



53
F-48

J.A. TOSHXONOVA, J. KAMOLOV, X.M. MAHMUDOVA,
T. RIZAYEV, B. NURILLAYEV

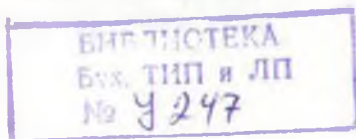
FIZIKADAN PRAKTIKUM

Elektr va magnetizm

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
pedagogika universiteti va institutlari talabalari uchun
o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etgan*

Professor J.A. Toshxonova tahriri ostida

«O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti»
Toshkent – 2006



Taqrizchilar: fiz.-mat.f.d., prof. **I. Buribayev** (O'zMU),
fiz.-mat.f.n., dotsent **I. Ismoilov** (TDPU),
fiz.-mat.f.n., dotsent **T. Toshxo'jayev** (TAYI),
fiz.-mat.f.d., dotsent **M. Mamadazimov** (TDPU),
fiz.-mat.f.n., dotsent **Z. Karimov** (TIQXMII).

Ushbu qo'llanma pedagogika universiteti va institutlarining «fizika», «astronomiya» va «matematika» mutaxassisliklari dasturi asosida yozilgan bo'lib, unda bakalavriyat talabalarining umumiy fizikadan bajarishlari lozim bo'lgan laboratoriya ishlarining tavsiya-nomalari berilgan. Qo'llanma elektr va magnetizmga oid 20 ta laboratoriya ishlarini o'z ichiga olgan.

Qo'llanma pedagogika universiteti va institutlarining fizika, matematika fakulteti talabalari uchun mo'ljallangan. Shuningdek, mazkur qo'llanmadan kimyo-biologiya, kasb-ta'lim fakultetlari talabalari, oliy texnika o'quv yurtlari talabalari ham foydalanishlari mumkin.

SO'ZBOSHI

O'zbekiston Respublikasining «Ta'lim to'g'risidagi» Qonuni hamda «Kadrlar tayyorlash milliy dasturi» asosida yuqori malakali mutaxassis kadrlarni tayyorlash, o'quv jarayonini takomillashtirish uchun birinchi navbatda talabalarni zamonaviy yetuk darsliklar va o'quv qo'llanmalari bilan ta'minlash muhim hisoblanadi.

Darslik va o'quv qo'llanmalarini yaratish nazariyasi va amaliyotini tahlil qilar ekanmiz, so'nggi yillarda oliy o'quv yurtlari uchun fundamental fanlar, jumladan, fizika fani, ayniqsa, o'zining didaktik xususiyatlari jihatidan katta salmoqqa ega bo'lgan fizik praktikum bo'yicha o'zbek tilida yozilgan darslik va qo'llanmalar yetarli emasligini kuzatish mumkin. Eksperiment beradigan asosiy bilim va malaka talabalar oladigan bilimining poydevori hisoblanadi. Shu nuqtayi nazardan oliy maktablar fizik praktikumi dasturlariga kirgan laboratoriya ishlari talabalarining o'quv semestrida bajarishi lozim bo'lgan eksperimental topshiriqlar albatta darslik va o'quv qo'llanmalarda to'liq aks ettirilgan bo'lishi va talabalar ommasiga o'z vaqtida yetkazib berilishi lozim deb hisoblaymiz.

Mazkur «Fizikadan praktikum» deb nomlangan o'quv qo'llanma talabalarga bilim berish, ularda amaliy ko'nikma va malakalarni shakllantirish hamda ularni fizika faniga bo'lgan qiziqishlarini oltirish masalalariga qaratilgan.

Pedagogika universiteti va institutlarining fizika, matematika, kash ta'lim yo'nalishida ta'lim olayotgan talabalarga tavsiya etilayotgan ushbu «Fizikadan praktikum» (Elektr va magnetizm) o'quv qo'llanmasi Nizomiy nomidagi Toshkent Davlat pedagogika universiteti «Fizika va uni o'qitish metodikasi» kafedrası professor-o'qituvchilarining ko'p yillik ish tajribalari asosida vujudga kelgan.

Ushbu mualliflar tomonidan tayyorlangan «Fizikadan praktikum (Mexanika va molekular fizika)» nomli o'quv qo'llanmasi professor J.A. Toshxonova tahriri ostida 1996- yilda

«O'qituvchi» nashriyoti tomonidan chop etilgan. Kitobdan shu kungacha Respublika miqyosida oliy o'quv yurtlari talabalari va o'qituvchilari foydalanib keldilar.

Umumiy fizika kursining «Elektr va magnetizm» bo'limi bo'yicha tayyorlangan ushbu qo'llanma mualliflarning mexanika va molekulyar fizika bo'yicha tayyorlab chop etgan kitoblarning izchil uzviy davomi bo'lgan 2- kitob hisoblanadi.

Mutaxassislarga ma'lumki, fizikaning har bir mavzusini pishiq, puxta, chuqur asosli qilib tushuntirish va ularni yig'ib butun kursni talabalar ongiga singdirish pedagogdan katta mahorat talab qiladi.

Talabani chuqur ilmga ega bo'lishida darslik va qo'llanmalarning mavjudligi, ularning sifatligi ham asosiy omil hisoblanadi.

Mazkur o'quv qo'llanmani tayyorlashda, birinchidan, talabalarni fizikadan praktikum mashg'ulotlari bo'yicha o'zbek tilidagi qo'llanma bilan ta'minlashni, ikkinchidan, talabalarning kelajakda umumta'lim maktablari, akademik litsey va kasb-hunar kollejlarning o'qituvchilari bo'lib yetishishini nazarga olgan holda fizik qonunlar, hodisalar va jarayonlarni chuqurroq o'rganishlariga, ularning tajriba o'tkazish va o'lchashlarning oddiy usullarini o'zlashtirishlariga ko'maklashish asosiy maqsad qilib qo'yildi.

O'lchash natijalarini ishlab chiqishga doir «Xatoliklarning elementar nazariya»si ushbu mualliflarining umumiy fizika kursining «Mexanika va molekulyar fizika» bo'limi uchun «Fizikadan praktikum» o'quv qo'llanmasida atroflicha yoritilgan. Ammo, oliy o'quv yurtlari talabalariga absolut va nisbiy xatolik, o'rtacha kvadratik xatolik, Student koeffitsientidan foydalanib ishonch intervalining chegarasini hisoblash kabilarni o'rgatish va singdirish lozimligini nazarda tutgan holda ushbu qo'llanmaning birinchi bobida ular takrorlanadi.

«Qaytarish — bu bilimning onasidir» degan maqolga amal qilib, qo'shimcha ravishda ayrim laboratoriya ishlari va ularga tegishli mashqlarni bajarishda konkret hollarda yuzaga keladigan sistematik, tasodifiy xatoliklar manbalari va ularni bartaraf qilish yoki kamaytirish hamda o'lchash natijalarini ishlash masalalariga maxsus to'xtalib o'tish lozim deb topildi.

Chunki xatoliklarni hisoblab topib, uni tahlil qilishga shunchaki yuzaki qarash emas, balki talabaga, ayniqsa, «Fizika va astronomiya» mutaxassisligini tanlagan talabalarga xatoliklarni yuzaga kelish sabablarini qidirish va ularni bartaraf etish yo'llarini izlab topishga o'rgatish mualliflar oldiga birinchi darajali vazifa qilib qo'yilgan.

Qo'llanma «Elektr va magnetizm» bo'limida 20 ta laboratoriya ishidan iborat bo'lgan 39 ta mashqni o'zida mujassamlashtirgan. Har bir laboratoriya ishi umumiy fizika kursining alohida mavzulariga bag'ishlangan bo'lib, vazifalarning hajmi turlicha. Ko'pchilik hollarda ayni bir laboratoriya ishida bir necha usuldan foydalanib, tegishli fizik kattalikni aniqlash yoki qonuniyatni o'rganish talab etilsa, boshqa hollarda ayni bir qurilma yoki moslama yordamida bir qator mashqlarni bajarish mumkin. Bu mashqlarning hammasini 2 soatlik mashg'ulotda bajarishning iloji yo'q. Shu sababli o'qituvchi tomonidan talaba bajaradigan ishning hajmi belgilanishi lozim.

Qo'llanmada berilgan har bir amaliy mashg'ulotning tavsifida qat'iy ketma-ketlikka rioya qilindi. Dastlab ishning maqsadi, ko'ngra ishi to'g'risida aniq nazariy ma'lumot bayon etilgan. Ishning tavsifi uning tavsilida yetarli darajada to'la yoritilgan. Talaba har bir laboratoriya ishini bajarishda bilishi zarur bo'lgan qo'shimcha ma'lumotlarni tavsiya etilgan darslik va o'quv qo'llanmalardan foydalanib o'zlashtirishi mumkin. Mavzuga oid darslik va qo'llanmalar har bir ishning nomi ostida o'rta qavs ichida keltirilgan. Talabalarga foydalanish uchun tavsiya etiladigan adabiyotlar ro'yxati qo'llanmaning ilova qismida berilgan. Har bir laboratoriya mashqida ishni bajarish uchun kerakli asbob va materiallarning nomlari, qurilmaning tavsifi, ishning bajarilish tartibi va nihoyat, laboratoriya ishining oxirida talaba o'zining nazariy hamda amaliy bilimlarini tekshirib ko'rish uchun sinov savollari keltirilgan. Bunday savolnomalar, topshiriqlar to'plamini tayyorlash Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining «Fanlar bo'yicha savolnomalar to'plami to'g'risida»gi «Kadrlar tayyorlash milliy dasturining ikkinchi bosqich vazifalaridan kelib chiqib, o'qitish afariini oshirish, ta'lim tizimiga demokratik tamoyillarni joriy etish maqsadida chiqarigan buyrug'iga (№237, 28.09.2001) mos keladi.

Kitobdagi har bir mavzuga bir nechta savol-topshiriqlar berilgan.

O'zbekiston Respublikasida o'tkazilayotgan ta'lim sohasidagi islohatlar va ta'lim muassasalar oldiga qo'yilayotgan asosiy vazifalar — bu talabalar bilim saviyasini oshirishdir.

Mustaqil O'zbekistonimizning kelajagini tasavvuri keng, texnika sir-asrorlarini chuqur egallagan yuqori malakali mutaxassislersiz tasavvur qilib bo'lmaydi. Bu esa o'z navbatida oliy o'quv yurtlari oldiga o'quv jarayonini takomillashtirish va malakali mutaxassislar tayyorlashdek og'ir va sharaflı vazifani qo'yadi. Bu vazifani bajarish asosan talabalarga bilim berish jarayonida kuchli moddiy texnika bazasidan foydalanishni taqozo etadi.

Ilm cho'qqilarini egallashda kompyuter va informatsion yangi texnologiyalardan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Shu maqsadda fizika laboratoriya ishlarini bajarishda kompyuterlardan foydalanish maqsadida yangi dasturlar ishlab chiqildi. Bu dasturlarning ahamiyati shundaki, ular sodda va tushunarli tilda bo'lishi bilan birga talabalarining kompyuterdan kengroq foydalanish imkonini beradi. Ishlab chiqilgan kompyuter dasturlari qo'llanmaning «Ilova» qismida keltirilgan bo'lib, fizik jarayonlarni yaxshiroq o'zlashtirish imkonini beradi. Shu nuqtayi nazardan qo'llanmaga alohida yangi «Ilova» bobi kiritilgan. Unda «Elektr va magnetizm» bo'limining har bir mavzusiga, hodisasiga, qonuniga bag'ishlangan 180 dan ortiq test savol-javoblari to'plangan bo'lib, talabalar ulardan kompyuterlar vositasida o'z-o'zlarini nazorat qilishlari uchun foydalanadilar.

Kompyuterlar yordamida mustaqil ishlash davomida talabalar kompyuterlardagi mavjud ma'ruza matnlari, laboratoriya tasniflari bilan tanishishlari, test-sinov savollari bilan tanishib chiqishlari mumkin. Fizika fanining asosiy bo'limlariga mos holda tayyorlanib kompyuterlarga kiritilgan test-sinov savollari asosida talabalar juda qisqa muddat ichida o'z bilimlarini o'zlari nazorat qilishlari mumkin.

Fizpraktikum uchun u yoki bu laboratoriya ishlarida bevosita yoki bilvosita o'lchangan kattaliklar, ularning xatoliklarini hisoblash, ishonch intervalini aniqlashda kompyuterdan foydalanish qo'llanmaga kiritilmagan.

Qo'llanmadagi laboratoriya ishlarining deyarli asosiy qismi hozirgi vaqtda pedagogika universiteti va institutlarida hamda aksariyat umumta'lim maktablari, akademik litsey, kasb-hunar kollejlari mavjud bo'lgan yoki ustaxonalarda yasalishi mumkin

bo'lgan asboblarni yordamida qo'yilishi mumkin. Shuningdek, ushbu qo'llanma yosh o'qituvchilar va talabalarning kelgusi pedagogik faoliyatlarida katta yordam beradi.

Talabalarning vaqtini tejash maqsadida qo'llanmaning oxirida fizik kattaliklarning turli sharoitdagi qiymatlarining jadvallari, ularning Xalqaro sistemadagi o'lchov birliklari, ba'zi elektr va magnit kattaliklarning formulalari, birliklari ilova qilingan. Laboratoriya ishlari bajarish jarayonida talabalarga qo'yiladigan talablar, tegishli xavfsizlik qoidalari, elektr zanjir qismlarini o'rganish qo'llanmaning bosh qismida bayon etilgan.

Mualliflar qo'llanmani yaratishda o'zlari avval yaratgan va 1982 yilda «O'qituvchi» nashriyotida chop etilgan «Umumiy fizika kursidan elektr va optika bo'limlariga oid praktikum» deb nomlangan o'quv qo'llanmani to'ldirish va zarur joyda o'zgartirish kiritish lozim deb topdilar, ba'zi yangi mavzularga tegishli laboratoriya ishlari va ularning tavsiflari bilan boyitdilar. Masalan, elektron osillografning tuzilishi va uning ishlash prinsipini o'rganish kabilari.

Qo'llanma Respublikadagi pedagogika universiteti va institutlarning fizika kafedralari qoshidagi «Elektr va magnetizm» laboratoriyalarining jihozlanishi va talabalarning kelajakda umumta'lim maktablari yoki akademik litsey, kasb-hunar kollejlari o'qituvchilari bo'lib yetishishlarini hisobga olgan holda yaratildi. Unda keltirilgan laboratoriya ishlari shunday tanlab olinganki, ularning ba'zilari oliy o'quv yurti dasturiga mos kelsa, ba'zilari talabalarning ish faoliyatlarida o'qituvchilar bilan fizik praktikum o'tkazishda foydalanishga imkon beradi.

Praktikumning qo'lyozmasi bilan tanishib chiqib, qimmatli maslahatlari bilan qo'llanmani takomillashtirishga o'z hissalarini qo'shgan kasbdoshlarga mualliflar o'z minnatdorchiliklarini bildiradilar.

O'QUV LABORATORIYALARIDA XAVFSIZLIK TEXNIKASIGA RIOYA QILISH HAQIDA MA'LUMOT

Elektr va magnetizmga oid laboratoriya ishlarini bajarishda talaba aksariyat hollarda eksperimental qurilmalarni prinsipial sxema yoki montaj sxemalari bo'yicha o'zi mustaqil montaj qiladi. Unda o'zgarmas va turli chastotali o'zgaruvchan toklardan foydalanishga to'g'ri keladi. Tokning insonga xavfli ta'siri chastota va kuchlanish kattaligiga bog'liq. Masalan, chastotasi 50 Hz bo'lgan 500 V kuchlanishli o'zgaruvchan tokning ta'siri kuchlanish xuddi shunday bo'lgan o'zgarmas tok ta'siriga nisbatan xavflidir.

50–500 Hz oralig'ida chastota ortishi natijasida tokning ta'siri ham ortadi, lekin undan yuqori chastotalarda xavf kamayadi. Xavfsizlik texnikasi qoidalariga ko'ra 50 mA (0,05 A) tok inson hayoti uchun xavfli hisoblanadi.

Inson tanasi qarshiligini 1000 Ω deb olinsa, inson tanasiga berilgan 50 V kuchlanish ($V = IR = 0,05 \cdot 1000 = 50$ V)da xavfli tok o'tadi. Shunda hammasi bo'lib, elektr manbayidan $P = VI = 50 \cdot 0,05 = 2,5$ W quvvat beriladi.

Agar manbaning quvvati ko'rsatilgan raqamdan ancha kam bo'lsa, yuqori kuchlanishlar inson tanasini butunlay jarohatlamasada, ammo nohush sezgini yuzaga keltiradi. Elektr qurilmalarining tok o'tayotgan qismlarida izolatsiya buzilgan bo'lsa, shu ochiq qolgan joyi kuchlanish ostida bo'lishi mumkin. Bunday ochiq qolgan joy inson terisi (qo'li yoki boshqa yeri)ga tegib ketsa, u joy ham ana shu kuchlanish ostida bo'lib qolishi mumkin. Bu kuchlanishni tegib ketish kuchlanishi U_t deb atasak, xavfsizlik texnikasi qoidalariga ko'ra quruq xonada $U_t = 65$ V, 75% nisbiy namlikka ega bo'lgan xonalarda $U_t = 36$ V, nisbiy namlik 100% bo'lgan xonalarda esa $U_t = 12$ V bo'ladi.

Laboratoriya ishlarini bajarish vaqtida xavfsizlik texnikasining quyidagi qoidalariga qat'iy rioya qilish zarur:

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

2. Laboratoriya ishlarini bajarishda elektr sxema bo'yicha zanjirni yig'ishga kirishishdan oldin o'zingiz foydalanadigan tok manbayi, uning ulanish joylarida uzilgan holatda ekanligiga, avtotransformatorlarning ko'rsatkich strelkasi noldaligiga ishonch hosil qiling.

3. Tok manbayi va ulash simlarida kuchlanishning mavjudligini voltmetr yoki sinash lampalari yordamida (aslo barmog'ingiz bilan emas) tekshiring.

4. Zanjirga ulangan kondensator uzilgan paytda hayot uchun havfli bo'lgan qoldiq zaryadga ega bo'ladi. Shuning uchun kondensatorni zanjirga ulashdan oldin razryadlash yodingizdan chiqmasin. (Kondensator ulash joylarini qisqa tutashtiring).

5. Zanjir yig'ishda foydalanayotgan simning izolyatsiyasining buzilmaganligi tekshirilishi shart. Elektr zanjirning izolatsiyalanmagan qismlariga qo'l tekkizish mumkin emas. Simlarni (hatto izolyatsiyalangan simlarni ham) bir-biriga o'rab qo'yish man etiladi.

6. Zanjirni yig'ishda ulash nuqtalaridagi kontaktlar mustahkam bo'lishi kerak. Simlar bir-birining ustidan o'tadigan joylariga e'tibor qiling. Bunda ochiq joyi bo'lib, qisqa tutashuv hodisasi sodir bo'lmasin. Ortiqcha simlarni o'lchashga halaqit bermasligi uchun sxemani yig'ib bo'lganingizdan keyin chetga olib qo'ying.

7. Pasaytiruvchi transformatorlardan foydalanayotganingizda qaysi o'ram zanjirning manba qismiga ulanishiga e'tibor bering.

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

9. Transformator elektr manbayiga ulangan bo'lsa, uzishni uning ikkilanchi cho'lg'amidan boshlash qat'iy man qilinadi.

10. Ishning to'liq zanjiri yig'ib bo'lingandan keyin u faqat laboratoriya darsini olib boruvchi o'qituvchining ruxsati bilangina manbaga ulanadi va o'lchash ishlari bajariladi. Zanjirni tuzish tok manbayidan boshlanadi, lekin tok manbayiga eng oxirida ulash lozimligini yodingizdan chiqarmang.

11. O'lchayotganingizda biror elektr o'lchov asbobining buzilganligi yoki noto'g'ri ko'rsatayotganini sezsangiz, darhol zanjirni manbadan uzib, laboratoriya mashg'uloti olib borayotgan rahbaringizga murojaat qiling.

Shtepsel vilkalarini manbadan tortib olayotganingizda shnur-dan ushlab tortish man etiladi, qo'l kushingiz vilka g'ilofiga qo'yilgan bo'lishi kerak.

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

Sxemaga kiritiluvchi barcha o'zgarishlarni faqat tok manbayi o'chirilganidan keyingina amalga oshirish mumkin.

13. Zanjirga ulanuvchi barcha reostatlarni maksimum qarshilikka keltirib qo'yishni esdan chiqarmang.

14. Potensiometrlar konturga beriluvchi kuchlanishning noliga keltirib qo'yiladi.

15. Zanjirni yig'ishda barcha kalit va kommutatorlar ochiq holda bo'lishi kerak.

16. Tok manbayi faqat o'lchash olib borilishi kerak bo'lgan vaqtdagina ulanadi. O'lchash tugagach, darhol tokni o'chirish lozim. Kuchlanish ostida turgan sxemani qarovsiz qoldirib qo'yish man etiladi.

I. O'LCHASH NATIJALARINI ISHLAB CHIQISH. XATOLIKLARNING ELEMENTAR NAZARIYASI

1- §. Sistematik va tasodifiy xatoliklar

Fizika moddiy dunyoning realligini o'rgatuvchi fan bo'lganligi sababli uning qonuniyatlarini o'rganishda tajribalarga tayaniladi. Tajribalar esa fizik kattaliklarni o'lchash asosida olib boriladi. *O'lchash* deb, aniqlanayotgan fizik kattalikni birlik deb qabul qilingan kattalik bilan taqqoslashga, ya'ni birlikdan necha marta farq qilishini aniqlashga aytiladi. O'lchashning ikki turi mavjud: *bevosita* va *bilvosita o'lchash*.

1. Berilgan fizik kattalikni bir necha marta birlik kattalik bilan taqqoslash orqali uning qiymatini tajribada aniqlash *bevosita o'lchash* deyiladi. Masalan, uzunlik, massa, vaqt, harorat va boshqalarni darajalangan (graduировка qilingan) asboblari: mikrometr, katetometr, sekundomer, termometr va boshqalar yordamida o'lchanadi. Bunda o'lchanayotgan kattalikning miqdori asbobning qancha ko'rsatayotganligi asosida to'g'ridan-to'g'ri yozib olinadi.

2. Bevosita o'lchanayotgan fizik kattaliklar bilan o'zaro qonuniy, ya'ni funksional bog'langan kattaliklarning qiymatini aniqlanishi *bilvosita o'lchash* deyiladi. Bunga misol qilib, tezlik, tezlanish, energiya va boshqalarni hisoblashni ko'rsatish mumkin.

Fizik kattaliklarni o'lchash natijalari absolut aniq bo'lmay, ular biror aniqlik bilan o'lchanadi. Lekin bu aniqlikning ham chegarasi mavjud bo'lib, kattaliklarni qanchalik aniq o'lchashga harakat qilinmasin, baribir xatolikka yo'l qo'yiladi.

Xatoliklar ikki xil bo'ladi: *sistematik xatolik* va *tasodifiy xatolik*.

Sistematik xatolik ko'p hollarda asbobning to'g'ri ko'rsatmasligidan yoki o'lchash metodining aniq emasligidan va, nihoyat, biror uzluksiz tashqi ta'sir (atrofdagi muhitning ta'siri)

natijasida bir tomonlama yuzaga keladi. Masalan, jism haroratini termometr yordamida o'lchashda nol nuqta (reper nuqta)ning biroz siljib qolgani tufayli, o'lchash natijalariga zarur tuzatishlar kiritilmagunga qadar sistematik xatolikka yo'l qo'yilaveriladi. Xuddi shuningdek, tarozi pallasining quyosh nurlari ta'sirida yoki biror issiqlik manbayidan kelayotgan issiqlik tufayli notekis isitilishi ham jism massasini o'lchashda sistematik xatolikka olib keladi. Ammo bu xatoliklarni aniqlash va ularni bartaraf qilish juda murakkab masala bo'lib hisoblanadi. Umuman olganda sistematik xatolik obyektiv sabablarga ko'ra paydo bo'ladi.

Sistematik xatolik o'lchash natijalariga faqat bir tomonlama ta'sir qiladi (o'lchash natijasi sistematik xatolik tufayli faqat ko'paygan bo'lishi yoki kamaygan bo'lishi mumkin).

Demak, sistematik xatoliklar aniq sabablar tufayli yuzaga kelib, uning miqdori takroriy o'lchashlarda o'zgarmasligi va ma'lum bir qonuniyat bo'yicha o'zgarishi mumkin.

Tasodifiy xatolik subyektiv xarakterga ega bo'lib, aniq bir qonuniyatga bo'ysunmaydi. Har bir o'lchashning natijasi ortiq yoki kam bo'lishi mumkin. Tasodifiy xatolik, asosan tajriba o'tkazuvchining xatosi tufayli (asbob ko'rsatishini noto'g'ri ko'rish yoki aniq eshitmasligi natijasida) yuzaga keladi.

Tasodifiy xatoliklarni ham xuddi sistematik xatoliklar kabi butunlay bartaraf qilib bo'lmaydi. Lekin o'lchashdagi tasodifiy xatoliklarni hisobga oladigan ehtimollik qonuniyatlarining elementlari yordamida tasodifiy xatoliklarni hisoblab, birmuncha aniq natijalarga erishish mumkin.

Quyida biz tasodifiy xatoliklar nazariyasining elementlariga to'xtalib o'tamiz.

Bevosita o'lchashda yo'l qo'yiladigan xatoliklarni hisoblash. Agar biror a fizik kattalikning haqiqiy qiymatiga yaqin bo'lgan natijani olmoqchi bo'lsak, uni n marta o'lchashga to'g'ri keladi, a kattalikni n marta o'lchashda quyidagi

$$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$$

natijalar qayd qilingan bo'lsin deb faraz qilaylik. U holda bu qiymatlarni qo'shib o'lchashlar soniga bo'lsak, o'lchanayotgan fizik

kattalikning haqiqiy qiymatiga yaqin *o'rtacha arifmetik qiymat* deb ataluvchi qiymatni hosil qilgan bo'lamiz:

$$\langle a \rangle = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}. \quad (1.1)$$

2-§. Absolut va nisbiy xatoliklar. Bevosita o'lchashlar natijasining ishonchliligi va ishonch intervali

O'lchanayotgan kattalikning o'rtacha arifmetik qiymati bilan har bir alohida o'lchash natijasi orasidagi farq o'lchashda yo'l qo'yilgan *absolut xatolikni* beradi. U Δa deb belgilanadi. Aytaylik, birinchi, ikkinchi va hokazo o'lchashdagi absolut xatoliklar:

$$\Delta a_1 = |\langle a \rangle - a_1|, \Delta a_2 = |\langle a \rangle - a_2|, \dots, \Delta a_n = |\langle a \rangle - a_n|.$$

bo'lsin. Bu farqlar musbat ham, manfiy ham bo'lishi mumkin. Bu aniqlangan absolut xatoliklarning yig'indisini o'lchashlar soniga bo'lsak, *absolut xatolikning o'rtacha qiymati (o'rtacha arifmetik xatolik)* topiladi:

$$\langle \Delta a \rangle = \frac{|\Delta a_1| + |\Delta a_2| + \dots + |\Delta a_n|}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |\Delta a_i|. \quad (1.2)$$

O'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati uning o'rtacha arifmetik qiymatidan katta ham bo'lishi, shuningdek, kichik ham bo'lishi mumkin ekanligini e'tiborga olib, o'lchashlar natijasini quyidagicha yoza olamiz:

$$a_{\text{haq}} = \langle a \rangle \pm \langle \Delta a \rangle. \quad (1.3)$$

Bu ifoda a ning qiymati quyidagi ichonsh intervalida yotishligini ko'rsatadi:

$$\langle a \rangle + \langle \Delta a \rangle \geq a \geq \langle a \rangle - \langle \Delta a \rangle. \quad (*)$$

Shuni aytish kerakki, absolut xatolik har doim ham o'lchash sifatini to'liq xarakterlay olmaydi. Shuning uchun absolut xatolik

bilan bir qatorda o'lchash natijalarining aniqlik darajasini xarakterlash maqsadida *nisbiy xatolik* deb ataluvchi xatolikni bilish juda muhimdir.

Nisbiy xatolik o'rtacha absolut xatolik o'lchanayotgan kattalik o'rtacha qiymatining qanday qismini tashkil qilishini ifodalovchi kattalik bo'lib, foizlarda ifodalanadi, ya'ni

$$\varepsilon = \frac{\langle \Delta a \rangle}{\langle a \rangle} \cdot 100\% . \quad (1.4)$$

Juda aniq o'lchash zarur bo'lmagan hollarda 5% gacha nisbiy xatolikka yo'l qo'yish mumkin deb hisoblanadi.

Agar ikkita taxta qalinligining aniqlik darajasi 0,01 mm bo'lgan vintli mikrometr bilan o'lchasak, absolut xatolik hamma o'lchashlarda bir xil, ya'ni 0,01 mm dan ortmaydi. Lekin nisbiy xatolik ikki xil qalinlikdagi taxtalar uchun ikki xil bo'ladi. Masalan, birinchi taxtaning qalinligi 2 sm, ikkinchi taxtaning qalinligi esa 2 mm bo'lsa, nisbiy xatolik mos ravishda (1.4) formulaga asosan 0,05% va 0,5% ga teng bo'ladi. Shu nuqtayi nazardan nisbiy xatolikni bilish har bir tajriba uchun alohida o'rin tutadi.

O'rtacha kvadratik va eng ehtimollik xatoliklar

Ba'zan a kattalikni o'lchashdagi o'rtacha arifmetik xatolik $\langle \Delta a \rangle = 0$ bo'lib qolishi ham mumkin, lekin *o'rtacha kvadratik xatolik* deb ataluvchi kattalik borki, uning qiymati hech qachon nolga teng bo'lmaydi, shu sababli kattaliklarni o'lchashdagi natijalarning aniqlik chegarasini oshirish maqsadida o'rtacha kvadratik xatolik va *eng ehtimollik xatolik* deb ataluvchi tushunchalar va kattaliklardan foydalaniladi.

Har bir o'lchashning o'rtacha kvadratik xatoligi deb,

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle a \rangle - a_i)^2}{n(n-1)}} \quad (1.5)$$

yoki

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta a_i)^2}{n(n-1)}} \quad (1.6)$$

kattalikka aytiladi. O'lchashlar soni juda katta bo'lganda, ya'ni $n \rightarrow \infty$ da S_n biror o'zgarmas qiymat σ ga intiladi. σ ni S ning *statistik chegaraviy qiymati* deb atash mumkin, ya'ni

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n. \quad (1.7)$$

Aslini olganda ayni shu chegaraviy qiymat *o'rtacha kvadratik xatolik* deb ataladi. Lekin amaliy ishlarda doim σ ni emas, balki uning taqribiy qiymati S_n ni hisoblaymiz; n qanchalik katta bo'lsa (o'lchashlar soni qanchalik ko'p bo'lsa), S_n ham shunchalik σ ga yaqin bo'ladi.

Bir necha o'lchashlarning natijasi uchun o'rtacha kvadratik xatolik

$$S = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta a_i)^2}{n(n-1)}} \quad (1.8)$$

formula yordamida aniqlanadi.

Agar o'lchashlar soni n chekli bo'lsa, u holda xatolikni hisoblashda *Styudent koeffitsienti* deb ataluvchi $t_\alpha(n)$ koeffitsientdan foydalaniladi, uning son qiymati α ehtimollikka va n o'lchashlar soniga bog'liq bo'ladi [17].

α fizik kattalikni o'lchashdagi eng ehtimollik xatolik kattaligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$r = \Delta a_e = t_\alpha(n) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta a_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (1.9)$$

Xususi hollarda bu ifodani

$$r = \pm 0,6745 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta a_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (1.9a)$$

ko'rinishda yozish mumkin. Bundan keyin biz asosan (1.9a) ifoda bilan ish ko'ramiz, chunki laboratoriya sharoitida ko'pincha tavsiya qilinadigan o'lchashlar soni $n \leq 15$ bo'ladi.

(1.1) va (1.2) ni nazarda tutgan holda, a ning aniqlangan qiymatini quyidagi

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \pm t_a(n) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta a_i)^2}{n(n-1)}} \quad (1.10)$$

ifoda bilan topish mumkin.

Endi a kattalikning aniqlik qiymatini hisoblashga doir misollar ko'rib o'taylik.

Biror kattalikni o'lchaganimizda quyidagi natijalar qayd qilingan bo'lsin: 6,270; 6,277; 6,273; 6,276; 6,272; 6,278; 6,275; 6,277; 6,274; 6,276. (1.1) formulaga asosan bu o'lchashlardagi a ning o'rtacha qiymati

$$\langle a \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{10} a_i}{10} = 6,275$$

ga teng bo'ladi. Yuqoridagi o'lchash natijasidan foydalanib, har bir o'lchashdagi absolut xatolikni, so'ng o'rtacha kvadratik xatolikni hisoblaylik. Topilgan xatoliklarni 1- jadvalga yozaylik.

1- jadval

Δa_i	0,004	-0,002	-0,001	0,002	0,003	-0,003
$(\Delta a_i)^2$	$16 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$

Davomi

0,000	-0,002	0,001	-0,001	$(\Delta a_i) = 0,0023$
0,000	$4 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$\langle (\Delta a_i)^2 \rangle = 7,378 \cdot 10^{-4}$

1- jadvaldan:

$$\sum_{i=1}^n (\Delta a_i)^2 = 0,000049; \text{ (1.8) va (1.9a) ga asosan:}$$

$$S = <(\Delta a_i)^2> = \pm \sqrt{\frac{0,000049}{10 \cdot 9}} = \pm \sqrt{5,44 \cdot 10^{-7}} = 7,378 \cdot 10^{-4};$$

$$r = \Delta a_e = 0,6745 \cdot 7,378 \cdot 10^{-4} = 0,4977 \cdot 10^{-3}$$

bo'ladi. O'lchashdagi haqiqiy qiymat (1.10) ga asosan quyidagiga teng bo'ladi:

$$a_{\text{haq}} = (6,275 \pm 0,497 \cdot 10^{-3}).$$

Yana bir misol keltiraylik. Harorati $t = 22^\circ\text{C}$ va bosimi $p = 732,7$ mm sim. ust. ga teng bo'lganda havo molekullari uchun erkin yugurish yo'lining uzunligi $n = 10$ marta o'lchanganda quyidagi natijalar qayd qilingan bo'lsin deb faraz qilaylik:

$$\lambda_1 = 4,03 \cdot 10^{-5} \text{ sm}, \quad \lambda_2 = 4,69 \cdot 10^{-5} \text{ sm},$$

$$\lambda_3 = 5,24 \cdot 10^{-5} \text{ sm}, \quad \lambda_4 = 3,51 \cdot 10^{-5} \text{ sm},$$

$$\lambda_5 = 5,02 \cdot 10^{-5} \text{ sm}, \quad \lambda_6 = 4,46 \cdot 10^{-5} \text{ sm},$$

$$\lambda_7 = 4,15 \cdot 10^{-5} \text{ sm}, \quad \lambda_8 = 5,85 \cdot 10^{-5} \text{ sm},$$

$$\lambda_9 = 4,31 \cdot 10^{-5} \text{ sm}, \quad \lambda_{10} = 4,87 \cdot 10^{-5} \text{ sm}.$$

U holda

$$<\lambda> = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_{10}}{10} = 4,61 \cdot 10^{-5} \text{ sm};$$

$$|<\Delta\lambda>| = \frac{|\Delta\lambda_1| + |\Delta\lambda_2| + |\Delta\lambda_3| + \dots + |\Delta\lambda_{10}|}{10} =$$

$$= \frac{(0,58 + 0,08 + 0,63 + 1,10 + 0,41 + 0,15 + 0,46 + 1,24 + 0,30 + 0,26) \cdot 10^{-5} \text{ sm}}{10} =$$

$$= 0,52 \cdot 10^{-5} \text{ sm}$$

ga teng bo'ladi.

Shunday qilib, havo molekullarining erkin yugurish yo'lini o'lchashda yo'l qo'yilgan nisbiy, o'rtacha kvadratik va eng ehtimollik xatoliklar quyidagiga teng bo'ladi:

a) o'lchashdagi nisbiy xatolik:

$$\epsilon = \frac{<\Delta\lambda>}{<\lambda>} \cdot 100\% = \frac{0,52 \cdot 10^{-5} \text{ sm}}{4,61 \cdot 10^{-5} \text{ sm}} \cdot 100\% \approx 11\%;$$

БИБЛИОТЕКА
Бух. ТИП и ЛП
№ 4247

b) o'rtacha kvadratik xatolik:

$$S = \sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta \lambda_i)^2}{10-9}} = \pm \sqrt{0,533 \cdot 10^{-10} \text{ sm}^2} = 0,73 \cdot 10^{-5} \text{ sm};$$

d) eng ehtimollik xatolik:

$$r = \Delta a_e = \pm 0,6745 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta \lambda_i)^2}{10-9}} = 0,492 \cdot 10^{-5} \text{ sm} \approx 0,49 \cdot 10^{-5} \text{ sm}.$$

Shunday qilib, yuqoridagi xatoliklarni e'tiborga olinganda molekula erkin yugurish yo'lining haqiqiy uzunligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\lambda_{\text{haq}} = \langle \lambda \rangle \pm r = (4,61 \pm 0,49) \cdot 10^{-5} \text{ sm}.$$

Umumiy holda a_1 ni N_1 marta, a_2 ni N_2 marta va hokazo qayd qilingan bo'lsa, u holda o'rtacha arifmetik natija

$$\langle a \rangle = \frac{a_1 N_1 + a_2 N_2 + \dots + a_n N_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n a_i N_i \quad (1.11)$$

ifodadan topiladi. Bu yerda

$$\sum_{i=1}^n N_i = N_1 + N_2 + \dots + N_n = N.$$

Shuning uchun (1.11) ni quyidagicha ham yozish mumkin:

$$\langle a \rangle = \frac{N_1}{N} a_1 + \frac{N_2}{N} a_2 + \dots + \frac{N_n}{N} a_n = \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{N} a_i. \quad (1.12)$$

(1.12) ning har bir hadini olib mulohaza qilib ko'raylik. $\frac{N_i}{N}$ nisbat a_i kattalikni N marta o'lchashda N_i marotabasida a_i qiymatning chiqish ehtimolini, xuddi shuningdek, $\frac{N_2}{N}$ nisbat a_2

qiymatning chiqish ehtimolini va hokazoni bildiradi. Natijada a kattalikning o'rtacha qiymati

$$\langle a \rangle = a_1 W_1 + a_2 W_2 + \dots + a_n W_n = \sum_{i=1}^n a_i W_i \quad (1.13)$$

ga teng bo'ladi. Bu yerda $W_1, W_2, W_3, \dots$ lar mos ravishda $\frac{N_1}{N}$,

$\frac{N_2}{N}, \frac{N_3}{N}, \dots$ ni bildiradi, $\frac{N_1}{N}, \frac{N_2}{N}, \frac{N_3}{N}, \dots$ larning limiti $N \rightarrow \infty$ dagi

limiti (ya'ni $W_i = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_i}{N}$) dan iborat bo'lib, o'lchash chastotasini ko'rsatadi.

1.1. Bilvosita o'lchashdagi funksional xatoliklarni hisoblash

Ilmiy tadqiqot ishlarida va laboratoriya sharoitida ko'pchilik kattaliklar temperatura, uzunlik, bosim va hokazo kattaliklar bevosita o'lchab topiladi, lekin shunday kattaliklar borki, ularni bevosita o'lchash imkoniyati bo'lmaydi. Masalan, erkin tushish tezlanishi g , jismlarning inersiya momentlari I , solishtirma issiqlik sig'imi ϵ va hokazo. Bunday kattaliklarning qiymatlari bilvosita yo'l bilan ma'lum bir formula orqali funksional bog'langan bo'lganliklari sababli, bevosita o'lchangan kattaliklarni tegishli formulaga qo'yib hisoblab topiladi. U vaqtda bilvosita o'lchashdagi xatolik, funktsiya argumentlarini o'lchashdagi xatoliklarga bog'liq bo'ladi.

Farz qilaylik, aniqlanishi kerak bo'lgan a fizik kattalik bevosita o'lchanadigan x kattalikka bog'liq bo'lsin, ya'ni

$$a = f(x). \quad (1.14)$$

U holda a ni topishdagi absolut xatolik

$$da = f'(x)dx = \frac{\partial f(x)}{\partial x} dx \quad (1.15)$$

bo'ladi, ya'ni bitta x o'zgaruvchiga bog'liq bo'lgan $a = f(x)$ funksiyaning da absolut xatoligi, argumentning dx absolut xatoligini shu funktsiyaning birinchi hosilasiga ko'paytirilganiga teng.

Nisbiy xatolikni topish uchun (1.15) tenglikning ikkala tomoni aniqlanishi kerak bo'lgan a kattalikning qiymatiga bo'linadi:

$$\frac{da}{a} = \frac{\partial f(x)}{f(x)}. \quad (1.16)$$

(1.16) ning o'ng tomoni $a = f(x)$ funksiyaning natural logarifmidan olingan differensialni bildiradi. Binobarin,

$$\frac{da}{a} = d[\ln f(x)]. \quad (1.17)$$

(1.17) dan ko'rinadiki, bir o'zgaruvchili funksiyaning hisoblashning nisbiy xatoligi bu funksiyaning natural logarifmidan olingan differensialga teng.

Endi faraz qilaylik, aniqlanishi kerak bo'lgan a fizik kattalik bevosita o'lchanadigan x_1, x_2 kattaliklarga bog'liq bo'lsin, ya'ni

$$a = f(x_1, x_2). \quad (1.18)$$

U holda a ni topishdagi absolut xatolik da , uning argumentlarini o'lchashdagi dx_1 va dx_2 absolut xatoliklarga bog'liq bo'ladi. Argumentlarni o'lchashdagi absolut xatoliklar bilan bog'liq bo'lgan

xususiy absolut xatoliklar (1.15) ga asosan $\frac{\partial a}{\partial x_1} dx_1$ va $\frac{\partial a}{\partial x_2} dx_2$ bo'ladi. Bu xususiy xatoliklarning yig'indisi a ning absolut xatoligi da ga teng bo'ladi, ya'ni

$$da = \frac{\partial a}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial a}{\partial x_2} dx_2. \quad (1.19)$$

(1.19) dagi tashkil etuvchilarni topish uchun $\frac{\partial^2 a}{\partial x_1 \partial x_2} = \frac{\partial^2 a}{\partial x_2 \partial x_1}$ shart bajariladi deb, (1.18) dagi a ning to'liq differensialini topaylik:

$$da = \left(\frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_1} \right)_{x_2} dx_1 + \left(\frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_2} \right)_{x_1} dx_2. \quad (1.19a)$$

(1.19a) dan ko'rinadiki,

$$\frac{\partial a}{\partial x_1} dx_1 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \right)_{x_2} dx_1 \text{ va } \frac{\partial a}{\partial x_2} dx_2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \right)_{x_1} dx_2 \quad (1.20)$$

ga teng. Shunday qilib, a ni o'lchashdagi mumkin bo'lgan eng katta xatolik

$$da = \left| \frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_1} dx_1 \right| + \left| \frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_2} dx_2 \right| \quad (1.21)$$

bo'ladi. (1.21) ning har ikkala tomonini a ga bo'lib, mumkin bo'lgan eng katta nisbiy xatolik quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\frac{da}{a} = \left| \frac{\left(\frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_1} \right)_{x_2} dx_1}{f(x_1, x_2)} \right| + \left| \frac{\left(\frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_2} \right)_{x_1} dx_2}{f(x_1, x_2)} \right|. \quad (1.22)$$

Amalda foydalaniladigan xususiy hollarda (1.21) va (1.22) ifodalarni ancha soddalashtirish mumkin. Faraz qilaylik, aniqlanishi kerak bo'lgan a kattalik bevosita o'lchanadigan x_1 va x_2 kattaliklarga:

$$1. \quad a = x_1 + x_2 \quad (1.22a)$$

ko'rinishida, ya'ni yig'indi ko'rinishida bog'liq bo'lsin. U holda x_1 va x_2 ni o'lchashdan $x_1 = \langle x_1 \rangle \pm \Delta x_1$, $x_2 = \langle x_2 \rangle \pm \Delta x_2$ tengliklarni olamiz va ularni (1.22 a) ga qo'yib, $a = \langle x_1 + x_2 \rangle \pm \Delta x_1 \pm \Delta x_2$ natijaga ega bo'lamiz. Bu tenglikni (3) bilan taqqoslab,

$$\langle a \rangle = \langle x_1 \rangle + \langle x_2 \rangle; \quad \pm \Delta a = \pm \Delta x_1 \pm \Delta x_2$$

ifodalarni hosil qilamiz. Agar mumkin bo'lgan eng katta xatolik nazarda tutilayotgan bo'lsa, o'rtacha absolut xatolik uchun quyidagi tenglik hosil qilinadi:

$$\Delta a = \Delta x_1 + \Delta x_2. \quad (1.23)$$

Demak, bir nechta kattaliklar yig'indisining o'rtacha absolut xatoligi har bir kattalikni alohida o'lchashdagi absolut xatoliklar

yig'indisiga teng ekan. Agar $a = x_1 - x_2$ bo'lsa, bu holda ham xuddi shu (1.23) natijaga kelinadi.

$$2. \text{ Agar } a = x_1 \cdot x_2 \quad (1.23a)$$

ko'paytma ko'rinishda bo'lsa,

$$\langle \Delta a \rangle = \langle x_1 \rangle \cdot \langle \Delta x_2 \rangle + \langle x_2 \rangle \cdot \langle \Delta x_1 \rangle. \quad (1.24)$$

bo'ladi. Nisbiy xatolik esa barcha ko'paytuvchilar nisbiy xatoliklarining arifmetik yig'indisiga teng bo'ladi, ya'ni

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2}. \quad (1.24a)$$

3. Agar

$$a = \frac{x_1}{x_2} \quad (1.24b)$$

kasr ko'rinishida bo'lsa,

$$\Delta a = \frac{\langle x_1 \rangle \cdot \langle \Delta x_2 \rangle + \langle x_2 \rangle \cdot \langle \Delta x_1 \rangle}{x_2^2} \quad (1.25)$$

tenglik hosil bo'ladi. Kasrning nisbiy xatoligi esa surat va maxraj nisbiy xatoliklarining arifmetik yig'indisiga teng bo'ladi:

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2}. \quad (1.25a)$$

4. Agar ifoda

$$a = x^{\frac{n}{m}}, \quad (1.25b)$$

ya'ni daraja ko'rinishida bo'lsa, darajali ifodaning nisbiy xatoligi daraja ko'rsatkichi absolut qiymatining asosi nisbiy xatoligiga ko'paytmasiga teng bo'ladi:

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{n}{m} \cdot \frac{\Delta x}{x}. \quad (1.25d)$$

(1.24), (1.24a) va (1.25), (1.25a) va (1.25d) tengliklarning isboti murakkablikka olib kelmaydi. Shuning uchun bu tengliklarni isbotlashni o'quvchilarning o'zlariga havola qilamiz.

Agar izlanayotgan a kattalik n ta bevosita o'lchanuvchi $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ kattaliklarga bog'liq bo'lsa, ya'ni

$$a = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1.26)$$

bu'lsa, absolut xatolik quyidagi ifodadan topiladi:

$$da = \left| \frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)}{\partial x_1} dx_1 \right| + \left| \frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)}{\partial x_2} dx_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)}{\partial x_n} dx_n \right| \quad (1.27)$$

Nisbiy xatolik esa

$$\begin{aligned} \frac{da}{a} = & \left| \frac{\left(\frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)}{\partial x_1} \right)_{x_2, x_3, \dots, x_n} dx_1}{f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)} \right| + \\ & + \left| \frac{\left(\frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)}{\partial x_2} \right)_{x_1, x_3, \dots, x_n} dx_2}{f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)} \right| + \\ & + \dots + \left| \frac{\left(\frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)}{\partial x_n} \right)_{x_1, x_2, \dots, x_{n-1}} dx_n}{f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)} \right| \quad (1.28) \end{aligned}$$

dan topiladi. Bu ifodani (1.17) ga asoslanib, boshqacha ko'rinishda ham yozish mumkin, ya'ni

$$\frac{da}{a} = d[\ln f(x_1, x_2, \dots, x_n)] \quad (1.29)$$

(1.29) dan ko'rinadiki, nisbiy xatolikni topishda, avval funktsiyadan natural logarifm olib, so'ng shu logarifmni differensiallash kerak. Yana shuni ham aytib o'tish kerakki, bu ifodaning barcha

hadlari absolut qiymatlarining yig'indisi olinadi. Nisbiy xatolikni hisoblashdagi bu usul (1.25) formula asosida yotgan usulga qaraganda ancha qulay.

Xatoliklarni hisoblashga doir misollar

1. Elektr quvvati $W = IU$ ifodadan aniqlanadi. Quvvatni aniqlashdagi absolut xatolik bevosita o'lchanuvchi I tok kuchi va U kuchlanishlarning absolut xatoliklari orqali quyidagicha topiladi:

$$\Delta W = U\Delta I + I\Delta U.$$

Om qonuni asosida bevosita o'lchashlardan $R = \frac{U}{I}$ ifoda orqali aniqlanuvchi qarshilikning absolut xatoligini topish uchun ushbu ifodaning argumentlari (U , I) bo'yicha differensialni topamiz:

$$dR = \frac{dU}{I} - \frac{UdI}{I^2}.$$

Bu ifoda asosida funksiyaning absolut xatoligini hisoblash uchun ikkinchi had oldidagi manfiy ishorani musbat ishora bilan almash-tirish lozim: (1.24) formulaga ko'ra

$$\Delta R = \frac{\Delta U}{I} + \frac{U\Delta I}{I^2}$$

bo'ladi.

Nisbiy xatolik uchun esa (1.24a) formulaga asosan $\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}$ deb yoza olamiz.

2. Turli moddalardan yasalgan parallelepipedlarning hajmini aniqlash lozim bo'lsin. Uni

$$V = abc \quad (1.30)$$

formula asosida parallelepipedning a , b , c tomonlarini o'lchash orqali topiladi. O'lchash natijalari ($a \pm \Delta a$); ($b \pm \Delta b$); ($c \pm \Delta c$) bo'lsa, (1.30) dan a , b , c bo'yicha olingan xususiy differensial quyidagi ifodaga teng bo'ladi:

$$\frac{\partial V}{\partial a} = bc; \frac{\partial V}{\partial b} = ac; \frac{\partial V}{\partial c} = ab. \quad (1.31)$$

U holda hajmning absolut xatoligi

$$\Delta V = (bc \cdot \partial a + ac \cdot \partial b + ab \cdot \partial c) \quad (1.32)$$

bo'ladi. Nisbiy xatolik $\frac{\Delta V}{V}$ ni topish uchun (1.26) ga asoslangan holda avval (1.30) dan natural logarifm olamiz:

$$\ln V = \ln a + \ln b + \ln c. \quad (1.33)$$

(1.33) ni hadma-had differensiallab, differensialdan xatolikka o'tsak,

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} \quad (1.34)$$

hisob bo'ladi. Shunday qilib, V hajmini topishdagi absolut va nisbiy xatolik bevosita o'lchanadigan a , b va c kattaliklarning absolut va nisbiy xatoliklariga bog'liqligi (1.32) va (1.34) formulalardan ko'rinib turibdi.

3. Matematik mayatnikning oddiy tebranish davri $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ dan foydalanib, og'irlik kuchining tezlanishini aniqlash mumkin:

$$g = \pi^2 \frac{l}{t^2}. \quad (1.35)$$

O'lchash natijalari quyidagicha qayd qilingan bo'lsin:

4. l uzunlik 0,1 mm aniqlik bilan o'lchanib, uning uzunligi 30,02 sm ga teng bo'lsin.

a) Absolut xatolik $\Delta l = \pm 0,01$ sm; b) nisbiy xatolik $\frac{\Delta l}{l}$ esa 0,0002 = 0,02% ga teng bo'ladi.

2. Tebranish davri $\Delta t = 10^{-4}$ s aniqlik bilan o'lchanib, davr $t = 1,4196$ s ga tengligi qayd qilingan bo'lsin. Absolut xatolik $\Delta t = \pm 10^{-4}$ s ga, nisbiy xatolik esa $\frac{\Delta t}{t} = \pm 0,00014 = \pm 0,014\%$ ga tengligi aniqlanadi.

Yuqoridagi t ni va l ni o'lchashda sodir bo'lgan absolut va nisbiy xatoliklardan foydalanib, g ni o'lchashdagi absolut va nisbiy xatoliklarni aniqlash kerak bo'lsin.

a) O'lchashdagi mumkin bo'lgan eng katta absolut xatolikni aniqlaylik. (1.21) ga asosan (1.35) dan xususiy differensial olib, quyidagi

$$dg = \frac{\partial \left(\pi^2 \frac{l}{t^2} \right)}{\partial l} dl + \frac{\partial \left(\pi^2 \frac{l}{t^2} \right)}{\partial t} dt = -\pi^2 \frac{l}{t^2} dl + 2 \frac{\pi^2 l}{t^3} dt \quad (1.36)$$

munosabatni hosil qilamiz.

(1.36) dagi dl va dt ning o'rniga (yoki Δl va Δt larning o'rniga) $0,01 \text{ sm}$ va 10^{-4} s larni, l va t larning o'rniga esa mos ravishda $50,02 \text{ sm}$ va $1,4196 \text{ s}$ larni qo'yib, g ni o'lchashda mumkin bo'lgan eng katta absolut va nisbiy xatoliklarni topamiz. Eng katta absolut xatolik quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta g = \Delta g_l + \Delta g_t = \pm 0,33 \frac{\text{sm}}{\text{s}^2}.$$

Mumkin bo'lgan eng katta nisbiy xatolikni aniqlash uchun (1.29) ga asoslangan holda (1.35) dan avval natural logarifm olib, so'ngra differensiallaylik:

$$d(\ln g) = d(\ln l) + 2d(\ln t). \quad (1.37)$$

Differensiallash amalini bajarib, differensialning d belgisini absolut xatolikning Δ belgisiga $dg = \Delta g$, $dl = \Delta l$ va $dt = \Delta t$ almashtirsak, nisbiy xatolik quyidagiga teng bo'ladi:

$$\varepsilon = \frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{2\Delta t}{t} = d(\ln l) + 2d(\ln t) = \pm 0,00034$$

yoki

$$\frac{\Delta g}{g} \cdot 100\% \approx \pm 0,03\%.$$

4. Jismlarning inersiya momentini trifilyar osma yordamida

$$I = \frac{mgRr}{4\pi^2 l} T^2 \quad (1.38)$$

formula bilan hisoblanadi. Nisbiy xatolikni aniqlash uchun (1.35) ni xuddi (1.29) kabi natural logarifmlab, so'ng undan differensial olish kifoya, ya'ni

$$d = \frac{e \Delta T}{e T^2} = d(\ln m + \ln R + \ln r + 2 \ln T + \ln I) \quad (1.39)$$

bu formula bilan hisoblanadi. (1.38) formulaga kirgan boshqa kattaliklar o'zgarmas, son qiymatlari aniq bo'lib, jadvaldan olinadi. Shuning uchun ular xatolikni aniqlashda hech qanday vazifani o'tamaydi.

Taqribiy sonlarni yozishning maxsus hollari. Tajribadan olingan natijalarni formula asosida aniq hisoblash, ularning haqiqatga yaqin qiymatlarini tanlay bilish, kattalikning son qiymatlarini xatoliklarni hisobga olgan holda yaxlitlash kabi operatsiyalar eksperimentatordan zo'r mahorat va ziyraklikni talab etadi.

Kattalikning son qiymatini hisoblashda ham absolut, ham nisbiy xatoliklarning bo'lishi muqarrar. Shuning uchun ham kattalikning son qiymatini aniqlashda quyidagi ikki holga e'tibor berish kerak.

1) Hisoblash formulasida qatnashuvchi ayrim taqribiy kattaliklar (masalan, π va e sonlari, logarifmlar va trigonometrik funksiyalar)ning qiymatlari jadvalda berilgan bo'ladi. Ularning haqiqiy qiymatini shu jadvalda keltirilgan qiymatlardan shunday tanlash kerakki, bu tanlangan qiymatlarning aniqligi o'lchanayotgan kattalik aniqligidan ortiq yoki kam bo'lmasligi lozim. Masalan, o'lchanayotgan kattalikning qiymati butun qismdan so'ng o'n mingdan bir aniqlikda topilsa, uning qiymatini hisoblashda qatnashuvchi e sonining qiymati $e = 2,7183$ ga, π sonining qiymati $\pi = 3,1415$ ga teng deb olinishi kerak, aksincha, o'ndan bir aniqlik kerak bo'lsa, $e = 2,7$, $\pi = 3,1$ ga teng deb olinishi kerak.

2) Kattalikning son qiymatini yozishda qiymatli va qiymatli bo'lmagan raqamlarga e'tibor berish kerak. Sonlar qatorida 1 dan 9 gacha bo'lgan raqamlar, sonlar orasida kelgan 0 ham qiymatli raqam hisoblanadi, ammo o'nli kasrlarda nollar raqamdan chap tomonda tursa, qiymatli raqam bo'lmaydi. Masalan, 0,000105 sonida 1 raqami oldidagi nollar qiymatli bo'lmaydi, 1 va 5 raqamlari orasidagi nol esa qiymatlidir. Xuddi shuningdek, 15,5; 15,50 va 15,500 sonlari teng kuchli hisoblanmaydi. Chunki ulardan birinchisi o'ndan bir, ikkinchisi yuzdan bir, uchinchi mingdan bir aniqlikda o'lchanganligi uchun ikkinchi va uchinchi natijadagi nollar ham qiymatli bo'lib, ularni tashlab yozish mumkin emas.

Taqribiy hisoblash qoidalari. Biror kattalikni taqribiy hisoblashda quyidagi qoidalarga rioya qilish kerak.

1) Bir nechta sonni qo'shish (yoki ayirish)da yig'indi (yoki ayirma)ning kasr qismi qo'shiluvchi (yoki ayiriluvchi)ning qiymatli qismidan bitta kam qilib quyidagicha yoziladi:

$$3,25 + 0,55 + 0,15 = 3,455 \approx 3,45, \\ 1,37 - 1,175 = 0,195 \approx 0,19.$$

2) Taqribiy sonlarni ko'paytirish (yoki bo'lish)da ko'paytuvchilar (yoki bo'linuvchi va bo'luvchi) da nechta raqam qiymatli bo'lsa, ko'paytma (yoki bo'linma)da ham shuncha qiymatli raqam qoldiriladi:

$$6,231 \cdot 5,52 = 6,2 \cdot 5,5 = 34,10 \approx 34,1, \\ 6,252 : 1,25 = 6,25 : 1,25 = 5,0.$$

3) Biror sonni darajaga ko'tarishda shu sonda nechta qiymatli raqam bo'lsa, natijada ham shuncha qiymatli raqam saqlanadi:

$$(1,25)^2 = 1,5625 \approx 1,56.$$

Bu qoidani ildiz chiqarishda ham qo'llash mumkin:

$$\sqrt{1,72} = 1,313 \approx 1,31.$$

4) Sonlar logarifmini jadvaldan aniqlashda natijadagi qiymatli raqamlar soni logarifmlanayotgan sondagi haqiqiy raqamlar soniga teng qilib olinadi (bu yerda raqamdan keyin kelgan nolni hisobga olmaymiz):

$$\lg 45,8 = 1,661, \quad \lg 67,54 = 1,8299.$$

O'lchashlar natijasini jadval va grafik yordamida ifodalash. Eksperiment natijalarini jadval, grafik va empirik formulalar ko'rinishida berish, olingan ma'lumotni tahlil qilish hamda fizik, kattaliklar orasidagi qonunlar va turli bog'lanishlarni aniqlashda ancha qulaylik yaratadi.

Ma'lumki, har qanday o'lchashda eng kamida ikkita kattalik qatnashadi. Ulardan birini x o'zgaruvchi, ikkinchisini x ga bog'liq bo'lgan y o'zgaruvchi desak, ularning funksional bog'lanishi $y =$

7(x) ko'rinishda beriladi. Umumiy holda x — argument, y esa funksiya deyiladi. x va y lar qiymatlari asosida jadval tuzishda quyidagi talablar qo'yiladi:

1) o'lchash natijalariga oid jadvallar bir nechta bo'lsa, ular albatta nomerlanishi shart;

2) argument va funksiya bitta qatorga joylashtirilib, ularning nomlari va o'lchov birliklari ham keltirilishi kerak;

3) x va y ning qiymatlari vertikal ustun bo'ylab kamayib borish tartibida yozilib, butun qism, vergul va ulushlar bitta vertikal bo'ylab joylashishi kerak.

Jadvaldan foydalanib, argument va funksiya qiymatlarini matematik hisoblash yoki grafik usulda aniqlashning ikkita muhim usuli mavjud.

a) *Interpolatsiya usuli*. Bu y funksiyaning jadvalga tushmagan oralig' qiymatini x argumentning unga mos qiymati orqali hisoblab topish demakdir, ya'ni

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x_2 - x_1). \quad (1.40)$$

Masalan, bizga tovushning benzolda tarqalish tezligining 17°C temperaturadagi qiymati kerak bo'lsa, shu formula asosida tovush tarqalish tezligi v ning jadvalda berilgan 10°C va 20°C dagi qiymatlaridan foydalanib, 17°C dagi tezlikni topamiz. (Bu yerda v funksiya — tovushning v tarqalish tezligi, o'zgaruvchan argument — temperatura. Umuman olganda, o'zgaruvchi sifatida temperatura, vaqt, bosim, chastota, konsentratsiya va hokazolar qabul qilinadi.) Demak, *interpolatsiya* deganda jadvalda keltirilgan kattalikning ikkita ketma-ket qiymati oralig'idagi qiymatni topish tushuniladi.

b) *Eksrapolatsiya usuli*. Har qanday eksperiment natijasi x o'zgaruvchi qiymatining ma'lum intervalida yotishi mumkin. Lekin ayrim hollarda x ning tajribada topilgan qiymatlari intervalidan tashqaridagi qiymati asosida y ning unga mos qiymatini topish zarur bo'lib qoladi. Uning qiymatini topishning bunday usuli *eksrapolatsiya* deb yuritiladi. Bu usul ham interpolatsiya kabi, argument va funksiya qiymatlarini jadvaldan foydalanib hisoblashda hamda grafik yasashda qo'llaniladi.

O'lchashlar natijasini grafik tasvirlashning jadval usulidan ustunligi shundaki, u kattaliklarni taqqoslashni osonlashtiradi, funksiyaning maksimum, minimum va uzilish nuqtalarini, uning davriyligini aniqlash imkonini beradi.

Grafiklar yasashda bir qator asosiy qoidalarga amal qilish zarur.

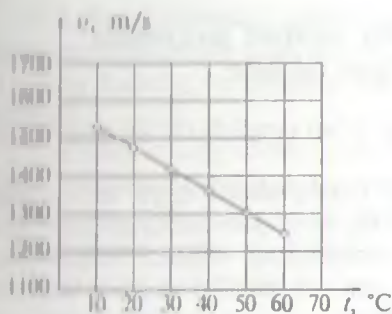
1) Masshtab tanlanadi: a) o'zgaruvchi (argument)ning qiymati odatda abssissa o'qiga, funksiyaning qiymati esa ordinata o'qiga qo'yilishi kerak. Qaysi bir kattalikni o'zgaruvchi, qaysi bir kattalikni funksiya qilib tanlash eksperiment sharoitidan kelib chiqiladi; b) masshtabni shunday tanlash kerakki, bunda grafikdagi har bir nuqtaning koordinatasi oson aniqlansin. Grafalarga bo'lingan millimetrli qog'ozda chizilgan koordinata to'ri har bir chizig'i ostida yoki to'g'risida, albatta yozuv bo'lishi kerak. Bu yozuvlarni yaxlitlagan holda keltirish lozim. Shuningdek, har bir koordinata o'qiga qo'yilgan kattalikning nomi (yoki shartli belgisi) va o'lchov birligi yozilishi shart; d) agar grafik juda yoyilib ketadigan bo'lsa, uni logarifmik masshtabga o'tkazish kerak. Bunda koordinata sistemasining faqat bitta yoki har ikkala o'qi bo'yicha o'tkazsa bo'laveradi.

2) x va y koordinata o'qlari nol qiymatlarida kesishishi shart emas. Qulaylik uchun zarur vaqtda o'qlardan bittasini yoki har ikkalasini chizmaning istalgan nuqtasiga ko'chirish mumkin.

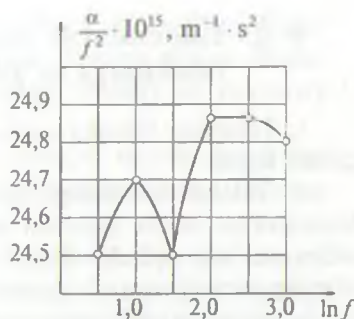
3) O'lchash natijalariga mos qiymatlar koordinata tekisligida belgilab chiqiladi.

4) Chizmadagi o'lchash natijalarini xarakterlovchi belgilar orqali bir tekis to'g'ri yoki egri chiziqli o'tkaziladi. Bu chiziqli iloji boricha belgilarga yaqinroq o'tishi kerak. Lekin ularning hammasiga tegib o'tishi shart emas. Ayniqsa, chiziqni o'lchash xatoligi katta bo'lgan eng birinchi va oxirgi o'lchashlarda olingan natijalarga oid belgilarga to'g'rilash noto'g'ri bo'ladi. Chiziqli uzluksiz bir tekis o'tkazilib, belgilar uning atrofida bir xil masofada joylashsa, grafik to'g'ri chizilgan bo'ladi.

Yuqorida keltirilgan qoidalarga ko'ra quyida ikkita — to'g'ri (1-a rasm) va noto'g'ri chizilgan (1-b rasm) grafiklarni keltiramiz. 1-a rasmda tovushning suvda tarqalish tezligining temperaturaga bog'liqligi berilib, u qoidaga rioya qilingan holda chizilgan. 1-b rasmda esa suvda tovushning yutilish koeffitsientining chastotaga bog'lanish grafigi berilgan. Stoks qoidasi bo'yicha



a)



b)

1- rasm.

o'lchashlar suv uchun $\frac{\alpha}{f^2} = \text{const}$ ekanligini ko'rsatishiga qaramay, mashtab noto'g'ri tanlanishi, xatoliklarning juda ham kichkina qilib olinishi tufayli noto'qri grafik yasalgan. Umuman olganda, grafikdagi qo'shni chiziqlar oralig'i absolut xatolikdan kichik bo'lmashligi kerak.

O'lchashlarning yozilish tartibi va bajarilgan laboratoriya ishi to'g'risidagi hisobot. Yuqorida aytib o'tganimizdek, o'lchanayotgan fizik kattaliklar ikki va undan ortiq bo'lib, ulardan faqat bittasi funktsiya rolini, qolganlari esa argument vazifasini o'taydi. Xullas, ular orasidagi funksional bog'lanish tenglik yoki tenglama ko'rinishida beriladi. Shu tenglikning chap tomonidagi kattalikning qiymati uning o'ng tomonidagi kattaliklar qiymatini hisoblash orqali quyidagi tartibda topiladi.

1. Tenglikning o'ng tomonida qatnashuvchi barcha kattaliklarning qiymatlari yetarli darajada aniq o'lchanadi va uning chap tomonidagi kattalik (funktsiya)ning qiymati berilgan tenglik yordamida hisoblanadi.

2. O'lchash natijalarini hisoblab chiqishda ulardan avvalo eng ishonchilari olinadi. Noaniqroq bo'lgan natijalar tashlab yuborilib, o'lchash takrorlanadi. Har bir o'lchash natijasining o'rtacha arifmetik qiymati, uni aniqlashdagi o'rtacha absolut xatolik va nisbiy xatolik topilib, natija quyidagicha yoziladi:

$$y = \langle y \rangle \pm \langle \Delta y \rangle; \quad \varepsilon = \frac{\langle \Delta y \rangle}{\langle y \rangle} \cdot 100\%.$$

4- §. Laboratoriya ishlarini bajarish jarayonida talabalarga qo'yiladigan talablar

1. Talabalar texnika xavfsizligi bilan tanishib chiqib unga amal qilishi kerak.

2. Talaba navbatdagi amaliy mashg'ulotda qaysi nomerdagi laboratoriya ishini bajarishi lozimligini o'qituvchi unga bir hafta oldin ma'lum qiladi. Bu yerda talabaning vazifasi belgilangan ishning nazariyasini o'zlashtirish, tegishli qurollar va ishni bajarish tartibi bilan tanishib kelishdan iborat.

3. Har bir talaba laboratoriya ishlari uchun maxsus hisobot daftari tutib, bu daftarda laboratoriya ishini qanday bajarganligi, olgan natijalari to'g'risidagi hisobotni tartibli qilib yozib borishi kerak.

4. O'qituvchi talaba ishning nazariyasini va ishni bajarish uslubini o'zlashtirganligiga ishonch hosil qilgach, unga ishni bajarishiga ruxsat beradi.

5. Talaba ishga kirishgach, o'qituvchi uning qurollardan to'g'ri foydalanayotganligini, olinayotgan natijalarning ishonchligini ishni bajarish jarayonida tekshirib boradi va talabaning ishini bajarganligi to'g'risida uning daftariga hamda laboratoriya jurnaliga belgilab qo'yadi.

6. Laboratoriya ishining bajarilishi va olingan natijalar hisoboti o'qituvchiga grafik bo'yicha topshirib boriladi. Bu haqda o'qituvchi tomonidan talaba daftariga va laboratoriya jurnaliga qayd qilinadi.

7. Agar talaba biror sababga ko'ra bitta yoki ikkita ishni bajara olmasa, qolib ketgan ishni darsdan tashqari vaqtda laboratoriya mudirining nazoratida bajarishi va o'qituvchiga bu haqdagi hisobotni topshirishi shart. Talabaning o'zboshimchalik bilan ish navbati grafigini buzishi qat'iy man etiladi.

8. Har bir talaba o'quv semestri davomida o'quv ishchi dasturida ko'rsatilgan praktikum mashg'ulotini bajarishi va barcha ishlar yuzasidan umumiy kollokvium topshirishi lozim. Shundan keyin o'qituvchi talabaning sinov daftarchasiga va sinovlar varag'iga talaba to'plagan balini qo'yadi.

9. Laboratoriya darsi mashg'ulotlarida aktiv va namunali qatnashgan, barcha ishlarning natijalarini ilmiy saviyada olishga muvaffaq bo'lgan ayrim talabalar o'qituvchi tavsiyasiga ko'ra, kafedraning qaroriga binoan predmet kollokviumidan va zachyot topshirishdan ozod qilinadi.

10. Laboratoriyadagi asbob-uskunalar va boshqa o'quv jihozlariga sovuqqonlik bilan qarash natijasida ularni ishdan chiqar-gan talaba kafedra va dekanat tomonidan moddiy va ma'naviy jazolanadi.

11. Amaliy mashg'ulotlar olib borilayotgan vaqtda guruhdagi boshqa talabalarining ishdan e'tiborini chalg'itmaslik, ularning o'chashlariga xalaqit bermaslik zarur.

Talabalarga ayrim maslahat va ko'rsatmalar. Inson salomat-ligida ozodalik qanchalik muhim bo'lsa, laboratoriya ishidagi muvaffaqiyat uchun ham qo'llanayotgan asbob va jihozlarning, qurilmalarning toza hamda tartibli tutilishi shunchalik zarurdir. Shuning uchun ularni doimo ehtiyot qiling va ozoda tuting. Ishni bopati bo'lgach, ish stolingizni tartibga keltirib qo'ying.

Har bir laboratoriya ishini bajarish eksperimentatordan katta qimmat talab qiladi. Agar ish natijasini to'g'ri aniqlay olmasangiz ularni to'g'ri yo'l bilan to'g'rila-mang. Yaxshisi rahbaringizga maslahat qiling, balki siz biror narsani hisobga olmayotgan yoki adolatni yaxshi sozlamagan bo'lishingiz mumkin.

Ehtiyotkorlik — xavfsizlik garovidir. Turli xil og'ir moslamalar, turli xil shisha qurilmalardan foydalanishda, elektr toki bilan ishlashda, optik sistemalarni va asboblarni o'rganishda diqqatli va e'tiborli bo'ling.

Zaharli kimyoviy moddalardan foydalanilganda juda ehtiyot bo'ling. Ayniqsa, simob bug'i organizm uchun xavflidir. Shuning uchun termometrlarning sinishiga, manometrlardan simob to'kilishiga aslo yo'l qo'ymaslik kerak.

Ishning muvaffaqiyati sizga ahamiyatsizdek tuyulgan mayda talabalarga bog'liq bo'lishi mumkin. Shuningdek, tajriba davomida kutilmagan biror hodisa ro'y berib qolishi mumkin. Ularni sezib olish sizdan o'ta sinchkovlik va sezgirlikni talab qiladi. Shuning uchun ish bajarish jarayonida kuzatuvchan bo'ling.

Mashg'ulot o'tkazish davomida reaktivlarni (efir, atseton, dinatural etil spirt), turli xil materiallarni, bidistillatni, gazni va elektr energiyasini tejamkorlik bilan sarflang.

O'z vaqtini to'g'ri va unumli taqsimlash eksperimentatorning eng muhim vazifasi bo'lmog'i kerak.

II. ELEKTR ZANJIR QISMLARINI O'RGANISH

Elektr zanjirning asosiy qismlari — tok manbayi, simlar va elektr energiya iste'molchisi hisoblanadi. Zanjir parametrlari (kuchlanish, tok kuchi)ni o'lchash, shuningdek, bu parametrlarni boshqarish uchun elektr o'lchov asboblari, kalitlar, ikkiyoqlama ulagichlar va iste'molchidagi tok hamda kuchlanishni o'zgartirish maqsadlarida qo'llaniluvchi turli qismlar: rezistorlar, kondensatorlar, drossellar va boshqa murakkab o'zgartiruvchi asboblari ishlatiladi.

1- §. Tok manbalari

Tok manbayi deb, elektr zanjirning shunday ajralmas qismiga aytiladiki, unda chet (elektrostatik tabiatga ega bo'lmagan) kuchlar elektr zaryadlarini harakatga keltiradi. Chet kuchlarning tabiatiga qarab tok manbalari elektromexanik, elektromagnitomekanik, kimyoviy, fotoelektrik va hokazo bo'lishi mumkin.

Tok manbayining asosiy parametrlari:

$\mathcal{E}$ — EYK, zanjirga ulanmagan tok manbayi klemmalaridagi kuchlanish, r — ichki qarshilik, i_{maks} — manbadan olinish mumkin bo'lgan maksimum tok kuchi, hamda Q — manbaning tashqi zanjirga bera oladigan to'liq zaryadi hisoblanadi.

$\mathcal{E} = iR + ir$ bo'lganligi sababli (bunda R zanjirning tashqi qarshiligi) tok kuchi maksimum qiymat $i_{\text{maks}} = \frac{\mathcal{E}}{r}$ ga $R = 0$ da erishadi. Bunda manba klemmalari yo'g'on sim bilan qisqa ulanadi, shuning uchun yuzaga keladigan tokni i_q — qisqa tutashuv toki deb yuritiladi. Lekin i_{maks} ni bunday aniqlash uchun r yetarlicha katta bo'lishi kerak. Kichik r larda manba qisqa tutashuvga chiday olmaydi, buziladi. Shuning uchun

$$i_{\text{maks}} \leq i_q = \frac{\mathcal{E}}{r} \quad (2.1)$$

bo'ladi.

$Q = \int i dt$ parametr manba sig'imi*¹ deb yuritiladi. Bu kattalik

bulonlarda, ko'pincha amper-soatlarda o'lchanadi: 1 A·soat = 3600 C. Bu kattalik kimyoviy va atom tok manbalari uchun bo'ladi.

Tok manbalarining o'zgarmas va o'zgaruvchan (sinusoidal, kosinusoidal, impulsli) toklarni yuzaga keltirishi ham e'tiborga molik. O'zgaruvchan va impulsli tok manbalari generatorlar deb ataladi. Bu zida o'zgarmas tok generatorlari haqida ham gapiriladi.

Kimyoviy tok manbalari va mashinali generatorlar eng ko'p tarqalgan. Kimyoviy tok manbalariga galvanik elementlar va akkumulyatorlar kiradi.

Katta tok va katta sig'im kerak bo'lganda elementlar parallel ulanadi. Bunda tok va sig'im qo'shiladi. EYK ni oshirish uchun elementlar ketma-ket ulanadi. Elementlarni bir-birlariga ulash bilan **Ammora** deb ataluvchi manbalar hosil qilinadi. N ta elementdan tashqari batareya tok kuchining ifodasi qo'yidagicha bo'ladi:

$$i = \frac{m\mathcal{E}}{R+r\frac{m}{n}} = \frac{m\mathcal{E}}{R+r\frac{m^2}{N}}, \quad (2.2.)$$

bu yerda $\mathcal{E}$ va r — bitta element parametrlari, m — ketma-ket ulangan elementlarning soni, n — parallel tarmoqlar soni, N — ulangan barcha elementlar soni.

Galvanik elementlar va akkumulyatorlardan olinadigan **elektroenergiya** mashinali generatorlardan olinadigan energiyalarga nisbatan ancha qimmat turadi, lekin element va akkumulyatorlarning boshqa e'tiborli tomonlari shundaki, ular avtonomdir. Shuning uchun ular bir yerdan ikkinchi yerga yuruvchi asboblarda, avtomatlar va hokazolarda keng qo'llaniladi.

Elektromagnit mexanik generatorlarni boshqacha mashinali yoki **elektrotexnik generatorlar** deb ham yuritiladi. Ularda tok ma'nosidagi stator deb ataluvchi qobig'iga nisbatan aylanishidagi

* 1. Ulardan biri bu atamaning ma'nosi kondensatorning «elektr sig'imi» atamasi bilan o'z o'ziga qo'yilgan qo'llanilgan.

mexanik energiya hisobiga yuzaga keladi. Elektromagnit induksiya hodisasidan foydalanib, EYK hosil qilinadi. Bunda EYKning qiymati $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$ formula orqali topiladi. Bu yerda Φ konturni kesib o'tuvchi magnit oqimi.

2- rasmda magnit qutblari orasiga kiritilgan o'tkazgichdan yasalgan ramka (kontur) tasvirlangan. Bunda magnit maydon kuch chiziqlari va ramka tekisligiga o'tkazilgan normal orasidagi burchak α bo'lsin. Ramka burilganda uni kesib o'tuvchi magnit oqimi

$$\Phi = \Phi_0 \cos \alpha = B \cdot S \cos \omega t$$

qonun bo'yicha o'zgaradi.

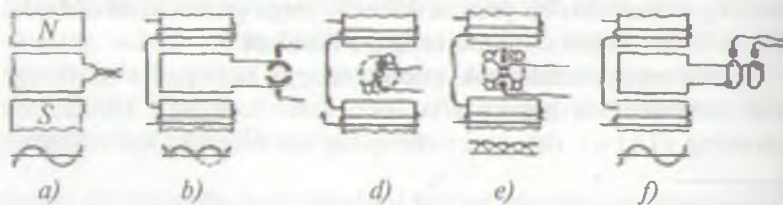
Bu yerda aylanuvchi ramkaning burchak tezligi. Bu hol

$$\mathcal{E} = \omega B \cdot S \sin \omega t \quad (2.3)$$

bilan aniqlanadigan EYKning yuzaga kelishiga, unga iste'molchi ulanganda esa sinusoidal tokning yuzaga kelishiga olib keladi.

O'zgaruvchan real tok generatorlarida bitta kontur o'rniga ko'p sondagi o'ramlar ishlatiladi. O'zgarmas magnit o'rniga ko'pchilik hollarda elektromagnit ishlatiladi. U o'sha generatorning o'zidan tok bilan (o'z-o'zini ta'minlash asosida) ta'minlanadi. O'ramlarning uchlari ikkita izolyatsiyalangan halqalarga ulanadi. Halqalardan ularga tegib turuvchi shchytokalar orqali tashqi zanjirga kuchlanish olinadi (2-b rasm).

Real sanoat generatorlarida rotor o'ramlarining tuzilishi va elektromagnit qutblarining shakli ancha murakkab bo'ladi. Undan tashqari, katta tok beruvchi sanoat generatorlarida odatda rotor va stator rollari almashinadi: rotorga shchytokalar orqali o'zgarmas



2- rasm.

tok berilib, rotorni aylanuvchi elektromagnit — induktor rolda ishlatiladi. Statorda esa elektr manbayiga ketuvchi o'zgaruvchan tok hosil qilinadi. Natijada so'nggi katta o'zgaruvchan tokni shch'yotkalardan o'tkazishning o'рни qolmaydi. Bu esa eng foydali tok hisoblanadi, aks holda shch'yotkalarda katta uchqunlanish yuzaga kelgan bo'lar edi.

Hanotda ko'pincha uch fazali o'zgaruvchan tokdan foydalaniladi. Statorda bir-biriga nisbatan 120° ga siljigan uchta o'ram joylashtirilgan bo'ladi.

Mashinali generatorlarning tuzilishi elektrotexnika kursida o'qib yoritiladi. Mashinali generatorlar turli EYK va toklarga moslab yasoladi. Shuning uchun ularning quvvatlari bir necha marta ortib bir necha megavattgacha bo'ladi.

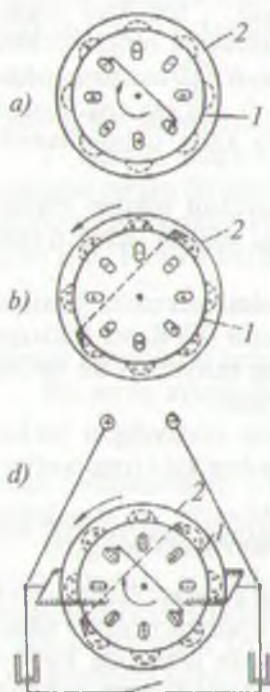
Ichki yonuv dvigatellaridan foydalanib ishlaydigan kichik quvvatli generatorlar avtomobil, traktor, samolyot kabi transportlarda qo'llaniladi.

EYKni boshqa prinsiplar asosida yuzaga keltiruvchi tok manbailari (generatorlar) ham mavjud.

Elektromexanik (elektrostatik) generatorlar faqat o'quv laboratoriyalarida, ayrim hollarda esa ilmiy laboratoriyalarda ishlatiladi. Bu generatorlarning quvvati kam, lekin ular juda katta — 100 kilovolt, hatto 10 megavolt kuchlanishlarni yuzaga keltirish imkoniyatiga ega. Ularga Van-de-Graaf generatori va elektrofor mashinalar kabi generatorlar misol bo'la oladi. Bu asboblarda ishtirok etish yoki kontakt potentsiallar ayirmasi hisobiga zaryadlarni ajratish, bu zaryadlarni elektrostatik induksiya hodisasi hisobiga o'tirish amalga oshiriladi. So'ng zaryadlangan detallarni bir-biridan ajratish orqali, bunda elektr sig'imi kamayib, zaryad o'zgarmagan holda kuchlanish $U = \frac{Q}{C}$ gacha ortib boradi.

Elektrofor mashina o'quv namoyish asbobi bo'lib, uning asosiy qismini ikkita bir xil izolyatsiyalovchi diskdan iborat. Disklar qarama-qarshi tomonga aylanadi. Disklarga metall folgadan bir xil shaklda yasalgan qoplama simmetrik ravishda bir-biridan bir xil masofada qilib butun disk bo'ylab yopishtirib chiqilgan.

1-rasmda tushuntirish oson bo'lishi uchun orqa tomonda joylashgan disk biroz katta o'lchamda chizilgan bo'lib, 2 raqami



3- rasm.

bilan belgilangan. Ikkinchi diskka yopishtirilgan qoplamalarning birida tasodifan musbat zaryad paydo bo'lgan deb faraz qilaylik (3-a rasm). Bu qoplamani 1- diskning diametrial qarama-qarshi tomonda turgan qoplamasi bilan metall shchyotkali o'tkazgich orqali ulaymiz. Shchyotkalarining joylashishiga ko'ra chap yuqori qoplamadan musbat zaryad o'ng past qoplamaga o'tadi. Bu vaqtda qoplamalardagi elektr zaryadlarining ishoralari elektrostatik induksiya tufayli o'zaro qarama-qarshi ishorali bo'ladi. 1- diskni soat mili bo'yicha yarim aylanaga aylantiramiz. Natijada yuqori o'ng qismining hammasi manfiy, chap past qismining hammasi esa musbat zaryadlanadi. 2- diskning ham qarama-qarshi turgan qoplamalarini shchyotkali o'tkazgich bilan 3-b rasmda ko'rsatilgandek qilib ulaymiz. Endi bu yerda 1- diskdagi zaryadlarning maydoni ta'siri ostida elektrostatik induksiya yuzaga keladi. Lekin zaryadlarning ajralishi

endi ancha ko'p bo'ladi, chunki bir emas, bir nechta zaryadlangan qoplamalar ta'sir ko'rsatadi. 2- disk soat milining aylanishiga qarshi burilganda zaryadlar rasmda ko'rsatilgandek taqsimlanadi.

Agar 1- diskni yana soat milining yo'nalishi bo'ylab bursak, unda yanada ko'p zaryad paydo bo'ladi (2-d rasm). Zaryadlar sonini orttirishni shu tariqa davom ettirish mumkin.

Disklar qarama-qarshi yo'nalishda aylanma harakatga keltirilganda mexanik energiya elektr energiyaga aylanadi.

Diskning bir xil zaryadlar paydo bo'lgan joylariga qoplamalarga tegib turmaydigan uchli o'tkazgichlar o'rnatiladi. Katta miqdordagi zaryadlar to'plana boshlaganda ular ana shu o'tkazgich uchiga oqa boshlaydi. Bu uchli o'tkazgichlar tashqi zanjir uchun

Termoelektron generator – vakuumli diodning qizdirilgan katodidan uchib chiquvchi elektronlar yuzaga keltiradigan tokdan foydalanishga asoslangan.

Magnitogidrodinamik generator (MGD) – generator yonilg'i yonganida yoki biror reaksiya hisobiga hosil bo'ladigan ionlashgan *gaz-plazma* energiyasiga asoslangan. Bu energomanbalarining FIKlari ancha yuqori.

O'quv laboratoriyalarida foydalaniladigan tok manbalari ikki xil: o'zgarmas va o'zgaruvchan bo'lib, o'zgarmas tok manbalariga elementlar va akkumulyatorlar misol bo'ladi. Ulardagi kuchlanish 2 V dan ortmaydi. Shuning uchun bunday tok manbalarini ketma-ket ulab batareya hosil qilish orqali yuqori kuchlanish olinadi. Ayrim hollarda o'zgaruvchan tok to'g'rilagichlari yordamida o'zgarmas tok olinadi.

O'quv tajriba laboratoriyalarida quyidagi o'zgaruvchan tok to'g'rilagichlaridan foydalaniladi. 1) Maktab elektr rostdash shchiti. 2) BCA-10A, BC-24A, BC-12, BCA-5A, BCA-111B yarim-o'tkazgichli to'g'rilagichlar va BK-1, BK-2, BK-3 lampali to'g'rilagichlar.

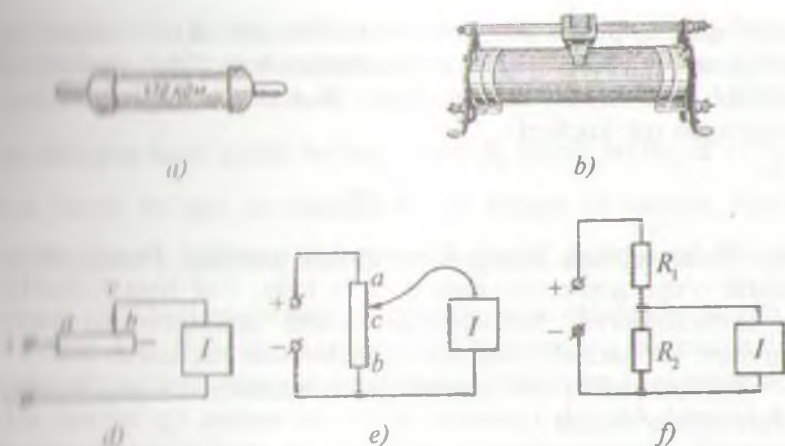
O'lchash qurilmasi ulanishi zarur bo'lgan tok manbayi qisqichlari yoniga yoki boshqacha aytganda o'tkazgich mahkamlanadigan yerining yaqiniga) manbadagi kuchlanishning qiymati, o'zgaruvchan ($\approx$) yoki o'zgarmas ($=$) tok ekanligini ko'rsatuvchi belgi qo'yilgan bo'ladi.

O'zgarmas tok manbayi qutblari aniq bo'lishi uchun uning qisqichlariga musbat (+) va manfiy (–) belgilari qo'yilgan bo'ladi. Tok manbayining qisqichlarida kuchlanish bor-yo'qligi maxsus o'lchash asboblari yordamida tekshirib ko'riladi.

Agar qutblar orasida hosil bo'luvchi elektr maydon vaqt o'tishi bilan miqdor va yo'nalish jihatidan o'zgarib tursa, manba o'zgaruvchan tok manbayi bo'ladi. O'zgaruvchan tok manbalari bo'yicha 2-a, b rasmlarga qarang.

2- §. Tok (kuchlanish) o'zgartirgichlari

Agar tok manbayining kuchlanishi yoki undan olinadigan tok kuchi iste'molchining ishlashi uchun kerak bo'lgan kuchlanishga yoki tok kuchiga to'g'ri kelmasa, manba quvvati yetarlicha katta



4- rasm.

ba'lganda undan olinadigan kerakli kuchlanish va tok kuchlari demak tok (kuchlanish) o'zgartirgichlari yordamida olish mumkin. Tok (kuchlanish) o'zgartirgichlarga reostat, kuchlanish bo'lgich (potensiometr), transformator, to'g'rilagich, o'zgarmas tokni o'zgartiruvchi tokka yoki ma'lum bir chastotali tokni boshqa chastotali tokka aylantirib beruvchi turli o'zgartirgichlar va boshqa stabilizatorlar kiradi.

Iste'molchidagi kuchlanishni (va demak tok kuchini) bir tekis pasaytirib (faqat pasaytirib) beruvchi eng oddiy o'zgartirgichlarga o'zgaruvchan rezistorli o'zgartirgichlar — reostat va potensiometrlar kiradi.

4-a rasmda rezistorning tashqi ko'rinishi, 4-b rasmda esa RPR tipidagi reostat (rolikli kontakti jiladigan reostatlardan biri) ko'rsatilgan bo'lib, u 2-3 yoki 1-3 qisqichlari orqali zanjirga ulanadi va 4 jilgichni siljitish bilan qarshilik o'zgartiriladi. Boshqa barcha turdagi reostatlarning ishlash prinsipi va vazifasi RPR markali reostatnikiga o'xshaydi.

Rezistorni reostat sxemasida ulash deb tok manbayi, rezistor va iste'molchini ketma-ket ulash tushuniladi. Bunda manba kuchlanishining bir qismi reostatga tushib, iste'molchiga $U_1 = U - iR$

qismi qoladi. Bunda U — manba kuchlanishi, R_r — reostatning ac qismining qarshiligini, uni c harakatlanuvchi jilgich yordamida o'ttirish yoki kamaytirish mumkin (4-d rasm). Iste'molchidan o'tayotgan tok kuchini

$$i = \frac{U}{R_l + R_r}$$

formuladan topiladi. Bunda R_l iste'molchi qarshiligi. Bu erda shuni eslatib o'tmoqchimizki, reostat U_l ni ham, i ni ham nolgacha kamaytira olmaydi. Reostatlardar ularni xarakterlovchi ikkita parametr ko'rsatiladi: qarshilik va maksimum tok kuchi.

Tok kuchini va iste'molchidagi kuchlanishni n marta kamaytirish uchun reostat

$$R_r = R_l(n - 1) \quad (2.4)$$

ga teng bo'lgan to'liq qarshilikka ega bo'lishi kerak. Yuqori omli iste'molchilar uchun (2.4) formulani qanoatlantiruvchi R_r ni tanlash mumkin bo'lmay qolganda, masalan $R_r \rightarrow \infty$ bo'lganda reostat sxemasidan foydalanish mumkin bo'lmay qoladi.

Iste'molchidagi kuchlanishni va undagi tok kuchini kamaytirish uchun potensiometr sxemasiga ulangan rezistordan foydalanish mumkin. O'zgaruvchan rezistor (bu holda reoxord yoki potensiometr deb ataladi) manbaga a va b klemmlar orqali ulanadi (4-e rasm). Iste'molchi l esa c va b klemmlariga ulanadi. U potentsiallar farqi rezistor (reoxord)ning ab tarmog'iga uning R qarshiligiga proporsional holda taqsimlanadi. Demak, iste'molchiga $U_l = U_{cb}$ mos kelib, u U kuchlanishning biror

$$\frac{U_l}{U} = \frac{R_{cb}}{R_{cb}} \quad (2.5)$$

qismini tashkil qiladi. Reoxord qarshiligi uning uzunligiga to'g'ri proporsional. Shuning uchun $U_l = U \frac{R_{cb}}{R_{ab}} = U \frac{cb}{ab}$ bo'ladi. Jilgich c ni nari-beri surib, iste'molchiga beriladigan kuchlanishni U dan 0 gacha bir me'yorda o'zgartirish mumkin. Lekin bu hol iste'molchining qarshiligi yetarlicha katta (R_{cb} dan ancha katta) bo'lganda

ya'ni bo'radi. Aks holda, ya'ni iste'molchining qarshiligi yetarlicha kichik bo'lganda c va b nuqtalar orasidagi qarshilikni R_{cb} va R_1 lar parallel ulangan deb qarash lozim bo'ladi. Bu holda u kichik qarshilikdan ham kichik bo'ladi. Agar R_1 kichik bo'lsa, $u \approx U \frac{cb}{ab}$ dan kichik bo'lgan kuchlanish to'g'ri kelgan cb tarmoq bilan shunflanadi, c konstakt nari-beri surilganda kuchlanish $\frac{cb}{ab}$ ga proporsional bo'lmagan holda o'zgaradi, ya'ni chiziqli bo'lmaydi.

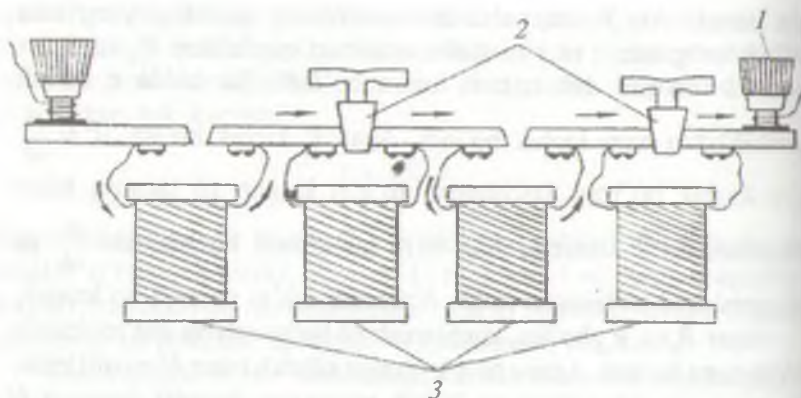
Agar $R_1 \ll R_{ab}$ bo'lsa, kuchlanish cb tarmoqda va iste'molchida noldan teng bo'ladi. Agar c ni a tomonga siljitish bilan U_1 ni orttirilsa, (4 - rasmga q.) qolgan ac kichik tarmoqqa deyarlik hamma U kuchlanish to'g'ri kelib, bu tarmoq kuyib ketishi mumkin. Shuning uchun potensiometrda taqsimlangan kuchlanishdan faqat yuqori omli iste'molchilar uchungina foydalanish mumkin. Past omli iste'molchilarga esa reostatdan foydalanishga to'g'ri keladi.

Potensiometr uchun rezistorlarni ikki parametri: qarshiligi va tok kuchiga qarab tanlanadi. Rezistor U kuchlanishli manbaga ulanganda undagi tok kuchi ruxsat etilgan qiymatdan katta bo'lmadligi uchun rezistorning qarshiligi yetarlicha katta va u iste'molchining qarshiligidan ancha kichik bo'lishi kerak.

Yuqori omli iste'molchida kuchlanishni pasaytirish kerak bo'lib, uni bir tekis o'zgartirib borish talab qilinmasa kuchlanishni taqsimlovchi sifatida ikkita o'zgarmas rezistordan yasalgan qarshilik qo'llaniladi (4 - rasm). Kuchlanish (tok kuchi)ni bir tekis o'zgartirib borish talab qilinmay, ma'lum qiymatlarga kamaytirish kerak bo'lganda ishlatiladigan rezistorlar *qarshiliklar magazini* deb ataladi. Ular shtepselli va pog'onali bo'ladi.

Shtepselli qarshiliklar magazini

Qarshiliklar magazinining tuzilishi 5 - rasmda keltirilgan. Qarshiliklar magazini bir qancha sim o'ramli 3 g'altaklardan iborat. Sim o'ramlarining uchlari magazin qutisining izolyatsiya qopqog'i-da joylashgan qalin metall plastinka 1 ga kavsharlab qo'yilgan.



5- rasm.

Plastinkalar orasida o'yindiq (ochiq joy) qoldirilgan bo'lib, uni konussimon mis tiqin (shtepsel) (2) bilan tutashtiriladi. Shtepsel o'yindiqqa o'rnatilganda tok qarshiligi juda kichik bo'lgan plastinkalardan, o'yindiqdan olib qo'yilganda esa qarshiligi katta bo'lgan g'altakdagi sim o'ramlaridan o'tadi.

Pog'onali qarshiliklar magazini — R33

1. Qarshiliklar magazini ketma-ket ulangan olti dekadadan iborat bo'lib, 0,1 dan 99999,9 Ω gacha qarshilik chegarasida o'zgarmas tokda ishlatish uchun mo'ljallangan (6- rasm). Har bir dekada 5 g'altakli sxema asosida tuzilgan bo'lib, richagli ikki yoqlama ulagich orqali qarshiliklarning to'qqiz holatini olish imkonini beradi:



6- rasm.

1 dekada — $9 \times 0,1$; g'altaklari 0,1 Ω li 1 dona va 0,2 Ω li 4 dona.

2 dekada — 9×1 ; g'altaklari: 1 Ω li 1 dona va 2 Ω li 4 dona.

3 dekada — 9×10 ; g'altaklari 10 Ω li 1 dona va 20 Ω li 4 dona.

4 dekada = 9×100 ; g'altaklari 100 Ω li 1 dona va 200 Ω li 1 dona

5 dekada = 9×1000 ; g'altaklari 1000 Ω li 1 dona va 2000 Ω li 1 dona

6 dekada = 9×10000 ; g'altaklari 10000 Ω li 1 dona 20000 Ω li 1 dona

II. Magazinning hamma qarshiliklari manganin materialidan tayyorlanib, ko'p vaqt davomida qarshilikning birday qiymatga ega bo'lishiga imkon beradi.

III. Qarshilik g'altaklari asbobning g'ilofi ichida o'rnatilib, uchlari kontaktlarga ulanadi.

IV. Asbobning hamma qismlari plastmassa panelga o'rnatilgan. Magazinning yuz panelida richagli ulagichning dastalari o'rnatilgan.

V. Richagli ulagich dastalarida «0» dan «9» gacha raqamlar yozilgan.

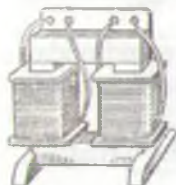
VI. Panelga 4 ta qisqich joylashgan bo'lib, zanjirni magazinga ulashga mo'ljallangan qisqichlar quyidagi yozuvlarga ega: «0», «0,9 Ω », «9,9 Ω », «9999,9 Ω », Bunda «0» va «0,9 Ω » qisqichlarga ulanganda zanjirga magazinning birinchi va ikkinchi dekadasi ulanadi ($9 \times 0,1$); «0» va «9,9» qisqichlarga ulanganda zanjirga magazinning birinchi va ikkinchi dekadasi ($9 \times 0,1$ va 9×1) ulanadi; «9» va «9999,9 Ω » qisqichlarga ulanganda esa magazinning hamma dekadasi ulangan bo'ladi.

VII. Qarshiliklar magazinini ishlatishdan oldin richagli olmoshlab ulagich dastasini bir necha marta aylantirish lozim, bu ulagich kontaktlarini tozalab, kontaktning yaxshiroq bo'lishiga imkon beradi.

VIII. Magazinni sxemaga ulashda o'tayotgan toklar quyida berilgan jadvaldagi son qiymatlaridan ortmasligi kerak.

Dekadalar	$9 \times 0,1$	9×1	9×10	9×100	9×1000	9×10000
Tok kuchi, A	0,5	0,5	0,16	0,05	0,016	0,005

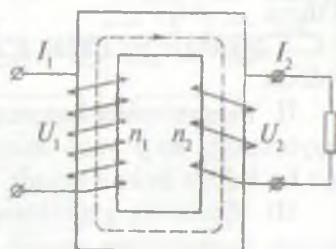
Qarshiliklar magazinini havoning temperaturasi 10–35 °C va nisbiy namligi 80% bo'lganda ishlatish mumkin. Normal ish sharoitining temperaturasi 20 ± 5 °C.



7- rasm.



8- rasm.



9- rasm.

Rezistorlardan tashkil topgan o'zgartirgichlar ham o'zgarmas va yuqori bo'lmagan chastotali o'zgaruvchan toklarda qo'llaniladi. Bunday o'zgartirgichlarning kamchiligi shundan iboratki, ulardan kuchlanishni va tok kuchini orttirish maqsadida foydalanish mumkin emas, chunki ko'p energiya iste'mol qiladi. Yutug'i uning yengilligidir.

O'zgaruvchan tok zanjiridagi kuchlanishni pasaytiradigan va kuchaytiradigan o'zgartirgich transformatoridir. U ikkita yoki undan ortiq sim o'ramli g'altaklardan tashkil topgan bo'ladi (7, 8, 9- rasmlar).

Transformatorning sxemalardagi belgisi 10-a rasmda berilgan. G'altak odatda bitta berk temir yoki ferritli o'zakka o'rnatilgan bo'ladi. O'ramlardan biri birlamchi, qolganlari esa ikkilamchi deb yuritiladi. Agar birlamchi o'ramga U_1 kuchlanish berilsa, ikkilamchi o'ramni ochiq (iste'molchiga ulanmasdan) qoldirilsa, birlamchi o'ramdan I_1 tok o'ta boshlaydi, o'zakda $\Phi \sim \mu, I_1 n_1$ magnit oqimi yuzaga keladi, bunda n_1 — birlamchi o'ramdagi umumiy o'ramlar soni, μ — o'zakning magnit singdiruvchanligi.

Tok o'zgaruvchan bo'lganligi sababli har bir o'ramda $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$ EYK hosil bo'ladi. O'ramlar ketma-ket ulangan, shuning uchun birlamchi o'ramda EYK $\mathcal{E}_1 = -n_1 \frac{d\Phi}{dt}$.

Ikkilamchi n_2 o'ramli g'altakda induksiya EYK $\mathcal{E}_2 = -n_2 \frac{d\Phi}{dt}$.
 Shuning uchun ikkilamchi g'altak iste'molchiga ulanmaganda
 (xolostoy holda) $\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{n_1}{n_2}$ bo'ladi.

Transformatorning iste'molchiga ulanmagandagi I_1 tok kuchi yetarlicha kichik bo'lishi uchun birlamchi g'altak (uning induktiv qarshiligi n_1 ga va temir o'zakning ko'ndalang kesimiga bog'liq) yetarlicha katta bo'lishi kerak.

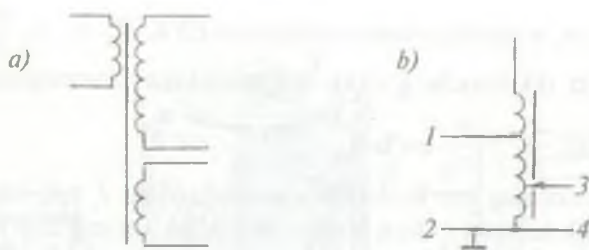
I_1 tok kuchi birlamchi g'altakka berilgan U_1 kuchlanishga bog'liq bo'lgani sababli birlamchi g'altakning o'ramlar soni n_1 ham U_1 ga bog'liq bo'ladi. Birlamchi g'altakka berilish mumkin bo'lgan U_1 ning maksimum (chegara) qiymati transformator parametrlaridan biri hisoblanadi. Yig'ma transformatorning o'zagini olib qo'y-ganda induktivlik keskin kamayadi va oldingi kuchlanishni birlamchi g'altakka berish mumkin bo'lmay qoladi. Transformatorning iste'molchiga ulanmagandagi I_1 tok kuchining eng kichik qiymati $\mathcal{E}_1 = -U_1$ ekanligini anglatadi. U vaqtda

$$\mathcal{E}_2 = U_1 \frac{n_2}{n_1} \quad (2.3)$$

bo'ladi. Bu EYK ikkilamchi o'ramga iste'molchi ulangan zanjirda ishlatiladi. Uncha katta bo'lmagan iste'molchilarda (kichik I_2 larda) $U_2 = \mathcal{E}_2$ bo'ladi. Shuning uchun kuchlanishlar nisbati bo'ladi. Bu nisbat **transformatsiya koeffitsienti** deb ataladi. Shunday qilib, U_2 kuchlanish U_1 ga nisbatan katta (ancha katta) va kichik ham bo'lishi mumkin. Shunga qarab transformatorlar **kuchaytiruvchi** va **pasaytiruvchi** deb yuritiladi.

Transformatorlarda energiya bekorga aytarli sarf bo'lmaydi. Faqat o'tkazgich (simlar)ning va o'zakning qizishiga sarf bo'ladi. Shuning uchun birlamchi g'altakka berilgan quvvat $P_1 = I_1 U_1$ amalda ikkilamchi zanjirga beriladigan quvvat $P_2 = I_2 U_2$ ga teng (FIK = 100%). Bu yerdan

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.7)$$



10- rasm.

kelib chiqadi, ya'ni kuchlanishni k marta ko'paytiruvchi transformator, tok kuchini shuncha martaga kamaytiradi (pasaytiruvchi transformatorlar esa kuchaytiradi). Transformator I_2 va U_2 larni I_1 va U_1 larga nisbatan kuchaytirish va kamaytirishga mo'ljallanadi.

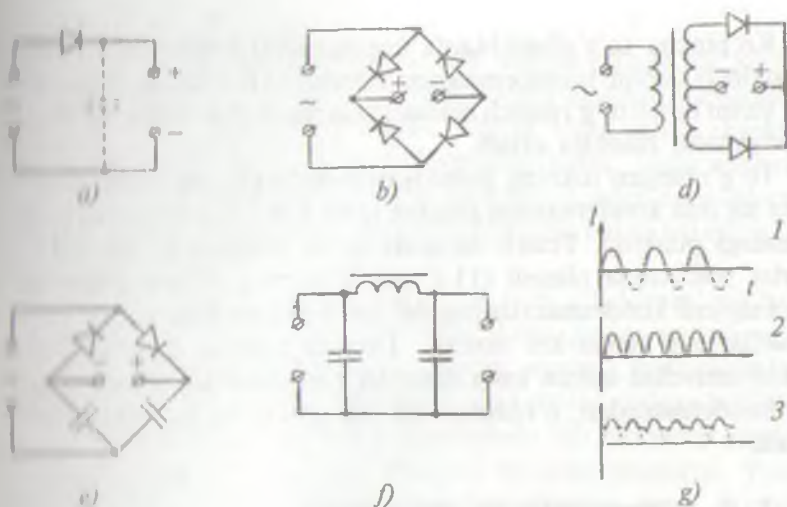
Qanchalik $P \approx P_1 \approx P_2$ katta bo'lsa, transformator shunchalik katta o'lchamlarga ega bo'ladi. Shuning uchun uzatilayotgan quvvat transformatorning asosiy parametrlaridan biri hisoblanadi. Bu quvvat birlamchi hamda ikkilamchi zanjirlarga tegishli bo'lib, transformatorning o'zi energiyani iste'mol qilmay uni faqat uzatishga mo'ljallangani uchun quvvat transformatorlarda shartli ravishda vatlarda emas, balki volt-ampperlarda ko'rsatiladi.

Shunday qilib, transformatorlarning asosiy parametri bo'lib transformasiya koeffitsienti, birlamchi g'altakka beriladigan kuchlanish va volt-ampperlarda o'lchanuvchi umumiy quvvat hisoblanadi.

Avtotransformatorning transformatoridan farqi shundaki, u hammasi bo'lib bitta g'altakka ega bo'ladi. Ular 8- rasmda (umumiy ko'rinishi) va 10-*b* rasmda (sxemalardagi belgisi) ko'rsatilgan.

Manbadan kuchlanish n_1 o'ramga (10-*b* rasim 1, 2 nuqtalar) berilib, o'sha g'altakning n_2 o'ramidan (3, 4 nuqtalar) iste'molchiga kuchlanish olinadi. Bu erda o'zaro elektromagnit induksiya emas, balki o'zinduksiya hodisasidan foydalaniladi.

Birlamchi va ikkilamchi g'altaklardagi toklar o'z fazalari bo'yicha taxminan π ga siljigan bo'ladi, ya'ni jilgichni harakatlantirib n_2 ni, va demak U_2 kuchlanishni ham o'zgartirish mumkin.



11- rasm.

Bu holda avtotransformatorning ishlash prinsipi transformatornikiga o'xshaydi-yu, lekin potensiometrning ishlash prinsipidan farq qiladi va undan potensiometrda farqli holda o'zgarmas tok zanjirida foydalanilmaydi. Avtotransformator iste'molchiga ulanmaganda nisbatan kichik tok iste'mol qiladi. Avtotransformatordan $n_2 > n_1$ bo'lgan holda U_1 ga nisbatan katta U_2 olish mumkin.

Avtotransformator katta transformasiya koeffitsientlarda ishlatilmaydi.

To'g'rilagichlar o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirishga mo'ljallangan. Ularda ventillar toklarni faqat bir yo'nalishda o'tkazuvchi elementlar — yarimo'tkazgichli diodlar, vakuumli diodlar (kenotronlar), gazotronlar ishlatiladi.

11-a rasmda bitta yarim davrli to'g'rilash sxemasi keltirilgan. To'g'rilangan (lekin pulsasiyalanuvchi) tokka mos grafik 11-g rasmda (1- egri chiziq) keltirilgan. Ikkinchi yarim davrdan foydalanish maqsadida to'rtta ventildan tashkil topgan ko'prik sxemasi yig'iladi (11-b rasm va 11-g rasmdagi 2- egri chiziq).

Ko'pincha to'g'rilagichlarda kuchlanishni kuchaytirish yoki pasaytirish uchun transformatorlar ulanadi (11-*d* rasm). Rasmda ikki yarim davrli to'g'rilagich sxemasi keltirilgan. Asbobning og'irligi transformator hisobiga ortadi.

To'g'rilangan tokning pulsasiyasi odatda chiqish klemmasiga katta sig'imli kondensatorni parallel ulash bilan to'g'rilanadi (11-*a* rasmdagi punktir). Yetarli darajada to'liq silliqlangan tokni LC filtrlar yordamida olinadi (11-*f* rasm). Buning uchun chiqishga katta sig'imli kondensatorlar parallel, katta induktivlikka ega bo'lgan drossellar esa ketma-ket ulanadi. Drossel tokning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi uchun katta qarshilik hisoblanadi. O'zgaruvchan tok kondensatordan, o'zgarmas tok esa drossel va iste'molchidan o'tadi.

3- §. O'tkazgichlar va ularni ulash

O'tkazgich simlar tok manbayidan elektr energiyani iloji boricha yo'qotmay (kamaytirmay) iste'molchiga yetkazish uchun mo'ljallangan bo'ladi. O'tkazgich simlardagi energiya yo'qolishi o'zgarmas tokda asosan simlarning qizishi hisobiga yuzaga keladi. Oddiy hollarda, ya'ni zanjirda II tur o'tkazgichlar, kondensatorlar, induktiv g'altaklar, shuningdek, Pelte effekti hisobga olinmaydigan hollarda o'tkazgich simlarning qizishi uchun sarf bo'ladigan quvvat

$$P = iU = i^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (2.8)$$

bo'ladi. Ko'rinadiki, R qarshilik minimal bo'lishi kerak. Metallardan kichik ρ solishtirma qarshilikka ega bo'lganlari mis va alumiiniydir. Alumiiniy arzon va yengil, lekin uning ρ solishtirma qarshiligi bir qadar katta, undan tashqari misga qaraganda uncha mustahkam emas va payvandlanmaydi. Alumin simlar elektr energiyani uzatishda ishlatiladi. Mustahkamlikni oshirish uchun bir nechta alumin sim bitta po'lat sim bilan birga o'raladi. Ko'p ulanish kerak bo'lgan apparatlarda mis simlari ishlatiladi.

Sim ikkita asosiy parametr bilan xarakterlanadi: ruxsat etilgan chegaraviy tok kuchi va simdan izolatsiyalangan detallar bilan shu

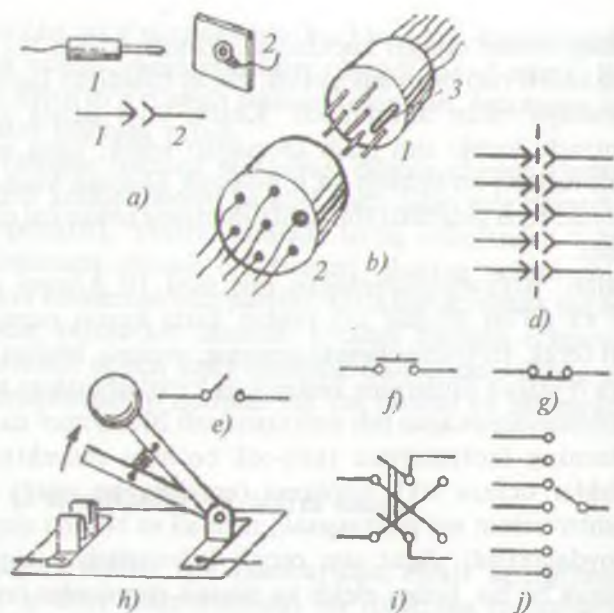
simi qandagi ruxsat etilgan kuchlanish. Ruxsat etilgan tok kuchi simning kesim yuzi bilan aniqlanadi, ruxsat etiladigan kuchlanish esa izolyatsiya bilan aniqlanadi. Kesim yuzi uchta shartni qamroqlantirishi kerak: sim qizib ketmasligi kerak; unda sezilarli kuchlanish tushuvi bo'lmazligi va u mexanik jihatdan mustahkam bo'lishi kerak. Real sharoitda shu uchta shartning bittasi hal qiluvchi hisoblanadi.

Masalan, izolyatsiyalanmagan mis simi 10 A/mm^2 gacha, aluminij va po'lat simlari esa undan katta kesim yuzaga ega bo'lishi kerak. Izolyatsiyalangan simning, ayniqsa, boshqa simlar bilan birga o'ralgan simlarning kesim yuzi kattalashtirilgan bo'lishi kerak. Izolyatsiyalanmagan mis simi taxminan 200 A/mm^2 da erydi.

Simlarning izolyatsiyasi turli-xil bo'lishi mumkin. Past kuchlanishlar uchun lakli qoplama (emallangan sim), yuqori kuchlanishlar uchun esa plastmassali, rezinali va boshqa qoplamalardan foydalaniladi. Agar sim orqali informatsiya (signallar) olinayotgan bo'lsa, tashqi elektr va magnit maydonlar (ayniqsa, yuqori chastotali yoki impulsli maydonlar) signallarga kuchli ta'sir ko'rsatib buzishi mumkin. Har xil tashqi ta'sirlarni yo'qotish maqsadida simlar izolyatsiyasi ustidan metall to'rt qoplamalar bilan o'ralib qoplanadi va ularning potentsiali o'zgarmas saqlanib turiladi (ekranlar asbob korpusi yoki yer bilan ulab qo'yiladi).

Bir birlaridan izolyatsiyalangan va o'zaro o'ralgan simlar to'plamini *giga* deb ataladi. Umumiy izolyatsiyalangan hamda ekranlangan simlar *kabel* deb ataladi.

Simlarni bir-biri bilan va sxemaning boshqa qismlari bilan doimiy, uzatq vaqtli va vaqtinchali ulash mumkin. Doimiy ulashlarni qo'yanchilash orqali amalga oshirish kerak. Ba'zida bolt orqali ham ulashadi, lekin u juda ham ishonchli bo'lavermaydi. Simlarni bir-biri bilan o'rab ulab qo'yish ruxsat etilmaydi, chunki bunday ulash ta'ala ishonchli bo'lmaydi. Eng qulay ulash shtepsel tipidagi ulash hisoblanadi. Shtepsel yordamida faqat simlarni emas, sxemaning boshqa elementlarini ham ulash mumkin. Shtepsel — bu o'tirishchaga o'xshagan bo'lib, teshikka tiqilib kiradigan kontakt (11-a rasim).



12- rasm.

Vaqtinchalik ulashlar uchun kalitlar va turli-tuman ikki yoqlama ulagichlar (kommutatorlar)dan foydalaniladi. Ular mexanik, elektromexanik va elektronli bo'ladi. Mexanik kalitlarga rubilniklar misol bo'la oladi. Ular kuchli tok oqadigan zanjirlarda ishlatiladi (12-h rasm).

Zanjirda tokning yo'nalishini (qutblarni) o'zgartirish maqsadida ikki yoqlama ulagich deb ataluvchi kalitlardan foydalaniladi. Olti qutbli, chetki klemmalari krest shaklida ulangan ikki yoqlama ulagich sxemasi 12-i rasmda keltirilgan. 12-j rasmda esa ko'p pozitsiyali almashlab ulagich sxemasi ko'rsatilgan.

4-§. Rezistorlar, kondensatorlar va drossellar

Rezistor zanjirning aktiv qarshilikka ega bo'lgan qismidir. U zanjirdagi tokni cheklab turish uchun mo'ljallangan. O'zgaruvchan rezistor reostat, potensiometr va hokazo sxemalarda ishlatiladi.

Rezistorlarni ularning qarshiliklari va qizishiga sarflanadigan eng katta ruxsat etiladigan quvvatlari kabi parametrlari bo'yicha tanlanadi. Bu *nominal quvvat* deb ataluvchi kattalik rezistor pasportida ko'rsatib qo'yiladi.

Rezistor o'lchamlari uning ikkinchi parametri sifatida tanlanadi. Ular nominal quvvati taxminan 0,01 vattdan (o'lchami 1 mm atrofida) to o'nlab kilovattgacha (o'lchami 1 m atrofida) qadar tayyorlanadi.

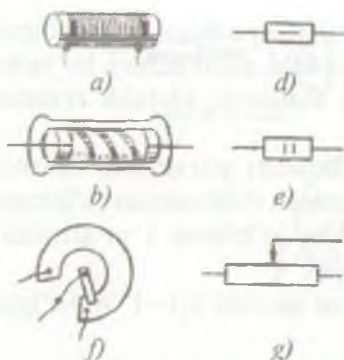
Radioelektronika da eng ko'p nominal quvvati 0,1–1 W bo'lgan rezistorlar qo'llaniladi.

Quvvati katta rezistorlarda, masalan, reostatlarda nominal quvvat o'rniga eng katta ruxsat etiladigan tok kuchi ko'rsatiladi. Bu parametrlar $P = I^2 R$ munosabat orqali bog'langan. Qarshilik rezistorining asosiy parametri hisoblanadi. Qarshilik qiymatining diapazoni juda katta – Ω ning juda kichik bo'laklaridan boshlab, teraom ($1 \text{ T}\Omega = 10^{12} \Omega$) va undan ham yuqori bo'lishi mumkin.

Rezistorlar qarshilikning temperatura koeffitsiyenti bilan ham harakatlanadi. Bu parametr iloji boricha minimal bo'lishi kerak. Rezistorlar asosan ikki tip: simli va simsiz qilib yasaladi. Simli rezistorlar ishqilikka bardosh beradigan keramikadan yasalgan karkas (qutb) va rasimga o'rnatilgan katta solishtirma qarshilikli simdan yasalgan bo'ladi. Odatda marganes qo'shilgan mis, nikel, xrom va boshqalarning maxsus: nixrom, nikelin, manganin, konstantan deb ataluvchi qotishmalaridan foydalaniladi. Nixrom eng katta solishtirma qarshilikka ega ($1,1 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$); ko'pchilik metallarda esa $\rho = 10^{-4} - 10^{-2} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ bo'ladi.

O'zgaruvchan rezistorlarda harakatlanuvchi kontakt (jilgich) bo'ladi. Yuqori chastotali o'zgaruvchan tok zanjirlarida simli rezistorlar qo'llanilmaydi, chunki ular sezilarli induktivlikka ega bo'ladi.

Simsiz rezistorlar (odatda simli rezistorlarga qaraganda kam quvvatli bo'ladi) kichik o'lchamli keramikali silindrlardan yasalgan bo'ladi, ular uglerodli yoki yupqa metall qatlam surkalgan bo'ladi (12.2.3.10.1).



13- rasm.

Nominal quvvati uncha katta bo'lmagan (0,1 dan to 10 W gacha) o'zgaruvchan rezistorlar doirachasi ko'rinishida yasalanadi. Bunday rezistorning jilgichi o'tkazuvchi qatlam bo'ylab buralib ko'chadi.

Qarshiligi buralish burchagi yoki uzunligiga proporsional holda o'zgaradigan doiraviy yoki to'g'ri simli rezistorlar **reoxordlar** deb ataladi (13-f rasm). Reoxord ko'prikli sxemalarda yoki ulagich

potensiometrlarda qo'llaniladi. Reoxordning uzunligi qancha katta bo'lsa, o'lchash shunchalik aniq bajariladi. 13- d, e, g rasmlar rezistorlarning sxemada ko'rsatilish belgisini bildiradi.

Istalgan qarshilikni noldan to biror maksimal qiymatgacha yuzaga keltira oladigan olmoshlab ulagichli etalon rezistorlar to'plami *qarshiliklar magazini* deb yuritiladi.

Termorezistor (termistor)lar — qarshiligi temperaturaga kuchli bog'liq bo'lgan (harorat ortishi bilan kamayib boruvchi) yarim o'tkazgichli rezistorlardir. Termistorlar munchoq, silindrcha yoki ikkita simi chiqarilgan yupqa parda ko'rinishda yasalanadi. Termistorlar avtomatik boshqariluvchi zanjirlarda temperaturalar uzatgichi

sifatida qo'llaniladi. $\frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt}$ kattalik to 10^{-2} K^{-1} gacha qiymatni qabul qilaoladi. Qarshiligi qizish bilan ortib boruvchi rezistorlar ham mavjudki, ular **pozistorlar** deb ataladi.

Fotorezistor — yorug'lik ta'sirida o'z qarshiligini o'zgartiradi. U eng ko'p tarqalgan yorug'lik qabul qilgich hisoblanadi.

Varistor — qarshiligi unga beriladigan kuchlanishga bog'liq bo'ladigan nochiyiq rezistorlardir. Ularda tok kuchi kuchlanishga proporsional bo'lmaydi, balki atayin Ohm qonunidan chetlaniladigan qilib yasalanadi. Tok odatda kuchlanishga nisbatan tezroq ortadi. Varistorlar kuchlanishni stabilashtirishda qo'llaniladi.

Kondensator — o'zgaruvchan tok zanjirining bir qismi, zaryad to'plash uchun mo'ljallangan asbob. Kondensatorning asosiy parametri uning *elektr sig'imi* C dir. U kondensator qoplamalar orasidagi potentsial ayirma 1 V bo'lganda qoplamalardan birida to'planib turuvchi zaryad bilan aniqlanadi, ya'ni $C = \frac{q}{U}$.

Yasal kondensator uchun

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}. \quad (2.9)$$

Bu yerda S — qoplama yuzi, d — qoplamalar orasidagi masofa, ϵ — qoplamalar orasidagi moddaning dielektrik singdiruvchanligi, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}\text{ F/m}$ bo'lib, *vakuumning elektr doimiyligi* deb ataladi. Sig'im *faradlarda* o'lchanadi. Amalda sig'imi $10^3\text{ }\mu\text{F}$ dan to'g'ri 1 pF gacha bo'lgan kondensatorlar qo'llaniladi.

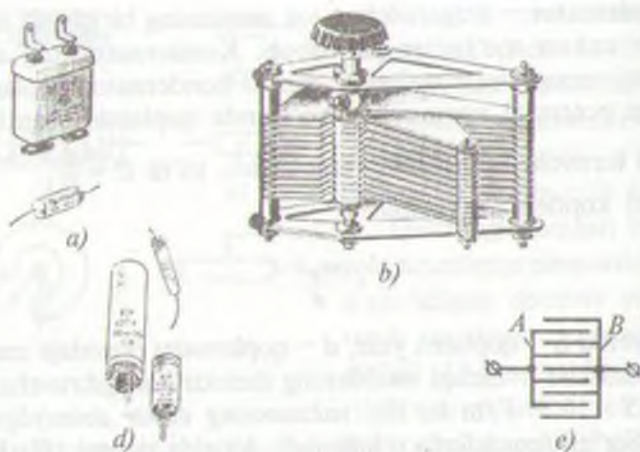
Kondensatorning ikkinchi asosiy parametri uning elektr mustahkamligi, ya'ni kondensatorning mo'ljallangan maksimal kuchlanishi hisoblanadi. Mustahkamlik asosan qoplamalar orasidagi dielektrik qatlamning qalinligi bilan aniqlanadi. Biroq bu qalinlik qancha katta bo'lsa, kondensatorning hajmi va massasi shunchalik katta bo'ladi.

Kondensatorning izolyasiya qarshiligi ham katta ahamiyatga ega. Kondensatorning xususiyati asosan qoplamalar orasidagi dielektrik muhit bilan aniqlanadi.

Kondensatorlar havoli (vakuumli), qog'ozli, slyudali, keramikali, segnetoelektrikli va hokazo bo'ladi. Ko'pincha kondensator bitta metall tasmadan yasilib, ularning oralig'iga dielektrik tasma tayyorlab joylashtirilgan bo'ladi (14-*a* rasm). Metall pardali kondensatorlarda yupqa dielektrikdan yasalgan tasmaning ikki tomoniga metall qatlam purkaladi. So'ng tasmlar rulon qilib o'raltadi va metall qutichalarga joylashtiriladi.

O'zgaruvchan sig'imli kondensatorlarda bitta qoplama (yoki qoplamalar to'plami) boshqa qoplamalar to'plamiga nisbatan harakatlanadigan (suriladigan) bo'ladi (14-*b*, *e* rasm).

Yasal kondensator sig'imi formulasi (2.9)dagi S kattalik o'zgaruvchan sig'imli kondensator uchun qoplamalar yuzi



14- rasm.

hisoblanmay, balki qoplamalarning o'zaro ta'sirlashuvchi qismlarining yuzi hisoblanadi. Shuning uchun qoplamalar bir-biriga nisbatan siljiganda sig'im o'zgaradi. Ko'pchilik hollarda dielektrik vazifasini havo o'taydi. Havoli kondensatorlarda qoplamalar bir-biriga tegib qolmasliklari zarur. Shuning uchun qoplamalar orasidagi d masofani yetarlicha kichik qilib olish imkoni bo'lmaydi. Natijada havoli o'zgaruvchan kondensatorning sig'imi odatda 600 pF dan oshmaydi.

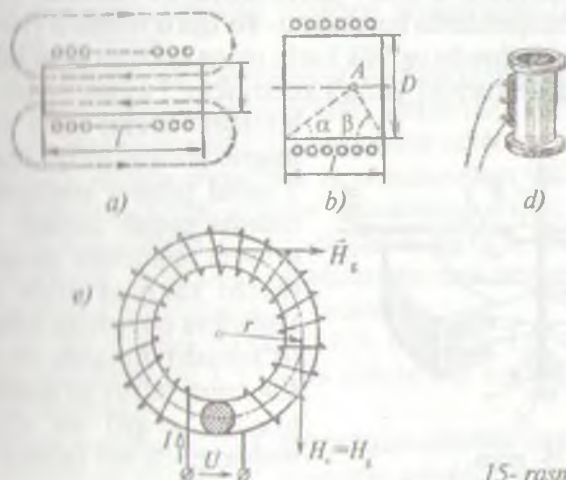
Elektrolitik kondensatorlar. Yuqoridagi ko'rib o'tilgan kondensatorlarga qaraganda ancha katta sig'imga ega bo'ladi. Ularning tuzilishi qog'ozli yoki pardali kondensatorlarni eslatadi (14-a rasimga q.), lekin metall tasmalar orasidagi izolyatsiyalovchi qog'ozlar o'rniga o'tkazuvchi eritma (elektrolit) bilan shimdirilgan, po'kak qog'oz qo'yilgan bo'ladi. Izolyatsiya rolini elektrodlarning birini qoplab turgan yupqa oksid qatlami bajaradi (14-d rasm). Bunday kondensatorlar qutbli bo'ladi. Qutb ishorasiga rioya qilinmasa, elektroliz natijasida oksid qatlamdan ketib qoladi. Natijada oksid qatlam yupqalashib, izolyatsiya yo'qoladi. Shuning uchun elektrolitli kondensatorlarni ishorasi o'zgarib turuvchi kuchlanishli zanjirlarda ishlatish mumkin emas. Ko'pincha ulardan to'g'ri-lagichlarda silliqlovchi filtrlar sifatida foydalaniladi.

Induktivlik g'altagi va drossel. Kondensator kabi o'zgaruvchan tok zangirlarida qo'llaniladi. Drossel o'zakli (yoki o'zaksiz) solenoid bo'ladi, undan yo tebranish konturining bir elementi, yoki o'zgaruvchan tokka induktiv qarshilikni yuzaga keltiruvchi asbob sifatida foydalaniladi. Birinchi holda solenoid induktivlik g'altagi ikkinchi holda esa drossel deb yuritiladi. Induktivlik g'altakidan o'zgaruvchan tok o'tganda har bir o'ramda $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$, N ketma-ket o'tilgan o'ramlarda esa $\Phi = -N \frac{d\Phi}{dt}$ o'zinduksiya EYK yuzaga keladi. Bu yerdagi $\Phi = \int_S B_n \cdot dS$ bir o'ramni kesib o'tuvchi magnit oqini hisoblanadi. G'altak

$$\mathcal{E} = -L \frac{di}{dt} \quad (2.10)$$

hisoblashdagi proporsionallik koeffitsienti sifatida qaraluvchi L ko'rsatkichi (g'altak induktivligi) bilan xarakterlanadi.

L induktivlik Genri larda o'lchanadi. ($1 \text{ H} = 1 \text{ V} \cdot \text{s/A}$). Uchtaiz uzun solenoid yoki toroidning induktivligi (15-a, b, d, e rasmlar), maydon bir jinsli hisoblanadi. Bunda



15-rasm.

$$L = \mu_0 \mu N^2 \frac{S}{l} \quad (2.11)$$

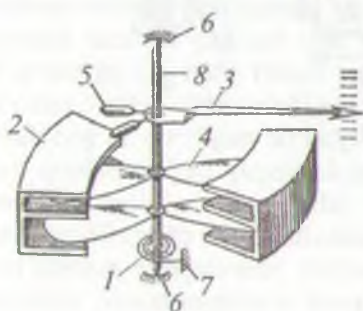
bo'ladi. Bu yerda μ_0 – vakuumning magnit doimiysi ($\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ H/m); μ – o'zak moddasining magnit singdiruvchanligi; S – solenoid kesimining yuzi; l – solenoid uzunligi.

5-§. Elektr o'lchov asboblari.

Elektromexanik elektr o'lchov asboblari

Elektr o'lchov asboblari deb, tok kuchi, kuchlanish, zaryad, fazalar farqi, tok quvvati kabi kattaliklarni o'lchovchi turli sistemalarga tegishli asboblarga aytiladi. Elektr o'lchov asboblari elektr yoki elektromagnit kuchlar ta'sirida strelkasi yoki ko'zguli harakatlanuvchi qismining mexanik ko'chishiga asoslangan bo'lishi mumkin. Bunday asboblar **elektromexanik asboblari** deb ataladi. Elektromexanik asboblari o'rni asta-sekin elektron asboblari egallab bormoqda. Hozirgi paytda juda ko'p hollarda elektr o'lchov asboblari elektron va elektromexanik qismlar birga ishlatilmoqda. Masalan, kuchaytirgich-elektron asbob, lekin chiqish kuchlanishi elektromexanik voltmeter bilan o'lchanishi mumkin.

Elektromexanik o'lchov asboblari ko'rsatkich 3 strelka odatda 6 podshipniklarda buraladigan 8 o'qqa o'rnatiladi (16- rasm). Strelkaga ta'sir qiluvchi og'irlik kuchi uning holatiga ta'sir qilmasligi uchun aks ta'sir kuchini yuzaga keltiruvchi 5 moslamadan foydalaniladi.



16- rasm.

Elektr yoki elektromagnit kuchlar yo'qligida strelka 1 spiral prujina yordamida nol holatda saqlab turiladi. Aylantiruvchi momentni yuzaga keltiruvchi kuch ta'sirida prujina siqiladi va o'q strelka bilan yangi (o'lchash) holatda to'xtaydi. Kuchning ta'siri yo'qolishi bilan prujina o'qni va strelkani boshlang'ich nol holatga qayta-

radi. Strelkani nol holatga ancha yaqin keltirish uchun *korrektor* (prujinaning tashqi uchi mahkamlangan moslama) ishlatiladi. Strelkaning tebranib turishini yo'qotish (tinchlantirish) uchun *dempfer* ishlatiladi. 4 dempfer havo-porshenli bo'lishi mumkin. Unda u havo-porshen bilan 2 silindr orasidagi bo'sh qolgan oraliqdan ishqalanish yo'li bilan o'tadi. Bundan boshqa yana 9 magnit induksion dempferlar ishlatiladi, u o'zgarmas magnit qutblari orasida tebratadigan alumin taxtachadir. Taxtachada harakatga qarshi ta'sir ko'rsatadigan yo'nalishga ega bo'lgan induksion tok hosil bo'ladi. Ba'zi asboblarda alohida dempfer bo'lishining hojati yo'q, masalan, galvanometr tavsifi (6- §)ga qarang.

Elektr o'lchov asboblarning turli sistemaga tegishli konstruksiyalar, shkalalarning darajalanishi (chiziqli, kvadratik va hokazo, sezgirligi, aniqligi, iste'mol qiladigan energiyasi, narxi, tashqi ta'sirlarga mustahkamliklari) bilan farqlanadi. Strelkali asbobning

sezgirligi $\frac{d\alpha}{di}$ yoki $\frac{d\alpha}{dU}$ nisbatlar bilan aniqlanadi, bu yerda α strelkaning buralish burchagi.

Asboblarning stolga qo'yadigan, qo'lda olib yuradigan, shchitlarga o'rnatiladigan bo'lishi mumkin.

Elektr o'lchov asboblari quyidagi xususiyatlari bo'yicha klass (sinf)larga bo'linadi:

a) o'lchanadigan kattalikning turi bo'yicha: ampermetrlar, voltmetrlar, ommetrlar, sanagichlar, vattmetrlar va boshqalar;

b) tokning turi bo'yicha: o'zgarmas tok asboblari, o'zgaruvchan tok asboblari hamda o'zgarmas va o'zgaruvchan tok asboblari;

d) elektromexanik o'lchov asbobining o'qini burab berib turuvchi turli moslamalar mavjudki, ularning ta'sir prinsipiga qarab magnitoelektrik, elektromagnit, elektrodinamik, induksion, issiqlik, elektrostatik va boshqalarga bo'linadi.

e) aniqlik darajasi bo'yicha: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; klasslar. Aniqlik klassi 1,5 butun shkalaning xatoligi 1,5% degan ma'noni anglatadi.

Aniqlik klasslari 0,1; 0,2; 0,5 bo'lgan asboblarning aniq laboratoriya o'lchovlarida qo'llaniladi va *preseziya asboblari* deb ataladi.



17- rasm.

Asbobning shkalasiga uning ishlash prinsipi, tokning turi o'zgarmas (—) yoki o'zgaruvchan (—), asbobning o'rnatilish usuli — vertikal (↑), gorizontal (→), izo-latsiyani teshuvchi kuchlanishning kattaligi (2kV), aniqlik klassi (1.0) ko'rinishida yozib qo'yiladi (17- rasm).

17- rasmdagi  belgi magnitoelektrik sistemadagi asboblarning belgisini bildiradi.

6- §. Magnitoelektrik sistemadagi asboblari

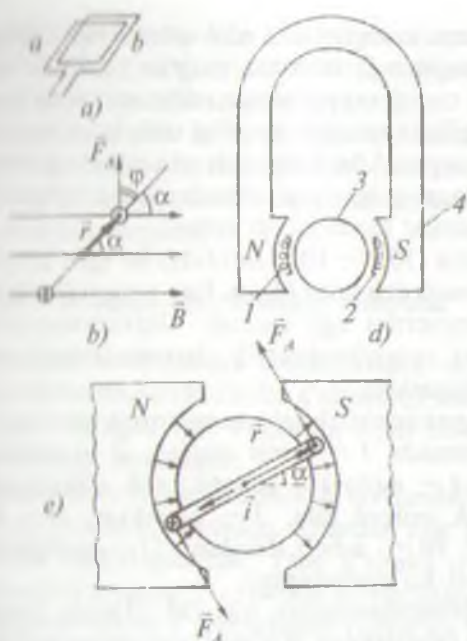
Bu sistemadagi asbobning o'lchash mexanizmi qo'zg'almas doimiy magnitdan va sim o'ramli qo'zg'aluvchi g'altakdan tashkil topgan bo'ladi (18-a rasm). Odatda, qo'zg'aluvchi g'altak sifatida sim o'ralgan yupqa alumin ramkadan foydalaniladi. Ramka va o'lchov strelkasi bitta o'qqa mahkamlangan bo'ladi. Doimiy magnit maydon bilan tokli ramkada hosil bo'luvchi magnit maydon o'zaro ta'sirlashib, strelkani qo'zg'atadi. Uning burilish burchagi α ga teng bo'ladi (18-b rasm).

18- rasmda keltirilgan $N-S$ magnit qutblari oralig'iga (4) 00 o'q atrofida erkin aylanuvchi sim o'ralgan yaxlit silindr (3) joylashgan (18-d, e rasmlar). Sim o'ramlarining aylanish o'qiga parallel turgan tomonlaridan qarama-qarshi yo'nalishda tok o'tganida ramka tomonlariga juft kuchlar ta'sir etib, uni magnit induksiya oqimi yo'nalishi tomon buradi. Ta'sir etuvchi juft kuchning momenti tok kuchi I ga, sim o'ralgan ramka yuzi S ga, o'ramlar soni N ga va doimiy magnit maydon induksiyasi B ga to'g'ri proporsional bo'ladi:

$$M \sim ISNB. \quad (2.12)$$

M momentning ta'sirida ramka α burchakka buriladi. U bilan bog'liq bo'lgan strelkaning og'ish burchagi

$$\alpha = k_1 SNBI. \quad (2.13)$$



18- rasm.

Berilgan asbob uchun k_1 , S , N , B o'zgarmas bo'lganidan

$$\alpha = kI, \quad (2.14)$$

bu yerda $k = k_1 S N B$ — mazkur asbobning doimiyligini ifodalaydi.

Magnitoelektrik asboblarning vositasida o'zgarmas tok kuchi va kuchlanish kattaliklari o'lchanadi. O'lchash vaqtida strelkaning og'ish burchagi o'lchanuvchi kattaliklar bilan chiziqli bog'lanishda bo'ladi. Bu tipdagi o'lchov asboblari o'zgaruvchan tok kattaliklarini o'lchash uchun yaroqsizdir. Chunki g'altak o'ramlaridan o'zgaruvchan tok o'tganda yuzaga keluvchi amper kuchlari tokning o'zgarish davri davomida o'z yo'nalishini ikki marta o'zgartiradi, ya'ni amper kuchining o'zgarish davri tokning davridan ikki marta kichik bo'ladi. Bunday qisqa vaqt davomida asbob strelkasi o'lchash masanzimining inertligini yengib o'zgarishga ulgura olmaydi.

Magnitoelektrik asboblarning sezgirligi juda ham katta bo'lishi mumkin, chunki magnit induksiyasi katta (galvanometrlar uchun 10^6 rad/A gacha boradi). Magnitoelektrik sistemadagi asboblarning

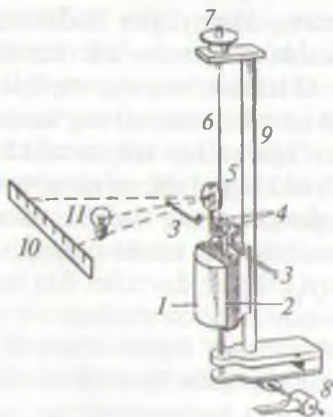
aniqligi katta, kam energiya iste'mol qiladi. Bu tipdagi asboblarni tashqi magnit maydonga nisbatan turg'un, chunki ularning o'z magnit maydoni tashqi maydonlarga nisbatan ancha kuchli. Biroq detallarini aniq qilib tayyorlash zarurligi tufayli, bu tip asboblarning baholari ancha yuqori. Ular tebranish va urilishlarga ancha sezgir.

Tok kuchi ruxsat etilgan qiymatlardan katta bo'lganda ramkaga tok keltiruvchi simlar tezda kuyib ketadi.

Sezgirligi katta ($10^{-8} - 10^{-12}$ tartibda) bo'lgan magnitoelektrik asboblarni *galvanometr* deb nom olgan. Eng yuqori (katta) sezgirlikka ko'zguli galvanometrlar ega bo'ladi. Galvanometrning ishlash prinsipi istalgan magnitoelektrik sistema asbobining ishlash prinsipining o'zginasidir.

Ko'zguli magnitoelektrik galvanometrning sxemasi 19- rasmda ko'rsatilgan. Sxemada 1 — temir sterjen; 2 — ramka; 3 — tok o'tkazuvchilar; 4 — egiluvchi (elastik) tok o'tkazuvchilar; 5 — ko'zgu; 6 — yuk osilgan tola; 7 — korrektor; 8 — arretir; 9 — sterjen (tutgich); 10 — asbob shkalasi; 11 — yoritgich (sxemada o'zgarmas magnit ko'rsatilmagan).

Shunday galvanometrlardan biri (M-21)ning umumiy ko'rinishi 20- rasmda tasvirlangan. Ko'zguli galvanometrni dempferlash (tinchlantirish) asbob klemmalariga ulangan shuntga qisqa tutash-tirish va mo'ljallangan kichik qarshilikli sim yoki yupqa metall tasma ulash bilan amalga oshiriladi.



19- rasm.



20- rasm.

Galvanometrlar o'rnatuvchi vintlar va shayton yordamida shunday o'rnatiladiki, g'altak aylanma harakat qilganda va o'zakka ta'sir magnit chetlariga tegib qolmasligi kerak.

Galvanometrning yuk osilgan tolasini turtkilardan asrash uchun uni arretir bilan jihozlanadi. Galvanometrda o'lchash natijasi foydalanilayotganda arretir ramkani ko'tarib, yuk osilgan tola kuchlanishdan asraladi.

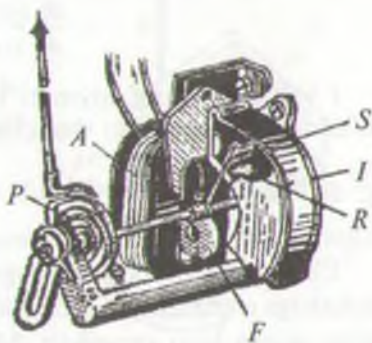
7-§. Elektromagnit sistemadagi asboblari

Elektromagnit sistemadagi asboblarning ishlash prinsipi qo'zg'atuvchan ferromagnetik diskka g'altakdagi sim o'ramlaridan o'tib o'tgan tok o'tganida hosil bo'luvchi magnit maydonning ta'siriga asoslangan.

Elektromagnit sistemadagi asboblarda qo'llaniladigan g'altaklar turli shaklda tayyorlanishi mumkin. Ulardan eng ko'p tarqalgan yassi va silindrik shakldagilaridir. Yassi g'altakli o'lchash mexanizmining prinsipial sxemasi 21- rasmda ko'rsatilgan. A g'altakdan o'tib o'tgan tok o'tganda uning F ferromagnit (temir)ga ta'siri elektromagnit ta'siriga o'xshashdir. Disk g'altakning ichiga tortilganidan u bilan bitta aylanish o'qiga mahkamlangan strelka burilib, ularni tutib turuvchi P prujinada elastik kuch yuzaga keladi. Ferromagnit o'q strelka tebranishsiz burilishligi uchun paramagnitdan yasalgan F silindr ichiga bir uchi aylanish o'qiga S sterjen vositasida mahkamlangan tinchlantiruvchi R yuk joylashtirilgan.

Elektromagnit asbobning sezgirlik formulasini va shkala tenglamasini quyidagicha chiqarish mumkin. Jismni o'q atrofida burilishga sarf bo'ladigan ish formulasi $dA = M d\alpha$ dan (bunda M = buruvchi moment)

$M = \frac{dW}{d\alpha}$ kelib chiqadi; bunda



21- rasmi.

$dW = d\alpha$ burchakka burilishdagi magnit energiyasining o'zgarishi Induktiv g'altakdan tok o'tganda yuzaga kelgan magnit energiya

$\frac{Li^2}{2}$ ga teng. Shuning uchun $M = \frac{i^2}{2} \cdot \frac{dL}{d\alpha}$. Qarshi ta'sir qiluvchi $M' = k\alpha$ moment prujina yordamida hosil qilinadi. Tok o'tganda strelkaning harakatlanuvchi qismi buriladi va $M = M'$ shartni qanoatlantiradigan holatga borib to'xtaydi, ya'ni

$$\alpha = \frac{1}{2k} \cdot \frac{dL}{d\alpha} i^2 \quad (2.15)$$

bo'ladi. $\frac{dL}{d\alpha} = \text{const}$ bo'lganda $\alpha \sim i^2$, ya'ni asbobning shkalasi kvadratik bo'lishi kerak. Bu, birinchidan, shkala bo'linmalari bir xil bo'lmasligini (katta i larda bo'linmalar katta, kichik toklarda esa shunchalik mayda bo'ladiki, hisob tok kuchining biror qiymatidan boshlanishini) ko'rsatsa, ikkinchidan, asbob tok yo'nalishini sezmagan holda strelkani faqat bir tomonga yo'naltiradi. Demak, bu tipdagi asboblarda bilan ham o'zgaruvchan, ham o'zgarmas toklarni o'lchash mumkin (o'zgarmas va o'zgaruvchan toklarga shkala turli xil darajalangan bo'lishi mumkin).

Asbobning sezgirligi i tok kuchiga bog'liq:

$$\frac{d\alpha}{di} = \frac{1}{k} \cdot \frac{dL}{d\alpha} i \quad (2.16)$$

i tok kuchining qiymati qancha katta bo'lsa, shkaladagi bo'linma o'lchami ham shuncha katta bo'ladi. Biroq sezgirlikning

$\frac{dL}{d\alpha}$ ga bog'liqligidan foydalanib, shkalani tekislash mumkin. Buning uchun o'zak shakli tanlab olinadi.

Elektromagnit sistemadagi asboblarda texnikada, eng ko'p shchitlarga o'rnatishda qo'llaniladi. Ular o'zgarmas va o'zgaruvchan toklar uchun ham yaroqlidir. Magnitoelektrik sistemadagi asboblarga nisbatan qimirlatishlarga, tokning birdan ortib ketishiga ancha

ing'on. O'ltak harakatsiz, shuning uchun ampermetrlarda yetarli darajada yo'g'on simdan kam sondagi o'ramdan tayyorlasa ham bo'ladi, voltmetrlarda - ingichka simdan ko'p sondagi o'ramli g'altak ishlatiladi. Biroq ularning aniqligi uncha katta emas, energiyani ko'proq iste'mol qiladi. Undan tashqari, ularning ko'rsatishlariga tashqi magnit maydonlar ta'sir qiladi.

№ 9. Elektrodinamik sistemadagi asboblarda

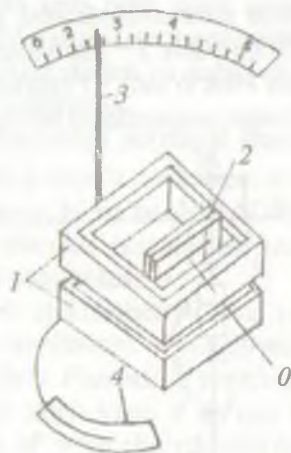
Elektrodinamik sistemadagi asboblarda ikkita g'altakdan foydalaniladi. Bitta g'altak (qo'zg'almas) magnit maydonni yuzaga keltiradi, ikkinchisi esa o'q atrofida aylanib, strelkani harakatga keltiradi (22- rasm).

Qo'zg'almas g'altak 1 kichik havo qatlami bilan ajratilgan ikki teng qismdan iborat bo'lib, bu qismlarning cho'lg'amlari o'zaro ketma-ket ulangan. Havo qatlamida asbobning harakatlantiruvchi qismining 0 o'qi joylashgan bo'lib, bu o'qqa harakatlantiruvchi g'altak 2, strelka 3, havo tinchlantirgichning 4 porsheni va o'ramda ko'rsatilmagan ikki prujina biriktirilgan. Prujinalar harakatlantiruvchi g'altakka tok uzatadi va aksta'sir momentini rag'batga keltiradi.

Magnit oqimlarining o'zaro ta'sirida harakatlantiruvchi ramka burilishga buriladi. Burilish burchagining kattaligi qo'zg'almas ramka orqali o'tayotgan I_1 tok kuchiga va qo'zg'aluvchan ramka orqali o'tayotgan I_2 tok kuchiga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni,

$$\alpha = k I_1 \cdot I_2,$$

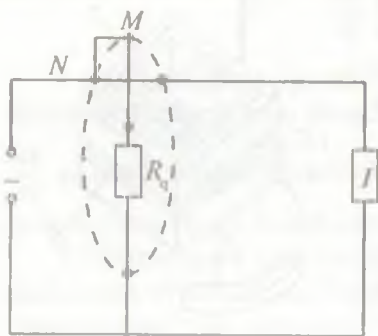
unda k asbobning konstruksiyasiga va ramkalarining o'zaro joylashishiga bog'liq bo'lgan koef-fitsient.



22- rasm.

Asbobning qo'llanishiga qarab, ramkalar ketma-ket yoki parallel ulanishi mumkin. Elektrodinamik asboblari o'zgaras va o'zgaruvchan toklarni o'lchashda qo'llaniladi (ampermetrlar, voltmeterlar va vattmetrlar). Bu asboblarni o'zgaruvchan tokni o'lchashda ishlatish mumkinligining sababi ikkala ramkadagi tokning yo'nalishi bir vaqtning o'zida o'zgarganda harakatlanuvchi qismning yo'nalishi o'zgarmaydi. Elektrodinamik asboblarning aniqligi va sezgirligi o'zgaruvchan tok uchun ayniqsa yuqoridir, chunki ferromagnit detallar yo'q. Lekin bu asboblari ko'p energiya iste'mol qiladi, ularning ko'rsatishlariga tashqi magnit maydon ta'sir qiladi. Mexanik urilib ketishlarga, toklar ortib ketishiga ta'sirchandir (chunki harakatlanuvchi g'altak ingichka toladan yasalgan bo'ladi). Shuning uchun asbob ampermetr va voltmeter sifatida kamdankam hollarda ishlatiladi, u faqat nazorat qiluvchi o'lchagich sifatida qo'llaniladi. Ko'pincha g'altaklarni boshqacha ulab *vattmetr*, *fazametr* kabi qimmatbaho asboblari tayyorlanadi.

Vattmetr — elektrodinamik sistema asbobi bo'lib, uning qo'zg'almas g'altagi I iste'molchi bilan ampermetr kabi ketma-ket ulanadi, harakatlanuvchi g'altagi (R_q qo'shimcha qarshilik orqali) iste'molchiga voltmeter kabi parallel ulanadi (23- rasm). Bu holda g'altaklar mos ravishda «tok g'altagi» va «kuchlanish g'altagi» deb ataladi. Ulardan: I — iste'molchi orqali U kuchlanishga proporsional bo'lgan i tok o'tadi. O'zgaras tokda $\alpha \sim iI \sim IU$, ya'ni α burchak P quvvatga proporsional bo'ladi. Biroq o'zgaras tokda iste'molchi



23- rasm.

quvvatini ampermetr va voltmeter yordamida oson topish mumkin bo'lganligi sababli vattmetrga zarurat yo'q.

O'zgaruvchan tokda esa agar iste'molchi aktiv bo'lmasa, aktiv quvvat $P_{\alpha} = IU \cdot \cos \varphi$ bo'ladi. Bu yerda φ tok kuchi bilan kuchlanish orasidagi faza siljishi. Vattmetr aktiv quvvatni o'lchaydi.

2.4. Elektrostatik sistemadagi asboblari

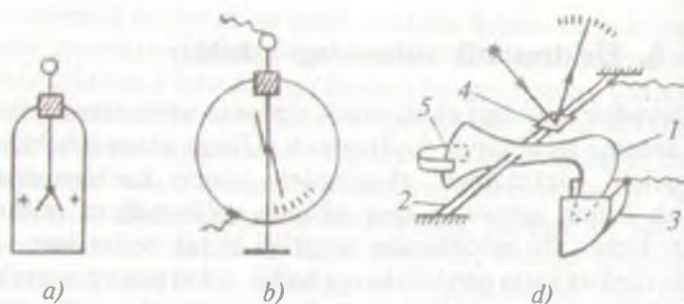
Zaryadlar orasidagi elektrostatik o'zaro ta'sir hodisasi elektrostatik sistema asboblari foydalaniladi. Ularga o'quv asboblari — elektroskop, elektrometr, shuningdek, yuqori kuchlanishlarni o'lchash uchun sanoat va ilmiy ishlarda qo'llanadigan elektrometr kiradi. Bu asboblarning sezgirligi kichik bo'lsa ham, ular amalda cheksiz katta qarshilikka ega bo'lib, tokni butunlay iste'mol qilmaydi desak ham bo'ladi va turli chastotalarda — bir necha mingga qacha bunday yaxshi ishlaydi.

Elektroskop — izolatsiyalovchi tiqin (probka) orqali shisha qutbga tortilgan metall sterjendan iborat bo'lib (24-a rasm), unga tortilgan yengil qog'oz yaproqchalari zaryadlar indikatori xarakterini bajaradi. Yaproqchalar orasidagi burchak faqat ularning zaryadlariga bog'liq bo'lmasdan, balki boshqa asbobga yaqin turgan jismlar zaryadlariga ham bog'liq bo'ladi. Bunday elektroskop o'lchash asbobi hisoblanmaydi.

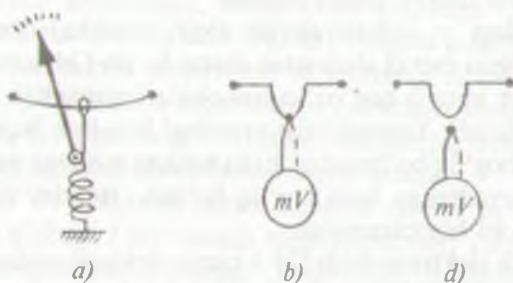
Namoyish elektrometri (24-b rasm) elektroskopdagi kamchilik qisqartirib shunday qilib yo'qotilganki, asbob metall qobiq bilan qoplangan bo'lib, uning potensialini aniq qilib olish mumkin (masalan, yerga ulash yo'li bilan). Markaziy sterjenga nisbatan markaziy strellaga ta'sir etuvchi kuchlar sterjen va qobiq orasida mavjud bo'lgan elektr maydon bilan aniqlanadi.

Ishtirok etadigan maydon kuchlanganligi potensial gradienti $E = -\text{grad}\varphi$ bilan aniqlanadi, gradient φ esa o'z navbatida, sterjen va qobiq orasidagi potensiallar ayirmasi bilan beriladi. Demak, asbob voltmeter hisoblanadi. Uning shkalasi chiziqli bo'lmaydi. Asbob chegarasi bir necha kilovoltga mos keladi.

Elektrostatik sistemadagi o'lchash elektrometri (24-d rasm) asbob shima 3 kvadrant (bir qutb)ga tortiluvchi 1 yengil alumin plastinka (ikkinchi qutb)dan iborat bo'ladi. Plastinka 2 yupqa tasma cho'ziluvchi tasмага mahkamlangan: unga yana 4 ko'zgu ham tortilgan. Aksa ta'sir qiluvchi moment $M' = k\alpha$ cho'ziluvchi tasma uning yuziga keltiriladi. Tebranish 5 magnitoinduksion dempferdagi elektromagnit «ishqalanish» hisobiga to'xtatiladi. Ko'zgu nurni yarim shaffof shkalaga tushirib beradi. Bunday asboblarning



24- rasm.



25- rasm.

boshqacha konstruksiyalari ham mavjud. Bu tipdagi asbob kvadratik shkalali ($\alpha \sim U^2$) bo'ladi. Bu demak, uning ko'rsatishi U ning ishorasiga bog'liq emas. Shuning uchun u ham o'zgarmas, ham o'zgaruvchan toklar uchun yaroqlidir.

10- §. Issiqlik sistemadagi asboblari

Issiqlik sistemadagi asboblarda o'tkazgichdan tok o'tganida unda issiqlik ajralish hodisasidan foydalaniladi. Bunday asboblarning muhim xossasi shundaki, istagan chastotali (hatto 10^8 Gs gacha bo'lgan) o'zgaruvchan tok kuchi ishlatiladigan shkala mos keladi. (O'zgaruvchan tok kuchining va kuchlanishning effektiv qiymatlarini aniqlash o'zgaruvchan va o'zgarmas toklarning yuzaga keltiradigan issiqlik ta'sirlarining mos kelishiga asoslangan) Ajraladigan quvvat $P \sim i^2$ bo'lgani uchun shkala kvadratik bo'ladi.

Issiqlik asbobining asosiy qismi hisoblangan tolani qizdirganda tolani o'zgarishi o'zgaradi. Bu o'zgarishni belgilab olish mumkin. (13-rasm).

Termogalft yordamida tolani temperaturasi o'lchanadi. Issiqlik asboblarining kirish qarshiliklari uncha katta bo'lmaydi, shuning uchun ular voltmeter sifatida emas, balki ko'proq ampermetr sifatida qo'llanilishiga mo'ljallangan.

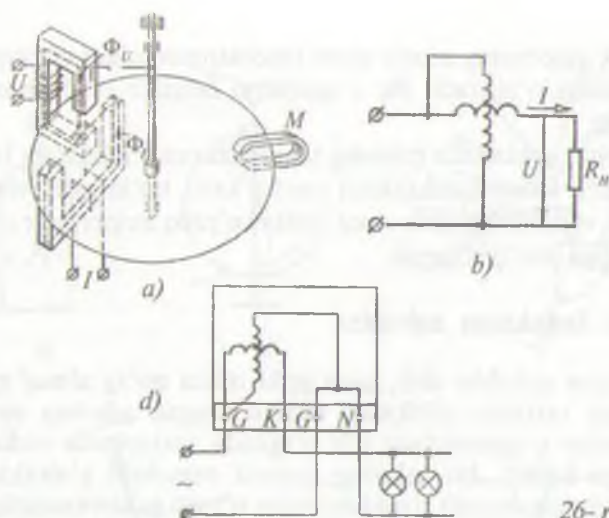
11-§. Induksion asboblari

Induksion asboblari deb, bitta yoki ikkita qo'zg'almas g'altak va alyuminiy taxtachacha (disk)dan tashkil topgan asbobga aytiladi. Induksion asboblardan o'zgaruvchan tok o'tganda taxtachada induksion tok paydo bo'ladi, bu tokning magnit maydoni g'altaklardan o'tib, tokning magnit maydoni bilan o'zaro ta'siri taxtachaning alyuminiy qismini olib keladi. Bunday prinsipda elektroenergiya o'lchash asbobi (tachyotchi) ishlaydi.

O'zgaruvchan tok energiyasini o'lchaydigan asbob turli tolalarni har biriga sarf bo'ladigan elektr energiyasini o'lchashga mo'ljallangan. Bunday asboblarning tuzilishi 26-a rasmda keltirilgan. Gorizontal holatda joylashgan alyuminiy disk ikkita elektromagnit maydoni orasiga kiritiladi. Ulardan biri yo'g'on simdan bir necha o'ram o'ralgan o'zakdan iborat. Bu o'ram tokli o'ram deb atalib, iste'molchisi bilan ketma-ket ulanadi. Undan iste'molchidan o'tadigan tokning hammasi o'tadi.

26-a rasmda (yuqorida joylashgan) o'zakka ingichka tolalardan ko'p sondagi o'ram o'ralgan. Bu o'ram iste'molchiga qo'shiladi va uni parallel yoki kuchlanishli o'ram deb ataladi. Bunday iste'molchidagi kuchlanishga proporsional bo'lgan tok o'tadi. Agar ikkala o'ramdan o'zgaruvchan tok o'tsa, disk aylanma harakatga keladi.

Hisoblashlarning ko'rsatishicha, diskka ta'sir etuvchi va uni aylantirish harakatga keltiruvchi kuch I , U va $\cos \varphi$ larning ko'paytmaga to'g'ri proporsional. Bunda φ — iste'molchidagi tok va kuchlanish orasidagi faza siljishi (agar iste'molchi aktiv qarshilikdan tashqari reaktiv qarshilikka ega bo'lsa). Asbobning tashkil etuvchilaridan biri bo'lgan o'zgarmas M magnit tormozlovchi ta'sir ko'rsatadi. Natijada diskning aylanish tezligi $I \cdot U \cdot k \cdot \cos \varphi$ ga,



26- rasm.

ya'ni o'zgaruvchan tokning aktiv quvvatiga proporsional bo'ladi. Ikkala kattalikni vaqtga ko'paytirib, diskning to'liq aylanishlar soni elektroenergiyaga proporsional bo'lishiga erishiladi.

26-*b, d* rasmda energiya o'lchagichni manbaga va energiyani iste'mol qiluvchiga ulanish sxemasi ko'rsatilgan. 26-*b* rasmda bir fazali zanjirga elektr energiyasini o'lchagich ulanishining prinsipial sxemasi; 26-*d* rasmda esa bir fazali o'lchagichning amalda ulanish sxemasi keltirilgan.

Yuqorida ko'rib o'tilgan barcha sistemalardagi o'lchov asboblarning o'lchash mexanizmlari doimiy magnit bilan tokli o'tkazgich yoki tokli o'tkazgichlarning o'zaro ta'sirlashishiga asoslangan. Shuning uchun asboblarning qo'zg'aluvchan qismi tashqi magnit va elektromagnit maydonlar ta'siridan izolyatsiyalangan bo'lishi zarur. Aks holda asbobning aniqlik darajasi tashqi maydon ta'siri hisobiga o'zgaradi. Tashqi maydon ta'sirida yuz beradigan xatolikni kamaytirish uchun elektr o'lchov asboblarning o'lchash mexanizmi maxsus ekranlar yoki g'iloqlar bilan o'raladi.

Elektr o'lchov asboblarning tashqi konstruktiv jihozlanishi, shkala va ko'rsatkich konstruksiyasi asboblarning qo'llanish sharoitiga bog'liq.

Asboblarni stolga qo'yadigan, olib yuradigan shaxsiy shchitlarga o'rnatiladigan bo'lishi mumkin.

Elektr o'lchov asboblarning ish sohasiga ahamiyati bor bo'lgan belgilari quyidagi jadvalda keltirilgan.

ELEKTR O'LCHOV ASBOBLAR SHKALASIDAGI BELGILAR

1. Birlik belgilari

A – ampermetr	kV – kilovoltlar
mA – milliampermetrlar	W – vattlar
μ A – mikroampermetrlar	Ω – omlar
V – voltmert	M Ω – megaomlar
H – genri	F – faradalar
Hz – gerslar	KWh – kilovattsoatlar.

2. Asbob sistemasi

Elektr o'lchov asboblari sistemalarining belgilari

Sistema	Shartli belgi	Asboblarni	Asbobning belgisi	Tokning turini ko'rsatuvchi belgi
Magnito-elektrik		1. Milliampermetr 2. Ampermetr 3. Millivoltmetr 4. Voltmetr	mA A mV V	$\ll = \gg$
Elektro-magnit		1. Milliampermetr 2. Ampermetr 3. Millivoltmetr 4. Voltmetr	mA A mV V	$\ll \approx \gg$
Elektro-dinamik		1. Ampermetr 2. Voltmetr 3. Vattmetr	A V W	$\ll \approx \gg$
Issiqlik				
Elektro-statik		Voltmetr	V	$\ll = \gg$

3. Asbobning tavsiya qilingan holati

→ yoki  – gorizontal

↑ yoki $\perp$ – vertikal

60° – shkala gorizontga 60° burchak ostida.

4. Asbob korpusining izolatsiyasi

- ☆ izolatsiya 5 kV kuchlanishga bardosh beradi.
- ⚡ qizil rangdagi belgi: «Ehtiyot bo'ling!» izolyatsiya mustahkamligi meyoriga mos emas.

Elektr o'lchov asboblari tok kuchi, kuchlanish, elektr qarshilik, quvvat va boshqa elektr kattaliklarni o'lchashga mo'ljallangan. Tok kuchini ampermetrlar, kuchlanishni voltmetrlar, qarshilikni ommetrlar, quvvatni vattmetrlar yordamida o'lchanadi. Ampermetr, voltmetr, ommetr va vattmetrlar o'lchanayotgan elektr kattaliklarning ayni o'lchash paytidagi qiymatlarini ko'rsatadi. Shuning uchun bu tipdagi asboblarning ko'rsatuvchi asboblari deyiladi.

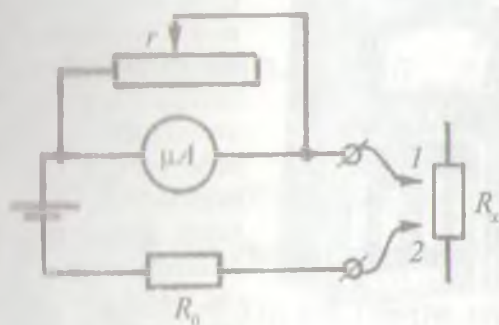
Elektr o'lchov asboblari g'ilof, qisqichlar, shkala, ko'rsatkich strelkasi, cheklagich, korrektor vinti kabi asosiy qismlardan tashkil topgan. Asbob g'ilofi o'lchash mexanizmini chang, namlik va shu kabi boshqa ta'sirlardan saqlash uchun zarur. Korrektor vinti o'lchashdan oldin asbob strelkasi uchini shkala noliga keltirish uchun qo'llaniladi. Asbobni maksimum o'lchash chegarasiga o'tkazish uchun ikki yoqlama ulagichdan foydalaniladi.

Bu o'lchov asboblarning ishlatilishi bilan, ampertmetrga shunt, voltmetrga qo'shimcha qarshilik tanlash va qarshilikni o'lchash mashqlarini bajarishda aniqroq tanishamiz.

Endi «ommetr» va «AVOmetr» deb nomlanuvchi universal elektr o'lchov asboblarning tuzilishi va ishlash prinsipi bilan tanishib chiqaylik.

12-§. Ommetrlar

Ommetr – qarshilikni o'lchashga mo'ljallangan maxsus asbob. 27- rasmda eng ko'p tarqalgan ommetrning soddalashtirilgan sxemasi keltirilgan. Tekshirilayotgan rezistorning qarshiligi undan



27- rasm.

oʻlchovdagi tok boʻyicha aniqlanadi. Tok mikroampermetr bilan oʻlchanadi. Mikroampermetrning koʻrsatishi manbaning EYKiga qarshi boʻlgan uchun, uning sezgirligini oʻzgaruvchi shunt bilan oʻzgartirish lozim boʻladi.

Oʻlchashni boshlashda 1 va 2 uchlar qisqa tutashtiriladi. Bu $R_x = 0$ boʻlgan holga mos boʻladi. Reostat yordamida mikroampermetr strelkasini maksimal burilishiga erishiladi. Shkalaning boshida qarshilik «0» deb belgilanadi. Shundan soʻng, 1 va 2 uchlar R_x ga ulanadi. Strelka uncha katta boʻlmagan burchakka buriladi.

Shkala oldindan Ω larda darajalangan boʻladi. Strelkaning chap tomonidagi (tok kuchi nolga teng boʻlgandagi) holati $R_x = 0$ ni bildiradi.

Juda katta qarshiliklar ($10^{15} \Omega$ gacha) boshqacha tuzilish prinsipiga ega boʻlgan *megaohmmetr* va *teraohmmetr* deb ataluvchi ommetrlarda oʻlchanadi. Kichik qarshiliklarni, umuman, qarshiliklarni aniq oʻlchash uchun ommetrlardan emas, balki koʻprik oʻlchov usulidan foydalaniladi.

1.1.4. Avometr

Avometr soʻzi ampermetr, voltmeter, ommetr soʻzlarining bosh harflari va metr soʻzidan tashkil topgan boʻlib, u tok kuchi, kuchlanish va qarshilikni oʻlchashda qoʻllanuvchi universal elektr oʻlchov asbobi hisoblanadi. Avometr aniqligi va oʻlchash chegarasiga



28- rasm.

ko'ra turli marka bilan belgilanadi. Maktab avometrining umumiy ko'rinishi 28- rasmda berilgan. Har qanday tipdagi avometrda to'g'ri foydalanish uchun mashq qilish ishlarini bajarish, malakasini o'rttirish talab qilinadi. O'rganishga kirishishdan oldin avometrning old tomoniga qo'yilgan belgilar bilan tanishib chiqish lozim.

Avometr asbobi o'zgarmas hamda o'zgaruvchan tok kuchi va kuchlanishni, shuningdek, o'tkazgichlar qarshiligini o'lchash

uchun yaroqli bo'lganligidan panelning chap tomonida tok kuchini ($\sim mA \Rightarrow$) o'ng tomonida kuchlanishni ($\Rightarrow V \sim$) quyi tomonida esa qarshilikni (Ω) o'lchash uchun maxsus belgili, o'lchash chegarasi ortib boruvchi va «umum» belgisi bilan tugagan uyachalarga ega. «mA» belgining chap tomonidagi uyachalardan o'zgaruvchan, o'ng tomonidagi uyachalardan esa o'zgarmas tok kuchlarini o'lchashda foydalaniladi. «V» belgining chap tomonidagi uyachalardan o'zgarmas tok, o'ng tomondagi uyachalaridan esa o'zgaruvchan tok kuchlanishini o'lchashda foydalaniladi. « Ω » belgi davomidagi uyachalar qarshilikni o'lchashga mo'ljallangan. Avometrni tok kuchi yoki kuchlanishni o'lchashga tayyorlashda uning o'ng tomonida pastga o'rnatilgan rezistordagi $\leftarrow$ ko'rsatkich belgi qo'zg'almas qismga yozilgan mA yoki V $\leftrightarrow$ belgiga to'g'rilab o'rnatiladi, qarshilikni o'lchashda esa rezistordagi belgiga to'g'rilanadi.

III. LABORATORIYA ISHLARINING TAVSIFLARI

I- LABORATORIYA ISHI

AVOMETRNING ISHLASH PRINSIPI BILAN TANISHISH

[№ 1]; [№ 2]; [№ 9]; [№ 15]; [№ 16]; [№ 19].

1. Avometr yordamida o'zgarmas tok kuchini o'lchash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Avometr. 2. Simlar. 3. O'zgar-
mas tok manbalari.

1. O'zgaruvchan rezistor (buraluvchi kalit) kallagi ko'rsat-
kichini «mA» belgi qarshisiga o'rnatish.

2. Uchlarida shtekerlari bo'lgan simlardan birining bir uchini
«mA» yozuvli «umum» belgili teshikka tiqib qo'ying.

3. Ikkinchi shtekerli simning har bir uchini «mA» qatordan
o'lchash chegarasini tanlab, shu tanlangan teshikchaga tiqib qo'ying.

4. Tanlangan o'lchash chegarasida «—» ishora bilan belgilangan
shkala belgilari qiymatining umumiy soni N olinadi.

5. Shtekarlarning bo'sh qolgan uchlariga qisqichlar o'rnatilib,
zanjirning tok kuchi o'lchanadigan qismiga avometr iste'molchi
bilan ketma-ket ulanadi.

6. Zanjirdan tok o'tganda asbobning strelkasi shkala chiziq-
laridan N_1 tasini ko'rsatsin. Shteker oldindan biron k' aniq sonli
teshikchaga tiqilgan bo'lsa, o'lchanuvchi tok kuchi $I = \frac{k'}{N} N_1$
formuladan hisoblanadi.

7. Bu vazifa bir necha marta takrorlanib, zanjirdagi tok
kuchining o'rtacha qiymati aniqlanadi.

2. Avometr yordamida o'zgaruvchan tok kuchini o'lchash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Avometr. 2. Simlar. 3. O'zgaruvchan tok manbai.

Bu mashqni bajarishda birinchi holdagi o'zgarmas tok uyalari o'rnida o'zgaruvchan tok uylaridan foydalanib, yuqoridagi mashqni bajarishdagi barcha bandlar takrorlanadi. Undagi oltinchi band quyidagicha ifodalanadi.

Aytaylik, «~» belgili shkalalarning umumiy soni N' shteker tiqilgan uyacha yoniga k'_1 soni yozilgan va strelka uchi shu «~» belgili shkala bo'ylab N'_1 songa burilgan bo'lsin, bunda o'lchanuvchi tok kuchi

$$I = \frac{k'_1}{N'} \cdot N'_1$$

bo'ladi.

3. Avometr yordamida o'zgaruvchan va o'zgarmas tok kuchlanishini o'lchash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Avometr. 2. Simlar. 3. O'zgarmas tok manbalari. 4. O'zgaruvchan tok manbalari.

O'lchashlar o'zgarmas va o'zgaruvchan tok kuchini o'lchash ishi kabi bajariladi. Asbob kuchlanishni o'lchaganligi tufayli zanjirdagi iste'molchiga parallel ulanadi.

Shtekerlar kuchlanishni o'lchashda tokka bog'liq holatda «=V» tomondagi (o'zgarmas tok bo'lganda) yoki «-V» tomondagi (o'zgaruvchan tok bo'lganda) uyachalarga tiqiladi. Kuchlanish kattaligini hisoblashda o'zgarmas tok uchun («=» shkala)

$$U = k_1 \frac{N_1}{N}$$

o'zgaruvchan tok uchun («~» shkala)

$$U = k'_1 \frac{N_1}{N}$$

formulalar o'rinli bo'ladi. Bunda k_1 tok o'zgarmas bo'lgandagi shteker tiqilgan uyachaga mos kelgan son, k_1' o'zgaruvchan tok bo'lgan holdagi shteker tiqilgan uyachaga mos kelgan son.

4. Avometr yordamida qarshilikni o'lchash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Avometr. 2. Turli rezistorlar. 3. Simlar.

Zanjir qismidagi qarshilikni o'lchashda zanjirda tok bo'lmasligi shart.

1. Rezistor kallagidagi ko'rsatkich « Ω » belgi tomonga moslab olinadi.

2. Uchlarida shtekarlari bo'lgan ikkita simning bittadan shtekarlari « Ωxk » va shu qatordagi «umum» belgisi uyachalarga tiqiladi. Ularning ikkinchi bo'sh uchlari qisqa tutashtirilib, o'lchash strelkasi aniq nolga keladigan qilib sozlab olinadi.

3. Tanlangan o'lchash chegarasini nazarga olgan holda shtekerli simlarning bo'sh uchlari zanjir qarshiligi o'lchanuvchi qismining chegara uchlari tutashtiriladi.

4. O'lchanuvchi qarshilikni hisoblash uchun strelka og'gan bo'limlar soni N ni shteker tiqilgan uyacha yonidagi songa ko'paytiriladi. Masalan, shteker o'n sonli uyachaga tiqilganda strelka « Ω » shkaladan 5 ni ko'rsatsa, o'lchanayotgan qarshilik

$$R = 10 \cdot 5 = 50 \Omega$$

ga teng ekanini topamiz.

5. Avometr ish rejimi buzilmasligi uchun o'lchashlar tugagach rezistor kallagi «mAV» vaziyatga o'tkazib qo'yiladi.

Maktab avometridan tashqari, masalan, ABO-5, ABO-63 va boshqa turdagi avometrlar yordamida ham yuqoridagi usullar bilan tok kuchi, kuchlanish va qarshilikni o'lchash ishlari bajariladi.

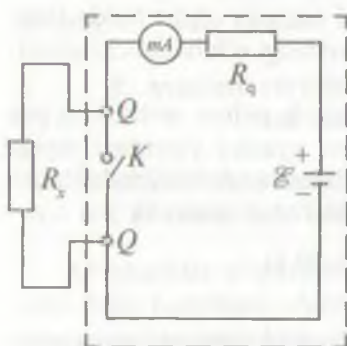
5. O'tkazgichlar qarshiligini ommetr yordamida o'chlash

Kerakli asboblari va materiallar: 1. Ommetr. 2. Qarshiligi aniqlanuvchi o'tkazgichlar. 3. Ulash simlari. 4. Shtangensirkul va chizg'ich.

O'tkazgichlarning qarshiligini aniqlashda bevosita ishlatiladigan asbob *ommetr* deb ataladi. O'quv laboratoriyalarida qo'llaniladigan ommetrlardan birining sxemasi 29- rasmda ko'rsatilgan. Ommetr bir-biriga ketma-ket ulangan magnitoelektrik milliampermetr (mA), qo'shimcha qarshilik (R_q) kalit (K) va tok manbai ($\mathcal{E}$) dan iboratdir. O'lchanayotgan qarshilik ommetrning $Q-Q$ qisqichlariga ulanganda milliampermetr strelkasining og'ish burchagi

$$\alpha = SI = S \frac{U}{R_q + R_x + R_A},$$

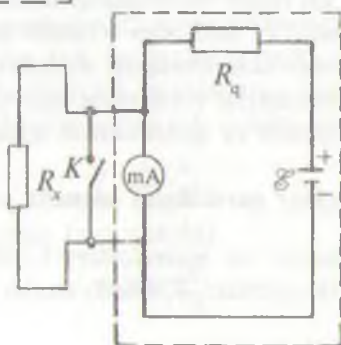
bo'ladi. Bunda S — milliampermetr doimiyligi; R_A — milliampermetr qarshiligi. Agar $R_x = 0$ bo'lsa, asbob strelkasi maksimal og'adi. $R_x \rightarrow \infty$ bo'lganda esa uning og'ishi nolga intiladi. Shuning uchun ham ommetr shkalasining noli o'ng tomonda yotadi (30- rasm). Bunday ketma-ket sxemali ommetrlar qarshiligi 1000 Ω dan katta



29- rasm.



30- rasm.



31- rasm.

bo'lgan o'tkazgichlar qarshiligini o'lchash uchun ishlatiladi. 1000 Ω dan kichik qarshiliklarni o'lchashda parallel sxemali ommetrdan foydalaniladi. Parallel sxemali ommetr ham tok manbai, qo'shimcha qarshilik R_x , magnitoelektrik sistemadagi milliampermetrdan iborat bo'lib, bunda faqat qarshiligi aniqlanuvchi o'tkazgich milliampermetrga parallel ulanadi (31- rasm).

Parallel sxemali ommetrlarda qarshilikni o'lchashda asbob strelkasining og'ish burchagi quyidagi formuladan topiladi:

$$\alpha = S \frac{U}{R_x \left(1 + \frac{R_A}{R_x}\right) + R_A}.$$

Agar $R_x = 0$ bo'lsa, asbob strelkasi nolni ko'rsatadi, $R_x \rightarrow \infty$ bo'lganda esa uning og'ishi maksimum bo'ladi.

Ommetrlar bilan o'tkazgichlar qarshiligini 1,5—2,5% gacha aniqlikda topish mumkin. Noma'lum qarshilikni o'lchashda oldin ommetrdagi maxsus K kalit ulanib, asbob strelkasi ichki qarshilikni o'zgartirish bilan aniq nolga keltiriladi, so'ngra o'lchashlar o'tkaziladi.

O'lchashlar

1. Qarshiligi aniqlanuvchi o'tkazgichlar yakka-yakka holda ommetr qisqichlariga simlar orqali ulanadi va har birining qarshiligi 3—4 marta takror o'lchanib, ularning o'rtacha qiymati topiladi.

2. O'tkazgichlar o'zaro ketma-ket ulanib (6- laboratoriya ishidagi 53- rasmga q.), tuzilgan zanjirning umumiy qarshiligi topiladi va olingan natijalar (10) formula yordamida hisoblangan natija bilan taqqoslanadi.

3. O'tkazgichlar o'zaro parallel ulanadi (54- rasmga q.) va ularning umumiy qarshiligi o'lchanib, (12) formula yordamida hisoblab topilgan natija bilan taqqoslanadi.

4. O'tkazgichlar 55- rasm bo'yicha aralash ulanadi va ommetr yordamida umumiy qarshilik topilib, tajriba natijasi (15) formula orqali hisoblab topilgan qarshilik qiymati bilan taqqoslanadi.

5. Har bir o'tkazgichning tajribada topilgan qarshiligi (R), uzunligi (l) va ko'ndalang kesimi (S)ni bilgan holda ularning solishtirma qarshiligi, elektr o'tkazuvchanligi (l), (4) formulalardan hisoblab topiladi va o'tkazgichning materiali aniqlanadi.

2- LABORATORIYA ISHI

ELEKTR O'LCHOV ASBOBLARINING O'LCHASH CHEGARASINI ORTTIRISH

[№ 1]; [№ 2]; [№ 4, IX bob, 125- b]; [№7].

1- mashq

Ampermetrning o'lchash chegarasini orttirish

Kerakli asbob va materiallar: 1. Etalon ampermetr. 2. Darajalanuvchi milliampermetr. 3. Reoxord. 4. Kalit va o'lchash simlari. 5. Tok manbayi. 6. Potensiometr.

Elektr zanjiridan o'tuvchi tok kuchini o'lchash uchun yuqorida qayd qilingan asboblardan biri — galvanometrda hamma vaqt ham foydalanib bo'lavermaydi. Chunki bu asboblarning sezgirligi juda katta bo'lsa-da, ularning o'lchash chegaralari juda kichikdir.

Bunday vaqtlarda pog'onali asboblardan foydalanishga to'g'ri keladi. O'lchov asboblarining u yoki bu elektr kattaliklarning keng oraliqdagi qiymatlarini o'lchash uchun pog'onalarga bo'lish orqali ishlatish chegarasini oshirish mumkin bo'lgan asboblar *ko'p pog'onali asboblar* deyiladi. Shu sababli tok kuchining katta qiymatlarini o'lchash uchun asbob o'lchash mexanizmining qo'zg'aluvchan g'altagi uchlariga *shunt* deb ataluvchi metall tasma yoki simdan iborat qo'shimcha qarshilikni parallel ulash bilan *pog'onali ampermetr* tayyorlanadi (32- rasimga q.).

Tokning ko'p qismi shunt orqali o'tadi. Asbobning sezgirligini n marta kamaytirish uchun shuntning qarshiligi asbob qarshiligidan $n - 1$ marta kichik bo'lishi kerak. Shuntning uzilib qolishi asbob uchun xafvlidir. Shuning uchun shunt zanjirga bevosita ulanib, galvanometr unga ingichka simlar yordamida parallel ulanadi. Tok kuchini o'lchashda tayyorlangan bunday asboblar amalda tatbiq etilish chegarasiga qarab mikro, milliampermetr va ampermetrlarga ajratiladi va ko'pincha ularning shkalalari o'lchanuvchi kattalikning bevosita qiymatini olish emas, balki hisoblab topishga mo'ljallab

darajalangan bo'ladi. O'lchash vaqtida ampermetrning o'lchash mexanizmi zanjirga ketma-ket ulanadi. Shu vaqtda o'lchanishi kerak bo'lgan tok ampermetr orqali o'tadi.

Bundan ko'rinadiki, ampermetr o'lchash mexanizmidagi tok o'tadigan qismining qarshiligi (ampermetrning ichki qarshiligi) kichik bo'lishi kerak, bunda asbobning zanjirga ulangan qismida energiya isrofi e'tiborga olinmaydigan darajada kichik bo'lishi kerak. Ko'pincha laboratoriya sharoitida galvanometr o'rniga mikro yoki milliampermetrning o'lchash chegarasini oshirish vazifasi qo'yiladi.

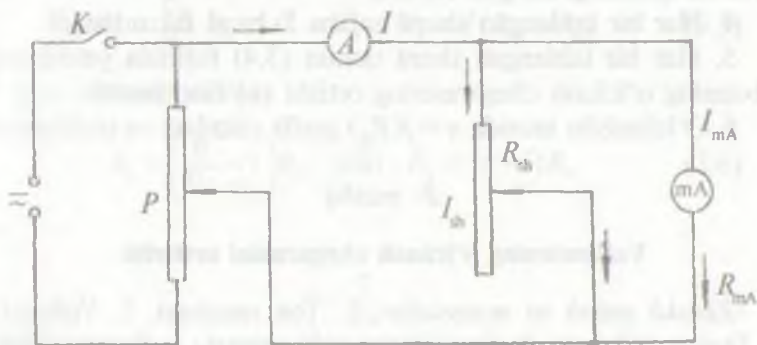
Quyida shu vazifaning bajarilishi haqida gapiriladi (32- rasm).

Zanjirning milliampermetrli qismidan o'tuvchi tok kuchi I_{mA} , shu tok o'tadigan o'tkazgichning qarshiligi R , shunt qarshilik R_{sh} bo'lganda Kirxgofning 1- qoidasi quyidagicha ifodalanadi:

$$I = I_{mA} + I_{sh} \quad (3.1)$$

Om qonuniga asosan

$$\frac{I_{sh}}{I_{mA}} = \frac{R_{mA}}{R_{sh}} \quad (3.2)$$

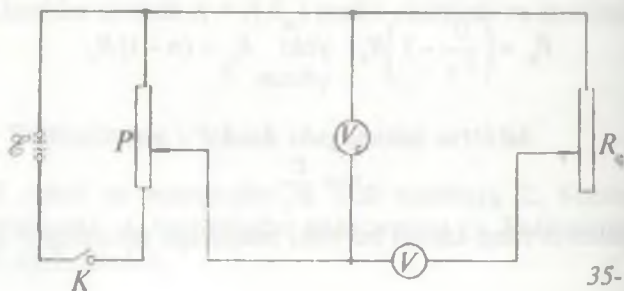


32- rasm.

Tajriba qurilmasining prinsipial sxemasi 35- rasmda keltirilgan. Sxemada $\mathcal{E}$ tok manbayi (tok manbayi sifatida elektr taqsimlash shchitidan foydalanilsa, shchitdagi avtotransformatori vositasida qurilmaga uzatilishi zarur bo'lgan kuchlanishning ixtiyoriy qiymatlarini olish qulay bo'ladi). R_q qo'shimcha qarshilik sifatida reostat olingan, V_1 etalon voltmeter, V darajalanuvchi voltmeter, P — potensiometr. Ishning bajarilishida zarur bo'lgan tok manbayining o'zgarmas yoki o'zgaruvchan ekanligiga bog'liq holda oldindan kerakli asboblarni tanlanadi. O'zgaruvchan tok zanjirlarida asbob shkalasi chegarasini orttirish uchun oddiy transformatorlardan foydalaniladi.

O'lchashlar

1. 35- rasmda ko'rsatilgan sxema yig'iladi.
2. Qo'shimcha qarshilikning ma'lum bir qiymatida potensiometrni minimum holatidan chiqarib, ilgich holatini asta-sekin o'zgartira borib, etalon va darajalanuvchi voltmeter ko'rsatishlarini bir necha marta yozib olinadi.
3. Etalon voltmeter va darajalanuvchi voltmetrning ko'rsatishlarini bilgan holda (3.6) formula orqali qo'shimcha qarshilikning o'rtacha qiymati hisoblanadi.
4. Qo'shimcha qarshilikning har xil qiymatlari uchun 2 va 3- bandlar bajariladi.
5. Tajriba natijalari asosida (3.6), (3.7) formulalar yordamida R_q va n lar har bir k - hol uchun hisoblanadi.
6. $n = f(R_q)$ funksiya grafiqi millimetrlri qog'ozga chiziladi va izohlanadi.



35- rasm

Savollar

1. Magnitoelektrik sistemadagi o'lchov asbobining tuzilishi va ishlash prinsipi qanday?
2. Elektromagnit sistemadagi o'lchov asbobining tuzilishi va ishlash prinsipi qanday?
3. Elektromechanik sistemadagi asboblarning tuzilishi va ishlash prinsipi qanday?
4. Aerenometrning tuzilishi qanday?
5. Aerenometr yordamida tok kuchi qanday o'lchanadi?
6. Tok kuchi nima? U qanday birliklarda o'lchanadi?
7. Aerenometr yordamida kuchlanish qanday o'lchanadi?
8. Potensial, kuchlanish nima? Ular qanday birliklarda o'lchanadi?
9. Aerenometr yordamida qarshilik qanday o'lchanadi?
10. Shunt nima? Uning vazifasi nimadan iborat?
11. Potensiometrlarning vazifasi nimadan iborat?
12. O'lchash uchun qarshilikning vazifasi nimadan iborat?

3- LABORATORIYA ISHI

ELEKTR POTENSIAL MAYDONNI O'RGANISH

[§§ 15, 46, 47- §§]; [№ 7, 7- §]; [№ 3, 17-19, 62- §]; [§§ 1, 10- §]; [№ 19; 3- ish].

Ishning maqsadi — zond yordamida hosil bo'lgan elektr maydonni va ekvipotensial sirtlarning xossalari o'rganish.

Elektronli, ionli va boshqa turdagi asboblarning konstruksiyasi o'rganilganida har xil shakldagi elektrodlar orasida hosil bo'lgan elektr maydonni bilish kerak bo'ladi. Asbob ichidagi maydonni bevosita o'lchash ancha murakkab bo'lib, ba'zan amaliy o'lchab bo'lmaydi. Chunki o'rganilishi kerak bo'lgan maydon asbobning shunday qismida joylashgan elektrodlar yordamida hosil bo'ladi, bu yerga maydonni o'rganishga imkon beradigan zondni kiritishning hech iloji bo'lmaydi. Ammo buning uchun maydonni o'rganilishi kerak bo'lgan elektrodning o'lchami o'zgartiriladi va ular ish rejimidagiga o'xshash holatda

kuchsiz elektrolit quyilgan vannaga joylashtirilgan holda qarab chiqiladi. Elektrodلarga ma'lum bir potensial berilib, ular hosil qilayotgan maydonni o'rganish uchun elektr zonddan foydalaniladi.

Vanna dielektrik yoki kuchsiz elektrolitlar bilan to'ldirilganda elektrodلar orasidagi maydon o'z xarakterini o'zgartirmaydi deb, maydonni xarakterlovchi elektr kattalikلarning miqdoriy o'zgarishini ko'rib chiqamiz.

Faraz qilaylik, bir jinsli kuchsiz elektrolitga elektr o'tkazuvchanligi katta bo'lgan ikkita A va B elektrod joylashtirilgan bo'lsin. Bu holda elektrodning hamma nuqtasi bir xil potensialga ega bo'ladi, deb qarash mumkin. Elektrod potensiallarini (φ_1 va φ_2) doimiy saqlab turamiz. Ko'rilayotgan elektrodلarni kondensator qoplamalari deb qarab, elektrodلar orasidagi tok zichligini topamiz.

φ_1 va φ_2 o'zgarmas va muhit bir jinsli bo'lganidan elektrodلar orasidagi tok stansionar bo'ladi, demak, elektrodلar orasidagi hajmiy

zaryadلar vujulga kelmaydi, chunki o'zgarmas tok uchun $\oint j dS = 0$

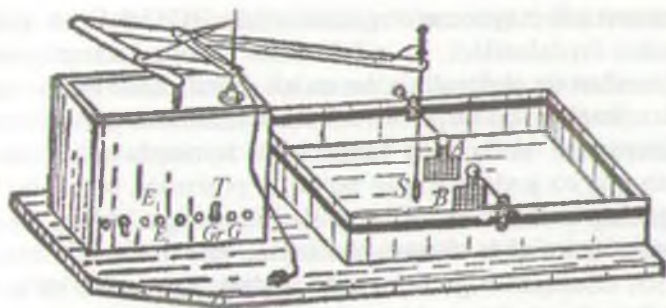
o'rinlidir. Bu yerda tok zichligi $j = \gamma E$. Bu ikki formuladan, dielektriklarda bo'lgani kabi, kuchsiz elektrolitlar uchun ham Ostrogradskiy-Gauss teoremasi o'rinli bo'lishi kelib chiqadi:

$\oint E_n dS = 0$, demak, hajmiy zaryadلar uchun $\Sigma q = 0$.

Keyingi ikki formuladan ko'rinadiki, dielektriklar va kuchsiz elektrolitlar elektr maydon uchun manba bo'la olmaydi. Ulardagi kuchlanganlik kuch chiziqlari xarakteri va ekvipotensial sirtلar xuddi vakuumdagidek bo'ladi. Shuning uchun ularni o'rganishda elektrolitik vannalardan foydalaniladi.

Elektrolitning erkin sirti o'rganilayotgan maydonning xarakterini o'zgartirmasligi uchun elektrolitik vannadan foydalanishda quydagilarga e'tibor berish zarur: 1. Vannaning o'lchamlari elektrodلar sistemasi o'lchamidan ancha katta bo'lishi kerak. 2. Elektrodلar elektrolitlar ichiga iloji boricha chuqur tushurilishi zarur.

Laboratoriyada foydalaniladigan elektrolitik vannaning prinsipial elektr sxemasi 36- rasmda keltirilgan. Elektr zond sifatida S metall simning o'tkir uchi xizmat qiladi. Galvonometr zond (S)



36- rasm.

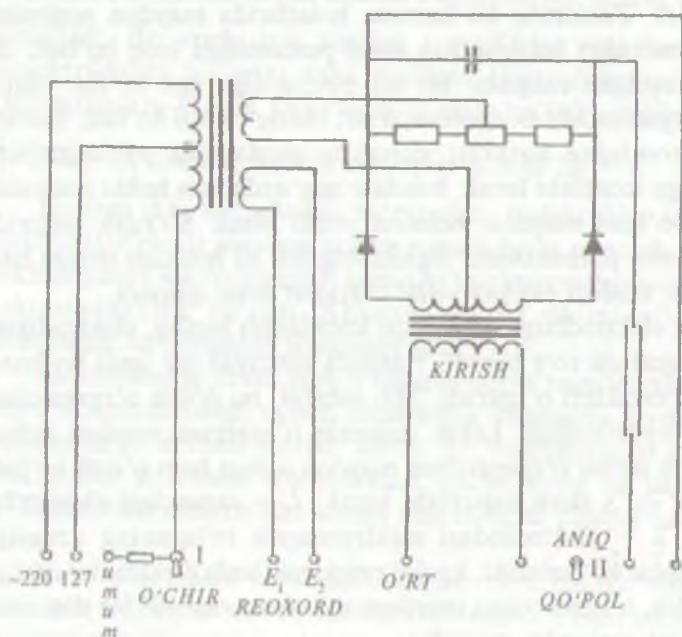
bilan potensiometr (P) ga ulanadi. Galvanometr o'rniga ossillograf olish ham mumkin, bunda zond va potensiometrnin C uchi ossilografning vertikal plastinkalariga ulanadi. Zondni elektrolitda harakatlantirib, galvanometrnin ko'rsatishi nol bo'lgan holatlari aniqlanadi. Zondning bu hamma holatlarida maydon potentsiali potensiometrdan berilayotgan zond potentsialiga teng bo'ladi. Bu usulda topilgan nuqtalar bir xil potentsialga ega bo'lib, ularni birlashtirganimizda ekvipotensial sirt chizig'i hosil bo'ladi. Buning uchun zondning harakati richaglar yordamida pantografning shriftlariga uzatilishi kerak, bunda u qog'ozda mos holda potentsiali bir xil bo'lgan nuqtalar holatini yozib oladi. So'ngra yuqorida aytilganlarni potensiometr jilgichining har xil holatlari uchun ham takrorlab, boshqa ekvipotensial chiziqlar hosil qilinadi.

Agar elektrodlarga o'zgarmas kuchlanish berilsa, elektrodlarda modda ajralishi ro'y beradi. Natijada elektrolit bir jinsli bo'lmay, maydon xarakteri o'zgaradi. Shu sababli, bu holda o'zgaruvchan tokdan foydalaniladi. Lekin yuqorida o'zgarmas maydon uchun keltirilgan fikrlar o'zgaruvchan maydon uchun ham o'rinli bo'lishi uchun $L \ll \lambda$ shart bajarilishi kerak. L — vannadagi elektrodlar oralig'i, λ — elektrolitdagi elektromagnit to'lqinning uzunligi. Hisoblashlar ko'rsatadiki, kuchsiz elektrolitlarda elektrodlar oralig'i 1 m bo'lsa, o'zgaruvchan maydonning chastotasi 10^3 Hz dan ortiq bo'lmasligi maqsadga muvofiq.

Elektrostatik maydonni o'rganish uchun ЭПП ФП 9А tipidagi qurilmadan foydalaniladi. Bu qurilma 36- rasmda ko'rsatilgandek, elektr qismdan va elektrolitik vannadan iborat. Elektrolitik vanna shishadan yasalgan bo'lib, elektrodلarni joylashtirish uchun maxsus tutqichlarga ega. Vannaning tagiga ichki tomondan kvadratlarga bo'lingan qog'oz joylashtirilgan bo'lib, u potentsiali bir xil bo'lgan nuqtalarning o'rnini (koordinatasini) bilishga imkon beradi. Koordinatalar aniqlab olingandan keyin, ular vositasida ekvipotensial sirt chiziqlarini grafik usulda ifodalash mumkin bo'ladi.

Qurilmani ishga tayyorlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Elektrolitik vannali ЭПП ФП 9А tipidagi qurilma (elektr sxemasi 37- rasmda keltirilgan). 2. Reoxord. 3. «Nol» nuqtasi o'rtada bo'lgan galvanometr.



37- rasm.

1. Elektr maydoni o'rganilishi kerak bo'lgan elektrodlar maxsus tutqichlar vositasida vannaga o'rnatiladi.

2. Elektrodlar asbobidagi « E_1 » va « E_2 » qisqichga ulanadi.

3. Reoxordning ikki uchi ham shu klemmalarga ulanadi.

4. Reostatning sirpanuvchi kontaktli uchi «O'rt» klemmaga ulanadi.

5. Elektr zondning bir uchi «Shup» deb yozilgan klemmaga ulanib, ikkinchi uchi maxsus qurilma yordamida vannaning tubiga tegadigan qilib elektrodlar orasiga joylashtiriladi.

6. Galvanometr sxemada ko'rsatilgan klemmalarga ulanadi.

7. I tumbler «O'chir» holatiga, II tumbler «Qo'pol» holatiga keltirib qo'yiladi.

8. Vannaga kuchsiz elektrolit elektrodslarni ko'madigan qilib quyiladi.

9. Qurilmaning elektr qismi «220 V» va «Umum» yoki «127 V» va «Umum» klemmalar orqali elektr manbaga ulanadi (ulash sxemasi 37- rasmda keltirilgan).

Ishni bajarish tartibi

1. Reostatning sirpanuvchi kontakti uning o'rtasiga keltirib qo'yiladi.

2. I tumbler «O'chir» holatiga keltirilib, qurilmaga tok berilgach, galvanometr strelkasining og'ishiga e'tibor beriladi.

3. Agar strelka shkaladan ko'p og'gan bo'lsa, tezlikda I tumbler «O'chir» holatiga keltirilib, reostatning sirpanuvchi uchini u yoki bu tomonga bir oz siljitish bilan galvanometrning strelkasi shkaladan chetga chiqmaydigan holatga keltiriladi.

4. I tumbler «O'chir» holda qoldirilib, galvanometr strelkasi «nol»ga kelguncha reostatning sirpanuvchi uchi oldingi holatiga nisbatan u yoki bu tomonga siljutiladi.

5. II tumbler «Qo'pol» holatidan «Aniq» holatiga o'tkazilib, galvanometrning ko'rsatishi qaytadan nolga keltiriladi.

6. Galvanometr strelkasi nolni ko'rsatayotgan vaqtda zond uchi turgan nuqtaning koordinatalari yozib olinadi.

7. Keyin zond uchini harakatlantirib, galvanometr ko'rsatishi nol bo'lgan bir necha nuqtalarning koordinatalari aniqlanadi. Bu

vaqtda 4 va 5- bandlarga amal qilinadi. Millimetrli qog'ozda tanlab olingan masshtab bo'yicha olingan nuqtalar joylashtiriladi.

8. Olingan nuqtalar o'rni lekalo yordamida birlashtirilsa, hosil bo'lgan chiziq ekvipotensial sirt bo'ladi.

9. Koordinatalari aniqlangan har bir nuqtaning o'rni richaglar yordamida mos holda qog'ozga tushirilib, bu nuqtalarni birlashtirish natijasida boshqa masshtabda chizilgan ekvipotensial sirt hosil qilinadi.

10. Tajriba elektrodلarning shakli va oralig'i har xil bo'lgan hollar uchun bajariladi.

Savollar

1. Elektr maydon nima va u qanday hosil bo'ladi?
2. Ostrogradskiy—Gauss teoremasining mohiyati nimadan iborat?
3. Ekvipotensial sirt nima va u qanday xususiyatga ega?
4. Elektrolitik vanna yordamida qanday maydon hosil qilinadi va o'rganiladi?
5. Elektrolitik vanna ishga qanday tayyorlanadi?

4- LABORATORIYA ISHI

KONDENSATORNING SIG'IMINI VA MUHITNING DIELEKTRIK SINGDIRUVCHANLIGINI ANIQLASH

[№ 2; 26, 48, 122, 129- §§]; [№ 7, 26, 29, 59, 173, 174, 181- §§]; [№ 3, 31, 32, 35, 218- §§]; [№ 1, 24, 26, 94- §§]; [19; 4- ish].

Ishning maqsadi — kondensator sig'imini o'lchashning turli usullari va muhitning dielektrik singdiruvchanligini aniqlash usuli bilan tanishish.

Turli ishorada zaryadlangan ikkita jismni ko'raylik. Bu jismlar orasida kuchlanish bo'lib, elektr maydon kuch chiziqlari jismlarning biridan boshlanib ikkinchisida tugayotgan bo'lsin. Bunday sistema *kondensator* deb yuritiladi. Oralaridagi masofa o'z o'lchamlariga nisbatan kichik bo'lgan ikkita parallel o'tkazgich plastinkalarni

Yana kondensatorlar deb qarash mumkin. Odatda, kondensatorni hosil qiluvchi o'tkazgichlar uning qoplamalari deb ataladi. Ikkita kondensator orasidan iborat o'tkazgichlar sistemasi sferik kondensator deb, qoplamadagi masofaga nisbatan uzunligi katta bo'lgan umumiy o'qqa o'rnatilgan ikkita silindrdan iborat o'tkazgichlar sistemasi silindrik kondensator deb ataladi.

Elektr chiziqlari musbat elektr zaryaddan boshlanib, manfiy elektr zaryadga tugashini hisobga olsak, kondensator qoplamalaridagi zaryadlar miqdor jihatidan teng va ishorasi qarama-qarshi bo'lgan aniq.

Kondensator qoplamalari orasidagi maydon kuchlanganligi qoplamadagi zaryad miqdoriga to'g'ri proporsional. Demak, kuchlanganlik (U) ham hamma vaqt qoplamadagi zaryad (q)ga to'g'ri proporsionaldir:

$$q = CU. \quad (3.8)$$

Bu jandagi C koeffitsient kondensatorning elektr sig'imi yoki sig'imi deb ataladi.

Tabiiyalar ko'rsatadiki, kondensatorning sig'imi kondensator qoplamalarining o'lchamiga, ular orasidagi masofaga va muhitning xususiyatiga hamda kondensatorning shakliga bog'liq. Aytaylik vakuumdagi ikkita qoplama orasidagi masofa d , uning sirti S , kondensator sig'imi C_0 bo'lsin. Shu kondensator qoplamalari orasini bir jinsli dielektrik bilan to'ldirilganda uning sig'imi C bo'lib, ular orasidagi bog'lanish quyidagicha bo'ladi:

$$C = \epsilon C_0. \quad (3.9)$$

Bunga ϵ proporsionallik koeffitsienti muhitning elektr xususiyatini xarakterlab, uning turiga va holatiga (temperatura, bosim va h.k.) bog'liq kattalik bo'lib, muhitning vakuumga nisbatan *dielektrik singuliruvchanligi* deyiladi.

Absolut elektrostatik birliklar sistemasida vakuumning dielektrik singuliruvchanligi (ϵ) birga teng deb olinadi va o'lchamga ega emas. SI sistemasida esa uning $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m ga teng ekanligi aniqlangan. Shuning uchun SI sistemasida dielektrik kirituvchanlikning absolut qiymati $\epsilon_0 \epsilon$ bo'ladi. Har xil turdagi kondensatorlarning sig'imini hisoblash uchun quyidagi formulalarni keltiramiz.

Bit nechta $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ sig'imli kondensatorlar berilgan bo'lsa, mumkin bo'lgan chegarada ularni o'zaro ketma-ket, parallel, aralash ulash natijasida zarur bo'lgan sig'implarni hosil qilishimiz mumkin.

Kondensatorlar ketma-ket ulanganda natijaviy sig'im

$$\frac{1}{C} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k} \quad (3.16)$$

Parallel ulanganda esa

$$C = \sum_{k=1}^n C_k \quad (3.17)$$

formula bilan hisoblanadi.

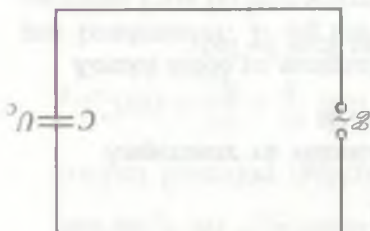
O'zgarmas tok zanjiriga kondensator kiritilganda tok kondensator goplamalari orasidan o'tmaganiqli sababli, u cheksiz katta qarshilik rolini o'ynaydi.

Kondensator o'zgaruvchian tokka ulanganda uning goplamalari mavbat bilan zaryadlanishi va razryadlanishi natijasida tashqi zanjiridagi o'zgaruvchian tokni tiklab turadi. Shunday qilib, kondensator o'zgaruvchian tok zanjiri uchun chekli qarshilik bo'ladi, bu qarshilik sig'im qarshilik deb yuritiladi. Ana shu sig'im qarshilikning kattaligi qanday hisoblanishini ko'rib chiqamiz.

Faraz qilaylik, sig'im C bo'lgan kondensator sinusoidal o'zgaruvchian elektr yurituvchi kuch (EYK) manbayiga (38-rasm) ulangan bo'lsin.

$$U_c = \mathcal{E} = \mathcal{E} \sin \omega t. \quad (3.18)$$

Bunda manba va kondensatorni tutashtiruvchi o'tkazgichning omik qarshiligi juda kichik bo'lsin. Bu vaqtda kondensator goplamalari orasidagi kuchlanish berilgan EYK ga teng bo'ladi:



38-rasm.

bu yerda $S = 2\pi R_l$ – qoplamaniy yuzi.
Demak, (3.13) va (3.15) dan ko'tinadiki, $R_2 - R_1 = d \ll R_1$
shart bajarilganda sferik va silindrik kondensator sig'irlarini hisob-
lash yassi kondensatorning sig'irlarini hisoblashga keltiriladi.

$$(3.15) \quad C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon l}{\ln \frac{R_2}{R_1}} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon l R}{d} = \epsilon_0\epsilon \frac{d}{S},$$

munimkin:

bu yerda R_1, R_2 – ichki va tashqi silindrlarning radiusi, l –
qoplamaniy uzunligi. Agar qoplamalar orasidagi masofa silindrlar
radiusiga nisbatan kichik, bo'lsa, (3.14) ni quyidagicha yozish

$$(3.14) \quad C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon l}{\ln \frac{R_2}{R_1}},$$

ni olamiz. Bu yerda $S = 4\pi R^2$ – qoplamaniy yuzi.
3. Silindrik kondensator uchun

$$(3.13) \quad C = 4\pi\epsilon_0\epsilon \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1} = \epsilon_0\epsilon \frac{d}{S}$$

hosil bo'ladi. Agar $R_2 - R_1 = d$ juda kichik, ya'ni $R_1 \approx R_2$ bo'lsa,
(3.11) dan

$$(3.12) \quad C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R_1$$

bu yerda R_1 va $R_2 \gg R_1$ bo'lsa, (3.11) dan
Agar $R_2 \gg R_1$ bo'lsa, (3.11) dan

$$(3.11) \quad C = 4\pi\epsilon_0\epsilon \frac{1}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}} = 4\pi\epsilon_0\epsilon \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

2. Sferik kondensator uchun
orasidagi masofa.
bu yerda S – kondensator bitta qoplamasiy yuzi, d – qoplamalar

$$(3.10) \quad C = \epsilon_0\epsilon \frac{d}{S},$$

1. Yassi kondensatorlar uchun

Vaqtning istalgan momenti uchun

$$q = CU_c = C \mathcal{E}_m \sin \omega t \quad (3.19)$$

formula o'rinlidir. Agar kondensatorning zaryadi dt vaqt ichida dq ga o'zgargan bo'lsa, o'tayotgan I tok quyidagicha ifodalanadi:

$$I = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_c}{dt} = C \mathcal{E}_m \omega \cos \omega t = C \mathcal{E}_m \omega \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

Zanjirdan o'tayotgan o'zgaruvchan tokning amplituda qiymati

$$I_m = \mathcal{E}_m C \omega \quad (3.20)$$

bo'ladi. Bu formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$\mathcal{E}_m = I_m \frac{1}{C\omega} \quad (3.21)$$

(3.21)ni o'zgarmas tok uchun Ohm qonuni ifodasi $U = IR$ bilan solishtirsak, $\frac{1}{C\omega}$ kattalikning qarshilik ekanligi ko'rinadi. Bu qarshilikni R_c bilan belgilaymiz:

$$R_c = \frac{1}{C\omega} \quad (3.22)$$

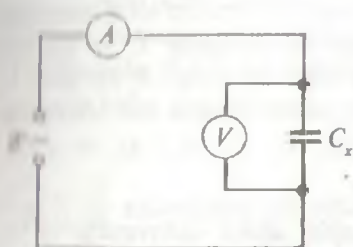
(3.22) ifoda sig'imi C bo'lgan kondensatorning ω chastotali o'zgaruvchan tok zanjiridagi sig'im qarshiligini ifodalaydi.

Yuqorida keltirilgan mulohaza va formulalardan foydalanib, kondensatorning sig'im qarshiligini aniqlash va bu qarshilik orqali kondensator sig'imini hisoblash mumkin.

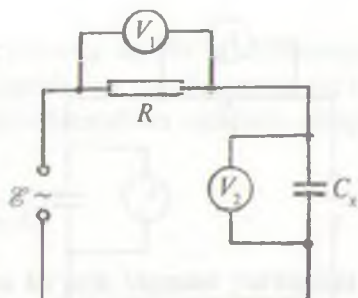
1- mashq

Ampermetr va voltmeter yordamida kondensatorning sig'imini aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Sig'imi aniqlanishi kerak bo'lgan kondensator. 2. Sig'imi aniq bo'lgan kondensator. 3. Ichki qarshiligi katta bo'lgan voltmeter. 4. Ampermetr. 5. Aktiv qarshiligi ma'lum bo'lgan o'tkazgich. 6. Ulash simlari.



39- rasm.



40- rasm.

Bu usul bilan kondensator sig'imini aniqlash uchun 39, 40, 41- rasmlarda keltirilgan elektr sxemalardan biri tuziladi. Bu sxemalarda C_x – sig'imi aniqlanayotgan kondensatorlar batareyasi, A – ampermetr, V_1 , V_2 – voltmترلar, R – ma'lum aktiv qarshilik, E – ma'lum sig'im, $\mathcal{E}$ – tok manbai.

Agar 39- sxemadan foydalansak, Om qonuniga asosan kondensatorning sig'im qarshiligi $R_C = \frac{U}{I}$ bo'ladi. (3.22) formulaga asosan $R_C = \frac{1}{\omega C_x} = \frac{U}{I}$, bu ifodada $C_x = \frac{I}{U\omega}$; $\omega = 2\pi\nu$ ekani hisobga olinsa, sig'imni hisoblash uchun

$$C_x = \frac{I}{2\pi\nu U} \quad (3.23)$$

ifoda kelib chiqadi. U va I – mos ravishda V voltmetr va A ampermetrning ko'rsatishi.

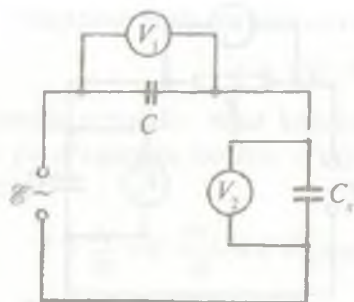
Agar 40- sxemadan foydalanilsa, o'tkazgichlar ketma-ket ulanganda har bir o'tkazgichdan o'tayotgan tok bir xil bo'lishini hisobga olsak, R qarshilikdagi potensial tushuv $U_1 = IR$, C_x sig'imli

kondensatorning $R_{C_x} = \frac{1}{2\pi\nu C_x}$ qarshiligidagi potensial tushuvi

$U_2 = IR_{C_x}$ bo'ladi. $I = \frac{U_1}{R}$ va $I = \frac{U_2}{R_{C_x}}$ dan $\frac{U_1}{R} = \frac{U_2}{R_{C_x}} = 2\pi\nu C_x U_2$

bo'ladi. Bu formuladan sig'im quyidagiga teng bo'ladi:

$$C_x = \frac{U_1}{2\pi\nu R U_2} \quad (3.24)$$



41- rasm.

Agar 41- sxemadan foydalanilgani uchun, bunda sig'imi ma'lum, qarshiligi bo'lgan kondensator C va sig'imi noma'lum, qarshiligi R_x bo'lgan kondensator ketma-ket ulanganligidan, $U_1 = IR_C$, $U_2 = IR_x$ o'rinlidir. Bu ifodalardan $\frac{U_1}{R_C} = \frac{U_2}{R_x}$ hosil bo'ladi. R_C va R_x larning o'rniga ifodasini qo'ysak:

$$2\pi\nu C U_1 = 2\pi\nu C_x U_2$$

Bu formuladan C_x ni topamiz:

$$C_x = \frac{U_1}{U_2} C. \quad (3.25)$$

(3.24) va (3.25) formulalarda U_1 va U_2 — mos ravishda V_1 va V_2 voltmترلarning ko'rsatishi.

Ishni bajarish tartibi

1. 39, 40, 41- rasmlarda keltirilgan sxemalardan biri tuziladi.
2. Kuchlanishni o'zgartira borib, uning har bir qiymatiga mos ravishda V voltmetr va A ampermetrning ko'rsatishi yoki V_1 va V_2 voltmترلning ko'rsatishi yozib olinadi.
3. Bu o'lchashlarga mos ravishda kondensatorning sig'imi (3.23), (3.24), (3.25) formulalardan biri orqali hisoblab topiladi.
4. Berilgan sig'imi noma'lum kondensator uchun topilgan qiymatlar asosida uning o'rtacha qiymati, absolut, nisbiy va o'rtacha kvadratik xato hisoblanadi.
5. Noma'lum sig'im sifatida ma'lum sig'implardan tuzilgan kondensatorlar batareyasi olinganda ham mashq 1, 2, 3, 4, 5- bandlar asosida bajariladi.
6. Sig'imi aniqlangan kondensatorning shakli va o'lchamlari aniq bo'lsa, sig'im kondensatorning shakliga qarab, mos ravishda (3.10), (3.11), (3.14) formulalar yordamida hisoblanadi va tajriba natijasi bilan taqqoslanadi.

Agar kondensatorlar batareyasining sig'imi o'lchanayotgan bo'lsa, batareyaning qanday tuzilganligiga qarab, uning sig'imi (3.16) yoki (3.17) formula bilan hisoblanadi va tajribada olingan natijalar bilan taqqoslanadi.

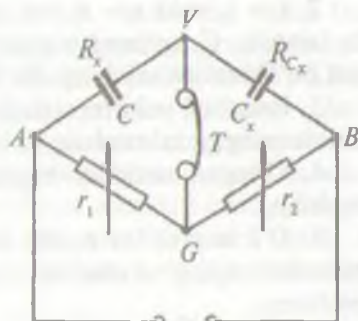
2- mashq

O'zgaruvchan tokda ishlaydigan ko'prik sxemasi yordamida kondensatorning sig'imini aniqlash

Asboblari va materiallari: 1. Telefon. 2. Kondensatorlar majmua. 3. Reoxord (darajalangan reostat yoki ikkita qarshiliklar majmua). 4. Zummer yoki tovush generatori. 5. Akkumulator. 6. Kalit. 7. Sig'imi aniqlanishi kerak bo'lgan kondensator.

Ushbu maqsad uchun foydalaniladigan elektr sxema o'zgarmas tokda ishlaydigan ko'prik sxemadan ko'prikning ikkita yelkasiga qandalik o'rniqa kondensator ulanishi bilan farq qiladi. Sxemaning (3.18) rasmi qarama-qarshi uchlariga (masalan, A va B) o'zgaruvchan tok generatori, qolgan ikkita uchlariga (V va G) o'zgaruvchan tok indikatorini, masalan, telefon ulanadi. Bu elektr sxemadagi R_1 va R_2 — o'zgaruvchan qarshiliklar, C — qarshiligi R_C bo'lgan kondensator va C_x — qarshiligi R_{Cx} bo'lgan kondensator. r_1 va r_2 qarshiliklarni o'zgartirish yo'li bilan telefonda tovush eshitilmasligini ta'minlash, ya'ni ko'prikning V va G uchlaridagi potensialning amplitudasi hamda fazasi bir xil bo'lishiga erishish orqali kondensatorning sig'imi aniqlanadi. Bu shart bajarilganda o'zgaruvchan tok nazoratiga ko'ra ko'prik yelkalari bo'yidagi qarshiliklari uchun quyidagi munosabat o'rinni bo'ladi:

$$z_1 : z_2 = z_3 : z_4 \text{ yoki } \frac{z_1}{z_3} = \frac{z_2}{z_4}.$$



42- rasm.

Berilganlarga ko'ra

$$z_1 = r_1; \quad z_C = \frac{1}{jC\omega} = R_C; \quad z_2 = r_2; \quad z_x = \frac{1}{jC_x\omega} = R_C.$$

Bunda $j = \sqrt{-1}$. Bu kattaliklardan foydalansak,
 $r_1 \cdot jC\omega = r_2 \cdot jC_x\omega$.

$$\text{Bundan} \quad C_x = \frac{r_1 \cdot C}{r_2} \quad (3.26)$$

Shunday qilib, etalon kondensator (C) va qarshiliklar nisbati

$\left(\frac{r_1}{r_2}\right)$ aniq bo'lsa, C_x noma'lum sig'imni aniqlash uchun yuqoridagi (3.26) formuladan foydalaniladi. Shuni aytish kerakki, ko'priknining kondensator kirgan yelkalarining aktiv qarshiliklari sig'im qarshilikka nisbatan juda kichik bo'lgani uchun uning qiymati hisoblash vaqtida e'tiborga olinmaydi (43- rasm).

Ishni bajarish tartibi

1. 43- rasmdagi elektr sxema tuziladi. AB — reoxord yoki darajalangan reostat, r_1 va r_2 — reoxord yoki darajalangan reostatning l_1 va l_2 yelkasiga mos keluvchi qarshiliklar (shuni aytish kerakki, reoxord o'rniga qarshiliklar magazinini ham olish mumkin.)

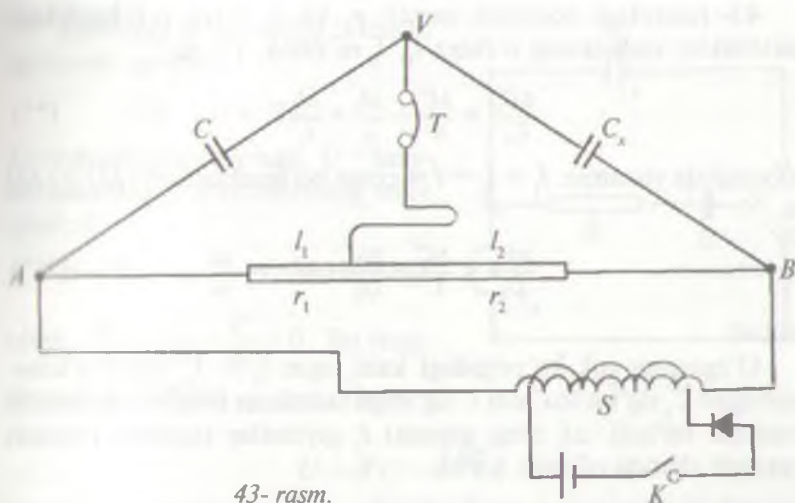
2. $l_1 \approx l_2$ yoki $r_1 \approx r_2$ hol uchun kondensatorlar magazinidan foydalanib, C sig'imni o'zgartiring va telefonda tovushning eng past bo'lishini ta'minlang. Bu hol uchun C kattalikni yozib oling.

3. Reoxord yoki reostatning jilgichini surib, telefonda tovush eshitilmasligini ta'minlang va bu hol uchun r_1 va r_2 ni yozib oling.

4. Olingan natijalar asosida C_{x1} ni 3.26- formula bo'yicha hisoblang.

5. O'lchashni bir necha marta takrorlab, C_{x1} ning o'rtacha qiymatini toping va absolut, nisbiy va o'rtacha kvadratik xatolikni hisoblang.

6. Ikkinchi noma'lum sig'im sifatida C_{x2} ni olib, 1, 2, 3, 4, 5- bandlarni bajaring.



43- rasm.

7. Topilgan C_{x1} va C_{x2} sig'implarni ketma-ket yoki parallel ulab, 1, 2, 3, 4, 5- bandlarni bajaring.

8. 7- bandda topilgan eksperimental natija bilan (3.16) va (3.17) formulalarning to'g'ri ekanini tekshiring.

O'lchash natijalarini ishlash

O'zgaruvchan tok ko'prigidan foydalanganda xatoliklarni sinchiklab tekshirishni xuddi o'zgarmas tok ko'prigidan foydalgandagi tartibda olib borish mumkin edi. Ammo bu yerda faza bog'lanishlari mavjud bo'lganligi tufayli tahlil ancha murakkablashadi. Ayniqsa, ishlatilayotgan kondensator sifatining past bo'lishi va h.k.lar tufayli ko'priknı to'la muvozanatlash mumkin bo'lmay qoladi. Shuning uchun indikator dan o'tgan tok kuchining minimumini (masalan, telefondagi tovush kuchining minimumini) muvozanatlash sharti sifatida qabul qilinadi. Bu usul katta aniqlikni talab qilmaydi. Shuning uchun xatoliklar muvozanatga mos bo'lgan l_1 (yoki l_2) qiymatlarning tafovutiga asoslanib hisoblanadi. (3.26) ga asosan:

$$\frac{\Delta C_x}{C_x} = \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta r_1}{r_1} + \frac{\Delta r_2}{r_2} \quad (*)$$

bo'ladi.

43- rasmdagi reoxord orqali r_1 va r_2 larni o'lchashdagi qarshiliklar nisbatining o'rniga l_1 , l_2 ni olsak, (*) ni

$$\frac{\Delta C_x}{C_x} = \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2} \quad (**)$$

ko'rinishda yozamiz. $l_1 + l_2 = l = \text{const}$ bo'lgani uchun $|\Delta l_1| = |\Delta l_2|$ va

$$\frac{\Delta C_x}{C_x} = \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta l_1}{l_1 l_2} - \Delta l_2 \quad (***)$$

bo'ladi.

O'zgarmas tok ko'prigidagi kabi, agar $l_1 = l_2$, ya'ni o'lchayotgan C_x sig'im ma'lum C sig'imga taxminan teng bo'lsa, xatolik minimal bo'ladi. Δl_2 ning qiymati l_2 qiymatlar tizimida ishonch intervali sifatida olinadi, ya'ni

$$\Delta l_2 = t_{\alpha}(n) \sqrt{\frac{\sum (<l_2> - <l_1>)^2}{n(n-1)}}.$$

Bu yerda $t_{\alpha}(n)$ — berilgan n o'lchashlar soni va 0,68 ishonch ehtimolligi uchun Student koeffitsienti, (***) dagi ΔC ma'lum C sig'im klassi bo'yicha aniqlanadi. Agar l_1 va l_2 sifatida ularning o'rtacha qiymatlari qo'yilsa, C_x ning qiymati (3.26) ga teng deb qabul qilinadi.

3- mashq

Kondensatorning sig'imini uning razryad toki orqali aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Tok manbayi. 2. Voltmetr. 3. Mikroampermetr. 4. Reostat. 5. Avtomatik uzgich-ulagich. 6. Kondensator. 7. Ulash simlari.

44- rasmda ko'rsatilgan sxema tuziladi. C sig'imli kondensator sxemaga ulanadi. Uzgich-ulagichni I holatga qo'yganimizda kondensator tok manbayida zaryadlanadi, keyin uzgich-ulagich 2 holatga o'tganda razryadlanadi. Oldin zaryadlash jarayonini ko'raylik.

qandaydir Kirkgofning ikkinchi qonunini qo'llashak.

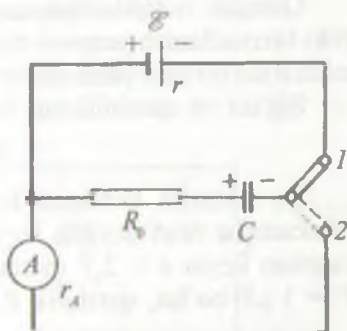
$$iR_0 + U = \mathcal{E},$$

i — tokning oniy qiymati, U — kondensatordagi kuchlanishning oniy qiymati.

$$U = \frac{q}{C}; \quad i = \frac{dq}{dt} \text{ ekanini hisobga}$$

$$\text{olib, } \frac{dq}{dt} + \frac{q}{R_0 C} - \frac{\mathcal{E}}{R_0} = 0. \text{ Bu teng-}$$

lamani yechimi



44- rasm.

$$U = \mathcal{E}(1 - e^{-\frac{t}{R_0 C}}) \quad (3.27)$$

kondensator qoplamalari orasidagi kuchlanishning vaqt o'tishi bilan eksponensial o'zgarishini ko'rsatadi. t ortishi bilan U uzluksiz o'sib boradi va $\mathcal{E}$ ga asimptotik yaqinlashadi.

Zaryad tokining vaqtga bog'liqligini $iR_0 = \mathcal{E} - U$ kelib chiqadigan

$$i = \frac{\mathcal{E} - U}{R_0} = \frac{\mathcal{E}}{R_0} e^{-\frac{t}{R_0 C}} \quad (3.28)$$

formuladan ko'rish mumkin.

Kondensator razryadlanganda esa

$$iR_0 = U; \quad U = \frac{q}{C}; \quad i = -\frac{dq}{dt}$$

bo'ladi. Minus ishora zaryadning kamayishini ko'rsatadi. Bu tengliklardan q va i ni yo'qotsak,

$$\frac{dU}{dt} + \frac{U}{R_0 C} = 0$$

tenglarni hosil qilamiz. Bu tenglamaning xususiy yechimi

$$U = \mathcal{E} e^{-\frac{t}{R_0 C}} \quad (3.29)$$

zaryad vaqtida kondensatordagi kuchlanishning vaqt bo'yicha o'zgarishini ko'rsatadi.

Olingan natijalardan chiqadigan xulosa shuki, zaryadlanish yoki razryadlanish jarayoni bir onda emas, balki ma'lum vaqt davrida sodir bo'ladi, ya'ni elektr muvozanati bir onda vujudga kelmaydi.

Sig'im va qarshilikdan iborat kontur uchun

$$\tau = RC. \quad (3.30)$$

Bu kattalik berilgan kontur uchun vaqt doimiyligi yoki *relaksatsiya vaqti* deyilib, kondensatordagi kuchlanishning qancha vaqtdan keyin $e = 2,7$ marta kamayishini ko'rsatadi. Agar sig'im $C = 1 \mu F$ bo'lsa, qarshilik $R = 100 \Omega$ bo'lgan taqdirda

$$\tau = 10^{-4} \text{ s.}$$

Agar uzgich-ulagichning chastotasi 50 Hz bo'lsa, razryadlanish vaqti misolda keltirilgan kontur uchun 0,01 s ni tashkil qiladi. Demak, relaksatsiya vaqti $\tau = 10^{-4}$ s bo'lgan kontur 0,01 sekundda to'la zaryadlanishi yoki razryadlanishi mumkin. Ampermetr yoki milliampermetr qo'zg'aluvchan sistemasining tebranish davri 0,01 sekunddan anchagina katta bo'lgani uchun ampermetr yordamida zaryadlanish va razryadlanish tokini aniqlash mumkin.

Faraz qilaylik, sig'imi C bo'lgan kondensator U kuchlanishgacha zaryadlangan bo'lsin. Kondensator qoplamasidagi zaryad $q = CU$. Kondensator ampermetr orqali razryadlanganda ampermetr ma'lum tokni ko'rsatadi. Agar zaryadlanish va razryadlanish davriy ravishda davom etib tursa, ampermetr strelkasining ko'rsatishi tokning o'rtacha qiymati I_0 ga to'g'ri keladi. t vaqtda ampermetr orqali oqib o'tadigan zaryad

$$q = I_0 t = CUN$$

ga teng. Bundan

$$I_0 = CU \frac{N}{t} = CU\nu,$$

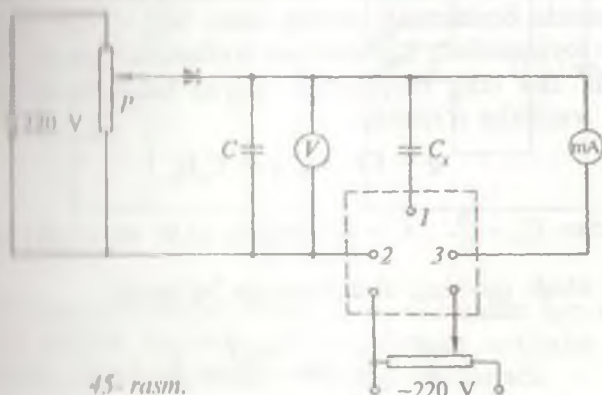
bu yerda $\nu = \frac{N}{t}$ — uzgich-ulagich chastotasi. I_0 , U , ν aniqlangandan keyin

$$C = \frac{I_0}{U\nu} \quad (3.31)$$

formula yordamida sig'imni aniqlash mumkin.

Ishni bajarish tartibi

1. 45-rajmda keltirilgan elektr sxema yig'iladi.



45- rasm.

2. Manbaga ulangan P potensiometr yordamida ma'lum bir kuchlanish C kondesatorga beriladi. Bu kuchlanish V voltmetr bilan o'lchanadi.

3. Avtomatik uzgich-ulagich ishga tushirilib, miliampermetrning ko'rsatishi I_0 yozib olinadi.

4. Potensiometr yordamida $U_1, U_2, \dots, U_n$ larni tanlab, ularga mos ravishda $I_{01}, I_{02}, \dots, I_{0n}$ lar yozib olinadi.

5. Mos ravishda har bir o'lchash uchun C topiladi va o'rtacha qiymati, absolut, nisbiy xatoliklar hisoblanadi.

6. Yuqoridagi tajriba ikkinchi kondensator va ularning ketma-ket, parallel ulangan holi uchun ham takrorlanadi.

7. (3.16) va (3.17) formulalar tajriba natijalari bilan taqqoslanadi.

4-mashq

Kondensator yordamida muhitning dielektirik singdiruvchanligini aniqlash

Aerakli asbob va materiallar: 1. To'g'rilagich. 2. Potensiometr.

3. Elektr yoqlama ulagich. 4. 2 ta voltmetr. 5. Yassi kondensator.

6. Plavinkasimon dielektriklardan namunalar. 7. Namunalarni

qo'lda tutgichlar. 8. Ulash simlari.

(3.9) formuladagi kondensator sig'implari (C va C_0) ni aniqlash yoki hisoblashga imkon beradigan boshqa elektr kattaliklarni bilish muhitning dielektrik singdiruvchanligini aniqlash imkonini beradi. Bu maqsadda kondensatorlarning oddiy turi — yassi kondensatorlardan foydalaniladi. Kondensator qoplamalari orasida dielektrik bo'lganda ular teng miqdordagi zaryad bilan zaryadlanganda quyidagi tengliklar o'rinlidir:

$$q = CU \text{ va } q = C_0 U_0.$$

Bundan $C_0 = \frac{q}{U_0}$; $C = \frac{q}{U}$ bo'ladi. (3.9) va (3.10) tenglikni e'tiborga olsak, quyidagi ifodalarga ega bo'lamiz:

$$\frac{\epsilon_0 S}{d} = \frac{q}{U_0} \text{ va } \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} = \frac{q}{U}.$$

Bu formulalardan

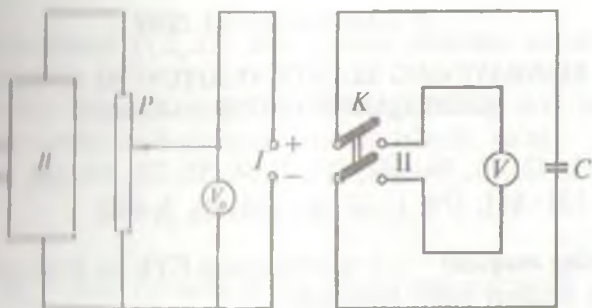
$$\epsilon = \frac{U_0}{U} \quad (3.32)$$

kelib chiqadi.

Shunday qilib, muhitning dielektrik singdiruvchanligini aniqlash uchun kondensator qoplamalari orasida dielektrik bo'lmagan va bo'lgan har ikkala holda qoplamalardagi kuchlanishlarni o'lchashdan foydalanish mumkin.

Ishni bajarish tartibi

1. 46- rasmda keltirilgan elektr sxema asosida sxema tuziladi.
2. K ikkiyoqlama ulagich I holatga qo'yiladi.
3. V to'g'rilagichdan olinayotgan kuchlanishni P potensiometr yordamida o'zgartirib, C kondensatorga ma'lum kuchlanish beriladi. Bu kuchlanishning qiymati V_0 voltmetr yordamida o'lchab olinadi.
4. Ikkiyoqlama ulagich II holatga qo'yiladi va kondensator qoplamalari orasiga dielektrik namunalardan biri kiritilib, V_1 voltmetr orqali qoplamalardagi kuchlanish o'lchab olinadi.



46- rasm.

4. Qolgan namunalar uchun 2, 3, 4- bandlar har xil kuch-haqlar uchun takrorlanadi va olingan natijalar asosida namunaning dielektrik singdiruvchanligi aniqlanadi.

5. Qolgan namunalar uchun ham yuqoridagi tartibda ish bajarib, dielektrik singdiruvchanlik topiladi.

7. Topilgan qiymatlarni jadvalda keltirilgan dielektrik singdiruvchanlik koeffitsienti bilan taqqoslash orqali berilgan namunaning moddasi aniqlanadi.

Savollar

1. Elektr sig'imi nima? U qanday birlikda ifodalanadi?
2. Kondensator qanday asbob? Uning ishlash prinsipi qanday?
3. Kondensatorlarni parallel ulash nima va bunda sig'im qanday ifodalanadi?
4. Kondensatorlarni ketma-ket ulashda sig'im qanday ifodalanadi?
5. Sig'im qarshilik deganda nimani tushunasiz? Qarshilik birligi qanday keltirib chiqariladi?
6. Kondensatorning sig'imi voltmeter va ampermetr yordamida qanday aniqlanadi?
7. O'zgaruvchan tokda ishlaydigan ko'priknining sxemasi va ishlash prinsipi qanday?
8. Bu ko'priknin yordamida sig'im qanday o'lchanadi?
9. Bu usullarning bir-biridan afzalligi nimada?

5- LABORATORIYA ISHI

TOK MANBAYINING ELEKTR YURITUVCHI KUCHINI VA ICHKI QARSHILIGINI ANIQLASH

[№ 2, 43, 45, 96- §§]; [№ 7, 54, 55, 72, 75- §§]; [№ 3, 64, 69, 70, 131- §§]; [№ 1, 32- §], [№ 19, 5- ish].

Ishning maqsadi — tok manbayining EYK va ichki qarshiligini o'lchash usullari bilan tanishish.

Tokli zanjirning manba ishtirok etgan qismining ixtiyoriy nuqtasidagi natijaviy maydon kuchlanganligi elektrostatik maydon kuchlanganligi ($\vec{E}_k$) va chet kuchlar maydoni kuchlanganligi ($\vec{E}_{ch}$) ning vektor yig'indisidan iborat:

$$\vec{E} = \vec{E}_k + \vec{E}_{ch}. \quad (1)$$

Metallar o'tkazuvchanligining elektron nazariyasiga asosan tok kuchi zichligining yo'nalishi ($\vec{j}$) maydon kuchlanganligi yo'nalishida bo'lib, u bilan quyidagicha bog'lanishga ega:

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho} (\vec{E}_k + \vec{E}_{ch}).$$

Bu tenglikning ikkala tomonini $d\vec{l}$ (elektr zanjirning elementar uzunligi) ga ko'paytirib, zanjirning ixtiyoriy ikki nuqtasi oralig'idagi integrallasak, quyidagi munosabat hosil bo'ladi:

$$\int_l I \rho \frac{d\vec{l}}{s} = \int_l (\vec{E}_k d\vec{l}) + \int_l (\vec{E}_{ch} d\vec{l})$$

yoki $I = \text{const}$ bo'lsa,

$$I \int_l \rho \frac{d\vec{l}}{s} = \int_l (\vec{E}_k d\vec{l}) + \int_l (\vec{E}_{ch} d\vec{l}). \quad (2)$$

Bu formuladagi $\int_l (\vec{E}_k d\vec{l})$ son qiymati jihatidan kulon kuchi ta'sirida birlik musbat zaryadni o'tkazgichning ikki nuqtasi orasida ko'chirishda bajarilgan ishni ifodalaydi, ya'ni:

$$\int_l (\vec{E}_k d\vec{l}) = \varphi_2 - \varphi_1 = U_{21},$$

bunda φ_1, φ_2 — mos ravishda ikkala nuqtaning potentsiali.

Shunday shuningdek, $\int_l (\vec{E}_{ch} d\vec{l})$ tashqi kuch ta'sirida birlik musbat zaryadni o'tkazgich bo'ylab ko'chirishda bajarilgan ish bo'lib, kattaligi jihatidan tok manbayining elektr yurituvchi kuchi

$R = \int_l (\vec{E}_{ch} d\vec{l})$ ga teng. $\int_l \rho \frac{dl}{S} = R$ berilgan zanjirning 1–2 nuqtalari orasiga mos kelgan qarshilik. Bunda o'tkazgichni bir jinsli deb qarash $R = \rho \frac{l}{S}$ bo'ladi. Bularni e'tiborga olsak, (2) ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$IR = (\varphi_2 - \varphi_1) + \mathcal{E} = U_{21} + \mathcal{E} = -U + \mathcal{E}.$$

Bu ifoda zanjirning ko'rilayotgan qismi uchun Om qonunidir. Berk zanjir uchun to'la qarshilik $R' = R + r$, bunda R — tashqi qarshilik, r — ichki qarshilik bo'lib, berk zanjir, ya'ni $\varphi_1 = \varphi_2$ uchun Om qonunining ifodasi

$$\mathcal{E} = U + Ir = I(R + r) \quad (3)$$

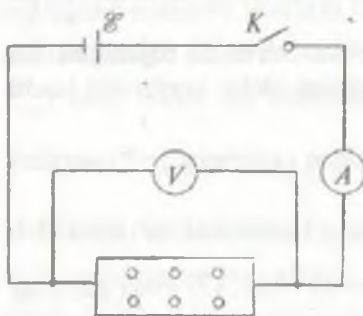
ko'rinishga keladi.

Har qanday zanjirni yig'ishda tok manbayining EYK ni aniqlash zaruriyati tug'iladi. Shuning uchun biz tok manbayining EYK kattaligini o'quv laboratoriyalarida aniqlash usullaridan bir naohiyasi bilan tanishib chiqaylik.

1- mashq

Tok manbayining EYK va ichki qarshiligini ampermetr hamda voltmetr vositasida aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. O'zgarmas tok manbayi (akkumulator yoki galvanik element). 2. 3 A gacha tok kuchi kattaligini o'lchaydigan va bo'lim qiymati 0,1 A dan katta bo'lmagan ampermetr. 3. 4 V gacha kuchlanishni o'lchashga mo'ljallangan va bo'lim qiymati 0,1 V dan katta bo'lmagan voltmetr. 4. 10–15 Ω qarshilikka ega bo'lgan qarshiliklar magazini. 5. Kalit va ulash simlari.



47- rasm.

Tok manbayining EYK ni ampermetr hamda voltmetr asboblari vositasida aniqlash sxemasi 47- rasmda ko'rsatilgan.

Ulash simlarining qarshiligi amalda juda kichik bo'lganligidan Ohm qonunining qarshiliklar magazinidan tanlab olingan R_1 va R_2 qarshiliklar uchun

$$\mathcal{E} = I_1(R_1 + r) = U_1 + I_1r,$$

$$\mathcal{E} = I_2(R_2 + r) = U_2 + I_2r$$

ko'rinishida yozamiz. Bu yerda U_1 , U_2 , I_1 va I_2 — qarshilikning qiymati R_1 , R_2 ga teng bo'lgandagi voltmetr hamda ampermetrning ko'rsatishi. Bu tenglamalar sistemasini avval r ga, so'ngra $\mathcal{E}$ ga nisbatan yechib, quyidagi formulalarni olish mumkin:

$$r = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2}, \quad (4)$$

$$\mathcal{E} = U_1 + I_1 \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2}, \quad (5)$$

Ishni bajarish tartibi

1. 47-rasmda ko'rsatilgan elektr sxema bo'yicha zanjir yig'iladi. Rasmning to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilingach, qarshiliklar magazinidan katta bo'lmagan qarshilik tanlab olinadi va kalit ulanadi. Ampermetr hamda voltmetr ko'rsatishlari (I_1 ; U_1) yozib olinadi.

2. Kalitni uzib, ikkinchi qarshilikning qiymati birinchisiningikiga nisbatan kattali munosabatda tanlab olingach, kalit qayta ulanadi va yana ampermetr va voltmetrning ko'rsatishlari (I_2 ; U_2) yozib olinadi.

3. I_1 , I_2 , U_1 , U_2 larning tajribadan olingan qiymatlarini avval (47-rasmda) (5) formulaga qo'yib, berilgan tok manbayining ichki qarshiligi hamda EYK hisoblanadi.

4. O'lchashlar eng kamida 3–4 marta takrorlanib, r hamda E_{YK} ning o'rtacha qiymati va o'rtacha kvadratik xatolik topiladi.

5. Topilgan EYKning to'g'riligini tekshirish uchun voltmetr foydalanilayotgan tok manbayining qisqichlariga bevosita ulanadi, bunda u manbaning EYKni ko'rsatadi ($R_v \gg r$ bo'lganligidan) va to'g'ri qiymati E_v orqali belgilanadi.

2- mashq

Elementning elektr yurituvchi kuchini Uitston ko'prigi yordamida aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Uitston ko'prigi. 2. EYK aniqlanuvchi element. 3. EYK aniqlanuvchi element. 4. Kalit va o'lchash simlari. 5. Qarshiliklar magazini.

Ma'lum elementning EYKni aniqlashda elektr yurituvchi kuchini ma'lum bo'lgan «normal» elementning elektr yurituvchi kuchiga taqqoslab foydalaniladi. Kompensatsiya usuli asosida ma'lum elementning elektr yurituvchi kuchini topishda 48-rasmda ko'rsatilgan sxemadan foydalaniladi. Elektr zanjirni tashkil etgan tugunlardagi tok kuchlarini galvanometr ko'rsatishi nol bo'lgan holatda Kirxgofning birinchi qonuniga asosan quyidagi tenglamalar bilan ifodalaymiz:

$$\left. \begin{array}{l} A \text{ nuqta uchun: } I_1 + I_2 = 0, \\ B \text{ nuqta uchun: } I_1 + I_3 - I = 0, \\ C \text{ nuqta uchun: } I_4 - I_3 = 0. \end{array} \right\} \quad (6)$$

$ABCD$ va $BCDB$, $AGCDA$ yopiq konturlarning soat miliga teskari yo'nalishini musbat deb olib, Kirxgofning ikkinchi qonunini yozamiz:

$$\left. \begin{array}{l} -I_1 R + I_3 R_0 = \mathcal{E}_x \\ I_2 R_1 - I_4 R_2 = 0 \\ I_3 R_0 + I_4 R_2 = \mathcal{E}_0 \end{array} \right\} \quad (7)$$

(6) va (7) tenglamalar sistemasini yechib, $\mathcal{E}_x$ uchun quydagi ifoda olinadi:

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_0 \left[\frac{R_0}{R_0 + R_2} + \frac{R R_0}{R_1 (R_0 + R_2)} \right]. \quad (8)$$

Agar A va B nuqtalarga EYK aniqlanuvchi element R qo'shimcha qarshiliksiz ulansa, yuqoridagi tenglik

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_0 \frac{R_0}{R_0 + R_2} \quad (9)$$

ko'rinishga keladi.

Odatda, normal element sifatida simob-kadmiy elementi ishlatiladi, chunki bu elementning EYK vaqt o'tishi bilan juda oz o'zgaradi. Shu kabi standart element sifatida Daniel, Leklanshe, Volta va boshqa elementlardan ham foydalanish mumkin.

Ishni bajarish tartibi

I usul.

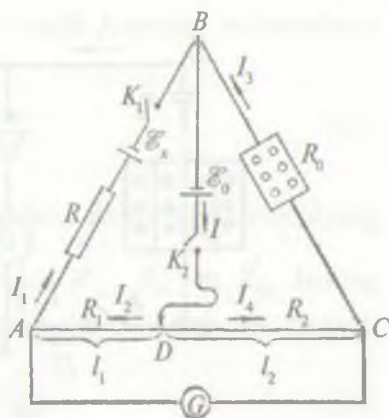
1. 48- rasmda ko'rsatilgan elektr sxema bo'yicha zanjir kalitlar ochiq holda yig'iladi. Sxemaning to'g'ri ekanligi tekshirilib, D qo'zg'aluvchi kontakt A va C tugunlardan taxminan birday oraliqda o'rnatiladi. K_1 kalit doimiy ulab qo'yiladi va qarshiliklar magazinidan shtepsellarni olib qo'yish davomida galvonometrning ko'rsatishi

nolga kelishini aniqlash uchun K_1 kalit ulab-uzib turiladi. Zanjirdagi tok minimumga kelganda D kontakti u yoki bu tomonga siljitish bilan uning nol bo'lishiga erishiladi.

2. $I_x = 0$ bo'lganda R_0 , R_1 , R_2 larning qiymatlari aniqlanib, $\mathcal{E}_0$ ning qiymatini bilgan holda (8) formuladan $\mathcal{E}_x$ topiladi. Bunda tajriba 3–4 marta takrorlanib, o'rtacha natijasidan $\mathcal{E}_x$ ning o'rtacha qiymati va o'rtacha kvadratik xatolik hisoblanadi.

II usul.

Bunda 48- rasmda ko'rsatilgan sxema R qarshiliksiz yig'iladi va birinchi usulda ko'rsatilgan barcha bandlar bajarilib, noma'lum EYK $\mathcal{E}_x$ (9) formula yordamida topiladi.



48- rasm.

3- mashq

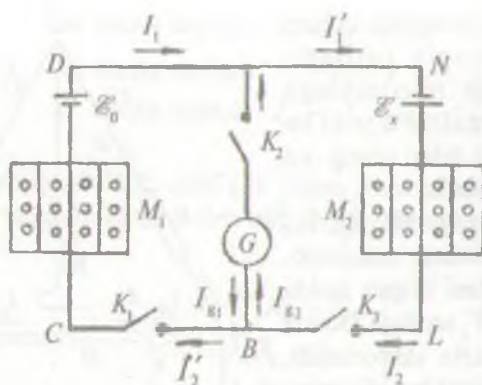
Elementning EYKni qarshiliklar magazini yordamida aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. EYK ma'lum bo'lgan element. 2. Noma'lum EYKli element. 3. Qarshiliklar magazini. 4. Kalit va ulash simlari. 5. Galvanometr.

Tajriba qurilmasining sxemasi 49- rasmda ko'rsatilgan bo'lib, u ichki qarshiliklari mos ravishda r_1 , r_2 bo'lgan $\mathcal{E}_0$ va $\mathcal{E}_x$ EYKli elementlardan, M_1 , M_2 qarshiliklar magazinidan, G galvanometr hamda K_1 , K_2 , K_3 kalitlardan tashkil topgan. A va B tugunlarda toklarning tarmoqlanishi:

$$I_1 = I'_1 + I_{g1},$$

$$I_2 = I'_2 + I_{g2}.$$



49- rasm.

Mazkur berk zanjir uchun Kirxgofning ikkinchi qonunini yozamiz;

$$\mathcal{E}_0 = I_1(R'_{M_1} + r_1) = (I'_1 + I_{s1}) \cdot (R'_{M_1} + r_1), \quad (10)$$

$$\mathcal{E}_x = I_2(R'_{M_2} + r_2) = (I'_2 + I_{s2}) \cdot (R'_{M_2} + r_2). \quad (11)$$

(11) tenglikni (10) tenglika bo'lib,

$$\frac{\mathcal{E}_x}{\mathcal{E}_0} = \frac{(I'_2 + I_{s2}) \cdot (R'_{M_2} + r_2)}{(I'_1 + I_{s1}) \cdot (R'_{M_1} + r_1)} \quad (12)$$

munosabat olinadi, bunda M_1 va M_2 qarshiliklar magazinidan olingan R'_{M_1} va R'_{M_2} qarshiliklardan o'tuvchi tok kuchi

$$I'_1 = I_1 - I_{s1} \quad \text{va} \quad I'_2 = I_2 - I_{s2}$$

ekanligini hamda qarshiliklarning $R_{M_1} = R'_{M_1} + r_1$; $R_{M_2} = R'_{M_2} + r_2$ qiymatlarida $I_{s1} = I_{s2}$ bo'lishini hisobga olsak, galvanometr mili nolni ko'rsatganda $I_1 = I_2$,

$$I_1(R'_{M_1} + r_1) = I_1 R_{M_1},$$

$$I_2(R'_{M_2} + r_2) = I_2 R_{M_2}$$

qaytariladi. U vaqtda (12) tenglik quyidagi soddalashtirilgan ko'rinishga keladi:

$$\frac{\mathcal{E}_x}{\mathcal{E}_0} = \frac{R_{M_2}}{R_{M_1}} \quad (13)$$

$R_{M_1} \gg r_1$ va $R_{M_2} \gg r_2$ bo'lganligidan, noma'lum elementning EMK $\mathcal{E}_x$ bo'lgan xususiy holda $\mathcal{E}_0$, R_{M_1} va R_{M_2} larning ma'lum qiymatlari orqali quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_0 \frac{R_{M_2}}{R_{M_1}} \quad (14)$$

Ishni bajarish tartibi

1. Barcha kalitlar ochiq saqlanib, elektr zanjir 49- rasmda ko'rsatilganidek yig'iladi.

2. Yig'ilgan zanjir to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilgach, magistral galvanometr normal ish rejimini buzib qo'ymaslik uchun

M_1 hamda M_2 qarshiliklar magazinidan $R_{M_1}' = 300 \Omega$,

$R_{M_2}' = 400 \Omega$ qarshiliklar tanlab olinadi va oldin K_1 kalit, keyin K_2 kalit ulanadi.

3. K_1 kalit ulanganda galvanometr mili nolga kelmasa, u holda strelkani chap yoki o'ng tomonga siljishiga qarab M_1 va M_2 qarshiliklar magazinidan tanlangan qarshilikning son qiymatini o'zgartirish bilan maqsadga erishiladi. Galvanometr strelkasi nolga kelganda R_{M_1} va R_{M_2} lar $R_{M_1}' + r_1$ va $R_{M_2}' + r_2$ larga ekvivalentdir.

4. $\mathcal{E}_0$ ni bilgan holda R_{M_1}' va R_{M_2}' larning tajribada topilgan qiymatlari (14) formulaga qo'yib, izlanayotgan $\mathcal{E}_x$ hisoblanadi.

Tajriba 3-4 marta takrorlanib, $\mathcal{E}_x$ ning o'rtacha qiymati, shuningdek, nisbiy hamda o'rtacha kvadratik xatolik aniqlanadi.

4- mashq

Elektr yurituvchi kuchni potensiometr yordamida aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. EYK noma'lum bo'lgan element yoki akkumulyator. 2. Normal element yoki batareya. 3. Galvanometr. 4. Reoxord yoki kichik qarshilikli potensiometr. 5. Chizg'ich va shtangensirkul. 6. Kalit va ulash simlari.

Elementning EYKini taqqoslash usuli asosida topish sxemalaridan biri bo'lgan kompensatsion usul sxemasi 50- rasmda keltirilgan. EYK normal ($\mathcal{E}$) va o'lchanadigan elementning ($\mathcal{E}_0$) EYKidan katta bo'lgan batareya ($\mathcal{E}_0$) tashqi qarshilik AC zanjiriga ulanadi.

Normal element kalit yordamida AC zanjirga shunday ulanadiki, uning musbat qutbi AC qarshilikning A nuqtasiga, manfiy qutbi shu qarshilik bo'ylab sirpanuvchi kontakt orqali C nuqtaga tutashtiriladi. Normal element ulangan zanjirdan o'tuvchi tok kuchi galvanometr yordamida o'lchanadi. Zanjirning AD qismida I_1 tok, $AB \mathcal{E} GD$ qismida I_2 va $DCBA$ qismidan esa I tok o'tadi. I tok kuchi A tugunda AB va AD shoxobchalarga tarmoqlanganligidan

$$I = I_1 + I_2. \quad (15)$$

Zanjir $AB \mathcal{E} GD$ qismining qarshiligini R bilan, AD qismining qarshiligini R_1 bilan, belgilasak, $AB \mathcal{E} GDA$ berk kontur uchun (8) formulaga asosan quyidagi tenglamani yozish mumkin:

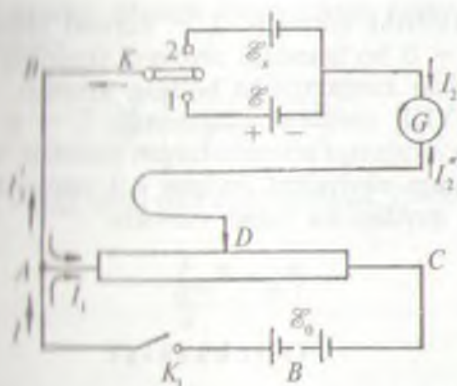
$$\mathcal{E}_0 = I_1 R_1 - I_2 R. \quad (16)$$

yoki (15) ga ko'ra

$$\mathcal{E}_0 = (I_1 - I_2) R_1 - I_2 R. \quad (17)$$

D qo'zg'aluvchi kontakti surish bilan I_2 tok kuchining nolga teng bo'lishiga erishish mumkin. $I_2 = 0$ ekanligini galvanometr ko'rsatadi, u vaqtda (17) tenglik quyidagi soddalashgan ko'rinishni oladi:

$$\mathcal{E}_0 = I R_1. \quad (18)$$



50- rasm.

Zanjirning AD qismidagi $I_1 \cdot R_1$ potensial tushishi normal elementning EYKga teng bo'lganda bu EYK kompensatsiyalangan bo'ladi.

Normal element kompensatsiyalangandan keyin K kalit I vaziyatdan 2 vaziyatga o'tkaziladi va birinchi element o'rnida EYK nomi'lum bo'lgan element ulanadi. So'ngra G galvanometrdan o'tuvchi tok nolga teng bo'lguncha D sirpanuvchi kontakt 2 yoki 1 tomoniga suriladi. Bunda galvanometr nolni ko'rsatganda AD qismining qarshiligi R_1 qarshilikdan farqli R_2 bo'ladi. Bu hol uchun (18) tenglik $\mathcal{E}_x$ ga nisbatan qo'yidagicha yoziladi:

$$\mathcal{E}_x = IR_2. \quad (19)$$

Ular ikkala holda butun zanjirning qaralayotgan qism qarshiligidan o'tuvchi tok kuchi o'zgarmas bo'lganligidan, (18) va (19) formulalar yordamida $\mathcal{E}_x$ ni topish mumkin:

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_0 \frac{R_2}{R_1}. \quad (20)$$

Bundan ko'rinadiki, normal elementning elektr yurituvchi qismini, R_1 va R_2 qarshiliklarning son qiymatlarini bilgan holda qaralayotgan EYKni (20) formuladan hisoblash mumkin. Agar 1 va 2 qarshilik sifatida bir jinsli va ko'ndalang kesimi uzunligi bo'yicha bir qat bo'lgan sim reoxorddan foydalanilsa, R_2/R_1 nisbat l_2/l_1 nisbat

bilan almashtirilishi mumkin. l_1 – normal element zanjirga ulanganda $I_2 = 0$ bo'lgandagi reoxord simining A tugundan D qo'zg'aluvchan kontaktgacha bo'lgan uzunligi, l_2 – zanjirga noma'lum EYKli element ulanganda $I_2 = 0$ bo'lgandagi D kontaktning A tugunga nisbatan turgan masofasi. Shunday qilib, R_2/R_1 nisbat unga ekvivalent bo'lgan l_2/l_1 nisbat bilan almash tirilsa, (20) ni quydagicha yozish mumkin:

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_0 \frac{l_2}{l_1}. \quad (21)$$

O'lchashlar

1. K va K_1 kalitlarning har ikkalasi ochiq qoldirilib, 50- rasmda ko'rsatilgan sxemada yig'iladi.

2. EYK ma'lum bo'lgan element zanjirga K kalit yordamida ulanadi. Shu vaqtda K_1 kalit ham ulanib, D kontakti u yoki bu tomonga siljitish bilan galvanometrning ko'rsatishi nolga keltiriladi. Zanjir AD qismining qarshiligi R_1 yoki unga ekvivalent almashtir ilishi mumkin bo'lgan $AD = l_1$ uzunlik aniqlanadi.

3. K kalit 1 vaziyatdan 2 vaziyatga o'tkazilsa, normal element o'rniga zanjirga EYK noma'lum element ulanadi va 2- banddan bajarilgandek, galvanometrning ko'rsatishi nolga keltirilib, R_1 yoki $AD = l_2$ topiladi.

4. l_1 va l_2 larni bir necha marta o'lchab, ularning o'rtacha qiymatlari va ishonch intervallari topiladi.

5. R_2 va R_1 yoki l_1 va l_2 larning tajribadan topilgan o'rtacha qiymatlari hamda normal element EYK larining son qiymatlaridan foydalanib, (20) yoki (21) formuladan $\mathcal{E}_x$ hisoblanadi.

6. Reoxarddan foydalanilganda nisbiy xatolik

$$\frac{\Delta \mathcal{E}_x}{\mathcal{E}_x} = \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2} \quad (22)$$

dan topiladi, chunki reoxard simining solishtirma qarshiligi ρ ni va simning ko'ndalang kesim yuzi S ni /uzunlik bo'yicha o'zgarmas deb hisoblagandagi l_1 va l_2 uzunliklarni o'lchashdagi xatolikdan

kichik bo'lgani uchun $\frac{\Delta R_1}{R_1}$ va $\frac{\Delta R_2}{R_2}$ nisbatlarni $\frac{\Delta l_1}{l_1}$ va $\frac{\Delta l_2}{l_2}$ nisbatlar bilan almashtirish mumkin.

(21) dan standart ishonch intervalining nisbiy xatoligi uchun qayilini yozamiz:

$$\left| \frac{\Delta \mathcal{E}_x}{\mathcal{E}_x} \right| = \sqrt{\frac{|\Delta I_1|^2}{I_1^2} + \frac{|\Delta I_2|^2}{I_2^2}}. \quad (23)$$

Agar $|\Delta I_1| = |\Delta I_2| \leq 0,5 \text{ mm}$ deb hisoblasak, $I_1 \approx 500 \text{ mm}$ deb faraz qilib,

$$\frac{\Delta \mathcal{E}_x}{\mathcal{E}_x} \leq 10^{-3} \quad (23a)$$

ol toqamiz.

Savollar

1. Elektr maydon kuchlanganligi deb nimaga atiladi? U qanday birliklarda ifodalanadi?
2. Elektr yurituvchi kuch nima?
3. Qanday qilib ampermetr va voltmeter yordamida EYK va ichki qarshilikni aniqlash mumkin?
4. Uinston ko'prigi yordamida qarshilik qanday o'lchanadi?
5. Kirsgol qonunlarini ta'riflang va tushuntiring?
6. Qarshiliklar magazani yordamida EYK qanday aniqlanadi?
7. Potentiometr yordamida EYK qanday o'lchanadi?
8. Yuqoridagi usullarning afzalligi nimada?

6- LABORATORIYA ISHI

METALL VA ELEKTROLITLAR QARSHILIGINI ANIQLASH

[№ 2, 40–42, 45, 92, 93, 95- §§]; [№ 7, 47–50, 62, 64- §§];
[№ 3, 57–61, 190–193- §§]; [№ 1, 33, 69–71, 79, 82- §§];
[№ 19, 6- ish].

Ishtutning maqsadi – birinchi va ikkinchi tur o'tkazgichlarning qarshiliklarini va modda tabiatini xarakterlovchi solishtirma qarshilik va elektr o'tkazuvchanliklarni o'rganish, ularni o'lchash usullari bilan tanishish.

1. **Elektr zanjir va uning elementlari.** Eng sodda elektr zanjir elektr energiya manbayidan, elektr energiyani uzatuvchi va qabul qiluvchi qismlardan tashkil topgan.

Elektr energiyani manbadan qabul qiluvchi qismga simlar vositasida uzatishda tok o'tishi mumkin bo'lgan sistema **elektr zanjir** deyiladi. Elektr zanjirni tashkil etgan barcha qismlarni shartli belgilar asosida ifodalash **elektr sxema** deb ataladi.

2. **Elektr toki.** Metallarda mavjud bo'lgan barcha erkin elektronlarning tashqi elektr maydon ta'sirida ma'lum yo'nalishda harakatga kelishi zanjir bo'ylab oqib o'tuvchi elektr tokini vujudga keltiradi. Elektronlarning tartibli harakatidagi tezligining kattaligi metallni tashkil qilgan hajm birligidagi atomlar va erkin elektronlar shuningdek, ularning o'zaro to'qnashishlar soniga bog'liq bo'ladi. Metallning qarshiligini xarakterlaydi. l uzunlikdagi sim yoki silindrik ko'rinishidagi o'tkazgichlarning qarshiligi quyidagicha ifodalanadi:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1)$$

bunda ρ — proporsionallik koeffitsiyenti, u metallning tabiatiga bog'liq bo'lib, **solishtirma qarshilik** deb ataladi.

Metallardagi zaryadli zarralarning ta'sirlashuvi o'tkazgichning temperaturasi bog'liq bo'lib, u o'z navbatida o'tkazgich elektr qarshiligining o'zgarishiga olib keladi. Bu bog'lanishni ifodalash uchun **qarshilikning temperatura koeffitsiyenti** (α) tushunchasi kiritiladi. Agar berilgan o'tkazgich materialining $T_0 = 273 \text{ K}$ temperaturadagi solishtirma qarshiligi ρ_0 bo'lsa, u holda uning ixtiyoriy temperaturadagi ρ solishtirma qarshiligining temperaturaga bog'lanishi quyidagicha ifodalanadi:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T) = \rho_0 [1 + \alpha (T - T_0)] \quad (2)$$

O'tkazgich qarshiligining temperaturaga bog'lanishi (o'tkazgich uzunligi va ko'ndalang kesimining temperaturaga bog'liq ekanligi hisobga olinmaganda) quyidagicha ifodalanadi:

$$R = \rho_0 [1 + \alpha (T - T_0)] \frac{l}{S} = R_0 [1 + \alpha (T - T_0)]. \quad (3)$$

(3) formuladagi $1 + (T - T_0)$ ifoda **termik qarshilik binomi** bo'lganligi va u o'tkazgich temperaturasi T_0 dan T gacha o'zgarganda qarshiligining R_0 ga nisbati necha marta o'zgarganini bildiradi. O'tkazgichlar uchun yana xarakterli bo'lgan parametrlar **termik elektr o'tkazuvchanlik** (σ) va **elektr o'tkazuvchanlik** (σ_0) bo'ladi:

$$\sigma = \frac{1}{\rho_0(1+\alpha\Delta T)} \quad \text{va} \quad G = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_0(1+\alpha\Delta T)}. \quad (4)$$

1. Elektrolitlarda qarshilikning temperaturaga bog'liqligi metall o'tkazgichlardagiga nisbatan boshqacha xarakterdadir. Elektrolitlar temperaturaning ortishi bilan eritma qovushoqligi kamayishi tufayli ionlarning harakatchanligi ortadi va natijada elektrolitning qarshiligi kamayadi:

$$R = R_0 \frac{\Delta l}{\Delta S} \cdot \frac{1}{F\alpha C[(u_{+2}+u_{+1})+(u_{-2}+u_{-1})]}, \quad (5)$$

bu yerda Δl — elektrodlar orasidagi masofa, ΔS — elektrodlardan tashqari ionlar kelib o'tiruvchi yuzi, α — dissotsilanish darajasi, C — liqviy miqdorda ifodalangan konsentratsiya, F — Faradey konstantasi, u_{+1} , u_{+2} , u_{-1} , u_{-2} — musbat va manfiy ionlarning mos ravishda T va T_0 haroratlaridagi harakatchanligi.

Har qanday elektr zanjir parametrlarini hisoblashda Ohm va Kirxgof qonunlaridan foydalaniladi.

4. Ohm qonuni. Zanjirdagi tok kuchi manbaning elektr yurituvchi kuchiga to'g'ri, zanjirning to'la qarshiligiga teskari proporsionaldir:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}, \quad (6)$$

bu yerda $\mathcal{E}$ — manbaning elektr yurituvchi kuchi (EYK), r — uning ichki qarshiligi. Agar zanjirning faqat tashqi qismigina qaralsa, $\mathcal{E}$ o'rniga shu qism uchlaridagi potensial tushuvi olinadi:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (6a)$$

5. Kirxgof qonunlari. a) Tugunga keluvchi barcha toklar yig'indisi tugundan ketuvchi toklar yig'indisiga hamma vaqt teng (51- rasm):

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_6 = I_5. \quad (7)$$

b) Tarmoqlangan zanjirning ixtiyoriy tanlangan har qanday berk konturidagi tok kuchlarining zanjir tegishli qismlari qarshiliklariga ko'paytmalari yig'indisi shu konturda uchraydigan EYK larning algebraik yig'indisiga tengdir. 52- rasmga asosan:

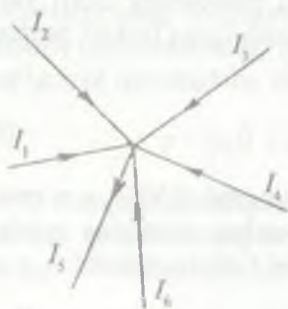
$$I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_4 R_4 = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3. \quad (8)$$

6. O'tkazgichlarni ketma-ket ulash. Agar elektr zanjirga o'tgazgichlar ulanganda tarmoqlanish bo'lmasa, ular o'z aro o'lingan bo'ladi. Qarshiligi R_1 , R_2 , R_3 va hokazo bo'lgan n ta o'tkazgichning ketma-ket ulanish sxemasi 53- rasmga keltirilgan. Bu o'tkazgichlardan o'tuvchi tok bir xil bo'ladi:

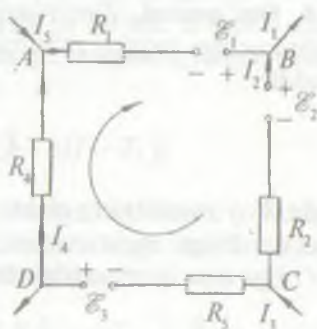
$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n. \quad (9)$$

Lekin har bir qarshilikning uchlaridagi potensial tushuvi Om qonuniga ko'ra: $U_1 = \varphi_1 - \varphi_2 = IR_1$, $U_2 = \varphi_2 - \varphi_3 = IR_2$, ..., $U_n = \varphi_{n-1} - \varphi_n = IR_n$.

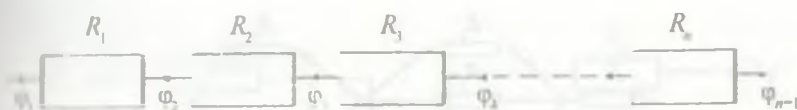
Zanjir qismining boshlang'ich va oxirgi uchlari orasidagi potensial tushuvi: $U = \varphi_1 - \varphi_n = (\varphi_1 - \varphi_2) + (\varphi_2 - \varphi_3) + \dots + (\varphi_{n-1} - \varphi_n) = U_1 + U_2 + \dots + U_n = I \sum_{k=1}^n R_k$.



51- rasm.



52- rasm.



53- rasm.

Bundan

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = \sum_{k=1}^n R_k \quad (10)$$

ekanligi kelib chiqadi.

7. O'tkazgichlarni parallel ulash. O'tkazgichlar 54- rasmda ko'rsatilgandek ulanganda tarmoqlanish mavjud bo'lib, bunday ulash *parallel ulash* deb ataladi. O'tkazgichlar parallel ulanganda tugunga kirib keluvchi tok kuchi barcha tarmoqlarga taqsimlanadi:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (11)$$

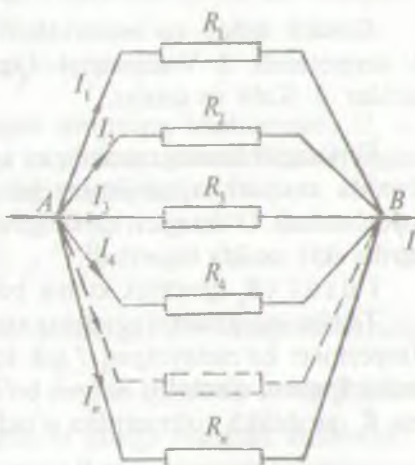
Tugunlar orasidagi potensial tushuvi U barcha o'tkazgich uchun bir qiymatli, ya'ni $U = I_1 R_1$, $U = I_2 R_2$, ..., $U = I_n R_n$. $U = IR$ ekanligidan:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}. \quad (12)$$

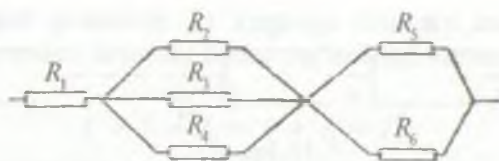
Agar barcha o'tkazgichlarning qarshiliklari o'zaro bir-biriga teng bo'lsa, u holda

$$\frac{1}{R} = \frac{n}{R_1} \text{ yoki } R = \frac{R_1}{n}. \quad (13)$$

8. O'tkazgichlarni aralash ulash. Bu holda zanjir qismlari qanday va nechta ekanligini bilish kerak. 55- rasmdan ko'ramizki, ketma-ket ulangan qism uchta bo'lib, bundagi ikkinchi va uchinchi qismlar tarmoqlangan. Zanjirning ketma-ket ulangan uchta qismining



54- rasm.



55- rasm.

qarshiligini mos ravishda R_I , R_{II} , R_{III} bilan belgilaymiz. (10) ifodaga asosan zanjirning umumiy qarshiligi

$$R = R_I + R_{II} + R_{III} \quad (14)$$

bo'ladi, bunda

$$R_I = R_1; \quad \frac{1}{R_{II}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}; \quad \frac{1}{R_{III}} = \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}. \quad (15)$$

1- mashq

O'tkazgich qarshiligini ampermetr va voltmetr yordamida aniqlash

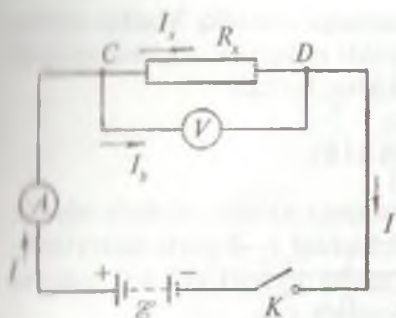
Kerakli asbob va materiallar: 1. O'zgarmas tok manbayi. 2. Ampermetr. 3. Voltmetr. 4. Qarshiliklari aniqlanuvchi o'tkazgichlar. 5. Kalit va simlar.

O'tkazgichlarning qarshiligini ampermetr hamda voltmetr yordamida aniqlashda zanjirning bir qismi uchun Om qonunidan foydalaniladi. O'tkazgich qarshiligining katta yoki kichikligiga qarab tajriba ikki usulda bajariladi.

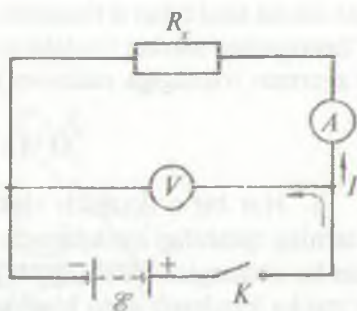
I usul (R_x qarshilik kichik bo'lgan hol).

Tajriba qurilmasining elektr sxemasi 56- rasmda tasvirlangan. Ampermetr ko'rsatayotgan I tok kuchi C nuqtada tarmoqlanadi: uning I_x qismi qarshiligi noaniq bo'lgan R_x o'tkazgichdan, I_y qismi esa R_y qarshilikli voltmetrda o'tadi. Om qonuniga ko'ra:

$$R_x = \frac{U}{I_x} \quad \text{va} \quad R_y = \frac{U}{I_y}$$



56- rasm.



57- rasm.

Kirxgof qonuniga asosan ($I_x = I - I_v$) noma'lum qarshilik quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$R_x = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}}.$$

II usul (R_x qarshilik katta bo'lgan hol).

Bu tajriba qurilmasining elektr sxemasi 57- rasmda keltirilgan. Ampermetr hamda o'lchanayotgan qarshilik ketma-ket ulanganligidan, voltmetrning ko'rsatishi:

$$U = U_a + U_x.$$

bunda U_a — ampermetr ulangan qismning kuchlanishi; U_x — noma'lum qarshilik uchlaridagi potensial tushuvi. Izlanayotgan qarshilik 57- rasmda ko'ra quyidagicha bo'ladi:

$$R_x = \frac{U_x}{I} = \frac{U - U_a}{I}.$$

$U_a = IR_a$ (R_a — ampermetr qarshiligi, I — ampermetrning ko'rsatishi)ga asosan $R_x = \frac{U - U_a}{I} = \frac{U - IR_a}{I}$. Noma'lum qarshilikni

ikkinchi usul bilan aniqlash birinchi usulga nisbatan aniqroqdir, chunki voltmetrning qarshiligi hamma vaqt ampermetr qarshiligidan juda ko'p marta katta bo'ladi. Shunday bo'lishiga qaramay, tajriba

har ikkala usul bilan o'tkazilishi maqsadga muvofiq. Mazkur tajriba o'zgaruvchan tokdan foydalangan holda o'tkazilsa, o'lchash aniqligi o'zgarmas tokdagiga nisbatan kichikroq bo'ladi.

O'lchashlar

1. Har bir o'tkazgich elektr zanjirga alohida-alohida ulanib, ularning qarshiligi ayniqlanadi. O'lchashlar 3—4 marta takrorlanib, har bir o'tkazgich qarshiligining o'rtacha qiymati, absolut, nisbiyva o'rtacha kvadratik xato hisoblab topiladi.

2. O'tkazgichlar ketma-ket ulanib (53- rasmga q.) qarshiligi ampermetr va voltmeter ko'rsatishi asosida hisoblanib topiladi. Olingan natija (10) yordamida nazariy hisoblangan kattalik bilan taqqoslanadi.

3. O'tgazgichlar o'zaro parallel ulanadi (54- rasmga q.) va ularning qarshiligi ampermetr hamda voltmeterning ko'rsatishlari asosida hisoblab topiladi. So'ngra bu qiymat (13) formula yordamida nazariy hisoblab topilgan qiymat bilan taqqoslanadi.

4. O'tkazgichlar 55- rasmda ko'rsatilgandek aralash ulanib, umumiy qarshilik topiladi va olingan natija (16) formula yordamida hisoblab topilgan qiymat bilan taqqoslanadi.

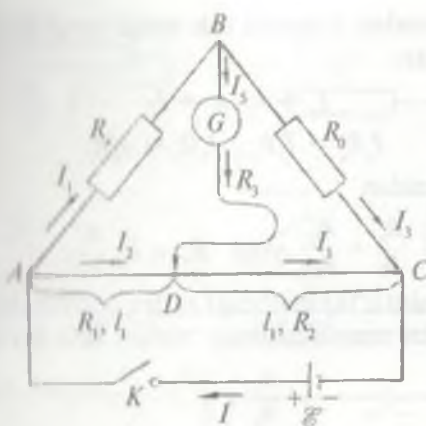
5. Har bir o'tkazgichning solishtirma qarshiligi va elektr o'tkazuvchanligi (1) va (4) formuladan topiladi.

2- mashq

O'tkazgichlar qarshiligini Uitston ko'prigi vositasida aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Uitston ko'prigi. 2. Galvanometr. 3. Qarshligi aniqlanuvchi o'tkazgichlar. 4. Kalit va ulash simlari. 5. Shtangensirkul va chizg'ich.

Biror R_x noma'lum qarshilikning qiymatini R_0 ma'lum qarshilik qiymati bilan taqqoslab topishda qo'llaniladigan sxema Uitston ko'prigi deb ataladi. Uitston ko'prigi $\mathcal{E}$ manbaga ulangan zanjirdan o'tuvchi tok kuchi I tugunda tarmoqlanadi (58- rasm).



58- rasm.

Zanjirning $ABCA$ qismi ketma-ket ulangan noma'lum (R_x) va standart (R_0) ikkita qarshilik va tarang tortilgan bir jinsli (AC) simdan iborat. Bu qarshiliklarning uchlari ulanadigan B nuqtaga o'lchov asbobi — galvanometr (G) yoki telefonning bir uchi, siljanuvchi kontakt (D) ga uning ikkinchi uchi ulangan. Bu kontakt AC sim bo'ylab siljiy oladi va shu tarzda AD va DC qismlarning R_1 hamda R_2 qarshiliklari yoki l_1 hamda l_2 uzunliklar nisbatini o'zgartira oladi. Bu holat uchun tokning yo'nalishlari 58- rasmda ko'rsatilgandek tanlab olinsa, Kirxgof tenglamalari (7) formulaga ko'ra quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\left. \begin{aligned} A \text{ tugun uchun: } I - I_1 - I_2 &= 0, \\ B \text{ tugun uchun: } I_1 - I_3 - I_5 &= 0, \\ D \text{ tugun uchun: } I_5 + I_2 - I_4 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (a)$$

Schemadagi $ABDA$, $BCDB$ va $ACBA$ berk konturlarni olib, bu konturlar uchun (8) tenglamani qo'llaymiz:

$$\left. \begin{aligned} I_1 R_x - I_5 R_3 - I_2 R_1 &= 0, \\ I_3 R_0 - I_4 R_2 - I_5 R_3 &= 0, \\ I_2 R_1 + I_4 R_2 - I r &= \mathcal{E}. \end{aligned} \right\} \quad (b)$$

G galvanometrda o'tuvchi tok nolga teng bo'lganda (a) va (b) tenglamalardan

$$I_1 = I_3, I_2 = I_4, \quad (d)$$

$$I_1 R_x = I_2 R_1; I_3 R_0 = I_4 R_2 \quad (e)$$

kelib chiqadi. Bundan

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{R_1}{R_2} \text{ yoki } R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2}. \quad (f)$$

Bir jinsli AC sim o'tkazgichdagi ayrim qismlar qarshiliklarining nisbati shu qismlar uzunliklarining nisbati kabi bo'ladi:

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{l_1}{l_2}.$$

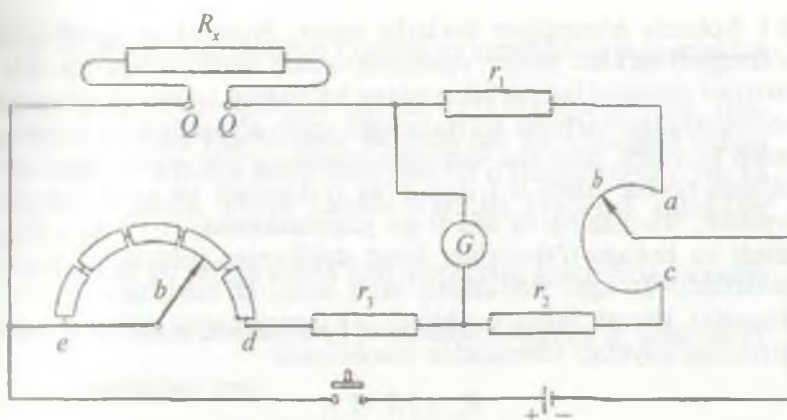
Bundan:

$$R_x = R_0 \frac{l_1}{l_2} \quad (17)$$

munosabat hosil bo'ladi. l_1/l_2 nisbat 1 dan ko'p farq qilmaganda R va R_0 qarshiliklarni taqqoslash aniqligi katta bo'ladi. Shuning uchun Uitston ko'prigi yordamida noma'lum qarshilikni o'lchashda standart qarshilik noma'lum qarshilikdan ko'p farq qilmasligi maqsadga muvofiqdir. Shu maqsadda qarshiliklar magazinidan foydalanilgan. Qarshiliklar magazinidan bitta yoki bir nechta shtep-selni olish bilan standart qarshilikning noma'lum qarshilikka yaqin qiymati topilganda galvanometrning ko'rsatishi nolga yaqin bo'ladi.

Hozirgi vaqtda noma'lum o'tkazgichlar qarshiligini o'lchashda Uitston ko'prigiga nisbatan birmuncha qulay bo'lgan asbob — MMV markali qarshiliklar indikatoridan foydalaniladi. MMV indikatorning prinsipial elektr sxemasi 59-rasmda ko'rsatilgan. Sxemada abc — aylana reoxord, sxemaning ed qismiga l qo'zg'atuvchan dastali qarshiliklar magazini ulangan l dasta qarshilikni eng kichik qiymatidan eng katta qiymatigacha o'zgartirish imkonini beradi. Reoxord sim qarshiligi b kontaktli dastacha yordamida bir tekisda o'zgartiriladi. r_1 , r_2 va r_3 etalon qarshiliklar asbobning normal ish rejimini ta'minlash uchun sxemaga kiritilgan.

MMV qarshiliklar indikatorining ishlash prinsipi o'zgarmas tok kuchi ta'siriga asoslangan bo'lib, bu asbob yordamida 0,05 dan 50 000 Ω gacha oraliqdagi qarshiliklarni o'lchash mumkin.



59- rasm.

Asbobning tavsifi. MMV indikatorning barcha qismlari — taqqoslanuvchi qarshilik, reoxord, galvanometr va batareyalar uning umumiy korpusida mujassamlangan.

Galvanometrnining ishlash prinsipi magnitoelektrik ta'sirga asoslangan bo'lib, umumiy shkala 20 ta bo'limga ega. Shkala chizig'ining markazida «0» nuqta joylashtirilgan va bu nol nuqtaning chap tomoniga «kam», o'ng tomoniga esa «ko'p» so'zlari yozib qo'yilgan. Reoxord dastasi (shkalalarga bo'lingan limbga qotirilgan) ning o'zgarishi 0,05 dan 500 Ω gacha mos keladi. Noma'lum qarshilikning katta-kichikligiga qarab qarshilikni o'zgartiruvchi dasta 5 dekadali bo'lib, ular 0,1; 1; 10; 100; 1000 raqamlardan iborat. Muvozanatlash vaqtida batareyani uzib ulab turish uchun maxsus knopka o'rnatilgan. Qarshiligi aniqlanuvchi o'tkazgichlarni ulash uchun ikkita qisqich ham bor. Raqamlardan qaysi biri dastadagi strelkaning uchiga mos kelsa, shu sonning reoxord limbidan ikkinchi strelka uchiga mos kelgan songa ko'paytmasi qisqichlarga ulangan no'malum o'tkazgichning qarshiligini beradi.

Noma'lum o'tkazgich qarshiligini MMV indikator vositasida aniqlash quyidagicha bajariladi. Avvalo asbobning o'zi tekshiriladi ya'ni $Q-Q$ qisqichlar qisqa tutashtirilib, knopkani bosish bilan galvanometr strelkasi aniq nol holatiga keltirib olinadi va shu holatdagi reoxord limbining ko'rsatishi belgilanadi. Bunda dasta

0,1 holatda o'rnatilgan bo'lishi zarur. Noma'lum qarshilikli o'tkazgich uchlari simlar vositasida asbob qisqichlariga ulanadi, reoxord dastasini burash bilan uning ko'rsatishi taxminan umumiy bo'limlarining yarmini ko'rsatadigan qilib o'rnatiladi va knopka bosib ko'riladi. Agar shu vaziyatda strelka og'ishi «kam» tomonga siljigan bo'lsa, dasta 0,1 dan 1 ga o'tkaziladi va yana knopka bosiladi, strelkaning og'ishi 0 ga yaqinlashmasa, u 10 ga o'tkaziladi va hokazo o'tkazishlar bilan strelkaning uchi nolga yaqin keltiriladi. So'ngra strelkaning aniq nolni ko'rsatishiga reoxord dastasini burash bilan erishiladi. O'tkazgichning izlanayotgan qarshiligi quyidagi formuladan hisoblanadi:

$$R_x = (X - Y), \quad (18)$$

bunda X — dastaning strelkasiga, Y — reoxord limbining strelkasiga mos kelgan sonlar.

Asbobning o'lchash aniqligi tashqi temperaturaga bog'liq. Ish vaqtida tajriba xonasining temperaturasi $+10^{\circ} \div +35^{\circ}\text{C}$ intervaldan katta bo'lmasligi talab qilinadi.

O'lchashlar

1. 58- rasmda ko'rsatilgan sxema yig'iladi. Yig'ilgan sxemaning to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilingandan keyin kalit ulanib, Uitston ko'prigidagi qarshiliklar magazinidan bitta shtepsel olinadi

va D kontakt u yoki bu tomonga siljtiladi. Agar $\frac{l_1}{l_2} \approx 1$ ga yaqin

oraliqda galvanometr ko'rsatishi nolga kelmasa yana bitta shtepsel olinib, D kontakt qo'zg'atiladi. Bu ishlarni davom ettirib, ma'lum

sondagi shtepsellar olinishi bilan galvanometrning ko'rsatishi $\frac{l_1}{l_2} \approx 1$

shart bajarilgan oraliqda nolga keladi.

R_0 ning son qiymati shtepsellar olingan uyachaga yozib qo'yilgan qarshiliklar son qiymatlari yig'indisiga teng.

2. $\frac{l_1}{l_2}$ uzunliklarning nisbati AC sim bo'ylab joylashtirilgan chizg'ich yordamida topiladi.

3. $\frac{l_1}{l_2}$ nisbatning topilgan qiymati va qarshiliklar magazinidan olingan qarshiliklar yig'indisi qiymati (17) ifodaga qo'yilib, izlanayotgan qarshilik hisoblanadi. Berilgan har bir o'tkazgich uchun o'lchashlar 3—4 marta takrorlanib, har bir o'tkazgichning o'rtacha qarshiligi, absolut, nisbiy hamda o'rtacha kvadratik xatoliklar hisoblanadi.

Reoxordli ko'prikda noma'lum qarshilikni aniqlashdagi xatolik asosan $\frac{l_2}{l_1}$ nisbatni aniqlashdagi noaniqlikka bog'liq. R_x ning nisbiy xatoligi quyidagiga teng:

$$f = \frac{\Delta R_1}{R_2} + \frac{(1+\alpha)^2}{\alpha} \cdot \frac{\Delta l_1}{l}, \quad (19)$$

bu yerdagi l — reoxord uzunligi, Δl_1 sifatida quyidagi kattalikni olish lozim:

$$\Delta l_1 = t_{\alpha}(n) \sqrt{\frac{\sum (\leq l_1 > - l_1)^2}{(n-1)n}}, \quad (20)$$

bu yerda $t_{\alpha}(n)$ — o'lchashlar soni n bo'lgandagi Styudent koeffitsiyenti, Δl_1 kattalik har bir R_x qarshilik uchun hisoblanadi.

4. Agar noma'lum o'tkazgichning qarshiligi MMV indikator yordamida o'lchansa, noma'lum qarshilik (18) ifodaga asosan hisoblanadi.

5. Har bir o'tkazgichning solishtirma qarshiligi, elektr o'tkazuvchanligi (1) va (4) formulalar yordamida hisoblanadi.

3- mashq

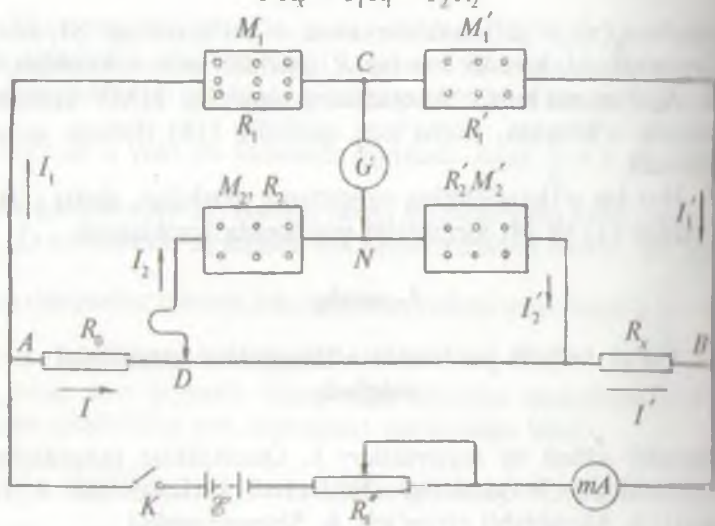
Qo'sh ko'prik yordamida o'tkazgichlar qarshiligini aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Qarshiliklar magazinlari. 2. Galvanometr. 3. Qarshiligi o'lchanuvchi o'tkazgichlar. 4. Tok manbai. 5. Masshtabli chizg'ich. 6. Shtangensirkul.

Qo'sh ko'priqli sxema 60- rasmda keltirilgan. Bunda R_0 aniqlanuvchi qarshilik. M_1, M_2, M'_1, M'_2 — qarshiliklar magazinlari. Odatda, tajribaning natijasi aniq bo'lishini ta'minlash va ishini bajarishni osonlashtirish uchun qarshiliklar magazinidan shtepsellarni olishda $R_1 = R_2$ va $R'_1 = R'_2$ bo'lishi talab qilinadi. C va N nuqtalar oralig'iga sezgir galvanometr ulangan. R_0 — etalon qarshilik bo'lib, uni oldindan tanlab olinadi. mA — milliampmetr. R_1 — reostat, $\mathcal{E}$ — tok manbai hamda K — kalit. Kalitni ulash zanjirning A va B tugunlariga kuchlanish beriladi. Qarshiliklar magazinlaridan R_1, R_2, R'_1, R'_2 qiymatlar shunday tanlab olinadiki, bunda $R_1 = R_2, R'_1 = R'_2$ xususiy shart bajarilganda galvanometr strukturasining ko'rsatishi nol bo'ladi. Bu hol uchun $I_1 = I'_1, I_2 = I'_2$ va $I = I'$ shart ham bajariladi. $DACND$ va $CBNC$ konturlarda tok kuchining yo'nalishi 60- rasmda ko'rsatilgandek tanlab olinadi, (B) ga asosan quyidagi tenglamalar sistemasini yozish mumkin:

$$IR_0 = I_1 R_1 - I_2 R_2$$

$$I' R_x = I'_1 R'_1 - I'_2 R'_2$$



60- rasm.

Bu tenglamalar sistemasining birini ikkinchisiga bo'lib va $R_x = R_0$ ekanligini nazarda tutib, tenglamalarni R_x ga nisbatan yechilganda

$$R_x = R_0 \frac{R_1'}{R_1} \quad (19)$$

qaytib hosil bo'ladi.

Ka'namizki, noma'lum qarshilikni aniqlashda R_0 , R_1 , R_1' qarshiliklardan boshqa qarshiliklar vositachi sifatida ishtirok qilib, qat'iy aniqligiga ta'sir etmaydi. Kalitni ulaganda tok kuchi A tuganda I , I_1 larga tarmoqlanib, o'tkazgichlardan hamda qarshiliklar magazinlaridan o'tganligi tufayli, $I_g = 0$ vaziyatning vujudga kelishida ulash simlarining qarshiligi R_1 , R_1' , R_2 , R_2' larning son qiymatlarini o'zgartira olmaydi. Shuning uchun R_x ning qiymati ulash simlari qarshiliklari qanday bo'lishiga bog'liq emas.

Qo'sh ko'priq yordamida o'tkazgichlarning noma'lum qarshiligini o'lchashdagi aniqlik darajasi o'lchanayotgan qarshilik son qiymatining katta-kichikligiga qarab turlicha bo'ladi. Odatda, o'lchanadigan qarshilik qancha katta bo'lsa, tajriba aniqligi shuncha yuqori bo'ladi. Qo'sh ko'priq usuli yordamida etalon qarshilikning son kichik qiymatlarini tanlab olish bilan kichik qarshiliklarni katta aniqlikda o'lchash mumkinligi bu usulning barcha boshqa usullardan afzal ekanligini ko'rsatadi.

O'lchashlar

1. 60- rasmda ko'rsatilgan sxema bo'yicha zanjir yig'iladi.

2. Har bir qarshiliklar magazinidan tok o'tganda galvanometrning ish rejimi buzilmasligi uchun avvalo R_1 , R_1' , R_2 , R_2' lar R_0 dan katta bo'ladigan qilib shtepsellar olinadi. Bunda $R_1 = R_2$ qilib olinib va R_1' ni ixtiyoriy tanlab, R_2' o'zgartira borilganda R_0 ning qandaydir bir qiymatida galvanometrning ko'rsatishi nol bo'ladi. Galvanometrning ko'rsatishi nol bo'lishi uchun qarshiliklarni tanlab olishda ma'lum vaqt talab qilinganligidan, kalit uzib-ulan turiladi.

3. Tajriba $\frac{R'_1}{R_1}$ nisbatlarning har xil qiymatlari uchun alohida alohida 3–4 marta takror bajarilib, noma'lum qarshilikning o'rtacha qiymati, absolut, nisbiy va o'rtacha kvadratik xatolik hisoblanadi.

4. Etalon qarshilikni bilgan holda $\frac{R'_1}{R_1}$ nisbat (19) formulaga qo'yilib, noma'lum qarshilik hisoblanadi.

5. Agar R_x qarshilikli o'tkazgich bir jinsli va aniq shaklga ega bo'lsa, uning solishtirma qarshiligi (1) formuladan topiladi. Har bir o'tkazgichning solishtirma qarshiligi va elektr o'tkazuvchanliklari tajriba natijasidan foydalanib hisoblanadi.

6. O'lchashlar 53 va 54- rasmlar uchun alohida bajariladi va har bir ulash usullari asosida topilgan qarshilikning son qiymatlari (10), (13), (15) formulalar yordamida topilgan nazariy hisoblashlar natijasi bilan takqoslanadi.

4- mashq

Metallar qarshiligining temperaturaga bog'liqligini aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Maxsus o'tkazgichlar. 2. Termostats. 3. Uitston ko'prigi yoki MMZ indikator. 4. Galvanometr. 5. O'zgarmas tok manbai. 6. Termometr. 7. Ulash simlari.

Tajriba qurilmasining elektr sxemasi 61- rasmda ko'rsatilgan. Bunda tekshiriluvchi AB spiral o'tkazgich U -simon shisha nay ichiga o'rnatilgan bo'lib, suvli termostat ichiga tushirilgan, M – aralashtirgich, U – isitgich va T – termometr. Isitgich 127 yoki 220 voltga moslangan. Tekshiriluvchi o'tkazgichning boshlang'ich qarshiligini ya'ni $T = T_1$ (tajriba xonasi temperaturasi ga teng bo'lgan) dagi qarshiligini R_0 bilan, uning $T = T_2$ temperaturagacha qizdirilgandagi qarshiligini R bilan belgilab, quyidagicha mulohazalar yuritamiz.

1. O'tkazgich T_0 dan T gacha qizdirilganda uning qarshiligi qancha o'zgarganligini topamiz: $\Delta R = R - R_0$.

3. O'tkazgichni 1 K ga qizdirilganda uning qarshiligi boshlang'ich qiymatiga nisbatan qanday qismga o'zgarganini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R_0 \Delta T}.$$

Uu aniqlangan α kattalik, turli o'tkazgichlar uchun har xil qimmatli va o'tkazgichlar qarshiligini izohlovchi asosiy parametr hisoblanadi, uni odatda *qarshilikning termik koeffitsienti* deyiladi. Qarshilikning termik koeffitsienti miqdor jihatidan o'tkazgichning 1 K yoki 1 °C ga qizdirilgandagi qarshiligi uning 273 K yoki 0 °C dagi qarshiligining qanday qismiga o'zgarishini ifodalovchi kattalikdir. Shunday qilib, (2) va (3) formulalarga ekvivalent bo'lgan tenglamalar sistemasini ΔT temperatura orqali yozish mumkin:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \Delta T), \quad R = R_0(1 + \alpha \Delta T).$$

Agar o'tkazgichlar qarshiligining temperaturaga bog'liqligini o'rnatishga asoslangan qurilmada o'lchov asbobi sifatida MMV metodidan foydalanilsa, qarshilik (18) ifoda yordamida hisoblanadi.

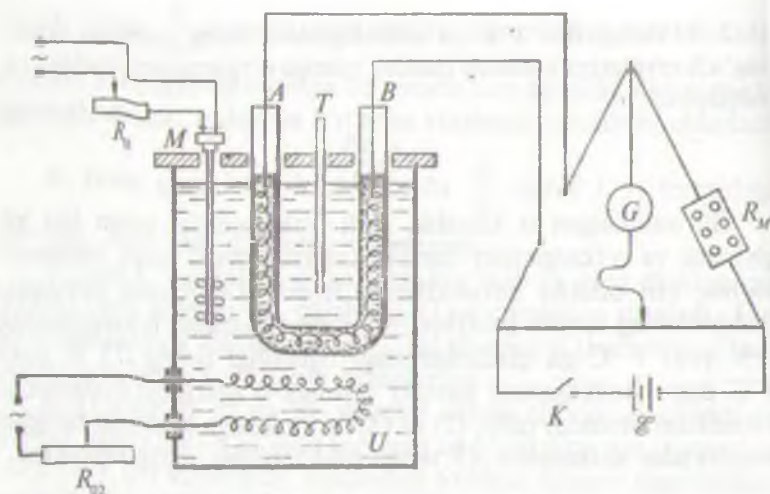
O'lchashlar

1. O'tkazgichning noma'lum qarshiligi 2- mashq asosida laboratoriya xonasining T_1 temperaturasi 3—4 marta takror o'lchab, ularning o'rtacha qiymati topiladi va uni R_1 orqali belgilanadi, (3) formulaga asosan ($T_1 > T_0$ ekanligidan):

$$R_1 = R_0[1 + \alpha(T_1 - T_0)] = R_0(1 + \alpha \Delta T_1)$$

bu holda, bunda $\Delta T_1 = T_1 - T_0$ xona temperaturasi $T_0 = 273$ K ga nisbatan farqini bildiradi. R_1 tajribadan topilgach, R_0 ning $\frac{R_1}{1 + \alpha \Delta T_1}$ ga teng bo'lgan qiymati (3) formulaga qo'yilsa, ixtiyoriy T temperaturadagi o'tkazgich qarshiligini hisoblash formulasiga ega bo'lamiz:

$$R = R_1 \cdot \frac{1 + \alpha \Delta T}{1 + \alpha \Delta T_1}. \quad (20)$$



61- rasm.

2. R_1 ning o'rtacha qiymati topilgach, zanjir 61- rasmda ko'rsatilgan sxema bo'yicha yig'iladi. Yig'ilgan zanjirning to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilingach, zanjir tok manbayiga ulanadi va aralashtirgich ishga tushiriladi. Termometrning ko'rsatishini kuzata borib, temperaturalar farqi $\Delta T = 10$ K bo'lishiga erishiladi. Bu vaqtda galvanometr strelkasi katta qiymatlarga og'ib ketmasligi uchun qarshiliklar magazinidan shtepsellar olib turiladi.

3. Temperaturalar farqi $\Delta T = 10$ K bo'lgan ayni vaqtda isitgich uchlaridagi kuchlanishni reostat yordamida minimumga tushirib, temperatura doimiy saqlangan holda qarshilik aniqlanadi. Tajriba 3—4 marta takrorlanib, shu temperaturadagi qarshilikning o'rtacha qiymati, absolut, nisbiy va o'rtacha kvadratik xatolik hisoblanadi.

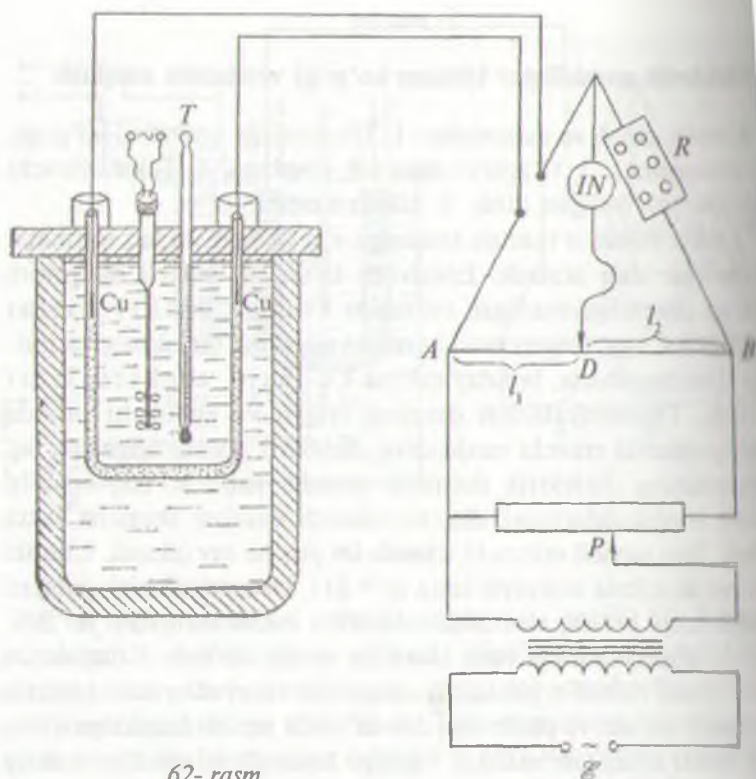
4. Xuddi shuningdek, o'lchashlar temperaturalar farqi 20, 30, 40, 50 va 60 gradus bo'lgan barcha hollarda ham bajariladi.

5. Tajribadan olingan qarshiliklarning qiymati ordinata o'qiga va ularga mos bo'lgan temperaturalar absissa o'qiga qo'yilib $R = f(T)$ funksiya grafigi chiziladi. Bu grafik (20) formulaga ko'ra chizilgan grafik bilan taqqoslanadi.

Elektrolit qarshiligini Uitston ko'prigi vositasida aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Uitstonning universal ko'prigi. 2. Galvanometr. 3. O'zgaruvchan tok manbai. 4. Tekshiriluvchi elektrolit qo'yiladigan idish. 5. Ulash simlari.

Elektr tokini o'tkazish xossasiga ega bo'lgan suyuq eritmalar *elektrolitlar* deb ataladi. Erituvchi ta'sirida deyarli batamom ionlarga dissotsiyanadigan eritmalar kuchli elektrolitlar va aksincha, agar erigan modda molekularining bir qismigina ionlarga dissotsiyalansa, bunday eritma kuchsiz elektrolitlar deyiladi. Dissotsiyanish darajasi erigan va erituvchi modda tabiatiga hamda eruvchi moddaning dielektrik doimiyligiga bog'liq. Erituvchining dielektrik doimiysi qancha katta bo'lsa, eruvchi modda molekularining dissotsiyanish darajasi shuncha katta bo'ladi. Shu sababli erituvchi sifatida ko'pincha suv olinadi. Chunki suvning dielektrik doimiysi katta ($\epsilon = 81$). Dissotsiyanish darajasi qancha katta bo'lsa, elektrolitlarda erkin ionlar soni ko'p bo'ladi, elektr o'tkazuvchanligi ham shuncha yaxshi bo'ladi. Eritmalarda ionlar xuddi metall o'g'kazgichlardagi erkin zaryadlar kabi batartib harakatda bo'ladi va elektr maydon ta'sirida tartibli harakatga o'tib, ionli elektr o'tkazuvchaklikni vujudga keltiradi. Musbat va manfiy ionlar harakat davomida molekular bilan to'qnashishlari hisobiga elektrolitda qarshilik namoyon bo'ladi. Elektrolitlar qarshiligi moddalarning dissotsiyanish darajasiga bog'liq holda o'zgaradi. Dissotsiyanish darajasi esa o'z navbatida temperaturaga bog'liq. Mazkur ishda temperatura doimiy saqlanib elektrolitlar qarshiligining eritma konsentratsiyasiga bog'liq holda o'zgarishini tekshirish bilan chegaralaniladi. Elektrolitning qarshiligini aniqlash aynan metall o'tkazgichlar qarshiligini aniqlash usuli asosida bajarilib, bunda faqat 58- rasmdagi o'rniga elektrolit solingan idish o'rnatiladi. Bunda tushirilgan elektrodning ochiq uchlari simlar vositasida 62- rasmda ko'rsatilgandek Uitston ko'prigining *A* va *B* nuqtalariga ulanadi.



62- rasm.

Elektrodlar qutblanib qolmasligi uchun tajribada o'zgaruvchan tok manbayidan foydalaniladi.

O'lchashlar

1. Hajmiy konsentratsiyasi 5—30% oralig'ida bir-biridan 5% ga farqlanuvchi mis kuporosining suvdagi eritmalari tayyorlanadi va oldindan 1, 2, 3, 4, 5 raqamlari bilan belgilangan idishlarga quyiladi. Har bir eritma qarshiligi alohida topiladi.

2. Elektrod plastinkalarining yuzlari qum qog'oz bilan yaxshilab tozalanadi va ular 62- rasmda ko'rsatilgandek elektroli ichiga to'liq tushib turadigan qilib o'rnatiladi.

3. Vag'langan elektr zanjir to'g'ri ekanligiga ishonch hosil bo'lgach, kalit ulangandan ko'priknining AB tarmog'idan tok o'ta boshlaydi.

4. D qo'zg'atuvchan kontakt $\frac{l_1}{l_2}$ nisbat kattaligi jihatidan birga qo'shib o'rnatiladi va qarshiliklar magazinidan shtepsellarni o'sha bilan galvanometrning ko'rsatishi nolga yaqinlashtiriladi. Galvanometrning strelkasi aniq nolga kelishi uchun D kontakti isboti bu tomonga siljiriladi.

5. R_{q} , $\frac{l_1}{l_2}$ larning tajribadan topilgan qiymatlari (17) formulaga qo'yilib, berilgan konsentratsiyali elektrolitning qarshiligi hisoblab topiladi. Tajriba 3—4 marta takrorlanib, o'rtacha qarshilik, absolut xatoliy va o'rtacha kvadratik xatolik hisoblanadi.

6. Turli konsentratsiyali elektrolitlarning ham o'rtacha qarshiliklari, xatoliklari topilgach, qarshilikning eritma konsentratsiyasiga bog'lanish grafigi $R = f(C)$ chiziladi va olingan natija tuzohlanadi.

Savollar

1. Nima uchun metallar elektr tokini yaxshi o'tkazadi?
2. Qarshilik va solishtirma qarshilik nima? Ular qanday birliklarda ifodalaniladi?
3. Elektr o'tkazuvchanlik va solishtirma elektr o'tkazuvchanlik nima?
4. O'tkazgichlarni parallel va ketma-ket ulashni tushuntirib bering.
5. O'tkazgich qarshiligi ommetr yordamida qanday o'lchanadi?
6. O'tkazgichlarni aralash ulash qanday amalga oshiriladi?
7. Qarshilik ampermetr va volmetr yordamida qanday o'lchanadi?
8. Qarshilik Uitston ko'prigi yordamida qanday o'lchanadi?
9. Qarshilik qo'sh ko'priknin yordamida qanday o'lchanadi?
10. Bu o'lchash usullarining bir-biridan afzalligi nimada?
11. Qarshilikning termik koeffitsienti nima?
12. Elektrolit qarshiligi qanday o'lchanadi.

7- LABORATORIYA ISHI

ELEKTR ISITGICH ASBOBLARINING FOYDALI ISH KOEFFITSIYENTINI ANIQLASH

[№ 2, 42, 44- §§]; [№ 7, 52, 53, 61- §§]; [№ 3, 65, 147- §§]
[№ 1, 34, 70- §§]; [№ 19, 7- ish].

Kerakli asbob va materiallar: 1. Tok manbayi. 2. Elektr isitkich asbob (elektr plitka yoki elektr choynak). 3. Termometr. 4. Voltmetr va ampermetr. 5. Suv solingan idish — kalorimetr. 6. Sekundomer. 7. Kalit va ulash simlari.

Ishning maqsadi — elektr isitgich asboblarining ishlashi bilan tanishish va ularning foydali ish ko'effitsientini aniqlash.

Qisqacha nazariya. O'tkazgichlardan elektr toki o'tganda energiya o'zgarishi yuz beradi, ya'ni elektr energiya o'tkazgich ichki energiyasining o'zgarishiga sarflanadi. Agar bunda o'tkazgich qo'zg'almas bo'lsa yoki tok kuchi ta'sirida kimyoviy reaksiya yuz bermasa, ichki energiya o'zgarishi temperatura o'zgarishiga olib keladi. Elektr maydon ta'siriga uchragan elektron xotik harakatdan yo'nalishli harakatga kelib, metallar kristall panjaralari tugunlaridagi ion, atom yoki molekulaga ta'sir etgan holda ularning muvozanat vaziyat atrofidagi tebranma harakat energiyasini o'rttiradi. Bu o'z navbatida o'tkazgich ichki energiyasining ortishiga olib keladi va bu energiya issiqlik energiyasi sifatida ajraladi. U Joul—Lens qonuniga binoan quyidagicha ifodalanadi:

$$Q = I^2 R t, \quad (1)$$

bunda: Q — Joul birligida ifodalanuvchi issiqlik miqdori, I — tok kuchi, R — qarshilik, t — tok o'tish vaqti. Joul—Lens qonunining quyidagi ko'rinishdagi ifodasi amalda ko'p qo'llaniladi.

$$Q = I U t. \quad (2)$$

Elektr tokining issiqlik ta'siridan texnikada va turmushda juda keng foydalaniladi. Elektr isitgich asboblarining foydali ish ko'effitsiyenti (FIK)ni bilish katta ahamiyatga ega. Agar toza suvli

Kalorimetrga sim spiral tushirilib, tok kuchi (I), kuchlanish (U) va o'tirishning uzoqsiz o'tib turish vaqti (t) aniqlansa, (2) formulaga ko'ra qizib chiqish hisoblash mumkin (63- rasm). Kalorimetr va suvning massasi, kalorimetr yasalgan inoddan ham va suvning solishtirma issiqlik sig'imi, taniladigan temperatura o'zgarishi ΔT ma'lum bo'lsa kalorimetr bo'yicha suvning olgan issiqlik miqdorini mos ravishda quyidagicha hisob olamiz:

$$Q_k = c_k m_k \Delta T, \quad (3)$$

$$Q_s = c_s m_s \Delta T, \quad (4)$$

Bu yerda c_k va c_s — kalorimetr va suvning solishtirma issiqlik sig'imi, m_k va m_s — mos ravishda ularning massalari, ΔT — temperatura o'zgarishi.

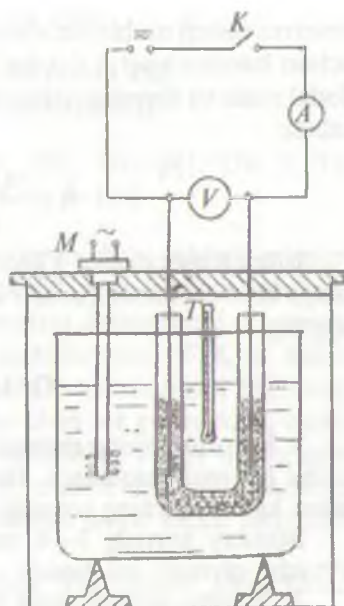
O'tkazgichlarda ajralib chiqayotgan Joule–Lenz issiqligi suvga va kalorimetrga to'liq berilmay, balki atrof-muhitni isitishga ham sarflanadiganligidan, $Q > Q_k + Q_s$ deb yoza olamiz. Kalorimetrning olgan issiqlik miqdori ham foydasiz, shuning uchun isitgich asbobining FIK quyidagicha ifodalanadi:

$$\eta = \frac{Q_s}{Q}. \quad (5)$$

Q ni (2) dagi Q_s ni esa (4) dagi ekvivalent qiymatlari (5) formulaga qo'yilsa, FIK (η) uchun natijaviy munosabat olinadi:

$$\eta = \frac{m_s c_s \Delta T}{I U t}. \quad (6)$$

$Q > Q_k + Q_s$ bo'lganligidan, $\eta < 1$. η ning eng katta qiymati Q_k ning va atrofga behuda sarflanuvchi issiqlik miqdorining minimal qiymatga ega bo'lishi bilan erishiladi. Isitgich va kalo-



63- rasm.

rimetrni tashqi muhitdan absolut tanholash mumkin emas, shuning uchun hamma vaqt $\eta < 1$ bo'lib qolaveradi. Odatda FIK foizlarda ifodalanadi va shuning uchun ham (6) formula quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\eta = \frac{m_s c_s \Delta T}{IU t} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Isitgich asbobining FIKni topishdagi aniqlik (7) formula tarkibiga kiruvchi kattaliklarni o'lchashdagi aniqlik darajalariga bevosita bog'liq.

O'lchashlar

1. Kalorimetrlning massasi aniqlangandan so'ng, unga suv solib uning massasi aniqlanadi. Buning uchun suvli kalorimetr massasidan kalorimetrlning massasi ayiriladi, ya'ni $m_s = m - m_k$.

Bunday tortish 3—4 marta takrorlanib, suv massasining o'rtacha qiymati aniqlanadi.

2. Tajriba uchun zarur bo'lgan elektr sxema bo'yicha kalit ochiq saqlangan holda zanjir 63- rasmda ko'rsatilgandek yig'iladi. Kalitni ulash momentidagi suvning temperaturasi termometrdan yozib olinadi va sekundomer yurgizib yuboriladi.

3. c_s va $m_s = \text{const}$ deb olinganda $\Delta T = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35$ va 40° ga o'zgarishiga mos kelgan vaqt yozib boriladi (tajriba davomida I, U lar o'zgarmas bo'lishi shart).

4. $\Delta T, t, I, U$ larning qiymatlarini bilgan holda $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ lar (7) formuladan hisoblanadi. Millimetrli qog'ozga $\eta = f\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)$ funksiya grafigi chiziladi.

Savollar

1. Elektr isitgich asboblarning ishlash prinsipi qanday?
2. Joule-Lens qonuni nima? U elektron nazariya asosida qanday tushuntiriladi?
3. Jismning olgan foydali issiqligi deganda nima tushuniladi? U qanday hisoblanadi?
4. Foydali ish koeffitsienti nimani bildiradi?

8- LABORATORIYA ISHI

TOK MANBAYINING FOYDALI ISH KOEFFITSIYENTINI ANIQLASH

[№ 2, 111-§]; [№ 7, 60, 178, 185, 186- §§]; [№ 3, 71, 111- §§]; [№ 1, 9, 37, 96- §§]; [№ 19, 8- ish].

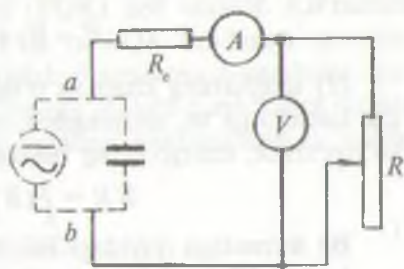
Ishtiroq maqsadi — tok manbayining tuzilishi, ishlash prinsipi va uning foydali ish ko'rsatkichi (FIK)ni aniqlash. O'qishni o'ltaydigan asbob — vattmetrni darajalashni o'rganish.

Tok manbayining foydali ish ko'rsatkichi (FIK)ni bilish ahamiyatga ega. FIK ni aniqlash uchun tok manbayi (element, akkumulyator, o'zgarmas yoki o'zgaruvchan tok generatori), elektr qurilmalarni uzatish simlari (uzatish simlarining elektr qarshiligini hisoblash uchun unga ekvivalent R_e etalon qarshilik zanjirga qo'shilgan) va R qarshiligi iste'molchilardan iborat elektr zanjirdan foydalanamiz (64- rasm).

Foydali ish ko'rsatkichini quyidagi ikki usulda: birinchidan tok manbayining ichki qarshiligini e'tiborga olgan holda elektr zanjiridagi kuch ishtirokida va ikkinchidan, manbaning qisqichlanadigan potentsiallar tushuvini e'tiborga olgan holda Om va Joule-Lenz qonunlariga asoslanib aniqlash mumkin. Iste'molchida sarflanuvchi quvvat kattaligi jihatidan manbaning to'la quvvatidan kichik bo'ladi.

O'zgarmas tok manbayiga ega bo'lgan elektr zanjirdagi quvvatni aniqlashda zanjirning ixtiyoriy qismidagi quvvat shu qismdan o'tuvchi tok kuchi bilan kuchlanish ko'paytmasiga ekvivalent ekanligidan, qo'shimcha maxsus o'lchov asbobi bo'lishiga ehtiyoj bo'lmaydi.

Ammo o'zgaruvchan tok manbayiga ega bo'lgan elektr zanjirda esa induktiv va sig'im qarshiliklarga bog'liq holda namoyon bo'luvchi faza siljishi



64- rasm.

quvvatni aniqlashda maxsus o'lov asbobidan foydalanishni taqozo qiladi. Tok zanjirining to'la quvvatini yoki uning biror qismi quvvatini aniqlashda vattmetr asbobidan foydalaniladi. Buning uchun o'zgaras va o'zgaruvchan tok manbai elektr zaajirlarining har birini alohida-alohida ko'rib o'tish maqsadga muvofiqdir.

1- mashq

Elementlar yoki akkumulatorlar batareyasining FIKni aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. O'zgaras tok manbai. 2. Ampermetr va voltmr. 3 Ikkita reostat (bittasi etalon qarshiliq, ikkinchisi esa iste'molchi sifatida foydalaniladi). 4 Kalit. 5. Ulash simlari.

64- rasmda ko'rsatilgan sxemadagi berk zanjir uchun Om qonuni:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + R_c + r}, \quad (1)$$

bundan

$$\mathcal{E} = I(R + R_c + r) = I(R + R_c) + Ir = U_{ab} + Ir \quad (2)$$

Bunda U_{ab} — tashqi zanjirning a va b qisqichlari orasidagi kuchlanish tushishi, (2) tenglikdan $U_{ab} = \mathcal{E} - Ir$. Agar $IR_c = U_2$ va $IR = U_3$ $Ir = U_1$ deb belgilansa, u holda

$$\mathcal{E} = U_1 + U_2 + U_3.$$

(2) tenglikning chap va o'ng tomonlarini zanjirdan o'tuvchi tok kuchi I ga va, shuningdek, tokning uzluksiz o'tish vaqti t ga ko'paytirsak, energiyaning balans tenglamasiga ega bo'lamiz:

$$\mathcal{E}It = P(R + R_c + r)t. \quad (3)$$

Bu formulaga quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

1. $A = \mathcal{E}t$ — elektr zaryadini berk zanjir bo'ylab ko'chirishda bajarilgan to'la ish; $P = I\mathcal{E}$ — to'la quvvat;

2. $A_1 = I^2 r t$ — manba ichida zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish, $P_1 = I^2 r$ — manba qisqichlaridagi quvvat;

3. $A_2 = P(R + R_c)t$ — zanjirning tashqi qismida bajarilgan ish
 $P_2 = P(R + R_c) = I U_{ab}$ — zanjirning tashqi qismidagi quvvat;

4. $A_3 = P R t$ — foydali ish, $P_3 = P R$ — foydali quvvat.

Bundan ko'rinadiki, elektr zaryadini berk zanjir bo'ylab ko'chirishda bajarilgan to'la ish tok manbayining ichki va tashqi zanjir qismida bajarilishi mumkin bo'lgan ishlarning yig'indisidan iborat ekan, ya'ni:

$$A = A_1 + A_2. \quad (4)$$

Xuddi shuningdek, manbaning to'la quvvati tok kuchi bilan manba EYKning ko'paytmasi yoki zanjirning ichki va tashqi qismlaridagi quvvatlar yig'indisiga teng bo'ladi:

$$P = P_1 + P_2. \quad (5)$$

To'liq zanjirning iste'molchi qismida bajarilgan ish foydali bo'lganligidan, manbaning FIK:

$$\eta = \frac{A_3}{A} = \frac{A_3}{A_1 + A_2} = \frac{R}{R_c + R + r} \quad (6)$$

yoki foydali quvvat koeffitsienti (FQK)

$$\eta = \frac{P_3}{P} = \frac{R}{R_c + R + r} \quad (7)$$

bo'ladi, bunda η — tok manbayining foydali ish koeffitsienti (FIK) yoki *foydali quvvat koeffitsienti* (FQK) deb ataladi. Ko'ramizki, o'zgarmas tok manbayining FIK va FQK bir-biriga ekvivalent ekan. Elektr energiyasini uzatishdagi simlarning qarshiligi, ya'ni etalon qarshilik tok manbayining iste'molchi qarshiligiga nisbatan juda kichik bo'lsa, (6) formula quyidagi soddalashgan ko'rinishga keladi:

$$\eta = \frac{R}{R + r}, \quad (8)$$

bunda η — tok manbayining elektr energiyasini uzatuvchi simlarning qarshiligini e'tiborga olmaganidagi FIKni ifodalaydi.

Ko'pincha tok manbayining emas, balki manba qisqichlaridagi, ya'ni tok manbalaridan (generatorlardan) o'quv laboratoriyalariga simlar vositasida keltirilgan manbaning FIKni aniqlash talab qilinadi. Bunda U_{ab} — laboratoriyadagi manba klemmalaridagi kuchlanish, R_c — ichki qarshilik sifatida ifodalanuvchi etalon qarshilik (o'tkazgich simlar qarshiligini hisobga olmaymiz) va R — iste'molchi qarshiligi deb olinsa, (6) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\eta = \frac{R}{R_c + R}. \quad (9)$$

Bu formula tok manbayining EYK ishtirok etmagan holdagi har qanday tok manbayining FIKni ifodalaydi. Demak, manbaning FIK tashqi qarshilik funksiyasi sifatida o'zgarar ekan. FIKning tashqi qarshilikning son qiymatiga bog'liq holda qanday o'zgarishini aniqroq tasavvur qilish uchun (9) formulani quyidagi ko'rinishda yozamiz :

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{R_c}{R}}. \quad (10)$$

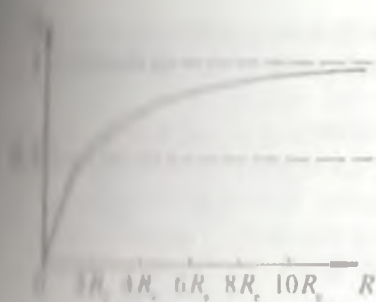
Bunda

1. $R_c \gg R$ bo'lgan holda $\eta \rightarrow 0$. Bu o'z navbatida manba qisqichlari qisqa tutashtirilganda yoki hech qanday tashqi qarshilik bo'lmaganda manbaning FIK nolga teng bo'lishini bildiradi.

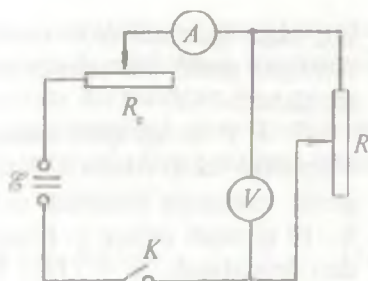
2. $R_c = R$ bo'lgan holda $\eta = 0,5$, ya'ni manbadan iste'molchiga uzatilayotgan to'la elektr energiya yarmigina foydali ishga sarflanadi, xolos.

3. $R_c \ll R$ bo'lgan holda $\eta \rightarrow 1$, tok manbayidan iste'molchiga uzatiluvchi to'la energiya foydali ishga sarflanadi ($\eta \rightarrow 1$ ideal holatdir).

Ko'ramizki, tok manbayining FIK tashqi qarshilikning son qiymatiga bog'liq bo'lib, $0 \leq \eta < 1$ oraliqda o'zgarar ekan. FIKning $\frac{r}{R}$ yoki $\frac{R_c}{R}$ nisbatning funksiyasi sifatida o'zgarish grafigi 65- rasmda keltirilgan bo'lib, uning o'zgarishi asimptotik xarakterga ega. $R_c \leq R$ ($r \leq R$) bo'lganda u to'g'ri chiziqqa yaqinlashadi.



65- rasm.



66- rasm.

Ulan qarshilik ma'lum deb, zanjirga ulangan ampermetr va voltmترلarning ko'rsatishlariga asosan iste'molchining qarshiligi zanjirning shu qismi uchun Om qonunini tatbiq etgan holda hisoblanadi:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (11)$$

O'lchashlar

66- rasmda ko'rsatilgan elektr sxema bo'yicha zanjir yig'iladi. Zanjirning to'g'ri tuzilganligiga ishonch hosil qilingach, kalit ulanib ampermetr va voltmترلarning ko'rsatishlari kuzatiladi. Tajriba ikki bor uchun bajariladi, ya'ni avval $R_e = \text{const}$ deb olinib, tok manbai FIKning R qarshilikka bog'likligi, so'ngra $R = \text{const}$ holda FIKning R_e ga bog'liqligi o'rganiladi.

1. $R_e = \text{const}$ bo'lganda R qarshilik eng kichik qiymatidan beshlab o'zgartiriladi va har bir muayyan R_1, R_2, R_3 qiymatlar uchun ampermetr hamda voltmetrning ko'rsatishlarini yozib olib, zanjirning FIK η_1, η_2, η_3 , topiladi.

2. Tajriba eng kamida R ning bir-biridan farqli 8–10 qiymati uchun bajariladi va $\eta = f\left(\frac{1}{1 + \frac{R_e}{R}}\right)$ funksiya grafigi millimetrl

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T P dt = \frac{1}{T} \int_0^T i u dt = UI \quad \text{yoki} \quad P = IU \cos \varphi \quad (19)$$

bo'ladi.

Ko'rinib turibdiki, o'zgaruvchan tok zanjiridagi o'rtacha quvvat faqat tok kuchi va kuchlanishga bog'liq bo'lib qolmay, balki ular orasidagi fazalar farqi kosinusiga ham bog'liq ekan. (15) tenglamadagi $\cos \varphi$ quvvat koeffitsientini ifodalaydi. $\cos \varphi$ doimo birdan kichik bo'lganligi uchun o'rtacha quvvat doimo tok kuchi bilan kuchlanish kattaliklarining ko'paymasidan kichik bo'ladi.

$\varphi = 0$ da $\cos \varphi = 1$ bo'lib, o'rtacha quvvat eng katta qiymatga ega, ya'ni $P = IU$ ga teng. Agar $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$ bo'lsa, $\cos \varphi = 0$ va o'rtacha quvvat nolga teng bo'ladi.

Amalda fizik hodisalarni o'rganishda aktiv qarshilik (R), induktivlik (L) va sig'im (C) ishtirok etgan o'zgaruvchan tok zanjirlari ko'plab uchraydi. O'zgaruvchan tok zanjiridagi qarshilik o'zgarmas tok zanjiridagi qarshilik qiymatidan farq qiladi. Ammo o'zgaruvchan tok zanjiridagi induktivlik va sig'implarning reaktiv qarshiliklari (chunki tok o'tganda Joule—Lenz issiqligi ajralmaydi), uning aktiv (iste'molchi va o'tkazgich) qarshiligidan juda kichik bo'lganda bu zanjirning FIK o'zgarmas tok zanjiri uchun o'rinli bo'lgan (7) formula yordamida hisoblanadi.

O'lchashlar

R_c etalon qarshilikning ma'lum qiymati uchun 67-rasmda ko'rsatilgan sxema bo'yicha elektr zanjir yig'iladi. Zanjirning to'g'ri tuzilganligini tekshirib ko'rilgach, o'lchash ishlari bajariladi. FIK avval $R_c = \text{const}$, so'ngra $R = \text{const}$ bo'lgan hol uchun aniqlanib, tajriba 1- mashqning 1-4-bandlaridagi ko'rsatmalarga rioya qilingan holda bajariladi.

3- mashq

Ampermetr va voltmetr yordamida vattmetr shkalasini darajalash

Asbabi asbob va materiallar. 1. Tok manbayi. 2. Vattmetr. 3. Ampermetr. 4. Voltmetr. 5. Lampali yoki boshqa turdagi reostat (o'ta'irilishi sifatida foydalanish uchun). 6. Kalit va ulash simlari.

Mazkur ishning nazariy qismida ko'rsatilganiga asosan o'zgarmas tok zanjiridagi quvvatni quyidagi formula orqali hisoblash mumkin:

$$P = IU. \quad (16)$$

Niddi shu o'zgarmas tok zanjiridagi quvvatni tajribada vattmetr yordamida ham aniqlash mumkin. Quvvatni vattmetrda o'lchash qulayroq, chunki bu asbob shkalalari bevosita quvvat kattaligida darajalangan bo'ladi. Amalda tok manbayining davriy yoki davriy o'tmishiga qarab quvvatni o'lchashda turli sistemalarda ishlovchi vattmetrlar bilan ish ko'rishga to'g'ri keladi. Bu borada elektrodinamik sistemadagi vattmetrlardan foydalanish birmuncha qulayliklarga ega. Chunki elektrodinamik vattmetrlarning ish rejimi o'zgarmas va o'zgaruvchan tok zanjirlari uchun moslangan.

Vattmetrning qo'zg'aluvchan g'altigidagi o'ramlarda namoyon bo'luvchi induktiv qarshilik e'tiborga olinmaganda, undagi tok o'ram va qo'z'himcha qarshilik uchlaridagi kuchlanishga proporsional bo'ladi. Shu sababli qo'zg'aluvchan va qo'zg'almas g'altak o'ramlaridan o'tuvchi tok kuchlarining bir-biriga nisbatan faza ajishi kuchlanish hamda tok kuchi orasidagi faza siljishiga teng deb olinadi. Bu vaqtda strelkaning burilish burchagi P aktiv quvvatga proporsional ravishda o'zgaradi:

$$\alpha = k'_0 I_a I_b \cos \varphi = k'_0 I_a \frac{U}{R_b} \cos \varphi = k_1 P \quad (17)$$

hamda $k_1 = k'_0 \frac{\cos \varphi}{R_b}$ — proporsionallik koeffitsiyenti, $P = IU$ — aktiv quvvat.

o'zgaruvchan tok manbayidan foydalanilgan bo'lsa, k ning qiymati (17) formuladagi k_1 ga teng bo'lib, u har bir shkala chizig'iga mos keluvchi quvvatni ifodalaydi.

8. k_1 ning tajribadan topilgan o'rtacha qiymatidan foydalanib (17) formuladagi quvvatning $0 \leq P \leq I_n U_n$ oraliqda ixtiyoriy son qiymatlari uchun $\alpha = f(P)$ funksiya grafigi chiziladi.

Savollar

1. Tok manbayining foydali ish koeffitsiyenti nima? U qanday kattaliklarga bog'liq?
2. O'zgaruvchan tok manbayining FIK qanday aniqlanadi?
3. O'zgaruvchan tok manbayining FIK qanday aniqlanadi?
4. Foydali quvvat koeffitsiyenti nima?
5. Vattmetr ampermetr va voltmeter yordamida qanday aniqlanadi?

9- LABORATORIYA ISHI

YARIMO'TKAZGICHLARNING ELEKTR O'TKAZUVCHANLIGINI O'RGANISH

[№ 2, 100- §]; [№ 7, 158-161- §§]; [№ 3, 151-154- §§];
[№ 1, 71-72- §§]; [№ 19, 9- ish].

Ishning maqsadi — yarimo'tkazgichlarning tuzilishi, ularning elektr o'tkazuvchanligi va bu xususiyatning qanday fizik kattaliklarga bog'liqligini o'rganish.

Yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi musbat zaryadli teshiklar bilan elektronlarning tashqi elektr maydon ta'sirida ko'chishiga asoslangan. Elektron bo'sh o'rinlardan birini egallasa, boshqa joyda qayta bo'sh o'rin (teshik) hosil bo'ladi. Demak, tashqi maydon elektronlar hamda teshiklarning ko'chishini uzluksiz ta'minlab turadi. Yarimo'tkazgichlardagi erkin elektronlar soni metall o'tkazgichlardagiga nisbatan sezilarli darajada (taxminan $10^{12} \div 10^{13}$ marta) kam bo'lganligidan, ularning elektr o'tkazuvchanligi kichik, solishtirma qarshiligi juda katta bo'ladi.

Yarimo'tkazgichlarning elektr xossasini o'rganishda ularning solishtirma qarshiligi elektr o'tkazuvchanlik yoki solishtirma qarshiligining temperaturaga bog'liq holda o'zgarishini tajribada aniqlash muhim o'rin tutadi. Yarimo'tkazgich, agar ular bir jinsli, ya'ni faqat elektronli yoki faqat teshikli xususiy o'tkazuvchanlikka ega bo'lsa, ularning solishtirma o'tkazuvchanligi mos ravishda quyidagicha ifodalanadi:

$$\sigma_n = eu_n n_n, \quad (1)$$

$$\sigma_p = eu_p n_p, \quad (1a)$$

bunda e — elektron yoki teshikning zaryadi; n_n, n_p — mos ravishda elektronlarning va teshiklarning birlik hajmdagi soni (konsentratsiyasi), u_n — elektronning harakatchanligi; u_p — teshikning harakatchanligi.

Xususiy elektr o'tkazuvchanlik xossasiga ega bo'lgan yarimo'tkazgichlar uchun erkin elektronlar bilan teshiklar konsentratsiyasi o'zaro teng deb olingan.

$$\sigma_n = Ae^{-\frac{\Delta W_0}{2kT}} = A \exp \left\{ -\frac{\Delta W_0}{2kT} \right\} \quad (2)$$

bo'ladi, bunda A — yarimo'tkazgichning tabiatiga bog'liq bo'lgan doimiylik; ΔW_0 — taqiqlangan zonaning energetik kengligi (elektronni yoki teshikni aktivlashtirish uchun zarur bo'lgan energiya, odatda, uni aktivlashtirish energiyasi deb ataladi); k — Boismann doimiysi, T — termodinamik temperatura. Demak, (2)dan ko'rinadiki, yarimo'tkazgichlarning xususiy elektr o'tkazuvchanligi taqiqlangan zonaning energetik kengligi va berilgan temperaturada zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini aktivlashtiruvchi energiyaga bog'liq.

Yarimo'tkazgichlar elektr o'tkazuvchanligining temperaturaga bog'liq holda o'zgarishi zaryad tashuvchining konsentratsiyasi orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$\sigma_x = \alpha_x \exp \left\{ -\frac{\Delta W_0}{2kT} \right\}, \quad (3)$$

bunda α_x — yarimo'tkazgich uchun xarakterli bo'lgan koeffitsient. Yarim o'tkazgich tarkibida aralashma bo'lsa, xususiy elektr o'tkazuvchanlikka yana aralashmali o'tkazuvchanlik σ_a ham qo'shiladi:

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_a = \alpha_x \exp\left\{-\frac{\Delta W_0}{2kT}\right\} + \alpha_a \exp\left\{-\frac{\Delta W_1}{2kT}\right\}. \quad (4)$$

Bu formuladagi ΔW_1 — aralashmaning ionlashish energiyasi. Tajribalardan ma'lum bo'lishicha, ionlashish energiyasi (ΔW_1) aktivlashtirish energiyasi (ΔW_0)dan bir necha marta katta bo'lganida (4) tenglik quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\sigma = \sigma_a = \alpha_a \exp\left\{-\frac{\Delta W}{2kT}\right\}. \quad (4a)$$

Yarimo'tkazgichlarning xususiy yoki aralashmali solishtirma elektr o'tkazuvchanligini keng temperatura oralig'ida o'lchab, uning temperaturaga bog'liqlik grafigining to'g'ri chiziqli qismdan foydalangan holda aktivlashtirish hamda ionlashtirish energiyasini topish mumkin. Bu energiyaning son qiymatini topishda (4a) tenglikni logarifmlab,

$$2k \ln \frac{\sigma}{\alpha} \sim \frac{1}{T}$$

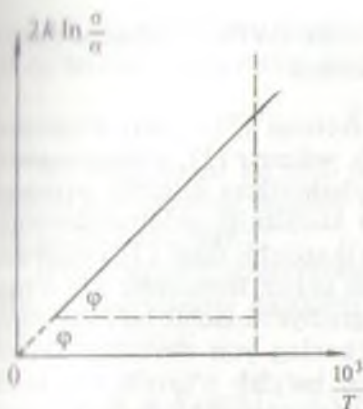
grafikdan foydalanish qulaydir. Odatda $\frac{1}{T}$ nisbat birdan juda kichik bo'lganligidan, uni ko'pincha $\frac{10^3}{T}$ nisbat ko'rinishida olinadi (69- rasm):

$$\Delta W = \frac{2k \ln \frac{\sigma}{\alpha}}{\frac{1}{T}}. \quad (5)$$

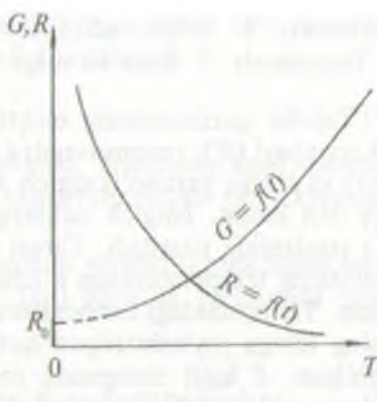
Bu energiya quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$\Delta W = 2,3 \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \ln \sigma, \quad (5a)$$

bunda T_1 , T_2 — boshlang'ich va tajriba oxirida solishtirma elektr o'tkazuvchanlik (σ) o'lchangan temperaturalar.



69- rasm.



70- rasm.

Elektr o'tkazuvchanligi $G = G_0 e^{-\frac{\Delta W}{2kT}}$ bo'lgan yarim o'tkazgichning qarshiligi teshikli va elektronli o'tkazuvchanliklar va ularning qarshiliklari orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$R = \frac{1}{G_n} + \frac{1}{G_p} = \frac{G_n + G_p}{G_n \cdot G_p}, \quad (6)$$

$$R = R_n + R_p = (R_{on} + R_{op}) \cdot e^{\frac{\Delta W}{2kT}}. \quad (6a)$$

Bu formulalardagi G_n va G_p temperatura $T=273$ K bo'lgandagi mos ravishda elektronli va teshikli elektr o'tkazuvchanlik.

Yuqoridagi formulalardan ko'rinadiki, temperatura ortishi bilan yarimo'tkazgichlarning qarshiligi eksponensial kamayib, elektr o'tkazuvchanligi eksponensial ortar ekan, bu 70- rasmda grafik ravishda keltirilgan.

1- mashq

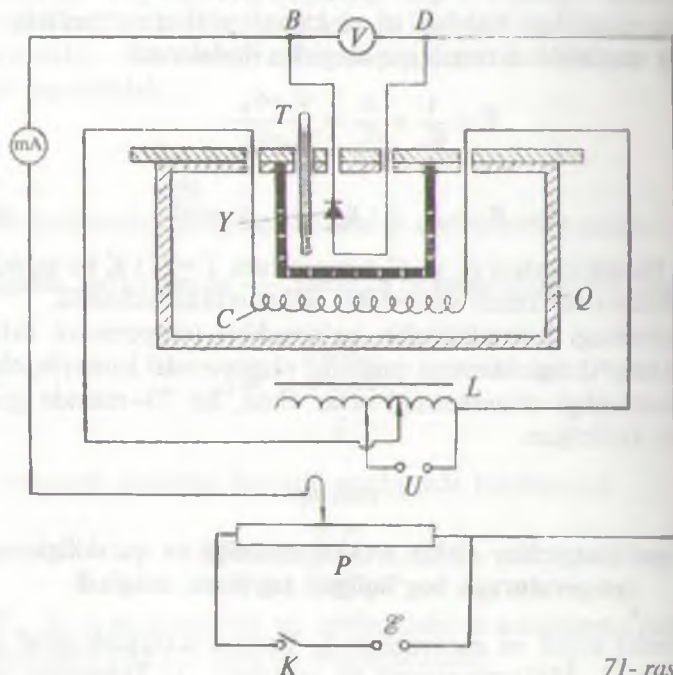
Yarimo'tkazgichlar elektr o'tkazuvchanligi va qarshiligining temperaturaga bog'liqligini tajribada aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Yarimo'tkazgichli diod yoki termistor. 2. Milliampmetr va voltmetr. 3. Termostat yoki

kalorimetr. 4. Avtotransformator yoki LATR. 5. Potensiometr. 6. Termometr. 7. Kalit va ulash simlari.

Tajriba qurilmasining elektr sxemasi (71- rasn) o'zgaruvchan tok manbai ($\mathcal{E}$), potensiometr (P), voltmetr (V), milliampermetr (mA) va ichiga yarimo'tkazgich joylashtirilgan isitgichli termometr (Q) dan iborat. Isitgich uchlariga kuchlanish avtotransformatori (L) yordamida uzatiladi. Yarim o'tkazgichli diod (Y) joylashtirilgan muhitning temperaturasi o'lchash uchun termometr (T) o'rnatilgan. Termostatdagi temperatura gradiyenti kichik bo'lishi uchun muhitning ichiga joylashtirilgan qutichaning yon devorlari massalari teng tashilgan. K kalit ulanganda zanjir bo'ylab o'tuvchi tok kuchlanish elektron o'tkazuvchanlik va teshik o'tkazuvchanlik vujudga keltirgan toklar (I_n va I_p) ning yig'indisiga teng bo'ladi:

$$I = I_n + I_p \quad (1)$$



71- rasn.

800 diapichlardagi kuchlanishni bilgan holda Om qonuniga qarshi yarimo'tkazgichning qarshiligi aniqlanadi.

$$R = \frac{U}{I}. \quad (8)$$

Bu formuladan ko'rinib turibdiki, aniqlanayotgan qarshilik yarimo'tkazgichning qanday o'tkazuvchanlikka ega ekanligiga bog'liq bo'lmay ekan.

Ikkinchi istiyoriy temperatura uchun yarimo'tkazgichning laboratoriya sharoitidagi qarshiligini (6a) formula yordamida quyidagicha yozamiz:

$$R_1 = R_0 \exp\left\{\frac{\Delta W_1}{2kT_1}\right\} \quad \text{va} \quad R_2 = R_0 \exp\left\{\frac{\Delta W_2}{2kT_2}\right\}. \quad (9)$$

Bu tengliklardan $\frac{R_2}{R_1}$ ni aniqlaymiz:

$$\frac{R_2}{R_1} = \exp\left\{\frac{\Delta W_2 - \Delta W_1}{2k(T_2 - T_1)}\right\}. \quad (10)$$

Agar biz tajribadan R_1 , R_2 , va $T_2 - T_1 = \Delta T$ ni aniqlasak, (10) tenglikni logarifmlab, $\Delta W_2 - \Delta W_1$ ayirmaning hisoblashimiz mumkin.

$$\Delta A = \Delta W_2 - \Delta W_1 = 2k\Delta T \ln \frac{R_2}{R_1}, \quad (11)$$

bu yerda ΔA — yarimo'tkazgichning temperaturasi ΔT ga o'zgarishida elektronning aktivlashtirish ishi.

O'lchashlar

1. 71-rasmda ko'rsatilgan sxema bo'yicha elektr zanjir yig'ildi. Elektr zanjirning to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilingach, kiritiladi.

2. Laboratoriya xonasining temperaturasi aniqlanib, milli-ampmetr va voltmerning ko'rsatishlardan foydalangan holda yarimo'tkazgichlarning shu temperaturadagi qarshiligi R_1 (8) formuladan hisoblanadi.

3. Tajribadan topilgan qarshilik qiymatidan foydalanib, berilgan yarimo'tkazgichning shu temperaturadagi elektr o'tkazuvchanligi (G_1) aniqlanadi. Tajriba 3–4 marta takrorlanib, G_2 hamda R_1 larning qiymatlari, asolut, nisbiy va o'rtacha kvadratik xatoliklar hisoblanadi.

4. Isitgich avtotransformator (LATR) yordamida tok manbayiga ulanadi va temperaturasi har 10° ga o'zgarganda ularga mos qarshiliklar qiymatlari (8) formuladan hisoblanib, har bir ΔT ga mos kelgan elektr o'tkazuvchanlik topiladi.

5. Elektr o'tkazuvchanlik va qarshilikning temperaturaga bog'liqlik grafigi chizilib, 69- rasmdagi grafik bilan taqqoslanadi.

6. Tajribadan topilgan har bir ΔT da o'lchangan qarshiliklarning o'rtacha qiymatidan foydalanib, (11) formulaga asosan ΔA hisob-

lanadi va $\Delta A = f\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$ funksiya grafigi chiziladi.

2- mashq

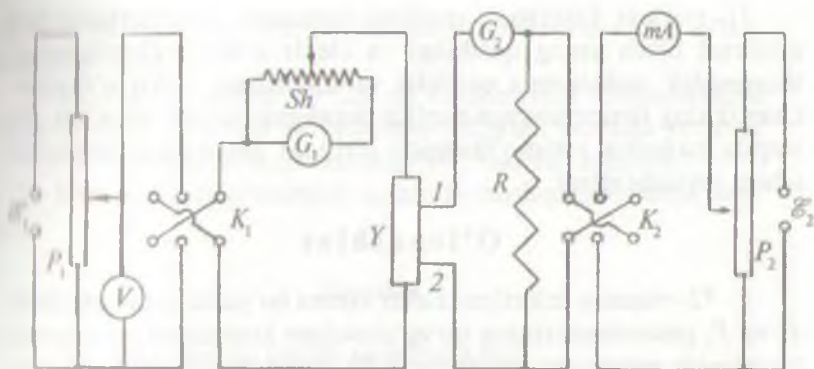
Yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligini kompensatsion usulda aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Yarimo'tkazgich. 2. Tok manbayi. 3. Ikkita potensiometr. 4. Shuntli galvanometr. 5. Milli-ampermetr. 6. Voltmetr. 7. Etalon qarshilik. 8. Kalit va ulash simlari.

Yarimo'tkazgichning solishtirma elektr o'tkazuvchanligini aniqlashda qo'llanishi mumkin bo'lgan qurilmalardan birining elektr sxemasi 72- rasmda keltirilgan.

Tajriba qurilmasidagi $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$ – tok manbalari, P_1, P_2 – potensiometr, K_1, K_2 – ikki yoqlama kalitlar, G_1, G_2 – galvanometrlar (tok kattaroq qiymatda bo'lsa, ularni mikro yoki milliampermetrlarga almashtirish mumkin), mA – milliampermetr, R – etalon qarshilik, Sh – shunt, Y – yarimo'tkazgich (namuna).

Zanjirdagi K_1 va K_2 kalitlar ulanganda namuna qarshilikka parallel ulangan R qarshilikdan qarama-qarshi yo'nalishda oqib



72- rasm.

o'tuvchi toklar teng bo'lganida G_2 galvanometrning ko'rsatishi nol bo'ladi. Bu vaqtda namunaning 1 va 2 nuqtalari orasidagi potentsiallar farqi etalon qarshilik uchlaridagi potentsial tushuvga teng bo'ladi.

Etalon qarshilikning qiymatini bilgan holda milliampermetr ko'rsatishidan foydalanib, etalon qarshilik uchlaridagi potentsial tushuvi Om qonuniga ko'ra aniqlanadi:

$$U = IR. \quad (12)$$

G_1 galvanometr ko'rsatishidan hamda (12) formuladan foydalanib, yarimo'tkazgich qarshiligini quyidagi formula asosida aniqlash mumkin:

$$R_y = \frac{U}{I_y} = \frac{IR}{I_y}, \quad (13)$$

bunda R_y — yarimo'tkazgichning qarshiligi, I_y — G_1 galvanometrning ko'rsatishi (yarimo'tkazgichdan o'tuvchi tok kuchi). Yarimo'tkazgichning qarshiligini aniqlagach, uning o'lchamlarini bilgan holda (namuna yarimo'tkazgich aniq shaklda tayyorlangan bo'lishi maqsadga muvofiqdir) solishtirma qarshilik, so'ngra solishtirma elektr o'tkazuvchanlik hisoblanadi:

$$\rho = \frac{RS}{l} \quad \text{va} \quad \sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{RS}. \quad (14)$$

71- rasmda keltirilgan qurilma vositasida yarimo'tkazgichni qizdirish bilan uning qarshiligi va elektr o'tkazuvchanligining, shuningdek, solishtirma qarshilik va solishtirma elektr o'tkazuvchanlikning temperaturaga bog'liq ekanligini ko'rish mumkin. Bu vaqtda namuna yarimo'tkazgich birinchi mashqdagi termostat ichiga joylashtiriladi.

O'lchashlar

1. 72--rasmda keltirilgan elektr sxema bo'yicha zanjir yig'iladi. P_1 va P_2 potensiometrning qo'zg'aluvchan kontaktlari uzatiluvchi kuchlanish minimum, shunt qarshilik maksimum holatda olinadi.

2. Yig'ilgan zanjir to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilingach, avval K_1 , so'ngra K_2 kalit ulanadi.

3. V voltmetr hamda G_1 va G_2 galvanometrlarning ko'rsatishi juda kichik bo'lsa, P_1 va P_2 potensiometrning qo'zg'aluvchan kontaktlarini qarshilik kamayadigan tomonga suriladi. G_1 galvanometr ko'rsatishini boshqarish, shuningdek, shunt qarshilikni o'zgartirish bilan bajarilish mumkin va bundan keyin shunt qarshilikni o'zgartirmay saqlagan holda o'lchash ishlarini bajarishga o'tiladi.

4. G_2 galvanometrning ko'rsatishi nol bo'lishiga P_2 potensiometrning qo'zg'aluvchan kontaktini u yoki bu tomonga siljitish bilan erishiladi va shu vaqtda voltmetr, G_1 galvanometr hamda milliampermetrning ko'rsatishlari yozib olinadi. Bu birinchi o'lchash bo'lganligi uchun ularni mos ravishda U_1 , I_1 , I deb belgilanadi. So'ngra K_1 va K_2 kalitlarning vaziyatlari o'zgartirilib, yana P_2 potensiometr yordamida G_2 galvanometrning ko'rsatishi nol bo'lishiga erishiladi va bu vaqtda voltmetr, G_1 galvanometr, milliampermetrning ko'rsatishlari U'_1 , I'_1 , U'_y deb belgilanadi.

5. I_y va I_1 hamda I'_y va I'_1 larni bilgan holda I_1 ning hamda I_y ning o'rtacha qiymatlari, absolut, nisbiy va o'rtacha kvadratik xatoliklar hisoblab topiladi.

6. Tajriba voltmetrning ko'rsatishi U_2 , U_3 , U_4 va U_5 bo'lgan barcha hollar uchun ham bajarilib, har bir o'lchash uchun kalitlarni ikki vaziyatda ulab, I_y va I_1 larning har bir kuchlanishga mos

belgan o'rtacha qiymatlari, solishtirma qarshilik va elektr o'tkazuvchanlik topiladi.

7. Tajriba bir-biridan 20–25° ga farqlanuvchi temperaturalar uchun bajarilib, o'lchash va hisoblash natijalari jadvalga yoziladi.

8. (5) yoki (5a) formula asosida ΔW hisoblab topiladi.

9. Berilgan yarimo'tkazgich uchun 1- mashqdagi 6- band bajariladi.

Savollar

1. Yarimo'tkazgichlar qanday xususiyatga ega?
2. Yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligini necha turga ajratish mumkin?
3. Kirishma elektr o'tkazuvchanlik nima?
4. Xusuiy elektr o'tkazuvchanlik nima?
5. Yarimo'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligi kompensatsion usulda qanday o'lchanadi?
6. Metall va yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi orasida qanday farq bor?

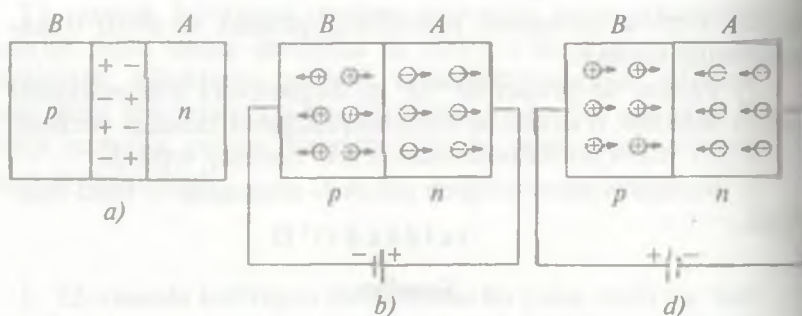
10- LABORATORIYA ISHI

YARIMO'TKAZGICHLI DIOD VA TRIOD (TRANZISTOR)NING VOLTAMPER XARAKTERISTIKASINI OLISH

[№ 2, 108- §]; [№ 7, 166–168- §§]; [№ 3, 203–206- §§];
[№ 1, 78- §]; [№ 19, 10- ish].

Ishning maqsadi — yarimo'tkazgichlardagi kontakt hodisasi va ularning texnikada qo'llanishini, diod va tranzistorning voltamper xarakteristikasini o'rganish.

O'tkazgichlar sinfiga kiruvchi yarimo'tkazgichlarning fan va texnikadagi tatbiqi tabora kengayib bormoqda. Yarimo'tkazgichlarning xossasini o'rganish zamonaviy yangi-yangi asboblarni tayyorlash imkonini yaratmoqda.



73- rasm.

Yarimo'tkazgichli asboblarda avtomatikada, elektrotexnikada, radiotexnikada, telemexanikada va shu kabi boshqa fan sohalarida keng qo'llanilmoqda. Mazkur ishda yarimo'tkazgichli diod va triodlarning ishlash jarayoni, ularni xarakterlovchi asosiy xarakteristik parametrlar va voltamper xarakteristika egri chizig'ini tajribada aniqlash bilan chegaralanamiz.

n - va p -o'tkazuvchanlik xossalariga ega bo'lgan yarim o'tkazgichlarni kontaklashtirgandan keyin tok manbayiga ulashda yuz beruvchi hodisalarni ko'rib chiqaylik. Elektron va teshik o'tkazuvchanlik xossalariga ega bo'lgan yarimo'tkazgichlar kontaktlashganda bir-biriga tegib turuvchi qismida teshik hamda elektronlardan iborat yupqa qatlam hosil bo'ladi (73-a rasm).

Qatlam hosil bo'lgach, elektron va teshiklarning diffuziyanishi to'xtaydi va bu hosil bo'lgan qatlam $n-p$ yoki $p-n$ o'tisi deyiladi. Endi hosil bo'lgan qatlamning A tomoniga manbaning musbat qutbini va B tomoniga manbaning manfiy qutbini ulaylik. A tomon elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lib, ular manfiy zaryadli ekanligidan va shuningdek, B tomon teshik o'tkazuvchanlikka ega bo'lib, ular musbat zaryadli ekanligidan, A va B tomonlardan zaryad tashuvchilar qarama-qarshi tomonga harakatlanadi. Natijada $p-n$ qatlam, ya'ni to'siqning qarshiligi juda katta bo'lib, undan o'tuvchi tok juda kichik bo'lgani sababli, uni ko'pincha e'tiborga olinmaydi (73-b rasm).

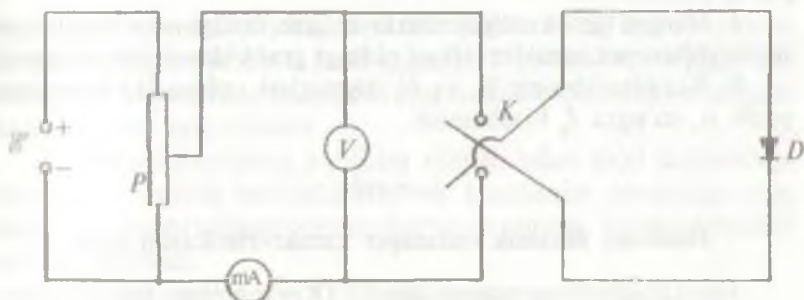
Agar tok manbai qutblarning o'rinlari almashtirilsa, u vaqtda A , B tomonlardagi zaryad tashuvchilar bir-birlari tomon harakatlanib, to'siq elektr o'tkazuvchanlik namoyon bo'ladi (73-d rasm).

Diod orqali o'tuvchi tok kuchi va kuchlanish orasidagi bog'lanish Ohm qonuniga bo'ysunmay, balki o'ziga xos egri chiziqni ifodalaydi. Diod uchun xarakterli bo'lgan bu bog'lanish *diodning voltamper xarakteristikasi* deb ataladi. Bu xarakteristika egri chiziq bir tomondan o'tkazgich materialiga, ikkinchi tomondan u qanday temperaturada olinganligiga bog'liq bo'lib, o'tayotgan tok kuchi quyidagi ko'rinishda ifodalanadi.

$$I = I_0 e^{\alpha U}, \quad (15)$$

I_0 — to'yinish toki. Bu tenglamaning ikkala tomonini logarifmlab, albatta o'qi bo'yicha U ning, ordinata o'qi bo'yicha $\ln I$ ning qiymatlari qo'yilganda to'g'ri chiziq grafigi hosil bo'ladi. Bunda $\ln I$ ning U ga bo'lgan nisbati berilgan diod uchun o'zgarmas kattalik bo'lib, α ning son qiymatini ifodalaydi.

Diodning voltamper xarakteristikasini olish uchun mo'ljallangan qurilmaning sxemasi 74-rasmda keltirilgan. Diodning voltamper xarakteristikasi uning qanday olinishiga qarab statik, dinamik va klassifikasion xarakteristik egri chiziqlarga bo'linadi. Agar xarakteristika o'zgarmas tok manbayidan foydalangan holda $I = f(U)$ bog'lanish grafigidan olinsa, *statik xarakteristika* deb, o'zgaruvchan tok manbayidan foydalangan holda tok va kuchlanish orasidagi bog'lanish grafigi olinsa *dinamik xarakteristika* deb ataladi. Diodning statik xarakteristikasini olish uchun 74-rasmda keltirilgan sxemadan foydalanamiz.



74- rasmi.

1- mashq

Yarimo'tkazgichli diodning statik voltamper xarakteristikasini olish

Kerakli asbob va materiallar: 1. O'zgarmas tok manbai. 2. Potensiometr. 3. Yarimo'tkazgichli diod. 4. To'g'ri va teskari tokni o'lchash uchun milli yoki mikroampermetr. 5. Voltmetr. 6. Ikki yoqlama kalit va ulash simlari.

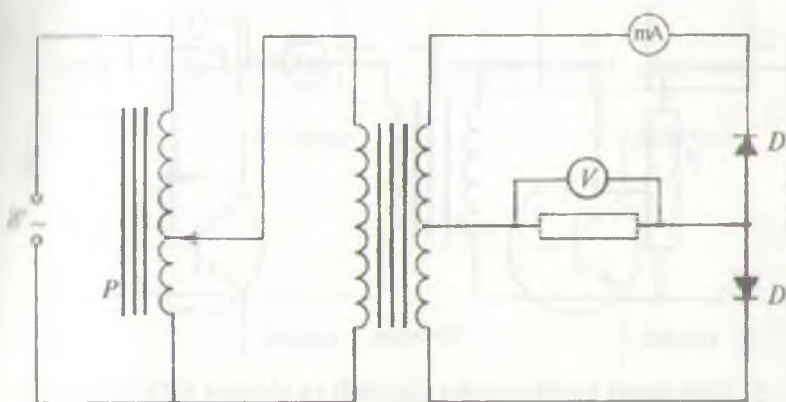
O'lchashlar

1. 74- rasmda ko'rsatilagan sxema yig'iladi va tekshirib ko'riladi.
2. Diodning uchlariga beriladigan kuchlanish P potensiometr vositasida minimum bo'ladigan qilib o'zgartirilgach, kalit dioddan to'g'ri tok o'tadigan holatga ulanadi.
3. Potensiometr yordamida diod uchlariga beriladigan kuchlanish orttiriladi va har bir kuchlanish qiymatiga mos tok kuchi yozib boriladi. Tajriba natijalari jadvallarga yoziladi.
4. Jadvaldagi tajriba natijalaridan foydalanib, berilgan diod uchun statik voltamper xarakteristika olinadi.
5. To'g'ri statik voltamper xarakteristika olib bo'lingach, potensiometr yordamida kuchlanish qayta minimum qiymatiga ega bo'lguncha kamaytiriladi, so'ng kalit teskari tok o'tadigan tomonga ulanadi.
6. 3- bandedagi vazifa bu holat uchun ham to'liq bajarilib, jadval tuziladi.
7. Olingan tajriba natijalaridan foydalanib, berilgan diodning teskari statik voltamper xarakteristikasi oldingi grafik davomida chiziladi.
8. Kuchlanishning U_1 va U_2 qiymatlari uchun (1) formulani yozib α , so'ngra I_0 hisoblanadi.

2- mashq

Diodning dinamik voltamper xarakteristikasini olish

Kerakli asbob va materiallar: 1. O'zgaruvchan tok manbai. 2. O'zgaruvchan tok milliampermetri va voltmetri. 3. Diod. 4. Avtotransformator yoki reostat. 5. Kalit va ulash simlari.



75- rasm.

Diodning asosiy va eng muhim xarakteristikasi uning dinamik xarakteristikasidir. Dinamik voltamper xarakteristikani olishda qo'llanuvchi qurilmalardan birining elektr sxemasi 75- rasmda ko'rsatilgan.

Bu eng sodda sxema bo'lib, $\mathcal{E}$ tok manbai, P avtotransformator, mA milliampermetr, V voltmeter va D dioddan tashkil topgan. Diod uchlariga beriladigan kuchlanish kattaligi avtotransformator yordamida o'zgartiriladi.

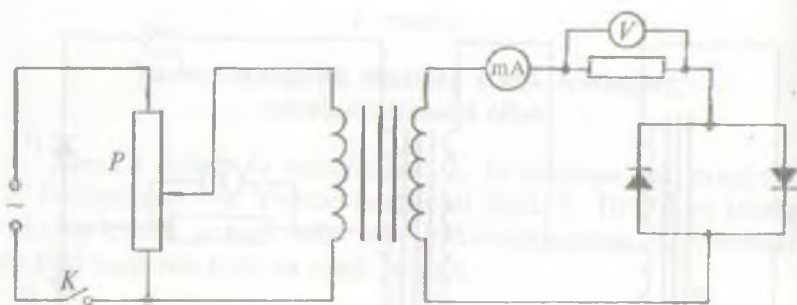
O'lchashlar

1. 75- rasmda ko'rsatilgan sxema yig'iladi. Yig'ilgan sxemani to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilgach, P potensiometr jilgichini avtotransformatorning chiqishida eng kichik kuchlanish bo'ladigan holga qo'yib, kalit ulanadi.

2. Potensiometrning jilgichini siljitish bilan diod uchlaridagi kuchlanish o'rttirib boriladi. Har bir kuchlanish qiymatiga mos kelgan tok kuchi milliampermetrdan yozib olinadi. Tajriba natijalari jadvalga yoziladi.

3. Jadval asosida $I = f(U)$ funksiya grafigi chiziladi.

4. 76- rasmda keltirilgan sxemani yig'ib, yuqoridagi bandlarda keltirilgan o'lchashlar takrorlanadi.



76- rasm.

5. Voltamper xarakteristika chiziladi va olingan xarakteristkalar taqqoslanadi.

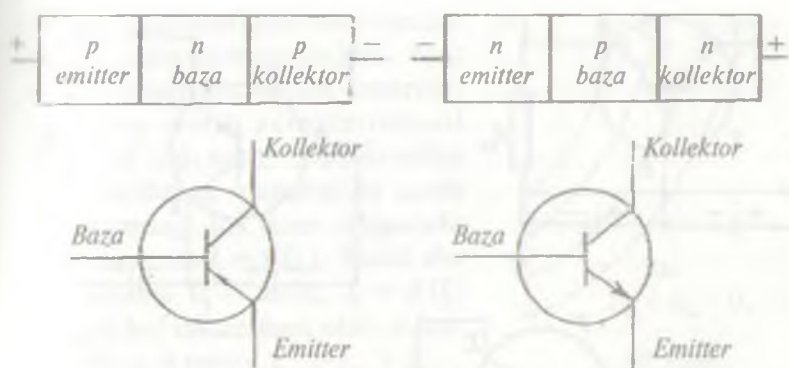
3- mashq

Triod-tranzistorning voltamper xarakteristikasini olish

Kerakli asbob va materiallar: 1. O'zgarmas tok manbai. 2. O'zgarmas tokka mo'ljallangan milliampermetr va voltampermetr. 3. Triod. 4. Reostatlar. 5. Kalit va ulash simlari.

Uch elektrodli elektron lampa vazifasini bajarish imkoniga ega bo'lgan $p-n-p$ yoki $n-p-n$ tip yarimo'tkazgichlar sistemasidan tashkil topgan asbob *kristall triodlar* yoki *tranzistorlar* deb ataladi. Triodlarda qatlamlarning yoki kontaktlarning ikki tomonida hamma vaqt bir xil yarimo'tkazgich bo'lib, ular orasidagi qatlam boshqa turdagi yarimo'tkazgichdan iborat bo'ladi. Odatda, o'rtadagi qatlam *baza*, chekkadagi qatlamlardan biri *emitter*, ikkinchisi esa *kollektor* deb ataladi. 77- rasmda $p-n-p$ va $n-p-n$ tranzistorlar hamda ularning sxemada ifodalanishi ko'rsatilgan. Elektron lampadagi to'r o'rniga baza, katod o'rniga kollektor mos keladi.

Tranzistordagi baza $p-n-p$ va $n-p-n$ qatlamlardan o'tayotgan toklarni boshqarib turadi. Odatda, tranzistor $p-n$ yoki $n-p$ diodlarni o'zaro qarama-qarshi ulash asosida tayyorlanadi. Kirish diodiga to'g'ri kuchlanish, chiqish diodiga esa to'g'ri kuchlanishga nisbatan bir necha marta katta bo'lgan teskari kuch-



77- rasm.

lanish beriladi. Bunda to'g'ri kuchlanish juda kichik bo'lsa ham, emitterdan bazaga kiritiladigan zaryad tashuvchilarning ko'pgina qismi diffuziya tufayli kollektorga o'tadi, qolgan qismi esa bazadagi zaryad tashuvchilar bilan qo'shilib neytrallanadi. Kollektorga o'tib olgan zaryad tashuvchilar uning o'tkazuvchanligi va kuchli elektr maydoni ta'sirida kollektor zanjiridagi tok qiymatini ancha oshiradi. Shu sababli kollektordagi tok emitter tokiga proporsional ravishda o'zgarib, qiymat jihatidan taxminan unga teng bo'ladi.

Tranzistorning asosiy parametrlaridan biri tok bo'yicha kuchaytirish koefitsienti bo'lib, u quyidagicha ifodalanadi:

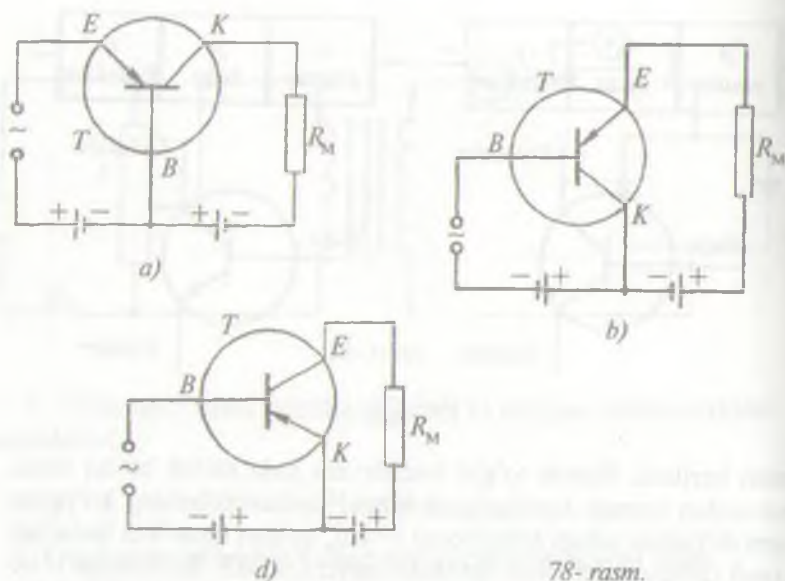
$$K = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_e}, \quad U_k = \text{const}, \quad (16)$$

bunda ΔI_k — kollektor tokining o'zgarishi, ΔI_e — emitter tokining o'zgarishi, U_k — kollektordagi kuchlanish. Bu koefitsient $K = 0,8 - 0,98$ ga teng bo'lishi mumkin.

Tranzistorlarning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koefitsienti β quyidagicha aniqlanadi:

$$\beta = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b}, \quad U_k = \text{const}, \quad (17)$$

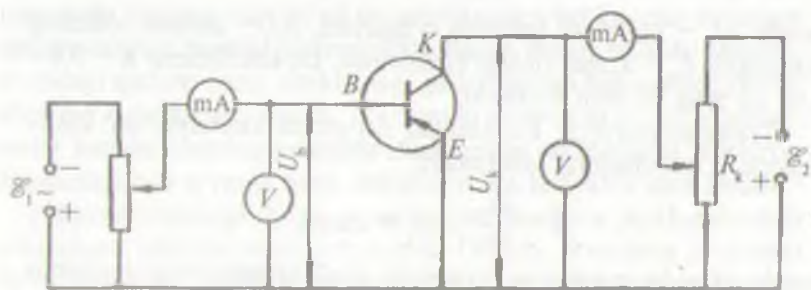
bunda ΔI_b — baza tokining o'zgarishi. Kollektordagi tok o'zgarmas bo'lgani holda, baza kuchlanishi (U_b) ni o'zgartirish bilan baza tokini o'zgartirish mumkin.



78- rasm.

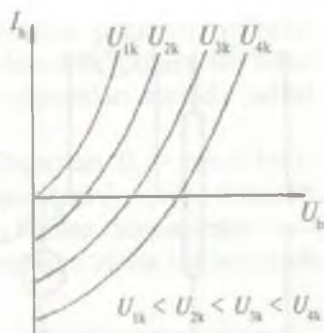
Tranzistorlar 3 xil ulanadi: umumiy baza (UB) (78-a rasm), umumiy kollektor (UK) (78-b rasm) va umumiy emitter (UE) (78-d rasm).

Tranzistor UE bo'yicha ulanganda quvvat bo'yicha eng katta kuchaytirish koeffitsienti olinadi. Shu sababli amalda umumiy emitter ulashdagi statik xarakteristikalarini olish uchun 79- rasmda ko'rsatilgan sxemadan foydalaniladi.



79- rasm.

Bu xarakteristikalar turli tranzistorlar uchun turlicha bo'ladi. Agar kollektordagi kuchlanish oshirilsa, buzaning statik xarakteristikasi o'zgaradi (80- rasm). Kollektordagi kuchlanishning o'zgarishiga qarab kollektordagi tok ham o'zgaradi: $U_b = \text{const}$ da $I_k = f(U_k)$. Xuddi shu bog'lanishni $U_k = \text{const}$, $I_b = f(U_b)$ bo'lgan hol uchun ham olish mumkin (81-a, b rasm). $I_{1b} > I_{2b} > I_{3b} \dots$ va $U_{1k} > U_{2k} > U_{3k}$.



80- rasm.

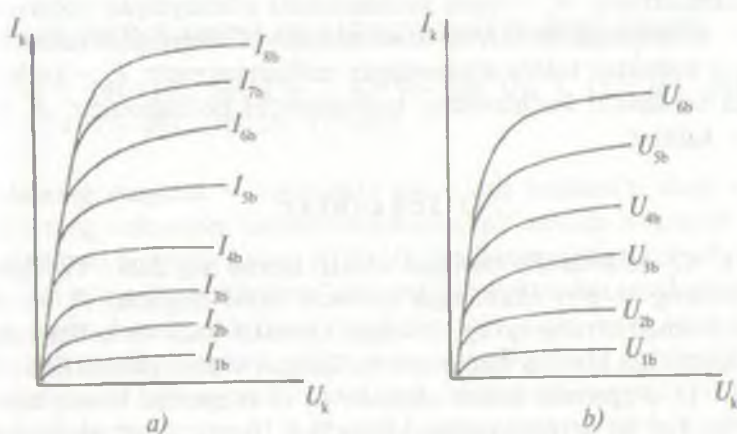
Tranzistorlarning β va k koeffitsientlari orasida bog'lanish quyidagicha aniqlanadi:

$$I_e = I_k + I_b$$

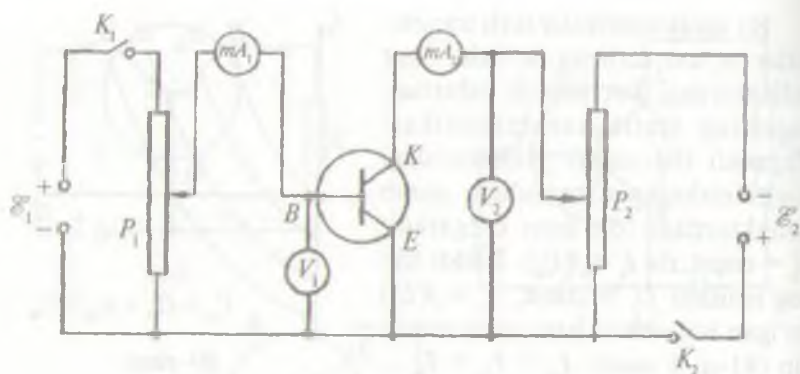
ekanligidan:

$$k = \frac{I_k}{I_k + I_b} = \frac{\beta}{1 + \beta}, \quad (16 \text{ a})$$

$$\beta = \frac{k}{1 - k}. \quad (17 \text{ a})$$



81- rasm.



82- rasm.

Demak, tok kuchi bo'yicha kuchaytirish koeffitsienti ma'lum bo'lsa, kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsientini ham topish mumkin.

Tranzistorning kirish hamda chiqish statik voltamper xarakteristikasini tajribada olish uchun mo'ljallangan qurilmalardan birining elektr sxemasi 82- rasmda keltirilgan.

Sxemadagi E_1 , E_2 — tok manbai, P_1 — tranzistor bazasiga kuchlanish beruvchi potensiometr, mA_1 — baza tokini o'lchaydigan milliampermetr, V_1 — baza kuchlanishini o'lchaydigan voltmeter, V_2 — kollektorga beriluvchi kuchlanishni o'lchaydigan voltmeter, mA_2 — kollektor tokini o'lchaydigan milliampermetr, P_2 — kollektorga beriluvchi kuchlanishni boshqaruvchi potensiometr, K_1 va K_2 — kalitlar.

O'lchashlar

1. 82- rasmda ko'rsatilgan elektr sxema yig'iladi. Yig'ilgan sxemaning to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilgach, P_1 va P_2 potensiometrlarning qo'zg'aluvchan kontakti baza va kollektorga beriluvchi kuchlanish minimum bo'ladigan vaziyatga siljiriladi.

2. U_2 o'zgarmas holda saqlanib U_1 ni o'zgartira borish bilan U_1 ning har bir qiymatiga mos keluvchi I_1 hamda I_2 tok qiymatlari jadvalga yozib boriladi.

3. Bazaga berilayotgan kuchlanishni o'zgartirmasdan ($U = \text{const}$), kollektorga beriluvchi kuchlanishni o'zgartirish bilan unga mos o'zgaruvchi I_1 va I_2 larning qiymatlari asosida jadval tuziladi.

4. Har ikkala o'lchashlar natijalariga asosan $U_2 = \text{const}$ bo'lgandagi $I_1 = f(U_1)$ hamda $U_1 = \text{const}$ bo'lgandagi $I_2 = f(U_2)$ funksiya grafiklari birdek masshtabda chiziladi va o'zaro taqqoslanadi.

5. Tranzistorlarning tok va kuchlanishi bo'yicha kuchaytirish koefitsientlari hisoblanadi.

Savollar

1. n - tip va p - tip yarimo'tkazgich deganda nimani tushunasiz?
2. Yarim o'tkazgichli diodning tuzilish va ishlash prinsipini tushuntiring.
3. Tranzistorning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring?
4. Yarimo'tkazgichli diodning voltamper xarakteristikasi qanday olinadi?
5. Tranzistorning voltamper xarakteristikasi qanday olinadi?

II- LABORATORIYA ISHI

ELEKTRON LAMPALAR XARAKTERISTIKASINI OLISH

[№ 2, 101–102- §§]; [№ 7, 92–96- §§]; [№ 3, 157–161- §§]; [№ 1, 74–75- §§]; [№ 19, 11- ish].

Ishning maqsadi — vakuumda tok o'tish hodisasini diod va triodlarning voltamper xarakteristikasini olish asosida o'rganish.

Elektron lampalar havosi 10^{-3} – 10^{-7} Pa bosimgacha so'rib olingan idish ichiga bir-biridan ma'lum oraliqda elektrodlar kavsharlash bilan tayyorlanadi. Elektron lampalar ikki, uch, to'rt va h.k. elektrodli bo'lib, ular elektrodlar soniga bog'liq holda nomlanadi. Masalan, to'ri bo'lmagan lampalar **d i o d**, bitta to'rli lampalar **t r i o d**, ikki to'rli lampalar **t e t r o d**, uch to'rli lampalar **p e n t o d** va h. k. deb ataladi. Barcha elektron lampalarning umumiy tomoni shundaki,

ularning hammasida anod va katod elektrodleri bo'lib, anod tok manbayining musbat qutbiga, katod esa manfiy qutbiga ulangan-dagina lampalar elektr tokini o'tkazish xossasiga ega bo'ladi.

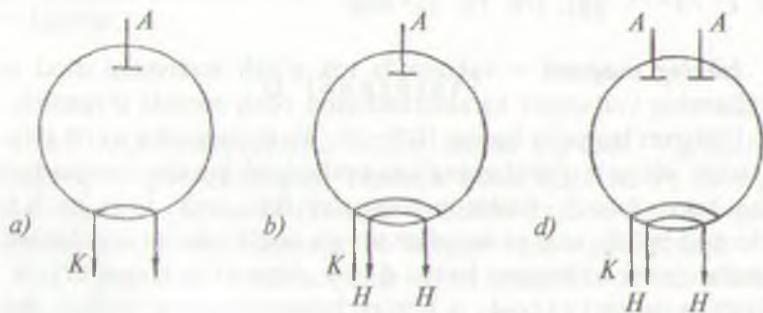
Elektron lampalarni yoritish lampalaridan farqi shundaki, ular termoelektron emissiya natijasida hosil bo'lgan elektronni elektrostatik maydon ta'sirida boshqarish bilan elektr tokini o'tkazish xossasiga ega bo'ladi.

1- mashq

Ikki elektrodli lampaning voltamper xarakteristikasini olish

Kerakli asbob va materiallar: 1. Ikki elektrodli elektron lamp. 2. Tok manbalari. 3. Milliampmetr. 4. Voltmetr. 5. Potensiometr. 6. Kalit va ulash simlari.

Shisha ballon ichiga joylashtirilgan katod elektr toki ta'sirida qizdirilganda hosil bo'lgan elektronlar anod tomon oqib o'tadi. Bunday tipdagi lampalar tashqi ko'rinishi, elektrodlarining shakli, o'rnatilishiga qarab bir-biridan farqlanadi. Ikki elektrodli lampalar — diodlar bir-biridan yana anodining soni bilan ham farqlanadi. Ular yakka anodli va qo'sh anodli bo'lishi mumkin. Qo'sh anodli diod qo'shaloq diod deyiladi. 83- rasmda elektr zanjirga bevosita (83-*a* rasm) va bilvosita (83-*b* rasm) ulanuvchi yakka anodli, shuningdek, bilvosita ulanuvchi ikki anodli (83-*d* rasm) diodlarning sxemalari ko'rsatilgan.



83- rasm.

Diodlarning ish rejimini yaxshilash maqsadida ko'pincha katodi to'g'ridan-to'g'ri qizdirilmay, balki uni lampaga qo'shimcha kiritilgan, *nakal* deb ataluvchi yordamchi spiral qizdiradi (83-b rasm). Katodni qizdirishda maxsus tok manbayidan foydalaniladi. Katod qiziganda o'tilib chiqqan elektronlar anodga o'tishi natijasida hosil bo'lgan tok kattaligi milliampermetr strelkasining og'ishidan aniqlanadi. Anod va katod orasidagi potensiallar farqi voltmetr yordamida o'lchanadi. Zanjirdan o'tayotgan tokning qiymati katod temperaturasi ga hamda katod bilan anod orasidagi potensiallar ayirmasi, ya'ni anod kuchlanishiga bog'liq holda o'zgaradi.

Kuchlanishli anod batareyasi, milliampermetr, anod va katoddan iborat zanjir odatda anod zanjiri deb ataladi. Agar katod temperaturasi ni o'zgarishsiz saqlab, anod kuchlanishini asta-sekin uoldan ortira borsak, milliampermetr yordamida o'lchanuvchi anod tokining anod kuchlanishiga bog'liq holda o'zgarishini ko'ramiz, ya'ni:

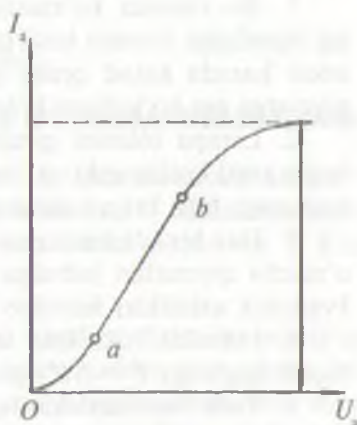
$$I_a = f(U_a). \quad (1)$$

Anod toki bilan anod kuchlanishi orasidagi bog'lanish 84- rasmda ko'rsatilgan. Grafikdan ko'rinadiki, anod tokining anod kuchlanishiga bog'lanishi Om qonuniga bo'ysunmaydi. Tok kuchi potensiallar ayirmasining o'sishi bilan dastlab sekin, keyin tezroq so'ngra yana sekin orta borib, kuchlanishnig biron qiymatidan boshlab o'zgarmay qoladi. Shu vaqtda tok kuchi to'yinish toki deb ataladi va u I_T harfi bilan belgilanadi.

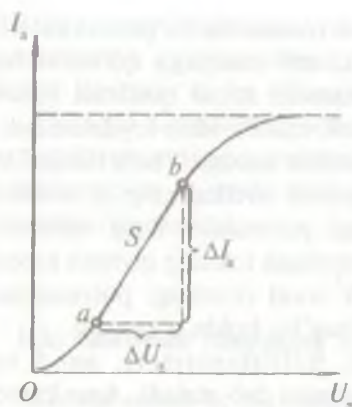
Odatda elektron lampa xarakteristik egri chizig'ining tikligi (85-rasm) va ichki qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a}, \quad (2)$$

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}. \quad (3)$$



84- rasm.



85- rasm.

(2) va (3) formulalardan lampa xarakteristikasining tikligi uning ichki qarshiligiga teskari proporsional ekanligi kelib chiqadi

$$S = \frac{1}{R}, \quad (4)$$

Anod tokining kuchlanishining kichik qiymatlarida o'zgarishi Boguslavskiy—Lengmyur qonuni asosida bo'ladi:

$$I_a = k U_a^{\frac{3}{2}}, \quad (5)$$

bunda k — proporsionallik koeffitsienti. Anod potentsiali barcha hollarda katod potentsialidan katta bo'lishi zarur, aks holda dioddan tok o'tmaydi. Diodning bu xossasi elektr tokining faqat bir tomonga o'tish imkonini beradi va shu sababli o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka to'g'rilashda ishlatiladi.

O'lchashlar

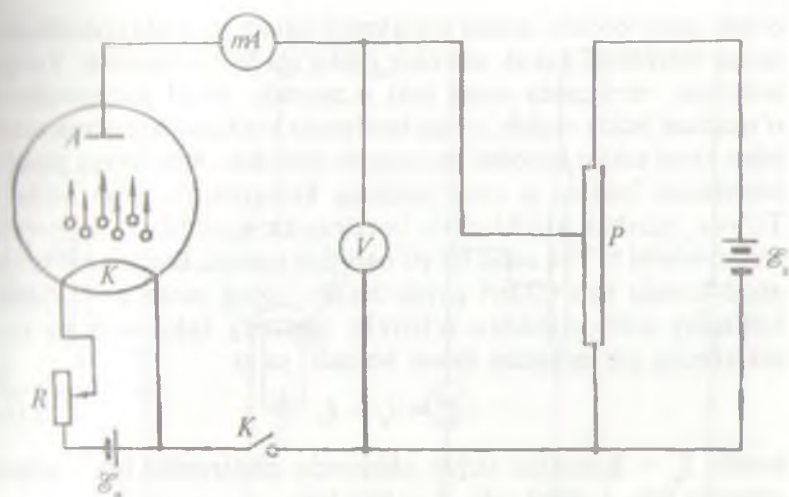
1. 86- rasmda ko'rsatilgan sxema yig'iladi. Zanjir to'g'ri yig'ilganligiga ishonch hosil qilingach, potentsiometrning (P) jilgichi anod hamda katod oralig'iga beriluvchi kuchlanish minimum qiymatga ega bo'ladigan holatgacha suriladi, so'ngra kalit ulanadi.

2. Lampa tolasini qizdiruvchi tok kuchi doimiy saqlangan holda anod kuchlanishi ortira boriladi va uning har bir o'zgartirilgan qiymatiga mos kelgan anod tokining qiymatlari yozib olinadi.

3. Har bir o'lchashlarni kamida 3—4 marta bajarib, ularning o'rtacha qiymatlari jadvalga yoziladi, absolut, nisbiy va o'rtacha kvadratik xatoliklar hisoblab topiladi.

4. Jadvalda keltirilgan tajriba natijalaridan foydalanib, millimetrlri qog'ozga $I_a = f(U_a)$ grafigi chiziladi.

5. Tola kuchlanishining bir-biridan farqli 3—4 qiymatlari uchun 3- va 4- bandlar bajarilib, olingan natijalar avvalgidek



86- rasm.

jadvalga yoziladi va birinchi masshtab saqlangan holda grafik chiziladi. Olingan grafiklar taqqoslanadi va izohlanadi.

6. S hamda R parametrlar har bir xarakteristik egri chiziq uchun alohida hisoblanadi.

7. (5) formuladan foydalanib, egrilikning (85- rasm) Oa qismi uchun k aniqlanadi.

2- mashq

Uch elektrodli lampaning anod va to'r xarakteristikasini olish

Kerakli asboblari va materiallari: 1. Uch elektrodli lampa — triod. 2. Tok manbalari. 3. Potensiometr. 4. Milliampmetr. 5. Anod va to'r kuchlanishini o'lchash uchun voltmetr. 6. Kalit va ulash simlari.

Uch elektrodli lampa — triod anod va katodlar oralig'iga uchinchi elektrod — to'r kiritilishi bilan dioddan farq qiladi. To'r katodni o'ragan holatda joylashib, ularga tegib turmaydigan siyrak sim spiral shaklida bo'ladi. Elektronlarning katoddan anodga uchib

o'tishi qulay bo'lishi uchun anod kovak silindr shaklida tayyorlanib, uning markaziga katod, ularning oralig'iga to'r o'rnatiladi. To'rga potensial berilganda, anod toki o'zgaradi. Anod kuchlanishini o'zgarimas holda saqlab, to'rga beriluvchi kuchlanishni o'zgartirish bilan anod tokini bevosita boshqarish mumkin. Agar to'rga manfiy kuchlanish berilsa, u anod tokining kamayishiga sabab bo'ladi. To'rga musbat kuchlanish berilganda katoddan chiquvchi elektronlarni to'r va anod bir yo'nalishda tortadi. Buning natijasida anod hamda to'r toklari paydo bo'lib, yopiq zanjir hosil qiladi. Shunday qilib trioddan o'tuvchi umumiy tok anod va to'r toklarining yig'indisidan iborat bo'ladi, ya'ni:

$$I_k = I_a + I_r, \quad (6)$$

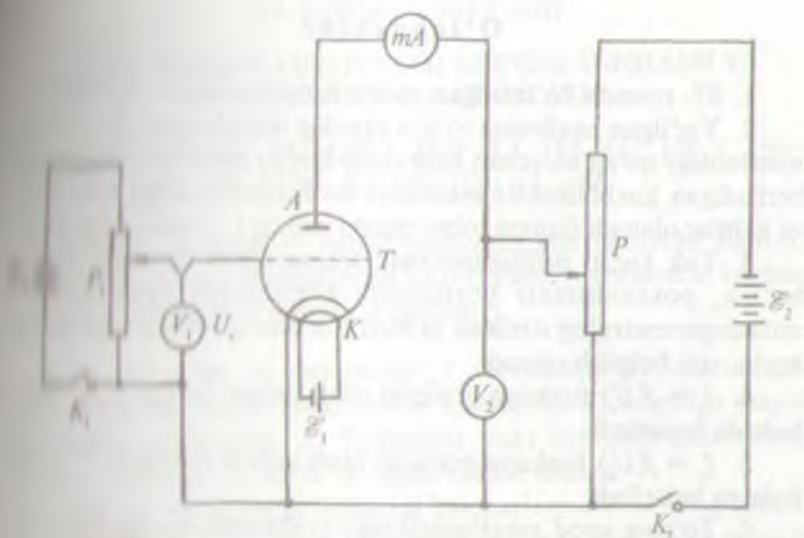
bunda I_k — katoddan uchib chiquvchi elektronlar hosil qilgan umumiy tok, I_a anod toki, I_r — to'r toki.

Anod toki (I_a) anod kuchlanishiga, to'r toki I_r to'r kuchlanishiga bog'liq holda o'zgaradi. Shuningdek, anod yoki to'r kuchlanishining o'zgarishi o'z navbatida anod hamda to'r toklarining o'zgarishiga olib keladi. Agar to'rga manfiy kuchlanish berilsa, anod toki kamayadi. To'rga berilgan manfiy kuchlanish yetarlicha qiymatga o'zgartirilganda anod toki tamoman yo'qoladi. Bu vaqtda emissiyalangan elektronlarning anod tomon o'tishi uchun imkon bo'lmaydi va lampa berk hisoblanadi. Shu sababli triod dioddan farqli anod va to'r xarakteristikalariga ega.

Bu xarakteristikalarni olishda, qo'llanishi mumkin bo'lgan qurilmalardan birining elektr sxemasi 87-rasmda ko'rsatilgan. $\mathcal{E}_1$ — lampa nakalini qizdiruvchi tok manbayi, P — $\mathcal{E}_2$ manbadan anodga va katodga beriladigan kuchlanishlarni boshqaruvchi potensiometr, zanjirdagi milliampermetr anod tokini va V_2 voltmetr anod kuchlanishini ko'rsatadi. P_1 potensiometr vositasida tok manbayidan lampa to'riga kuchlanish uzatilib, to'rga berilgan kuchlanish V_1 voltmetr yordamida o'lchanadi.

Lampa xarakteristikasini quyidagi ikki hol uchun olinadi:

1. To'r kuchlanishi U_r doimiy saqlangan holda anod kuchlanishi o'zgartiriladi.



87- rasm.

2 Anod kuchlanishi doimiy saqlangan holda to'r kuchlanishi o'zgartiriladi.

Har ikkala holda ham anod toki anod kuchlanishining funktsional sifatida o'zgarganligidan, anod toki bilan to'r kuchlanishi orasidagi bog'lanishni

$$U_a = \text{const da } I_a = f(U_g) \quad (7)$$

funktsiya ko'rinishida, shu tokning anod kuchlanishi bilan bog'lanishini esa

$$U_g = \text{const da } I_a = f(U_a) \quad (8)$$

funktsiya ko'rinishida ifodalash mumkin.

Triod lampalari kuchaytirgich sifatida elektro- va radiotexnika-da keng qo'llanilib, uning kuchaytrish koeffitsienti

$$K = R_1 S \quad (9)$$

formula bo'yicha hisoblanadi.

O'lchashlar

1. 87- rasmda ko'rsatilgan sxema bo'yicha zanjir yig'iladi.
2. Yig'ilgan zanjirning to'g'ri ekanligi tekshirilgach, potensiomترلardagi qo'zg'aluvchan kontaktlar lampa anodi hamda to'riga beriladigan kuchlanishlar minimum bo'ladigan holatga keltiriladi va kalitlar ulanadi (lampa tolasi qizishi uchun 1–2 minut kutiladi).
3. Tok kuchi milliampermetr sezmaydigan darajada kichik bo'lsa, potensiometr yordamida kuchlanish oshiriladi va milliampermetrning strelkasi noldan ma'lum qiymatga siljigandan keyin, uni belgilab olinadi.
4. $I_a = f(U_a)$ funksiya grafigini olish uchun tajriba $U_a = \text{const}$ holatda bajariladi.
5. $I_a = f(U_a)$ funksiya grafigini olish uchun tajriba $U_i = \text{const}$ holatda bajariladi.
6. To'r va anod xarakteristikalari millimetrli qog'oz chiziladi va taqqoslanadi.
7. Berilgan lampaning kuchaytirish koeffitsienti (9) formuladan hisoblanadi.

Savollar

1. Qizdirilgan jismlardan elektronlarning chiqish hodisasini tushuntiring.
2. Vakuumda elektr toki qanday hosil bo'ladi?
3. Ikki elektrodli lampaning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
4. Diodning voltamper xarakteristikasi qanday olinadi?
5. Uch elektrodli lampa — triodning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
6. Triodning anod va to'r xarakteristikasi qanday olinadi?

**TERMoeLEKTR YURITUVCHI KUCHNI ANIQLASH VA
TERMOJUFTNI DARAJALASH**

[№ 2, 104–107- §§]; [№ 7, 162–163, 165- §§]; [№ 3, 198–200, 204- §§]; [№ 1, 76–77- §§]; [19, 12- ish].

Ishning maqsadi — qattiq jismlarda yuz beruvchi kontakt hodisalarni termojuft yordamida va termoelektir yurituvchi kuchlar (TEYK) ni aniqlash asosida o'rganish.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Termojuft tayyorlanadigan turli materialli simlar (yoki tayyor termojuft). 2. Sezgirligi yuqori bo'lgan galvanometr. 3. Termostat yoki isitkichli kalorimetr. 4. Potensiometr. 5. Kalit va ulash uchun simlar.

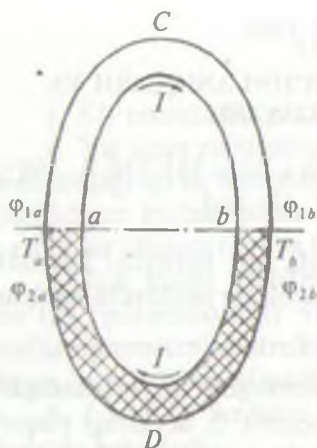
Ikki xil metall simlar uchlarini kavsharlaganda ularning temperaturasi va moddalarning kimyoviy tabiatiga bog'liq holda zaryadli zarralarning diffuziyalanishi ro'y berib, bunda o'tkazgichlarning uchlarida hosil bo'lgan potensiallar farqi *kontakt potensiallar farqi* deb ataladi. U klassik nazariyaga ko'ra quyidagicha ifodalaniladi:

$$\mathcal{E} = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}}, \quad (1)$$

bunda $\mathcal{E}$ — elektir yurituvchi kuch (EYK), φ_1, φ_2 — birinchi va ikkinchi o'tkazgichlarning bo'sh uchlaridagi potensial qiymatlari, k — Bolsman doimiysi, T — termodinamik temperatura, e — elektronning zaryadi, n_{01}, n_{02} — birinchi va ikkinchi o'tkazgichlarning birlik hajmlaridagi erkin elektronlar soni.

Volta N ta o'tkazgichni ketma-ket ulashda hosil bo'lgan natijaviy kontakt potensiallar farqi birinchi va N -o'tkazgichlarning bo'sh uchlaridagi potensiallar farqiga teng bo'lib, oraliqdagi o'tkazgichlarga bog'liq bo'lmasligini aniqlagan, ya'ni:

$$\mathcal{E}_{1N} = \varphi_1 - \varphi_N = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{0N}}.$$



88-rasm.

88-rasmda materiallari turlicha bo'lgan C va D o'tkazgichlarni ketma-ket ulashdan hosil qilingan berk zanjir keltirilgan. Tok kuchining yo'nalishi soat mili yo'nalishiga mos holda tanlab olinganda U_1 zanjirning aCb qismi-dagi, U_2 zanjirning bDa qismidagi potentsiallar tushuvini bildiradi. Bu holda potentsial tushuvlarning yig'indi Om qonuniga asosan EYKni ifodalaydi:

$$\mathcal{E} = U_1 + U_2.$$

Zanjirning aCb va bDa tarmoqlaridagi kuchlanish $U_1 = \varphi_{1a} - \varphi_{1b}$ hamda $U_2 = \varphi_{2b} - \varphi_{2a}$ ekanligini nazarda tutilsa, EYK kattaligini ab kontaktlardagi potentsiallar qiymatlari orqali ifodalash mumkin:

$$\mathcal{E} = (\varphi_{1a} - \varphi_{1b}) + (\varphi_{2b} - \varphi_{2a}). \quad (2)$$

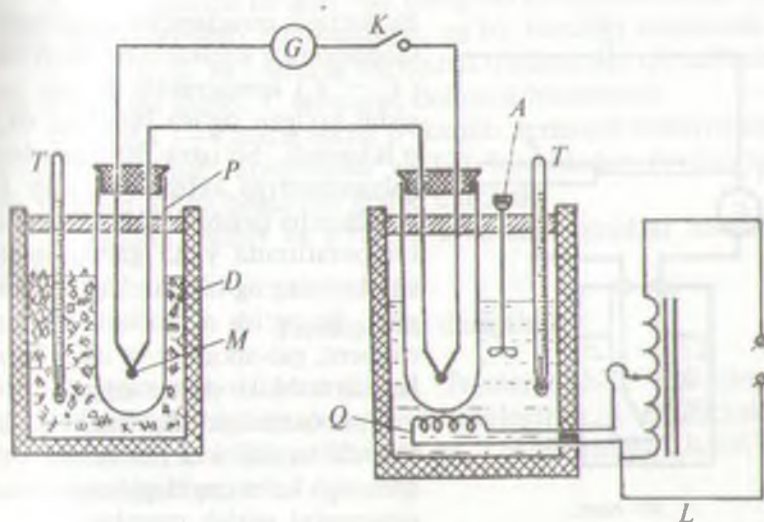
Agar a va b kontaktlardagi temperaturalar bir-biridan farqli bo'lib, $T_a > T_b$ bo'lsa (2) formuladagi EYK musbat qiymat oladi:

$$\mathcal{E} = \frac{k_0}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}} (T_a - T_b) = C(T_a - T_b). \quad (3)$$

Bunda $C = \frac{k}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}}$ — har bir juft o'tkazgich sistemasi uchun

xarakterli bo'lgan o'zgarmas kattalik. $T_a \neq T_b$ bo'lgan barcha holarda paydo bo'luvchi EYK *termoelektr yurituvchi kuch* deb ataladi. Termoelektr yurituvchi kuchi (TEYK) o'zgarmay turishi uchun $C = \text{const}$ deb olinganda $\Delta T = T_a - T_b$ ayirma doimiy bo'lishi shart.

Termoelektrik hodisalardan texnikada temperaturani aniqlashda foydalaniladi. Bu maqsadda α koeffitsiyentli ikkita ikki xil materialdan yoki qotishmadan iborat termoelement — termojuft tayyorlanadi. Tayyorlangan termojuftdan temperaturani o'lchashda foydalanish uchun uni avval etalon termojuft yoki termometr



89- rasm.

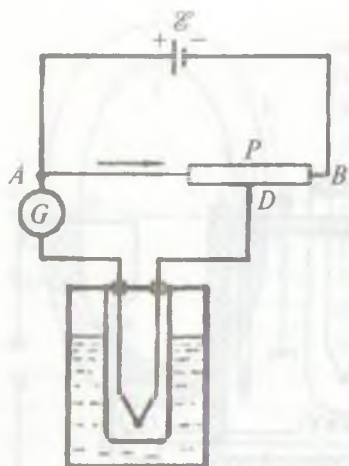
yordamida darajalab, TEYK ning temperaturaga bog'lanish grafigi olinadi. Termojuftlarning sezgirligi juda katta bo'ladi, masalan, temir-konstant materiallaridan tayyorlangan termojuft 800 K gacha platina va 10% li radiy elementi qo'shilgan platina qotishmasidan tayyorlangan termojuft 1800–2100 K gacha temperaturani o'lchashi mumkin. 89- rasmda o'quv laboratoriyalarida termojuftlarning TEYKni aniqlash va uni darajalash uchun mo'ljallangan qurilma sxemasi keltirilgan.

1- mashq

1. Termoelementning elektr yurituvchi kuchini aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Galvonometr. 2. O'zgarmas tok manbai. 3. Reostat. 4. Termoelement. 5. Avtotransformator. 6. Ulash simlari.

(3) formuladagi C o'zgarmas koeffitsient termoelementga xos kattalik ekanligi va u kontaktlarning temperatura ayirmasi 1° bo'lganda vujudga keluvchi EYK dan iboratligi aytib o'tilgan edi.



90- rasm.

Bu kattalik quyidagicha aniqlanadi. Galvanometr strelkasining muayyan ($T_a - T_b$) temperatura farqiga tegishli bo'lgan og'ish burchagi (α_0) o'lchanadi. So'ngra 90- rasmdagi galvanometrga ketma-ket qilib R_1 qo'shimcha qarshilik ulanadi va shu temperaturada yana galvanometr strelkasining og'ish burchagi o'lchanadi. Bu og'ish α_1 bo'lsin. Termo-element, galvanometr va ulash simlaridan tashkil topgan zanjirning norma'lum qarshiligini R_0 bilan belgilab, birinchi va ikkinchi hol uchun Om qonuniga ko'ra quyidagi tenglamalar sistemasini yozish mumkin:

$$\mathcal{E} = i\alpha_0 R_0,$$

$$\mathcal{E} = i\alpha_1 (R_0 + R_1),$$

bunda i — galvanometrning sezgirligi. Bu tengliklardan R_0 ni yo'qotsak,

$$\mathcal{E} = i \frac{\alpha_0 - \alpha_1}{\alpha_0 - \alpha_1} R_1$$

hosil bo'ladi. (3) va bu tenglikdan foydalanib, berilgan termojuftning xarakteristik kattaligi topiladi:

$$C = \frac{\mathcal{E}}{\Delta T} = \frac{i R_1}{\Delta T} \cdot \frac{\alpha_0 - \alpha_1}{\alpha_0 - \alpha_1}. \quad (4)$$

O'lchashlar

1. Isitgichni tok manbayiga ulash bilan galvanometr strelkasining biron α_0 burchakka og'ishi uchun zarur bo'lgan temperatura farqiga erishiladi. Keyin temperatura doimiy bo'lishi uchun spiral uchlariga beriladigan kuchlanish avtotransformator yordamida kamaytiriladi.

2. ΔT o'zgarmas bo'lgan vaqt oralig'ida galvanometrغا qarshilikni ketma-ket ulab, strelkaning α_1 og'ish burchagi aniqlanadi.

3. ΔT , α_0 , α_1 va i larning tajribadan topilgan son qiymatlarini (4) formulaga quyib, C termojuft doimiysi hisoblanadi.

4. Tajriba 3—4 marta takror o'tkazilib, termojuft doimiysining o'rtacha qiymati aniqlanadi va (3) formuladan foydalanib TEYK ning ΔT ga boglanish grafigi chiziladi.

5. Absolut, nisbiy va o'rtacha kvadratik xatoliklar hisoblab topiladi.

2. Termoparani darajalash

Kerakli asbob va materillar: 1. Termojuftlar. 2. Erib turgan muz tushirilgan dyuar idish. 3. Termometrlar. 4. Probirkalar. 5. Galvanometr. 6. Isitgichli termostat. 7. Aralashtirgich. 8. LATR yoki avtotransformator.

Termoelementni temperatura o'lchashga moslashtirib darajalash uchun 89-rasmda ko'rsatilgan qurilma sxemasidan foydalanish mumkin. (3) formuladan ko'rinadiki, termojuftlarning EYKi o'zaro kavsharlangan modda jinslarining temperaturalarini farqiga to'g'ri proporsional o'zgarar ekan. Shu sababli termojuftlardan amalda yuqori va past temperaturalarini, shuningdek temperaturalar farqini o'lchashda aniq termometrlar sifatida keng foydalaniladi. Termojuftlar yordamida temperaturani o'lchashda kavsharlangan uchlaridan biri doimiy T_0 temperaturali idish ichiga tushirib qo'yiladi. (Ko'pincha erib turgan muz ichiga tushiriladi.) Termojuftning ikkinchi kavsharlangan uchi temperaturasi aniqlanuvchi muhitga kiritiladi.

Termojuftni darajalashda $C = \frac{d\mathcal{E}}{dT}$ bog'lanishni topishdan iboratdir. Tajriba qurilmasidagi D dyuar idishi ichiga erish temperaturasiidagi muz solinib, uning ichiga T termometr va termojuftning M kavsharlangan uchi solingan P probirka tushirilgan. Galvanometrning o'ng tomonidagi Q isitgichli termostat ichiga termojuftning ikkinchi kavsharlangan uchi, A aralashtirgich va

T termometrlar tushirilgan. Isitgich spiralining uchlariga beriluvchi kuchlanishni bir tekis mumkin bo'lishi uchun L avtotransformator yoki LATR asboblardan foydalaniladi.

O'lchashlar

1. 89- rasmda ko'rsatilgan tajriba qurilmasining elektr sxemasi yig'iladi va yig'ilgan sxemaning to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilingach, termojuftning kavsharlangan uchlaridan biri ichida suyuqlik bo'lgan termostat yoki dyuar idishiga tushiriladi.

Termoelementni darajalash uchun erish temperaturasida olingan muz dyuar idishiga solinib, termojuftning bir uchi shu muz solingan idishga tushiriladi. Ikkinchi uchi esa temperaturasi o'lchanishi zarur bo'lgan muhitga kiritiladi.

2. Dyuar idishi hamda termostat ichidagi suyuqliklarning temperaturasi bir-biriga teng bo'lsa, kalit ulanganda galvanometr strelkasi nolni ko'rsatadi. Bu holat uchun $\Delta T = 0$ va demak, $\mathcal{E} = 0$.

3. Galvanometr strelkasi aniq nolga keltirilgach, dyuar idishi sovtgich sifatida qabul qilinadi va uni termojuft tushirilgan suyuqlikning temperaturasi tajriba davomida o'zgarmay qoladigan qilib o'rnatiladi.

4. Q termostat ichidagi suyuqlik juda sekinlik bilan isitiladi (termostat ichidagi suyuqlik butun hajm bo'ylab birdek temperaturada bo'lishi uchun A aralashtirgich ham ishga tushiriladi).

5. $\Delta T \neq 0$ bo'lgan momentdan boshlab (galvanometrning sezish oralig'ida) $\mathcal{E} \neq 0$ bo'lganligidan, temperaturaning har bir ΔT (10° , 20° , 30° , 40° va h.k.) qiymatlari uchun galvanometr strelkasining nol vaziyatga nisbatan og'ish burchagi α aniqlanadi. (Kuzatishlar suvning temperaturasi $363-368$ K bo'lguncha davom ettiriladi). Kuzatishdan olingan natijalar jadvalga yoziladi.

6. Isitgichni tok manbayidan uzib, suvning asta-sekin sovishiga imkon beriladi va ΔT ning 5- banddagi eng oxirgi qiymatidan boshlab temperaturaning pasayish tomoniga qarab ularga mos kelgan oraliqlar uchun yana galvanometrning ko'rsatishi jadvalga yozib boriladi.

7. Millimetrli qog'ozga avval birinchi, keyin ikkinchi jadval asosida α ning ΔT ga bog'lanish grafigi birdek masshtabda chiziladi. Chizilgan grafikdan foydalanib, ΔT va α larning har ikki o'lchashdagi (suvning isishidagi va sovishidagi) o'rtacha qiymatlari aniqlanadi. $\alpha = f(\Delta T)$ funksiya grafigi izohlab beriladi.

2- mashq

Termoelementning elektr yurituvchi kuchini potensiometr yordamida aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Etalon element yoki akkumulyator. 2. Galvanometr. 3. Potensiometr. 4. Probirka. 5. Kalorimetr va termometr. 6. Ommetr. 7. Avtotransformator (LATR). 8. Kalit va ulash simlari.

Termoelementda kontakt temperaturalari ayirmasining funksiyasi sifatida hosil bo'luvchi termoelektr yurituvchi kuch potensiometrli kompensatsion usul asosida aniqlanadi. Uning sxemasi 91- rasmda ko'rsatilgan. Bu rasmdan ko'rinadiki, galvanometrning ko'rsatishi nol bo'lishi uchun Kirxgof qonuniga ko'ra $A \mathcal{E} B A$ konturning AD qismidagi potensial tushuvi termoelementning EYKga teng bo'lishi kerak, ya'ni:

$$\mathcal{E}_1 = U_{AD} = IR_{AD},$$

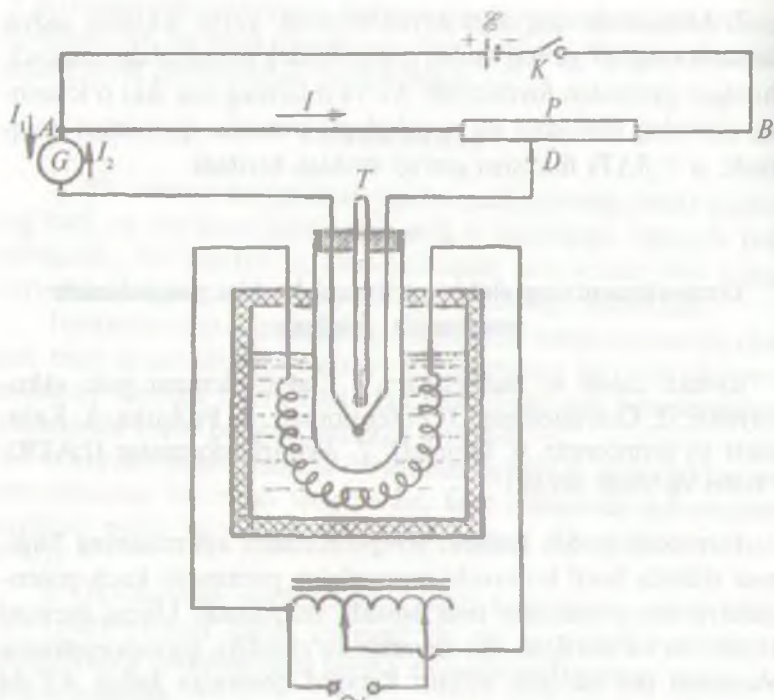
bunda $\mathcal{E}_1$ — temperaturalar farqi ΔT ga teng bo'lgandagi termo-EYK.

Manbaning ichki qarshiligi hisobga olinmaganda zanjirning AB tomonidan o'tuvchi tok kuchi quyidagicha aniqlanadi:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_{AB}}.$$

Yuqoridagi formulalardan termo-EYK ni topamiz:

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E} \frac{R'_{AD}}{R_{AB}} \quad (5)$$



91- rasm.

(4) va (5) formulalardan C ni aniqlaymiz:

$$C = \frac{\mathcal{E}}{\Delta T} \cdot \frac{R_{AD}}{R_{AB}} \quad (6)$$

Demak termo-EYK va termojuft koeffitsiyentini aniqlashda ulardan birining ma'lum bo'lishi talab qilinmaydi. Shuning uchun ham bu usul boshqa usullarga nisbatan birmuncha afzallikka egadir.

Tajriba qurilmasining elektr sxemasi 91- rasmda ko'rsatilgan. Termojuftning kavsharlangan uchi T termometr bilan probirka ichiga o'rnatilib, probirka kalorimetrga tushiriladi. Agar isitgichni avtotransformator yoki LATR yordamida manbaga ulab, unga beradigan kuchlanish bevosita o'zgartirilsa, kalorimetr ichidagi modda va unga mos ravishda probirka ichidagi temperatura ham

o'zgaradi. Termo-EYKni aniqlashda qo'llaniladigan potensio-metrning qarshiligi $10^3 \Omega$ dan katta bo'lgandagina yuqoridagi formulalarni keltirib chiqarishda normal elementning ichki qarshiligini, shuningdek, ulash simlarining qarshiligini e'tiborga olmaslik tajriba natijasiga ta'sir etmaydi.

O'Ichashlar

1. 91- rasmda ko'rsatilgan elektr sxema yig'ilgach, uning to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilingandan so'ng laboratoriya temperaturasida K kalitni ulab, potensiometr jilgichini surish bilan galvanometrning ko'rsatishi aniq nolga keltirib olinadi.

2. Isitgich uchlariga beriladigan kuchlanish avtotransformator yordamida uzatilib, $T_2 - T_1 = \Delta T = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ$ va h. k. qiymatlarga erishgandan so'ng bu kuchlanishni kamaytirib, temperaturaning o'zgarmas bo'lishiga erishiladi.

3. Temperaturalar farqining turli qiymatlarida D qo'zg'aluvchi kontakti u yoki bu tomonga surish bilan galvanometrning ko'rsatishi aniq nolga keltiriladi va shu temperaturalar farqiga mos termo EYK (5) formula yordamida hisoblanadi. Tajriba yuqorida ko'rsatilgan temperatura farqlarining har bir qiymati uchun 3—4 marta bajarilib, termo-EYKning qiymatlari topiladi.

4. R_{AD} ning son qiymati har bir tajriba uchun ommetr yordamida alohida-alohida aniqlaniladi. R_{AB} tajriba davomida o'zgar-maydi.

5. Normal elementning EYKni va tajribadan topilgan R_{AD} R_{AB} hamda temperatura farqlarining son qiymatlari (5) formulaga qo'yilib, berilgan termojuft uchun xarakterli bo'lgan koeffitsiyent-ni son qiymati hisoblanadi.

6. $\mathcal{E} = f(\Delta T)$ funksiya grafiqi millimetrli qog'ozga chiziladi va izohlanadi.

Savollar

1. Metallardagi kontakt hodisasini tushuntiring.
2. Ichki va tashqi kontakt potentsiallar ayirmasi nima? Ular qanday fizik kattaliklarga bog'liq?

3. Termojuftni darajalash deganda nimani tushunasiz? U qanday amalga oshiriladi?
5. Termoelektr yurituvchi kuch (TEYK) nima? U tajribada qanday aniqlanadi?
6. Termojuft nima? Termobatareya-chi? Ular qayerlarda ishlatiladi?
7. Termoelektr yurituvchi kuch kompensatsiya usuli bilan qanday aniqlanadi?

13- LABORATORIYA ISHI

ELEKTROLITLARNING ELEKTR XOSSASINI O'RGANISH

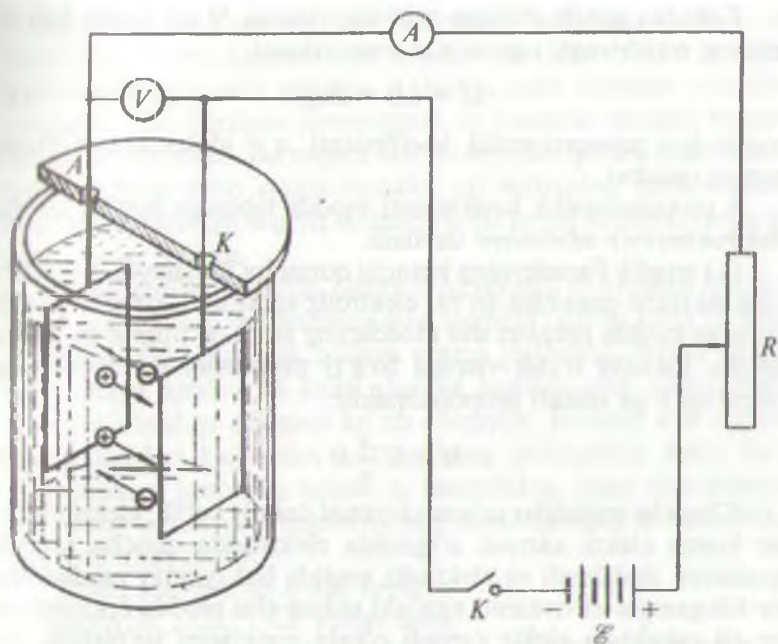
[№ 2, 92—95- §§]; [№ 7, 62—67- §§]; [№ 3, 189—193- §§]; [№ 1, 79—82- §§]; [№ 19, 13- ish].

Ishning maqsadi — elektrolitlarning elektr o'tkazuvchanligini o'rganish asosida undan tok o'tganda yuz beruvchi kimyoviy o'zgarishni, ya'ni moddalarning ajralishini va uning qanday fizik kattaliklarga bog'liqligini o'rganish.

Ikki va undan ortiq bir-birida eruvchi moddalarning qo'shilishidan hosil bo'lgan aralashmalar eritma deb ataladi. O'zidan elektr tokini o'tkazuvchi eritmalar esa *elektrolitlar* deb ataladi. Ularning elektr o'tkazuvchanligi eritmani tashkil etgan molekulalarning dissotsiylanishiga bog'liq. Eritmaning konsentratsiyasi kichik va temperatura yuqori bo'lsa, erigan modda molekulalarining dissotsiylanishi shuncha katta bo'ladi. Hosil bo'lgan ionlar molekulalar kabi tartibsiz harakatda bo'ladi. Agar tashqi maydon ta'sir etsa, ionlar tartibli harakatga kelib, tok hosil bo'ladi.

Elektrolitlarga tushirilgan elektrodga tashqi elektr manbai ulanganda elektr maydon hosil bo'ladi (92- rasm). Bu vaqtda ionlar o'z ishoralariga qarama-qarshi ishorali elektrod tomon harakatlanadi, musbat ionlar kationlar, manfiylari — anionlar deb ataladi.

Bu ionlar elektrodga kelib o'tirganlarida o'zlaridagi ortiqcha zaryadni beradilar yoki yetishmagan zaryadni oladilar. Natijada modda tarkibiy qismlarga ajraladi. Bu hodisa *elektroliz* deyiladi.



92- rasm.

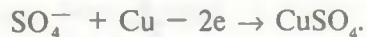
Misol tarzida mis sulfat (CuSO_4) tuzining suvdagi eritmasini qarab chiqaylik. Undan elektr toki o'tganda



reaksiya ro'y beradi. Katodga borgan mis ioni elektronni qo'shib olib, neytrallangan atom sifatida elektrodda ajraladi:



Anod misdan iborat bo'lsa, unga yetib borgan sulfat kislota qoldig'i o'zidagi ortiqcha elektronni berib, elektrod bilan kimyoviy reaksiyaga kirishadi:



Katodda ajralib chiqqan misning massasi M tok kuchi I ga va tokning o'tish vaqti t ga to'g'ri proporsional:

$$M = kIt = Ikq, \quad (1)$$

bunda k — proporsionallik koeffitsienti, q — elektrolitdan o'tgan zaryad miqdori.

k proporsionallik koeffitsienti modda tabiatiga bog'liq bo'lib, *elektrokimyoviy ekvivalent* deyiladi.

(1) tenglik Faradeyning birinchi qonunini ifodalaydi. Faradeyning ikkinchi qonuniga ko'ra, elektroliz vaqtida elektrodda ajralib chiqqan modda miqdori shu moddaning atom og'irligi A ga, tokka hamda tokning o'tish vaqtiga to'g'ri proporsional, moddaning valentligi n ga teskari proporsionaldir:

$$M = C \frac{A}{n} It. \quad (2)$$

C barcha moddalar uchun universal doimiy bo'lib, elektrolitdan bir kulon elektr zaryadi o'tganida elektrodda qancha modda ajralishini ifodalaydi va elektroliz vaqtida har qanday moddaning bir kilogramm-ekvivalenti ajralishi uchun shu modda eritmasidan bir xil miqdorda elektr zaryadi o'tishi zarurligini ko'rsatadi. Bu elektr zaryadi Faradey soni (F) bo'lib, u kattaligi jihatidan C ning teskari qiymatiga tengdir:

$$F = \frac{1}{C}.$$

U vaqtda (2) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$M = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \cdot It.$$

Bundan

$$F = \frac{A}{Mn} It. \quad (3)$$

Faradey sonini N_A Avogadro soniga bo'lishdan chiqqan natija elektroliz ro'y berayotgan vaqtda mavjud bo'lgan bir valentli ionning zaryadini ifodalaymiz. Bu barcha bir valentli ionlar uchun bir qiymatli va miqdor jihatidan elektron zaryadiga teng:

$$e = \frac{F}{N_A}. \quad (4)$$

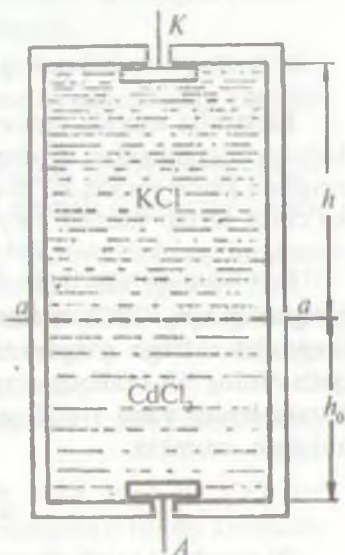
Biz yuqorida asosan biri ikkinchisi tarkibida to'liq erib, kimyoviy tarkibi hamda fizik xossasi jihatidan birdek bo'lgan eritmalar haqida so'z yuritdik. Tabiatda yana shunday eritmalar mavjudki, ular berilgan temperatura va bosimda ajralgan holatda bo'lishlari mumkin. Bu vaqtda ular bir-biridan qatlam bilan ajralib turadi. Shuni aytib o'tish kerakki, eritmalarining qatlamlanishi faqat temperaturaga bog'liq bo'lmay, balki uning konsentratsiyasiga ham bog'liq bo'ladi.

Qatlamlarga ajraluvchi elektrolitni vertikal joylashgan silindrik idishga solinganda bu idishning quyi qismida zichligi katta bo'lgan, ustida esa zichligi kichik bo'lgan eritma joylashadi. Misol tarzida qatlamlarga ajraluvchi kaliy xlor va kadmiy xlor elektrolitlari solingan idishdagi eritmani ko'rib chiqaylik. Kadmiy xlor eritmasining zichligi kaliy xlor eritmasining zichligidan katta bo'lganligidan, u idishning tubida h_0 balandlikni, kaliy xlor eritmasi esa uning ustida aa chegaraviy sirt bilan ajralgan h balandlikni egallaydi (93- rasm).

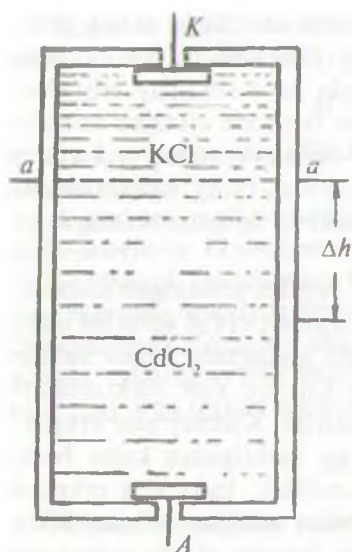
Elektr maydon ta'sirida musbat va manfiy K^+ , Cd^{++} , Cl^- ionlar mos ravishda qarama-qarshi ishorali elektrodlar tomon harakatlanadi. Elektrolitning har bir santimetr qatlami oraliq'ida bir volt potensiallar farqi hosil qilganda ionlarning qarama-qarshi tomonlarga ko'chish tezligi ularning harakatchanligini ifodalaydi. Ionlarning harakatchanligi qancha katta bo'lsa, elektr o'tkazuvchanlik shuncha yaxshi bo'ladi, ya'ni:

$$\sigma = qn_0u, \quad (5)$$

bunda σ — solishtirma elektr o'tkazuvchanlik, n_0 — musbat yoki manfiy ionlarning birlik hajmdagi soni-konsentratsiyasi, u — ionlarning harakatchanligi, q — bitta musbat yoki manfiy ionning zaryadi.

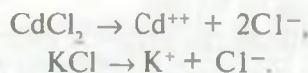


93- rasm.

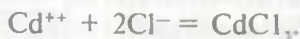


94- rasm.

Kadmiy xlor (CdCl_2) dissotsiyalanganda bitta musbat kadmiy ioni ajralib chiqsa, unga mos ravishda manfiy zaryadli ikkita xlor ioni ajraladi. KCl dissotsiyalanganda esa bittadan musbat kaliy va manfiy xlor ionlari hosil bo'ladi:



Kaliy atomi elektroliz natijasida katodga tomon harakatlanib, bu elektrolit tarkibidagi xlor atomi aa qatlam tomon ko'chadi va ayni vaqtda o'zining ikkita manfiy zaryadli xlorini yo'qotgan kadmiy xlor bilan qaytadan reaksiyaga kirishadi. Natijada tarkibida CdCl_2 molekulasini bo'lgan elektrolit miqdori jihatidan ortadi:



Elektroliz vaqtida umumiy elektrolit tarkibidagi KCl eritmasi kamaya borganligidan, aa chegaraviy chiziqli reaksiya tezligiga bog'liq ravishda katod tomon ko'chadi. aa chegaraviy qatlam chizig'ining ko'chish tezligi musbat zaryad tashuvchi kaliy ionining harakatchanligini xarakterlaydi (94- rasm).

Ikki turdagi elektrolitning elektr o'tkazuvchanligi turlicha bo'lganligidan, CdCl_2 qatlam qalinligi Δh ga o'zgarganda kuchlanganlik ΔU ga o'zgaradi. Shunday qilib, CdCl_2 elektrolit qatlamining Δh oraliqqa o'zgarishi ma'lum bo'lsa, kaliy ionining harakatlanish vaqti τ ni bilgan holda uning harakatchanligi u ni aniqlash mumkin:

$$u = \frac{\Delta h^2}{2\Delta U\tau} \quad (6)$$

(3) tenglikni tajribada tekshirib ko'rish mazkur ishning asosiy maqsadini tashkil etadi.

1- mashq

Moddalarining elektrokimyoviy ekvivalentini va Faradey sonini aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Tok manbayi. 2. Ampermetr va voltmeter. 3. Tarozi (toshlari bilan). 4. Elektr pech yoki plita. 5. Sekundomer. 6. Elektrolitik vanna. 7. Mis elektrodlar. 8. Qum qog'oz, kalit va ulash simlari.

O'Ichashlar

1. 15–25 foizli mis kuporosining distillangan suvdagi eritmasi tayyorlanib, yetarlicha chayqatilgach, elektrolitik vannaga quyiladi.

2. Sxemasi 92- rasmda ko'rsatilgan elektr zanjir tuziladi va uning to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilingach, manbaga ulanadi.

3. Zanjirni uzib, katod vazifasini bajaruvchi mis plastinka elektrolitdan olinadi va quritilib, qum qog'oz bilan tozalanadi. So'ngra uni suvda chayib, qaytadan quritiladi. Quritilgan plastin-kaning massasi M_1 tarozida tortib aniqlanadi.

4. Massasi aniqlangan plastinkani elektrolitik vannaga avval-gidek joylashtirib, zanjir ulanadi va shu vaqtda sekundomer yurgizib yuboriladi.

5. Elektrolitdan 15–20 minut davomida tok o'tkazib, zanjir uziladi (tajriba davomida tok kuchining qiymati o'zgarmay turishi zarur).

6. Katod vannadan chiqarib olinadi va ehtiyotlik bilan elektr plitka ustida tutib turib quritiladi, so'ngra massasi (M_2) tarozida tortiladi. $M = M_2 - M_1$ ni bilgan holda misning elektrokimyoviy ekvivalenti (1) formuladan hisoblab topiladi.

7. (4) dan bir valentli ion zaryadi (e) va (3) dan Faradey soni (F) hisoblanadi.

8. Tajriba 3–4 marta takrorlanib, $\langle k \rangle$, $\langle e \rangle$ va $\langle F \rangle$ lar hisoblanadi va jadval tuziladi. Absolut, nisbiy va o'rtacha kvadratik xatoliklar aniqlanadi.

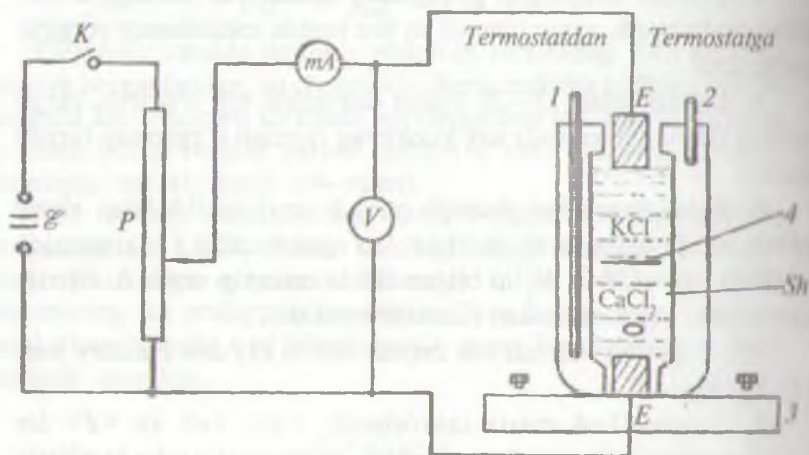
2- mashq

Ionning harakatchanligini o'lchash

Kerakli asbob va materiallar: 1. O'zgarmas tok manbai. 2. Potensiometr. 3. Termostat. 4. KCl va CdCl_2 tuzlari. 5. Distillangan suv. 6. Sekundomer. 7. Ampermetr va voltmetr. 8. Elektrolit solinuvchi, millimetrlarga darajalangan ikki elektrodli shisha silindrik idish. 9. Kalit va ulash simlari.

Tajriba qurilmasining elektr sxemasi 95- rasmda ko'rsatilgan. Bunda $\mathcal{E}$ — tok manbai, K — kalit, P — potensiometr, mA — milliampermetr, V — voltmetr, Sh — millimetrlilik shkalalarga darajalangan silindr shaklidagi elektrolit solinuvchi shisha idish, E — elektrodlar, 1, 2 — termostatga rezinka shlangalar vositasida qo'yiluvchi naychalar, 3 — taglik, 4 — elektrolitlar oralig'idagi chegaraviy qatlam.

Silindrik idish, odatda, o'lchash yacheykasi deb atalib, o'z ichiga quyilgan elektrolit temperaturasini doimiy saqlab turishi uchun qo'sh devorli qilib yasalgan.



95- rasm.

Termostatlash maxsus suyuqlikni, masalan, suvni isitish bilan amalga oshirilganligidan, biron T temperaturali suv o'lchash uchun bevkasi yuqori qismiga o'rnatilgan naychalarning biridan kiritilib, ikkinchisidan chiqariladi. Termostatda isitilgan suv o'lchash uchun bevkasi qo'sh devorlari orasida sirkulyatsiyalanganda ma'lum vaqtdan so'ng o'rganilayotgan elektrolitning temperaturasi ham u bilan muvozanatlashadi va o'lchash ishlari bajariladi. Shu usul bilan ion harakatchanligining temperaturaga bog'liq ekanligini bevosita tajribada kuzatish imkoniga ega bo'lamiz.

O'lchashlar

1. Kaliy xlor eritmasi tomonidagi elektrodni katod va kadmiy eritmasi tomonidagi elektrod anod deb belgilangach, 95- rasm-da ko'rsatilgan elektr sxema yig'iladi.

2. KCl va $CdCl_2$ tuzlaridan 10–15% li eritma tayyorlanib, avval o'lchash yacheykasi ishchi hajmining taxminan yarmigacha $CdCl_2$ eritmasi, so'ngra qolgan qismiga KCl eritmasi ohistalik bilan quyiladi. Keyin anod va katodlar ishchi sirtlari o'zaro parallel bo'ladigan holda elektrolitlarga tegib turadigan qilib o'rnatiladi.

3. P potensiometrning jilgichini surish bilan elektrodلarga beriladigan kuchlanish minimum qiymatga keltiriladi va kalit olinadi.

4. P potensiometrning jilgichi ampermetr va voltmetrlarning ko'rsatishlari tajriba shartini qanoatlantiruvchi qiymatga erishguncha suriladi. So'ngra kalit uzib qo'yiladi. (Tajriba o'tkazish qulay bo'lishi uchun ampermetr va voltmetrning ko'rsatishlari eng yuqori o'lchash chegarasidan taxminan ikki marta kichik bo'lishi talab qilinadi.)

5. Idishdagi ikki xil eritmani bir-biridan ajratib turuvchi diapiraviy chiziqning idishdagi shkalalarga nisbatan o'rni aniqlanib, uni M deb belgilanadi (millimetrlar hisobida).

6. Kalitni ulash momentidan boshlab, sekundomer yurgizib yuboriladi va shu vaqtdagi ampermetr hamda voltmetrning ko'rsatishlari belgilanadi.

7. $\Delta U = f(\Delta h)$ funksiya grafigi millimetrlı qog'ozga chiziladi va $\frac{\Delta U}{\Delta h}$ ning o'rtacha qiymati grafikdan olinadi.

8. (6) formuladan kaliy ionining harakatchanligi hisoblanadi.

9. Ionning harakatchanligini turli temperaturalarda o'lchash uchun o'lchash yacheykasidagi 1 va 2 naychalar termostatga rezina shlang vositasida qo'yiladi va kerakli temperaturalar ketma-ket olinib, ularning har biri uchun 5–8- bandlarda ko'rsatilgan vazifalar bajariladi.

3- mashq

Solishtirma elektrolitik o'tkazuvchanlikni aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. O'zgaruvchan tok manbai. 2. Avtotransformator. 3. Bir xil konsentratsiyali 3–4 xil elektrolitik eritmalar. 4. Menzurka va o'lchash yacheykasi. 5. Milliampmetr va voltmeter. 6. Kalit va ulash simlari.

6- laboratoriya ishida elektrolitik eritmalarining elektr qarshiligini aniqlash ko'rib o'tilgan edi. Bu yerda elektrolitlarning solishtirma elektrolitik qarshiligini aniqlashni qarab chiqamiz. Solishtirma elektrolitik o'tkazuvchanlik bir-biridan 1 sm masofada parallel joylashgan 1 sm² yuzli elektrodlarning hajmiy oralig'idagi elektrolitning elektr o'tkazuvchanligiga teng bo'lgan kattalik bilan xarakterlanadi:

$$\sigma = G \frac{l}{S},$$

bunda σ – solishtirma elektrolitik o'tkazuvchanlik, G – elektr o'tkazuvchanlik, l – elektrodlardan birining effektiv balandligi, S – effektiv yuz. Elektrolitik o'tkazuvchanlik ionning harakatchanligiga, ionlar soniga, eritmaning konsentratsiyasi va temperaturasiga, dissotsiylanish darajasiga va boshqa faktorlarga bog'liqligidan, solishtirma elektrolitik o'tkazuvchanlik ham ushbu kattaliklarga bog'liqdir. Solishtirma elektrolitik o'tkazuvchanlikning yuqorida aytib o'tilgan kattaliklarga bog'liq holda o'zgarishini nazariy jihatdan ifodalash birmuncha murakkab bo'lib, uni tajri-

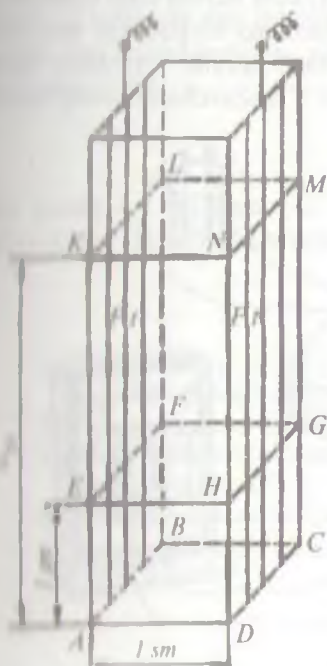
bu kuzatish va aniqlash qulayroq hisoblanadi. Buning uchun qarama qarshi tomonlariga platina elektrodlar o'rnatilgan. o'lcham-
lari 1 sm ga teng bo'lgan kub shaklidagi shisha idishdan foydalanish
mumkin. Elektrolitlarning solishtirma elektr o'tkazuvchanligini
aniqlash uchun odatda, bir gramm ekvivalent konsentratsiyali
tuzli elektrolitlarning 1 sm³ hajmidan o'tuvchi elektr miqdori
olindi va uni odatda *ekvivalent elektr o'tkazuvchanlik* deb ataladi:

$$\lambda_{V_0} = \sigma V_0,$$

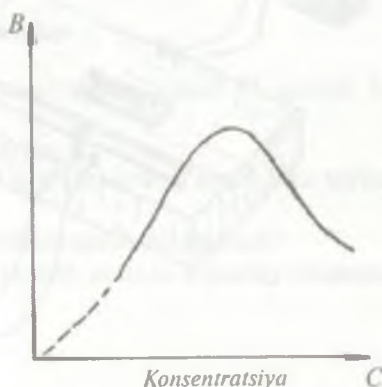
bunda λ_{V_0} — ekvivalent elektr o'tkazuvchanlik, $V_0 = 1 \text{ sm}^3$ —
elektrolitning hajmi. Agar elektrodlar oralig'i o'zgartirilmay, elektro-
lit vannaga $2V_0$, $3V_0$, $4V_0$ va h.k. karrali hajmdagi elektrolit (kon-
sentratsiya doimiy saqlangan holda) qo'yilsa, ekvivalent elektr
o'tkazuvchanlik karrali o'zgaradi, ya'ni:

$$\lambda_{V_0} = \sigma V = n\sigma V_0,$$

bunda $n = 1, 2, 3 \dots$ Bu tajribani
o'tkazishda 96- rasmda ko'rsatilgan
elektrolitik vannadan foydalaniladi.
Elektr o'tkazuvchanlikning eritma
konsentratsiyasiga bog'liqlik grafigi
97- rasmda keltirilgan.



96- rasm.



97- rasm.

O'lchashlar

1. Konsentratsiyasi bir xil, g-ekv hisobida ifodalangan 3–4 ml elektrolitik eritma tayyorlanadi.

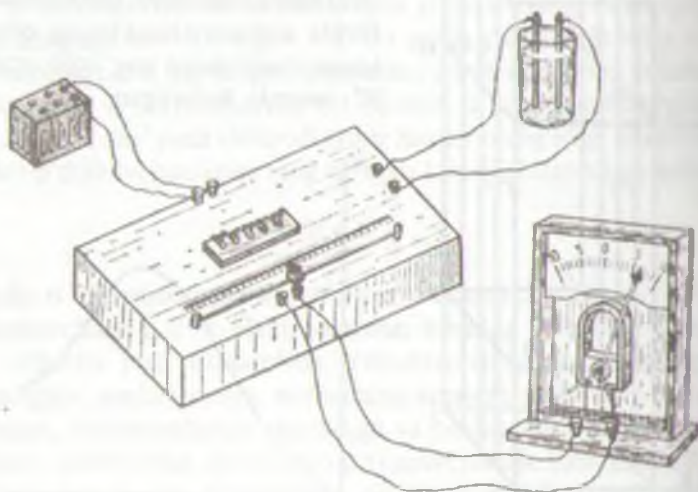
2. Eritma tayyorlangach, ularning har birini alohida-alohida 1 sm³ hajmchalarga — shkalalarga bo'lingan menzurkalarga quyib, nomlari yozib qo'yiladi.

3. 98- rasmda ko'rsatilgan elektr sxema yig'iladi va kalitni ochiq holatda qoldirib, o'lchash yacheykasiga 1 sm³ elektroliti quyiladi. So'ngra kalitni ulab, ampermetr va voltmetrning ko'r-

satishlaridan solishtirma elektr o'tkazuvchanlik aniqlanadi: $\sigma = \frac{1}{\rho}$

4. σ ning tajribadan topilgan qiymatidan foydalanib, berilgan elektrolitning ekvivalent elektr o'tkazuvchanligi λ aniqlanadi. Xuddi shunday o'lchashlar qolgan barcha eritmalar uchun ham bajariladi.

5. Kalitni uzib, o'lchash yacheykasidagi elektrolitik eritmani 3–5 minut davomida ohista chayqatib quyib, qaytadan kalit ulanadi va avvalgidek, ekvivalent elektr o'tkazuvchanlik aniqlanadi.



98- rasm.

Bunda λ_{∞} ni topgan bo'lamiz. λ_{ν} va λ_{∞} larning son qiymatlarini bilgan holda har bir eritma uchun dissotsiatsiya koeffitsienti hisoblanadi. Ekvivalent va solishtirma elektrolit o'tkazuvchanlik kattaliklari orasidagi bog'lanish quyidagicha ifodalanadi:

$$\lambda_{\nu} = \frac{\sigma \cdot 100}{C}.$$

Bu yerda C kattalik $\frac{\text{kg} \cdot \text{ekv}}{\text{m}^3}$ birlikda ifodalanib, 1 m³ eritma

haddida erigan modda konsentratsiyasini ko'rsatadi. Ekvivalent elektr o'tkazuvchanlik ham solishtirma elektrolitik o'tkazuvchanlik bitta temperaturaga bog'liq holda o'zgaradi. Ekvivalent elektr o'tkazuvchanlikni o'lchash bilan elektrolitlar tarkibidagi erigan moddaning dissotsilanish darajasini aniqlash mumkin. Chayqatilmagan elektrolitning ekvivalent elektr o'tkazuvchanligining shu temperaturadagi elektrolitning yetarlicha chayqatilgandan keyingi ekvivalent elektr o'tkazuvchanligi λ_{∞} ga bo'lgan nisbati dissotsilanish darajasini ifodalaydi:

$$\alpha = \frac{\lambda_{\nu_0}}{\lambda_{\infty}},$$

bu yerda λ_{∞} — elektrolit yetarlicha chayqatilgandan keyingi ekvivalent elektr o'tkazuvchanlik.

Savollar

1. Elektrolitning elektr o'tkazuvchanligi nima? U qanday fizik kattaliklarga bog'liq?
2. Faradey qonunlarini aytib bering.
3. Elektrokimyoviy ekvivalent va Faradey soni nima? Ular tajribada qanday aniqlanadi?
4. Ionning harakatchanligi tajribada qanday aniqlanadi?
5. Solishtirma elektr o'tkazuvchanlik nima va u qanday aniqlanadi?

14- LABORATORIYA ISHI

TANGENS-GALVANOMETR YORDAMIDA YER MAGNIT MAYDONINING KUHLANGANLIGINI VA MAGNIT OG'ISH BURCHAGINI ANIQLASH

[№ 2, 50, 51, 63- §§]; [№ 7, 100—104, 126- §§]; [№ 3, 76-
80- §§]; [№ 1, 39- §]; [№ 19, 14- ish].

Ishning maqsadi — tabiatda mavjud bo'lgan magnit maydon kuchlanganliklarini, ularning ta'sirini o'rganish.

Vertikal o'q atrofida erkin aylanuvchi yengil magnit strelka yaqinida magnitlar yoki tokli o'tkazgich bo'lmasa, mazkur geografik kenglikda strelka hamma vaqt bir yo'nalishni — shimol va janubni ko'rsatib turadi. Ushbu holatdan foydalanib, Yer magnit maydonining kuchlanganligini o'rganishimiz mumkin. Buning uchun ingichka uchlikka o'rnatilgan erkin aylana oladigan magnit strelkadan, ya'ni kompasdan foydalanamiz. Yerning janubiy magnit qutbi shimoliy geografik qutb yaqinida, shimoliy magnit qutbi esa janubiy geografik qutb yaqinida joylashgan. Yer magnit qutblarining geografik qutblariga mos kelmasligi magnit strelka bo'ylama o'qining meridian o'qiga nisbatan biror α burchakka siljigan bo'lishidadir. Yer magnit qutblarining o'rni o'zgarman bo'lganligidan, magnit strelkasining oniy burchagi har xil geografik kengliklarda va hatto geografik kengliklar oralig'idagi barcha nuqtalarda ham turli qiymatga ega bo'ladi. Odatda, geografik qutblar o'qi bilan magnit strelkasi bo'ylama o'qining tashkil qilgan burchagi magnit og'ish burchagi deyiladi. Xulosa qilib aytganda, har qanday yo'nalishda erkin aylana oladigan magnit strelkasi urning qaralayotgan geografik kenglikdagi magnit maydon kuchlanganligi H yo'nalishida joylashadi. Yerning magnit strelkasini ma'lum yo'nalishda joylashishiga sababchi bo'lgan magnit maydon kuchlanganlik vektori $\vec{H}$ o'z navbatida shu nuqtadagi maydon kuchlanganlik vektorining gorizontal $\vec{H}_g$ va vertikal $\vec{H}_v$ tashkil etuvchilarining yig'indisidan iboratdir (99- rasm):

$$\vec{H} = \vec{H}_g + \vec{H}_v.$$

99- namun ko'rinib turibdiki, $\vec{H}$ vektorining gorizontal tashkil etuvchisi H_g va vertikal tashkil etuvchisi bilan bog'lanishda ekan:

$$H_g = H_v \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

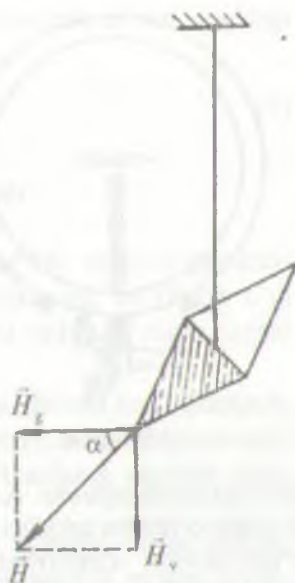
ya'ni

$$H_v = \frac{H_g}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (2)$$

ya'ni

$$H = \sqrt{H_g^2 + H_v^2} \quad (3)$$

Yer magnit maydonining gorizontal tashkil etuvchisi va uning og'ish burchagi (α) Yer magnit maydonining asosiy parametrlari hisoblanadi.



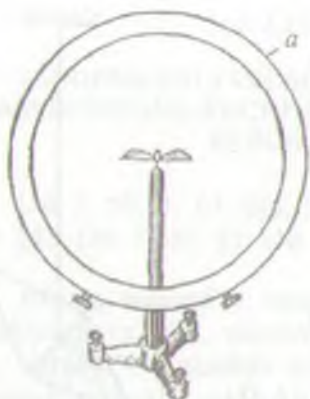
99- rasm.

1- mashq

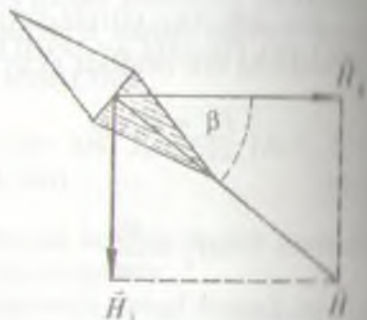
Yer magnit maydoni kuchlanganligining gorizontal tashkil etuvchisini aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Tangens-galvanometr. 2. O'zgaruvchan tok manbai. 3. Ikki yoqlama kalit. 4. Reostat. 5. Ulash simlari. 6. Doimiy magnit.

Tajribada Yer magnit maydonining gorizontal tashkil etuvchisini aniqlashda ko'pincha tangens-galvanometrdan foydalaniladi. Tangens-galvanometrlarning umumiy ko'rinishi 100- rasmda ko'rsatilgan bo'lib, u bir necha vertikal sim o'ramidan iborat radiusi a g'altakdan va bu g'altak markaziga joylashtirilgan kompasdan tashkil topgan. Tangens-galvanometrning ishlash prinsipi uning sim o'ramidan o'zgaruvchan tok o'tganda hosil bo'ladigan magnit maydonning halqa markaziga o'rnatilgan magnit strelkaga



100- rasm.



101- rasm.

ta'siriga asoslangandir. Asbobning magnit strelkasi uning bo'ylama o'qi sim o'ramlar tekisligida joylashadigan qilib o'rnatiladi. G'altak o'ramlaridan o'zgarmas tok o'tganda strelkaga ikkita o'zaro perpendikulyar magnit maydon kuchlanganligi, ya'ni Yer magnit maydonining gorizontaal tashkil etuvchisi (H_g) va tok hosil qilgan magnit maydon (H_i) ta'sir etadi:

$$\vec{H} = \vec{H}_g + \vec{H}_i.$$

101- rasmga ko'ra

$$\vec{H}_i = \vec{H}_g \cdot \operatorname{tg} \beta \quad \text{yoki} \quad \vec{H}_g = \frac{\vec{H}_i}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (4)$$

Radiusi r bo'lgan N ta o'ramdan iborat aylanma tokning markazida hosil bo'lgan magnit maydon kuchlanganligi Bio-Savar-Laplas qonuniga asosan quyidagicha ifodalaniladi:

$$\vec{H}_i = \frac{IN}{2r}. \quad (5)$$

H_i ning bu qiymati (4) ifodaga qo'yilganda Yer magnit maydoni kuchlanganligining gorizontaal tashkil etuvchisini ifodalovchi ushbu munosabat hosil bo'ladi:

$$\vec{H}_g = \frac{IN}{2r} \operatorname{ctg} \beta. \quad (6)$$

Xuddi shuningdek, vertikal tashkil etuvchisi uchun quyidagi tenglik o'rinlidir:

$$\bar{H}_v = \frac{IN}{2r} \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta. \quad (7)$$

Ishni bajarish tartibi

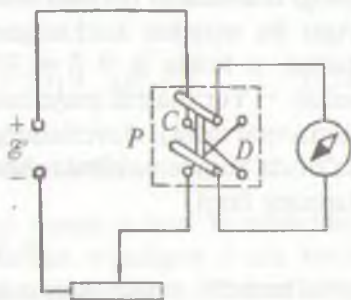
1. Elektr zanjir 102- rasmga asosan yig'ilib, tangens-galvanometrlarning o'ramlar tekisligi magnit strelkaning bo'ylama o'qi bo'yicha o'rnatiladi. Bunda magnit strelka nolni ko'rsatib turishi kerak.

2. Yig'ilgan zanjirning to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilingach, u tok manbayiga ulanadi va tangens-galvanometr markaziga o'rnatilgan limb shkalasidan magnit strelkasining vaziyati aniqlanadi.

3. *P* ikki yoqlama kalit *C* tomonga ulanadi va bu holdagi tokning yo'nalishi musbat deb olinadi. So'ngra *R* reostat yordamida shunday *I* tok kuchi tanlab olinadiki, bunda strelkaning dastlabki vaziyatga nisbatan og'ish burchagi $\beta = 45^\circ$ bo'lsin.

4. *P* kalit uzib, *D* tomonga ulanadi va strelka yana dastlabki vaziyatiga nisbatan $\beta = 45^\circ$ burulguncha tokning qiymati reostat yordamida o'zgartiriladi. Tajriba to'g'ri bajarilgan bo'lsa, har ikkala holda ham ampermetr asbobning ko'rsatishi bir-biriga juda yaqin bo'lishi kerak bo'ladi.

5. Magnit strelkasining *u* yoki *bu* tomonga $\beta = 45^\circ$ burchakka og'gandagi tok kuchlarining o'rtacha qiymatini, *N* o'ramlar sonini va o'ramlarning o'rtacha radiusi (*r*) ni bilgan holda (6) formuladan berilgan geografik kenglikdagi Yer magnit maydon kuchlanganligining gorizontal tashkil etuvchisi hisoblanadi.



102- rasm.

Yerning magnit og'ish burchagini aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Tangens-galvanometr
2. O'zgarmas tok manbai. 3. Ikki yoqlama kalit. 4. Reostat
5. Ulash simlari. 6. Doimiy magnit.

Magnit og'ish yoki magnit enkayish burchagi (α) ni aniqlashda doimiy magnit maydonining magnit strelkaga ta'siridan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

Avval tangens-galvanometrning sim o'ramlarini tok manbayiga ulab, magnit strelka dastlabki vaziyatga nisbatan $\alpha = 30^\circ$ burchakka og'ish uchun zarur bo'lgan I_1 tok kuchi R reostat vositasida izlab topiladi. Tajriba aniqroq natija berishi uchun P kalitning C va D vaziyatlarida tokning I_1 qiymatida α ni topish o'rinlidir. So'ngra o'ramni tok manbayidan uzib, magnit strelka tekisligidagi stolcha ustiga doimiy magnit qo'yiladi. Magnitni u yoki bu tomonga siljitish bilan strelka uchi dastlabki vaziyatiga nisbatan $\beta = 30^\circ$ burchakka og'gan holda o'rnatiladi. Strelka uchining ushbu holati keyingi tajribalar uchun sanoq boshi qilib olinadi. Keyin tangens-galvanometr qaytadan tok manbayiga ulanganda doimiy magnit hosil qilgan magnit maydon bilan I_1 tok hosil qilgan magnit maydon kuchlanganliklari yo'nalishlari jihatidan mos kelsa, magnit strelka yangi muvozanat nuqtaga nisbatan $\beta_1 > \beta = 30^\circ$ burchakka og'adi. Agar bu maydon kuchlanganliklarning yo'nalishi qarama-qarshi bo'lsa, u holda $\beta_1 < \beta = 30^\circ$ bo'ladi. Bunday bo'lishiga asosiy sabab — Yer magnit maydonining magnit strelkaga ta'sir qiluvchi gorizontall tashkil etuvchisining doimiy magnitning magnit maydoni ta'sirida kompensatsiyalanishidir. Bu vaqtda magnit strelka og'ishlarining farqi

$$\alpha = |\beta_1 - \beta| \quad (8)$$

yoki birinchi sanoq sistemasiga nisbatan

$$\alpha = |\beta'_1 - 2\beta|, \quad (9)$$

bunda

$$\beta'_1 = \beta_1 + \beta.$$

I tok kuchini o'zgartirmagan holda P kalitning vaziyati o'zgarib, holda tok hosil qilgan magnit maydon yo'nalishi o'zgarib, bu holdat uchun strelka uchining yangi sanoq sistemasiga nisbatan og'ish burchagi β_2 ga teng bo'ladi. Bunda

$$\alpha = |\beta_2 - 2\beta| \quad (10)$$

yoki birinchi sanoq sistemasiga nisbatan

$$\alpha = |\beta'_2 - 2\beta|; \quad \beta'_2 = \beta_2 + \beta. \quad (11)$$

(9) va (11) tengliklardan:

$$|\beta'_1 - 2\beta| = |\beta'_2 - 2\beta|. \quad (12)$$

Ushbu holda $\beta'_1 = \beta'_2$ yoki $\beta_1 = \beta_2$ ayniyat bajarilib, tok hosil qilgan magnit maydonning strelkaga ta'siri, Yer magnit maydon kuchlanganligining gorizontallash tashkil etuvchisi doimiy magnitning magnit maydoni ta'sirida kompensatsiyalanganligidan og'ish burchagi α ni topishga imkon beradi. Tajriba natijasi aniqroq bo'lishi uchun (9) hamda (11) formulalardagi α ni emas, balki uning o'rtacha qiymatini aniqlash to'g'riroq bo'ladi:

$$\langle \alpha \rangle = \frac{|\beta'_1 - 2\beta| + |\beta'_2 - 2\beta|}{2} = \frac{\beta'_1 + \beta'_2}{2}. \quad (13)$$

Xuddi shuningdek, $\langle \alpha \rangle$ qiymatini (8) va (10) tengliklardan ham topishimiz mumkin:

$$\langle \alpha \rangle = \frac{1}{2} [(\beta_1 - \beta) + (\beta_2 - \beta)] = \frac{1}{2} (\beta_1 + \beta_2) \quad (13a)$$

Ishni bajarish tartibi

1. Magnit og'ish burchagi α ni topish uchun 1- mashqdagi 1- va 2- bandlar bajarilib, o'ramlardan o'tadigan I tok kuchi strelkaning uchi dastlabki vaziyatga nisbatan $\beta = 30^\circ$ burchakka og'ndigan qilib tanlab olinadi. P kalitni ikkala vaziyatga ulab, I ning o'rtacha qiymati topiladi.

2. P kalitni uzib, strelka doimiy magnit maydon ta'sirida dastlabki vaziyatiga nisbatan yana $\beta = 30^\circ$ burchakka og'dirladi.

3. Doimiy magnitning vaziyatini o'zgartirmay, P kalit ulanadi. Bunda strelka uchining keyingi sanoq boshiga nisbatan siljish burchagi β_1 aniqlanadi. Xuddi shu tajribani kalitning ikkinchi vaziyati uchun ham bajarib, β burchak topiladi.

4. Sanoq boshining birinchi va ikkinchi holatlari ma'lum bo'lganidan, α ning qiymati avval (9) va (11), so'ngra (8) va (10) formulalar yordamida hisoblanadi, $\langle \alpha \rangle$ qiymat esa (13) yoki (13a) formuladan topiladi. Tajriba 8–10 marta bajariladi.

1. Usulning prinsipial asoslari

Ixtiyoriy magnit maydonining kuchlanganligini shu maydonning «sinalayotgan» tokli o'ramga yoki magnit strelkasiga mexanik ta'siri kattaligiga qarab o'lchash mumkin.

Odatda ikkita usuldan foydalaniladi. Birinchi usulda magnit strelkasiga yoki «sinalayotgan» tokli o'ramga ta'sir qilayotgan kuch momenti bevosita o'lchanadi.

Ikkinchi usulda esa o'rganilayotgan maydon va biror ma'lum maydonning magnit strelkasiga bo'lgan ta'sirlari solishtiriladi.

Birinchi usulga asoslangan asboblarni magnitometr, ikkinchi usulga asoslangan asboblarni tangens-bussol deb ataladi.

Tangens-bussol odatda, diametri yetarlicha katta bo'lgan qisqa g'altakdan iborat bo'ladi (100- rasm). G'altakning markazida g'altak diametri bilan ustma-ust tushuvchi vertikal o'qda magnit strelkasi joylashgan. Magnit strelkasining burilish burchagi limbdan sanaladi.

G'altakdan elektr toki oqayotganda magnit strelkasi bir paytning o'zida ikkita maydon — Yerning magnit maydoni va tok vujudga keltirgan maydon ta'sirida bo'ladi. Uning orientatsiyasi natijaviy kuchlanganlik vektori yo'nalishiga muvofiq bo'ladi. Agar g'altak o'ramlari tekisligi magnit maydon tekisligi bilan moslashtirilsa, tokning g'altak markazidagi magnit maydoni Yer magnit maydonining gorizontal tashkil etuvchisiga perpendikular bo'ladi va magnit strelkasining magnit meridiani tekisligidan og'ish burchagi tangensi (101- rasm) sodda munosabat

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H}{H_g} \quad (4a)$$

dan aniqlanadi.

Agar H A/m larda, I amperlarda, g'altak radiusi r metrlarda hisoblanganda, g'altak markazidagi maydon kuchlanganligi undagi tok maydoni asosiga aniqlanadi:

$$H = \frac{In}{2r}, \quad (*)$$

bu yerda n — g'altakdagi o'ramlar soni.

(4a) va (*) formulalarni birlashtirib,

$$H_g = \frac{In}{2r \operatorname{tg} \beta} \quad (4b)$$

ni hosil qilamiz.

2. Sistematik xatoliklar manbalari va ularni yo'qotish usullari

1. Tangens-bussol yaqinida katta ferromagnetik jismlar, o'zgarmas tokli o'tkazgichlar va hokazolar joylashgan bo'lsa, ularning magnit maydoni sezilarli o'zgarishi mumkin. Shuning uchun laboratoriyada tangens-bussolni o'rnatadigan joyni alohida nazarda tutib tanlash zarur.

2. Sanoq olinadigan limbning markazi magnit strelkasining aylanish o'qi bilan mos tushmasa og'ish burchagi β ni sanashda sistematik xatolik paydo bo'ladi. Agar strelkaning burilish burchagini sanashda uning ikkala uchi ko'rsatgan son-qiymatlarni yozib olib, burilish burchagi uchun olingan son-qiymatlarning o'rtacha arifmetik qiymati uchun

$$\beta \approx (\beta_1 + \beta_2)/2 \quad (13a)$$

qabul qilinsa, u holda sistematik xatolikning muhim qismi yo'qotilishi mumkin.

3. G'altak tekisligini magnit meridian tekisligiga ko'zda «hamalab» o'rnatiladi. Tabiiyki, bunday o'rnatish ham sistematik xato bo'lishiga olib keladi, chunki (4) munosabat maydonlar faqat o'zaro perpendikular bo'lganidagina o'rinli.

Agar strelka og'ishini g'altakdagi tok teng miqdorda qarama qarshi yo'nalishda oqib turgan ikki holda o'lchansa, yuqoridagi xatolikning katta qismini yo'qotish mumkin.

4. Oldingi mulohazalarda g'altak vujudga keltirgan maydon magnit strelka egallagan hajmda bir jinsli deb qabul qilingan edi, shuning uchun magnit strelkaga g'altak maydoni tomonidan ta'sir etuvchi aylantirish momenti quyidagicha aniqlanadi:

$$M = p H \cos \beta, \quad (43)$$

bu yerda p — strelkaning magnit momenti.

Yer maydoni tomonidan strelkaga ta'sir etuvchi aylantirish momenti:

$$M_0 = -p H_g \sin \beta.$$

Muvozanat $\bar{M} + \bar{M}_0 = 0$ bo'lganida o'rinli bo'ladi. Xuddi shu shart bajarilganda (4) kelib chiqadi. Bu yerda shuni ta'kidlab o'tmoqchimizki, agar strelkaning $2l$ uzunligi g'altakning radiusidan 10 marta kichik bo'lsa, (**) ni ishlatish bilan bog'liq bo'lgan xatolik 0,5% dan ortmaydi. Strelka uzunligi odatda 2 sm atrofida bo'lgani uchun g'altak radiusi 20 sm dan kam bo'lmasligi kerak.

3. Tasodifiy xatolikni kamaytirish

(4b) dagi barcha kattaliklardan eng kam aniqlik bilan β og'ish burchagi o'lchanadi. β ni o'lchashdagi xatolik bilan bog'liq bo'lgan H_g ni o'lchashdagi nisbiy xatolik quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{\Delta H_g}{H_g} = \frac{\Delta(\operatorname{tg} \beta)}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{2 \Delta \beta}{\sin 2 \beta}. \quad (4d)$$

$\frac{\Delta H_g}{H_g}$ kattalikning $\beta = \pi/4$ bo'lganida minimal bo'lishi (4d) dan

ko'rinib turibdi. Shuning uchun g'altakdagi tokni shunday tanlash kerakki, magnit strelkaning meridian tekisligidan og'ishi taxminan 45° bo'lsin.

O'lchash natijalarini ishlashda Yerning magnit maydonining gorizontal tashkil etuvchisining o'rtacha qiymatini

$$H_g = \langle H_g \rangle = \frac{B}{N} \sum_{i=1}^N I_i \quad (4e)$$

dan topiladi. Bunda N — o'lchashlar soni, B esa g'altakning o'ramlar soni n ga, g'altak radiusi r ga va magnit strelkasining og'ish burchaklari β larning tangensiga bog'liq kattalik.

Ishonch intervali

$$H_g = B t_\alpha(N) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\langle I \rangle - I_i)^2}{N(N-1)}} \quad (4f)$$

ga teng bo'lib, bu yerda $t_\alpha(N)$ — Styudent koeffitsiyenti.

Savollar

1. Magnit maydon kuchlanganligi va induksiya vektori nima?
2. Yer magnit maydon kuchlanganligining gorizontal tashkil etuvchisi tajribada qanday aniqlanadi?
3. Tangens-galvanometrlarning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntirib bering.
4. Magnit enkayish burchagi nima? U qanday aniqlanadi?

15- LABORATORIYA ISHI

MAGNIT MAYDON KUCHLANGANLIGI VA MAGNIT YURITUVCHI KUCHNI ANIQLASH

[№ 2, 40, 51, 63- §§]; [№ 7, 100–104, 114- §§]; [№ 3, 76, 78, 79, 81, 120- §§]; [№ 1, 40–42- §§]; [№ 19, 15- ish].

Ishning maqsadi — magnit maydon kuchlanganligining tok o'tuvchi jismning shakliga, tuzilishiga bog'liqligini va magnit yurituvchi kuchning qanday hosil bo'lishini o'rganish.

Kerakli asbob va materillar: 1. Tok manbai. 2. Potensialmetr yoki avtotransformator. 3. Ampermetr. 4. Voltmetr. 5. Toroid yoki solenoid. 6. Kalit va ulash simlari.

Ersted hamda Bio–Savar–Laplasning tokli o'tkazgich atrofida hosil bo'luvchi magnit maydonni tekshirishga ba'g'ishlangan tajribalardan quyidagi xulosalar kelib chiqadi:

a) barcha holatlarda tokli o'tkazgich atrofida vujudga keluvchi magnit maydonni xarakterlovchi magnit maydon induksiya vektori kattaligi ($\vec{B}$) tok kuchining son qiymatiga to'g'ri proporsional,

b) maydon induksiyasi o'tkazgichning shakliga va o'lchamiga bog'liq;

d) maydonning ixtiyoriy nuqtasidagi magnit induksiya kattaligi mazkur nuqtaning o'tkazgichdan qanday masofada joylashganligiga bog'liq.

Magnit maydonni xarakterlashda magnit maydon induksiya vektori bilan bir qatorda maydon kuchlanganlik vektori kattaligi ($\vec{H}$) ham kiritilib, bu kattaliklar o'zaro quyidagicha bog'langan:

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}, \quad (1)$$

bunda μ – muhitning nisbiy magnit singdiruvchanligi, μ_0 – magnit doimiysi.

Bio–Savar–Laplas qonuniga ko'ra o'tkazgichdan I tok kuchi o'tganda uning dl elementidan r masofada hosil bo'luvchi magnit maydon induksiya vektori SI sistemasida quyidagicha ifodalanadi:

$$d\vec{B} = \frac{I}{r^3} [\vec{dl} \times \vec{r}] \mu\mu_0. \quad (2)$$

$[\vec{dl} \times \vec{r}]$ vektorial ko'paytmaning moduli $rdl \sin(\angle \vec{dl}, \vec{r})$ ekanligidan, maydon induksiyasi vektorini hisoblash formulasi:

$$dB = \mu\mu_0 \frac{Idl}{4\pi^2 r^2} \sin(\angle \vec{dl}, \vec{r}). \quad (3)$$

(2), (3) formulalar Bio–Savar–Laplas birlashgan qonunining matematik ifodasi bo'lib, u o'tkazgichdan tok o'tganda hosil bo'luvchi magnit maydon induksiyasi kattaligini ifodalaydi.

Elektr toki hosil qilgan magnit maydonning kattaligi shu maydon ta'sirida bajarilishi mumkin bo'lgan ishga bog'liqdir. Bu ish esa o'z navbatida qaralayotgan maydonning magnit yurituvchi kuchiga bog'liq. Magnit yurituvchi kuch (MYK) to'la tok qonuniga ko'ra tokli o'tkazgichning simmetrik o'qidan biror x masofada olingan kontur elementi (dl)ning maydon kuchlanganlik vektoriga ikkiyaro ko'paytmasining kontur bo'yicha to'liq integraliga tengdir, ya'ni

$$\mathcal{E}_M = \oint \vec{H} d\vec{l} = I. \quad (4)$$

Odatda, to'la tok kuchi kattaligi (I) ga teng bo'lgan integral magnit yurituvchi kuch (MYK) deb ataladi. O'tkazgich N cho'lg'amli g'altakdan iborat bo'lsa, o'rtacha radiusiga teng magnit chizig'i bilan chegaralangan sirtidan o'tuvchi to'la tok $\sum_k I_k = NI$ ga teng bo'ladi. G'altakning simmetrik o'qida yotuvchi markaziy nuqtadagi maydon kuchlanganligi

$$H_x = \frac{IN}{l_x} \quad (5)$$

ga teng bo'lsa, shu nuqtadagi maydon induksiyasi va MYK mos ravishda

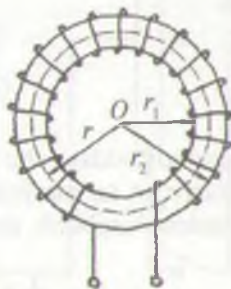
$$B_x = \mu\mu_0 \frac{IN}{l_x}, \quad (6)$$

$$\mathcal{E}_M = H_x l_x = IN \quad (7)$$

bo'ladi.

Agar g'altak toroid shaklida (103- rasm) bo'lsa, cho'lg'amlardan o'tuvchi tok kuchining hosil qilgan magnit maydoni asosan toroidning ichki qismida mujassamlangan bo'ladi. Toroidning ichki radiusi r_1 , tashqi radiusi r_2 va o'rtacha radiusi

$\bar{r} = r = \frac{r_1 + r_2}{2}$ ga teng bo'lsa, cho'l-



103- rasm.

g'amlardan tok o'tganda uning markazidagi maydon kuchlanganligi va MYK uchun r_1 , r_2 , r larga bog'liq bo'lgan qiymatlarni topish mumkin:

$$H_1 = \frac{IN}{2\pi r_1}; \quad B_1 = \mu\mu_0 \frac{IN}{2\pi r_1}; \quad \mathcal{E}_{M_1} = IN; \quad (8)$$

$$H_2 = \frac{IN}{2\pi r_2}; \quad B_2 = \mu\mu_0 \frac{IN}{2\pi r_2}; \quad \mathcal{E}_{M_2} = IN; \quad (9)$$

$$H = \frac{IN}{2\pi r}; \quad B = \mu\mu_0 \frac{IN}{2\pi r}; \quad \mathcal{E}_M = IN. \quad (10)$$

Olingan tenglamalar sistemasidan ko'rinib turibdiki, toroid markazidagi maydon kuchlanganligining r_1 , r_2 va r larga bog'liq qiymatlari bir-biridan farqli bo'lsa-da, uning shu nuqtalaridagi MYK barcha hollar uchun bir qiymatli bo'lib qolaveradi.

Toroid o'zagining materiali ferromagnetik modda bo'lganda unda hosil bo'luvchi magnit oqimi

$$\Phi = BS \quad (11)$$

formuladan, ferromagnetik bo'lmaganda esa

$$\Phi_0 = B_0 S \quad (12)$$

formuladan hisoblanadi. Toroiddan elektr toki o'tganda hosil bo'luvchi magnit qarshilik va magnit o'tkazuvchanlik quyidagi formulalardan topiladi:

$$R_M = \frac{2\pi x}{\mu\mu_0 S}, \quad (13)$$

$$G_M = \frac{1}{R_M} = \frac{\mu\mu_0 S}{2\pi x}. \quad (14)$$

Agar toroiddagi cho'lg'amlar soni N va uning ichki va tashqi radiuslari r_1 , r_2 lar mavjud bo'lsa, toroidning induktivligini quyidagi formuladan hisoblash mumkin:

$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2 (r_2 - r_1)}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (15)$$

Tajriba qurilmasida toroidning cho'lg'amlari uchiga beriladigan kuchlanganlik va tok kuchini kuzatish uchun voltmetr hamda ampermetrdan foydalanamiz. Zanjirdagi potensiometr tok kuchi va kuchlanishni boshqarish uchun xizmat qiladi.

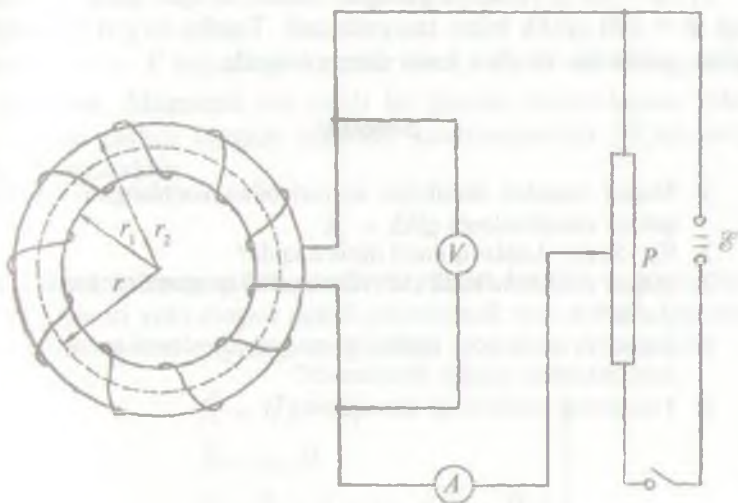
O'lchashlar

Ishni boshlashdan oldin toroidning ichki, tashqi va o'rtacha radiuslarini bir necha marta shtangensirkul yoki chizg'ich yordamida o'lchab, ularning o'rtacha qiymatlari topiladi. O'ramlar soni uning o'zida yoki pasportida yozilgan bo'ladi.

1. Tajriba qurilmasining elektr sxemasi 104- rasmda ko'rsatilgandek qilib yig'iladi.

2. Yig'ilgan zanjirning to'g'riligi tekshirilgach, kalit ulanadi va ampermetrning ko'rsatishi potensiometr yordamida minimumga keltiriladi.

3. Ampermetr potensiometrning jilgichini siljitishdagi I_1 , I_2 , I_3 , ... ko'rsatishlaridan foydalanib, (8)–(10) formulalar yordamida toroid markazidagi maydon kuchlangaligi topiladi.



104- rasm.

4. MYK hisoblanadi va $H = f(I)$ hamda $\mathcal{E}_M = f(I)$ funksiya grafigi chiziladi.

5. Magnit maydon kuchlanganligining tajribadan topilgan har bir qiymati uchun magnit induksiya kattaligi aniqlanib, $B = f(I)$ funksiya grafigi chiziladi.

6. Toroid o'zagi materialini bilgan holda (11) va (12) formulalardan foydalanib, magnit oqimi hisoblanadi va $\Phi = f(I)$ funksiya grafigi chiziladi.

7. Toroid sim o'ramlarining qarshiligini ampermetr va voltmetr ko'rsatishlaridan aniqlab, (13) va (14) formulalar yordamida magnit qarshilik, shuningdek, magnit o'tkazuvchanlik hisoblanadi. Magnit qarshilik kattaligi o'tkazgich simining qarshiligi bilan taqqoslanadi va izohlanadi.

8. Toroidning induktivligi hisodlanadi.

9. x ning $x \leq r_2$ va $x \geq r_1$ oraliqdagi qiymatlari uchun (5) formulalar yordamida magnit maydon kuchlanganligi hisoblanadi. Hisoblash natijalari H_x ning x ga bog'lanish $H_x = f(x)$ grafigi chiziladi.

10. Tajriba natijalaridan foydalangan holda $B = f(H)$ funksiya grafigini chizib, magnitlash egri chizig'i olinadi.

11. $\Phi = f(\mathcal{E}_M)$ funksiya grafigini chizib, olingan natija 6-band-dagi $\Phi = f(B)$ grafik bilan taqqoslanadi. Tajriba to'g'ri bajarilgan bo'lsa, grafik bir-biridan katta farq qilmaydi.

Savollar

1. Magnit maydon induksiya vektori bilan kuchlanganlik vektori qanday xususiyatlarga ega?
2. Bio-Savar-Laplas qonuni nima haqida?
3. Magnit yurituvchi kuch (MYK) nima? U qanday fizik kattaliklarga bog'liq?
4. Toroid va unda hosil bo'luvchi magnit maydonni xarakterlovchi fizik kattaliklar qanday ifodalanadi?
5. Toroidning induktivligi nimaga teng?

MODDALARNING MAGNITLANISH EGRI CHIZIG'INI OLISH

[№ 2, 61, 74-77, 79- §§]; [№ 7, 115, 116, 130, 132-136- §§];
[№ 3, 103-107, 109-110- §§]; [№1, 43, 44- §§]; [№ 19, 16- ish].

Ishning maqsadi — moddlar magnitlanish xossasi ularning tabiatiga va tashqi ta'sirga bog'liqligini o'rganish.

Agar magnit maydonga joylashtirilgan moddalar maydonga ta'sir ko'rsatish xossasiga ega bo'lsa, ular magnetiklar deb ataladi. Magnit maydonga joylashtirilgan magnetiklar magnitlash intensivligi, ya'ni magnitlash darajasiga qarab ferromagnit, paramagnit va diamagnit moddalarga bo'linadi. Magnetiklar magnit maydonga kiritilganda ularning magnitlanish vektori ($\vec{P}$) quyidagicha munosabat bilan ifodalanadi:

$$\vec{P} = \lim_{V \rightarrow 0} \left(\frac{1}{V} \sum_{k=1}^n \vec{P}_k \right) \quad (1)$$

bunda n — V hajmdagi zarralar soni, $\vec{P}_k$ — zarraning magnit momenti. Magnetik bir jinsli bo'lganda magnitlanish vektori berilgan tashqi magnit maydon kuchlanganligi (H_0)ga to'g'ri proporsionaldir:

$$\vec{P}_k = \kappa \vec{H}_0. \quad (2)$$

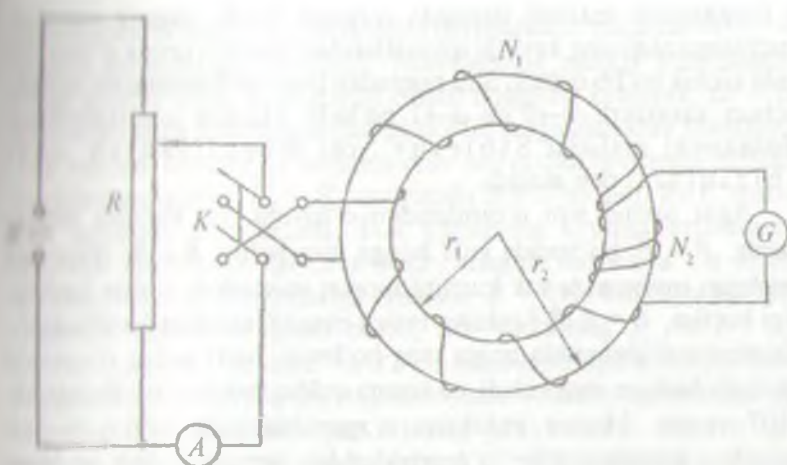
Berilgan magnetikni xarakterlaydigan kattalik κ magnitlanish koefitsienti yoki *magnit qabul qiluvchanlik* deb ataladi. Umuman, magnit maydon quyidagi tenglamalar orqali xarakterlanadi:

$$\left. \begin{aligned} \vec{H} &= \vec{H}_0 + \vec{H}_1 \\ \vec{B} &= \mu\mu_0 \vec{H} \\ \vec{B} &= \vec{B}_0 + \vec{B}_1 = \mu\mu_0 (\vec{H}_0 + \vec{H}_1) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

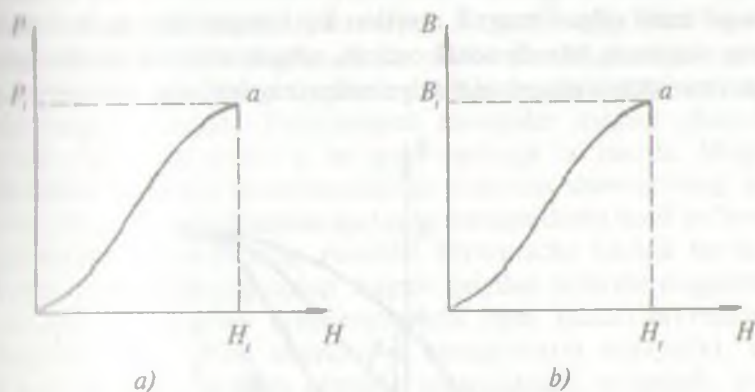
Bu tenglamalardagi $\vec{H}_0$ va $\vec{B}_0$ vektorlar tok hosil qilgan magnit maydonni xarakterlasa, $\vec{H}_1$ va $\vec{B}_1$ vektorlar magnetikka tok ta'sir etganda hosil bo'ladigan magnit maydonni xarakterlaydi.

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}$ kattalik magnit doimiysi deb, $\mu = 1 + 4\pi n\kappa$ magnitlikning vakuumga nisbatan magnit singdiruvchanligi deb ataladi. κ hamda μ kattaliklar magnetiklarning asosiy xarakteristiklari bo'lib, diamagnetiklar uchun $\kappa < 0$, $\mu < 1$; paramagnetiklar uchun $\kappa > 0$, $\mu > 1$; va ferromagnetiklar uchun $\kappa \gg 1$, $\mu \gg 1$. Ferromagnit moddlar tashqi magnit maydon olingandan keyin ham magnitlanganligicha qoladi. Magnitlanish koeffitsiyenti va magnit singdiruvchanlik kabi parametrlar doimiy bo'lmagan, ularning son qiymatlari tashqi maydonning funksiyasi sifatida o'zgarib turadi va buning natijasida maydonning induksiyasi hamda kuchlanganligi ortadi. Haqiqatan ham, agar κ yoki μ kattaliklar o'zgarmas bo'lganda edi $B = \mu\mu_0 H$, shuningdek $P = \kappa H_0$ lar to'g'ri proporsionallik qonuniga muvofiq o'zgarar va bu bog'lanish koordinatalar boshidan chiquvchi qiya to'g'ri chiziqdan iborat bo'lar edi. Lekin A.G. Stoletov olib borgan tadqiqotlar ferromagnitning magnitlanish jarayoni grafik ravishda har bir ferromagnit modda uchun xarakterli bo'lgan egri chiziq bilan ifodalanishini ko'rsatadi. A.G. Stoletovning ferromagnetiklarning magnit xossasini kuzatishga mo'ljallangan qurilmasining elektr sxemasi 105- rasmda keltirilgan.

Bu sxema $\mathcal{E}$ tok manbayi, R reostat, A ampermetr, K kommutator, birlamchi N_1 o'ramli va ikkilamchi N_2 o'ramli toroid (solenoidlar sistemasi), shuningdek, induksion tok kattaligini o'lchaydigan G ballistik galvanometr dan tashkil topgan. Toroidning o'zagi ferromagnit materialdan, xususan, yumshoq temirdan tayyorlangan. Stoletov tajribasidan olingan magnitlanish vektori $\vec{P}$ va magnit induksiya vektori $\vec{B}$ ning maydon kuchlanganlik vektori $\vec{H}$ bilan bog'lanish grafigi 106-*a, b* rasmda berilgan.



105- rasm.

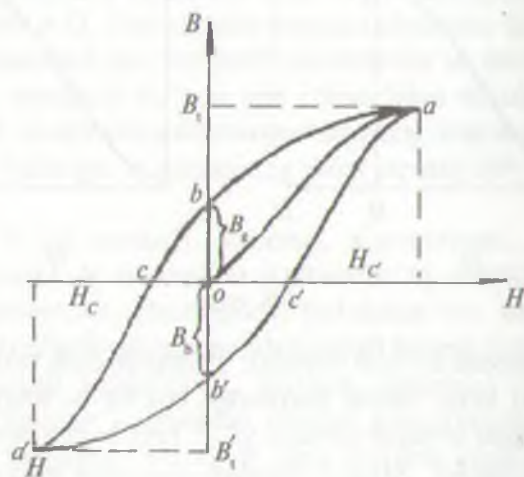


106- rasm.

Bu rasmdan ko'rinib turibdiki, $\vec{P}$ magnitlanish vektori $\vec{H} = \vec{H}_t$ qiymatdan keyin tashqi maydonga bog'liq bo'lmay qoladi. Bu hodisa *magnit to'yinish* deyiladi va $\vec{P}$ ning bunga mos qiymati $\vec{P}_t$ bilan belgilanadi. Magnit maydon induksiya vektori $\vec{B}$ tashqi maydon kuchlanganlik vektori $\vec{H}$ ning qiymati ortishi bilan biron

a nuqtagacha sezilarli darajada o'zgarib borib, magnit maydon kuchlanganligining keyingi qiymatlaridan boshlab uning o'zgarishi juda kichik bo'lib qoladi. Shu nuqtadan boshlab ferromagnit moddalar uchun xarakterli $\kappa \rightarrow 0$ da $\mu \rightarrow 1$ bo'ladi. Mazkur bog'lanishlarni ifodalovchi grafiklar Stoletov yoki magnitlanish egri chiziqlari deb ataladi.

Agar toroid sim o'ramlaridan o'tuvchi tok kuchini o'rtirib borib, $\vec{P} = \vec{P}_1$ bo'lganda yoki bunga mos holda $\vec{B} = \vec{B}_1$ qiymatga erishgan momentda tok kuchini reostat yordamida ohista kamaytirib borilsa, $B = f(H)$ funksiya tashqi magnit maydon kuchlanganligining nol qiymatida nolga teng bo'lmay, balki uning o'zgarishi ab egri chiziqqa mos keladi. ob kesma qoldiq induksiyaning ifodalaydi (107- rasm). Magnit induksiya o'zgarishlarining tashqi magnit maydon kuchlanganligi o'zgarishlaridan orqada qolish hodisasi *gisterezis* deyiladi. K kommutator vositasida (107- rasimga q.) tokning yo'nalishi o'zgartirilsa (tok bu yo'nalishda manfiy deb olinadi), toroid hosil qilgan magnit maydon kuchlanganligining yo'nalishi ham o'zgaradi. Manfiy tokni o'rtirib, magnit maydon kuchlanganligini toroiddagi magnit induksiya nolga teng bo'ladigan oc qiymatga



107- rasm.

yotkazimiz. Manfiy tok yana orttira borilganda a' nuqtada $\vec{B}'_1 = -\vec{B}_1$ tenglik bajarilishiga erishiladi. Maydonning manfiy kuchlanganligini manfiy tokni kamaytirish orqali nolgacha keltirsak, $ob = ob'$ kesma berilgan ferromagnetikdagi qoldiq magnitlanishni ifodalaydi. Tok kuchini musbat yo'nalishda olib, uni orttira borganda maydon kuchlanganligining $H_0 = H'_0$ qiymatida $B = 0$ bo'ladi. Bu o'zgarish $b'b'$ kesmaga mos keladi. Tok kuchining keyingi ortishlarida maydon kuchlanganligi orta borib, magnit induksiya $c'a$ kesma bo'ylab o'zining B_1 qiymatiga erishadi. $B = f(H)$ funksiya $H = f(B)$ funksiya sifatida o'zgarib borib, tok kuchining $I_{\min} \leq I \leq I_{\max}$ qiymatlari oralig'ida $abca'$ va $a'b'c'a$ simmetrik egri chiziqlar bilan chegaralangan egri sirt ko'rinishini oladi. Odatda, aynan shu egri chiziqlar bilan chegaralangan sirtmoq gisterezis sirtmog'i deb ataladi. $P = f(H)$ funksiyaning $H = f(B)$ funksiya sifatida o'zgarishi ham shakl jihatidan $B = f(H)$ funksiyaning o'zgarishiga olib keladi. Tajribalarda magnit egri chizig'i yoki $B = f(H)$ funksiyaning ifodalarini olish uchun $\vec{B}$ va $\vec{H}$ vektorlarning son qiymatlarini bilish talab qilinadi. Ko'pincha ferromagnetiklar uchun xarakterli bo'lgan gisterezis sirtmog'i elektron ossilloqraf vositasida tajribada kuzatiladi. Ferromagnit moddalar magnit jihatidan yumshoq va qattiq bo'lgan turlarga bo'linadi. Magnit jihatidan yumshoq ferromagnitlarda gisterezis sirtmog'ining yuzi ($abca'b'c'a$) magnit jihatidan qattiq ferromagnitlarda hosil bo'luvchi gisterezis sirtmog'ining yuzidan birmuncha kichik bo'ladi. Ferromagnetiklarning tashqi magnit maydon ta'sirida magnitlash xossasi har qanday temperaturada ham kuzatilavermaydi. Ferromagnit uchun shunday θ temperatura mavjudki, shu temperaturadan boshlab ularning magnitlanishi yo'qoladi, ya'ni tashqi magnit maydonni keyingi har qanday o'zgartirishda magnitlanish qayta namoyon bo'lmaydi. Ferromagnit moddalarning magnitlanishi temperatura ortishi bilan kamayib borib, u temperaturaning biron aniq qiymatidan boshlab yo'qolishi fransuz fizigi P. Kyuri tomonidan aniqlangani uchun bu temperatura Kyuri temperaturasi yoki *Kyuri nuqtasi* deb ataladi. Kyuri nuqtasidan yuqori temperaturada ferromagnit moddalar paramagnit moddalar xossasiga ega bo'ladi. Paramagnetiklarda magnitlanish koef-

fitsienti κ ning temperaturaga bog'lanishi $\kappa_p = f(T^{-1})$ funktsiya sifatida ifodalansa, paramagnetikka o'tgan ferromagnetiklarda esa $\kappa_f = f[(T - \theta)^{-1}]$ funktsiya sifatida ifodalaniladi. Moddalarning magnitlanish koeffitsientlari quyidagi formulalardan hisoblanadi:

$$\kappa_p = \frac{C}{T} \quad \text{va} \quad \kappa_f = \frac{C}{T - \theta},$$

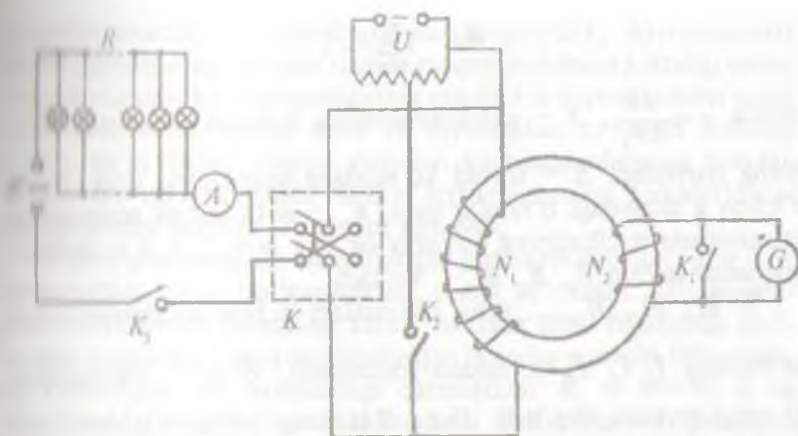
bunda C — berilgan para- yoki ferromagnetik uchun o'zgarmas kattalik bo'lib, uni *Kyuri doimiysi* deyiladi. θ ning son qiymati turli ferromagnetiklar uchun turlichadir. Masalan, u sof temir ferro-magnetik uchun 1041 K ga teng bo'lsa, nikel uchun 638 K ga teng. Ferromagnetiklarning Kyuri nuqtasiga ega bo'lishi kvant mexanikasi bo'yicha ferromagnit modda tarkibidagi elektronlar xususiy magnit momentlarining tashqi magnit maydon ta'sirida spontan oriyentatsiyalanishi bilan izohlanadi. Kyuri nuqtasida molekulalarning xaotik harakatdagi kinetik energiyasi keskin ortganligidan, magnitlangan sohalarning ferromagnetiklarga xos tashqi magnit maydon ta'sirida spontan oriyentatsiyalanishi kuzatilmaydi. Natijada magnitlanish yo'qolib, ferromagnetiklar paramagnetiklarning xossasiga ega bo'ladi. Mazkur ishda ferromagnetiklarning magnitlanish egri chizig'ining temperaturaga bog'liq holda o'zgarishini tajribada kuzatish bilan chegaralaniladi.

1- mashq

Magnitlanish egri chizig'ini hamda gisterezis sirtmog'ini Stoletov tajribasi asosida olish

Kerakli asbob va materiallar: 1. Lampali reostat. 2. Ampermetr. 3. Galvanometr. 4. Birlamchi va ikkilamchi o'ramlar soni ma'lum bo'lgan toroid. 5. Avtotransformator. 6. K_1 , K_2 , K_3 kalitlar. 7. Ikki yoqlama kalit.

Tajriba qurilmasining elektr sxemasi 108- rasmda ifodalangan. Toroidning birlamchi o'rami lampali R reostat yordamida o'zgarmas tok manbayiga ulanadi. K ikki yoqlama kalit yordamida toroid g'altagi o'ramidan oquvchi tokning yo'nalishi navbat bilan o'zgar-



108- rasm.

urib turiladi. Toroid ikkinchi N_2 o'ramli uchiga K_3 kalit va o'lchash galvanometri parallel qilib ulanadi. Toroid o'zagidagi mavjud qoldiq magnitlanishni yo'qotish uchun K ikki yoqlama kalit uziladi, so'ngra K_1 va K_2 kalitlarni ulash bilan avtotransformator tok manbayiga qo'shiladi. So'ngra K_1 va K_2 kalitlarni uzib, avtotransformatorning sini o'zgaruvchan tok manbayidan uzib qo'yiladi. Shu bilan qurilma ishga tayyor bo'ladi.

Ishni bajarish tartibi

1. Zanjirni o'zgarmas tok manbayiga ulashdan oldin galvanometrning ko'rsatishi aniqlab olinadi, lampali reostatni tashkil qilgan barcha lampalar yonmaydigan qilib olinadi, K ikki yoqlama kalit ma'lum bir tomonga ixtiyoriy ulanadi va tok kuchining shu ulashga mos yo'nalishi hamda $\vec{B}$, $\vec{H}$, $\vec{P}$ larning yo'nalishi, garchi shartli bo'lsa-da, musbat yo'nalish deb olinadi. So'ngra lampali reostatni munbaga ulab, ampermetrning ko'rsatishi I_0 ga mos kelgan galvanometr strelkasining ko'rsatishi belgilab olinadi.

2. Birinchi, ikkinchi va h. k. lampalarni zanjirga qo'shilgan vaqtdagi ampermetr va galvanometrlarning ko'rsatishlari alohida-alohida yozib olinadi. m ta lampochka yongan vaqtdagi magnit induksiya vektorining son qiymati quyidagicha topiladi:

$$B_n = \gamma \sum_{m=1}^n n_m ,$$

bunda $\gamma = \frac{AR}{SN_2}$, A – galvanometrning ballistik doimiysi, R – uning qarshiligi, S – toroid ko'ndalang kesimining yuzi, N_2 – o'lchov g'altigidagi o'ramlar soni, n_m – m ta lampa yongandagi galvanometr strelkasining umumiy og'ishi. $m = 1, 2, 3$ va hokazo qiymatlar uchun $B_1, B_2, B_3, \dots$ bo'ladi.

3. $H_1, H_2, H_3, \dots$ ning qiymatlari uchun ampermetrning ko'rsatishi $I_1, I_2, I_3, \dots$ lardan foydalanib, $H = \frac{IN}{I}$ formuladan H ning qiymati topiladi. H va B larning topilgan qiymatlari dan foydalanib, millimetrli qog'ozga $B = f(H)$ ning grafigi chizilsa 106- rasmdagi grafik yoki 107- rasmdagi oa egri chiziq olinadi.

4. Lampalarni birin-ketin o'chirib 107- rasmdagi ab chiziq olinadi.

5. Barcha lampalar o'chiq holatda K ikki yoqlama kalitni uzib, boshqa tomonga ulanadi. Yuqoridagi ishlarni qayta bajarish bilan (bunda galvanometr strelkasi teskari tomonga og'ganligidan, uning manfiy qiymati olinadi) $bc, ba', a'b', b'c'$ va nihoyat, $c'a$ magnitlanish egri chiziqlari olinadi.

2- mashq

Ossillograf vositasida magnitlanish egri chizig'ini hamda gisterezis sirtmog'ini kuzatish

Kerakli asbob va materiallar: 1. Reostat yoki LATR. 2. Qarshiliklar. 3. O'ramlar soni N_1 va N_2 bo'lgan toroid yoki maxsus transformator. 4. Kondensator. 5. Elektron ossillograf. 6. Ulash simlari.

Ferromagnetiklarning tashqi magnit maydon ta'sirida magnitlanish egri chizig'ini va ularda namoyon bo'luvchi qoldiq magnitlanishga asoslangan gisterezis sirtmog'ini ossillograf yordamida

buqtatish mumkin. Yuqorida qayd qilinganidek, ferromagnetik moddalarning magnitlanish hamda magnit induksiya kattaligi tashqi magnit maydon kuchlanganligining eng kichik qiymatlaridan tezlik bilan orta borib, uning biror H_1 qiymatidan to'yinish holatiga o'tadi, ya'ni tashqi magnit maydon kuchlanganligining bundan keyingi har qancha ortishi mazkur ferromagnetikni xarakterlovchi parametrlarni sezilarli o'zgartira olmaydi.

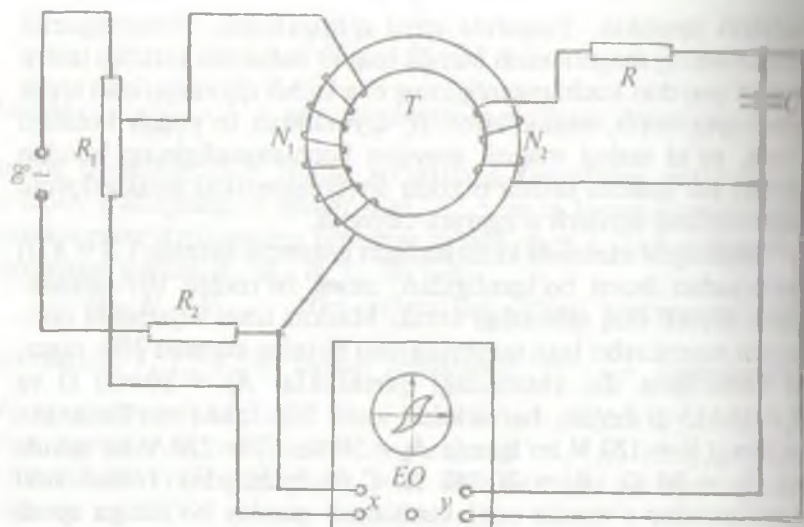
Ossilloqraf ekranida kuzatiladigan gisterezis sirtmog'i $B = f(H)$ funksiyadan iborat bo'lganligidan, uning ko'rinishi 107-rasmdagidan deyarli farq qilmasligi kerak. Mazkur ishni bajarishda qo'llanishi mumkin bo'lgan qurilmalardan birining sxemasi 109-rasmda keltirilgan. Bu sxemadagi qarshiliklar $R_1 = 50 \div 90 \, \Omega$ va $R_2 = 10 \div 15 \, \Omega$ bo'lib, har ikkalasi ham 5 A tokka mo'ljallangan bo'lsin. ($U = 127 \, \text{V}$ bo'lganda $R_2 = 50 \, \Omega$, $U_2 = 220 \, \text{V}$ bo'lganda esa $R_1 = 90 \, \Omega$, $R_2 = 30 \div 40 \, \Omega$, $C = 2 \div 20 \, \mu\text{F}$.) Toroid yoki transformator o'ramlar soni kuchlanish qanday bo'lishiga qarab tanlab olinadi. ($U = 127 \, \text{V}$ bo'lganda birlamchi o'ramning taxminan 24 V ga ikkilamchi o'ramning 120 V ga moslab olinishi tajribani aniq bajarish uchun qulay bo'ladi).

Agar qurilmadagi toroid yoki maxsus transformatorning N_1 birlamchi o'ramiga kuchlanish LATR yordamida uzatilsa, u holda R_1 reostatning zaruriyati bo'lmay, $\sim 127 \, \text{V}$ yoki $220 \, \text{V}$ manbalardan bevosita foydalanish mumkin bo'ladi. $B = f(H)$ funksiya o'z qiymatini saqlashi uchun ossilloqraf bilan induksiya EYK hosil bo'luvchi o'ramlar oralig'iga $RC > T$ shart bajariladigan qilib, RC integrallovchi moslama kiritilgan (T — o'zgaruvchan tokning tebranish davri). Ikkilamchi cho'lg'amda hosil bo'ladigan induksiya EYK quyidagi formula orqali topiladi:

$$\mathcal{E} = -S \frac{dB}{dt} N_2.$$

Hosil bo'lgan EYK 109-rasmda ko'rsatilgandek, ossilloqrafning vertikal kirishiga RC integrallovchi qism vositasida beriladi. Chunki EYK magnit maydon induksiyasiga emas, balki uning vaqt bo'yicha o'zgarish tezligiga (dB/dt) proporsionaldir. Agar

$R \gg \frac{1}{C\omega}$ ($\frac{1}{C\omega}$ sig'im qarshilik) bo'lsa, ya'ni kondensatorning reaktiv



109- rasm.

qarshiligi aktiv qarshilik R dan ko'p marta kichik bo'ladigan qilib oldindan tanlab olinsa, Kirxgof qonuniga binoan induksion tokning kattaligini topish mumkin:

$$i = \frac{\mathcal{E} - U_y}{z} = \frac{\mathcal{E}}{R}, \quad (z = R).$$

Vaqtning noldan t gacha bo'lgan oralig'ida magnit induksiya-ning qiymati noldan B gacha o'zgarishi ma'lum deb olinganda zaryad miqdori quyidagicha ifodalanadi:

$$dq = idt; \quad q = \int_0^t idt = \int_0^t \frac{\mathcal{E}}{R} dt = -\frac{1}{R} \int_0^B SN_2 \frac{dB}{dt} dt = -\frac{SN_2}{R} B.$$

Sxemaning chiqishidagi kuchlanish sig'im formulasidan bevosita aniqlanadi, ya'ni:

$$U_y = \frac{q}{C} = -\frac{SN_2}{RC} B. \quad (4)$$

N_1 birlamchi o'ramdan oqib o'tuvchi I tok kuchining toroid yoki maxsus transformator markazida hosil qilgan magnit maydon kuchlanganligining son qiymati 15-laboratoriya ishidagi (8) formulaga ko'ra

$$H = \frac{N_1}{l} I = \frac{N_1}{2\pi r} I$$

bo'ladi, bunda $2\pi r$ — toroid yoki transformator birlamchi o'ramlari o'ralgan qismining uzunligi. Ossillografning gorizontall og'diruvchi plastinkalariga uzatiladigan kuchlanish R_1 qarshilik uchlaridagi potentsiallar tushuviga teng:

$$U_x = IR_1.$$

I tok kuchining o'zi hosil qilgan magnit maydon kuchlanganligidan foydalansak, U_x uchun quyidagi natijaviy tenglikni yozish mumkin:

$$U_x = \frac{IR_1}{N_1} H. \quad (5)$$

H hamda B lar (5) va (4) formulalar orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$H = \frac{N_1}{IR_1} U_x, \quad B = \frac{RI}{SN_2} U_y \quad (6)$$

o'zgaruvchan tokdan foydalanilayotganligidan H hamda B larning qiymatlari davriy ravishda o'zgarib, ossillograf ekranida to'la gisterezis sirtmog'i kuzatiladi. Gisterezis sirtmog'i koordinatalari n_x, n_y larni hamda har bir uzunlik birligiga mos keluvchi u_x, u_y ni aniqlab:

$$U_x = n_x u_x \quad \text{va} \quad U_y = n_y u_y$$

formulalardan foydalangan holda H, B larni topishimiz mumkin:

$$H = k_x u_x, \quad B = k_y u_y,$$

bunda

$$k_x = \frac{N_1 n_x}{IR_1}, \quad k_y = \frac{IR n_y}{SN_2}. \quad (7)$$

Arap R , R_1 qarshiliklar omlarda, C sig'im faradada, S yuz m^2 da, n_x , n_y volt taqsim bo'limlarda ($V/(bo'l)$) olinsa, H kuchlanganlik A/m da, B magnit induksiya esa Wb/m^2 birliklarda o'lchanadi.

Ishni bajarish tartibi

1. 109- rasmda ko'rsatilgan elektr sxemani yig'ib, uning to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilingandan keyin ossillograf simi saqlagichning vaziyatiga qarab, 127 V yoki 220 V li tok manbayiga ulanadi. 3—4 minut vaqt o'tgach, toroidning birlamchi o'rami tok manbayiga ulanadi. Ossillograf ekranida hosil bo'lgan egri chiziq turg'un hamda ravshan bo'lgandan so'ng, uni simmetrik joylashtiriladi. Nurni fokuslash, x va y o'qlar bo'ylab siljitish, so'ngra n_x , n_y larni topishda qo'llanuvchi millimetrli to'r ossillograf ekrani ustiga o'rnatiladi. Tasvirning aniq bo'lishiga avval R_1 , so'ngra R_2 qarshiliklarni o'zgartirish bilan erishiladi.

2. Gisterezis sirtmog'i aniq hosil qilingandan keyin R_1 reostatning vaziyatini o'zgartirib, sirtmoqning o'lchamlari ossillograf ekranidan biroz kichikroq bo'lgunicha o'zgartiriladi va koordinatalari aniqlanadi (koordinatalarni aniqlash oson bo'lishligi uchun sirtmoq markazi koordinata boshiga joylashtiriladi).

3. Reostat yordamida kuchlanishni o'zgartirib, yangi hosil qilingan gisterezis sirtmoqlarining koordinatalari yozib boriladi. Kuchlanishning ma'lum qiymatida sirtmoq nuqtaga aylanadi.

4. Kuchlanishni shu minimum qiymatidan oshira borib, birinchi holdagi har bir kuchlanishga mos kelgan qiymatlar uchun kuzatilayotgan gisterezis sirtmog'ining koordinatalari qayta aniqlanadi.

5. Birinchi va ikkinchi tajribalardan topilgan n_h va n_y qiymatlarning har bir gisterezis sirtmog'i uchun o'rtacha qiymati topilib, k_x hamda k_y , so'ngra ularga mos keluvchi H , B lar hisoblanadi.

6. (3) formuladagi μ_0 koeffitsient o'zgarmas bo'lganligidan, H hamda B larning tajribada olingan qiymatlariga asosan toroid yoki transformator o'zagining materiali uchun $\mu = f(H)$ funksiya grafigi chiziladi.

3- mashq

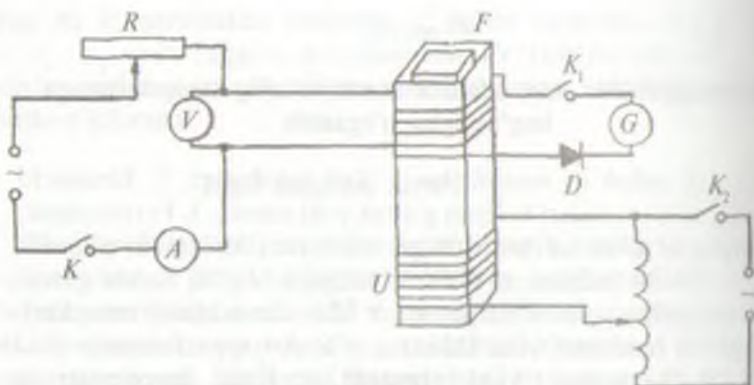
Ferromagnetiklar magnitlanish xususiyatining temperaturaga bog'liqligini o'rganish

Kerakli asbob va materiallar: 1. Tok manbalari. 2. Birlamchi va ikkilamchi o'ramlari bo'lgan g'altak yoki toroid. 3. Ferromagnit. 4. Induksion tokni ko'rsatuvchi galvanometr (ikkilamchi o'ramda hosil bo'luvchi induksion EYK kattaligiga bog'liq holda galvanometrni mikro yoki milliampermetr bilan almashtirish mumkin). 5. Isitgichli termostat yoki kalorimetr. 6. Avtotransformator yoki IATR. 7. Termometr yoki termojuft. 8. Kalit, ampermetr va voltmetr. 9. Reostat va ulash simlari.

Ferromagnetiklar magnitlanish koeffitsientining temperaturaga bog'liqligini kuzatish maqsadida qo'llanilishi mumkin bo'lgan qurilmalardan birining elektr sxemasi 110- rasmda ko'rsatilgan. G'altak birlamchi- o'ramining uchlariga uning chap tomonida yig'ilgan elektr sxema ulansa, g'altakning ikkilamchi o'ram uchlariga uning o'ng tomonida yig'ilgan sxema ulanadi. K_1 kalit ulanganda D diod orqali ulangan G galvanometr induksion tokni ko'rsatadi. R reostat yordamida galvanometr ko'rsatishi minimumga keltirilgach, F ferromagnit o'zak g'altak ichiga tushiriladi. Ferromagnit o'zak tushganda galvanometr ko'rsatishi ortadi, bundan keyin g'altakning birlamchi o'ramiga beriluvchi kuchlanish o'zgarmas saqlansa, unga mos galvanometr ko'rsatishi ham o'zgarmaydi. Xona temperaturasiidagi galvanometrning ko'rsatishi belgilanib, U isitgich avtotransformator orqali tok manbayiga ulanadi. Isitgichdan uzatiluvchi issiqlik energiyasi ta'sirida ferromagnit o'zakning magnitlanishi kamayadi va buning natijasida galvanometrning strelkasi o'zak bo'lmagandagi vaziyat tomon siljiydi.

O'lchashlar

1. 110- rasmda ko'rsatilgan tajriba qurilmasining elektr zanjiri yig'iladi. R reostatning jilgichi eng katta qarshilik bo'ladigan holatda o'rnatiladi.



110- rasm.

2. K , K_1 , K_2 kalitlar ulanib, induksion tok kattaligi minimum qiymatga keltiriladi va shu vaqtdagi ampermetr, voltmetr hamda galvanometrlarning ko'rsatishi yozib olinadi.

3. G' altak ichiga ferromagnit o'zak tushiriladi va ampermetr, voltmetr hamda galvanometr ko'rsatishlari belgilab olinadi. Galvanometr strelkasining ayni paytdagi o'zgarishi laboratoriya temperaturasiidagi g' altak ichiga ferromagnit tushirilganda hosil bo'ladigan qo'shimcha induksion tok kattaligini ifodalaydi va uni $\Delta i = \Delta n i_0$ deb olinadi. Bunda Δn g' altak ichiga ferromagnit tushirilganda galvanometr strelkasining dastlabki vaziyatiga nisbatan qancha bo'limga siljiganligini ko'rsatadi, i_0 — bitta bo'limga mos keluvchi tok kuchi, $\Delta i_1 = i_1 - i_0 = (n_1 - n_0) i_0 = \Delta n \cdot i_0$.

4. Termometr yoki termojuft g' altak ichidagi ferromagnitning taxminan o'rtasiga tegib turadigan qilib o'rnatiladi, so'ngra zanjirning isitgichli qismi yig'iladi.

5. K_2 kalitni ulab, galvanometr strelkasining har bir birlik oraliqqa o'zgarishiga mos kelgan termometr (termojuft) ko'rsatishi belgilab boriladi.

6. Induksion tokning son qiymati ferromagnit o'zak qiziganda kamaya borganligidan, Δn kattalik $\Delta n_1 > \Delta n_2 > \Delta n_3$ va h. k. ko'rinishda o'zgaradi. Tajriba T ning yetarlicha katta Δn qiymatlari uchun davom ettirilib, $\Delta n = f(T)$ funksiya grafigi millimetrli qo'zg'ozga chiziladi. Tajriba davomida ampermetr ko'rsatishi o'zgarmas saqlanadi.

Savollar

1. Magnetiklar nima? Ular qanday turlarga bo'linadi?
2. Magnitlanish deb nimaga aytiladi?
3. Stoletov tajribasining mazmuni nimadan iborat?
4. Gisterezis sirtmog'i nima?
5. Gisterezis sirtmog'ini ossillografda qanday qilib kuzatish mumkin?
6. Ferromagnetiklar magnitlanishining temperaturaga bog'liqligini tushuntiring.
7. Uni tajribada qanday olinadi?

17- LABORATORIYA ISHI

XOLL EFFEKTINI O'RGANISH

[№ 2, 98- §]; [№ 7, 154- §]; [№ 3, 150- §]; [№ 1, 73- §]; [№ 19, 17- ish].

Ishning maqsadi — birinchi tip o'tkazgichlardagi zaryad tashuvchilarga elektr va magnit maydonlarning ta'sirini o'rganish.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Tok manbai. 2. Plastinka yoki sterjen shaklidagi metall o'tkazgichlar. 3. Sezgir galvanometr. 4. Ampermetr. 5. Doimiy magnit. 6. Kalit va ulash simlari.

Harakatdagi zaryadli zarraga tashqi magnit maydonning ta'siri Lorents tomonidan tekshirilib, ular orasidagi bog'lanish quyidagicha ifodalangan:

$$\vec{F} = q[\vec{v} \cdot \vec{B}]. \quad (1)$$

Bu Lorens kuchi deyiladi. Elektron uchun (1) quyidagi

$$\vec{F} = e[\vec{v} \cdot \vec{B}]$$

ko'rinishga ega bo'ladi. Bu kattalik jihatidan bitta elektronga tashqi magnit maydonning ta'sir kuchini ifodalaydi. Lorents kuchining yo'nalishi zaryadning qanday ishorali ekanligiga bog'liq. U har

doim tezlikning yo'nalishiga perpendikulyar bo'lib, zaryadli zarralar (elektron) harakatlanish trayektoriyasi egri chizig'ining markaz tomon yo'nalgan bo'ladi. Elektronning tezligi bilan magnit maydon induksiya vektorining yo'nalishlari orasidagi burchakni α deb belgilasak, Lorents kuchining moduli quyidagicha hisoblanadi:

$$F_L = evB \sin(\vec{v} \hat{\vec{B}}) = evB \sin \alpha. \quad (2)$$

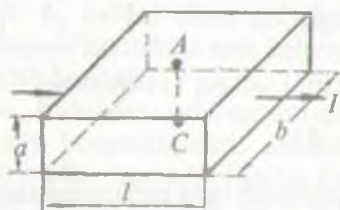
Zaryad elektr va magnit maydonda harakatlansa, umumiy kuch quyidagicha ifodalanadi:

$$F = e[\vec{v} \hat{\vec{B}}] + e\vec{E} = \vec{F}_L + \vec{F}_e, \quad (3)$$

bunda F_e — elektr maydonning elektronga ta'sir kuchi. Tokli o'tkazgichdagi elektronlar tashqi magnit maydon ta'sirida o'z harakat trayektoriyasini o'zgartiradi. Tokli plastinka bir jinsli tashqi magnit maydonga joylashtirilganda plastinkaning magnit maydon kuchlanganligi vektoriga parallel joylashgan ostki va ustki sirtlarida potentsiallar farqi (ya'ni $\Delta\varphi \neq 0$) hosil bo'lishini Xoll tajribada aniqlagan (III-rasm).

Bu hodisa Xoll effekti deb ataladi. Tajriba ko'rsatadiki, tokli plastinka yuqorida aytilgandek, tashqi magnit maydonga joylashtirilganda plastinkaning bir tekislikda yotuvchi ikki A va C nuqtalaridagi $\Delta\varphi$ potentsiallar farqi tok kuchiga, magnit maydon induksiyasiga to'g'ri proporsional va plastinkaning kengligiga teskari proporsional bo'ladi:

$$\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_C = k \frac{IB}{b}, \quad (4)$$



III-rasm.

bunda φ_A, φ_C — A va C nuqtalardagi potentsiallar, k — Xoll doimiysi. Keyingi kuzatishlar Xoll effekti har qanday ferromagnit va yarimo'tkazgich moddalarda namoyon bo'lishini ko'rsatdi. Tok kuchi yoki magnit maydon yo'nalishining o'zgarishi potentsiallar farqining ishora jihatdan o'zgarishiga olib keladi. Xoll doimiy-

sining son qiymati o'tkazgich materialiga va tok tashuvchi zaryadli zarralarning ishoralariga bog'liq bo'lib, ayrim moddalar uchun musbat, ayrimlari uchun esa manfiy qiymatlidir.

Xoll effektini elektron nazariya asosida qarab chiqaylik. Agar plastinka shaklida olingan o'tkazgichning hajm birligidagi tartibli erkin harakatga keluvchi zaryadli zarralar soni n_0 , ularning o'rtacha tezligi v bo'lsa, u holda o'tkazgichda hosil bo'ladigan tok kuchi

$$I = qvn_0S = qvn_0ab \quad (5)$$

ga teng bo'ladi, bunda $S = ab$ plastinkaning ko'ndalang kesim yuzi. Agar q zaryad musbat bo'lsa, zarralarning harakat tezligi tok oqimi bilan mos keladi. Agar q zaryad manfiy bo'lsa, zarralar elektrondan iborat bo'lib, ularning harakat tezligi tok kuchi bilan qarama-qarshi yo'nalishda bo'ladi. Plastinkaning A va C nuqtalariga sezgir galvanometr ulab, tashqi magnit va elektr maydon ta'sir etmaganda potentsiallar farqi nol ($\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_C = 0$) bo'lishiga ishonch hosil qilamiz. Galvanometrli zanjirni saqlagan holda plastinkaning A nuqtali ustki tomoniga magnitning shimoliy qutbini yaqinlashtiramiz. Bunda harakatdagi elektronlar plastinkaning shu sirti tomon toqqaqligidan, potentsiallar farqi hosil bo'ladi. Natijada plastinka uzunligiga nisbatan ko'ndalang elektr maydon hosil bo'ladi. Bu maydon zaryad musbat bo'lganda plastinkaning quyi sirtidan yuqori sirti tomon yo'nalgan, agar zaryad manfiy bo'lsa, aksincha yo'nalgan bo'ladi. Bu maydon kuchlanganligini E deb belgilasak, qE ko'paytma ko'ndalang elektr maydonning zaryadga ta'sir kuchini ifodalaydi. Bu va Lorents kuchlari o'zaro teng bo'lganda plastinkada muvozanatli tok hosil bo'ladi. U vaqtda quyidagi tenglikni yozishimiz mumkin:

$$qE = qvB \text{ yoki } E = vB. \quad (6)$$

Demak, muvozanatlik sharti bajarilganda ko'ndalang elektr maydon kuchlanganligi zaryadning harakat tezligi (v) bilan tashqi magnit maydon induksiyasining ko'paytmasiga teng bo'ladi.

Agar plastinkaning uzunligi $l \gg b \gg a$ bo'lsa, ko'ndalang elektr maydonni bir jinsli deb qarash mumkin, shuning uchun potentsiallar farqini quyidagicha yozamiz:

$$\Delta\varphi = Ea = vBa. \quad (7)$$

Bundagi a o'lmiga uning (5) orqali ifodasini qo'ysak, formula quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\Delta\varphi = \frac{1}{qn_0} \cdot \frac{IB}{b}. \quad (8)$$

(4) va (8) formulalarni taqqoslashdan Xoll doimiysini topamiz:

$$k = \frac{1}{qn_0}. \quad (9)$$

Elektron o'tkazuvchanlik xossasiga ega bo'lgan moddalar uchun $k < 0$, teshik o'tkazuvchanlik xossasiga ega bo'lgan moddalar uchun $k > 0$. Bu o'z navbatida metall va yarimo'tkazgich moddalarni aniqlashda katta ahamiyatga egadir.

O'lchashlar

1. 112- rasmda ko'rsatilgan sxema bo'yicha elektr zanjir yig'iladi. Yig'ilgan zanjirning to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilingach, K_1 kalitni ulab plastinkaning A va C qarama-qarshi sirtlarida hosil bo'lgan potensiallar farqi galvanometrda kuzatiladi.

2. K_2 kalitni ulash bilan elektromagnit cho'lg'amlariga kuchlanish berishdan oldin potensiometr dastasi yordamida eng kichik qiymatli kuchlanish olinadi.

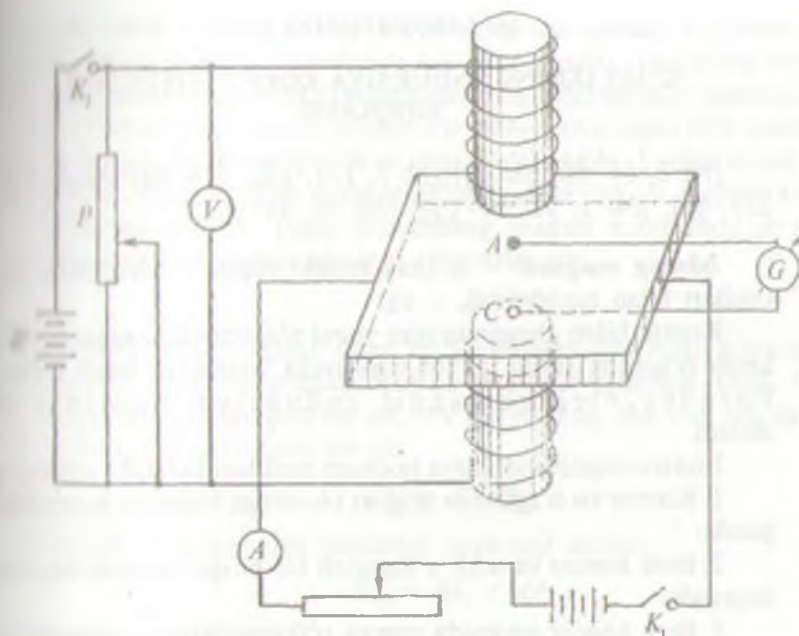
3. K_2 kalitni ulab, galvanometrning ko'rsatishi kuzatiladi va g'altak uchlaridagi kuchlanish yozib olinadi.

4. Potensiometr jilgichining vaziyatini o'zgartirish bilan galvanometr strelkasining har bir birlik shkalaga og'ishi uchun g'altak sim o'ramlari uchiga beriladigan kuchlanish qiymatlari belgilab boriladi.

5. Tajribani galvanometr strelkasi eng katta og'ishi mumkin bo'lgan chegaragacha davom ettirib, strelka yana dastlabki qiymatiga qaytguncha tajriba takrorlanadi va $U=f(\alpha)$ funksiya grafigi chiziladi.

6. K_2 kalitni uzib, elektromagnit (g'altak) uramlari uchiga beriladigan kuchlanish qutblari o'zgartiriladi va kuchlanishning bu qiymati shartli ravishda manfiy deb olinadi (tok kuchi yo'nalishining o'zgarishi bilan magnit maydon qutblari ham o'zgaradi).

7. K_2 kalitni ulab, 5- band bajariladi va olingan natijalardan birinchi masshtab saqlangan holda grafik chizilsa, avvalgi grafikka simmetrik bo'lgan grafik hosil bo'ladi.



112- rasm.

8. $\Delta\phi$ potentsiallar farqini, tok kuchini va jadvaldan olingan birlik hajmdagi n_0 zaryadli zarralar sonini bilgan holda Xoll koefitsienti (k) hisoblanadi.

9. Berilgan o'tkazgich uchun Xoll koefitsienti o'zgarmas ekanligidan, $\Delta\phi = f\left(\frac{IB}{b}\right)$ funksiya grafigi to'g'ri chiziqli qonun bo'yicha o'zgarishi tekshirib ko'riladi.

10. Tajriba berilgan barcha o'tkazgichlar uchun 3-4 marta bajarilib, o'lchash va hisoblash natijalari jadvalga yoziladi. Absolut, nisbiy va o'rtacha kvadratik xatoliklar hisoblab topiladi.

Savollar

1. Magnit maydonning zaryadli zarralarga ta'siri nimadan iborat?
2. Lorens kuchi nima?
3. Xoll effekti nima?
4. Xoll doimiysi qanday fizik kattaliklarga bog'liq?

G'ALTAKNING INDUKSIYA KOEFFITSIYENTINI
ANIQLASH

[№ 2, 64–66, 68- §§]; [№ 7, 121, 122, 124- §§]; [№ 3, 219–221- §§]; [№ 1, 92–93- §§]; [№ 19, 18- ish].

Ishning maqsadi — g'altak induktivligini o'lchashning turli usullari bilan tanishtirish.

Kontur bilan chegaralangan yuzni o'zgaruvchan magnit oqimi kesib o'tganda unda elektr yurituvchi kuchning hosil bo'lishi Faradey elektromagnit induksiya hodisasi deb ataladi.

Elektromagnit induksiya hodisasi quyidagi hollarda kuzatiladi:

1. Kontur va o'zgaruvchan magnit bir-biriga nisbatan harakatlanganda.

2. Berk kontur va tokli o'tkazgich bir-biriga nisbatan harakatlanganda.

3. Berk kontur yaqinida turgan o'tkazgichdan o'tayotgan tok o'zgarganda.

Faradey tajribalarni umumlashtirib quyidagi qonunni ta'riflaydi: *elektromagnit induksiya natijasida konturda hosil bo'ladigan elektr yurituvchi kuch (EYK) shu kontur bilan chegaralangan sirt orqali o'tuvchi magnit oqimining o'zgarish tezligiga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni:*

$$\mathcal{E} = -k \frac{d\Phi}{dt}, \quad (1)$$

bunda k — proporsionallik koeffitsienti, u formulaga kirgan fizik kattaliklarning qaysi birliklar sistemasida olinayotganligiga bog'liq bo'lib, SI birliklar sistemasida birga teng.

Elektromagnit induksiya hodisasi natijasida hosil bo'layotgan EYK induksion EYK, tok esa induksion tok deb ataladi. E.X. Lens induksion tok yo'nalishi va uni vujudga keltiruvchi magnit oqimining o'zgarish xarakteri o'rtasidagi munosabatni tekshirib, quyidagi qonunni ochgan: *kontur bilan chegaralangan*

sirt orqali o'tayotgan magnit oqimining har qanday o'zgarishi shu konturda shunday yo'nalishda tok hosil qiladiki, bu tokning magnit maydoni uni hosil qiluvchi magnit oqimining o'zgarishiga to'sqinlik qiladi.

Bir jinsli bo'lmagan magnit maydonga joylashgan berk konturni ko'raylik. Bu konturga tok manbayi ulanganda, kontur orqali tok o'tadi. Agar kontur mahkamlanmagan bo'lsa, u Amper kuchi ta'sirida siljiydi. Tokli konturning magnit maydonda dt vaqt davomida siljishida bajarilgan elementar ish:

$$dA = Id\Phi,$$

bu yerda $d\Phi$ — kontur bilan chegaralangan sirt orqali o'tayotgan magnit oqimining o'zgarishi. Konturning R qarshiligi orqali I tok o'tganda bajariladigan ish $dA_1 = IRdt$ ga teng, shu vaqt ichida tok manbayi bajarayotgan ish esa

$$dA_2 = \mathcal{E} Id\Phi,$$

bo'ladi. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan

$$dA_2 = dA_1 + dA$$

yoki

$$\mathcal{E} Idt = IRdt + Id\Phi.$$

Bu formuladan

$$\mathcal{E} = \frac{d\Phi}{dt} + IR,$$

bundan

$$I = \frac{\mathcal{E} - \frac{d\Phi}{dt}}{R},$$

bu yerda

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (1a)$$

Har qanday konturdan o'tayotgan tok vaqt bo'yicha o'zgaranda uning atrofida hosil bo'ladigan magnit maydon ham o'zgaradi. Demak, tok o'tayotgan kontur bilan chegaralangan yuz orqali o'tayotgan magnit oqimi ham o'zgaradi. Natijada konturda

elektromagnit induksiya EYK hosil bo'lib, bu hodisa o'zinduksiya hodisasi va konturda hosil bo'layotgan qo'shimcha tok esa o'zinduksiya ekstra toki deyiladi. Shuni aytish kerakki, o'zinduksiya hodisasini yoki o'zgaruvchan magnit maydonga joylashgan konturda elektromagnit induksiya EYK hosil bo'lishini Lorens kuchi orqali tushuntirib bo'lmaydi, chunki Lorens kuch qo'zg'almas zaryadlarga ta'sir qilmaydi va demak, ularni harakatga keltira olmaydi. Shuning uchun qo'zg'almas o'tkazgichlarda hosil bo'layotgan elektromagnit induksiya hodisasini tushuntirish har qanday o'zgaruvchan magnit maydon elektr maydonni yuzaga keltiradi va bu maydon ta'sirida konturda induksion tok hosil bo'ladi, degan fikrga olib keladi. Elektr va magnit maydonning o'zaro bog'langanligi D.K. Maksvell tenglamalaridan ko'rinadi.

Tokli o'tkazgich atrofida hosil bo'ladigan magnit maydon induksiyasi shu o'tkazgichdan o'tayotgan tokka to'g'ri proporsionaldir. Magnit oqimi (Φ) magnit maydon induksiyasiga to'g'ri proporsional va o'z navbatida magnit maydon induksiyasi Bio-Savar-Laplas qonuniga asosan tok kuchiga to'g'ri proporsionalligidan, magnit oqimining ham tok kuchiga to'g'ri proporsionalligi kelib chiqadi:

$$\Phi = L \cdot I. \quad (2)$$

Bu formuladagi L o'zinduksiya koeffitsienti yoki konturning induktivligi deyiladi. (2) ni (1) ga qo'ysak EYKning quyidagi ifodasini hosil qilamiz:

$$\mathcal{E}_{\text{oz}} = -L \frac{di}{dt}. \quad (3)$$

(3) dan o'zinduksiya EYK tokning o'zgarish tezligiga to'g'ri proporsional ekanligi ko'rinib turibdi. Har qanday konturning induktivligi uning shakliga, o'lchamlariga hamda konturni o'rab turgan muhitga bog'liq bo'ladi. Misol tariqasida diametri uzunligiga nisbatan ancha kichik bo'lgan sim o'ralgan g'altak — solenoidning induksiya koeffitsientini aniqlashni qarab chiqaylik. Solenoid markazidagi magnit maydon Bio-Savar-Laplas qonuniga asosan:

$$B = \mu\mu_0 \frac{N}{l} i = \mu\mu_0 n i, \quad (4)$$

bu yerda N — hamma o'ramlar soni, l — solenoidning uzunligi.

$n = \frac{N}{l}$ — uzunlik birligiga to'g'ri keluvchi o'ramlar soni. Agar vakuumdagi solenoidning ko'ndalang kesim yuzi dS bo'lsa, undan o'tuvchi magnit oqimi quyidagicha bo'ladi:

$$d\Phi = \mu_0 H n dS. \quad (5)$$

Vakuumdagi solenoidning bitta va barcha o'ramlaridan o'tayotgan magnit oqimini (4) formuladan foydalanib quyidagicha yoza olamiz:

$$\Phi_1 = \mu_0 \frac{N}{l} i S \quad \text{va} \quad \Phi_N = \mu_0 \frac{N^2}{l} i S. \quad (6)$$

(2) va (6) formulalarni taqqoslash orqali solenoidning vakuumdagi induktivlik koeffitsientini aniqlaymiz:

$$L_0 = \mu_0 \frac{N^2}{l} S. \quad (7)$$

Agar solenoid muayyan muhitga joylashtirilgan bo'lsa, uning induktivligi uni o'rab turgan muhitning magnit xususiyatini ifodalovchi koeffitsiyentga ham bog'liq bo'ladi:

$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2}{l} S, \quad (8)$$

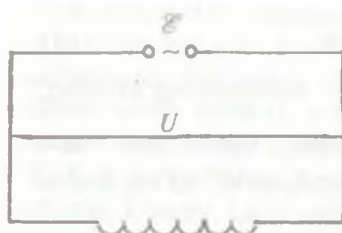
bu yerda μ_0 — magnit doimiysi, μ — solenoidni o'rab olgan muhitning vakuumga nisbatan magnit singdiruvchanligi.

Yuqoridagi formulalardan ko'rinadiki, solenoidning vakuumdagi (L_0) va muhitdagi (L) induktivliklarini bilgan holda muhitning magnit singdiruvchanligini aniqlash mumkin ekan, ya'ni:

$$\mu = \frac{L}{L_0}.$$

Endi induktivlikka ega bo'lgan solenoid ulangan o'zgaruvchan tok zanjirini ko'raylik (113- rasm). Zanjirdan o'zgaruvchan tok o'tganda g'altakda induksion elektr yurituvchi kuch hosil bo'ladi. EYKga ega bo'lgan zanjirning bir qismi uchun Om qonuni:

$$U = iR - \mathcal{E}.$$



113- rasm.

Biz ko'rayotgan zanjirda tashqi qarshilik (R) nolga teng va induksion EYK $\mathcal{E} = -L \frac{di}{dt}$ ga teng bo'lganligidan, induktivlikdagi kuchlanish tushishi:

$$U = L \frac{di}{dt}. \quad (9)$$

Agar zanjirdagi tok davriy bo'lib, $i = I_0 \sin \omega t$ qonuniyat bo'yicha o'zgarayotgan bo'lsa, (9) ga ko'ra

$$U = I_0 \omega L \cos \omega t \quad (10)$$

bo'ladi. Bunda $U_0 = \omega L I_0$ — kuchlanish amplitudasi,

$$R_L = \frac{U_0}{I_0} = \omega L \quad (11)$$

kattalik esa zanjir qismining *induktiv qarshiligini* bildiradi. Bu qarshilik reaktiv qarshilik bo'lib, induktiv qarshilik deb yuritiladi. Zanjirdagi aktiv qarshilik nolga teng bo'lmagan holda ($R \neq 0$), ya'ni zanjirning qaralayotgan qismida ham aktiv, ham reaktiv qarshilik ishtirok etayotgan bo'lsa, zanjirning ushbu qismining qarshiligi ularning yig'indisiga teng bo'ladi:

$$R_z = \sqrt{R^2 + R_L^2} = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}. \quad (12)$$

Bu formuladan induktivlikni aniqlasak,

$$L = \frac{\sqrt{R_z^2 - R^2}}{\omega} \quad (13)$$

kelib chiqadi. Shunday qilib, R_L yoki R_z va R qarshiliklar ma'lum bo'lsa, (11) va (13) formula yordamida g'altakning induktivligini topishimiz mumkin ekan.

1- mashq

G'altak induktivligini ampermetr va voltmeter yordamida aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. O'zgaruvchan va o'zgarmas tok manbayi. 2. O'zgarmas hamda o'zgaruvchan tokni o'lchaydigan ampermetr va voltmeter. 3. Reostat. 4. Ikki yoqlama kalit. 5. Induktiv g'altak. 6. Ulash simlari.

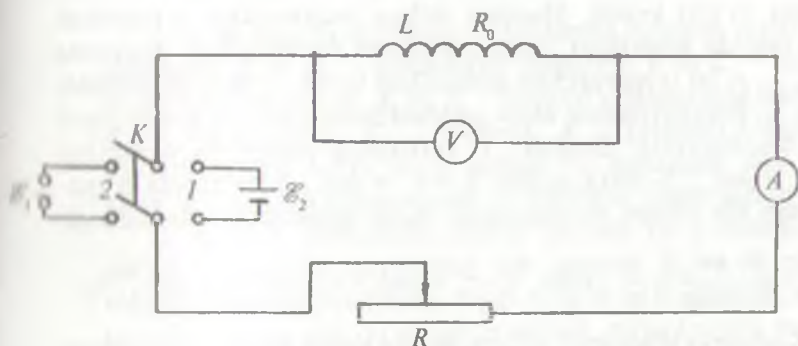
Ishni bajarish tartibi

1. 114- rasmda ko'rsatilgan sxema bo'yicha elektr zanjir tuzildi. Sxemada $L - R_0$ aktiv qarshilikka ega bo'lgan induktiv g'altak, A — ikki yoqlama kalit, R — reostat, V — voltmeter, A — ampermetr.

2. Reostatning maksimum qarshiligini olgan holda kalitni 1 holatga qo'yib, zanjir $\mathcal{E}_2$ o'zgarmas tok manbayiga ulanadi. So'ngra reostat jilgichini surib, ampermetr strelkasi hisoblashga imkon beradigan darajada og'diriladi va ampermetr hamda voltmeterning ko'rsatishi (I va U) yozib olinib, induktiv g'altakning aktiv qarshiligi topiladi.

3. Kalitni 2 holatga qo'yib, zanjir E_1 o'zgaruvchan tok manbayiga ulanadi. So'ngra ampermetr va voltmeter ko'rsatishi (I_+ va U_+) yozib olinib, zanjirning R_z umumiy qarshiligi aniqlanadi:

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



114- rasm.

4. G'altakning omik qarshiligini va umumiy qarshilikni bilgan holda (13) formula yordamida g'altakning induktivligi topiladi.

5. 2, 3-bandlar tok va kuchlanishning turli qiymatlari uchun 3—4 martadan takrorlanib, keyin g'altak induktivligining o'rtacha qiymati topiladi, absolut, nisbiy, o'rtacha kvadratik xatolar hisoblanadi.

Eslatma. Yuqorida ko'rsatilgan o'lchashlar amalga oshirilayotganda kalitni uzoq vaqt ulab qo'yish mumkin emas, chunki g'altakdan uzoq vaqt tok o'tganda u qizib, qarshiligi o'zgarib qoladi.

2- mashq

G'altak induktivligini ko'prik sxema yordamida aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Reoxord yoki darajalangan reostat. 2. Galvanometr. 3. 2 ta qarshiliklar magazini. 4. Induktivligi ma'lum bo'lgan g'altak. 5. Noma'lum induktivlikli g'altak. 6. Zummer. 7. Telefon. 8. Akkumulator. 9 Ikki yoqlama kalit. 10. 2 ta kalit.

O'zgaruvchan tok hamda ko'prik sxema yordamida sig'imgina emas, balki induktivlikni ham o'lchash mumkin. Lekin induktivlik g'altagining aktiv qarshiligi ancha katta bo'lganligidan, hisoblash ishlarida induktivlik kiritilgan yelkaning aktiv qarshiligini hisobga olishga to'g'ri keladi. Shuning uchun induktivlikni o'lchashda 115- rasmda keltirilgan elektr sxemadan foydalaniladi. Sxemada r_1, r_2, r_3, r_4 lar o'zgaruvchan qarshiliklar bo'lib, r_1 va r_2 qarshiliklar L_1 va L_2 induktivlikning aktiv qarshiliklarini ham o'z ichiga olgan deb hisoblaymiz. Demak, 1- yelkaning kompleks qarshiligi $z_1 = r_1 + j\omega L_1$, 2- yelka uchun $z_2 = r_2 + j\omega L_2$. Shu vaqtda o'zgaruvchan tok uchun muvozanatlik sharti quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{r_1 + j\omega L_1}{r_2 + j\omega L_2} = \frac{r_3}{r_4} \quad \text{yoki} \quad r_1 \cdot r_4 + j\omega L_1 \cdot r_4 = r_2 \cdot r_3 + j\omega L_2 \cdot r_3.$$

Kompleks ifoda teng bo'lishi uchun uning haqiqiy va mavhum qismlari o'zaro teng bo'lishi kerak, ya'ni:

$$r_1 \cdot r_4 = r_2 \cdot r_3 \text{ va}$$

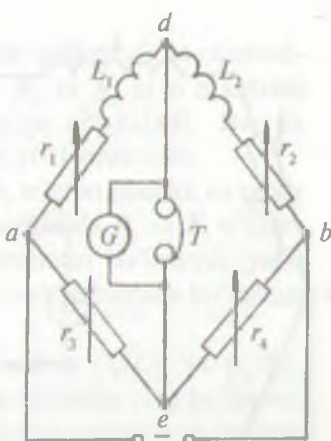
$$j\omega L_1 \cdot r_4 = j\omega L_2 \cdot r_3,$$

bulardan

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}, \quad \frac{L_1}{L_2} = \frac{r_3}{r_4} \quad (14)$$

shartni hosil qilamiz. Ko'priknig «d» va «e» uchlarida potensial bir xil amplituda va bir xil fazaga ega bo'lib, bu ikki shart bajarilgandagina ko'priknig muvozanatda bo'ladi.

Agar ko'priknig o'zgarmas tok uchun muvozanatlashtirilgan bo'lsa, o'zgaruvchan tok uchun ham muvozanatda bo'ladi. Shunga asosan ko'priknig «d» va «e» uchlariga galma-gal o'zgaruvchan va o'zgarmas kuchlanish beriladi va mos ravishda bu uchlarga ulangan telefon galvanometrga va, aksincha, almashtirib turiladi. r_1, r_2, r_3, r_4 larni o'zgartira borib, bir vaqtning o'zida galvanometrda tok, telefonda tovush bo'lmasligiga erishish zarur. Shundagina (14) formuladagi r_1 va r_2 hamda induktivliklardan biri ma'lum bo'lsa, ikkinchisini hisoblash mumkin.

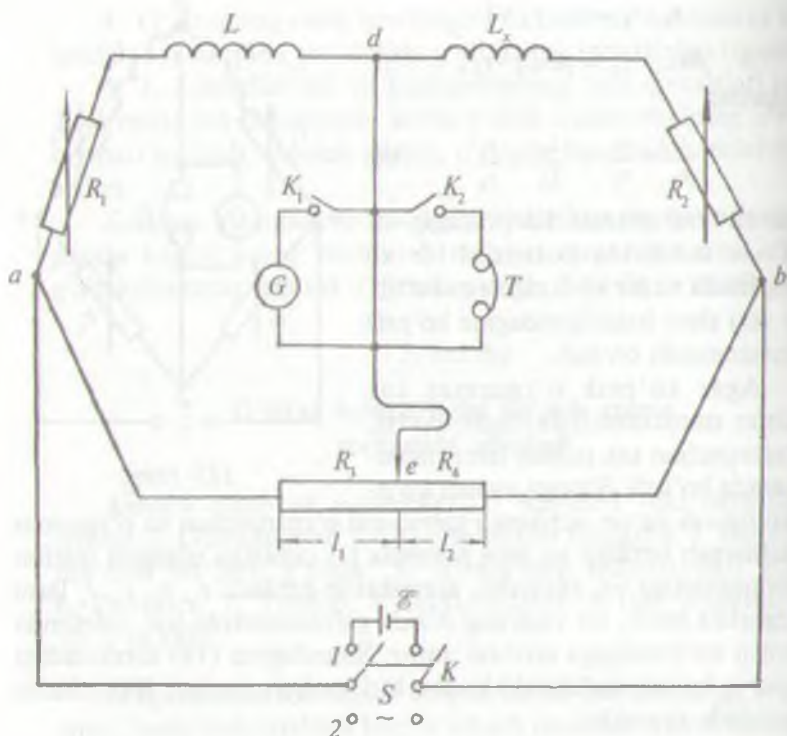


115- rasmi.

Ishni bajarish tartibi

1. 116- rasmda keltirilgan elektr sxema bo'yicha zanjir tuziladi. Sxemada: R_1 va R_2 — qarshiliklar magazini; L va L_x — ma'lum va noma'lum induktivlik, R_3 va R_4 — reaxord yelkalarining qarshiliklari; $\mathcal{E}$ — akkumulator, S — zummer, K — sxemani o'zgaruvchan yoki o'zgarmas tokka ulash uchun mo'ljallangan ikki yoqlama kalit; K_1 va K_2 — galvanometr va telefonni ulash uchun kalitlar.

2. K_2 kalit yordamida telefon ulanadi va K kalitni 2 holga qo'yib, zanjirga o'zgaruvchan tok ulanadi. R_1 va R_2 ni hamda reaxordning jilgichini surish orqali R_3 va R_4 ni o'zgartirib, telefonda tovushning eng past bo'lishiga erishiladi, ya'ni ko'priknig muvozanat holga keltiriladi va o'zgaruvchan tok uchun



116- rasm.

$$\frac{R_3}{R_4} = \left(\frac{l_1}{l_2} \right)$$

nisbat topiladi.

3. Zanjir K kalit yordamida o'zgaruvchan tokdan uziladi, telefon esa K_2 kalit yordamida zanjirdan uziladi. Keyin K_1 kalit bilan galvanometr ulanadi va K kalit 1 holga keltirilib, zanjir o'zgarmas tok manbai — akkumulatorga ulanadi. Reoxord jilgichini surib, galvanometrda tok bo'lmashligiga erishiladi va o'zgarmas tok uchun (l_1/l_2) nisbat topiladi. Ikki hol uchun olingan reaxord yelkalarining nisbatlari taqqoslanadi. Nisbatlarning teng bo'lmashligi ishni bajarish uchun muhimdir.

4. Zanjir o'zgarmas tokka ulanganicha qoldiriladi va reoxordning jilgichi (I_1/I_2) holga qayta qo'yilib, R_1 va R_2 ni o'zgartirish orqali galvanometrda tok bo'lmasligiga erishiladi. Bunda $(I_1/I_2)_+ \gg (I_1/I_2)_-$ bo'lsa, R_2 kamaytiriladi yoki orttiriladi.

5. Keyin galvanometr zanjirdan uzilib, telefon ulanadi va zanjir o'zgaruvchan tokka ulanadi. 4- band bajarilganda R_1 va R_2 o'zgartirilganligidan, endi telefonda tovush minimum bo'lmaydi, yana reoxord jilgichini surish bilan telefonda tovush minimum bo'lishiga erishiladi.

6. 3-band qayta bajarilib, bu hol uchun $(I_1/I_2)_+$ va $(I_1/I_2)_-$ nisbatlar yana bir marta taqqoslanadi. Agar nisbatlar teng bo'lmasa, hamma operatsiya oldingi tartibda qayta davom ettiriladi va natijada reaxord jilgichining ma'lum vaziyatida R_1 va R_2 ning qandaydir qiymatlarida telefonda tovush, galvanometrda tok bo'lmasligiga erishiladi. Bu sxema ham o'zgarmas, ham o'zgaruvchan tok uchun muvozanatlashganligidan dalolat beradi.

7. Olingan natijalar $\left(R_1, R_2, \frac{R_3}{R_4} = \frac{I_1}{I_2} \right)$ asosida (14) formula-dan foydalanib, noma'lum induktivlik topiladi.

8. Tajriba 4—5 marta takrorlanib, L_x ning o'rtacha qiymati, absolut, nisbiy va o'rtacha kvadratik xatolik hisoblanadi.

Savollar

1. Elektromagnit induksiya hodisasi nima? Uni qachon kuzatish mumkin?
2. Elektromagnit induksiya qanday fizik kattaliklarga bog'liq?
3. Induksion elektr yurituvchi kuch nima?
4. O'zinduksiya hodisasi nima? Uni qachon kuzatish mumkin?
5. O'zinduksiya koeffitsienti nimalarga bog'liq?
6. Solenoid uchun induktiv koeffitsient qanday ifodalanadi?
7. G'altakning induktivligi ampermetr va voltmeter yordamida qanday aniqlanadi?
8. Induktivlikni ko'prik sxema yordamida qanday aniqlanadi?
9. Bu usullarning bir-biridan afzalligi nimada?

19- LABORATORIYA ISHI

O'ZGARUVCHAN TOK ZANJIRIDAGI FAZA SILJISHINI, AKTIV, REAKTIV QARSHILIK VA QUVVATNI TOPISH

[№ 2, 129, 131- §§]; [№ 7, 180-185- §§]; [№ 3, 223-225- §§]; [№ 1, 96, 98- §§]; [№ 19, 19- ish].

Ishning maqsadi — o'zgaruvchan tok zanjiriga qarshilik, kondensator va induktiv g'altaklar kiritilgandagi fizik kattaliklarni o'lchash usullari bilan tanishish.

Kondensator, induktiv g'altak va qarshilikdan tashkil topgan elektr zanjirga o'zgaruvchan elektr manba ($\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t$) ulanganda (117- rasm) g'altakda hosil bo'luvchi induksion EYK

$$\mathcal{E}_i = -L \frac{dI}{dt}$$

ga teng. Agar kondensator qoplamalari orasidagi potensiallar farqi

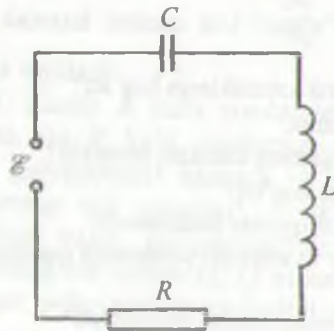
$$U = U_1 - U_2$$

bo'lsa, zanjir uchun quyidagi tenglamani yoza olamiz:

$$IR + U = \mathcal{E} - L \frac{dI}{dt}$$

yoki

$$L \frac{dI}{dt} + IR + U = \mathcal{E}_0 \sin \omega t. \quad (1)$$



117- rasm.

Bu tenglikni vaqt bo'yicha differensiallasak va

$$I = \frac{dq}{dt}, q = CU$$

ekanligini hisobga olsak, quyidagi tenglama hosil bo'ladi:

$$L \frac{d^2 I}{dt^2} + R \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} I = \mathcal{E}_0 \sin \omega t. \quad (2)$$

Bu tenglamaning yechimini

$$I = I_0 \sin(\omega t - \varphi) \quad (3)$$

ko'rinishda qidiramiz. Bu yerda φ — topilishi zarur bo'lgan faza siljishi. (3) asosida $\frac{d^2 I}{dt^2}$ va $\frac{dI}{dt}$ larni topib, uni (2) ga qo'yamiz va ma'lum matematik amallar bajarilishi natijasida quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$I_0 R \cos \omega t \cos \varphi + I_0 R \sin \omega t \sin \varphi - I_0 \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right) \sin \omega t \cdot \cos \varphi + \\ + I_0 \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right) \cos \omega t \sin \varphi - \mathcal{E}_0 \omega \cos \omega t = 0 \quad (4)$$

Bu tenglik vaqtning istalgan momentida bajarilishi uchun quyidagi shartlar bajarilishi kerak:

$$R \sin \varphi - \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right) \cos \varphi = 0, \quad (5)$$

$$R \cos \varphi - \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right) \sin \varphi = \frac{\mathcal{E}_0}{I_0}, \quad (6)$$

(5), (6) tenglik asosida

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \quad (7)$$

va

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2}} = \frac{\mathcal{E}_0}{z} \quad (7a)$$

kelib chiqadi. (7) va (7a) formulalar Om qonunining o'zgaruvchan

tok uchun ifodasidir. (7a) formuladagi $z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2}$

zanjirning to'la qarshiligi, $R_L = \omega L$ hamda $R_C = \frac{1}{C\omega}$ mos ravishda

induktiv va sig'im qarshilik deyiladi. Bu belgilashlar e'tiborga olinganda, (7) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{R_L - R_C}{R}. \quad (7b)$$

(7) formuladan ko'rinadiki, faza siljishining kattaligi induktivlikka, sig'imga, siklik chastotaga va omik qarshilikka bog'liq ekan.

1. Agar $\omega \rightarrow 0$ bo'lsa, $\operatorname{tg}\varphi \rightarrow -\infty$, demak, $\varphi \rightarrow -\frac{\pi}{2}$, bu holda tok elektr yurituvchi kuchdan ilgari ketadi.

2. Agar $\omega \rightarrow \infty$ bo'lsa, $\operatorname{tg}\varphi \rightarrow \infty$, demak, $\varphi \rightarrow \frac{\pi}{2}$, bu holda tok elektr yurituvchi kuchdan keyinda qoladi.

3. Agar zanjirda kondensator o'rnida o'tkazgich bo'lsa, undagi potensial tushuvi juda kichik bo'ladi va demak, $U = \frac{q}{C}$ formulaga asosan $C \rightarrow \infty$ bo'lib, bundan

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{L\omega}{R} \quad (8)$$

ekanligi kelib chiqadi: tok elektr yurituvchi kuchdan orqada qoladi.

$L\omega \ll R$ bo'lganda $\varphi \rightarrow \frac{\pi}{2}$.

4. Agar zanjirlarda g'altak bo'lmasa, $L \rightarrow 0$ bo'ladi va bundan

$$\operatorname{tg}\varphi = -\frac{1}{C\omega R} \quad (9)$$

ekanligi kelib chiqadi: tok elektr yurituvchi kuchdan ilgari ketadi.

$\frac{1}{C\omega} \gg R$ bo'lganda $\varphi \rightarrow \frac{\pi}{2}$.

5. Zanjirdagi omik qarshilikni sig'im va induktiv qarshiliklarga nisbatan hisobga olish mumkin bo'lsa, faza $\frac{\pi}{2}$ dan farqli bo'ladi.

Demak, zanjirni tashkil qilgan aktiv va reaktiv qarshiliklarni bilish o'zgaruvchan tok zanjiridagi tok va kuchlanish orasidagi faza siljishini hisoblashga imkon beradi.

O'zgaruvchan tok nazariyasidan ma'lumki, zanjirdan tok o'tganda ajralib chiqadigan o'rtacha quvvat quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$P = IU \cos \varphi. \quad (10)$$

Bu yerda $I_{\text{ef}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$; $U_{\text{ef}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$ bo'lib, ular tok va kuchlanishning effektiv qiymatini bildiradi.

Agar vattmetr yordamida P quvvatni va voltmeter hamda ampermetr yordamida kuchlanish va tok kuchi o'lchab olinsa,

$\varphi = \arccos \frac{P}{I_{\text{ef}} U_{\text{ef}}}$ formula yordamida « φ » ni aniqlash mumkin.

O'zgaruvchan tok zanjirining qarshiligi

$$z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{C\omega} \right)^2} = \frac{U}{I}$$

da ishtirok etadigan va joul issiqligi ajralib chiqadigan qarshilik

$R = \frac{P}{I^2}$ formula bilan aniqlanishini hisobga olsak,

$$z^2 - R^2 = \left(\omega L - \frac{1}{C\omega} \right)^2 = \frac{U^2}{I^2} - \frac{P^2}{I^4} \text{ yoki } \omega L - \frac{1}{C\omega} = \frac{\sqrt{U^2 I^2 - P^2}}{I^2}$$

bo'ladi. Demak, zanjirdagi reaktiv quvvat:

$$I^2 U^2 - P^2 = P_r^2. \quad (11)$$

Shunday qilib, vattmetr, voltmeter, ampermetr yordamida tok bilan kuchlanish orasidagi faza siljishini, reaktiv qarshilik va reaktiv quvvatni hisoblab topish mumkin ekan.

1- mashq

Ampermetr, voltmetr yordamida faza siljishini aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Voltmetr, 2. Ampermetr, 3. Reostat, 4. Kondensator, 5. Induktiv g'altak, 6. Ulash simlari.

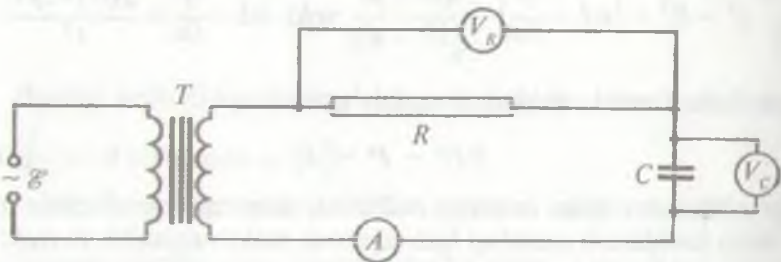
Ishni bajarish tartibi

1. «Sig'imni aniqlash»ga tegishli laboratoriya ishida keltirilgan mashqlardan biri bo'yicha berilgan sig'im asosida uning qarshiligi (R_s) va zanjirda sig'im qatnashganda hosil bo'ladigan φ_s faza siljishi aniqlaniladi. Buning uchun quyidagi 118- rasmda keltirilgan elektr sxemadan foydalanish mumkin. Bu sxemada: A – ampermetr, V_R , V_C – qarshilik va kondensatorda potensial tushuvini o'lchash uchun voltmترلar, T – transformator; faza siljishi $R = \frac{V_R}{I}$ va $R_C = \frac{V_C}{I}$ formulalar yordamida

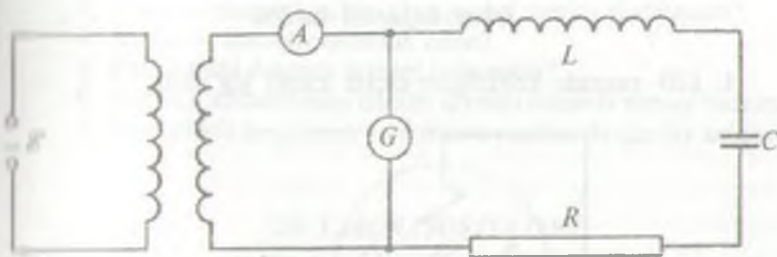
$$\operatorname{tg} \varphi_C = -\frac{R_C}{R} \quad (9a)$$

ifodadan aniqlanadi. Bu o'lchash har xil kuchlanishda bir necha marta takrorlanib, φ_s ning o'rtacha qiymati topiladi.

2. Ikkinchi holda zanjirdagi kondensator o'rniga L induktivlikka ega bo'lgan g'altak ulanadi va $R = \frac{V}{I}$, $R_L = \frac{V_L}{I}$ formulalardan foydalanib, zanjirda induktivlik qatnashgan hol uchun φ_L faza siljishi



118- rasm.



119- rasm.

$$\operatorname{tg} \varphi_L = \frac{R_L}{R} \quad (9 \text{ b})$$

formuladan topiladi. Tajriba har xil kuchlanishlar uchun takrorlanib, φ_L niig o'rtacha qiymati topiladi.

3. Zanjirda ham sig'im, ham induktivlik bo'lgan holda faza siljishini topish uchun 119- rasmda keltirilgan zanjirni yig'amiz. (9) dagi kuchlanish va tok kuchini bilgan holda faza siljishi

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{R} \text{ formula yordamida hisoblanadi.}$$

O'lchashlar EYKning bir necha qiymatlari uchun bajarilib, berilgan elektr zanjirda hosil bo'ladigan faza siljishi φ ning o'rtacha qiymati topiladi, absolut, nisbiy va o'rtacha kvadratik xatoliklar hisoblanadi.

Eslatma. Agar 2- va 3- bandlarda foydalanayotgan induktivlikning omik qarshiligi yetarlicha katta bo'lsa, hisoblash formulasidagi « R » bilan belgilangan qarshilik o'rniga reostat va induktivlik g'altagining omik qarshiliklari yig'indisi olinadi (g'altakning omik qarshiligi o'zgarmas tok uchun Om qonuni formulasidan foydalanib topiladi).

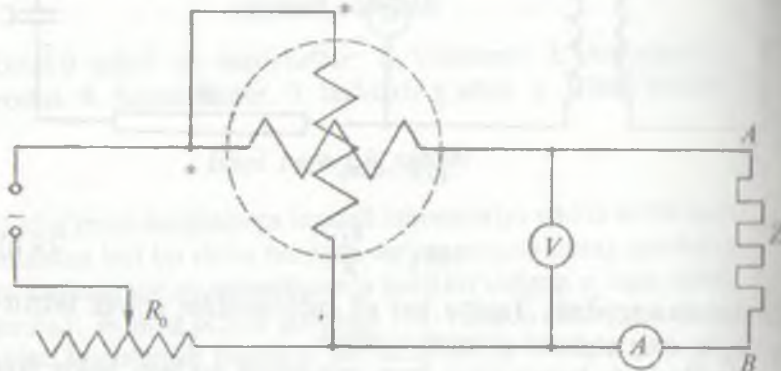
2- mashq

Faza siljishini vattmetr, ampermetr, voltmeter yordamida aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Vattmetr. 2. Ampermetr. 3. Voltmetr. 4. Reostat. 5. Har xil sig'imli kondensatorlar va induktiv g'altaklar. 6. Ulash simlari.

Ishni bajarish tartibi

1. 120- rasmda keltirilgan elektr zanjir yig'iladi.



120- rasm.

2. Sxemadagi Z o'rniga R , C , L lardan iborat sistema yoki ularning har biri alohida-alohida ulanib, vattmetrning ko'rsatishi P , voltmetrning ko'rsatishi U , ampermetrning ko'rsatishi I yozib olinadi.

3. Zanjirdagi AB qismga ulangan Z ning tarkibiga R , C , L lardan qaysi biri kirayotganiga qarab I , U , P , P_{ρ} , $\cos\varphi$, Z , R , ωL , $\frac{1}{C\omega}$ (chastota aniq bo'lsa, C va L)lar hisoblab topiladi.

4. Z ning o'rniga olingan sistemadagi « L » yoki « C » o'zgartirilib, $\cos\varphi = f(L)$ yoki $\cos\varphi = f(C)$ funksiya grafigi olinadi.

5. Har bir Z uchun tajriba bir necha marta takrorlanadi, ya'ni uning har bir qiymati uchun 3- bandda ko'rsatilgan kattaliklar hisoblab topiladi. Buning uchun R_0 reostatdan foydalaniladi. Absolut, nisbiy va o'rtacha kvadratik xatoliklar aniqlanadi.

Savollar

1. O'zgaruvchan tok nima? U doimiy tokdan nima bilan farq qiladi?
2. O'zgaruvchan tokning amplituda qiymati va fazasi qanday ifodalanadi? Ular nimalarga bog'liq?

3. O'zgaruvchan tok uchun Om qonuni qanday ifodalanadi?
4. Sig'im va induktiv qarshilik nima?
5. Faza siljishi deganda nimani tushunasiz?
6. Tok va kuchlanishning effektiv qiymati deganda nimani tushunasiz?
7. Faza siljishi ampermetr va voltmeter yordamida qanday aniqlanadi?

20- LABORATORIYA ISHI

ELEKTRON OSSILLOGRAFNING TUZILISHI VA UNING ISHLASH PRINSIPINI O'RGANISH

[№ 7, 99- §]; [№ 15, 50- ish]; [№ 9, 109- ish]; [№ 17, 36- ish]; [№ 18, 27- ish].

Ishning maqsadi — elektrik kattaliklarning o'zaro boshlang'ich grafigini vizual kuzatishda qo'llaniluvchi universal elektr asbob elektron ossillograf deb ataladi. Elektron ossillografdan o'quv laboratoriyalarida asosan quyidagi maqsadlarda foydalaniladi.

1. Zanjir uchlaridagi kuchlanishlarning va undan o'tuvchi tokning amplituda qiymatlarini o'zaro taqqoslashda.

2. Ikkita tokning, ikkita kuchlanishning yoki tok bilan kuchlanishning fazalarini taqqoslashda.

3. Tebranish chastotalarini topishda va taqqoslashda.

4. O'zgaruvchan tok va kuchlanish oniy qiymatini vaqtga bog'liq o'zgarishini kuzatishda.

Bu vazifalarni amalga oshirish uchun elektron ossillografning tuzilishi va uning ishlash prinsipi bilan oldindan tanish bo'lish kerak. Biz quyidagi o'quv laboratoriyalarida ko'plab uchratiladigan ossillograflarning tuzilishi va ishlashi bilan tanishib chiqamiz.

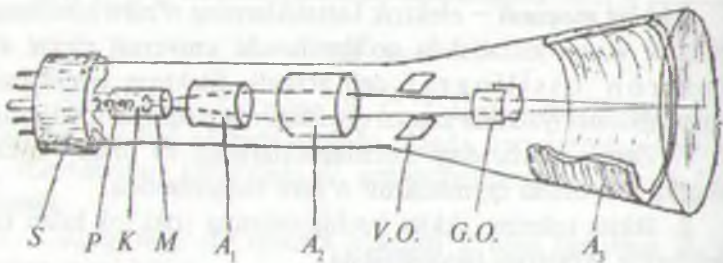
Ossillografning tuzilishi

Elektron ossillograf asosan elektron-nur trubka, nurni og'dirish plastinkalari, kuchaytirgichlari, yoyish generatori va to'g'rilagichli qismlaridan iborat.

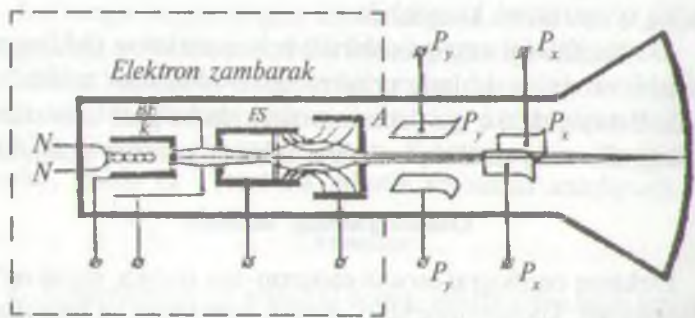
Elektron-nur trubka

Elektron-nur trubka tuzilishiga ko'ra elektrostatik va magnit trubkalarga bo'linadi. Elektrostatik trubkalar harakatdagi zaryadli zarraga elektr maydon ta'siriga asoslangan. Quyida elektrostatik trubkaning tuzilishi bilan tanishaylik. Elektron-nur trubka tuzilishi jihatidan (121, 122- rasmlar) bir uchi ingichka, ikkinchi uchi konus kabi kengaytirilgan silindrik shaklli havosiz ballon shishadan iborat.

Trubkaning kichik diametrli uchi odatda sokol, kengaytirilgan uchi esa trubka ekrani deb ataladi. Ekranning sirti yupqa lyumenafor modda bilan qoplangan. Ekrandagi lyumenaforli sirt elektronlar bilan «bombardimon» qilinganda, u o'zidan elektron



121- rasm.



122- rasm.

energiyasiga bog'liq holda nur chiqaradi. Trubka ichidagi elektrod-larning uchlari sokolga chiqarilgan bo'lib, tok manbayiga ulanadi. Silindr shakli (k) katod sirtiga oksid qoplangan bo'lib, u cho'g'lanuvchi NN tola bilan qizdirilganda elektronlar otilib chiqadi. Vaqt birligida chiquvchi elektronlar sonini oshirish maqsadida, katod sirti oksid bilan qoplanadi. Katod davomida uni qoplab turgan trubkaning markaziy o'qiga simmetrik holda boshqaruvchi elektrod (BE) o'rnatilgan. Katod uchining ro'parasidagi boshqaruvchi elektrodning kichik teshigi bo'lib, u diafragma vazifasini bajaradi. Boshqaruvchi elektrod davomida fokuslovchi silindr (FS) joylashgan. Fokuslovchi silindr ikkita ketma-ket joylashtirilgan silindrdan iborat bo'lib, ularning biri — birinchi anod A_1 , keyingisi esa ikkinchi anod A_2 deb ataladi. Ko'p holatlarda birinchi anod fokuslash silindri deb ataladi, va uni ikkinchi anoddan ajratilgan holatda ko'rsatiladi. Yuqorida sanab o'tilgan qismlarning hammasi (K , BE , FS) **elektron proyektor** yoki **elektron zambarak** deb ataladi (122- rasmga q., shtrix chiziq bilan o'ralgan qism). Anod A bilan lyumenoforli ekran oralig'ida ikki juft (biri ikkinchisiga perpendikular qilib) nurlarni og'diruvchi P_y va P_x plastinkalar o'rnatilgan. Trubkaning elektron proyektorida emissiyalangan betartib elektron-lar katodga nisbatan musbat potentsialli boshqarish elektrodining elektrostatik maydoni ta'sirida diafragmadan o'tib, trubka ichidagi ingichka elektronlar dastasini hosil qiladi.

Elektron dasta **elektron nur** deyiladi. Diafragmadan o'tgan elektronlar harakati fokuslash silindri musbat potentsialga ega bo'lgani uchun tezlashadi. Anodlar kovak silindr shaklida ekanligidan ekvipotensial sathga kirgan elektronlar o'z inersiyalari hisobiga ekran tomon to'g'ri yo'naladi.

Ekran sathiga borib tushuvchi elektronlar dastasi uning sirtida nurlanish vujudga keltiradi, ya'ni yorug'lik chaqnashi kuzatiladi. Boshqaruvchi elektrod potentsiali o'zgartirib, nurdagi elektronlar miqdorini, ya'ni ekran nurlanishining intensivligini rostdash mumkin. Fokuslovchi anod kuchlanishini o'zgartirish bilan elektron-nurni ekranda aniq fokuslash ishi bajariladi. Boshqaruvchi elektrodlar va fokuslovchi anod kuchlanishlarini mos ravishda R_1 va R_2 potentsiometrlar yordamida o'zgartiriladi (122- rasmga q.).

Ekranda hosil bo'lgan nurni gorizontaal (x) va vertikal (y) o'rnatilgan parallel plastinkalarga elektr maydon berish orqali yoyiladi. Odatda vertikal plastinkalarga tekshiriluvchi, gorizontaal plastinkalarga esa ossillografning o'zidagi yoyish generatoridan yoki tashqi manbadan kuchlanish beriladi. Ikkala juft plastinkada hosil bo'lgan elektrostatik maydon elektron-nurga ta'sir qilib, ekranda tekshirilayotgan kuchlanishning vaqt bo'yicha o'zgarish grafigini, ya'ni ossillogrammasini kuzatish imkonini beradi. Agar vositali yoyilgan kuchlanishning tebranishlar davri tekshirilayotgan kuchlanish davriga teng yoki karrali bo'lsa, ekranda hosil bo'lgan manzara yoyilish davri davomida to'la takrorlanadi va ossillogramma qo'zg'almas bo'ladi.

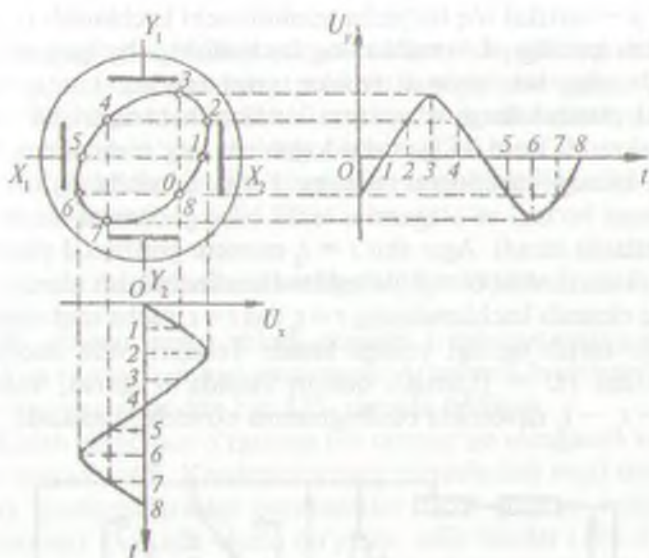
Ossillografning old panelida klemmalar o'rnatilgan bo'lib ular fokuslashni boshqarish, vertikal va gorizontaal yo'nalish bo'yicha nurni siljitish hamda yoyish generator chastotasini aniq tanlash va sinxronlash uchun mo'ljallangan.

Ossillografdan foydalanilganda bajarilishi zarur bo'lgan boshqarish ishlari hamda tutqichlarning ishlatilishi haqida keyinroq EO-7 ossillografning ishlash prinsipi bilan tanishamiz.

Ossillogramma olish

122- rasmda keltirilgan elektr sxema bo'yicha zanjir yig'ib, trubkaning P_x va P_y plastinkalaridan biriga o'zgaruvchan sinusoidal kuchlanish berilsa, elektron-nur ekranda to'g'ri chiziqli iz hosil qiladi.

Elektron-nur trubkaning og'diruvchi plastinkalariga bir vaqtda birday fazali, chastotali va amplitudali sinusoidal-kuchlanish berilsa, ekranda koordinata boshidan o'tib, o'qlar bilan ma'lum burchak hosil qiluvchi to'g'ri chiziqli iz kuzatiladi. Plastinkalardan biriga beriluvchi kuchlanish fazasi bilan farq qilganda ekranda ellips manzarasi — ossillogrammasi (123- rasm) hosil bo'ladi. Plastinkalardagi sinusoidal kuchlanishlardan birining ikkinchisiga nisbatan fazasini, chastotasini yoki amplitudasini o'zgartirish bilan ekranda turli shakldagi ossillogrammalar olishga erishiladi. Bunday ossillogrammalardan biri Lissaju shaklidir.



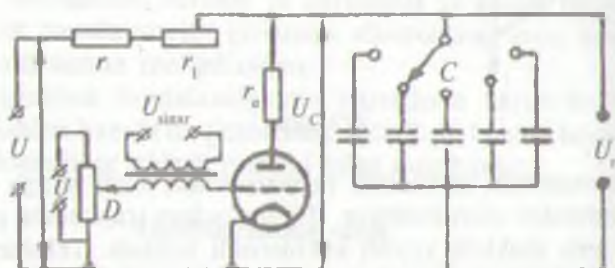
123- rasm.

Kondensatorni zaryadlash va razryadlash bilan vaqtga bog'liq ossillogrammani olish mumkin. Buning uchun trubkaning plastinkalariga arra shaklida yoyish kuchlanishi beriladi. Tekshiriluvchi kuchlanish davri T_k , yoyish kuchlanish davri T_a ga teng bo'lsa, ekranda bir davr davomida o'zgaruvchi kuchlanishning bitta ossillogrammasi kuzatiladi.

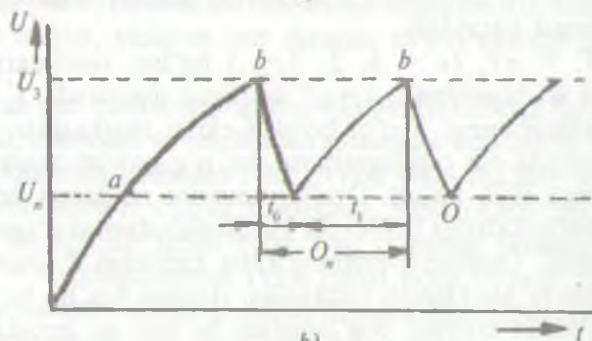
Agar $T_a = nT_k$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) bo'lsa, ossillogramma kuzatiluvchi kuchlanishning $t = nT$ davrligini ifodalaydi. $T_a < nT_k$ holatda ossillogramma X o'qi bo'ylab ekran markazidan o'nga $T_a > nT_k$ holatda esa ossillogramma shu o'q bo'ylab markazdan chap tomonga siljib ketadi. Ossillogrammani markazga keltirish uchun P_x plastinkalariga beriluvchi kuchlanish davrini o'zgartirish bilan erishiladi. Ossillogrammaning katta kichikligi P plastinkalariga beriluvchi kuchlanish kattaligiga, davriga bog'liq bo'lib, u kuchlanish bilan chiziqli bog'lanishda bo'ladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$y = kU_y,$$

bunda y – vertikal o'q bo'yicha tekshiriluvchi kuchlanish (U)ning o'zgarish kattaligi, k – trubkaning kuchlanishiga bo'lgan sezgirlik bo'lib, uning son qiymati trubka turiga bog'liq. $t = t_0$ paytda vertikal plastinkalarga o'zgarmas kuchlanish berilgan bo'lsin. U holda ekranda hosil bo'lgan ossillogramma to'g'ri chiziqdan iborat bo'lib, bunday ossillogrammaning Y o'qi bo'yicha og'ishi ham o'zgarmas bo'ladi va o'zgarmas tezlik bilan gorizantal o'q bo'ylab harakatlanib turadi. Agar shu $t = t_0$ moment gorizantal plastinkalarga tekshiriluvchi $U = f(t)$ o'zgaruvchan kuchlanish ulansa, ulash vaqtida ekranda kuchlanishning $t = t_0$ dan $t = t_1$ gacha vaqt oralig'ida o'zgarib turish egriligi yuzaga keladi. Tekshiriluvchi kuchlanish sinusoidal ($U = U_0 \sin \omega t$) qonun asosida o'zgarsa, vaqtning $t = T = t_1 - t_0$ davomida ossillogramma ekranda kuzatiladi.



a)



b)

124- rasm.

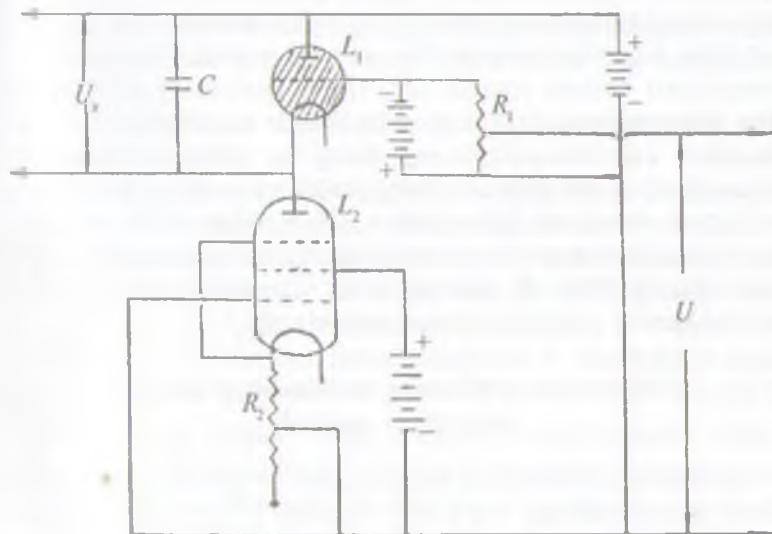
Vaqtga bog'liq bo'lib yoyilgan kuchlanishlar ossillogrammasini olish uchun ossillografning gorizantal plastinkalariga, shunday davriy kuchlanishlar berilishi kerakki, bu kuchlanishning vaqtga bog'liq o'zgarishi arra shaklida bo'lsin (124- rasm.)

Arra shaklidagi kuchlanishni olish uchun ossillografta maxsus generator ulanadi.

Arrasimon kuchlanish generatori

Bu generatorning ishlash prinsipi kondensatorning zaryadlanish va razryadlanishiga asoslangan. Arrasimon kuchlanish generatorning sxemalaridan biri 125- rasmda berilgan.

Kirish qisqichlari o'zgarmas tok tarmog'iga ulanganda kondensator zaryadlanadi. Kondensatorning zaryadlanish vaqti davomida uning qoplamalaridagi potentsiallar farqi (lampa zanjiridagi kuchlanish) Oab egri chiziq bo'yicha ortib boradi (124-*b* rasm). Shu paytdan boshlab kondensator tiratronda razryadlanadi, chunki tiratron yonganda uning qarshiligi hisobga olinmaydigan daraja-



125- rasm.

gacha kamayadi. Kondensatorning razryadlanishi uning zaryadlanish vaqtiga nisbatan juda tez ro'y beradi. Bu jarayon tiratron so'ngunicha davom etadi (124-b, rasm bO_n). Shundan keyin kondensator yana qaytadan zaryadlana boshlaydi (rasmda O_b egri chiziq). Bu jarayon uzluksiz takrorlanib turishi natijasida generatorning chiqish qismida davriy kuchlanish vujudga keladi. 124- rasmdagi egri chiziqning o'suvchi O_b mumkin qadar to'g'ri chiziqqa yaqinlashib boradi, kamayuvchi bO qismi esa katta tiklik bilan tushadi.

Arrasimon kuchlanish generatorining davri nostabil bo'lib, uning stabil bo'lishi uchun kuchlanish bilan sinxronlash talab qilinadi.

Sinxronlash

Ekranda turg'un ossillogramma olish uchun yuqorida aytilgandek, generatorning bitta davriga tekshirilayotgan jarayonning butun son dona davri joylashishi zarur. Buning uchun ham muayyan T_0 davrli tekshirilayotgan signalni ossillografga beriladi va T_1 yoyish davrini o'zgartirib $T_1 = nT_0$ bo'lishligiga erishiladi. Bu jarayonga sinxronlash deyiladi. Lekin yoyish generatori chastotasining turg'un-sizligi (nostabilligi) tufayli yuqorida keltirilgan shart hamma vaqt ham bajarilavermaydi. Shu sababli yoyish generatorining tebranishlari boshqa yanada turg'unroq (stabilroq) tebranishlar bilan sinxronlanadi. Bunday sinxronlash quyidagicha amalga oshiriladi. Tekshirilayotgan signalning bir qismi generatorning tiratron lampasi to'riga tiratronning yonish potentsiali tekshirilayotgan signal chastotasi bilan birday o'zgaradigan qilib uzatiladi. Buning natijasida generator nostabilligi ossillogramma turg'unligini buza olmaydi. Elektron ossillografning ish sifati asosan elektron nur trubkaning sezgirligi bilan xarakterlanadi.

Elektron-nur trubkaning kuchlanishga bo'lgan sezgirligini aniqlash

Elektron-nur trubkaning kuchlanishga bo'lgan sezgirligi asosan trubka parametrlariga bog'likdir. Trubka 122- rasmdagi sxema bo'yicha tegishli tok tarmog'iga ulanganda, trubka ekrani markazida yorug' dog' hosil bo'ladi.

Tekshiriluvchi kuchlanish trubkaning P_y plastinkalariga berilgan deb elektron-nurni shu plastinkalarda hosil bo'luvchi elektrostatik maydon ta'sirida og'ishini ko'rib chiqaylik. U vaqtda elektron-nur P juft plastinkalarning markaziy simmetriya o'qi bo'ylab tarqaladi. Plastikalar oralig'i d ga, uzunligi esa l ga teng bo'lsin. Boshqaruvchi elektrod oxiridagi diafragmadan chiquvchi elektronlar silindr shaklidagi anodlarga tortilib, ikkinchi anod silindrning markaziy o'qi oxiriga kelganda uning tezligi v_x ga teng bo'lsin. Ikkinchi anod silindrning oxirida elektron olgan tezligi energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra aniqlanadi. Elektronning silindrdan chiqish vaqtidagi kinetik energiyasi quyidagiga teng:

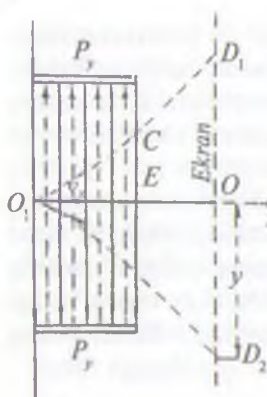
$$W_k = \frac{mv_x^2}{2}.$$

Uning potensial energiyasi $W_p = eU_x$ ga tengligiga asosan

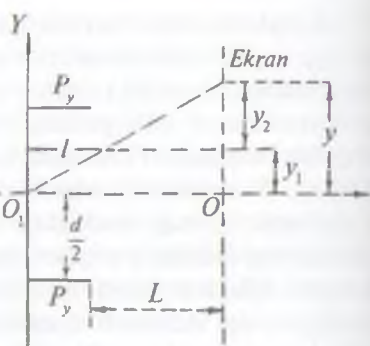
$$v_x = \sqrt{\frac{2eU_x}{m}}, \quad (1)$$

bunda e — elektron zaryadi; U_x — anod kuchlanishi, m — elektron massasi. Soddalik uchun faqat bitta elektronning harakati kuza-tiladi.

Ikkinchi anod bilan og'diruvchi P_y plastinkalargacha bo'lgan oraliqda maydon yo'q deb qaralsa, bu oraliqda elektron o'z enersiyasi bilan to'g'ri chiziqli tekis harakat qiladi. Trubka ichidagi havo so'rilib vakuum hosil qilinganligidan elektron og'diruvchi plastinkalarning maydoniga ayni shu v_x tezlik bilan kirib keladi deb hisoblash mumkin. Shu paytdagi P_y plastinkalarga berilgan kuchlanish U_x , P_x plastinkalardagi kuchlanishni $U = 0$ deb olaylik. Elektron x o'qi bo'ylab harakatlanganda P_y plastinkalar orasidagi elektr maydon bir jinsli deb qaralsa, u plastinkalar oralig'iga kirish momentidagi harakat tezligi v_x maydon kuchlanganlik vektori $\vec{E}$ ga perpendikular bo'ladi (126- rasm). Bu plastinkalarga beriluvchi sinusoidal kuchlanish bitta to'liq o'zgarishida platingkalar oralig'idagi maydon kuch chiziqlarining yo'nalishi ikki marta o'zgaradi va natijada elektron ekrandagi D_1D_2 o'rnida to'liq



126- rasm.



127- rasm.

tebranadi. D_1 yoki D_2 nuqtadagi dog' 127- rasmdagi keltirilgan sxema bo'yicha elektronni OO_1 simmetriya o'qiga nisbatan og'ishini ifodalaydi. Shu og'ishni aniqlaylik.

Plastinkalar oxiridan ekrangacha bo'lgan masofa L bo'lsin (127- rasm). O_1 nuqtadagi elektron maydon sohasiga o'tish momentidan boshlab maydon ta'siriga uchraydi, u egri chiziqli harakatda bo'ladi. Elektr maydon ta'siridagi elektron biron τ_1 vaqt davomida OO_1 o'qqa nisbatan tekis tezlanuvchan harakat bilan

$$y = \frac{a\tau_1^2}{2} \quad (2)$$

masofani o'tadi.

Elektron inersiyaga ega bo'lganligi tufayli shu τ_1 vaqt davomida O_1 nuqtadan x o'qi bo'ylab

$$x = v_x \tau_1 \quad (2a)$$

masofaga siljiydi.

(2) formulaga (2a) ga ko'ra

$$y_1 = \frac{ax^2}{2v_x^2} \quad (3)$$

bo'ladi. Bunda a tezlanishni dinamikaning ikkinchi qonuni ($F = ma$) va elektr maydonini shu zaryadga ta'sir ($F = eE$)

kuchlarining tengligidan foydalanib topamiz, ya'ni $a = \frac{eE}{m}$ va yassi kondensator uchun $U_y = Ed$ ekanligini e'tiborga olsak (3) formula quyidagi ko'rinishga keladi:

$$y_1 = \frac{ax^2}{2v_x^2} = \frac{eU_y}{2v_x^2 md} x_1^2. \quad (4)$$

$x_1 = l$ bo'lganda plastinkalar hosil qilgan elektr maydonining elektronga bo'lgan ta'siri yo'qoladi. Shuning uchun elektron nuqtadan o'tkazilgan urinma bo'ylab harakat qiladi. Elektronning bu harakati ekrangacha davom etganda u X o'qi bo'ylab L masofani o'tadi, elektron O_1 nuqtadan ekranga borib o'rinishigacha o'tgan vaqtni deb olsak, uni quydagicha aniqlash mumkin:

$$\tau_2 = \frac{L}{v_x}.$$

Elektronning bu vaqt davomida v_x o'qidan og'ishi $y_2 = v_y \tau_2$. Bunda $v_y = a\tau_1$ ekanligidan

$$y_2 = \frac{eU_y eL}{mv_x^2 d}. \quad (5)$$

Elektronning $\tau_1 + \tau_2$ vaqt davomida x o'qiga nisbatan og'ishi:

$$y = y_1 + y_2 = \frac{eU_y l}{mv_x^2 d} \left(\frac{1}{2} l + L \right). \quad (6)$$

Foydalaniladigan elektron-nur trubkalarda $\frac{1}{2}l \ll L$ bo'lganligidan, (1) asosida (6) quyidagicha ko'rinishga keladi:

$$y = \frac{U_y l L}{2U_x d}.$$

Bu tenglikni o'ng va chap tomonlarini U_y ga bo'lib,

$$k = \frac{y}{U_y} \quad (7)$$

deb olamiz. Bunda k koeffitsient trubkaning kuchlanishga bo'lgan sezgirligini ifodalaydi va u mm/V larda o'lchanadi.

$$k = \frac{IL}{2U_x d} \quad (8)$$

dan topiladi.

Savollar

1. Ossillografning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
2. Elektron nur trubkaning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
3. Ossillogramma qanday olinadi?
4. Arrasimon kuchlanish generatorining ishlash prinsipini tushuntiring.
5. Sinxronlash nima?
6. Nur trubkaning kuchlanishga sezgirligi deganda nimani tushunasiz?

FIZIK KATTALIKLAR QIYMATLARINING JADVALLARI

1-jadval

Elektr va magnit kattaliklarning formulalari

Nomi	Aniqlovchi tenglamalar		SI		SGS	
	SI	SGS	nomi	belgisi	nomi	belgisi
1. Tok kuchi	—	$I = \frac{q}{t}$	Amper	A	SGS tok kuchi birligi	SGS _I birlik
2. Elektr zaryad	$q = I \cdot t$	$q = \sqrt{F \cdot r}$	Kulon	C	SGS zaryad birligi	SGS _q birlik
3. Elektr maydon kuchlanganligi	$E = \frac{\Delta\varphi}{d}$	$E = \frac{F}{q}$	metrga volt	V/m	SGS elektr maydon kuchlanganligi birligi	
4. Elektr potentsiali		$\varphi = \frac{A}{q}$	Volt	V	SGS elektr potentsial birligi	SGS _φ birlik
5. Elektr sig'im		$C = \frac{q}{\Delta\varphi}$	Farada	F	SGS elektr sig'imi birligi	SGS _C birlik
6. Elektr qarshilik		$R = \frac{U}{I}$	Om	Ω	SGS elektr sig'imi birligi	SGS _R birlik

7. Elektr tokining magnit momenti	$P_1 = IS$	$P_1 = \frac{IS}{c}$	kv metrga amper	$A \cdot m^2$	SGS elektr toki magnit momenti birligi	SGS _n birlik
8. Magnit induksiya	$B = \frac{M}{P_1}$	$B = \frac{C\Phi}{Il}$	Tesla	T	Gauss	Gs
9. Magnit oqimi	$\Phi = BS$		Veber	Wb	Maksvell	Mks
10. Induktivlik, o'zaro induktivlik	$L = \frac{\Psi}{I}$	$L = \frac{C\psi}{I}$	Genri	H	SGS induktivlik birligi	SGS _L birlik
11. Solenoidning magnit maydon kuchlanganligi	$H = \frac{NI}{l}$	$H = \frac{4\pi}{c} nI$	Metrga amper	A/m	SGS magnit maydon kuchlanganlik birligi	SGS _H birlik
12. Absolut magnit qabul qiluvchanlik	$\mu_a = \frac{B}{H}$		Metrga genri	H/m	O'lchamsiz kattalik	
13. Nisbiy magnit qabul qiluvchanlik	$\mu = \frac{B}{B_0}$		O'lchamsiz			
14. Magnit doimiyi	$\mu_0 = \frac{\mu_a}{\mu}$		Metrga amper	A/m	O'lchamsiz kattalik	

Asosiy fizik kattaliklar

Fizik kattaliklar	Son qiymati
Gravitatsiya doimiysi, γ	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$
1 moldagi molekular soni (Avogadro soni), N_A	$6,02 \cdot 10^{26} \text{ mol}^{-1}$
Normal sharoitlarda 1 kmol ideal gazning molar hajmi, V_0	$22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$
Universal gaz doimiysi, R	$8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
Bolsman doimiysi, k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
Faradey soni, F	$9,65 \cdot 10^4 \text{ C/mol}$
Stefan—Bolsman doimiysi, σ	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
Plank doimiysi, h	$6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J/s}$
Elektronning zaryadi, e	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Elektronning tinch holatdagi massasi, m_e	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ m.a.b.}$ (massa atom birligi)
Protonning tinch holatdagi massasi, m_p	$1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,00759 \text{ m.a.b.}$
Neytronning tinch holatdagi massasi, m_n	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,00899 \text{ m.a.b.}$
Yorug'likning vakuumda tarqalish tezligi, c	$3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

3-jadval

Dielektriklarning nisbiy
dielektrik kirituvchanligi

Mum	7,8
Suv	81
Kerosin	2
Moy	5
Parafin	6
Slyuda	6
Shisha	6
Chinni	6
Ebonit	2,6
Parafinlangan qog'oz	2

4-jadval

0° C da o'tkazgichlarning
solishtirma qarshiligi, $\Omega \cdot \text{m}$

Aluminiy	$2,53 \cdot 10^{-8}$
Grafit	$3,9 \cdot 10^{-8}$
Temir	$8,7 \cdot 10^{-8}$
Mis	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Nixrom	$1 \cdot 10^{-6}$
Simob	$9,4 \cdot 10^{-7}$
Qo'rg'oshin	$2,2 \cdot 10^{-7}$
Po'lat	$1,0 \cdot 10^{-7}$

Elektronlarning metallardan chiqishi, eV

W	4,5
W+Cs	1,6
W+Th	2,63
Pt+Cs	1,40
Pt	5,3
Ag	4,74
Li	2,4
Na	2,3
K	2,0
Cs	1,9

Birliklarning xalqaro belgilanishi

Birlik nomi	Belgila- nishi	Birlik nomi	Belgila- nishi	Birlik nomi	Belgila- nishi
Amper	A	Kaloriya	cal	Radian	rad
Angstrem	Å	Kandela	cd	Rentgen	R
Ar	a	Kilogramm	kg	Rezerford	RD
Atmosfera, fizik	atm	Kulon	C	Om	Ω
Bekkerel	Bq	Kyuri	Ci	Santimetr	sm
Dioptriya	D	Litr	l	Sekund	s
Farada	F	Luks	lx	Simens	S
Funt	lb	Lumen	lm	Steradian	sr
Fut	ft	Metr	m	Tesla	T
Gektar	ha	Mikro	μ	Tonna	t
Genri	H	Minut	min	Vatt	W
Gerts	Hz	Mol	mol	Veber	Wb
Grey	Gy	Soat	h	Volt	V
Joul	J	Nyuton	N	Kelvin	K

Foydalanilgan adabiyotlar

1. *I.V.Savelyev*. Umumiy fizika kursi. II tom. T., «O'qituvchi», 1975.
2. *D.V.Sivuxin*. Umumiy fizika kursi. Elektr. III tom. T., «O'qituvchi», 1985.
3. *S.G.Kalashnikov*. Elektr. T., «O'qituvchi», 1979.
4. *Б.М.Яворский и другие*. Курс физики. Том II. М., «Высшая школа», 1971.
5. *Р.В.Поль*. Учение об электричестве. М., «Физматгиз», 1962.
6. *Э.Парселл*. Электричество и магнетизм. Берклеевский курс физики. Том II. М., «Наука», 1983.
7. *Р.В.Телеснин, В.Ф.Яковлева*. Курс физики. Электричество. М., «Просвещение», 1970.
8. *Г.А.Зисман, О.М.Тодес*. Курс общей физики. Том II. М., «Наука», 1972.
9. Fizikadan praktikum. Elektr va optika. Prof. *V.I.Iverenova* tahriri ostida. T., «O'qituvchi», 1979.
10. *M.O'ltasova va boshqalar*. Fizika, elektr, optika, atom va yadro fizikasi. T., «O'qituvchi», 1985.
11. *У.М.Гершензон, Н.Н.Малов*. Курс общей физики. Электричество и магнетизм. М., «Просвещение», 1980.
12. *С.Е.Фриш, А.В.Тиморева*. Umumiy fizika kursi. Tom II. T., «O'qituvchi», 1972.
13. *О.И.Ахмаджонов*. Fizika kursi. II qism. T., «O'qituvchi», 1988.
14. *S.Tursunov, J.Kamolov*. Umumiy fizika kursi. Elektr va magnetizm. T., «O'qituvchi», 1996.
15. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под. ред. *Л.Л.Гальдина*. М., «Наука», 1983.
16. *Э.В.Бурсина*. Физические приборы. М., «Просвещение», 1984.
17. *В.А.Буровкин и др.* Практикум по магнетизму. М., «Высшая школа», 1979.
18. *I.S.Andreev, K.A.Sultonova*. Elektr va magnetizmdan praktikum. T., «O'qituvchi», 1978.
19. Fizikadan praktikum. Elektr va optika. Prof. *P.Q.Habibullayev* tahriri ostida. T., «O'qituvchi», 1982.
20. *А.Н.Зайдель*. Элементарные оценки ошибок измерений. М., «Наука», 1974.
21. *М.А.Марупов, М.М.Русак*. O'lchash natijalarini ishlash nazariyasi bo'yicha o'quv qo'llanma. T., «O'qituvchi», 1992.
22. *I.Bo'riboyev, R.Karimov va boshq.* Elektr va magnetizm bo'limiga oid laboratoriya mashg'ulotlarini hisoblashda kichik EHMni qo'llash. T., ToshDU nashriyoti, 1990.
23. *X.M.Mahmudova*. Elektr zanjir qismlarini o'rganish (o'quv-uslubiy qo'llanma). T., Nizomiy nomidagi TDPU, 2005.
24. *X.M.Mahmudova, B.N.Nurillayev*. Elektr laboratoriyasida yarimo'tkazgichlarning elektr xossalari o'rganish (o'quv-uslubiy qo'llanma). T., Nizomiy nomidagi TDPU, 2005.

MUNDARIJA

So'zboshi	3
O'quv laboratoriyalarida xavfsizlik texnikasiga rioya qilish haqida ma'lumot	8
I. O'LCHASH NATIJALARINI ISHLAB CHIQUISH. XATOLIKLARNING ELEMENTAR NAZARIYASI	11
1- §. Sistematik va tasodifiy xatoliklar	11
2- §. Absolut va nisbiy xatoliklar. Bevosita o'lchashlar natijasining ishonchiligi va ishonch intervali	13
3- §. Bilvosita o'lchashdagi funksional xatoliklarni hisoblash	19
4- §. Laboratoriya ishlarini bajarish jarayonida talabalarga qo'yiladigan talablar	32
II. ELEKTR ZANJIR QISMLARINI O'RGANISH	34
1- §. Tok manbalari	34
2- §. Tok (kuchlanish) o'zgartirgichlari	40
Shtepseli qarshiliklar magazini	43
Pog'onali qarshiliklar magazini — R33	44
3- §. O'tkazgichlar va ularni ulash	50
4- §. Rezistorlar, kondensatorlar va drossellar	52
Elektrolitik kondensatorlar	56
Induktivlik g'altagi va drossel	57
5- §. Elektr o'lchov asboblari. Elektromexanik elektr o'lchov asboblari	58
6- §. Magnitoelektrik sistemadagi asboblari	60
7- §. Elektromagnit sistemadagi asboblari	63
8- §. Elektrodinamik sistemadagi asboblari	65
9- §. Elektrostatik sistemadagi asboblari	67
10- §. Issiqlik sistemadagi asboblari	68
11- §. Induksion asboblari	69
12- §. Ommetrlar	72
13- §. Avometr	73
III. LABORATORIYA ISHLARINING TAVSIFLARI	75
1- laboratoriya ishi. Avometrning ishlash prinsipi bilan tanishish	75
2- laboratoriya ishi. Elektr o'lchov asboblarning o'lchash chegarasini ortirish	80
1- mashq. Ampermetrning o'lchash chegarasini ortirish	80
2- mashq. Voltmetrning o'lchash chegarasini ortirish	82
3- laboratoriya ishi. Elektr potensial maydonni o'rganish	85
4- laboratoriya ishi. Kondensatorning sig'imini va muhitning dielektrik singdiruvchanligini aniqlash	90
1- mashq. Ampermetr va voltmetr yordamida kondensatorning sig'imini aniqlash	94

2- mashq. O'zgaruvchan tokda ishlaydigan ko'priks sxemasi yordamida kondensatorning sig'imini aniqlash	97
3- mashq. Kondensatorning sig'imini uning razryad toki orqali aniqlash	100
4- mashq. Kondensator yordamida muhitning dielektrik singdiruvchanligini aniqlash	103
5- laboratoriya ishi. Tok manbayining elektr yurituvchi kuchini va ichki qarshiligini aniqlash	106
1- mashq. Tok manbayining eyk va ichki qarshiligini ampermetr hamda voltmeter vositasida aniqlash	108
2- mashq. Elementning elektr yurituvchi kuchini Uistston ko'prigi yordamida aniqlash	109
3- mashq. Elementning EYKni qarshilklar magazini yordamida aniqlash	111
4- mashq. Elektr yurituvchi kuchni potentsiometr yordamida aniqlash	114
6- laboratoriya ishi. Metall va elektrolitlar qarshiligini aniqlash	117
1- mashq. O'tkazgich qarshiligini ampermetr va voltmeter yordamida aniqlash ..	122
2- mashq. O'tkazgichlar qarshiligini Uistston ko'prigi vositasida aniqlash	124
3- mashq. Qo'sh ko'priks yordamida o'tkazgichlar qarshiligini aniqlash	129
4- mashq. Metallar qarshiligining temperaturaga bog'liqligini aniqlash	132
5- mashq. Elektrolit qarshiligini uistston ko'prigi vositasida aniqlash	135
7- laboratoriya ishi. Elektr isitgich asboblarning foydali ish ko'effitsiyentini aniqlash	138
8- laboratoriya ishi. Tok manbayining foydali ish ko'effitsiyentini aniqlash	141
1- mashq. Elementlar yoki akkumulatorlar batareyasining fikni aniqlash	142
2- mashq. O'zgaruvchan tok manbayining foydali ish ko'effitsiyentini aniqlash ..	146
3- mashq. Ampermetr va voltmeter yordamida vattmetr shkalasini darajalash	149
9- laboratoriya ishi. Yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligini o'rganish ..	152
1- mashq. Yarimo'tkazgichlar elektr o'tkazuvchanligi va qarshiligining temperaturaga bog'liqligini tajribada aniqlash	155
2- mashq. Yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligini kompensatsion usulda aniqlash	158
10- laboratoriya ishi. Yarimo'tkazgichli diod va triod (tranzistor)ning voltamper xarakteristikasini olish	161
1- mashq. Yarimo'tkazgichli diodning statik voltamper xarakteristikasini olish	164
2- mashq. Diodning dinamik voltamper xarakteristikasini olish	164
3- mashq. Triod-tranzistorning voltamper xarakteristikasini olish	166
11- laboratoriya ishi. Elektron lampalar xarakteristikasini olish	171
1- mashq. Ikki elektrodli lampaning voltamper xarakteristikasini olish	172
2- mashq. Uch elektrodli lampaning anod va to'r xarakteristikasini olish	175
12- laboratoriya ishi. Termoelektr yurituvchi kuchni aniqlash va termojuftni darajalash	179
1- mashq. Termoelementning elektr yurituvchi kuchini aniqlash	181
2- mashq. Termoelementning elektr yurituvchi kuchini potentsiometr yordamida aniqlash	185
13- laboratoriya ishi. Elektrolitlarning elektr xossasini o'rganish	188
1- mashq. Moddalarning elektrokimyoviy ekvivalentini va Faradey sonini aniqlash	193

2- mashq. Ionning harakatchanligini o'lchash	194
3- mashq. Solishtirma elektrolitik o'tkazuvchanlikni aniqlash	196
14- laboratoriya ishi. Tangens-galvanometr yordamida yer magnit maydonining kuchlanganligini va magnit og'ish burchagini aniqlash	200
1- mashq. Yer magnit maydoni kuchlanganligining. Gorizontal tashkil etuvchisini aniqlash	201
2- mashq. Yerning magnit og'ish burchagini aniqlash	204
15- laboratoriya ishi. Magnit maydon kuchlanganligi va magnit yurituvchi kuchni aniqlash	209
16- laboratoriya ishi. Moddalarning magnitlanish egri chizig'ini olish	215
1- mashq. Magnitlanish egri chizig'ini hamda gisterezis sirtmog'ini Stoletov tajribasi asosida olish	220
2- mashq. Ossilloqraf vositasida magnitlanish egri chizig'ini hamda gisterezis sirtmog'ini kuzatish	222
3- mashq. Ferromagnetiklar magnitlanish xususiyatining temperaturaga bog'liqligini o'rganish	227
17- laboratoriya ishi. Xoll effektini o'rganish	229
18- laboratoriya ishi. G'altakning induksiya koeffitsiyentini aniqlash	234
1- mashq. G'altak induktivligini ampermetr va voltmeter yordamida aniqlash	239
2- mashq. G'altak induktivligini ko'prik sxema yordamida aniqlash	240
19- laboratoriya ishi. O'zgaruvchan tok zanjiridagi faza siljishini, aktiv, reaktiv qarshilik va quvvatni topish	244
1- mashq. Ampermetr, voltmeter yordamida faza siljishini aniqlash	248
2- mashq. Faza siljishini vatmetr, ampermetr, voltmeter yordamida aniqlash	249
20- laboratoriya ishi. Elektron ossilloqrafning tuzilishi va uning ishlash prinsipini o'rganish	251
ILOVA	263
Foydalanilgan adabiyotlar	267

22.2
F59

Toshxonova J.A. va boshq.

Fizikadan praktikum. (Elektr va magnetizm): Oliy o'quv yurtlari talabalari uchun o'quv qo'llanma/(J.A. Toshxonova, J. Kamolov, X.M. Mahmudova, T. Rizayev, B. Nurillayev). — T.: «O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti», 2006. — 272 b.

I. Toshxonova J.A.

ББК 22.2

FIZIKADAN PRAKTIKUM

Elektr va magnetizm

Oliy o'quv yurtlari talabalari uchun
o'quv qo'llanma

Muharrir: *A. Bahromov*

Nashr uchun mas'ul: *O. Davlatov*

Musahhih: *A. Mahkamov*

Kompyuter ishlari: *M.To'xtaxo'jayeva*