\bar{C}_0$ qiymatlarini (11) ifodaga qo'yib namunaning dielektrik singdiruvchanligini hisoblang.
8. Sizga berilgan boshqa namunalarning dielektrik singdiruvchanligini ham 4-6 punktlardagidek, diqqat bilan kirishib aniqlang.
9. Har bir namuna uchun kondensator sig'imini bevosita o'lchash orqali dielektrik singdiruvchanlikni (11) formula yordamida bilvosita aniqlashda yo'l qo'yilgan xatolarni hisoblang.

Nisbiy xatolik (%-larda):

$$\delta = \frac{\Delta \varepsilon \cdot 100\%}{\bar{\varepsilon}} = (\delta C_0 + \delta C) \cdot 100\% = \left(\frac{\Delta C_0}{C_0} + \frac{\Delta C}{C} \right) \cdot 100\%$$

Absolyut xatolik:

$$\Delta \varepsilon = \frac{\delta \cdot \bar{\varepsilon}}{100}$$

Bu ifodalardagi δC_0 va δC lar, mos ravishda dielektriksiz va dielektrikli kondensator sig'imlarini o'lchashdagi nisbiy xatoliklar bo'lib, ular ko'prikning o'lchash diapozoniga bog'lik holda quyidagi jadvaldan foydalanib topiladi:

T/R	O'lchash diapozoni	Nisbiy xatolik %
-----	--------------------	------------------

1.	0.01pF - 99.98 pF	$\pm (0.1+2/S_x)$
2.	100.0 pF - 99988 mkF	± 0.1
3.	1.0 pF - 9.9988 mkF	± 0.2

10.Oxirgi natijani (ishonch oralig'ini) aniqlang:

$$\varepsilon = \bar{\varepsilon} \pm \Delta\varepsilon$$

11.Olingan natijalarni tahlil qiling va xulosalar chiqaring.

12.Ish yuzasidan hisobot yozing.

Nazorat savollari.

1. Dielektrik singdiruvchanlikni aniqlashni siz foydalangan uslubini gapiring.
2. Dielektriklarning turlari va tuzilishini gapiring.
3. Dielektrik tashqi elektr maydoniga kiritilganda yuz beradigan qutblanish hodisasining fizik mazmunini ayting.
4. Dielektriklar tashqi elektr maydoni kattaligiga qanday ta'sir ko'rsatadi? Dielektrik singdiruvchanlikni va qabul qiluvchanlikning mexanikasi qanday?
5. $\vec{E}$ va $\vec{D}$ vektorlarning fizik mohiyati qanday va ular orasida qanday bog'lanish bor?.
6. Dielektrikdagi maydon uchun Gauss teoremasi ayting.
7. Kondensatorlar va ularning turlari. Kondensatorlarning sig'imi qanday hisoblanadi?

Adabiyotlar

[8], § 31,32,38-41,44,46-48,50.

[9], § 13-19.

[12], § 26,27,33-37.

[13], глава IV.

4 - Laboratoriya ishi.

O'zgarmas tok ko'prigi yordamida o'tkazgichlarning qarshiligini aniqlash

Ishning maqsadi: Aktiv elektr qarshilikni o'zgarmas tok ko'prigi yordamida o'lchash va aktiv elektr qarshiliklarni o'zaro ulash qonunlarini tekshirish.

Kerakli asbob-uskunalar: reoxord, o'zgarmas tok ko'prigi (MTB), galvanometr (M2032/3), tok manbai, qarshilik magazini (KMC - 6 yoki R 33), o'lchanadigan 2 - ta elektr qarshilik, kalit va ulash simlari.

I. Nazariy ma'lumotlar

1.1. Elektr toki. Tok kuchi.

O'tkazgichdagi zaryadli zarralarning tashqi elektr maydoni ta'sirida tartibli harakatiga **elektr toki** deyiladi. Metall o'tkazgichlarda shunday zaryadli zarrachalar kristall panjara ichidagi erkin elektronlar hisoblanadi. Bu fikr Rike, Mandelshtam va Papaleksi hamda Styuart va Tolmen tajribalari asosida tasdiqlangan. Elektr tokining kattaligi tok kuchi deb ataladigan skalyar kattalik bilan aniqlanadi. O'tkazgichning ko'ndalang kesimidan vaqt birligi ichida tartibli oqib o'tgan zaryad miqdoriga teng bo'lgan J kattalikka **tok kuchi** deyiladi. $J = \frac{q}{t}$

1.2. O'tkazgichning elektr qarshiligi.

O'tkazgichda tok hosil qilayotgan erkin zaryadli zarralarning tartibli harakatini qiyinlashtiradigan sabablarning majmuasi shu o'tkazgichning **elektr qarshiligini** tashkil qiladi. Xususan, metallarda erkin elektronlarning tartibli harakati quyidagi sabablar tufayli qiyinlashadi (qarshilikning fizik ma'nosi): 1) Metall panjara tugunlaridagi ionlarning tartibsiz tebranma issiqlik harakati $\rho(T)$; 2) Begona aralashmalar (elementlar) atomlarining kristall panjara tugunlariga va tugunlari orasiga joylashib qolishi (ρ_a); 3) Kristall panjaraaning mexanik deformatsiyasi (ρ_d). Har qanday o'tkazgichning elektr qarshiligi quyidagi formula yordamida hisoblanishi mumkin:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1.1)$$

Bunda ρ - o'tkazgich materialini harakterlovchi kattalik bo'lib, unga **solishtirma elektr qarshilik** deb ataladi, l - va S - mos ravishda o'tkazgichning uzunligi va ko'ndalang kesim yuzi. Metallning to'la solishtirma qarshiligi yuqoridagi uchta sabab bo'yicha, quyidagicha additiv hisoblanadi (Mattison qoidasi):

$$\rho = \rho(T) + \rho_a + \rho_d \quad (1.2)$$

Bunda $\rho(T)$ - metall o'tkazgichlar qarshiligining temperaturaga bog'lanishini aniqlash va uchun chiziqli xarakterga ega.

Elektr qarshilikni tajribada aniqlashning eng sodda usuli, voltmeter va ampermetr yordamida aniqlash bo'lib, u zanjirning bir qismi uchun Om qonuniga asoslangan:

$$R = \frac{U}{J} \quad (1.3)$$

Bunda U - o'tkazgichning uchlarida hosil qilingan kuchlanish (voltmetr bilan o'lchanadi), J - o'tkazgichdan oqadigan (shu kuchlanishda) tok kuchi (ampermetr bilan o'lchanadi).

1.3. Kirxgof qonunlari.

Birinchi qonun: Murakkab(tarmoqlangan) zanjirning elektr tugunida uchra-shuvchi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng:

$$\sum_{i=1}^N J_i = 0 \quad (1.4)$$

bunda N - toklar soni.

Ikkinchi qonun: Murakkab elektr zanjiridagi ixtiyoriy berk kontur qismlaridagi kuchlanish tushishlarining ($U_i = J_i R_i$) algebraik yig'indisi, shu konturda mavjud bo'lgan tok manbalari EYUK larning algebraik yig'indisiga teng:

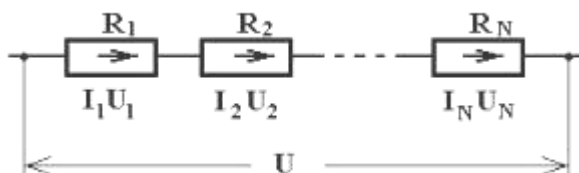
$$\sum_{i=1}^N J_i R_i = \sum_{i=1}^M \varepsilon_i \quad (1.5)$$

Bunda M - tok manbalarining soni.

1.4. O'tkazgichlarni o'zaro ulash qonuniyatlari.

1.4.1. O'tkazgichlarni ketma-ket ulash qonuniyatlari.

Qarshiliklari $R_1, R_2, \dots, R_N$ bo'lgan N - ta o'tkazgichni quyidagi tartibda ulashi **ketma-ket ulash** deyiladi:

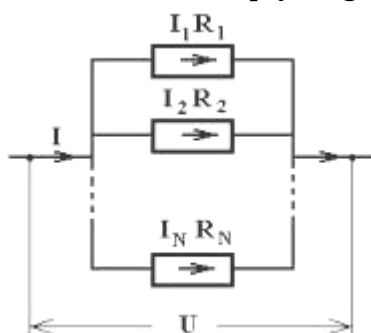


Ketma - ket ulashda quyidagi qonuniyatlar amal qiladi:

$$\begin{aligned}
 J &= J_1 = J_2 = J_3 = \dots = J_N \\
 U &= U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_N \\
 R_K &= R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N
 \end{aligned}
 \tag{1.6}$$

Bunda R_K - ketma-ket ulangan o'tkazgichlarning to'la elektr qarshiligi.

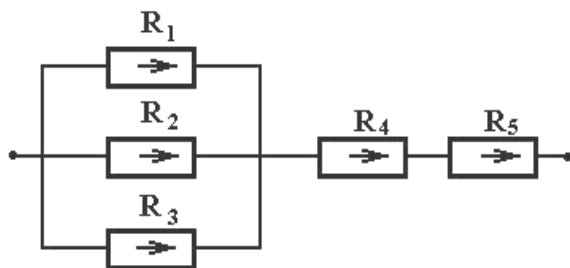
1.4.2. O'tkazgichlarni parallel ulash qonuniyatlari. Qarshiliklari $R_1, R_2, \dots, R_N$ bo'lgan N - ta o'tkazgichni quyidagi tartibda ulashga **parallel ulash** deyiladi: Parallel ulashda quyidagi qonuniyatlar amal qiladi:



$$\begin{aligned}
 J &= J_1 + J_2 + J_3 + \dots + J_N \\
 U &= U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_N \\
 \frac{1}{R_p} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N}
 \end{aligned}
 \tag{1.7}$$

Bunda R_p – parallel ulangan o'tkazgichlarning to'la elektr qarshiligi.

1.4.3. O'tkazgichlarni aralash ulash. O'tkazgichlarni o'zaro ulashda, ham ketma-ket, ham parallel ulash usulidan foydalanilsa, bunday ulashga **aralash ulash** deyiladi. Bunday holda zanjirning o'tkazgichlar ketma-ket ulangan qismida ketma-ket ulash qonunlari, parallel ulangan qismida esa parallel ulash qonunlari amal qiladi. Masalan, quyidagi zanjirning to'la qarshiligini hisoblaymiz:



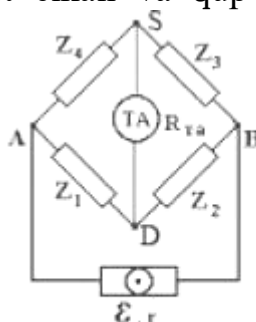
$$R = R_{123} + R_{45} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} + R_4 + R_5$$

II. O'lchash uslubining nazariyasi va qurilmasining tavsifi.

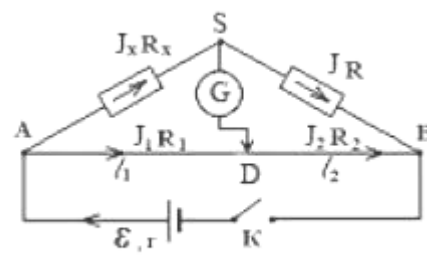
Ko'prik sxemalar haqida umumiy ma'lumotlar.

Elektr qarshilikni o'lchash usullaridan biri elektr ko'prigi yordamida o'lchashdir. Bunday ko'priklar boshqa maqsadlarda ham ishlatiladi: Elektr zanjiri parametrlarini (kuchlanish, EYUK, tok kuchi, qarshilik va h.z.) o'lchashda, bunday parametrlarni elektr xabarlarini (signallari) ga aylantirishda, filtrlar sifatida va h.z.

Ko'priklar tuzilishiga qarab to'rt elkali va qup elkali ko'priklarga bo'linadi. Ushbu ishda foydalaniladigan, to'rt elkali ko'prikning tuzilishi va ish printsipini qaraymiz. Bunday ko'prik to'rtta Z_1, Z_2, Z_3 va Z_4 qarshilik (aktiv yoki reaktiv) lardan tashkil topgan bo'ladi (1-rasm). Ko'prikning A, B, S, D - nuqtalariga uning **cho'qqilari**,



1 - rasm



2 - rasm

cho'qqilar orasidagi zanjir (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 qarshilikli) qismlariga ko'priknining **elkalari**, qarama-qarshi cho'qqilar orasidagi AB va SD - zanjir qismlariga esa uning **diagonallari** deyiladi. Ko'prik diagonallaridan biriga (masalan AB - ga) tok manbai (ε, r) ulanib, unga **manba diagonali** deyiladi. Ko'priknining ikkinchi diagonaliga (SD) **chiqish** yoki **ko'rsatkich diagonali** deyiladi. Zanjirning elektr parametrlarini o'lchaydigan ko'priklarda bu diagonalga taqqoslash asbobi (TA) (galvanometr, yoki telefon, yoki ossillograf) ulanadi.

1 - rasmdan ko'rinib turibdiki, ko'priknining manba diagonali (yoki ko'rsatkich diagonali) uning Z_1, Z_2 va Z_3, Z_4 (yoki Z_2, Z_3 va Z_1, Z_4) qarshilikli qismlari o'rtasiga o'tkazilgan ko'prikka o'xshaydi. Shundan **elektr ko'prigi** yoki **ko'prik zanjiri** nomi kelib chiqqan. Ko'prik sxema o'zgarmas tok manбайдan ta'minlansa unga **o'zgarmas tok ko'prigi**, agar o'zgaruvchan tok manбайдan ta'minlansa **o'zgaruvchan tok ko'prigi** deyiladi. O'zgarmas tok ko'priklari o'zgarmas tok zanjiri qismlaridagi elektr qarshilikni (aktiv yoki Omik) o'lchashda va uni tok yoki kuchlanish ko'rinishdagi elektr signallariga aylantirishda ishlatiladi. O'zgaruvchan tok ko'priklaridan kompleks (yoki reaktiv) qarshiliklarni o'lchash yoki ularni elektr signallarga aylantirishda va filtrlar sifatida foydalaniladi.

Ko'prik sxemalar muhim umumiy xossaga ega bo'ladilar: Ko'prik elkalari qarshiliklarining ma'lum bir munosabatida, tok manbai EYUK ning istalgan qiymatida, ko'priknining ko'rsatkich diagonalida kuchlanish yoki tok kuchi umuman bo'lmaydi ($\varphi_C - \varphi_D = 0, J_{TA} = 0$). Ko'priknining shunday holatiga uning **muvozanat holati**, ko'prik muvozanatga kelganda uning elkalari qarshiliklari orasidagi munosabatga esa, ko'priknining **muvozanat tenglamasi** yoki **muvozanat sharti** deyiladi.

2.2 Uitson ko'prigi.

Endi Uitson ko'prigi deb ataladigan, eng oddiy to'rt elkali o'zgarmas tok ko'prigining (rasm-2) tuzilishi va muvozanat shartini qaraymiz. Bunday ko'priknining elektr zanjiri 1 - rasmdagi zanjirdan deyarlik farq qilmaydi. 1 - rasmdagi AD va DB yelkalari, bunda AB - reoxord bilan, taqqoslash asbobi (TA) bunda G - galvanometr bilan, Z_3 qarshilik bunda R - aniq aktiv qarshilik magazini (KMC) bilan va Z_4 qarshilik bunda R_X - o'lchanadigan aktiv qarshilik bilan almashtirilgan xolos. SHunday qilib Uitson o'zgarmas tok ko'prigi aktiv qarshilikni o'lchashga mo'ljallangan.

Uitson ko'prigining reoxordi qarshiligi $R = \rho \frac{l}{S}$ ifoda bilan aniqlanuvchi, solishtirma qarshiligi (ρ) katta bo'lgan, metall qotishmadan tayyorlangan uzunligi $\ell = 50 \text{ sm}$ (yoki 100 sm) bo'lgan sim bo'lib (S - simning ko'ndalang kesim yuzi), uning uchlari millimetrlarda darajalangan taxtachaning A va B nuqtalariga mahkamlangan. Bu sim bo'ylab qisqichli D kontakt sirpana oladi.

Ko'priknining muvozanat holatini tushunish maqsadida, uning zanjiridagi SD qismi yo'q deb faraz qilamiz. K - kalitni qo'shamiz. Shunda AB sim bo'ylab $J_1 = J_2$ tok oqadi va shu sim bo'ylab potentsialning φ_A (A nuqtada) dan φ_B (B - nuqtada) gacha bir tekis tushishi yuz beradi. ASB zanjir qismi bo'ylab $J_X = J$ tok oqadi va unda φ_A - dan φ_S gacha (R_X qarshilikda) va φ_S dan φ_B gacha (R - qarshilikda) potentsial tushishi yuz beradi. O'z-o'zidan ravshanki, S nuqta potentsiali (φ_S) φ_A va φ_B potentsiallar qiymatlari oralig'idagi qiymatga ega bo'ladi ($\varphi_A < \varphi_S < \varphi_B$). SHuning uchun AB sim bo'ylab D sirpanuvchi kontaktning shunday holatini topishimiz mumkinki, shu holatdagi potentsial φ_D S nuqtadagi potentsial φ_S qiymatiga teng bo'ladi ($\varphi_D = \varphi_S$). Agar S va D nuqtalar

orasiga G - galvanometr ulansa, D kontaktning shunday holatida, galvanometr nolni ko'rsatadi (chunki, $J_G = \frac{(\varphi_C - \varphi_D)}{R_r} = 0$). Bu holat ko'priknining muvozanat holatiga mos keladi.

Endi ko'priknining ASDA va SBDS yopiq konturlarga Kirxgofning ikkinchi qoidasini qo'llaymiz ((1.5)-ifodani):

$$J_X R_X - J_1 R_1 = 0$$

$$J_X R - J_1 R_2 = 0$$

Bu tenglamalardan ko'priknining quyidagi muvozanat shartini olamiz:

$$\frac{R_X}{R} = \frac{R_1}{R_2} \text{ yoki } R_X = R \frac{R_1}{R_2} \quad (1)$$

Agar reoxord simining R_1 qarshilikli qismining uzunligini l_1 , R_2 qarshilikli qismining uzunligini l_2 desak bu shartni shu uzunliklar orqali quyidagicha ifodalash mumkin:

$$R_X = R \frac{l_1}{l_2} = R \frac{l_1}{l - l_1} \quad (2)$$

Uitson ko'prigi yordamida faqat o'rtacha kattalikdagi qarshiliklarni (1 Omdan 1000 Om gacha) o'lchash mumkin.

2.3 Uitson tok ko'prigida o'lchash xatoligini hisoblash. Uitson ko'prigi reoxordi sirpanuvchi D - kontaktning qanday holatida, R_X - qarshilikni o'lchash xatoligi eng kichik bo'lishini aniqlaymiz. Buning uchun (2) ifoda ustida logarifmlash, differentsiallash amallarini bajarib, hosil bo'lgan ifodada differentsial belgisi - d ni farq belgisi Δ - ga almashtirib va hosil bo'lgan ifodalarning modullarini olib, o'lchashning nisbiy xatoligini hisoblash uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_X}{R_X} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l}{l - l_1} + \frac{\Delta l_1}{l - l_1} = \frac{\Delta R l_1 (l - l_1) + R \Delta l_1 (l - l_1) + R l_1 (\Delta l + \Delta l_1)}{R l_1 (l - l_1)} \quad (3)$$

O'z-o'zidan ravshanki, agar (3) ifodaning maxraji - $f = R l_1 (l - l_1)$ funksiya maksimal qiymatga ega bo'lganda, nisbiy xatolik ε minimal qiymatga ega bo'ladi. Shu f - funktsiyaning maksimallik shartidan foydalanib, ε - ning minimalligini ta'minlovchi, D - kontaktning holatini aniqlaymiz:

$$\frac{\partial f}{\partial l_1} = R l - 2 R l_1 = 0$$

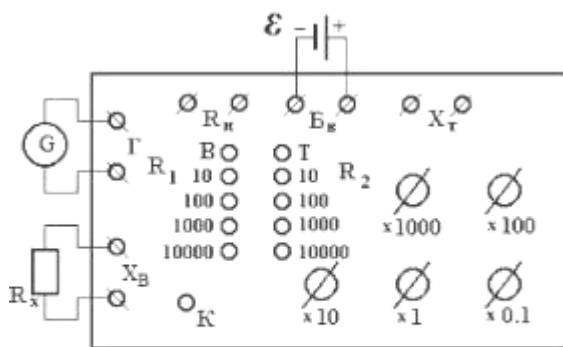
Bundan quyidagini olamiz:
$$l_1 = \frac{l}{2} \quad (4)$$

Shunday qilib, ko'priknining reoxordning sirpanuvchi D kontakti, ko'priknining muvozanat holatiga kelganda, reoxord shkalasining o'rtasidagi holatdagina ($l_1 = l_2$) o'lchashning nisbiy xatoligi eng kichik bo'lar ekan.

2.4.MTB rusumli o'zgaras tok ko'prigi.

MTB rusumli o'zgaras tok ko'prigi ham, Uitson ko'prigiga o'xshab, aktiv qarshilikni o'lchashga mo'ljallangan. Biroq bu ko'priknining yordamida, o'rtacha kattalikdagi qarshiliklardan tashqari, kichik qarshiliklarni (10^{-3} Omdan - 1 Omgacha) va katta qarshiliklarni (10^3 Omdan katta) ham o'lchash mumkin.

MTB o'zgaras tok ko'prigining tuzilishini (3-rasm), Uitson ko'prigining tuzilishi (2-rasm) bilan o'zaro taqqoslash yo'li bilan tushunish ancha oson: Uitson



3 – rasm

ko'prigidagi R qarshilik vazifasini MTB ko'prigida, qarshilik tartibini o'zgartiruvchi beshta dastasi asbob panelidagi "X1000", "X100", "X10", "X1", "X0.1" yozuvlar yoniga chiqarilgan, dekadali qarshilik magazini bajaradi; AB - reoxord taqqoslash elkalarining R_1 va R_2 qarshiliklari vazifasini, MTB ko'prigida ham ikkita taqqoslash elkasining 10, 100, 1000 va 10000 Om bo'lgan ikki guruh qarshiliklaridan faqat ikkitasini (R_1 , R_2) ulaydigan kalitlar majmuasi (10- ta teshik va

ularga tiqiladigan 3-ta shtepsel)dan tashkil topgan shtepselli qarshiliklar magazini bajaradi (3-rasm). Bundan tashqari, Uitson ko'prigida mavjud bo'lgan qismlar o'zgarmas tok manbai (akkumulyator), taqqoslash asbobi G - galvanometr va o'lchanadigan R_x qarshilik, bu ko'prikda ham mavjud bo'lib ular ko'prik panelidagi "B", "I" va "X_B" yozuvlar yonida mahkamlangan 3- juft qisqichga mos ravishda ulanadi.

2.5.MTB rusumli o'zgarmas tok ko'prigini ishga tayyorlash.

Ko'prikni ishga tayyorlash uchun uni muvozanat holatiga keltirish demakdir. Bunday holatda G - galvanometr nolni ko'rsatadi. Buning uchun quyidagicha kirishiladi: Ko'prikka tashqi tok manbai - ε , galvanometr - G va o'lchanadigan qarshilik - R_x ulangach, shtepselli qarshilik magazinining uchta shtepsellidan bittasi "B" teshikka, qolgan ikkitasi esa, o'lchanadigan R_x qarshilikning tartibiga qiymati mos tushadigan, taqqoslash elkalarining R_1 va R_2 qarshiliklar yozilgan, ikkita guruh teshiklari tiqiladi. Bu ish 1 - jadvalga muvofiq holda bajariladi. Shundan so'ng, ko'prikning galvanometrini ulaydigan kalitning K- tugmachasini dam - badam bosib va dekadali qarshiliklar magazinining 5-ta dastalarini burab, ulardagi qarshilikning biror R -qiymatida galvanometr strelkasi nol holatni ko'rsatishiga erishiladi keltiriladi.

1- jadval.

R_x , Om	Dan	0	10^2	10^3	10^4	10^5
	Gacha	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6
Ko'prik taqqoslash elkalarining qarshiligi, Om	R_1	10	10^2	10^3	10^3	10^4
	R_2	10^3	10^3	10^3	10^2	10^2
ε , V		4	6	8	10	20

Ko'prik muvozanat holatga kelganda, o'lchanadigan qarshilikning noma'lum qiymati (1) ifoda yordamida hisoblab topiladi. (1) dagi R_1 va R_2 - ko'prikning shtepselli magazinida, 1 - jadvalga mos holda, o'rnatilgan qarshiliklar, R - dekadali qarshiliklar magazinida o'rnatilgan qarshilik.

Ishni bajarish tartibi.

2.1 - mashq. Uitson ko'prigi yordamida qarshilikni o'lchash tartibi.

1. 2- rasmda keltirilgan elektr zanjirini yig'ing va uning to'g'riligini laborant yoki o'qituvchiga tekshirtiring. Bunda, zanjirga o'lchanuvchi qarshiliklardan biri - R_{x1} ulangan bo'lishi kerak.

2. Reoxordning D - sirpanuvchi kontaktini shkalaning o'rtasidagi holatga qo'ying ($l_1=l_2$).
3. R(KMC) -qarshilik magazinidan, uning dekadalarini dastalarini burab, unda R - ning shunday qiymatini tanlangki, galvanometr strelkasi nolni ko'rsatsin. (2) ifoda bo'yicha R_{X1} - ning R magazinidan aniqlangan qiymatini yozib oling.
4. O'lchanadigan ikkinchi R_{X2} - qarshilikni R_{X1} o'rniga ulab, 3- banddagidek kirishib uni o'lchang va yozib oling.
5. R_{X1} va R_{X2} qarshiliklarni o'zaro ketma-ket holda ko'priikka ulab, to'la qarshilik R_{kktX} - ni 3 - banddagidek kirishib o'lchang va uni yozib oling.
6. Quyidagi nazariy ifodaning ((1.6) ifodaning) to'g'riligini tekshiring:

$$R_{kktX}=R_{naz}=R_{X1}+R_{X2} \quad (5)$$

7. R_{X1} va R_{X2} qarshiliklarni o'zaro parallel holda kuprikka ulab, to'la qarshilik R_{parX} - ni 3 - banddagidek kirishib, o'lchang va uni yozib oling.
8. Quyidagi nazariy ifodaning ((1.7) - ifodaning) to'g'riligini tekshiring:

$$R_{PARX} = R_{NAZ} = \frac{R_{X1}R_{X2}}{R_{X1} + R_{X2}} \quad (6)$$

9. Har bir o'lchashning (R_{X1} , R_{X2} , R_{kktX} va R_{parX} larni) absolyut xatoliklarini hisoblang. Masalan, R_{X1} ni o'lchash absolyut xatoligi quyidagi ifoda yordamida ($\ell_1 = \frac{\ell}{2}$ va $\Delta\ell_1 = \Delta\ell$ deb olib (3) ifodadan olinadigan) hisoblanadi:

$$\varepsilon_{X1} = \frac{\Delta R_{X1}}{R_{X1}} 100\% = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{6\Delta\ell}{\ell}\right)^2} 100\% \quad (7)$$

Bundagi $\frac{\Delta R}{R} = 0.015 \frac{\Delta R}{R} 100\% = 1.5\%$, $\Delta\ell = 1\text{mm}$, $\ell = 5 \cdot 10^3 \text{mm}$ deb hisoblang.

10. Har bir o'lchashning absolyut xatoligini hisoblang. Masalan, R_{X1} ni o'lchashni absolyut xatoligi quyidagi ifoda yordamida hisoblanadi.

$$\Delta R_{X1} = R_{X1} \frac{\varepsilon_{X1}}{100\%} \quad (8)$$

11. Har bir o'lchashning oxirgi natijasini yozing. Masalan, R_{X1} uchun oxirgi natija quyidagicha aniqlanadi. $R_{X1H}=(R_{X1}\pm\Delta R_{X1})$.
12. O'lchash natijalarni izohlang va tegishli xulosalar chiqaring.

2.2. - mashq. MTB rusumli o'zgarimas tok ko'prigi yordamida qarshilikni o'lchash tartibi.

1. 3- rasmdagi elektr zanjirini yig'ing va uning to'g'riligini o'qituvchi yoki laborantga tekshirtiring. Bunda dastlab ko'priikka R_{X1} qarshilik ulangan bo'lishi kerak.
2. Ushbu laboratoriya ishi bayonining 2.5. paragrafida yozilgan ko'rsatmalar bo'yicha kirishib ko'priknishga tayyorlang (muvozanat holatga keltiring). SHunda galvanometr strelkasi nolni ko'rsatadi.
3. R_{X1} qarshilikning qiymatini (1) ifoda bo'yicha hisoblang.
4. O'lchanadigan qarshilik R_{X2} ni R_{X1} o'rniga ulab uning qiymatini 2- va 3- bandlar bo'yicha kirishib hisoblang.
5. R_{X1} va R_{X2} - qarshiliklarni o'zaro ketma-ket holda ko'priikka ulab, to'la qarshiligi R_{kktX} - ni 2- va 3- bandlar bo'yicha kirishib hisoblang.
6. (5) nazariy ifodaning to'g'riligini tekshiring.

7. R_{X1} va R_{X2} - qarshiliklarni o'zaro parallel holda ko'priikka ulab, to'la qarshilik R_{parX} ni 2 va 3 bandlar bo'yicha kirishib hisoblang.
8. (6) nazariy ifodaning to'g'riligini tekshiring.
9. MTB rusumli o'zgarmas tok ko'prigida o'lchangan natijalarni tahlil qiling va tegishli xulosalar chiqaring.
10. 2.1 va 2.2 mashqlar natijalarini o'zaro taqqoslab izohlang va navbatdagi xulosalar chiqaring.

Nazorat savollar.

1. Elektr qarshilikni o'lchash usullarini ayting. Ularning kamchiliklari va bir-biridan ustunligi qanday?
2. Elektr kattaliklarini (o'zgarmas va o'zgaruvchan tok zanjiridagi) o'lchaydigan ko'priknining umumiy tuzilishi va ish printsipini ayting.
3. Ko'priknining muvozanat holati deb uning qanday holatiga aytiladi?
4. Uitson ko'prigi va MTB rusumli ko'priklarini bir-biridan farqlaydigan va ustun bo'lgan xususiyatlarni ayting.
5. Uitson ko'prigi va MTB rusumli ko'priklarni muvozanat holatiga keltirish tartibini ayting.
6. Uitson ko'prigida o'lchashni nisbiy xatoligi minimum bo'lishi uchun tajriba qanday o'tkazilishi kerak?
7. Elektr qarshilikning fizik ma'nosi qanday?
8. Elektr qarshiliklarni (o'tkazgichlarni) o'zaro ulash qonuniyatlarini ayting.
9. Zanjirning bir jinsli, bir jinsli bo'lmagan qismlari va berk zanjir uchun Om qonunlarini ayting va ularning ifodalarini yozing.
10. Kirxgof qoidalarini ayting va ularni qo'llab, Uitson ko'prigining muvozanat shartini isbotlang.

Adabiyotlar.

- [6], c. 214-218.
 [8], § 57-61, 190-193.
 [9], V bob.
 [15], c. 85-92; [16].
 [17], c. 279-282.

4 - Laboratoriya ishi

Yer magnit maydonining gorizontal tashkil etuvchisini aniqlash

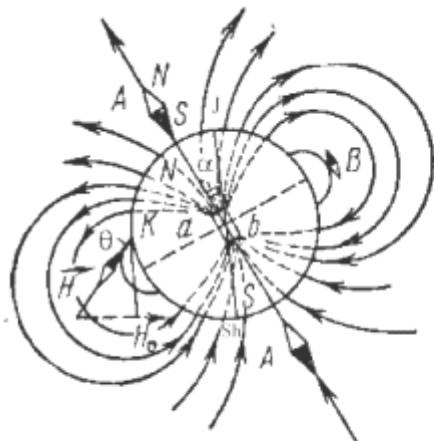
Ishning maqsadi: Tangens galvanometrni o'rganish va u bilan Yer magnit maydoni kuchlanganligi vektorining gorizontal tashkil etuvchisini aniqlash.

Kerakli asbob uskunalar: Tangens-galvanometr, o'zgarmas tok manbai (akkumulyator batareyasi yoki to'g'rilagich), kalit –kommutator, M1107-rusumli milliampermetr, MKMS-rusumli qarshilik magazini va ulash simlari (6-ta).

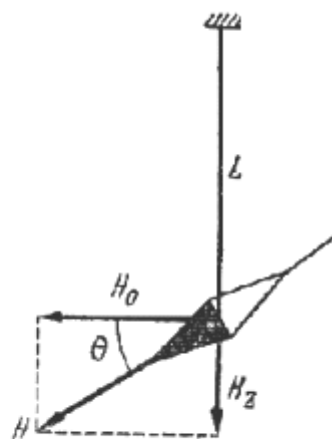
I. Nazariy malumotlar

Yerni, qutblari geografik qutblari yaqinida joylashgan, ulkan sharsimon doimiy magnit deyish mumkin. Yerning shimoliy (SH) geografik qutbi yaqinidagi (73° shimoliy kenglik va 96° g'arbiy uzoqlikdagi) nuqtada uning janubiy (S) magnit qutbi, janubiy (J) geografik qutbi yaqinidagi (72° janubiy kenglik va 155° sharqiy uzoqlikdagi) nuqtada esa shimoliy (N) magnit qutbi joylashgan (1-rasm).

Yer sirtidagi va uning atrofidagi fazodagi magnit maydoni borligini, magnit maydonini sinash vositalaridan biri - magnit strelkasi yordamida aniqlash mumkin. Buning uchun magnit strelkasining og'irlik markaziga bog'la ngan L ipga osib qo'yamiz. Strelkaga ta'sir qiladigan og'irlik kuchi ipni taranglaydi, Yer magnit maydonining ta'sir kuchi esa uni maydon kuchlanganlik chiziqlariga urinma holatda joylashishiga sabab bo'ladi (2-rasm).



1 – rasm



2 – rasm

Kuzatishlar shuni ko'rsatadiki, magnit strelkasi yerning magnit qutblarida (A nuqtada) vertikal holatda, magnit ekvatorida (B nuqtada) garizontal holatda, boshqa oraliq nuqtalarida (masalan K nuqtada) esa gorizontga qiya holatda joylashadi. SHunday kuzatishlar natijasida Yer magnit maydoni kuchlanganlik chiziqlarining, 1-rasmda tasvirlanganidek, manzarasi hosil qilingan. Kuzatishlar shuni ko'rsatadiki, Yer sharining shimoliy yarim shari sirtidagi nuqtalarda (qutbdan tashqari) magnit strelkasining janubiy qutbi gorizont bilan biror θ burchakka qiya holatda joylashadi (1-rasm). Ana shu burchakka **magnit qiyalik** burchagi deyiladi. 2-rasmdan ko'rinib turibdiki, Yer magnit maydonining kuchlanganlik vektorini ($\vec{H}$) ikkita tashkil etuvchiga ajratish mumkin: $\vec{H}_0$ - gorizontal va H_z – vertikal. Demak, Yer magnit

maydoni kuchlanganlik vektorining gorizontal tekislikdagi proyeksiyasiga ($\vec{H}_0$) Yer magnit maydonining **gorizontal tashkil etuvchisi** deyiladi. SHu tashkil etuvchining yo'nalishi magnit meridianining yo'nalishi uchun qabul qilingan va ana shu tashkil etuvchi orqali o'tadigan (yoki magnit strelkasi joylashgan) vertikal tekislik **magnit meridiani tekisligi** deyiladi. Yer magnit maydonining yo'nalishi ($\vec{H}$) va gorizontal tekislik o'rtasidagi θ ta burchak, yuqorida aytilgan, magnit qiyalik burchagi (magnit ekvatorida $\theta = 0^\circ$, magnit qutbida $\theta = 90^\circ$) hisoblanadi. Geografik va magnit meridianlar orasidagi burchakka (α) **magnit og'ish burchagi** deyiladi. α burchak mohiyatiga ko'ra magnit strelkasining geografik meridiandan og'ish burchagidir.

Gorizontal tashkil etuvchi $\vec{H}_0$ magnit qiyalik burchagi θ va og'ish burchagi α Yer magnetizmining asosiy elementlari hisoblanadi. Ular vaqt o'tishi bilan o'zgaradi. Yer magnit maydoni kuchlanganligi uncha katta emas: magnit ekvatorida 0,34 E dan magnit qutbida 0,66 E gacha bo'ladi. Ammo, bunday maydonni hosil qilish uchun Yer ekvatorini sim bilan o'rab, undan $6,6 \cdot 10^8$ A tok o'tkazish kerak bo'ladi. Hozirgi kunda Yer magnetizmning tabiati haqidagi nazariyalarni ikki guruhga bo'lish mumkin:

1. Yerning yadrosi suyuqligi ichidagi aylanma toklar orqali Yer magnit maydoni tushuntiruvchi nazariya.
2. Yer qarining turli sohalarida har xil miqdordagi magnit jinslari bor degan faraz orqali Yer magnit maydonini tushuntiruvchi nazariya.

II. O'lchash uslubi va qurilmasining tavsifi.

Ushbu ishda Yer magnit maydoni kuchlanganligining $\vec{H}_0$ gorizontal tashkil etuvchisini aniqlash usuli, faqat vertikal o'q atrofida aylana oladigan, magnit strelkasining shu tashkil etuvchi ta'sirida gorizontal tekislikda burilishiga moslangan. Magnit strelkasining mana shu xossasi, H_0 ni aniqlash uchun ushbu ishdan foydalaniladigan, **tangens-galvanometr** deb ataladigan asbobning ish prinsipi asosida yotadi. Tangens –galvanometr N- ta sim o'ramli R-radiusli vertikal yassi g'altak va uning markaziga gorizontal holatda shisha qopqoq ostida mahkamlangan magnit strelkasidan kompasdan tashkil topgan (3-rasm).

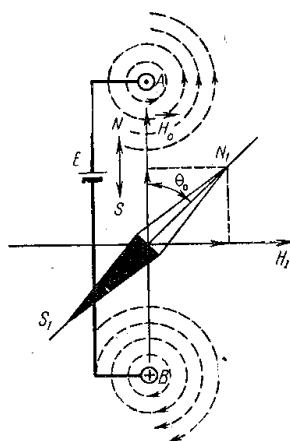


3-rasm

Kompas shunday o'rnatilganki, uning magnit va nomagnit strelkalari tayanib turgan vertikal ignaning o'tkir uchi g'altak markaziga mos keladi. Bir-biriga o'zaro tik holda mahkamlangan ikkita strelkaning umumiy og'irlik markazlari, shu igna uchiga

tayanib, igna uchidan o'tadigan vertikal o'q atrofida faqat gorizontal tekislikda burila oladilar. Strelkalardan biri doimiy magnitdan, ikkinchisi esa nomagnit materialdan yasalgan. Kompas qutisi aylanasi to'rtta chorakka bo'linib, ichki gardishining har bir choragi 0^0-90^0 burchak oralig'ida 1^0 aniqlik bilan darajalangan. Bu burchakli shkalaning nollari bir to'g'ri chiziqda yotadi. Magnit strelkasi vertikal g'altak tekisligi va Yerning magnit meridiani tekisligi bo'ylab aniq joylashtirilganda, nomagnit strelkaning uchlari shu 0^0 – larni ko'rsatadi. Agar vertikal g'altakdan tok o'tkazilsa, tokning magnit maydoni ta'sirida magnit strelka buriladi va u bilan biki mahkamlangan nomagnit strelka ham 0^0 holatdan ma'lum bir θ^0 burchakka buriladi. SHunday qilib, nomagnit strelkadan burchakni aniqlashda foydalaniladi.

Tangens–galvanometrning magnit strelkasi, uning g'altagida tok bo'lmaganda, doimo Yerning magnit meridiani SN bo'yicha, ya'ni $\vec{H}_0$ yo'nalishi bo'yicha joylashgan bo'ladi. G'altakni vertikal o'q atrofida aylantirish bilan, g'altak tekisligini magnit meridiani tekisligi bilan mos kelishiga erishish mumkin. Agar g'altakka shunday vaziyatda tok yuborilsa, asbobning magnit strelkasi biror θ_0 burchakka buriladi. Buni magnit strelkasiga quyidagi ikki maydonning ta'siri bilan izohlash mumkin: birinchisi – Yer magnit maydoni kuchlanganligining gorizontal tashkil etuvchisi $\vec{H}_0$ va ikkinchisi – g'altakdagi tok hosil qilayotgan magnit maydoni kuchlanganligi ($\vec{H}_1$) (4-rasm).



4-rasm

Natijada magnit strelka shu ikki maydonning teng ta'sir etuvchisi yo'nalishidagi vaziyatni egallaydi. 4 - rasmda NS - Yer magnit meridianining yo'nalishi, A va B – g'altak sim o'ramlarining gorizontal tekislikdagi kesimlari, $N_1 S_1$ - g'altak markazidagi kompasning magnit strelkasi, $\vec{H}_0$ - Yer magnit maydonining tashkil etuvchisi, $\vec{H}_1$ - g'altakdagi tokning magnit maydoni kuchlanganligi. Vertikal g'altakdagi sim o'ramlari atrofidagi magnit maydon kuchlanganligi chiziqlariga e'tibor qiling : A nuqtada tok kuchi bizga tomon yo'nalgan (nuqta bilan ko'rsatilgan), B nuqtada esa bizdan teskari tomonga yo'nalgan (krest bilan ko'rsatilgan). Tokning magnit maydoni ($\vec{H}_1$ - vektor) sim o'ramlari tekisligiga tik holda o'ng tomonga yo'nalgan. 4- rasmdan ko'rinib turibdiki, $\text{tg}\theta_0 = H_1/H_0$ va demak

$$H_0 = \frac{H_1}{\text{tg}\theta_0} \quad (1)$$

N- ta sim o'ramli g'altak markazida hosil bo'layotgan magnit maydonining kuchlanganligi Bio- Savar- Laplas qonuniga va superpozitsiya prinsipiga asosan (SI sistemasida) quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$H_1 = \frac{NJ}{2R} \quad (2)$$

Bunda J- sim o'ramidan o'tayotgan tok kuchi, R- g'altak o'ramlarining radiusi. H_1 ning bu qiymatini (1) ifodaga qo'ysak quyidagini olamiz:

$$H_0 = \frac{NJ}{2R \operatorname{tg} \theta_0} \quad (3)$$

Bu ifodadagi

$$\frac{J}{\operatorname{tg} \theta_0} = C \quad (4)$$

Yer sirtida tajriba o'tkazilayotgan joy va berilgan tangens-galvanometr uchun o'zgarmas kattalik bo'lib, unga **tangens-galvanometr doimiysi** deyiladi. SHuni hisobga olsak (3) dan quyidagini olamiz:

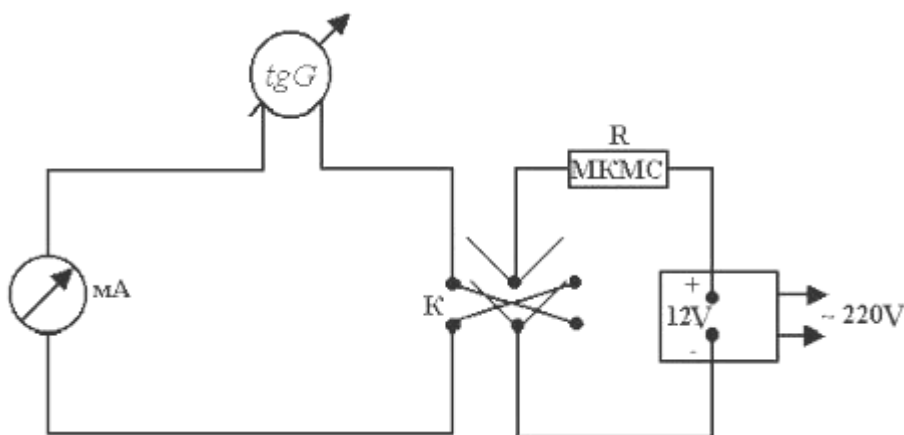
$$H_0 = \frac{N}{2R} C \quad (5)$$

Endi (4) ni quyidagicha yozish mumkin

$$J = C \cdot \operatorname{tg} \theta_0 \quad (6)$$

Bundan magnit strelkasining burilish burchagi 45° bo'lganda g'altakdan o'tayotgan tok kuchi son jihatdan C doimiyga teng bo'lishi kelib chiqadi. Bundan esa, tangens-galvanometrdan tok kuchini o'lchashda ham foydalanish mumkinligi kelib chiqadi. Buning uchun magnit strelkaning uzunligi g'altak radiusi R- dan juda kichik bo'lishi zarur.

Ishda foydalaniladigan qurilmaning elektr zanjiri 5- rasmda keltirilgan.



5-rasm

Qurilma quyidagi qismlardan tashkil topgan: G- tangens-galvanometr, tangens-galvanometr g'altigidan o'tayotgan tok kuchini o'lchaydigan milliampermetr (mA), bu tokning yo'nalishini o'zgartiruvchi K- kalit-kommutator, shu tok kuchining kattaligini o'zgartiruvchi MKMC- qarshilik va o'zgarmas tok manbai (to'g'rilagich).

Ishni bajarish tartibi.

1. 5- rasmdagi elektr zanjirini yig'ing va o'qituvchiga (yoki laborantga) tekshirtiring. Bunda to'g'rilagichning $O \div 12$ V chiqishdan foydalaning (hali K – ni qo'shmang).
2. Tangens-galvanometrni tagligi bilan vertikal o'q atrofida burish bilan uning kompassi magnit strelkasini va g'altagi tekisligini Yer magnit meridiani tekisligi bilan aniq mos kelishiga erishing. SHunda kompas nomagnit strelkasining uchlari 0^0 gradus burchakni ko'rsatadi.
3. MKMC qarshilik magazinidan 500 Om qarshilik o'rnatib K – kalitni bir tomonga qo'shing va magazindagi qarshilik qiymatini kamaytirib kompas nomagnit strelkasining uchlari $\theta_0=45^0$ burchakni ko'rsatishiga erishing. Milliampmetr ko'rsatgan tok kuchi J, ni yozib oling.
4. K-kommutatorni boshqa ikkinchi holatga o'tkazib, tok yo'nalishini o'zgartiring va yana nomagnit strelkaning $\theta_0=45^0$ burchakni ko'rsatishiga erishing. Milliampmetr ko'rsatishi J_2 –ni yozib oling.
5. Tok kuchining o'rtacha qiymatini $\left[J = \frac{(J_1 + J_2)}{2} \right]$ hisoblang (A larda). Tangens-galvanometr doimiysini, ya'ni $C=J$ [(6) ga asosan] yozib oling. (5) ifoda yordamida H_0 ni hisoblang ($N=27$, $l=2\pi R=0,71m$).
6. O'lchash xatolarini hisoblang. Buning uchun (5) ni logarifmlang va so'ng differensiallab quydagini olish mumkin.

$$\frac{\Delta H_0}{H_0} = \left[\left(\frac{\Delta J}{J} \right) + \left(\frac{\Delta R}{R} \right) + \frac{2\Delta\theta_0}{\sin 2\theta_0} \right] \quad (7)$$

7. Bu ifodaga asosan dastlab nisbiy xatolikni hisoblang:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H_0}{H_0} 100\% = \left[\left(\frac{\Delta J}{J} \right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R} \right)^2 + \left(\frac{2\Delta\theta_0}{2\sin 2\theta_0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} 100\% \quad (8)$$

So'ngra absolyut xatolikni hisoblang:

$$\Delta H_0 = H_0 \frac{\varepsilon}{100\%} \quad (9)$$

8. Oxirgi natijani yozing: $H_{0h} = H_0 \pm \Delta H_0$.
9. Ish yuzasidan tegishli xulosalar chiqaring.
10. Hisobot yozing. Hisobotda tegishli xulosalaringiz bo'lishi zarur.

Nazorat savollari.

1. Tokning va doimiy magnitning magnit maydoni, magnit maydon kuchlanganligi va induksiyasi vektorlari, ularning o'lchov birliklari haqida gapiring.
2. Magnit maydonini qanday qilib grafik usulda tasvirlash mumkin? Bio-Savar-Laplas qonunini ta'riflang va uni aylanma tokning maydoni kuchlanganligini hisoblashga qo'llang.
3. Yer magnetizmi elementlarini tavsiflang. Yer magnit maydonining tabiati va uning ahamiyati haqida gapiring.
4. Tangens-galvanometrning ishlash prinsipi, tuzilishi va u bilan tok kuchini va yer magnit maydonining gorizonta tashkil etuvchisini tajribada aniqlash usullarini ayting.
5. (7) dan foydalanib H_0 – ni o'lchash xatoligi qachon eng kichik bo'lishini asoslang.

- [6], c. 331-336.
 [8], c. 150-162.
 [10], 288-289, 297-299 b.
 [12], c. 225-231.
 [20], c. 422-437.

5 - Laboratoriya ishi

Faradey soni va elektronning zaryadini aniqlash

Ishning maqsadi: Elektroliz qonunlarini o'rganish; misning elektrokimyoviy ekvivalentini aniqlash orqali Faradey soni va elektronning zaryadini aniqlash.

Kerakli asbob-uskunalar: O'zgarmas tok manbai (PCII, 50 Om), ampermetr (JIM-1), mis kuporosining suvdagi 20% li eritmasi va unga mis elektrodlar botirilgan elektrolitik vanna, kalit, sekundomer, analitik tarozi va uning toshlari, ulash simlari (6-ta).

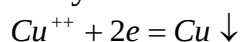
I. Nazariy ma'lumotlar

1.1 Elektrolitlar orqali elektr tokining o'tishi. Tuzlar, kislotalar va ishqorlarning toza noorganik suyuqliklardagi eritmaları elektr tokini yaxshi o'tkazadi. SHunday eritmalar **elektrolitlar** deyiladi. Elektrolitlar ikkinchi jins o'tkazgichlarga mansub bo'lib, ionli o'tkazuvchanlikka ega bo'ladilar. Ularda tok hosil qiluvchi zaryadli erkin zarralar – ionlar elektrolitik dissosiasiya hodisasi tufayli paydo bo'ladi. Eruvchi (tuz, kislota, ishqor) va erituvchi (masalan, suv) molekulalarining erish jarayonida o'zaro ta'sirlashishlari tufayli eruvchi molekulalarning qarama-qarshi ishorali zaryadga ega bo'lgan ionlarga parchalanish hodisasiga **elektrolitik dissosiasiya** deyiladi.

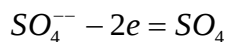
Elektrolitdagi qarama-qarshi ishorali ionlar tartibsiz issiqlik harakatini qiladi. Agar elektrolitda tashqi elektr maydoni hosil qilinsa, maydonning kuchi ($\vec{F} = \pm q_i \vec{E}$, q_i - ionning zaryadi) ta'sirida undagi ionlar tartibli harakatga kelib, elektrolitda elektr toki paydo bo'ladi. SHuning uchun elektrolitlarning elektr o'tkazuvchanligiga **ionli o'tkazuvchanlik** deyiladi. Elektrolitdan o'zgarmas elektr toki o'tganda, unda erigan modda elektrodalarda tarkibiy qismlarga ajralib chiqadi. Bu hodisaga **elektroliz** deyiladi.

Elektroliz hodisasini tajribada kuzatish uchun metall (yoki ko'mir) elektrodlar botirilgan elektrolit orqali o'zgarmas elektr toki o'tkaziladi. Tokni hosil qilayotgan manfiy ionlar (anionlar) anod elektrodga tomon, musbat ishorali ionlar (kationlar) esa katod elektrodga tomon tartibli harakat qiladilar. Ular elektrodga yetib kelib neytrallanadi (zaryadsizlanadi): anionlar ortiqcha elektronlarini anodga, kationlar yetishmagan elektronlarini katoddan qabul qiladilar.

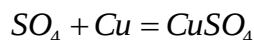
Misol tariqasida, mis kuporosining (CuSO_4) distillangan suvdagi eritmasiga mis elektrodleri tushirilgan holda elektroliz hodisasini qaraymiz. Mis kuporosi suvda erish jarayonida suvning qutbli molekulalari uning har bir CuSO_4 qutbli molekulasini o'rab oladi. Elektr o'zaro ta'sir tufayli CuSO_4 molekulasini Cu^{++} - musbat ionga va SO_4^{--} - manfiy ionga dissosialanadi. SHunday hosil bo'lgan Cu^{++} - ionlar katodga tomon, SO_4^{--} - ionlar esa anodga tomon harakat qilib, elektrodga yetib keladi. Misning Cu^{++} - ioni katoddan ikkita elektronni qabul qilib neytrallanadi (Cu) va katodda o'tiradi:



SO_4^- - ioni anodga yetib kelib, anodga ortiqcha ikkita elektronini beradi:



SO_4 – birikma faol (aktiv) bo'lgani uchun anod materiali (Cu) bilan reaksiyaga kirishib, mis kuporosi molekulasini hosil bo'ladi:



Hosil bo'lgan CuSO_4 molekula eritmaga qaytadi.

SHunday qilib, dissosiyalangan CuSO_4 molekular elektroliz tufayli yana tiklanadi. SHuning uchun ham eritmada mis kuporosining konsentratsiyasi elektroliz vaqtida o'zgarmaydi. Bir juft (Cu^{++} va SO_4^-) ionning elektrodalarda neytrallanish natijasida, go'yo, ikkita elektron katodda eritma orqali anodga o'tadi. SHu bilan bir vaqtda anoddan bitta Cu atomi eritma orqali katodga o'tadi. SHu sababga ko'ra, elektroliz paytida anodning massasi kamayadi, katodning massasi esa oshadi.

1.2 Elektroliz qonunlari. Elektroliz hodisasi bo'ysunadigan qonunlarni ingliz fizigi Faradey dastlab tajribada kashf qilgan. Biroq, ularning ifodalarini quyidagicha nazariy mulohazalar yuritib, keltirib chiqarish mumkin. Faraz qilaylik, elektrolitik dissosiasiya tufayli hosil bo'lgan ionning zaryadi $q_i = ze$ (z - ionning valentligi, y – elektronning zaryadi) bo'lsin. Elektrodga (katodga) yetib kelgan N – ta ionning (masalan, Cu^{++} ioni bo'lsin) katoddan olgan zaryadi

$$q = Nze \quad (1)$$

ga teng bo'ladi. Ikkinchi tomondan, elektrodga ajralgan modda (Cu ionlari) massasi

$$m = Nm_i \quad (2)$$

ga (m_i – bitta Cu^{++} ionning absolyut massasi) teng bo'ladi.

(1) va (2) ifodalardan quyidagi ifodani olamiz:

$$m = \frac{m_i}{ze} q \quad (3)$$

Bizga molekulyar fizika kursidan ma'lumki, modda bitta ionining absolyut massasini topish uchun, uning molyar massasini (M) Avogadro soniga bo'lish kerak:

$$m_i = \frac{M}{N_A} \quad (4)$$

Bu ifodani (3) ga qo'yib quyidagini olamiz:

$$m = \frac{M}{N_A ze} q \quad (5)$$

Bundagi

$$\frac{M}{N_A ze} = k \quad (6)$$

kattalik har bir modda uchun o'zgarmas bo'lib, unga shu moddaning elektrokimyoviy ekvivalenti deyiladi. SHuni hisobga olib (5) dan Faradey birinchi qonunining ifodasini olamiz:

$$m = kq \quad (7)$$

Faradeyning birinchi qonuni: elektroliz paytida elektrodga ajraladigan moddaning massasi, shu paytda elektrolit orqali o'tgan zaryad miqdoriga to'g'ri proporsional

(7) dan $q=1$ Kl bo'lganda, son jihatdan $k=m$ tenglikni olamiz. Bundan k –ning fizik mohiyati kelib chiqadi: moddaning elektrokimyoviy ekvivalenti shu modda erigan

eritma orqali 1 Kl zaryad oqib o'tish vaqtida uning elektrodda ajralib chiqqan massasini aniqlaydi. Amalda uning o'lchov birligi uchun $[k] = \frac{mg}{Kl}$ - qabul qilingan.

Eritmadan o'tadigan q – zaryadni, elektrolit orqali o'tayotgan tok kuchini (J) tokning o'tish vaqtiga (t) ko'paytirish bilan hisoblash mumkinligini ($q=Jt$) hisobga olsak, (7) dan elektrokimyoviy ekvivalentni tajribadan hisoblash mumkin bo'lgan quyidagi ifodani olamiz:

$$k = \frac{m}{J \cdot t} \quad (8)$$

$\frac{M}{z}$ - kattalikka moddaning **kimyoviy ekvivalenti** deyiladi. (6) ifodadagi $N_A e = F$ - barcha moddalar uchun bir xil bo'lgan doimiy son hisoblanib, unga **Faradey soni** deyiladi. Buni hisobga olsak, (6) ifodadan quyidagi ifodani olamiz:

$$k = \frac{1}{F} \frac{M}{z} \quad (9)$$

Bu ifoda quyidagicha ta'riflanadigan **Faradey ikkinchi qonunining** ifodasi hisoblanadi: *moddalarning elektrokimyoviy ekvivalentlari ularning ximiyaviy ekvivalentlariga to'g'ri proporsionaldir.*

(8) ifodani (9) ifodaga qo'yib, quyidagi ifodani, ya'ni **Faradeyning birlashgan qonuni** ifodasini olamiz:

$$m = \frac{1}{F} \frac{M}{z} q \quad (10)$$

Bu ifodadan son jihatdan $m = \frac{M}{z}$ bo'lganda, $q=F$ tenglik kelib chiqadi. Bu shart Faradey sonining fizik mohiyatini aniqlaydi: elektroliz paytida elektrodda ajraladigan moddaning massasi, son jihatidan, uning kimyoviy ekvivalentiga teng bo'lishi uchun, elektrolit orqali shu vaqt ichida Faradey soniga teng kattalikdagi zaryad oqib o'tishi kerak. F – xalqaro birliklar sistemasida Kl/mol birlikda o'lchanadi. Agar tajribadan k topilsa, (9) ifodadan Faradey sonini hisoblash mumkin bo'lgan, quyidagi ifodani olamiz:

$$F = \frac{M}{zk} \quad (11)$$

Faradey soni aniq bo'lganda, elementar zaryad - elektronning zaryadini quyidagi ifoda yordamida hisoblash mumkin bo'ladi:

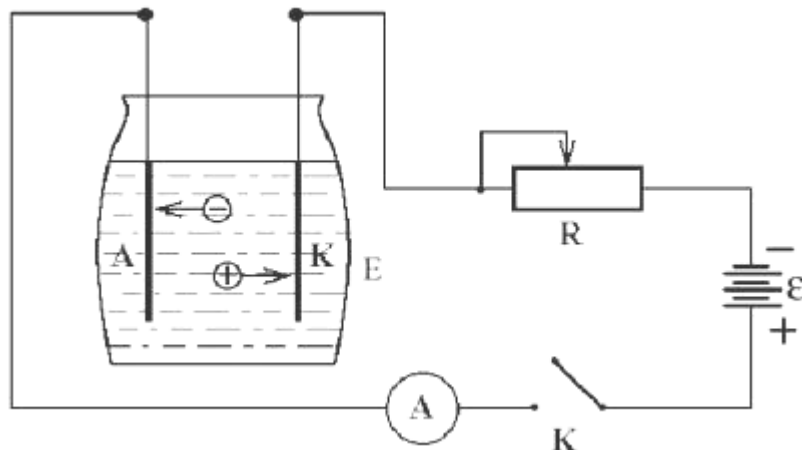
$$e = \frac{F}{N_A} \quad (12)$$

II. O'lchash uslubining va qurilmasining tavsifi

Ushbu ishda k , F , e – kattaliklarni tajribada aniqlash uchun bilvosita o'lchash usulidan foydalaniladi. Buning uchun misning elektrokimyoviy ekvivalentini (8) ifoda bo'yicha hisoblab (bilvosita o'lchab) topish uchun dastlab katodda ajraladigan mis atomlarining massasi m , mis kuporosi eritmasidan o'tkaziladigan tok kuchi J va shu tokning o'tish vaqti t bevosita o'lchanadi. So'ng, (11) va (12) ifodalar bo'yicha, mos ravishda Faradey soni F va elektronning zaryadi e hisoblanadi.

Tajribada k – ni bilvosita o'lchash uchun, aniqrog'i m , J va t larni bevosita o'lchash uchun 1 – rasmda elektr sxemasi tasvirlangan qurilmadan foydalaniladi. U quyidagi qismlardan iborat: E – 20% mis kuporosi ($CuSO_4$) ning suvdagi eritmasi solingan va unga mis elektrodlar (A -anod, K – katod) botirilgan elektrolitik vanna; R –

elektrolitik vannadan o'tayotgan tok kuchi kattaligini o'zgartiradigan reostat; ε - o'zgarmas tok manbai (akkumlyatorlar batareyasi), K – kalit va A – ampermetr.



1-rasm

Tajriba boshlashdan oldin katod vazifasini bajaradigan mis plastinka qumqog'oz bilan ishqalanib (yaltiraganicha) tozalanadi, yuviladi, quritiladi va uning m_1 massasi analitik tarozida o'lchab topiladi. Katod joyiga o'rnatilgach, K – kalit qo'shilib sekundomer ishga tushiriladi. Biror t – vaqt (sekundomerdan aniqlanadigan) o'tgach K – uziladi. SHu vaqt ichida kattaligi o'zgartirilmasdan (R-reostat yordamida) saqlangan tok kuchi J ampermetrdan yozib olinadi. Katod ohista yechib olinib, suvda uning yuzasi ishqalanmasdan yuviladi, quritiladi va uning m_2 massasi yana analitik tarozida tortib aniqlanadi. Katodda o'tirgan mis atomlarining massasi $m=m_2-m_1$ hisoblanib topiladi. So'ng, (8) ifoda yordamida k , (11) va (12) ifodalar yordamida esa mos ravishda F va ye – kattaliklar hisoblab topiladi.

III. Ishni bajarish tartibi va tajriba xatoliklarini hisoblash

1. Mis kuporosining distillangan suvdagi 20% li eritmasini tayyorlang va uni elektrolitik vanna ichiga soling.
2. Katod vazifasini bajaradigan mis plastinkani qumqog'oz bilan ishqalab (yaltiraganicha) tozalang, suvda yuving, quriting va uning m_1 – massasini analitik tarozida tortib o'lchang (0,01 mg aniqlikda).
3. Katodni joyiga mahkamlab, 1-rasmda tasvirlangan elektr zanjirini yig'ing va uni o'qituvchiga (yoki laborantga) tekshirtiring. Katodga tok manbaining manfiy qutbi ulanganiga alohida e'tibor berish zarur.
4. K – kalitni (juda qisqa vaqt ichida) qo'shib, eritma orqali, R – reostat yordamida, $J=1A$ tok kuchi o'tishiga erishing va K – kalitni uzing. Sekundomerni ishga tayyorlang va uni, K-kalitni qo'shish bilan bir onda ishga tushiring.
5. Ampermetrdan o'tayotgan tok kuchini R-yordamida o'zgartirmasdan biror aniq t vaqt (masalan, 30-60 min) davomida kuting. So'ngra K-kalitni uzing va shu ondayoq sekundomerni ishdan to'xtating. Ampermetr ko'rsatgan tok kuchi J va sekundomer ko'rsatgan vaqt t -ni yozib oling.
6. Katod plastinkani ohista yechib oling, uning elektrolitga botib turgan yuzasiga qo'l tekkizmasdan yuving (toza suvga bir marta botirib oling), quriting va uning m_2 – massasini analitik tarozida (0,01 mg aniqlikda) tortib yozib oling. Katodda o'tirgan mis atomlari massasini, $m=m_2-m_1$ – amalni bajarish bilan hisoblang.
7. Tajribada aniqlangan J , z va m –larning qiymatlarini (8) ifodaga qo'yib misning elektrokimyoviy ekvivalenti k -ni hisoblang (mg/Kl da).

8. k – ning qiymatini (g/mol) birlikda va mis uchun $M=63,54\text{g/mol}$ va $z=2$ (Cu^{++}) qiymatlarni (11)-ifodaga qo'yib Faradey soni F ni hisoblang (Kl/mol da).
9. F – ning qiymatini va $N_A=6,02\cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}$ qiymatni (12) ifodaga qo'yib elektron zaryadi e -ni hisoblang (Kl da).
10. Bilvosita o'lchashda yo'l qo'yilgan xatoliklarni hisoblang (I bobning 2.3 bandi bo'yicha kirishib nisbiy va absolyut xatoliklarni hisoblash ifodalarini keltirib chiqarish mumkin).

A. 1) Elektrokimyoviy ekvivalentni bilvosita o'lchashdagi nisbiy xatolikni quyidagi ifoda bilan hisoblang ((8)-dan olinadigan):

$$\varepsilon_k = \frac{\Delta k}{k} 100\% = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta J}{J}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2} \cdot 100\% \quad (13)$$

bunda Δm , ΔJ va Δt -lar mos ravishda analitik tarozi, ampermetr va sekundomer bilan bevosita o'lchashdagi absolyut xatoliklar. Ular shu asboblarning aniqlik sinfi bo'yicha (№4 laboratoriya ishining nazariy ma'lumotlar qismiga qarang) hisoblab topiladi.

2) k -ni bilvosita o'lchashdagi absolyut xatolikni hisoblang:

$$\Delta k = \frac{\varepsilon_k k}{100\%} \quad (14)$$

3) k -ni bilvosita o'lchashdagi oxirgi haqiqiy natijalarni yozing:

$$k_x = (k \pm \Delta k) \frac{mg}{Kl} \quad (15)$$

V. 1) Faradey sonini bilvosita aniqlashdagi nisbiy xatolikni quyidagi ifoda bilan hisoblang ((11) dan olinadigan):

$$\varepsilon_F = \frac{\Delta F}{F} 100\% = \sqrt{\left(\frac{\Delta M}{M}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z}{z}\right)^2 + \left(\frac{\Delta k}{k}\right)^2} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta k}{k} 100\% \quad (16)$$

chunki, $\Delta M \approx 0$, $\Delta z \approx 0$ deb hisoblashimiz mumkin.

2) F -ni bilvosita aniqlashdagi nisbiy xatolikni hisoblang:

$$\Delta F = \frac{\varepsilon_F F}{100\%} \quad (17)$$

3) F -ni bilvosita aniqlashdagi oxirgi haqiqiy natijani yozing:

$$\bullet \quad F_h = (F \pm \Delta F) \frac{Kl}{\text{mol}}. \quad (18)$$

S. 1) Elektron zaryadini bilvosita aniqlashdagi nisbiy xatolikni quyidagi ifoda bilan hisoblang ((12) dan olinadigan):

$$\varepsilon_e = \frac{\Delta e}{e} 100\% = \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta N_A}{N_A}\right)^2} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta F}{F} 100\% = \varepsilon_F, \quad (19)$$

chunki, $\Delta N_A \approx 0$ deb hisoblashimiz mumkin.

2) e -ni bilvosita aniqlashdagi absolyut xatolikni hisoblang:

$$\Delta e = \frac{\varepsilon_e e}{100\%} \quad (20)$$

3) e -ni bilvosita o'lchashdagi oxirgi haqiqiy natijani yozing:

$$e_h = (e \pm \Delta e) Kl \quad (21)$$

11. Ishda olingan barcha natijalarni quyidagi shakldagi jadvalga yozing:

m, mg	J, A	t, c	k, mg/Kl	F, Kl/mol	e, Kl	ε_k , %	Δk , mg/Kl

k_h , mg/Kl	ε_F , %	ΔF , Kl/mol	F_h , Kl/mol	ε_c , %	Δe , Kl	e_h , Kl

12. Tajribadan olgan natijalaringizni chuqur tahlil qilib tegishli xulosalar chiqaring.

13. Ish yuzasidan hisobot yozing va uning oxirida shaxsiy xulosalaringizni berishingiz shart.

Nazorat savollari.

1. Elektrolitlar ionli elektr o'tkazuvchanligining mexanizmini tushuntiring.
2. Elektrolitik dissosiasiya va elektroliz hodisalarining mohiyatini ayting. Elektroliz qo'llaniladigan sohalarni ayting.
3. Faradeyning birinchi qonunini ayting va uning ifodasini nazariy jihatdan asoslang. Modda elektroximiyaviy ekvivalentining fizik mohiyatini ayting.
4. Faradeyning ikkinchi qonunini ayting. Ximiyaviy ekvivalent deb nimaga aytiladi?
5. Faradey qonunlarining birlashgan ifodasini yozing va undan foydalanib Faradey sonining fizik mohiyatini tushuntiring.
6. Elektrolitik vannadan o'zgaras elektr toki o'tkazish tajribasidan elektrokimyoviy ekvivalentni (k) aniqlashni tushuntiring. O'zgaruvchan elektr toki o'tkazish yo'li bilan ham k -ni aniqlab bo'ladimi?
7. Tajriba nisbiy xatoliklarini aniqlaydigan (13), (16) va (12) ifodalarni nazariy jihatdan asoslab bering.

Adabiyotlar

[6], c. 168-172.

[8], XVIII-bob.

[9], XIII-bob.

[10], VII-bob.

[12], глава V.

6 - Laboratoriya ishi

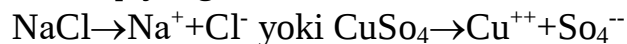
O'zgaruvchan tok ko'prigi yordamida suyuq elektrolit elektr qarshiligining temperaturaga bog'la nishini o'rganish

Ishning maqsadi: Suyuq elektrolitlar orqali elektr tokinig o'tishi va ular qarshiligining temperaturaga bog'la nishini tajribada o'rganish.

Kerakli asbob-uskunalar: U –simon nay, termometr, reoxordli ko'prik (P38), voltmetr (Э59), avtotransformator (JIATP), suv qizdiriladigan idish, ulanadigan simlar (6 ta).

I. Nazariy ma'lumotlar

Ikki va undan ortiq bir-birida eruvchi moddalarning qo'shilishidan hosil bo'lgan aralashmaga **eritma** deyiladi. O'zidan elektr tokini o'tkazuvchi eritmalar esa **elektrolitlar** deyiladi. Ularda elektr tokini hosil qiladigan zaryadli zarralar eritmada erigan modda molekulalarining dissosialanishi tufayli hosil bo'ladi. Eritma hosil bo'lish paytida erituvchi suyuqlik molekulalarining ta'siri ostida eriyotgan modda molekulalarining qarama-qarshi ishorali zaryadga bo'lgan ionlarga parchalanish hodisasiga **elektrolitik dissosiya** deyiladi. Masalan, osh tuzining (yoki CuSO_4 -tuzi) eritmasining hosil bo'lish paytida osh tuzi yoki (CuSO_4) molekulasining dissosiasiyalanish tenglamasi quydagicha bo'ladi:



Eritmaning birlik hajmida, vaqt birligi ichida dissosiasiyalanayotgan juft ionlar sonini ($n^+ = n^-$), eritmaning birlik hajmida eriyotgan modda molekulalari soniga (n) nisbati bilan aniqlanuvchi kattalikka **dissosiasiyalanish darajasi** deyiladi, ya'ni:

$$\alpha = \frac{n^+}{n} = \frac{n^-}{n} \quad (1)$$

Eritmadagi ionlar tartibsiz harakat qiladilar. Agar eritmaga tushirilgan elektrodlar orasida elektr maydoni hosil qilinsa, maydon kuchi ($\vec{J} \vec{dl}$) ta'siri ostida ionlar qarama-qarshi ishorali elektrodlar (katod va anod) tomonga tartibli harakatga kelib elektr toki hosil bo'ladi. Ionning eritma ichidagi harakatini η qovushqoqlikka ega bo'lgan suyuqlikda r radiusli sharchaning v o'zgarmas tezlik bilan qiladigan harakatiga o'xshatish mumkin. Bunday ionning harakat tenglamasi quydagicha bo'ladi:

$$q_i E - 6\pi\eta r v = 0$$

yoki

$$q_i E = k v \quad (2)$$

bunda $k = 6\pi\eta r$. Bu ifodadan ionning harakatchanligi deb ataladigan muhim kattalikni aniqlash mumkin.

$$b = \frac{q_i}{k} = \frac{v}{E} \quad (3)$$

Bundan ionning tartibli harakat tezligini aniqlash mumkin.

$$v = bE \quad (4)$$

Eritma orqali oqayotgan tokning zichligi quyidagicha topiladi:

$$\vec{j} = \vec{j}_+ + \vec{j}_- = q_i n^+ \cdot (\vec{v}_+ + \vec{v}_-) = q_i n^+ (b_+ + b_-) \vec{E} = \alpha \gamma n (b_+ + b_-) \vec{E} = \sigma \vec{E}. \quad (5).$$

Bunda γ - ionning valentligi; $\sigma = \alpha \gamma n (b_+ + b_-)$ - eritmaning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi.

Eritmaning elektr qarshiligini quyidagicha aniqlanadigan taqribiy ifoda yordamida topish mumkin.

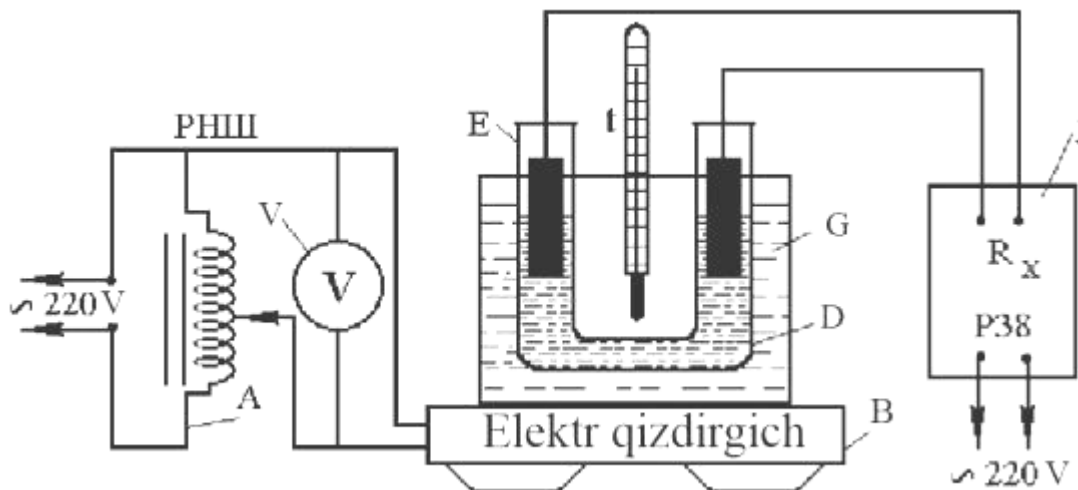
$$R = \frac{U}{J} = \frac{El}{jS} = \frac{El}{\sigma ES} = \frac{l}{\alpha \eta n(b_+ + b_-) \cdot S} \quad (6)$$

bunda, S - elektrodlardan birining ko'ndalang kesim yuzasi; l – ular orasidagi masofa. Oxirgi ifodadagi α va b lar temperaturga bog'liq. Eritma temperaturasi ko'tarilganda: 1) dissosasiya darajasi α oshadi, 2) qovushqoqlik ko'ffisienti η -ning kamayishi ($k \sim \eta \sim Te^{\frac{\Delta E}{k_B T}}$, ΔE - aktivlashtirish energiyasi) hisobidan ionning harakatchanligi $b(b \sim 1/k)$ oshadi. SHunday qilib, bu ikkala omil temperatura ko'tarilganda elektrolitlar elektr o'tkazuvchanligining ortishiga, ya'ni elektr qarshiligining kamayishiga olib keladi.

II. O'lchash uslubining nazariyasi va qurilmasining tavsifi.

Ushbu vazifa suyuq elektrolit (osh tuzi yoki mis kuporosining distillangan suvdagi 10% li eritmasi) elektr qarshiligining temperaturaga bog'la nishi maxsus qurilma yordamida aniqlanadi. Qurilmaning blok elektr sxemasi 1- rasmda tasvirlangan.

U quyidagicha tuzilgan: A- laboratoriya avtotransformatori bo'lib, B- qizdirgich; V- qizdirgichga beriladigan kuchlanishni o'lchaydigan voltmeter; G – qizdiriladigan suv (u idishga solingan); D – idish ichidagi suvga, o'rganiladigan elektrolit solingan va grafit elektrodlar tushirilgan U- shakldagi Ye – idish botirilgan, t-elektrolit temperaturasini o'lchaydigan termometr, J-P38 –rusumli rexordli ko'prik.



1-rasm

Bu qurilmaning asosiy qismi P38 rusumli ko'prik hisoblanib, uning tuzilishi va ish prinsipi № 2-laboratoriya ishida batafsil bayon qilingan oddiy yakka ko'prikning tuzilishi va ish prinsipi bilan juda o'xshash. Hurmatli talaba, avvalo, sizga 2-laboratoriya ishidagi shu ko'prikning tuzilishi va ish prinsipini batafsil o'rganib olishingizni maslahat beramiz.

O'sha ishda, agar ko'prikning to'rt yelkasida ham R_1 , R_2, R_3 va R_4 aktiv qarshiliklar bo'lgan holda, uning muvozanat tenglamasi (sharti) quydagicha bo'lishi isbotlangan (2- ishdagi (17) ifoda):

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2} \quad (7)$$

P38 –rusumli ko'prik 2-laboratoriya ishida bayon qilingan b) holga asoslanib yasalgan bo'lib ular orasida quyidagi o'xshashlik bor:

1) oddiy yakka ko'prik yelkalaridagi qarshiliklar nisbati R_1/R_2 vazifasini P38 ko'prigining rexordi yelkalari qarshiliklarining nisbatini aniqlovchi m kattalik bajaradi. Bu m ning qiymatlari rexordning maxsus aylanma limbidagi shkala bo'ylab yozilgan. Limbdagi bu yozuvlar ko'prik paneli yuzidagi tiniq shisha orqali ko'rinib turadi va m ning kattaligini rexord dastasini aylantirish bilan o'zgartirish mumkin.

2) Oddiy yakka ko'prik taqqoslovchi to'rtinchi yelkasining qarshiligi R_4 vazifasini P38 ko'prigida uning taqqoslovchi yelkasiga o'rnatilgan qarshilik magazinining R_{taqq} qarshiligi bajaradi. Bu R_{taqq} -ning qiymatlari, ko'prik yuziga chiqarilgan, shu qarshilik magazinining ko'p pog'onali almashlab ulagichi dastasi asosida yozilgan. SHu o'xshashliklarni hisobga olib (7), ifodani, P38 ko'prigining taqqoslovchi uchinchi yelkasiga ulangan nomalum $R_x=R_3$ qarshilikni topadigan ifoda ko'rinishida quyidagicha yozish mumkin:

$$R_x=R_{taqq} \cdot m \quad (8)$$

Bu ifoda ushbu ishda bajariladigan vazifaning ishchi ifodasi bo'lib, yordamida R38 ko'prigining uchinchi yelkasiga ulangan elektrolit qarshiligining qiymati turli temperaturalar uchun hisoblab topiladi.

III. Ishni bajarish tartibi va tajriba xatoliklarini hisoblash.

1. Ishni bajarish uchun 1 –rasmdagi elektr zanjirini yig'ing va uni o'qituvchiga yoki laborantga tekshirtiring.
2. P38 ko'prigining “Питание” kalitining dastasini “~” holatga qo'yib, uning simini o'ziga va 220 V li shahar elektr tarmog'iga ulang.
3. Taqqoslash yelkasidagi qarshilik magazini dastasini “Установка нуля” holatga burab qo'yib, “Галв” kalitning dastasini “Точно” holatga o'tkazing va galvanometrning “←·→” korrektori dastasi u yoki bu tomonga burash bilan uning strelkasi ko'rsatishini nolga keltiring.
4. “Галв” kalitining dastasini “Грубо” holatga o'tkazing. Taqqoslash yelkasidagi qarshilik magazini dastasini “100 Ом” yoki “10 Ом” ga qo'yib va rexord limbi dastasini burab galvanometr strelkasining nolni ko'rsatishga ko'prikni taxminiy muvozanat holatga kelishiga erishing. So'ngra “Галв” kaliti dastasini “точно” holatga o'tkazib va rexord dastasini burash bilan galvanometr strelkasining yana nolni ko'rsatishiga- ko'prikning aniq muvozanat holatga kelishiga erishing.
5. SHundan so'ng R_{taqq} va m larning qiymatlarini yozib olib (8) ifoda bo'yicha, termometr ko'rsatayotgan t_0 uy temperaturasiga mos keladigan elektrolit qarshiligi R_{x0} ni hisoblang. Agar o'lchashlar paytida galvanometr strelkasi katta chetlanish bilan tebranib qolsa uning “Галв” dastasini “KZ” holatga o'tkazib strelkani nol holatga tinchlantiring.
6. ЛАТР dastasini soat strelkasiga teskari yo'nalishda oxirigacha burab qo'yib, uning simini 220 V li shahar elektr tarmog'iga ulang va uning dastastni soat strelkasi yo'nalishida burab qizdirgichga $U_1=20$ V kuchlanish bering va elektrolit temperaturasining oshishini kuting. Termometr ko'rsatishi t_1 o'zgarmasdan qolgach, 4-bandda bajarilgan ishlarni diqqat bilan takror bajaring. Yozib oingan R_{taqq} va m ning qiymatlarini (8) ga qo'yib t_1 temperaturali elektrolit qarshiligini hisoblang.

7. JIATP dastasini soat strelkasi bo'yicha yana burab qizdirgichga $U_2=40\text{ V}$, $U_3=60\text{ V}$, $U_4=80\text{ V}$, $U_5=100\text{ V}$, $U_6=120\text{ V}$, $U_7=140\text{ V}$, $U_8=160\text{ V}$, $U_9=200\text{ V}$ kuchlanishlar bering. Bu kuchlanishlarning har bir qiymatida elektrolit temperaturasi $t_2, t_3, \dots, t_9$ qiymatlariga mos keladigan $R_{x2}, R_{x3}, \dots, R_{x9}$ qarshiliklarni (8) bo'yicha hisoblang (5-banddagidek kirishib). Olingan natijalarni quyidagi jadvalga yozing.

U,B	O	20	40	60	80	100	120	140	160	200
$t, ^\circ\text{C}$	t_0	T_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9
$R_{\text{taqq}}, \text{Om}$										
m										
R_x, Om										
$\Delta R_x, \text{Om}$										
N, %										

8. Absissa o'qiga elektrolit temperaturasi (har 1 smda 10°S masshtabda) ordinata o'qiga uning qarshiligi qiymatlarini (har 1 smda 50 Om masshtabda) qo'yib $R_x(t)$ bog'la nish grafigini chizing.
9. Olingan $R_x(t)$ bog'la nish grafigini tahlil qilib tegishli xulosalar chiqaring va bu grafikni nazariy jihatdan tushuntiring.
10. $R_x(t)$ grafigining ikkita nuqtasidan $[(t_1, R_{x1}) \text{ va } (t_2, R_{x2})]$ foydalanib quyidagi ifoda bo'yicha elektrolit qarshiligining α ($\alpha < 1$) termik koeffitsiyentining qiymatini t_2-t_1 temperaturalar oralig'i uchun hisoblang.

$$\alpha = \frac{R_{x_2} - R_{x_1}}{R_{x_1} \cdot t_2 - R_{x_2} \cdot t_1} \quad (9)$$

Boshqa yana turli temperaturalar oralig'i uchun α -ni hisoblang.

11. R_x -ni bilvosita o'lchash usuli bo'yicha xatolarni hisoblang (har bir temperatura uchun):

Absolyut xatolik:

$$\Delta R_x = R_x \cdot \Delta m, \quad (9)$$

Bunda Δm – limb shkalasi bir bo'limi yarmining qiymati.

Nisbiy xatolik:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_x}{R_x} \cdot 100\% \quad (10)$$

Har bir temperatura uchun R_x ning ishonch oralig'ini aniqlang (I-bob,2.2)-ga qarang:

$$R_x - t_{pN} \Delta R_x < R_{xh} < R_x + t_{pN} \Delta R_x$$

12. O'lchash oxirida ko'priknig "Питание" dastasini o'rta holatga "Галв" dastasini esa "KZ" holatga o'tkazib qo'ying.
13. Ish yuzasidan tegishli xulosalar chiqaring va hisobot yozing. Hisobot oxirida olingan xulosalaringiz albatta yozilgan bo'lishi zarur.

Nazorat savollari

1. Ishni qanday bajardingiz?

2. Elektrolitik dissosiasiya, dissosiasiyalanish darajasi, ionning harakatchanligi tushunchalarining mohiyatini aytib bering.
3. Elektrolitlar elektr o'tkazuvchanligi nazariyasini gapirib bering.
4. Elektrolitlar uchun Ohm qonunining differensial ko'rinishidagi ifodasini yozib tushuntiring.
5. Elektrolitning elektr qarshiligi temperaturaga qanday bog'liq va bu bog'la nish nazariy jihatdan qanday talqin qilinishi mumkin?

Adabiyotlar:

- [6], c. 331-336.
 [8], 150-162 b.
 [10], 288-289 b. 297-299 b.
 [12], 225-231 b.
 [20], c. 422-437.

7 - Laboratoriya ishi **Metallar qarshiligining temperaturaga bog'liqligini o'rganish**

Ishning maqsadi: Metallar elektr qarshiligining temperaturaga bog'liqligini nazariy va tajribaviy jihatdan o'rganish.

Kerakli asbob-uskunalar: Metallar elektr qarshiligining temperaturaga bog'liqligini tajribada o'rganadigan moslama, universal o'zgarimas tok ko'prigi (YMB), tok manbai (akkumulyator), elektr qizdirgich (pech) va ulash simlari (4-ta).

I. Nazariy ma'lumotlar

1.1 Metallarda elektr o'tkazuvchanlik tabiati. Metallarda elektr tokini elektronlarning tartibli harakati hosil qilish haqidagi xulosa qator klassik tajribalarning va bularga tayanib P.Drude, G. Lorens, A. Zommelfeldlar tomonidan ishlab chiqilgan klassik elektron nazariyaning xulosasidir.

SHu tajribalardan biri E.Rike tajribasi bo'lib, u silindrsimon mis va alyuminiy yaxlit namunalarning o'ta silliqqlangan asoslari sirtlarini mis, alyuminiy, mis ketma-ketligida tegizib, ular orqali bir yil davomida $3,5 \cdot 10^6$ kl ga yaqin elektr zaryadi o'tkazish va silindrlarning tajribadan oldingi va keyingi massalariga taqqoslash asosida metallarda elektr tokini ionlar hosil qilmaydi degan xulosaga keldi.

1913-1914 yillarda rus fiziklari L.I.Mandelshtamp va N.D.Papaleksilar uzun mis simi o'ralgan g'altakni uning simmetriya o'qi atrofida tez aylanma-tebranma harakatga keltirib, g'altak simi uchlariga ulangan telefonda, g'altakda vujudga kelgan o'zgaruvchan tok xisobiga tovush eshitdilar. Bu tajribada metallarda tokni erkin zarralar hosil qiladi degan fikrga kelindi, biroq ularning zaryadining ishorasini bu tajribada aniqlash mumkin emas edi.

1916 yilda R. Tolmen va D.Styuart tomonidan bir tomonga tez (300 m/s tezlik bilan) aylanayotgan mis simi o'ralgan g'altakni, to'satdan to'xtatish yo'li bilan, metallarda tok hosil qiluvchi zarracha zaryadining ishorasingina emas, hatto uning solishtirma zaryadi (q/m) ham aniqlandi. Bu zarracha elementar zarra-elektron bo'lib chiqdi ($q/m = e/m = 1,6 \cdot 10^{11}$ Kl/kg).

YUqoridagi tajribalar asosida metal o'tkazgichlarda elektr toki, ulardagi erkin elektronlarning tashqi elektr maydoni ta'sirida tartibli ko'chishi tufayli paydo bo'ladi

degan xulosaga kelindi. Bu xulosa quyida qaraladigan metallarda elektr o'tkazuvchanligining klassik elektron nazariyasiga asos qilib olindi.

1.2 Metallar elektr o'tkazuvchanligining klassik elektron nazariyasi. 1.1 bandda qisqacha bayon qilingan tajribalar metallarning kristall panjarasi metall panjara turiga mansubligini tasdiqlaydi. Metall panjara - fazoviy to'ring tugunlarida joylashgan metallning musbat ionlar orasida elektronlar tartibsiz erkin harakat qiladigan tuzilmadir. Metalldagi elektronlar o'zaro va panjara ionlari bilan tasirlashib turadilar. Bu o'zaro ta'sir gazlar molekulyar-kinetik nazariyasi bo'yicha, gaz molekulalarining o'zaro ta'siriga o'xshaydi. SHu ma'noda metallardagi erkin elektronlarni "elektron gazi" ga o'xshatish mumkin. Ular tartibsiz harakatlanib panjara ionlari bilan to'qnashib turadi. Elektronning o'z yo'lida ikkita ion bilan ketma-ket to'qnashuvi paytida (τ) o'tgan yo'lini (λ) uning **erkin yugurish yo'li** deyiladi. Metalldagi erkin elektronlar konsentrasiyasi quyidagicha topiladi:

$$n = \frac{N}{V} = \frac{N_A}{M} \cdot \frac{m}{V} = \rho \frac{N_A}{M} \quad (1)$$

Bunda ρ - metallning zichligi, M -uning molyar massasi, N_A – Avogadro soni. Elektronlar tartibsiz issiqlik harakatining o'rtacha arifmetik tezligi $\sim 10^5$ m/s) quyidagi ifoda bilan topiladi:

$$\bar{g} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (2)$$

bunda R - universal gaz doimiysi ($R=8,31$ J/mol•K), k - Bolsman doimiysi.

Agar metallda kuchlanganligi $\vec{E}$ bo'lgan tashqi elektr maydoni hosil qilinsa elektronlar shu maydon ta'sirida ($\vec{F} = -e\vec{E}$) unga teskari yo'nalishda tartibli ko'chib elektr toki (J) hosil bo'ladi. Bu tokning zichligi quyidagicha topiladi:

$$j = J \cdot S = \frac{q}{t} S = \frac{Ne}{t} \cdot S = \frac{nVe}{t} S = ne \frac{l}{t} = ne\bar{U} \quad (3)$$

bunda $\bar{U}$ - elektron tartibli xarakatining o'rtacha tezligi. Agar $\bar{U}$ mis uchun hisoblansa, uning qiymati ($j=0,1$ A/m², $M=64 \cdot 10^{-3}$ kg/mol, $\bar{U} = \frac{j}{ne} = \frac{jM}{N_A \rho e} \approx 10^{-3}$ m/s) uning o'rtacha arifmetik qiymatidan ($\sim 10^5$ m/s) juda kichik bo'lib chiqdi.

Bu natija tokning o'tkazgich bo'ylab tarqalish tezligi haqidagi yanglish fikrga, ya'ni u $\bar{U}$ ga emas, balki elektromagnit maydonning tarqalish tezligiga ($\sim 3 \cdot 10^8$ m/s) tengligi haqida aniqlik kiritilishiga yordam berdi.

Klassik elektron nazariya bo'yicha tajribada ochilgan Om qonunining differensial ko'rinishini ($\vec{j} = \gamma \vec{E}$) isbotlash mumkin. Elektron tartibli harakatining o'rtacha tezligi uning ion bilan ketma-ket ikki marta to'qnashuvi vaqti intervalida (τ) ega bo'lgan tezliklarining o'rtacha qiymatiga teng bo'ladi

$$\bar{U} = \frac{U_{\min} + U_{\max}}{2} = \frac{U_{\max}}{2} = \frac{a\tau}{2} = \frac{F\tau}{2m} = \frac{eE\tau}{2m} \quad (4)$$

Agar buni (3) ifodaga qo'ysak quyidagini olamiz:

$$\vec{j} = \frac{ne^2}{2m} \tau \cdot \vec{E} = \gamma \vec{E} \quad (5)$$

Bundagi proporsionallik koeffisiyenti

$$\gamma = \frac{ne^2}{2m} \bar{\tau} = \frac{ne^2}{2m} \frac{\bar{\lambda}}{\bar{g}} \quad (6)$$

ga **metallning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi** deyiladi. Bu ifodadagi elektronning erkin yugurish o'rtacha vaqtini topishda $\left(\bar{\tau} = \frac{\bar{\lambda}}{\bar{g}} \right)$ uning shu vaqda ega bo'ladigan yig'indi o'rtacha tezligini $\left(\bar{g} + \bar{U} \right)$, tartibsiz issiqlik harakati tezligiga taxminan teng $(\bar{g} \approx \bar{U})$ deb olingan ($\bar{v} \gg \bar{U}$) bo'lgani uchun.

Metallning solishtirma qarshiligi, uning γ -si bilan quyidagicha bog'langan:

$$\rho = \frac{1}{\gamma} = \frac{2m}{ne^2} \cdot \frac{1}{\bar{\tau}} = \frac{2m}{ne^2} \cdot \frac{\bar{g}}{\bar{\lambda}} \quad (7)$$

Bu ifoda yordamida metallar elektr qarshiligining $\left(R = \frac{\rho l}{S} \right)$ temperaturaga bog'lanishini sifat jihatdan tushuntirish mumkin bo'ldi. Temperatura oshishi bilan: 1) (2) ga asosan $\bar{g}$ oshadi; 2) $\bar{\lambda}$ kamayadi (chunki, ionlarning tartibsiz issiqlik tebranma harakatining amplitudasi oshadi. Bu ikki sabab o'z navbatida metall qarshiligining oshishiga olib keladi. Klassik elektron nazariyaning bu xulosasi ko'pchilik metallar uchun tajribada olingan, quyidagi chiziqli bog'lanish bilan, sifat jihatdan mos tushadi:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot t) \quad (8)$$

Bunda ρ_0 va ρ - mos ravishda, metallning 0^0 C va $t^0 \text{ C}$ dagi solishtirma elektr qarshiliklari. Metall o'tkazgichning elektr qarshiligi

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (9)$$

ifoda bilan (l - o'tkazgich uzunligi, S - uning ko'ndalang kesimi yuzi) aniqlanishini hisobga olsak (8) dan quyidagi ifodani olamiz:

$$R = R_0(1 + \alpha \cdot t) \quad (10)$$

Bundagi R va R_0 mos ravishda metal o'tkazgichning 0^0 C va $t^0 \text{ C}$ dagi elektr qarshiligi, α - metall qarshiligining termik koeffitsiyenti bo'lib quyidagicha topiladi:

$$\alpha = \frac{(R - R_0)}{R_0 \cdot t} = \frac{\Delta R}{R_0 \cdot t}. \quad (11)$$

11 ifoda bo'yicha α - ning fizik ma'nosi: u metall temperaturasini $\Delta t = t_2 - t_1 = t - 0^0 \text{ C} = t = 1^0$ ga oshirganda, uning elektr qarshiligining 0^0 S dagi qarshiligiga nisbatan oshgan ulushini $\left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)$ aniqlaydi.

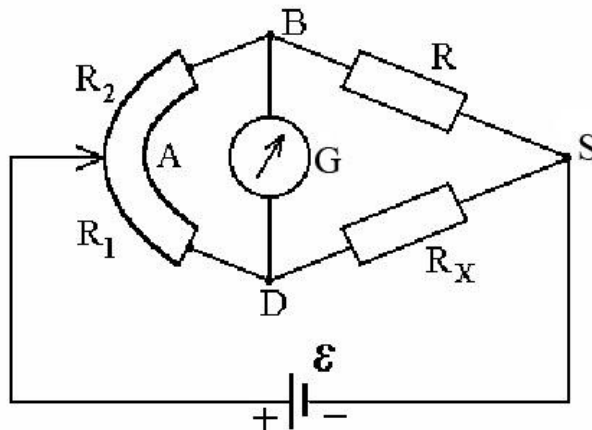
Metall elektr qarshiligining fizik ma'nosi, uni vujudga keltiradigan sabablar majmuasidan kelib chiqadi: 1) panjara tugunlaridagi ionlarning tebranma harakati $[\rho(t)]$, 2) begona aralashma atom yoki ionlarning panjarada (tugunlarda yoki tugunlar orasida) mavjud bo'lishi (ρ_a), 3) panjaraning mexanik deformasiyalanishi (ρ_d). Bu sabablarga ko'ra to'la ρ -uchun kiritilgan additiv ifodani yozish mumkin:

$$\rho = \rho(t) + \rho_a + \rho_d$$

Bu ifodadan o'ta o'tkazuvchanlik hodisasining klassik talqini kelib chiqadi: 2) va 3) sabablar yo'qotilsa, $T \rightarrow OK$ holda $\rho = \rho(t) \rightarrow 0$ bo'lishi kelib chiqadi

II. O'lchash uslubining nazariyasi va qurilmasining tavsifi.

Ushbu ishda metall qarshiligining temperaturaga bog'la nishi $[R(t)]$ o'zgarmas tok ko'prigi usuli bilan bilvosita o'lchanadi. Bunday ko'prik usulining nazariyasi 5 - laboratoriya ishining nazariy ma'lumotlar qismida batafsil bayon qilingan. Ushbu ishda $R(t)$ bog'la nish, tuzilishi va ishlash prinsipi jihatidan o'zgarmas tokning Uistston ko'prigiga aynan o'xshash bo'lgan (5 - ishda bayon qilingan), YMB rusumli universal o'zgarmas tok ko'prigidan foydalanib o'lchanadi. Uning prinsipial elektr sxemasi 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm

Bu rasmdagi ko'prik muvozanat ga kelganda (G-galvanometr strelkasi nolni ko'rsatganda), Krixgorf qoidalaridan quyidagi ifodani olish mumkin:

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R = M \cdot R. \quad (12)$$

Bunda R - ko'prikning BS-taqqoslash yelkasi qarshiligi, $M = R_1/R_2$ - DA va AB yelkalari qarshiliklarining nisbati.

YMB-ko'prigining yuz tuzilishi, 2-rasmda keltirilgan, o'lchash qurilmasining sxemasida tasvirlangan. Qurilmaning asosiy qismlaridan biri YMB ko'prigi hisoblanadi.

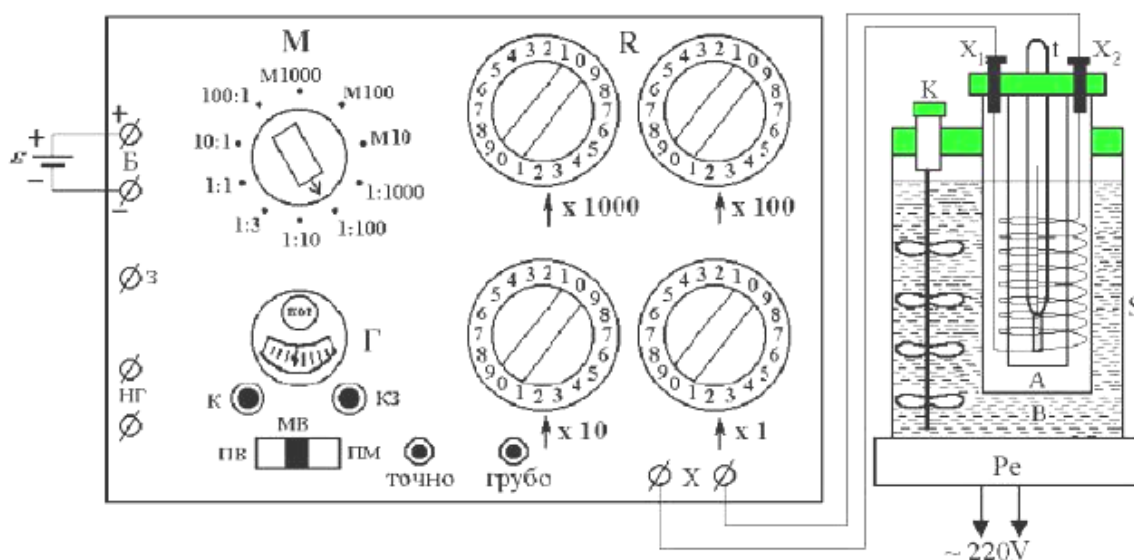
Ko'prikning yuzida uni boshqarish uchun zarur bo'lgan kalitlarning tugmachalari ("K", "K3", "tochno", "grubo", "IIM-MB-IIM") va ko'prik yelkalari qarshiliklarini o'zgarishiga yordam beradigan dastalar (M va R), hamda ko'prikning muvozanati holatini kuzatish uchun galvanometr (G) o'rnatilgan. 1-rasmdagi DA va AD yelkalar qarshiliklari nisbatining ($M = R_1/R_2$) 10 ta qiymati, M -buragich aylana dastasi atrofidagi qo'zg'almas asosga yozilgan. M -buragich asosidagi strelka quyidagi 1- jadvaldan foydalanib, shu qiymatlardan birini ko'rsatadigan holatga qo'yiladi. 1-jadval

O'lchanadigan qarshilik R_x , Om	0,1-10	$10 \cdot 10^1$	$10^1 \cdot 10^2$	$10^2 \cdot 10^3$	$10^3 \cdot 10^4$	$10^4 \cdot 10^5$	$10^5 \cdot 10^6$
$M = R_1/R_2$	1:100 0	1:1000	1:100	1:10	1:1	10:1	100:1
ε , V	2	4	4	6	8	14	20

1-rasmdagi ko'prik taqqoslovchi BS-yelkasining R -qarshiligi vazifasini, umumiy qarshiligi 9999 Om bo'lgan, R -qarshilik magazini bajaradi. U dekadali 4-ta qarshilikdan

tashkil topgan bo'lib, ularning aylana asosli buragichlari ko'prik panelidagi "X1000", "X100", "X10" va "X1" yozuvlar yoniga chiqarilgan. Ko'priknining DS-yelkasiga o'lchanadigan R_x -qarshilikning uchlarini ulash uchun uning yuziga "X" qisqichlar chiqarilgan.

O'lchash qurilmasining (2-rasm) yana bir asosiy qismi ichiga, $R(t)$ bog'la nishi o'lchanadigan, metall namuna joylashtirilgan moslamadir. Asbobning S-latun idishi 220 V shahar elektr tarmog'iga ulab qizdiriladigan pechka (P-qizdirgich) ustiga qo'yilgan. Latun idishdagi suvga, shisha nay (B) botirilgan nay esa ichiga $R(t)$ bog'la nishi tekshiriladigan mis simi tashqi sirtiga o'ralgan silindrsimon izolyator (A) mahkamlangan. Mis simning uchlari, B – shisha nay og'zidagi plastmassa izolyatorga mahkamlangan qisqichlarga (X_1 va X_2) ulangan. B-nayning ichiga mis simi to'la botadigan qilib yog' solingan va shu simning temperaturasi o'lchash uchun t-termometr kiritilgan.



2-rasm

Mis temperaturasi turli qiymatlarida ko'prik muvozanatga keltiriladi (M va R burchaklar yordamida). Ko'prik muvozanatga kelganda galvanometr nolni ko'rsatadi. Har bir temperaturaga mos M va R larning qiymatlari yozib olinib, (12) ifoda bo'yicha R_x -qarshilik hisoblanadi. $R_x(t)$ bog'la nish grafigi (t, R_x) kordinatalar sistemasida chiziladi. Bu grafikdan foydalanib (11) bo'yicha α - hisoblanadi. α -koeffitsiyentni grafikning ixtiyoriy ikkita t_1, t_2 ($t_2 > t_1$) temperaturaga mos keladigan qarshilikning R_{X1} , R_{X2} qiymatlarini aniqlab, (10) ifodadan olinadigan, quyidagi ifoda bo'yicha ham hisoblash mumkin:

$$\alpha = \frac{R_{X2} - R_{X1}}{R_{X1}t_2 - R_{X2}t_1} \quad (13)$$

III. Ishni bajarish tartibi va tajriba xatoliklarini hisoblash.

- 2-rasmdagi tasvirlangan qurilmaning elektr zanjirini yig'ing (YMB ning "B" qisqichlarga ε -akkumulyatorni va "X" qisqichlariga tekshiriladigan mis simning X_1 va X_2 uchlarini ulang).
- YMB ko'prigining qo'llanmasin o'qib o'rganing va uni quyidagi tartibda kirishib ishga tayyorlang. Ish rejimi ulagichi "PB-MB-IIM"- ni "MB" holatga qo'ying; galvanometr strelkasini uning "korrektor" burchagi yordamida nolni ko'rsatishiga

erishing; “K”-kaliti tugmachasini bosib qo’ying; “K3”-kaliti tugmachasini ko’tarilgan holatga qo’ying (uning bosilgan holatida galvonometr kirishi qisqa tutashtirilib, uning strelkasi tinchlantiriladi).

3. t-termometrqa qarab mis simning t_1 - temperaturasi yozib oling. Uning shu temperaturaga mos keladigan qarshiligini (R_{X1}) aniqlang. Buning uchun ko’prik yelkalari nisbatining burchagini (M) zarur holatga qo’ying (1-jadvalga tayanib). So’ng taqqoslash yelkasi qarshiliklari dekadalarining burchaklari (R) yordamida, dastlab ko’prikning “Трыбо” kaliti tugmachasini bosish bilan, so’ngra “Тоcho” kaliti tugmachasini bosish bilan galvanometr ko’rsatishini nol holatiga keltiring. Keyin M va R- larning qiymatlarini yozib oling va shu qiymatlar bo’yicha (12) formuladan foydalanib R_{X1} - ni (bilvosita) hisoblab toping.
4. Qizdirgichni shahar elektr tarmog’iga ulang. t-termometrning kapillyar nayi bo’ylab simob sathi ko’tarila boshlaganini kuzating. Unga qarab misning temperaturasi har safar 10^0 ga (masalan, $\Delta t = t_2 - t_1 = 10^0 C$) oshganda t_2, t_3 va h.z. t temperaturalar mos keladigan R_{X2} , R_{X3} va h.k.. qarshiliklarni 3- bandda bayon qilingan tartibda kirishib hisoblang. R_X – ni hisoblashni termometr eng kamida 90^0S ni ko’rsatganicha davom ettiring.
5. Olingan natijalar bo’yicha $R_X(t)$ bog’la nish grafigini chizing. Buning uchun dastlab, millimetrlarga bo’lingan maxsus qog’ozda chiziladigan (t, R_X) koordinata sistemasi o’qlarida eng qulay masshtab tanlang.
6. Olingan grafikdan foydalanib mis qarshiligining termik koeffisiyentini (11) hamda (13) ifodalar bo’yicha hisoblang: 1) (11) bo’yicha α - ni hisoblash uchun, 5- bandda chizilgan, $R_X(t)$ bog’la nish grafigini R_X o’qini kesganicha davom ettiring. SHu kesishgan nuqta ordinatasi R_0 -ga teng bo’ladi. (11) bo’yicha α -hisoblanadi; 2) (13) bo’yicha α -ni hisoblash uchun, 5-bandda olingan grafik ustida yetarlicha bir-biridan uzoqda joylashgan ikkita nuqtaning koordinatalaridan ($R_{X1}t_1$, $R_{X2}t_2$) foydalaning. Uchta juft shunday nuqta uchun topilgan α -ning uchta qiymatidan uning o’rtacha qiymatini hisoblang [$\alpha = (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)/3$]. Har ikki usul bilan α -ning qiymatlarini o’zaro taqqoslang.
7. α -ni (R_0 -ni ham) eng kichik kvadratlar usulidan (EKKU) (I-bobning §2.4-da bayon qilingan foydalanib yana ham aniq hisoblash mumkin. SHu maqsadda $y = R_X$), $A = \alpha R_0$, $V = R_0$ va $t = X$ belgilashlar kiritib (10) dan quyidagi ko’rinishdagi ifodani olish mumkin:

$$y = AX + B$$

Bu ifodaning A va B koeffisiyentlarini I- bobdagi (17) ifoda orqali shu bobning oxirida keltirilgan, “Paskal” tilida tuzilgan EHM dasturidan foydalanib EHM da hisoblang.

Keyin $R_0 = B$, $\alpha = \frac{A}{R_0}$ ekanligini hisobga olib (α -ning bu qiymatini uning 6-bandda

topilgan qiymati bilan taqqoslashni ham unutmang.) $R_X(t)$ bog’la nishning [yani (10) ning] empirik ko’rinishini yozing. t- ga turli qiymatlar berib, shu empirik bog’la nish bo’yicha R_X -qiymatlarini hisoblang va ularning 5-bandda chizilgan $R_X(t)$ tajribaviy grafikning ustiga tushishini tekshiring.

8. Tajriba xatoliklarini hisoblang.

A. 1) R_X -ni (12) bo’yicha bilvosita aniqlashning nisbiy xatoligi:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_x}{\bar{R}_x} \cdot 100\% = \sqrt{\left(\frac{\Delta M}{M}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2} \cdot 100\% \quad (14)$$

Bundagi ΔM va ΔR -lar YMB ko'prigining yelkalar nisbati va taqqoslash yelkasi dekadalarini aniqlashning sinfi bilan topiladi.

1) α -ni (12) bo'yicha bilvosita aniqlashning absolyut xatoligi:

$$\Delta R_x = \bar{R}_x \cdot \varepsilon / 100\% \quad (15).$$

2) Oxirgi haqiqiy natijani yozing:

$$R_{xh} = \bar{R}_x \pm \Delta \alpha \quad (16)$$

B. 1) α -ni EKKU bilan aniqlashdagi absolyut xatolik:

$$\Delta \alpha = \bar{\alpha} \left(\frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B} \right) \cdot 100\% \quad (17)$$

Bundagi ΔA va ΔB – larni I- bobdagi (20) ifoda bilan hisoblang.

2) R_x -ni EKKU bilan aniqlashdagi nisbiy xatolik:

$$\varepsilon = \frac{\Delta \alpha}{\bar{\alpha}} \cdot 100\% \quad (18)$$

Bunda ham oxirgi haqiqiy natijani (16) bo'yicha yozishingiz mumkin.

9. Ish yuzasidan xulosalar chiqaring va hisobot yozing. Xisobot oxirida xulosalaringiz berilgan bo'lishi shart.

Nazorat savollari

1. Metallarda tok hosil qiluvchi zarralarni aniqlash bo'yicha o'tkazilgan klassik tajribalarning mohiyatini ayting.
2. Metallar elektr o'tkazuvchanligining klassik elektron nazariyasining mohiyati va asosiy xulosalari haqida gapiring.
3. Metallar elektr qarshiligining fizik mohiyati qanday? Metallarning elektr qarshiligi temperaturaga qanday bog'liq?
4. Elektr qarshilikning termik koeffitsiyenti deb nimaga aytiladi? Uning fizik ma'nosi qanday va u tajribada qanday topiladi?
5. YMB rusumli universal o'zgarmas tok ko'prigining tuzilishini va uning yordamida qarshilikni o'lchash usulini tushuntiring.
6. $R_x(t)$ tajribaviy bog'la nishga EKKU ni qo'llab qarshilikning termik koeffitsiyentini aniqlashni tushuntiring.

Adabiyotlar

- [8], 306-321 b.
 [9], 203-209 b.
 [12], c. 334-340.
 [15], c. 101-103.
 [18], 151-160 b.

ILOVA

1. Asosiy elektr va magnit kattaliklarning o'lchov birliklari

Kattalikning nomi	Aniqlovchi ifoda	O'lchov birligi			
		Nomi	SI	SGS	SGS dan SI ga o'tish
Elektr zaryadi	$q = r\sqrt{F}$	Kulon	Kl	SGSE _q	$3,34 \cdot 10^{-10}$ Kl
Zaryadning sirt zichligi	$\sigma = \frac{q}{S}$	Kvadrat metr ga kulon	Kl/m ²	CGSE σ	$3,34 \cdot 10^{-14}$ Kl/m ²
Elektr doimiysi	$\varepsilon_0 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon F r^2}$	Metr ga farada	F/m	-	-
Elektr maydon kuchlanganligi	$E = \frac{F}{q}$	Metr ga volt	V/m	SGSE _E	$3 \cdot 10^4$ V/m
Elektr maydon induksiyasi	$D = \varepsilon_0 \epsilon E = \sigma$	Kvadrat metr ga kulon	Kl/m ²	SGSE _D	$3,34 \cdot 10^{-14}$ Kl/m ²
Elektr potensial	$\varphi = \frac{A}{q}$	Volt	V	SGSE _φ	300 V
Elektr momenti	$p_l = ql$	Kulon metr	Kl · m	SGSE p_l	$3,34 \cdot 10^{-10}$ Kl · m
Elektr sig'imi	$C = \frac{q}{\varphi}$	Farada	F	SGSE _C	$1,11 \cdot 10^{-12}$ F
Tok kuchi	$J = \frac{q}{t}$	Amper	A	SGSE _J	$3,34 \cdot 10^{-10}$ A
Tok zichligi	$j = \frac{J}{S}$	Kvadrat metr ga amper	A/m ²	CGSE j	$3,34 \cdot 10^{-6}$ A/m ²
Elektr qarshilik	$R = \frac{U}{J}$	Om	Om	SGSE _R	$9 \cdot 10^{11}$ Om
Solishtirma elektr qarshilik	$\rho = \frac{RS}{l}$	Om metr	Om · m	SGSE ρ	$9 \cdot 10^{12}$ Om · m
Elektr o'tkazuvchanlik	$g = \frac{1}{R}$	Simens	Sm	SGSE g	$1,11 \cdot 10^{-12}$ Sm
Solishtirma elektr o'tkazuvchanlik	$\gamma = \frac{1}{\rho}$	Om metr ga bir	$\frac{1}{Om \cdot m} = \frac{C_M}{m}$	SGSE γ	$1,11 \cdot 10^{-14}$ Sm/m
Magnit oqimi	$\Phi = BS \cos \alpha$	Veber	Vb	Mks	10^{-8} Vb
Induktivlik	$L = \frac{\Phi N}{J}$	Genri	Gn	SGSM _L	10^{-9} Gn
Qarshilikning termik koeffitsiyenti	$\alpha = \frac{\Delta \rho}{\rho_0 T}$	Kelvinga bir	K ⁻¹	K ⁻¹	1

Elektrokimyoviy ekvivalent	$k = \frac{m}{q}$	Kulonga kilogramm	kg/Kl	CGSE _K	$3,3 \cdot 10^{-7}$ kg/Kl
Magnit momenti	$P_m = JS$	Amper kvadrat metr	A · m ²	SGSM P_m	10^{-3} A · m ²
Magnit maydon induksiyasi	$B = \frac{M_{max}}{P_m}$	Tesla	Tl	Gs	10^{-4} Tl
Magnit maydon kuchlanganligi	$H = \frac{B}{\mu_0 \mu} = \frac{NJ}{l}$	Metrga amper	A/m	E	$\frac{10^3}{4\pi}$ A/m
Magnit doimiysi	$\mu_0 = \frac{2\pi Fr}{\mu J^2 l}$	Metrga genri	Gn/m	-	-

2. Asosiy fundamental fizik doimiylar

Fizik doimiy	Belgisi	Son qiymati
Universal gaz doimiysi	R	8,3141 J/(mol · K)
Gravitasiya doimiysi	G	$6,6720 \cdot 10^{-11}$ N · m ² /kg ²
Elementar zaryad	e	$1,60219 \cdot 10^{-19}$ Kl
Elektronning tinchlikdagi massasi	m_e	$9,1095 \cdot 10^{-31}$ kg
Normal sharoitda 1 mol ideal gazning hajmi	V_{M_0}	$22,4138 \cdot 10^{-3}$ m ³ /mol
Avogadro doimiysi	N_A	$6,0221 \cdot 10^{23}$ mol ⁻¹
Bolsman doimiysi	k	$1,3807 \cdot 10^{-23}$ J/K
Plank doimiysi	h	$6,6226 \cdot 10^{-34}$ J/s
Faradey soni	F	$9,6484 \cdot 10^4$ Kl/mol
Yorug'likning vakuumdagi tezligi	c	$2,979 \cdot 10^8$ m/s

ADABIYOTLAR

1. А. П. Кандрашов, Е. В. Шестопапов. Основы физического эксперимента и математическая обработка результатов измерений. -М.: "Атомиздат; 1977,- 197 с.
2. Р. М. Демидова-Панферова и другие. Электрические измерения. -М.: "Энергоиздат"; 1983, -392 с.
3. Л. Г. Деденко, В. В. Кержентsev. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента. /Под. ред. Проф. А. Н. Матвеева, -М.: из-во МГУ, 1977, -112 с.
4. О. Н. Кассандрова, В. В. Лебедев. Обработка результатов наблюдений. -М.: "Наука", 1970.
5. Fizikadan praktikum. /Prof. V. I. Iverenova tahriri ostida. -Т.: "Ўрта va oliy maktab", 1960, -685 б.
6. А. В. Кортнев, Ю. В. Рублев, А. Н. Кытсенко. Практикум по физике. -М.: "Высшая школа", 1963, -568 с.
7. Х. О. Шакаров, Б. И. Усманов. Применение микроЭВМ в НИРС по физике, - Самарканд. Ротопринт СамГПИ, 1989.
8. S. G. Kalashnikov. Elektr. -Т.: "Ўqituvchi", 1979, -391 б.
9. I. V. Savelyev. Umumiy fizika kursi, 2 – tom, -Т.: "Ўqituvchi", 1975, -368 б.
10. К. А. Путилов. Fizika kursi, 2-qism, -Т.: "Ўqituvchi", 1971, -599 б.
11. К. П. Дьяченко и др. Электрическое измерение. /Под. ред. Е. П. Шапкова, - М.: "Высшая школа", 1972. –520 с.
12. Р. В. Телеснин, В. Ф. Яковлев. Курс физики. Электричество. -М.: "Просвещение", 1970, -487 с.
13. Б. А. Штрауф. Курс физики. Том II. -Ленинград: "Судпромгиз", 1963, -552 с.
14. М. Моёминов, Н. Haydarov. Fizikadan laboratoriya ishlari uchun qo'llanma. -Т.: "Ўqituvchi", 1971, -334 б.
15. Ю. В. Рублев, А. Н. Кытсенко, А. В. Кортнев. Практикум по электричеству. - М.: "Высшая школа", 1971, -312 с.
16. В. О. Арутуунов. Электрические измерительные приборы и измерения. -М.: "Госэнергоиздат", 1958.
17. Ч. Уэрт, Р. Томсон. Физика твердого тела. -М.: "Мир", 1969, -558 с.
18. S. E. Frish, A. V. Timoreva. Umumiy fizika kursi. 2-tom, -Т.: "Ўqituvchi", 1972, - 567 б.
19. Д. В. Сивухин. Общий курс физики. Электричество. -Т.3, М.: "Наука", 1977.
20. Л. Эллиот, У. Уилкокс. Физика. -М.: "Наука", 1975, -736 с.
21. J. Kamolov va boshqalar. Umumiy fizika kursidan praktikum. Elektr. Optika. -Т.: "Ўqituvchi", 1984, -264 б.
22. П. А. Рымкевич. Курс физики. -М.: "Высшая школа", 1975, -463 с.
23. Г. И. Епифанов. Физика твердого тела. -М.: "Высшая школа", 1985, -276 с.
24. Н. М. Майсова. Практикум по курсу общей физики. -М.: "Высшая школа", 1970, -448 с.
25. З. И. Авдусь и др. Практикум по общей физики. -М.: "Просвещение", 1971, - 311 с.
26. М. А. Azizova. YArim o'tkazgichlar fizikasi. -Т.: "Ўqituvchi", 1974.

- 27.Лабораторный практикум по общей физики. Под. Ред. Е. М. Гершензона и Н. Н. Малова. - М.: "Просвещение", 1989, -351 с.
- 28.S. Majidov. Elektrotexnikadan ruscha-Ўzbekcha luĥat. Spravochnik. -T.: "Ўqituvchi", 1985, -256 b.
- 29.O. Q. Quvondiqov, X. O. SHakarov, M. Eshmirzayeva. Magnit maydoni induksiyasini aniqlash. Fizika, matematika va informatika, 2005, №2, 64-74 b.

